



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2023 122 657.6**

(22) Anmeldetag: **23.08.2023**

(43) Offenlegungstag: **29.02.2024**

(51) Int Cl.: **G01R 33/26 (2006.01)**

G02B 6/00 (2006.01)

G01N 21/64 (2006.01)

G01N 24/10 (2006.01)

G01N 27/72 (2006.01)

(66) Innere Priorität

10 2022 005 018.8 24.08.2022

10 2022 005 094.3 24.08.2022

10 2022 122 507.0 06.09.2022

10 2022 131 306.9 26.11.2022

10 2023 100 857.9 16.01.2023

10 2023 111 859.5 07.05.2023

10 2023 115 907.0 19.06.2023

10 2023 121 634.1 11.08.2023

(71) Anmelder:

Quantum Technologies GmbH, 04103 Leipzig, DE

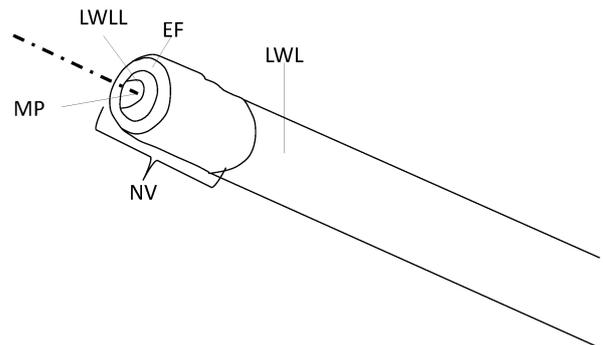
(72) Erfinder:

Langguth, Lutz, 04317 Leipzig, DE; Staacke, Robert, Dr., 04317 Leipzig, DE; Rajsp, Dominik, 04317 Leipzig, DE; Müller, Romy, 04129 Leipzig, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verbesserter Lichtwellenleiter mit einem selbstjustierenden Sensorelement mit NV-Zentren und kleinem Messvolumen und Verfahren zur Herstellung dieses Lichtwellenleiters sowie dessen Anwendungen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Lichtwellenleiter (LWL) mit einem Sensorelement (SE), wobei das Sensorelement (SE) ein Trägermaterial (TM) aufweist und wobei in das Trägermaterial (TM) eine Vielzahl von Diamanten (DM) eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten (DM) dieser Diamanten (DM) NV-Zentren (NVZ) und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren (NVZ) des Sensorelements (SE) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements (SE) bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) zumindest eine Fluoreszenzstrahlung (FL) emittieren. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass das Trägermaterial (TM) ein strahlungsgehärtetes Trägermaterial (TM) ist. Dies ermöglicht eine selbstjustierende Serienfertigung mit einem hohen C_{pk} -Wert. Für die Funktionstüchtigkeit der damit aufgebauten Vorrichtungen ist es notwendig, dass das Trägermaterial (TM) für Strahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) der Pumpstrahlung (LB), mit der die NV-Zentren (NVZ) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren gepumpt werden, im Wesentlichen transparent ist und dass das Trägermaterial (TM) für Strahlung mit einer Fluoreszenzwellenlänge (λ_{fl}) der Fluoreszenzstrahlung (LB) der NV-Zentren (NVZ) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren im Wesentlichen transparent ist.



Beschreibung

Zu den Prioritäten

[0001] Die hier vorgelegte deutsche Patentanmeldung nimmt die Prioritäten der folgenden deutschen Patentanmeldungen

DE 10 2022 005018.8 vom 24.08.2022,

DE 10 2023 100 857.9 vom 16.01.2023,

DE 10 2023 111 859.5 vom 07.05.2023,

DE 10 2022 122 507.0 vom 06.09.2022,

DE 10 2023 115 907.0 vom 19.06.2023

DE 10 2023 121 634.1 vom 11.08.2023

DE 10 2022 131 306.9 vom 26.11.2022

in Anspruch.

Feld der Erfindung

[0002] Die Erfindung richtet sich auf eine Vorrichtung zur hoch orts aufgelösten Messung von magnetischen Feldern mittels eines Lichtwellenleiters mit einem gegenüber dem Lichtwellenleiter in Bezug auf eine Zielplatzierung selbstjustierenden Sensorelement. Als Anwendungen offenbart das hier vorgelegte Dokument eine Verwendung der Vorrichtung zur Kommutierung eines Elektromotors und einen Sensorkopf zur Erfassung von Materialeigenschaften an der Oberfläche eines Werkstücks. Das Sensorelement umfasst eine Vielzahl von Diamanten, die NV-Zentren oder andere paramagnetische Zentren umfassen. Diese Vielzahl von Diamanten weist eine unterschiedlicher Orientierung zueinander auf. Im Anwendungsfall eines Sensorkopfes weisen somit diese Vielzahl von Diamanten eine unterschiedliche räumliche Orientierung der Diamanten auch zum Sensorkopfgehäuse auf.

[0003] Die Erfindung betrifft einen Lichtwellenleiter (LWL) mit einem Sensorelement (SE), wobei das Sensorelement (SE) ein Trägermaterial (TM) aufweist und wobei in das Trägermaterial (TM) eine Vielzahl von Diamanten (DM) eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten (DM) dieser Diamanten (DM) NV-Zentren (NVZ) und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren (NVZ) des Sensorelements (SE) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements (SE) bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) zumindest eine Fluoreszenzstrahlung (FL) emittieren. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass das Trägermaterial (TM) ein strahlungsgehärtetes Trägermaterial (TM) ist. Dies ermöglicht eine selbstjustierende Serienfertigung mit einem hohen C_{pk} -Wert. Für die Funktionstüchtigkeit der damit aufgebauten Vorrichtungen ist es notwendig, dass das Trägermaterial (TM) für Strahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) der Pumpstrahlung (LB), mit der die NV-Zentren (NVZ) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren gepumpt werden, im Wesentlichen transparent ist und dass das Trägermaterial (TM) für Strahlung mit einer Fluoreszenzwellenlänge (λ_{fl}) der Fluoreszenzstrahlung (LB) der NV-Zentren (NVZ) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren im Wesentlichen transparent ist.

[0004] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Serienherstellung eines solchen, vorteilhaften Lichtwellenleiters (LWL), mit einem hohen C_{pk} -Wert umfasst die Schritte a) Bereitstellen (140) eines Lichtwellenleiters (LWL),

wobei der Lichtwellenleiter (LWL) ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist; b) Bereitstellen (145) eines flüssigen und mittels elektromagnetischer Strahlung einer Aushärtewellenlänge (λ_H) härtbaren Trägermaterials (TM), wobei in das Trägermaterial (TM) eine Vielzahl von Diamanten (DM) und/oder Kristalle eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten (DM) dieser Diamanten (DM) und/oder Kristalle NV-Zentren (NVZ) und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren (NVZ) des Trägermaterials (TM) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Trägermaterials (TM) bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) zumindest eine Fluoreszenzstrahlung (FL) emittieren; c) Benetzen (150) des ersten Endes des Lichtwellenleiters (LWL), insbesondere auf eine Benetzungslänge LB oder in einem Benetzungsbereich, mit dem Trägermaterial (TM), das die Vielzahl eingebetteter Diamanten (DM) und/oder Kristalle aufweist; d) Bestrahlen (155) des Trägermaterials (TM) im Bereich des ersten Endes (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL) mit elektromagnetischer Aushärtstrahlung, wobei die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung, die Aushärtewellenlänge (λ_H), so

gewählt ist, dass das Trägermaterial (TM) am ersten Ende (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL) im bestrahlten Bereich zumindest teilweise aushärtet und sich zumindest teilweise in einen Festkörper wandelt; e) Entfernen (160) des nicht ausgehärteten Trägermaterials (TM), insbesondere mittels eines Lösungsmittels, wobei der verbleibende Film des Trägermaterials (TM) am ersten Ende des Lichtwellenleiters (LWL) das Sensorelement (SE) bildet. Eine weitere Ausbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfasst eine Konkretisierung des Bestrahlers (155) des Trägermaterials (TM) im Bereich des ersten Endes (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL) in Form eines Einspeisens (155) elektromagnetischer Aushärtestrahlung in das zweite Ende des Lichtwellenleiters (LWL), wobei die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung, die Aushärtewellenlänge (λ_H), so gewählt ist, dass das Trägermaterial (TM) am ersten Ende des Lichtwellenleiters (LWL) aushärtet und sich in einen Festkörper wandelt. Dies hat den Vorteil, dass die Aushärtung des Trägermaterials (TM) am ersten Ende (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL) zu einem Sensorelement (SE) selbstjustierend nur in dem Bereich des Lichtaustritts aus dem Lichtwellenleiter (LWL) erfolgt.

[0005] Es hat sich gezeigt, dass es vorteilhaft für die spätere Reinigung ist, wenn in einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens das Trägermaterial (TM) bei der Bestrahlung mit der Aushärtestrahlung der Aushärtewellenlänge (λ_H) nur teilweise aushärtet.

[0006] Für die Aushärtung gemäß dem vorbeschriebenen Verfahren sind relativ hohe Photonenenergien in der Regel je nach Trägermaterial (TM) vorteilhaft. Das erfindungsgemäße Verfahren sieht in einer weiteren Ausgestaltung daher vor, dass die Strahlung der der am zweiten Ende des Lichtwellenleiters zur Aushärtung eingespeisten Aushärtestrahlung UV-Strahlung mit einer Aushärtewellenlänge (λ_H) im Wellenlängenbereich von 1nm bis 400nm ist.

[0007] Für die Verbesserung der Selbstjustierung des Sensorelements (SE) gegenüber dem Lichtwellenleiter (LWL) ist es erfindungsgemäß vorteilhaft, wenn der bereitgestellte Lichtwellenleiter (LWL) zumindest am ersten Ende des Lichtwellenleiters (LWL) einen Lichtwellenleiterkern (LWLC) u.a. zu diesem Zweck aufweist und/oder zumindest am ersten Ende des Lichtwellenleiters (LWL) mit einer lichtundurchlässigen Schicht beschichtet ist, die eine oder mehrere lichtdurchlässige Öffnungen, die sogenannten Clearances, aufweist, und wobei diese Strukturen des Lichtwellenleiters (LWL), der Lichtwellenleiterkern (LWLC) und/oder die Clearances, den Lichtaustritt der Aushärtestrahlung mit der Aushärtewellenlänge (λ_H) am ersten Ende (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL) bereichsweise auf einen oder mehrere Austrittsbereiche begrenzen und wobei das Verfahren in dem Trägermaterial (TM) beim Aushärten durch Einspeisung der Aushärtestrahlung mit der Aushärtewellenlänge (λ_H) am zweiten Ende (ELWL2) des Lichtwellenleiters (LWL) ein oder mehrere optische Funktionselemente (LWLL) und/oder ein oder mehrere Sensorelemente (SE) am ersten Ende (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL) im Bereich des einen oder der mehreren Austrittsbereiche ausformt und wobei das eine oder die mehreren so durch das Verfahren ausgeformten optischen Funktionselement (LWLL) und/oder das eine oder die mehreren so durch das Verfahren ausgeformten Sensorelemente (SE) durch das Verfahren so eingerichtet werden, dass das eine oder die mehreren so durch das Verfahren ausgeformten optischen Funktionselement (LWLL) und/oder das eine oder die mehreren so durch das Verfahren ausgeformten Sensorelemente (SE)

- mit dem Lichtwellenleiterkern (LWLC) am ersten Ende (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL) und/oder
- mit der einen oder den mehreren Clearances am ersten Ende (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL), insbesondere durch das Verfahren selbstjustiert, optisch zusammenwirken,
- wenn am zweiten Ende (ELWL2) des Lichtwellenleiters (LWL) optische Strahlung, insbesondere Pumpstrahlung (LB) mit der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) eingespeist wird und/oder
- wenn am ersten Ende (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL) NV-Zentren (NVZ) innerhalb des Trägermaterials (TM) und/oder andere paramagnetische Zentren innerhalb des Trägermaterials (TM) eine Fluoreszenzstrahlung (FL) emittieren.

[0008] Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass es für einige Anwendungsbeispiele sinnvoll ist, wenn der in dem Verfahren bereitgestellte Lichtwellenleiter (LWL) mit einem oder mehreren Wellenleitern (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) beschichtet ist, die insbesondere Clearances aufweisen. Diese ermöglichen die Selbstjustierung der Sensorelemente gegenüber diesen Clearances und damit gegenüber dem Wellenleiter im erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren.

[0009] Dem erfindungsgemäßen Lichtwellenleiter korrespondiert ein Verwendungsverfahren für diesen vorteilhaften Wellenleiter mit sehr guten Cpk-Werten der Messwerte, die solche Lichtwellenleiter in Sensorsystemen liefern. Das erfindungsgemäß vorgeschlagene Verfahren zum Bestimmen einer physikalischen Größe

umfasst a) das Bereitstellen eines vorbeschriebenen, vorteilhaften erfindungsgemäßen Lichtwellenleiters (LWL),

wobei der bereitgestellte Lichtwellenleiter (LWL) mit einem oder mehreren Wellenleitern (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) beschichtet ist, die Clearances aufweisen, und wobei sich in den Clearances des einen oder der mehreren Wellenleiter oder auf dem Wellenleiter und/oder in der Nähe des Wellenleiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ein oder mehrere Sensorelemente (SE) befinden und b) das Einspeisen eines Mikrowellensignals (μW) in einen oder mehrere der Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) und das Einspeisen einer Pumpstrahlung (LB) mit der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) in den Lichtwellenleiter (LWL), insbesondere an dem zweiten Ende (ELWL2) des Lichtwellenleiters (LWL), oder das Bestrahlen des Sensorelements (SE) des Lichtwellenleiters (LWL) mit einer Pumpstrahlung (LB) mit der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) und c)

[0010] Erfassen eines Intensitätswerts der Fluoreszenzstrahlung (FL) der NV-Zentren (NVZ) des Sensorelements (SE) und/oder der anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements (SE) und das d) das Ermitteln zumindest eines Messwerts für eine physikalische Größe aus diesem Intensitätswert und ggf. weiterer Werte.

[0011] Ein anderes erfindungsgemäßes Verwendungsverfahren umfasst a) das Bereitstellen eines erfindungsgemäßen, vorteilhaften Lichtwellenleiters (LWL) und b) das Einspeisen einer Pumpstrahlung (LB) mit der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) in den Lichtwellenleiter (LWL), insbesondere an dem zweiten Ende (ELWL2) des Lichtwellenleiters (LWL), oder das Bestrahlen des Sensorelements (SE) des Lichtwellenleiters (LWL) mit einer Pumpstrahlung (LB) mit der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) und c) das Erfassen eines Intensitätswerts der Fluoreszenzstrahlung (FL) der NV-Zentren (NVZ) des Sensorelements (SE) und/oder der anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements (SE) und d) das Ermitteln zumindest eines Messwerts für eine physikalische Größe aus diesem Intensitätswert und ggf. weiteren Werten.

[0012] Im Rahmen der Ausarbeitung der Erfindung wurde erkannt, dass die Erfindung zur Verbesserung einer erfindungsgemäßen Magnetfeldkamera genutzt werden kann. Die Magnetfeldkamera umfasst eine Sensorelementschicht (5) als einem Sensorelement (SE), wobei das Sensorelement (SE) ein Trägermaterial (TM) aufweist und wobei in das Trägermaterial (TM) eine Vielzahl von Diamanten (DM) eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten (DM) dieser Diamanten (DM) NV-Zentren (NVZ) und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren (NVZ) des Sensorelements (SE) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements (SE) bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) zumindest eine Fluoreszenzstrahlung (FL) emittieren. Vorzugsweise ist das Trägermaterial (TM) ein strahlungsgehärtetes Trägermaterial (TM), was eine Herstellung mit guten C_{pk} -Werten ermöglicht. Zur Funktionstüchtigkeit ist es erforderlich, dass das Trägermaterial (TM) für Strahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) der Pumpstrahlung (LB), mit der die NV-Zentren (NVZ) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren gepumpt werden, im Wesentlichen transparent ist und dass das Trägermaterial (TM) für Strahlung mit einer Fluoreszenzwellenlänge (λ_{fl}) der Fluoreszenzstrahlung (LB) der NV-Zentren (NVZ) im Wesentlichen transparent ist und dass die Magnetfeldkamera eine Fluoreszenzkamera, insbesondere ein Lichtsensorarray (1) und eine Optik (7), zur orts aufgelösten Aufnahme eines Fluoreszenzbildes der Fluoreszenzstrahlung (FL) der NV-Zentren (NVZ) und/oder der anderen paramagnetischen Zentren mit mindestens 2×2 Pixeln umfasst.

[0013] Erfindungsgemäß ist in einer speziellen Ausprägung die Magnetfeldkamera dazu eingerichtet, ein Fluoreszenzbild zu erzeugen und das Fluoreszenzbild auszugeben. Die Magnetfeldkamera umfasst einen Speicher. Die Magnetfeldkamera ist in dieser Ausprägung dazu eingerichtet, das Fluoreszenzbild in diesem Speicher ab- oder zwischenzuspeichern und/oder bereitzuhalten und/oder aus dem Speicher auszugeben und/oder aus dem Speicher an ein übergeordnetes Rechnersystem zu übertragen.

[0014] In einer weiteren Ausprägung ist die Magnetfeldkamera dazu eingerichtet, ein computerimplementiertes Programm der künstlichen Intelligenz auszuführen, um digitalisierte und/oder binäre Messwerte und/oder Klassifikationen aus den aufgenommenen Fluoreszenzbildern der Magnetfeldkamera, insbesondere aus Fluoreszenzbildern im Speicher der Magnetfeldkamera, zu erzeugen und/oder auszugeben und/oder in einem Speicher der Magnetfeldkamera abzuspeichern und in dem Speicher der Magnetfeldkamera bereitzuhalten und/oder auszugeben und/oder an ein übergeordnetes Rechnersystem zu übermitteln .

[0015] In einer weiteren Ausprägung umfasst die Magnetfeldkamera einen Speicher in dem der Programmcode des computerimplementierten Programms der künstlichen Intelligenz zumindest zeitweise gespeichert ist und wobei ein Rechnersystem der Magnetfeldkamera den Programmcode bei Ausführung des computerimplementierten Programms der künstlichen Intelligenz aus diesem Speicher abrufen und ausführt. Dem ent-

spricht ein vorteilhaftes Computerprogrammprodukt, wobei das Computerprogrammprodukt zumindest ein Speichermedium umfasst und wobei in dem Speichermedium zumindest zeitweise die Information des Programmcodes des computerimplementierten Programms der künstlichen Intelligenz komprimiert und/oder nicht komprimiert und/oder verschlüsselt oder nicht verschlüsselt zumindest zeitweise gespeichert ist, und wobei das Speichermedium des Computerprogrammprodukts dazu eingerichtet ist, Teil des Speicher der Magnetfeldkamera zu werden, in dem der Programmcode des computerimplementierten Programms der künstlichen Intelligenz zumindest zeitweise gespeichert ist, oder zumindest einen Teil seines Inhalts in den Speicher der Magnetfeldkamera, in dem der Programmcode des computerimplementierten Programms der künstlichen Intelligenz zumindest zeitweise gespeichert ist, zu übertragen.

[0016] Ein anderes erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel betrifft eine Motorsteuerung für einen Motor, wobei der Motor und/oder die Ansteuerung des Motors einen erfindungsgemäßen Lichtwellenleiter umfasst und/oder wobei die Ansteuerung des Motors eine erfindungsgemäße Magnetfeldkamera umfasst und/oder wobei Ansteuerung des Motors dazu eingerichtet ist, ein erfindungsgemäßes Computerprogrammprodukt zu verwenden.

[0017] Dem zugeordnet ist ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Kommutierung eines Motors mit den Schritten a) des Erfassens der Zeitpunkte der Nulldurchgänge des Phasenstromes einer Motorphase des Motors mittels eines erfindungsgemäßen Verfahrens und/oder das b) des Erfassens der Zeitpunkte der Nulldurchgänge des Betrags der magnetischen Flussdichte innerhalb des Luftspalts (LS) des Motors mittels eines erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei das Sensorelement (SE) im Luftspalt (LS) des Motors und/oder im Streufeld des magnetischen Feldes im Luftspalt (LS) des Motors angeordnet ist und c) des Steuerns der Kommutierung der Phasenspannungen der Phasenanschlüsse der Motorphasenwicklungen in Abhängigkeit von den Zeitpunkten der Nulldurchgänge.

[0018] Die hohe Qualität der erfindungsgemäßen Lichtwellenleiter (LWL) ermöglicht die Serienproduktion hochqualitativer Lichtwellenleiterproduktionsmengen, wobei die Lichtwellenleiterproduktionsmenge mehrere Lichtwellenleiter (LWL) umfasst und wobei der Lichtwellenleiter (LWL) der mehreren Lichtwellenleiter (LWL) mit einem Sensorelement (SE) versehen ist und wobei das Sensorelement (SE) ein Trägermaterial (TM) aufweist und wobei in das Trägermaterial (TM) eine Vielzahl von Diamanten (DM) und/oder Kristalle eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten (DM) dieser Diamanten (DM) und/oder einer oder mehrere Kristalle dieser Kristalle NV-Zentren (NVZ) und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren (NVZ) des Sensorelements (SE) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements (SE) bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) einer vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität über den Lichtwellenleiter (LWL) zumindest eine Fluoreszenzstrahlung (FL) emittieren. Die erfindungsgemäße Lichtwellenleiterproduktionsmenge ist dadurch gekennzeichnet, dass diese Lichtwellenleiterproduktionsmenge dieser Lichtwellenleiter (LWL) 10 oder mehr Lichtwellenleiter (LWL) umfasst und dass das hier maßgebliche Toleranzfenster der Intensität der Fluoreszenzstrahlung (FL) der besagten bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) einer vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität über den Lichtwellenleiter (LWL) 10% des Mittelwerts der gemessenen Intensitäten der Fluoreszenzstrahlung (FL) der verschiedenen Lichtwellenleiter der Lichtwellenleiterproduktionsmenge bei der besagten Bestrahlung des Sensorelements (SE) mit Pumpstrahlung (LB) der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) der vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität beträgt, wobei die Bestrahlung die Bestrahlung für die Vermessung des jeweiligen Lichtwellenleiters (LWL) über den jeweiligen Lichtwellenleiter (LWL) erfolgt, und dass der C_{pk} -Wert dieser gemessenen Intensitäten der Fluoreszenzstrahlung (FL) der verschiedenen Lichtwellenleiter (LWL) der Lichtwellenleiterproduktionsmenge bei der besagten Bestrahlung des Sensorelements (SE) mit Pumpstrahlung (LB) der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) der vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität bezogen auf das besagte maßgebliche Toleranzfenster einen C_{pk} -Wert höher als $C_{\text{pk}}=0,8$ und/oder besser höher als $C_{\text{pk}}=1,0$ und/oder besser höher als $C_{\text{pk}}=1,2$ und/oder besser höher als $C_{\text{pk}}=1,4$ und/oder besser höher als $C_{\text{pk}}=1,66$ beträgt. Diese hohen C_{pk} -Werte sind für eine erfolgreiche Serienproduktion unverzichtbar.

[0019] In analoger Weise beschreibt da hier vorgelegte Dokument eine hochqualitative erfindungsgemäße Wellenleiterproduktionsmenge, wobei die Wellenleiterproduktionsmenge mehrere Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) umfasst und wobei jeder Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) der Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) mit einem Sensorelement (SE) versehen ist und wobei das jeweilige Sensorelement (SE) ein Trägermaterial (TM) aufweist und wobei in das jeweilige Trägermaterial (TM) eine Vielzahl von Diamanten (DM) und/oder Kristallen eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten (DM) dieser Diamanten (DM) und/oder einer oder mehrere Kristalle dieser Kristalle NV-Zentren (NVZ) und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei

die NV-Zentren (NVZ) des Sensorelements (SE) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements (SE) bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) einer vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität zumindest eine Fluoreszenzstrahlung (FL) emittieren. Die erfindungsgemäße Wellenleiterproduktionsmenge ist dadurch gekennzeichnet, dass diese Wellenleiterproduktionsmenge dieser Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) 10 oder mehr Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) umfasst und dass das hier maßgebliche Toleranzfenster der Intensität der Fluoreszenzstrahlung (FL) der besagten bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) einer vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität über einen Lichtwellenleiter (LWL) oder über eine für jeden Wellenleiter gleiche Lichtübertragungsstrecke 10% des Mittelwerts der gemessenen Intensitäten der Fluoreszenzstrahlung (FL) der verschiedenen Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) der Wellenleiterproduktionsmenge bei der besagten Bestrahlung des Sensorelements (SE) mit Pumpstrahlung (LB) der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) der vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität beträgt, wobei die Bestrahlung für die Vermessung des jeweiligen Wellenleiters über jeweils pro Wellenleiter den Lichtwellenleiter (LWL) oder über die für jeden Wellenleiter gleiche Lichtübertragungsstrecke erfolgt und dass der C_{pk} -Wert dieser gemessenen Intensitäten der Fluoreszenzstrahlung (FL) der verschiedenen Wellenleiter der Wellenleiterproduktionsmenge bei der besagten Bestrahlung des Sensorelements (SE) mit Pumpstrahlung (LB) der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) der vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität bezogen auf das besagte maßgebliche Toleranzfenster einen C_{pk} -Wert höher als $C_{\text{pk}}=0,8$ und/oder besser höher als $C_{\text{pk}}=1,0$ und/oder besser höher als $C_{\text{pk}}=1,2$ und/oder besser höher als $C_{\text{pk}}=1,4$ und/oder besser höher als $C_{\text{pk}}=1,66$ beträgt. Diese hohen C_{pk} -Werte sind für eine erfolgreiche Serienproduktion unverzichtbar.

Stand der Technik

[0020] Aus der DE 10 2020 129 367 A1 ein System bekannt, bei dem vorgesehen ist, die Auswertelektronik eines ähnlichen Systems direkt auf dem Stator zu positionieren. Bei der Ausarbeitung des hier in diesem Dokument vorgelegten Vorschlags wurde erkannt, dass die technische Lehre der DE 10 2020 129 367 A1 anfällig für EMV-Störungen ist und ein Problem mit der galvanischen Trennung und der Temperaturbelastung verursacht. Der hier vorgelegte Vorschlag löst diese Probleme.

[0021] Aus der DE 10 2020 109 477 A1 sind Methoden zur Produktion von NV-Zentren bekannt.

[0022] Aus der DE 10 2019 120 076 A1, der DE 11 2020 003 569 A5, der DE 11 2020 004 650 A5, der DE 10 2021 101 565 A1, der DE 10 2021 132 782 A1 und der EP 3 874 343 A2 sind bereits leitungsfreie Vorrichtungen zur Erfassung von Magnetfeldern bekannt. Die zeigen keine selbstjustierenden Vorrichtungen.

[0023] Aus der Schrift Ilja Fescenko, Andrey Jarmola, Igor Savukov, Pauli Kehayias, Janis Smits, Joshua Damron, Nathaniel Ristoff, Nazanin Mosavian und Victor M. Acosta „Diamond magnetometer enhanced by ferrite flux concentrators“, Phys. Rev. Research 2, 023394, 24 June 2020, DOI:<https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.2.023394> ist die Verwendung eines dichroitischen Spiegels für die Trennung von Pumpstrahlung und Fluoreszenzstrahlung bekannt.

[0024] Aus dem Dokument Georgios Chatzidrosos, Joseph Shaji Rebeirro, Huijie Zheng, Muhib Omar, Andreas Brenneis, Felix M. Stürner, Tino Fuchs, Thomas Buck, Robert Rölver, Tim Schneemann, Peter Blümli, Dmitry Budker, Arne Wickenbrock, „Fiberized Diamond-Based Vector Magnetometers“ Front. Photon., 20 August 2021, Sec. Quantum Optics, Volume 2 - 2021|<https://doi.org/10.3389/fphot.2021.732748> und aus dem Dokument Yuji Hatano, Jaewon Shin, Daisuke Nishitani, Haruki Iwatsuka, Yuta Masuyama, Hiroki Sugiyama, Makoto Ishii, Shinobu Onoda, Takeshi Ohshima, Keigo Arai, Takayuki Iwasaki, Mutsuko Hatano, „Simultaneous thermometry and magnetometry using a fiber-coupled quantum diamond sensor“ Appl. Phys. Lett. 118, 034001 (2021) <https://doi.org/10.1063/5.0031502> ist die Übertragung der Pumpstrahlung zur Anregung von NV-Zentren eines Einkristalls mittels Lichtwellenleiter bekannt.

[0025] Die Web-Seite <https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtwellenleiter> offenbart weitere Informationen über Lichtwellenleiter.

[0026] Alle diese Schriften lösen nicht das Problem, wie das Sensorelement des Lichtwellenleiters beschaffen sein soll um eine Stabilität aufzuweisen, die den thermischen Anforderungen beispielsweise für den Einsatz in einem Motor oder einem Sensorkopf geeignet ist. Bei den Verfahren im Stand der Technik werden die Diamanten an das Ende einer Glasfaser als Lichtwellenleiter geklebt. Dieser Fabrikationsschritt bedarf typischerweise einer sorgfältigen Ausrichtung der Diamanten, um eine gute Ankopplung zu erreichen. Auch sollten alle Diamanten mit NV-Zentren in gleicher Weise mit Pumpstrahlung der Pumpstrahlungswellenlänge

λ_{pmp} im Betrieb bestrahlt werden. Diamanten die nicht ausreichend bestrahlt werden, zeigen nicht den vollen Kontrast hinsichtlich der Abhängigkeit der Intensität der Fluoreszenzstrahlung ihrer paramagnetischen Zentren, hier der NV-Zentren, von einem umgebenden Magnetfeld.

[0027] Ein wesentliches Problem ist dabei die Erzielung eines guten C_{pk} -Werts für die Eigenschaften des Lichtwellenleiters, der mit NV-Zentren an einem seiner Enden bestückt ist. Bei Quantensensorsystemen mit einer Verwendung von Mikrowellen und/oder Radiowellen werden in der Regel Wellenleiter wie beispielsweise Mikrostreifenleitungen, Schlitzleitungen, Tri-Plate-Leitungen, differenzielle Mikrostreifenleitungen und differenzielle Tri-Plate-Leitungen und noch komplexere Streifenleitungssysteme eingesetzt. Der Wellenleiterbereich, in dem die NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren von Kristallen und/oder Diamanten eines Sensorelements mit einem solchen Wellenleiter wechselwirken, weist bei einer definierten Bestrahlung mit einer Pumpstrahlung, die auch den Intensitätswert 0 haben kann, aufgrund einer abweichenden Permittivität ϵ des Trägermaterials des Sensorelements, in das diese Kristalle und/oder Diamanten eingebettet sind, und , aufgrund der abweichenden Permittivität ϵ dieser Kristalle und/oder dieser Diamanten einen anderen Wellenwiderstand als der Rest des Wellenleiters, der nicht von dem Sensorelement bedeckt ist auf. Ein wesentliches Problem ist dabei die Erzielung eines guten C_{pk} -Werts für den Wellenwiderstand des Abschnitts des Wellenleiters der von dem Sensorelement bedeckt ist. Nur solche guten C_{pk} -Werte ermöglichen letztlich eine Serienproduktion mit zuverlässigen, hoch qualitativen Ergebnissen und Ausbeuten. Diese Fragestellungen sind im Stand der Technik noch vollkommen unbearbeitet. Eine entsprechende Literatur konnte trotz Recherche nicht aufgefunden werden. Das hier vorgestellte Dokument schlägt hier eine nacharbeitbare beispielhafte Lösung vor und wendet diese auf verschiedene Anwendungsbeispiele an.

[0028] Die vorbenannten Schriften lösen dieses Problem nicht. Auch erfordert die Platzierung der NV-Zentren in richtiger Art und Weise hochqualifiziertes Personal, das teuer und nicht immer verfügbar ist.

[0029] Ein immer wieder auftauchendes Problem ist die Erkennung von Rissen und anderen Störungen in Oberflächen von ferromagnetischen Werkstücken. Im Stand der Technik sind zwar entsprechende Messmethoden bekannt. Diese zeigen aber nur eine unzureichende Ortsauflösung um kleine Risse detektieren zu können.

[0030] Das hier vorgelegte Dokument gibt nur kurze Stichpunkte zur Prinzip für zerstörungsfreie Werkstoffprüfung hinsichtlich des Stands der Technik.

[0031] Für die Vermessung von Werkstücken mittels Magnetfeldmessung ergeben sich bei der Verwendung von Hallensoren / -spulen zur Messung von magnetischen Streufeldern / Wirbelstromfeldern die Probleme, dass diese Messmethoden ein großes Messvolumen bei einem limitierter Abstand zum Werkstück und einen großen Messquerschnitt aufweisen. Die entsprechenden Vorrichtungen sind nicht Diamagnetisch und verändern daher das Messobjekt, das Magnetfeld.

[0032] Dem soll das hier vorgestellte Verfahren und die hier vorgestellte Vorrichtung abhelfen.

[0033] Aus der Schrift WO 2022 096 891 A1 ist ein Sensor bekannt, der einen Magneten umfasst. Gemäß der technischen Lehre der WO 2022 096 891 A1 ist der Magnet so angeordnet, dass er ein inhomogenes Magnetfeld an ein bestimmtes Volumen anlegt. Der Sensor der WO 2022 096 891 A1 umfasst drüber hinaus ein Magnetometer mit einem aktiven Element zum Erfassen des Magnetfelds in einem Volumen, das das bestimmte Volumen umfasst.

[0034] Aus der Schrift CN 1 14 994 006 A ist ein Detektionssystem für orthogonale Risse auf der Basis der NV-Farbzentrumserfassungstechnologie bekannt. Das Detektionssystem der CN 1 14 994 006 A umfasst ein Erregungsende, ein Sammelende und ein Magnetisierungserfassungsvorderende. Die technische Lehre der CN 1 14 994 006 A verwendet das Anregungsende zur Erzeugung von Anregungslicht, wobei das Anregungslicht auf das vordere Ende des Magnetisierungssensors wirkt. Das vordere Ende des Magnetisierungssensors umfasst einen Magnetisierungsteil und einen Erfassungsteil, wobei der Magnetisierungsteil zum Magnetisieren eines zu erfassenden ferromagnetischen Gegenstands verwendet wird. Der Magnetisierungsteil der Vorrichtung der CN 1 14 994 006 A umfasst ein Magnetisierungsintervall. Wenn ein Riss auf dem zu erfassenden ferromagnetischen Gegenstand in dem Magnetisierungsintervall positioniert ist, kann die Vorrichtung der CN 1 14 994 006 A ein magnetisches Streufeld an dem Riss erzeugen. Der Erfassungsteil der Vorrichtung der CN 1 14 994 006 A erzeugt eine Spannungsfluoreszenz unter der Wirkung des Anregungslichts und des magnetischen Streufelds. Der der Erfassungsteil der Vorrichtung der CN 1 14 994 006 A dient zum Empfangen der Spannungsfluoreszenz und zum Analysieren und Verarbeiten der Spannungsfluores-

zenz. Der Magnetisierungsteil der CN 1 14 994 006 A umfasst zwei Gruppen von Elektromagneten. Die Magnetisierungsrichtungen der beiden Gruppen von Elektromagneten der Vorrichtung der CN 1 14 994 006 A sind orthogonal zueinander. Der Sensorteil der Vorrichtung der CN 1 14 994 006 A umfasst eine optische Sensorfaser, ein Endteil der optischen Sensorfaser ist ein Erfassungsende, und diamantförmige NV-Farbmitteilchen, die an dem Faserkern befestigt sind, sind an der Endfläche des Erfassungsendes angeordnet.

[0035] Aus der Schrift CN 1 12 146 782 A ist ein Verfahren zur Herstellung einer faseroptischen Quantensonde mit kontrollierbarer Diamantpartikeldotierung bekannt. Das Verfahren der CN 1 12 146 782 A umfasst die folgenden Schritte:

Schritt 1) Mischen der Lösung mit einer wässrigen Nano-Diamantpartikel-Lösung, die NV-Farbzentren enthält;

Schritt 2) Auflösen der hergestellten Lösung, die mit den Nano-Diamantpartikeln, die die NV-Farbzentren enthalten, dotiert ist, mit Ultraschall durch ein Sol-Gel-Verfahren, Versiegeln und Stehenlassen der Lösung und vollständiges Hydrolysieren der Lösung, um Sol-Gel zu bilden; und

3) gleichmäßiges Auftragen des in Schritt 2) hergestellten Sol-Gels auf die Endfläche der optischen Faser, Halten der optischen Faser durch einen Schrittmotor, Kontaktieren der Endfläche der optischen Faser mit dem Sol-Gel, Ziehen der Endfläche der optischen Faser mit einer bestimmten Geschwindigkeit nach einer Zeitspanne, um einen halbkugelförmigen Gelfilm mit einer bestimmten Dicke und einer bestimmten Krümmung zu bilden, und Aushärten, um die hergestellte Quantensonde der optischen Faser zu erhalten. Laut der technischen Lehre der CN 1 12 146 782 A kann die Dotierkonzentration der Nanodiamantteilchen, die NV-Farbzentren enthalten, gesteuert werden. Laut der technischen Lehre der CN 1 12 146 782 A sind die Nanodiamantteilchen gleichmäßig gemischt. Die Schrift CN 1 12 146 782 A gibt an, dass der Herstellungsprozess der Sonde einfach ist, seine Wiederholbarkeit ist hoch ist und dass eine Massenproduktion realisiert werden kann.

[0036] Aus der Schrift CN 1 14 720 553 A ist eine Vorrichtung zur Erkennung des Streuflusses in einer Pipeline bekannt. Die Vorrichtung der CN 1 14 720 553 A basiert auf einer optischen Faser, die ein Diamant-Stickstoff-Vakanz-Farbzentrum ankoppelt.

[0037] Auch diese Schriften lösen das Problem der notwendigen Selbstjustage des Materials des Sensorelements mit den Kristallen, die die paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren aufweisen, gegenüber dem Lichtwellenleiter nicht.

Aufgabe

[0038] Dem Vorschlag liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Lösung für die obige Probleme

- a) der notwendigen thermischen und galvanischen Trennung und
- b) der Justage der Kristalle gegenüber dem Kern der Glasfaser bzw. dem Lichtwellenleiter und
- c) eines geeigneten Verfahrens zur Herstellung eines geeigneten Lichtwellenleiters mit hohem Cpk-Wert in der Serienproduktion.

anzugeben.

[0039] Diese Aufgabe wird durch die unabhängigen Ansprüche gelöst. Weitere Ausgestaltungen sind Gegenstand von Unteransprüchen.

Lösung der Aufgabe

[0040] Vier beispielhafte Anwendungen des vorschlagsgemäßen Lichtwellenleiters LWL mit einem selbstjustierendem Sensorelement SE sind

- die Vermessung eines Magnetfelds mittels eines Sensorkopfes (erstes Anwendungsbeispiel) und/oder
- die Vermessung eines Magnetfelds in einem Motor (zweites Anwendungsbeispiel) und/oder
- die Verwendung in einer Magnetfeldkamera als Sensorschicht 5 (drittes Anwendungsbeispiel) und/oder
- die Verwendung in einem Wellenleiter insbesondere zusammen mit einer Magnetfeldkamera (viertes Anwendungsbeispiel) zur Vermessung physikalischer Größen, wie unbekannter Signalfrequenzen ω_{nk}

und/oder Beträge magnetischer Flussdichten und/oder Stromwerte elektrischer Ströme in Leitungen (z.B. 1330) und/oder Temperaturen und/oder Spannungen und oder indirekt ermittelbarer Größen wie Drücken und/oder mechanischen Spannungen und oder Ortskoordinaten und/oder Geschwindigkeiten und/oder Beschleunigungen und/oder Gravitationsbeschleunigungen und/oder Rotationsgeschwindigkeiten und/oder Winkelpositionen und/oder Rotationsbeschleunigungen und/oder Schallsignalen und/oder Ultraschallsignalen und/oder Spektren.

[0041] Die Verwendungen des vorschlagsgemäßen Lichtwellenleiters LWL mit einem selbstjustierendem Sensorelement SE sind hierauf aber nicht auf diese Anwendungsbeispiele beschränkt.

[0042] Im Sinne des hier vorgelegten handelt es sich bei einem Lichtwellenleiter LWL typischerweise um einen dielektrischen Wellenleiter beliebiger Formgebung. Der Lichtwellenleiter LWL kann ein oder mehrere dielektrische Schichten aufweisen. Insbesondere kann der Lichtwellenleiter LWL einen Lichtwellenleiterkern LWLC als eine solche dielektrische Schicht aufweisen. Bevorzugt weisen mehrere dielektrische Schichten eines Lichtwellenleiter LWL verschiedene Brechungsindizes und/oder dielektrische Materialkonstanten ϵ ihres Materials auf, sodass an den Grenzflächen zwischen diesen dielektrischen Schichten des jeweiligen Lichtwellenleiters LWL eine Reflexion auftritt.

[0043] Im Folgenden beschreibt das hier vorgelegte Dokument die Anwendung des vorgeschlagenen Lichtwellenleiters LWL mit einem selbstjustierenden Sensorelement SE in verschiedenen Anwendungsbeispielen.

[0044] Insbesondere beschreibt das hier vorliegende Dokument als erstes Anwendungsbeispiel die Verwendung des vorschlagsgemäßen Lichtwellenleiters LWL in einem Sensorkopf SK.

[0045] Insbesondere beschreibt das hier vorliegende Dokument als zweites Anwendungsbeispiel die Verwendung des vorschlagsgemäßen Lichtwellenleiters LWL in einem elektrischen Motor und zwar insbesondere zur Steuerung der Kommutierung dieses Motors. Da ein Vier-Quadranten-Betrieb des Motors mitumfasst sein soll ist die Verwendung dieses Motors als Generator elektrischer Energie vom Begriff Motor im Sinne des hier vorgelegten Dokuments mitumfasst.

[0046] Das hier vorgelegte Dokument schlägt für solche und andere Anwendungen des vorgeschlagenen Lichtwellenleiters mit einem selbstjustierenden Sensorelement SE mit ähnlichen Messaufgaben einen Lichtwellenleiter LWL mit einem selbstjustieren Sensorelement SE und ein Verfahren zu dessen Herstellung vor.

[0047] Dabei weist das Sensorelement SE ein Trägermaterial TM auf, in dem eine Vielzahl von Diamanten DM eingebettet sind. Ein oder mehrere oder alle Diamanten DM dieser Diamanten DM weisen dabei ein oder mehrere NV-Zentren NVZ und/oder ein oder mehrere andere paramagnetischen Zentren auf. Die NV-Zentren NVZ des Sensorelements SE und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements SE emittieren bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL. Das Besondere des in dem hier vorgelegten Dokument vorgeschlagenen Lichtwellenleiter ist, dass das Trägermaterial TM ein mittels elektromagnetischer Strahlung ausgehärtetes Trägermaterial TM ist und dass das Trägermaterial TM nach dem Aushärten für Strahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB, mit der die NV-Zentren NVZ und/oder die anderen paramagnetischen Zentren gepumpt werden, im Wesentlichen transparent ist. Im Wesentlichen bedeutet dabei, dass die unzweifelhaft auftretenden Verluste immer noch so gering sind, dass die Funktionsfähigkeit der betreffenden Anwendung immer noch gegeben ist. In gleicherweise sollte das Trägermaterial TM für Strahlung mit einer Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung LB der NV-Zentren im Wesentlichen transparent sein. Im Wesentlichen bedeutet dabei wiederum, dass die unzweifelhaft auftretenden Verluste immer noch so gering sind, dass die Funktionsfähigkeit der betreffenden Anwendung immer noch gegeben ist. Durch die Aushärtung eines zuvor flüssigen Trägermittels TM ist die Fertigung eines solchen Lichtwellenleiters LWL besonders einfach und prozesssicher mit einem hohen C_{pk} -Wert zu fertigen.

[0048] Die hier vorgelegte Schrift schlägt als ein erstes beispielhaftes Anwendungsbeispiel eine Vorrichtung zur Erfassung der magnetischen Flussdichte B in der Nähe einer Störung einer ferromagnetischen Oberfläche vor.

[0049] Die hier vorgelegte Schrift schlägt als ein zweites beispielhaftes Anwendungsbeispiel eine Vorrichtung zur Erfassung der magnetischen Flussdichte B in einem Luftspalt LS und/oder im Streufeld BSTR des Luftspalts LS eines Motors vor.

[0050] Bei einem Sensorkopf der vorgeschlagenen Art gemäß dem ersten Anwendungsbeispiel wird die Aufgabe vorschlagsgemäß dadurch gelöst, dass

- dass der Sensorkopf NV-reichen Diamantstaub als Magnetfeldsensor verwendet und
- dass Permanentmagnete oder -spulen (AC oder DC Magnetfelder) des Sensorkopfes ein magnetisches Prüffeld erzeugen, das in die Oberfläche des Werkstücks eindringt, und
- dass das Diamantmaterial des Diamantstubs an einem Faserende eines Lichtwellenleiters das Sensorelement bildet und
- dass der Sensorkopf eine rein optische Vermessung des Magnetfelds und damit der magnetischen Eigenschaften der Oberfläche des Werkstücks über den Lichtwellenleiter ermöglicht.

[0051] Bei einem Motor der vorgeschlagenen Art gemäß dem zweiten Anwendungsbeispiel weist der Motor ein Gehäuse (GHR, GH) auf.

[0052] Des Weiteren weisen die Vorrichtungen der Anwendungsbeispiele der hier vorgestellten technischen Lehre, hier der der Motor und der Sensorkopf SK, jeweils ein Sensorelement SE mit einem Trägermittel TM auf. In das Trägermittel TM sind vorzugsweise eine Vielzahl von Diamanten DM eingebettet. Bevorzugt umfasst das Trägermaterial TM Glas und/oder einen ausgehärteten Kunststoff und/oder ein anderes optisch transparentes Material. Das Trägermaterial TM fixiert die Diamanten DM und verhindert eine Repositionierung der Diamanten DM. Bevorzugt ist das Trägermaterial TM nach der Verfestigung im Herstellungsprozess für elektromagnetische Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB für die paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren NVZ in den Diamanten DM transparent, um das Pumpen dieser paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren zu ermöglichen. Bevorzugt ist das Trägermaterial TM nach der Verfestigung im Herstellungsprozess für elektromagnetische Strahlung mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren und/oder der NV-Zentren NVZ in den Diamanten DM in den Diamanten DM transparent. Einer oder mehrere oder alle Diamanten DM dieser Diamanten DM weisen typischerweise paramagnetische Zentren und/oder NV-Zentren NVZ auf.

[0053] In dem ersten Anwendungsbeispiel wirkt die magnetische Flussdichte B auf die auf die paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren NVZ des Sensorelements SE ein. In dem zweiten Anwendungsbeispiel umfasst der vorschlagsgemäße Motor umfasst vorzugsweise einen Rotor und einen Stator. Ein Luftspalt LS trennt den Rotor vom Stator. Der Rotor ist um eine Achse AX drehbar gegenüber dem Stator gelagert. Die magnetische Flussdichte B in dem Luftspalt LS und/oder im Streufeld BSTR des Luftspalts LS des Motors wirkt auf die paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren NVZ ein. Typischerweise bewirkt ein steigender Betrag der magnetischen Flussdichte B eine Reduktion der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL.

[0054] In dem ersten Anwendungsbeispiel verfügt der Sensorkopf SK bevorzugt über einen Lichtwellenleiter LWL für den Zutritt von Pumpstrahlung LB einer Pumpstrahlungsquelle PL zu dem Sensorelement SE.

[0055] In dem zweiten Anwendungsbeispiel besitzt das Gehäuse GH des Motors vorzugsweise eine erste Öffnung OF für den Zutritt von Pumpstrahlung LB einer Pumpstrahlungsquelle PL zu dem Sensorelement SE

[0056] Die Pumpstrahlung LB besitzt bei Verwendung von NV-Zentren in Diamant als paramagnetischen Zentren des Sensorelements SE bevorzugt eine Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} in einem Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm Wellenlänge und/oder besser 450 nm bis 650 nm und/oder besser 500 nm bis 550 nm und/oder besser 515 nm bis 540 nm aufweisen. Bevorzugt ist dabei eindeutig eine Wellenlänge von 532 nm als Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Im Falle von NV-Zentren in Diamant oder in Diamanten ist eine Laser-Diode der Fa. Osram vom Typ PLT5 520B beispielsweise als Pumpstrahlungsquelle PL1 mit 520nm Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} geeignet. Die NV-Zentren NVZ des Sensorelements SE emittieren typischerweise bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB der oben beschriebenen Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} eine Fluoreszenzstrahlung FL mit einer typischen Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} von ca. 637nm bei NV-Zentren. Andere Wellenlängen können durch plasmonische Kopplung mit metallischen Nanokristallen in dem Trägermaterial TM erreicht werden. Die optischen Eigenschaften paramagnetischen Zentren im Sensorelement SE, hier der NV-Zentren NVZ, können durch Kombination der Nanodiamanten bzw. Diamanten DM bzw. Kristalle im Trägermaterial TM mit metallischen Nanopartikeln modifiziert werden.

[0057] In dem ersten Anwendungsbeispiel transportiert ein zweiter Lichtwellenleiter LWL bevorzugt die Fluoreszenzstrahlung FL des Sensorelements SE zu einem Fotodetektor PD hin

In dem zweiten Anwendungsbeispiel weist das Gehäuse GH des Motors bevorzugt eine zweite Öffnung OF für den Austritt von Fluoreszenzstrahlung FL des Sensorelements SE zu einem Fotodetektor PD hin auf.

[0058] Die vorgeschlagene Vorrichtung weist darüber hinaus vorzugsweise eine Teilvorrichtung, insbesondere einen dichroitischen Spiegel F1, auf, um die Fluoreszenzstrahlung FL von der Pumpstrahlung LB zu trennen, sodass im Wesentlichen nur Fluoreszenzstrahlung FL und möglichst keine Pumpstrahlung LB auf den Fotodetektor PD fällt. Diese Teilvorrichtung in Form eines Filters F1 oder dichroitischen Spiegel lässt die Passage von Strahlung mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_f der Fluoreszenzstrahlung FL - z.B. 637nm bei NV-Zentren NVZ mit einem Phononenseitenband von 637nm bis 850 nm - in Richtung des Fotodetektors PD passieren, während es die Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle PL und somit die modulierte Pumpstrahlung LB nicht passieren lässt oder so führt, dass sie den Fotodetektor PD nicht trifft oder beeinflusst. Der Fotodetektor PD wandelt das Intensitätssignal der Fluoreszenzstrahlung FL in ein Empfängerausgangssignal S0.

[0059] In dem ersten Anwendungsbeispiel wertet die Vorrichtung das Empfängerausgangssignal S0 aus, um Informationen über die Verzerrung des Magnetfelds B eines Permanentmagneten PM durch Risse RI und/oder Vertiefungen in der Oberfläche eines ferromagnetischen Materials FM. Die vorgeschlagene Vorrichtung hat in dem ersten Anwendungsbeispiel dann den Vorteil, dass das Magnetfeld der Risse RI und/oder Vertiefungen in der Oberfläche eines ferromagnetischen Materials FM durch Zuleitungen wie z.B. bei der Magnetfeldmessung mit Hall-Sensoren nicht gestört wird. Des Weiteren ist das Sensorelement SE vollkommen diamagnetisch. Eine Rückwirkung der Magnetfelder und/oder von Störfeldern auf die Auswertelektronik des Sensorsystems über das Sensorelement SE und den Lichtwellenleiter LWL ist wegen der galvanischen Trennung sehr unwahrscheinlich. Dadurch kann das System auch in Hochspannungssystemen mit Vorrichtungsteilen, die mit sehr hohen Spannungen angetrieben werden, eingesetzt werden. Systeme aus dem Stand der Technik zeigen dies nicht.

[0060] In dem zweiten Anwendungsbeispiel wertet die Vorrichtung das Empfängerausgangssignal S0 aus, um Informationen über die Position des magnetischen Feldes B im Motor zu erlangen oder Informationen zu erlangen, die diese Information über die Position des magnetischen Feldes B im Motor umfassen. Die vorgeschlagene Vorrichtung in dem zweiten Anwendungsbeispiel hat den Vorteil, dass das Magnetfeld des Motors durch Zuleitungen wie z.B. bei der Magnetfeldmessung mit Hall-Sensoren nicht gestört wird. Des Weiteren ist das Sensorelement vollkommen diamagnetisch. Eine Rückwirkung der Motorfelder auf die Auswertelektronik des Sensorsystems über das Sensorelement und den Lichtwellenleiter LWL ist wegen der galvanischen Trennung sehr unwahrscheinlich. Dadurch kann das System auch in Hochspannungssystemen mit Motoren, die mit sehr hohen Spannungen angetrieben werden, eingesetzt werden. Ebenso ist das System für Generatoren in Kraftwerken geeignet. Systeme aus dem Stand der Technik zeigen dies nicht. So ist aus der DE 10 2020 129 367 A1 ein System bekannt, bei dem vorgesehen ist, die Auswertelektronik direkt auf dem Stator zu positionieren. bei der Ausarbeitung des hier in diesem Dokument vorgelegten Vorschlags wurde erkannt, dass die technische Lehre der DE 10 2020 129 367 A1 anfällig für EMV-Störungen ist und ein Problem mit der galvanischen Trennung und der Temperaturbelastung verursacht. Der hier vorgelegte Vorschlag hat diese Probleme dies nicht.

[0061] In einer ersten Variante in dem zweiten Anwendungsbeispiel befinden sich bevorzugt befinden sich paramagnetische Zentren und/oder NV-Zentren NVZ des Sensorelements SE nicht nur im Streufeld des Luftspalts, sondern im Luftspalt LS des Motors selbst. Dies ermöglicht ein besseres Signal und präzisere Messwerte mit geringeren Störungen.

[0062] In einer zweiten Variante der vorschlagsgemäßen Vorrichtung sind die Diamanten DM im Trägermaterial TM im Wesentlichen zueinander unterschiedlich mit einer jeweils im Wesentlichen unterschiedlichen Orientierung orientiert. Dies hat den wesentlichen und ganz massiven fertigungstechnischen Vorteil, dass eine Ausrichtung der Diamanten DM nicht mehr notwendig ist und die das Herstellverfahren zur Herstellung des Sensorelements SE beispielsweise Diamantpulver mit einer sehr großen Anzahl sehr kleiner Diamanten DM verwenden kann. Ein Sensorelement SE mit einer solchen ungeordneten Vielzahl von Diamanten DM hat den Vorteil, dass die Messung der magnetischen Flussdichte B isotrop ist. Das bedeutet, dass das Sensorelement SE nur den Betrag der magnetischen Flussdichte B erfasst, nicht jedoch die Richtung.

[0063] Dies hat in dem ersten Anwendungsbeispiel den Vorteil, dass eine Ausrichtung des Sensorelements SE und des Lichtwellenleiters LWL und des Sensorkopfes SK nicht mehr notwendig ist.

[0064] Dies hat in dem zweiten Anwendungsbeispiel den Vorteil, dass eine Ausrichtung des Sensorelements SE und des Lichtwellenleiters LWL im Motor nicht mehr notwendig ist.

[0065] Die Montage eines solchen Sensorelements SE können Hilfskräfte oder wenig präzise maschinelle Vorrichtungen übernehmen, die in dem ersten Anwendungsbeispiel das Sensorelement SE mit dem Lichtwellenleiter LWL beispielsweise nur in den Kanal KN des Sensorkopfes SK stecken müssen und die in dem zweiten Anwendungsbeispiel das Sensorelement SE mit dem Lichtwellenleiter LWL beispielsweise nur in eine dafür vorgesehene Öffnung OF am Motor stecken müssen.

[0066] Hierdurch sinken die Fertigungskosten für Vorrichtungen, die den vorgeschlagenen Lichtwellenleiter LWL nutzen, wie in dem ersten Anwendungsbeispiel der Sensorkopf SK und in dem zweiten Anwendungsbeispiel der Motor. Um die räumliche Isotropie zu erreichen, ist es daher vorteilhaft, wenn die Orientierung der Diamanten DM stochastisch im Wesentlichen gleichverteilt ist.

[0067] Im Zuge der Ausarbeitung der technischen Lehre dieses Dokuments hat die Anmelderin erkannt, dass es entsprechend den vorausgehenden Ausführungen auch vorteilhaft ist, wenn in dem ersten Anwendungsbeispiel das Sensorelement SE sich im Streufeld BSTR des Magnetfelds des Permanentmagneten PM befindet. Statt eines Permanentmagneten sind andere Feldanregungen denkbar. Diese sind im Sinne des hier vorgelegten Dokuments von der Beschreibung „Permanentmagnet PM“ umfasst.

[0068] Im Zuge der Ausarbeitung der technischen Lehre dieses Dokuments hat die Anmelderin erkannt, dass es entsprechend den vorausgehenden Ausführungen auch vorteilhaft ist, wenn in dem zweiten Anwendungsbeispiel das Sensorelement SE sich im Luftspalt LS oder im Streufeld BSTR des Luftspalts LS des Motors befindet.

[0069] Um die Anzahl der Lichtwellenleiter LWL zu minimieren und die Modifikationen an der Vorrichtung, die den vorschlagsgemäßen Lichtwellenleiter LWL nutzt, hier beispielhaft der Sensorkopf SK bzw. der Motor, gering zu halten, ist es vorteilhaft einen einzigen Lichtwellenleiter LWL für die Zuführung der Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle PL zum Sensorelement SE und für die Rückführung der Fluoreszenzstrahlung FL vom Sensorelement SE zum Fotodetektor PD zu benutzen.

[0070] In dem Fall eines einzigen Lichtwellenleiters LWL ist in dem ersten Anwendungsbeispiel des Sensorkopfes SK nur ein einziger Kanal KN für die Montage des Lichtwellenleiters LWL notwendig, sodass dann der erste Kanal KN mit dem zweiten Kanal KN identisch ist. Der folgende Text bezeichnet dann einen solchen Kanal KN als gemeinsamen Kanal KN.

[0071] In dem Fall eines einzigen Lichtwellenleiters LWL ist in dem zweiten Anwendungsbeispiel des Motors nur eine einzige Öffnung OF für die Montage des Lichtwellenleiters LWL notwendig, sodass dann die erste Öffnung OF mit der zweiten Öffnung OF identisch ist. Der folgende Text bezeichnet dann eine solche Öffnung OF als gemeinsame Öffnung OF.

[0072] Somit umfasst die vorschlagsgemäße Vorrichtung, hier beispielhaft der Sensorkopf SK und der Motor, bevorzugt ein Sensorelement SE mit einer Vielzahl von Diamanten DM mit paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren NVZ in einem Trägermaterial TM und einen ersten Lichtwellenleiter LWL, an dem das Sensorelement SE befestigt ist, wobei der Lichtwellenleiter LWL die Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle PL zu dem Sensorelement SE transportiert, sodass die Pumpstrahlung LB das Sensorelement SE bestrahlt und die paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren NVZ Fluoreszenzstrahlung FL abgeben, die der Lichtwellenleiter LWL erfasst und in Richtung auf den Fotodetektor PD zurücktransportiert.

[0073] In dem ersten Anwendungsbeispiel des Sensorkopfes SK kann der Lichtwellenleiter LWL dabei parallel zur Auflagefläche AF des Sensorkopfes SK eingebracht werden, wobei sich dann das Sensorelement SE bevorzugt im Streufeld der Risse RI und/oder Vertiefungen in der Oberfläche eines ferromagnetischen Materials FM befindet. Der Lichtwellenleiter LWL kann aber auch senkrecht zur Auflagefläche AF des Sensorkopfes SK mittels eines senkrechten Kanals in den Sensorkopf eingebracht werden und in die Nähe der Auflagefläche AF vorgeschoben werden, sodass das Sensorelement SE dann die magnetische Flussdichte B im Streufeld der Risse RI und/oder Vertiefungen in der Oberfläche des ferromagnetischen Materials FM erfasst. Das Sensorelement SE kann auch bis zur unmittelbaren Nähe der Auflagefläche AF des Sensorkopfes SK vorgeschoben werden, wobei dann aber das Problem auftaucht, dass die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung im Messbetrieb des Sensorkopfes SK durch eine Bewegung längs der Auflagefläche AF des Sensorkopfes SK steigt.

[0074] In dem zweiten Anwendungsbeispiel des Motors kann der Lichtwellenleiter LWL kann dabei parallel zur Achse AX des Motors eingebracht werden, wobei sich dann das Sensorelement SE bevorzugt im Streufeld des Luftspalts LS befindet. Der Lichtwellenleiter LWL kann aber auch senkrecht zur Rotationsachse AX mittels einer Bohrung in das Blechpaket des Stators zwischen die Nuten, in denen die Stäbe der Stator-Spulen SL eingelegt sind eingebracht und bis zum Luftspalt vorgeschoben werden, sodass das Sensorelement SE dann die magnetische Flussdichte B in einer Stator-Spule SL erfasst. Das Sensorelement SE kann auch bis in den Luftspalt vorgeschoben werden, wobei dann aber das Problem auftaucht, dass die Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung im Betrieb des Motors durch eine Bewegung oder Schwingung beweglicher Komponenten des Motors oder unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizienten steigt.

[0075] Sofern die Rückführung der Fluoreszenzstrahlung FL vom Sensorelement SE zum Fotodetektor PD separat von der Hinführung der Pumpstrahlung LB zum Sensorelement SE erfolgen soll, umfasst in diesem Fall die vorschlagsgemäße Vorrichtung, hier also beispielsweise der der Sensorkopf SK bzw. der Motor, bevorzugt einen zweiten Lichtwellenleiter LWL, der Fluoreszenzstrahlung FL des Sensorelements SE erfasst, und die Fluoreszenzstrahlung FL in Richtung des Fotodetektors PD transportiert.

[0076] Wie oben ausgeführt, ist jedoch bevorzugt der erste Lichtwellenleiter LWL mit dem zweiten Lichtwellenleiter LWL identisch. Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet im Folgenden einen solchen Lichtwellenleiter LWL als gemeinsamen Lichtwellenleiter LWL. Ein solche gemeinsamer Lichtwellenleiter LWL spart Kalibrationsaufwand und reduziert die Montagekomplexität und spart Material und ist daher vorteilhaft. Insbesondere werden die notwendigen Modifikationen an der vorschlagsgemäßen Vorrichtung, hier beispielhaft am Sensorkopf SK bzw. m Motor, selbst reduziert.

[0077] Der erste Lichtwellenleiter LWL weist ein erstes Ende und ein zweites Ende auf.

[0078] Der zweite Lichtwellenleiter LWL weist ebenfalls ein erstes Ende und ein zweites Ende auf. Der gemeinsame Lichtwellenleiter LWL weist ebenso ein erstes Ende und ein zweites Ende auf.

[0079] Das hier vorgelegte Dokument schlägt nun vor, das Sensorelement SE an dem ersten Ende des ersten Lichtwellenleiters LWL und/oder an dem ersten Ende des zweiten Lichtwellenleiters LWL und/oder an dem ersten Ende des gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL zu befestigen, um die optische Kopplung zwischen Lichtwellenleiter LWL und Sensorelement SE zu stabilisieren.

[0080] Wenn nun das erste Ende des ersten und/oder der zweiten oder des gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL von dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE umhüllt ist, ergibt sich eine besonders gute Stabilisierung dieser optischen Kopplung.

[0081] Bevorzugt bildet dabei eine erste Endfläche EF1 des ersten Endes des ersten und/oder der zweiten oder des gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL eine erste ebene Endfläche EF1. Bevorzugt bildet dabei eine erste Endfläche EF1 des ersten Endes des ersten und/oder der zweiten oder des gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL eine erste ebene Endfläche EF1 senkrecht zur Mittenlinie ML des Lichtwellenleiters LWL. Die Mittenlinie ML entspricht typischerweise der optischen Achse des Lichtwellenleiters LWL. Der Lichtwellenleiter LWL kann auch eine Form aufweisen. Eine solche ebene erste Endfläche EF1 ermöglicht eine verbesserte Auskopplung der elektromagnetischen Pumpstrahlung LB aus dem Lichtwellenleiter LWL und eine verbesserte optische Einkopplung der Fluoreszenzstrahlung FL in den Lichtwellenleiter LWL. Bevorzugt ist der Abstand eines oder bevorzugt mehrerer Diamanten DM von dieser ersten ebenen Endfläche EF1 kleiner als die Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und/oder besser kleiner als $\frac{1}{2}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{4}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{8}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{10}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{20}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{50}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{100}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{200}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{500}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{1000}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pm}

[0082] Die Mittenlinie ML, die eine gedachte Hilfskonstruktion zur Verdeutlichung des Sachverhalts ist, durchstößt die erste Endfläche EF1 an einem Mittelpunkt MP der ersten Endfläche EF1. Bei einem längsgestreckten Lichtwellenleiter LWL mit einem Lichtwellenleiterkern LWLC, also beispielsweise einer Glasfaser und/oder einer Gradientenglasfaser und/oder einer Monomodeglasfaser, ist bevorzugt die Dicke dl des Trägermaterials TM ist bevorzugt an diesem Mittelpunkt MP dicker ist als die Dicke dr an anderen Punkten der

ersten Endfläche EF1 des ersten Endes des ersten und/oder der zweiten oder des gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL. Dies hat den Vorteil, dass Licht durch die Grenzfläche Trägermaterial TM/ Luft in den Lichtwellenleiter LWL zurückgespiegelt wird und dass dann die Effizienz und der Wirkungsgrad steigt. Diese Anforderung kann durch ein selbstjustierendes Sensorelement SE besonders einfach erfüllt werden. Ein Herstellungsverfahren für ein solches Sensorelement SE, wie es das hier vorgelegte Dokument offenbart, erfüllt diese Anforderung typischerweise besonders einfach und kostengünstig. Die Erfüllung dieser Anforderung stellt im Falle eines einem längsgestreckten Lichtwellenleiters LWL mit einem Lichtwellenleiterkern LWLC, also beispielsweise einer Glasfaser und/oder einer Gradientenglasfaser und/oder einer Stufenindex- oder Gradientenindexfaser und/oder einer Monomodeglasfaser und/oder ein Lichtwellenleiter auf Basis eines photonischen Kristalls, sicher, dass zum Ersten eine optimale Auskopplung der Pumpstrahlung LB aus dem Lichtwellenleiterkern LWLC des Lichtwellenleiters LWL in das Trägermaterial TM des Sensorelements SE und damit in die im Trägermaterial TM eingebetteten Kristalle,, insbesondere die Diamanten DM, insbesondere die Diamant-Nano-Kristalle, die vorzugsweise die paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren aufweisen,

[0083] Bevorzugt formt daher das Trägermaterial TM am ersten Ende ELWL1 eine faserförmigen und/oder zylindrischen und längserstreckten Lichtwellenleiters LWL eine Linse LWLL aus. Der Durchmesser DLWLL der Linse LWLL ist typischerweise kleiner als der Durchmesser DLWL des solchen faserförmigen und/oder zylindrischen und längserstreckten Lichtwellenleiters LWL. Der Durchmesser DLWLL der Linse LWLL kann aber auch so groß wie der der Durchmesser DLWL eines solchen faserförmigen und/oder zylindrischen und längserstreckten Lichtwellenleiters LWL sein, was aber nach den Erfahrungen bei der Ausarbeitung der technischen Lehre dieses Dokuments nicht optimal ist.

[0084] Bevorzugt ist der der erste Lichtwellenleiter LWL im Bereich der Anwendungsvorrichtung, also hier beispielsweise im Falle des ersten Anwendungsbeispiels im Bereich des Sensorkopfes SK und/oder innerhalb Sensorkopfes SK und im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels im Bereich des Motors und/oder innerhalb des Motors, ganz oder teilweise durch eine mechanische Hülle MH umhüllt. Die mechanische Hülle MH kann dem Zweck des mechanischen Schutzes des ersten Lichtwellenleiter LWL und/oder der Abschirmung vor Umgebungslicht und/oder der Abschirmung vor externen magnetischen und/oder elektromagnetischen Feldern haben. Die mechanische Hülle MH kann das Sensorelement SE umschließen. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die zu erfassende Größe, innerhalb der mechanischen Hülle, beispielsweise in einem mikrofluidischen Funktionselement erzeugt wird.

[0085] Bevorzugt ist der der zweite Lichtwellenleiter LWL im Bereich im Bereich der Anwendungsvorrichtung, also hier beispielsweise im Falle des ersten Anwendungsbeispiels im Bereich des Sensorkopfes SK und/oder innerhalb Sensorkopfes SK und im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels im Bereich des Motors und/oder innerhalb des Motors, ganz oder teilweise ebenfalls durch eine zweite mechanische Hülle MH umhüllt. Die zweite mechanische Hülle MH kann dem Zweck des mechanischen Schutzes des zweiten Lichtwellenleiters LWL und/oder der Abschirmung vor Umgebungslicht und/oder der Abschirmung vor externen magnetischen und/oder elektromagnetischen Feldern haben.

[0086] Bevorzugt ist der der gemeinsame Lichtwellenleiter LWL im Bereich im Bereich der Anwendungsvorrichtung, also hier beispielsweise im Falle des ersten Anwendungsbeispiels im Bereich des Sensorkopfes SK und/oder innerhalb Sensorkopfes SK und im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels im Bereich des Motors und/oder innerhalb des Motors, ganz oder teilweise in gleicher Weise durch eine mechanische Hülle MH umhüllt.

[0087] Die mechanische Hülle MH stützt den jeweiligen Lichtwellenleiter LWL typischerweise mechanisch. Die mechanische Hülle MH stützt und schützt typischerweise den jeweiligen Lichtwellenleiter LWL gegen die rauen Bedingungen innerhalb und außerhalb der Anwendungsvorrichtung, also hier im ersten Anwendungsbeispiel des Sensorkopfes SK und im zweiten Anwendungsbeispiel des Motors.

[0088] Die mechanische Hülle MH sollte in thermisch und/oder chemischen belastenden Umgebungen innerhalb der Anwendungsvorrichtung, also beispielsweise im ersten Anwendungsbeispiel innerhalb des Sensorkopfes SK und im zweiten Beispiel innerhalb des Motors, in der Regel besondere Anforderungen hinsichtlich thermischer und chemischer Stabilität gegen Hitze und Betriebsflüssigkeiten erfüllen. Die mechanische Hülle MH ist daher bevorzugt aus Glas oder Keramik oder dergleichen gefertigt. Ganz besonders bevorzugt umfasst die mechanische Hülle ein mechanisch flexibles Material, beispielsweise ein Gewebe, beispielsweise ein Glasgewebe.

[0089] Die mechanische Hülle MH weist daher bevorzugt einen Keramikwerkstoff oder ein anderes nicht magnetisierbares und/oder elektrisch nichtleitendes Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 100°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 140°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 170°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 200°C stabiles Material oder umfasst diese oder besteht aus diesen im Extremfall. Hierdurch kann die jeweilige Anwendungsvorrichtung, hier beispielsweise in dem ersten Anwendungsbeispiel der Sensorkopf und im zweiten Anwendungsbeispiel der Motor, auch bei hohen externen und/oder internen Temperaturen eingesetzt werden. Im Falle des ersten Anwendungsbeispiels eines Sensorkopfes SK kann dies beispielsweise eine hohe Temperatur des ferromagnetischen Materials FM betreffen. Die mechanische Hülle MH kann also aus einem Keramikwerkstoff oder aus einem anderen nicht magnetisierbaren und/oder elektrisch nichtleitendes Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 100°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 140°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 170°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 200°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 250°C stabilen Material gefertigt sein.

[0090] Bevorzugt ist die mechanische Hülle MH zumindest abschnittsweise ein Rohr oder Röhrchen oder eine Kapillare oder eine Kanüle, in die der jeweilige Lichtwellenleiter LWL beispielsweise hineingeschoben sein kann. Dies vereinfacht die Fertigung des Systems aus Lichtwellenleiter LWL, Sensorelement SE und mechanischer Hülle MH. Der Innendurchmesser D_{ro} eines solchen Rohrs oder eines solchen Röhrchens oder einer solchen Kapillare oder einer solchen Kanüle ist bevorzugt nur ein wenig größer als der Durchmesser der Lichtwellenleiterlinse LWLL und der Durchmesser DLWL des Lichtwellenleiters LWL.

[0091] Um den Zutritt von Fremdlicht im Betrieb zum Sensorelement SE zu minimieren, ist es sinnvoll, wenn der erste Spalt zwischen dem Rand des Zutrittskanals des ersten Lichtwellenleiters LWL in der Anwendungsvorrichtung, im ersten Anwendungsbeispiel eines Sensorkopfes SK des Kanals KN und im zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors der ersten Öffnung OF, und dem ersten Lichtwellenleiter LWL mit einer optisch intransparenten Füllmasse FM ganz oder teilweise verschlossen ist.

[0092] Aus dem gleichen Grund ist es sinnvoll, wenn der zweite Spalt zwischen dem Rand des Zutrittskanals des zweiten Lichtwellenleiters LWL in der Anwendungsvorrichtung, im ersten Anwendungsbeispiel eines Sensorkopfes SK des Kanals KN und im zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors der ersten Öffnung OF, und dem zweiten Lichtwellenleiter LWL mit einer optisch intransparenten Füllmasse FM ganz oder teilweise verschlossen ist und/oder wenn der gemeinsame Spalt zwischen dem Rand des Zutrittskanals des gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL in der Anwendungsvorrichtung, im ersten Anwendungsbeispiel eines Sensorkopfes SK des Kanals KN und im zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors der ersten Öffnung OF, und dem gemeinsamen Lichtwellenleiter LWL mit einer optisch im Wesentlichen nicht transparenten Füllmasse FM ganz oder teilweise verschlossen ist. Die gemeinsame Füllmasse FM kann den jeweiligen Lichtwellenleiter am Gehäuse der Anwendungsvorrichtung, im ersten Anwendungsbeispiel des Sensorkopfes SK und im zweiten Anwendungsbeispiel des Motors, befestigen.

[0093] Bevorzugt ist die Vorrichtung dazu eingerichtet, den zeitlichen Werteverlauf der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL, insbesondere in Form eines Empfänger Ausgangssignals S₀ zu ermitteln. Des Weiteren ist die Vorrichtung vorzugsweise dazu eingerichtet, den zeitlichen Verlauf des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL aus dem zeitlichen Werteverlauf der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL, insbesondere aus dem Empfänger Ausgangssignal S₀ und insbesondere mittels eines Lock-In-Verstärkers LIV oder einer funktionsäquivalenten Teilvorrichtung, zu ermitteln.

[0094] Schließlich ist die Vorrichtung vorzugsweise dazu eingerichtet, in Abhängigkeit von dem ermittelten zeitlichen Verlauf des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL eine Anzeige oder eine andere Signalisierung vorzunehmen, um übergeordneten Systemen und/oder einem Benutzer einen Eingriff in Abhängigkeit von einer solchen Anzeige oder Signalisierung zu ermöglichen.

[0095] Im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors ist die Vorrichtung vorzugsweise dazu eingerichtet, in Abhängigkeit von dem ermittelten zeitlichen Verlauf des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL, die elektrische Bestromung von Spulen des Motors, insbesondere von Stator-Spulen SL des Motors und/oder die elektrische Bestromung von Rotor-Spulen des Motors und insbesondere mittels einer Halbbrückensteuerung CTRH im Zusammenwirken mit Halbbrücken HB zu steuern. Hierdurch ist es möglich, ohne das Magnetfeld des Motors durch Leitungen etc. zu modifizie-

ren und ohne Probleme mit der galvanischen Trennung das Magnetfeld im Motor zu erfassen und den Motor zu steuern.

[0096] Im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors weist der Motor typischerweise n Motorphasen (MPH_U , MPH_V , MPH_W) mit n als ganzer positiver Zahl größer 2 auf. In den Beispielen der Figuren weist der beispielhafte Motor $n=3$ Motorphasen auf. Die Vorrichtung bestromt mittels Halbbrücken HB jede dieser Motorphasen (MPH_H , MPH_V , MPH_W) mit einem jeweils zugehörigen Motorphasenstrom (I_{MPHU} , I_{MPHV} , I_{MPHW}). Typischerweise moduliert die Halbbrückensteuerung CTRH die Halbbrücken HB mit einem jeweiligen pulsmodulierten Steuersignal, das sie individuell für jede Motorphase jeweils erzeugt. Diese Motorphasenströme (I_{MPHU} , I_{MPHV} , I_{MPHW}) sind typischerweise zumindest zeitabschnittsweise periodisch mit einer Periode T . Bevorzugt ist jedem der Motorphasenströme (I_{MPHU} , I_{MPHV} , I_{MPHW}) ein Stromwinkel (Φ_{MPHU} , Φ_{MPHV} , Φ_{MPHW}) zugeordnet. Die Motorphasenströme können stets so in Form einer Folge von Motorphasenströme (I_{MPHU} , I_{MPHV} , I_{MPHW}) geordnet werden, dass ein vorausgehender Motorphasenstrom sich in seinem jeweiligen Stromwinkel von dem Stromwinkel des nachfolgenden Motorphasenstroms um $2\pi/n$ unterscheidet. Somit ist dann jedem Motorphasenstrom ein Motorphasenstromvektor zugeordnet, dessen Orientierung dem Stromwinkel des Motorphasenstroms und dessen Länge dem Betrag des Motorphasenstroms entspricht.

[0097] Vorzugsweise ist die vorschlagsgemäße Vorrichtung dazu eingerichtet, insbesondere mittels eines Hochpassfilters oder eines funktionsäquivalenten Filters, aus dem zeitlichen Verlauf des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL einen Wechselanteil und/oder Gleichanteil des zeitlichen Verlaufs des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL zu ermitteln.

[0098] Beispielsweise ermöglicht im zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors erst dieser Wechselanteil und insbesondere dessen Nulldurchgänge die Regelung der Kommutierung der Bestromung des Motors mittels einer Halbbrücke auf Basis der Intensität der Fluoreszenzstrahlung des Sensorelement SE mit den NV-Zentren NVZ.

[0099] Bevorzugt ist die Anwendungsvorrichtung im zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors dazu eingerichtet, insbesondere mittels eines zweiten Tiefpasses TP2, einen niederfrequenten Gleichanteil im zeitlichen Verlauf des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL zu ermitteln. Dieser Gleichanteil kann die Vorrichtung zur Überwachung des Sensorelements SE und der optischen Strecke nutzen und Abweichungen von Erwartungswerten feststellen. Hierzu vergleicht die Vorrichtung den Wert des Gleichanteils mit einem Erwartungswertintervall. Liegt der Wert des Gleichanteils außerhalb des Erwartungswertintervalls, so schließt die Vorrichtung bevorzugt auf einen Fehler und löst entsprechende Maßnahmen aus. Eine solche Maßnahme kann beispielsweise sein, dass die Halbbrückensteuerung CTRH über einen externen Datenbus EXTDB eine Signalisierung an ein übergeordnetes Rechnersystem übermittelt, das dann alles Weitere veranlasst.

[0100] Bevorzugt weist die Anwendungsvorrichtung, im zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors die Halbbrückensteuerung CTRH, einen Rechnerkern mit einem nichtflüchtigen Speicher, einen typischerweise flüchtigen Schreib/Lese-Speicher, eine Reset-Schaltung, einen Taktgenerator mit einem Taktsystem, der in dem zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors zur Versorgung der Halbbrückensteuerung mit einem Betriebstakt dient, eine Datenbusschnittstelle zu externen Datenbus EXTDB, einen internen Datenbus zur datentechnischen Verbindung dieser Komponenten und eine Spannungsversorgung sowie ggf. weitere übliche Prozessorkomponenten auf. In dem zweiten Anwendungsbeispiel weist die beispielhafte Anwendungsvorrichtung vorzugsweise beispielsweise eine Schnittstelle zur Steuerung der Halbbrücken zur Ansteuerung des Motors auf. Bevorzugt versorgt die Spannungsversorgung auch die anderen Vorrichtungsteile mit elektrischer Energie aus einer positiven und einer negativen Versorgungsspannungsleitung. Bevorzugt stellt die Spannungsversorgung auch die Bezugspotenzialleitung GND bereit.

[0101] Vorzugsweise führt der Rechnerkern der Anwendungsvorrichtung ein Anwendungsprogramm aus, dessen Programmcode sich in einem dieser Speicher der Anwendungsvorrichtung befindet. Dieses Anwendungsprogramm kann Teile der hier beschriebenen Signalverarbeitungskomponenten emulieren. Dieses Anwendungsprogramm kann beispielsweise die hier beschriebenen Hochpassfilter und/oder Tiefpassfilter und/oder Synchrondemodulatoren und/oder deren funktionsäquivalente Implementierungen emulieren.

[0102] Bevorzugt ist die Vorrichtung dazu eingerichtet, diesen niederfrequenten Gleichanteil im zeitlichen Verlauf des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL von dem zeitlichen Verlauf des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung

lung FL abzutrennen und so den Wechselanteil des zeitlichen Verlaufs des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL zu ermitteln. Im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors kann die Anwendungsvorrichtung auf diese Weise ein Signal bereitstellen, das zur Steuerung der Kommutierung der Halbbrücken in der beispielhaften Anwendungsvorrichtung im zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors geeignet ist.

[0103] Eine beispielhafte Anwendung des vorschlagsgemäßen Lichtwellenleiters LWL des ersten Anwendungsbeispiels eines Sensorkopfes SK ist die Vermessung eines Magnetfelds eines ferromagnetischen Materials FM.

[0104] Bevorzugt ist die Anwendungsvorrichtung im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors daher dazu eingerichtet, einen Nulldurchgang des Wechselanteils des zeitlichen Verlaufs des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL zu ermitteln. Die Detektion des Nulldurchgangs hat den Vorteil, dass Schwankungen der Amplitude des Signals etc. für den Nulldurchgang unerheblich sind. Ein solches Signal eignet sich daher besser für die Steuerung der Kommutierung eines Motors.

[0105] Des Weiteren ist die Anwendungsvorrichtung im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors vorzugsweise dazu eingerichtet, in einem zeitlichen Zusammenhang mit dem ermittelten Nulldurchgang des Wechselanteils des zeitlichen Verlaufs des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL eine Kommutierung der elektrischen Bestromung von Spulen des Motors, insbesondere von Stator-Spulen SL des Motors und/oder die elektrische Bestromung von Rotor-Spulen des Motors und insbesondere mittels einer Halbbrückensteuerung CTRH im Zusammenwirken mit Halbbrücken HB, durchzuführen.

[0106] Schließlich ist die Anwendungsvorrichtung im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors vorzugsweise dazu eingerichtet,

1. einen oder mehrere Spannungswerte einer oder mehrerer Motorphasenspannungen (V_{MPHU} , V_{MPHV} , V_{MPHW}) einer oder mehrerer Motorphasen (MPH_H , MPH_V , MPH_W) der Motorphasen MPH gegen eine oder mehrere von dieser Motorphase verschiedenen Motorphasen (MPH_H , MPH_V , MPH_W) der Motorphasen MPH und/oder gegen ein Bezugspotenzial GND zu ermitteln, und/oder
2. einen oder mehrere Stromwerte einer oder mehrerer Motorphasenströme (I_{MPHU} , I_{MPHV} , I_{MPHW}) einer oder mehrerer Motorphasen (MPH_H , MPH_V , MPH_W) der Motorphasen MPH zu ermitteln und/oder
3. einen oder mehrere Summenstromwerte eines oder mehrerer Summenströme mehrerer Motorphasenströme (I_{MPHU} , I_{MPHV} , I_{MPHW}) mehrerer Motorphasen (MPH_U , MPH_V , MPH_W) der Motorphasen MPH, insbesondere einen Sternpunktstrom von einem Sternpunkt von Spulen des Motors zu einem Referenzknoten oder einem Bezugspotenzialknoten GND,

zu ermitteln.

[0107] In der Folge ist die Anwendungsvorrichtung im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors bevorzugt dazu eingerichtet, eine Information über den Nulldurchgang des Wechselanteils des zeitlichen Verlaufs des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL als erstem Regelparameter einerseits zu ermitteln.

[0108] Des Weiteren ist die Anwendungsvorrichtung im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors bevorzugt dazu eingerichtet,

1. mit dem einen Spannungswert einer Motorphasenspannung der Motorphasenspannungen (V_{MPHU} , V_{MPHV} , V_{MPHW}) einer Motorphase der Motorphasen (MPH_H , MPH_V , MPH_W) und/oder
2. mit mehreren Spannungswerten der mehreren Spannungswerte mehrerer Motorphasenspannungen (V_{MPHU} , V_{MPHV} , V_{MPHW}) mehrerer Motorphasen (MPH_H , MPH_V , MPH_W) und/oder
3. mit dem einen Stromwert eines Motorphasenstroms der Motorphasenströme (I_{MPHU} , I_{MPHV} , I_{MPHW}) einer Motorphase der Motorphasen (MPH_H , MPH_V , MPH_W) und/oder
4. mit mehreren Stromwerten der Stromwerte mehrerer Motorphasenströme der Motorphasenströme (I_{MPHU} , I_{MPHV} , I_{MPHW}) mehrerer Motorphasen der Motorphasen (MPH_U , MPH_V , MPH_W) und/oder

5. mit dem einen Summenstromwert eines Summenstroms mehrerer Motorphasenströme der Motorphasenströme (I_{MPHU} , I_{MPHV} , I_{MPHW}) mehrerer Motorphasen der Motorphasen (MPH_U , MPH_V , MPH_W) und/oder

6. mit mehreren Summenstromwerten mehrerer Summenströme der Summenströme mehrerer Motorphasenströme der Motorphasenströme (I_{MPHU} , I_{MPHV} , I_{MPHW}) mehrerer Motorphasen der Motorphasen (MPH_H , MPH_V , MPH_W)

als zweitem Regelparameter andererseits mit dem ersten Regelparameter zu kombinieren.

[0109] Dabei ist die die Anwendungsvorrichtung im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors bevorzugt dazu eingerichtet, den Zeitpunkt der Kommutierung der Bestromung von Spulen des Motors, insbesondere von Stator-Spulen SL und/oder insbesondere von Rotor-Spulen des Motors, in Abhängigkeit vom ersten Regelparameter und von einem solchen zweiten Regelparameter zu ändern.

[0110] Vorzugsweise ist darüber hinaus die die Anwendungsvorrichtung im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors dazu eingerichtet, aus dem ersten Regelparameter und dem zweiten Regelparameter auf eine Position des magnetischen Feldes mit der Flussdichte B im Luftspalt LS des Motors relativ zu einem oder mehreren Motorphasenstromvektoren der Motorphasenströme (I_{MPHU} , I_{MPHV} , I_{MPHW}) zu schließen und einen räumlichen Winkelwert des Winkels zwischen der Position des Sensorelements als Referenzposition einerseits und der Richtung eines oder mehrerer Motorphasenstromvektoren der Motorphasenströme (I_{MPHU} , I_{MPHV} , I_{MPHW}) zum Zeitpunkt des Nulldurchgangs Nulldurchgang des Wechselanteils des zeitlichen Verlaufs des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL andererseits zu ermitteln.

[0111] Darüber hinaus ist eine Sensor-Fusion hier sinnvoll.

[0112] Bevorzugt umfasst die vorgeschlagene die Anwendungsvorrichtung im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors einen Positionssensor POS. Vorzugsweise ist die Vorrichtung dazu eingerichtet, mittels dieses Positionssensors POS eine Positionsinformation POSS zu ermitteln und eine Information über den Nulldurchgang des Wechselanteils des zeitlichen Verlaufs des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL als erstem Regelparameter einerseits mit der Positionsinformation als zweitem Regelparameter andererseits zu kombinieren. In dem Fall ist die Anwendungsvorrichtung des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors vorzugsweise dazu eingerichtet, den Zeitpunkt der Kommutierung der Bestromung von Spulen des Motors, insbesondere von Stator-Spulen SL und/oder insbesondere von Rotor-Spulen, in Abhängigkeit vom ersten Regelparameter und von einem solchen zweiten Regelparameter zu ändern, um insbesondere auf die Position des magnetischen Feldes B im Luftspalt LS relativ zu einem oder mehreren Motorphasenstromvektoren der Motorphasenströme (I_{MPHU} , I_{MPHV} , I_{MPHW}) zuzuschließen.

[0113] In einer anderen Variante ist die Anwendungsvorrichtung des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors bevorzugt dazu eingerichtet, aus dem ersten Regelparameter und dem zweiten Regelparameter auf eine Position des magnetischen Feldes mit der Flussdichte B im Luftspalt LS des Motors relativ zur Position des Rotors (GHR, PM, RMK) zu schließen. In einer anderen Variante ist die die Anwendungsvorrichtung des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors bevorzugt somit dazu eingerichtet, dann einen räumlichen Winkelwert des Winkels zwischen der Position des Sensorelements als Referenzposition einerseits und der räumlichen Position des Rotors zum Zeitpunkt des Nulldurchgangs Nulldurchgang des Wechselanteils des zeitlichen Verlaufs des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL andererseits zu ermitteln.

[0114] Die Anwendungen der hier dargestellten technischen Lehre sind hierauf aber nicht beschränkt. Das hier vorgelegte Dokument schlägt für solche und andere Anwendungen mit ähnlichen Messaufgaben einen Lichtwellenleiter LWL mit dem Sensorelement SE vor. Dabei weist das Sensorelement SE ein Trägermaterial TM auf, in dem eine Vielzahl von Diamanten DM eingebettet sind. Ein oder mehrere oder alle Diamanten DM dieser Diamanten DM weisen dabei ein oder mehrere NV-Zentren NVZ und/oder ein oder mehrere andere paramagnetischen Zentren auf. Die NV-Zentren NVZ des Sensorelements SE und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements SE emittieren bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL.

[0115] Das Besondere des in dem hier vorgelegten Dokument vorgeschlagenen Lichtwellenleiter LWL ist, dass das Trägermaterial TM bevorzugt ein mittels elektromagnetischer Strahlung ausgehärtetes Trägermate-

rial TM ist und dass das Trägermaterial TM nach dem Aushärten für Strahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB, mit der die NV-Zentren NVZ und/oder die anderen paramagnetischen Zentren gepumpt werden, im Wesentlichen transparent ist. Im Wesentlichen bedeutet dabei, dass die unzweifelhaft auftretenden Verluste immer noch so gering sind, dass die Funktionsfähigkeit der Vorrichtung der betreffenden Anwendung immer noch gegeben ist. In gleicherweise sollte das Trägermaterial TM für Strahlung mit einer Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung LB der NV-Zentren NVZ bzw. paramagnetischer Zentren im Wesentlichen transparent sein. Im Wesentlichen bedeutet dabei wiederum, dass die unzweifelhaft auftretenden Verluste immer noch so gering sind, dass die Funktionsfähigkeit der Vorrichtung der betreffenden Anwendung immer noch gegeben ist.

[0116] Die hier vorgelegte Schrift schlägt als erstes Anwendungsbeispiel eine Vorrichtung zur Erfassung der magnetischen Flussdichte B in einem Kanal KN eines Sensorkopfes SK und/oder im Streufeld BSTR eines Permanentmagneten PM des Sensorkopfes SK vor. Der Sensorkopf SK des ersten Anwendungsbeispiels weist bevorzugt ein Sensorelement SE mit einem Trägermittel TM auf.

[0117] In das Trägermittel TM eines vorschlagsgemäßen Sensorelements SE sind entsprechend der technischen Lehre des hier vorgelegten Dokument vorzugsweise eine Vielzahl von Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristalle eingebettet. Bevorzugt umfasst das Trägermaterial TM Glas und/oder einen ausgehärteten Kunststoff. Das Trägermaterial TM fixiert die Diamanten DM und/oder Kristalle gegenüber dem ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL und verhindert eine Repositionierung der Diamanten DM und/oder Kristalle. Bevorzugt ist das Trägermaterial TM nach der Verfestigung im Herstellungsprozess für Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB und für Strahlung mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren NVZ bzw. paramagnetischen Zentren in den Diamanten DM bzw. Nanodiamanten und/oder Kristalle im Wesentlichen transparent. Einer oder mehrere oder alle Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristalle dieser Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristalle weisen typischerweise NV-Zentren NVZ und/oder paramagnetische Zentren auf.

[0118] In einer beispielhaften Variante der Anwendungsvorrichtung des ersten Anwendungsbeispiels eines Sensorkopfes SK wirkt die magnetische Flussdichte B im Streufeld BSTR des Magnetfelds des beispielhaften Permanentmagneten PM auf die NV-Zentren NVZ bzw. die paramagnetischen Zentren im Sensorelement SE des Sensorkopfes SK ein.

[0119] Typischerweise bewirkt die magnetische Flussdichte B, die das Trägermaterial TM des Sensorkopfes mit den paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren NVZ durchdringt, eine Reduktion der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren NVZ bzw. paramagnetischen Zentren im Sensorelement SE.

[0120] In einer beispielhaften Variante der Anwendungsvorrichtung des ersten Anwendungsbeispiels eines Sensorkopfes SK besitzt das Sensorkopfgehäuse GH vorzugsweise einen ersten Kanal KN für die Zuführung von Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle PL zu dem Sensorelement SE über einen Lichtwellenleiter LWL oder über dergleichen optischen System.

[0121] In einer beispielhaften Variante der Anwendungsvorrichtung des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors besitzt das Gehäuse GH des Motors vorzugsweise eine erste Öffnung OF für die Zuführung von Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle PL zu dem Sensorelement SE über einen Lichtwellenleiter LWL oder über dergleichen optisches System.

[0122] Die Pumpstrahlung LB besitzt im Falle von NV-Zentren in Diamant als paramagnetischen Zentren innerhalb des Trägermaterials TM des Sensorelements SE bevorzugt eine Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} in einem Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm Wellenlänge und/oder besser 450 nm bis 650 nm und/oder besser 500 nm bis 550 nm und/oder besser 515 nm bis 540 nm aufweisen. Bevorzugt ist dabei eindeutig eine Wellenlänge von 532 nm als Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Im Falle von NV-Zentren in Diamant oder in Diamanten als paramagnetischen Zentren innerhalb des Trägermaterials TM des Sensorelements SE ist eine Laser-Diode der Fa. Osram vom Typ PLT5 520B beispielsweise als Pumpstrahlungsquelle PL mit 520nm Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} geeignet. Die NV-Zentren NVZ des Sensorelements SE emittieren dann typischerweise bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB der oben beschriebenen Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} eine Fluoreszenzstrahlung FL mit einer typischen Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} von ca. 637nm bei NV-Zentren NVZ.

[0123] Andere Wellenlängen können durch plasmonische Kopplung mit zusätzlich im Trägermaterial TM eingebetteten metallischen Nanokristallen in dem Trägermaterial TM erreicht werden. Die optischen Eigenschaften

ten der NV-Zentren NVZ bzw. paramagnetischen Zentren im Sensorelement SE können durch Kombination der Nanodiamanten bzw. Diamanten DM im Trägermaterial TM des Sensorelements SE mit metallischen Nanopartikeln modifiziert werden.

[0124] In einer beispielhaften Variante der Anwendungsvorrichtung des ersten Anwendungsbeispiels eines Sensorkopfes SK weist das Sensorkopfgehäuse GH bevorzugt einen zweiten Kanal KN für den Austritt von Fluoreszenzstrahlung FL des Sensorelements SE zu einem Fotodetektor PD hin auf.

[0125] In einer beispielhaften Variante der Anwendungsvorrichtung des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors weist das Gehäuse GH des Motors bevorzugt einen zweiten Kanal KN für den Austritt von Fluoreszenzstrahlung FL des Sensorelements SE zu einem Fotodetektor PD hin auf.

[0126] Die vorgeschlagene Vorrichtung weist darüber hinaus vorzugsweise eine Teilvorrichtung, insbesondere einen dichroitischen Spiegel F1 und/oder einen Filter F1, auf, um die Fluoreszenzstrahlung FL von der Pumpstrahlung LB zu trennen, sodass im Wesentlichen nur Fluoreszenzstrahlung FL und möglichst keine Pumpstrahlung LB auf den Fotodetektor PD fällt. Diese Teilvorrichtung in Form eines Filters F1 oder dichroitischen Spiegel lässt bevorzugt die Passage von Strahlung mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_f der Fluoreszenzstrahlung FL - z.B. 637nm bei NV-Zentren NVZ mit einem Phononenseitenband von 637nm bis 850 nm bei NV-Zentren NVZ - in Richtung des Fotodetektors PD passieren, während es die Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle PL und somit die modulierte Pumpstrahlung LB nicht passieren lässt oder so führt, dass sie den Fotodetektor PD nicht trifft oder beeinflusst. Der Fotodetektor PD wandelt das Intensitätssignal der Fluoreszenzstrahlung FL in ein Empfänger Ausgangssignal S0. Die Vorrichtung wertet das Empfänger Ausgangssignal S0 aus,

[0127] Im Falle der Anwendungsvorrichtung des ersten Anwendungsbeispiels eines Sensorkopfes SK kann die Anwendungsvorrichtung das Empfänger Ausgangssignal S0 auswerten, um Informationen über die Werte magnetischer Materialparameter des Materials an der Oberfläche OF eines Werkstücks zu erlangen und/oder Informationen zu erlangen, die diese Information umfassen. Vorzugsweise umfasst das Material des Werkstücks in der Nähe der Oberfläche OF ein ferromagnetisches Material FMM.

[0128] Im Falle der Anwendungsvorrichtung des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors kann die Anwendungsvorrichtung das Empfänger Ausgangssignal S0 auswerten, um Informationen über die Rotorposition und/oder die tatsächliche Position des Magnetfelds im Luftspalt LS des Motors und/oder den Zustand des Motors und/oder seiner Ansteuerungsvorrichtung und/oder seiner mechanischen Belastung (d.h. das anliegende Drehmoment) zu erlangen und/oder Informationen zu erlangen, die diese Information umfassen.

[0129] Die vorgeschlagene Vorrichtung hat den Vorteil, dass das Magnetfeld in der Anwendungsvorrichtung, d.h. im ersten Anwendungsbeispiel das Magnetfeld des Permanentmagnete PM und des ferromagnetischen Materials FM des Werkstücks und im zweiten Anwendungsbeispiel das Magnetfeld im Luftspalt LS des Motors, durch Zuleitungen wie z.B. bei der Magnetfeldmessung mit Hall-Sensoren nicht gestört wird.

[0130] Des Weiteren ist das Sensorelement SE vollkommen diamagnetisch. Eine Rückwirkung von Feldern innerhalb der Anwendungsvorrichtung und/oder aus dem Umfeld der Anwendungsvorrichtung auf die Auswertelektronik des Sensorsystems über das Sensorelement SE und den Sensorkopf SK und den Lichtwellenleiter LWL ist wegen der galvanischen Trennung sehr unwahrscheinlich.

[0131] Im Falle einer Anwendungsvorrichtung des ersten Anwendungsbeispiels eines Sensorkopfes SK ist eine Rückwirkung von Feldern innerhalb des Sensorkopfes SK und/oder aus dem Umfeld des Sensorkopfes SK - beispielsweise des Werkstücks - auf die Auswertelektronik des Sensorsystems über das Sensorelement SE und den Sensorkopf SK und den Lichtwellenleiter LWL ist wegen der galvanischen Trennung sehr unwahrscheinlich.

[0132] Im Falle einer Anwendungsvorrichtung des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors ist eine Rückwirkung von Feldern innerhalb des Motors und/oder aus dem Umfeld des Motors - beispielsweise von Rotor- oder Stator-Spannungen und-Strömen - auf die Auswertelektronik des Sensorsystems über das Sensorelement SE und den Sensorkopf SK und den Lichtwellenleiter LWL ist wegen der galvanischen Trennung sehr unwahrscheinlich.

[0133] Dadurch kann das System auch in Anwendungsvorrichtungen in Hochspannungsteilvorrichtungen, die auf sehr hohen elektrischem Potenzial liegen, eingesetzt werden.

[0134] Beispielsweise kann das System in einer Anwendungsvorrichtung des ersten Anwendungsbeispiels eines Sensorkopfes SK auch in Hochspannungssystemen mit Werkstücken, die auf sehr hohen elektrischem Potenzial liegen, eingesetzt werden.

[0135] Beispielsweise kann das System in einer Anwendungsvorrichtung des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors auch in Hochspannungssystemen Motorkomponenten, die auf sehr hohen elektrischem Potenzial liegen, eingesetzt werden.

[0136] Dies sind wesentliche Vorteile eines vorschlagsgemäßen Sensorelements SE. Ganz besonders vorteilhaft ist die erzielbare geringe Größe bei gleichzeitiger Präzision der Positionierung.

[0137] Auch ist es denkbar, dass das die Anwendungsvorrichtung, also z.B. der Sensorkopf SK bzw. der Motor, und/oder die Umgebung der Anwendungsvorrichtung, also z.B. das Werkstück bzw. die Umgebung des Motors, im Vergleich zu den Betriebsbedingungen von Halbleitern sehr heiß oder sehr kalt sind. Ein Temperaturbereich von 0°C bis 80°C ist möglich. Bei entsprechender Ausgestaltung des Sensorkopfes, des Lichtwellenleiters LWL, der mechanischen Hülle MH, des Trägermaterials TM und des Materials des Sensorkopfgehäuses GH sind Temperaturen bis 700°C und bis zum absoluten Nullpunkt für das Werkstück und das ferromagnetische Material FM denkbar. Systeme aus dem Stand der Technik zeigen dies nicht

[0138] Bevorzugt befinden sich NV-Zentren NVZ bzw. die paramagnetischen Zentren des Sensorelements SE im ersten Anwendungsbeispiel eines Sensorkopfes SK nicht im Streufeld BSTR des Permanentmagneten PM und im zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors nicht im Streufeld BSTR des Luftspalts LS.

[0139] Bevorzugt sind die Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristalle im Trägermaterial TM im Wesentlichen zueinander unterschiedlich mit einer jeweils im Wesentlichen unterschiedlichen Orientierung orientiert. Dies hat den fertigungstechnischen Vorteil, dass eine Ausrichtung der Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristalle nicht mehr notwendig ist und die das Herstellverfahren zur Herstellung des Sensorelements SE beispielsweise Diamantpulver und/oder Kristallpulver mit einer sehr großen Anzahl sehr kleiner Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristalle verwenden kann.

[0140] Ein Sensorelement SE mit einer solchen ungeordneten Vielzahl von Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder einer solchen ungeordneten Vielzahl von Kristallen hat den Vorteil, dass die Messung der magnetischen Flussdichte B isotrop ist.

[0141] Das bedeutet, dass das Sensorelement SE nur den Betrag der magnetischen Flussdichte B erfasst, nicht jedoch die Richtung. Dies hat den Vorteil, dass eine Ausrichtung des Sensorelements SE und des Lichtwellenleiters LWL im Sensorkopf SK nicht mehr notwendig ist. Die Montage eines solchen Sensorelements SE können Hilfskräfte oder wenig präzise maschinelle Vorrichtungen übernehmen, die das Sensorelement SE mit dem Lichtwellenleiter LWL nur in einen dafür vorgesehenen Kanal KN im Sensorkopfgehäuse GH stecken und dort beispielsweise mittels Klebung oder Verschraubung befestigen müssen. Hierdurch sinken die Fertigungskosten für einen solchen Sensorkopf SK drastisch. Der Cpk-Wert einer auf einem solchen Fertigungsverfahren beruhenden Serienfertigung steigt dramatisch an, was entsprechend niedrige Kostenpositionen ermöglicht. Um die räumliche Isotropie zu erreichen, ist es daher vorteilhaft, wenn die Orientierung der Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristalle stochastisch im Sensorelement SE im Wesentlichen gleichverteilt ist.

[0142] Im Zuge der Ausarbeitung der technischen Lehre dieses Dokuments hat die Anmelderin erkannt, dass es entsprechend den vorausgehenden Ausführungen auch vorteilhaft sein kann, wenn das Sensorelement SE in bestimmten Sonderfällen im ersten Anwendungsbeispiel eines Sensorkopfes SK doch im Streufeld BSTR des Permanentmagneten PM und im zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors doch im Streufeld BSTR des Luftspalts LS befindet.

[0143] Um die Anzahl der Lichtwellenleiter LWL zu minimieren und die Modifikationen an der Anwendungsvorrichtung, hier im ersten Anwendungsbeispiel am Sensorkopf SK und im zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors am Motor, gering zu halten, ist es vorteilhaft einen einzigen Lichtwellenleiter LWL für die Zuführung der Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle PL zum Sensorelement SE und für die Rückführung der Fluoreszenzstrahlung FL vom Sensorelement SE zum Fotodetektor PD zu benutzen.

[0144] In dem Fall ist nur ein einziger Kanal KN bzw. nur eine einzige Öffnung OF in der Anwendungsvorrichtung, hier im ersten Anwendungsbeispiel in dem Sensorkopf SK und im zweiten Anwendungsbeispiel eines

Motors in dem Motor, für die Montage des Lichtwellenleiters LWL im Gehäuse GH der Anwendungsvorrichtung, hier im ersten Anwendungsbeispiel im Sensorkopfgehäuse GH und im zweiten Anwendungsbeispiel im Gehäuse GH des Motors, notwendig, sodass dann der erste Kanal KN mit dem zweiten Kanal KN bzw. die erste Öffnung OF und die zweite Öffnung OF identisch sind. Der folgende Text bezeichnet dann einen solchen Kanal KN als gemeinsamen Kanal KN und eine solche Öffnung OF als gemeinsame Öffnung OF.

[0145] Somit umfasst die vorschlagsgemäße Anwendungsvorrichtung, in dem ersten Anwendungsbeispiel der vorschlagsgemäße Sensorkopf SK und in dem zweiten Anwendungsbeispiel der Motor, ein Sensorelement SE mit einer Vielzahl von Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristallen mit NV-Zentren NVZ und/oder anderen paramagnetischen Zentren in einem Trägermaterial TM und einen ersten Lichtwellenleiter LWL, an dem das Sensorelement SE befestigt ist. Der Lichtwellenleiter LWL transportiert die Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle PL zu dem Sensorelement SE, sodass die Pumpstrahlung LB das Sensorelement SE bestrahlt und die NV-Zentren NVZ bzw. die paramagnetischen Zentren des Sensorelements SE Fluoreszenzstrahlung FL abgeben. Der Lichtwellenleiter LWL erfasst diese Fluoreszenzstrahlung FL und transportiert die Fluoreszenzstrahlung FL in Richtung auf den Fotodetektor PD zurück.

[0146] Der Lichtwellenleiter LWL kann in der Anwendungsvorrichtung des ersten Anwendungsbeispiels eines Sensorkopfes SK dabei parallel oder senkrecht zur Achse AX des Permanentmagneten PM im Sensorkopf SK eingebracht werden, wobei sich dann das Sensorelement SE bevorzugt im Streufeld BSTR des Permanentmagneten PM befindet.

[0147] Der Lichtwellenleiter LWL kann in der Anwendungsvorrichtung des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors dabei parallel oder senkrecht zur Achse AX Motors im Luftspalt LS des Motors eingebracht werden, wobei sich dann das Sensorelement SE bevorzugt im Streufeld BSTR im Luftspalt LS des Motors befindet.

[0148] Sofern die Rückführung der Fluoreszenzstrahlung FL vom Sensorelement SE zum Fotodetektor PD separat von der Hinführung der Pumpstrahlung LB zum Sensorelement SE erfolgen soll, umfasst in diesem Fall die Anwendungsvorrichtung, im ersten Anwendungsbeispiel eines Sensorkopfes SK der Sensorkopf SK im zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors der Motor, bevorzugt einen zweiten Lichtwellenleiter LWL, der Fluoreszenzstrahlung FL des Sensorelements SE erfasst, und die Fluoreszenzstrahlung FL in Richtung des Fotodetektors PD transportiert.

[0149] Wie oben ausgeführt, ist jedoch bevorzugt der erste Lichtwellenleiter LWL mit dem zweiten Lichtwellenleiter LWL identisch. Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet im Folgenden einen solchen Lichtwellenleiter LWL als gemeinsamen Lichtwellenleiter LWL. Ein solche gemeinsamer Lichtwellenleiter LWL spart Kalibrationsaufwand und reduziert die Montagekomplexität und spart Material und ist daher vorteilhaft.

[0150] Insbesondere reduziert ein gemeinsamer Lichtwellenleiter LWL die notwendigen Modifikationen an der Anwendungsvorrichtung, im ersten Anwendungsbeispiel eines Sensorkopfes SK an dem Sensorkopf SK im zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors an dem Motor.

[0151] Der erste Lichtwellenleiter LWL weist ein erstes Ende ELWL1 und ein zweites Ende ELWL2 auf. Der zweite Lichtwellenleiter LWL weist ebenfalls ein erstes Ende ELWL1 und ein zweites Ende ELWL2 auf. Der gemeinsame Lichtwellenleiter LWL weist ebenso ein erstes Ende ELWL1 und ein zweites Ende ELWL2 auf.

[0152] Das hier vorgelegte Dokument schlägt nun vor, das Sensorelement SE an dem ersten Ende ELWL1 des ersten Lichtwellenleiters LWL und/oder zweiten Lichtwellenleiters LWL oder des gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL zu befestigen, um die optische Kopplung zwischen Lichtwellenleiter LWL und Sensorelement SE zu stabilisieren.

[0153] Ein Lichtwellenleiter LWL im Sinne dieses Dokuments kann die Form eines Zylinders, insbesondere eines langgestreckten Zylinders wie die einer Glasfaser, oder eines Polyeder oder eines Parallelepipeds oder eines Quaders oder eines Prismas oder eine andere geometrische Form aufweisen.

[0154] Das erste Ende ELWL1 eines Lichtwellenleiters LWL umfasst im Sinne des hier vorgestellten Dokuments eine Endfläche EF, die Teilfläche der Außenfläche des Lichtwellenleiters LWL ist, aus der die Pumpstrahlung LB in das Trägermaterial TM des Sensorelements SE austritt und/oder in die die Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren NVZ der Diamanten bzw. Nanodiamanten und/oder Kristalle des Trägermaterials TM in den Lichtwellenleiter LWL eintritt.

[0155] Das zweite Ende ELWL2 eines Lichtwellenleiters LWL umfasst im Sinne des hier vorgestellten Dokuments eine Endfläche EF, die Teilfläche der Außenfläche des Lichtwellenleiters LWL ist, in die die Pumpstrahlung LB in den Lichtwellenleiter LWL eintritt austritt und/oder aus der die Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren NVZ der Diamanten bzw. Nanodiamanten und/oder Kristalle des Trägermaterials TM wieder aus dem Lichtwellenleiter LWL austritt.

[0156] Das zweite Ende ELWL2 eines Lichtwellenleiters LWL und das erste Ende ELWL1 eines Lichtwellenleiters LWL müssen nicht unbedingt planparallel zueinander ausgerichtete Endflächen EF umfassen. Optische Funktionselemente des Lichtwellenleiters LWL können innerhalb des Lichtwellenleiters LWL das Licht geeignet umlenken.

[0157] Solche optischen Funktionselemente können spiegelnde Außenflächen des Lichtwellenleiters und/oder mikrooptischen Funktionselemente wie Mikrolinsen und/oder holographische Strukturen, insbesondere spiegelnde holographische Strukturen und/oder Diffusoren und/oder digitaloptische Funktionselemente wie Fresnellinsen etc. umfassen. Vorzugsweise befinden sich diese optischen und mikrooptischen Funktionselemente auf Teilerflächen des Lichtwellenleiters LWL.

[0158] Wenn nun beispielsweise das erste Ende ELWL1 des ersten und/oder der zweiten oder des gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL von dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE umhüllt ist, ergibt sich eine besonders gute Stabilisierung dieser optischen Kopplung.

[0159] Bevorzugt bildet im Falle eines langgestreckten Lichtwellenleiters dabei die Endfläche EF des ersten Endes ELWL1 des ersten und/oder der zweiten oder des gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL eine ebene Endfläche EF senkrecht zur Mittenlinie ML des Lichtwellenleiters LWL. Die Mittellinie ML entspricht typischerweise der optischen Achse des Lichtwellenleiters LWL.

[0160] Eine solche ebene Endfläche EF im Falle eines langgestreckten Lichtwellenleiters ermöglicht eine verbesserte Auskopplung der elektromagnetischen Pumpstrahlung LB aus dem Lichtwellenleiter LWL und eine verbesserte optische Einkopplung der Fluoreszenzstrahlung FL in den Lichtwellenleiter LWL. Bevorzugt ist der Abstand eines oder bevorzugt mehrerer Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder eines oder mehrerer Kristalle im Trägermaterial TM des Sensorelements SE von dieser ebenen Endfläche EF kleiner als die Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und/oder besser kleiner als $\frac{1}{2}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{4}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{8}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{10}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{20}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{50}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{100}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{200}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{500}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{1000}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} .

[0161] Im Falle eines langgestreckten Lichtwellenleiters LWL durchstößt die Mittenlinie ML, die eine gedachte Hilfskonstruktion zur Verdeutlichung des Sachverhalts ist, die Endfläche EF an einem Mittelpunkt MP der Endfläche EF. Die Dicke d_i des Trägermaterials TM ist im Falle eines langgestreckten Lichtwellenleiters LWL bevorzugt an diesem Mittelpunkt MP dicker ist als die Dicke d_r an anderen Punkten der Endfläche EF des ersten Endes des ersten und/oder der zweiten oder des gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL. Dies hat den Vorteil, dass im Falle eines langgestreckten Lichtwellenleiters LWL Licht durch die Grenzfläche Trägermaterial TM/ Luft in den Lichtwellenleiter LWL zurückgespiegelt wird und dass dann die Effizienz und der Wirkungsgrad steigt.

[0162] Bevorzugt formt daher das Trägermaterial TM im Falle eines langgestreckten Lichtwellenleiters LWL am ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL eine Linse LWLL aus. Der Durchmesser D_{LWLL} der Linse LWLL ist im Falle eines langgestreckten Lichtwellenleiters LWL typischerweise kleiner als der Durchmesser D_{LWL} des Lichtwellenleiters LWL. Der Durchmesser D_{LWLL} der Linse LWLL kann aber auch im Falle eines langgestreckten Lichtwellenleiters LWL so groß wie der der Durchmesser D_{LWL} des Lichtwellenleiters LWL sein, was aber nach den Erfahrungen bei der Ausarbeitung der technischen Lehre dieses Dokuments nicht optimal ist.

[0163] Bevorzugt ist im Falle eines langgestreckten ersten Lichtwellenleiters LWL der erste Lichtwellenleiter LWL im Bereich des Sensorkopfes SK und/oder innerhalb des Sensorkopfes SK ganz oder teilweise durch eine mechanische Hülle MH umhüllt. Bevorzugt ist im Falle eines langgestreckten zweiten Lichtwellenleiters

LWL der zweite Lichtwellenleiter LWL im Bereich der Anwendungsvorrichtung, im Fall des ersten Anwendungsbeispiels des Sensorkopfes SK und Im Fall des zweiten Anwendungsbeispiels des Motors, und/oder innerhalb der Anwendungsvorrichtung ganz oder teilweise ebenfalls durch eine mechanische Hülle MH umhüllt.

[0164] Bevorzugt ist der gemeinsame Lichtwellenleiter LWL im Bereich der Anwendungsvorrichtung, im Fall des ersten Anwendungsbeispiels des Sensorkopfes SK und Im Fall des zweiten Anwendungsbeispiels des Motors, und/oder innerhalb der Anwendungsvorrichtung ganz oder teilweise in gleicher Weise durch eine mechanische Hülle MH umhüllt. Die mechanische Hülle MH stützt und schützt den jeweiligen Lichtwellenleiter LWL gegen die rauen Bedingungen der jeweiligen Messsituation.

[0165] Die mechanische Hülle MH innerhalb der Anwendungsvorrichtung, im Fall des ersten Anwendungsbeispiels des Sensorkopfes SK und Im Fall des zweiten Anwendungsbeispiels des Motors, muss den jeweiligen besondere Anforderungen hinsichtlich thermischer und chemischer Stabilität gegen Hitze und Betriebsflüssigkeiten erfüllen. Die mechanische Hülle MH ist daher im Falle eines langgestreckten, faserförmigen Lichtwellenleiters bevorzugt aus Glasgewebe oder Keramik oder Kunststoff oder dergleichen gefertigt.

[0166] Die mechanische Hülle MH weist daher bevorzugt einen Keramikwerkstoff oder ein anderes nicht magnetisierbares und/oder elektrisch nichtleitendes Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 100°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 140°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 170°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 200°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 250°C stabiles Material oder umfasst diese oder besteht aus diesen im Extremfall. Die mechanische Hülle MH kann also aus einem Keramikwerkstoff oder aus einem anderen nicht magnetisierbaren und/oder elektrisch nichtleitendes Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 100°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 140°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 170°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 200°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 250°C stabilen Material gefertigt sein oder dieses umfassen.

[0167] Bevorzugt ist die mechanische Hülle MH im Falle eines faserförmigen Lichtwellenleiters LWL zumindest abschnittsweise ein Rohr oder Röhrchen oder eine Kapillare oder eine Kanüle oder ein Schlauch, in die der jeweilige Lichtwellenleiter LWL hineingeschoben ist. Dies vereinfacht die Fertigung des Systems aus Lichtwellenleiter LWL, Sensorelement SE und mechanischer Hülle MH. Der Innendurchmesser D_{ro} eines solchen Rohrs oder eines solchen Röhrchens oder einer solchen Kapillare oder einer solchen Kanüle oder eines solchen Schlauches ist bevorzugt nur ein wenig größer als der Durchmesser der Lichtwellenleiterlinse LWLL und der Durchmesser DLWL des Lichtwellenleiters LWL.

[0168] Um den Zutritt von Fremdlicht im Betrieb zum Sensorelement SE zu minimieren, ist es sinnvoll, wenn der erste Spalt zwischen dem Rand des ersten Kanals KN bzw. dem Rand der ersten Öffnung OF und dem ersten Lichtwellenleiter LWL im Falle eines faserförmigen ersten Lichtwellenleiters LWL mit einer optisch intransparenten Füllmasse ganz oder teilweise oder abschnittsweise verschlossen ist. Aus dem gleichen Grund ist es sinnvoll, wenn der zweite Spalt zwischen dem Rand des zweiten Kanals KN bzw. dem Rand der zweiten Öffnung OF und dem zweiten Lichtwellenleiter LWL im Falle eines faserförmigen zweiten Lichtwellenleiters LWL mit einer optisch intransparenten Füllmasse ganz oder teilweise verschlossen oder abschnittsweise ist und/oder wenn der gemeinsame Spalt zwischen dem Rand des gemeinsamen Kanals KN bzw. dem Rand der gemeinsamen Öffnung OF und dem gemeinsamen Lichtwellenleiter LWL im Falle eines faserförmigen gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL mit einer optisch im Wesentlichen nicht transparenten Füllmasse ganz oder teilweise oder abschnittsweise verschlossen ist. Die gemeinsame Füllmasse kann den jeweiligen Lichtwellenleiter LWL im jeweiligen Kanal KN und/oder der jeweiligen Öffnung OF des Gehäuses der Anwendungsvorrichtung, im ersten Anwendungsbeispiel des Sensorkopfgehäuses GH und im zweiten Anwendungsbeispiel des Gehäuses GH des Motors, befestigen.

[0169] Bevorzugt ist die Vorrichtung dazu eingerichtet, den zeitlichen Werteverlauf der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL, insbesondere in Form eines Empfänger Ausgangssignals S_0 zu ermitteln. Des Weiteren ist die Vorrichtung vorzugsweise dazu eingerichtet, den zeitlichen Verlauf des Amplitudenwerts des zeitlichen Werteverlaufs der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL aus dem zeitlichen Werteverlauf der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL, insbesondere aus dem Empfänger Ausgangssignal S_0 und insbesondere mittels eines Lock-In-Verstärkers LIV oder einer funktionsäquivalenten Teilvorrichtung, zu ermitteln.

[0170] Dabei weist das Sensorelement SE vorzugsweise ein Trägermaterial TM auf, in dem eine Vielzahl von Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristalle eingebettet sind. Ein oder mehrere oder alle Diamanten bzw. Nanodiamanten DM dieser Diamanten DM und/oder ein oder mehrere Kristalle dieser Kristalle weisen dabei ein oder mehrere NV-Zentren NVZ und/oder ein oder mehrere andere paramagnetischen Zentren auf. Die NV-Zentren NVZ des Sensorelements SE und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements SE emittieren bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL.

[0171] Das Besondere des in dem hier vorgelegten Dokument vorgeschlagenen Lichtwellenleiter LWL ist, dass das Trägermaterial TM bevorzugt ein mittels elektromagnetischer Strahlung ausgehärtetes Trägermaterial TM ist und dass das Trägermaterial TM nach dem Aushärten für Strahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB, mit der die NV-Zentren NVZ und/oder die anderen paramagnetischen Zentren gepumpt werden, im Wesentlichen transparent ist. Im Wesentlichen bedeutet dabei, dass die unzweifelhaft auftretenden Verluste immer noch so gering sind, dass die Funktionsfähigkeit der betreffenden Anwendung immer noch gegeben ist. In gleicherweise sollte das Trägermaterial TM für Strahlung mit einer Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung LB der NV-Zentren bzw. der paramagnetischen Zentren im Wesentlichen transparent sein. Im Wesentlichen bedeutet dabei wiederum, dass die unzweifelhaft auftretenden Verluste immer noch so gering sind, dass die Funktionsfähigkeit der betreffenden Anwendung immer noch gegeben ist. Durch die Aushärtung eines zuvor flüssigen Trägermittels TM ist die Fertigung eines solchen Lichtwellenleiters LWL besonders einfach und prozesssicher mit einem hohen C_{pk} -Wert zu fertigen.

[0172] In einer Variante des Lichtwellenleiters sind die Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristalle im Trägermaterial TM im Wesentlichen zueinander unterschiedlich mit einer jeweils im Wesentlichen unterschiedlichen Orientierung orientiert sind. Dies hat den Vorteil, dass sich das Sensorelement isotrop verhält und keine Vorzugsrichtung zeigt. Die Mischung verschiedenster Diamantkristalle homogenisiert die Messergebnisse und verbessert den C_{pk} -Wert.

[0173] Aus dem gleichen Grund ist es vorteilhaft, wenn im Trägermaterial TM die Orientierung der Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristalle stochastisch im Wesentlichen gleichverteilt ist.

[0174] Bevorzugt ist der Lichtwellenleiter LWL dazu eingerichtet oder bestimmt ist, Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle PL zu dem Sensorelement SE zu transportieren, sodass die Pumpstrahlung LB das Sensorelement SE mit Strahlung der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} bestrahlt.

[0175] Der Lichtwellenleiter LWL ist bevorzugt ebenfalls dazu eingerichtet oder bestimmt, Fluoreszenzstrahlung FL des Sensorelements SE zu erfassen, und die Fluoreszenzstrahlung FL in Richtung eines Fotodetektors PD zu transportieren.

[0176] Der vorgeschlagene Lichtwellenleiter LWL weist wieder bevorzugt ein erstes Ende ELWL1 und ein zweites Ende ELWL2 auf. Das Trägermaterial TM bildet bevorzugt das Sensorelement SE und befestigt dieses Sensorelement SE an dem ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL.

[0177] Bevorzugt umhüllt das Trägermaterial TM des Sensorelements SE im Falle eines langgestreckten, insbesondere faserförmigen Lichtwellenleiters LWL das erste Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL. Dies verbessert die mechanische Verbindung zwischen Lichtwellenleiter LWL und Sensorelement SE.

[0178] Bevorzugt bildet im Falle eines langgestreckten, insbesondere faserförmigen Lichtwellenleiters LWL eine Endfläche EF des ersten Endes ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL eine ebene Endfläche EF senkrecht zur Mittenlinie ML des Lichtwellenleiters LWL. Dies verbessert die Auskopplung elektromagnetischer Strahlung aus dem Kern LWLC des Lichtwellenleiters LWL in das Sensorelement SE und umgekehrt.

[0179] Die gedachte virtuelle Mittenlinie ML des Lichtwellenleiters LWL durchstößt im Falle eines langgestreckten, insbesondere faserförmigen Lichtwellenleiters LWL die Endfläche EF des Lichtwellenleiters LWL am ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL an einem Mittelpunkt MP der Endfläche EF des Lichtwellenleiters LWL. Bevorzugt ist Dicke d_i des Trägermaterials TM an diesem Mittelpunkt MP dicker als die Dicke d_r an anderen Punkten der Endfläche EF des ersten Endes ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL. Hierdurch formt sich ein optisches Funktionselement am ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL aus. Dies verbessert die Auskopplung elektromagnetischer Strahlung aus dem Kern LWLC des Lichtwellenleiters LWL in das Sensorelement SE und umgekehrt.

[0180] Bevorzugt formt daher das Trägermaterial TM am ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL im Falle eines langgestreckten, insbesondere faserförmigen Lichtwellenleiters LWL eine Linse LWLL aus, deren Durchmesser D_{LWLL} vorzugsweise kleiner als der Durchmesser D_{LWL} des Lichtwellenleiters LWL oder so groß wie der der Durchmesser D_{LWL} des Lichtwellenleiters LWL ist. Dies verringert das Messvolumen des Sensorelements und steigert damit die Ortsauflösung magnetischer Messungen. Somit kann dann im ersten Anwendungsbeispiel eines Sensorkopfes SK das hier vorgestellte Verfahren mittels der vorgeschlagenen Vorrichtung besonders kleine Risse RI in der Oberfläche OF des Materials des Werkstücks entdecken.

[0181] Bevorzugt ist der erste Lichtwellenleiter LWL im Falle eines langgestreckten, insbesondere faserförmigen ersten Lichtwellenleiters LWL ganz oder teilweise durch eine erste mechanische Hülle MH umhüllt. Bevorzugt umfasst die mechanische Hülle MH einen Keramikwerkstoff oder ein anderes nicht magnetisierbares und/oder elektrisch nichtleitendes Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 100°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 140°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 170°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 200°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 250°C stabiles Material oder weist ein solches Material auf. Dies schützt das Sensorelement SE und den Lichtwellenleiter LWL vor Beschädigung. Bevorzugt ist die mechanische Hülle MH aus einem Keramikwerkstoff oder aus einem anderen nicht magnetisierbaren und/oder elektrisch nichtleitendes Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 100°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 140°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 170°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 200°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 250°C stabilen Material gefertigt.

[0182] Zur besseren Verarbeitung und Montage umfasst die mechanische Hülle MH im Falle eines langgestreckten, insbesondere faserförmigen Lichtwellenleiters LWL bevorzugt zumindest abschnittsweise ein Rohr oder Röhrrchen oder eine Kapillare oder eine Kanüle oder einen Schlauch, insbesondere einen Gewebeschlauch.

[0183] Die Fluoreszenzstrahlung der NV-Zentren NVZ und/oder der anderen paramagnetischen Zentren in den Diamanten bzw. den Nanodiamanten DM und/oder der Kristalle des Trägermaterials TM und insbesondere die Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} derer Fluoreszenzstrahlung FL kann beispielsweise mittels plasmonischer Kopplung durch metallische Nanopartikel, die dem Trägermaterial TM ebenfalls beigemischt werden, modifiziert werden. In dem Fall kann dann beispielsweise das Trägermaterial TM metallische Nanopartikel mit einem Durchmesser kleiner 200nm und/oder kleiner 100nm und/oder kleiner 50nm und/oder kleiner 20nm und/oder kleiner 10nm und/oder kleiner 5nm aufweisen, die später dann in dem verfestigten Trägermaterial TM eingelagert sind. Dies verbessert die Anwendbarkeit in speziellen Anwendungsfällen.

[0184] Die metallischen Nanopartikel wechselwirken dann typischerweise plasmonisch mit Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristallen in dem Trägermaterial TM und beeinflussen dann so die Fluoreszenzstrahlung FL dieser Diamanten DM und/oder Kristalle.

[0185] Diese metallischen Nanopartikel weisen typischerweise Gold und/oder Platin und/oder Palladium und/oder Graphit und/oder Graphen und/oder Chrom und/oder Silizium und/oder Germanium und/oder Zinn und/oder Schwefel und/oder Selen und/oder Tellur und/oder Magnesium und/oder Kalzium und/oder Strontium und/oder Barium und/oder Titan und/oder Zirkon und/oder Hafnium und/oder Chrom und/oder Molybdän und/oder Wolfram und/oder Eisen und/oder Ruthenium und/oder Osmium und/oder Nickel und/oder Zinn und/oder Kadmium und/oder Quecksilber und/oder Cerium und/oder Neodym und/oder Samarium und/oder Gadolinium und/oder Dysprosium und/oder Erbium und/oder Ytterbium und/oder Thorium und/oder Proactinium und/oder Uran und/oder Plutonium auf. Wobei erstere besonders bevorzugt sind.

[0186] Die Atome des Metalls der Nanopartikel umfassen eines oder mehrerer Elemente des Periodensystems. Jedes dieser Elemente tritt in verschiedenen Isotopen in der Natur mit einem jeweiligen natürlichen Isotopenmischungsverhältnis auf. Jedes Isotop eines Elements weist dabei einen natürlichen Anteil entsprechend dem natürlichen Isotopenmischungsverhältnis dieses Elements auf. Hinsichtlich der dieser Anteile und der Werte verweist das hier vorgelegte Dokument auf die deutsche Patentanmeldung DE 10 2020 125 178 A1 der Anmelderin. Diese Isotope weisen jeweils ein magnetisches Kernmoment μ auf oder nichtaufweisen je nach Isotop. Bevorzugt weisen die metallischen Nanopartikel bei zumindest einem Element, das die metallischen Nanopartikel aufweisen, einen erhöhten Anteil im Isotopenmischungsverhältnis gegenüber dem natürlichen Anteil des Isotopenmischungsverhältnisses für zumindest eines der folgenden Isotope auf: ^{12}C , ^{14}C , ^{28}Si , ^{30}Si , ^{70}Ge , ^{72}Ge , ^{74}Ge , ^{76}Ge , ^{112}Zn , ^{114}Zn , ^{116}Zn , ^{118}Zn , ^{120}Zn , ^{122}Zn , ^{124}Zn , ^{16}O , ^{18}O , ^{32}S , ^{34}S , ^{36}S , ^{74}Se , ^{76}Se , ^{78}Se , ^{80}Se , ^{82}Se , ^{120}Te , ^{122}Te , ^{124}Te , ^{126}Te , ^{128}Te , ^{130}Te , ^{24}Mg , ^{26}Mg ,

⁴⁰Ca, ⁴²Ca, ⁴⁴Ca, ⁴⁶Ca, ⁴⁸Ca, ⁸⁴Sr, ⁸⁶Sr, ⁸⁸Sr, ¹³⁰Ba, ¹³²Ba, ¹³⁴Ba, ¹³⁶Ba, ¹³⁸Ba, ⁴⁶Ti, ⁴⁸Ti, ⁵⁰Ti, ⁹⁰Zr, ⁹⁰Zr, ⁹²Zr, ⁹⁴Zr, ⁹⁶Zr, ¹⁷⁴Hf, ¹⁷⁶Hf, ¹⁷⁸Hf, ⁵⁰Cr, ⁵²Cr, ⁵³Cr, ⁹²Mo, ⁹⁴Mo, ⁹⁶Mo, ⁹⁸Mo, ¹⁰⁰Mo, ¹⁸⁰W, ¹⁸²W, ¹⁸⁴W, ¹⁸⁶W, ⁵⁴Fe, ⁵⁶Fe, ⁵⁸Fe, ⁹⁶Ru, ⁹⁸Ru, ¹⁰⁰Ru, ¹⁰²Ru, ¹⁰⁴Ru, ¹⁸⁴Os, ¹⁸⁶Os, ¹⁸⁸Os, ¹⁹⁰Os, ¹⁹²Os, ⁵⁸Ni, ⁶⁰Ni, ⁶²Ni, ⁶⁴Ni, ¹⁰²Pd, ¹⁰²Pd, ¹⁰⁴Pd, ¹⁰⁶Pd, ¹⁰⁸Pd, ¹¹⁰Pd, ¹⁹⁰Pt, ¹⁹²Pt, ¹⁹⁴Pt, ¹⁹⁶Pt, ¹⁹⁸Pt, ⁶⁴Zn, ⁶⁶Zn, ⁶⁸Zn, ⁷⁰Zn, ¹⁰⁶Cd, ¹⁰⁸Cd, ¹¹⁰Cd, ¹¹²Cd, ¹¹⁴Cd, ¹¹⁶Cd, ¹⁹⁶Hg, ¹⁹⁸Hg, ²⁰⁰Hg, ²⁰²Hg, ²⁰⁴Hg, ¹³⁶Ce, ¹³⁸Ce, ¹⁴⁰Ce, ¹⁴²Ce, ¹⁴²Nd, ¹⁴⁴Nd, ¹⁴⁶Nd, ¹⁴⁸Nd, ¹⁵⁰Nd, ¹⁴⁴Sm, ¹⁴⁶Sm, ¹⁴⁸Sm, ¹⁵⁰Sm, ¹⁵²Sm, ¹⁵⁴Sm, ¹⁵²Gd, ¹⁵⁴Gd, ¹⁵⁶Gd, ¹⁵⁸Gd, ¹⁶⁰Gd, ¹⁵⁶Dy, ¹⁵⁸Dy, ¹⁶⁰Dy, ¹⁶²Dy, ¹⁶⁴Dy, ¹⁶²Er, ¹⁶⁴Er, ¹⁶⁶Er, ¹⁶⁸Er, ¹⁷⁰Er, ¹⁶⁸Yb, ¹⁷⁰Yb, ¹⁷²Yb, ¹⁷⁴Yb, ¹⁷⁶Yb, ²³²Th, ²³⁴Pa, ²³⁴U, ²³⁸U, ²⁴⁴Pu.

[0187] Der Lichtwellenleiter LWL kann einen Lichtwellenleiterkern LWLC aufweisen. In dem Trägermaterial TM formt das Trägermaterial TM bevorzugt ein optisches Funktionselement am ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL aus. Dies verbessert wieder die besagte optische Kopplung zwischen Lichtwellenleiter LWL und Trägermaterial TM. Das optische Funktionselement wirkt dann so mit dem Lichtwellenleiterkern LWLC des Lichtwellenleiters LWL am ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL optisch zusammen.

[0188] Bevorzugt weist das optische Funktionselement eine Lichtwellenleiterlinse LWLL, insbesondere in Form einer Verdickung des Trägermaterials TM im Bereich des optischen Funktionselements, auf.

[0189] Das Wesentliche des hier vorgelegten Dokuments ist nun, dass es auch ein Verfahren zur Herstellung eines Lichtwellenleiters LWL, wie er zuvor beschrieben und verwendet wurde, beschreibt und offenlegt. Das vorgeschlagene Verfahren umfasst die Schritte:

- Bereitstellen 140 eines Lichtwellenleiters LWL, wobei der Lichtwellenleiter LWL ein erstes Ende ELWL1 und ein zweites Ende ELWL2 aufweist
wobei der Lichtwellenleiter LWL für elektromagnetische Strahlung der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB und/oder für elektromagnetische Strahlung der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{f} der Fluoreszenzstrahlung LB und für elektromagnetische Strahlung einer Aushärtewellenlänge λ_{H} des Trägermaterials TM des Sensorelements SE transparent ist;
- Bereitstellen 142 eines flüssigen und mittels elektromagnetischer Strahlung einer Aushärtewellenlänge λ_{H} härtbaren Trägermaterials TM, wobei in das Trägermaterial TM eine Vielzahl von Diamanten DM, vorzugsweise Nanodiamanten, und/oder Kristalle eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten DM dieser Diamanten DM und/oder ein oder mehrere Kristalle dieser Kristalle NV-Zentren NVZ und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren NVZ der Diamanten DM und/oder Kristalle des Trägermaterials TM und/oder die anderen paramagnetischen Zentren der Diamanten DM und/oder Kristalle des Trägermaterials TM bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL emittieren;
- Benetzen 145 des ersten Endes des Lichtwellenleiters TM insbesondere auf eine Benetzungslänge L_{B} , mit dem Trägermaterial TM, das die Vielzahl eingebetteter Diamanten DM und/oder Kristalle aufweist;
- ggf. Vorhärten 147 (Pre-Bake) des Sensorelements SE durch eine vorausgehende Temperaturbehandlung.
- Einspeisen 150 elektromagnetischer Strahlung in das zweite Ende des Lichtwellenleiters LWL, wobei die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung, die Aushärtewellenlänge λ_{H} , so gewählt ist, dass das Trägermaterial TM am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL aushärtet und sich in einen Festkörper wandelt.
- Entfernen 160 des nicht ausgehärteten Trägermaterials TM insbesondere mittels eines Lösungsmittels, wobei der verbleibende Film des Trägermaterials TM am ersten Ende des Lichtwellenleiters LWL das Sensorelement SE bildet.
- ggf. Nachhärten 165 (Post-Bake) des Sensorelements SE durch eine nachfolgende Temperaturbehandlung.

[0190] Typischerweise härtet das Trägermaterial TM nur teilweise aus, was die Bildung des optischen Funktionselements ermöglicht.

[0191] Die elektromagnetische Strahlung mit der Aushärtewellenlänge λ_{H} weist eine Eindringtiefe in das Trägermaterial TM auf, so dass das Trägermaterial TM nur bis zu einer Dicke d_1 des Trägermaterials aushärtet und so das optische Funktionselement bildet, was im Rahmen der Ausarbeitung der technischen Lehre dieser Schrift erst als überraschendes und vorteilhaftes Vorgehen erkannt wurde.

[0192] Die Strahlung der am zweiten Ende ELWL2 des Lichtwellenleiters LWL zur Aushärtung eingespeisten Strahlung ist bevorzugt UV-Strahlung. Ganz besonders bevorzugt ist eine Strahlung zur Aushärtung mit einer Aushärtewellenlänge λ_H zwischen 320-380nm.

[0193] In bestimmten Anwendungsfällen können dem Trägermaterial TM Nanopartikel mit einem Durchmesser kleiner 200nm und/oder kleiner 100nm und/oder kleiner 50nm und/oder kleiner 20nm und/oder kleiner 10nm und/oder kleiner 5nm vor dem Bereitstellen beigemischt werden, sodass diese in dem Trägermaterial TM nach dem Aushärten eingelagert sind. Bevorzugt handelt es sich um metallische Nanopartikel.

[0194] Solche metallischen Nanopartikel wechselwirken mit Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristalle in dem Trägermaterial TM und können beispielsweise die Fluoreszenzstrahlung FL dieser Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristalle beeinflussen.

[0195] Die metallischen Nanopartikel umfassen beispielsweise Gold und/oder Platin und/oder Palladium und/oder Graphit und/oder Graphen und/oder Chrom und/oder Silizium und/oder Germanium und/oder Zinn und/oder Schwefel und/oder Selen und/oder Tellur und/oder Magnesium und/oder Kalzium und/oder Strontium und/oder Barium und/oder Titan und/oder Zirkon und/oder Hafnium und/oder Chrom und/oder Molybdän und/oder Wolfram und/oder Eisen und/oder Ruthenium und/oder Osmium und/oder Nickel und/oder Zinn und/oder Kadmium und/oder Quecksilber und/oder Cerium und/oder Neodym und/oder Samarium und/oder Gadolinium und/oder Dysprosium und/oder Erbium und/oder Ytterbium und/oder Thorium und/oder Proactinium und/oder Uran und/oder Plutonium und/oder Mischungen derselben.

[0196] Die Atome des Metalls der Nanopartikel umfassten naturgemäß eines oder mehrerer Elemente des Periodensystems der Elemente. Jedes dieser Elemente tritt in verschiedenen Isotopen in der Natur mit einem jeweiligen natürlichen Isotopenmischungsverhältnis auf. Jedes Isotop weist in der Natur dabei einen natürlichen Anteil entsprechend dem natürlichen Isotopenmischungsverhältnis auf. Diese Isotope können ein magnetisches Kernmoment μ aufweisen oder nichtaufweisen je nach Isotop. Die metallischen Nanopartikel weisen bei zumindest einem Element, das die metallischen Nanopartikel aufweisen, einen erhöhten Anteil im Isotopenmischungsverhältnis gegenüber dem natürlichen Anteil des Isotopenmischungsverhältnisses für zumindest eines der folgenden Isotope auf: ^{12}C , ^{14}C , ^{28}Si , ^{30}Si , ^{70}Ge , ^{72}Ge , ^{74}Ge , ^{76}Ge , ^{112}Zn , ^{114}Zn , ^{116}Zn , ^{118}Zn , ^{120}Zn , ^{122}Zn , ^{124}Zn , ^{16}O , ^{18}O , ^{32}S , ^{34}S , ^{36}S , ^{74}Se , ^{76}Se , ^{78}Se , ^{80}Se , ^{82}Se , ^{120}Te , ^{122}Te , ^{124}Te , ^{126}Te , ^{128}Te , ^{130}Te , ^{24}Mg , ^{26}Mg , ^{40}Ca , ^{42}Ca , ^{44}Ca , ^{46}Ca , ^{48}Ca , ^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{88}Sr , ^{130}Ba , ^{132}Ba , ^{134}Ba , ^{136}Ba , ^{138}Ba , ^{46}Ti , ^{48}Ti , ^{50}Ti , ^{90}Zr , ^{92}Zr , ^{94}Zr , ^{96}Zr , ^{174}Hf , ^{176}Hf , ^{178}Hf , ^{50}Cr , ^{52}Cr , ^{53}Cr , ^{92}Mo , ^{94}Mo , ^{96}Mo , ^{98}Mo , ^{100}Mo , ^{180}W , ^{182}W , ^{184}W , ^{186}W , ^{54}Fe , ^{56}Fe , ^{58}Fe , ^{96}Ru , ^{98}Ru , ^{100}Ru , ^{102}Ru , ^{104}Ru , ^{184}Os , ^{186}Os , ^{188}Os , ^{190}Os , ^{192}Os , ^{58}Ni , ^{60}Ni , ^{62}Ni , ^{64}Ni , ^{102}Pd , ^{104}Pd , ^{106}Pd , ^{108}Pd , ^{110}Pd , ^{190}Pt , ^{192}Pt , ^{194}Pt , ^{196}Pt , ^{198}Pt , ^{64}Zn , ^{66}Zn , ^{68}Zn , ^{70}Zn , ^{106}Cd , ^{108}Cd , ^{110}Cd , ^{112}Cd , ^{114}Cd , ^{116}Cd , ^{196}Hg , ^{198}Hg , ^{200}Hg , ^{202}Hg , ^{204}Hg , ^{136}Ce , ^{138}Ce , ^{140}Ce , ^{142}Ce , ^{142}Nd , ^{144}Nd , ^{146}Nd , ^{148}Nd , ^{150}Nd , ^{144}Sm , ^{146}Sm , ^{148}Sm , ^{150}Sm , ^{152}Sm , ^{154}Sm , ^{152}Gd , ^{154}Gd , ^{156}Gd , ^{158}Gd , ^{160}Gd , ^{158}Dy , ^{160}Dy , ^{162}Dy , ^{164}Dy , ^{162}Er , ^{164}Er , ^{166}Er , ^{168}Er , ^{170}Er , ^{168}Yb , ^{170}Yb , ^{172}Yb , ^{174}Yb , ^{176}Yb , ^{232}Th , ^{234}Pa , ^{234}U , ^{238}U , ^{244}Pu . „Erhöht“ bedeutet dabei im Sinne dieses Dokuments, dass der Anteil im Isotopenmischungsverhältnis der vorstehenden Isotope um 50% oder mehr erhöht ist.

[0197] Der Lichtwellenleiter LWL weist vorzugsweise im Falle eines faserförmigen und/oder langgestreckten einen Lichtwellenleiterkern LWLC auf. Das vorgeschlagene Verfahren formt bevorzugt in dem Trägermaterial TM beim Aushärten mit Strahlung der Aushärtewellenlänge λ_H ein optisches Funktionselement LWLL am ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL aus, wobei die Strahlung der Aushärtewellenlänge λ_H über das zweite Ende ELWL2 des Lichtwellenleiters LWL eingespeist und dem Trägermaterial TM zugeführt wird.

[0198] Das dann so ausgeformte optische Funktionselement LWL kann dann mit dem Lichtwellenleiterkern LWLC am ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL optisch zusammenwirken, wenn am zweiten Ende ELWL2 des Lichtwellenleiters LWL optische Strahlung, insbesondere Pumpstrahlung LB mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} eingespeist wird.

[0199] Das optische Funktionselement weist dann eine Lichtwellenleiterlinse LWLL, insbesondere in Form einer Verdickung des Trägermaterials TM aufweist.

[0200] Das hier vorgestellte Dokument schlägt als Trägermaterial TM beispielsweise ein klares, farbloses, flüssiges Fotopolymer, beispielsweise den optischen Norland Klebstoff 61 vor. Weitere Informationen sind zum Zeitpunkt der Anmeldung des hier vorgelegten Dokuments unter <https://www.norlandprod.com/adhesives/noa%2061.html> verfügbar.

[0201] Norland Optical Adhesive 61 („NOA 61“) ist ein klares, farbloses, flüssiges Fotopolymer, das unter ultraviolettem Licht aushärtet. Da es sich um ein Einkomponentensystem mit 100 % Feststoffanteil handelt, bietet es viele Vorteile bei Verklebungen, bei denen der Klebstoff UV-Licht ausgesetzt werden kann. Durch die Verwendung von NOA 61 entfällt das Vormischen, Trocknen oder Aushärten durch Wärme, wie es bei anderen Klebstoffsystemen üblich ist. Die Aushärtezeit ist kurz und hängt von der aufgetragenen Dicke und der verfügbaren UV-Lichtenergie ab. Es ist besonders sinnvoll, wenn das Trägermittel TM Federal Specification MIL-A-3920 für optische Klebstoffe erfüllt. NOA 61 erfüllt die Federal Specification MIL-A-3920 für optische Klebstoffe. Das Trägermaterial TM soll eine bestmögliche optische Verbindung zu Glasoberflächen, Metallen, Glasfasern und glasgefüllten Kunststoffen herstellen. NOA61 erfüllt diese Voraussetzung. Besonders günstig ist die Verwendung eines Trägermaterials TM, das für die Verklebung von Linsen, Prismen und Spiegeln für militärische, luft- und raumfahrttechnische und kommerzielle Optiken sowie für den Abschluss und das Spleißen von Glasfasern empfohlen ist. NOA61 erfüllt diese Voraussetzungen.

[0202] Das Trägermaterial TM soll sich außerdem durch hervorragende Klarheit, geringe Schrumpfung und Lichtflexibilität auszeichnen. Diese Eigenschaften sind wichtig, damit der Anwender qualitativ hochwertige Sensorelemente SE herstellen und eine langfristige Leistung unter wechselnden aggressiven Umgebungsbedingungen erzielen kann.

[0203] NOA 61 härtet, wie für das Trägermaterial TM gewünscht, mit ultraviolettem Licht aus, wobei die maximale Absorption im Bereich von 320-380 Nanometern für die Aushärtewellenlänge λ_H liegt und die höchste Empfindlichkeit bei 365 nm erreicht wird. Die empfohlene Energie für die vollständige Aushärtung beträgt 3 Joule/cm² bei diesen Wellenlängen. Die Aushärtung wird durch Sauerstoff nicht gehemmt, so dass alle Bereiche, die mit Luft in Berührung kommen, zu einem nicht klebrigen Zustand aushärten, wenn sie ultraviolettem Licht ausgesetzt werden.

[0204] Bei den meisten optischen Anwendungen erfolgt die Aushärtung in zwei Schritten. Zunächst erfolgt eine kurze, gleichmäßige Belichtung, die sogenannte Vorhärtung. Die Aushärtungszeit ist ausreichend lang, um die Verbindung zu verfestigen und zu ermöglichen, dass sie bewegt werden kann, ohne die Ausrichtung zu stören. Danach folgt eine längere Aushärtung unter UV-Licht, um eine vollständige Vernetzung und Lösungsmittelbeständigkeit des Klebstoffs zu erreichen. Die Aushärtung kann in 10 Sekunden mit einer 100-Watt-Quecksilberlampe bei 6" erfolgen. Wenn für die Ausrichtung eine längere Zeit erforderlich ist, kann sie mit einer Lichtquelle sehr geringer Intensität auf einige Minuten verlängert werden. Die endgültige Aushärtung kann mit der 100-Watt-Quecksilberlampe in 5 bis 10 Minuten erreicht werden.

[0205] Die Vorhärtung ermöglicht es dem Anwender, den Lichtwellenleiter LWL bei Bedarf schnell auszurichten und zu fixieren, und minimiert die Anzahl der erforderlichen Haltevorrichtungen. Nach der Vorfixierung kann überschüssiger Klebstoff mit einem mit Alkohol oder Aceton als beispielhaftes Lösungsmittel angefeuchteten Tuch abgewischt werden. Die Lichtwellenleiter LWL sollten zu diesem Zeitpunkt geprüft und Ausschuss in Methylenchlorid separiert werden. Der beschichtete Bereich der Sensorelemente SE muss in dem Lösungsmittel eingeweicht werden und löst sich normalerweise über Nacht. Die Zeit, die benötigt wird, um das Trägermaterial TM zu lösen, hängt vom Ausmaß der Aushärtung und der Größe der Beschichtung ab.

[0206] Nach der Aushärtung weist NOA 61 eine sehr gute Haftung und Lösungsmittelbeständigkeit auf, aber es hat noch nicht seine optimale Haftung auf Glas erreicht. Diese wird durch eine Alterung über einen Zeitraum von etwa 1 Woche erreicht, in der sich eine chemische Verbindung zwischen Glas und Klebstoff bildet. Diese optimale Haftung kann auch durch eine Alterung bei 50° C für 12 Stunden in einem Temperaturschrank erreicht werden.

[0207] NOA 61 hält vor der Alterung Temperaturen von -15°C bis 60° C stand, wenn es zum Beschichten des Lichtwellenleiters LWL verwendet wird. Nach der Alterung hält es Temperaturen von -150°C bis 125°C stand. Als Beschichtung auf der Oberfläche des Lichtwellenleiters hält NOA 61 drei Stunden lang 260°C und beim Reflow-Löten stand. Hierdurch kann das Sensorelement SE bis zu diesen Temperaturen für die Messung der magnetischen Flussdichte B verwendet werden. Das hier vorgelegte Dokument schlägt daher die Verwendung eines vorschlagsgemäßen Lichtwellenleiters LWL bei Temperaturen oberhalb von 100°C und/oder sogar oberhalb von 110°C und/oder sogar oberhalb von 120°C und/oder sogar oberhalb von 130°C und/oder sogar oberhalb von 140°C und/oder sogar oberhalb von 150°C und/oder sogar oberhalb von 160°C und/oder sogar oberhalb von 170°C und/oder sogar oberhalb von 180°C und/oder sogar oberhalb von 190°C und/oder sogar oberhalb von 200°C und/oder sogar oberhalb von 210°C und/oder sogar oberhalb von 220°C und/oder sogar oberhalb von 230°C und/oder sogar oberhalb von 240°C und/oder sogar oberhalb von 250°C

und/oder sogar oberhalb von 260°C vor. Für die höheren Temperaturen eignet sich NOA 61 nicht. Hier sind andere Materialien, sinnvoll.

[0208] Typische Eigenschaften eines Trägermittel sind ein Feststoffgehalt mehr als 80%, eine Viskosität bei 25°C von mehr als 250 cps, ein Brechungsindex des gehärteten Trägermaterials TM von mehr als 1,2 eine Dehnung bei Bruch von weniger als 50% oder mehr als 25% je nach Anwendung, ein Elastizitätsmodul von weniger als (psi) 200.000, eine Zugfestigkeit von mehr als (psi) 3.000 und eine Härte von mehr als Shore D 60.

[0209] Typische Eigenschaften von NOA 61 als beispielhaftes Trägermittel sind ein Feststoffgehalt von 100%, eine Viskosität bei 25°C von 300 cps, en Brechungsindex des gehärteten Polymers von 1,56, eine Dehnung bei Bruch von 38%, ein Elastizitätsmodul von (psi) 150.000, eine Zugfestigkeit von (psi) 3.000 und eine Härte von Shore D 85.

Vorteil

[0210] Folgende Vorteile zeichnen die hier in diesem Dokument vorgeschlagene technische Lösung aus:

- Das Sensorelement SE ist galvanisch von der Auswertelektronik der jeweiligen Anwendungsschaltung getrennt
- Das Sensorelement SE ist thermisch von der Auswertelektronik der jeweiligen Anwendungsschaltung getrennt
- Das Sensorelement SE und seine Leitung (Lichtwellenleiter LWL) sind Diamagnetisch und beeinflussen die Messung nicht.
- Die Anwendungsvorrichtungen (beispielsweise Sensorkopf SK und Motor) sind unanfällig gegenüber elektrostatischen Störungen
- Das Sensorelement SE kann ein kleines Messvolumen (Fibercore- Durchmesser 9µm bis 1000µm) aufweisen,
- Die Dicke des Materials des Trägermaterials TM mit den Diamanten DM und/oder Nanodiamanten und/oder Kristallen mit den paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren an dem ersten Ende des Lichtwellenleiters ist variabel
- die mögliche Messfrequenz reicht von DC (OHZ) bis in den MHz Bereich
- Gleicher Sensor für DC / AC Magnetfeldanregung
- Diamagnetischer Messkopf (Sensor beeinflusst Messung nicht)

[0211] Eine solche Vorrichtung, wie in der obigen Beschreibung beschrieben, ermöglicht in dem zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors eine Erfassung des Magnetfelds im Luftspalt eines Motors, ohne dieses Magnetfeld zu stören, ohne EMV-Probleme zu verursachen und ohne Probleme mit einer nicht vorhandenen galvanischen Trennung zu verursachen. Der Bauraum einer solchen Lösung ist extrem klein. Die Lösung ist robust gegen thermische und chemische Anforderungen. Sie funktioniert z.B. auch bei 100°K und möglicherweise bis hinunter zu 0°K.

Drittes Anwendungsbeispiel Magnetfeldkamera

[0212] Die Grundidee des in diesem Dokument beschriebenen dritten Anwendungsbeispiels ist, das Fluoreszenzlicht einer magnetfeldsensitiven Fluoreszenzschicht als Sensorelement SE mittels einer optischen Fluoreszenzlichtkamera als ortsauflösendem Fotodetektor PD zu erfassen. Das hier vorgelegte Dokument schlägt vor, als Fluoreszenzschicht Diamantkristalle und zwar vorzugsweise Diamantanokristalle in einem Trägermaterial als Material der Fluoreszenzschicht zu verwenden. Statt der Diamantkristalle können auch alternativ oder zusätzlich andere Kristalle verwendet werden, die bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung Fluoreszenzstrahlung emittieren. Sofern dies nicht ausdrücklich anders beschrieben ist, kann die Leserin bzw. der Leser bei der Erwähnung von Diamanten andere Kristalle mit funktionsäquivalenten Fluoreszenzeigenschaften mitlesen und bei der Erwähnung von NV-Zentren andere paramagnetische Zentren funktionsäquivalenter Fluoreszenzeigenschaften mitlesen. Besonders bevorzugt handelt es sich bei den Diamantanokristallen um HDNV-Diamanten. Das hier vorgelegte Dokument verweist in diesem Zusammenhang auf die oben angegebenen Dokument aus dem Stand der Technik. (Z.B. DE 10 2021 132 780 A1)

[0213] Das hier vorgelegte Dokument schlägt im Zusammenhang mit der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera als drittes Ausführungsbeispiel vor, die NV-Zentren in den Nanodiamanten der Fluoreszenzschicht der mit einer Pumpstrahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge zu bestrahlen. Diese Bestrahlung der Nanodiamanten der Fluoreszenzschicht mit Pumpstrahlung regt die NV-Zentren der Nanodiamanten der Fluoreszenzschicht zur Emission von Fluoreszenzstrahlung mit einer Fluoreszenzwellenlänge an. Bevorzugt ist das Trägermaterial, in dem die Nanodiamanten eingebettet sind, für Strahlung der Pumpstrahlungswellenlänge und für Strahlung der Fluoreszenzwellenlänge transparent. Die magnetische Flussdichte B des zu vermessenden magnetischen Feldes durchdringt die Fluoreszenzschicht. Typischerweise ist die Durchdringung der Fluoreszenzschicht durch die magnetische Flussdichte B nicht homogen, sondern hängt von den magnetisierbaren Körpern und der Verteilung magnetischer Stoffe etc. in der Nähe der Fluoreszenzschicht ab. Bevorzugt ist die Orientierung der Nanodiamanten stochastisch gleichmäßig verteilt, sodass die Fluoreszenzstrahlung der NV-Zentren der Nanodiamanten der Fluoreszenzschicht nicht von der Richtung der magnetischen Flussdichte B , sondern nur von dem Betrag der magnetischen Flussdichte B abhängt.

[0214] Typischerweise hängt daher die Fluoreszenzstrahlungsintensität der Fluoreszenzstrahlung der NV-Zentren der Fluoreszenzschicht ortsabhängig von dem ortsabhängigen Betrag der magnetischen Flussdichte am Ort des jeweiligen NV-Zentrums in der Fluoreszenzschicht ab.

[0215] Eine Fluoreszenzkamera der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera als drittes Ausführungsbeispiel erfasst die ortsabhängige Intensität der Fluoreszenzstrahlung der NV-Zentren in einer Schicht mit paramagnetischen Zentren in einer Vielzahl von Kristallen. Hierzu umfasst die Fluoreszenzkamera bevorzugt einem zweidimensionales Array von Lichtsensoren eines Lichtsensorarrays, die für die elektromagnetische Strahlung der Fluoreszenzwellenlänge empfindlich sind. Beispielsweis kann das zweidimensionales Array von Lichtsensoren des Lichtsensorarrays der Fluoreszenzkamera ein CCD-Sensor-Array oder ein CMOS-Array oder ein SPAD-Array umfassen. Eine Auswerteschaltung stellt den Lichtsensoren, soweit notwendig, die ggf. erforderliche Betriebsspannung zur Verfügung. Typischerweise erzeugen die Lichtsensoren einen Fotostrom und/oder eine Fotoladung, die typischerweise proportional zur empfangenen Lichtintensität ist oder zumindest von der jeweils empfangenen Lichtintensität abhängt. Die Auswerteschaltung erfasst den Wert dieses Fotostroms bzw. der Fotoladung und ermittelt daraus pixelweise einen Messwert für die Intensität der Fluoreszenzstrahlung an dem Ort der Fluoreszenzschicht der Sensorschicht, den die Optik der Fluoreszenzkamera auf das jeweilige Pixel abbildet. Die Fluoreszenzschicht umfasst Kristalle mit paramagnetischen Zentren, die in Abhängigkeit von der magnetischen Flussdichte B und der Intensität der Pumpstrahlung mit der sie bestrahlt werden, fluoreszieren. Auf diese Weise kann die Fluoreszenzkamera die einen Wert der magnetischen Flussdichte je Pixel des Fotodetektor-Arrays bestimmen, der mit einen diesem Pixel zugeordneten Bereich der Fluoreszenzschicht korrespondiert.

[0216] Die Erfindung nutzt die Verbindung zwischen Diamantstaub und UV-Kleber und das Know-How aus Messungen von Magnetfeldern durch fasergekoppelte Messung der Fluoreszenz von NV-reichem Diamantpulver. Das hier vorgelegte Dokument verweist in diesem Zusammenhang auf die unveröffentlichte deutschen Patentanmeldung DE 10 2022 122 505.4.

[0217] Als Sensorelement kommt flächig auf ein Trägermaterial aufgebracht NV-haltiger Diamantstaub (Größe beliebig, sollte jedoch möglichst im Bereich von 100nm - 2µm Partikeln liegen.) in Verbindung mit einem optisch transparenten (500nm - 850nm) Verbundmaterial (z.B. UV-Kleber oder anderen optisch transparenten Materialien, wie z.B. Glas, Glaspasten, Epoxy etc.) zum Einsatz. Dabei gibt es keine Einschränkungen für die Flächengröße und Form (z.B. gekrümmte oder flexible Flächen sind möglich). Die Schichtdicke der Sensorschicht ist dabei deutlich kleiner als die Flächenausdehnung (typ. wenige 10µm). Zusätzlich kann das Trägermaterial verspiegelt werden, um die Anregung und Detektion zu verbessern, sowie mögliches Streulicht von außerhalb des Sensors zu blockieren. Dazu können Metalle (z.B. Au, Ti, Al, Ag) auf das Trägermaterial aufgebracht werden oder dielektrische Verspiegelungen genutzt werden. Als Trägermaterial kann z.B. Keramik, (gehärtetes-) Glas oder Metall genutzt werden. Um möglichst nah mit dem Sensorelement an ein Prüfstück zu gelangen, sollte das Trägermaterial möglichst dünn ausgestaltet sein. Um die Stabilität des Trägermaterials in Verbindung mit dem Diamantmaterial zu gewährleisten, kann auf das Diamantmaterial ein weiteres (dickeres) optisch transparentes Trägermaterial aufgebracht werden.

[0218] Das hier vorgelegte Dokument schlägt für solche und andere Anwendungen mit ähnlichen Messaufgaben eine Sensorschicht vor. Dabei weist die Sensorschicht vorzugsweise ein Trägermaterial auf, in dem eine Vielzahl von Diamanten oder andere Kristalle, die paramagnetische Zentren umfassen, eingebettet sind. Ein oder mehrere oder alle Diamanten dieser Diamanten bzw. ein oder mehrere oder alle Kristalle dieser Kristalle weisen dabei ein oder mehrere NV-Zentren und/oder ein oder mehrere andere paramagneti-

schen Zentren auf. Die NV-Zentren der Sensorschicht und/oder die anderen paramagnetischen Zentren der Sensorschicht emittieren bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung zumindest eine Fluoreszenzstrahlung. Das Besondere der in dem hier vorgelegten Dokument vorgeschlagenen Sensorschicht ist, dass das Trägermaterial beispielsweise ein mittels elektromagnetischer Strahlung ausgehärtetes Trägermaterial sein kann und dass das Trägermaterial nach dem Aushärten für Strahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung, mit der die NV-Zentren NVZ und/oder die anderen paramagnetischen Zentren gepumpt werden, im Wesentlichen transparent ist. Im Wesentlichen bedeutet dabei, dass die unzweifelhaft auftretenden Verluste immer noch so gering sind, dass die Funktionsfähigkeit der betreffenden Anwendung immer noch gegeben ist. In gleicherweise sollte das Trägermaterial für Strahlung mit einer Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung der NV-Zentren im Wesentlichen transparent sein. Im Wesentlichen bedeutet dabei wiederum, dass die unzweifelhaft auftretenden Verluste immer noch so gering sind, dass die Funktionsfähigkeit der betreffenden Anwendung immer noch gegeben ist. Durch die Aushärtung eines zuvor flüssigen Trägermittels ist die Fertigung einer solchen Sensorschicht besonders einfach und prozesssicher mit einem hohen C_{pk} -Wert zu fertigen.

[0219] In einer Variante der Sensorschicht sind die Diamanten bzw. Kristalle im Trägermaterial der Sensorschicht im Wesentlichen zueinander unterschiedlich mit einer jeweils im Wesentlichen unterschiedlichen Orientierung orientiert. Dies hat den Vorteil, dass sich die Sensorschicht isotrop verhält und keine Vorzugsrichtung zeigt. Die Mischung verschiedenster Diamantkristalle zw. Kristalle kann die Messergebnisse homogenisieren und den C_{pk} -Wert verbessern.

[0220] Das Diamantmaterial der Sensorschicht der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera wird vorzugsweise, wenn es NV-Zentren enthält, mit grünem Licht angeregt. Dies kann z.B. durch eine oder mehrere LEDs als Lichtquelle erfolgen. Um die gezielte Anregung des Diamantmaterials zu verbessern können Linsen zur Fokussierung / Ausrichtung der Anregung in der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera verwendet werden. Die Fluoreszenzstrahlung wird anschließend mit einem Lichtsensorarray der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera orts aufgelöst gemessen. Zur optimalen Detektion kann die Fluoreszenzemission der Fluoreszenzstrahlung mit einem Objektiv / einer Linse auf das Lichtsensorarray abgebildet werden (Fluoreszenzkamera). Alternativ kann das Diamantmaterial mit optischen Filtern auch direkt auf ein Lichtsensorarray aufgebracht werden- der Messbereich entspricht dann aber nur der der Größe des Sensorarrays. Zur Verbesserung des Kontrastes kann ein Shortpass-Filter vor der LED, also der Lichtquelle, und/oder ein Longpass-Filter vor dem Lichtsensorarray der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera verwendet werden, wobei die Grenz-Wellenlänge des Shortpass-Filters der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera kleiner als die des Longpass-Filters der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera sein sollte. Das Longpass-Filter lässt typischerweise elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge im technisch für die betreffende Anwendung relevanten Wellenlängenbereich größer als die Grenzwellenlänge des Longpass-Filters passieren. Das Shortpass-Filter der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera lässt elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge im technisch für die betreffende Anwendung relevanten Wellenlängenbereich kleiner als die Grenzwellenlänge des Shortpass-Filters passieren. Bevorzugt umfasst die vorgeschlagene Vorrichtung als Lichtsensorarray der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera ein monochromes Lichtsensorarray ohne RGB-Filter und ohne Infrarotfilter.

[0221] Das Wesentliche des hier vorgelegten Dokuments ist nun, dass es auch ein Verfahren zur Herstellung einer Sensorschicht, wie sie zuvor beschrieben wurde, beschreibt und offenlegt. Das vorgeschlagene Verfahren umfasst die Schritte:

- Bereitstellen eines ersten Trägermaterials 9;
- Beschichten der Oberfläche der Oberseite des ersten Trägermaterials 9 mit einer Verspiegelung 10;
- Bereitstellen eines flüssigen und mittels elektromagnetischer Strahlung einer Aushärtewellenlänge λ_{H} härtbaren flüssigen, zweiten Trägermaterials, wobei in das zweite, flüssige Trägermaterial eine Vielzahl von Diamanten, vorzugsweise Nanodiamanten, bzw. Kristallen, vorzugsweise Nanokristallen, eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten dieser Diamanten bzw. Kristalle NV-Zentren und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren der Diamanten bzw. Kristalle des zweiten, flüssigen Trägermaterials und/oder die anderen paramagnetischen Zentren der Diamanten bzw. Kristalle des zweiten, flüssigen Trägermaterials bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung zumindest eine Fluoreszenzstrahlung emittieren;
- Benetzen der Oberfläche der Verspiegelung 10 mit dem zweiten, flüssigen Trägermaterial, das die Vielzahl eingebetteter Diamanten bzw. eingebetteter Kristalle aufweist;
- Bestrahlen der Oberfläche der Verspiegelung 10 und die Schicht des zweiten Flüssigen Trägermaterials mit elektromagnetischer Strahlung, wobei die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung,

die Aushärtewellenlänge λ_H , so gewählt ist, dass das zweite, flüssige Trägermaterial aushärtet und sich in einen Festkörper wandelt. Es bildet sich eine Schicht 11 mit Kristallen mit paramagnetischen Zentren. Bevorzugt umfasst diese Schicht eine Vielzahl von Nanokristallen, die vorzugsweise vollkommen zufällig, gleichverteilt orientiert sind, und deren Dichte vorzugsweise im Wesentlichen nicht abhängig von der Position in der Schicht ist. Vorzugsweise handelt es sich bei den Kristallen um Diamanten. Vorzugsweise handelt es sich bei den paramagnetischen Zentren um NV-Zentren. Bei diesem Diamantmaterial handelt es sich bevorzugt um NV-reichem Diamantstaub in einem optisch transparentem Verbundmaterial, das für elektromagnetische Strahlung mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und für elektromagnetische Strahlung mit Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_f im Wesentlichen transparent ist

- Entfernen des nicht ausgehärteten, flüssigen, zweiten Trägermaterials insbesondere mittels eines Lösungsmittels, wobei der verbleibende Film des zweiten Trägermaterials auf der Oberfläche der Verspiegelung 10 nach optionaler Beschichtung mit einem weiteren Trägermaterial 12 zusammen mit den anderen Komponenten (9, 10, 11, 12) die Sensorschicht 5 bildet.

[0222] Typischerweise härtet das zweite, flüssige Trägermaterial nur teilweise aus, was die Bildung des optischen Funktionselements ermöglicht.

[0223] Die elektromagnetische Strahlung mit der Aushärtewellenlänge λ_H weist eine Eindringtiefe in das zweite, flüssige Trägermaterial auf, so dass das zweite Trägermaterial nur bis zu einer gewissen Dicke des Trägermaterials aushärtet und so das optische Funktionselement bildet, was im Rahmen der Ausarbeitung der technischen Lehre dieser Schrift erst als überraschendes und vorteilhaftes Vorgehen erkannt wurde.

[0224] Die Strahlung der zur Aushärtung des zweiten flüssigen Trägermaterials verwendeten Strahlung ist bevorzugt UV-Strahlung. Ganz besonders bevorzugt ist eine Strahlung zur Aushärtung mit einer Aushärtewellenlänge λ_H zwischen 320-380nm.

[0225] In bestimmten Anwendungsfällen können dem zweiten, flüssigen Trägermaterial Nanopartikel mit einem Durchmesser kleiner 200nm und/oder kleiner 100nm und/oder kleiner 50nm und/oder kleiner 20nm und/oder kleiner 10nm und/oder kleiner 5nm vor dem Bereitstellen beigemischt werden, sodass diese in dem Trägermaterial nach dem Aushärten eingelagert sind. Beispielsweise kann es sich um metallische Nanopartikel handeln.

[0226] Solche metallischen Nanopartikel wechselwirken mit Diamanten in dem zweiten Trägermaterial der Sensorschicht 9 und können beispielsweise die Fluoreszenzstrahlung dieser Diamanten DM beeinflussen.

[0227] Die optionalen metallischen Nanopartikel können beispielsweise Gold und/oder Platin und/oder Palladium und/oder Graphit und/oder Graphen und/oder Chrom und/oder Silizium und/oder Germanium und/oder Zinn und/oder Schwefel und/oder Selen und/oder Tellur und/oder Magnesium und/oder Kalzium und/oder Strontium und/oder Barium und/oder Titan und/oder Zirkon und/oder Hafnium und/oder Chrom und/oder Molybdän und/oder Wolfram und/oder Eisen und/oder Ruthenium und/oder Osmium und/oder Nickel und/oder Zinn und/oder Kadmium und/oder Quecksilber und/oder Cerium und/oder Neodym und/oder Samarium und/oder Gadolinium und/oder Dysprosium und/oder Erbium und/oder Ytterbium und/oder Thorium und/oder Proactinium und/oder Uran und/oder Plutonium und/oder Mischungen derselben umfassen.

[0228] Die Atome des Metalls der Nanopartikel umfassen naturgemäß eines oder mehrerer Elemente des Periodensystems der Elemente. Jedes dieser Elemente tritt in verschiedenen Isotopen in der Natur mit einem jeweiligen natürlichen Isotopenmischungsverhältnis auf. Jedes Isotop weist in der Natur dabei einen natürlichen Anteil entsprechend dem natürlichen Isotopenmischungsverhältnis auf. Diese Isotope können ein magnetisches Kernmoment μ aufweisen oder nichtaufweisen je nach Isotop. Die metallischen Nanopartikel weisen bevorzugt bei zumindest einem Element, das die metallischen Nanopartikel aufweisen, einen erhöhten Anteil im Isotopenmischungsverhältnis gegenüber dem natürlichen Anteil des Isotopenmischungsverhältnisses für zumindest eines der folgenden Isotope auf: ^{12}C , ^{14}C , ^{28}Si , ^{30}Si , ^{70}Ge , ^{72}Ge , ^{74}Ge , ^{76}Ge , ^{112}Zn , ^{114}Zn , ^{116}Zn , ^{118}Zn , ^{120}Zn , ^{122}Zn , ^{124}Zn , ^{16}O , ^{18}O , ^{32}S , ^{34}S , ^{36}S , ^{74}Se , ^{76}Se , ^{78}Se , ^{80}Se , ^{82}Se , ^{120}Te , ^{122}Te , ^{124}Te , ^{126}Te , ^{128}Te , ^{130}Te , ^{24}Mg , ^{26}Mg , ^{40}Ca , ^{42}Ca , ^{44}Ca , ^{46}Ca , ^{48}Ca , ^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{88}Sr , ^{130}Ba , ^{132}Ba , ^{134}Ba , ^{136}Ba , ^{138}Ba , ^{46}Ti , ^{48}Ti , ^{50}Ti , ^{90}Zr , ^{92}Zr , ^{94}Zr , ^{96}Zr , ^{174}Hf , ^{176}Hf , ^{178}Hf , ^{50}Cr , ^{52}Cr , ^{53}Cr , ^{92}Mo , ^{94}Mo , ^{96}Mo , ^{98}Mo , ^{100}Mo , ^{180}W , ^{182}W , ^{184}W , ^{186}W , ^{54}Fe , ^{56}Fe , ^{58}Fe , ^{96}Ru , ^{98}Ru , ^{100}Ru , ^{102}Ru , ^{104}Ru , ^{184}Os , ^{186}Os , ^{188}Os , ^{190}Os , ^{192}Os , ^{58}Ni , ^{60}Ni , ^{62}Ni , ^{64}Ni , ^{102}Pd , ^{104}Pd , ^{106}Pd , ^{108}Pd , ^{110}Pd , ^{190}Pt , ^{192}Pt , ^{194}Pt , ^{196}Pt , ^{198}Pt , ^{64}Zn , ^{66}Zn , ^{68}Zn , ^{70}Zn , ^{106}Cd , ^{108}Cd , ^{110}Cd , ^{112}Cd , ^{114}Cd , ^{116}Cd , ^{196}Hg , ^{198}Hg , ^{200}Hg , ^{202}Hg , ^{204}Hg , ^{136}Ce , ^{138}Ce , ^{140}Ce , ^{142}Ce , ^{142}Nd , ^{144}Nd , ^{146}Nd , ^{148}Nd , ^{150}Nd , ^{144}Sm , ^{146}Sm , ^{148}Sm , ^{150}Sm , ^{152}Sm , ^{154}Sm , ^{152}Gd , ^{154}Gd , ^{156}Gd , ^{158}Gd , ^{160}Gd , ^{156}Dy , ^{158}Dy , ^{160}Dy , ^{162}Dy , ^{164}Dy , ^{162}Er , ^{164}Er , ^{166}Er , ^{168}Er , ^{170}Er , ^{168}Yb , ^{170}Yb .

¹⁷²Yb, ¹⁷⁴Yb, ¹⁷⁶Yb, ²³²Th, ²³⁴Pa, ²³⁴U, ²³⁸U, ²⁴⁴Pu. „Erhöht“ bedeutet dabei im Sinne dieses Dokuments, dass der Anteil im Isotopenmischverhältnis der vorstehenden Isotope um 50% oder mehr erhöht ist.

[0229] Der Wert des Ausgangssignals jedes Sensorpixel, also jeder Lichtsensor des Lichtsensorarrays der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera, gibt dann die Magnetfeldstärke am Ort des auf dem betreffenden Sensorpixel, also dem betreffenden Lichtsensor des Lichtsensorarrays, abgebildeten Diamantmaterial-Volumens wieder. Damit ist die Ortsauflösung der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera nur durch die abbildende Optik und die Auflösung des Lichtsensorarrays, also die Sensorauflösung, begrenzt. Eine solche Vorrichtung kann somit mehrere Megapixel Auflösung realisieren.

[0230] Die Auswerteelektronik kann Schwankungen durch das Anregungslicht oder Inhomogenitäten im Diamantmaterial durch Verwendung von Werten einer zuvor durchgeführten Referenzmessung einer Referenzprobe herausrechnen. Die Anregung, Detektion und die optisch zugängliche Seite des Diamantmaterials befinden sich vorzugsweise in einem optisch geschlossenen Gehäuse, um den Einfluss von externem Licht zu unterdrücken.

[0231] Für größere Sensorflächen kann entsprechend der Arbeitsabstand und Fokus der Fluoreszenzkamera der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera angepasst werden. Vorrichtungen, die mehrere Fluoreszenzkameras verwenden, um die Ortsauflösung bei größerer Sensorfläche zu erhöhen, sind denkbar. Die Auswerteelektronik kann dann die Mehrzahl der Bilder dieser Mehrzahl von Fluoreszenzkameras zu einem Bild verrechnen.

[0232] Ein Demonstrator hat seine Tauglichkeit zur ortsaufgelösten Messung von Magnetfeldern bei der Erprobung des Vorschlags bereits unter Beweis gestellt.

ZUSAMMENFASSUNG DES DRITTEN AUSFÜHRUNGSVORSCHLAGS (MAGNETFELDKAMERA)

[0233] Das hier vorgelegte Dokument schlägt einen Magnetfeldkamerakopf 21 mit einer Sensorschicht 5, einer Lichtquelle 2 für Pumpstrahlung 13 und einer Fluoreszenzkamera mit einem Lichtsensorarray 1 aus Lichtsensoren vor. Die Sensorschicht 5 umfasst bevorzugt paramagnetische Zentren. Diese paramagnetischen Zentren emittieren bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung 13 Fluoreszenzstrahlung 14. Die Intensität der emittierten Fluoreszenzstrahlung 14 hängt dabei von der Intensität der Pumpstrahlung 13 und der Intensität der magnetischen Flussdichte B am jeweiligen Ort des jeweiligen paramagnetischen Zentrums in der Sensorschicht 5 ab. Die Fluoreszenzkamera der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera erfasst ein Fluoreszenzbild der Emissionsintensitätsverteilung für die Fluoreszenzstrahlungsemission der Fluoreszenzstrahlung 14 aus der Sensorschicht 5 und stellt dieses bereit.

[0234] Der Magnetfeldkamerakopf 21 kann Hilfsmagnete 19 umfassen.

[0235] Die Sensorschicht 5 umfasst bevorzugt Diamanten mit NV-Zentren als paramagnetische Zentren und/oder NV-zentren NVZ und/oder andere Kristalle mit paramagnetischen Zentren .

[0236] Außerdem schlägt das hier vorgelegte Dokument eine Magnetfeldkamera mit einem solchen Magnetfeldkamerakopf 21 und mit einem Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 vor, wobei das Rechnersystem 28 vorzugsweise dazu eingerichtet ist, aus einem Fluoreszenzbild des Magnetfeldkamerakopfes 21 ein Magnetflussdichtenbetragsbild zu erzeugen und/oder einen eindimensionalen Verlauf der Fluoreszenzintensität oder des Magnetflussdichtenbetrags längs einer Linie durch das Fluoreszenzbild hindurch zu erzeugen.

[0237] Das Weiteren schlägt das hier vorgelegte Dokument die Verwendung der oben beschriebenen Magnetfeldkamera und/oder des oben beschriebenen Magnetfeldkamerakopfes 21 für die Untersuchung des Magnetfelds magnetisierter Objekte und/oder für die Untersuchung der Struktur magnetisierter Objekte und/oder für die Untersuchung der Stromdichteverteilung in Objekten, die von einem elektrischen Strom durchflossen sind, vor.

[0238] Mit der hier vorgestellten technischen Lehre werden in diesem dritten Anwendungsbeispiel somit Bildformate für Magnetfeldkameras möglich, die bisher nicht realisierbar waren.

[0239] Im Folgenden listet das hier vorgelegte Dokument einige dieser Bildformate auf, die mittels der hier vorgestellten Magnetfeldkamera bei geeigneter Wahl der Kristallgröße der Kristalle und Nanokristalle 66

und/oder Diamanten und/oder Nanodiamanten und einer geeigneten Wahl der Pixelanzahl des Lichtsensorarrays 1 der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera möglich werden.

[0240] Bevorzugt sollte der Erfassungsbereich eines Lichtsensors (Pixels) des Lichtsensorarrays 1 der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera auf der Oberfläche der Schicht 11 größer als das Doppelte des mittleren Durchmessers der Kristalle und/oder Nanokristalle 66 sein. Dann ist in der Regel das Nyquist-Theorem erfüllt. Bevorzugt sollte der Erfassungsbereich eines Lichtsensors (Pixels) des Lichtsensorarrays 1 der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera auf der Oberfläche der Schicht 11 größer als das 5-Fache, besser 10-Fache, besser 20-Fache, besser 50-Fache des mittleren Durchmessers der Kristalle und/oder Nanokristalle 66 bzw. Diamanten und/oder Nanodiamanten sein. Dies ermöglicht eine stochastische Gleichverteilung der Orientierung mehrerer Kristalle und/oder Nanokristalle bzw. Diamanten und/oder Nanodiamanten, deren Fluoreszenzstrahlung von diesem Lichtsensor (Pixel) des Lichtsensorarrays 1 der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera erfasst wird.

Magnetfeldkamera mit flächenhafter Pumpstrahlungsquelle

[0241] Das hier vorgelegte Dokument beschreibt unter anderem eine flächenhafte Pumpstrahlungsquelle PL für die Bestrahlung paramagnetischer Zentren mit Pumpstrahlung 13 mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , wobei die flächenhafte Pumpstrahlungsquelle PL ein oder mehreren primäre Pumpstrahlungsquellen insbesondere in Form von LEDs 44 umfasst. Die ein oder mehreren primäre Pumpstrahlungsquellen sind bevorzugt dazu eingerichtet, Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} zu emittieren.

[0242] Bevorzugt umfasst die flächenhafte Pumpstrahlungsquelle ein erstes optisches Funktionselement, insbesondere eine Glasplatte 46 und/oder einen flächenhaften Lichtwellenleiter und/oder ein optisches System. Das erste optische Funktionselement ist im Sinne des hier vorgelegten Dokuments ein Lichtwellenleiter LWL. Das erste optische Funktionselement weist typischerweise eine erste Oberfläche 67 auf. Bevorzugt verteilt das erste optische Funktionselement die Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , die von den primären Pumpstrahlungsquellen emittiert wird, flächenhaft.

[0243] Typischerweise ist das erste optische Funktionselement somit dazu eingerichtet, dass aus einer ersten Oberfläche des ersten optischen Funktionselements der flächenhafte Pumpstrahlungsquelle diese flächenhaft verteilte Pumpstrahlung 13 flächenhaft austritt.

[0244] Diese flächenhafte Pumpstrahlungsquelle ermöglicht eine Ausleuchtung der Schicht 11 mittels LEDs 44 anstelle von Laser-Dioden als primären Pumpstrahlungsquellen. Dies ist wesentlich kostengünstiger, als die Ausleuchtung mittels Lasern. Wenn in dem hier vorgelegten Dokument von LEDs 44 geschrieben ist, sind damit allerdings Laser als möglich primäre Pumpstrahlungsquellen mitumfasst.

[0245] In einer anderen Ausprägung umfassen somit die ein oder mehreren primären Pumpstrahlungsquellen der flächenhaften Pumpstrahlungsquelle ein oder mehreren LEDs 44 als primäre Pumpstrahlungsquellen der Pumpstrahlung 13. Dies ermöglicht eine gute und vor allem homogenere Ausleuchtung der Schicht 11 mit Pumpstrahlung 13.

[0246] In einer anderen Ausprägung umfasst das erste optische Funktionselement eine oder mehrere der folgenden optischen Funktionselemente:

- eine Glasplatte 46 und/oder
- einen flächenhaften Lichtwellenleiter und/oder
- eine Mehrzahl von Lichtwellenleitern, die einem flächenhaften Lichtwellenleiter funktionsäquivalent sind, und/oder
- ein mikrooptisches System mit zumindest einem photonischen Kristall, das dazu eingerichtet ist, die Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} flächenhaft zu verteilen, und/oder
- ein mikrooptisches System mit zumindest einem mikrooptischen Spiegel, das dazu eingerichtet ist, die Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} flächenhaft zu verteilen, und/oder
- ein anderes optisches System, das dazu eingerichtet ist, die Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} flächenhaft zu verteilen.

[0247] Dieses erste optische Funktionselement ermöglicht somit die flächige Verteilung der Pumpstrahlung 13 zur Bestrahlung der Schicht 11 mit Pumpstrahlung 13.

[0248] In einer anderen Ausprägung bestrahlt die flächenhafte Pumpstrahlungsquelle der vorgeschlagenen Magnetfeldkamera eine flächenhafte Schicht 11 mit flächenhaft verteilten Kristallen und/oder Nanokristallen 66 und/oder Diamanten mit paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren mit Pumpstrahlung 13 der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} flächenhaft. Dieses erste optische Funktionselement ermöglicht somit die flächige Verteilung der Pumpstrahlung 13 zur Bestrahlung der Schicht 11 mit Pumpstrahlung 13.

[0249] In einer anderen Ausprägung umfasst die flächenhafte Pumpstrahlungsquelle die Schicht 11 und bestrahlt die Schicht 11 über die erste Oberfläche 67. Dabei ist in dieser anderen Ausprägung die Schicht 11 mit der ersten Oberfläche 67 des ersten optischen Funktionselements, hier der Glasplatte 46, direkt oder indirekt mechanisch verbunden. Bevorzugt bedeckt die Schicht 11 die erste Oberfläche 67 des ersten optischen Funktionselements, hier der Glasplatte 46, ganz oder teilweise.

[0250] Dies ermöglicht eine sehr einfache Konstruktion einer flächenhaften Fluoreszenzstrahlungsquelle als Zusammenstellung der Schicht 11 mit der flächenhaften Pumpstrahlungsquelle, wobei die flächenhafte Pumpstrahlungsquelle die Schicht 11 mit Pumpstrahlung 13 flächenhaft bestrahlt und daraufhin die paramagnetischen Zentren in der Schicht 11 flächenhaft Fluoreszenzstrahlung 14 in Abhängigkeit von der magnetischen Flussdichte am Ort des jeweiligen paramagnetischen Zentrums in der Schicht 11 emittieren. Hierdurch ergibt sich somit eine flächenhafte Fluoreszenzstrahlungsquelle, bei der die Intensität der lokal an einem Punkt der Abstrahlungsfläche der flächigen Fluoreszenzstrahlungsquelle abgestrahlten Fluoreszenzstrahlung 14 von der magnetischen Flussdichte an diesem Punkt der Abstrahlungsfläche der flächigen Fluoreszenzstrahlungsquelle abhängt.

[0251] In einer anderen Ausprägung emittiert die Schicht 11 örtlich unterschiedlich je nach dem Wert des lokalen Betrags der magnetischen Flussdichte in der Schicht 11 eine Fluoreszenzstrahlung 14 mit einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} . Auch Hierdurch ergibt sich somit eine flächenhafte Fluoreszenzstrahlungsquelle, bei der die Intensität der lokal an einem Punkt der Abstrahlungsfläche der flächigen Fluoreszenzstrahlungsquelle abgestrahlten Fluoreszenzstrahlung 14 von der magnetischen Flussdichte an diesem Punkt der Abstrahlungsfläche der flächigen Fluoreszenzstrahlungsquelle abhängt.

[0252] In einer anderen Ausprägung umfasst die flächenhafte Pumpstrahlungsquelle ein weiteres optisches Funktionselement, das elektromagnetische Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} von der elektromagnetischen Strahlung mit Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} separiert. Hierdurch ergibt sich somit eine flächenhafte Fluoreszenzstrahlungsquelle, bei der die Intensität der lokal an einem Punkt der Abstrahlungsfläche der flächigen Fluoreszenzstrahlungsquelle abgestrahlten Fluoreszenzstrahlung 14 von der magnetischen Flussdichte an diesem Punkt der Abstrahlungsfläche der flächigen Fluoreszenzstrahlungsquelle abhängt und die keine Pumpstrahlung emittiert, was den Kontrast erhöht.

[0253] In einer anderen Ausprägung umfasst das weitere optische Funktionselement eines oder mehrere der folgenden optischen Funktionselemente:

- eine dichroitisch verspiegelte Schicht 47 und/oder
- einen optischen Filter (Longpass) 6.

[0254] Dies ermöglicht eine sehr einfache Konstruktion der Separationsvorrichtung für die Separation der elektromagnetischen Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} von der elektromagnetischen Strahlung mit Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} .

[0255] In einer anderen Ausprägung separiert das weitere optische Funktionselement die Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} von der Fluoreszenzstrahlung 14 mit der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} zu separieren. Hierdurch ergibt sich somit eine flächenhafte Fluoreszenzstrahlungsquelle, bei der die Intensität der lokal an einem Punkt der Abstrahlungsfläche der flächigen Fluoreszenzstrahlungsquelle abgestrahlten Fluoreszenzstrahlung 14 von der magnetischen Flussdichte an diesem Punkt der Abstrahlungsfläche der flächigen Fluoreszenzstrahlungsquelle abhängt und die keine Pumpstrahlung emittiert, was den Kontrast erhöht.

Herstellverfahren für die flächenhafte Pumpstrahlungsquelle

[0256] Das hier vorgelegte Dokument stellt darüber hinaus ein Verfahren zur Herstellung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (44, 46) vor. Das Verfahren beginnt mit der Bereitstellung von ein oder mehreren primären Pumpstrahlungsquellen. Dabei emittieren die ein oder mehreren primären Pumpstrahlungsquellen Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Ein weiterer Schritt umfasst das Bereitstellen eines ersten optischen Funktionselements, beispielsweise einer Glasplatte 46. Typischerweise weist das erste optische Funktionselement eine erste Oberfläche 67 auf. Bevorzugt verteilt das erste optische Funktionselement die Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , die die primären Pumpstrahlungsquellen emittieren, flächenhaft. Das erste optische Funktionselement somit dazu eingerichtet ist, dass aus der ersten Oberfläche 67 des ersten optischen Funktionselements der flächenhafte Pumpstrahlungsquelle diese flächenhaft verteilte Pumpstrahlung 13 flächenhaft austritt. Ein weiterer Schritt des Verfahrens ist typischerweise ein mechanisches Verbinden der primären Pumpstrahlungsquellen mit dem ersten optischen Funktionselement. Hierbei kann beispielsweise ein Schaltungsträger (PCB) 43 die mechanische Verbindung mittels Lötungen und/oder Klebungen herstellen. Die primären Pumpstrahlungsquellen sind vorzugsweise nach dem mechanischen Verbinden dazu eingerichtet, Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} bei elektrischer Aktivierung z.B. durch Bestromung zu emittieren und in das erste optische Funktionselement, insbesondere über eine Kante des ersten optischen Funktionselements und/oder eine Seitenfläche des ersten optischen Funktionselements, einzuspeisen. Das erste optische Funktionselement ist vorzugsweise dazu eingerichtet, dass die Pumpstrahlung 13 sich innerhalb des ersten optischen Funktionselements flächenhaft in einer Lichtfläche ausbreitet. Das erste optische Funktionselement strahlt vorzugsweise über die erste Oberfläche 67 des ersten optischen Funktionselements Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} senkrecht zur vorbeschriebenen Lichtfläche der Pumpstrahlung 13 innerhalb des ersten optischen Funktionselements Pumpstrahlung (13) mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} ab.

[0257] In einer anderen Ausprägung umfasst das Verfahren zur Herstellung einer Sensorschicht 5 als einen Schritt das Bereitstellen eines ersten optisches Funktionselement, insbesondere einer Glasplatte (46) und/oder eines flächenhaften Lichtwellenleiters und/oder eines optischen Systems. Des Weiteren umfasst das Verfahren in dieser Ausprägung bevorzugt das Bereitstellen eines flüssigen und mittels elektromagnetischer Strahlung einer Aushärtewellenlänge λ_{H} härtbaren flüssigen, zweiten Trägermaterials. Dabei sind bevorzugt in das zweite, flüssige Trägermaterial eine Vielzahl von Diamanten, vorzugsweise Nanodiamanten, bzw. Kristallen 66, vorzugsweise Nanokristallen 66, eingebettet. Bevorzugt weisen einer oder mehrere oder alle Diamanten dieser Diamanten bzw. Kristalle 66 und/oder Nanokristalle 66 NV-Zentren und/oder andere paramagnetischen Zentren auf. Bevorzugt emittieren die NV-Zentren der Diamanten bzw. Kristalle 66 bzw. Nanokristalle 66 des zweiten, flüssigen Trägermaterials und/oder die anderen paramagnetischen Zentren der Diamanten bzw. Kristalle 66 und/oder Nanokristalle 66 des zweiten, flüssigen Trägermaterials bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung 13 zumindest eine Fluoreszenzstrahlung 14. In dieser Ausprägung umfasst das hier vorgestellte Verfahren zur Herstellung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (44, 46) bevorzugt den Schritt des Benetzens und Beschichtens der ersten Oberfläche 67 des ersten optisches Funktionselements, insbesondere der Glasplatte 46 und/oder des flächenhaften Lichtwellenleiters und/oder des optischen Systems, mit dem zweiten, flüssigen Trägermaterial, das vorzugsweise die Vielzahl eingebetteter Diamanten bzw. eingebetteter Kristalle 66 und/oder Nanokristalle 66 aufweist. Das hier vorgestellte Verfahren zur Herstellung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (44, 46) umfasst als weiteren Schritt vorzugsweise das Bestrahlen der ersten Oberfläche 67 des ersten optisches Funktionselements, insbesondere der Glasplatte (46) und/oder des flächenhaften Lichtwellenleiters und/oder des optischen Systems, und/oder der Schicht des zweiten Flüssigen Trägermaterials mit elektromagnetischer Strahlung, wobei die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung, die Aushärtewellenlänge λ_{H} , so gewählt ist, dass das zweite, flüssige Trägermaterial aushärtet und sich in einen Festkörper, insbesondere in Form der Schicht 11, wandelt. Bevorzugt wird hierzu an den Stellen des ersten optischen Funktionselements - also beispielsweise der Glasplatte 46 - an dem die primären Pumpstrahlungsquellen - also beispielsweise die LEDs 44 - die Pumpstrahlung 13 später einspeisen sollen, Aushärtestrahlung als elektromagnetischen Strahlung mit der Aushärtewellenlänge λ_{H} , eingespeist. Hierdurch wird die Schicht selbstjustierend auf der ersten Oberfläche 67 des ersten optischen Funktionselements - also beispielsweise der Glasplatte 46 - ausgehärtet und damit gefertigt.

[0258] In einer anderen Ausprägung des Verfahrens zur Herstellung einer Sensorschicht 5 umfasst die Schicht 11 eine Vielzahl von Kristallen 66 und/oder Nanokristallen 66 mit paramagnetischen Zentren.

[0259] In einer anderen Ausprägung des Verfahrens zur Herstellung einer Sensorschicht 5 sind die Kristalle 66 und/oder Nanokristalle 66 in der Schicht 11 vollkommen zufällig und im Wesentlichen gleichverteilt orientiert.

tiert sind, und/oder die Dichte Kristalle 66 und/oder Nanokristalle 66 in der Schicht 11 ist vorzugsweise im Wesentlichen nicht abhängig von der Position in der Schicht 11.

[0260] In einer anderen Ausprägung des Verfahrens zur Herstellung einer Sensorschicht 5 umfassen die Kristalle 66 und/oder Nanokristalle 66 Diamanten. Bevorzugt umfassen die Kristalle 66 und/oder Nanokristalle 66 in dieser Ausprägung paramagnetischen Zentren. Bevorzugt umfassen in dieser Ausprägung die Kristalle 66 und/oder Nanokristalle 66 Diamanten mit NV-Zentren umfassen.

[0261] In einer anderen Ausprägung des Verfahrens zur Herstellung einer Sensorschicht 5 handelt es sich bei der Schicht 11 um ein optisch transparentes Verbundmaterial, das für elektromagnetische Strahlung mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und für elektromagnetische Strahlung mit Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} im Wesentlichen transparent ist.

[0262] In einer anderen Ausprägung des Verfahrens zur Herstellung einer Sensorschicht 5 umfasst das Verfahren einen weiteren Schritt des Entfernens des nicht ausgehärteten, flüssigen, zweiten Trägermaterials insbesondere mittels eines Lösungsmittels, wobei der verbleibende Film des zweiten Trägermaterials auf der ersten Oberfläche 67 des ersten optisches Funktionselements, insbesondere der Glasplatte 46, die Schicht 11 bildet.

[0263] In einer anderen Ausprägung des Verfahrens zur Herstellung einer Sensorschicht 5 umfasst das Verfahren einen weiteren Schritt der Beschichtung der Schicht 11 mit einer Verspiegelung 10.

[0264] In einer anderen Ausprägung des Verfahrens zur Herstellung einer Sensorschicht 5 umfasst das Verfahren einen weiteren Schritt der Beschichtung der Schicht 11 und/oder der Verspiegelung 10 mit einem weiteren Trägermaterial 12.

[0265] In einer anderen Ausprägung des Verfahrens zur Herstellung einer Sensorschicht 5 umfasst das Verfahren einen weiteren Schritt des Verwendens der Schicht 11 zusammen mit anderen Komponenten (9, 10, 12) als Sensorschicht 5 eines Sensorkopfes 21.

[0266] In einer anderen Ausprägung des Verfahrens zur Herstellung einer Sensorschicht 5 umfasst das Verfahren einen weiteren Schritt des ganzflächigen oder bereichsweisen Herstellens eines Diffusors oder einer Diffusor Schicht 69 auf der ersten Oberfläche 67 des ersten optischen Funktionselements.

Herstellen der Sensorschicht 5 auf einem Trägermaterial 9

[0267] In einer anderen Ausprägung des Verfahrens zur Herstellung einer Sensorschicht 5 in einem Gehäuse 8 umfasst das Verfahren zur Herstellung einer Sensorschicht 5 als ersten Schritt das Bereitstellen eines ersten Trägermaterials 9. Ein weiterer Schritt dieses Verfahrens zur Herstellung einer Sensorschicht 5 in einem Gehäuse 8 umfasst das Beschichten der Oberfläche der Oberseite des ersten Trägermaterials 9 mit einer Verspiegelung 10. Das Verfahren umfasst auch das Bereitstellen eines flüssigen und mittels elektromagnetischer Strahlung einer Aushärtewellenlänge λ_{H} härtbaren flüssigen, zweiten Trägermaterials. Dabei sind vorzugsweise in das zweite, flüssige Trägermaterial eine Vielzahl von Diamanten, vorzugsweise Nanodiamanten, bzw. Kristallen 66, vorzugsweise Nanokristallen 66, eingebettet. Dabei weisen bevorzugt einer oder mehrere oder alle Diamanten dieser Diamanten bzw. Kristalle 66 und/oder Nanokristalle 66 NV-Zentren und/oder andere paramagnetischen Zentren auf. Dabei emittieren die NV-Zentren der Diamanten bzw. Kristalle 66 und/oder Nanokristalle 66 des zweiten, flüssigen Trägermaterials und/oder die anderen paramagnetischen Zentren der Diamanten bzw. Kristalle 66 und/oder Nanokristalle 66 des zweiten, flüssigen Trägermaterials bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung 13 zumindest eine Fluoreszenzstrahlung 14. Das Verfahren umfasst vorzugsweise das Benetzen der Oberfläche der Verspiegelung 10 mit dem zweiten, flüssigen Trägermaterial, das die Vielzahl eingebetteter Diamanten bzw. eingebetteter Kristalle 66 und/oder Nanokristalle 66 aufweist. Bevorzugt umfasst das Verfahren das Bestrahlen der Oberfläche der Verspiegelung 10 und der Schicht des zweiten flüssigen Trägermaterials mit elektromagnetischer Strahlung. Dabei ist die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung, die Aushärtewellenlänge λ_{H} , vorzugsweise so gewählt, dass das zweite, flüssige Trägermaterial aushärtet und sich in einen Festkörper wandelt. Typischerweise bildet sich eine Schicht 11 mit Kristallen 66 und/oder Nanokristallen 66 mit paramagnetischen Zentren. Bevorzugt umfasst diese Schicht 11 eine Vielzahl von Nanokristallen 66, die vorzugsweise vollkommen zufällig, gleichverteilt orientiert sind, und deren Dichte vorzugsweise im Wesentlichen nicht abhängig von der Position in der Schicht 11 ist. Vorzugsweise handelt es sich bei den Kristallen um Diamanten. Vorzugsweise handelt es sich bei den paramagnetischen Zentren um NV-Zentren. Bei diesem Diamantmaterial handelt es sich bevorzugt um NVreichem

Diamantstaub aus Kristallen 66 und/oder Nanokristallen 66 in einem optisch transparentem Verbundmaterial, das für elektromagnetische Strahlung mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und für elektromagnetische Strahlung mit Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} im Wesentlichen transparent ist. Das vorgeschlagene Verfahren umfasst bevorzugt das Entfernen des nicht ausgehärteten, flüssigen, zweiten Trägermaterials insbesondere mittels eines Lösungsmittels, wobei der verbleibende Film des zweiten Trägermaterials auf der Oberfläche der Verspiegelung 10 nach optionaler Beschichtung mit einem weiteren Trägermaterial 12 zusammen mit den anderen Komponenten (9, 10, 11, 12) die Sensorschicht 5 bildet.

Verwendung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (46, 44)

[0268] Das hier vorgelegte Dokument beschreibt darüber hinaus ein Verfahren zur Verwendung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (46, 44). Schritte des Verfahrens sind das Bereitstellen der flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (46, 44) und das Bereitstellen einer flächenhaften Schicht 11, wobei die flächenhafte Schicht 11 eine Vielzahl von Kristallen 66 und/oder Nanokristallen 66 umfasst, die paramagnetische Zentren aufweisen. Das Verfahren umfasst bevorzugt das Bestrahlen der flächenhaften Schicht 11 mit Pumpstrahlung 13 einer Pumpstrahlungsquelle (2, 44), wobei die Pumpstrahlung 13 eine Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} aufweist. Paramagnetische Zentren von Kristallen 66 und/oder Nanokristallen 66 der flächenhaften Schicht 11 emittieren bei dieser Bestrahlung durch die die Pumpstrahlung 13 der flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (46, 44) flächenhaft Fluoreszenzstrahlung 14. Das Verfahren umfasst des Weiteren bevorzugt das Separieren der Fluoreszenzstrahlung 14 von der Pumpstrahlung 13 mittels eines Separationsmittels (6, 47). Typischerweise können optische Filter (Longpass) 6 und/oder dichroitisch verspiegelte optionale Schichten 47 solche Separationsmittel (6,47) darstellen. Das Verfahren umfasst auch das Erfassen der Fluoreszenzstrahlung 14 mittels eines Erfassungsmittels 15, 1. Typischerweise können die Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Auswerteelektronik 15 der Fluoreszenzkamera solche Erfassungsmittel 15, 1 darstellen.

[0269] In einer weiteren Ausprägung des Verfahrens zur Verwendung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (46, 44) umfasst das Verfahren das Abbilden der Verteilung der örtlichen Intensität der flächenhaften Emission der Fluoreszenzstrahlung 14 mittels einer bildgebenden Optik 7 auf ein Lichtsensorarray 1;

[0270] In einer weiteren Ausprägung des Verfahrens zur Verwendung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (46, 44) umfasst das Verfahren das Erfassen von Messwerten von Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und Aufbereitung dieser Messwerte in einer Auswerteelektronik 15 und vorzugsweise das Bilden eines Fluoreszenzbildes aus solchen Messwerten.

[0271] In einer weiteren Ausprägung des Verfahrens zur Verwendung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (46, 44) umfasst das Verfahren das Komprimieren der erfassten Messwerte von Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und Aufbereitung dieser Messwerte in einer Auswerteelektronik 15 insbesondere zu einem komprimierten Fluoreszenzbild. Beispielsweise kann der Sensorkopf 21 Formate verlustfreier Bildkompressionsverfahren wie GIF, RAW, BMP, PNG erzeugen. Beispielsweise kann der Sensorkopf 21 Formate verlustbehafteter Bildkompressionsverfahren wie JPEG erzeugen.

[0272] In einer weiteren Ausprägung des Verfahrens zur Verwendung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (46, 44) umfasst das Verfahren das Übertragen eines Fluoreszenzbildes und/oder eines komprimierten Fluoreszenzbildes an ein übergeordnetes Rechnersystem 28.

[0273] In einer weiteren Ausprägung des Verfahrens zur Verwendung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (46, 44) umfasst das Verfahren die Dekomprimierung des empfangenen komprimierten Fluoreszenzbildes zu einem übertragenen Fluoreszenzbild im übergeordneten Rechnersystem 28 und/oder die Verwendung des empfangenen Fluoreszenzbildes zu einem übertragenen Fluoreszenzbild im übergeordneten Rechnersystem 28.

[0274] In einer weiteren Ausprägung des Verfahrens zur Verwendung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (46, 44) umfasst das Verfahren das Ermitteln eines Bildes der eindimensionalen und/oder zweidimensionalen und/oder dreidimensionalen Verteilung der magnetischen Flussdichte in Abhängigkeit von einem oder mehreren übertragenen oder erfassten Fluoreszenzbildern. Vorzugsweise führt ein übergeordnetes Rechnersystem 28 diese Ermittlung aus.

[0275] In einer weiteren Ausprägung des Verfahrens zur Verwendung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (46, 44) umfasst das Verfahren die Darstellung eines Bildes der eindimensionalen und/oder zweidi-

mensionalen und/oder dreidimensionalen Verteilung der magnetischen Flussdichte und/oder eines einem oder mehrerer übertragener oder erfasster Fluoreszenzbilder und/oder daraus errechneter Bilder auf einem Display 32 oder einem anderen Medium zur Darstellung von Bildern.

[0276] In einer weiteren Ausprägung des Verfahrens zur Verwendung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (46, 44) umfasst das Verfahren das Erzeugen einer Video-Sequenz aus mehreren eines Bildes der eindimensionalen und/oder zweidimensionalen und/oder dreidimensionalen Verteilung der magnetischen Flussdichte und/oder aus einem oder mehreren übertragenen oder erfassten Fluoreszenzbildern und/oder aus daraus errechneten Bildern. Die Auswerteelektronik 15 und/oder das übergeordnete Rechnersystem 28 können diese Videosequenzherzeugung vornehmen.

[0277] In einer weiteren Ausprägung des Verfahrens zur Verwendung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (46, 44) umfasst das Verfahren die Kompression der Video-Sequenz zu einer komprimierten Video-Sequenz. Dabei können die Auswerteelektronik 15 und/oder das übergeordnete Rechnersystem 28 diese Kompression vornehmen. Bevorzugt benutzen diese eines der folgenden Kompressionsverfahren: AVC, HEVC, MPEG. Bevorzugt erstellt die Auswerteelektronik 15 des Sensorkopfes 21 die Video-Sequenz und komprimiert diese mittels eines Kompressionsverfahrens und überträgt die so komprimierte Video-Sequenz dann über den Datenbus 29 an das übergeordnete Rechnersystem 28 zur Bedienung des Sensorkopfes 21.

[0278] In einer weiteren Ausprägung des Verfahrens zur Verwendung einer flächenhaften Pumpstrahlungsquelle (46, 44) umfasst das Verfahren die Darstellung der Video-Sequenz auf einem Display 32 oder einem anderen Medium zur Darstellung von Video-Sequenzen.

Sensorkopf

[0279] Das hier vorgestellte Dokument schlägt auch einen Sensorkopf 21 mit einer Sensorschicht 5 und einer Lichtquelle (2, 44) für Pumpstrahlung 13 und einer Fluoreszenzkamera mit einem Lichtsensorarray 1 aus Lichtsensoren vor. Auch hierbei umfasst bevorzugt die Sensorschicht 5 paramagnetische Zentren, die bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung 13 Fluoreszenzstrahlung (14) emittieren. Dabei hängt die Intensität der Fluoreszenzstrahlung 14 von der Intensität der Pumpstrahlung 13 und der Intensität der magnetischen Flussdichte am jeweiligen Ort des jeweiligen paramagnetischen Zentrums ab. Vorschlagsgemäß erfasst die Fluoreszenzkamera ein Fluoreszenzbild der Emissionsintensitätsverteilung für die Emission der Fluoreszenzstrahlung 14 aus der Sensorschicht 5 und stellt das Fluoreszenzbild bereit.

[0280] In einer weiteren Ausprägung des Sensorkopfes 21 umfasst der der Sensorkopf Hilfsmagnete 19.

[0281] In einer weiteren Ausprägung des Sensorkopfes 21 umfasst die Sensorschicht 5 Diamanten mit NV-Zentren als paramagnetische Zentren.

Magnetfeldkamera

[0282] Das hier vorgelegte Dokument schlägt eine Magnetfeldkamera mit einem der vorbeschriebenen Magnetfeldkameraköpfen 21 vor. Die Magnetfeldkamera weist dabei ein Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 auf, wobei das Rechnersystem 28 vorzugsweise aus einem Fluoreszenzbild des Magnetfeldkamerakopfes 21 und/oder aus einem daraus berechneten Bild

- ein Magnetflussdichtenbetragsbild und/oder
- ein Bild der eindimensionalen und/oder zweidimensionalen und/oder dreidimensionalen Verteilung der magnetischen Flussdichte und/oder
- einen Datensatz mit Werten eines eindimensionalen Verlaufs der Fluoreszenzintensität oder des Magnetflussdichtenbetrags längs einer Linie durch das Fluoreszenzbild und/oder das daraus berechneten Bild hindurch

erzeugt.

Verwendung einer Magnetfeldkamera

[0283] Das hier vorgelegte Dokument schlägt vor, eine der vorbesprochenen Magnetfeldkameras für die Untersuchung des Magnetfelds magnetisierter Objekte zu verwenden.

[0284] Das hier vorgelegte Dokument schlägt vor, eine der vorgeschlagenen Magnetfeldkameras für die Untersuchung der Struktur magnetisierter Objekte zu verwenden.

[0285] Das hier vorgelegte Dokument schlägt vor, eine der vorgeschlagenen Magnetfeldkameras für die Untersuchung der Materialzusammensetzung magnetisierter Objekte zu verwenden.

[0286] Das hier vorgelegte Dokument schlägt vor, eine der vorgeschlagenen Magnetfeldkameras für die Untersuchung der Stromdichteverteilung in Objekten, die von einem elektrischen Strom durchflossen sind, zu verwenden.

Auflösung

[0287] Vorzugsweise liefert die Fluoreszenzkamera nach Dekompression ein Bild mit mehr als 19000 Pixeln.

[0288] Mögliche Bildformate für die Magnetfeldkamera sind je nach Lichtsensorarray-Format des Lichtsensorarrays 1 beispielsweise (Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Bildaufl%C3%B6sung>)

Abkürzung	Name	x	y	x:y	DAR	PAR	x·y
QQVGA	Quarter QVGA [2][3]	160	120	4:3	4:3	1:1	19.200
GB	Game Boy[4]	160	144	4:3	4:3	1:1	23.040
GBC	Game Boy Color [5]	160	144	4:3	4:3	1:1	23.040
Palm LoRes	Palm Low Resolution	160	160	1:1	1:1	1:1	25.600
GBA	Game Boy Advance [6]	240	160	3:2	3:2	1:1	38.400
1/8VGA	1/8VGA	240	180	4:3	4:3	1:1	43.200
ZXS	ZX Spectrum	256	192	4:3	4:3	1:1	49.152
NDS	Nintendo DS[7]	256	192	4:3	4:3	1:1	49.152
3DS	Nintendo 3DS Auflösung je Auge[8]	400	240	5:3	5:3	1:1	96.000
CGA	Color Graphics Adapter[3]	320	200	8:5	4:3	0.833	64.000
QVGA	Quarter VGA[3]	320	240	4:3	4:3	1:1	76.800
360	×	240	3:2	3:2	1:1		86.400
384	×	240	8:5	4:3	0.833		92.160
Palm HiRes	Palm High Resolution	320	320	1:1	1:1	1:1	102.400
QSVGA	Quarter SVGA	400	300	4:3	4:3	1:1	120.000
WQVGA	Wide QVGA	432	240	9:5	9:5	1:1	103.680
480	×	160	3:1	3	1:1		76.800
PSP	PlayStation Portable[9]	480	272	16:9	16:9	1.007	130.560

HVGA	Half VGA[2]	480	×	320	3:2	3:2	1:1	153.600
PSION	640	×	240	8:3	8:3	1:1	153.600	
Serie 5								
480	×	360	4:3	4:3	1:1	172.800		
EGA	Enhanced Graphics Adapter [3]	640	×	350	64:35	4:3	0.729	224.000
QHD	Quarter HD	640	×	360	16:9	16:9	1:1	230.400
HSVGA	Half SVGA	600	×	400	3:2	3:2	1:1	240.000
VGA	Video Graphics Array[2]	640	×	480	4:3	4:3	1:1	307.200
HGC	Hercules Graphics Card	720	×	348	60:29	4:3	0.644	250.560
MDA	Monochrome Display Adapter	720	×	350	72:35	4:3	0.648	252.000
Apple Lisa	720	×	364	≈ 2:1	4:3	0.674	262.080	
WVGA, WGA	Wide VGA	720	×	400	9:5	9:5	1:1	288.000
720	×	480	3:2	3:2	1:1	345.600		
720	×	540	4:3	4:3	1:1	388.800		
WVGA, WGA	Wide VGA	800	×	480	5:3	5:3	1:1	384.000
WVGA, WGA	Wide VGA	848	×	480	≈ 16:9	16:9	1.006	407.040
WVGA, WGA	Wide VGA	852	×	480	≈ 16:9	16:9	1.001	408.960
WVGA, WGA	Wide VGA	858	×	484	≈ 16:9	16:9	1.002	415.272
WVGA, WGA	Wide VGA	864	×	480	9:5	9:5	1:1	414.720
PAL-D	PAL Digital[3]	768	×	576	4:3	4:3	1:1	442.368
SVGA	Super VGA[3][2]	800	×	600	4:3	4:3	1:1	480.000
HXGA	Half Megapixel (Apple)	832	×	624	4:3	4:3	1:1	519.168
qHD, QHD	Quarter HD	960	×	540	16:9	16:9	1:1	518.400
960	×	540	16:9	16:9	1:1	518.400		

PS Vita	PlayStation Vita	964	×	544	16:9	16:9	1:1	524.416
964	×	544	≈ 16:9	16:9	1:1			524.416
DVGA	Double VGA	960	×	640	3:2	3:2	1:1	614.400
960	×	720	4:3	4:3	1:1			691.200
WXGA	Wide XGA	1024	×	576	16:9	16:9	1:1	589.824
WSVGA	Wide SVGA	1024	×	600	≈ 17:10	16:9	1.041	614.400
	[3]							
WSVGA	Wide SVGA	1072	×	600	≈ 16:9	16:9	0.995	643.200
EVGA	Extended VGA	1024	×	768	4:3	4:3	1:1	786.432
XGA	Extended Graphics Array[2][3]	1024	×	768	4:3	4:3	1:1	786.432
XGA	XGA+[3]	1152	×	864	4:3	4:3	1:1	995.328
HD720, 720p	High Definition, „HD ready“[3]	1280	×	720	16:9	16:9	1:1	921.600
WXGA	Wide XGA (Bright View)	1280	×	768	5:3	5:3	1:1	983.040
DSVGA	Double SVGA	1200	×	800	3:2	3:2	1:1	960.000
WXGA	Wide XGA[3]	1280	×	800	8:5	8:5	1:1	1.024.000
OLPC	One Laptop per Child	1200	×	900	4:3	4:3	1:1	1.080.000
SXVGA, QVGA	Super Extended VGA, Quad VGA	1280	×	960	4:3	4:3	1:1	1.228.800
SXGA	Super XGA[2] [3]	1280	×	1024	5:4	5:4	1:1	1.310.720
WXGA	Wide XGA	1360	×	768	≈ 16:9	16:9	1.003	1.044.480
WXGA	Wide XGA	1366	×	768	≈ 16:9	16:9	0.999	1.049.088
WXGA	Wide XGA	1376	×	768	≈ 16:9	16:9	0.992	1.056.768
WXGA+	WXGA Plus[3]	1400	×	900	14:9	14:9	1:1	1.260.000
WXGA+	WXGA Plus	1440	×	900	8:5	8:5	1:1	1.296.000
(Apple)	1440	×	960	3:2	3:2	1:1	1.382.400	
SXGA+	SXGA Plus[3]	1400	×	1050	4:3	4:3	1:1	1.470.000
UWXGA	Ultra Wide XGA	1600	×	768	25:12	2.083	1:1	1.228.800
WSXGA	Wide SXGA[3]	1600	×	900	16:9	16:9	1:1	1.440.000
WSXGA	Wide SXGA[3]	1600	×	1024	25:16	25:16	1:1	1.638.400
UXGA	Ultra XGA[2] [3]	1600	×	1200	4:3	4:3	1:1	1.920.000

WSXGA+	Wide SXGA+[3]	1680	×	1050	8:5	8:5	1:1	1.764.000
FHD, HD1080, 1080p	High Definition, „Full HD“	1920	×	1080	16:9	16:9	1:1	2.073.600
WUXGA	Wide UXGA[3]	1920	×	1200	8:5	8:5	1:1	2.304.000
2K-DCI	2K - Digital Cinema Initiatives	2048	×	1080	256:135	256:135	1:1	2.211.840
QWXGA	Quad WXGA	2048	×	1152	16:9	16:9	1:1	2.359.296
TXGA	Tessellar XGA	1920	×	1400	48:35	1.371	1:1	2.688.000
1920	×	1440	4:3	4:3	1:1	2.764.800		
SUXGA	Super UXGA	2048	×	1536	4:3	4:3	1:1	3.145.728
QXGA	Quad XGA[2] [3]	2048	×	1536	4:3	4:3	1:1	3.145.728
FHD+	Full HD+	2160	×	1080	18:9	18:9	1:1	2.332.800
FHD+	Full HD+	2340	×	1080	2.10:1	2.10:1	1:1	2.527.200
UWFHD	Ultra Wide FHD	2560	×	1080	21:9	21:9	1:1	2.764.800
WQHD, 1440p	Wide QHD (QHD),[3] „2K“[10]	2560	×	1440	16:9	16:9	1:1	3.686.400
WQXGA	Wide QXGA [3]	2560	×	1600	8:5	8:5	1:1	4.096.000
QSXGA	Quad SXGA[3]	2560	×	2048	5:4	5:4	1:1	5.242.880
QHD+	Quad High Definition Plus	3200	×	1800	16:9	16:9	1:1	5.760.000
QSXGA+	Quad SXGA+	2800	×	2100	4:3	4:3	1:1	5.880.000
DFHD	Double Full HD	3840	×	1080	32:9	32:9	1:1	4.147.200
2K+	Quad HD+	2880	×	1440	18:9	18:9	1:1	4.147.200
2K+	Quad HD+	2960	×	1440	18,5:9 / 19:9	18,5:9 / 19:9	1:1	4.262.400
DWUXGA	Double WUXGA	3840	×	1200	32:10	32:10	1:1	4.608.000
WQSXGA	Wide QSXGA	3200	×	2048	25:16	25:16	1:1	6.553.600
QUXGA	Quad UXGA[2]	3200	×	2400	4:3	4:3	1:1	7.680.000
HSVGA	Hex SVGA	3200	×	2400	4:3	4:3	1:1	7.680.000
UWQHD, 1440p	Ultra Wide QHD (QHD)	3440	×	1440	21:9	43:18	1:1	4.953.600

QHD 1440p	Quad High Definition	3440	×	1440	21:9	43:18	1:1	4.953.600
UWQXGA	Ultra Wide QXGA	3840	×	1600	2.35:1	2.35:1	1:1	6.144.000
QHD+ 1600p	Quad High Definition	3840	×	1600	2.35:1	2.35:1	1:1	6.144.000
UW4k	Plus (Ultra Wide 4K)							
UHD 4K, 2160p	Ultra High Definition „4K“[3]	3840	×	2160	16:9	16:9	1:1	8.294.400
QWUXGA	Quad WUXGA	3840	×	2400	8:5	8:5	1:1	9.216.000
WQUXGA	Wide QUXGA	3840	×	2400	8:5	8:5	1:1	9.216.000
4K-DCI, 4K2K	4K - Digital Cinema Initiatives, High Definition, „4K2K“[3]	4096	×	2160	256:135	256:135	1:1	8.847.360
Apple iMac Retina 4K	4096	×	2304	16:9	16:9	1:1	9.437.184	
HXGA	Hex XGA	4096	×	3072	4:3	4:3	1:1	12.582.912
DQHD	Double QHD	5120	×	1440	32:9	32:9	1:1	7.372.800
WUHD	Wide UHD, „5K2K“[3]	5120	×	2160	21:9	21:9	1:1	11.059.200
UHD+	Ultra High Definition Plus, „5K“[3]	5120	×	2880	16:9	16:9	1:1	14.745.600
WHXGA	Wide HXGA	5120	×	3200	8:5	8:5	1:1	16.384.000
Apple Pro Display XDR	6016	×	3384	16:9	16:9	1:1	20.358.144	
HSXGA	Hex SXGA	5120	×	4096	5:4	5:4	1:1	20.971.520
WHSXGA	Wide HSXGA	6400	×	4096	25:16	25:16	1:1	26.214.400
HUXGA	Hex UXGA	6400	×	4800	4:3	4:3	1:1	30.720.000
FUHD, 4320p	Full UHD, 8K[3]	7680	×	4320	16:9	16:9	1:1	33.177.600
WHUX- GA	Wide HUXGA	7680	×	4800	8:5	8:5	1:1	36.864.000

8K-DCI	8K - Digital Cinema Initiatives	8192	×	4320	256:135	256:135	1:1	35.389.440
QUHD, 8640p	Quad UHD, „16K“[3]	15360	×	8640	16:9	16:9	1:1	132.710.400

[0289] Für die Übertragung der Videosequenzen vom Sensorkopf 21 zu einem übergeordneten Rechnersystem 28 kommen beispielsweise folgende Video-Formate in Frage:

Einige Videoformate: (Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Bildauf%C3%B6sung>)

Format	Technik	Breite	Höhe	Seitenverhältnis	Pixel
VHS	analog	320	240	4:3	76.800 (0,08 MP)
Hi8	analog	533	400	4:3	213.200 (0,21 MP)
S-VHS	analog	533	400	4:3	213.200 (0,21 MP)
LD	analog	640	480	4:3	307.200 (0,30 MP)
VCD (PAL)	digital	352	288	4:3	101.376 (0,10 MP)
SVCD (PAL)	digital	480	576	4:3	276.480 (0,28 MP)
DVB (PAL), DVD-Video (PAL)	digital	720	576	4:3 oder 16:9	414.720 (0,41 MP)
HDTV („720p“)	digital	1280	720	16:9	921.600 (0,92 MP)
FullHD („1080p“)	digital	1920	1080	16:9	2.073.600 (2,07 MP)
WUXGA	digital	1920	1200	16:10	2.304.000 (2,30 MP)
HD-MAC / QWXGA	analog / digital	2048	1152	16:9	2.359.296 (2,36 MP)
2K	digital	2048	1536	4:3	3.145.728 (3,15 MP)
UHDV-1 („2160p“)	digital	3840	2160	16:9	8.294.400 (8,30 MP)
4K	digital	4096	3072	4:3	12.582.912 (12,58 MP)
UHDV-2	digital	7680	4320	16:9	33.177.600 (33,20 MP)
UHXGA	digital	7680	4800	16:10	36.864.000 (36,90 MP)

[0290] Bevorzugt weist ein durch die Magnetfeldkamera verwendete Videoformat für die Übertragung der Videosequenzen mehr als 70000 Pixel pro Frame nach Dekompression auf.

[0291] Bevorzugt überträgt der Sensorkopf 21 die Video-Sequenzen mit einer Bildrate von mehr als 5fps, besser mehr als 10fps, besser mehr als 20fps, besser mehr als 50fps, besser mehr als 100fps an das übergeordnete Rechnersystem 28. (fps=frames per second = Bilder pro Sekunde)

Vorteile der Magnetfeldkamera

[0292] Der hier vorgestellte Vorschlag Erfindung ist frei skalierbar und bietet eine deutlich bessere Ortsauflösung als gängige Lösungen.

[0293] Vorteile gegenüber aktueller Technik sind:

- Die frei wählbare Sensorfläche der Sensorschicht 5 an der Unterseite 24 des Magnetfeldkamerakopfes 21 ermöglicht auch die Vermessung gekrümmter und flexibler Flächen.
- Der Magnetfeldkamerakopfe 21 bietet eine erhöhte Ortsauflösung bis maximal zur Partikelgröße der Nanodiamanten mit den NV-zentren in der Sensorschicht 5. Dies Größe kann beispielsweise bei ~100nm liegen!
- Der Magnetfeldkamerakopfe 21 bietet eine erhöhte Zeitauflösung aufgrund der hohen möglichen Bildübertragungsrates.
- Der Magnetfeldkamerakopfe 21 bietet eine erhöhte galvanische Trennung. Die die Sensorschicht 5 ist bevorzugt aus einem dielektrischen, isolierendem Material gefertigt und beeinflusst damit typischerweise nicht das zu messende Magnetfeld.
- Die Sensorschicht 5 des Magnetfeldkamerakopfes 21 ist typischerweise unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Störungen und Einstrahlungen und strahlt selbst keine elektromagnetischen Wellen im Radiobereich oder Mikrowellenbereich ab. Sie ist damit anderen Quantensensoren überlegen.

Viertes Ausführungsbeispiel Spektrometer

Vorschlag

[0294] Das hier vorgelegte Dokument schlägt als viertes Ausführungsbeispiel einen Hochfrequenzspektrumanalysator zur spektralen Analyse eines externen Signals (S_{wnk}) vor. Die Prinzipien der hier vorgestellten Vorrichtung gehen aber darüber hinaus. Daher beschreibt das hier vorgelegte Dokument auch weitere Vorrichtungen, Verfahren und Anwendungen, die auf diesen Prinzipien aufbauen.

[0295] Der vorgeschlagene Hochfrequenzspektrumanalysator umfasst typischerweise ein oder mehrere Sensorelemente (SE, 5). Bevorzugt umfasst der Hochfrequenzspektrumanalysator eine Magnetfelderzeugungsvorrichtung (L_c), die elektrisch gesteuert sein kann und/oder durch einen Permanentmagneten (PM) und/oder durch einen Gradienten behafteten Permanentmagneten (GPM) realisiert sein kann. Bevorzugt erzeugen diese ein zusätzliches magnetisches Feld, dessen Flussdichte (B_{ad}) von der Position innerhalb eines Sensorelements (SE) und/oder längs eines Wellenleiters (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) abhängt. Der Hochfrequenzspektrumanalysator umfasst daher bevorzugt einen Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) mit einer Längserstreckung mit einer Wellenleitererstreckungskordinate (x) entlang dieser Längserstreckung. Die Punkte auf dem Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) längs der Längserstreckung des Wellenleiters (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) korrelieren dann typischerweise mit einer eindeutigen Wellenleitererstreckungskordinate (x). Die Sensorelemente (SE, 5) sind bevorzugt oberhalb des Wellenleiters (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) längs der Transportrichtung für elektromagnetische Strahlung längs des Wellenleiters (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) platziert. Die Sensorelemente (SE, 5) umfassen bevorzugt eine Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND). Die Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle (ND) umfassen typischerweise paramagnetische Zentren, bevorzugt NV-Zentren in Diamant als Diamant-Nano-Kristalle (ND). Die paramagnetischen Zentren emittieren typischerweise bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) eine Fluoreszenzstrahlung (FL) mit einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge (λ_{fl}). Die Intensität ($I_{\text{ist}}(x)$, $I_{\text{ist}}(y)$) der Emission der Fluoreszenzstrahlung (FL) hängt dabei typischerweise von der Frequenz des Mikrowellensignals (μW) und der magnetischen Gesamtflussdichte (B_z) am Ort des jeweiligen paramagnetischen Zentrums innerhalb der Sensorelemente (SE, 5) ab. Der Hochfrequenzspektrumanalysator speist zur Analyse das externe Signals (S_{wnk}) oder ein mit dem externen Signal (S_{wnk}) gemischtes Mikrowellenmischsignal ($\mu\text{W_MX_I}$) und anschließend typischerweise gefiltertes Signal, das gefilterte, gemischte Mikrowellenmischsignal, als Mikrowellensignal (μW) in den Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) ein. Als Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) kommen insbesondere verschiedene planare Wellenleiter in Frage. Dieses Mikrowellensignal (μW) wechselwirkt dann typischerweise mit den paramagnetischen Zentren in den Sensorelementen (SE, 5). Die Magnetfelderzeugungsvorrichtung (L_c) durchflutet dann die Sensorelemente (SE, 5) mit einem magnetischen Feld mit einer zusätzlichen magnetischen Flussdichte ($B_{\text{ad}}(x)$, $B_{\text{ad}}(y)$). Bevorzugt ist das Sensorelement (SE) eine ausgedehnte Sensorelementschicht (5), deren flächenhafte Fluoreszenzstrahlung (FL) eine Magnetfeldkamera, die vorzugsweise Teil des Hochfrequenzspektrumanalysators ist, orts aufgelöst mittels eines Lichtsensorarrays (1) aus Fotodetektoren (PD) erfasst. Diese zusätzliche magnetische Flussdichte ($B_{\text{ad}}(x)$, $B_{\text{ad}}(y)$) trägt dann zur jeweiligen Gesamtflussdichte (B_z) an der jeweiligen Position (x,y) des jeweiligen paramagnetischen Zentrums im Sensorelement (SE) bzw. in der Sensorelementschicht (5) an der zugehörigen Wellenleitererstreckungskordinate (x , y) bei. Der Hochfrequenzspektrumanalysator umfasst bevorzugt Mittel zu

Erfassung des Messwertverlaufs des Intensitätsverlaufs ($I_{ist}(x)$, $I_{ist}(y)$) der Emission der Fluoreszenzstrahlung (FL) längs des Wellenleiters (1380, 1880, 2380, 6830, 6980). Ein solches Mittel kann beispielsweise Vorrichtungsteile einer Magnetfeldkamera umfassen. Der Hochfrequenzspektrumanalysator ist bevorzugt dazu eingerichtet, aus einem mittels dieser Mittel erfassten Messwertverlauf des Intensitätsverlaufs ($I_{ist}(x)$, $I_{ist}(y)$) der Emission der Fluoreszenzstrahlung (FL) längs des Wellenleiters (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) auf ein Hochfrequenzspektrum ($K_s(\omega_{\mu W})$, $K_w(\omega_{\mu W})$) des externen Signals (S_{wnk}) zu schließen. Der Vorteil einer solchen Vorrichtung ist, dass der Verlauf der Fluoreszenzintensität der Intensität $I_{ist}(x)$, $I_{ist}(y)$ der Fluoreszenzstrahlung (FL) längs des Sensorelements (SE, 5) längs des Wellenleiters in einem längs des Wellenleiters mit einem Gradienten behafteten Magnetfeld, insbesondere eines Gradienten behafteten Permanentmagneten (GPM), nach Erfassung durch eine Magnetfeldkamera und/oder eine Vielzahl von Fotodetektoren (PD) mittels einer einfachen Transformation extrem schnell in ein Spektrum $K(\omega_{\mu W})$ des externen Signals (S_{wnk}) umgesetzt werden kann.

[0296] In einer besonderen Ausprägung umfasst der Hochfrequenzspektrumanalysator als Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) einen ersten Wellenleiter (6980_I) und einen zweiten Wellenleiter (6980_II), wobei der erste Wellenleiter (6980_I) vom zweiten Wellenleiter (6980_II) verschieden ist. In dieser Ausprägung erzeugt der Hochfrequenzspektrumanalysator durch Mischung des externen Signals (S_{wnk}) mit einem ersten internen Mikrowellensignal (μW_G_I) mit einer ersten internen Mikrowellenfrequenz ($\omega_{\mu W_I}$) ein erstes Mikrowellensignal (μW_I). In dieser Ausprägung erzeugt der Hochfrequenzspektrumanalysator durch Mischung des externen Signals (S_{wnk}) mit einem zweiten internen Mikrowellensignal (μW_G_II) mit einer zweiten internen Mikrowellenfrequenz ($\omega_{\mu W_II}$) ein zweites Mikrowellensignal (μW_II). Bevorzugt speist dann der Hochfrequenzspektrumanalysator das erste Mikrowellensignal (μW_I) in den ersten Wellenleiter (6980_I) ein. Bevorzugt speist der Hochfrequenzspektrumanalysator das zweite Mikrowellensignal (μW_II) in den zweiten Wellenleiter (6980_II) ein. Bevorzugt umfasst der Hochfrequenzspektrumanalysator Mittel zu Erfassung des Messwertverlaufs der Intensitätsverläufe ($I_{ist}(x)$, $I_{ist}(y)$) der Emission der Fluoreszenzstrahlung (FL) längs der Wellenleiterkoordinate (x) des ersten Wellenleiters (6980_I) und längs der Wellenleiterkoordinate (y) des zweiten Wellenleiters (6980_II). Der Hochfrequenzspektrumanalysator ist in dieser Ausprägung dann bevorzugt dazu eingerichtet, aus den erfassten Messwertverläufen der Intensitätsverläufe ($I_{ist}(x)$, $I_{ist}(y)$) der Emission der Fluoreszenzstrahlung (FL) längs der Wellenleiterkoordinate (x) des ersten Wellenleiters (6980_I) und längs der Wellenleiterkoordinate (y) des zweiten Wellenleiters (6980_II) auf ein oder mehrere Hochfrequenzspektren ($K_s(\omega_{\mu W})$, $K_w(\omega_{\mu W})$) des externen Signals (S_{wnk}) zu schließen. Der Vorteil eine solchen Konstruktion ist, dass unterschiedliche vertikale Linien in dem Diagramm der **Fig. 2** gleichzeitig und damit schneller abgetastet werden können. Damit ist die Bestimmung der Position (30) der V-Formation aus unterer Resonanzkante (522) und oberer Resonanzkante (525) (siehe **Fig. 51b**) präziser und sehr schnell möglich.

[0297] Ein zu charakterisierendes Mikrowellensignal (S_{wnk}) wird z.B. in einem planaren Wellenleiter geführt, dessen Oberfläche mit NV-Pulver bedeckt ist und vorzugsweise zusätzlich noch mit einer statischen Magnetfeldverteilung beaufschlagt ist. Mikrowellenstrahlung einer Frequenz führt zu einer Abschwächung der Fluoreszenzintensitäten an Positionen bestimmter Magnetfeldstärken, womit durch Auswertung der Fluoreszenzintensitätsverteilung das Mikrowellenspektrum rekonstruiert werden kann.

[0298] Hierdurch wird ein optischer Breitband Single-Shot Spektrum Analysator für Mikrowellenstrahlung im Frequenzbereich von ca. 0,1 bis 100GHz möglich.

[0299] Das unbekannte Mikrowellensignal (S_{wnk}) wird in ein Mikrowellenbauteil, beispielsweise einen Wellenleiter eingespeist (z.B. eine planares PCB), das das Mikrowellensignal (μW) der Mikrowellen führt (z.B. coplanar waveguide). Es kann sich bei einem Mikrowellenbauteil auch um eine Zusammenschaltung mehrerer Mikrowellenbauteilen handeln. Ein solches Mikrowellenbauteil kann das unbekannte Mikrowellensignal u.U. auch spektral auftrennen und/oder an Resonatoren koppeln (z.B. Ringresonatoren). Das Mikrowellenbauteil ist vorzugsweise so gestaltet, dass an der Oberfläche evaneszente Mikrowellenfelder vorhanden sind. Diese Oberfläche wird mit dem NV-Diamant-Pulver beschichtet. Dies kann z.B. durch eine Mischung aus NV-Diamant-Pulver mit Diamant-Nano-Kristallen (ND) Pulver oder einem anderen Kristallpulver mit anderen paramagnetischen Zentren und UV-härtbarem Kleber Trägermaterial TM) erfolgen. Nach dem Auftragen dieser kolloidalen Mischung auf ein Mikrowellenbauteil, wird der UV-härtbare Kleber (Trägermaterial TM) vorzugsweise mittels UV-Strahlung (Aushärtestrahlung 4910) ausgehärtet. Andere Kleber (Trägermaterialien TM) mit anderen Aushärtemethoden sind denkbar. Durch das Aushärten entsteht das eigentliche Sensorelement (SE).

[0300] Des Weiteren wird durch Permanentmagneten (PM, GPM) oder Elektromagneten (Magnetfelderzeugungsmittel L_c) eine zusätzliche Magnetfeldverteilung (B_{ad}) im NV-Diamant-Pulver des Sensorelements (SE) erzeugt, welche bevorzugt senkrecht zum magnetischen Feld ($B_{\mu W}$) der Mikrowellenfeldersteht.

[0301] Zusätzlich wird das NV-Diamant-Pulver durch eine geeignete Lichtquelle (z.B. grüne LED) als Pumpstrahlungsquelle zur Emission einer Fluoreszenzstrahlung (FL) angeregt. Ein Fotodetektorarray (1) und/oder eine Kamera messen die Verteilung der Fluoreszenzintensität der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung der über den Wellenleiter.

[0302] Eine Mikrowellenstrahlung einer bestimmten Mikrowellenfrequenz ($\omega_{\mu W}$) verursacht eine charakteristische Fluoreszenzintensitätsabschwächung der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung der NV-Zentren in den Diamantkristallen des NV-Diamant-Pulvers. Diese Fluoreszenzintensitätsabschwächung hängt typischerweise von der Stärke des statischen Magnetfeldes an den NV-Zentren bzw. paramagnetischen Zentren, die dem jeweiligen Fotodetektor des jeweiligen Messpixels zugeordnet sind, ab.

[0303] Durch Messung der Fluoreszenzintensitätsverteilung Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung der NV-Zentren in den Diamantkristallen des NV-Diamant-Pulvers mit einer Kamera (oder einem anderen Sensor- oder Fotodetektorarray) und Kenntnis der Verteilung des statischen Magnetfeldes (insbesondere nach vorheriger Kalibrierung des Messgeräts), lassen sich die spektralen Anteile des Mikrowellensignals (S_{wnk}) rekonstruieren.

[0304] Ein erster wesentlicher Vorteil der Verwendung von NV-Diamant-Pulver, das viele kleine ungeordnete Diamantkristalle (Diamant-Nano-Kristalle ND) mit NV-Zentren umfasst, gegenüber der Verwendung einkristallinen Diamants ist vor allem die Einfachheit der Produktion, die keine Ausrichtung eines einkristallinen Diamanten gegenüber einem Magnetfeld mehr erfordert. Ein solches kolloidales Gemisch (KL) aus NV-Diamantkristallen und einem Kleber als Trägermaterial (TM) ist einfach durch Aufschleudern, Dispensieren oder Drucken zu handhaben und damit Batch-fähig, was die Herstellkosten für diese Sensorsysteme massiv senkt und eine CMOS-Kompatibilität und CMOS-Fab-Fähigkeit zur Folge hat.

[0305] Neu ist die Idee, ein solches Gemisch auf einem Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6830, 6980), und zwar insbesondere selbstjustierend, zu platzieren. Das kolloidale Gemisch (KL) ist daher leicht auf einer gedruckten Schaltung (PCB) oder einem Wafer mikrointegrierter Halbleiterschaltungen aufzubringen, die die besagten Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) umfassen können.

[0306] Das hier vorgestellte Spektrometer ist daher mikrointegrierbar.

[0307] Die NV-Pulverschicht umfassen Diamant-Nano-Kristalle (ND) mit NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren und/oder umfassend Kristalle mit paramagnetischen Zentren ist vorzugsweise dünn und wechselwirkt damit gut mit dem evaneszenten Anteilen der im PCB geführten Mikrowellenfeldern.

[0308] Vorzugsweise ist die Dicke D_{SE} des Sensorelements SE und/oder der Sensorelementschicht 5 dünner als die Breite der kleinsten Strukturen des jeweiligen Wellenleiters, um eine gute Auflösung sicherzustellen.

[0309] Durch das Vermischen des NV-Diamant-Pulvers mit Diamant-Nano-Kristallen (ND) mit NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren und/oder Kristallen mit paramagnetischen Zentren mit einem Klebstoff als Trägermaterial, kann das NV-Pulver gezielt auf Bereiche des PCBs und/oder des Wafers aufgebracht werden in denen das evaneszente Mikrowellenfeld des Mikrowellensignals (μW) eine hohe Amplitude und geeignete Orientierung aufweist.

[0310] Im Gegensatz zu einkristallinen Diamanten, ist in der in diesem Dokument vorgestellten technischen Lehre keine Ausrichtung von NV-Diamantkristallen nötig, da im NV-Pulver alle Raumrichtungen als Ausrichtungsrichtungen der NV-Zentren-Achsen statistisch gleichverteilt auftreten.

[0311] Im Vergleich zu anderen Spektrumanalysatoren kann eine Vorrichtung gemäß der hier vorgestellten technischen Lehre einen sehr breiten Frequenzbereich mit der hier vorgestellten Messtechnik abdecken. Der Messbereich ist dabei durch das das maximal angelegte statische Magnetfeld (28GHz / Tesla) gegeben. Damit ergibt sich z.B. bei einer Magnetfeldverteilung von 0T bis 2,5T ein Messbereich von ca. 0-70Ghz. Der größte Vorteil ist aber, dass bei Verwendung einer Magnetfeldkamera der gesamte Messbereich mit einem „Single Shot“ mittels einzelner Frames einer Magnetfeldkamera gemessen werden kann. Ein Durchstimmen

einer Mikrowellenfrequenz, wie z.B. für eine heterodyne Messung, ist bei der hier vorgestellten Messtechnik nicht nötig.

[0312] Bei der Ausarbeitung des hier vorgelegten Dokuments wurde darüber hinaus erkannt, dass die Vorrichtung auch für die hochpräzise Messung unbekannter externer magnetischer Flussdichten (B_{ext}) geeignet ist.

[0313] Die Vorrichtung kann also PARALLEL eine unbekannte Mikrowellenfrequenz (ω_{nk}) und eine unbekannte magnetische Flussdichte (B_{ext}) bestimmen.

[0314] Aufgrund der großen Parallelität der Messungen, kann die Vielzahl der Messwerte für eine signifikante Fehlerreduktion verwendet werden. Die hier vorgestellte technische Lehre ermöglicht also breitbandige, schnelle und hochgenaue Messungen von magnetischen Flussdichten (B_{ext}) und/oder Mikrowellenfrequenzen ($\omega_{\mu\text{W}}$).

[0315] Damit ergeben sich für die hier vorgestellte technische Lehre beispielsweise folgende Anwendungsgebiete:

Magnetokardiographie (MKG): Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise zur Erfassung und Aufzeichnung von magnetischen Feldern, die vom Herz eines Menschen oder eines Tieres erzeugt werden, verwendet werden. Die Magnetokardiographie ermöglicht eine nicht-invasive Untersuchung der Herzaktivität und kann zur Diagnose von Herzkrankheiten eingesetzt werden.

[0316] Magnetenzephalographie (MEG): Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise zur Messung der magnetischen Felder, die von der elektrischen Aktivität des Gehirns eines Menschen oder eines Tieres erzeugt werden, verwendet werden. Die Magnetenzephalographie ermöglicht die hochauflösende Abbildung der Hirnaktivität und kann in der Neurowissenschaft und klinischen Diagnostik eingesetzt werden.

[0317] Neurointerfaces: Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise zur Messung der magnetischen Felder, die von der elektrischen Aktivität des Gehirns von Menschen oder Tieren erzeugt werden, verwendet werden, wobei dann die erfassten Messwerte zur Steuerung von Computern und/oder Rechnersystemen und/oder Quantencomputern direkt oder indirekt eingesetzt werden können, die wiederum Aktoren steuern können oder Datenbanken mit Daten füllen können.

[0318] Biomagnetik: Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise in der Erforschung und Messung von magnetischen Feldern, die von biologischen Organismen erzeugt werden, eingesetzt. Dies umfasst Studien zur Magnetorezeption bei Tieren, Untersuchungen zur Gehirnfunktion und -aktivität, aber auch die Detektion von Krebs durch magnetische Marker in der medizinischen Bildgebung.

[0319] Materialcharakterisierung: Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise zur Charakterisierung der magnetischen Eigenschaften von Materialien eingesetzt werden. Dies umfasst die Messung magnetischer Suszeptibilität, kritischer Magnetfelder und Magnetisierungskurven, die wichtige Informationen über die Materialeigenschaften liefern. Hierzu gehören die Detektion und Darstellung von Materialfehlern wie Rissen, Lunkern und Inhomogenitäten.

[0320] Geophysikalische Erkundung: Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise in der Geophysik eingesetzt, um magnetische Felder zu messen und geologische Strukturen zu kartieren. Dies umfasst die Suche nach Bodenschätzen, die Untersuchung der Erdkruste und die Erforschung des Erdmagnetfeldes.

[0321] Quanteninformatik und Quantencomputing: Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise in einigen Ansätzen zur Realisierung von Quantenbits (Qubits) in Quantencomputern verwendet werden. Sie ermöglichen die Messung und Steuerung von Quantenzuständen und sind wahrscheinlich nützlich für die Entwicklung von skalierbaren Quantencomputern.

[0322] Detektion schwacher magnetischer Signale: Aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit können die hier vorgestellten Sensorsysteme beispielsweise in verschiedenen Anwendungen eingesetzt werden, um schwache magnetische Signale zu detektieren. Dies umfasst die Untersuchung von Materialdefekten, die zerstörungsfreie Prüfung, die Magnetresonanztomographie (MRT) und die Detektion von biomagnetischen Signalen.

[0323] Strommessung: Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise zur nicht-invasiven Messung von Stromstärken in elektrischen Systemen eingesetzt. Sie können in Leistungselektronik, Elektrofahrzeugen, Solarmodulen Leistungsbau-elementen (IGBTs, Thyristoren, Dioden etc.) und anderen Anwendungen verwendet werden, um den Stromfluss zu überwachen.

[0324] Geschwindigkeits- und Positionsregelung: Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise zur Erfassung der Geschwindigkeit und Position rotierender und/oder translatorisch sich bewegender Komponenten wie Motoren, Lüftern und Getrieben eingesetzt werden. Sie ermöglichen eine präzise Regelung und Steuerung der betreffenden Bewegung.

[0325] Automotive-Anwendungen: Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise in der Automobilindustrie in verschiedenen Anwendungen eingesetzt. Dazu gehören beispielsweise die Erfassung der Kurbelwellenposition, des Nockenwellensignals, der Raddrehzahl, des Lenkwinkels und anderer Parameter für die Motorsteuerung, das Antiblockiersystem (ABS), die Traktionskontrolle und andere sicherheitsrelevante Systeme.

[0326] Magnetfeldmessung: Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise verwendet werden, um Magnetfelder zu messen und zu überwachen. Dies kann Anwendung in Bereichen wie der Magnet-sensorik, der Materialcharakterisierung, der Geophysik, der Robotik und anderen wissenschaftlichen und industriellen Anwendungen geschehen.

[0327] Sicherheits- und Alarmsysteme: Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise in Sicherheitssystemen eingesetzt, um das Öffnen oder Schließen von Türen, Fenstern und anderen Zugängen zu überwachen. Sie können auch in Alarmsystemen zur Erkennung von Eindringlingen oder zur Überwachung von Bewegungen verwendet werden.

[0328] Stromversorgung und Energieeffizienz: Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise Anwendung in der Stromversorgung finden, um den Energieverbrauch zu überwachen und die Energieeffizienz zu optimieren. Sie können in Smart Grids, elektrischen Fahrzeugladesystemen und anderen Anwendungen eingesetzt werden, um genaue Messungen und Kontrolle zu ermöglichen.

[0329] Elektronik und Kommunikation: Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise Verwendung in der Elektronik und Kommunikationstechnik finden, um magnetische Interferenzen zu erkennen und zu reduzieren. Sie können auch in berührungsfreien Schaltern, Schließsystemen, Joysticks und anderen elektronischen Geräten und zur Fehlersuche in elektronischen Schaltungen und mikroelektronischen Schaltungen eingesetzt werden.

[0330] Industrielle Automatisierung: Die hier vorgestellten Sensorsysteme können beispielsweise in der industriellen Automatisierung zur Erfassung von Positionen, Winkeln, Winkelgeschwindigkeiten, Winkelbeschleunigungen, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Bewegungen eingesetzt werden. Sie ermöglichen eine präzise Steuerung von Maschinen und Prozessen.

Trägersubstrat

[0331] Um einen solchen Hochfrequenzspektrumanalysator realisieren zu können, schlägt das hier vorgelegte Dokument ein Trägersubstrat (1360), insbesondere für einen solchen Hochfrequenzspektrumanalysator und/oder für Vorrichtungen zur Bestimmungen von magnetischen Flussdichten, vor. Das Trägersubstrat (1360) weist typischerweise eine Oberfläche mit einer oder mehreren Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) auf. Vorschlagsgemäß umfasst das Trägersubstrat (1360) ein Sensorelement (SE) zur Detektion der Komponente einer Gesamtflussdichte (B_z) parallel und/oder senkrecht zur Oberfläche des Trägersubstrats (1360) und parallel und/oder senkrecht zur Richtung der Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6830, 6980), wobei die Komponente der Gesamtflussdichte (B_z) von der Größe und Position des Sensorelements (SE) relativ zu den Strukturen der Wellenleitung abhängt. Vorschlagsgemäß umfasst das Sensorelement (SE) eine Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND), wobei die Kristalle, wenn vorhanden, und Diamant-Nano-Kristalle (ND), wenn vorhanden, paramagnetische Zentren, insbesondere und bevorzugt NV-Zentren in Diamant als Diamant-Nano-Kristalle (ND), umfassen. Die bevorzugten Diamant-Nano-Kristalle (ND) mit NV-zentren und/oder paramagnetischen Zentren liegen bevorzugt als Diamantpulver vor der Verarbeitung vor. Dabei umfasst das Sensorelement (SE) bevorzugt ein Trägermaterial (TM), in das typischerweise die Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND) eingebettet sind. Grundsätzlich müssen der Vektor der magnetischen Flussdichte eines Mikrowellensignals (μW) in der Mikrowellenleitung (1380,

1880, 2380, 6830, 6980) und die Achse der NV-Zentren bzw. paramagnetischen Zentren in den Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND) des Sensorelements (SE) senkrecht aufeinander stehen. Demgegenüber muss typischerweise die Achse des externen Magnetfelds parallel zur NV-Zentren Achse bzw. zur Achse der paramagnetischen Zentren sein, um eine Reduktion der Intensität $I_{\text{ist}}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung (FL) der paramagnetischen Zentren bzw. NV-Zentren bei Resonanz zwischen dem Mikrowellensignal (μW) und dem NV-Zentrum bzw. dem paramagnetischen Zentrum zu zeigen. Um bestimmungsgemäß verwendet werden zu können, ist das Trägermaterial (TM) vorzugsweise für elektromagnetische Strahlung (Pumpstrahlung LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) im Wesentlichen transparent und für elektromagnetische Strahlung (Fluoreszenzstrahlung FL) einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge (λ_{fl}) im Wesentlichen transparent. Typischerweise senden paramagnetische Zentren der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle (ND) Fluoreszenzstrahlung (FL) mit einer Fluoreszenzwellenlänge (λ_{fl}) aus, wenn sie mit Pumpstrahlung (LB) der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) bestrahlt werden. Bevorzugt weist nun das Sensorelement (SE) eine Breite (d_{SE}) auf. Vorschlagsgemäß ergeben sich nun verschiedene Positionierungen für das Sensorelement (SE, 5) gegenüber einem Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6830, 6980):

Zum Ersten, entsprechend einer Sensorelementposition A des Sensorelements (SE):

Bei einer Positionierung des Sensorelements (SE, 5) entsprechend einer Sensorelementposition A des Sensorelements (SE) umfasst die Wellenleitung (1380, 2380, 6830, 6980) nur eine Signalleitung (1330) oder eine differentielle Signalleitung (6830) aus zwei Signalleitungen (6810, 6820). Bei einer Positionierung des Sensorelements (SE, 5) entsprechend einer Sensorelementposition A des Sensorelements (SE) befindet sich das jeweilige Sensorelement (SE) auf der jeweiligen Signalleitung (1330, 6810, 6820) und ist vorzugsweise mit der jeweiligen Signalleitung (1330, 6810, 6820) fest verbunden. Die jeweiligen betreffende Signalleitung (1330, 6810, 6820) weist dabei typischerweise eine jeweilige Breite (d_{s}) auf. Vorschlagsgemäß ist bevorzugt in einigen Anwendungsfällen die jeweilige Breite (d_{SE}) des jeweiligen Sensorelements (SE) kleiner als die jeweilige Breite (d_{s}) der jeweiligen Signalleitung (1330, 6810, 6820).

[0332] Zum Zweiten, entsprechend einer Sensorelementposition B des Sensorelements (SE):

Bei einer Positionierung des Sensorelements (SE, 5) entsprechend einer Sensorelementposition B des Sensorelements (SE) umfasst die Wellenleitung (1880, 2380, 6830, 6980) eine nicht-leitende Isolationslücke (1840, 2340, 2350, 6840). Bei einer Positionierung des Sensorelements (SE, 5) entsprechend einer Sensorelementposition B des Sensorelements (SE) befindet sich vorzugsweise das jeweilige Sensorelement (SE) in der jeweiligen nicht-leitenden Isolationslücke (1840, 2340, 2350, 6840) und das jeweilige Sensorelement (SE) ist vorzugsweise mit Oberfläche der jeweiligen nicht-leitenden Isolationslücke (1840, 2340, 2350, 6840) fest verbunden. Typischerweise weist die jeweilige nicht-leitende Isolationslücke (1840, 2340, 2350, 6840) eine jeweilige Breite (d_{IS1} , d_{IS2} , d_{SL}) auf. Bevorzugt ist die jeweilige Breite (d_{SE}) des jeweiligen Sensorelements (SE) kleiner als die jeweilige Breite (d_{IS1} , d_{IS2} , d_{SL}) der jeweiligen nicht-leitenden Isolationslücke (1840, 2340, 2350, 6840).

[0333] Zum Dritten, entsprechend einer Sensorelementposition C des Sensorelements (SE):

Bei einer Positionierung des Sensorelements (SE, 5) entsprechend einer Sensorelementposition C des Sensorelements (SE) umfasst die Wellenleitung (1380, 6830) eine Signalleitung (1330, 6810, 6820) und eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende Isolationsfläche (1340, 1350). Bei einer Positionierung des Sensorelements (SE, 5) entsprechend einer Sensorelementposition C des Sensorelements (SE) befindet sich das jeweilige Sensorelement (SE) bevorzugt auf der jeweiligen elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden Isolationsfläche (1340, 1350) und ist vorzugsweise mit der jeweiligen elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden Isolationsfläche (1340, 1350) fest verbunden. Die jeweilige Signalleitung (1330, 6810, 6820) weist eine jeweilige Breite (d_{s}) auf, wobei vorzugsweise die jeweilige Breite (d_{SE}) des jeweiligen Sensorelements (SE) kleiner als die jeweilige Breite (d_{s}) der jeweiligen Signalleitung (1330, 6810, 6820) ist und wobei bevorzugt der maximale Abstand eines Teils des jeweiligen Sensorelements (SE) von der jeweils nächstliegenden Kante der jeweiligen Signalleitung (1330, 6810, 6820) kleiner als das Doppelte der jeweiligen Breite (d_{s}) der jeweiligen Signalleitung (1330, 6810, 6820) ist.

[0334] Zum Vierten, entsprechend einer Sensorelementposition D des Sensorelements (SE):

Bei einer Positionierung des Sensorelements (SE, 5) entsprechend einer Sensorelementposition D des Sensorelements (SE) umfasst die Wellenleitung (1880, 2380, 6980) eine nicht-leitende Isolationslücke (1840, 2340, 2350, 6840) und eine elektrisch leitende Signalmassefläche (1310, 1320). Bei einer Positionierung des Sensorelements (SE, 5) entsprechend einer Sensorelementposition D des Sensorelements (SE) befindet sich das jeweilige Sensorelement (SE) auf der jeweiligen elektrisch leitenden Signalmassefläche (1310, 1320) und ist vorzugsweise mit der jeweiligen elektrisch leitenden

Signalmassefläche (1310, 1320) fest verbunden. Bevorzugt weist die jeweilige nicht-leitende Isolationslücke (1840, 2340, 2350, 6840) eine jeweilige Breite (d_{IS1} , d_{IS2} , d_{SL}) auf, wobei vorzugsweise jeweilige die Breite (d_{SE}) des Sensorelements (SE) kleiner als die jeweilige Breite (d_{IS1} , d_{IS2} , d_{SL}) der jeweiligen nicht-leitenden Isolationslücke (1840, 2340, 2350, 6840) ist und wobei vorzugsweise der maximale Abstand eines Teils des jeweiligen Sensorelements (SE) von der jeweiligen nächstliegenden Kante der jeweiligen nicht-leitenden Isolationslücke (1840, 2340, 2350, 6840) kleiner als das doppelte der jeweiligen Breite (d_{IS1} , d_{IS2} , d_{SL}) der jeweiligen nicht-leitenden Isolationslücke (1840, 2340, 2350, 6840) ist.

[0335] In einer weiteren Ausprägung des Trägersubstrat (1360) umfasst das Trägermaterial (TM) ein strahlungsgehärtetes Trägermaterial (TM). In einer weiteren Ausprägung des Trägersubstrat (1360) umfasst das Trägermaterial (TM) ein UV-strahlungsgehärtetes Trägermaterial (TM).

Trägersubstratsatz mit hohem C_{pk} -Wert

[0336] Die in dem hier vorgelegten Dokument beschriebenen, insbesondere selbstjustierenden Fertigungstechniken ermöglichen die Fertigung von Sensorelementen (SE) mit einem hohen C_{pk} -Wert. Bevorzugt wird der C_{pk} -Wert anhand eines willkürlichen Trägersubstratsatzes als Stichprobe ermittelt, wobei der Trägersubstratsatz eine Mehrzahl von Trägersubstraten (1360) umfasst. Bevorzugt umfasst der Trägersubstratsatz eine Mehrzahl von mindestens 10 und/oder besser mindestens 20 und/oder besser mindestens 50 und/oder besser mindestens 100 Trägersubstraten (1360). Um einen sinnvollen C_{pk} -Wert ermitteln zu können sollten die Trägersubstrate (1360) des Trägersubstratsatzes in im Wesentlichen gleicher Weise konstruiert sein (konstruktionsidentisch sein). Dabei weist typischerweise jedes der Trägersubstrate (1360) des Trägersubstratsatzes zumindest eine Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) auf. Des Weiteren weist typischerweise die zumindest eine Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) jedes jeweiligen Trägersubstrats (1360) des Trägersubstratsatzes zumindest eines der Strukturelemente

- einen Signalleiter (1330) mit einer Breite (d_S) und/oder
- eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende linke Isolationslücke (2340) mit einer Breite (d_{IS1}) und/oder
- eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende rechte Isolationslücke (2350) mit einer Breite (d_{IS2}) und/oder
- einen Schlitz (1840) mit einer Breite (d_{SL}) und/oder
- einen linken Signalleiter (6810) mit einer Breite (d_S) und/oder
- einen rechten Signalleiter (6820) mit einer Breite (d_S) und/oder
- eine elektrisch isolierende Lücke (6840) mit einer Breite (d_{SL})

als jeweiliges Strukturelement auf. Somit weist jedes der jeweiligen Trägersubstrate (1360) des Trägersubstratsatzes zumindest ein jeweiliges Sensorelement (SE) des jeweiligen Trägersubstrats (1360) des Trägersubstratsatzes mit einem jeweiligen Durchmesser (d_{SE}) und seiner jeweiligen Mitte des jeweiligen Sensorelements (SE) des jeweiligen Trägersubstrats (1360) des Trägersubstratsatzes auf. Das jeweilige Sensorelement (SE) des jeweiligen Trägersubstrats (1360) des Trägersubstratsatzes befindet sich typischerweise auf oder in dem zumindest einen jeweiligen Strukturelement der zumindest einen jeweiligen Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) des jeweiligen Trägersubstrats (1360). Dieses jeweilige Strukturelement des jeweiligen Trägersubstrats (1360) des Trägersubstratsatzes weist dabei jeweils die besagte jeweilige Breite und eine jeweilige Mitte dieses jeweiligen Strukturelements des jeweiligen Trägersubstrats (1360) bei seiner halben jeweiligen Breite auf. Die jeweilige Mitte des zumindest einen jeweiligen Sensorelements des jeweiligen Trägersubstrats (1360) des Trägersubstratsatzes ist fertigungsstreuungsbedingt typischerweise jeweils gegenüber der jeweiligen Mitte dieses jeweiligen Strukturelements des jeweiligen Trägersubstrats (1360) um einen jeweiligen Versatz fertigungsbedingt versetzt. Der aus diesen jeweiligen Versätzen der jeweiligen Trägersubstrate (1360) als jeweilige Streuungen und der mittleren Breite der jeweiligen Breite des zumindest einen jeweiligen Strukturelements der jeweiligen Trägersubstrate (1360) als Toleranzintervall für den Versatz der jeweiligen Sensorelemente (SE) gegenüber dem jeweiligen Strukturelement ermittelte C_{pk} -Wert für die Gesamtheit der Trägersubstrate (1360) dieses Trägersubstratsatzes ist bei Verwendung der hier vorgestellten, insbesondere selbstjustierenden Fertigungstechniken bei richtiger Anwendung der Verfahren besser als 1,66 und damit für die Fertigung in automobilen Lieferketten geeignet.

[0337] Die zur Ermittlung des C_{pk} -Werts des Trägersubstratsatzes vermessenen jeweiligen Strukturelemente der jeweiligen Trägersubstrate (1360) des Trägersubstratsatzes sind bevorzugt die gleichen jeweiligen Struk-

turelemente bei allen jeweiligen Trägersubstraten der Trägersubstrate (1360) des Trägersubstratsatzes. Die zur Ermittlung des C_{pk} -Werts des Trägersubstratsatzes vermessenen jeweiligen Sensorelemente (SE) der jeweiligen Trägersubstrate (1360) des Trägersubstratsatzes sind vorzugsweise die gleichen jeweiligen Sensorelemente (SE) bei allen jeweiligen Trägersubstraten der Trägersubstrate (1360) des Trägersubstratsatzes.

[0338] Im Sinne des hier vorgelegten Dokuments kann ein Strukturelement auch aus mehreren der hier vorgestellten auf den jeweiligen Trägersubstraten (1360) nebeneinander liegenden Strukturelementen zusammengesetzt sein.

[0339] Natürlich kann auch aus den Breiten der jeweiligen Sensorelemente (SE) der jeweiligen Trägersubstrate (1360) des Trägersubstratsatzes und den mittleren Breiten der Strukturelemente der jeweiligen Trägersubstrate (1360) des Trägersubstratsatzes als Toleranzmaß ein C_{pk} -Wert gebildet werden, der ebenfalls aufgrund der in diesem Dokument offenbarten Fertigungsverfahren über 1,66 liegen kann. Solche Trägersubstratsätze sind daher Teil der Offenlegung und potenziellen Beanspruchung des hier vorgelegten Dokuments.

Allgemeine Sensorsysteme

[0340] Wie bereits angedeutet kann das System des Hochfrequenzspektrumanalysators auch als allgemeines Sensorsystem verwendet werden. Ein solches allgemeines Sensorsystem umfasst typischerweise eine Steuervorrichtung (CTR) zur Einstellung einer magnetischen Flussdichte (B_{Σ} , B_{ad}) als ersten Messparameter innerhalb eines ersten Messparameterintervalls und zur Einstellung einer Mikrowellenfrequenz ($\omega_{\mu W}$) eines Mikrowellensignals (μW) als zweiten Messparameter innerhalb eines zweiten Messparameterintervalls. Das allgemeine Sensorsystem weist bevorzugt des Weiteren ein Sensorelement (SE, 5) mit einer Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND) auf, wobei die Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND) in einem Trägermaterial (TM) des Sensorelements(SE) eingebettet sind und typischerweise im Wesentlichen unterschiedlich orientiert sind. Die Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND) weist bevorzugt paramagnetische Zentren, insbesondere NV-Zentren in Diamant als Diamant-Nano-Kristalle (ND), auf. Vorzugsweise weist das Sensorsystem eine Pumpstrahlungsquelle in Form einer Lichtquelle (LED) auf, wobei die Pumpstrahlungsquelle vorzugsweise dazu eingerichtet ist, die paramagnetischen Zentren der Vielzahl der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle (ND) des Sensorelements (SE, 5) mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) zu bestrahlen. Die paramagnetischen Zentren der Vielzahl der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle (ND) des Sensorelements (SE, 5) emittieren bei der Bestrahlung mit der Pumpstrahlung (LB) der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) eine Fluoreszenzstrahlung (FL) mit einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge (λ_{fl}). Vorzugsweise ist das Sensorsystem (SE) dazu eingerichtet, seine Vorrichtungsteile zur Vermessung eines eingestellten Messpunkt aus einem ersten Wert des ersten Messparameters und einem zweiten Wert des zweiten Messparameters zu parametrisieren. Das Sensorelement (SE) ist vorzugsweise dazu eingerichtet, der Ermittlung eines Sensorelementmesswerts für diesen eingestellten Messpunkts zu dienen, wobei der Sensorelementmesswert dem Fluoreszenzintensitätswert der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung (FL) und/oder einer Abschwächung der der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung (FL) entspricht und oder von diesen abhängt. Dabei hängt Sensorelementmesswert typischerweise vom ersten Messparameter und zweiten Messparameter ab. Typischerweise bildet der Sensorelementmesswert in einer X-Y-Ebene mit dem ersten Messwert als X-Koordinate und dem zweiten Messwert als Y-Koordinate eine V-Formation aus einer unteren Resonanzkante (522) und einer oberen Resonanzkante (525) aus. (Siehe **Fig. 2**) Die V-Formation (522, 525) weist dabei eine Spitze (530) der V-Formation auf, die auch ggf. im nicht mehr messbaren Bereich liegen kann und daher ggf. nur indirekt erschlossen werden kann. Bevorzugt ist die Steuervorrichtung (CTR) dazu eingerichtet, ein computerimplementiertes Verfahren anzuwenden, um insbesondere den nächsten Messpunkt mit möglichst wenigen Iterationen zu bestimmen, wobei der nächste Messpunkt vorzugsweise einen nächsten ersten Messparameter und einen nächsten zweiten Messparameter umfasst.

[0341] In einer weiteren Ausprägung des Sensorsystems wendet die Steuervorrichtung (CTR) daher als computerimplementiertes Verfahren bevorzugt eines oder mehrere der folgenden computerimplementierten Verfahren an:

- ein computerimplementiertes Machine-Learning-Verfahren und/oder
- ein computerimplementiertes Verfahren zur Anwendung computerimplementierter Optimierungsalgorithmen und/oder
- ein computerimplementiertes Machine-Learning-Verfahren unter Anwendung eines Verfahrens der computerimplementierten Bayes'schen Optimierung und/oder

- ein computerimplementiertes Verfahren der computerimplementierten Random-Forest-Regression und/oder
- ein computerimplementiertes Verfahren der computerimplementierten Gaussian-Process-Regression und/oder
- ein computerimplementiertes Verfahren unter Verwendung eines computerimplementierten neuronalen Netzwerkmodells und/oder.
- ein computerimplementiertes Verfahren der computerimplementierten gradientenbasierten Optimierung und/oder
- ein computerimplementiertes Verfahren des computerimplementierten Gradientenabstiegs und/oder
- ein computerimplementiertes Verfahren des computerimplementierten stochastischen Gradientenabstiegs und/oder
- ein computerimplementiertes Verfahren des computerimplementierten Simulated-Annealings und/oder
- ein computerimplementiertes Verfahren der computerimplementierten Partikelschwarmoptimierung und/oder
- ein computerimplementiertes Verfahren unter Verwendung computerimplementierter genetischer Algorithmen und/oder
- ein computerimplementiertes Verfahren unter Verwendung eines computerimplementierten Verfahrens der Bayes'schen Optimierung und/oder
- ein computerimplementiertes Verfahren des computerimplementierten Nelder-Mead-Algorithmus.

[0342] Wie bereits angedeutet, kann das System des Hochfrequenzspektrumanalysators auch als allgemeines Sensorsystem in einer anderen Ausprägung verwendet werden. Ein solches allgemeines Sensorsystem umfasst beispielsweise eine Steuervorrichtung (CTR) zur Einstellung einer magnetischen Flussdichte (B_z , B_{ad}) als ersten Messparameter innerhalb eines ersten Messparameterintervalls und zur Einstellung einer Mikrowellenfrequenz ($\omega_{\mu W}$) eines Mikrowellensignals (μW) als zweiten Messparameter innerhalb eines zweiten Messparameterintervalls. Das allgemeine Sensorsystem weist bevorzugt wieder ein Sensorelement (SE, 5) mit einer Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND) auf, wobei die Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND) vorzugsweise in einem Trägermaterial (TM) des Sensorelements (SE) eingebettet sind und wobei bevorzugt die Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND) im Wesentlichen unterschiedlich orientiert sind. Die Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND) weist bevorzugt paramagnetische Zentren, insbesondere NV-Zentren, auf. Bevorzugt weist das allgemeine Sensorsystem typischerweise eine Pumpstrahlungsquelle in Form einer Lichtquelle (LED) auf, wobei die Pumpstrahlungsquelle vorzugsweise dazu eingerichtet ist, die paramagnetischen Zentren der Vielzahl der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle (ND) des Sensorelements (SE, 5) mit Pumpstrahlung (LB) der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) zu bestrahlen, und wobei die paramagnetischen Zentren der Vielzahl der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle (ND) des Sensorelements (SE, 5) bei der Bestrahlung mit der Pumpstrahlung (LB) der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) eine Fluoreszenzstrahlung (FL) mit einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge (λ_{fi}) emittieren. Vorzugsweise ist dabei das allgemeine Sensorsystem dazu eingerichtet, seine Vorrichtungsteile zur Vermessung eines eingestellten Messpunkt aus einem ersten Wert des ersten Messparameters und einem zweiten Wert des zweiten Messparameters zu parametrisieren. Typischerweise ist die Steuervorrichtung (CTR) in der Lage, einen ersten Messparameter innerhalb eines ersten Messparameterintervalls einzustellen und einen zweiten Messparameter innerhalb eines zweiten Messparameterintervalls einzustellen. Das Sensorelement (SE) ist dann bevorzugt dazu eingerichtet, der Ermittlung eines Sensorelementmesswerts für diesen eingestellten Messpunkt zu dienen. Vorzugsweise entspricht dabei der Sensorelementmesswert dem Fluoreszenzintensitätswert der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung (FL) und/oder einer Abschwächung der der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung (FL) und/oder hängt von diesen ab. Typischerweise hängt der Sensorelementmesswert dabei zumindest vom ersten Messparameter und zweiten Messparameter ab. Der erste Messparameter können dabei beispielsweise die magnetische Gesamtflussdichte (B_z) oder die zusätzliche magnetische Flussdichte (B_{ad}), die zur magnetischen Gesamtflussdichte (B_z) beiträgt, sein. Bei einer Vermessung in dieser Weise mit unterschiedlichen Messpunkten aus einem ersten Messparameterwert des ersten Messparameters und einem zweiten Messparameterwerts des zweiten Messparameters bilden die über die X-Y-Fläche dieser beiden Messparameter erfassten Sensorelementmesswerte in dieser X-Y-Ebene mit dem ersten Messwert als X-Koordinate und dem zweiten Messwert als Y-Koordinate eine V-Formation aus. Einer untere Resonanzkante (522) und eine obere Resonanzkante (525) bilden dabei diese V-Formation. (Siehe **Fig. 51b**). Eine wesentliche Idee des hier vor-

gelegten Dokuments ist es, durch Mustererkennung die Lage dieser V-Formation zu erkennen und daraus Messwerte abzuleiten, da Größe, Ausrichtung und Struktur im Wesentlichen auf atomarer Ebene bereits festgelegt sind und nur die Position der Spitze (530) dieser V-Formation von der Mikrowellenfrequenz ($\omega_{\mu W}$) und der magnetischen Gesamtflussdichte (B_{Σ}) oder der zusätzlichen magnetischen Flussdichte (B_{ad}), die zur magnetischen Gesamtflussdichte (B_{Σ}) beiträgt, abhängt. Diese die V-Formation weist somit die besagte Spitze (530) der V-Formation auf, die auch außerhalb des messbaren Bereichs liegen kann und deren Position besonders charakteristisch für die Position der V-Formation ist. Typischerweise liefert das Sensorelement (SE) in Abhängigkeit von dem eingestellten ersten Messparameter und dem eingestellten zweiten Messparameter den Sensorelementmesswert. Die Steuervorrichtung (CTR) ist typischerweise dazu eingerichtet, ein computerimplementiertes Verfahren der zur Bestimmung des nächsten Messpunkts, der den nächsten ersten Messparameter und dem nächsten zweiten Messparameter umfasst, anzuwenden. Hierzu umfasst das Sensorsystem vorzugsweise ein System zur Bestimmung der Lage einer V-Formation in der X-Y-Ebene, wobei die Lage durch die X-Koordinate des ersten Messparameters und die Y-Koordinate des zweiten Messparameters definiert ist. Auch kann das Sensorsystem ein System zur Bestimmung der Position (530) der Spitze der V-Formation in der X-Y-Ebene umfassen, wobei auch diese Position durch die zugehörige X-Koordinate des ersten Messparameters und die zugehörige Y-Koordinate des zweiten Messparameters definiert ist. Vorzugsweise umfasst das Sensorsystem eine Speichervorrichtung (RAM, NVM) zur Bereithaltung der so bestimmten Lage der V-Formation in der X-Y-Ebene und/oder zur Bereithaltung der bestimmten Position (530) der Spitze der V-Formation und/oder einer funktionsäquivalenten Information für die Verwendung durch ein übergeordnetes System. Hierzu umfasst bevorzugt das Sensorsystem eine Benutzerschnittstelle zur Einstellung von Parametern, wie beispielsweise der Messparameterintervalle und/oder zum Abrufen der Ergebnisse der Position (530) der Spitze der V-Formation in der X-Y-Ebene aus dem ersten Messparameter als X-Koordinate und dem zweiten Messparameter als Y-Koordinate. Diese Benutzerschnittstelle kann vorschlagsgemäß auch durch eine Vorrichtung, beispielsweise ein übergeordnetes Rechnersystem angesprochen, bedient und abgefragt werden. Es kann sich bei der Benutzerschnittstelle also auch um eine Maschine-Maschine-Schnittstelle handeln. Die Benutzerschnittstelle kann eine Web-Seite sein, die die Steuervorrichtung (CTR) erzeugt.

[0343] Wie bereits angedeutet kann, das System des Hochfrequenzspektrumanalysators auch als allgemeines Sensorsystem in einer anderen dritten Ausprägung verwendet werden. Ein solches allgemeines Sensorsystem umfasst beispielsweise bevorzugt eine Steuervorrichtung (CTR), wobei das allgemeine Sensorsystem vorzugsweise eine Steuervorrichtung (CTR) zur Einstellung einer magnetischen Flussdichte (B_{Σ} , B_{ad}) als ersten Messparameter innerhalb eines ersten Messparameterintervalls und zur Einstellung einer Mikrowellenfrequenz ($\omega_{\mu W}$) eines Mikrowellensignals (μW) als zweiten Messparameter innerhalb eines zweiten Messparameterintervalls aufweist. Auch hier weist das allgemeine Sensorsystem bevorzugt wieder ein Sensorelement (SE, 5) mit einer Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND) auf, die typischerweise in einem Trägermaterial (TM) des Sensorelements(SE) eingebettet sind. Die Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND) sind bevorzugt im Wesentlichen unterschiedlich orientiert. Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle (ND) der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle (ND) weisen vorzugsweise paramagnetische Zentren, insbesondere NV-Zentren in Diamant, auf. Das allgemeine Sensorsystem umfasst bevorzugt wieder eine Pumpstrahlungsquelle in Form einer Lichtquelle (LED), die die paramagnetischen Zentren der Vielzahl der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle (ND) des Sensorelements (SE, 5) mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) bestrahlen kann. Wie zuvor emittieren die paramagnetischen Zentren der Vielzahl der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle (ND) des Sensorelements (SE, 5) bei der Bestrahlung mit der Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) wieder typischerweise eine Fluoreszenzstrahlung (FL) mit einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge (λ_{fl}). Vorzugsweise ist das allgemeine Sensorsystem dazu eingerichtet, seine Vorrichtungsteile zur Vermessung eines eingestellten Messpunkts aus einem ersten Wert des ersten Messparameters und einem zweiten Wert des zweiten Messparameters beispielsweise mittels seiner Steuervorrichtung (CTR) zu parametrisieren. Daher ist vorzugsweise die Steuervorrichtung (CTR) vorzugsweise in der Lage, einen ersten Messparameter innerhalb eines ersten Messparameterintervalls einzustellen und einen zweiten Messparameter innerhalb eines zweiten Messparameterintervalls einzustellen. Das Sensorelement (SE) ist typischerweise dazu eingerichtet, der Ermittlung eines Sensorelementmesswerts für diesen eingestellten Messpunkt zu dienen. Dabei entspricht typischerweise der Sensorelementmesswert dem Fluoreszenzintensitätswert der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung (FL) und/oder einer Abschwächung der der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung (FL) und/oder hängt von diesem ab. Dieser Sensorelementmesswert hängt typischerweise vom ersten Messparameter und zweiten Messparameter ab. Typischerweise bildet der Sensorelementmesswert in einer X-Y-Ebene mit dem ersten Messwert als X-Koordinate und dem zweiten Messwert als Y-Koordinate eine V-Formation aus einer unteren Resonanzkante (522) und einer oberen Resonanzkante (525) aus. Dabei weist im Allgemeinen die V-Formation eine Spitze (530) der V-Formation auf, die auch außerhalb des Messberei-

ches liegen kann. Darüber hinaus weist das allgemeine Sensorsystem dieser Ausprägung bevorzugt das Sensorelement (SE) zur Ermittlung eines Sensorelementmesswerts für einen eingestellten Messpunkt basierend auf dem ersten Messparameter und dem zweiten Messparameter auf. Vorzugsweise verwendet das allgemeine Sensorsystem ein virtuelles, speicherbasiertes, dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem zur Eintragung der Messwerte des Sensorelements (SE) in eine Datenbank im Speicher (RAM, NVM) des Sensorsystems, wobei vorzugsweise die x-Koordinate auf der x-Achse durch den ersten Messparameter und die y-Koordinate auf der y-Achse durch den zweiten Messparameter bestimmt werden und die z-Koordinate auf der z-Achse durch den Messwert des Sensorelements (SE) bestimmt wird. Des Weiteren umfasst das Sensorsystem in dieser Ausprägung vorzugsweise eine Positionserkennungseinheit, der bekannt ist und die die Information verwendet, dass die Maxima des Betrags des Gradienten des Messwerts des Sensorelements nach der x-Koordinate und der y-Koordinate eine V-Form auf der X-Y-Ebene ergeben, wobei es typischerweise die Aufgabe des Sensorsystems ist, die Position der unteren Spitze (530) dieser V-Formation (522, 525) zu bestimmen und auszugeben.

[0344] In einer weiteren Ausprägung der vorangehenden drei Ausprägungen des Sensorsystems ist die Steuervorrichtung (CTR) vorzugsweise dazu eingerichtet, den nächsten Messpunkt für die nächste Messung eines Sensorelementmesswerts in Abhängigkeit von einem oder mehreren bereits vorhandenen Messwertdatensätzen zu bestimmen, wobei ein solcher Messwertdatensatz typischerweise einem Messpunkt und einen Sensorelementmesswert umfasst. Dies ermöglicht eine schnelle Konvergenz der Messwerte, um die echte Position der V-Formation und zwar insbesondere die Position der Spitze (530) der V-Formation aus unterer Resonanzkante (522) und oberer Resonanzkante (525) zu identifizieren und daraus ggf. weitere Messwerte für die magnetische Flussdichte B und/oder die Mikrowellenfrequenz abzuleiten.

[0345] In einer weiteren Ausprägung der vier vorangehenden Ausprägungen des Sensorsystems ist die Steuervorrichtung (CTR) vorzugsweise dazu eingerichtet, das computerimplementierte Verfahren zur Bestimmung des nächsten Messpunkts aus einem nächsten ersten Messparameter und einem nächsten zweiten Messparameter anzuwenden, um die Lage der V-Formation in der X-Y-Ebene zu bestimmen und die Position (30) der Spitze der V-Formation in der X-Y-Ebene oder eine funktionsäquivalente Information zu berechnen und für die Verwendung durch ein übergeordnetes System bereitzuhalten.

[0346] In einer weiteren Ausprägung der fünf vorangehenden Ausprägungen des Sensorsystems ist die Steuervorrichtung (CTR) vorzugsweise dazu eingerichtet, das computerimplementierte Verfahren zu verwenden, um die Lage der V-Formation in der X-Y-Ebene aus erstem Messparameter als X-Koordinate und zweitem Messparameter als Y-Koordinate oder eine funktionsäquivalente Positionsangabe der V-Formation und/oder eine funktionsäquivalente Positionsangabe eines Merkmals der V-Formation mittels Iteration zu bestimmen.

[0347] In einer weiteren Ausprägung der sechs vorangehenden Ausprägungen des Sensorsystems ist die Steuervorrichtung (CTR) vorzugsweise dazu eingerichtet, das computerimplementierte Verfahren so auszuführen, dass die Steuervorrichtung (CTR) mittels des computerimplementierten Verfahrens diese die Positionsangabe der V-Formation und/oder eine funktionsäquivalente Positionsangabe eines Merkmals der V-Formation mit möglichst wenigen Iterationen zu bestimmen.

[0348] In einer weiteren Ausprägung der sieben vorangehenden Ausprägungen des Sensorsystems ist die Steuervorrichtung (CTR) vorzugsweise dazu eingerichtet, das computerimplementierte Verfahren für die Bestimmung der die Position der Spitze (30) der V-Formation in der X-Y-Ebene aus erstem Messparameter als X-Koordinate und zweitem Messparameter als Y-Koordinate oder einer funktionsäquivalenten Information zu verwenden.

[0349] In einer weiteren Ausprägung der acht vorangehenden Ausprägungen des Sensorsystems ist die Steuervorrichtung (CTR) vorzugsweise dazu eingerichtet, die so bestimmte Positionsangabe der V-Formation und/oder eine funktionsäquivalente Positionsangabe eines Merkmals der V-Formation und/oder der Position der Spitze (30) der V-Formation für die Verwendung durch ein übergeordnetes System (z.B. 28) bereit zu halten.

[0350] In einer weiteren Ausprägung der neun vorangehenden Ausprägungen des Sensorsystems ist die Steuervorrichtung (CTR) vorzugsweise dazu eingerichtet, das computerimplementierte Verfahren in Kombination mit dem Sensorelement (SE) einzusetzen, um die Position (30) der Spitze der V-Formation und/oder eine funktionsäquivalente Information basierend auf den ersten Messparametern und den zweiten Messparametern zu bestimmen.

[0351] In einer weiteren Ausprägung der zehn vorangehenden Ausprägungen des Sensorsystems ist die Steuervorrichtung (CTR) vorzugsweise dazu eingerichtet, die Position (30) der Spitze der V-Formation und/oder die funktionsäquivalente Information für die Verwendung durch ein übergeordnetes System (z.B. 28) bereitzuhalten. Dies ermöglicht beispielsweise eine Sensor-Fusion dieser Informationen mit Daten anderer Sensoren beispielsweise in einem übergeordneten System und das Erkennen fehlerhafter Werte durch das übergeordnete System.

[0352] In einer weiteren Ausprägung des Sensorsystems sind der Programmcode und/oder die Programmdateien der computerimplementierten Verfahrens auf einem speicherbasierten Medium (RAM, NVM) gespeichert. Insbesondere ist es denkbar, dieses Speichermedium (RAM, NVM) austauschen zu können, um so das Sensorsystem schnell an neue Gegebenheiten anpassen zu können.

[0353] Vorzugsweise sind die Steuervorrichtung (CTR) und das speicherbasierte Medium (RAM, NVM) dazu eingerichtet, diesen Programmcode des computerimplementierten Verfahrens mittels eines Prozessors der Steuervorrichtung (CTR) auszuführen. Dabei kann das speicherbasierte Medium (RAM, NVM) ein Computerprogrammprodukt, eine Festplatte, einen Flash-Speicher oder ein anderes nichtflüchtiges Speichermedium (NVM) umfassen.

[0354] Wie bereits angedeutet kann das System des Hochfrequenzspektrumanalysators auch als allgemeines Sensorsystem in einer anderen zwölften Ausprägung verwendet werden. Dabei umfasst das Sensorsystem ein Speichermedium (RAM, NVM), das die aktuellen Werte des ersten Messparameters, des zweiten Messparameters und des Sensorelementmesswerts speichert, um eines der computerimplementierten Verfahren, insbesondere iterativ, durchzuführen. In dieser Ausprägung kann die Steuervorrichtung (CTR) insbesondere dazu eingerichtet sein, im Falle eines iterativen Vorgehens eine Konvergenzkriteriumsprüfung durchzuführen, um festzustellen, ob die Berechnung der Position der unteren Spitze (30) der V-Formation in der X-Y-Ebene und/oder die Berechnung einer funktionsäquivalenten Information konvergiert ist, und die Iterationen computerimplementierten Verfahrens entsprechend zu beenden.

[0355] Wie bereits angedeutet kann das System des Hochfrequenzspektrumanalysators auch als allgemeines Sensorsystem in einer anderen dreizehnten Ausprägung verwendet werden. Dabei umfasst die Steuervorrichtung (CTR) vorzugsweise eine Fehlerkorrektur- und Ausgleichseinheit, die dazu eingerichtet ist, Fehler in den Messungen des Sensorelements (SE) zu erkennen und zu korrigieren, um eine präzisere Bestimmung der Position der unteren Spitze (30) der V-Formation und/oder einer funktionsäquivalenten Information zu gewährleisten.

[0356] Wie bereits angedeutet kann das System des Hochfrequenzspektrumanalysators auch als allgemeines Sensorsystem in einer anderen zwölften Ausprägung verwendet werden. Dabei ist die Steuervorrichtung (CTR) vorzugsweise dazu eingerichtet, eines der computerimplementierten Verfahren anzuwenden, indem sie eine Menge von Messpunkten in der X-Y-Ebene generiert, die eine initiale Schätzung der Position (30) der Spitze der V-Formation und/oder einer funktionsäquivalenten Information darstellen, und anschließend die Messpunkte basierend auf dem Sensorelementmesswert zu bewerten und die besten Messpunkte für die nächste Iteration auszuwählen.

[0357] Wie bereits angedeutet kann das System des Hochfrequenzspektrumanalysator auch als allgemeines Sensorsystem in einer anderen dreizehnten Ausprägung verwendet werden. Dabei umfasst das Sensorsystem die Steuervorrichtung (CTR) mit einem Prozessor und einen Speicher (RAM, NVM), wobei der Speicher (RAM, NVM) den Programmcode für das computerimplementierte Verfahren enthält. Die Steuervorrichtung (CTR) ist in dieser Ausprägung vorzugsweise dazu eingerichtet ist, mittels ihres Prozessors den Programmcode aus dem Speicher (RAM, NVM) abzurufen und auszuführen. Bevorzugt ist der Speicher (RAM, NVM) dazu eingerichtet, weitere Informationen über die V-Formation, wie beispielsweise die Größe oder Form, zu speichern, um eine umfassende Charakterisierung der V-Formation zu ermöglichen.

[0358] Schließlich beschreibt das hier vorgelegte Dokument ein Verfahren zur Herstellung eines monolithisch integrierten Sensorsystems. Das vorgeschlagene Verfahren umfasst die Schritte:

1. Bereitstellen eines Halbleitersubstrats (1360), wobei das Halbleitersubstrat (1360) eine oder mehrere mikroelektronischen Schaltungen und einen Metallisierungsstapel mit elektrischen Leitungen, ggf. notwendigen Durchkontaktierungen, Kontakten, Pads und Isolationsschichten etc. an einer seiner Oberflächen aufweist. Besonders wichtig ist in diesem Fall, dass das Halbleitersubstrat (1360) eine Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) an dieser Oberfläche aufweist.

2. Ein weiterer Schritt ist das ganzflächige oder teilweise Beschichten dieser Oberfläche des Halbleitersubstrats (1360) im Bereich der Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) mit einem kolloidalen Lack (KL) der kolloidalen Mischung zur Bildung einer lokalen kolloidalen Lackschicht, wobei der kolloidale Lack (KL) ein Trägermaterial (TM) und Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle (ND) aufweist, die alle oder in Teilen paramagnetische Zentren, insbesondere NV-Zentren in Diamant, umfassen, die wiederum bei Bestrahlung mit einer Pumpstrahlung (LB) mit einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) Fluoreszenzstrahlung (FL) mit einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge (λ_{fl}) emittieren.

3. Es folgt dann die Strukturierung der lokalen kolloidalen Lackschicht. Diese Strukturierung kann grundsätzlich auf zwei Arten als Positiv-Prozess oder Negativ-Prozess erfolgen. Ein weiterer Schritt betrifft das Durchführen zumindest eines dieser beiden folgenden Strukturierungsprozesse:

3.1. Negativ Verfahren mit den Schritten:

3.1.1. Lokal begrenztes Bestrahlen der lokalen kolloidalen Lackschicht des kolloidalen Lacks (KL) mit einer elektromagnetischen Aushärtestrahlung (4910) einer Aushärtewellenlänge (λ_H), sodass die das Trägermaterial (TM) der lokalen kolloidalen Lackschicht des einem kolloidalen Lacks (KL) aushärtet. Dabei ist das ausgehärtete Trägermaterial (TM) vorzugsweise für elektromagnetische Strahlung der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) im Wesentlichen transparent und für elektromagnetische Strahlung der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge (λ_{fl}) im Wesentlichen transparent.

3.1.2. Entfernen der Bereiche der lokalen kolloidalen Lackschicht des einem kolloidalen Lacks (KL), deren Trägermaterial (TM) nicht ausgehärtet ist, um ein oder mehrere Sensorelemente (SE) auszuformen.

3.2. Positiv Verfahren

3.2.1. Vorhärten der lokalen kolloidalen Lackschicht;

3.2.2. Lokal begrenztes Bestrahlen der vorgehärteten lokalen kolloidalen Lackschicht des einem kolloidalen Lacks (KL) mit einer elektromagnetischen Belichtungsstrahlung (4910) einer Belichtungswellenlänge (λ_B), sodass die das Trägermaterial (TM) der lokalen kolloidalen Lackschicht des einem kolloidalen Lacks (KL) angreifbar wird,

3.2.3. Entfernen der Bereiche der belichteten und damit angreifbar gewordenen lokalen kolloidalen Lackschicht des einem kolloidalen Lacks (KL) beispielsweise mittels eines Lösungsmittels oder eines Entwicklers,

3.2.4. Aushärten der nicht entfernten Bereiche der nicht belichteten lokalen kolloidalen Lackschicht des einem kolloidalen Lacks (KL), um ein oder mehrere Sensorelemente (SE) auszuformen, wobei das dann ausgehärtete Trägermaterial (TM) für elektromagnetische Strahlung der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) im Wesentlichen transparent ist und wobei das dann ausgehärtete Trägermaterial (TM) für elektromagnetische Strahlung der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge (λ_{fl}) im Wesentlichen transparent ist.

[0359] Bevorzugt umfassen die mikroelektronischen Schaltungen auf dem Halbleitersubstrat (1360) eine oder mehrere Vorrichtungselemente des Sensorsystems und/oder eines oder mehrere Sensorkanäle und/oder eine Steuervorrichtung (CTR) und/oder ein oder mehrere Speicher (RAM; NVM), und/oder ein oder mehrere Magnetfelderzeugungsmittel (L_c) und/oder in oder mehrere Signalquellen (μ WG, G1, G2, LDRV,) und/oder ein oder mehrere Mustererkennungsvorrichtungen (MEV) und/oder ein oder mehrere mikrooptische Vorrichtungsteile (LWL1, LWL2) und/oder ein oder mehrere mikrofluidische und/oder ein oder mehrere mikro-mechanische Funktionselemente.

[0360] Hier ist eine unvollständige Liste beispielhafter einfacher Schaltungsblöcke, die typischerweise in solchen Mixed-Signal-Schaltungen der CMOS-Technik zu finden sind und deren Integration in das Halbleitersubstrat (1360) denkbar ist:

Verstärker: Verstärker werden verwendet, um elektrische Signale zu verstärken und/oder zu filtern und/oder zu mischen und/oder zu addieren etc., entweder in analoger oder digitaler Form. Beispiele sind Operationsverstärker (Op-Amps) und differenzielle Verstärker.

Komparatoren: Komparatoren vergleichen zwei Eingangssignale und erzeugen ein Ausgangssignal, das angibt, ob das eine Signal größer oder kleiner als das andere ist. Sie werden häufig in Schwellwertdetektoren und Analog-Digital-Wandlern verwendet.

Filter: Filter ermöglichen es, bestimmte Frequenzen eines Signals zu verstärken oder zu unterdrücken oder bestimmte Signalverlaufsstrukturen zu erkennen. Beispiele sind Tiefpassfilter, Hochpassfilter, Bandpassfilter und Notchfilter, Kalman-Filter, Optimalfilter, Matched Filter etc.

Analog-Digital-Wandler (ADC): ADCs wandeln analoge Signale in digitale Werte um. Sie sind wesentlich für die digitale Verarbeitung analoger Signale und werden in vielen Anwendungen eingesetzt, z.B. in der Tonaufnahme, Sensortechnik und Kommunikation.

Digital-Analog-Wandler (DAC): DACs wandeln digitale Werte in analoge Signale um. Sie werden verwendet, um digitale Informationen in eine kontinuierliche analoge Form zu übertragen, z.B. in Audioverstärkern und Kommunikationssystemen.

Oszillatoren: Oszillatoren erzeugen periodische Signale, die in vielen Anwendungen wie Taktgeber, Zeitgeber und Taktsynchronisation benötigt werden.

Multiplexer: Multiplexer ermöglichen die Auswahl und Weiterleitung eines bestimmten Eingangssignals aus einer Gruppe von Signalen zu einem Ausgang. Sie werden oft verwendet, um zwischen verschiedenen Datenquellen oder Adressen umzuschalten. Es kann sich auch um Digital-Multiplexer und/oder Analog-Multiplexer handeln.

Schieberegister: Schieberegister sind sequenzielle Schaltungen, die in der Lage sind, eine Reihe von Datenbits zu speichern und diese seriell oder parallel zu verschieben. Sie werden in vielen Anwendungen wie Speichererweiterungen, Datenverschiebung und Signalverarbeitung verwendet.

Phasendetektoren: Phasendetektoren werden verwendet, um die Phasendifferenz zwischen zwei Signalen zu messen. Sie sind wichtig in Phasenregelschleifen (PLL) und Frequenzsynthesizern.

Spannungsreferenzen: Spannungsreferenzen erzeugen präzise und stabile Referenzspannungen, die in vielen Schaltungen als Bezugsspannungen dienen, beispielsweise in ADCs, DACs und Regelkreisen.

Phasenregelschleifen (PLL): PLLs werden verwendet, um eine präzise Phasen- und Frequenzsynchronisation zwischen verschiedenen Signalen zu erreichen. Sie finden Anwendung in Kommunikationssystemen, Taktgeneratoren und Frequenzsynthesizern.

Taktgeneratoren: Taktgeneratoren erzeugen präzise und stabile Taktimpulse, die zur Synchronisierung von Schaltungen und zum Zeitmultiplexing verwendet werden. Sie spielen eine entscheidende Rolle in digitalen Schaltungen und Kommunikationssystemen.

Schaltregler: Schaltregler sind elektronische Schaltungen, die die Spannung oder den Strom effizient umwandeln oder regeln können. Sie werden in Stromversorgungen, Batterieladegeräten und energieeffizienten Systemen eingesetzt.

Komparator-basierte Analog-Digital-Wandler (Flash ADC): Flash-ADCs sind schnelle Analog-Digital-Wandler, die das Prinzip der Komparator-Schaltung nutzen, um das Eingangssignal zu quantisieren. Sie sind in Anwendungen mit hohen Abtastraten und schnellen Signalen weit verbreitet.

Stromquellen und Spiegelschaltungen: Stromquellen und Spiegelschaltungen werden verwendet, um stabile Stromreferenzen zu erzeugen und zu spiegeln. Sie sind wichtig in analogen Schaltungen wie Verstärkern und Differenzverstärkern.

Operationsverstärker-Schaltungen: Operationsverstärker (Op-Amps) werden in vielen analogen Schaltungen eingesetzt, um Verstärkung, Filterung, Verstärkung und andere Funktionen auszuführen. Sie sind ein grundlegender Baustein in der analogen Signalverarbeitung.

Schwellwertdetektoren: Schwellwertdetektoren vergleichen ein Eingangssignal mit einem festgelegten Schwellenwert und geben ein digitales Signal basierend auf diesem Vergleich aus. Sie finden Anwendung in der Datenerkennung, Signalverarbeitung und Kommunikation.

Integratoren und Differentiatoren: Integratoren und Differentiatoren sind Schaltungen, die Integration und Differentiation von analogen Signalen ermöglichen. Sie werden in vielen Anwendungen wie Filterdesign, Audioverarbeitung und Regelungstechnik eingesetzt.

Spannungsfolger: Spannungsfolger (Buffer) sind Verstärkerschaltungen mit einer Verstärkung von etwa 1, die dazu dienen, das Ausgangssignal zu isolieren und den Strombedarf anderer Schaltungen zu senken.

Analogschalter: Analogschalter ermöglichen es, analoge Signale zu steuern und zwischen verschiedenen Schaltungspfaden umzuschalten. Sie finden Anwendung in analogen Multiplexern,

Pufferverstärker: Pufferverstärker dienen dazu, die Impedanz zwischen verschiedenen Schaltungsbereichen anzupassen und Signalverluste zu minimieren. Sie werden oft verwendet, um Signalquellen mit unterschiedlichen Impedanzen zu verbinden.

Schaltregelkreise (Regler): Schaltregelkreise sind Rückkopplungsschaltungen, die dazu dienen, eine stabile Ausgangsspannung oder einen stabilen Ausgangsstrom aufrechtzuerhalten. Sie werden in Stromversorgungen und Regelkreisen eingesetzt.

Schmitt-Trigger: Schmitt-Trigger sind Komparatorschaltungen mit Hysterese, die dazu dienen, ein stabiles digitales Ausgangssignal zu erzeugen, das auf Änderungen des Eingangssignals empfindlich reagiert. Sie finden Anwendung in Schwellwertdetektoren, Schaltungen mit Rauschen und Signalverarbeitungsschaltungen.

Taktsynchronisationsschaltungen: Taktsynchronisationsschaltungen werden verwendet, um verschiedene Taktquellen miteinander zu synchronisieren oder um Taktphasenverschiebungen zu erzeugen. Sie sind wichtig in Kommunikationssystemen und synchronen digitalen Schaltungen.

Taktverteiler: Taktverteiler ermöglichen die Verteilung eines Taktimpulses auf mehrere Schaltungsteile. Sie werden verwendet, um mehrere synchronisierte Schaltungen zu steuern und zu synchronisieren.

Digitallogikschaltungen: Digitale Logikschaltungen wie AND-Gatter, OR-Gatter, NAND-Gatter und NOR-Gatter werden verwendet, um logische Operationen auf digitalen Signalen auszuführen. Sie sind grundlegende Bausteine in digitalen Schaltungen und Prozessoren.

Schwellwertwandlerschaltungen: Schwellwertwandler dienen dazu, analoge Signale in digitale Signale umzuwandeln, indem sie die Signalamplitude mit einem festgelegten Schwellenwert vergleichen. Sie werden in der Signalverarbeitung und Kommunikationstechnik verwendet.

Bandlückenreferenzen: Bandlückenreferenzen sind präzise Spannungsreferenzen, die unempfindlich gegenüber Versorgungsspannungsschwankungen sind. Sie werden verwendet, um stabile Referenzspannungen in analogen Schaltungen bereitzustellen.

Schaltungen zur Leistungsverstärkung: Leistungsverstärkerschaltungen werden verwendet, um hohe Leistungen in einer Schaltung zu liefern, z. B. für Audioverstärker, Verstärker in drahtlosen Kommunikationssystemen und Leistungsumrichter.

Reset-Schaltungen: Diese setzen die mikrointegrierte Schaltung bei einem Neustart oder einem Verlust der Betriebsspannung und ähnlichen Störungen zurück.

Phasenschieber: Phasenschieber sind Schaltungen, die die Phasenlage eines Signals ändern können. Sie finden Anwendung in Phasenregelschleifen, Kommunikationssystemen und Oszillatoren.

Test-Controller (JATG): Test-Controller (JATG) sind für den Fertigungstest der mikroelektronischen Schaltungen auf dem Halbleitersubstrat (1360) wichtig. Vorzugsweise handelt es sich um einen JATG-Test-Controller (JATG).

Dieser ist in dem Dokument IEEE Standard for Test Access Port and Boundary-Scan Architecture, IEEE Std 1149.1-2013 (Revision of IEEE Std 1149.1-2001) beschrieben.

[0361] Außerdem weist das hier vorgelegte Dokument auf die Standards

- IEEE Standard for Reduced-Pin and Enhanced-Functionality Test Access Port and Boundary-Scan Architecture IEEE Std 1149.7-2009
- IEEE Supplement to Standard Test Access Port and Boundary-Scan Architecture (1149.1) IEEE Std 1149.1b-1994
- IEEE Standard for Reduced-Pin and Enhanced-Functionality Test Access Port and Boundary-Scan Architecture, IEEE Std 1149.7-2022 (Revision of IEEE Std 1149.7-2009)
- IEEE Standard for Access and Control of Instrumentation Embedded within a Semiconductor Device, IEEE Std 1687-2014

zur Information hin. Der Zugriff auf den Test-Controller (JATG) erfolgt bevorzugt über den JATG-Test-Bus (TB).

[0362] Auf die Erläuterung der Funktionalität einer JATG-Testschnittstelle aus dem Stand der Technik wird hier verzichtet. Das hier vorgelegte Dokument verweist hier beispielhaft auf die Texte:

https://de.wikipedia.org/wiki/Joint_Test_Action_Group

<https://www.corelis.com/education/tutorials/boundary-scan/>

[0363] Es ist ein weiterer Gedanke des hier vorgelegten Dokuments, dass die vorgeschlagene mikroelektronische Schaltung eine Test-Schnittstelle, bevorzugt eine JATG -Test-Schnittstelle nach einer der IEEE JATG -Test-Normen, aufweist und einen Testcontroller, vorzugsweise einen IEEE 1149 JATG-Test-Controller (JATG), umfasst, der zumindest eine der folgenden Funktionselemente des Sensorsystems über ein Datenregister (DR) und/oder ein Instruktionsregister (IR) des JATG-Test-Controllers (JATG) steuern oder auslesen kann:

- Eine Lichtquelle (LED) zur Bestrahlung eines oder mehrerer paramagnetischer Zentren mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) und/oder

- ein oder mehrere paramagnetisches Zentren, insbesondere ein oder mehrere NV-Zentren, durch Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) einer Lichtquelle (LED), die von einem Datenregister (DR) und/oder Instruktionsregister (IR) des Test-Controllers (JTAG), insbesondere des IEEE 1149 JATG-Test-Controller (JTAG), gesteuert werden kann, und/oder

- ein oder mehrere paramagnetische Zentren, insbesondere ein oder mehrere NV-Zentren, durch Erfassen der Fluoreszenzstrahlung (FL) dieses einen paramagnetischen Zentrums oder dieser mehreren paramagnetischen Zentren, insbesondere dieses einen NV-Zentrums oder dieser mehreren NV-Zentren, mittels eines oder mehrerer Fotodetektoren (PD), deren Empfängerausgangssignale (S0) von einem oder mehreren Schaltungsteilen der mikroelektronischen Schaltung gewandelt werden, sodass der Test-Controller(JTAG), insbesondere der IEEE 1149 JATG-Test-Controller (JTAG), einen oder mehrere Werte insbesondere mittels eines Datenregisters (DR) des JATG-Test-Controllers (JATG) erfassen können, die von der Fluoreszenzstrahlung (FL) des einen oder der mehreren paramagnetischen Zentren, insbesondere des einen oder der mehreren NV-Zentren abhängen und/oder

- eine Datenschnittstelle, über die der Test-Controller (JTAG), insbesondere der IEEE 1149 JATG-Test-Controller (JTAG), einen oder mehrere erfasste Werte ausgeben können, die von der Fluoreszenzstrahlung (FL) eines oder der mehrerer paramagnetischen Zentren, insbesondere des einen oder der mehreren NV-Zentren abhängen.

[0364] Hierdurch kann ein Fertigungstest bei einer Mikrointegration des Sensorsystems auf Basis paramagnetischer Zentren und/oder NV-Zentren vorgenommen werden. Die Mikrointegration kann dabei monolithisch oder als Mikrosystem erfolgen.

Schaltungssystem mit Mehrfachkorrelator

[0365] In einer weiteren Ausprägung umfasst das Sensorsystem eine Steuervorrichtung (CTR), einen ersten Signalgenerator (G1), eine Lichtquelle (LED), einen zweiten Signalgenerator (G2), einen Fotodetektor (PD), ein Sensorelement (SE) mit Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND) mit paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren in Diamant, einen Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) und eine Mikrowellen-signalquelle (μ WG). Der erste Signalgenerator (G1) erzeugt ein LED-Modulationssignal (S5w). Der zweite Signalgenerator (G2) erzeugt ein Mikrowellenmodulationssignal (S5m). Die Lichtquelle (LED) erzeugt eine Pumpstrahlung (LB) und bestrahlt moduliert mit der modulierten Pumpstrahlung(LB) die paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren in Diamant in Abhängigkeit von dem LED-Modulationssignal moduliert. Die Mikrowellen-signalquelle (μ WG) erzeugt ein Mikrowellensignal (μ W) und speist das Mikrowellensignal (μ W) in Abhängigkeit von dem Mikrowellenmodulationssignal (S5m) moduliert in den Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) ein. Der Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) bestrahlt die paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren in Diamant mit dem modulierten Mikrowellensignal (μ W). In Abhängigkeit von dem modulierten Mikrowellensignal (μ W) und in Abhängigkeit von der Pumpstrahlung (LB) emittieren paramagnetische Zentren und/oder NV-Zentren in Diamant Fluoreszenzstrahlung (FL). Der Fotodetektor (PD) erfasst die von den paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren in Diamant emittierte Fluoreszenzstrahlung (FL) und bildet in Abhängigkeit davon ein Empfängerausgangssignal (S0). Ein Mehrfachkorrelator (LIV) oder eine funktionsäquivalente Vorrichtung korrelieren das Empfängerausgangssignal (S0) oder ein daraus abgeleitetes Signal mit dem LED-Modulationssignal (S5w) und dem Mikrowellenmodulationssignal (S5m), insbesondere durch hardwaregestützte Bildung eines L3-Produkts, zu einem ein- oder mehrdimensionalen Filterausgangssignal (S4). Das Sensorsystem verwendet das Filterausgangssignal (S4) und/oder ein daraus abgeleitetes Signal als Messergebnis oder hält es bereit oder gibt es an ein übergeordnetes System aus.

vektorieller Sensorelementkanal

[0366] Es lässt sich somit ein vektorieller Sensorelementkanal definieren, der wesentliche Teile eines Sensorsystems umfasst. Bevorzugt weist der vektorielle Sensorelementkanal einen ersten Signalgenerator (G1) auf, der dazu eingerichtet ist, ein LED-Modulationssignal (S5w) zu erzeugen. Der vektorielle Sensorelementkanal kann alternativ einen ersten vektoriiellen Signalgenerator (G1) aufweisen, der mehrere Signalgeneratoren (G1_1, G1_2, G1_3, G1_4, G1_5) als erste Signalgeneratorkomponenten umfasst und der dazu eingerichtet ist, ein vektorielles LED-Modulationssignal (S5w) mit mehreren LED-Modulationssignalen (S5w_1, S5w_2, S5w_3, S5w_4, S5w_5) als LED-Modulationssignalkomponenten zu erzeugen. Der vektorielle Sensorelementkanal kann ein Sendesignal (S5) oder ein vektorielles Sendesignal (S5), umfassend mehrere Sendesignale (S5_1, S5_2, S5_3, S5_4, S5_5), als Sendesignalkomponenten aufweisen. Der vektorielle Sensorelementkanal weist vorzugsweise einen Lichtquellentreiber (LDRV) auf, der dazu eingerichtet ist, das Sendesignal (S5) für eine Lichtquelle (LED) in Abhängigkeit von dem LED-Modulationssignal (S5w) zu erzeugen und vorzugsweise die Lichtquelle (LED) zumindest zeitweise mit elektrischer Energie zu versorgen, oder wobei der vektorielle Sensorelementkanal einen vektoriiellen Lichtquellentreiber (LDRV) aufweist, der mehrere Lichtquellentreiber (LDRV_1, LDRV_2, LDRV_3, LDRV_4, LDRV_5) umfasst und der dazu eingerichtet ist, die Sendesignalkomponenten (S5_1, S5_2, S5_3, S5_4, S5_5) des vektoriiellen Sendesignals (S5) für eine vektorielle Lichtquelle (LED) in Abhängigkeit von dem vektoriiellen LED-Modulationssignal (S5w) und/oder von dem LED-Modulationssignal (S5w) zu erzeugen und die jeweiligen Lichtquellenkomponenten (LED_1, LED_2, LED_3, LED_4, LED_5) der vektoriiellen Lichtquelle (LED) zumindest zeitweise jeweils mit elektrischer Energie zu versorgen. Der vektorielle Sensorelementkanal weist vorzugsweise eine Lichtquelle (LED) auf, die dazu eingerichtet ist, Pumpstrahlung (LB) in Abhängigkeit von dem Sendesignal (S5) zu erzeugen. Dabei schaltet typischerweise das Sendesignal (S5) die Lichtquelle (LED) zeitweise und/oder teilweise ein und zeitweise und/oder teilweise aus. Der vektorielle Sensorelementkanal kann eine vektorielle Lichtquelle (LED), umfassend mehrere Lichtquellen (LED_1, LED_2, LED_3, LED_4, LED_5) als Lichtquellenkomponenten, aufweisen, die vorzugsweise dazu eingerichtet sind, die vektorielle Pumpstrahlung (LB), umfassend mehrere Pumpstrahlungskomponenten (LB_1, LB_2, LB_3, LB_4, LB_5) die jeweils eine dieser Lichtquellenkomponenten (LED_1, LED_2, LED_3, LED_4, LED_5) erzeugt, in jeweiliger Abhängigkeit von den jeweiligen Sendesignalkomponenten (S5_1, S5_2, S5_3, S5_4, S5_5) des vektoriiellen Sendesignals (S5) zu erzeugen. Dabei schalten dann bevorzugt die jeweiligen Sendesignalkomponenten (S5_1, S5_2, S5_3, S5_4, S5_5) des vektoriiellen Sendesignals (S5) die ihnen zugeordneten jeweiligen Lichtquellenkomponenten (LED_1, LED_2, LED_3, LED_4, LED_5) der vektoriiellen Lichtquelle (LED) zeitweise und/oder teilweise ein und zeitweise und/oder teilweise aus. Der vektorielle Sensorelementkanal weist typischerweise ein erstes vektorielles optisches System auf, das ein erstes optisches Funktionselemente (LWL) oder ein vektorielles erstes optisches Funktionselement aufweist, das mehrere erste optische Funktionselemente (LWL_1, LWL_2, LWL_3, LWL_4, LWL_5) als erste optische Funktionselementkomponenten umfasst. Das erste vektorielle optische System ist vorzugsweise dazu eingerichtet, die Pumpstrahlung (LB) der Lichtquelle (LED) zu erfassen oder die vektorielle Pumpstrahlung (LB) der vektoriiellen Lichtquelle (LED) in vektoriieller Weise zu erfassen, wobei bevorzugt jede optische Funktionskomponente (LWL_1, LWL_2, LWL_3, LWL_4, LWL_5) jeweils ein oder mehrere jeweilige Pumpstrahlungskomponenten (LB_1, LB_2, LB_3, LB_4, LB_5) der vektoriiellen Pumpstrahlung (LB) separat erfasst. Des Weiteren ist bevorzugt das erste vektorielle optische System dazu eingerichtet, die erfasste Pumpstrahlung (LB) zum Sensorelement (SE) zu transportieren oder die jeweils erfassten Pumpstrahlungskomponenten (LB_1, LB_2, LB_3, LB_4, LB_5) der Pumpstrahlung (LB) zu einem oder mehreren zugeordneten Sensorelementkomponenten (z.B. 1410, 1420, 1430) des vektoriiellen Sensorelement (SE) zu transportieren. Dabei umfasst bevorzugt das vektoriiellen Sensorelement (SE) vorzugsweise zumindest zwei Sensorelementkomponenten (z.B. 1410, 1420, 1430). Bevorzugt ist das erste vektorielle optische System dazu eingerichtet, die Pumpstrahlung (LB) aus dem ersten optischen Funktionselement (LWL) auszukoppeln oder die jeweilige Pumpstrahlungskomponente (LB_1, LB_2, LB_3, LB_4, LB_5) der vektoriiellen Pumpstrahlung (LB) jeweils aus der jeweiligen ersten optischen Funktionselementkomponente (LWL_1, LWL_2, LWL_3, LWL_4, LWL_5) des ersten vektoriiellen optischen Funktionselements (LWL) auszukoppeln. Weiter ist das erste vektorielle optische System vorzugsweise dazu eingerichtet, das Sensorelement (SE) mit dieser Pumpstrahlung (LB) zu bestrahlen oder jeweils ein oder mehrere Sensorelementkomponenten (z.B. 1410, 1420, 1430) des vektoriiellen Sensorelements (SE) mit genau einer oder mehreren jeweiligen Pumpstrahlungskomponenten (LB_1, LB_2, LB_3, LB_4, LB_5) der vektoriiellen Pumpstrahlung (LB) zu bestrahlen. Dabei bestrahlt bevorzugt genau eine jeweilige Pumpstrahlungskomponente (LB_1, LB_2, LB_3, LB_4, LB_5) der vektoriiellen Pumpstrahlung (LB) genau einer jeweiligen Lichtquellenkomponente (LED_1, LED_2, LED_3, LED_4, LED_5) der vektoriiellen Lichtquelle (LED) bevorzugt genau eine jeweilige Sensorelementkomponente (z.B. 1410, 1420, 1430) des vektoriiellen Sensorelements (SE).

[0367] Das erste vektorielle optische System weist bevorzugt in einer Variante einen ersten vektoriellen Lichtwellenleiter (LWL), der bevorzugt eine Mehrzahl von ersten Lichtwellenleitern (LWL_1, LWL_2, LWL_3, LWL_4, LWL_5) als ersten Lichtwellenleiterkomponenten umfasst, für diese Bestrahlung des vektoriellen Sensorelements (SE) als ein solches vektorielles erstes optisches Funktionselement auf. Der vektorielle Sensorelementkanal weist bevorzugt ein zweites vektorielles optisches System auf, das ein zweites optisches Funktionselement (LWL) oder ein vektorielles zweites optisches Funktionselement (LWL), das mehrere zweite optische Funktionselemente (LWL_1, LWL_2, LWL_3, LWL_4, LWL_5) als zweite optische Funktionselementkomponenten umfasst, auf. Das zweite vektorielle optische System ist vorzugsweise dazu eingerichtet, mittels des zweiten optischen Funktionselements (LWL) die Fluoreszenzstrahlung (FL) des Sensorelements (SE) oder der Sensorelemente (SE) zu erfassen oder mittels der jeweiligen zweiten optischen Funktionselementkomponenten (LWL_1, LWL_2, LWL_3, LWL_4, LWL_5) seines vektoriellen zweiten optischen Funktionselements (LWL) jeweils die jeweilige Fluoreszenzstrahlungskomponente (FL_1, FL_2, FL_3, FL_4, FL_5) der vektoriellen Fluoreszenzstrahlung (FL) eines oder mehrerer der jeweiligen Sensorelementkomponenten (z.B. 1410, 1420, 1430) des vektoriellen Sensorelements (SE) zu erfassen. Dabei erfasst bevorzugt genau eine seiner jeweiligen zweiten optischen Funktionselementkomponenten (LWL_1, LWL_2, LWL_3, LWL_4, LWL_5) seines vektoriellen zweiten optischen Funktionselements (LWL) jeweils genau eine jeweilige Fluoreszenzstrahlungskomponente (FL_1, FL_2, FL_3, FL_4, FL_5) der vektoriellen Fluoreszenzstrahlung (FL) eines oder mehrerer der jeweiligen Sensorelementkomponenten (z.B. 1410, 1420, 1430) des vektoriellen Sensorelements (SE). Die Fluoreszenzstrahlung (FL) der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des Sensorelements (SE) umfasst eine einzelne Fluoreszenzstrahlungskomponente oder die vektorielle Fluoreszenzstrahlung (FL) umfasst die jeweiligen Fluoreszenzstrahlungen (FL_1, FL_2, FL_3, FL_4, FL_5) der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren der jeweiligen Sensorelementkomponenten (z.B. 1410, 1420, 1430) des vektoriellen Sensorelements (SE) als jeweilige Fluoreszenzstrahlungskomponenten (FL_1, FL_2, FL_3, FL_4, FL_5). Vorzugsweise ist das zweite vektorielle optische System dazu eingerichtet, Fluoreszenzstrahlung (FL) der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des Sensorelements (SE) zum Fotodetektor (PD) zu transportieren oder die jeweiligen Fluoreszenzstrahlungskomponenten (FL_1, FL_2, FL_3, FL_4, FL_5) der vektoriellen Fluoreszenzstrahlung (FL) vorzugsweise untereinander separat zu jeweiligen Fotodetektorkomponenten (PD_1, PD_2, PD_3, PD_4, PD_5) eines vektoriellen Fotodetektors (PD) zu transportieren. Vorzugsweise umfasst dann der vektorielle Fotodetektor (PD) mehrere Fotodetektoren (PD_1, PD_2, PD_3, PD_4, PD_5) als jeweilige Fotodetektorkomponenten des vektoriellen Fotodetektors (PD). Vorzugsweise ist das zweite vektorielle optische System dazu eingerichtet, die Fluoreszenzstrahlung (FL) aus dem zweiten optischen Funktionselement auszukoppeln oder das die jeweiligen Fluoreszenzstrahlungskomponenten (FL_1, FL_2, FL_3, FL_4, FL_5) der vektoriellen Fluoreszenzstrahlung (FL) aus der jeweiligen zweiten optischen Funktionskomponente (LWL_1, LWL_2, LWL_3, LWL_4, LWL_5) der zweiten vektoriellen optischen Funktionskomponente (LWL) auszukoppeln. Des Weiteren ist vorzugsweise das zweite vektorielle optische System dazu eingerichtet, den Fotodetektor (PD) mit der ausgekoppelten Fluoreszenzstrahlung (FL) zu bestrahlen oder jeweils die jeweilige Fotodetektorkomponente (PD_1, PD_2, PD_3, PD_4, PD_5) des vektoriellen Fotodetektors (PD) mit einer insbesondere jeweiligen Fluoreszenzstrahlungskomponente (FL_1, FL_2, FL_3, FL_4, FL_5) der vektoriellen Fluoreszenzstrahlung (FL) zu bestrahlen. Dabei bestrahlt das zweite vektorielle optische System ganz besonders bevorzugt jeweils genau eine jeweilige Fotodetektorkomponente (PD_1, PD_2, PD_3, PD_4, PD_5) des vektoriellen Fotodetektors (PD) bevorzugt mit genau einer jeweiligen Fluoreszenzstrahlungskomponente (FL_1, FL_2, FL_3, FL_4, FL_5) der vektoriellen Fluoreszenzstrahlung (FL). Das zweite vektorielle optische System umfasst vorzugsweise weitere optische Funktionselemente, insbesondere einen oder mehrere dichroitische Spiegel (F1) und/oder einen oder mehrere optische Filter (ebenfalls mit dem funktionsbezogenen Bezugszeichen F1 bezeichnet) im Strahlengang, die sicherstellen, dass im Wesentlichen keine Pumpstrahlung (LB, LB_1, LB_2, LB_3, LB_4, LB_5) dieser oder anderer Pumpstrahlungsquellen (LED, LED_1, LED_2, LED_3, LED_4, LED_5) den Fotodetektor (PD) oder die jeweilige Fotodetektorkomponente (PD_1, PD_2, PD_3, PD_4, PD_5) der Fotodetektorkomponenten (PD_1, PD_2, PD_3, PD_4, PD_5) des vektoriellen Fotodetektors (PD) erreichen. Vorzugsweise umfasst das zweite vektorielle optische System insbesondere einen zweiten Lichtwellenleiter (LWL) als ein solches zweites optisches Funktionselement oder insbesondere einen zweiten vektoriellen Lichtwellenleiter (LWL) mit mehreren Lichtwellenleitern (LWL_1, LWL_2, LWL_3, LWL_4, LWL_5) als ein solches zweites vektorielles optisches Funktionselement. Typischerweise und ganz besonders bevorzugt kann das zweite vektorielle optische System Vorrichtungsteile umfassen, die mit Vorrichtungsteilen des ersten optischen Systems identisch sind. Das hier vorgestellte Dokument verweist hier auf die Figuren und die zugehörigen Beschreibungen. Der vektorielle Sensorelementkanal umfasst vorzugsweise des Weiteren den Fotodetektor (PD), der typischerweise die Intensität der empfangenen Fluoreszenzstrahlung (FL) in ein Empfänger Ausgangssignal (S0) wandelt, oder den vektoriellen Fotodetektor (PD) umfassend mehrere Fotodetektoren (PD_1, PD_2, PD_3, PD_4, PD_5) als Fotodetektorkomponenten, die jeweils die jeweilige Intensität der jeweils durch den jeweiligen Fotodetektoren (PD_1, PD_2, PD_3, PD_4, PD_5) empfangenen jeweiligen

Fluoreszenzstrahlungskomponente (FL₁, FL₂, FL₃, FL₄, FL₅) der vektoriellen Fluoreszenzstrahlung (FL) in ein jeweiliges Empfänger Ausgangssignal (S0₁, S0₂, S0₃, S0₄, S0₅) des jeweiligen Fotodetektors (PD₁, PD₂, PD₃, PD₄, PD₅) als Empfänger Ausgangssignalkomponente eines vektoriellen Empfänger Ausgangssignals (S0) des vektoriellen Fotodetektors (PD) wandeln. Der vektorielle Sensorelementkanal umfasst des Weiteren vorzugsweise das Empfänger Ausgangssignal (S0) oder das vektorielle Empfänger Ausgangssignal (S0), das die Empfänger Ausgangssignale (S0₁, S0₂, S0₃, S0₄, S0₅) als Empfänger Ausgangssignalkomponente des vektoriellen Empfänger Ausgangssignals (S0). Vorzugsweise weist der vektorielle Sensorelementkanal einen ersten Verstärker (V1) zur Verstärkung und/oder Digitalisierung des Empfänger Ausgangssignals (S0) zum verstärkten Empfänger Ausgangssignal (S1) bzw. zum digitalisierten Empfänger Ausgangssignal (S1) auf oder einen ersten vektoriellen Verstärker (V1) umfassend mehrere erste Verstärker (V1₁, V1₂, V1₃, V1₄, V1₅) als erste Verstärkerkomponenten des ersten vektoriellen Verstärkers (V1) zur jeweiligen Verstärkung und/oder jeweiligen Digitalisierung einer jeweiligen Empfänger Ausgangssignalkomponente (S0₁, S0₂, S0₃, S0₄, S0₅) des vektoriellen Empfänger Ausgangssignals (S0) zu einer jeweiligen verstärkten Empfänger Ausgangssignalkomponente (S1₁, S1₂, S1₃, S1₄, S1₅) des vektoriellen verstärkten Empfänger Ausgangssignals (S1) bzw. zu einer jeweiligen digitalisierten Empfänger Ausgangssignalkomponente (S1₁, S1₂, S1₃, S1₄, S1₅) des vektoriellen digitalisierten Empfänger Ausgangssignals (S1) auf. Außerdem umfasst bevorzugt und im Gegensatz zum Stand der Technik der vektorielle Sensorelementkanal einen Mehrfachkorrelator (LIV) auf, der vorzugsweise dazu eingerichtet ist,

- ein Filterausgangssignal (S4) in Abhängigkeit vom verstärkten Empfänger Ausgangssignal (S1) bzw. vom digitalisierten Empfänger Ausgangssignal (S1) und von dem LED-Modulationssignal (S5w) und von dem Mikrowellenmodulationssignal (S5m) zu bilden und
- Daten des so gebildeten Filterausgangssignals (S4) der Steuervorrichtung (CTR) zur Verfügung zu stellen und/oder
- Daten des so gebildeten Filterausgangssignals (S4) insbesondere für die Steuervorrichtung (CTR) bereit zu halten und/oder a
- Daten des so gebildeten Filterausgangssignals (S4) an die Steuervorrichtung (CTR) oder eine andere Vorrichtung (z.B. die Mustererkennungsvorrichtung MEV) insbesondere zur Auswertung zu übertragen

oder wobei der vektorielle Sensorelementkanal mehre Mehrfachkorrelatoren (LIV₁, LIV₂, LIV₃, LIV₄, LIV₅) eines vektoriellen Mehrfachkorrelators (LIV) als Mehrfachkorrelatorkomponenten umfasst, wobei jede der Mehrfachkorrelatorkomponenten (LIV₁, LIV₂, LIV₃, LIV₄, LIV₅) des vektoriellen Mehrfachkorrelators (LIV) jeweils dazu eingerichtet ist,

- jeweils ein jeweiliges Filterausgangssignal (S4₁, S4₂, S4₃, S4₄, S4₅) als jeweilige Filterausgangssignalkomponente eines gemeinsamen vektoriellen Filterausgangssignals (S4) in jeweiliger Abhängigkeit von der jeweiligen verstärkten Empfänger Ausgangssignalkomponente (S1₁, S1₂, S1₃, S1₄, S1₅) des vektoriellen verstärkten Empfänger Ausgangssignals (S1) bzw. in jeweiliger Abhängigkeit von der jeweiligen digitalisierten Empfänger Ausgangssignalkomponente (S1₁, S1₂, S1₃, S1₄, S1₅) des vektoriellen digitalisierten Empfänger Ausgangssignals (S1) und in jeweiliger Abhängigkeit von der jeweiligen LED-Modulationssignalkomponente (S5w₁, S5w₂, S5w₃, S5w₄, S5w₅) des vektoriellen LED-Modulationssignals (S5w) und in jeweiliger Abhängigkeit von der jeweiligen Mikrowellenmodulationssignalkomponente (S5m₁, S5m₂, S5m₃, S5m₄, S5m₅) des vektoriellen Mikrowellenmodulationssignals (S5m) zu bilden und
- Daten des so gebildeten vektoriellen Filterausgangssignals (S4) der Steuervorrichtung (CTR) zur Verfügung zu stellen und/oder
- Daten des so gebildeten vektoriellen Filterausgangssignals (S4) für die Steuervorrichtung (CTR) bereit zu halten und/oder
- Daten des so gebildeten vektoriellen Filterausgangssignals (S4) an die Steuervorrichtung (CTR) oder eine andere Vorrichtung (z.B. den Mustererkenner (MEV) insbesondere zur Auswertung zu übertragen.

[0368] Der vektorielle Sensorelementkanal kann dabei eine optionale Mustererkennungsvorrichtung (MEV) zusätzlich zur Beschleunigung und/oder Entlastung beispielsweise der Steuervorrichtung (CTR) umfassen. Typischerweise sind diese optionale Mustererkennungsvorrichtung (MEV) und/oder die Steuervorrichtung (CTR) dazu eingerichtet, ein oder mehrere vektorielle Filterausgangssignale (S4, S4₁, S4₂, S4₃, S4₄, S4₅) und/oder das gemeinsame vektorielle Filterausgangssignal (S4) auszuwerten und/oder zu analysieren und/oder mittels computerimplementierter Verfahren zu verarbeiten und/oder einen oder mehrere Musterda-

tensätze (MDS) zu erzeugen und anderen externen Systemen und/oder internen Vorrichtungsteilen (CTR) zur Verfügung zu stellen und/oder bereitzuhalten und/oder zu übergeben .

[0369] Vorzugsweise ist zumindest eine, besser zwei, besser drei, besser vier, besser fünf der folgenden Vorrichtungsteilgruppen vektoriell ausgelegt:

- Gruppe 1: Der erste vektorielle Signalgenerator (G1), das vektorielle LED-Modulationssignal (S5w), der vektorielle Lichtquellentreiber (LDRV), das vektorielle Sendesignal (S5), die vektorielle Lichtquelle (LED).
- Gruppe 2: das erste vektorielle optische System.
- Gruppe 3: vektorielle Sensorelement (SE).
- Gruppe 4: das zweite vektorielle optische System
- Gruppe 5: der vektorielle Fotodetektor (PD), das vektorielle Empfängerausgangssignal (S0), der vektorielle erste Verstärker (V1), das verstärkte Empfängerausgangssignal (S1) bzw. das digitalisierte Empfängerausgangssignal (S1), der vektorielle Mehrfachkorrelators (LIV).

[0370] Dies kann zusammengefasst werden in eine Anforderung, dass vorzugsweise zumindest Teilgruppen des Sensorelementkanals vektoriell ausgelegt sind.

Mikrooptik

[0371] Das Trägersubstrat (1360) kann dabei auch mikrooptische Funktionselemente umfassen. Hier eine beispielhafte unvollständige Liste:

- Mikrooptische Linsen: Mikrooptische Linsen werden verwendet, um Licht zu fokussieren oder zu kollimieren. Sie bestehen oft aus einer Sammellinse oder einer Mikrolinse, die in den Wafer integriert werden kann.
- Mikrostrukturierte optische Filter: Diese Filter nutzen mikrooptische Strukturen, um bestimmte Wellenlängenbereiche zu blockieren oder durchzulassen. Beispiele hierfür sind Mikro-Gitterfilter oder mikrooptische Interferenzfilter.
- Mikrooptische Wellenleiter: Mikrooptische Wellenleiter werden verwendet, um Licht innerhalb des Wafers zu führen und zu leiten. Sie können beispielsweise in Form von mikrooptischen Fasern oder Wellenleiterstrukturen realisiert werden.
- Mikrospiegel: Mikrospiegel bestehen aus kleinen, beweglichen Spiegeln, die das einfallende Licht in verschiedene Richtungen reflektieren können. Sie ermöglichen die optische Steuerung von Lichtstrahlen und werden oft in der optischen Kommunikation oder in der optischen Schaltertechnologie eingesetzt.
- Mikrostrukturen für die Oberflächenstrukturierung: Mikrooptische Oberflächenstrukturen können verwendet werden, um das einfallende Licht zu streuen, zu brechen oder zu polarisieren. Solche Strukturen können beispielsweise in Form von Mikroprismen, Mikroglittern oder Mikroreliefs realisiert werden.
- Mikrooptische Beugungsgitter: Mikrooptische Beugungsgitter bestehen aus regelmäßigen mikrooptischen Strukturen, die das einfallende Licht in verschiedene Beugungsordnungen aufspalten. Sie werden häufig in spektralen Analysegeräten oder als optische Kodierstrukturen eingesetzt.
- Mikrooptische Phasenelemente: Mikrooptische Phasenelemente ermöglichen die Manipulation der Phasen des einfallenden Lichts. Dazu gehören zum Beispiel Mikrooptische Phasengitter, die die Phasenverteilung des Lichts modulieren und zur Erzeugung von Interferenzmustern verwendet werden können.
- Mikrooptische Detektoren: Mikrooptische Detektoren sind optische Sensoren, die in den Wafer integriert werden können. Sie können zum Beispiel Fotodioden, Fototransistoren oder andere lichtempfindliche Elemente umfassen. Diese Detektoren wandeln Lichtsignale in elektrische Signale um und werden in optischen Kommunikationssystemen oder Sensoren eingesetzt.
- Mikrooptische Strahlteiler und Koppler: Diese Funktionselemente ermöglichen die Aufteilung oder Kopplung von Licht in mehrere Kanäle. Sie werden oft in optischen Kommunikationssystemen, optischen Schaltern oder optischen Sensoren eingesetzt.

- Mikrooptische Hohlraumresonatoren: Mikrooptische Hohlraumresonatoren bestehen aus mikrostrukturierten Materialien, die Licht in einem begrenzten Volumen einschließen und bestimmte Resonanzmoden aufweisen. Sie werden in optischen Filtern, Lasern oder als optische Verstärker verwendet.

[0372] In der NV-Zentren-Sensorik und/oder der Sensorik paramagnetischer Zentren können mikrooptische Vorrichtungen in Kombination mit NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren verwendet werden, um Informationen über analytische Substanzen und/oder physikalische Parameter in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren zu erhalten. Das hier vorgelegte Dokument nennt einige Wechselwirkungen zwischen mikrooptischen Vorrichtungen und NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren in der NV-Zentren-Sensorik und/oder der Sensorik paramagnetischer Zentren:

1. Lichtemission und -absorption: NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren können Licht emittieren und absorbieren, wobei ihre optischen Eigenschaften von der Umgebung und den Wechselwirkungen mit analytischen Substanzen und/oder physikalischen Parametern in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren beeinflusst werden. Mikrooptische Vorrichtungen wie Mikrospiegel, Mikroresonatoren oder mikrostrukturierte optische Wellenleiter können verwendet werden, um mit dem Licht NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren zu steuern und zu manipulieren. Durch die Beobachtung von Veränderungen in der Lichtemission oder -absorption der paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren können Informationen über analysierte Substanzen und/oder physikalische Parameter in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren gewonnen werden.

2. Lichtführung und -kopplung: Mikrooptische Vorrichtungen können verwendet werden, um Licht auf die NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren zu fokussieren, zu lenken oder zu koppeln. Durch die präzise Steuerung des Lichtwegs und der Lichtintensität können gezielte Wechselwirkungen zwischen dem Licht und den NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren hergestellt werden. Dies ermöglicht die Detektion von optischen Signaländerungen, die auf die Anwesenheit oder Interaktion von analytischen Substanzen und/oder physikalische Parameter in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren zurückzuführen sind.

3. Plasmonische Wechselwirkungen: Mikrooptische Vorrichtungen können plasmonische Strukturen enthalten, die die Wechselwirkung zwischen Licht und NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren verstärken. Plasmonische Effekte können genutzt werden, um die Empfindlichkeit und Auflösung der NV-Zentren-Sensorik und/oder der Sensorik paramagnetischer Zentren zu verbessern. Durch die Integration von NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren in plasmonische Strukturen können kleinste Veränderungen in der optischen Eigenschaft der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren detektiert werden, was zu hoher Empfindlichkeit bei der Detektion von Analyten und/oder physikalischer Parameter in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren führt.

4. Spektrale Analyse: Mikrooptische Vorrichtungen können verwendet werden, um das emittierte oder absorbierte Licht von NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren spektral zu analysieren. Durch die Aufspaltung des Lichts in verschiedene spektrale Komponenten können Informationen über die spektrale Signatur der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren und deren Veränderungen aufgrund von Wechselwirkungen mit analytischen Substanzen und/oder physikalischen Parametern in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren erhalten werden.

5. Interferenz und Modulation: Mikrooptische Vorrichtungen können Interferenz- und Modulationstechniken nutzen, um Veränderungen in der optischen Phase oder Intensität zu erfassen. Durch die Integration von NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren in Interferometer- oder Modulationsstrukturen können geringfügige Veränderungen in den optischen Eigenschaften der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren detektiert werden, die auf die Anwesenheit oder Interaktion von analytischen Substanzen und/oder Änderungen physikalischer Parameter in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren hinweisen.

6. Kohärenzeffekte: NV-Zentren und/oder paramagnetische Zentren können kohärente optische Signale erzeugen, die zur Messung von Phasen- und Frequenzänderungen verwendet werden können. Mikrooptische Vorrichtungen können dazu dienen, die Kohärenz der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren zu erhalten und zu verbessern. Durch die präzise Kontrolle der Kohärenzeigenschaften können subtile optische Signale detektiert werden, die auf die Anwesenheit oder Wechselwirkung mit analytischen Substanzen und/oder Änderungen physikalischer Parameter in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren hinweisen.

7. Polarisationsempfindlichkeit: NV-Zentren und/oder der paramagnetische Zentren zeigen eine starke Empfindlichkeit gegenüber der Polarisation des Lichts. Mikrooptische Vorrichtungen können dazu verwendet werden, die Polarisation des Lichts, das auf die NV-Zentren und/oder der paramagnetischen

Zentren trifft, zu manipulieren und zu analysieren. Durch die Messung von Polarisierungseffekten können Informationen über die Umgebung der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren und die Wechselwirkungen mit analytischen Substanzen und/oder mit physikalischen Parametern in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren gewonnen werden.

8. Nahfeldoptik: Mikrooptische Vorrichtungen können in Kombination mit NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren zur Nahfeldoptik genutzt werden. Dies ermöglicht die Manipulation und Erfassung von Licht im Bereich des optischen Nahfelds, was eine hohe räumliche Auflösung und beispielsweise eine verbesserte Wechselwirkung mit analytischen Substanzen und/oder physikalischen Parametern in der Nähe der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren bietet. Durch die gezielte Kontrolle des Lichtfelds in der Nähe der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren können Informationen über die Substanzen in unmittelbarer Nähe und/oder physikalischer Parameter in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren erhalten werden.

9. Integration von Mikrolinsen oder Mikroobjektiven: Mikrooptische Vorrichtungen können Mikrolinsen oder Mikroobjektive enthalten, die dazu dienen, das Licht auf die NV-Zentren und/oder die paramagnetischen Zentren zu fokussieren oder das emittierte Licht zu sammeln. Durch die präzise Kontrolle der Linsenposition und -geometrie können optimale Lichtverhältnisse für die Wechselwirkung mit analytischen Substanzen und/oder physikalischen Parametern in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren geschaffen werden.

10. Wellenleiter-Integration: Mikrooptische Vorrichtungen können optische Wellenleiterstrukturen enthalten, die das Licht zu den NV-Zentren und/oder den paramagnetischen Zentren leiten oder das emittierte Licht sammeln. Durch die Integration von NV-Zentren und/oder von paramagnetischen Zentren in diese Wellenleiterstrukturen können die Wechselwirkungen zwischen dem Licht und den analytischen Substanzen und/oder physikalischen Parametern in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren verstärkt und gezielt gesteuert werden.

[0373] Diese Wechselwirkungen zwischen mikrooptischen Vorrichtungen und NV-Zentren und/oder den paramagnetischen Zentren eröffnen eine breite Palette von Anwendungen in der optischen Sensorik, der chemischen Analyse, der Biotechnologie und anderen Bereichen. Durch die Integration von NV-Zentren und/oder den paramagnetischen Zentren in mikrooptische Systeme können hochempfindliche, hochauflösende und präzise Messungen von analytischen Substanzen und/oder physikalischen Parametern in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren ermöglicht werden.

Mikrofluidik

[0374] In der Mikrofluidik gibt es verschiedene Funktionselemente, die für die Integration in das Trägersubstrat (1360) in Frage kommen. Hier sind einige Beispiele:

- Mikrokanäle: Mikrokanäle sind winzige Kanäle, die Flüssigkeiten oder Gase auf mikroskopischer Skala transportieren können. Sie können in den Wafer integriert werden, um Fluidströme zu lenken, zu mischen oder zu trennen. Mikrokanäle können beispielsweise für die Durchführung von Lab-on-a-Chip-Anwendungen, zur Analyse von biologischen Proben oder für die chemische Reaktionstechnik verwendet werden.

- Mikroventile: Mikroventile dienen zur Steuerung des Flusses in Mikrokanälen. Sie ermöglichen das Öffnen, Schließen oder Regulieren des Flüssigkeitsstroms. Mikroventile können beispielsweise in mikrofluidischen Systemen eingesetzt werden, um den Fluss zu stoppen oder umzuleiten und damit eine Wechselwirkung zwischen den NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren zu beeinflussen.

- Mikropumpen: Mikropumpen erzeugen Druckunterschiede, um Flüssigkeiten in Mikrokanälen zu bewegen. Sie können beispielsweise mit Hilfe von piezoelektrischen oder elektro-osmotischen Effekten arbeiten. Mikropumpen ermöglichen die aktive Steuerung des Flusses und finden Anwendung in verschiedenen Bereichen wie medizinischer Diagnostik, chemischer Analytik oder Mikroreaktionssystemen.

- Mikrostrukturierte Mischkammern: Mikrostrukturierte Mischkammern werden verwendet, um Flüssigkeiten oder Gase effizient zu mischen. Sie enthalten spezielle Strukturen wie Wirbelgeneratoren oder mikrostrukturierte Hindernisse, um eine schnelle und homogene Mischung zu erreichen. Mikrostrukturierte Mischkammern finden Anwendung in chemischen Reaktionssystemen, biologischen Analysen oder in der Lab-on-a-Chip-Technologie.

- Mikrofilter und Separationsstrukturen: Mikrofilter und Separationsstrukturen dienen zur Trennung von Partikeln oder Verunreinigungen in Flüssigkeiten. Sie können beispielsweise aus mikrostrukturierten

Membranen, Mikro-Gewebe- oder Mikro-Sieben bestehen. Solche Strukturen werden in der Mikrofluidik verwendet, um Proben zu filtern, Zellen zu sortieren oder Partikel abzutrennen.

[0375] Diese Funktionselemente können in das Trägersubstrat (1360) bei Bedarf integriert werden, indem sie mit Hilfe von Mikrofabrikationsprozessen wie der Fotolithographie, der Ätztechnik, der additiven Fertigung, des Spritzgusses oder der Beschichtungstechnik etc. erzeugt werden. Die Integration von Mikrofluidikelementen in das Trägersubstrat (1360) ermöglicht die Miniaturisierung und Integration von Flüssigkeitsmanipulationssystemen auf einem Chip.

[0376] In der NV-Zentren-Sensorik und/oder der Sensorik mit paramagnetischen Zentren können mikrofluidische Vorrichtungen in Kombination mit NV-Zentren bzw. paramagnetischen Zentren verwendet werden, um Informationen über analytische Substanzen und/oder physikalische Parameter in der Nähe der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren zu erhalten. Hier sind einige bekannte Wechselwirkungen zwischen mikrofluidischen Vorrichtungen und NV-Zentren in der NV-Zentren-Sensorik und/oder der Sensorik mittels paramagnetischer Zentren. Das hier vorgelegte Dokument beschreibt hiermit die Kombination der hier vorgestellten Verfahren und Vorrichtungen auf Basis einer Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen (ND) mit den im Folgenden beispielhaft aufgelisteten Wechselwirkungen:

1. Fluoreszenzdetektion: Paramagnetische Zentren und/oder NV-Zentren können Fluoreszenzstrahlung (FL) emittieren, das als fluoreszentes Signal detektiert werden kann. Mikrofluidische Vorrichtungen können verwendet werden, um Proben mit analytischen Substanzen in der Nähe der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren zu platzieren. Wenn die analytischen Substanzen mit den NV-Zentren und/oder den paramagnetischen Zentren wechselwirken, können Änderungen im jeweiligen Fluoreszenzsignal beobachtet werden. Dies ermöglicht die Detektion und Quantifizierung von Analyten und/oder die Detektion von Änderungen physikalischer Parameter in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren.

2. Magnetfeldmessungen: NV-Zentren und/oder paramagnetische Zentren zeigen eine empfindliche Abhängigkeit ihrer optischen Eigenschaften von Magnetfeldern. Mikrofluidische Vorrichtungen können verwendet werden, um Proben mit magnetischen Substanzen in der Nähe der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren zu platzieren. Die Wechselwirkung zwischen den magnetischen Substanzen und den NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren führt zu Änderungen im jeweiligen optischen Fluoreszenzsignal der Intensität ($I_{\text{ist}}(t)$) der Fluoreszenzstrahlung (FL), die zur Messung von Magnetfeldern genutzt werden können.

3. Oberflächenplasmonenresonanz (SPR): Mikrofluidische Vorrichtungen können speziell gestaltete Oberflächenstrukturen enthalten, die die Wechselwirkung zwischen NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren einerseits und analytischen Substanzen andererseits verstärken. Durch die Kombination von NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren mit Oberflächenplasmonenresonanz (SPR) können winzige Änderungen in der optischen Eigenschaft der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren detektiert werden, was zu hoher Empfindlichkeit bei der Detektion von Analyten und/oder der Detektion von Änderungen physikalischer Parameter in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren führt.

4. Chemische Reaktionen: Mikrofluidische Vorrichtungen können verwendet werden, um chemische Reaktionen zwischen analytischen Substanzen einerseits und NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren zu ermöglichen. Durch die präzise Steuerung von Reaktionsbedingungen wie Temperatur, Druck und Flussrate können spezifische chemische Reaktionen initiiert und verfolgt werden. Die resultierenden Veränderungen in den optischen oder magnetischen Eigenschaften der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren können Informationen über die analysierten Substanzen und/oder Informationen über physikalische Parameter in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren liefern.

[0377] Diese Wechselwirkungen ermöglichen die Anwendung von NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren in der Sensordiagnostik, der chemischen Analytik, der medizinischen Diagnostik und anderen Bereichen. Die Integration von mikrofluidischen Vorrichtungen erlaubt eine präzise Steuerung der Probenumgebung und eine effiziente Analyse von Analyten durch die Nutzung der einzigartigen optischen und magnetischen Eigenschaften der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren.

[0378] In der Mikromechanik gibt es verschiedene Funktionselemente, die für die Integration in das Träger-substrat (1360) in Frage kommen. Hier sind einige Beispiele:

- Mikroaktoren: Mikroaktoren sind mechanische Bauteile, die translatorische und/oder rotatorische Bewegungen oder Verformungen auf mikroskopischer Skala erzeugen können. Sie können beispielsweise in Form von mikroelektromechanischen Systemen (MEMS) realisiert werden und verschiedene Aktionsprinzipien umfassen, wie zum Beispiel elektrostatische, piezoelektrische oder elektromagnetische Aktoren. Mikroaktoren finden Anwendung in Bereichen wie der Optik, der Robotik, der Sensorik oder der Medizintechnik.
- Mikrosensoren: Mikrosensoren dienen zur Erfassung physikalischer Größen wie Druck, Temperatur, Beschleunigung oder chemischer Parameter auf mikroskopischer Skala. Sie können beispielsweise in Form von MEMS-Sensoren realisiert werden und verschiedene Wirkprinzipien umfassen, wie zum Beispiel Kapazitätanz, piezoresistive oder optische Sensoren. Mikrosensoren werden in vielen Anwendungen eingesetzt, darunter Automobilelektronik, medizinische Diagnostik, Umweltüberwachung und Industrieautomatisierung.
- Mikrostrukturen: Mikrostrukturen umfassen eine Vielzahl von mikromechanischen Strukturen wie Balken, Federn, Hebel oder Zahnradsysteme. Diese Strukturen können verwendet werden, um mechanische Funktionen zu realisieren, wie zum Beispiel die Kraftübertragung, die Bewegungsumsetzung oder die Energieübertragung. Mikrostrukturen werden in vielen Anwendungen eingesetzt, darunter mechanische Schalter, Mikrotriebe, Mikroaktuatoren oder Mikropumpen.
- Mikroresonatoren: Mikroresonatoren sind mechanische Strukturen, die Schwingungen mit bestimmten Resonanzfrequenzen erzeugen können. Sie können beispielsweise in Form von Mikrobrücken, Mikroklammern oder Mikro-Biegebalken realisiert werden. Mikroresonatoren finden Anwendung in der Präzisionstechnik, der Frequenznormierung, der Sensorik oder der Schwingungsanalyse.
- Mikrostrukturierungstechniken: Neben den einzelnen Funktionselementen sind auch mikrofabrikationstechnische Verfahren und Techniken Teil der Mikromechanik. Dazu gehören beispielsweise die fotolithographische Strukturierung, die Ätztechnik, die Dünnschichttechnologie oder die Mikrofertigungstechniken. Diese Techniken ermöglichen die präzise Herstellung von mikromechanischen Strukturen und die Integration von Funktionselementen in einen Wafer.

[0379] Die Integration dieser Funktionselemente und Techniken in dem Trägersubstrat (1360) ermöglicht die Herstellung von Mikromechanik-basierten Bauteilen und Systemen auf einem Chip.

[0380] Die Kombination von mikromechanischen Vorrichtungen, insbesondere, wenn diese ferro- oder permanentmagnetische Vorrichtungsteile umfassen, mit NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren in der NV-Zentren-Sensorik und/oder der Sensorik paramagnetischer Zentren ermöglicht die Nutzung der einzigartigen Eigenschaften von NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren für die Detektion und Charakterisierung von analytischen Substanzen und/oder physikalischen Parametern in der Nähe der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren. Hier sind einige bekannte Wechselwirkungen zwischen mikromechanischen Vorrichtungen und NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren in der NV-Zentren-Sensorik und/oder in der Sensorik paramagnetischer Zentren:

1. Oberflächenfunktionalisierung: Mikromechanische Vorrichtungen können mit Oberflächenstrukturen oder Beschichtungen, insbesondere ferromagnetische oder permanentmagnetische Beschichtungen, versehen werden, um NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren zu immobilisieren oder zu positionieren und/oder magnetische Funktionselemente in die Nähe der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren zu bringen. Durch die gezielte Platzierung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren in der Nähe der zu analysierenden Substanzen können spezifische Wechselwirkungen ermöglicht werden, die zu detektierbaren Veränderungen in den optischen oder magnetischen Eigenschaften der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren führen.
2. Schwingungsanalyse: Mikromechanische Vorrichtungen können verwendet werden, um die mechanischen Einflüsse auf NV-Zentren und/oder paramagnetische Zentren mittels ferro- und permanentmagnetischen Funktionselementen zu analysieren. Durch die Integration von NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren in mikromechanische Resonatoren oder Biegebalken und/oder ferro- oder permanentmagnetische Vorrichtungsteile können mechanische Kräfte oder Verformungen erfasst werden, die beispielsweise durch Wechselwirkungen mit analytischen Substanzen und/oder physikalische Parameter wie Druck, Beschleunigung, Rotation, Kraft, Spannung hervorgerufen werden. Diese Verän-

derungen können beispielsweise als Indikatoren für die Anwesenheit oder Konzentration der analytischen Substanzen und/oder physikalische Parameter dienen.

3. Kraftdetektion: NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren und/oder die Systeme aus diesen und ferromagnetische oder permanentmagnetische Vorrichtungsteilen können empfindlich auf mechanische Kräfte reagieren, die auf sie ausgeübt werden. Mikromechanische Vorrichtungen können verwendet werden, um die Wechselwirkungskräfte zwischen NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren einerseits und analytischen Substanzen zu erfassen. Durch die Messung der Änderungen in den optischen oder magnetischen Eigenschaften der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren können Informationen über die analysierten Substanzen und/oder Informationen über physikalische Parameter in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren und/oder über die ferro- oder permanentmagnetischen Vorrichtungsteile gewonnen werden.

4. Druck- und Spannungsmessung: NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren können als druck- und spannungsempfindliche Sensoren dienen. Mikromechanische Vorrichtungen können verwendet werden, um Druck- oder Spannungsänderungen in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren zu erzeugen, ggf. in Änderungen von Magnetfeldern zu wandeln und zu messen. Dies ermöglicht die Analyse von mechanischen Eigenschaften von Materialien oder die Detektion von Druck- oder Spannungsänderungen in analytischen Proben oder Materialien.

5. Akustische Detektion: Mikromechanische Vorrichtungen können als akustische Transduktoren fungieren, um Schallwellen zu erzeugen oder zu erfassen. Durch die Integration von NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren in solche Vorrichtungen können akustische Wechselwirkungen zwischen den NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren einerseits und den zu analysierenden Substanzen bzw. physikalischer Parameter andererseits beispielsweise mittels magnetischer Vorrichtungsteile erfasst werden. Dies ermöglicht die akustische Detektion und Charakterisierung von Analyten und/oder von physikalischen Parametern in der Umgebung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren.

[0381] Diese direkten Wechselwirkungen zwischen mikromechanischen Vorrichtungen und NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren eröffnen neue Möglichkeiten für die Anwendung von NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren und indirekte Wechselwirkungen über magnetische ferromagnetische oder permanentmagnetische Vorrichtungsteile in der Sensorik, insbesondere in Bereichen wie der Materialcharakterisierung, der Umweltüberwachung, der medizinischen Diagnostik und der Nanotechnologie. Die genaue Ausgestaltung und Integration dieser Vorrichtungen hängen jedoch von den spezifischen Anwendungen ab.

Wesentliche Erkenntnis zur Produzierbarkeit

[0382] Bei der Ausarbeitung der technischen Lehre des hier vorgelegten Dokuments wurde erkannt, dass zwar die Verwendung vieler Kristalle bzw. Diamant-Nano-Kristalle (ND) zur einer Verschmierung der V-Formationen der Fluoreszenzstrukturen der Einkristalle (siehe **Fig. 1**) führt, dies jedoch nicht für die äußeren Resonanzkanten (522, 525, siehe **Fig. 51b**) gilt. Eine Grundidee ist daher NV-Diamantpulver bzw. Kristallpulver mit paramagnetischen Zentren für die Sensorelemente (SE) anstelle von Einkristallen zu verwenden und die Resonanzkanten auszumessen, um auf die magnetische Flussdichte und/oder die Mikrowellenfrequenz zu schließen. Die äußere V-Formation bleibt nämlich erhalten. (siehe **Fig. 2**)

[0383] Je nach unbekannter Mikrowellenfrequenz (ω_{nk}) und magnetischer Flussdichte (B_{ext}) verschiebt sich die Position dieser V-Formation in dem Diagramm der **Fig. 2**. Die unbekannte magnetische Flussdichte (B_{ext}) überlagert sich summierend mit einer von der vorgeschlagenen Vorrichtung erzeugten, bekannten zusätzlichen magnetischen Flussdichte (B_{ad}) zur magnetischen Gesamtflussdichte B_{Σ} , die die vertikale Position der V-Formation in **Fig. 2** bestimmt. Das Mikrowellensignal ($S_{\omega_{nk}}$) mit unbekannter Mikrowellenfrequenz (ω_{nk}) wird einem Mikrowellensignal mit bekannter Mikrowellenfrequenz zugemischt. Eines der Seitenbänder und das Trägersignal sollten weggefiltert werden. Das nicht weggefilterte Seitenband verschiebt dann die V-Formation in der **Fig. 2** in der Horizontalen.

[0384] Aus der Verschiebung der V-Formation kann dann auf die magnetische Flussdichte B_{ext} und die unbekannte Mikrowellenfrequenz ω_{nk} geschlossen werden. Sofern zwei Mikrowellensignale mit zwei unbekanntem Mikrowellenfrequenzen zugemischt werden, verdoppelt sich die V-Formation an zwei unterschiedlichen horizontalen Positionen. Damit kann über eine Kreuzkorrelation zwischen der V-Formation ohne Zumischung und mit den Formationen mit Zumischungen über die Mikrowellenfrequenzen auf das Mikrowellenspektrum der Zumischung geschlossen werden.

[0385] Um die unbekannt Mikrowellenfrequenz zu bestimmen, ist besonders vorteilhaft den markantesten Punkt der V-Formation zu bestimmen, da dieser unabhängig von äußeren Einflüssen in seiner Form ist und vorbekannt und vorbestimmbar ist. Dies ist die Spitze (530) der V-Formation (522, 525) Statt der Spitze (530) der V-Formation (522, 525) können selbstverständlich auch funktionsäquivalente Informationen, wie z.B. zwei Punkte auf dem linken Ast der V-Formation und zwei Punkte auf dem rechten Ast der V-Formation verwendet werden. Die Steigungen der Graden durch die zwei Punkte auf dem linken Ast der V-Formation ist vorbekannt. Die Steigungen der Graden durch die zwei Punkte auf dem Rechten Ast der V-Formation ist vorbekannt. Damit kann nach Kenntnis von vier solchen Punkten die Position der Spitze der V-Formation aus den Positionen dieser vier Punkte im Diagramm aus magnetischer Flussdichte und Mikrowellenfrequenz ermittelt werden.

[0386] Bei der Ausarbeitung des Vorschlags für die Bestimmung der Position der unteren Spitze der V-Form in der X-Y-Ebene, also der Lage der V-Formation, können verschiedene Verfahren eingesetzt werden. Der folgende Text führt nun sind fünf beispielhafte Verfahren zur Bestimmung des nächsten Messpunkts aus nächstem ersten Messparameter und nächstem zweiten Messparameter auf:

1. Rasterverfahren: Bei diesem Verfahren wird der Messbereich in ein regelmäßiges Raster unterteilt. Die Steuervorrichtung kann systematisch die Messpunkte des Rasters abarbeiten, beginnend von einem Startpunkt. Der nächste Messpunkt wird in vordefinierter Reihenfolge ausgewählt, zum Beispiel durch schrittweise Erhöhung oder Verringerung des ersten und/oder zweiten Messparameters. Dieses Verfahren ermöglicht eine gleichmäßige Abdeckung des Messbereichs, kann jedoch ineffizient sein, wenn die V-Formation nicht regelmäßig ist.

2. Schrittweitenanpassung: Hierbei wird die Schrittweite zur Anpassung der Messparameter basierend auf den bisherigen Messungen verwendet. Die Steuervorrichtung startet mit einem bestimmten Schritt und passt diesen anhand der erfassten Messwerte an. Wenn der Betrag des Gradienten des Messwerts des Sensorelements zunimmt, kann die Schrittweite verringert werden, um eine genauere Bestimmung der Lage der V-Formation zu ermöglichen. Dieses Verfahren erfordert jedoch eine iterative Anpassung und kann je nach Komplexität der V-Formation Zeit in Anspruch nehmen.

3. Gradientenverfahren: Das Gradientenverfahren nutzt den Gradienten des Messwerts des Sensorelements, um die Richtung der maximalen Steigung zu bestimmen. Die Steuervorrichtung kann die Messparameter entlang dieser Richtung anpassen, um den nächsten Messpunkt zu bestimmen. Durch die Berücksichtigung des Gradienten kann das Verfahren schnell zur Spitze der V-Formation führen. Jedoch kann es in Regionen mit flachem Gradienten oder wenn die V-Formation asymmetrisch ist, weniger effektiv sein.

4. Optimierungsalgorithmen: Es können verschiedene Optimierungsalgorithmen wie der Nelder-Mead-Algorithmus oder der Powell-Algorithmus eingesetzt werden, um die Position der V-Formation zu bestimmen. Diese Algorithmen verwenden eine Kombination aus direkter Suche und Gradienteninformation, um den nächsten Messpunkt zu finden. Sie können effizient sein, erfordern jedoch möglicherweise komplexe mathematische Berechnungen und mehr Rechenleistung.

5. Machine-Learning-Methoden: Fortgeschrittene Machine-Learning-Techniken wie neuronale Netzwerke oder genetische Algorithmen können verwendet werden, um die Lage der V-Formation zu bestimmen. Diese Ansätze können aus den bisherigen Messdaten lernen und eine Vorhersage für den nächsten Messpunkt treffen. Dies erfordert jedoch eine umfangreiche Datensammlung und Modelltrainingsphase, bevor das System einsatzbereit ist.

[0387] Es ist wichtig zu beachten, dass die Auswahl des am besten geeigneten Verfahrens von verschiedenen Faktoren abhängt, die Genauigkeitsanforderungen, die verfügbaren Ressourcen und der Kontext der Anwendung.

[0388] Eine eingehende Analyse und Bewertung dieser Faktoren ermöglichen die Auswahl des am besten geeigneten Verfahrens zur Bestimmung der Position der Spitze der V-Formation in der X-Y-Ebene. Dabei sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Komplexität der V-Formation: Je komplexer die Form der V-Formation ist, - also je mehr Merkmale der **Fig. 2** und der nachfolgenden Figuren berücksichtigt werden, desto anspruchsvoller kann die Bestimmung der Lage sein. Da die inneren Strukturen der V-Formation der **Fig. 2** asymmetrisch und nichtlinear sind, können Verfahren wie das Gradientenverfahren oder Machine-Learning-Methoden besonders vorteilhaft sein, um genaue Ergebnisse zu erzielen.

- Genauigkeitsanforderungen: Die erforderliche Präzision beeinflusst die Wahl des Verfahrens. Wenn hohe Genauigkeit erforderlich ist, können Optimierungsalgorithmen oder präzisionsbasierte Schrittweitenanpassungsmethoden eingesetzt werden. Bei weniger strengen Anforderungen kann ein Rasterverfahren oder ein gröberes Schrittweitenanpassungsverfahren ausreichen.
- Verfügbare Ressourcen: Die zur Verfügung stehenden technischen Ressourcen, wie Rechenleistung, Stromverbrauch, funktionale Sicherheit, Speicherplatz oder Messinstrumente, können die Auswahl beeinflussen. Komplexere Verfahren wie Machine-Learning-Methoden erfordern möglicherweise mehr Ressourcen für das Training von Modellen oder die Verarbeitung großer Datenmengen.
- Kontext der Anwendung: Der spezifische Anwendungsbereich und die zugrunde liegenden Rahmenbedingungen spielen ebenfalls eine Rolle. In einigen Anwendungen kann eine schnelle, aber grobe Näherung ausreichend sein, während andere Anwendungen eine detaillierte und präzise Bestimmung erfordern.

[0389] Die Auswahl des besten Verfahrens zur Bestimmung der Position der Spitze der V-Formation erfordert eine sorgfältige Abwägung dieser Faktoren. Oftmals ist es auch hilfreich, verschiedene Verfahren zu kombinieren oder anzupassen, um optimale Ergebnisse zu erzielen. Es kann empfehlenswert sein, eine Prototypentwicklung oder Simulation durchzuführen, um die Leistung der verschiedenen Verfahren zu evaluieren und die passendste Lösung für die konkrete Situation zu identifizieren

Bestimmung der Position der V-Formation

[0390] Die hier vorgestellte Vorrichtung ermöglicht also die Vermessung eines zweidimensionalen Feldes aus magnetischer Gesamtflussdichte B_z bzw. der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} und Mikrowellenfrequenz ω_{nk} . (siehe auch **Fig. 51b**) Je nach angelegter Mikrowellenfrequenz ω_{nk} und nach magnetischer Gesamtflussdichte B_z befindet sich die V-Formation aus der unteren Resonanzkante 522 und der oberen Resonanzkante 525 an einer anderen Position im zweidimensionalen Feld der beiden Messparameter Gesamtflussdichte B_z und Mikrowellenfrequenz ω_{nk} . Die Form der V-Formation aus unterer Resonanzkante 522 und der oberer Resonanzkante 25 bleibt dabei unverändert.

[0391] Die typischerweise auftretende Aufgabe ist daher oft, die exakte Lage der V-Formation aus der unteren Resonanzkante 522 und der oberen Resonanzkante 525 und dabei die exakte Position der Spitze 530 dieser V-Formation möglichst präzise und schnell zu bestimmen, um die Werte der Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$ und der Nullpunktsflussdichte B_0 , die die Position 530 der Spitze 530 der V-Formation aus der unteren Resonanzkante 522 und der oberen Resonanzkante 525 kennzeichnen, zu ermitteln und dann auf die jeweils gesuchten Messwerte zu schließen.

[0392] Da die Vorrichtung in der Regel nur einige wenige, diskrete Punkte vermessen kann, wendet die Steuervorrichtung der Vorrichtung bevorzugt ein computerimplementiertes Iterationsverfahren an, um die Messwerte schnell zu präzisieren. Im Folgenden führt daher das hier vorgelegte Dokument einige mögliche Verfahren an, die die Steuervorrichtung der Vorrichtung zur Präzisierung der Messpunkte benutzen kann. Wenn im Folgenden von Messparametern und zwar einem ersten Messparameter und einem zweiten Messparameter die Rede ist, so sind damit die beiden Parameter magnetische Flussdichte und Mikrowellenfrequenz gemeint. Mit der X-Y-Ebene ist die Ebene aus diesen beiden Messparametern gemeint. Eine Kernidee ist, dass die Steuervorrichtung fortschrittliche computerimplementierte KI-Methoden anwendet, um auf Basis der vorhergehenden Messergebnisse die nächsten Messpunkte zu bestimmen und so die Präzision mit maximaler Geschwindigkeit zu steigern. Ein Messpunkt (auch Arbeitspunkt des Systems genannt) umfasst dabei typischerweise immer einen bestimmten Wert der magnetischen Flussdichte und einen bestimmten Wert der Mikrowellenfrequenz. Die Anwendung der folgenden KI-Verfahren auf Fluoreszenzbilder wird an dieser Stelle beispielhaft für alle Bilder von Magnetfeldkameras - also auch die vorbeschriebenen - des hier vorgelegten Dokuments beschrieben.

Machine Learning

[0393] Für die Bestimmung des nächsten Messpunkts aus dem nächsten ersten Messparameter und dem nächsten zweiten Messparameter mittels Machine-Learning-Methoden können verschiedene Ansätze verwendet werden. Hier sind fünf bekannte Machine-Learning-Methoden zur Lösung dieses Problems:

1. Neuronale Netzwerke: Neuronale Netzwerke sind eine leistungsstarke Methode im Bereich des Machine Learnings. Durch das Training eines neuronalen Netzwerks mit geeigneten Eingabe- und Ausgabedaten kann es eine Funktion erlernen, um den nächsten Messpunkt basierend auf den aktuellen

Messungen vorherzusagen. Dabei können verschiedene Architekturen wie einfache Feedforward-Netzwerke oder rekurrente neuronale Netzwerke eingesetzt werden.

2. Genetische Algorithmen: Genetische Algorithmen nutzen evolutionäre Prinzipien, um die optimale Lösung zu finden. Durch die Definition geeigneter Fitnessfunktionen und die Anwendung von genetischen Operatoren wie Mutation und Rekombination können genetische Algorithmen den nächsten Messpunkt schrittweise verbessern und anpassen, um die Lage der V-Formation zu bestimmen.

3. Entscheidungsbäume: Entscheidungsbäume sind ein intuitives und interpretierbares Machine-Learning-Modell. Durch das Trainieren eines Entscheidungsbaums mit den vorhandenen Messdaten kann er verwendet werden, um den nächsten Messpunkt basierend auf den aktuellen Messungen auszuwählen. Die Entscheidungsbäume können in enger Verbindung mit anderen Methoden wie dem Random Forest eingesetzt werden, um die Vorhersagegenauigkeit zu verbessern.

4. Support Vector Machines (SVM): SVM ist eine Methode des überwachten Lernens, die bei der Klassifizierung und Regression eingesetzt werden kann. Durch das Training einer SVM mit den vorhandenen Messdaten kann sie verwendet werden, um den nächsten Messpunkt vorherzusagen. SVM kann insbesondere dann nützlich sein, wenn die V-Formation nicht-linear separierbar ist.

5. K-means-Clustering: K-means ist ein Clustering-Algorithmus, der verwendet werden kann, um die V-Formation in verschiedene Cluster zu unterteilen. Durch das Trainieren eines K-means-Modells mit den vorhandenen Messdaten können die Clusterzentren ermittelt werden, und der nächste Messpunkt kann in der Nähe des geeignetsten Clusterzentrums gewählt werden.

[0394] Es ist wichtig zu beachten, dass die Wahl der besten Methode von verschiedenen Faktoren abhängt, darunter die verfügbaren Daten, die Anzahl der Messungen, die Genauigkeitsanforderungen und der Kontext der Anwendung. Die Auswahl der richtigen Machine-Learning-Methode erfordert möglicherweise Experimente und Bewertungen der Leistungsfähigkeit verschiedener Ansätze.

Optimierungsalgorithmen

[0395] Für die Bestimmung des nächsten Messpunkts aus dem nächsten ersten Messparameter und dem nächsten zweiten Messparameter können verschiedene Optimierungsalgorithmen verwendet werden. Hier sind fünf beispielhafte Optimierungsalgorithmen, die für dieses Sensorsystem bei einer Nacharbeit relevant sein könnten:

1. Gradientenabstieg: Der Gradientenabstieg ist ein Optimierungsalgorithmus, der versucht, das Minimum einer Funktion zu finden, indem er entlang des negativen Gradienten schrittweise absteigt. In diesem Fall könnte der Algorithmus den negativen Gradienten des Betrags des Gradienten des Sensorelementmesswerts nach dem ersten und zweiten Messparameter berechnen und den nächsten Messpunkt basierend auf der Abstiegsrichtung auswählen.

2. Genetische Algorithmen: Genetische Algorithmen können auch für die Optimierung des nächsten Messpunkts verwendet werden. Indem sie eine Population von Kandidatenlösungen verwenden und genetische Operatoren wie Rekombination und Mutation anwenden, können genetische Algorithmen die Lage der V-Formation schrittweise verbessern und den nächsten Messpunkt bestimmen.

3. Partikelschwarmoptimierung (PSO): Bei der Partikelschwarmoptimierung wird eine Gruppe von virtuellen Partikeln verwendet, die sich durch den Suchraum - hier der Ebene aus magnetischer Flussdichte und Mikrowellenfrequenz bewegen. Jedes virtuelle Partikel speichert seine eigene Position und Geschwindigkeit und passt diese anhand des bisher besten Ergebnisses und des global besten Ergebnisses nach der Messung an. Durch die Interaktion und Zusammenarbeit der Partikel kann PSO eine gute Lösung finden, indem es den Suchraum effektiv erkundet.

4. Nelder-Mead-Algorithmus: Der Nelder-Mead-Algorithmus ist ein direkter Optimierungsalgorithmus, der ohne Gradienteninformationen auskommt. Er verwendet ein Simplex, das eine geometrische Struktur im Suchraum darstellt. Der Algorithmus führt Iterationen durch, bei denen er die besten, schlechtesten und mittleren Punkte des Simplex verwendet, um die nächste Position zu bestimmen. Dieser Algorithmus kann effektiv sein, wenn der Suchraum nicht differenzierbar ist.

5. Simulated Annealing: Simulated Annealing ist ein probabilistischer Optimierungsalgorithmus, der von der Metallbearbeitungstechnik „annealing“ inspiriert ist. Der Algorithmus simuliert das Erwärmen und langsames Abkühlen eines Metalls, um seine Kristallstruktur zu optimieren. Ähnlich wird beim Simulated Annealing der Suchraum erkundet und gelegentlich schlechtere Lösungen akzeptiert, um aus lokalen Minima zu entkommen und ein globales Minimum zu finden.

[0396] Es ist wichtig zu beachten, dass die Auswahl des am besten geeigneten Optimierungsalgorithmus von verschiedenen Faktoren abhängt, darunter die Komplexität der V-Formation und der ggf. berücksichtigten inneren Strukturen der V-Formation, die Anzahl der verfügbaren Messungen, die Genauigkeitsanforderungen und die verfügbaren Ressourcen. Die Wahl des richtigen Optimierungsalgorithmus erfordert möglicherweise Experimente und Evaluierung der Leistungsfähigkeit verschiedener Ansätze.

Machine-Learning-Methoden ähnlich der Bayes'schen Optimierung

[0397] Für die Bestimmung des nächsten Messpunkts aus dem nächsten ersten Messparameter und dem nächsten zweiten Messparameter, um die Lage der V-Formation in der X-Y-Ebene zu bestimmen, könnten verschiedene Machine-Learning-Methoden ähnlich der Bayes'schen Optimierung eingesetzt werden. Hier sind fünf wichtige Methoden, die in diesem Kontext relevant sein könnten:

- **Bayes'sche Optimierung:** Die Bayes'sche Optimierung ist eine probabilistische Methode zur globalen Optimierung unter Unsicherheit. Sie kombiniert die Modellierung der Zielfunktion mit einer Bayesianischen Wahrscheinlichkeitsschätzung, um eine möglichst effiziente Suche nach dem optimalen Punkt zu ermöglichen. Dabei wird ein probabilistisches Modell erstellt, das die Zusammenhänge zwischen den Eingangsparametern (erster Messparameter und zweiter Messparameter) und den Zielfunktionswerten (Position der V-Formation) erfasst. Aufgrund dieser Modellierung wird eine probabilistische Suche durchgeführt, die die Exploration des Suchraums mit der Ausbeutung bereits bekannter guter Bereiche kombiniert. Die Bayes'sche Optimierung kann daher dazu beitragen, mit möglichst wenigen Iterationen die Lage und die Position der Spitze der V-Formation zu bestimmen.
- **Random Forest Regression:** Random Forest Regression ist eine Ensemble-Methode, die auf Entscheidungsbäumen basiert. Sie kann verwendet werden, um die Beziehung zwischen den Eingangsparametern (erster Messparameter, zweiter Messparameter) und den Zielfunktionswerten (Position der V-Formation) zu modellieren. Durch den Einsatz mehrerer Entscheidungsbäume, die zufällig erstellt werden und eine Vorhersage treffen, kann ein robustes Modell erstellt werden, das auch nichtlineare Zusammenhänge erfassen kann.
- **Gaussian Process Regression:** Gaussian Process Regression ist eine nichtparametrische Methode, die die Unsicherheit in den Daten berücksichtigt. Sie verwendet einen Satz von Funktionen, um die Zusammenhänge zwischen den Eingangsparametern und den Zielfunktionswerten zu modellieren. Dabei wird eine Verteilung über mögliche Funktionen erstellt, die zu den beobachteten Daten passen. Diese Methode kann effektiv sein, um die Unsicherheit in den Vorhersagen zu quantifizieren und eine gute Schätzung der Position der V-Formation zu liefern.
- **Künstliche Neuronale Netze:** Künstliche Neuronale Netze sind eine leistungsstarke Klasse von Machine-Learning-Modellen, die in der Lage sind, komplexe Zusammenhänge zwischen den Eingangsparametern und den Zielfunktionswerten zu modellieren. Durch das Training eines neuronalen Netzes auf den vorhandenen Daten kann eine Funktion erlernt werden, die den nächsten Messpunkt vorher sagt. Künstliche Neuronale Netze können sowohl für Regression als auch für Klassifikation eingesetzt werden und bieten Flexibilität und hohe Kapazität zur Modellierung komplexer Vorgänge.
- **Gradientenbasierte Optimierung:** Bei der gradientenbasierten Optimierung wird der Gradient der Zielfunktion bezüglich der Eingangsparameter berechnet und zur Bestimmung des nächsten Messpunkts verwendet. Der Gradient zeigt die Richtung des steilsten Anstiegs der Zielfunktion an, was darauf hinweist, in welche Richtung die Parameter angepasst werden müssen, um eine Verbesserung zu erzielen.
- Ein bekannter Algorithmus für die gradientenbasierte Optimierung ist das Gradientenabstiegsverfahren. Es beginnt mit einem initialen Messpunkt und iterativ wird der Gradient an diesem Punkt berechnet. Anschließend wird der nächste Messpunkt entlang des negativen Gradienten gewählt, um die Zielfunktion zu minimieren. Dieser Prozess wird solange wiederholt, bis ein Konvergenzkriterium erfüllt ist oder eine ausreichend gute Lösung gefunden wurde.
- Das Gradientenabstiegsverfahren kann effektiv sein, wenn die Zielfunktion differenzierbar ist und die Parameter einen stetigen Suchraum bilden. Allerdings kann es in komplexen Optimierungsproblemen stecken bleiben, wenn das Verfahren in lokale Minima oder Sattelpunkte gerät. Um diesem Problem entgegenzuwirken, können Techniken wie Momentum, AdaGrad oder Adam angewendet werden, um die Konvergenz zu beschleunigen und lokale Minima zu umgehen.

[0398] Es ist zu beachten, dass die Gradientenbasierte Optimierung nicht explizit auf Bayes'sche Optimierung abzielt. Die Bayes'sche Optimierung verwendet probabilistische Modelle, um den Suchraum zu modellieren und eine Balance zwischen Exploration und Ausbeutung zu finden. Im Gegensatz dazu optimiert die

gradientenbasierte Methode direkt den Wert der Zielfunktion und betrachtet die Unsicherheit nicht explizit. Beide Ansätze können jedoch in Kombination verwendet werden, indem beispielsweise eine Bayes'sche Optimierung zur globalen Suche und die gradientenbasierte Optimierung zur Feinabstimmung in der Nähe einer Lösung eingesetzt werden.

[0399] Der Gradientenbasierten Optimierung wird verwendet, um den nächsten Messpunkt in Richtung des steilsten Anstiegs der Zielfunktion zu bestimmen. Dieser Ansatz erfordert, dass die Zielfunktion differenzierbar ist, um den Gradienten berechnen zu können. Durch die Verwendung des Gradienten kann die Steuervorrichtung des Sensorsystems den nächsten Messpunkt iterativ anpassen, um die V-Formation in der X-Y-Ebene zu lokalisieren.

[0400] Um die Suche effizienter zu gestalten, können verschiedene Optimierungsalgorithmen auf der Grundlage des Gradienten eingesetzt werden. Hier sind zwei wichtige Optimierungsalgorithmen:

- **Gradientenabstieg:** Beim Gradientenabstieg wird der Gradient der Zielfunktion berechnet und entgegengesetzt zur Richtung des steilsten Abstiegs der Zielfunktion verwendet. Der Algorithmus aktualisiert iterativ die Werte der Eingangsparameter (erster Messparameter, zweiter Messparameter), um den nächsten Messpunkt näher an die Spitze der V-Formation zu bringen. Der Gradientenabstieg ist ein einfacher und weit verbreiteter Optimierungsalgorithmus, der jedoch möglicherweise in lokalen Minima stecken bleiben kann.
- **Stochastischer Gradientenabstieg:** Der stochastische Gradientenabstieg ist eine Variante des Gradientenabstiegs, bei der der Gradient auf Basis einer zufälligen Teilmenge der verfügbaren Datenpunkte berechnet wird. Anstatt den Gradienten über den gesamten Datensatz zu berechnen, wird der stochastische Gradientenabstieg verwendet, um die Berechnung des Gradienten effizienter zu gestalten und die Konvergenz zu beschleunigen. Dieser Algorithmus eignet sich gut für große Datensätze und kann die Anzahl der benötigten Iterationen reduzieren.

[0401] Diese Optimierungsalgorithmen können verwendet werden, um den nächsten Messpunkt aus dem nächsten ersten Messparameter und dem nächsten zweiten Messparameter zu bestimmen und somit die Position der V-Formation in der X-Y-Ebene zu bestimmen. Durch die Anwendung von Machine-Learning-Methoden und Optimierungsalgorithmen kann das Sensorsystem die Lage und die Position der V-Formation mit möglichst wenigen Iterationen bestimmen und die Spitze der V-Formation in der X-Y-Ebene genau lokalisieren.

Random Forest Regression

[0402] Das Sensorsystem umfasst in einer Ausprägung eine Steuervorrichtung, die in der Lage ist, den ersten Messparameter innerhalb eines bestimmten Messparameterintervalls einzustellen und auch den zweiten Messparameter innerhalb eines anderen Messparameterintervalls einzustellen. Ein Sensorelement wird verwendet, um einen Sensorelementmesswert für einen eingestellten Messpunkt zu ermitteln. Dabei ist der Messwert abhängig von den Werten des ersten und zweiten Messparameters. Zur präzisen Bestimmung des nächsten Messpunkts mit möglichst wenigen Iterationen wird ein computerimplementiertes Verfahren der Random Forest Regression angewendet.

[0403] In einer Ausprägung des Vorschlags wird das computerimplementierte Verfahren der Random Forest Regression genutzt, um die Lage der Spitze der V-Formation oder einer funktionsäquivalenten Information in der X-Y-Ebene zu bestimmen. Hierbei werden der erste Messparameter als X-Koordinate und der zweite Messparameter als Y-Koordinate verwendet. Dies ermöglicht eine effiziente Positionsermittlung der V-Formation.

[0404] Darüber hinaus hält die Steuervorrichtung die bestimmte Position der unteren Spitze der V-Formation für die Verwendung durch ein übergeordnetes System bereit. Dies gewährleistet, dass die ermittelten Daten von anderen Systemen genutzt werden können.

[0405] Das Sensorsystem kombiniert das computerimplementierte Verfahren der Random Forest Regression mit dem Sensorelement und der Steuervorrichtung, um die Position der unteren Spitze der V-Formation basierend auf den Messparametern zu bestimmen und für die Verwendung durch ein übergeordnetes System bereitzuhalten. Dabei ist das computerimplementierte Verfahren der Random Forest Regression auf einem speicherbasierten Medium gespeichert und wird von einem Prozessor der Steuervorrichtung ausgeführt. Das speicherbasierte Medium kann beispielsweise ein Computerprogrammprodukt, eine Festplatte, ein Flash-

Speicher oder ein anderes nichtflüchtiges Speichermedium sein. Durch diese Implementierung wird eine effiziente und zuverlässige Bestimmung der Position der V-Formation ermöglicht.

[0406] Die Steuervorrichtung des Sensorsystems umfasst einen Prozessor und einen Speicher. Der Speicher enthält den Code für das computerimplementierte Verfahren der Random Forest Regression, während der Prozessor den Code aus dem Speicher abrufen und ausführt. Dies stellt sicher, dass das Verfahren korrekt und effizient ausgeführt wird.

[0407] In einer Variante des Vorschlags kann das Sensorsystem eine Kommunikationsschnittstelle umfassen, die eine Datenübertragung zwischen dem Sensorsystem und anderen Systemen ermöglicht. Dadurch können die ermittelten Positionsdaten der V-Formation einfach an andere Systeme weitergegeben und zur weiteren Verarbeitung genutzt werden.

[0408] Des Weiteren kann das Sensorsystem mit einem Datenbanksystem verbunden sein, in dem die ermittelten Positionsinformationen der V-Formation gespeichert werden. Dies ermöglicht eine einfache und strukturierte Verwaltung der Positionsdaten für zukünftige Analysen oder Auswertungen.

[0409] Ein weiterer Vorteil des Sensorsystems besteht darin, dass das computerimplementierte Verfahren der Random Forest Regression flexibel anpassbar ist. Durch das Hinzufügen oder Entfernen von Trainingsdaten kann das Verfahren verbessert und an verschiedene Einsatzszenarien angepasst werden. Dies ermöglicht eine optimale Leistung des Sensorsystems in verschiedenen Anwendungsbereichen und Umgebungen.

[0410] Ein weiterer Vorteil des Sensorsystems liegt in seiner Skalierbarkeit. Durch die Verwendung von Speichermedien wie RAM oder NVM kann das Sensorsystem problemlos an die Anforderungen der jeweiligen Anwendung angepasst werden. Dadurch wird eine effiziente und zuverlässige Verarbeitung großer Datenmengen ermöglicht.

[0411] Darüber hinaus bietet das Sensorsystem eine hohe Genauigkeit und Präzision bei der Bestimmung der Position der V-Formation. Durch die Kombination des Sensorelements mit dem computerimplementierten Verfahren der Random Forest Regression werden mögliche Messfehler minimiert und die Messgenauigkeit maximiert.

[0412] Ein weiterer wichtiger Aspekt des Sensorsystems ist seine Robustheit und Zuverlässigkeit. Durch die Verwendung moderner Technologien und qualitativ hochwertiger Materialien gewährleistet das Sensorsystem eine langfristige und stabile Leistung auch unter anspruchsvollen Bedingungen.

[0413] Zusammenfassend bietet das Sensorsystem mit der Steuervorrichtung, dem Sensorelement und dem computerimplementierten Verfahren der Random Forest Regression eine effiziente, präzise und zuverlässige Lösung zur Bestimmung der Position einer V-Formation. Die Flexibilität, Skalierbarkeit und hohe Genauigkeit des Systems machen es ideal für verschiedene Anwendungen in Bereichen wie der Luftfahrt, Logistik oder auch dem Tierverhalten. Durch die Nutzung von modernen Technologien und Materialien setzt das Sensorsystem neue Maßstäbe in der Positionsbestimmung und ermöglicht innovative Lösungen für die Herausforderungen unserer Zeit.

Gaussian Process Regression

[0414] In einer weiteren Ausgestaltung des Sensorsystems umfasst das Sensorsystem eine Steuervorrichtung zur Einstellung eines ersten Messparameters innerhalb eines ersten Messparameterintervalls und eines zweiten Messparameters innerhalb eines zweiten Messparameterintervalls. Ein Sensorelement ermittelt einen Sensorelementmesswert abhängig von den eingestellten Messparametern für einen bestimmten Messpunkt. Das Sensorsystem verwendet ein computerimplementiertes Verfahren der Gaussian Process Regression, das von der Steuervorrichtung angewendet wird, um den nächsten Messpunkt basierend auf dem nächsten ersten Messparameter und dem nächsten zweiten Messparameter mit möglichst wenigen Iterationen zu bestimmen.

[0415] In einer Ausprägung des Sensorsystems wird das computerimplementierte Verfahren der Gaussian Process Regression eingesetzt, um die Lage der V-Formation in der X-Y-Ebene aus dem ersten Messparameter als X-Koordinate und dem zweiten Messparameter als Y-Koordinate zu bestimmen. Durch die präzise Bestimmung der Lage der Spitze (30) der V-Formation ermöglicht das Sensorsystem eine genaue Positionierung.

[0416] In einer weiteren Ausprägung wird das Sensorsystem verwendet, um die Position der Spitze (30) der V-Formation in der X-Y-Ebene aus dem ersten Messparameter als X-Koordinate und dem zweiten Messparameter als Y-Koordinate zu bestimmen. Dies ermöglicht die genaue Erfassung und Bereitstellung der Spitzenposition, die von einem übergeordneten System genutzt werden kann, um optimale Koordination und Steuerung von Prozessen zu ermöglichen, bei denen die Position der V-Formation, insbesondere der Spitze (30) der V-Formation, und/oder der Wert einer daraus abgeleiteten Informationen und/oder der Wert einer funktionsäquivalente Informationen von Bedeutung ist.

[0417] Das computerimplementierte Verfahren der Gaussian Process Regression in Verbindung mit dem Sensorelement und der Steuervorrichtung ermöglicht eine präzise und effiziente Bestimmung der Position der unteren Spitze der V-Formation basierend auf den Messparametern. Dies wird erreicht, indem das Verfahren Schritte zur Optimierung der nächsten Messpunkte basierend auf der Unsicherheit der Vorhersagen verwendet und adaptiv die Verteilung der Messpunkte anpasst, um die Lage der V-Formation effizienter zu bestimmen.

[0418] Ein weiterer Vorteil des Sensorsystems besteht darin, dass das computerimplementierte Verfahren der Gaussian Process Regression auf einem speicherbasierten Medium gespeichert ist und von einem Prozessor der Steuervorrichtung ausgeführt wird. Das speicherbasierte Medium kann beispielsweise ein Computerprogrammprodukt, eine Festplatte, ein Flash-Speicher oder ein anderes nichtflüchtiges Speichermedium (NVM) sein. Dadurch wird die Flexibilität und Skalierbarkeit des Systems erhöht.

[0419] In einer Variante des Vorschlags umfasst die Steuervorrichtung des Sensorsystems einen Prozessor und einen Speicher, wobei der Speicher den Code für das computerimplementierte Verfahren der Gaussian Process Regression enthält und der Prozessor den Code aus dem Speicher abrufen und ausführt. Dadurch wird eine effiziente Ausführung des Verfahrens gewährleistet und ermöglicht eine schnelle und präzise Bestimmung der Position der V-Formation, insbesondere der Spitze (30) der V-Formation, und/oder einer daraus abgeleiteten Informationen und/oder einer funktionsäquivalenten Informationen.

[0420] Es ist zu beachten, dass die vorliegende Beschreibung zusätzliche Erläuterungen der Funktionsweise des Sensorsystems und des computerimplementierten Verfahrens der Gaussian Process Regression bietet. Durch die Anwendung der Gaussian Process Regression werden die nächsten Messpunkte basierend auf den nächsten ersten und zweiten Messparametern bestimmt. Dabei werden möglichst wenige Iterationen benötigt, um eine hohe Genauigkeit und Effizienz zu gewährleisten.

[0421] Die Verwendung der Gaussian Process Regression ermöglicht die präzise Bestimmung der Lage der V-Formation in der X-Y-Ebene durch die Nutzung des ersten Messparameters als X-Koordinate und des zweiten Messparameters als Y-Koordinate. Durch die effiziente Positionserfassung der V-Formation, insbesondere der Spitze (30) der V-Formation, und/oder einer daraus abgeleiteten Informationen und/oder einer funktionsäquivalenten Informationen kann das Sensorsystem in verschiedenen Anwendungen eingesetzt werden.

[0422] Die Steuervorrichtung des Sensorsystems speichert den bestimmten Positionswert der V-Formation, insbesondere der Spitze (30) der V-Formation, und/oder einer daraus abgeleiteten Informationen und/oder einer funktionsäquivalenten Informationen für die Verwendung durch ein übergeordnetes System. Dies ermöglicht eine nahtlose Integration des Sensorsystems in ein umfassendes System und bietet eine zuverlässige Informationsgrundlage für übergeordnete Prozesse.

[0423] Durch die Kombination des computerimplementierten Verfahrens der Gaussian Process Regression mit dem Sensorelement und der Steuervorrichtung werden die Messparameter verwendet, um die Position der V-Formation, insbesondere der Spitze (30) der V-Formation, und/oder eine daraus abgeleitete Informationen und/oder eine funktionsäquivalente Informationen n genau zu bestimmen und für die Verwendung durch ein übergeordnetes System bereitzuhalten. Diese Integration ermöglicht eine präzise Steuerung und optimale Nutzung der V-Formation in verschiedenen Anwendungen.

[0424] Zusammenfassend bietet das Sensorsystem mit dem computerimplementierten Verfahren der Gaussian Process Regression eine effiziente und präzise Methode zur Bestimmung der Position der V-Formation. Die Verwendung eines speicherbasierten Mediums, das den Code für das Verfahren enthält, und die Einbindung eines Prozessors ermöglichen eine optimale Ausführung des Verfahrens. Dadurch werden genaue Positionsergebnisse erzielt und eine zuverlässige Grundlage für übergeordnete Systeme bereitgestellt.

künstliche neuronale Netzwerkmodelle

[0425] In einer weiteren Ausgestaltung des Sensorsystems umfasst die Steuervorrichtung eine Prozessoreinheit (Steuervorrichtung CTR) und ein Speichermedium (RAM, NVM), wobei der Speichermedium (RAM, NVM) vorzugsweise den Code für das computerimplementierte Verfahren unter Anwendung künstlicher neuronaler Netzwerkmodelle enthält und die Prozessoreinheit den Code aus dem Speichermedium abrufen und ausführt. Dadurch wird eine effiziente Ausführung des Verfahrens gewährleistet und ermöglicht eine schnelle und präzise Bestimmung der Lage der Spitze 30 der V-Formation oder einer funktionsäquivalenten Information.

[0426] In einer Variante des Vorschlags wird das computerimplementierte Verfahren unter Anwendung künstlicher neuronaler Netzwerkmodelle verwendet, um die Lage der V-Formation in der X-Y-Ebene basierend auf dem ersten Messparameter als X-Koordinate und dem zweiten Messparameter als Y-Koordinate zu bestimmen. Durch die Anwendung dieses Verfahrens mit möglichst wenigen Iterationen wird eine hohe Genauigkeit und Effizienz bei der Positionserfassung erreicht.

[0427] Die Steuervorrichtung des Sensorsystems hält die bestimmte Position der V-Formation, insbesondere der Spitze (30) der V-Formation, und/oder eine daraus abgeleitete Information und/oder eine funktionsäquivalente Information für die Verwendung durch ein übergeordnetes System bereit. Dadurch wird eine nahtlose Integration des Sensorsystems in ein umfassendes System ermöglicht und eine zuverlässige Informationsgrundlage für übergeordnete Prozesse geschaffen.

[0428] Das computerimplementierte Verfahren unter Anwendung künstlicher neuronaler Netzwerkmodelle ist vorzugsweise auf einem speicherbasierten Medium gespeichert, wie beispielsweise einem RAM (Random Access Memory) oder einem NVM (Non-Volatile Memory), und wird von der Prozessoreinheit der Steuervorrichtung ausgeführt. Diese Speicherung und Ausführung ermöglichen eine optimale Nutzung und Skalierbarkeit des Verfahrens.

[0429] Das Sensorsystem bietet somit eine effiziente und präzise Methode zur Bestimmung der Lage der Spitze 30 der V-Formation oder einer funktionsäquivalenten Information. Durch die Verwendung künstlicher neuronaler Netzwerkmodelle in Kombination mit dem Sensorelement und der Steuervorrichtung werden die Messparameter verwendet, um die Position präzise zu bestimmen und für die Verwendung durch ein übergeordnetes System bereitzuhalten. Dies ermöglicht eine präzise Steuerung und optimale Nutzung der V-Formation in verschiedenen Anwendungen.

[0430] Weiterhin ist das Sensorsystem flexibel und vielseitig einsetzbar, da es verschiedene Arten von speicherbasierten Medien unterstützt, wie beispielsweise Computerprogrammprodukte, Festplatten, Flash-Speicher oder andere nichtflüchtige Speichermedien. Dadurch kann das Sensorsystem an die spezifischen Anforderungen und Gegebenheiten der jeweiligen Anwendung angepasst werden.

Gradientenbasierte Optimierung

[0431] In einer weiteren Ausgestaltung des Sensorsystems wird ein computerimplementiertes Verfahren der gradientenbasierten Optimierung angewendet, um die genaue Position der Spitze 30 der V-Formation oder einer funktionsäquivalenten Position in der X-Y-Ebene zu bestimmen. Das Verfahren nutzt die Steuervorrichtung, um den nächsten Messpunkt basierend auf den ersten und zweiten Messparametern mit möglichst wenigen Iterationen zu ermitteln.

[0432] Das Sensorsystem ermöglicht eine präzise Bestimmung der Position der Spitze 30 der V-Formation oder einer funktionsäquivalenten Position durch die Verwendung des computerimplementierten Verfahrens der gradientenbasierten Optimierung. Die Steuervorrichtung stellt sicher, dass der erste und zweite Messparameter innerhalb ihrer jeweiligen Intervalle eingestellt werden, um genaue Messwerte zu erzielen. Durch die Anwendung des Verfahrens der gradientenbasierten Optimierung werden die nächsten Messpunkte mit hoher Effizienz und Genauigkeit bestimmt, wodurch eine präzise Positionserfassung ermöglicht wird.

[0433] Die Kombination aus dem Sensorelement und der Steuervorrichtung ermöglicht die genaue Bestimmung der Position der Spitze 30 der V-Formation und/oder einer funktionsäquivalenten Position. Das Sensorsystem kann die Positionsinformationen für eine Vielzahl von Anwendungen bereitstellen, wie beispielsweise in der Luftfahrt, Robotik, Logistik und Landwirtschaft.

[0434] Die Verwendung des computerimplementierten Verfahrens der gradientenbasierten Optimierung bietet zahlreiche Vorteile. Durch die Nutzung des Gradienten des Sensorelementmesswerts nach den Messparametern können genaue und effiziente Messpunkte ermittelt werden. Das Verfahren ermöglicht zudem adaptive Schritte, um die Schrittweite oder das Schrittverfahren anzupassen, was zu einer verbesserten Anpassungsfähigkeit führt. Zusätzlich können weitere Optimierungstechniken wie konjugierte Gradienten oder L-BFGS eingesetzt werden, um eine noch effizientere und genauere Bestimmung der Positionen zu erreichen.

[0435] Das Sensorsystem umfasst vorzugsweise die Steuervorrichtung umfasst einen Prozessor und einen nichtflüchtigen Speicher, der den Code für das computerimplementierte Verfahren der gradientenbasierten Optimierung enthält. Dadurch kann der Prozessor den Code abrufen und ausführen, um die Bestimmung der Positionen der V-Formation, insbesondere der Spitze (30) der V-Formation, und/oder daraus abgeleiteter Informationen und/oder funktionsäquivalenter Informationen zu ermöglichen. Die Verwendung eines nichtflüchtigen Speichermediums gewährleistet, dass der Code dauerhaft gespeichert und jederzeit abgerufen werden kann.

[0436] Die Benutzerschnittstelle des Sensorsystems ermöglicht es dem Benutzer, die Einstellungen der Messparameterintervalle anzupassen und die Ergebnisse der Positionserfassung abzurufen. Dadurch wird eine benutzerfreundliche Anpassung an unterschiedliche Anforderungen und Anwendungsszenarien ermöglicht.

[0437] Das Sensorsystem ist in der Lage, die Position der Spitze 30 der V-Formation oder einer funktionsäquivalenten Position in Echtzeit zu bestimmen und die Ergebnisse an ein übergeordnetes System zu übermitteln. Dies ermöglicht eine Echtzeitüberwachung und -verarbeitung der Positionsdaten für eine schnelle Reaktion und Entscheidungsfindung.

[0438] Zusätzlich zur Beschreibung des Sensorsystems umfasst die Patentanmeldung auch weitere Ansprüche. In einer Variante des Vorschlags kann eine computerimplementierte Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens bereitgestellt werden. Diese Vorrichtung umfasst einen Prozessor (Steuervorrichtung CTR) und einen Speicher (RAM, NVM), der den Code für das computerimplementierte Verfahren enthält und vom Prozessor (Steuervorrichtung CTR) abgerufen und ausgeführt wird.

[0439] Ein weiteres Speichermedium (RAM, NVM) kann verwendet werden, um den Code für das computerimplementierte Verfahren zu speichern. Dieses Speichermedium (RAM, NVM) wird in Verbindung mit der Steuervorrichtung des Sensorsystems verwendet.

[0440] Eine Benutzerschnittstelle ermöglicht die Einstellung der Messparameterintervalle und den Abruf der Ergebnisse der Positionserfassung. Dadurch wird dem Benutzer eine einfache Interaktion mit dem Sensorsystem ermöglicht.

[0441] Das übergeordnete System kommuniziert mit dem Sensorsystem und empfängt die Positionsergebnisse. Diese Ergebnisse können für weitere Verarbeitung oder Anzeige verwendet werden, um beispielsweise ein koordiniertes Verhalten von mehreren Sensorsystemen zu ermöglichen. Durch den Austausch von Positionsdaten zwischen den einzelnen Sensorsystemen können sie gemeinsam an einer Aufgabe arbeiten, wie zum Beispiel der Überwachung eines großen Gebiets oder der Durchführung kooperativer Prozesse und Verfahren.

[0442] Darüber hinaus bietet das Sensorsystem die Möglichkeit zur Integration mit anderen Systemen oder Plattformen. Zum Beispiel könnte es in ein Flugzeug oder eine Drohne integriert werden, um eine präzise Positionsbestimmung während des Fluges durch Nutzung des Erdmagnetfeldes zu ermöglichen. Es könnte auch in autonome Fahrzeuge integriert werden, um deren Navigation zu verbessern und Kollisionen zu vermeiden.

[0443] Das Sensorsystem könnte auch in der Landwirtschaft eingesetzt werden, um die Position von landwirtschaftlichen Geräten oder Fahrzeugen zu bestimmen und sie bei der Ausführung von Aufgaben wie dem Pflügen, Säen oder Ernten zu unterstützen. Die präzise Positionsbestimmung kann dazu beitragen, die Effizienz und Genauigkeit landwirtschaftlicher Prozesse zu verbessern.

[0444] Des Weiteren könnte das Sensorsystem in der Robotik verwendet werden, um die Position von Robotern in einer Produktionsumgebung oder in anderen Anwendungen zu erfassen. Dadurch können Roboter

präzise Aufgaben ausführen, Kollisionen vermeiden und effizient mit anderen Robotern oder menschlichen Arbeitskräften zusammenarbeiten.

[0445] Insgesamt ermöglicht das beschriebene Sensorsystem mit seinem computerimplementierten Verfahren der gradientenbasierten Optimierung eine präzise und effiziente Positionsbestimmung der V-Formation, insbesondere der Spitze (30) der V-Formation, und/oder daraus abgeleiteter Informationen und/oder funktionsäquivalenter Informationen. Durch die Integration in verschiedene Systeme und Anwendungen eröffnet es vielfältige Möglichkeiten zur Verbesserung von Prozessen, Sicherheit und Koordination.

Gradientenabstieg

[0446] In einer weiteren Ausgestaltung des Sensorsystems kommuniziert das übergeordnete System mit dem Sensorsystem und empfängt die Positionsergebnisse. Diese Ergebnisse, die die Position der unteren Spitze 30 der V-Formation in der X-Y-Ebene oder einer funktionsäquivalenten Information repräsentieren, können für weitere Verarbeitung oder Anzeige verwendet werden, um beispielsweise ein koordiniertes Verhalten von mehreren Sensorsystemen zu ermöglichen.

[0447] Das Sensorsystem nutzt ein computerimplementiertes Verfahren des Gradientenabstiegs, um mit möglichst wenigen Iterationen die Position der unteren Spitze 30 der V-Formation in der X-Y-Ebene oder einer funktionsäquivalenten Information aus erstem Messparameter als X-Koordinate und zweitem Messparameter als Y-Koordinate zu bestimmen. Das Verfahren des Gradientenabstiegs ermöglicht eine effiziente und genaue Positionsbestimmung, indem es adaptive Schritte zur Anpassung der Schrittweite oder des Schrittverfahrens verwendet. Dadurch kann der nächste Messpunkt präzise ermittelt werden.

[0448] Um die Genauigkeit und Effizienz weiter zu verbessern, können dem computerimplementierten Verfahren des Gradientenabstiegs auch weitere Optimierungstechniken wie konjugierte Gradienten oder L-BFGS (Limitedmemory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno) hinzugefügt werden. Diese Techniken tragen dazu bei, die Position der unteren Spitze 30 der V-Formation in der X-Y-Ebene oder einer funktionsäquivalenten Information noch genauer zu bestimmen.

[0449] Um die Benutzerfreundlichkeit zu erhöhen, verfügt die Steuervorrichtung über eine Benutzerschnittstelle, die es dem Benutzer ermöglicht, Einstellungen wie das erste Messparameterintervall und das zweite Messparameterintervall anzupassen. Darüber hinaus können die Ergebnisse der Positionsbestimmung über die Benutzerschnittstelle abgerufen werden.

[0450] Das Sensorsystem ist in der Lage, die Position der unteren Spitze 30 der V-Formation in der X-Y-Ebene oder einer funktionsäquivalenten Information in Echtzeit zu bestimmen und die Ergebnisse an das übergeordnete System in Echtzeit zu übermitteln. Dadurch wird eine Echtzeitüberwachung und -steuerung ermöglicht.

[0451] Zur Implementierung des beschriebenen Verfahrens ist eine computerimplementierte Vorrichtung vorgesehen, die einen Prozessor und einen Speicher umfasst. Der Speicher enthält den Code für das computerimplementierte Verfahren des Gradientenabstiegs, während der Prozessor den Code aus dem Speicher abrufen und ausführt.

[0452] Zusätzlich ist vorzugsweise ein nichtflüchtiges Speichermedium (NVM) vorgesehen, das den Code für das computerimplementierte Verfahren des Gradientenabstiegs speichert und in Verbindung mit der Steuervorrichtung des Sensorsystems verwendet wird. Dadurch kann das Verfahren auch auf andere Systeme oder Plattformen übertragen und dort genutzt werden

[0453] Die Benutzerschnittstelle ermöglicht es dem Benutzer, die Messparameterintervalle anzupassen und die Ergebnisse der Positionsbestimmung abzurufen. Dies erhöht die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit des Sensorsystems. Der Benutzer kann die Messparameterintervalle je nach den spezifischen Anforderungen und Umgebungsbedingungen anpassen, um optimale Ergebnisse zu erzielen. Der Benutzer kann eine Vorrichtung sein.

[0454] Darüber hinaus ermöglicht die Benutzerschnittstelle dem Benutzer einen bequemen Zugriff auf die ermittelten Positionsdaten der V-Formation, insbesondere der Spitze (30) der V-Formation, und/oder daraus abgeleiteter Informationen und/oder funktionsäquivalenter Informationen. Diese Informationen können für

verschiedene Zwecke genutzt werden, beispielsweise zur Überwachung und Analyse der V-Formation oder zur Integration in ein übergeordnetes System.

[0455] Die Verwendung des computerimplementierten Verfahrens des Gradientenabstiegs in Verbindung mit adaptiven Schritten und weiteren Optimierungstechniken gewährleistet eine effiziente und genaue Positionsbestimmung der V-Formation, insbesondere der Spitze (30) der V-Formation, und/oder daraus abgeleiteter Informationen und/oder funktionsäquivalenter Informationen. Durch die Anpassung der Schrittweite oder des Schrittverfahrens kann das Sensorsystem die Position mit hoher Präzision bestimmen und gleichzeitig den Berechnungsaufwand minimieren.

[0456] Die Echtzeitfähigkeit des Sensorsystems ermöglicht eine schnelle und kontinuierliche Erfassung der Positionsdaten der V-Formation, insbesondere der Spitze (30) der V-Formation, und/oder daraus abgeleiteter Informationen und/oder funktionsäquivalenter Informationen. Dies ist besonders wichtig in Anwendungen, in denen Echtzeitinformationen erforderlich sind, um beispielsweise eine reibungslose Navigation oder Koordination mehrerer Sensorsysteme zu gewährleisten.

[0457] Die Implementierung des computerimplementierten Verfahrens des Gradientenabstiegs in einer computerimplementierten Vorrichtung mit Prozessor (Steuervorrichtung CTR) und Speicher (RAM, NVM) bietet eine effiziente und flexible Lösung. Der Code für das Verfahren kann auf dem Speichermedium als Speicher (RAM, NVM) gespeichert und bei Bedarf vom Prozessor abgerufen und ausgeführt werden. Dadurch wird eine einfache Integration des Sensorsystems in bestehende Systeme oder Plattformen ermöglicht.

[0458] Das nichtflüchtige Speichermedium (NVM) dient als zuverlässige und dauerhafte Aufbewahrung des Codes für das Verfahren. Dadurch kann das Sensorsystem auch nach einem Neustart oder einem Stromausfall seine Funktionalität beibehalten und nahtlos wieder aufgenommen werden.

[0459] Insgesamt ermöglicht das Sensorsystem mit dem computerimplementierten Verfahren des Gradientenabstiegs eine präzise, effiziente und Echtzeit-Positionsbestimmung der unteren Spitze 30 der V-Formation oder einer funktionsäquivalenten Information. Die Benutzerschnittstelle, die Anpassungsmöglichkeiten und die Integration in bestehende Systeme tragen zur Vielseitigkeit und Anwendbarkeit des Sensorsystems bei. Durch die Verbesserung der Positionsbestimmung der V-Formation, insbesondere der Spitze (30) der V-Formation, und/oder daraus abgeleiteter Informationen und/oder funktionsäquivalenter Informationen in verschiedenen Anwendungsbereichen kann das Sensorsystem zu einer optimierten Leistung und Effizienz beitragen.

stochastischer Gradientenabstieg

[0460] In einer weiteren Ausgestaltung des Sensorsystems wird ein computerimplementiertes Verfahren des stochastischen Gradientenabstiegs eingesetzt, um den nächsten Messpunkt aus dem nächsten ersten und zweiten Messparameter zu bestimmen. Dadurch wird die Lage der Spitze 30 der V-Formation oder eine funktionsäquivalente Information in der X-Y-Ebene mit möglichst wenigen Iterationen ermittelt. Das Verfahren nutzt den ersten Messparameter als X-Koordinate und den zweiten Messparameter als Y-Koordinate. Die Steuervorrichtung des Sensorsystems wendet adaptive Schritte an, um die Schrittweite oder das Schrittverfahren anzupassen, was eine effiziente und genaue Positionsbestimmung ermöglicht.

[0461] Die Verwendung des stochastischen Gradientenabstiegs in Verbindung mit adaptiven Schritten ermöglicht es dem Sensorsystem, präzise Messpunkte zu bestimmen und die Position der Spitze 30 der V-Formation oder eine funktionsäquivalente Information genau zu erfassen. Durch die Anpassung der Schrittweite oder des Schrittverfahrens kann das Sensorsystem die Position mit hoher Präzision bestimmen und gleichzeitig den Berechnungsaufwand minimieren.

[0462] Die Verwendung von weiteren Optimierungstechniken wie Momentum oder Nesterov Momentum verbessert die Effizienz des stochastischen Gradientenabstiegs und trägt zu einer genaueren Positionsbestimmung bei.

[0463] Diese Techniken ermöglichen es dem Sensorsystem, schneller konvergierende Lösungen zu finden und potenzielle lokale Minima zu überwinden.

[0464] Die Steuervorrichtung des Sensorsystems ist mit einer Benutzerschnittstelle ausgestattet, die es dem Benutze, der auch eine Vorrichtung sein kann, ermöglicht, das Messparameterintervall anzupassen und die

Ergebnisse der Positionsbestimmung der V-Formation, insbesondere der Spitze (30) der V-Formation, und/oder daraus abgeleiteter Informationen und/oder funktionsäquivalenter Informationen abzurufen. Die Benutzerschnittstelle bietet interaktive Einstellungsmöglichkeiten, z. B. Schieberegler oder Eingabefelder, um das Messparameterintervall anzupassen. Darüber hinaus wird sie vorzugsweise der beabsichtigten Benutzung durch menschliche Benutzer so ausgelegt, dass sie eine grafische Benutzeroberfläche bereitstellt, die die Position der Spitze 30 der V-Formation oder die funktionsäquivalente Information auf einem Diagramm in der X-Y-Ebene visuell darstellt und die numerischen Koordinaten anzeigt.

[0465] Durch die Verwendung des computerimplementierten Verfahrens des stochastischen Gradientenabstiegs in Verbindung mit adaptiven Schritten und weiteren Optimierungstechniken gewährleistet das Sensorsystem eine effiziente und genaue Positionsbestimmung der V-Formation und/oder einer funktionsäquivalenten Information. Die Benutzerschnittstelle ermöglicht eine einfache Anpassung der Messparameterintervalle und den bequemen Zugriff auf die Ergebnisse. Diese Funktionen tragen zur Flexibilität und Anpassungsfähigkeit des Sensorsystems bei.

[0466] Das Sensorsystem kann die Position der Spitze 30 der V-Formation oder eine funktionsäquivalente Information in Echtzeit bestimmen und die Ergebnisse in Echtzeit an ein übergeordnetes System übermitteln. Dies ermöglicht eine schnelle und kontinuierliche Erfassung der Positionsdaten und ist besonders wichtig in Anwendungen, in denen Echtzeitinformationen erforderlich sind, beispielsweise für eine präzise Navigation oder die Koordination mehrerer Sensorsysteme.

Gradientenbasierte Optimierung

[0467] In einer weiteren Ausgestaltung des Sensorsystems wird eine Steuervorrichtung bereitgestellt, die in der Lage ist, einen ersten Messparameter innerhalb eines ersten Messparameterintervalls einzustellen und einen zweiten Messparameter innerhalb eines zweiten Messparameterintervalls einzustellen. Ein Sensorelement ist ebenfalls vorhanden, das abhängig von den eingestellten Messparametern einen Sensorelementmesswert liefert. Die Steuervorrichtung wendet ein computerimplementiertes Verfahren der gradientenbasierten Optimierung an, um den nächsten Messpunkt basierend auf den nächsten Messparametern zu bestimmen. Des Weiteren umfasst das Sensorsystem ein System zur Bestimmung der Position der Spitze einer V-Formation in der X-Y-Ebene oder einer funktionsäquivalenten Information, wobei die Position durch die X-Koordinate des ersten Messparameters und die Y-Koordinate des zweiten Messparameters definiert ist. Eine Speichervorrichtung dient dazu, die bestimmte Position der V-Formation oder der funktionsäquivalenten Information für die Verwendung durch ein übergeordnetes System bereitzuhalten. Zudem gibt es eine Benutzerschnittstelle, die es ermöglicht, die Messparameterintervalle einzustellen und die Ergebnisse der Position der V-Formation oder der funktionsäquivalenten Information abzurufen. Dabei kann eine Vorrichtung ein benutzer sein.

[0468] In einer Variante des Vorschlags kann eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß dem vorausgehenden Abschnitt bereitgestellt werden. Diese Vorrichtung umfasst einen Prozessor (Steuervorrichtung CTR) zur Ausführung des computerimplementierten Verfahrens der gradientenbasierten Optimierung und zur Steuerung des Sensorsystems. Des Weiteren ist ein Speicher vorhanden, der den Code für das computerimplementierte Verfahren und die erforderlichen Daten speichert. Ein nichtflüchtiges Speichermedium wird in Verbindung mit der Steuervorrichtung des Sensorsystems verwendet, um den Code für das Verfahren und die erforderlichen Daten zu speichern.

[0469] Die Steuervorrichtung des Sensorsystems kann in einer Ausführungsform eine adaptive Schrittweitanpassung im Rahmen des computerimplementierten Verfahrens der gradientenbasierten Optimierung durchführen, um die Konvergenz des Verfahrens zu verbessern. In einer anderen Ausführungsform kann die Steuervorrichtung eine Schrittverfahrensanpassung im Rahmen des Verfahrens durchführen, um die Effizienz zu optimieren. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass die Steuervorrichtung eine adaptive Anpassung der Messparameterintervalle basierend auf dem Verlauf des gradientenbasierten Optimierungsverfahrens durchführt, um die Suche nach der Position der V-Formation zu beschleunigen.

[0470] Das Sensorelement und/oder das Sensorsystem können eine Rauschunterdrückungsfunktion aufweisen, um Störeinflüsse auf die Messwerte zu reduzieren und die Genauigkeit der Bestimmung der Position der V-Formation zu verbessern. Die Benutzerschnittstelle kann zusätzlich eine Visualisierung der Position der V-Formation auf der X-Y-Ebene ermöglichen, um dem Benutzer eine intuitive Darstellung der ermittelten Position zu bieten. Die Speichervorrichtung kann weitere Informationen über die V-Formation speichern, um eine umfassende Charakterisierung zu ermöglichen.

[0471] Das computerimplementierte Verfahren der gradientenbasierten Optimierung kann verschiedene Optimierungstechniken verwenden, um den nächsten Messpunkt basierend auf den nächsten Messparametern zu bestimmen. Beispiele für solche Techniken sind das steepest-descent-Verfahren oder das Newton-Verfahren. Die Auswahl der geeigneten Optimierungstechnik kann von den spezifischen Anforderungen des Sensorsystems abhängen.

[0472] Die Bestimmung der Position der Spitze einer V-Formation in der X-Y-Ebene oder einer funktionsäquivalenten Information kann in verschiedenen Anwendungen nützlich sein. Zum Beispiel könnte das Sensorsystem in der Luftfahrt eingesetzt werden, um die Position einer Flugzeugformation zu bestimmen. In der Robotik könnte es verwendet werden, um die Position eines Roboters zu ermitteln. Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig und hängen von den spezifischen Anforderungen des jeweiligen Systems ab.

[0473] Insgesamt bietet das vorgeschlagene Sensorsystem mit dem computerimplementierten Verfahren der gradientenbasierten Optimierung eine effiziente und präzise Methode zur Bestimmung der Position einer V-Formation. Durch die Integration von Funktionen wie Rauschunterdrückung, Visualisierung und Speicherung wird eine umfassende Charakterisierung der V-Formation ermöglicht. Dies kann zu einer verbesserten Steuerung, Überwachung oder Analyse in verschiedenen Anwendungsbereichen führen.

Simulated Annealing

[0474] Das Sensorsystem umfasst eine Steuervorrichtung, die dazu dient, einen ersten Messparameter innerhalb eines ersten Messparameterintervalls und einen zweiten Messparameter innerhalb eines zweiten Messparameterintervalls einzustellen. Ein Sensorelement ermittelt einen Sensorelementmesswert in Abhängigkeit von den eingestellten Messparametern. Das Sensorsystem ist vorzugsweise in der Lage, Messpunkte im kartesischen Koordinatensystem zu bilden, wobei der erste Messparameter die x-Koordinate auf der x-Achse und der zweite Messparameter die y-Koordinate auf der y-Achse bestimmt und der Sensorelementmesswert die z-Koordinate auf der z-Achse bestimmt.

[0475] Des Weiteren kann das Sensorsystem die Position 30 der unteren Spitze einer V-Formation auf der X-Y-Ebene oder eine funktionsäquivalente Information, die aus dem ersten Messparameter als X-Koordinate und dem zweiten Messparameter als Y-Koordinate abgeleitet werden kann, bestimmen und ausgeben.

[0476] Für die Bestimmung der Position 30 der unteren Spitze der V-Formation oder der funktionsäquivalenten Information wird von der Steuervorrichtung das computerimplementierte Verfahren des Simulated Annealings angewendet. Dieses Verfahren ermöglicht es, den nächsten Messpunkt basierend auf den nächsten Messparametern zu bestimmen, um die Position 30 der unteren Spitze der V-Formation oder der funktionsäquivalenten Information mit möglichst wenigen Iterationen zu bestimmen. Die berechnete Position 30 der unteren Spitze der V-Formation oder der funktionsäquivalenten Information wird dann für die Verwendung durch ein übergeordnetes System bereitgehalten.

[0477] Zusätzlich zu den oben genannten Merkmalen umfasst das Sensorsystem weitere funktionale Eigenschaften und Vorteile. Eine Kommunikationsschnittstelle des Sensorsystems (z.B. eine Datenschnittstelle) ermöglicht die Übertragung der ermittelten Position 30 der unteren Spitze der V-Formation oder der funktionsäquivalenten Information an das übergeordnete System. Eine Speichereinheit in der Steuervorrichtung enthält ein Speichermedium, auf dem das computerimplementierte Verfahren des Simulated-Annealings gespeichert ist. Eine Datenanalyseeinheit (z.B. als Teil der Steuervorrichtung CTR und/oder Mustererkennungsvorrichtung MEV) führt eine Analyse der erfassten Sensorelementmesswerte und/oder des Filterausgangssignals (S4) durch, um Muster oder Strukturen zu erkennen und die Bestimmung der Position 30 der unteren Spitze der V-Formation oder der funktionsäquivalenten Information zu verbessern.

[0478] Die Benutzerschnittstelle ermöglicht es einem Benutzer, Eingaben für die Anpassung der Messparameter und die Steuerung des Verfahrens des Simulated-Annealings vorzunehmen. Der Benutzer kann eine Vorrichtung sein. Eine Kalibrierungseinheit (z.B. als Teil der Steuervorrichtung CTR und/oder Mustererkennungsvorrichtung MEV) ermöglicht es, das Sensorsystem basierend auf bekannten Referenzwerten zu kalibrieren und eine genaue Bestimmung der Position 30 der unteren Spitze der V-Formation oder der funktionsäquivalenten Information sicherzustellen.

[0479] Durch die Verwendung einer hochauflösenden Sensorik im Sensorelement werden präzise Sensorelementmesswerte geliefert, was zu einer genauen Bestimmung der Position 30 führt. Dies ermöglicht eine

präzise Lokalisierung der unteren Spitze der V-Formation oder eine genaue Bestimmung der funktionsäquivalenten Information.

Nelder-Mead-Algorithmus

[0480] In einer weiteren Ausgestaltung des Sensorsystems erfolgt die Einstellung eines ersten Messparameters innerhalb eines ersten Messparameterintervalls und eines zweiten Messparameters innerhalb eines zweiten Messparameterintervalls durch eine Steuervorrichtung. Durch ein Sensorelement wird ein Sensorelementmesswert für einen eingestellten Messpunkt basierend auf dem ersten Messparameter und dem zweiten Messparameter ermittelt. Der Messwert des Sensorelements wird in ein dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem eingetragen, wobei die x-Koordinate auf der x-Achse durch den ersten Messparameter und die y-Koordinate auf der y-Achse durch den zweiten Messparameter bestimmt werden. Die z-Koordinate auf der z-Achse wird durch den Messwert des Sensorelements bestimmt. Eine Positionserkennungseinheit erkennt, dass die Maxima des Betrags des Gradienten des Messwerts des Sensorelements nach der x-Koordinate und der y-Koordinate eine V-Formation auf der X-Y-Ebene mit einer Spitze 30 dieser V-Formation ergeben. Die Aufgabe des Sensorsystems besteht darin, die Position 30 dieser unteren Spitze dieser V-Formation in der X-Y-Ebene und/oder eine funktionsäquivalente Information zu bestimmen und auszugeben.

[0481] Gemäß einer Ausprägung des Sensorsystems gemäß dem vorausgehenden Abschnitt wird die Steuervorrichtung den Nelder-Mead-Algorithmus, ein computerimplementiertes Verfahren, zur Bestimmung des nächsten Messpunkts aus einem nächsten ersten Messparameter und einem nächsten zweiten Messparameter anwenden. Dadurch wird die Position 30 dieser unteren Spitze dieser V-Formation in der X-Y-Ebene und/oder eine funktionsäquivalente Information berechnet und für die Verwendung durch ein übergeordnetes System bereitgestellt. Der Nelder-Mead-Algorithmus ist eine heuristische Optimierungsmethode, die auf einem iterativen Prozess zur Anpassung der Messparameter basiert, um die Position 30 dieser unteren Spitze dieser V-Formation in der X-Y-Ebene und/oder die funktionsäquivalente Information mit möglichst wenigen Iterationen zu bestimmen. Dies ermöglicht eine effiziente und genaue Positionserkennung.

[0482] Die Steuervorrichtung des Sensorsystems kann auch ein gesondertes Speichermedium umfassen, wobei das Speichermedium die aktuellen Werte des ersten Messparameters, des zweiten Messparameters und des Sensorelementmesswerts speichert. Dadurch wird der Nelder-Mead-Algorithmus iterativ durchgeführt, um die Position 30 dieser unteren Spitze dieser V-Formation in der X-Y-Ebene und/oder eine funktionsäquivalente Information zu bestimmen.

[0483] Zur Überprüfung der Konvergenz der Berechnung der Position 30 dieser unteren Spitze dieser V-Formation in der X-Y-Ebene und/oder der funktionsäquivalenten Information kann die Steuervorrichtung eine Konvergenzkriteriumsprüfung durchführen und die Iterationen des Nelder-Mead-Algorithmus entsprechend beenden. Dadurch wird sichergestellt, dass die Positionserkennung zuverlässig und präzise erfolgt.

[0484] Um Fehler in den Messungen des Sensorelements zu erkennen und zu korrigieren, kann die Steuervorrichtung ein Fehlererkennungs- und Korrekturverfahren verwenden. Dieses Verfahren ermöglicht es, Fehler in den Messungen des Sensorelements zu identifizieren und zu beheben.

[0485] Das Fehlererkennungs- und Korrekturverfahren kann verschiedene Techniken umfassen, je nach den spezifischen Anforderungen des Systems. Eine Möglichkeit besteht darin, die erfassten Daten mit vordefinierten Schwellenwerten zu vergleichen. Wenn die Messwerte außerhalb der erwarteten Grenzen liegen, wird ein Fehler erkannt. In solchen Fällen kann die Steuervorrichtung geeignete Korrekturmaßnahmen ergreifen, um die Genauigkeit der Positionserkennung zu verbessern.

[0486] Eine andere Möglichkeit besteht darin, statistische Methoden zur Fehlererkennung und -korrektur anzuwenden. Hierbei werden die Messwerte analysiert, um Abweichungen und Anomalien zu identifizieren. Basierend auf diesen Erkenntnissen kann die Steuervorrichtung Fehlerkorrekturen durchführen, indem sie beispielsweise die Datenfilterung anpasst oder die Messwerte neu berechnet.

[0487] Darüber hinaus kann die Steuervorrichtung auch auf Redundanz setzen, indem sie mehrere Sensorelemente verwendet. Durch den Vergleich der Messwerte der verschiedenen Sensorelemente kann die Vorrichtung Fehler erkennen und korrigieren, indem sie beispielsweise Ausreißerwerte eliminieren oder den Durchschnitt der Messungen verwendet.

[0488] Insgesamt dient die Fehlererkennungs- und Korrekturfunktion dazu, die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Positionserkennung zu gewährleisten. Indem potenzielle Fehler erkannt und korrigiert werden, kann die Steuervorrichtung eine präzise Bestimmung der Position der unteren Spitze der V-Formation in der X-Y-Ebene oder der funktionsäquivalenten Information ermöglichen.

Partikelschwarmoptimierung (PSO)

[0489] In einer weiteren Ausgestaltung des Sensorsystems wird das computerimplementierte Verfahren der Partikelschwarmoptimierung (PSO) angewendet, um den nächsten Messpunkt aus dem nächsten ersten Messparameter und dem nächsten zweiten Messparameter zu bestimmen. Dabei simuliert die Steuervorrichtung eine Gruppe von Partikeln im mehrdimensionalen Suchraum, wobei jedes Partikel einen Satz von Messparametern repräsentiert. Die Partikel suchen nach dem Optimum der V-Formation, wobei die Position 30 der unteren Spitze der V-Formation in der X-Y-Ebene und/oder eine funktionsäquivalente Information aus dem ersten Messparameter als X-Koordinate und dem zweiten Messparameter als Y-Koordinate maximiert wird.

[0490] Das computerimplementierte Verfahren der Partikelschwarmoptimierung (PSO) verwendet eine Aktualisierungsfunktion für die Partikelpositionen, bei der die Partikel ihre Position basierend auf ihren aktuellen Positionen, ihren individuellen besten Positionen und den besten Positionen anderer Partikel aktualisieren. Dies führt zu einer Konvergenz zum Optimum der V-Formation und ermöglicht eine präzise Positionsermittlung.

[0491] Um eine zu schnelle Konvergenz oder ein Verlassen des Suchraums zu verhindern und eine umfassende Erkundung des Suchraums zu gewährleisten, wendet das computerimplementierte Verfahren der PSO verschiedene Geschwindigkeits- und Bewegungseinschränkungen für die Partikel an.

[0492] Das PSO-Verfahren verwendet ein vordefiniertes Abbruchkriterium, um den Suchprozess zu beenden. Dies kann geschehen, wenn eine bestimmte Anzahl von Iterationen erreicht ist oder eine vordefinierte Genauigkeit der Ermittlung der Position 30 der unteren Spitze der V-Formation in der X-Y-Ebene und/oder der funktionsäquivalenten Information erreicht wurde. Dadurch wird eine effiziente und genaue V-Formationserkennung gewährleistet.

[0493] Um eine effiziente und genaue V-Formationserkennung zu ermöglichen, verwendet das computerimplementierte Verfahren der PSO eine adaptive Parameteranpassung. Die Steuervorrichtung passt die Parameter des PSO-Verfahrens basierend auf dem Fortschritt des Suchprozesses und der Qualität der ermittelten Position 30 der unteren Spitze der V-Formation in der X-Y-Ebene und/oder der ermittelten funktionsäquivalenten Information an.

[0494] Das PSO-Verfahren enthält eine stochastische Komponente, die zufällige Schwankungen in den Partikelpositionen einführt. Dadurch wird eine breitere Exploration des Suchraums ermöglicht und das Risiko von lokalen Optima verringert.

[0495] Um eine schnellere Konvergenz und eine bessere Positionsermittlung zu erreichen, passt die Steuervorrichtung die Schrittweite der Partikel basierend auf der Konvergenzgeschwindigkeit und dem Fortschritt des Suchprozesses an. Dadurch wird eine effektive und effiziente Suche im Suchraum ermöglicht.

[0496] Um eine höhere Genauigkeit der Positionsermittlung zu erzielen, führen die Partikel in der Nähe vielversprechender Positionen 30 der unteren Spitze der V-Formation in der Mitte der V-Formation eine enge Spiralbewegung aus. Diese Spirale ermöglicht es den Partikeln, ihre Positionen feiner anzupassen und eine genauere Erfassung der Zielposition zu ermöglichen. Währenddessen halten die äußeren Partikel ihre Positionen stabil, um die Form der V-Formation beizubehalten und die Stabilität des Schwarmes zu gewährleisten.

[0497] Durch diese Kombination aus enger Spiralbewegung und Beibehaltung der V-Formation können die Partikel ihre Positionen kontinuierlich verbessern und die Zielverfolgungsgenauigkeit erhöhen. Darüber hinaus ermöglicht die enge Zusammenarbeit innerhalb des Schwarmes eine effektive Informationsübertragung zwischen den Partikeln, was zu einer optimierten Positionsermittlung führt.

[0498] Das Verhalten der Partikel in der V-Formation ist ein Beispiel für ein kooperatives Verhalten, das in der Schwarmintelligenz häufig beobachtet wird. Durch die Zusammenarbeit und Kommunikation innerhalb

des Schwarms können komplexe Aufgaben effizienter und genauer gelöst werden. Dieses Prinzip wird in verschiedenen Bereichen wie Robotik, Optimierungsalgorithmen und künstlicher Intelligenz angewendet, um vielfältige Probleme zu lösen und innovative Lösungen zu finden.

Genetische Algorithmen

[0499] In einer Ausprägung des vorgeschlagenen Sensorsystems zur Bestimmung der Position 30 der Spitze einer V-Formation in einer X-Y-Ebene oder einer funktionsäquivalenten Information werden folgende Komponenten verwendet:

Das Sensorsystem umfasst ein Sensorelement, das Messwerte abhängig von einem ersten und einem zweiten Messparameter erfasst. Ein Paar aus erstem und zweitem Messparameter bildet jeweils einen Messpunkt. Um die Messparameter innerhalb vordefinierter Messparameterintervalle einzustellen, wird eine Steuervorrichtung verwendet.

[0500] Ein computerimplementiertes Verfahren, das vorzugsweise computerimplementiert genetische Algorithmen nutzt, kommt zum Einsatz, um den nächsten Messpunkt basierend auf dem nächsten ersten und zweiten Messparameter zu bestimmen. Dieses Verfahren ermöglicht eine effiziente Positionsbestimmung der Spitze der V-Formation oder einer funktionsäquivalenten Information.

[0501] Eine Ausgabereinheit dient vorzugsweise dazu, die Position 30 der Spitze der V-Formation in der X-Y-Ebene oder der funktionsäquivalenten Information bereitzustellen. Dabei wird vorzugsweise der erste Messparameter als X-Koordinate und der zweite Messparameter als Y-Koordinate verwendet. Diese Informationen können von einem übergeordneten System genutzt werden.

[0502] Das computerimplementierte Verfahren nutzt vorzugsweise ein Speichermedium (RAM, NVM) zur Speicherung der Daten, Parameter und Zwischenergebnisse des genetischen Algorithmus. Durch die Anwendung des genetischen Algorithmus wird die Position der Spitze der V-Formation oder der funktionsäquivalenten Information mit möglichst wenigen Iterationen bestimmt. Dabei werden die Messparameter durch den genetischen Algorithmus optimiert, um eine effiziente Positionsbestimmung zu gewährleisten.

[0503] Das Sensorsystem weist vorzugsweise eine Datenschnittstelle zur Kommunikation der Steuervorrichtung (CTR) mit dem übergeordneten System auf, um die Position 30 der Spitze der V-Formation in der X-Y-Ebene oder der funktionsäquivalenten Information bereitzustellen.

[0504] Das Sensorelement des Sensorsystems ist vorzugsweise ein neuartiges und erfinderisches Element, das den Messwert in Abhängigkeit von den Messparametern mit einem guten Cpk-Wert in der Serienproduktion ermittelt und liefert. Dies ermöglicht eine präzise Positionsbestimmung der Spitze der V-Formation in der X-Y-Ebene oder der funktionsäquivalenten Information.

[0505] Das computerimplementierte Verfahren der genetischen Algorithmen verwendet vorzugsweise eine Mehrpunkt-Suche, bei der mehrere Messpunkte gleichzeitig im Suchraum erkundet werden. Dadurch wird die Effizienz des Verfahrens zur Positionsbestimmung der V-Formation gesteigert.

[0506] Das Sensorsystem verfügt über vorzugsweise eine Fehlererkennungsfunktion und Fehlerkorrekturfunktion, die es ermöglicht, Messfehler, Ausreißer oder Störungen im Messprozess zu identifizieren und zu eliminieren. Dadurch wird eine präzise Positionsbestimmung gewährleistet.

[0507] Zusätzlich bietet das Sensorsystem eine Datensicherungsfunktion, um die gespeicherten Daten langfristig zu sichern, zu archivieren oder wiederherzustellen und somit die Integrität der Messdaten zu gewährleisten.

[0508] Das Sensorsystem ist vorzugsweise erweiterbar und kann vorzugsweise um zusätzliche Komponenten oder Funktionen ergänzt werden, um den Anforderungen und Bedürfnissen der Benutzer gerecht zu werden. Mögliche Erweiterungen umfassen:

Zusätzliche Sensoren: Je nach Anwendungsbereich können weitere Sensoren hinzugefügt werden, um zusätzliche Daten zu erfassen. Beispielsweise könnten Temperatursensoren, Feuchtigkeitssensoren oder Luftqualitätssensoren integriert werden, um umfassendere Umweltinformationen zu liefern.

Kommunikationsmodule: Um die Konnektivität des Sensorsystems zu verbessern, können Kommunikationsmodule wie WLAN, Bluetooth oder Mobilfunktechnologien integriert werden. Dadurch können die gesammelten Daten drahtlos an andere Geräte oder Cloud-Dienste übertragen werden.

Datenanalyse und -verarbeitung: Durch die Integration von leistungsstarker Software kann das Sensorsystem Daten in Echtzeit mittels computerimplementierter Verfahren analysieren und verarbeiten. Dies ermöglicht eine sofortige Reaktion auf bestimmte Ereignisse oder die Durchführung komplexer computerimplementierter Algorithmen zur Extraktion wertvoller Informationen.

Energieeffizienz: Um die Batterielebensdauer einer batteriegestützten Energieversorgung des Sensorsystems zu verlängern, kann das Sensorsystem mit energieeffizienten Komponenten ausgestattet werden. Dies umfasst beispielsweise den Einsatz von Low-Power-Mikrocontrollern, intelligentem Energiemanagement und Energierückgewinnungstechnologien.

Benutzerschnittstellen: Um die Bedienung und Interaktion mit dem Sensorsystem zu verbessern, können zusätzliche Benutzerschnittstellen implementiert werden. Dies könnte die Integration von Touchscreens, Sprachsteuerung oder Fernbedienungen umfassen, um eine intuitive Steuerung zu ermöglichen.

[0509] Diese Erweiterungsmöglichkeiten machen das Sensorsystem flexibel und anpassungsfähig für verschiedene Anwendungsszenarien. Benutzer können die Funktionen des Systems erweitern, um ihre spezifischen Anforderungen zu erfüllen und von den vielseitigen Möglichkeiten des Sensorsystems zu profitieren.

Bayes'sche Optimierung

[0510] In einer Variante des vorgeschlagenen Sensorsystems wird die Position 30 der unteren Spitze einer V-Formation in einer X-Y-Ebene oder einer funktionsäquivalenten Information bestimmt. Das Sensorsystem umfasst eine Steuervorrichtung zur Einstellung eines ersten Messparameters innerhalb eines ersten Messparameterintervalls und eines zweiten Messparameters innerhalb eines zweiten Messparameterintervalls. Ein Paar aus einem ersten Messparameter und einem zweiten Messparameter bildet einen Messpunkt. Ein Sensorelement erfasst einen Sensorelementmesswert abhängig von den eingestellten Messpunkten. Der Sensorelementmesswert wird in vorzugsweise ein virtuelles, dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem eingetragen. Die x-Koordinate wird durch den ersten Messparameter, die y-Koordinate durch den zweiten Messparameter und die z-Koordinate durch den Sensorelementmesswert bestimmt.

[0511] Um die Position 30 der unteren Spitze der V-Formation oder einer funktionsäquivalenten Information zu bestimmen, verwendet beispielsweise das Sensorsystem eine Bayes'sche Optimierungsfunktion. Diese Funktion implementiert ein computerimplementiertes Verfahren, um den nächsten Messpunkt aus einem nächsten ersten Messparameter und einem nächsten zweiten Messparameter zu bestimmen. Eine Positionserfassungseinheit (Mustererkennungsvorrichtung MEV, Steuervorrichtung CTR) bestimmt dann die Position 30 der unteren Spitze der V-Formation oder einer funktionsäquivalenten Information aus dem bestimmten Messpunkt. Zusätzlich stellt eine Speichermediumfunktion (RAM, NVM) die Position 30 der unteren Spitze der V-Formation oder einer funktionsäquivalenten Information für die Verwendung durch ein übergeordnetes System bereit.

[0512] Die Bayes'sche Optimierungsfunktion des Sensorsystems minimiert die Anzahl der Iterationen, die zur Bestimmung der Position 30 der unteren Spitze der V-Formation in der X-Y-Ebene oder der funktionsäquivalenten Information erforderlich sind. Dadurch wird die Effizienz des Verfahrens gesteigert und eine schnellere Positionserfassung ermöglicht.

[0513] Das Sensorsystem kann auch als Computerprogrammproduktfunktion ausgeführt werden, das ein computerlesbares Programm bereitstellt, das die Bayes'sche Optimierungsfunktion zur Bestimmung des nächsten Messpunkts implementiert. Dadurch wird die Flexibilität des Systems erhöht und eine einfache Aktualisierung oder Erweiterung der Funktionen ermöglicht.

[0514] Eine drahtlose und/oder drahtgebundene Kommunikationsschnittstellenfunktion beispielsweise mittels einer Datenschnittstelle ermöglicht die Übertragung von Daten oder Informationen zwischen dem Sensorsystem und anderen Geräten oder Systemen. Dies ermöglicht eine nahtlose Integration des Sensorsystems in bestehende Netzwerke oder Systeme.

[0515] Das Sensorsystem umfasst eine Prozessoreinheit (Steuervorrichtung CTR) und ein Speichermedium (RAM, NVM), um die Ausführung des computerimplementierten Verfahrens und die Speicherung von Daten

zu ermöglichen. Dadurch wird eine effiziente Verarbeitung und Speicherung der erfassten Messdaten und Ergebnisse gewährleistet.

[0516] Eine typischerweise computerimplementierte Fehlererkennungsfunktion und Fehlerkorrekturfunktion ist vorzugsweise im Sensorsystem integriert, um Messfehler, Ausreißer oder Störungen im Messprozess zu identifizieren und zu eliminieren. Dadurch wird die Genauigkeit der Positionserfassung verbessert und zuverlässige Ergebnisse erzielt.

[0517] Zur Sicherung und langfristigen Aufrechterhaltung der Datenintegrität verfügt das Sensorsystem vorzugsweise über einen Speichermechanismus, der die erfassten Messdaten protokolliert und sicher in einem Speicher (RAM, NVM) ablegt. Dadurch wird gewährleistet, dass die Messergebnisse auch nach der Erfassung vor Verlust oder Beschädigung geschützt sind.

[0518] Darüber hinaus ist das Sensorsystem vorzugsweise mit einer Kalibrierungsfunktion ausgestattet, die bevorzugt regelmäßig durchgeführt wird, um die Messgenauigkeit aufrechtzuerhalten. Dabei werden interne Referenzwerte verwendet, um eventuelle Abweichungen oder Drifts zu erkennen und zu korrigieren. Durch diese regelmäßige Kalibrierung wird eine hohe Präzision und Zuverlässigkeit der Positionserfassung gewährleistet.

[0519] Ein weiteres Merkmal des Sensorsystems ist vorzugsweise die Integration einer Echtzeitüberwachungsfunktion. Diese ermöglicht eine kontinuierliche Überwachung der Sensordaten während des Messprozesses. Abweichungen oder Anomalien werden sofort erkannt und können schnell behoben werden, um eine unterbrechungsfreie und zuverlässige Erfassung der Positionsinformationen sicherzustellen.

[0520] Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Sensorsystem durch die Integration einer Fehlererkennungsfunktion und Fehlerkorrekturfunktion, eines Speichermechanismus, einer Kalibrierungsfunktion und einer Echtzeitüberwachungsfunktion eine präzise, zuverlässige und sichere Positionserfassung ermöglicht. Diese Funktionen tragen dazu bei, Messfehler zu identifizieren, zu eliminieren und die Genauigkeit der Positionsinformationen zu verbessern, was wiederum zuverlässige Ergebnisse liefert.

Sonstiges

[0521] Die obige Beschreibung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und beschränkt diese Offenbarung nicht auf die gezeigten Beispiele. Andere Variationen zu den offengelegten Beispielen können von denjenigen, die über gewöhnliche Fachkenntnisse auf dem Gebiet verfügen, anhand der Zeichnungen, der Offenbarung und der Ansprüche verstanden und ausgeführt werden. Die unbestimmten Artikel „ein“ oder „eine“ und dessen Flexionen schließen eine Vielzahl nicht aus, während die Erwähnung einer bestimmten Anzahl von Elementen nicht die Möglichkeit ausschließt, dass mehr oder weniger Elemente vorhanden sind. Eine einzige Einheit kann die Funktionen mehrerer in der Offenbarung genannter Elemente erfüllen, und umgekehrt können mehrere Elemente die Funktion einer Einheit erfüllen. Zahlreiche Alternativen, Äquivalente, Variationen und Kombinationen sind möglich, ohne dass der Anwendungsbereich der vorliegenden Offenbarung verlassen wird.

[0522] Soweit nichts anders angegeben ist, können sämtliche Merkmale der vorliegenden Erfindung frei miteinander kombiniert werden. Dies betrifft die gesamte hier vorgelegte Schrift. Auch die in der Figurenbeschreibung beschriebenen Merkmale können, soweit nichts anderes angegeben ist, als Merkmale der Erfindung frei mit den übrigen Merkmalen kombiniert werden. Eine Beschränkung einzelner Merkmale der Ausführungsbeispiele auf die Kombination mit anderen Merkmalen der Ausführungsbeispiele ist dabei ausdrücklich nicht vorgesehen. Außerdem können gegenständliche Merkmale der Vorrichtung umformuliert auch als Verfahrensmerkmale Verwendung finden und Verfahrensmerkmale umformuliert als gegenständliche Merkmale der Vorrichtung. Eine solche Umformulierung ist somit automatisch mit offenbart.

[0523] In der vorausgehenden detaillierten Beschreibung wird auf die beigefügten Zeichnungen verwiesen. Die Beispiele in der Beschreibung und den Zeichnungen sollten als illustrativ betrachtet werden und sind nicht als einschränkend für das beschriebene spezifische Beispiel oder Element zu betrachten. Aus der vorausgehenden Beschreibung und/oder den Zeichnungen und/oder den Ansprüchen können durch Abänderung, Kombination oder Variation bestimmter Elemente mehrere Beispiele abgeleitet werden. Darüber hinaus können Beispiele oder Elemente, die nicht wörtlich beschrieben sind, von einer fachkundigen Person aus der Beschreibung und/oder den Zeichnungen abgeleitet werden.

Liste der Figuren

Fig. 1 zeigt beispielhaft und schematisch vereinfacht ein beispielhaftes, vorschlagsgemäßes System einer Anwendungsvorrichtung entsprechend dem zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors.

Fig. 2 zeigt einen Lichtwellenleiter LWL mit einem Sensorelement SE direkt auf dem Zentrum MP des Kerns des Lichtwellenleiters LWL.

Fig. 3 zeigt einen Motor einer Anwendungsvorrichtung entsprechend dem zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors, wie ihn **Fig. 1** schematisch vereinfacht skizziert, wobei zusätzlich zu dem Lichtwellenleiter LWL mit dem Sensorelement SE, der über die besagte Öffnung OF in den Motor hineinreicht und der mit der mechanischen Hülle MH umhüllt ist, die Aufhängung des Motors einen Positionssensor POS mit einer LED und einer Fotodiode aufweist, die das Positionssignal POSS mit Hilfe einer Markierung MRK auf dem Rotorgehäuse GHR erzeugt.

Fig. 4 zeigt das von dem Lock-In-Verstärker LIV erzeugte Filterausgangssignal S4 als Flussdichtemesssignal und das Positionssignal POSS des Positionsdetektors POS der **Fig. 3**.

Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch das beispielhafte erste Ende ELWL1 eines vorschlagsgemäßen Lichtwellenleiters LWL.

Fig. 6 zeigt beispielhaft und schematisch vereinfacht ein beispielhaftes, vorschlagsgemäßes Materialmesssystem mit einem vorschlagsgemäßen Sensorkopf SK.

Fig. 7 zeigt einen Sensorkopf SK mit der mechanischen Hülle des Lichtwellenleiters LWL, der durch die mechanische Hülle MH verdeckt ist.

Fig. 8 zeigt den Sensorkopf SK der **Fig. 7** in der Aufsicht (**Fig. 8a**) und in der Seitenansicht (**Fig. 8b**) als Schnittbild.

Fig. 9 zeigt die Schritte des Verfahrens zur Herstellung eines vorschlagsgemäßen Sensorkopfes SK und dessen Verwendung.

Fig. 10 zeigt ein beispielhaftes Werkstück aus einem ferromagnetischen Material FM in der Aufsicht.

Fig. 11 zeigt einen beispielhaften Werteverlauf des erhaltenen Messsignals S4 in Abhängigkeit von der Position x des Sensorkopfes SK auf der Oberfläche OF des Werkstücks der **Fig. 11a** dargestellt.

Fig. 12 zeigt die Vorrichtung mit aufgesetztem Deckel zum lichtdichten Verschluss des Gehäuses 8.

Fig. 13 entspricht der **Fig. 11**, wobei die beispielhafte Vorrichtung nun aus einem anderen Winkel dargestellt ist.

Fig. 14 zeigt die Vorrichtung im Querschnitt.

Fig. 15 zeigt einen beispielhaften, nicht maßstabgerechten Querschnitt durch die Sensorschicht 5.

Fig. 16 zeigt eine typische Nutzungssituation, wobei der Magnetfeldkamerakopf 21 vorzugsweise auf der Oberfläche 34 des jeweiligen Messobjekts mit der Unterseite 24 des Gehäuses 8 aufgesetzt ist.

Fig. 17 zeigt das System der **Fig. 14** vereinfacht mit den Ansteuer- und Auswertevorrichtungen als Blockdiagramm.

Fig. 18 zeigt eine Zeichnung auf Basis eines beispielhaften Fotos eines beispielhaften, bei der Ausarbeitung des hier vorgelegten Vorschlags erstellten Sensorkopfes 21 mit abgenommenen Deckel.

Fig. 19a zeigt eine Zeichnung auf Basis eines beispielhaften Fotos eines beispielhaften, bei der Ausarbeitung des hier vorgelegten Vorschlags erstellten Sensorkopfes 21 mit abgenommenen Deckel.

Fig. 19b entspricht im Wesentlichen der **Fig. 19a** und zeigt den gleichen Magnetfeldkamerakopf 21 aus einer etwas anderen Perspektive.

Fig. 20 zeigt eine Zeichnung des Prototypen mit aufgesetztem Deckel. Der Innenraum des Gehäuses 8 des Magnetfeldkamerakopf 21 ist dann lichtdicht verschlossen.

Fig. 22 zeigt oben das muster-kodierte Magnetflussdichtenbetragsbild 39 der Verteilung der magnetischen Flussdichte von vier Permanentmagneten 37 auf einer Glasplatte 38 in willkürlichen Einheiten.

Fig. 23 zeigt eine Darstellung für vier magnetisierte Ringe.

Beschreibung der Figuren

[0524] Die Figuren erläutern den Vorschlag schematisch und vereinfacht. Die Offenlegung der hier vorgelegten Schrift ist nicht auf die Figuren begrenzt und umfasst auch andere Kombinationen.

Figur 1

[0525] Fig. 1 zeigt beispielhaft und schematisch vereinfacht ein beispielhaftes, vorschlagsgemäßes System. Der Motor umfasst das Stator-Gehäuse GH. An dem Stator-Gehäuse GH ist der magnetische Stator-Kreis befestigt. Der magnetische Stator-Kreis kann beispielsweise einen ferrit-Körper umfassen. Der Motor umfasst des Weiteren die Stator-Spulenwicklungen SL. Der Motor umfasst außerdem die Achse AX, die der Stator vorzugsweise drehbar lagert. Bevorzugt ist die Achse AX um die Längsachse der Achse drehbar im Stator gelagert. Bevorzugt ist die Achse AX gegen Verschiebungen längs der Längsachse der Achse AX gesichert. An der Achse AX ist bevorzugt ein Rotor-Gehäuse GHR befestigt. An dem Rotor-Gehäuse und/oder der Achse AX ist bevorzugt ein magnetischer Rotorkreis RMK befestigt. Bevorzugt umfasst der magnetische Rotorkreis RMK ein ferromagnetisches Blechpaket oder dergleichen. An dem magnetischer Rotorkreis RMK und/oder an dem Rotor-Gehäuse GHR sind typischerweise mehrere Permanentmagneten PM befestigt. Zwischen den Stator-Spulen SL und den Permanentmagneten PM befindet sich typischerweise ein Luftspalt LS.

[0526] Eine Halbbrückensteuerung CTRH steuert mittels Halbbrückensteuerleitungen HSL mehrere Halbbrücken HB. Die Halbbrücken bestromen die Motorphasen, die mit den Stator-Spulen SL verbunden sind. In dem Beispiel der Fig. 1 ist der beispielhafte Motor dreiphasig. Der beispielhafte Motor umfasst dabei dann bevorzugt $N \cdot 3$ Stator-Spulen. Hierbei ist N eine ganze positive Zahl größer 0. Die Halbbrücken kommutieren die Ansteuerung der Stator-Spulen in Abhängigkeit von den Halbbrückensteuerleitungen HSL mittels der Motorphasen MPH.

[0527] Der Generator G erzeugt das Sendevorsignal S5w. Bevorzugt ist das Sendevorsignal S5w pulsmoduliert mit einer Pulsfrequenz. Besonders bevorzugt handelt es sich um ein Rechtecksignal mit einem Duty-Cycle von bevorzugt 50%. Andere Duty-Cycles sind denkbar. Die Offset-Addition OFF1 addiert bevorzugt einen Offset zu dem Wert des Sendevorsignals, um die Pumpstrahlungsquelle PL nutzen zu können. Bevorzugt weist das resultierende Sendesignal S5 keine negativen Signalanteile auf. Die Pumpstrahlungsquelle PL erzeugt in Abhängigkeit von dem Sendesignal S5 eine modulierte Pumpstrahlung LB. In dem Beispiel der Fig. 1 transmittiert die Pumpstrahlungsquelle die Pumpstrahlung LB durch einen dichroitischen Spiegel F1 und strahlt Pumpstrahlung LB in den Lichtwellenleiter LWL ein. Das Motorgehäuse GH weist zumindest eine Öffnung OF auf, durch die der Lichtwellenleiter LWL in das Gehäuse GH tritt. Am Ende des Lichtwellenleiters LWL befindet sich bevorzugt das Sensorelement SE. Das Sensorelement SE umfasst bevorzugt eine Vielzahl von Nanodiamanten bzw. Diamanten DM und/oder eine Vielzahl von Kristallen, die bevorzugt eine statistisch gleichverteilte unterschiedliche Kristallorientierung aufweisen und die in ein Matrixmaterial eingebettet sind. Typischerweise verbindet das Matrixmaterial aus einem Trägermaterial TM diese Nano-Diamanten ND mechanisch mit dem ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL. Bevorzugt hat der eigentliche Lichtwellenleiter LWL einen Lichtwellenleiterdurchmesser D_{LWL} von ca. $100\mu\text{m}$. Bevorzugt sind kleinere Lichtwellenleiterdurchmesser D_{LWL} . Größere Lichtwellenleiterdurchmesser D_{LWL} sind aber möglich. Hinzukommt typischerweise ein Knickschutz des Lichtwellenleiters LWL. Bevorzugt ist der Knickschutz als mechanische Hülle MH ausgeführt. Die Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle PL trifft am ersten Ende des Lichtwellenleiters ELWL1 auf die Nanodiamanten bzw. Diamanten DM und/oder Kristalle im Sensorelement SE. Der Nanodiamanten bzw. Diamanten DM und/oder Kristalle im Sensorelement SE umfassen bevorzugt NV-Zentren und/oder paramagnetische Zentren. Bevorzugt umfasst das Sensorelement SE Diamanten mit NV-Zentren. Typischerweise regt die Pumpstrahlung LB die Nanodiamanten bzw. Diamanten DM und/oder Kristalle zur Emission einer Fluoreszenzstrahlung FL mit einer Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} an. Bevorzugt befindet sich das Sensorelement SE am ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL. Bevorzugt hat das Sensorelement einen Durchmesser, der kleiner als der Durchmesser D_{LWL} des Lichtwellenleiters LWL ist. Typischerweise strahlen die NV-Zentren NVZ des Sensorelements SE die Fluoreszenzstrahlung FL wieder in den Lichtwellenleiter LWL über das erste Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL ein. Die Fluoreszenzstrahlung FL tritt am anderen, zweiten Ende ELWL2 des Lichtwellenleiters LWL aus dem Lichtwellenleiter LWL wieder aus und bestrahlt, beispielsweise umgelenkt durch den dichroitischen Spiegel F1, vorzugsweise den Fotodetektor PD. Der dichroitische Spiegel F1 lenkt die gestreute Pumpstrahlung LB in dem Beispiel der Fig. 1 nicht in Richtung des Fotodetektors PD. Hierdurch empfängt der Fotodetektor PD im Wesentlichen nur Fluoreszenzstrahlung FL. Im Wesentlichen bedeutet hierbei, dass die Pumpstrahlung LB und die sonstige Strahlung, die den Fotodetektor PD trotzdem treffen im Wesentlichen für den technischen Zweck der Vorrichtung unbedeutend sind. Um dies zu erreichen, schlägt das hier vorgestellte Dokument die Verwendung eines lichtdich-

ten Gehäuses für die lichtempfindlichen Vorrichtungsteile und die Verwendung von Blenden vor, um den Zutritt unerwünschter Strahlung und unerwünschte Effekte durch Streustrahlung zu vermeiden. Der Fotodetektor PD wandelt bevorzugt die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL in einen zeitlichen Werteverlauf eines Empfangssignals S0. Ein beispielhafter Verstärker V1 verstärkt und filtert ggf. das Empfängerangegangssignal S0 in dem Beispiel der **Fig. 1** zum verstärkten Empfängerangegangssignal S1. In dem Beispiel der **Fig. 1** multipliziert ein beispielhafter Multiplizierer M1 das verstärkte Empfängerangegangssignal S1 mit dem Sendevorsignal S5w zum Filtereingangssignal S3. Ein Tiefpassfilter TP entfernt typischerweise die Frequenzanteile mit den addierten Frequenzen des Sendevorsignals S5w und des verstärkten Empfängerangegangssignals S1 aus dem Spektrum. Der Tiefpassfilter TP filtert so das Empfängerangegangssignal zum Filterausgangssignal S4. Die Halbbrückensteuerung CTRH steuert die Kommutierung des Motors mittels der Halbbrücke HB in Abhängigkeit von dem Filterausgangssignal S4. Die Kombination aus dem ersten Multiplizierer M1 und dem Tiefpassfilter TP bildet ein Skalarprodukt zwischen dem Signalvektor des verstärkten Empfängerangegangssignal S1 und dem Sendevorsignal S5w. Es handelt sich um einen einfachen beispielhaften Synchrondemodulator. Der Synchrondemodulator erzeugt ein Signal S4, dass die Korrelation zwischen dem verstärkten Empfängerangegangssignal S1 und dem Sendevorsignal S5w symbolisiert. Dieses Signal S4 ist das Filterausgangssignal S4. Die Verwendung anderer Korrelatoren an Stelle eines Synchrondemodulators, beispielsweise die Verwendung von Optimalfiltern, Kalmann-Filtern und/oder Matched-Filtern und/oder anderen Schätzvorrichtungen zur Ermittlung des Anteils des Sendesignals S5 im Empfängerangegangssignal S0 ist denkbar. Das Besondere an dem Messverfahren der **Fig. 1** ist, dass der Lichtwellenleiter LWL zusammen mit dem Sensorelement SE und den anderen Vorrichtungsteilen typischerweise keine ferromagnetischen und/oder elektrisch leitenden Materialien umfasst und damit das magnetische Feld des Motors im Wesentlichen nicht beeinflusst.

[0528] Beispielsweis kann die Halbbrückensteuerung CTRH einen Nulldurchgang der magnetischen Flussdichte im Luftspalt LS oder der magnetischen Flussdichte des Streufeldes des Luftspalts feststellen.

[0529] Die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL der Diamanten DM bzw. Nanodiamanten und/oder der Kristalle des Sensorelements SE hängt von der magnetischen Flussdichte B am Ort der NV-Zentren NVZ des Sensorelements SE ab. Da der Wert des Filterausgangssignals S4 angibt, wieviel von dem Sendevorsignal S5w in dem verstärkten Empfängerangegangssignal S1 enthalten ist, ist dieses Filterausgangssignals S4 ein Maß für die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL. Damit ist das Filterausgangssignal S4 ein Maß für die magnetische Flussdichte B am Ort der NV-Zentren NVZ im Sensorelement SE.

[0530] Die Halbbrückensteuerung CTRH wertet den Nulldurchgang des Wechselsignalanteils des Filterausgangssignals S4 aus und steuert bevorzugt in Abhängigkeit davon die Kommutierung des Motors mittels der Halbbrücken HB.

[0531] In dem Beispiel der **Fig. 1** ist das Sensorelement SE im Streufeld BSTR des Luftspalts LS des Motors platziert. Ein Positionssensor POS liefert mittels einer Markierung MRK am Rotor des Motors ein Positionssignal. In dem folgenden Beispiel der **Fig. 4** wird klar, dass das Signal ein binäres Signal mit einer beispielhaften 1 Bit-Auflösung ist. Der magnetischer Stator-Kreis SMK ist an dem Gehäuse GH befestigt. Eine mechanische Hülle MH aus Keramik schützt den gemeinsamen Lichtwellenleiter LWL. Eine Füllmasse FM dichtet die Öffnung OF im Motor ab.

[0532] Ein externer Datenbus EXTDB ermöglicht der Halbbrückensteuerung CTRH die Kommunikation mit einem übergeordneten Steuerungssystem. Der Externe Datenbus kann eine drahtgebundene oder drahtlose Datenverbindung sein. Mehrere parallele Datenverbindungen, die unterschiedliche realisiert sein können, sind denkbar.

Figur 2

[0533] Die **Fig. 2** zeigt einen Lichtwellenleiter LWL mit einem Sensorelement SE direkt auf dem Zentrum MP des Kerns des Lichtwellenleiters LWL. Auf einem Teil der Endfläche EF des Lichtwellenleiters LWL ist das Sensorelement SE als Lichtwellenleiterlinse LWLL ausgeführt.

Figur 3

[0534] Die **Fig. 3** zeigt einen Motor, wie ihn **Fig. 1** schematisch vereinfacht skizziert. Zusätzlich zu dem Lichtwellenleiter LWL mit dem Sensorelement SE, der über die besagte Öffnung OF in den Motor hineinreicht und der mit der mechanischen Hülle MH umhüllt ist, weist die Aufhängung des Motors einen Positionssensor POS

mit einer LED und einer Fotodiode auf, die das Positionssignal POSS mit Hilfe einer Markierung MRK auf dem Rotorgehäuse GHR erzeugt. Die Leitungen der Motorphasen treiben den Motor an und steuern diesen.

[0535] Der Rotor ist mittels der Achse AX drehbar im Stator gelagert. Die Motorphasen MPH bestromen die Stator-Spulen SL. Das Gehäuse fixiert die Komponenten des Stators, wie beispielsweise die Stator-Spulen SL, die Achse und AX (ohne die Drehbarkeit der Achse zu beeinträchtigen) und den Lichtwellenleiter LWL mit der mechanischen Hülle MH.

Figur 4

[0536] Fig. 4 zeigt das von dem Lock-In-Verstärker LIV erzeugte Filterausgangssignal S4 und das Positionssignal POSS des Positionsdetektors POS der Fig. 3. Der Motor dreht sich mit der Motordrehperiode EU. Es handelt sich um einen dreiphasigen Motor mit vier Spulen je Motorphase.

[0537] Das Besondere ist, dass die Messung des magnetischen Feldes B im Streubereich BSTR des Motorluftspalts LS rein optisch erfolgt. Die Frequenzen der Messsignale zur Positionsmessung dieses magnetischen Feldes B im Luftspalt LS des Motors liegen allesamt und ausschließlich in dem Beispiel der Fig. 3 und 4 im optischen Bereich, also zwischen $3 \cdot 10^{14}$ Hz und 10^{14} Hz. Hierdurch ist ein Übersprechen zwischen elektrischen Vorrichtungsteilen des Motors und der Messvorrichtung sehr gering, wenn die Ansteuer- und Auswerteelemente der Vorrichtung weit genug von dem Motor entfernt sind. Bevorzugt liegt die Energieintensität der elektromagnetischen Strahlung, die der Lichtwellenleiter in den Motor transportiert und die die Messvorrichtung in dem Motor verwendet, im Frequenzbereich von 1 Hz bis 10^{10} Hz gegenüber der Energieintensität im Frequenzbereich zwischen $3 \cdot 10^{14}$ Hz und 10^{14} Hz um -40 dB, besser um -60 dB, besser um -90 dB, besser um -120 dB, besser um -200 dB niedriger. Die Vorrichtung arbeitet also mikrowellenfrei.

[0538] Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber einer Messung mit Hall-Sonden oder dergleichen oder Messungen mit NV-Zentren unter Nutzung von Mikrowellen.

Figur 5

[0539] Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch das beispielhafte erste Ende ELWL1 eines vorschlagsgemäßen Lichtwellenleiters LWL. Der Lichtwellenleiter LWL weist einen Lichtwellenleiterkern LWLC auf. Es kann sich bei dem Lichtwellenleiter LWL um einen Monomodelichtwellenleiter oder einen Multimodelichtwellenleiter handeln. Der Lichtwellenleiter LWL kann ein Gradientenlichtwellenleiter oder ein Step-Index-Wellenleiter oder dergleichen sein, bei dem der Lichtwellenleiterkern LWLC fließend in den Außenbereich des Lichtwellenleiters LWL hinsichtlich des Brechungsindex übergeht. Die mechanische Hülle MH schützt den Lichtwellenleiter LWL und lässt das erste Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL bevorzugt frei. Das Trägermaterial TM des Sensorelements SE umgibt das erste Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL. Das Trägermaterial TM des Lichtwellenleiters LWL ist bevorzugt transparent für die Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und die Fluoreszenzwellenlänge λ_f . Die Transparenz bezieht sich hierbei auf die Dimensionen des Lichtwellenleiters LWL der einen Durchmesser D_{LWL} durchaus kleiner als $100 \mu\text{m}$ aufweisen kann. Die Endfläche EF des Lichtwellenleiters LWL ist bevorzugt senkrecht zur optischen Achse des Lichtwellenleiters LWL, die hier als Mittenlinie ML beispielhaft gezeichnet ist. Am Durchstoßpunkt der optischen Achse, also der Mittenlinie ML, durch die Endfläche EF ist in dem Trägermaterial TM eine Lichtwellenleiterlinse LWLL als Verdickung des Trägermaterials TM gefertigt. Dort ist die Dicke d_l des Trägermaterials TM typischerweise am dicksten. In den übrigen Bereichen des Sensorelements SE ist der Lichtwellenleiter LWL ggf. nur dünn mit einer kleineren Dicke d_r mit dem Trägermaterial TM beschichtet. Die Dicke d_r kann auch 0 m betragen. Der Durchmesser D_{LWLL} der Lichtwellenleiter Linse LWLL ist typischerweise kleiner als der Durchmesser D_{LWL} des Lichtwellenleiters LWL. Zur Verdeutlichung ist das erste Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL mit der Endfläche EF und der Lichtwellenleiterlinse LWLL links noch einmal herausvergrößert. Die kleinen stochastisch gleichverteilten Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristalle im Material des Trägermaterials TM sind zur Verdeutlichung angedeutet. Bevorzugt sind die Diamanten DM Nanodiamanten mit einer Größe kleiner $500 \mu\text{m}$, besser kleiner $200 \mu\text{m}$, besser kleiner $100 \mu\text{m}$, besser kleiner $50 \mu\text{m}$, besser kleiner $20 \mu\text{m}$, besser kleiner $10 \mu\text{m}$, besser kleiner $5 \mu\text{m}$, besser kleiner $2 \mu\text{m}$, besser kleiner $1 \mu\text{m}$, besser kleiner $0,5 \mu\text{m}$, besser kleiner $0,2 \mu\text{m}$, besser, kleiner $0,1 \mu\text{m}$, besser, kleiner 50nm , besser, kleiner 20nm , besser, kleiner 10nm . Bevorzugt weisen die Kristalle eine Größe kleiner $500 \mu\text{m}$, besser kleiner $200 \mu\text{m}$, besser kleiner $100 \mu\text{m}$, besser kleiner $50 \mu\text{m}$, besser kleiner $20 \mu\text{m}$, besser kleiner $10 \mu\text{m}$, besser kleiner $5 \mu\text{m}$, besser kleiner $2 \mu\text{m}$, besser kleiner $1 \mu\text{m}$, besser kleiner $0,5 \mu\text{m}$, besser kleiner $0,2 \mu\text{m}$, besser, kleiner $0,1 \mu\text{m}$, besser, kleiner 50nm , besser, kleiner 20nm , besser, kleiner 10nm auf. Besonders bevorzugt sind Größen über 100nm , da Größen kleiner 100nm spezielle Oberflächeneffekte zwischen NV-Zentrum NVZ bzw. paramagnetischen Zentren und Diamantoberfläche des

betreffenden Diamanten DM hervorrufen können. Besonders bevorzugt sind Kristallgrößen über 100nm, da Größen kleiner 100nm spezielle Oberflächeneffekte zwischen paramagnetischen Zentren und Kristalloberfläche des betreffenden Kristalls hervorrufen können. Bevorzugt umfassen eine Vielzahl dieser Diamanten bzw. Nanodiamanten DM und/oder Kristalle ein oder mehrere NV-Zentren NVZ und/oder ein oder mehrere paramagnetische Zentren, die dann die bei Bestrahlung mit geeigneter Pumpstrahlung LB Fluoreszenzstrahlung FL erzeugen.

Figur 6

[0540] Fig. 6 zeigt beispielhaft und schematisch vereinfacht ein beispielhaftes, vorschlagsgemäßes Materialmesssystem mit einem vorschlagsgemäßem Sensorkopf SK. Der Sensorkopf SK umfasst das Sensorkopfgehäuse GH. Das Sensorkopfgehäuse GH umfasst bevorzugt einen Permanentmagneten PM. Bevorzugt ist der Permanentmagnet PM röhrenförmig ausgeführt. Bevorzugt weist der Permanentmagnet PM eine Permanentmagnetsymmetrieachse AX auf. Bevorzugt ist der Permanentmagnet PM parallel zur Permanentmagnetsymmetrieachse AX magnetisiert. Der bevorzugt röhrenförmige Permanentmagnet PM weist typischerweise ein erstes Ende und ein zweites Ende auf. Das zweite Ende des Permanentmagneten PM weist einen Permanentmagnetabstand d_{pm} von der Auflagefläche AF des Sensorkopfes SK auf. Da der Durchmesser des Lichtwellenleiters LWL weniger als 1mm beträgt ist der Permanentmagnetabstand d_{pm} kleiner als 1mm, besser kleiner als 0,5mm, besser kleiner als 200 μ m, besser kleiner als 100 μ m, besser kleiner als 20 μ m. Der der Permanentmagnetabstand d_{pm} ist bevorzugt im Bereich des Sensorelements SE bevorzugt etwas größer als der Durchmesser des Lichtwellenleiters LWL. Der der Permanentmagnetabstand d_{pm} ist im Bereich des Sensorelements SE bevorzugt weniger als 200% größer als der Durchmesser des Lichtwellenleiters LWL, besser weniger als 100% größer als der Durchmesser des Lichtwellenleiters LWL, , besser weniger als 50% größer als der Durchmesser des Lichtwellenleiters LWL, , besser weniger als 25% größer als der Durchmesser des Lichtwellenleiters LWL, , besser weniger als 10% größer als der Durchmesser des Lichtwellenleiters LWL, , besser weniger als 5% größer als der Durchmesser des Lichtwellenleiters LWL. Bevorzugt ist das Material des Gehäuses GH des Sensorkopfes SK nicht magnetisch und/oder nicht magnetisierbar. Im Sinne des hier vorgelegten Dokuments gilt ein Material als nicht magnetisch, wenn für die magnetische Permeabilität μ_T dieses Materials $\mu_T < 1$ gilt. Das hier vorgelegte Dokument empfiehlt die Verwendung von Materialien mit möglichst geringer magnetischer Permeabilität μ_T als Material des Sensorkopfgehäuses GH. Bevorzugt befindet sich das Sensorelement SE auf der verlängerten Symmetrieachse, der Permanentmagnetsymmetrieachse AX des Permanentmagneten PM.

[0541] Für die Messung bringen der Bediener oder ein mechanischer Aktor den Sensorkopf SK mit der Auflagefläche AF in Kontakt mit der Oberfläche OF des zu vermessenden Werkstücks. Bevorzugt umfasst die Oberfläche OF des zu vermessenden Werkstücks ein ferromagnetisches Material FMM (17).

[0542] West nun das zu vermessende Werkstück an seiner Oberfläche OF eine Störung auf, die die magnetische Flussdichte B beeinflusst, so ändert sich die magnetische Flussdichte B, die das Sensorelement SE durchflutet, wenn diese Störung in die Nähe der Permanentmagnetsymmetrieachse AX des Permanentmagneten PM und damit in die Nähe des Sensorelements SE kommt. Bei einer solchen Störung kann es sich beispielsweise um einen Riss Ri oder eine Bohrung oder eine Vertiefung oder einen sonstigen Defekt des Materials des Werkstücks in der Nähe der Oberfläche OF des Werkstücks handeln.

[0543] Der Generator G erzeugt das Sendevorsignal S5w. Bevorzugt ist das Sendevorsignal S5w pulsmoduliert mit einer Pulsfrequenz. Besonders bevorzugt handelt es sich um ein Rechtecksignal mit einem Duty-Cycle von bevorzugt 50%. Andere Duty-Cycles sind denkbar. Die Offset-Addition OFF1 addiert bevorzugt einen Offset zu dem Wert des Sendevorsignals, um die Pumpstrahlungsquelle PL nutzen zu können. Bevorzugt weist das resultierende Sendesignal S5 keine negativen Signalanteile auf. Die Pumpstrahlungsquelle PL erzeugt in Abhängigkeit von dem Sendesignal S5 eine modulierte Pumpstrahlung LB. In dem Beispiel der Fig. 1 transmittiert die Pumpstrahlungsquelle die Pumpstrahlung LB durch einen dichroitischen Spiegel F1 und strahlt Pumpstrahlung LB in den Lichtwellenleiter LWL ein. Das Sensorkopfgehäuse GH weist zumindest einen Kanal KN auf, durch den der Lichtwellenleiter LWL in das Sensorkopfgehäuse GH eingeführt ist. Am Ende des Lichtwellenleiters LWL befindet sich bevorzugt das Sensorelement SE. Das Sensorelement SE umfasst bevorzugt eine Vielzahl von Nanodiamanten bzw. Diamanten DM, die bevorzugt eine statistisch gleichverteilte unterschiedliche Kristallorientierung aufweisen und die in ein Matrixmaterialeingebettet sind. Typischerweise verbindet das Matrixmaterial aus einem Trägermaterial TM diese Nano-Diamanten ND mechanisch mit dem ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL. Bevorzugt hat der eigentliche Lichtwellenleiter LWL einen Lichtwellenleiterdurchmesser D_{LWL} von ca. 100 μ m. Bevorzugt sind kleinere Lichtwellenleiterdurchmesser D_{LWL} . Größere Lichtwellenleiterdurchmesser D_{LWL} sind aber möglich. Hinzukommt typi-

scherweise ein Knickschutz des Lichtwellenleiters LWL. Bevorzugt ist der Knickschutz als mechanische Hülle MH ausgeführt. Die Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle PL trifft am ersten Ende des Lichtwellenleiters ELWL1 auf die Nanodiamanten bzw. Diamanten DM im Sensorelement SE. Bevorzugt umfasst das Sensorelement SE Diamanten mit NV-Zentren. Typischerweise regt die Pumpstrahlung LB die Nanodiamanten bzw. Diamanten DM zur Emission einer Fluoreszenzstrahlung FL mit einer Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} an. Bevorzugt befindet sich das Sensorelement SE am ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL. Bevorzugt hat das Sensorelement einen Durchmesser, der kleiner als der Durchmesser D_{LWL} des Lichtwellenleiters LWL ist. Typischerweise strahlen die NV-Zentren NVZ des Sensorelements SE die Fluoreszenzstrahlung FL wieder in den Lichtwellenleiter LWL über das erste Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL ein. Die Fluoreszenzstrahlung FL tritt am anderen, zweiten Ende ELWL2 des Lichtwellenleiters LWL aus dem Lichtwellenleiter LWL wieder aus und bestrahlt, beispielsweise umgelenkt durch den dichroitischen Spiegel F1, vorzugsweise den Fotodetektor PD. Der dichroitische Spiegel F1 lenkt die gestreute Pumpstrahlung LB in dem Beispiel der **Fig. 1** nicht in Richtung des Fotodetektors PD. Hierdurch empfängt der Fotodetektor PD im Wesentlichen nur Fluoreszenzstrahlung FL. Im Wesentlichen bedeutet hierbei, dass die Pumpstrahlung LB und die sonstige Strahlung, die den Fotodetektor PD trotzdem treffen im Wesentlichen für den technischen Zweck der Vorrichtung unbedeutend sind. Um dies zu erreichen, schlägt das hier vorgestellte Dokument die Verwendung eines lichtdichten Gehäuses für die lichtempfindlichen Vorrichtungsteile und die Verwendung von Blenden vor, um den Zutritt unerwünschter Strahlung und unerwünschte Effekte durch Streustrahlung zu vermeiden. Der Fotodetektor PD wandelt bevorzugt die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL in einen zeitlichen Werteverlauf eines Empfangssignals S0. Ein beispielhafter Verstärker V1 verstärkt und filtert ggf. das Empfänger Ausgangssignal S0 in dem Beispiel der **Fig. 1** zum verstärkten Empfänger Ausgangssignal S1. In dem Beispiel der **Fig. 1** multipliziert ein beispielhafter Multiplizierer M1 das verstärkte Empfänger Ausgangssignal S1 mit dem Sendevorsignal S5w zum Filtereingangssignal S3. Ein Tiefpassfilter TP entfernt typischerweise die Frequenzanteile mit den addierten Frequenzen des Sendevorsignals S5w und des verstärkten Empfänger Ausgangssignals S1 aus dem Spektrum. Der Tiefpassfilter TP filtert so das Empfänger Eingangssignal zum Filterausgangssignal S4. Die Kombination aus dem ersten Multiplizierer M1 und dem Tiefpassfilter TP bildet ein Skalarprodukt zwischen dem Signalvektor des verstärkten Empfänger Ausgangssignal S1 und dem Sendevorsignal S5w. Es handelt sich um einen einfachen beispielhaften Synchrondemodulator. Der Synchrondemodulator erzeugt ein Signal S4, dass die Korrelation zwischen dem verstärkten Empfänger Ausgangssignal S1 und dem Sendevorsignal S5w symbolisiert. Dieses Signal S4 ist das Filterausgangssignal S4. Die Verwendung anderer Korrelatoren an Stelle eines Synchrondemodulators, beispielsweise die Verwendung von Optimalfiltern, Kalmann-Filtern und/oder Matched-Filtern ist denkbar. Das Besondere an dem Messverfahren der **Fig. 1** ist, dass der Lichtwellenleiter LWL zusammen mit dem Sensorelement SE und den anderen Vorrichtungsteilen des Sensorkopfes SK typischerweise keine ferromagnetischen und/oder elektrisch leitenden Materialien umfasst und damit das magnetische Feld des Werkstücks, bzw. des ferromagnetischen Materials FM und des Permanentmagneten PM im Wesentlichen nicht beeinflusst.

[0544] Die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL der Diamanten DM bzw. Nanodiamanten des Sensorelements SE hängt von der magnetischen Flussdichte B am Ort der NV-Zentren NVZ des Sensorelements SE ab. Da der Wert des Filterausgangssignals S4 angibt, wieviel von dem Sendevorsignal S5w in dem verstärkten Empfänger Ausgangssignal S1 enthalten ist, ist dieses Filterausgangssignals S4 ein Maß für die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL. Damit ist das Flussdichtemesssignal S4 ein Maß für die magnetische Flussdichte B am Ort der NV-Zentren NVZ im Sensorelement SE.

[0545] In dem Beispiel der **Fig. 1** ist das Sensorelement SE im Streufeld BSTR des Permanentmagneten PM platziert. Das ferromagnetische Material FM des Werkstücks beeinflusst dieses Streufeld BSTR. Wenn nun ein Bediener oder ein Aktor das Werkstück und damit das ferromagnetische Material FM an der Oberfläche OF des Werkstücks an der Auflagefläche AF entlangschiebt, so ändert sich eine Beeinflussung des magnetischen Streufelds BSTR nur dann, wenn diese Translationsbewegung mit der Geschwindigkeit v den das magnetische Streufeld BSTR beeinflussenden Bereich des ferromagnetischen Materials in seiner Verteilung physikalischer Parameter beeinflusst. Eine solcher Beeinflussung kann eine Ungleichverteilung physikalischer Parameter im ferromagnetischen Material FM hervorrufen, die das magnetische Streufeld BSTR beeinflusst. Bevorzugt ist die Vorschubgeschwindigkeit v des Sensorkopfes SK gegenüber dem Werkstück mit dem ferromagnetischen Material FM konstant. Bevorzugt führt ein Bediener manuell den Vorschub des Sensorkopfes SK gegenüber dem Werkstück mit der Vorschubgeschwindigkeit v durch. Das hier vorgelegte Dokument schlägt vor, für Produktionsprüfungen einen Aktor vorzusehen, der den Sensorkopf SK mit der Auflagefläche AF auf der Oberfläche OF des Werkstücks oder dicht an der Oberfläche OF des Werkstücks platziert und dann parallel zur Oberfläche OF des Werkstücks längs einer zu untersuchenden Linie zu verschieben. Bevorzugt erfasst ein Rechnersystem dabei mittels eines Koordinatensensorsystems die Position des Sensorkopfes SK und damit des Sensorelements SE relativ zum Werkstück und damit dem ferro-

magnetischen Material FM. Bevorzugt erfasst das Rechnersystem den Wert des Filterausgangssignals S4 zusammen mit den Koordinaten der Position des Sensorkopfes SK und damit der Position des Sensorelements SE. Bevorzugt speichert das Rechnersystem diese Paare aus Koordinaten des Messpunkts und Messwert des Filterausgangssignals S4 in einem Speicher des Rechnersystems. Das Rechnersystem kann diese Daten beispielsweise zu einem zwei oder dreidimensionalen Model der Verteilung der Magnetisierbarkeit weiterverarbeiten. Beispielsweise kann das Rechnersystem eine zweidimensionale Verteilung der Werte des Filterausgangssignals S4 auf der Oberfläche OF des Werkstücks und damit des ferromagnetischen Materials FM ermitteln und auf einem Bildschirm darstellen oder beispielsweise als JPEG-Bild oder funktionsäquivalenter Form bereithalten. Die Vorschubgeschwindigkeit v kann für eine Punktmessung 0m/s sein. Eine mechanische Hülle MH umfassend Keramik oder ein Gewebe oder einen robusten Kunststoff schützt den gemeinsamen Lichtwellenleiter LWL. Der Lichtwellenleiter LWL kann mittels einer Schraube SCHR im Kanal KN des Sensorkopfgehäuses GH befestigt sein. Ein externer Datenbus EXTDB ermöglicht der Halbbrückensteuerung CTRH die Kommunikation mit einem übergeordneten Steuerungssystem. Der Externe Datenbus kann eine drahtgebundene oder drahtlose Datenverbindung sein. Mehrere parallele Datenverbindungen, die unterschiedliche realisiert sein können, sind denkbar.

Figur 7

[0546] Fig. 7 zeigt einen Sensorkopf SK mit der mechanischen Hülle des Lichtwellenleiters LWL, der durch die mechanische Hülle MH verdeckt ist. Die Zeichnung zeigt den Permanentmagneten PM. Die Auflagefläche AF ist unten und verdeckt.

Figur 8

[0547] Fig. 8 zeigt den Sensorkopf der Fig. 7 in der Aufsicht (Fig. 8a) und in der Seitenansicht (Fig. 8b) als Schnittbild.

[0548] Die mechanische Hülle MH des Lichtwellenleiters LWL ist mit dem Lichtwellenleiter LWL im Kanal KN des Sensorkopfgehäuses GH des Sensorkopfes SK mittels einer Schraube SCHR fixiert. Es ist denkbar, die mechanische Hülle MH des Lichtwellenleiters LWL mit dem Lichtwellenleiter LWL im Kanal KN des Sensorkopfgehäuses GH des Sensorkopfes SK mittels einer Klebung zu fixieren. Der Permanentmagnet PM ist beispielhaft als Zylinder ausgeführt. Das untere Ende des Permanentmagneten PM hat einen Abstand d_{pm} zur Auflagefläche AF. Die Auflagefläche AF liegt in dem Beispiel der Fig. 5 auf der Oberfläche OF des beispielhaft ferromagnetischen Materials FM des Werkstücks auf. In dem ferromagnetischen Material FM soll sich beispielhaft ein Riss RI befinden. Dieser Riss RI beeinflusst das Streufeld BSTR des Permanentmagneten PM. Das Sensorelement SE befindet sich am ersten Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL. Bevorzugt befindet sich das Sensorelement SE in der Nähe der Verlängerung der Achse AX des zylindrischen Permanentmagneten PM. Der Riss RI beeinflusst das Streufeld BSTR des Permanentmagneten PM im Bereich des Sensorelements SE. Daher beeinflusst der Riss RI die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren NVZ bzw. paramagnetischen Zentren im Sensorelement SE.

[0549] Der beispielhafte Sensorkopf SK hat die Höhe d_{SK1} . Der beispielhafte Sensorkopf SK hat die Länge d_{SK2} . Der beispielhafte Sensorkopf SK hat die Breite d_{SK3} .

[0550] An der Oberseite entgegengesetzt zur Auflagefläche AF weist der Sensorkopf SK eine Vertiefung VT mit der Tiefe d_{SK4} bezogen auf die Oberseite des Sensorkopfes SK auf. Sofern der Sensorkopf SK für eine manuelle Positionierung auf der Oberfläche OF des Werkstücks vorgesehen ist, hat die Vertiefung VT bevorzugt eine Tiefe d_{SK4} zwischen 3mm und 1,5cm, wobei 5mm bis 8mm bevorzugt sind. Dies verbessert die Handhabbarkeit.

[0551] In dem Beispiel der Fig. 5 weist der Kanal KN einen Knick KI um einen Winkel auf. Dies hat zum ersten den positiven Effekt einer gewissen mechanischen Klemmung des Lichtwellenleiters LWL im Kanal KN und zum zweiten den Effekt, dass der Lichtwellenleiter LWL parallel zur Auflagefläche AF aus dem Sensorkopf SK austreten kann. Dies hat den Vorteil, dass der Lichtwellenleiter LWL aufgrund seiner Flexibilität in geringerem Abstand vom Sensorkopf SK beispielsweise auf einer Arbeitsplatte zum Liegen kommt als ohne diesen Knick KI. Hierdurch verringert sich das Drehmoment, das der Lichtwellenleiter LWL auf den Sensorkopf SK ausübt. Zum Dritten kann das Sensorelement SE hierdurch näher zur Auflagefläche AF des Sensorkopfes SK positioniert werden. Bevorzugt bildet daher der Lichtwellenleiter LWL mit der Auflagefläche AF in unmittelbarer Nähe des Sensorelements SE einen Winkel α , der von 90° und 0° verschieden ist. Typischer-

weise liegt der Winkel α zwischen 15° und 65° , bzw. besser 25° und 55° . Winkel α von 30° und 45° sind derzeit in Benutzung.

[0552] In der **Fig. 5** ist eine ferromagnetische Stütze ST vorgesehen, die die magnetische Erregung H des Permanentmagneten PM zum Material des Werkstücks, hier dem ferromagnetischen Material FM, leitet. In dem Beispiel der **Fig. 5** handelt es sich bei der ferromagnetischen Stütze ST um ein beispielhaftes ferromagnetisches Rohr. Die ferromagnetische Stütze ST hat in dem Beispiel der **Fig. 5** beispielhaft in etwa den gleichen Durchmesser wie der Permanentmagnet PM. In dem Beispiel der **Fig. 5** weist die ferromagnetische Stütze ST eine Öffnung OE im unteren Bereich auf. Durch diese Öffnung OE gelangt der Lichtwellenleiter LWL in das Innere der ferromagnetischen Stütze ST. Diese Öffnung OE ist somit Teil des Kanals KN im Sensorkopfgehäuse GH. Die ferromagnetische Stütze ST ist mit einem Füllmaterial eines Kerns KE der Stütze ST und des Permanentmagneten PM gefüllt. Der Kanal KN setzt sich aus dem Material des übrigen Sensorkopfgehäuses GH durch die Öffnung OE in diesen Kern KE hinein fort. In dem Beispiel der **Fig. 5** stimmt die Rotationssymmetrieachse AX des Permanentmagneten PM mit der Rotationssymmetrieachse der ferromagnetischen Stütze ST beispielhaft überein. Bevorzugt ist der Kanal KN im Kern KE daher so ausgeführt, dass nach dem Einbringen des Lichtwellenleiters LWL das Sensorelement SE sich in der Nähe der Verlängerung dieser Symmetrieachse AX befindet.

[0553] Bevorzugt umfasst der Sensorkopf SK also zumindest ein Mittel zur Erzeugung einer magnetischen Erregung, nämlich den Permanentmagneten PM, und ein Sensorelement SE, das über zumindest einen Lichtwellenleiter LWL. Der Lichtwellenleiter LWL ist dazu eingerichtet mit einer Ansteuer- und Auswertevorrichtung (siehe **Fig. 1**) verbunden zu werden oder ist mit dieser verbunden. Der Sensorkopf umfasst des Weiteren ein Sensorkopfgehäuse GH aus einem nicht ferromagnetischen Material ($\mu_r < 1$). Bevorzugt umfasst der Sensorkopf SK weitere Funktionselemente eines oder mehrerer magnetischer Kreise. Ein solches weiteres Funktionselement eines oder mehrerer magnetischer Kreise kann beispielsweise die ferromagnetische Stütze ST sein. Bevorzugt ist der Sensorkopf SK dazu ausgelegt, dass der Permanentmagnet PM und die weiteren Funktionselemente eines oder mehrerer magnetischer Kreise des Sensorkopfes SK über eine Auflagefläche AF mit einem Bereich der Oberfläche OF eines Werkstücks zumindest einen gemeinsamen magnetischen Kreis bilden, wenn der Sensorkopf SK mit der Auflagefläche AF auf der Oberfläche OF des Werkstücks platziert wird.

Figur 9

[0554] **Fig. 9** zeigt die Schritte des Verfahrens zur Herstellung eines vorschlagsgemäßen Sensorkopfes SK und dessen Verwendung. Das Verfahren umfasst die Schritte:

- Bereitstellen 140 eines Lichtwellenleiters LWL, wobei der Lichtwellenleiter LWL ein erstes Ende ELWL1 und ein zweites Ende ELWL2 aufweist;
- Bereitstellen 145 eines flüssigen und mittels elektromagnetischer Strahlung einer Aushärtewellenlänge λ_H härtbaren Trägermaterials TM, wobei in das Trägermaterial (TM) eine Vielzahl von Diamanten DM bzw. Nanodiamanten eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten DM bzw. Nanodiamanten dieser Diamanten DM NV-Zentren NVZ und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren NVZ des Trägermaterials TM und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Trägermaterials TM bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL emittieren;
- ggf. Vorhärten 147 (Pre-Bake) des Sensorelements SE durch eine vorausgehende Temperaturbehandlung.
- Benetzen 150 des ersten Endes des Lichtwellenleiters TM auf eine Benetzungslänge L_B mit dem Trägermaterial TM, das die Vielzahl eingebetteter Diamanten DM bzw. Nanodiamanten und/oder Kristalle mit einem oder mehreren NV-Zentren und/oder einem oder mehreren paramagnetischen Zentren aufweist;
- Einspeisen 155 elektromagnetischer Strahlung in das zweite Ende ELWL2 des Lichtwellenleiters LWL, wobei die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung, die Aushärtewellenlänge λ_H so gewählt ist, dass das Trägermaterial TM am zweiten Ende ELWL2 des Lichtwellenleiters LWL aushärtet und sich in einen Festkörper wandelt, wobei das ausgehärtete Trägermaterial TM das Sensorelement SE ausbildet;

- Entfernen 160 des nicht ausgehärteten Trägermaterials TM insbesondere mittels eines Lösungsmittels, wobei der verbleibende Film des Trägermaterials TM am ersten Ende des Lichtwellenleiters LWL das Sensorelement bildet;
- ggf. Nachhärten 165 (Post-Bake) des Sensorelements SE durch eine nachfolgende Temperaturbehandlung.

[0555] Im ersten Anwendungsbeispiel eines Sensorkopfes SK können folgende optionale Schritte eines ersten beispielhaften Anwendungsprozesses als nachfolgen (Variante I) folgen:

- Bereitstellen 167 eines Sensorkopfgehäuses GH des Sensorkopfes SK und einer Erregungsquelle für eine magnetische Erregung H, insbesondere eines Permanentmagneten PM;
- Einbau 170 des Lichtwellenleiters LWL mit dem neu gebildeten Sensorelement SE in den Kanal KN des Sensorkopfgehäuses GH des Sensorkopfes SK und Einbau der einer Erregungsquelle für eine magnetische Erregung H in das Sensorkopfgehäuses GH des Sensorkopfes SK;
- Verwendung 180 des Sensorkopfes SK zur orts aufgelösten Vermessung der magnetischen Eigenschaften des Materials eines Werkstücks in der Nähe der Oberfläche OF des Werkstücks, wobei die Ortsauflösung besser als 500µm und/oder besser als 200µm und/oder besser als 100µm und/oder besser als 50µm und/oder besser als 20µm und/oder besser als 10µm ist. Dabei ist Auflösung die Möglichkeit zwei beieinanderliegende Störungen der magnetischen Eigenschaften einer Oberfläche OF eines Werkstücks noch durch ein Extremum von 5% der Signalamplitude zu können, wenn diese entsprechend der Auflösung voneinander beabstandet sind. Solche Störungen können beispielsweise Risse, Lunker, Materialinhomogenitäten etc. sein.

[0556] Im zweiten Anwendungsbeispiel eines Motors können folgende optionale Schritte eines zweiten beispielhaften Anwendungsprozesses als nachfolgen (Variante II) folgen:

- Bereitstellen 182 eines Gehäuses GH des Motors;
- Einbau 185 des Lichtwellenleiters LWL mit dem neu gebildeten Sensorelement SE in die Öffnung OF des Gehäuses GH des Motors;
- Verwendung 187 des Lichtwellenleiters LWL mit dem neu gebildeten Sensorelement SE zur Vermessung der magnetischen Flussdichte B innerhalb des Luftspalts LS des Motors oder im Streufeld BSTR des Magnetfelds im Luftspalt LS.
- ggf. Ermittlung 190 des Zeitpunkten des Nulldurchgangs des Betrags der magnetischen Flussdichte B der magnetischen Flussdichte B innerhalb des Luftspalts LS des Motors oder im Streufeld BSTR des Magnetfelds im Luftspalt LS und/oder ggf. Ermittlung 190 des Betrags der magnetischen Flussdichte B der magnetischen Flussdichte B innerhalb des Luftspalts LS des Motors oder im Streufeld BSTR des Magnetfelds im Luftspalt LS.
- ggf. Ermittlung 193 oder Schätzung der Position des Magnetfelds innerhalb des Luftspalts des Motors.
- ggf. Kommutierung 195 der Bestromung einer oder mehrerer Statorspulen des Motors und/oder einer oder mehrerer Rotorspulen des Motors in Abhängigkeit
 - von den ermittelten Zeitdurchgängen des Nulldurchgangs des Betrags der magnetischen Flussdichte B der magnetischen Flussdichte B innerhalb des Luftspalts LS des Motors oder im Streufeld BSTR des Magnetfelds im Luftspalt LS und/oder
 - von dem ermittelten Betrags der magnetischen Flussdichte B der magnetischen Flussdichte B innerhalb des Luftspalts LS des Motors oder im Streufeld BSTR des Magnetfelds im Luftspalt LS und/oder von der ermittelten oder geschätzten Position des Magnetfelds innerhalb des Luftspalts des Motors;

Figur 10

[0557] Fig. 10a zeigt ein beispielhaftes Werkstück aus einem ferromagnetischen Material FM in der Aufsicht. In die Oberfläche des Werkstücks sind verschiedene Bohrungen L1 bis L3 als Simulation eines Risses RI eingebracht. Die erste Bohrung L1 soll beispielsweise einen beispielhaften Durchmesser von 4mm aufweisen. Die zweite Bohrung L2 soll beispielsweise einen beispielhaften Durchmesser von 3mm aufweisen. Die dritte Bohrung L3 soll beispielsweise einen beispielhaften Durchmesser von 2mm aufweisen.

[0558] Für die Erstellung der **Fig. 10b** wurde ein Sensorkopf SK, wie in den **Fig. 7** und **8** dargestellt über die Oberfläche OF des Werkstücks längs des mit x bezeichneten Weges verschoben, wobei der Kontakt zwischen der Auflagefläche AF und der Oberfläche OF des Werkstücks beibehalten wurde.

[0559] Der Werteverlauf des so erhaltenen Messsignals S4 ist in der **Fig. 10b** in Abhängigkeit von der Position x des Sensorkopfes SK auf der Oberfläche OF dargestellt. Aufgrund der geringen Größe D_{LWL} des Sensorelements SE ist die Ortsauflösung erheblich, was aus dem Stand der Technik unbekannt ist und damit die Detektion von Fertigungsfehlern und Werkstückunregelmäßigkeiten mit ganz neuer Geschwindigkeit und Präzision ermöglicht.

Figur 11

[0560] **Fig. 11** zeigt eine vorschlagemäßige Anwendungsvorrichtung in Form einer Magnetfeldkamera in Form des vorschlagsgemäßen Magnetfeldkamerakopfes 21 aus einer ersten Ansicht. Eine Lichtquelle 2 (Laser, LED) des vorschlagsgemäßen Magnetfeldkamerakopfes 21 bestrahlt die Sensorschicht 5 des vorschlagsgemäßen Magnetfeldkamerakopfes 21 mit Pumpstrahlung 13 einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Die Sensorschicht 5 umfasst bevorzugt Kristalle mit paramagnetischen Zentren. Bevorzugt umfassen die Kristalle 66 der Sensorschicht 5 Diamanten. Bevorzugt umfassen die Kristalle 66 der Sensorschicht 5 Nanokristalle 66. Bevorzugt handelt es sich bei den paramagnetischen Zentren in der Sensorschicht 5 um NV-Zentren in Diamantkristallen. Bevorzugt umfasst das Trägermaterial der Sensorschicht 5 die Kristalle und/oder Nanokristalle 66. Diese Sensorschicht 5 ist bevorzugt auf einer ebenen Fläche im Innern des Gehäuses 8 der des vorschlagsgemäßen Magnetfeldkamerakopfes 21 aufgebracht. Die Sensorschicht 5 umfasst somit paramagnetische Zentren. Da die Kristalle 66 sehr klein als Nanokristalle 66 ausgeführt sein können, kann die Dicke 25 der Sensorschicht 5 sehr dünn ausgeführt sein und die Sensorschicht 5 sehr dicht mit Kristallen 66 mit paramagnetischen Zentren angefüllt sein. Bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung 13 der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} emittieren die paramagnetischen Zentren der Sensorschicht 5 Fluoreszenzstrahlung 14 mit einer Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} . Eine beispielhafte Größe der Sensorschicht 5 kann beispielsweise 32mm x 22mm betragen. Andere Dimensionen sind möglich. Bei einer Nacharbeit sollten die Personen, die die Nacharbeit durchführen die Dimensionen der Sensorschicht 5 entsprechend der jeweiligen konkret vorgesehenen Anwendung wählen. Ein Lichtsensorarray 1 mit n x m Lichtsensoren und mit einer Auswerteelektronik des Lichtsensorarrays 1 erfasst diese Fluoreszenzstrahlung 14. Die erfolgreiche Erprobung der hier vorgestellten Vorrichtung mit dem hier vorgestellten Magnetfeldkamerakopfes 21 umfasste ein Lichtsensorarray 1 mit n x m Lichtsensoren mit n=900 und m= 600. Bevorzugt umfasst die Auswerteelektronik 15 des Lichtsensorarrays 1, die Ansteuerung des Lichtsensorarrays 1 und der der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1, die Energieversorgung der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1, die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1, und eine Schnittstellenschaltung 36 zur Weitergabe der Werte der Werte der Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1, an ein übergeordnetes System, beispielsweise ein Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 mit einem Bildschirm 32 über einen Datenbus 29 oder dergleichen. Bevorzugt befindet sich der Strahlengang der Pumpstrahlung 13 und der Fluoreszenzstrahlung 14 innerhalb eines Gehäuses 8. Das hier vorgelegte Dokument nennt die Oberfläche der Sensorschicht 5, die dem Lichtsensorarray 1 zugewandt ist, im Folgenden Oberseite der 23 Sensorschicht 5. Das hier vorgelegte Dokument nennt die gegenüberliegende Oberfläche der Sensorschicht 5, die dem Lichtsensorarray 1 nicht zugewandt ist, im Folgenden Unterseite 22 der Sensorschicht 5.

[0561] Die Oberseite 23 der Sensorschicht 5 befindet sich vorzugsweise innerhalb des Gehäuses 8.

[0562] Die Unterseite 22 der Sensorschicht 5 befindet sich vorzugsweise außerhalb des Gehäuses 8. an dessen Oberfläche. Vorzugsweise bedeckt ein Lichtschutz die Unterseite 22 der Sensorschicht 5. Dies verhindert, dass Licht in das Gehäuse 8 eindringt und zum Lichtsensorarrays 1 gelangt. Die Sensorschicht 5 ist bevorzugt transparent für elektromagnetische Strahlung, insbesondere Pumpstrahlung 13, der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Die Sensorschicht 5 ist bevorzugt transparent für elektromagnetische Strahlung, insbesondere Fluoreszenzstrahlung 14, der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} . Beispielsweise kann der Lichtschutz ein Lack auf der Unterseite 22 der Sensorschicht 5 oder ein besonders dünner, lichtundurchlässiger Teil der Gehäusewand des Gehäuses 8 sein. Bevorzugt beeinflusst eine solche dünne Gehäusewand des Gehäuses 8 im Bereich der Sensorschicht 5 das magnetische Feld, also beispielsweise die magnetische Flussdichte B nicht.

[0563] Bevorzugt umfasst das Lichtsensorarray 1 n x m Lichtsensoren, die vorzugsweise in einer Fläche angeordnet sind. Hierbei sind n und m positive ganze Zahlen.

[0564] Zur besseren Übersicht ist der Deckel, der den Innenraum des Gehäuses 8 abdeckt in der **Fig. 11** nicht dargestellt.

Figur 12

[0565] **Fig. 12** zeigt die Vorrichtung mit aufgesetztem Deckel zum lichtdichten Verschluss des Gehäuses 8.

Figur 13

[0566] **Fig. 13** entspricht der **Fig. 11**, wobei die beispielhafte Vorrichtung nun aus einem anderen Winkel dargestellt ist. Im Blickfeld der Kamera befinden sich dabei Leitungen 1320, 1310, 1330 einer beispielhaften Tri-Plate-Leitung 1380 mit einem Sensorelement in den Clearances 2340 und 2350. Die Verwendung anderer Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar. Auch die Verwendung einer durchgängigen Sensorschicht 5 ohne Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar, wobei dann die Nutzung einer Mikrowellen- und/oder HF-Anregung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren der Sensorschicht 5 nicht möglich ist. Die Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) kann beispielsweise über eine Steckverbindung, wie beispielsweise eine Koaxialbuchse oder einen Triax-Buchse 71 vorzugsweise angeschlossen werden.

Figur 14

[0567] **Fig. 14** zeigt die Vorrichtung im Querschnitt. Die Lichtquelle 2 (Laser, LED) emittiert die Pumpstrahlung 13 mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und ggf. auch elektromagnetische Strahlung anderer Wellenlängenbereiche 27. Optische Funktionselemente einer Beleuchtungsoptik 3, wie beispielsweise ein oder mehrere Parabolspiegel, lenken möglichst viel Pumpstrahlung 13 mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} in Richtung Sensorschicht 5. Ein optischer Shortpass-Filter 4 transmittiert vorzugsweise die Pumpstrahlung 13 mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und vorzugsweise nicht die elektromagnetische Strahlung der besagten anderen Wellenlängenbereiche. Hierdurch bestrahlt die Lichtquelle 2 im Wesentlichen die Sensorschicht 5 ausschließlich mit Pumpstrahlung 13 einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Die Sensorschicht 5 umfasst bevorzugt Kristalle und/oder Nanokristalle 66 mit paramagnetischen Zentren. Optische Funktionselemente und/oder Filterfolien etc. der Beleuchtungsoptik 3 im Strahlengang zwischen der Lichtquelle 2 und der Sensorschicht 5 homogenisieren bevorzugt die Intensitätsverteilung der Pumpstrahlung 13 mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} auf der Sensorschicht 5. Bei einer Sensorschicht 5 mit einer homogenen Verteilung der paramagnetischen Zentren über die Fläche der Sensorschicht 5 homogenisiert dies die Intensität der Fluoreszenzstrahlung 14 der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Nanokristalle 66 der Sensorschicht 5 in einem homogenen Magnetfeld B. Bevorzugt umfassen die Kristalle und/oder Nanokristalle 66 der Sensorschicht 5 Diamanten. Bevorzugt umfassen die Kristalle 66 der Sensorschicht 5 Nanokristalle 66. Bevorzugt handelt es sich bei den paramagnetischen Zentren um NV-Zentren in Diamantkristallen der Sensorschicht 5. Bevorzugt umfasst das Trägermaterial der Sensorschicht 5 diese Kristalle und/oder Nanokristalle 66. Diese Sensorschicht 5 ist bevorzugt auf einer ebenen Fläche 15 aufgebracht. Die Sensorschicht 5 umfasst somit diese paramagnetische Zentren. Da die Kristalle 66 sehr klein als Nanokristalle 66 ausgeführt sein können, kann die Sensorschicht 5 sehr dünn ausgeführt sein und sehr dicht mit Kristallen und/oder Nanokristallen 66 angefüllt sein. Da die vorzugsweise ebene Fläche 16 vorzugsweise als sehr dünne Gehäusewand des Gehäuses 8 ausgeführt ist, ist der Abstand zwischen Sensorschicht 5 und der Außenfläche des Gehäuses 8 im Bereich der Sensorschicht 5 sehr klein. Vorzugsweise ist der Abstand 26 zwischen Sensorschicht 5 und der Außenfläche des Gehäuses 8 im Bereich der Sensorschicht 5 kleiner als 1mm, besser kleiner als 500 μm , besser kleiner als 200 μm , besser kleiner als 100 μm , besser kleiner als 50 μm , besser kleiner als 20 μm , besser kleiner als 10 μm , besser kleiner als 5 μm , besser kleiner als 2 μm , besser kleiner als 1 μm . Vorzugsweise ist die Dicke 25 der Sensorschicht 5 kleiner als 1mm, besser kleiner als 500 μm , besser kleiner als 200 μm , besser kleiner als 100 μm , besser kleiner als 50 μm , besser kleiner als 20 μm , besser kleiner als 10 μm , besser kleiner als 5 μm , besser kleiner als 2 μm , besser kleiner als 1 μm . Vorzugsweise ist das Verhältnis zwischen der Dicke 25 der Sensorschicht 5 geteilt durch den Abstand 26 zwischen Sensorschicht 5 und der Außenfläche des Gehäuses 8 im Bereich der Sensorschicht 5 kleiner als 1, besser kleiner als 0,5, besser kleiner als 0,2, besser kleiner als 0,1, besser kleiner als 0,05, besser kleiner als 0,02, besser kleiner als 0,01. Die Untergrenze des Vorzugsweise ist das Verhältnis zwischen der Dicke 25 der Sensorschicht 5 geteilt durch den Abstand 26 zwischen Sensorschicht 5 und der Außenfläche des Gehäuses 8 im Bereich der Sensorschicht 5 bestimmen sie Anforderung der jeweiligen Anwendung. Ein niedriges Verhältnis führt letztlich zu einer verschlechterten Auflösung, sodass nicht immer ein niedrigeres Verhältnis einen Vorteil bietet. Je nach Material der Gehäusewand des Gehäuses im Bereich der Sensorschicht 5 und je nach den Anforderungen kann dieser Abstand zwischen Sensorschicht 5 und der Außenfläche des Gehäuses 8 im

Bereich der Sensorschicht 5 nach unten hin durch Anforderungen der mechanischen Stabilität, der Lebensdauer etc. begrenzt sein. Größere Abstände zwischen Sensorschicht 5 und der Außenfläche des Gehäuses 8 im Bereich der Sensorschicht 5 verringern die Auflösung der Sensormessvorrichtung. Bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung 13 der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} durch die Lichtquelle 2 emittieren die paramagnetischen Zentren der Sensorschicht 5 Fluoreszenzstrahlung 14 mit einer Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} . Die Intensität der Fluoreszenzstrahlung 14 mit einer Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} hängt dabei von der magnetischen Flussdichte B am Ort des jeweiligen paramagnetischen Zentrums in der Sensorschicht 5 ab. Eine abbildende Optik 7 erfasst die Fluoreszenzstrahlung 14 mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} und bildet die Intensitätsverteilung der Emissionsintensität der Fluoreszenzstrahlung 14 mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} auf die vorzugsweise in einer Ebene angeordneten $n \times m$ Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 als Fluoreszenzbild der Emissionsintensität der Fluoreszenzstrahlung 14 mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} ab. Das Lichtsensorarray 1 mit der Auswerteelektronik 15 erfasst dieses Fluoreszenzbild der Emissionsintensität der Fluoreszenzstrahlung 14 mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} als $n \times m$ Matrix von Messwerten der $n \times m$ Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1. Der bei der Erprobung des Vorschlags benutzte Magnetfeldkamerakopf 21 erreichte eine effektive Auflösung von $33\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$. Die theoretisch erzielbare Auflösung liegt typischerweise im Bereich der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung 14. Das hier vorgelegte Dokument offenbart somit eine technische Lehre für einen Magnetfeldkamerakopf 21 zur orts aufgelösten und bildgebenden Erfassung der Verteilung der Stärke der magnetischen Flussdichte B mit einer Auflösung von besser kleiner als $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$, bzw. besser kleiner als $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$, bzw. besser kleiner als $20\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$, bzw. besser kleiner als $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$, bzw. besser kleiner als $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$, bzw. besser kleiner als $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$, bzw. besser kleiner als $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$. Für diese hohen Auflösungen sollten die Kristalle und/oder Nanokristalle 66 mit den paramagnetischen Zentren in der Sensorschicht 5 um einen Faktor größer 2, besser um einen Faktor größer 5, um einen Faktor größer 10, besser um einen Faktor größer 20, besser um einen Faktor größer 50, um einen Faktor größer 100 kleiner als die effektive Länge der Außenkante der effektiven Größe eines Pixels der Auflösung, wie zuvor angegeben, sein. Für diese hohen Auflösungen sollte die Dicke 25 der Sensorschicht 5 um einen Faktor größer 2, besser um einen Faktor größer 5, um einen Faktor größer 10, besser um einen Faktor größer 20, besser um einen Faktor größer 50, um einen Faktor größer 100 kleiner als die effektive Länge der Außenkante der effektiven Größe eines Pixels der Auflösung, wie zuvor angegeben, sein. Die Aufbereitungsschaltung für die $n \times m$ Ausgangssignale 31 der $n \times m$ Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 bereitet die typischerweise analogen Signale der $n \times m$ Ausgangssignale 31 der $n \times m$ Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 auf und digitalisiert diese vorzugsweise. Diese Aufbereitung umfasst bevorzugt eine Verstärkung und / oder Filterung. Vorzugsweise multipliziert ein Rechnersystem der Auswerteelektronik 15, das vorzugsweise Teil der Aufbereitungsschaltung ist, oder eines nachfolgenden Rechnersystems 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 die $n \times m$ Messwerte mit $n \times m$ Kalibrationswerten einer $n \times m$ Kalibrationsmatrix. Dies dient dazu, ggf. doch noch vorhandene Inhomogenitäten der Fluoreszenzintensität der Fluoreszenzstrahlung 14 bei homogenem Magnetfeld B zu eliminieren. Vorzugsweise gibt das Rechnersystem der Aufbereitungsschaltung der Auswerteelektronik 15 über eine Schnittstellenschaltung die so korrigierten Werte der Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1, an ein übergeordnetes System, beispielsweise ein übergeordnetes Rechnersystem mit einem Bildschirm über einen Datenbus oder dergleichen weiter. Bevorzugt befindet sich der Strahlengang der Pumpstrahlung 13 und der Fluoreszenzstrahlung 14 von der Lichtquelle 2 bis zum Lichtsensorarray 1 innerhalb eines vorzugsweise lichtdichten Gehäuses 8. Vorzugsweise befindet sich in dem optischen Pfad zwischen Sensorschicht 5 und Lichtsensorarrays 1 der optische Longpass-Filter 6. Vorzugsweise befindet sich der optische Longpass-Filter 6 möglichst nahe der Oberfläche oder auf der Oberfläche des Lichtsensorarrays 1. Der optische der optische Longpass-Filter 6 stellt bevorzugt sicher, dass im Wesentlichen nur elektromagnetische Strahlung 14 mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} , also im Wesentlichen nur Fluoreszenzstrahlung 14 mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} die Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 erreicht.

[0568] Die Oberseite 23 der Sensorschicht 5 befindet sich vorzugsweise innerhalb des Gehäuses 8.

[0569] Die Unterseite 22 der Sensorschicht 5 befindet sich vorzugsweise außerhalb des Gehäuses 8. an dessen Oberfläche. Vorzugsweise bedeckt ein Lichtschutz die Unterseite 22 der Sensorschicht 5. Dies verhindert, dass Licht in das Gehäuse 8 eindringt und zum Lichtsensorarrays 1 gelangt. Die Sensorschicht 5 ist bevorzugt transparent für elektromagnetische Strahlung der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Die Sensorschicht 5 ist bevorzugt transparent für elektromagnetische Strahlung der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} .

[0570] Beispielsweise kann der Lichtschutz ein Lack auf der Unterseite 22 der Sensorschicht 5 oder ein besonders dünner, lichtundurchlässiger Teil 16 der Gehäusewand des Gehäuses 8 sein. Bevorzugt beein-

flusst eine solche dünne Gehäusewand 16 des Gehäuses 8 im Bereich der Sensorschicht 5 das magnetische Feld, also beispielsweise die magnetische Flussdichte B , nicht.

[0571] Bevorzugt umfasst das Lichtsensorarray 1 $n \times m$ Lichtsensoren, die vorzugsweise in einer Fläche angeordnet sind. Hierbei sind n und m positive ganze Zahlen.

[0572] Im Blickfeld der Kamera befinden sich dabei Leitungen 1320, 1310, 1330 einer beispielhaften Tri-Plate-Leitung 1380 mit einem Sensorelement in den Clearances 2340 und 2350. Die Verwendung anderer Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar. Auch die Verwendung einer durchgängigen Sensorschicht 5 ohne Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar, wobei dann die Nutzung einer Mikrowellen- und/oder HF-Anregung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren der Sensorschicht 5 nicht möglich ist. Die Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) kann beispielsweise über eine Steckverbindung, wie beispielsweise eine Koaxialbuchse oder einen Triax-Buchse 71 vorzugsweise angeschlossen werden.

Figur 15

[0573] Fig. 15 zeigt einen beispielhaften, nicht maßstabgerechten Querschnitt durch die Sensorschicht 5.

[0574] Auf ein Trägermaterial 9 ist eine Verspiegelung 10 aufgebracht. Das Trägermaterial 9 befindet sich in Richtung der Unterseite 22 der Sensorschicht 5. Die Verspiegelung 10 befindet sich bezogen auf das Trägermaterial 9 in Richtung der Oberseite 23 der Sensorschicht 5. Die Verspiegelung 10 ist bevorzugt undurchlässig für elektromagnetische Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Die Verspiegelung 10 reflektiert bevorzugt elektromagnetische Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} wieder zurück in den Innenraum des Gehäuses 8. Dies hat den Vorteil, dass die Pumpstrahlung 13 mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} die Schicht mit Kristallen und/oder Nanokristallen 66 mit paramagnetischen Zentren 11 zweimal durchläuft. Dies verdoppelt die Pumpleistung und damit die Intensität der Fluoreszenzstrahlung 14, die $n \times m$ Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 erreicht.

[0575] Die Verspiegelung 10 reflektiert bevorzugt elektromagnetische Strahlung mit der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} wieder zurück in den Innenraum des Gehäuses 8. Dies hat den Vorteil, dass die Fluoreszenzstrahlung 14 mit Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} , die die paramagnetischen Zentren der Schicht mit Kristallen und/oder Nanokristallen 66 mit paramagnetischen Zentren 11 in Richtung Unterseite 22 der Sensorschicht 5 emittieren, zurück in Richtung Oberfläche der Oberseite 23 der Sensorschicht 5 reflektieren. Dies verdoppelt nochmals die Intensität der Fluoreszenzstrahlung 14, die $n \times m$ Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 erreicht.

[0576] Auf der Verspiegelung 10 in Richtung Oberseite 23 der Sensorschicht 5 befindet sich vorschlagsgemäß die Schicht mit Kristallen und/oder mit Nanokristallen 66 mit paramagnetischen Zentren 11.

[0577] Eine weitere Trägermaterialschiicht 12 deckt vorzugsweise die die Schicht mit Kristallen und/oder Nanokristallen 66 mit paramagnetischen Zentren 11 ab. Vorzugsweise ist das Material der Trägermaterialschiicht 12 transparent für elektromagnetische Strahlung, insbesondere Pumpstrahlung 13, mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Vorzugsweise ist das Material der Trägermaterialschiicht 12 transparent für elektromagnetische Strahlung mit Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} .

[0578] Die Sensorschicht 5 kann optische Funktionselemente wie Lichtwellenleiter und/oder Filter und/oder photonische Kristalle und/oder digitale Optiken umfassen. Die digitalen Optiken können in die Oberfläche der Sensorschicht 5 eingeprägt oder sonst wie eingearbeitet sein.

[0579] Die Sensorschicht 5 kann optische Funktionselemente wie Lichtwellenleiter und/oder Filter umfassen.

Figur 16

[0580] Fig. 16 zeigt eine typische Nutzungssituation. Der Magnetfeldkamerakopf 21 ist vorzugsweise auf der Oberfläche 34 des jeweiligen Messobjekts mit der Unterseite 24 des Gehäuses 8 aufgesetzt. In Fig. 16 ist die auf der Oberfläche 34 des jeweiligen Messobjekts die Oberfläche des beispielhaften ferromagnetischen Materials 17. Das beispielhafte ferromagnetische Material 17 der Fig. 16 weist beispielhafte Inhomogenitäten in Form von beispielhaften Fehlern 18 in dem beispielhaften ferromagnetischen Material 17 der Fig. 16 auf. Zwei Hilfsmagnete 19 stellen eine magnetische Erregung des magnetischen Prüfkreises bereit. Der beispiel-

hafte magnetische Prüfkreis umfasst hier die beiden Hilfsmagnete 19, das Material des Messobjekts in Form des beispielhaften ferromagnetischen Materials 17 und den Luftraum um diese Objekte herum. Die beispielhaften Fehler 18 in dem beispielhaften ferromagnetischen Material 17 der Fig. 16 verzerren das magnetische Feld im Bereich dieser Fehler 18. Bei den Fehlern kann es sich beispielsweise um Risse, Bohrungen, Nuten, Lunker, Höhlungen, Materialzusammensetzungsfluktuationen und andere Strukturen handeln deren magnetische Materialparameter zu einer Veränderung der Struktur der magnetischen Flusslinien des magnetischen Flusses B in diesem Bereich dieser Fehler 18 führen.

[0581] Die Fehler 18 führen zu einer Veränderung der Verteilung und Stärke des magnetischen Flusses B, der aus dem Material des Messobjekts in Form des beispielhaften ferromagnetischen Materials 17 in den Luftraum um diese Objekte herum austritt. Damit verändert sich die Verteilung und Richtung der magnetischen Flussdichte B bei der Durchdringung der Sensorschicht 5. Dies wiederum verändert die Intensitätsverteilung der Intensität der Fluoreszenzstrahlung 14 der paramagnetischen Zentren der Sensorschicht 5 in der Sensorschicht 5. Damit ändert sich das Fluoreszenzbild der Sensorschicht 5, das die Fluoreszenzkamera mittels der abbildenden Optik 7 und den $n \times m$ Lichtsensoren des Lichtsensorarray 1 aufnimmt. Das Lichtsensorarray 1 erfasst das Fluoreszenzbild der Sensorschicht 5 und übermittelt dieses Fluoreszenzbild der Sensorschicht 5 an ein Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21. Bevorzugt führt das ein Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 ein Bildverarbeitungsprogramm aus. Vorzugsweise ermittelt das Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 eine Abweichung zwischen dem Fluoreszenzbild des fehlerhaften Messobjekts und dem Fluoreszenzbild eines fehlerfreien Messobjekts oder einem berechneten oder sonst wie erzeugten Referenzfluoreszenzbild. Beispielsweise kann das Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 ein KI-Programm zur Klassifizierung der Abweichungen und/oder der Fehler und/oder zur Bewertung der Abweichungen und/oder der Fehler ausführen. Beispielsweise kann das Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 ein neuronales Netzwerkmodell zur Klassifizierung der Abweichungen und/oder der Fehler und/oder zur Bewertung der Abweichungen und/oder der Fehler ausführen. Beispielsweise kann das Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 ein KI-Programm zur Klassifizierung und/oder Bewertung eines oder mehrerer Fluoreszenzbilder ausführen. Beispielsweise kann das Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 ein neuronales Netzwerkmodell zur Klassifizierung und/oder zur Bewertung eines oder mehrerer Fluoreszenzbilder ausführen.

[0582] Um ein vollständiges Bild des Zustands der Oberfläche 34 des Materials des Messobjekts, hier in Form des beispielhaften ferromagnetischen Materials 17, zu erhalten bewegt die messende Person und/oder eine mechanische Positioniervorrichtung den Magnetfeldkamerakopfes 21 vorzugsweise mit einer Geschwindigkeit 20 über die Oberfläche 34 des Materials des Messobjekts, hier in Form des beispielhaften ferromagnetischen Materials 17.

[0583] Vorzugsweise sind die Hilfsmagneten 19 dabei fest mit dem Magnetfeldkamerakopfes 21 verbunden und/oder ein Teil desselben. die Hilfsmagnete 19 erzeugen die notwendige magnetische Erregung H des magnetischen Kreises, dessen Teil die Sensorschicht 5 vorzugsweise ist.

[0584] Die Hilfsmagnete 19 umfassen bevorzugt Permanentmagnete. Die Hilfsmagnete 19 können Elektromagnete sein oder umfassen. sofern die Hilfsmagnete 19 Elektromagnete umfassen kann können die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und/oder ein Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 und/oder eine andere Steuervorrichtung und/oder ein anderes Rechnersystem mittels einer Ansteuervorrichtung für die Elektromagnete der Hilfsmagnete 19 beispielsweise die Amplitude der magnetischen Erregung H der Hilfsmagnete 19 mit einem Code und/oder einer Frequenz modulieren.

[0585] Bei dem Code kann es sich beispielsweise um einen Spreiz-Code handeln. Beispielsweise kann ein Pseudozufallszahlengenerator PRNG der Ansteuervorrichtung 39 für die Elektromagnete der Hilfsmagnete 19 den Spreizcode in Form eines Spreizcodesignals erzeugen. Bevorzugt weist das Spreizcodesignal die Taktfrequenz des Pseudozufallszahlengenerator PRNG auf. Beispielsweise kann es sich bei dem Pseudozufallszahlengenerator PRNG um ein mit einem einfach primitiven Polynom rückgekoppeltes Schieberegister handeln. Typischerweise modulieren die Hilfsmagnete die von ihnen erzeugte magnetische Feldstärke H dann zumindest zu einem Teil mit der jeweiligen Amplitude des Spreizcodesignals der Ansteuervorrichtung 39 für die Elektromagnete der Hilfsmagnete 19. Der Einfachheit halber sprechen wir auch bei einem monofrequenten Spreizcode in Form einer einzigen Modulationsfrequenz von einem Spreizcodesignal. Bevorzugt weist das Spreizcodesignal eine untere Grenzfrequenz ω_u und eine obere Grenzfrequenz ω_o auf. Bevorzugt hat das Spreizcodesignal unterhalb der unteren Grenzfrequenz ω_u im Wesentlichen eine Amplitude von 0.

Bevorzugt hat das Spreizcodesignal oberhalb der oberen Grenzfrequenz ω_0 im Wesentlichen eine Amplitude von 0.

[0586] Bevorzugt weist das Trägersignal des Spreizcodesignals eine Trägerfrequenz auf, die typischerweise gleich der Frequenz der Schiebefrequenz des typischerweise linear rückgekoppelten Schieberegisters des Pseudozufallszahlengenerators PRNG ist. Im Falle eines monofrequenten Spreizcodes entspricht die Trägerfrequenz dieser Frequenz des Spreizcodes. Vorzugsweise ist die Trägerfrequenz gleich der Frame-Rate (Bildwiederholrate) mit der die Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 der Fluoreszenzkamera das Fluoreszenzbild der Sensorschicht 5 erfassen. Bei dem Magnetfeldkamerakopf 21 der hier dargestellten Beispiele lag diese Frame-Rate bei bis zu 160 Frames pro Sekunde. Die Framerate der Magnetfeldkamera ist dabei im Sinne des hier vorgelegten Dokuments die Rate der erzeugten und übertragenen Fluoreszenzbilder der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 pro Sekunde. Bevorzugt schwankt das Spreizcodesignal beispielsweise zwischen den Werten 0 und 1.

[0587] Da dann die magnetische Feldstärke H mit dem Spreizcodesignal moduliert ist, ist dann auch die magnetische Flussdichte B , die die Sensorschicht 5 durchdringt, mit dem Spreizcodesignal moduliert. Daher ist auch die Intensität der Fluoreszenzstrahlung 14 mit dem Spreizcodesignal moduliert. Bevorzugt erfassen die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und/oder das Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 mehrere Fluoreszenzbilder der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 der Fluoreszenzkamera und multiplizieren die Amplituden der Pixelwerte der Messwerte der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 mit dem Inversen des Werts des Spreizcodesignals bzw. mit dem Inversen des Werts der Summe aus dem Wert des Spreizcodesignals plus einem Offset. Eine Division durch 0 ist ja nicht möglich.

[0588] Vorzugsweise werden die die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und/oder das Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 mehrere Frames, also Fluoreszenzbilder, der Fluoreszenzkamera, als der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1, in einer Auswertebildsequenz aus.

[0589] Zu Beginn der Auswertesequenz initialisieren die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und/oder das Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 je Lichtsensor des Lichtsensorarrays 1 von einer jeweiligen Pixelsumme für den Summenwert des betreffenden Lichtsensors des Lichtsensorarrays 1 auf einen vorgebbaren Initialwert. Typischerweise ist dieser Initialwert 0.

[0590] Vorzugsweise werden die die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und/oder das Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 Pixelwerte eines Lichtsensors des Lichtsensorarrays 1 in Zeiten zu denen das Spreizcodesignal beispielsweise den Werten 0 annimmt negativ und ziehen den jeweiligen Pixelwert eines Lichtsensors des Lichtsensorarrays 1 daher in dem Fall von einer Pixelsumme für den Summenwert des betreffenden Lichtsensors des Lichtsensorarrays 1 ab.

[0591] Vorzugsweise werden die die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und/oder das Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 Pixelwerte eines Lichtsensors des Lichtsensorarrays 1 in Zeiten zu denen das Spreizcodesignal beispielsweise den Werten 1 annimmt positiv und addieren den jeweiligen Pixelwert eines Lichtsensors des Lichtsensorarrays 1 daher in dem Fall daher zu einer Pixelsumme für den Summenwert des betreffenden Lichtsensors des Lichtsensorarrays 1 hinzu.

[0592] Nachdem die Auswertesequenz beendet ist und die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und/oder das Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 die geplanten, mehreren Frames, also Fluoreszenzbilder, der Fluoreszenzkamera, also der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1, in der Auswertebildsequenz ausgewertet haben, erzeugen die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und/oder das Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 aus den resultierenden jeweiligen Pixelsummen für die jeweiligen Summenwerte der jeweiligen Lichtsensors des Lichtsensorarrays 1 ein verbessertes Fluoreszenzbild.

[0593] Diese Vorgehensweise eliminiert ein Hintergrundrauschen und erhöht die Empfindlichkeit.

[0594] Im Blickfeld der Kamera befinden sich dabei Leitungen 1320, 1310, 1330 einer beispielhaften Tri-Plate-Leitung 1380 mit einem Sensorelement in den Clearances 2340 und 2350. Die Verwendung anderer Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar. Auch die Verwendung einer durchgängigen Sensorschicht 5 ohne Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar, wobei dann die Nutzung einer Mikrowellen- und/oder HF-Anregung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren der Sensorschicht 5 nicht möglich ist. Die Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) kann beispielsweise über eine Steckverbindung, wie beispielsweise eine Koaxialbuchse oder einen Triax-Buchse 71 vorzugsweise angeschlossen werden.

Figur 17

[0595] Fig. 17 zeigt das System der Fig. 14 vereinfacht mit den Ansteuer- und Auswertevorrichtungen als Blockdiagramm.

[0596] Die Lichtquelle 2 emittiert Pumpstrahlung 13 mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und unerwünschte elektromagnetische Strahlung 27 anderer Wellenlängenbereiche. Ein optischer Shortpass-Filter 4 lässt bevorzugt nur die Pumpstrahlung 13 passieren und hält bevorzugt die elektromagnetische Strahlung 27 anderer Wellenlängenbereiche zurück. Sofern die Lichtquelle 2 keine unerwünschte elektromagnetische Strahlung 27 anderer Wellenlängenbereiche emittiert, ist dieses optische Shortpass-Filter 4 nicht notwendig. Eine Beleuchtungsoptik 3 sorgt dafür, dass die Pumpstrahlung 13 die Sensorschicht 5 möglichst homogen ausleuchtet. Die Beleuchtungsoptik 3 kann ein oder mehrere optische Funktionselemente umfassen. Die Sensorschicht 5 ist vorzugsweise auf einem mechanischen Träger, beispielsweise einer ebenen Fläche 16, aufgebracht. Vorzugsweise ist die ebene Fläche 16 Teil der Gehäusewand des hier nicht gezeichneten Gehäuses 8. Das Material dieser ebenen Fläche 16 bzw. der Gehäusewand des Gehäuses 8 in diesem Bereich ist bevorzugt nicht magnetisch und beeinflusst bevorzugt das magnetische Feld im Wesentlichen nicht. Die Sensorschicht 5 umfasst bevorzugt eine Vielzahl zufällig und vorzugsweise gleichverteilt orientierte Kristalle und/oder Nanokristalle 66 mit paramagnetischen Zentren. Bei den paramagnetischen Zentren kann es sich bei der Verwendung von Diamant als Kristallmaterial beispielsweise um NV-Zentren und/oder SiV-Zentren und/oder TiV-Zentren und/oder GeV-Zentren und/oder SnV-Zentren und/oder NiN4-Zentren und/oder PbV-Zentren und/oder ST1-Zentren handeln. Die Pumpstrahlung 13 besitzt bei der Verwendung von NV-Zentren in Diamant als Kristalle und/oder Nanokristalle 66 der Sensorschicht 5 bevorzugt eine Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} in einem Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm Wellenlänge und/oder besser 450 nm bis 650 nm und/oder besser 500 nm bis 550 nm und/oder besser 515 nm bis 540 nm aufweisen. Bevorzugt ist dabei eindeutig eine Wellenlänge von 532 nm als Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Im Falle der Verwendung von NV-Zentren in Diamant oder in Diamanten der Sensorschicht 5 ist eine Laser-Diode der Fa. Osram vom Typ PLT5 520B beispielsweise als Lichtquelle 2 mit 520nm Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} geeignet. Bei der Verwendung von NV-Zentren in Diamantkristallen in der Sensorschicht 5 als paramagnetische Zentren der Sensorschicht 5 emittieren die NV-Zentren der Sensorschicht 5 typischerweise bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung 13 der oben beschriebenen Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} eine Fluoreszenzstrahlung 14 mit einer typischen Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} von ca. 637nm bei NV-Zentren. Eine abbildende Optik 7 erfasst bevorzugt das Fluoreszenzbild der ortsabhängigen Fluoreszenzintensität der Fluoreszenzstrahlung 14 mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} , das die Sensorschicht 5 mittels der paramagnetischen Zentren in der Sensorschicht 5 erzeugt. Ein optisches Longpass-Filter 6 lässt bevorzugt elektromagnetische Strahlung mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} und damit die Fluoreszenzstrahlung 14 passieren. Das optische Longpass-Filter 6 blockiert bevorzugt die Passage elektromagnetische Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und damit die Passage der Pumpstrahlung 13. Hierdurch kann die abbildende Optik 7 das Fluoreszenzbild der Sensorschicht 5 im Wellenlängenbereich der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} erfassen und auf die $n \times m$ Lichtsensoren des $n \times m$ Lichtsensorarrays 1 der Fluoreszenzkamera abbilden. Da die Intensität der Fluoreszenzstrahlung 14 der Sensorschicht 5 lokal in der Sensorschicht 5 von der magnetischen Flussdichte B am Ort des jeweiligen paramagnetischen Zentrums in der Sensorschicht 5 abhängt, entspricht das Fluoreszenzbild der Sensorschicht 5 einem Magnetflussdichtenbetragsbild des magnetischen Flussdichtefeldes, das die Sensorschicht 5 durchflutet. Da in der Regel die Dichteverteilung der paramagnetischen Zentren in der Sensorschicht 5 und/oder die Ausleuchtung der Sensorschicht 5 mit Pumpstrahlung 13 und/oder die Erfassung der Fluoreszenzintensität der Fluoreszenzstrahlung 14 über die Fläche der Sensorschicht 5 bei allem Bemühen nicht ganz homogen sind, hat es sich bewährt, durch Kalibrationsmessungen das System vor dem ersten Gebrauch zu kalibrieren. Zur Verarbeitung der Messwerte der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 erfassen Auswertelektroniken 15 des Lichtsensorarrays 1 die Messwerte des Signale der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und bilden daraus insbesondere durch Verstärkung und/oder Filterung die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1. Die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 steuert bevorzugt mittels einer Ansteuervorrichtung 35 für die

Elektromagnete der Hilfsmagnete 19 die Hilfsmagnete 19, wenn diese nicht nur Permanentmagnete umfassen. Die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 erzeugt aus den die Ausgangssignalen 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 ein Fluoreszenzbild und/oder beispielsweise ggf. auch ein verbessertes Fluoreszenzbild, wie oben beschrieben. Aufgrund der zuvor dargestellten Zusammenhänge stellen das Fluoreszenzbild und/oder beispielsweise ggf. auch das verbesserte Fluoreszenzbild ein Magnetflussdichtenbetragsbild des magnetischen Flussdichtefeldes in der Sensorschicht 5 bzw. ein verbessertes Magnetflussdichtenbetragsbild des magnetischen Flussdichtefeldes in der Sensorschicht 5 dar. Die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 überträgt dieses Fluoreszenzbild bzw. das verbesserte Fluoreszenzbild vorzugsweise mittels der Schnittstellenschaltung 36 über einen Datenbus 29 an ein Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21. Bevorzugt erzeugt das Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 aus diesem Fluoreszenzbild bzw. aus dem verbesserten Fluoreszenzbild eine ein- oder zwei- oder dreidimensionale Darstellung der Verteilung der magnetischen Flussdichte in der Sensorschicht 5 und stellt diese auf dem Bildschirm 32 dar. Der Datenbus 29 dient dabei der Herstellung der Datenverbindung zwischen Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21. Das Messobjekt, hier beispielhaft ein ferromagnetisches Material 17 mit Fehlern 18 erzeugt die Variationen der magnetischen Flussdichte B in der Sensorschicht 5, die zu den besagten Magnetflussdichtenbetragsbildern des magnetischen Flussdichtefeldes in der Sensorschicht 5 bzw. den verbesserten Magnetflussdichtenbetragsbildern des magnetischen Flussdichtefeldes in der Sensorschicht 5 führen.

Figur 18

[0597] Fig. 18 zeigt eine Zeichnung auf Basis eines beispielhaften Fotos eines beispielhaften, bei der Ausarbeitung des hier vorgelegten Vorschlags erstellten Sensorkopfes 21 mit abgenommenen Deckel. Die Zeichnung entspricht im Wesentlichen der Fig. 13. Zu erkennen ist die Zuleitung mit dem Datenbus 29 zur Herstellung der Datenverbindung zwischen Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21. Außerdem sind die Lichtquelle 2 und die mit grüner Pumpstrahlung 13 bestrahlte Sensorschicht 5 zu erkennen.

[0598] Im Blickfeld der Kamera befinden sich dabei Leitungen 1320, 1310, 1330 einer beispielhaften Tri-Plate-Leitung 1380 mit einem Sensorelement in den Clearances 2340 und 2350. Die Verwendung anderer Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar. Auch die Verwendung einer durchgängigen Sensorschicht 5 ohne Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar, wobei dann die Nutzung einer Mikrowellen- und/oder HF-Anregung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren der Sensorschicht 5 nicht möglich ist. Die Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) kann beispielsweise über eine Steckverbindung, wie beispielsweise eine Koaxialbuchse oder einen Triax-Buchse 71 vorzugsweise angeschlossen werden.

Figur 19a

[0599] Fig. 19a zeigt eine Zeichnung auf Basis eines beispielhaften Fotos eines beispielhaften, bei der Ausarbeitung des hier vorgelegten Vorschlags erstellten Sensorkopfes 21 mit abgenommenen Deckel. Die Zeichnung entspricht im Wesentlichen ebenfalls der Fig. 13. Zu erkennen sind die Lichtquelle 2, Unterseite 24 des Gehäuses 8, die abbildende Optik 7 in Form eines Kameraobjektivs und ein bisher nicht erwähnter Spiegel 3 zur Homogenisierung der Pumpstrahlungsintensität der Pumpstrahlung 13 auf der Sensorschicht 5. Der Magnetfeldkamerakopfes 21 der Fig. 19a ist ein Beispiel für eine Beleuchtungsoptik 3, die mehrere optische Funktionselemente umfasst.

Figur 19b

[0600] Fig. 19b entspricht im Wesentlichen der Fig. 19a und zeigt den gleichen Magnetfeldkamerakopfes 21 aus einer etwas anderen Perspektive. Das Lichtsensorarray 1 und das optische Longpass-Filter 6 sind in der grauen Ausstülpung untergebracht. Die Dicke der Gehäusewand des Gehäuses 8 im Bereich der Sensorschicht 5 und die Unterseite 24 des Gehäuses 8 sind gut zu erkennen. Die Zuleitung mit dem Datenbus 29 zur Herstellung der Datenverbindung zwischen Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21. Außerdem sind die Lichtquelle 2 und die mit grüner Pumpstrahlung 13 bestrahlte Sensorschicht 5 zu

erkennen. Der beispielhafte Magnetfeldkamerakopf 21 ist in der Lage, die örtliche Verteilung magnetischer Flussdichten mit Beträgen von 0mT bis ca. 50mT darzustellen.

Figur 20

[0601] Fig. 20 zeigt eine Zeichnung des Prototypen mit aufgesetztem Deckel. Der Innenraum des Gehäuses 8 des Magnetfeldkamerakopf 21 ist dann lichtdicht verschlossen.

Figuren 21 und 22

[0602] Fig. 22 zeigt oben das muster-kodierte Magnetflussdichtenbetragsbild 39 der Verteilung der magnetischen Flussdichte von vier Permanentmagneten 37 auf einer Glasplatte 38 in willkürlichen Einheiten. Das System der Fig. 17 erzeugte dieses zweidimensionale Falschfarben- Magnetflussdichtenbetragsbild 39 der Verteilung der magnetischen Flussdichte von vier Permanentmagneten 37 auf einer Glasplatte 38 durch Aufsetzen des Magnetfeldkamerakopfes 21 der vorhergehenden Seiten mit dessen Unterseite 24 auf die Permanentmagneten 37. (Siehe hierzu Fig. 21)

[0603] Fig. 22 zeigt unten den eindimensionalen Verlauf der Fluoreszenzintensität längs einer Linie durch die Gruppierung der Permanentmagneten 37 hindurch. Die Magnetfeldkamera kann Strukturen kleiner 500µm auflösen.

[0604] Bei diesen beiden Bildern handelt es sich um Zeichnungen basierend auf Screen-Shots der Darstellung auf dem Bildschirm 32.

Figur 23

[0605] Fig. 23 zeigt eine Darstellung für vier magnetisierte Ringe. Die Fig. 22 zeigt unten links die entsprechende Anordnung als eine Zeichnung basierend auf einem Foto.

Figuren 24 und 25

[0606] Die Fig. 24 entspricht der Fig. 21. Die Fig. 25 entspricht der Fig. 22. Bei der Erstellung der Fig. 25 wurde nun eine magnetisierbare ferromagnetische flächige Figur (siehe Fig. 23) verwendet.

[0607] Fig. 25 zeigt oben das zweidimensionale muster-kodierte Magnetflussdichtenbetragsbild 39 der Verteilung der magnetischen Flussdichte der magnetisierten Figur auf einer Glasplatte 38 in willkürlichen Einheiten. Das System der Fig. 17 erzeugte dieses muster-kodierte Magnetflussdichtenbetragsbild 39 der Verteilung der magnetischen Flussdichte von vier Permanentmagneten 37 auf einer Glasplatte 38 durch Aufsetzen des Magnetfeldkamerakopfes 21 der vorhergehenden Seiten mit dessen Unterseite 24 auf die magnetisierte Figur der Fig. 24.

[0608] Fig. 26 zeigt unten den eindimensionalen Verlauf der Fluoreszenzintensität längs einer Linie durch die magnetisierte Figur der Fig. 24 hindurch.

[0609] Bei diesen beiden Bildern handelt es sich um Zeichnungen basierend auf Screen-Shots der Darstellung auf dem Bildschirm 32.

Figur 26

[0610] Fig. 26 zeigt eine Darstellung für einen inhomogen magnetisierten Ring. Die Fig. 26 zeigt unten links die entsprechende Anordnung als Zeichnung basierend auf einem Foto.

Figur 27

[0611] Fig. 27 zeigt den Sensorkopf mit angebrachten Hilfsmagneten 19.

Figur 28

[0612] Fig. 28 zeigt die Detektion und Darstellung von Bohrungen in einem ferromagnetischen Material 17 mit einer Vorrichtung der Fig. 28, 16 und 17. Bei einem der beiden Bilder handelt es sich um eine Zeichnung

basierend auf einem Screen-Shot der Darstellung auf dem Bildschirm 32. Das andere Bild ist eine Zeichnung basierend auf einem Foto der Messituation.

Figur 29

[0613] Die Fig. 29 zeigt einen beispielhaften, alternativen Magnetfeldkamerakopfes 21 einer beispielhaften, alternativen Magnetfeldkamera. Das Gehäuse 8 dieses beispielhafte, alternativen Magnetfeldkamerakopfes 21 der beispielhaften, alternativen Magnetfeldkamera umfasst beispielhaft einen oberen Gehäuseteil 40 des Gehäuses 8 und einen unteren Gehäuseteil 41 des Gehäuses 8. Beispielsweise kann es sich bei dem oberen Gehäuseteil 40 des Gehäuses 8 um einen oberen 3D-Druckgehäuseteil des beispielhaften 3D-Druckgehäuses 8 handeln. Beispielsweise kann es sich bei dem unteren Gehäuseteil 41 des Gehäuses 8 um einen unteren 3D-Druckgehäuseteil des beispielhaften 3D-Druckgehäuses 8 handeln. Der untere Gehäuseteil 41 des Gehäuses 8 umfasst hier beispielhaft die Unterseite 24 des Gehäuses 8 mit der Sensorschicht 5, die bevorzugt die Schicht 11 mit Kristallen und/oder Nanokristallen 66 mit paramagnetischen Zentren umfasst. Die Sensorschicht 5 ist vorzugsweise durch eine dünne Materialschicht des unteren Gehäuseteils 41 des Gehäuses 8 an der die Unterseite 24 des Gehäuses 8 abgedeckt und dadurch mechanisch geschützt. Das Material dieser dünne Materialschicht des unteren Gehäuseteils 41 des Gehäuses 8 an der die Unterseite 24 des Gehäuses 8 beeinflusst bevorzugt die magnetische Flussdichte in Betrag und Richtung, die die Sensorschicht 5 durchflutet, bevorzugt im Wesentlichen nicht. Im Wesentlichen bedeutet hierbei, dass das Material dieser dünne Materialschicht des unteren Gehäuseteils 41 des Gehäuses 8 an der die Unterseite 24 des Gehäuses 8 die magnetische Flussdichte, die die Sensorschicht 5 durchflutet, beeinflusst, dass diese Beeinflussung für den jeweiligen technischen Zweck unerheblich ist und/oder dass diese Beeinflussung zur Beeinflussung eines Messwerts, der von der Fluoreszenzstrahlung 14 der der Schicht 11 abhängig ist, nur so wenig beeinflusst, dass dieser Messwert nur eine betragsmäßige Änderung erfährt, die betragsmäßig innerhalb eines vorgegebenen Toleranzintervalls liegt. Eine Energiezuleitung 55 ist mittels eines Anschlussstecker 56 für die Energiezuleitung 55 mit dem Schaltungsträger (PCB) 43 für die LEDs 44 und deren Energieversorgung 45 und der LEDs 44 im unteren Gehäuseteils 41 des Gehäuses 8 elektrisch verbunden. Die Energiezuleitung 55 dient der Energieversorgung des Schaltungsträgers (PCB) 43 für die LEDs 44 und deren Energieversorgung 45 und der LEDs 44.

[0614] Ein Datenbusleitung eines Datenbusses 29 dient der Herstellung der Datenverbindung zwischen Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21. (siehe auch Fig. 17)

[0615] Ein zweiter Kühlkörper 49 dient der Kühlung des Schaltungsträgers (PCB) 43 für die LEDs 44 und deren Energieversorgung 45 und der LEDs 44. Der zweite Kühlkörper 49 umfasst bevorzugt Kupfer oder ein anderes thermisch gut leitendes Material, das bevorzugt die magnetische Flussdichte, die die Schicht 11 der Sensorschicht 5 durchflutet, nicht oder schlechter im Wesentlichen nicht oder schlechter nur wenig beeinflusst, als Kühlkörpermateriale des zweiten Kühlkörpers 49. Die Ausarbeitung des Vorschlags ergab, dass es vorteilhaft ist, die Temperatur des Lichtsensorarrays 1 und/oder der Sensorschicht 5 niedrig zu halten, um den Signal-zu-Rausch-Abstand möglichst groß zu halten. Die LEDs 44 erzeugen trotz relativ gutem Wirkungsgrad im Betrieb eine größere Menge Abwärme, die der zweite Kühlkörper 49 zur Verbesserung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses aus dem Gehäuse 8 abführt.

[0616] Aus dem gleichen Grund weist der hier beispielhaft vorgeschlagene Magnetfeldkamerakopfes 21 einen ersten Kühlkörper 50 zur Kühlung der Auswertelektronik 15 des Lichtsensorarrays 1 und/oder des Lichtsensorarrays 1 auf. Der erste Kühlkörper 50 verbessert hierdurch das Signal-zu-Rauschverhältnis des Video-Signals der Lichtsensorarrays 1 in der Fluoreszenzkamera des Sensorkopfes 21.

Figur 30

[0617] Fig. 30 zeigt schematisch und vereinfacht einen Querschnitt durch den Magnetfeldkamerakopfes 21 der Fig. 29.

[0618] Das Gehäuse 8 des Magnetfeldkamerakopfes 21 umfasst beispielhaft wieder, wie in der Fig. 29 einen oberen Gehäuseteil 40 des Gehäuses 8 und einen unteren Gehäuseteil 41 des Gehäuses 8.

[0619] Der untere Gehäuseteil 41 des Gehäuses 8 umfasst beispielhaft einen Schaltungsträger (PCB) 43 für die LEDs 44 und deren Energieversorgung 45.

[0620] Auf dem Schaltungsträger (PCB) 43 sind hier beispielhaft LED-Vorwiderstände 59 montiert, beispielsweise aufgelötet oder aufgeklebt. Diese LED-Vorwiderstände 59 sind typischerweise LED-Vorwiderstände 59 der LEDs 44 auf dem Schaltungsträger (PCB) 43 für die Strombegrenzung des Diodenstroms der LEDs 44 im Betrieb.

[0621] Vorzugsweise deckt eine dünne Materialschicht des unteren Gehäuseteil 41 des Gehäuses 8 die Sensorschicht 5 ab. und schützt diese. Zur besseren Übersicht ist diese möglichst dünne Materialschicht des unteren Gehäuseteil 41 des Gehäuses 8 in der **Fig. 30** nicht eingezeichnet. Die Lager dieser dünnen Materialschicht ist im Bereich der Sensorschicht 5 im Wesentlichen gleich der Unterseite 24 des Gehäuses 8.

[0622] Ein auf dem Schaltungsträger (PCB) 43 montierter Kodierstecker 62 mit Jumper kann beispielsweise der Änderung analoger Betriebsparameter der elektronischen Schaltung auf dem Schaltungsträger (PCB) 43 dienen. Beispielsweise ist es denkbar, dass es möglich ist, den elektrischen LED-Strom durch die LEDs 44 auf dem Schaltungsträger (PCB) 43 mittels eines solchen Kodiersteckers 62 durch Positionieren des Jumpers einzustellen. Dabei sieht der Kodierstecker 62 typischerweise mehrere verschiedene mögliche Positionen des Jumpers auf dem Kodierstecker 62 vor, von denen jede dieser Positionen bevorzugt eine ganz bestimmte Bestromung der LEDs 44 mit einem elektrischen Strom mit einem ganz bestimmten Stromwert entspricht.

[0623] In dem Beispiel der **Fig. 30** sind die LED-Vorwiderstände 59 auf der der Fluoreszenzkamera zugewandten Seite des Schaltungsträgers (PCB) 43 montiert. In dem Beispiel der **Fig. 30** sind die LEDs 44 auf der der Fluoreszenzkamera abgewandten Seite des Schaltungsträgers (PCB) 43 montiert. Dies hat den Vorteil, dass kein oder nur wenig Streulicht von den LEDs 44 zu dem Lichtsensorarrays 1 in der Fluoreszenzkamera des Magnetfeldkamerakopfes 21 gelangen kann. Dies verbessert das Signal-zu-Rauschverhältnis des Messsignals des Magnetfeldkamerakopfes 21. Bevorzugt ist die Sensorschicht 5 mit dem Schaltungsträgers (PCB) 43 mechanisch beispielsweise durch einen Kleber 48 festverbunden.

[0624] Die Sensorschicht 5 umfasst bevorzugt, aber nicht notwendigerweise, eine Glasplatte 46

[0625] Die Glasplatte dient hier in dem Beispiel der **Fig. 30** als beispielhaftes optisches Funktionselement, dass die paramagnetischen Zentren der mit Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Bevorzugt bildet die Glasplatte 46 die ebene Fläche 16 des unteren Gehäuseteils 41 des Gehäuses 8 aus. Die Glasplatte 46 hat hier im Beispiel der **Fig. 30** auch die Funktion des Trägermaterials II 12.

[0626] Der erste Kühlkörper 50 dient der Kühlung der Auswertelektronik 15 des Lichtsensorarrays 1 und/oder des Lichtsensorarrays 1. Der erste Kühlkörper 50 umfasst bevorzugt Kupfer und/oder ein anderes thermisch gut leitenden, bevorzugt im Wesentlichen nicht magnetisches Material als Kühlkörpermaterial des ersten Kühlkörpers 50. Bevorzugt ist der erste Kühlkörper 50 in einem möglichst guten thermischen Kontakt mit dem Kameragehäuse 54 der Fluoreszenzkamera mit dem Lichtsensorarray 1 mit dessen Auswertelektronik 15 und der abbildenden Optik 7.

[0627] Beispielsweise kann Wärmeleitpaste 53 und/oder ein Wärmeleitkleber 53 Kühlrippen 51 mit dem ersten Kühlkörper 50 thermisch und/oder mechanisch verbinden. Hierdurch kann der Kühlkörper 50 die Wärme der Auswertelektronik 15 des Lichtsensorarrays 1 der Fluoreszenzkamera an die Umgebungsluft abgeben und die Temperatur des Lichtsensorarrays 1 senken. Dies verbessert das Signal-zu-Rausch-verhältnis des Datensignals des Lichtsensorarrays 1 über die Datenleitung 29.

[0628] Die Fluoreszenzkamera weist in dem Beispiel der **Fig. 30** ein Kameragehäuse 54 der Fluoreszenzkamera mit dem Lichtsensorarray 1 auf. In dem Beispiel der **Fig. 30** ist das Kameragehäuse 54 der Fluoreszenzkamera mit dem Lichtsensorarray 1 mit dessen Auswertelektronik 15 und der abbildenden Optik 7 in den oberen Gehäuseteil 40 des Gehäuses 8 eingesetzt oder eingeschraubt oder eingeklebt oder dergleichen. Im Gegensatz zu den Vorrichtungen der **Fig. 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 20** bestrahlen die Pumpstrahlungsquellen die Sensorschicht 5 nun nicht wie in den **Fig. 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 20** von oben, sondern von der Seite der Glasplatte 46. Die LEDs 44 strahlen in dem Beispiel der **Fig. 30** von der Seite in die Glasplatte 46 die Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} ein. Die Pumpstrahlung 13 tritt vorzugsweise über die ganze Fläche der Glasplatte 46 aus der Glasplatte wieder aus und bestrahlt dabei die Schicht 11 mit den Kristallen und/oder Nanokristallen 66 mit den paramagnetischen Zentren, also beispielsweise den NV-Zentren, an der Unterseite der Glasplatte 46 auf der dem Lichtsensorarray 1 abgewandten Seite der Glasplatte 46. Hierdurch regen die LEDs 44 die Kristalle und/oder Nanokristalle 66 mit den paramagnetischen Zentren, also beispielsweise den NV-Zentren, an der Unterseite der Glasplatte 46 auf der dem Licht-

sensorarray 1 abgewandten Seite der Glasplatte 46 zur Emission von Fluoreszenzstrahlung 14 an. Eine bevorzugt vorhandene reflektierende Schicht 10 unterhalb der Schicht 11 mit den Kristallen und/oder mit den Nanokristallen 66 mit den paramagnetischen Zentren, also beispielsweise den NV-Zentren, an der Unterseite der Glasplatte 46 auf der dem Lichtsensorarray 1 abgewandten Seite der Glasplatte 46 reflektiert Pumpstrahlung 13 und Fluoreszenzstrahlung 14, die nach unten aus der Schicht 11 auf der dem Lichtsensorarray 1 abgewandten Seite der Glasplatte 46 austritt, wieder in die Schicht 11 zurück. Die zurückreflektierte Pumpstrahlung 13 verstärkt die Erzeugung der Fluoreszenzstrahlung 14 in der Schicht 11. Die zurückreflektierte Fluoreszenzstrahlung 14 gelangt, wie die direkt in Richtung des Lichtsensorarrays 1 emittierte Fluoreszenzstrahlung 14 zum Lichtsensorarray 1 und verbessert so das Signal-zu-Rausch-Verhältnis.

[0629] Typischerweise ist die lokale Intensität der Fluoreszenzstrahlung 14 der paramagnetischen Zentren in der Schicht 11 der Sensorschicht 5 an verschiedenen Positionen in der Schicht 11 von der Intensität der Pumpstrahlung 13 und dem Betrag der magnetischen Flussdichte B an diesen Positionen abhängig.

[0630] Es ergibt sich somit ein Intensitätsmuster der Emission der Fluoreszenzstrahlung 14 der paramagnetischen Zentren in der Schicht 11 der Sensorschicht 5 an verschiedenen Positionen in der Schicht 11, das die flächenhaften Unterschiede der Beträge der Intensität der Fluoreszenzstrahlung 14 der paramagnetischen Zentren in der Schicht 11 der Sensorschicht 5 an verschiedenen Positionen des Schicht 11 wiedergibt.

[0631] Die abbildende Optik 7 erfasst dieses Intensitätsmuster der Emission der Fluoreszenzstrahlung 14 der paramagnetischen Zentren in der Schicht 11 der Sensorschicht 5 und bildet dieses Intensitätsmuster auf das Lichtsensorarray 1 ab.

[0632] Das Kameragehäuse 54 der Fluoreszenzkamera verbindet das Lichtsensorarray 1 in dem Beispiel der **Fig. 30** mechanisch mit dessen Auswerteelektronik 15 und der abbildenden Optik 7 und mit dem oberer Gehäuseteil 40 des Gehäuses 8.

[0633] Der Datenbus 29 zur Herstellung der Datenverbindung zwischen Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 ist in dem Beispiel der **Fig. 30** zur Vereinfachung weggelassen. Eine fachkundige Person soll sich beim Lesen dieses Textes diesen Datenbus 29 zur Herstellung der Datenverbindung zwischen Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 hinzudenken.

[0634] Die Energiezuleitung 55 zur Energieversorgung des Schaltungsträgers (PCB) 43 für die LEDs 44 und deren Energieversorgung 45 und der LEDs 44 ist in dem Beispiel der **Fig. 30** zur Vereinfachung weggelassen. Eine fachkundige Person soll sich beim Lesen dieses Textes diese Energiezuleitung 55 zur Energieversorgung des Schaltungsträgers (PCB) 43 für die LEDs 44 und deren Energieversorgung 45 und der LEDs 44 hinzudenken.

Figur 31

[0635] **Fig. 31** entspricht im Wesentlichen der **Fig. 30** und zeigt den gleichen Magnetfeldkamerakopfes 21 wie die Vorrichtung der **Fig. 30** und der **Fig. 29** aus einer anderen Perspektive. Das hier vorgelegte Dokument verweist daher hier auf die Beschreibungen der **Fig. 29** und **30** und die Bezugszeichenliste. Die Energiezuleitung 55 zur Energieversorgung des Schaltungsträgers (PCB) 43 für die LEDs 44 und deren Energieversorgung 45 und der LEDs 44 ist in dem Beispiel der **Fig. 31** angeschnitten und daher nur unvollständig dargestellt. Der Datenbus 29 zur Herstellung der Datenverbindung zwischen Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 ist in dem Beispiel der **Fig. 31** zur Vereinfachung weggelassen. Eine fachkundige Person soll sich beim Lesen dieses Textes diesen Datenbus 29 zur Herstellung der Datenverbindung zwischen Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 hinzudenken.

[0636] Im Blickfeld der Kamera befinden sich dabei Leitungen 1320, 1310, 1330 einer beispielhaften Tri-Plate-Leitung 1380 mit einem Sensorelement in den Clearances 2340 und 2350. Die Verwendung anderer Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar. Auch die Verwendung einer durchgängigen Sensorschicht 5 ohne Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar, wobei dann die Nutzung einer Mikrowellen- und/oder HF-Anregung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren der Sensorschicht 5 nicht möglich ist. Die Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) kann beispielsweise über eine

Steckverbindung, wie beispielsweise eine Koaxialbuchse oder einen Triax-Buchse 71 vorzugsweise angeschlossen werden.

Figur 32

[0637] Fig. 32 entspricht insofern im Wesentlichen den Fig. 29 bis 31, als dass die Fig. 32 nun einen Querschnitt durch den Magnetfeldkamerakopf 21 der Fig. 29 bis 31 quer zum ersten Kühlkörper 50 zeigt. Das hier vorgelegte Dokument verweist daher hier auf die Beschreibungen der Fig. 29 bis 31 und die Bezugszeichenliste.

[0638] Im Blickfeld der Kamera befinden sich dabei Leitungen 1320, 1310, 1330 einer beispielhaften Tri-Plate-Leitung 1380 mit einem Sensorelement in den Clearances 2340 und 2350. Die Verwendung anderer Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar. Auch die Verwendung einer durchgängigen Sensorschicht 5 ohne Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar, wobei dann die Nutzung einer Mikrowellen- und/oder HF-Anregung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren der Sensorschicht 5 nicht möglich ist. Die Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) kann beispielsweise über eine Steckverbindung, wie beispielsweise eine Koaxialbuchse oder einen Triax-Buchse 71 vorzugsweise angeschlossen werden.

Figur 33

[0639] Fig. 33 entspricht insofern im Wesentlichen den Fig. 29 bis 32, als dass die Fig. 33 eine Seitenansicht ohne Schnitt aus einer anderen Perspektive. Das hier vorgelegte Dokument verweist daher hier auf die Beschreibungen der Fig. 29 bis 32 und die Bezugszeichenliste.

[0640] Der Datenbus 29 zur Herstellung der Datenverbindung zwischen Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 ist in dem Beispiel der Fig. 33 zur Vereinfachung weggelassen. Eine fachkundige Person soll sich beim Lesen dieses Textes diesen Datenbus 29 zur Herstellung der Datenverbindung zwischen Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 hinzudenken.

Figur 34

[0641] Fig. 34 entspricht insofern im Wesentlichen den Fig. 29 bis 33, als dass die Fig. 34 eine Seitenansicht mit horizontalem Schnitt aus einer Perspektive von unten mit Blick auf die Sensorschicht 5 auf der Unterseite 24 des Sensorkopfes 21 der Fig. 29 bis 33. Das hier vorgelegte Dokument verweist daher hier auf die Beschreibungen der Fig. 29 bis 33 und die Bezugszeichenliste.

[0642] Der oberer Gehäuseteil 40 des Gehäuses 8 und die Energiezuleitung 55 sind angeschnitten und daher nur teilweise dargestellt, ohne dass die Schnittflächen in der Fig. 34 sichtbar sind.

Figur 35

[0643] Fig. 35 entspricht der Fig. 34 mit dem Unterschied, dass der in der Fig. 34 dargestellt angeschnittene Teil des Magnetfeldkamerakopfes 21 nun mit der Schnittfläche nach oben statt nach unten dargestellt ist.

[0644] Fig. 35 entspricht insofern im Wesentlichen den Fig. 29 bis 35, als dass die Fig. 35 eine Seitenansicht mit horizontalem Schnitt und Blick von oben darstellt. Das hier vorgelegte Dokument verweist daher hier auf die Beschreibungen der Fig. 29 bis 34 und die Bezugszeichenliste.

[0645] Im späteren Blickfeld der Kamera befinden sich dabei Leitungen 1320, 1310, 1330 einer beispielhaften Tri-Plate-Leitung 1380 mit einem Sensorelement in den Clearances 2340 und 2350. Die Verwendung anderer Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar. Auch die Verwendung einer durchgängigen Sensorschicht 5 ohne Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar, wobei dann die Nutzung einer Mikrowellen- und/oder HF-Anregung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren der Sensorschicht 5 nicht möglich ist. Die Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) kann beispielsweise über eine Steckverbindung, wie beispielsweise eine Koaxialbuchse oder einen Triax-Buchse 71 vorzugsweise angeschlossen werden.

Figur 36

[0646] Fig. 36 zeigt den ersten Kühlkörper 50 vor dem Einsetzen in das Gehäuse 8. In dem hier vorgestellten Beispiel der Fig. 29 bis 36 schlägt das hier vorgelegte Dokument vor, ein elastisches und thermisch leitendes Material 57 und/oder eine thermisch leitende Isolationsfolie 58 zwischen Kühlkörper 50 und Gehäuse 8 vorzusehen, die eine elektrische Isolierung sicherstellen und/oder das Auftreten mechanischer Spannungen bei Erwärmung infolge unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten verringern.

Figur 37

[0647] Fig. 37 zeigt einen beispielhaften zweiten Kühlkörper 49 zur Kühlung des Schaltungsträgers (PCB) 43 für die LEDs 44 und deren Energieversorgung 45 und der LEDs 44 vor dessen Einbau in einen Sensorkopf entsprechend den Fig. 29 bis 36. Der zweite Kühlkörper 49 umfasst bevorzugt Kupfer als Kühlkörpermaterial des zweiten Kühlkörpers 49 oder ein anderes thermisch gut leitendes Kühlkörpermaterial.

Figur 38

[0648] Fig. 38 zeigt den unteren Gehäuseteil 41 des Gehäuses 8 eines Magnetfeldkamerakopfes 21 entsprechend den Fig. 29 bis 37 mit dem Schaltungsträger (PCB) 43 vor dem Einbau in das Gehäuse 8. Der Schaltungsträger (PCB) 43 ist mit den LEDs 44 nach unten auf den unteren Gehäuseteil 41 des Gehäuses 8 montiert. Die LEDs 44 sind daher nicht sichtbar. Die LED-Vorwiderstände 59 der LEDs 44 befinden sich auf der sichtbaren Oberseite auf dem Schaltungsträger (PCB) 43 für die LEDs 44. Zur besseren Klarheit sei hier erwähnt, dass das Bezugszeichen 59 sich auf die Vorwiderstände 59 der LEDs 44 und nicht auf die Sensorschicht 5 bezieht. Die Sensorschicht 5 ist mit ihrer Glasplatte 46 an dem Schaltungsträger (PCB) 43 für die LEDs 44 befestigt. Der Schaltungsträger (PCB) 43 für die LEDs 44 weist eine Öffnung auf, sodass die Fluoreszenzstrahlung 14 der paramagnetischen Zentren in der Schicht 11 auf der Unterseite der Glasplatte 46 durch die Glasplatte 46 und die Öffnung in dem Schaltungsträger (PCB) 43 zum Lichtsensorarray 1 gelangen kann.

[0649] Mittels eines Jumpers am beispielhaften Kodierstecker 62 kann beispielhaft die Intensität der Pumpstrahlung 13 der LEDs 44 beispielsweise durch Selektion von Spannungsteilerausgangswerten oder dergleichen eingestellt werden.

Ein Anschlussstecker 56 für die Energiezuleitung 55 dient der Energieversorgung des Schaltungsträgers (PCB) 43 für die LEDs 44 und deren Energieversorgung 45 und der LEDs 44.

Typischerweise befinden sich auf der Oberseite des Schaltungsträgers (PCB) 43 für die LEDs 44 weitere elektronische Bauteile 60 beispielsweise für die Energieversorgung der LEDs 44.

[0650] Beispielsweise kann sich ein Spannungsregler 61 als ein solches weiteres Bauteil 60 auf der Oberseite des Schaltungsträgers (PCB) 43 für die LEDs 44 befinden.

[0651] In dem Beispiel der Fig. 38 dienen elastische und thermisch leitende Materialien 57 zwischen unterem Gehäuseteil 41 des Gehäuses 8 und oberem Gehäuseteil 40 des Gehäuses 8 dazu, das Auftreten mechanischer Spannungen bei Erwärmung infolge unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten und/oder unterschiedlicher thermischer Belastungen zu verringern.

[0652] Im späteren Blickfeld der Kamera befinden sich dabei Leitungen 1320, 1310, 1330 einer beispielhaften Tri-Plate-Leitung 1380 mit einem Sensorelement in den Clearances 2340 und 2350. Die Verwendung anderer Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar. Auch die Verwendung einer durchgängigen Sensorschicht 5 ohne Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar, wobei dann die Nutzung einer Mikrowellen- und/oder HF-Anregung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren der Sensorschicht 5 nicht möglich ist. Die Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) kann beispielsweise über eine Steckverbindung, wie beispielsweise eine Koaxialbuchse oder einen Triax-Buchse 71 vorzugsweise angeschlossen werden.

Figur 39

[0653] Fig. 39 zeigt die Unterseite des Schaltungsträgers (PCB) 43 eines Magnetfeldkamerakopfes 21 entsprechend den Fig. 29 bis 38 mit den Vorwiderständen 59 der LEDs 44. Der Schaltungsträger (PCB) 43 ist zu einem Einsatz in einem Magnetfeldkamerakopfes 21 entsprechend den Fig. 29 bis 38 vorgesehen. Die

Öffnung 65 in dem Schaltungsträger (PCB) 43 dient dazu, dass die Fluoreszenzstrahlung 14 der paramagnetischen Zentren, also beispielsweise der NV-Zentren, in der Schicht 11 der Sensorschicht 5 auf der Unterseite der Glasplatte 46 durch die Glasplatte 46 und die Öffnung in dem Schaltungsträger (PCB) 43 zum Lichtsensorarray 1 gelangen kann. Mittels eines Kodiersteckers 62 kann in dem Beispiel der **Fig. 39** der Nutzer die Helligkeit der LEDs 44 einstellen. Bevorzugt können die Nutzer mittels des Kodiersteckers 62 die Ausgangsspannung des Spannungsreglers 61 einstellen. Bevorzugt versorgt der Spannungsregler 62 über die Vorwiderstände 59 der LEDs 44 die LEDs 44. Der Kodierstecker 62 dient somit bevorzugt zur Änderung analoger Betriebsparameter der elektronischen Schaltung auf dem Schaltungsträger (PCB) 43.

[0654] Im späteren Blickfeld der Kamera befinden sich dabei Leitungen 1320, 1310, 1330 einer beispielhaften Tri-Plate-Leitung 1380 mit einem Sensorelement in den Clearances 2340 und 2350. Die Verwendung anderer Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar. Auch die Verwendung einer durchgängigen Sensorschicht 5 ohne Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ist denkbar, wobei dann die Nutzung einer Mikrowellen- und/oder HF-Anregung der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren der Sensorschicht 5 nicht möglich ist. Die Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) kann beispielsweise über eine Steckverbindung, wie beispielsweise eine Koaxialbuchse oder einen Triax-Buchse 71 vorzugsweise angeschlossen werden.

Figur 40

[0655] **Fig. 40** zeigt die Unterseite des Schaltungsträgers (PCB) 43 eines Magnetfeldkamerakopfes 21 entsprechend den **Fig. 29** bis **39** mit den LEDs 44. **Fig. 40** zeigt dabei die Unterseite des Schaltungsträgers (PCB) 43 der vorausgehenden **Fig. 39**. An dem Schaltungsträger (PCB) 43 ist mittels vier Klebepunkten mit Kleber 48 eine Glasplatte 46 befestigt. Diese Glasplatte 46 dient als beispielhaftes optisches Funktionselement. Die LEDs 44 strahlen die Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} über die Kanten der Glasplatte 46 in das für elektromagnetische Strahlung, insbesondere Pumpstrahlung 13, der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} transparente Material der Glasplatte 46 ein. Typischerweise tritt ein Teil dieser Pumpstrahlung 13 in die Richtung aus jener Glasplattenoberfläche der Glasplatte 46 aus, die vom Lichtsensorarray 1 abgewandt ist, und bestrahlt dort die Sensorschicht 5, die die Schicht 11 mit den paramagnetischen Zentren, beispielsweise NV-Zentren, umfasst, mit Pumpstrahlung 13 der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Dies regt die paramagnetischen Zentren in der Schicht 11 zur Emission einer magnetfeldabhängigen Fluoreszenzstrahlung 14 an, die das Lichtsensorarray 1 mittels der abbildenden Optik 7 orts aufgelöst detektieren und als Bild erfassen kann.

[0656] Leider ist die Intensitätsverteilung der Intensität der an einem Punkt der Oberfläche der Glasplatte 46 aus dieser abgewandten Glasplattenoberfläche der Glasplatte 46 austretenden Pumpstrahlung 13 vom inversen quadratischen Abstand dieses Punkts der Oberfläche der Glasplatte 46 von der betreffenden LED 44 abhängig. Diese Abstandsabhängigkeit kann durch eine Diffuser-Struktur in einer Diffuser-Schicht 69 auf dieser abgewandten Glasplattenoberfläche der Glasplatte 46 ausgeglichen werden. Bevorzugt ist somit die Glasplatte 46 auf der Oberfläche, die vom Lichtsensorarray 1 abgewandt ist, mit einer Diffuser-Struktur in einer Diffuser-Schicht 69 versehen, die eine homogene Beleuchtung der Schicht 11 und damit der in der Schicht 11 enthaltenen paramagnetischen Zentren mit Pumpstrahlung 13 durch die LEDs 44 sicherstellt.

[0657] Bei diesem System aus einer Glasplatte 46, den LEDs 44, die von den Kanten der Glasplatte 46 Pumpstrahlung 13 in das Material der Glasplatte 46 einstrahlen, der Diffuser-Schicht 69 und der Schicht 11 mit den paramagnetischen Zentren handelt es sich letztlich um ein flaches Flächenbeleuchtungssystem, mit: a) einer flächigen Pumpstrahlungsquelle (44, 46) für Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , die ein Substrat und mindestens einen auf dem Substrat (Glaswafer 46) ausgebildeten, im Wesentlichen nicht gepixelten, Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Bereich aufweist, der Pumpstrahlung 13 von mindestens einer Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite der flächigen Pumpstrahlungsquelle aus in jede Richtung ausstrahlt (Nach unten zeigende Oberfläche der Glasplatte 46); und b) einer Pumpstrahlung 13 lenkenden, optischen Schicht - beispielsweise der Glasplatte 46 -, die auf der mindestens einen Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite (Kante der Glasplatte 46) über dem Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Bereich einer punktförmigen oder flächigen Pumpstrahlungsquelle (beispielhafte LEDs 44) angeordnet ist, worin die Pumpstrahlung 13 lenkende, optische Schicht - insbesondere die Glasplatte 46 - vorzugsweise Pumpstrahlung 13 aus einer Richtung weglenkt, die rechtwinklig zur Fläche der Pumpstrahlung 13 (Lichtausbreitungsebene der Pumpstrahlung 13 in der Glasplatte 46) ausstrahlenden Seite der flächigen oder punktförmigen Pumpstrahlungsquelle (46, 44) verläuft.

[0658] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems weist die Pumpstrahlung 13 lenkende, optische Schicht (Glasplatte 46) eine strukturierte erste Oberfläche (Unterseite der Glasplatte 46) auf, die der Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite der punktförmigen oder flächigen Pumpstrahlungsquelle (LEDs 44) benachbart angeordnet ist.

[0659] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems weist die Pumpstrahlung 13 lenkende, optische Schicht (Glasplatte 46) eine plane erste Oberfläche auf, die der Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite der punktförmigen oder flächigen Pumpstrahlungsquelle (LEDs 44) rechtwinklig gegenüber angeordnet ist.

[0660] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems weist die Pumpstrahlung 13 lenkende, optische Schicht (Glasplatte 46) eine plane erste Oberfläche auf, die der Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite der flächigen Pumpstrahlungsquelle (LEDs 44) gegenüber angeordnet ist.

[0661] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems weist die strukturierte erste Oberfläche der Pumpstrahlung 13 lenkenden, optischen Schicht (Glasplatte 46) dreieckige Prismen oder eine auf die erste Oberfläche der Pumpstrahlung 13 lenkenden, optischen Schicht (Glasplatte 46) aufgebrachte Diffusor-Schicht 69 beispielsweise als Diffusor auf.

[0662] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems weist die strukturierte Oberfläche beispielsweise zylindrische Linsen oder andere optische und/oder mikrooptische Funktionselemente auf.

[0663] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems weist die strukturierte Oberfläche eine Vielzahl keilförmiger Strukturen auf, die eine lange Achse aufweisen, wobei die Achsen der keilförmigen Strukturen bevorzugt dann in einer gemeinsamen Richtung ausgerichtet sind.

[0664] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems umfasst eine flächige Pumpstrahlungsquelle OLEDs oder VCSELs als LEDs 44.

[0665] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems weist die Pumpstrahlung 13 lenkende, optische Schicht (Glasplatte 46) eine plane erste Oberfläche auf, die der Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite der punktförmigen oder flächigen Pumpstrahlungsquelle (LEDs 44) gegenüber angeordnet ist, wobei bevorzugt die flächigen Pumpstrahlungsquellen (LEDs 44) OLEDs oder VCSELs als LEDs 44 umfassen.

[0666] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems umfasst das flächige Flächenbeleuchtungssystem in einer Diffusor-Schicht 69 einen Diffusor, der zwischen der Pumpstrahlung 13 lenkenden, optischen Schicht und der flächigen Pumpstrahlungsquelle angeordnet ist.

[0667] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems umfasst das Flächenbeleuchtungssystem eine zweite, Pumpstrahlung 13 lenkende, optischen Schicht, die über der Pumpstrahlung 13 lenkenden optischen Schicht und parallel zur Pumpstrahlung 13 lenkenden optischen Schicht angeordnet ist.

[0668] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems ist beispielsweise die Pumpstrahlung 13 lenkende optische Schicht in eine Vielzahl von Bereichen unterteilt und Pumpstrahlung 13 lenkende Strukturen sind in einem Bereich in einem Winkel ausgerichtet, der sich von dem Winkel Licht lenkender Strukturen in einem zweiten Bereich unterscheidet.

[0669] Bevorzugt befindet sich die Schicht 11 mit den paramagnetischen Zentren auf der Oberfläche des flachen Flächenbeleuchtungssystems, also beispielsweise auf der Oberfläche einer Diffusor-Schicht 69 eines Diffusors, der sich bevorzugt wieder auf einer Oberfläche der besagten Glasplatte 46 befindet.

[0670] Das flache Flächenbeleuchtungssystem umfasst somit bevorzugt

- Pumpstrahlungsquellen, hier beispielhaft in Form der LEDs 44,
- eine Pumpstrahlung 13 transportierende Schicht, hier die Glasplatte 46,
- wobei die Pumpstrahlungsquellen eine Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} in eine diese Pumpstrahlung transportierende Schicht, hier die Glasplatte 46, die Pumpstrahlung 13 von der Seite über eine Kante der Glasplatte 46 einspeisen,

- eine Diffusor-Schicht 69, die eine weitere, eine Pumpstrahlung 13 lenkende, optische Schicht ist,
- wobei die Diffusor-Schicht 69 auf der mindestens einen Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite über dem Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Bereich flächigen Pumpstrahlungsquelle angeordnet ist, worin die Pumpstrahlung 13 lenkende, optische Schicht vorzugsweise Pumpstrahlung 13 aus einer Richtung weglenkt, die vorzugsweise im Wesentlichen rechtwinklig zur Fläche der Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite der punktförmigen oder flächigen Pumpstrahlungsquelle (insbesondere der LEDs 44) verläuft

[0671] Die Diffusor-Schicht 69 lenkt somit bevorzugt die Pumpstrahlung 13 in der Glasplatte 46 auf die auf der Diffusor-Schicht 69 bevorzugt befindliche Schicht 11 mit den paramagnetischen Zentren, die daraufhin Fluoreszenzstrahlung 14 emittieren. Die Diffusor-Schicht 69 kann auch durch eine Mattierung und/oder Strukturierung der ersten Oberfläche 67 der Glasplatte 46 erreicht werden. Auch die zweite Oberfläche 68 der Glasplatte 46 kann eine Diffusor-Schicht 69 aufweisen. Beispielsweise kann durch eine unterschiedliche Rauigkeit der Oberfläche der Glasplatte 46 erreicht werden, dass ein örtlich unterschiedlicher Anteil der Pumpstrahlung 13 in der Glasplatte 46 aus der Glasplatte 46 aus- und in die Schicht 11 eingekoppelt wird. Beispielsweise kann die Oberfläche der Glasplatte so strukturiert werden, dass in größerer Entfernung von den Pumpstrahlungsquellen (LEDs 44) ein größerer Anteil der Pumpstrahlung 13 aus der Glasplatte 46 heraus in die Schicht 11 mit den paramagnetischen Zentren eingekoppelt wird. Hierdurch kann erreicht werden, dass bei einem homogenen externen Magnetfeld mit einer homogenen magnetischen Flussdichte die Intensität der erzeugten Fluoreszenzstrahlung 14 an Punkten der Oberfläche der Schicht 11 im Wesentlichen nicht mehr von der Entfernung zu den Pumpstrahlungsquellen, hier den LEDs 44, abhängt. die so konstruierte flächige Pumpstrahlungsquelle aus LEDs 44 und Glasplatte 46 und optionaler Diffusor-Schicht 69 bzw. Diffusor-Oberflächenstruktur der Glasplatte 46 bestrahlt dann die paramagnetischen Zentren der Schicht 11 mit Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Die Schicht 11 umfasst dabei bevorzugt Kristalle 66, besonders bevorzugt Mikro- oder Nanokristalle 66, mit diesen paramagnetischen Zentren, die bevorzugt NV-Zentren in Diamantkristallen sind. Bevorzugt bildet die Glasplatte 46 die ebene Fläche 16 des unteren Gehäuseteils 41 des Gehäuses 8 aus. Die Glasplatte 46 hat hier auch die Funktion des Trägermaterials II 12.

Figur 41

[0672] Fig. 41 zeigt die Unterseite des Schaltungsträgers (PCB) 43 des Magnetfeldkamerakopfes 21 entsprechend den Fig. 29 bis 40. Fig. 41 entspricht insbesondere der Fig. 40, wobei nun die Schicht 11 der Sensorschicht 5 mit einem Trägermaterial I 9 als reflektierender Schicht 10 abgedeckt ist.

Figur 42

[0673] Fig. 42 zeigt die einen Schnitt durch einen Magnetfeldkamerakopf 21 entsprechend den Fig. 29 bis 41. Fig. 42 entspricht dabei weitestgehend der Fig. 32, wobei nun jedoch nur die Schnittfläche dargestellt ist und wobei nun der Schnitt durch die LEDs 44 geführt ist. Außerdem umfasst der Sensorkopf der Fig. 42 den zweiten Kühlkörper 49 zu Kühlung des Schaltungsträgers (PCB) 43 des Magnetfeldkamerakopfes 21 und zur Ableitung der Abwärme der LEDs 44. Der obere Teil der Fluoreszenzkamera mit der Auswertelektronik 15 fehlt zur besseren Übersichtlichkeit. Eine fachkundige Person kann diese Details beispielsweise der Fig. 32 entnehmen und hier ergänzen, sodass der obere Teil der Fluoreszenzkamera in der Figur, auch wenn nicht explizit eingezeichnet, trotzdem als offenbart gilt.

[0674] In der Fig. 42 sind zwei Klebepunkte mit Kleber 48 eingezeichnet, mit denen der Schaltungsträger (PCB) 43 des Magnetfeldkamerakopfes 21 mit den LEDs 44 und den übrigen elektronischen Bauteilen (59, 60, 61) an dem unteren Gehäuseteil 41 des Gehäuses 8 befestigt ist.

[0675] Die LEDs 44 strahlen bei Betrieb in horizontaler Richtung Pumpstrahlung 13 in die Glasplatte 46 ein. Die Glasplatte 46 dient dabei als Wellenleiter für die Pumpstrahlung 13 der Pumpstrahlungsquellen, also beispielsweise der LEDs 44, mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Die Glasplatte 46 verteilt die Pumpstrahlung 13 der LEDs 44 flächenhaft. Ein Teil der so in der Glasplatte 46 transportierten Pumpstrahlung 13 tritt in der vertikalen Richtung nach oben und unten aus der Glasplatte 46 aus.

[0676] Die Pumpstrahlung 13 der LEDs 44, die aus der Glasplatte 46 nach unten austritt, trifft auf die Sensorschicht 5, hier die Schicht 11 mit den Kristallen und/oder mit den Nanokristallen 66 mit paramagnetischen Zentren. Bevorzugt handelt es sich bei den paramagnetischen Zentren um NV-Zentren. Die paramagnetischen Zentren der Schicht 11 emittieren infolge der Bestrahlung mit Pumpstrahlung 13 der Pumpstrahlungs-

wellenlänge λ_{pmp} Fluoreszenzstrahlung 14 der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} . Typischerweise ist bei NV-Zentren die Pumpstrahlung 13 grün und die Fluoreszenzstrahlung 14 rot.

[0677] Eine reflektierende Schicht 10 reflektiert vorzugsweise die Pumpstrahlung 13, die von der Schicht 11 transmittiert und nicht reflektiert und nicht absorbiert wird, zurück in Richtung des Lichtsensorarrays 1. Dabei passiert die reflektierte Pumpstrahlung 13 die Schicht 11 mit den paramagnetischen Zentren ein zweites Mal und ruft dort ein zweites Mal die Emission von Fluoreszenzstrahlung 14 hervor. Dies hebt den Signalkontrast der lokal magnetfeldabhängigen Intensität der lokalen Fluoreszenzstrahlung 14 weiter an.

[0678] Die reflektierende Schicht 10 reflektiert vorzugsweise auch den Anteil der Fluoreszenzstrahlung 14, die von der Schicht 11 nach unten hin emittiert wird, zurück in Richtung des Lichtsensorarrays 1. Dabei passiert die reflektierte Fluoreszenzstrahlung 14 die Schicht 11 mit den paramagnetischen Zentren ein zweites Mal.

[0679] Die Schicht 11 emittiert somit einen ersten Anteil der Fluoreszenzstrahlung 14 direkt in Richtung des Lichtsensorarrays 1 und transmittiert einen zweiten Anteil der Fluoreszenzstrahlung 14, der an der reflektierenden Schicht 10 reflektiert wurde, zumindest teilweise typischerweise ebenfalls in Richtung des Lichtsensorarrays 1. Dies hebt somit ebenfalls den Signalkontrast der lokal magnetfeldabhängigen Intensität der lokalen Fluoreszenzstrahlung 14 der paramagnetischen Zentren der Schicht 11 weiter an.

[0680] In dem Beispiel der **Fig. 42** verhindert beispielhaft eine optionale dichroitisch verspiegelte Schicht 47 den Austritt der Pumpstrahlung 13 der LEDs 44 mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} aus der Glasplatte 46 in Richtung des Lichtsensorarrays 1. D.h. diese optionale dichroitisch verspiegelte Schicht 47 kann die Rolle des optischen Filter (Longpass) 6 übernehmen und diesen ersetzen.

[0681] In dem Beispiel der **Fig. 42** ermöglicht beispielhaft die optionale dichroitisch verspiegelte Schicht 47 die Transmission der Fluoreszenzstrahlung 14 der paramagnetischen Zentren der Schicht 11 mit Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} durch die Glasplatte 46 in Richtung des Lichtsensorarrays 1. D.h. diese optionale dichroitisch verspiegelte Schicht 47 kann auch hier die Rolle des optischen Filter (Longpass) 6 übernehmen und diesen ersetzen.

[0682] Daher ist die optionale dichroitisch verspiegelte Schicht 47 typischerweise für elektromagnetische Strahlung, also beispielsweise Pumpstrahlung 13, mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} im Wesentlichen nicht transparent und bevorzugt im Wesentlichen reflektierend.

[0683] Hier bei bedeutet „im Wesentlichen nicht transparent“, dass die Intensität der verbleibenden transmittierten elektromagnetischen Strahlung, also beispielsweise Pumpstrahlung 13, mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} so gering ist, dass die verbleibenden transmittierten elektromagnetischen Strahlung mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} die Erzielung des beabsichtigten Zwecks in der jeweiligen Anwendung vorzugsweise nicht beeinträchtigt.

[0684] Hier bei bedeutet „im Wesentlichen reflektiert“, dass die Intensität der nicht reflektierten elektromagnetischen Strahlung mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} so gering ist, dass die verbleibende reflektierte elektromagnetischen Strahlung mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} für die Erzielung des beabsichtigten Zwecks in der jeweiligen Anwendung vorzugsweise ausreichend ist.

[0685] In dem Beispiel der **Fig. 42** bildet die Kombination aus den LEDs 44 mit der Glasplatte 46 ein Beispiel für eine flächenhafte Pumpstrahlungsquelle zur Bestrahlung der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Nanokristalle 66 der Schicht 11 der Sensorschicht 5 mit Pumpstrahlung 13 der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} .

[0686] Das hier vorgelegte Dokument offenbart somit eine flächenhafte Pumpstrahlungsquelle, die ein oder mehrere primäre Pumpstrahlungsquellen, hier die LEDs 44, und ein optisches Funktionselement, hier die Glasplatte 46 zur flächenhaften Verteilung der Pumpstrahlung 13 der primären Pumpstrahlungsquellen, hier der LEDs 44, umfasst.

[0687] In einer bevorzugten Variante bestrahlt diese flächenhafte Pumpstrahlungsquelle eine Schicht 11 mit Kristallen und/oder Nanokristallen 66 mit paramagnetischen Zentren, hier die Schicht 11, mit Pumpstrahlung 13 der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} .

[0688] In einer weiteren Variante emittiert diese Schicht 11 dann ggf. örtlich unterschiedlich je nach dem Wert des lokalen Betrags der magnetischen Flussdichte eine Fluoreszenzstrahlung 14 mit einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fi} .

[0689] In einer weiteren Variante separiert ein optisches Funktionselement, beispielsweise die dichroitisch verspiegelte optionale Schicht 47 und/oder der optischer Filter (Longpass) 6, die elektromagnetische Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} von der elektromagnetischen Strahlung mit der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fi} . In dieser weiteren Variante separiert somit das optische Funktionselement, beispielsweise die dichroitisch verspiegelte optionale Schicht 47 und/oder der optischer Filter (Longpass) 6, die Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} von der Fluoreszenzstrahlung 14 mit der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fi} . Somit kann dann nur noch elektromagnetischen Strahlung mit der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fi} bzw. Fluoreszenzstrahlung 14 mit der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fi} zum Lichtsensorarray 1 gelangen.

[0690] Vorzugsweise ist zu dem gleichen Zweck das Gehäuse 8 des Magnetfeldkamerakopfes 21 lichtdicht ausgeführt.

[0691] Die abbildende Optik 7 bildet die örtlich verschiedene Intensität der Fluoreszenzstrahlung 14 der paramagnetischen Zentren der Schicht 11 auf das Lichtsensorarray 1 ab.

[0692] Mittels der nicht eingezeichneten, aber hiermit ausdrücklich mitoffenbarten Auswerteelektronik 15 und des Lichtsensorarrays 1 erfasst der Magnetfeldkamerakopf 21 somit diese die örtlich verschiedene Intensität der Fluoreszenzstrahlung 14 der paramagnetischen Zentren der Schicht 11 und damit die örtlich unterschiedlichen Werte des Betrags der magnetischen Flussdichte in der Schicht 11 in Form eines Bildes.

[0693] Der erste Kühlkörper 50 kühlt die Auswerteelektronik 13 der Fluoreszenzkamera und das Lichtsensorarray 1 der Fluoreszenzkamera und erhöht so den Signal-zu-Rauschabstand der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1.

[0694] Der zweite Kühlkörper 49 kühlt den Schaltungsträger (PCB) 43 für die LEDs 44 und deren Energieversorgung 45. Hierbei kühlt der zweite Kühlkörper 49 insbesondere die LEDs 44, die erhebliche Wärme abgeben, und verhindert so ein Aufheizen des Gehäuses (8, 40, 41) und damit ein Aufheizen des Lichtsensorarrays 1. Auch und erhöht den Signal-zu-Rauschabstand der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1.

[0695] Bei dem Magnetfeldkamerakopf 21 der **Fig. 42** handelt es sich somit weitestgehend um einen Sensorkopf 21 entsprechend den **Fig. 29** bis 41.

Figur 43

[0696] **Fig. 43** zeigt die einen Schnitt durch einen Magnetfeldkamerakopf 21 entsprechend den **Fig. 29** bis 42. **Fig. 43** entspricht dabei weitestgehend der **Fig. 42**, wobei nun der Schnitt NICHT durch die LEDs 44 geführt ist. **Fig. 42** entspricht dabei auch weitestgehend der **Fig. 32**, wobei nun jedoch nur die Schnittfläche dargestellt ist. Bei dem Magnetfeldkamerakopf 21 der **Fig. 43** handelt es sich somit weitestgehend um einen Magnetfeldkamerakopf 21 entsprechend den **Fig. 29** bis 42.

Figur 44

[0697] **Fig. 44** entspricht dabei weitestgehend der **Fig. 23**, wobei nun der Magnetfeldkamerakopf 21 der **Fig. 44** zusätzlich gegenüber dem Magnetfeldkamerakopf 21 der **Fig. 33** den zweiten Kühlkörper 49 aufweist. Bei dem Magnetfeldkamerakopf 21 der **Fig. 44** handelt es sich somit weitestgehend um einen Magnetfeldkamerakopf 21 entsprechend den **Fig. 29** bis 43.

Figur 45

[0698] **Fig. 45** zeigt die Fluoreszenzkamera eines Magnetfeldkamerakopf 21 entsprechend den **Fig. 29** bis 44 in Verbindung mit dem ersten Kühlkörper 50 als Schnittbild. Die Fluoreszenzkamera umfasst hier beispielsweise die Auswerteelektronik 15, das Kameragehäuse 54, das Lichtsensorarray 1 und die abbildende Optik 7. Ggf. kann die Fluoreszenzkamera auch das optische Filter (Longpass) 6 im Strahlengang der abbildenden Optik 7 und des Lichtsensorarrays 1 mitumfassen.

[0699] Der erste Kühlkörper 50 ist vorzugsweise mit einem geringen thermischen Widerstand mit der Auswerteelektronik 15 und/oder dem Lichtsensorarray 1 thermisch verbunden. Besonders bevorzugt ist der erste Kühlkörper 50 mit einem geringen thermischen Widerstand mit dem Lichtsensorarray 1 thermisch verbunden. Hierdurch verbessert der erste Kühlkörper 50 das Signal-zu-Rauschverhältnis des Lichtsensorarrays 1.

Figur 46

[0700] Fig. 46 zeigt wie die Fig. 45 die Fluoreszenzkamera eines Magnetfeldkamerakopfes 21 entsprechend den Fig. 29 bis 45 in Verbindung mit dem ersten Kühlkörper 50 nun jedoch nicht als Schnittbild.

Figur 47

[0701] Fig. 47 zeigt das Funktionsprinzip der Sensorschicht 5, wie sie in den Vorrichtungsteilen des Sensorkopfes der Fig. 29 bis 46 in den Fig. 30, 31, 32, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42 und 43 Verwendung findet. Die zwei Leuchtdioden (LEDs) 44 bilden hier die primären Pumpstrahlungsquellen für die Erzeugung der Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Die primären Pumpstrahlungsquellen in Form der LEDs 44 strahlen die Pumpstrahlung 13 von der Seite her in das flächige erste optische Funktionselement in Form einer Glasplatte 46 ein. Die Pumpstrahlung 13 breitet sich vom Einspeisepunkt der Pumpstrahlung 13 in das flächenhafte erste optische Funktionselement - hier die Glasplatte 46 - flächenhaft aus, wobei die Intensität mit dem Abstand vom Einspeisepunkt der Pumpstrahlung 13 in das flächenhafte erste optische Funktionselement - hier die Glasplatte 46 - kontinuierlich abnimmt. Ein Teil der Pumpstrahlung 13 verlässt das erste optische Funktionselement (Glasplatte 46) in Richtung einer ersten Oberfläche 67 und tritt in die Schicht 11 über. Die Schicht 11 umfasst bevorzugt eine Vielzahl von Kristallen und/oder Nanokristallen 66, die bevorzugt paramagnetische Zentren umfassen. Die Kristalle und Nanokristalle 66 sind bevorzugt in ein Trägermaterial der Schicht 11 eingebettet, dass für elektromagnetische Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} transparent ist. Die Kristalle und Nanokristalle 66 sind bevorzugt in ein Trägermaterial der Schicht 11 eingebettet, dass für elektromagnetische Strahlung mit der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} transparent ist.

[0702] Die Kristalle und Nanokristalle 66 sind bevorzugt in ein Trägermaterial der Schicht 11 eingebettet, dass für Pumpstrahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} transparent ist. Die Kristalle und Nanokristalle 66 sind bevorzugt in ein Trägermaterial der Schicht 11 eingebettet, dass für Fluoreszenzstrahlung mit der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} transparent ist.

[0703] Ein Teil der Pumpstrahlung 13 in der Schicht 11 bestrahlt paramagnetische Zentren von Kristallen und Nanokristallen 66 in der Schicht 11. Aufgrund der Bestrahlung mit Pumpstrahlung 13 der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} emittieren paramagnetische Zentren von Kristallen und Nanokristallen 66 in der Schicht 11 Fluoreszenzstrahlung 14.

[0704] Eine Verspiegelung 10 reflektiert den Teil der Fluoreszenzstrahlung 14, der die Schicht 11 nicht in Richtung auf das Lichtsensorarray 1, sondern in die entgegengesetzte Richtung verlässt in die Schicht 11 zurück.

[0705] Die Verspiegelung 10 reflektiert den Teil der Pumpstrahlung 13, der die Schicht 11 nicht in Richtung auf das Lichtsensorarray 1, sondern in die entgegengesetzte Richtung verlässt in die Schicht 11 zurück.

[0706] In dem Beispiel der Fig. 47 ist die Verspiegelung 10 mit einem optionalen Trägermaterial I 9 abgedeckt. Typischer Weise ist das Trägermaterial I 9 eine Teilvorrichtung des unteren Gehäuseteils 41 des Gehäuses 8 der Magnetfeldkamera.

Figur 49

[0707] Die Fig. 48 zeigt schematisch vereinfacht das Funktionsprinzip der Sensorschicht 5, wie sie in den Vorrichtungsteilen des Sensorkopfes der Fig. 29 bis 46 in den Fig. 30, 31, 32, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42 und 43 Verwendung finden kann. Im Wesentlichen entspricht die Fig. 48 der Fig. 47, wobei auf der zweiten Oberfläche 68 des ersten optischen Funktionselements (Glasplatte 46) eine dichroitisch verspiegelte optionale Schicht 47 aufgebracht ist.

[0708] Die optionale dichroitisch verspiegelte Schicht 47 ist vorzugsweise im Wesentlichen transparent für elektromagnetische Strahlung mit der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fi} .

[0709] Die optionale dichroitisch verspiegelte Schicht 47 ist vorzugsweise im Wesentlichen NICHT transparent für elektromagnetische Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} .

[0710] Die optionale dichroitisch verspiegelte Schicht 47 ist vorzugsweise im Wesentlichen transparent für Fluoreszenzstrahlung 14 mit der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fi} .

[0711] Die optionale dichroitisch verspiegelte Schicht 47 ist vorzugsweise im Wesentlichen NICHT transparent für Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} .

[0712] Bevorzugt reflektiert die optionale dichroitisch verspiegelte Schicht 47 Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , die über die zweite Oberfläche 68 des ersten optischen Funktionselements (Glasplatte 46) aus dem ersten optischen Funktionselement (Glasplatte 46) austritt, wieder in das erste optische Funktionselement (Glasplatte 46) hinein zurück. Hierdurch werden die paramagnetischen Zentren in den Kristallen und/oder Nanokristallen 66 der Schicht 11 einem Maximum an Intensität der Pumpstrahlung 13 aufgesetzt. Dies verbessert das Signal-zu-Rauschverhältnis weiter.

Figur 49

[0713] Fig. 49 zeigt das System der Fig. 7 mit einem Magnetfeldsensorkopf der Fig. 29 bis 48.

[0714] Die LEDs 44 emittieren Pumpstrahlung 13 mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Die Sensorschicht 5 entspricht bevorzugt dem Aufbau der Fig. 48. Die Sensorschicht 5 ist vorzugsweise auf einem mechanischen Träger, beispielsweise einer ebenen Fläche 16, aufgebracht. Vorzugsweise ist die ebene Fläche 16 Teil der Gehäusewand des hier nicht gezeichneten Gehäuses 8. Das Material dieser ebenen Fläche 16 bzw. der Gehäusewand des Gehäuses 8 in diesem Bereich ist bevorzugt nicht magnetisch und beeinflusst bevorzugt das magnetische Feld im Wesentlichen nicht. Die Sensorschicht 5 umfasst bevorzugt eine Vielzahl zufällig und vorzugsweise gleichverteilt orientierte Kristalle und/oder Nanokristalle 66 mit paramagnetischen Zentren. Bei den paramagnetischen Zentren kann es sich bei der Verwendung von Diamant als Kristallmaterial beispielsweise um NV-Zentren und/oder SiV-Zentren und/oder TiV-Zentren und/oder GeV-Zentren und/oder SnV-Zentren und/oder NiN4-Zentren und/oder PbV-Zentren und/oder ST1-Zentren handeln. Die Pumpstrahlung 13 besitzt bei der Verwendung von NV-Zentren in Diamant als Kristalle und/oder Nanokristalle 66 der Sensorschicht 5 bevorzugt eine Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} in einem Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm Wellenlänge und/oder besser 450 nm bis 650 nm und/oder besser 500 nm bis 550 nm und/oder besser 515 nm bis 540 nm aufweisen. Bevorzugt ist dabei eindeutig eine Wellenlänge von 532 nm als Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Im Falle der Verwendung von NV-Zentren in Diamant oder in Diamanten der Sensorschicht 5 ist eine Laser-Diode der Fa. Osram vom Typ PLT5 520B beispielsweise als LED 44 mit 520nm Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} geeignet. Bei der Verwendung von NV-Zentren in Diamantkristallen in der Sensorschicht 5 als paramagnetische Zentren der Sensorschicht 5 emittieren die NV-Zentren der Sensorschicht 5 typischerweise bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung 13 der oben beschriebenen Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} eine Fluoreszenzstrahlung 14 mit einer typischen Fluoreszenzwellenlänge λ_{fi} von ca. 637nm bei NV-Zentren. Eine abbildende Optik 7 erfasst bevorzugt das Fluoreszenzbild der ortsabhängigen Fluoreszenzintensität der Fluoreszenzstrahlung 14 mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fi} , das die Sensorschicht 5 mittels der paramagnetischen Zentren in der Sensorschicht 5 erzeugt. Ein optisches Longpass-Filter 6 und/oder eine dichroitisch verspiegelte optionale Schicht 47 in der Sensorschicht 5 lassen bevorzugt elektromagnetische Strahlung mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fi} und damit die Fluoreszenzstrahlung 14 passieren. Das optische Longpass-Filter 6 und/oder eine dichroitisch verspiegelte optionale Schicht 47 in der Sensorschicht 5 blockieren bevorzugt die Passage elektromagnetischer Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und damit die Passage der Pumpstrahlung 13. Hierdurch kann die abbildende Optik 7 das Fluoreszenzbild der Sensorschicht 5 im Wellenlängenbereich der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fi} erfassen und auf die n x m Lichtsensoren des n x m Lichtsensorarrays 1 der Fluoreszenzkamera abbilden. Da die Intensität der Fluoreszenzstrahlung 14 der Sensorschicht 5 lokal in der Sensorschicht 5 von der magnetischen Flussdichte B am Ort des jeweiligen paramagnetischen Zentrums in der Sensorschicht 5 abhängt, entspricht das Fluoreszenzbild der Sensorschicht 5 einem Magnetflussdichtenbetragsbild des magnetischen Flussdichtefeldes, das die Sensorschicht 5 durchflutet. Da in der Regel die Dichteverteilung der paramagnetischen Zentren in der Sensorschicht 5 und/oder die Ausleuchtung der Sensorschicht 5 mit Pumpstrahlung 13 und/oder die Erfassung der Fluoreszenzintensität der Fluoreszenzstrahlung 14 über die Fläche der Sensorschicht 5 bei allem Bemühen nicht ganz homogen sind, hat es sich bewährt, durch Kalibrationsmessungen

das System vor dem ersten Gebrauch zu kalibrieren. Zur Verarbeitung der Messwerte der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 erfassen Auswertelektroniken 15 des Lichtsensorarrays 1 die Messwerte des Signale der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und bilden daraus insbesondere durch Verstärkung und/oder Filterung die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1. Die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 steuert bevorzugt mittels einer Ansteuer- vorrichtung 35 für die Elektromagnete der Hilfsmagnete 19 die Hilfsmagnete 19, wenn diese nicht nur Perma- nentmagnete umfassen. Die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 erzeugt beispielsweise aus den die Ausgangssignalen 31 der Lichtsensoren des Licht- sensorarrays 1 ein Fluoreszenzbild und/oder beispielsweise ggf. auch ein verbessertes Fluoreszenzbild, wie oben beschrieben. Aufgrund der zuvor dargestellten Zusammenhänge stellen das Fluoreszenzbild und/oder beispielsweise ggf. auch das verbesserte Fluoreszenzbild ein Magnetflussdichtenbetragsbild des magnet- ischen Flussdichtefeldes in der Sensorschicht 5 bzw. ein verbessertes Magnetflussdichtenbetragsbild des magnetischen Flussdichtefeldes in der Sensorschicht 5 dar. Die Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangs- signale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 überträgt dieses Fluoreszenzbild bzw. das verbesserte Fluoreszenzbild vorzugsweise mittels der Schnittstellenschaltung 36 über einen Datenbus 29 an ein Rech- nersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21. Bevorzugt erzeugt das Rechnersystem 28 zur Bedienung des Sensorkopfes 21 aus diesem Fluoreszenzbild bzw. aus dem verbesserten Fluoreszenz- bild eine ein- oder zwei- oder dreidimensionale Darstellung der Verteilung der magnetischen Flussdichte in der Sensorschicht 5 und stellt diese auf dem Bildschirm 32 dar. Der Datenbus 29 dient dabei der Herstellung der Datenverbindung zwischen Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 und Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21. Das Messob- jekt, hier beispielhaft ein ferromagnetisches Material 17 mit Fehlern 18 erzeugt die Variationen der magnet- ischen Flussdichte B in der Sensorschicht 5, die zu den besagten Magnetflussdichtenbetragsbildern des magnetischen Flussdichtefeldes in der Sensorschicht 5 bzw. den verbesserten Magnetflussdichtenbetragsbil- dern des magnetischen Flussdichtefeldes in der Sensorschicht 5 führen.

Figur 50

[0715] Fig. 50 entspricht weitestgehend der Fig. 47, die das Funktionsprinzip der Sensorschicht 5 zeigt, wie sie in den Vorrichtungsteilen des Sensorkopfes der Fig. 29 bis 46 in den Fig. 30, 31, 32, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42 und 43 Verwendung findet. Die Fig. 50 unterscheidet sich von der Fig. 47 durch eine Diffusorschicht 69.

[0716] Leider ist die Intensitätsverteilung der Intensität der an einem Punkt der Oberfläche der Glasplatte 46 aus dieser abgewandten Glasplattenoberfläche der Glasplatte 46 austretenden Pumpstrahlung 13 vom inver- sen quadratischen Abstand dieses Punkts der Oberfläche der Glasplatte 46 von der betreffenden LED 44 abhängig. Diese Abstandsabhängigkeit kann durch eine Diffuser-Struktur in einer Diffuser-Schicht 69 auf die- ser abgewandten Glasplattenoberfläche der Glasplatte 46 ausgeglichen werden. Bevorzugt ist somit die Glasplatte 46 auf der Oberfläche, die vom Lichtsensorarray 1 abgewandt ist, mit einer Diffuser-Struktur in einer Diffuser-Schicht 69 versehen, die eine homogene Beleuchtung der Schicht 11 und damit der in der Schicht 11 enthaltenen paramagnetischen Zentren mit Pumpstrahlung 13 durch die LEDs 44 sicherstellt.

[0717] Bei diesem System aus einer Glasplatte 46, den LEDs 44, die von den Kanten der Glasplatte 46 Pumpstrahlung 13 in das Material der Glasplatte 46 einstrahlen, der Diffuser-Schicht 69 und der Schicht 11 mit den paramagnetischen Zentren handelt es sich letztlich um ein flaches Flächenbeleuchtungssystem, mit: a) einer flächigen Pumpstrahlungsquelle (44, 46) für Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , die ein Substrat und mindestens einen auf dem Substrat (Glaswafer 46) ausgebildeten, im Wesentli- chen nicht gepixelten, Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Bereich aufweist, der Pumpstrahlung 13 von min- destens einer Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite der flächigen Pumpstrahlungsquelle aus in jede Rich- tung ausstrahlt (Nach unten zeigende Oberfläche der Glasplatte 46); und b) einer Pumpstrahlung 13 lenkenden, optischen Schicht - beispielsweise der Glasplatte 46 -, die auf der mindestens einen Pumpstrah- lung 13 ausstrahlenden Seite(Kante der Glasplatte 46) über dem Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Bereich einer punktförmigen oder flächigen Pumpstrahlungsquelle (beispielhafte LEDs 44) angeordnet ist, worin die Pumpstrahlung 13 lenkende, optische Schicht - insbesondere die Glasplatte 46 - vorzugsweise Pumpstrah- lung 13 aus einer Richtung weglenkt, die rechtwinklig zur Fläche der Pumpstrahlung 13 (Lichtausbreitungs- ebene der Pumpstrahlung 13 in der Glasplatte 46) ausstrahlenden Seite der flächigen oder punktförmigen Pumpstrahlungsquelle (46, 44) verläuft.

[0718] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems weist die Pumpstrahlung 13 len- kende, optische Schicht (Glasplatte 46) eine strukturierte erste Oberfläche(Unterseite der Glasplatte 46) auf,

die der Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite der punktförmigen oder flächigen Pumpstrahlungsquelle (LEDs 44) benachbart angeordnet ist.

[0719] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems weist die Pumpstrahlung 13 lenkende, optische Schicht (Glasplatte 46) eine plane erste Oberfläche auf, die der Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite der punktförmigen oder flächigen Pumpstrahlungsquelle (LEDs 44) rechtwinklig gegenüber angeordnet ist.

[0720] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems weist die Pumpstrahlung 13 lenkende, optische Schicht (Glasplatte 46) eine plane erste Oberfläche auf, die der Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite der flächigen Pumpstrahlungsquelle (LEDs 44) gegenüber angeordnet ist.

[0721] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems weist die strukturierte erste Oberfläche der Pumpstrahlung 13 lenkenden, optischen Schicht (Glasplatte 46) dreieckige Prismen oder eine auf die erste Oberfläche der Pumpstrahlung 13 lenkenden, optischen Schicht (Glasplatte 46) aufgebrachte Diffusor-Schicht 69 beispielsweise als Diffusor auf.

[0722] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems weist die strukturierte Oberfläche beispielsweise zylindrische Linsen oder andere optische und/oder mikrooptische Funktionselemente auf.

[0723] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems weist die strukturierte Oberfläche eine Vielzahl keilförmiger Strukturen auf, die eine lange Achse aufweisen, wobei die Achsen der keilförmigen Strukturen bevorzugt dann in einer gemeinsamen Richtung ausgerichtet sind.

[0724] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems umfasst eine flächige Pumpstrahlungsquelle OLEDs oder VCSELs als LEDs 44.

[0725] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems weist die Pumpstrahlung 13 lenkende, optische Schicht (Glasplatte 46) eine plane erste Oberfläche auf, die der Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite der punktförmigen oder flächigen Pumpstrahlungsquelle (LEDs 44) gegenüber angeordnet ist, wobei bevorzugt die flächigen Pumpstrahlungsquellen (LEDs 44) OLEDs oder VCSELs als LEDs 44 umfassen.

[0726] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems umfasst das flächige Flächenbeleuchtungssystem in einer Diffusor-Schicht 69 einen Diffusor, der zwischen der Pumpstrahlung 13 lenkenden, optischen Schicht und der flächigen Pumpstrahlungsquelle angeordnet ist.

[0727] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems umfasst das Flächenbeleuchtungssystem eine zweite, Pumpstrahlung 13 lenkende, optischen Schicht, die über der Pumpstrahlung 13 lenkenden optischen Schicht und parallel zur Pumpstrahlung 13 lenkenden optischen Schicht angeordnet ist.

[0728] In einer Ausprägung des flachen Flächenbeleuchtungssystems ist beispielsweise die Pumpstrahlung 13 lenkende optische Schicht in eine Vielzahl von Bereichen unterteilt und Pumpstrahlung 13 lenkende Strukturen sind in einem Bereich in einem Winkel ausgerichtet, der sich von dem Winkel Licht lenkender Strukturen in einem zweiten Bereich unterscheidet.

[0729] Bevorzugt befindet sich die Schicht 11 mit den paramagnetischen Zentren auf der Oberfläche des flachen Flächenbeleuchtungssystems, also beispielsweise auf der Oberfläche einer Diffusor-Schicht 69 eines Diffusors, der sich bevorzugt wieder auf einer Oberfläche der besagten Glasplatte 46 befindet.

[0730] Das flache Flächenbeleuchtungssystem umfasst somit bevorzugt

- Pumpstrahlungsquellen, hier beispielhaft in Form der LEDs 44,
- eine Pumpstrahlung 13 transportierende Schicht, hier die Glasplatte 46,
- wobei die Pumpstrahlungsquellen eine Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} in eine diese Pumpstrahlung transportierende Schicht, hier die Glasplatte 46, die Pumpstrahlung 13 von der Seite über eine Kante der Glasplatte 46 einspeisen,
- eine Diffusor-Schicht 69, die eine weitere, eine Pumpstrahlung 13 lenkende, optische Schicht ist,

- wobei die Diffusor-Schicht 69 auf der mindestens einen Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite über dem Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Bereich flächigen Pumpstrahlungsquelle angeordnet ist, worin die Pumpstrahlung 13 lenkende, optische Schicht vorzugsweise Pumpstrahlung 13 aus einer Richtung weglenkt, die vorzugsweise im Wesentlichen rechtwinklig zur Fläche der Pumpstrahlung 13 ausstrahlenden Seite der punktförmigen oder flächigen Pumpstrahlungsquelle (insbesondere der LEDs 44) verläuft

[0731] Die Diffusor-Schicht 69 lenkt somit bevorzugt die Pumpstrahlung 13 in der Glasplatte 46 auf die auf der Diffusor-Schicht 69 bevorzugt befindliche Schicht 11 mit den paramagnetischen Zentren, die daraufhin Fluoreszenzstrahlung 14 emittieren. Die Diffusor-Schicht 69 kann auch durch eine Mattierung und/oder Strukturierung der ersten Oberfläche 67 der Glasplatte 46 erreicht werden. Auch die zweite Oberfläche 68 der Glasplatte 46 kann eine Diffusor-Schicht 69 aufweisen. Beispielsweise kann durch eine unterschiedliche Rauigkeit der Oberfläche der Glasplatte 46 erreicht werden, dass ein örtlich unterschiedlicher Anteil der Pumpstrahlung 13 in der Glasplatte 46 aus der Glasplatte 46 aus- und in die Schicht 11 eingekoppelt wird. Beispielsweise kann die Oberfläche der Glasplatte so strukturiert werden, dass in größerer Entfernung von den Pumpstrahlungsquellen (LEDs 44) ein größerer Anteil der Pumpstrahlung 13 aus der Glasplatte 46 heraus in die Schicht 11 mit den paramagnetischen Zentren eingekoppelt wird. Hierdurch kann erreicht werden, dass bei einem homogenen externen Magnetfeld mit einer homogenen magnetischen Flussdichte die Intensität der erzeugten Fluoreszenzstrahlung 14 an Punkten der Oberfläche der Schicht 11 im Wesentlichen nicht mehr von der Entfernung zu den Pumpstrahlungsquellen, hier den LEDs 44, abhängt.

[0732] die so konstruierte flächige Pumpstrahlungsquelle aus LEDs 44 und Glasplatte 46 und optionaler Diffusor-Schicht 69 bzw. Diffusor-Oberflächenstruktur der Glasplatte 46 bestrahlt dann die paramagnetischen Zentren der Schicht 11 mit Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Die Schicht 11 umfasst dabei bevorzugt Kristalle 66, besonders bevorzugt Mikro- oder Nanokristalle 66, mit diesen paramagnetischen Zentren, die bevorzugt NV-Zentren in Diamantkristallen sind. Bevorzugt bildet die Glasplatte 46 die ebene Fläche 16 des unteren Gehäuseteils 41 des Gehäuses 8 aus. Die Glasplatte 46 hat hier auch die Funktion des Trägermaterials II 12.

Figur 51

[0733] Fig. 51a zeigt die Resonanzen eines einkristallinen NV-Zentren umfassenden Diamanten. Die Fig. 51a zeigt in Diagramm 501 die Resonanzlinien des Anteils an der der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL eines mit NV-Zentren versehenen Diamant-Einkristalls, bei dem der Anteil des relativen Intensitätssignals der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL, der der Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ aufweist, in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ und von der magnetischen Flussdichte B dargestellt ist. Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ in der X-Achse des Diagramms 501 aufgetragen. Die magnetische Flussdichte B ist in der Y-Achse des Diagramms 501 in willkürlichen Einheiten aufgetragen (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“). In dem Beispiel ist ein einzelner Diamantkristall in [111] gegenüber der Richtung der magnetischen Flussdichte B eines Magnetfelds ausgerichtet. Das in dem Diagramm 501 dargestellte Verhalten ist aus dem Stand der Technik bekannt.

[0734] In der X-Achse ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ des Mikrowellensignals μW im Bereich von 2,4 GHz bis 3,4 GHz aufgetragen. In der Y-Achse ist die magnetische Flussdichte B in willkürlichen Einheiten aufgetragen. Die Intensität der Resonanz wird durch die Schwärzung des entsprechenden Flächensegments des Diagramms 501 der Fig. 51a dargestellt.

[0735] Zur Aufnahme der Werte die dem Diagramm 501 der Fig. 51a zugrunde liegen, bestrahlt eine Mikrowellensignalquelle μWG den Diamant-Einkristall mit einer Mikrowellenstrahlung der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ zwischen 2,4 GHz und 3,4 GHz. Gleichzeitig bestrahlt eine Lichtquelle LED den Diamant-Einkristall mit Pumpstrahlung LB einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Bevorzugt transportiert ein Lichtwellenleiter LWL die Pumpstrahlung LB von der Lichtquelle LED zum Diamant-Einkristall mit den NV-Zentren. In Folge der Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB strahlt der Diamant-Einkristall Fluoreszenzstrahlung FL mit einer Intensität $I_{ist}(t)$ ab. Ein licht sensitives Bauteil, im folgenden Fotodetektor PD genannt, erfasst diese Fluoreszenzstrahlung FL und erzeugt ein Empfangssignal S0. Die Auswertungsvorrichtung AWW die später weiter erläutert wird, verarbeitet das Empfangssignal S0 und erzeugt so einen Messwert des Intensitätsanteils in der Fluoreszenzstrahlung FL, dessen Modulationsfrequenz mit der Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ des Mikrowellensignals μW der Mikrowellensignalquelle μWG übereinstimmt. Die Auswertevorrichtung umfasst bevorzugt einen ersten Verstärker V1 und einen Mehrfachkorrelator LIV, die später erläutert werden. Es erfolgt also vorzugsweise 100 % Amplitudenmodulation des Mikrowellensignals μW durch die Mikrowellensignalquelle μWG entsprechend einem Mikrowellenmodulationssignal S5m. Ein zweiter Signalgenerator G2

erzeugt dieses Mikrowellenmodulationssignal S5m. Bevorzugt ist das Mikrowellenmodulationssignal S5m ein PWM-Modulationssignal mit einem Tastgrad von vorzugsweise 50 %. Die Auswertungsvorrichtung AWW korreliert vorzugsweise das Intensitätssignal der Intensität $I_{\text{ist}}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL im Empfangssignal 50 mit dem Mikrowellenmodulationssignal S5m. Dabei ermittelt die Auswertungsvorrichtung AWW einen Wert für die Stärke der Resonanz. Das hier vorgelegte Dokument nennt diesen Wert im folgenden Resonanzwert. Die NV-Zentren des Diamant-Einkristalls strahlen Fluoreszenzstrahlung FL mit einer Intensität $I_{\text{ist}}(t)$ ab, wenn die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ des Mikrowellensignals μW nicht in Resonanz mit den NV-Zentren des Diamant-Einkristalls ist. Die dunklen Felder in dem Diagramm 501 der **Fig. 51a** geben somit Kombination von Stärken der magnetischen Flussdichte B und der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ des Mikrowellensignals μW wieder, in denen die Intensität der von den NV-Zentren des Diamant-Einkristalls ausgestrahlten Fluoreszenzstrahlung FL reduziert ist. Bei Resonanz der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ des Mikrowellensignals μW mit der Resonanzfrequenz der NV-Zentren des Diamant-Einkristalls tritt in dem Intensitätssignal des Empfangssignals 50 ein Signalanteil auf der die Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu\text{W}}$ der Mikrowellenstrahlung μW der Mikrowellensignalquelle μWG aufweist. Dieser Anteil fehlt, wenn keine Resonanz der Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu\text{W}}$ der Mikrowellenstrahlung μW der Mikrowellensignalquelle μWG mit der Resonanzfrequenz der NV-Zentren des Diamant-Einkristalls vorliegt. Das NV-Zentrum weist jeweils eine Achse im Diamant-Einkristall auf. Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet diese Achse im Folgenden als NV-Achse. Die linke Resonanzlinie 502 für die Spin-Quantenzahl $m_s=-1$ und die ganz rechte Resonanzlinie 505 für die Spin-Quantenzahl $m_s=+1$ bedeuten, dass der Vektor der magnetischen Flussdichte B in Richtung der NV-Achse [111] ausgerichtet ist.

[0736] Die Resonanzlinie 502 steht für eine Spin-Quantenzahl $m_s=-1$. Die Resonanzlinie 505 steht für eine Spin-Quantenzahl $m_s=+1$. Die Resonanzlinien 3 und 4 entstammen der Überlagerung der anderen drei im Kristall möglichen Ausrichtungen der NV-Achsen von NV-Zentren des Diamant-Einkristalls. Auch dieser anderen drei möglichen Ausrichtungen der NV-Achsen stehen senkrecht zu dem Vektor der magnetischen Flussdichte B. Das wirksame B-Feld der Mikrowellenstrahlung des Mikrowellensignals μW der Mikrowellensignalquelle μWG muss zur Wirksamkeit stets senkrecht zur NV-Achse des jeweiligen NV-Zentrums sein. Ist dies nicht der Fall, so beeinflusst lediglich der Anteil des B-Felds der Mikrowellenstrahlung des Mikrowellensignals μW der Mikrowellensignalquelle μWG , der zur Wirksamkeit senkrecht zur NV-Achse des jeweiligen NV-Zentrums ist, die Intensität $I_{\text{ist}}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL des betreffenden NV-Zentrums. Somit ist für diese anderen drei möglichen Ausrichtungen der NV-Achsen die wirksame magnetische Flussdichte B kleiner als für die Resonanzlinien 502 und 505. Für eine Messung zur Erzeugung des Diagramms 501 entsprechend der **Fig. 51a** liegt der Kristall vorzugsweise mit der Fläche mit Normalenvektor [111] auf der Leitung auf, die das Mikrowellenmodulationssignal S5m von der Mikrowellensignalquelle μWG zum Diamant-Einkristall transportiert. Der Normalenvektor [111] ist der Vektor, der senkrecht zur Oberfläche des betreffenden Diamantkristalls steht, der parallel zur NV-Achse zumindest eines Teils der NV-Zentren ist.

[0737] Über den Stand der Technik geht nun die folgende Erkenntnis hinaus:

Diese Methode kann auch genutzt werden, um ein unbekanntes Mikrowellensignal S_{wnk} zu analysieren. Hierfür kann eine Vorrichtung ein einkristallines Diamantplättchen mit NV-Zentren in ein magnetisches Feld mit einem Gradienten der magnetischen Flussdichte B einbringen. Vorzugsweise umfasst die Vorrichtung dann einen Mischer. Dieser Mischer mischt das unbekannte Mikrowellensignal mit einem Trägersignal. Bevorzugt ist das Trägersignal das Mikrowellensignal μW der Mikrowellensignalquelle μWG . Die betreffende Vorrichtung führt vorzugsweise dann das so gemischte Mikrowellensignal den NV-Zentren über eine Tri-Plate-Leitung 1330 zu.

[0738] Die NV-Zentren, die in Resonanz sind, zeigen dann die Modulation entsprechend dem Mikrowellenmodulationssignal S5m der Mikrowellensignalquelle μWG die dann das mit dem Mikrowellenmodulationssignal S5m moduliert Trägersignal vor der Mischung durch den Mischer der Vorrichtung erzeugt. Die Vorrichtung kann die dann auftretenden Resonanzlinien (502, 503, 504, 505) zur Bestimmung der unbekanntes Mikrowellenfrequenz des unbekanntes Mikrowellensignals verwenden.

Figur 51b

[0739] **Fig. 51b** zeigt den Übergang von **Fig. 51a** zu **Fig. 51b**. Dieser entspricht einem Übergang von einem einkristallinen zu einem multikristallinen Fluoreszenzsubstrat. In **Fig. 51b** bestrahlt die Lichtquelle LED eine Vielzahl von Diamant-Nano-Kristallen ND. Statt der Diamant-Nano-Kristalle ND kann es sich auch um eine Vielzahl anderer Diamantkristalle mit NV-Zentren und/oder um eine Vielzahl von Kristallen mit paramagnetischen Zentren vergleichbarer Eigenschaften handeln. Insofern sind die Diamant-Nano-Kristalle ND hier nur beispielhaft. Ein Fachmann bzw. eine Fachfrau können leicht zur entsprechenden technischen Lehre gelangen.

gen, in dem sie den Begriff Diamant-Nano-Kristalle ND durch den Begriff Diamanten ersetzen. Der Begriff Diamant-Nano-Kristall ND bezeichnet zwar also die nach derzeitiger Kenntnis optimale Ausführungsform und umfasst aber ausdrücklich weniger optimale Ausführungsformen wie Diamant an sich ebenfalls im Sinne der technischen Lehre des hier vorgelegten Dokuments. Die Diamant-Nano-Kristalle ND weisen in dem Beispiel der **Fig. 51b** eine unterschiedliche Orientierung im Raum auf. Aufgrund der statistisch gleichverteilten unterschiedlichen Orientierung der Diamant-Nano-Kristalle ND zeigen die Diamant-Nano-Kristalle ND nicht das Resonanzbild der **Fig. 51a**. Gleiches gilt bei der Verwendung anderer geeigneter kleiner Kristalle mit geeigneten funktionsäquivalenten paramagnetischen Zentren die stochastisch gleichverteilt unterschiedlich im Raum ausgerichtet sind. Die Resonanzlinien (502, 503, 504, 505) der **Fig. 51** weiten sich durch die Zahl der Diamant-Nano-Kristalle ND und deren gleichverteilte stochastische Orientierung im Raum auf. Vorzugsweise liegen die Diamant-Nano-Kristalle ND als Diamantpulver bzw. Kristallpulver vor. Bevorzugt sind zumindest ein Teil der Diamanten HDNV-Diamanten entsprechend dem Stand der Technik. Hierzu verweist das hier vorgelegte Dokument beispielsweise auf die Schrift DE 10 2021 132 148 A1.

[0740] **Fig. 51b** zeigt die Resonanzen einer Vielzahl unterschiedliche im Raum orientierter NV-Zentren umfassender Diamanten. Die **Fig. 51b** zeigt in Diagramm 2 die Resonanzen des Anteils an der der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl der mit NV-Zentren versehenen Diamanten, bei dem der Anteil des Intensitätssignals der Fluoreszenzstrahlung FL, der der Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ aufweist, in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ und von der magnetischen Flussdichte B dargestellt ist. Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ in der X-Achse des Diagramms 501 aufgetragen. Die magnetische Flussdichte B ist in der Y-Achse des Diagramms 520 in willkürlichen Einheiten aufgetragen (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“). In dem Beispiel ist eine Vielzahl unterschiedlich im Raum orientierter Diamantkristalle gegenüber der Richtung der magnetischen Flussdichte B eines Magnetfelds unterschiedlich und typischerweise gleichverteilt ausgerichtet.

[0741] Durch die stochastisch gleichverteilte Orientierung der Diamant-Nano-Kristalle ND weiten sich die Resonanzlinien (502, 503, 504, 505) des Diagramms 501 der **Fig. 51a** auf. Anstelle von Resonanzlinien (502, 503, 504, 505) weist das Diagramm 520 der **Fig. 51b** nun Resonanzteilfelder (526, 527, 528) auf.

[0742] Ein erstes Resonanzteilfeld ist der das untere Resonanzfeld 528. Überschreitet die wirksamen magnetische Flussdichte B des Magnetfelds einen Grenzwert B_{off} des Betrags der wirksamen magnetischen Flussdichte B des Magnetfelds so spaltet sich das untere Resonanzfeld 528 in ein unteres Resonanzteilfeld 522 und ein oberes Resonanzteilfeld 525 auf. Zwischen dem unteren Resonanzteilfeld 522 und dem oberen Resonanzteilfeld 525 bildet sich bei einem Betrag der wirksamen magnetischen Flussdichte B oberhalb des Grenzwerts B_{off} des Betrags der wirksamen magnetischen Flussdichte B des Magnetfelds ein mittleres Resonanzminimum 529 aus.

[0743] Die untere Resonanzkante 522 begrenzt das untere Resonanzfeld 528 zu niedrigeren Mikrowellenfrequenzen und zu kleineren magnetischen Flussdichten B hin. Die obere Resonanzkante 25 begrenzt das untere Resonanzteilfeld 528 zu höheren Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu W}$ und zu kleineren wirksamen magnetischen Flussdichten B hin. Eine wirksame Offsetflussdichte B_{off} begrenzt das untere Resonanzfeld 528 zu höheren wirksamen magnetischen Flussdichten B hin. Das mittlere Resonanzminimum 529 teilt das untere Resonanzfeld 528 nicht.

[0744] Ein zweites Resonanzteilfeld ist das untere Resonanzteilfeld 526. Die untere Resonanzkante 522 begrenzt das untere Resonanzteilfeld 526 zu niedrigeren Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu W}$ und zu niedrigeren wirksamen magnetischen Flussdichten B hin. Die untere mittlere Resonanzkante 523 begrenzt das untere Resonanzteilfeld 526 zu höheren Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu W}$ und zu niedrigeren wirksamen magnetischen Flussdichten B hin. Eine Offsetflussdichte B_{off} begrenzt das untere Resonanzteilfeld 526 zu kleineren wirksamen magnetischen Flussdichten B hin weiter.

[0745] Ein drittes Resonanzteilfeld ist das obere Resonanzteilfeld 527. Die obere Resonanzkante 525 begrenzt das obere Resonanzteilfeld 527 zu niedrigeren Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu W}$ und zu höheren wirksamen magnetischen Flussdichten B hin. Die obere mittlere Resonanzkante 524 begrenzt das obere Resonanzteilfeld 527 zu höheren Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu W}$ und zu höheren wirksamen magnetischen Flussdichten B hin. Eine wirksame Offsetflussdichte B_{off} begrenzt das obere Resonanzteilfeld 527 zu kleineren wirksamen magnetischen Flussdichten B hin weiter.

[0746] Ein Teil der Diamant-Nano-Kristalle ND, die die gleiche Ausrichtung, wie der Diamant-Einkristall der **Fig. 51a** aufweisen, erzeugt die untere Resonanzkante 522. Diese Diamant-Nano-Kristalle ND besitzen eine

Resonanzlinie 502 für die Spinquantenzahl $m_s=-1$. Diese Diamant-Nano-Kristalle ND sind gegenüber der wirksamen magnetischen Flussdichte B des Magnetfelds in $[111]$ Richtung ausgerichtet. Die bei dieser Resonanzlinie wechselwirkenden NV-Zentren dieses Teils der Diamant-Nano-Kristalle ND sind in der $[111]$ -Richtung des jeweiligen Diamant-Nano-Kristalls ND ausgerichtet. Die B -Komponente des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW ist gegenüber der wirksamen magnetischen Flussdichte B des Magnetfelds senkrecht ausgerichtet. Die untere Resonanzkante 522 entspricht somit der Spinquantenzahl $m_s=-1$;

[0747] Ein Teil der Diamant-Nano-Kristalle ND, die die gleiche Ausrichtung wie der Diamant-Einkristall der Fig. 51a aufweisen, erzeugt die obere Resonanzkante 525. Diese Diamant-Nano-Kristalle ND besitzen eine Resonanzlinie 505 für die Spinquantenzahl $m_s=+1$. Diese Diamant-Nano-Kristalle ND sind gegenüber der wirksamen magnetischen Flussdichte B des Magnetfelds in $[111]$ Richtung ausgerichtet. Die bei dieser Resonanzlinie wechselwirkenden NV-Zentren dieses Teils der Diamant-Nano-Kristalle ND sind in der $[111]$ -Richtung des jeweiligen Diamant-Nano-Kristalls ND ausgerichtet. Die B -Komponente des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW ist gegenüber der wirksamen magnetischen Flussdichte B des Magnetfelds senkrecht ausgerichtet. Die obere Resonanzkante 525 entspricht somit der Spinquantenzahl $m_s=+1$;

[0748] Erstaunlicherweise teilt das mittlere Resonanzminimum 529 eine Strecke parallel zur x -Achse in dem Diagramm 20 zwischen der unteren Resonanzkante 522 und der oberen Resonanzkante 525 nicht überall in einem Verhältnis 50:50 oberhalb der wirksamen Offsetflussdichte B_{off} . Bei der wirksamen Offsetflussdichte B_{off} teilt das mittlere Resonanzminimum 529 eine Strecke parallel zur x -Achse in dem Diagramm 520 zwischen der unteren Resonanzkante 522 und der oberen Resonanzkante 525 noch in einem Verhältnis 50:50. Die Linie des mittleren Resonanzminimums 529 schwenkt dann aber nichtlinear nach rechts ab. Damit kann das Verhältnis der Strecken als Maß für die magnetische Flussdichte B verwendet werden.

Figur 51c

[0749] Fig. 51c erläutert die Bestimmung einer unbekanntenen wirksamen magnetischen Flussdichte B_{nk} auf Basis der Fig. 51b mittels einer Variation der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ im interessierenden Bereich und mittels einer gleichzeitigen Bestimmung desjenigen Anteils an der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl mit NV-Zentren versehenen Diamant-Nano-Kristallen ND, bei dem dieser Anteil des Intensitätssignals der Fluoreszenzstrahlung FL die Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ aufweist, in Abhängigkeit von dieser Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ im interessierenden Bereich. Das Diagramm 520 der Fig. 51c entspricht dem der Fig. 51b, wobei nun markante Punkte in dem Diagramm 520 zur besseren Klarheit mittels Bezugslinien und Bezugszeichen zusätzlich markiert sind.

[0750] Die unbekanntene wirksame Flussdichte B_{nk} ist der Teil der unbekanntenen Gesamtflussdichte B_{Σ} , dessen vektorieller Anteil senkrecht zur magnetischen B -Feld-Komponenten des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW der Mikrowellensignalquelle μWG steht. Wie im Folgenden näher erläutert wird, hängt dieser Teil erheblich von der Positionierung des Sensorelements SE, das vorzugsweise die Vielzahl von Diamant-Nano-Kristallen ND und typischerweise in Trägermaterial TM umfasst, relativ zum Signalleiter 1330 und zur nicht-leitenden linken Isolationslücke 1440 und zur nicht-leitenden rechten Isolationslücke 1450 der beispielhaften Triplate-Leitung 1480 ab. Bei einer Positionierung des Sensorelements SE in der nicht-leitenden linken Isolationslücke 1440 und/oder in der nicht-leitenden rechten Isolationslücke 1450 entspricht die unbekanntene wirksame Flussdichte B_{nk} dem Anteil der unbekanntenen Flussdichte B , der parallel zur Ebene des Trägersubstrats 1360 der beispielhaften Triplate-Leitung 1480 ist. Bei einer Positionierung des Sensorelements SE auf und/oder unter dem Signalleiter 1330 der beispielhaften Triplate-Leitung 1480 entspricht die unbekanntene wirksame Flussdichte B_{nk} dem Anteil der unbekanntenen Flussdichte B , der in Richtung des Wellenleiters 2380 oder senkrecht zur Ebene des Trägersubstrats 1360 der beispielhaften Triplate-Leitung 1480 ist. Sofern das Sensorelement SE sowohl eine Positionierung des Sensorelements SE in der nicht-leitenden, linken Isolationslücke 1440 und/oder in der nicht-leitenden rechten Isolationslücke 1450 als auch eine Positionierung des Sensorelements SE auf und/oder unter dem Signalleiter 1330 der beispielhaften Triplate-Leitung 1480 zumindest teilweise aufweist, so zeigt es in der Regel eine Mischung dieser Empfindlichkeiten. Dies kann unter Umständen gewollt sein.

[0751] Das hier vorgelegte Dokument schlägt vor, dass die vorschlagsgemäße Vorrichtung zur Bestimmung der unbekanntenen wirksamen magnetischen Flussdichte B_{nk} die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ im interessierenden Bereich durchscannt und für eine Vielzahl von Messpunkten mit unterschiedlicher Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ einen jeweils zugehörigen Messwert für den Anteil an der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl mit NV-Zentren versehenen Diamant-Nano-Kristallen ND bestimmt, bei dem der Anteil des Intensitätssignals der Fluoreszenzstrahlung FL die Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ aufweist.

[0752] Aus diesen zugehörigen Messwerten für den Anteil an der der Intensität $I_{\text{ist}}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl mit NV-Zentren versehenen Diamant-Nano-Kristallen ND kann die vorschlagsgemäße Vorrichtung dann die untere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W22}$ der unteren Resonanzkante 522 bestimmen. Bevorzugt sind in einem Speicher (RAM, ROM, Flash) (RAM, NVM) der Vorrichtung eine erste Kalibrationstabelle und/oder die ersten Parameter einer ersten Kalibrationsfunktion abgelegt, mit deren Hilfe die Vorrichtung aus der ermittelten Wert der unteren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W22}$ den Wert des Betrags der unteren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{22} ermitteln kann.

[0753] Aus den zugehörigen Messwerten für den Anteil an der der Intensität $I_{\text{ist}}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl mit NV-Zentren versehenen Diamant-Nano-Kristallen ND kann die vorschlagsgemäße Vorrichtung auch die obere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W25}$ der oberen Resonanzkante 525 bestimmen. Bevorzugt sind in einem Speicher (RAM, ROM, Flash) (RAM, NVM) der Vorrichtung eine zweite Kalibrationstabelle und/oder die zweiten Parameter einer zweiten Kalibrationsfunktion abgelegt, mit deren Hilfe die Vorrichtung aus der ermittelten Wert der oberen Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W25}$ den Wert des Betrags der oberen wirksamen magnetischen Flussdichte B_{25} ermitteln kann.

[0754] Aus den zugehörigen Messwerten für den Anteil an der der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl mit NV-Zentren versehenen Diamant-Nano-Kristallen ND kann die vorschlagsgemäße Vorrichtung auch das Vorhandensein des mittleren Resonanzminimums 529 feststellen und die Resonanzminimum-Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W29}$ des mittleren Resonanzminimums 529 bestimmen. Bevorzugt sind in einem Speicher (RAM, ROM, Flash) (RAM, NVM) der Vorrichtung eine dritte Kalibrationstabelle und/oder die dritten Parameter einer dritten Kalibrationsfunktion abgelegt, mit deren Hilfe die Vorrichtung aus der ermittelten Wert der Resonanzminimum-Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W29}$ des mittleren Resonanzminimums 529 den Wert des Betrags der wirksamen magnetischen Resonanzminimum-Flussdichte B_{29} ermitteln kann.

[0755] Der Abfall des Betrags der Messwerte für den Anteil an der der Intensität $I_{\text{ist}}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl mit NV-Zentren versehenen Diamant-Nano-Kristallen ND vom unteren Resonanzteilfeld 526 zum mittleren Resonanzminimums 529 erfolgt bei konstanter wirksamer magnetischer Flussdichte B und bei Erhöhung der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ mit Überschreiten der unteren mittleren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W23}$, sodass die Vorrichtung eine untere mittlere Resonanzkante 523 feststellen kann, wenn die wirksame magnetische Flussdichte B über der der wirksamen Offsetflussdichte B_{off} liegt. Bevorzugt sind in einem Speicher (RAM, ROM, Flash) (RAM, NVM) der Vorrichtung eine vierte Kalibrationstabelle und/oder die vierten Parameter einer vierten Kalibrationsfunktion abgelegt, mit deren Hilfe die Vorrichtung aus der ermittelten Wert der unteren mittleren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W23}$ der unteren mittleren Resonanzkante 523 den Wert des Betrags der unteren mittleren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{23} ermitteln kann.

[0756] Der Anstieg des Betrags der Messwerte für den Anteil an der der Intensität $I_{\text{ist}}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl mit NV-Zentren versehenen Diamant-Nano-Kristallen ND vom mittleren Resonanzminimums 529 zum oberen Resonanzteilfeld 527 erfolgt bei konstanter wirksamer magnetischer Flussdichte B und bei weiterer Erhöhung der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ mit Überschreiten der oberen mittleren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W24}$, sodass die Vorrichtung eine obere mittlere Resonanzkante 524 feststellen kann, wenn die wirksame magnetische Flussdichte B über der der wirksamen Offsetflussdichte B_{off} liegt. Bevorzugt sind in einem Speicher (RAM, ROM, Flash) (RAM, NVM) der Vorrichtung eine fünften Kalibrationstabelle und/oder die fünften Parameter einer fünften Kalibrationsfunktion abgelegt, mit deren Hilfe die Vorrichtung aus der ermittelten Wert der oberen mittleren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W24}$ der oberen mittleren Resonanzkante 524 den Wert des Betrags der oberen mittleren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{24} ermitteln kann.

[0757] Bei einer unbekanntem wirksamen magnetischen Flussdichte B_{nk} kann die Vorrichtung somit durch Variation der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ einen oder mehrere der Messwerte

- untere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W22}$,
- untere mittlere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W23}$,
- obere mittlere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W24}$,
- obere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W25}$,
- Resonanzminimum-Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W29}$ bestimmen.

[0758] Bei einer unbekanntem wirksamen magnetischen Flussdichte B_{nk} kann die Vorrichtung aus diesen Mikrowellenfrequenzen ($\omega_{\mu W22}$, $\omega_{\mu W23}$, $\omega_{\mu W24}$, $\omega_{\mu W25}$, $\omega_{\mu W29}$) somit durch Variation der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ und mit Hilfe von einen oder mehrere der Messwerte

- untere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W22}$,
- untere mittlere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W23}$,
- obere mittlere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W24}$,
- obere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W25}$,
- Resonanzminimum-Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W29}$

einen oder mehreren der zugehörigen Messwerte

- untere wirksame magnetische Flussdichte B_{22} ,
- obere wirksame magnetische Flussdichte B_{25} ,
- wirksame magnetische Resonanzminimum-Flussdichte B_{29} ,
- untere mittlere wirksame magnetische Flussdichte B_{23} ,
- obere mittlere wirksame magnetische Flussdichte B_{24}

bestimmen. Diese sollten in der Regel der unbekannt wirksamen magnetischen Flussdichte B_{nk} entsprechen. Beispielsweise kann die Vorrichtung durch Mittelung über zwei oder mehrere Werte (B_{22} , B_{23} , B_{24} , B_{25} , B_{29}) den Messwert einer gemittelten mittleren wirksamen Flussdichte B_g errechnen.

Figur 51d

[0759] Fig. 51d erläutert die Bestimmung einer unbekannt Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$ auf Basis der Fig. 51b.

[0760] Mittels einer Variation der wirksamen magnetischen Referenzflussdichte B_{ref} im interessierenden Bereich und mittels einer gleichzeitigen eine Bestimmung desjenigen Anteils an der der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl mit NV-Zentren versehenen Diamant-Nano-Kristallen ND, bei dem dieser Anteil des Intensitätssignals der Fluoreszenzstrahlung FL die Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ aufweist, in Abhängigkeit von dieser wirksamen magnetischen Referenzflussdichte B_{ref} im interessierenden Bereich. Das Diagramm 520 der Fig. 51d entspricht dem der Fig. 51b, wobei nun markante Punkte in dem Diagramm 520 zur besseren Klarheit mittels Bezugslinien und Bezugszeichen zusätzlich markiert sind.

[0761] Die lineare Extrapolation der unteren Resonanzkante 522 und der oberen Resonanzkante 525 schneiden sich typischerweise in einem Punkt der Spitze 530 der V-Formation (522, 525) mit der Nullpunktsflussdichte B_0 und der Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$.

[0762] Bevorzugt bestimmt die Vorrichtung durch Veränderung der magnetischen Referenzflussdichte B_{ref} die Nullpunktsflussdichte B_0 und die Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$ der Spitze 530 der V-Formation (522, 525) oder eine funktionsäquivalente Information vor der bestimmungsgemäßen Nutzung der Vorrichtung und/oder in einem Initialisierungsvorgang bei einer Inbetriebsetzung der vorschlagsgemäßen Vorrichtung.

[0763] Sofern vorhanden, kompensiert die vorschlagsgemäße Vorrichtung die Nullpunktsflussdichte B_0 mittels optionaler Magnetfeldkompensationsmittel (LCTR, DRLV, Lc, SIS, MS). Beispielsweise können diese Magnetfeldkompensationsmittel (LCTR, DRLV, Lc, SIS, MS) einen Magnetfeldregler LCTR umfassen, die das Magnetfelderzeugungsmittels Lc und die Treiberstufe DRVL zur Versorgung des Magnetfelderzeugungsmittels Lc steuert. Beispielsweise kann somit die vorschlagsgemäße Vorrichtung über Mittel zur Erzeugung einer zusätzlichen, überlagernden magnetischen Flussdichte B_{ad} verfügen. Diese Mittel zur Erzeugung einer zusätzlichen, überlagernden magnetischen Flussdichte B_{ad} können das besagte Magnetfelderzeugungsmittels Lc umfassen.

[0764] Diese Mittel zur Erzeugung einer zusätzlichen, überlagernden magnetischen Flussdichte B_{ad} können einen Permanentmagneten PM bzw. einen Gradienten behafteten Permanentmagneten GPM umfassen. Diese Mittel zur Erzeugung einer zusätzlichen, überlagernden magnetischen Flussdichte B_{ad} können eine Positioniervorrichtung PV umfassen, die den Permanentmagneten PM bzw. den Gradienten behafteten Permanentmagneten GPM gegenüber dem Sensorelement SE positioniert. Vorzugsweise steuert dann die Steuervorrichtung CTR über einen Datenbus DB die Positioniervorrichtung PV des Permanentmagneten PM

bzw. des Gradienten behafteten Permanentmagneten GPM und damit die Positionierung des Permanentmagneten PM bzw. des Gradienten behafteten Permanentmagneten GPM gegenüber dem Sensorelement SE. Hierdurch kann die Steuervorrichtung CTR die zusätzliche magnetische Flussdichte B_{ad} , die das Sensorelement SE durchflutet, beeinflussen. Bevorzugt steuert die Steuervorrichtung CTR die Positionierung des Permanentmagneten PM bzw. des Gradienten behafteten Permanentmagneten GPM gegenüber dem Sensorelement SE und Beeinflussung der zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} , die das Sensorelement SE durchflutet, in Abhängigkeit von einem oder mehreren Messwerten einer magnetischen Flussdichte.

[0765] Ein erster dieser Messwerte einer solchen magnetischen Flussdichte kann beispielsweise ein Messwert eines Magnetfeldsensors MS sein, den die Steuervorrichtung CTR mittels des Magnetfeldsensors MS und ggf. einer Magnetfeldsensoransteuerung SIS beispielsweise über einen Datenbus DB erfasst.

[0766] Ein zweiter dieser Messwerte einer solchen magnetischen Flussdichte kann beispielsweise ein Messwert sein, den die Steuervorrichtung CTR mittels des Sensorelements SE und dessen Fluoreszenzstrahlung FL und weiterer hier beschriebener Vorrichtungsteile erfasst.

[0767] Die wirksame magnetische Flussdichte B_w setzt sich dann zusammen aus der wirksamen externen magnetischen Flussdichte B_{extw} und der wirksamen zusätzlichen Flussdichte B_{adw} . ($B_w = B_{extw} + B_{adw}$) In dem Fall kann die Vorrichtung die wirksame magnetische Flussdichte B_w durch Veränderung der zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} durchstimmen.

[0768] Die wirksamen zusätzlichen Flussdichte B_{adw} ist der Anteil der zusätzlichen Flussdichte B_{ad} , der senkrecht zum Vektor der magnetischen Flussdichte $B_{\mu W}$ der Mikrowellenstrahlung des Mikrowellensignals μW ist.

[0769] Die wirksame magnetische Flussdichte B_w ist der Anteil der Gesamtflussdichte B_{Σ} , der senkrecht zum Vektor der magnetischen Flussdichte $B_{\mu W}$ der Mikrowellenstrahlung des Mikrowellensignals μW ist.

[0770] Die wirksamen externen magnetischen Flussdichte B_{extw} ist der Anteil der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , der senkrecht zum Vektor der magnetischen Flussdichte $B_{\mu W}$ der Mikrowellenstrahlung des Mikrowellensignals μW ist. Dabei wirkt die externe magnetische Flussdichte B_{ext} , vorzugsweise von außerhalb der Vorrichtung auf das Sensorelement SE ein.

[0771] Für die Bestimmung einer unbekanntem Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$ kann die Vorrichtung beispielsweise die wirksame magnetische Referenzflussdichte B_{ref} mittels Änderung der zusätzlichen wirksamen magnetischen Flussdichte B_{adw} verändern. Hierdurch wandert der Arbeitspunkt des Sensorelements SE entlang der Linie 541.

[0772] Für die Bestimmung einer unbekanntem Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$ kann die Vorrichtung beispielsweise die ein Mikrowellensignal μW mit der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ zumischen. Hierdurch ergeben sich innerhalb des Sensorelements SE Mikrowellensignalanteile mit einer gemischten Mikrowellenfrequenz von $\omega_{\mu Wmix+} = \omega_{\mu Wnk} + \omega_{\mu W}$ und $\omega_{\mu Wmix-} = \omega_{\mu Wnk} - \omega_{\mu W}$. Hierdurch wandert sich der Arbeitspunkt des Sensorelements SE entlang der Linie 543. Bevorzugt ist die unbekanntem Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$ betragsmäßig größer als der Frequenzabstand zwischen dem Schnittpunkt 542 der Linie 543 mit der unteren Resonanzkante 522 vom Schnittpunkt 545 der Linie 543 mit der oberen Resonanzkante 525.

[0773] Es ist daher vorteilhaft, wenn die Vorrichtung die zusätzliche magnetische Flussdichte B_{ad} während der Messung erhöht, um den Arbeitspunkt der Messung, der von unten nach oben zu schieben. Dabei ist der Arbeitspunkt typischerweise durch die gemischten Mikrowellenfrequenzen von $\omega_{\mu Wmix+} = \omega_{\mu Wnk} + \omega_{\mu W}$ und $\omega_{\mu Wmix-} = \omega_{\mu Wnk} - \omega_{\mu W}$ und durch die wirksame magnetische Flussdichte B_w ($B_w = B_{extw} + B_{adw}$) bestimmt.

[0774] Somit kann die vorschlagegemäße Vorrichtung durch Interpolation aus den bei einer unbekanntem wirksamen Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$ durch Variation der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ und/oder durch Variation der wirksamen zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{adw} die Lage der unteren Resonanzkante 522 und der oberen Resonanzkante 525 und/oder der Spitze 530 der V-Formation (522, 525) und ggf. die Lagen der unteren mittlere Resonanzkante 523 und/oder der oberen mittlere Resonanzkante 524 und/oder die Lage des mittleren Resonanzminimums 529 bestimmen und beispielsweise daraus die Lage der Nullpunktsflussdichte B_0 und/oder der Nullpunktsmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$ bestimmen. Hieraus kann die Vorrichtung auf die wirksame externe magnetische Flussdichte B_{extw} und/oder die unbekanntem Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$

schließen. Die Steuervorrichtung CTR steuert bevorzugt hierfür die Mikrowellensignalquelle μ WG und die das Magnetfelderzeugungsmittel Lc mit ihrer Steuervorrichtung LCTR typischerweise über den Datenbus DB.

Figur 52a

[0775] Fig. 52a zeigt die Resonanzen einer Vielzahl unterschiedlich im Raum orientierter NV-Zentren umfassender Diamanten. Die Fig. 52a zeigt in Diagramm 550 die Amplitude des Anteils an der der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl der mit NV-Zentren versehenen Diamanten, bei dem der Anteil des Intensitätssignals der Fluoreszenzstrahlung FL, der der Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ aufweist, in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ und bei konstanter wirksamer magnetischer Flussdichte B_w dargestellt ist. Die magnetischer Flussdichte B entspricht dabei dem Wert 0,0 der Y-Achse des Diagramms 520 der Fig. 51b. Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ in der X-Achse des Diagramms 550 aufgetragen. Die Amplitude des Anteils an der der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl der mit NV-Zentren versehenen Diamanten, bei dem der Anteil des Intensitätssignals der Fluoreszenzstrahlung FL, der der Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ aufweist, ist in der Y-Achse des Diagramms 550 in willkürlichen Einheiten aufgetragen (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“). In dem Beispiel ist eine Vielzahl unterschiedlich im Raum orientierter Diamantkristalle gegenüber der Richtung der magnetischen Flussdichte B eines Magnetfelds unterschiedlich und typischerweise gleichverteilt ausgerichtet.

[0776] In der Fig. 52a sind zur Orientierung die untere Resonanzkante 522 und die obere Resonanzkante 525 und das mittlere Resonanzminimum 529 mit Bezugszeichen versehen.

Figur 52b

[0777] Die Fig. 52b entspricht der Fig. 52a, wobei nun verschiedene Referenzlinien (561, 562, 563) zur Vermessung eingezeichnet sind. Ein Problem ist der Rauschuntergrund, den die Steuervorrichtung CTR z.B. mittels eines computerimplementierten Rauschunterdrückungsverfahrens unterdrücken muss.

[0778] Vorzugsweise legt die Steuervorrichtung CTR die obere Referenzlinie 561 so, dass der Wert 564 der magnetischen Flussdichte B_{61} , der der oberen Referenzlinie 561 zugeordnet ist, maximal ist und die obere Referenzlinie 561 mindestens einmal und nicht mehr als vier Mal von der erfassten Kurve gekreuzt wird.

[0779] Vorzugsweise legt die Steuervorrichtung CTR die untere Referenzlinie 562 so, dass der Wert 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, minimal ist und die untere Referenzlinie 562 mindestens zweimal und nicht mehr als viermal von der erfassten Kurve gekreuzt wird.

[0780] Bevorzugt wählt dann die Steuervorrichtung CTR der vorschlagsgemäßen Vorrichtung die mittlere Referenzlinie 563 so, dass die Differenz des Werts 566 der magnetischen Flussdichte B_{63} , der der mittleren Referenzlinie 563 zugeordnet ist, minus dem Wert 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, einem Faktor X mal der Differenz des Werts 564 der magnetischen Flussdichte B_{61} , der der oberen Referenzlinie 561 zugeordnet ist, minus des Werts 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, entspricht. Ein beispielhafte Werte für den Faktor X können 80% bis 50% oder 75% oder 70% etc. sein. Das hier vorgelegte Dokument schlägt vor, je nach Anwendung diesen Faktor X in der Entwicklungsphase durch einen DoE zu optimieren, (siehe auch https://de.wikipedia.org/wiki/Statistische_Versuchsplanung)

[0781] Der unteren Resonanzkante 522 ist dabei die untere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W22}$ zugeordnet.

[0782] Der oberen Resonanzkante 525 ist dabei die obere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W25}$ zugeordnet.

[0783] Dem mittleren Resonanzminimum 529 ist die Resonanzminimum-Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W29}$ zugeordnet.

Figur 52c

[0784] Fig. 52c zeigt die Resonanzen einer Vielzahl unterschiedliche im Raum orientierter NV-Zentren umfassender Diamanten. Die Fig. 52c zeigt in Diagramm 570 die Amplitude des Anteils an der der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl der mit NV-Zentren versehenen Diamanten, bei dem der Anteil des Intensitätssignals der Fluoreszenzstrahlung FL, der der Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ aufweist, in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ und bei konstanter wirksamer magnetischer Flussdichte B_w

dargestellt ist. Die magnetischer Flussdichte B entspricht dabei in etwa dem Wert 0,003 der Y-Achse des Diagramms 520 der **Fig. 51b**. Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ in der X-Achse des Diagramms 570 aufgetragen. Die Amplitude des Anteils an der der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl der mit NV-Zentren versehenen Diamanten, bei dem der Anteil des Intensitätssignals der Fluoreszenzstrahlung FL , der der Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ aufweist, ist in der Y-Achse des Diagramms 570 in willkürlichen Einheiten aufgetragen (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“). In dem Beispiel ist eine Vielzahl unterschiedlich im Raum orientierter Diamantkristalle gegenüber der Richtung der magnetischen Flussdichte B eines Magnetfelds unterschiedlich und typischerweise gleichverteilt ausgerichtet.

[0785] In der **Fig. 52c** sind zur Orientierung die untere Resonanzkante 522 und die obere Resonanzkante 525 und die untere mittlere Resonanzkante 523 und die obere mittlere Resonanzkante 524 und das mittlere Resonanzminimum 529 mit Bezugszeichen versehen.

Figur 52d

[0786] Die **Fig. 52d** entspricht der **Fig. 52c**, wobei nun wieder die verschiedenen Referenzlinien (561, 562, 563) zur Vermessung eingezeichnet sind. Ein Problem ist der Rauschuntergrund, den die Steuervorrichtung CTR unterdrücken muss.

[0787] Vorzugsweise legt die Steuervorrichtung CTR die obere Referenzlinie 561 so, dass der Wert 564 der magnetischen Flussdichte B_{61} , der der oberen Referenzlinie 561 zugeordnet ist, maximal ist und die obere Referenzlinie 561 mindestens einmal und nicht mehr als vier Mal von der erfassten Kurve gekreuzt wird.

[0788] Vorzugsweise legt die Steuervorrichtung CTR die untere Referenzlinie 562 so, dass der Wert 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, minimal ist und die untere Referenzlinie 562 mindestens zweimal und nicht mehr als viermal von der erfassten Kurve gekreuzt wird.

[0789] Bevorzugt wählt dann die Steuervorrichtung CTR der vorschlagsgemäßen Vorrichtung die mittlere Referenzlinie 563 so, dass die Differenz des Werts 566 der magnetischen Flussdichte B_{63} , der der mittleren Referenzlinie 563 zugeordnet ist, minus dem Wert 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, einem Faktor X mal der Differenz des Werts 564 der magnetischen Flussdichte B_{61} , der der oberen Referenzlinie 561 zugeordnet ist, minus des Werts 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, entspricht. Ein beispielhafte Werte für den Faktor X können 80% bis 50% oder 75% oder 70% etc. sein. Das hier vorgelegte Dokument schlägt vor, je nach Anwendung diesen Faktor X in der Entwicklungsphase durch einen DoE zu optimieren, (siehe auch https://de.wikipedia.org/wiki/Statistische_Versuchsplanung)

[0790] Der unteren Resonanzkante 522 ist dabei die untere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W22}$ zugeordnet.

[0791] Der unteren mittleren Resonanzkante 523 ist dabei die untere mittlere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W23}$ zugeordnet.

[0792] Der oberen mittleren Resonanzkante 524 ist dabei die obere mittlere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W24}$ zugeordnet.

[0793] Der oberen Resonanzkante 525 ist dabei die obere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W25}$ zugeordnet.

[0794] Dem mittleren Resonanzminimum 529 ist die Resonanzminimum-Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W29}$ zugeordnet.

[0795] Zusätzlich ist die Steigung 567 der Kurve eingezeichnet. Diese ist erst ab einer gewissen magnetischen Flussdichte B messbar.

Figur 53a

[0796] **Fig. 53a** zeigt die Resonanzen einer Vielzahl unterschiedlich im Raum orientierter NV-Zentren umfassender Diamanten. Die **Fig. 53a** zeigt in Diagramm 590 die Amplitude des Anteils an der der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl der mit NV-Zentren versehenen Diamanten, bei dem der Anteil des Intensitätssignals der Fluoreszenzstrahlung FL , der die Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ aufweist, in Abhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ und bei konstanter wirksamer magnetischer Flussdichte B_w

dargestellt ist. Die magnetischer Flussdichte B entspricht dabei in etwa dem Wert 0,07 der Y-Achse des Diagramms 520 der **Fig. 51b**. Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ in der X-Achse des Diagramms 590 aufgetragen. Die Amplitude des Anteils an der der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl der mit NV-Zentren versehenen Diamanten, bei dem der Anteil des Intensitätssignals der Fluoreszenzstrahlung FL, der der Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ aufweist, ist in der Y-Achse des Diagramms 590 in willkürlichen Einheiten aufgetragen (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“). In dem Beispiel ist eine Vielzahl unterschiedlich im Raum orientierter Diamantkristalle gegenüber der Richtung der magnetischen Flussdichte B eines Magnetfelds unterschiedlich und typischerweise gleichverteilt ausgerichtet.

[0797] In der **Fig. 53a** sind zur Orientierung die untere Resonanzkante 522 und die obere Resonanzkante 525 und die untere mittlere Resonanzkante 523 und die obere mittlere Resonanzkante 524 und das mittlere Resonanzminimum 529 mit Bezugszeichen versehen.

Figur 53b

[0798] Die **Fig. 53b** entspricht der **Fig. 53a**, wobei nun wieder die verschiedenen Referenzlinien (561, 562, 563) zur Vermessung eingezeichnet sind. Ein Problem ist der Rauschuntergrund, den die Steuervorrichtung CTR unterdrücken muss.

[0799] Vorzugsweise legt die Steuervorrichtung CTR die obere Referenzlinie 561 so, dass der Wert 564 der magnetischen Flussdichte B_{61} , der der oberen Referenzlinie 561 zugeordnet ist, maximal ist und die obere Referenzlinie 561 mindestens einmal und nicht mehr als vier Mal von der erfassten Kurve gekreuzt wird.

[0800] Vorzugsweise legt die Steuervorrichtung CTR die untere Referenzlinie 562 so, dass der Wert 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, minimal ist und die untere Referenzlinie 562 mindestens zweimal und nicht mehr als viermal von der erfassten Kurve gekreuzt wird.

[0801] Bevorzugt wählt dann die vorschlagsgemäße Vorrichtung die mittlere Referenzlinie 563 so, dass die Differenz des Werts 566 der magnetischen Flussdichte B_{63} , der der mittleren Referenzlinie 563 zugeordnet ist, minus dem Wert 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, einem Faktor X mal der Differenz des Werts 564 der magnetischen Flussdichte B_{61} , der der oberen Referenzlinie 561 zugeordnet ist, minus des Werts 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, entspricht. Ein beispielhafte Werte für den Faktor X können 80% bis 50% oder 75% oder 70% etc. sein. Das hier vorgelegte Dokument schlägt vor, je nach Anwendung diesen Faktor X in der Entwicklungsphase durch einen DoE zu optimieren, (siehe auch https://de.wikipedia.org/wiki/Statistische_Versuchsplanung)

[0802] Der unteren Resonanzkante 522 ist dabei die untere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W22}$ zugeordnet.

[0803] Der unteren mittleren Resonanzkante 523 ist dabei die untere mittlere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W23}$ zugeordnet.

[0804] Der oberen mittleren Resonanzkante 524 ist dabei die obere mittlere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W24}$ zugeordnet.

[0805] Der oberen Resonanzkante 525 ist dabei die obere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W25}$ zugeordnet.

[0806] Dem mittleren Resonanzminimum 529 ist die Resonanzminimum-Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W29}$ zugeordnet.

[0807] Zusätzlich ist die Steigung 567 der Kurve eingezeichnet.

[0808] Bevorzugt bestimmt die Steuervorrichtung CTR der Vorrichtung die Steigung 567 der Kurve in den zentralen Bereichen der Kurve zum Ersten zwischen der unteren Resonanzkante 522 und der unteren mittleren Resonanzkante 523 und zum Zweiten zwischen der oberen mittleren Resonanzkante 524 und der oberen Resonanzkante 525. Vorzugweise verwendet die Steuervorrichtung CTR der Vorrichtung die Bereiche der Kurve in der Nähe der unteren Resonanzkante 522 und in der Nähe der unteren mittleren Resonanzkante 523 und in der Nähe der oberen mittleren Resonanzkante 524 und in der Nähe der oberen Resonanzkante 25 für die Bestimmung der Steigung 567 der Kurve nicht. Daher kann die Steuervorrichtung CTR der Vorrich-

Die Steigung 567 der Kurve in der Regel erst ab einer bestimmten Mindestflussdichte B der magnetischen Flussdichte B bestimmen.

Figur 53c

[0809] Fig. 53c zeigt die Resonanzen einer Vielzahl unterschiedliche im Raum orientierter NV-Zentren umfassender Diamanten. Die Fig. 53c zeigt in Diagramm 610 die Amplitude des Anteils an der der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl der mit NV-Zentren versehenen Diamanten, bei dem der Anteil des Intensitätssignals der Fluoreszenzstrahlung FL, der der Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ aufweist, in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ und bei konstanter wirksamer magnetischer Flussdichte B_w dargestellt ist. Die magnetischer Flussdichte B entspricht dabei in etwa dem Wert 0,124 der Y-Achse des Diagramms 520 der Fig. 51b. Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ in der X-Achse des Diagramms 610 aufgetragen. Die Amplitude des Anteils an der der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL der Vielzahl der mit NV-Zentren versehenen Diamanten, bei dem der Anteil des Intensitätssignals der Fluoreszenzstrahlung FL, der der Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ aufweist, ist in der Y-Achse des Diagramms 610 in willkürlichen Einheiten aufgetragen (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“). In dem Beispiel ist eine Vielzahl unterschiedlich im Raum orientierter Diamantkristalle gegenüber der Richtung der magnetischen Flussdichte B eines Magnetfelds unterschiedlich und typischerweise gleichverteilt ausgerichtet.

[0810] In der Fig. 53c sind zur Orientierung die untere Resonanzkante 522 und die obere Resonanzkante 525 und die untere mittlere Resonanzkante 523 und die obere mittlere Resonanzkante 524 und das mittlere Resonanzminimum 529 mit Bezugszeichen versehen.

Figur 53d

[0811] Die Fig. 53d entspricht der Fig. 53c, wobei nun wieder die verschiedenen Referenzlinien (561, 562, 563) zur Vermessung eingezeichnet sind. Ein Problem ist der Rauschuntergrund, den die Steuervorrichtung CTR unterdrücken muss.

[0812] Vorzugsweise legt die Steuervorrichtung CTR die obere Referenzlinie 561 so, dass der Wert 564 der magnetischen Flussdichte B_{61} , der der oberen Referenzlinie 561 zugeordnet ist, maximal ist und die obere Referenzlinie 561 mindestens einmal und nicht mehr als vier Mal von der erfassten Kurve gekreuzt wird.

[0813] Vorzugsweise legt die Steuervorrichtung CTR die untere Referenzlinie 562 so, dass der Wert 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, minimal ist und die untere Referenzlinie 562 mindestens zweimal und nicht mehr als viermal von der erfassten Kurve gekreuzt wird.

[0814] Bevorzugt wählt dann die vorschlagsgemäße Vorrichtung die mittlere Referenzlinie 563 so, dass die Differenz des Werts 566 der magnetischen Flussdichte B_{61} , der der mittleren Referenzlinie 563 zugeordnet ist, minus dem Wert 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, einem Faktor X mal der Differenz des Werts 564 der magnetischen Flussdichte B_{61} , der der oberen Referenzlinie 561 zugeordnet ist, minus des Werts 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, entspricht. Ein beispielhafte Werte für den Faktor X können 80% bis 50% oder 75% oder 70% etc. sein. Das hier vorgelegte Dokument schlägt vor, je nach Anwendung diesen Faktor X in der Entwicklungsphase durch einen DoE zu optimieren, (siehe auch https://de.wikipedia.org/wiki/Statistische_Versuchsplanung)

[0815] Der unteren Resonanzkante 522 ist dabei die untere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W22}$ zugeordnet.

[0816] Der unteren mittleren Resonanzkante 523 ist dabei die untere mittlere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W23}$ zugeordnet.

[0817] Der oberen mittleren Resonanzkante 524 ist dabei die obere mittlere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W24}$ zugeordnet.

[0818] Der oberen Resonanzkante 525 ist dabei die obere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W25}$ zugeordnet.

[0819] Dem mittleren Resonanzminimum 529 ist die Resonanzminimum-Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W29}$ zugeordnet.

[0820] Zusätzlich ist die Steigung 567 der Kurve eingezeichnet.

[0821] Bevorzugt bestimmt die Steuervorrichtung CTR der Vorrichtung die Steigung 567 der Kurve in den zentralen Bereichen der Kurve zum Ersten zwischen der unteren Resonanzkante 522 und der unteren mittleren Resonanzkante 523 und zum Zweiten zwischen der oberen mittleren Resonanzkante 524 und der oberen Resonanzkante 525. Vorzugweise verwendet die Steuervorrichtung CTR der Vorrichtung die Bereiche der Kurve in der Nähe der unteren Resonanzkante 522 und in der Nähe der unteren mittleren Resonanzkante 523 und in der Nähe der oberen mittleren Resonanzkante 524 und in der Nähe der oberen Resonanzkante 525 für die Bestimmung der Steigung 567 der Kurve nicht. Daher kann die Steuervorrichtung CTR der Vorrichtung die Steigung 567 der Kurve in der Regel erst ab einer bestimmten Mindestflussdichte B der magnetischen Flussdichte B bestimmen.

[0822] Zusätzlich ist eine er Polynomapproximation 627 der Kurve eingetragen, die typischerweise mittels eines Polynoms mit Polynomkoeffizienten beschrieben werden kann.

Figur 54

[0823] Fig. 54 zeigt eine einzelne Mikrostreifenleitung 1380 als Beispiel einer Mikrostreifenleitung.

[0824] Das hier vorgelegte Dokument verweist hierzu beispielhaft auf das Buch R.K. Hoffmann „Integrierte Mikrowellenschaltungen: Elektrische Grundlagen, Dimensionierung, technische Ausführung, Technologien“ Springer; 1. Edition (1. Juni 1983), ISBN-10: 3540123520, ISBN-13: 978-3540123521.

[0825] Dort sind verschiedene Mikrostreifenleitungen aufgeführt. Die Kombination der in diesem Dokument vorgestellten technischen Lehre mit einer Mikrostreifenleitungen beliebiger Ausführung ist von der hier vorgelegten Offenbarung umfasst.

[0826] Die beispielhafte einzelne Mikrostreifenleitung 1380 der Fig. 54 umfasst ein vorzugsweise nicht oder nur wenig elektrisch leitendes oder dielektrisches oder halbleitendes Trägersubstrat 1360, einen elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 auf der Unterseite des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360, eine elektrisch leitende Signalleitung 1330 auf der Oberseite des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360. Das Trägersubstrat 1360 kann beispielsweise eine Isolierschicht im Metallisierungsstapel eines mikrointegrierten Schaltkreises, insbesondere eines mikrointegrierten Halbleiterschaltkreises, insbesondere eines CMOS- oder BiCMOS oder Bipolar-Schaltkreises oder eines Schaltkreises auf Basis von III/V-Materialien oder eine dielektrische Schicht sein. Beispielsweise kann das Trägersubstrat 1360) aus Materialien wie FR-4 (Flameresistent-4) oder PTFE (Polytetrafluorethylen) oder aus halbleitenden Materialien, wie beispielsweise Stücken von Halbleiterwafern, beispielsweise Stücken von CMOS-Wafern oder beispielsweise Stücken von BiCMOS-Wafern beispielsweise Stücken von Wafern aus einer Bipolar-Technologie oder Stücke eines Wafers aus einem III/V-Material oder dergleichen und/oder beispielsweise Stücken von MEMS-Wafern und/oder beispielsweise Stücken von MEOS-Wafern (MEOS= micro electro optical system) und/oder beispielsweise Stücken von MOEMS-Wafern etc. und/oder Stücke von MOEMS-Wafern mikroelektronische Schaltkreise und Funktionselemente und/oder mikrooptische Funktionselemente und/oder Mikromechanische Funktionselemente und/oder mikrofluidische Funktionselemente umfassen. Die einzelne Mikrostreifenleitung 1380 kann ggf. noch mit einer isolierenden Schicht bedeckt sein, wodurch sie zu einer eingebetteten Mikrostreifenleitung würde. Im Sinne der Knappheit der hier vorgestellten technischen Lehre haben wir darauf verzichtet, diese Variante hier darzustellen. Sie ist aber von der Offenbarung des hier vorgelegten Dokuments umfasst. Bei der beispielhaften einzelne Mikrostreifenleitung 1380 der Fig. 54 trennt eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende linke Isolationsfläche 1340 die elektrisch leitende Signalleitung 1330 von anderen Schaltungsteilen auf dem Trägersubstrat 1360. Außerdem trennt eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende rechte Isolationsfläche 1350 die elektrisch leitende Signalleitung 1330 ebenfalls von anderen Schaltungsteilen auf dem Trägersubstrat 1360. Bevorzugt weist die einzelne Mikrostreifenleitung 1380 bezogen auf die elektrisch leitende Signalleitung 1330 als „heißen“ Innenleiter und den elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 als Masseelektrode einen Wellenwiderstand aufm der bevorzugt zu dem Ausgangswellenwiderstand der Mikrowellensignalquelle μ WG passt.

[0827] Vorschlagsgemäß wurde erkannt, dass die Platzierung und die Größe des Sensorelements SE relativ zur elektrisch leitende Signalleitung 1330 ausschlaggebend für die Richtungsempfindlichkeit der Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des Sensorelements SE in Bezug auf die Richtung einer externen magnetischen Flussdichte B_{ext} ist.

[0828] Bei Platzierung des Sensorelements SE auf bzw. oberhalb der elektrisch leitende Signalleitung 1330 (Siehe folgende **Fig. 65.**) ist der Vektor der magnetischen Flussdichte des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 einspeist, im Wesentlichen parallel zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 und quer zur Richtung der Signalleitung 1330 im Bereich des Sensorelements SE. Dadurch ist die Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des Sensorelements SE im Wesentlichen empfindlich gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , dessen Flussdichtevektor senkrecht zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 innerhalb des Sensorelements SE ist und/oder dessen Flussdichtevektor parallel zur Signalleitung 1360 ist.

[0829] Bei Platzierung des Sensorelements SE direkt neben der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 (Siehe auch folgende **Fig. 64** und folgende **Fig. 66.**) ist der Vektor 1440 der magnetische Flussdichte des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 einspeist, im Wesentlichen senkrecht zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 innerhalb des Sensorelements SE. Dadurch ist die Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des Sensorelements SE im Wesentlichen empfindlich gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , dessen Flussdichtevektor parallel zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 innerhalb des Sensorelements SE ist.

[0830] Die Ausarbeitung des Vorschlags der technischen Lehre des hier vorgelegten Dokuments ergab somit als eine wesentliche Idee der hier vorgestellten technischen Lehre, dass

- a. die Positionierung des Sensorelements SE relativ zur elektrisch leitende Signalleitung 1330 eine Einstellung einer Vorzugsrichtung der Empfindlichkeit ermöglicht,
 - i. wenn der Durchmesser d_{SE} des Sensorelements SE um nicht mehr als 50%, besser nicht mehr als 25%, noch besser nicht mehr als 10%, noch besser nicht mehr als 5%, besser nicht mehr als 2%, noch besser nicht mehr als 1% die Breite d_s der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 überschreitet oder
 - ii. wenn besonders bevorzugt der der Durchmesser d_{SE} des Sensorelements SE die Breite d_s der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 um mehr als 1%, besser mehr als 2%, besser mehr als 5%, besser mehr als 10%, besser mehr als 25%, besser mehr als 50%, besser mehr als 75% unterschreitet.
- b. die Positionierung des Sensorelements SE relativ zur elektrisch leitende Signalleitung 1330 eine unbeabsichtigte Einstellung einer Vorzugsrichtung der Empfindlichkeit unterdrückt,
 - i. wenn der Durchmesser d_{SE} des Sensorelements SE um mehr als 1%, besser mehr als 2%, noch besser mehr als 5%, noch besser mehr als 10%, noch besser mehr als 25%, noch besser mehr als 50%, noch besser mehr als 75%, noch besser mehr als 100% die Breite d_s der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 überschreitet

[0831] Die technische Lehre des hier vorgelegten Dokuments hat also erkannt, dass der Durchmesser d_{SE} des Sensorelements SE relativ zu Breite d_s der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 und die Positionierung des Sensorelements SE relativ zur elektrisch leitende Signalleitung 1330 einer einzelnen Mikrostreifenleitung 1380 die Richtungsempfindlichkeit der Intensität der mikrowellenabhängigen Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des Sensorelements SE gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , bezogen auf die Ausrichtung des Flussdichtevektors innerhalb des Sensorelements SE relativ zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 vorhersagbar einstellen kann und dass gleichzeitig die Wahl dieser Parameter (Position SE und d_s) bestimmt, in welchem Maße sich diese Richtungsabhängigkeit ausprägt. Dabei kann diese Richtungsabhängigkeit auch komplett unterdrückt werden. (Siehe auch die folgende **Fig. 67.**)

[0832] Das linke Sensorelement 1410 ist als Sensorelement SE links der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 eingezeichnet.

[0833] In dem Beispiel der **Fig. 54** ist der Durchmesser d_{SE} des Sensorelements SE beispielhaft vergleichbar mit der Breite d_s der elektrisch leitenden Signalleitung 1330. Zur besseren Klarheit ist die Richtung des Vektors 1440 der magnetische Flussdichte des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 einspeist, in die **Fig. 54** im Bereich des Sensorelements SE eingezeichnet. Die Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des Sensorelements SE (1410) ist im Wesentlichen empfindlich gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , dessen Flussdichtevektor parallel zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 innerhalb des Sensorelements SE. Das Sensorelement SE (1410) umfasst ein Trä-

germaterial TM in das die Diamant-Nano-Kristallen ND mit den NV-Zentren typischerweise innerhalb des Sensorelements SE eingebettet sind.

[0834] Das mittlere Sensorelement 1420 ist als Sensorelement SE auf der elektrisch leitenden Signalleitung 1310 eingezeichnet.

[0835] In dem Beispiel der **Fig. 54** ist der Durchmesser d_{SE} des Sensorelements SE beispielhaft vergleichbar mit der Breite d_s der elektrisch leitenden Signalleitung 1330. Zur besseren Klarheit ist die Richtung des Vektors 1450 der magnetische Flussdichte des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 einspeist, in die **Fig. 54** im Bereich des Sensorelements SE eingezeichnet. Die Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des mittleren Sensorelements SE (1420) ist im Wesentlichen empfindlich gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , dessen Flussdichtevektor senkrecht zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 innerhalb des Sensorelements SE und/oder dessen Flussdichtevektor parallel zur Signalleitung 1360 ist. Das Sensorelement SE (1420) umfasst ein Trägermaterial TM in das die Diamant-Nano-Kristallen ND mit den NV-Zentren typischerweise innerhalb des Sensorelements SE eingebettet sind.

[0836] Das rechte Sensorelement 1430 ist als Sensorelement SE rechts der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 eingezeichnet

[0837] In dem Beispiel der **Fig. 54** ist der Durchmesser d_{SE} des Sensorelements SE beispielhaft vergleichbar mit der Breite d_s der elektrisch leitenden Signalleitung 1330. Zur besseren Klarheit ist die Richtung des Vektors 1460 der magnetische Flussdichte des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 einspeist, in die **Fig. 54** im Bereich des Sensorelements SE eingezeichnet. Die Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des Sensorelements SE (1430) ist im Wesentlichen empfindlich gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , dessen Flussdichtevektor parallel zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 innerhalb des Sensorelements SE. Das Sensorelement SE (1430) umfasst ein Trägermaterial TM in das die Diamant-Nano-Kristallen ND mit den NV-Zentren typischerweise innerhalb des Sensorelements SE eingebettet sind.

[0838] In verschiedenen Ausprägungen können mehrere der Sensorelemente (1410, 1420, 1430) weggelassen werden, um die Richtungssensitivität zu erzielen.

Figur 55

[0839] **Fig. 55** zeigt eine einzelne Schlitzleitung 1880 als Beispiel einer Schlitzleitung.

[0840] Das hier vorgelegte Dokument verweist hierzu beispielhaft auf das Buch R.K. Hoffmann „Integrierte Mikrowellenschaltungen: Elektrische Grundlagen, Dimensionierung, technische Ausführung, Technologien“ Springer; 1. Edition (1. Juni 1983), ISBN-10: 3540123520, ISBN-13: 978-3540123521.

[0841] Dort sind verschiedene Schlitzleitungen aufgeführt. Die Kombination der in diesem Dokument vorgestellten technischen Lehre mit einer Mikrostreifenleitungen beliebiger Ausführung ist von der hier vorgelegten Offenbarung umfasst.

[0842] Die beispielhafte einzelne Schlitzleitung 1880 der **Fig. 55** umfasst ein vorzugsweise nicht oder nur wenig elektrisch leitendes Trägersubstrat 1360, einen elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 auf der Unterseite des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360, eine elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 auf der Oberseite des elektrisch nicht leitenden Trägersubstrats 1360 und eine elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 auf der Oberseite des elektrisch nicht leitenden Trägersubstrats 1360. Das Trägersubstrat 1360 kann beispielsweise eine Isolierschicht im Metallisierungsstapel eines mikrointegrierten Schaltkreises, insbesondere eines mikrointegrierten Halbleiterschaltkreises, insbesondere eines CMOS- oder BiCMOS oder Bipolar-Schaltkreises oder eines Schaltkreises auf Basis von III/V-Materialien oder ein dielektrisches Trägersubstrat 1360 dergleichen sein. Die elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 und die elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 können ggf. noch mit einer isolierenden Schicht bedeckt sein, wodurch sie zu einer eingebetteten Schlitzleitung würden. Im Sinne der Knappheit der hier vorgestellten technischen Lehre haben wir darauf verzichtet, diese Variante hier darzustellen. Sie ist aber von der Offenbarung des hier vorgelegten Dokuments umfasst. Bei der beispielhaften einzelne Schlitzleitung 1880 der **Fig. 55**

trennt eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende Isolationsfläche 1840 - der Schlitz -die elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 von der die elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 auf dem Trägersubstrat 1360. Bevorzugt weist die einzelne Schlitzleitung 1880 bezogen auf den Schlitz 1840 als „heißen“ Innenleiter und den elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 als Masseelektrode einen Wellenwiderstand auf, der bevorzugt zu dem Ausgangswellenwiderstand der Mikrowellensignalquelle μWG passt.

[0843] Vorschlagsgemäß wurde erkannt, dass die Platzierung und die Größe des Sensorelements SE relativ zur elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 und die elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 und zum Schlitz 1840 ausschlaggebend für die Richtungsempfindlichkeit der Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des Sensorelements SE in Bezug auf die Richtung einer externen magnetischen Flussdichte B_{ext} ist.

[0844] Bei Platzierung eines oder mehrerer Sensorelemente SE auf bzw. oberhalb der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 und/oder auf bzw. oberhalb der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 ist der jeweilige Vektor der magnetische Flussdichte des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Schlitzleitung 1880 einspeist, im Wesentlichen parallel zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 im Bereich des jeweiligen Sensorelements SE. Dadurch ist die Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des jeweiligen Sensorelements SE im Wesentlichen empfindlich gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , dessen Flussdichtevektor senkrecht zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 oder dessen Flussdichtevektor parallel zum Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 innerhalb des jeweiligen Sensorelements SE ist.

[0845] Bei Platzierung des Sensorelements SE direkt innerhalb des Schlitzes_1840 der Schlitzleitung 1880 (Siehe auch folgende **Fig. 69.**) ist der Vektor 1440 der magnetische Flussdichte des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Schlitzleitung 1880 einspeist, im Wesentlichen senkrecht zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 innerhalb des Sensorelements SE. Dadurch ist die Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des Sensorelements SE im Wesentlichen empfindlich gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , dessen Flussdichtevektor parallel zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 innerhalb des Sensorelements SE ist.

[0846] Die Ausarbeitung des Vorschlags der technischen Lehre des hier vorgelegten Dokuments ergab somit als eine wesentliche Idee der hier vorgestellten technischen Lehre, dass

a. die Positionierung des Sensorelements SE relativ zum Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 eine Einstellung einer Vorzugsrichtung der Empfindlichkeit ermöglicht,

iii. wenn der Durchmesser d_{SE} des Sensorelements SE um nicht mehr als 50%, besser nicht mehr als 25%, noch besser nicht mehr als 10%, noch besser nicht mehr als 5%, besser nicht mehr als 2%, noch besser nicht mehr als 1% die Breite d_{SL} des Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880 überschreitet oder

iv. wenn besonders bevorzugt der der Durchmesser d_{SE} des Sensorelements SE die Breite d_{SL} des Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880 um mehr als 1%, besser mehr als 2%, besser mehr als 5%, besser mehr als 10%, besser mehr als 25%, besser mehr als 50%, besser mehr als 75% unterschreitet.

b. die Positionierung des Sensorelements SE relativ zum Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 eine unbeabsichtigte Einstellung einer Vorzugsrichtung der Empfindlichkeit unterdrückt,

ii. wenn der Durchmesser d_{SE} des Sensorelements SE um mehr als 1%, besser mehr als 2%, noch besser mehr als 5%, noch besser mehr als 10%, noch besser mehr als 25%, noch besser mehr als 50%, noch besser mehr als 75%, noch besser mehr als 100% die Breite d_{SL} des Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880 überschreitet und

iii. wenn Sensorelements SE relativ zum Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 vorzugsweise so positioniert ist, dass das Sensorelement SE die elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 und die elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 (Siehe folgende **Fig. 70** und **71.**) bevorzugt in gleicher Weise mit überdeckt.

[0847] Die technische Lehre des hier vorgelegten Dokuments hat also erkannt, dass der Durchmesser d_{SE} des Sensorelements SE relativ zu Breite d_{SL} des Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880 und die Positionierung des Sensorelements SE relativ zum Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 die Richtungsempfindlichkeit der Intensität der mikrowellenabhängigen Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-

Kristallen ND des Sensorelements SE gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , bezogen auf die Ausrichtung des Flussdichtevektors innerhalb des Sensorelements SE relativ zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 vorhersagbar einstellen kann und dass gleichzeitig die Wahl dieser Parameter (Position SE und d_{SL}) bestimmt, in welchem Maße sich diese Richtungsabhängigkeit ausprägt. Dabei kann diese Richtungsabhängigkeit auch komplett unterdrückt werden.

[0848] Ein mittleres Sensorelement 1420 ist als Sensorelement SE in den Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 eingezeichnet.

[0849] In dem Beispiel der **Fig. 55** ist der Durchmesser d_{SE} des mittleren Sensorelements SE(1420) beispielhaft kleiner als die Breite d_{SL} des Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880. Zur besseren Klarheit ist die Richtung des Vektors 1450 der magnetische Flussdichte des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Schlitzleitung 1880 einspeist, in die **Fig. 55** im Bereich des mittleren Sensorelements SE(1420) eingezeichnet. Die Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des mittleren Sensorelements SE(1420) ist im Wesentlichen empfindlich gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , dessen Flussdichtevektor parallel zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 innerhalb des mittleren Sensorelements SE (1420). Das mittlere Sensorelement SE (1420) umfasst ein Trägermaterial TM in das die Diamant-Nano-Kristallen ND mit den NV-Zentren typischerweise innerhalb des Sensorelements SE eingebettet sind.

[0850] Ein linkes Sensorelement 1410 ist als Sensorelement SE auf der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 der beispielhaften Schlitzleitung 1880 eingezeichnet.

[0851] In dem Beispiel der **Fig. 70** ist der Durchmesser d_{SE} des linken Sensorelements SE(1410) beispielhaft kleiner als die Breite d_{SL} des Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880. Zur besseren Klarheit ist die Richtung des Vektors 1450 der magnetische Flussdichte des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Schlitzleitung 1880 einspeist, in die **Fig. 55** im Bereich des linken Sensorelements SE eingezeichnet. (Wir haben hier das Bezugszeichen 1450 gewählt, da die Empfindlichkeit sich auf Anteile der magnetischen Flussdichte des Mikrowellenfeldes senkrecht zur Oberfläche des Träger-substrats 1370 bezieht.) Die Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des linken Sensorelements SE(1420) ist im Wesentlichen empfindlich gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , dessen Flussdichtevektor senkrecht zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 oder dessen Flussdichtevektor parallel zum Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 innerhalb des linken Sensorelements SE. Das linke Sensorelement SE (1420) umfasst ein Trägermaterial TM in das die Diamant-Nano-Kristallen ND mit den NV-Zentren typischerweise innerhalb des Sensorelements SE eingebettet sind.

[0852] Ein rechtes Sensorelement 1430 ist als Sensorelement SE auf der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 der beispielhaften Schlitzleitung 1880 eingezeichnet.

[0853] In dem Beispiel der **Fig. 55** ist der Durchmesser d_{SE} des rechten Sensorelements SE beispielhaft kleiner als die Breite d_{SL} des Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880. Zur besseren Klarheit ist die Richtung des Vektors 1450 der magnetische Flussdichte des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Schlitzleitung 1880 einspeist, in die **Fig. 55** im Bereich des rechten Sensorelements SE eingezeichnet. Die Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des Sensorelements SE (1430) ist im Wesentlichen empfindlich gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , dessen Flussdichtevektor parallel zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1350 innerhalb des rechten Sensorelements SE. Das rechte Sensorelement SE (1430) umfasst ein Trägermaterial TM in das die Diamant-Nano-Kristallen ND mit den NV-Zentren typischerweise innerhalb des Sensorelements SE eingebettet sind.

Figur 56

[0854] Die **Fig. 56** zeigt verschiedene Platzierungen verschiedener Sensorelemente im Zusammenhang mit einer beispielhaften Tri-Plate-Leitung 2380. In analoger Weise können statt einer Tri-Plate-Leitung 2380 auch eine Mikrostreifenleitung 1380 oder eine Schlitzleitung 1880 verwendet werden.

[0855] Die fachlich ausgebildete Person erhält aus der **Fig. 56** die korrespondierende Figur mit einer Mikrostreifenleitung 1380, durch Weglassen der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 und durch Weglassen der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320

der beispielhaften Triplate-Leitung 2380. Hierdurch wird dann die nicht-leitende linke Isolationslücke 2340 zur elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationsfläche 1340. Hierdurch wird dann auch die nicht-leitende rechte Isolationslücke 2350 zur elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationsfläche 1350.

[0856] Die fachlich ausgebildete Person erhält aus der **Fig. 56** die korrespondierende Figur mit einer Schlitzleitung 1880, durch Weglassen des Signalleiters 1330 der beispielhaften Triplate-Leitung 2380. Hierdurch wird dann die nicht-leitende linke Isolationslücke 2340 und die nicht-leitende rechte Isolationslücke 2350 zum elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880.

[0857] Zur Reduktion des Aufwands beschreibt der folgende Text der Beschreibung der **Fig. 56** daher stellvertretend nur die Tri-Plate Leitung 2380 stellvertretend für andere Typen von Streifenleitungen, wie der Streifenleitung 1380 oder der Schlitzleitung 1880. Andere Leitungstypen insbesondere planarer Wellenleitungen sind daher von der Offenbarung umfasst.

[0858] **Fig. 56** zeigt eine Tri-Plate-Leitung 2380 als Beispiel einer Mikrostriifenleitung.

[0859] Das hier vorgelegte Dokument verweist hierzu beispielhaft auf das Buch R.K. Hoffmann „Integrierte Mikrowellenschaltungen: Elektrische Grundlagen, Dimensionierung, technische Ausführung, Technologien“ Springer; 1. Edition (1. Juni 1983), ISBN-10: 3540123520, ISBN-13: 978-3540123521.

[0860] Dort sind verschiedene Mikrostriifenleitungen aufgeführt. Die Verwendung der dort beschriebenen Mikrostriifenleitungen als Mikrostriifenleitung in einer Vorrichtung im Sinne des hier vorgelegten Dokuments ist hiermit offengelegt.

[0861] Die beispielhafte Tri-Plate-Leitung 2380 der **Fig. 56** umfasst ein vorzugsweise nicht oder nur wenig elektrisch leitendes Trägersubstrat 1360, einen elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 auf der Unterseite des elektrisch leitenden Trägersubstrats 1360, eine elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 auf der Oberseite des elektrisch leitenden Trägersubstrats 1360, eine elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 auf der Oberseite des elektrisch leitenden Trägersubstrats 1360, eine elektrisch leitende Signalleitung 1330 auf der Oberseite des elektrisch leitenden Trägersubstrats 1360 zwischen der elektrisch leitende linken Signalmassefläche 1310 und der elektrisch leitende rechten Signalmassefläche 1320. Das Trägersubstrat 1360 kann beispielsweise eine Isolierschicht im Metallisierungsstapel eines mikrointegrierten Schaltkreises, insbesondere eines mikrointegrierten Halbleiterschaltkreises, insbesondere eines CMOS- oder BiCMOS oder Bipolar-Schaltkreises oder eines Schaltkreises auf Basis von III/V-Materialien oder dergleichen sein. Bei der beispielhaften Tri-Plate-Leitung 1480 der **Fig. 56** trennt eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende linke Isolationslücke 2340 die elektrisch leitende Signalleitung 1330 von der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310. Außerdem trennt eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende rechte Isolationslücke 2350 die elektrisch leitende Signalleitung 1330 von der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1450. Bevorzugt weist die Tri-Plate-Leitung 2380 bezogen auf die elektrisch leitende Signalleitung 1330 als „heißen“ Innenleiter und die Gemeinschaft aus elektrisch leitender linken Signalmassefläche 1310, elektrisch leitender rechter Signalmassefläche 1320 und elektrisch leitendem Rückseitenkontakt 1370 als Masseelektroden einen Wellenwiderstand auf. Der Vorteil der Verwendung einer Tri-Plate-Leitung 2380 ist die gute Abschirmung der Umgebung gegenüber der Mikrowellenstrahlung des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die elektrisch leitende Signalleitung 1330 der Tri-Plate-Leitung 2380 einsteigt.

[0862] Ein linkes Sensorelement SE(1410) ist als ein in der nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340 der Tri-Plate-Leitung 2380 platziertes linkes Sensorelement SE(1410) eingezeichnet ist.

[0863] In dem Beispiel der **Fig. 56** ist der Durchmesser d_{SE} des Sensorelements SE(1410) beispielhaft kleiner als die Breite d_{IS1} der nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340 der Tri-Plate-Leitung 2380. In dem Beispiel der **Fig. 56** befinden sich keine Teile des linken Sensorelements SE(1410) links oder rechts der nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340 der Tri-Plate-Leitung 2380 und gleichzeitig auch auf bzw. oberhalb der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 der beispielhaften Tri-Plate-Leitung 2380 oder auch auf bzw. oberhalb des Signalleiters 1330 der beispielhaften Mikrostriifenleitung 1380 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380. Zur besseren Klarheit ist die Richtung des Vektors 1440 der magnetische Flussdichte des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Tri-Plate-Leitung 2380 einsteigt, in die **Fig. 56** im Bereich des linken Sensorelements SE(1410) eingezeichnet.

[0864] Zur besseren Klarheit ist die Richtung des Vektors 1440 der magnetische Flussdichte des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 der Tri-Plate-Leitung 2380 einspeist, in die **Fig. 56** im Bereich des linken Sensorelements SE(1410) eingezeichnet. Die Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des linken Sensorelements SE(1410) ist im Wesentlichen empfindlich gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , dessen Flussdichtevektor senkrecht zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 oder dessen Flussdichtevektor parallel zur Signalleitung 1330 innerhalb des linken Sensorelements SE(1410) steht. Das linke Sensorelement SE (1410) umfasst ein Trägermaterial TM in das die Diamant-Nano-Kristallen ND mit den NV-Zentren typischerweise innerhalb des linken Sensorelements SE(1410) eingebettet sind.

[0865] Ein rechtes Sensorelement SE(1430) ist als ein in der nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350 der Tri-Plate-Leitung 2380 platziertes rechtes Sensorelement SE(1430) eingezeichnet.

[0866] In dem Beispiel der **Fig. 56** ist der Durchmesser d_{SE} des rechten Sensorelements SE(1430) beispielhaft kleiner als die Breite d_{IS2} der nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350 der Tri-Plate-Leitung 2380.

[0867] In dem Beispiel der **Fig. 56** befinden sich keine Teile des rechten Sensorelements SE(1430) links oder rechts der nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350 der Tri-Plate-Leitung 2380 und gleichzeitig auf bzw. oberhalb der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 der beispielhaften Tri-Plate-Leitung 2380 oder auf bzw. oberhalb des Signalleiters 1330 der beispielhaften Mikrostripleitung 1380 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380.

[0868] Zur besseren Klarheit ist die Richtung des Vektors 1460 der magnetische Flussdichte $B_{\mu W}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Tri-Plate-Leitung 2380 einspeist, in die **Fig. 56** im Bereich des rechten Sensorelements SE(1430) eingezeichnet.

[0869] Zur besseren Klarheit ist die Richtung des Vektors 1460 der magnetische Flussdichte des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 der Tri-Plate-Leitung 2380 einspeist, in die **Fig. 56** im Bereich des rechten Sensorelements SE(1430) eingezeichnet. Die Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des rechten Sensorelements SE(1430) ist im Wesentlichen empfindlich gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} , dessen Flussdichtevektor senkrecht zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 oder dessen Flussdichtevektor parallel zur Signalleitung 1330 innerhalb des rechten Sensorelements SE(1430) steht. Das rechte Sensorelement SE (1430) umfasst ein Trägermaterial TM in das die Diamant-Nano-Kristallen ND mit den NV-Zentren typischerweise innerhalb des rechten Sensorelements SE(1430) eingebettet sind.

[0870] Ein mittleres Sensorelement SE(1420) ist als ein auf dem Signalleiter 1330 der beispielhaften Mikrostripleitung 1380 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 platziertes mittleres Sensorelement SE(1420) eingezeichnet.

[0871] In dem Beispiel der **Fig. 56** ist der Durchmesser d_{SE} des Sensorelements SE(1420) beispielhaft kleiner als die Breite d_s des Signalleiters 1330 der beispielhaften Mikrostripleitung 1380 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380.

[0872] In dem Beispiel der **Fig. 56** befinden sich keine Teile des mittleren Sensorelements SE(1420) links oder rechts des Signalleiters 1330 der beispielhaften Mikrostripleitung 1380 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 oder in der nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340 der beispielhaften Tri-Plate-Leitung 2380 oder in der nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350 der beispielhaften Tri-Plate-Leitung 2380.

[0873] Zur besseren Klarheit ist die Richtung des Vektors 1450 der magnetische Flussdichte $B_{\mu W}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Tri-Plate-Leitung 2380 einspeist, in die **Fig. 36** im Bereich des mittleren Sensorelements SE(1420) eingezeichnet.

[0874] Zur besseren Klarheit ist die Richtung des Vektors 1450 der magnetische Flussdichte $B_{\mu W}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 der Tri-Plate-Leitung 2380 einspeist, in die **Fig. 56** im Bereich des mittleren Sensorelements SE(1420) eingezeichnet. Die Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des mittleren Sensorelements SE(1420) ist im Wesentlichen empfindlich gegenüber dem wirksamen Anteil B_w der exter-

nen magnetischen Flussdichte B_{ext} , dessen Flussdichtevektor parallel zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 innerhalb des mittleren Sensorelements SE(1420) steht. Das mittlere Sensorelement SE (1420) umfasst ein Trägermaterial TM in das die Diamant-Nano-Kristallen ND mit den NV-Zentren typischerweise innerhalb des mittleren Sensorelements SE(1420) eingebettet sind.

Figur 57

[0875] Fig. 57 entspricht der Fig. 57 ergänzt um eine Flachspule 2520 als Magnetfelderzeugungsmittel Lc. Die besagte Flachspule 2520 ist nur ein Beispiel für ein mögliches Magnetfelderzeugungsmittel Lc. Die Flachspule 2520 kann mehrere Windungen und mehrere Lagen aufweisen. In dem Beispiel der Fig. 57 ist die Flachspule 2520 durch eine Isolationsschicht 2510 von dem elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 elektrisch isoliert. Die Flachspule 2520 erzeugt bei Bestromung durch eine Treiberstufe DRVL, die zur Versorgung des Magnetfelderzeugungsmittels Lc in Form der Flachspule 2520 mit elektrischer Energie und/oder zur Steuerung des Magnetfelderzeugungsmittels Lc in Form der Flachspule 2520 dient, ein magnetisches Feld mit einer zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} . Diese zusätzliche magnetische Flussdichte B_{ad} durchflutet nun das auf dem Signalleiter 1330 der beispielhaften Mikrostripleitung 1380 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 platzierte mittlere Sensorelement SE (1420). Damit können Vorrichtungen entsprechend den Fig. 69 bis 71 und 73 bis 81 diese Flachspule 2520 als ein die magnetische Gesamtflussdichte B_{Σ} kompensierendes und/oder modulierendes und/oder änderndes Magnetfelderzeugungsmittel Lc nutzen. Damit das zusätzliche magnetische Feld mit der zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} parallel zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 innerhalb des mittleren Sensorelements SE(1420) sich ausprägt, sollte bevorzugt die der Flachspule 2520 in eine erste Teilflachspule links des Signalleiters 1330 der beispielhaften Mikrostripleitung 1380 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 und eine zweite Teilflachspule rechts des Signalleiters 1330 der beispielhaften Mikrostripleitung 1380 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 aufgeteilt sein. Typischerweise bestromt die Treiberstufe DRVL, die zur Versorgung des Magnetfelderzeugungsmittels Lc in Form der Flachspule 2520 mit elektrischer Energie und/oder zur Steuerung des Magnetfelderzeugungsmittels Lc in Form der Flachspule 2520 dient, zur Erzeugung der magnetischen Flussdichte B_{ad} parallel zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 innerhalb des mittleren Sensorelements SE(1420) so, dass die Richtung des Flussdichtevektors des magnetischen Feldes, das die erste Teilspule erzeugt, der Richtung des Flussdichtevektors, das die zweite Teilspule erzeugt, entgegengesetzt ist.

[0876] Typischerweise bestromt die Treiberstufe DRVL, die zur Versorgung des Magnetfelderzeugungsmittels Lc in Form der Flachspule 2520 mit elektrischer Energie und/oder zur Steuerung des Magnetfelderzeugungsmittels Lc in Form der Flachspule 2520 dient, zur Erzeugung der magnetischen Flussdichte B_{ad} senkrecht zur Oberfläche des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 innerhalb des mittleren Sensorelements SE(1420) so, dass die Richtung des Flussdichtevektors des magnetischen Feldes, das die erste Teilspule erzeugt, der Richtung des Flussdichtevektors, das die zweite Teilspule erzeugt, gleichausgerichtet ist.

[0877] Durch diese unterschiedliche Bestromung der Teilspulen der Flachspule 2520 kann die Treiberstufe DRVL somit selektieren, ob und in welchem Maße das linke Sensorelement 1410 und das rechte Sensorelement 1430 einerseits oder das mittlere Sensorelement 1420 andererseits durch das zusätzliche magnetische Feld mit der magnetischen Flussdichte B_{ad} , das die Flachspule 2520 erzeugt, beeinflusst werden sollen. Durch die unterschiedliche Bestromung der Teilflachspulen der Flachspule 2520 kann somit Treiberstufe DRVL die richtungsmäßige Empfindlichkeit des linken Sensorelement 1410 und des rechten Sensorelements 1430 der einerseits oder des mittleren Sensorelements 1420 einstellen.

[0878] Damit können Vorrichtungen entsprechend den Fig. 69 bis 71 und 73 bis 81 diese Flachspule 2520 als ein den Vektor 1440 der magnetische Flussdichte $B_{\mu\text{W}}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW kompensierendes und/oder modulierendes und/oder änderndes Magnetfelderzeugungsmittel Lc nutzen. Dabei speist wieder die Mikrowellensignalquelle μWG das Mikrowellensignal μW in die Signalleitung 1330 der Tri-Plate-Leitung 2380 ein. Hier repräsentiert der Vektor 1450 der magnetische Flussdichte $B_{\mu\text{W}}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW die magnetische Gesamtflussdichte B_{Σ} , die das mittlere Sensorelement SE(1420) durchdringt.

Figuren 58 bis 61

[0879] Die Fig. 58 bis 61 veranschaulichen die Herstellung des mittleren Sensorelements SE(1320) am zweiten Ende des mittleren optischen Lichtwellenleiters LWL (4630). Das Verfahren kann in analoger Weise

auch zur Herstellung eines linken Sensorelements SE(1310) am zweiten Ende eines linken optischen Lichtwellenleiters LWL (4610) und/oder zur Herstellung eines rechten Sensorelements SE(1320) am zweiten Ende eines rechten optischen Lichtwellenleiters LWL (4610) verwendet werden. In der Beschreibung sind dann lediglich die korrespondierenden Bezeichnungen gegeneinander auszutauschen. Auch für andere in diesem Dokument und in den zitierten Dokumenten erwähnten Wellenleitern sind diese verwendbar, wenn die Lichtwellenleiter vorzugsweise im Wesentlichen parallel zu den Leitern angeordnet werden.

Figur 58

[0880] Das Verfahren beginnt mit dem Bereitstellen des Trägersubstrats 1360 wobei in dem Beispiel der **Fig. 47** das bereitgestellte Trägersubstrat 1360 die Tri-Plate-Leitung 2380 mit der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 und der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 und dem mittleren Signalleiter 1330 und den elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 sowie beispielhaft den mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) umfasst. Das zweite Ende des mittleren optischen Lichtwellenleiters LWL (4630) befindet sich hier beispielhaft auf dem mittleren Signalleiter 1330.

Figur 59

[0881] in einem nachfolgenden Schritt des Verfahrens wird die Oberfläche des Trägersubstrats 1360 mit der Sensorelementschicht 4810 bedeckt. Die Sensorelementschicht 4810 umfasst bevorzugt eine dieser kolloidale Mischung (kolloidaler Lack KL) der Diamant-Nano-Kristalle ND und des noch flüssigen Trägermaterials TM. Die Sensorelementschicht 4810 ist also vorzugsweise mit Diamant-Nano-Kristallen ND angefüllt. Vorzugsweise umfassen die Diamant-Nano-Kristalle ND paramagnetische Zentren, die bei Bestrahlung mit elektromagnetischer Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} Fluoreszenzstrahlung FL mit einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} emittieren. Ganz besonders bevorzugt handelt es sich bei den paramagnetischen Zentren um NV-Zentren. Ggf. wird die Oberfläche des Trägersubstrats 1360 beispielsweise durch Plasma-Terminierung und/oder durch eine Haftvermittlerschicht vorbehandelt, um eine gute Benetzung der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 durch das noch flüssige Trägermaterial TM sicherzustellen. Bevorzugt wird die Sensorelementschicht 4810 beispielsweise mittels eines Temperatur- oder Lagerschritts angehärtet. Dieser vorzugsweise durchgeführte Temperaturschritt härtet dann bevorzugt das Trägermaterial TM an, um es zu stabilisieren.

Figur 60

[0882] In einem nachfolgenden Schritt des Verfahrens speist eine Aushärtungsquelle typischerweise über eine mittlere mikrooptische Einkoppelstruktur die Aushärtungsstrahlung 4910 mit der Aushärtewellenlänge λ_{H} in das erste Ende des mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) ein. In der **Fig. 49** verdeckt die Sensorelementschicht 4810 den mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630), der sich hier unter der Sensorelementschicht 4810 befindet. Die Aushärtungsstrahlung 4910 tritt dann am zweiten Ende des mittleren optischen Lichtwellenleiters LWL (4630) wieder aus dem mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) aus und in die Masse der Sensorelementschicht 4810 ein. Hierdurch bestrahlt die Aushärtungsstrahlung 4910 das zuerst noch flüssige oder angehärtete Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 4810 mit elektromagnetischer Aushärtungsstrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_{H} . Hierdurch verfestigt sich das Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 4810 zu verfestigtem Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 4810. Dadurch bildet sich bereits jetzt das spätere mittlere Sensorelement SE(1320) in der Sensorelementschicht 4810.

Figur 61

[0883] In einem nachfolgenden Schritt des Verfahrens wird nun das schon gebildete mittlere Sensorelement SE(1320) durch Reinigung mit einem Lösungsmittel freigelegt. Die Reinigung mit dem Lösungsmittel entfernt die nicht oder nicht ausreichend mit elektromagnetischer Aushärtungsstrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_{H} bestrahlten Bereiche der Sensorelementschicht 4810. Das zurückbleibende mittlere Sensorelement SE(1320) ist selbstjustierend und optimal an den mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) optisch angekoppelt. Das Besondere des in dem hier vorgelegten Dokument vorgeschlagenen mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) ist, dass das Trägermaterial TM ein mittels elektromagnetischer Aushärtungsstrahlung 4910 ausgehärtetes Trägermaterial TM ist und dass das Trägermaterial TM nach dem Aushärten für elektromagnetische Strahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB, mit der die NV-Zentren und/oder die anderen paramagnetischen Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND gepumpt werden, im Wesentlichen transparent ist. Bevorzugt ist das Trägermaterial TM nach dem Aushärten für elektromagnetische Strahlung mit einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung

FL, mit der die NV-Zentren und/oder die anderen paramagnetischen Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND bei Bestrahlung mit elektromagnetischer Strahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB fluoreszieren, im Wesentlichen transparent. Im Wesentlichen bedeutet dabei jeweils, dass die unzweifelhaft auftretenden Verluste immer noch so gering sind, dass die Funktionsfähigkeit der betreffenden Anwendung immer noch gegeben ist. Durch die Aushärtung eines zuvor flüssigen oder angehärteten Trägermittels TM ist die Fertigung eines solchen mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) besonders einfach und prozesssicher mit einem hohen C_{pk} -Wert zu fertigen Wenn somit das zweite Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630) von dem Trägermaterial TM des Sensorelements 4810 umhüllt ist, ergibt sich eine besonders gute Stabilisierung dieser optischen Kopplung.

[0884] Bevorzugt bildet dabei eine Endfläche des zweiten Endes des Lichtwellenleiters LWL(4630) eine ebene Endfläche senkrecht zur Mittellinie des Lichtwellenleiters LWL(4630). Die Mittellinie entspricht typischerweise der optischen Achse des Lichtwellenleiters LWL(4630). Eine solche Endfläche ermöglicht eine verbesserte Auskopplung der elektromagnetischen Pumpstrahlung LB aus dem Lichtwellenleiter LWL(4630) und eine verbesserte optische Einkopplung der Fluoreszenzstrahlung FL in den Lichtwellenleiter LWL(4630). Bevorzugt wird daher der LWL(4630) durch einen geeigneten Ätzprozess (z.B. DRIE oder RIE-Ätzung), der vorzugsweise senkrechte Flanken erzeugt, ausgeformt. Bevorzugt ist der Abstand eines oder bevorzugt mehrerer Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND von dieser ebenen Endfläche kleiner als die Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und/oder besser kleiner als $\frac{1}{2}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{4}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{8}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{10}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{20}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{50}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{100}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{200}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{500}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und/oder besser kleiner als $\frac{1}{1000}$ der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} .

[0885] Die Mittellinie, die eine gedachte Hilfskonstruktion zur Verdeutlichung des Sachverhalts ist, durchstößt die Endfläche an einem Mittelpunkt der Endfläche. Die Dicke d_l des Trägermaterials TM ist bevorzugt an diesem Mittelpunkt dicker ist als die Dicke d_r an anderen Punkten der Endfläche des zweiten Endes des Lichtwellenleiters LWL(4630). Dies hat den Vorteil, dass Licht durch die Grenzfläche Trägermaterial TM/ Luft in den Lichtwellenleiter LWL(4630) zurückgespiegelt wird und dass dann die Effizienz und der Wirkungsgrad der Lichtkopplung steigt.

[0886] Bevorzugt formt daher das Trägermaterial TM am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630) eine Linse aus. Der Durchmesser D_{LWLL} der Linse ist vorzugsweise, aber nicht zwangsweise kleiner als der Durchmesser des Lichtwellenleiters LWL(4630). Die **Fig. 66** zeigt ein Sensorelement, dessen Durchmesser bzw. dessen Linsendurchmesser größer als der Durchmesser D_{LWL} des Lichtwellenleiters LWL(4630) ist. Die **Fig. 61** zeigt hingegen ein Sensorelement 1420, dessen Durchmesser bzw. dessen Linsendurchmesser D_{LWLL} kleiner als der Durchmesser des Lichtwellenleiters LWL(4630) ist. Der Durchmesser D_{LWLL} der Linse kann aber auch so groß wie der der Durchmesser D_{LWL} des Lichtwellenleiters LWL(4630) sein.

[0887] Bevorzugt ist der der Lichtwellenleiter LWL(4630) ganz oder teilweise durch eine mechanische Hülle MH umhüllt und/oder lichtdicht abgedeckt, die auch nur den Zweck haben kann, ein Übersprechen zwischen verschiedenen Lichtwellenleitern der Vorrichtung zu verhindern. Die mechanische Hülle MH ist bevorzugt aus Glas oder Keramik, Kunststoff oder dergleichen gefertigt und für relevante elektromagnetische Strahlung intransparent. Die mechanische Hülle MH weist daher bevorzugt einen Keramikwerkstoff oder einen Kunststoffwerkstoff oder ein anderes nicht magnetisierbares und/oder elektrisch nichtleitendes Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 100°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 140°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 170°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 200°C stabiles Material und/oder ein bei Temperaturen oberhalb von 250°C stabiles Material auf oder umfasst diese oder besteht aus diesen im Extremfall. Die mechanische Hülle MH kann also aus einem Keramikwerkstoff oder einem Kunststoffwerkstoff oder aus einem anderen nicht magnetisierbaren und/oder elektrisch nichtleitendes Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 100°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 140°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 170°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 200°C stabilen Material und/oder aus einem bei Temperaturen oberhalb von 250°C stabilen Material gefertigt sein.

[0888] Bevorzugt bildet die mechanische Hülle MH zumindest abschnittsweise ein Rohr oder Röhrchen oder eine Kapillare oder eine Kanüle oder eine Abdeckung des Lichtwellenleiters LWL(4630), die den jeweilige

Lichtwellenleiter LWL(4630) umhüllt oder zumindest teilweise oder ganz abdeckt. Dies vereinfacht die Fertigung des Systems aus Lichtwellenleiter, Sensorelement SE(1420) und mechanischer Hülle MH. Der Innendurchmesser D_{ro} eines solchen Rohrs oder einer solchen Abdeckung oder eines solchen Röhrchens oder einer solchen Kapillare oder einer solchen Kanüle ist bevorzugt nur ein Wenig größer oder gleich groß wie der Durchmesser der Lichtwellenleiterlinse und der Durchmesser des Lichtwellenleiters LWL(4630).

[0889] Der Lichtwellenleiter LWL(4630) weist typischerweise einen Lichtwellenleiterkern LWLC auf. In dem Trägermaterial TM formt das Trägermaterial TM bevorzugt ein optisches Funktionselement am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630) aus. Dies verbessert wieder die besagte optische Kopplung zwischen Lichtwellenleiter LWL(4630) und Trägermaterial TM. Das optische Funktionselement wirkt dann so mit dem Lichtwellenleiterkern des Lichtwellenleiters LWL(4630) am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630) optisch zusammen.

[0890] Bevorzugt weist das optische Funktionselement eine Lichtwellenleiterlinse, insbesondere in Form einer Verdickung des Trägermaterials TM im Bereich des optischen Funktionselements, auf.

[0891] Das Wesentliche des hier vorgelegten Dokuments ist nun, dass es auch ein Verfahren zur Herstellung eines Lichtwellenleiters LWL(4630), wie er zuvor beschrieben und verwendet wurde, beschreibt und offenlegt. Das vorgeschlagene Verfahren umfasst die Schritte (Siehe Figur 153):

- Bereitstellen 15310 eines Lichtwellenleiters LWL(4630), wobei der Lichtwellenleiter LWL(4630) ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist;
- Bereitstellen 15320 eines flüssigen und mittels elektromagnetischer Strahlung einer Aushärtestrahlung 4910 mit einer Aushärtewellenlänge λ_H härtbaren Trägermaterials TM, wobei in das Trägermaterial TM eine Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND, vorzugsweise Nanodiamanten, eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND NV-Zentren und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND des Trägermaterials TM und/oder die anderen paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND des Trägermaterials TM bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL emittieren;
- Benetzen 15330 des zweiten Endes des Lichtwellenleiters LWL(4630) zumindest auf eine Benetzungslänge L_B mit dem Trägermaterial TM, das die Vielzahl eingebetteter Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND mit NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren aufweist;
- Einspeisen 15340 elektromagnetischer Strahlung in das erste Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630), wobei die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung, die Aushärtewellenlänge λ_H , so gewählt ist, dass das Trägermaterial TM am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630) aushärtet und sich in einen Festkörper wandelt.
- Entfernen 15350 des nicht ausgehärteten Trägermaterials TM insbesondere mittels eines Lösungsmittels LM, wobei der verbleibende Film des Trägermaterials TM am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630) das Sensorelement SE bildet.

[0892] Typischerweise härtet das Trägermaterial TM nur teilweise aus, was die Bildung des optischen Funktionselements und des Sensorelements SE ermöglicht.

[0893] Somit ist nun auf der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 der Tri-Plate-Leitung 2380 ein mittlerer optischer Lichtwellenleiter LWL (4630) beispielhaft selbstjustierend platziert. Das hier vorgelegte Dokument schlägt somit vor, diesen mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) mit einem mittleren Sensorelement SE(1420) zu kombinieren. Dabei weist das mittlere Sensorelement SE(1420) ein Trägermaterial TM auf, in dem typischerweise eine Vielzahl von Diamant-Nano-Kristallen ND eingebettet sind. Ein oder mehrere oder alle Diamant-Nano-Kristalle ND dieser Diamant-Nano-Kristalle ND weisen dabei ein oder mehrere NV-Zentren und/oder ein oder mehrere andere paramagnetische Zentren auf. Die NV-Zentren des mittleren Sensorelements SE(1420) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des mittleren Sensorelements SE(1420) emittieren bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL. mit einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_f . Das Besondere des in dem hier vorgelegten Dokument vorgeschlagenen mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) ist, dass das Trägermaterial TM vorzugsweise ein mittels elektromagnetischer Strahlung (Aushärtestrahlung 4910) ausgehärtetes Trägermaterial TM ist und dass das Trägermaterial TM nach dem Aushärten für elektromagnetische Strahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB, mit der die NV-Zentren des mitt-

leren Sensorelements SE(1420) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des mittleren Sensorelements SE(1420) von einer der vorgeschlagenen Vorrichtungen gepumpt werden, im Wesentlichen transparent ist. Im Wesentlichen bedeutet dabei, dass die unzweifelhaft auftretenden Verluste immer noch so gering sind, dass die Funktionsfähigkeit der betreffenden Anwendung immer noch gegeben ist. In gleicher Weise sollte das Trägermaterial TM für Strahlung mit einer Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung LB der NV-Zentren des mittleren Sensorelements SE(1420) und/oder der anderen paramagnetischen Zentren des mittleren Sensorelements SE(1420) im Wesentlichen transparent sein. Im Wesentlichen bedeutet dabei wiederum, dass die unzweifelhaft auftretenden Verluste immer noch so gering sind, dass die Funktionsfähigkeit der betreffenden Anwendung immer noch gegeben ist. Zur Herstellung des mittleren Sensorelements SE (1420) wird die Oberfläche des Trägersubstrats 1360 mit der mittleren elektrisch leitenden Signalleitung 1330 der Tri-Plate-Leitung 2380 und den anderen Leitungen 1310, 1320 der Tri-Plate-Leitung 2380 und mit dem mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) eine kolloidale Mischung (kolloidaler Lack KL) der Diamant-Nano-Kristalle ND mit paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren und Kristalle mit paramagnetischen Zentren einerseits und des noch flüssigen Trägermaterials TM andererseits als Sensorelementschicht 4810 über die mittlere elektrisch leitende Signalleitung 1330 der Tri-Plate-Leitung 2380 und die anderen Leitungen 1310, 1320 der Tri-Plate-Leitung 2380 und den mittlerer optischer Lichtwellenleiter LWL (4630) aufgetragen. Ggf. wird die Lackschicht der kolloidalen Mischung (kolloidaler Lack KL) in einem nachfolgenden Temperaturschritt angehärtet um sie zu stabilisieren.

[0894] Der Herstellungsprozess des mittleren Sensorelements SE(1420) umfasst bevorzugt in einem anschließenden Herstellungsschritt das lokale Bestrahlen dieser kolloidale Mischung (kolloidaler Lack KL) der Diamant-Nano-Kristalle ND und des noch flüssigen Trägermaterials TM der Sensorelementschicht 4810 mit einer elektromagnetischen Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H . Die lokale Bestrahlung dieser kolloidale Mischung (kolloidaler Lack KL) der Diamant-Nano-Kristalle ND und des noch flüssigen Trägermaterials TM der Sensorelementschicht 4810 mit einer elektromagnetischen Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H ist dabei bevorzugt auf den Bereich der Sensorelementschicht 4810 am zweiten Ende des mittleren optischen Lichtwellenleiters LWL (4630) begrenzt. Bevorzugt handelt es sich bei der elektromagnetischen Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H um UV-Strahlung. Beispiels kann der mit der elektromagnetischen Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H bestrahlte Bereich der Sensorelementschicht 4810 durch eine Maske 5410 begrenzt werden, die in einem vorausgehenden Justierschritt gegenüber Justiermarken (5210, 5220) auf der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 justiert und beispielsweise in einem Mask-Aligner (Maskenjustier- und Ausrichtungsvorrichtung) ausgerichtet worden ist. Bevorzugt weist das Trägersubstrat 1360 somit die Leitungen 1310, 1320, 1330 der Tri-Plate-Leitung 2380 (bzw. einer anderen möglichen Mikrostreifenleitung) und die Justiermarken (5210, 5220) für die Justierung einer oder mehrerer Belichtungsmasken 5410 auf. Durch die Bestrahlung der Sensorelementschicht 4810, die die kolloidale Mischung (kolloidaler Lack KL) der Diamant-Nano-Kristalle ND und das noch flüssige bzw. angehärtete Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 4810 umfasst, mit elektromagnetischer Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H verfestigt sich typischerweise das zuvor flüssige bzw. angehärtete Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 4810 zu verfestigtem Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 4810 im mit der elektromagnetischen Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H bestrahlten Bereich der Sensorelementschicht 4810. Hierdurch bildet sich innerhalb der Sensorelementschicht 4810 verdeckt bereits das mittlere Sensorelement SE(1430). In einem typischerweise dann nachfolgenden Verfahrensschritt können nicht verfestigte Bereiche der Sensorelementschicht 4810, die zuvor typischerweise nicht oder nur unzureichend mit Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H bestrahlt wurden, mittels eines Lösungsmittels für das noch flüssige bzw. angehärtete Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 4810 aufgelöst und von der der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 und den anderen Leitungen 1310, 1320, 1330 und aus der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationsfläche 1340 und aus der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende rechten Isolationsfläche 1360 etc. an der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 entfernt werden. Es verbleibt das fertig gestellte mittlere Sensorelement SE(1320). Besonders elegant ist die Herstellung des mittleren Sensorelements SE(1320), wenn eine Aushärtestrahlungsquelle in den mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) elektromagnetische Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H im Herstellungsprozess einspeist. Bevorzugt weist zur Anwendung der hier dargestellten technischen Lehre der mittlere optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) auf der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 mikrooptische Strukturen auf, die die Einkopplung einer solchen elektromagnetischen Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H im Herstellungsprozess in den mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) erlauben. Bevorzugt dienen diese mikrooptischen Strukturen, die die Einkopplung einer solchen elektromagnetischen Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H im Herstellungsprozess in den mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) erlauben, später auch zur Einkopplung der Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} in den mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) und/oder zur Auskoppelung der Fluoreszenzstrahlung FL mit der Fluoreszenzstrahlung

lungswellenlänge λ_H aus dem mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630). Bevorzugt weist somit Oberfläche des Trägersubstrats 1360 mikrooptische Strukturen auf, die dazu eingerichtet sind, elektromagnetische Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H im Herstellungsprozess in den mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) einzuspeisen. Bevorzugt wird in den Bereichen der Oberfläche des Trägersubstrats 1360, die diese mikrooptische Strukturen aufweisen, die dazu eingerichtet sind, elektromagnetischen Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H im Herstellungsprozess in den mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) einzuspeisen, die Sensorelementschicht 4810 vor der Aushärtung der Sensorelementschicht 4810 lokal entfernt. Es ist beispielsweise auch denkbar, die Sensorelementschicht 4810 grob vorstrukturiert mittels eines Dispensers oder mittels Siebdruck nur im Bereich der zweiten Enden des mittleren optischen Lichtwellenleiters LWL (4630) lokal begrenzt aufzubringen, sodass diese Entfernung von vornherein nicht notwendig ist. Im Herstellungsprozess wird nun beispielsweise über die besagten mikrooptischen Strukturen, die die Einkopplung einer solchen elektromagnetischen Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H im Herstellungsprozess in den mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) erlauben, elektromagnetische Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H an einem ersten Ende des mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) in den mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) eingespeist. Der mittlere Lichtwellenleiter LWL (4630) transportiert die elektromagnetischen Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H vom ersten Ende des mittleren Lichtwellenleiters LWL (4630) zum zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL (4630). Die elektromagnetischen Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H tritt dann typischerweise am anderen, zweiten Ende des mittleren optischen Lichtwellenleiters LWL (4630) wieder aus. Bevorzugt ist das zweite Ende des mittleren optischen Lichtwellenleiters LWL (4630) mit einem Bereich der Sensorelementschicht 4810 bedeckt. Die elektromagnetische Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H bestrahlt das noch flüssige Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 4810 und härtet so das noch flüssige Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 4810 zu verfestigtem Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 4810 aus. In dem besagten, typischerweise dann nachfolgenden Verfahrensschritt können nicht verfestigte Bereiche der Sensorelementschicht 4810, die typischerweise nicht oder nur unzureichend mit Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_H bestrahlt wurden, mittels eines Lösungsmittels für das noch flüssige Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 4810 aufgelöst und von der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 und von den anderen Leitungen 1310, 1320, 1330 und aus der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationsfläche 1340 und aus der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende rechten Isolationsfläche 1360 etc. an der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 entfernt werden. Es verbleibt wieder das fertig gestellte mittlere Sensorelement SE(1420), das nun jedoch in optimaler Weise und selbstjustierend gegenüber dem zweiten Ende des mittleren optischen Lichtwellenleiters LWL (4630) gefertigt ist. Durch diese Aushärtung eines zuvor flüssigen und ggf. angehärteten Trägermittels TM ist die Fertigung des mittleren Sensorelements SE(1420) gegenüber dem zweiten Ende eines solchen mittleren optischen Lichtwellenleiters LWL (4630) besonders einfach und prozesssicher in selbstjustierender Weise mit einem hohen C_{pk} -Wert zu fertigen.

Figuren 62 bis 66

[0895] Die **Fig. 62 bis 66** veranschaulichen die Herstellung des mittleren Sensorelements SE(1320) am zweiten Ende des mittleren optischen Lichtwellenleiters LWL (4630) mittels eines maskengesteuerten Verfahrens. Das Verfahren kann in analoger Weise auch zur Herstellung eines linken Sensorelements SE(1310) am zweiten Ende eines linken optischen Lichtwellenleiters LWL (4610) und/oder zur Herstellung eines rechten Sensorelements SE(1310) am zweiten Ende eines rechten optischen Lichtwellenleiters LWL (4610) verwendet werden. Dieses Fertigungsprinzip kann in analoger und funktionsäquivalenter Weise auf die Herstellung anderer Sensorelemente durch eine fachkundige Person übertragen werden. In der Beschreibung sind dann lediglich die korrespondierenden Bezeichnungen gegeneinander auszutauschen.

Figur 62

[0896] Das Verfahren beginnt wieder mit dem Bereitstellen des Trägersubstrats 1360 wobei in dem Beispiel der **Fig. 62** das bereitgestellte Trägersubstrat 1360 die Tri-Plate-Leitung 2380 mit der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 und der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 und dem mittleren Signalleiter 1330 und den elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 sowie beispielhaft den mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) umfasst. Das zweite Ende des mittleren optischen Lichtwellenleiters LWL (4630) befindet sich hier beispielhaft wieder auf dem mittleren Signalleiter 1330.

Figur 63

[0897] um das hier vorgeschlagene maskenbasierende Verfahren durchführen zu können, wird die Oberfläche des Trägersubstrats 1360 mit einer oder mehreren Justiermarken 5210, 5220 versehen. Die Justiermarken 5210, 5220 können auch in einem vorhergehenden Prozessschritt angefertigt worden sein. Beispielsweise ist es denkbar, eine oder mehrere linke Justiermarken 5210 zusammen mit der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 zu fertigen. Beispielsweise ist es denkbar, eine oder mehrere rechte Justiermarken 5220 zusammen mit der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 zu fertigen.

Figur 64

[0898] in einem nachfolgenden Schritt des Verfahrens wird die Oberfläche des Trägersubstrats 1360 mit der Sensorelementschicht 4810 teilweise bedeckt. Dies kann beispielsweise durch Siebdruck und/oder einen Dispenser erfolgen. Die Sensorelementschicht 4810 umfasst bevorzugt eine dieser kolloidale Mischung (kolloidaler Lack KL) der Diamant-Nano-Kristalle ND und des noch flüssigen Trägermaterials TM. Die Sensorelementschicht 4810 ist also vorzugsweise mit Diamant-Nano-Kristallen ND angefüllt. Vorzugsweise umfassen die Diamant-Nano-Kristalle ND paramagnetische Zentren, die bei Bestrahlung mit elektromagnetischer Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} Fluoreszenzstrahlung FL mit einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} emittieren. Ganz besonders bevorzugt handelt es sich bei den paramagnetischen Zentren um NV-Zentren. Ggf. wird die Oberfläche des Trägersubstrats 1360 beispielsweise durch Plasma-Terminierung und/oder durch eine Haftvermittlerschicht vorbehandelt, um eine gute Benetzung der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 durch das noch flüssige Trägermaterial TM sicherzustellen. Ggf. erfolgt in einem weiteren Schritt eine Anhäftung des Trägermaterials TM der Sensorelementschicht 4810 z.B. in einem nachfolgenden Temperatur- oder Lagerschritt.

Figur 65

[0899] In einem nachfolgenden Schritt des Verfahrens bestrahlt eine Aushärtestrahlungsquelle typischerweise die Sensorelementschicht 4810 mit der Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_{H} . In der **Fig. 65** verdeckt die Sensorelementschicht 4810 den mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630), der sich hier unter der Sensorelementschicht 4810 befindet. In der **Fig. 65** strukturiert eine Schattenmaske 5410 die Aushärtestrahlung 4910. Typischerweise weist die Schattenmaske 5410 einige für die elektromagnetische Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_{H} transparente Transmissionsbereiche 5420 auf. Die übrigen Bereiche der Schattenmaske 5410 sind für die elektromagnetische Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_{H} typischerweise im Wesentlichen nicht transparent. Im Bereich der Transmissionsbereiche 5420 bestrahlt dann die Aushärtestrahlungsquelle die Sensorelementschicht 4810 mit elektromagnetischer Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_{H} in bestrahlten Bereichen der Sensorelementschicht 4810. Diese Aushärtestrahlung 4910 tritt in diesen bestrahlten Bereichen der Sensorelementschicht 4810 in die Masse der Sensorelementschicht 4810 ein. Hierdurch bestrahlt die Aushärtestrahlung 4910 das zuerst noch flüssige Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 4810 in diesen bestrahlten Bereichen der Sensorelementschicht 4810 mit elektromagnetischer Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_{H} . Hierdurch verfestigt sich das ausgehärtete Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 4810 in diesen bestrahlten Bereichen der Sensorelementschicht 4810 zu verfestigtem Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 4810. Dadurch bildet sich bereits jetzt das spätere mittlere Sensorelements SE(1320) in der Sensorelementschicht 4810.

[0900] Das Problem ist allerdings, dass das Verfahren nicht selbstjustierend ist und daher höhere Toleranzen aufweist.

Figur 66

[0901] In einem nachfolgenden Schritt des Verfahrens wird nun das schon gebildete mittlere Sensorelements SE(1320) durch Reinigung mit einem Lösungsmittel freigelegt. Die Reinigung mit dem Lösungsmittel entfernt die nicht oder nicht ausreichend mit elektromagnetischer Aushärtestrahlung 4910 der Aushärtewellenlänge λ_{H} bestrahlten Bereiche der Sensorelementschicht 4810. Das zurückbleibende mittlere Sensorelement SE(1320) ist bei richtiger Justierung der Maske 5410 gegenüber dem Trägersubstrat 1360 an den mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) optisch angekoppelt. Das Besondere des in dem hier vorgelegten Dokument vorgeschlagenen mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) ist, dass das Trägermaterial TM ein mittels elektromagnetischer Aushärtestrahlung 4910 ausgehärtetes Trägermaterial TM ist

und dass das Trägermaterial TM nach dem Aushärten für elektromagnetische Strahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB, mit der die NV-Zentren und/oder die anderen paramagnetischen Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND gepumpt werden, im Wesentlichen transparent ist. Bevorzugt ist das Trägermaterial TM nach dem Aushärten für elektromagnetische Strahlung mit einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung FL, mit der die NV-Zentren und/oder die anderen paramagnetischen Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND bei Bestrahlung mit elektromagnetischer Strahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB fluoreszieren, im Wesentlichen transparent ist. Im Wesentlichen bedeutet dabei jeweils, dass die unzweifelhaft auftretenden Verluste immer noch so gering sind, dass die Funktionsfähigkeit der betreffenden Anwendung immer noch gegeben ist. Durch die Aushärtung eines zuvor flüssigen Trägermittels TM ist die Fertigung eines solchen mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) besonders einfach und prozesssicher mit einem akzeptablen C_{pk} -Wert zu fertigen.

[0902] Hinsichtlich des Trägermaterials TM verweist das hier vorgelegte Dokument hier auf die anderen Beschreibungen des Trägermaterials TM in diesem Dokument.

[0903] Das Wesentliche des hier vorgelegten Dokuments ist nun, dass es auch ein Verfahren zur Herstellung eines Lichtwellenleiters LWL(4630), wie er zuvor beschrieben und verwendet wurde, beschreibt und offenlegt. Das vorgeschlagene Verfahren umfasst die Schritte:

- Bereitstellen 15410 eines Lichtwellenleiters LWL(4630), wobei der Lichtwellenleiter LWL(4630) ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist;
- Bereitstellen 15420 eines flüssigen und mittels elektromagnetischer Strahlung (Aushärtestrahlung 4910) einer Aushärtewellenlänge λ_{H} härtbaren Trägermaterials TM, wobei in das Trägermaterial TM eine Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND, vorzugsweise Nanodiamanten, eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND NV-Zentren und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND des Trägermaterials TM und/oder die anderen paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND des Trägermaterials TM bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL mit einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} emittieren;
- Beschichten 15430 des zweiten Endes des Lichtwellenleiters LWL(4630) zumindest auf eine Benetzungslänge L_{B} mit dem Trägermaterial TM, das die Vielzahl eingebetteter Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND mit NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren aufweist;
- Justieren 15440 einer Belichtungsmaske 5410 gegenüber dem Trägersubstrat 1360.
- Bestrahlen 15450 des zweiten Endes des Lichtwellenleiters LWL(4630) durch die Belichtungsmaske 5410 mit elektromagnetischer Strahlung (Aushärtestrahlung 4910), wobei die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung, die Aushärtewellenlänge λ_{H} , so gewählt ist, dass das Trägermaterial TM am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630) aushärtet und sich in einen Festkörper wandelt;
- Entfernen 15460 des nicht ausgehärteten Trägermaterials TM insbesondere mittels eines Lösungsmittels LM, wobei der verbleibende Film des Trägermaterials TM am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630) zumindest teilweise das Sensorelement SE bildet.

[0904] Typischerweise härtet das Trägermaterial TM nur teilweise aus, was die Bildung des optischen Funktionselements und des Sensorelements SE ermöglicht.

[0905] Die Strahlung der am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630) zur Aushärtung eingestrahlten Aushärtestrahlung 4910 ist bevorzugt UV-Strahlung. Ganz besonders bevorzugt ist eine Aushärtestrahlung 4910 zur Aushärtung mit einer Aushärtewellenlänge λ_{H} zwischen 320-380nm.

[0906] In bestimmten Anwendungsfällen können dem Trägermaterial TM Nanopartikel mit einem Durchmesser kleiner 200nm und/oder kleiner 100nm und/oder kleiner 50nm und/oder kleiner 20nm und/oder kleiner 10nm und/oder kleiner 5nm vor dem Bereitstellen beigemischt werden, sodass diese in dem Trägermaterial TM nach dem Aushärten eingelagert sind. Bevorzugt handelt es sich um metallische Nanopartikel. Das hier vorgelegte Dokument weist hier in diesem Zusammenhang auf die anderen Beschreibungen diese Nanopartikel hin, die hier auch gelten sollen.

Figur 67

[0907] Fig. 67 entspricht der Fig. 61 ergänzt um eine Flachspule 2520 als Magnetfelderzeugungsmittel Lc. Die besagte Flachspule 2520 ist nur ein Beispiel für ein mögliches Magnetfelderzeugungsmittel Lc. Die Flachspule 2520 kann mehrere Windungen und mehrere Lagen aufweisen. In dem Beispiel der Fig. 67 ist die Flachspule 2520 durch eine Isolationsschicht 2510 von dem elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 elektrisch isoliert. Die Flachspule 2520 erzeugt bei Bestromung durch eine Treiberstufe DRVL, die zur Versorgung des Magnetfelderzeugungsmittels Lc in Form der Flachspule 2520 mit elektrischer Energie und/oder zur Steuerung des Magnetfelderzeugungsmittels Lc in Form der Flachspule 2520 dient, ein magnetisches Feld mit einer zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} .

[0908] Diese zusätzliche magnetische Flussdichte B_{ad} durchflutet nun das auf dem Signalleiter 1330 der beispielhaften Mikrostripleitung 1380 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 platzierte mittlere Sensorelement SE(1420).

[0909] Damit können Vorrichtungen entsprechend den Fig. 69 bis 71 und 73 bis 81 diese Flachspule 2520 als ein die magnetische Gesamtflussdichte B_z kompensierendes und/oder modulierendes und/oder änderndes Magnetfelderzeugungsmittel Lc nutzen.

[0910] Damit können Vorrichtungen entsprechend den Fig. 69 bis 71 und 73 bis 81 diese Flachspule 2520 als ein den Vektor 1450 der magnetische Flussdichte $B_{\mu W}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 der Tri-Plate-Leitung 2380 einspeist, kompensierendes und/oder modulierendes und/oder änderndes Magnetfelderzeugungsmittel Lc nutzen.

[0911] Hier repräsentiert der Vektor 1450 der magnetische Flussdichte $B_{\mu W}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , die das mittlere Sensorelement SE(1420) durchdringt.

Figur 68

[0912] Fig. 68 wendet die Prinzipien der Sensorelementherstellung auf alle drei Sensorelemente (1410, 1420, 1430) an. Diesen korrespondieren drei Lichtwellenleiter (4610, 4620, 4630), die optisch gegeneinander vorzugsweise durch Blenden etc. isoliert sind.

[0913] Hinsichtlich der Herstellungsmethoden des rechten Sensorelements SE(1430) und des linken Sensorelements SE(1410) und des mittleren Sensorelements SE(1420) verweist das hier vorgelegte Dokument auf die Beschreibungen der Fig. 58 bis 66, wobei die dort beschriebenen Methoden zur Herstellung des mittleren Sensorelements SE(1420) im funktionalen Zusammenhang mit dem mittleren optischen Lichtwellenleiter LWL (4630) hier nun auf die Herstellung des rechten Sensorelements SE(1430) im Zusammenhang mit dem rechten Lichtwellenleiter LWL(4620) und auf die Herstellung des linken Sensorelements SE(1410) im Zusammenhang mit dem linken Lichtwellenleiter LWL(4610) und auf die Herstellung des mittleren Sensorelements SE (1420) im Zusammenhang mit dem mittleren Lichtwellenleiter LWL(4630) angewendet werden können.

Figur 69

[0914] Fig. 69 zeigt eine beispielhafte, schematische und vereinfachte Vorrichtung zur Ansteuerung, Vermessung und Auswertung von beispielhaften Sensorköpfen, wie sie die Fig. 54 bis 68 zeigen, wenn sie ein Sensorelement SE aufweisen. Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet solche Vorrichtungen auch als Messvorrichtungen.

[0915] Die Messvorrichtung der Fig. 69 umfasst einen Sensorkopf, der beispielhaft ein Trägersubstrat 1360 mit einer beispielhaften Tri-Plate-Leitung 2380 aufweist. Das hier vorgelegte Dokument weist darauf hin, dass statt der Tri-Plate-Leitung 2380 beispielsweise auch andere Hochfrequenz-Streifenleitungen wie beispielsweise Mikrostreifenleitungen 1380, oder Schlitzleitungen 1880 oder differentielle Mikrostripleitung 6830 oder differentielle Triplate-Leitungen 7080 verwendet werden können.

[0916] Die Tri-Plate-Leitung 2380 in dem Beispiel der Fig. 69 umfasst ein vorzugsweise nicht oder nur wenig elektrisch leitendes, vorzugsweise dielektrisches Trägersubstrat 1360, typischerweise einen hier nicht eingezeichneten elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 auf der Unterseite des elektrisch nicht leitenden Trägersubstrats 1360, eine elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 auf der Oberseite des elektrisch nicht leitenden Trägersubstrats 1360, eine elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 auf der Ober-

seite des elektrisch nicht leitenden Trägersubstrats 1360, eine elektrisch leitende Signalleitung 1330 auf der Oberseite des elektrisch nicht leitenden Trägersubstrats 1360 zwischen der elektrisch leitende linken Signalmassefläche 1310 und der elektrisch leitende rechten Signalmassefläche 1320. Dabei trennt eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende linke Isolationslücke 2340 die elektrisch leitende Signalleitung 1330 von der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310. Außerdem trennt eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende rechte Isolationslücke 2350 die elektrisch leitende Signalleitung 1330 von der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320. Bevorzugt weist die Tri-Plate-Leitung 2380 bezogen auf die elektrisch leitende Signalleitung 1330 als „heißen“ Innenleiter und die Gemeinschaft aus elektrisch leitender linken Signalmassefläche 1310, elektrisch leitender rechter Signalmassefläche 1320 und elektrisch leitendem Rückseitenkontakt 1370 als Masseelektroden einen Wellenwiderstand auf.

[0917] Ein Mikrowellensignalquelle μWG erzeugt beispielsweise ein Mikrowellensignal μW und speist es in die Wellenleitung, hier die beispielhafte Tri-Plate-Leitung 2380, ein. Das Magnetfeld mit einer magnetischen Flussdichte $B_{\mu\text{W}}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW wirkt auf das Sensorelement SE ein. Bevorzugt ist die Wellenleitung, hier die beispielhafte Tri-Plate-Leitung 2380, an ihrem der Mikrowellensignalquelle μWG abgewandten Ende mittels eines oder mehrerer Abschlusswiderstände 6710 reflexionsfrei mit dem Wellenwiderstand der Wellenleitung, hier der beispielhaften Tri-Plate-Leitung 2380, betragsgleich abgeschlossen oder mit einer mikrowellenfähigen Kupplung versehen. Diese Abschlusswiderstände sind in der **Fig. 69** nicht eingezeichnet, jedoch Teil der Beanspruchung. Durch die Verwendung von Abschlusswiderständen 6710 an dem der Mikrowellensignalquelle μWG abgewandten Ende der Wellenleitung, hier die beispielhafte Tri-Plate-Leitung 2380, reflektiert das an dem der Mikrowellensignalquelle μWG abgewandten Ende der Wellenleitung, hier der beispielhaften Tri-Plate-Leitung 2380, liegende Ende der Wellenleitung, hier das Ende der beispielhafte Tri-Plate-Leitung 2380, nur wenig Leistung zurück in Richtung des Sensorelements SE und Mikrowellensignalquelle μWG . Durch die Verwendung von Abschlusswiderständen 6710 an dem der Mikrowellensignalquelle μWG abgewandten Ende der Wellenleitung, hier die beispielhafte Tri-Plate-Leitung 2380, kann das Mikrowellensignal μW , das auf das Sensorelement SE einwirkt, sehr daher präzise durch die Mikrowellensignalquelle μWG erzeugt und kontrolliert werden. Außerdem vermeidet diese Konstruktion eine unnötige Aufheizung des Sensorelements SE und damit des Trägermaterials TM. Vorzugsweise entspricht der Innenwiderstand der Mikrowellensignalquelle μWG im Wesentlichen dem Wellenwiderstand der Wellenleitung, hier die beispielhafte Tri-Plate-Leitung 2380. Hierdurch reflektiert die Mikrowellensignalquelle μWG nur wenig Leistung zurück in Richtung des Sensorelements SE und der Abschlusswiderstände 6710.

[0918] Das Sensorelement SE umfasst typischerweise eine Vielzahl von Diamant-Nano-Kristallen ND und/oder Kristalle in dem verfestigten Trägermaterial TM. Ein oder mehrere oder alle Diamant-Nano-Kristalle ND dieser Diamant-Nano-Kristalle ND weisen dabei typischer Weise ein oder mehrere NV-Zentren und/oder ein oder mehrere andere paramagnetische Zentren auf. Ein oder mehrere oder alle Kristalle dieser Kristalle weisen dabei typischer Weise ein oder mehrere andere paramagnetische Zentren auf. Die NV-Zentren des Sensorelements SE und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements SE emittieren bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} typischerweise zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL mit einer Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} .

[0919] Bei dem Sensorelement SE kann es sich beispielsweise um ein oder mehrere der in den **Fig. 54** bis **68** dargestellten Sensorelemente SE handeln.

[0920] Die magnetische Gesamtflussdichte B_{Σ} durchflutet das Sensorelement SE. Typischerweise beeinflusst die magnetische Gesamtflussdichte B_{Σ} die Intensität der Fluoreszenzstrahlung LB, die die NV-Zentren des Sensorelements SE und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements SE emittieren.

[0921] Eine Lichtquelle LED dient als Pumpstrahlungsquelle für die Pumpstrahlung LB mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED, bestrahlt das Sensorelement SE über einen Lichtwellenleiter LWL mit der Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Bei der Lichtquelle LED kann es sich beispielsweise um eine Leuchtdiode oder um einen Laser handeln. Ein Sendesignal S5 zur Modulation der Lichtquelle LED steuert vorzugsweise die Intensität der von der Lichtquelle LED emittierten Pumpstrahlung LB.

[0922] Bevorzugt ist das Sendesignal S5 mit einem LED-Modulationssignal S5w in seinem zeitlichen Verlauf amplitudenmoduliert. Typischerweise weist das zeitlich modulierte LED-Modulationssignal des Sendesignals S5 ein LED-Modulationsspektrum im Frequenzbereich auf. Beispielsweise kann das LED-Modulationssignal S5w ein PWM-Modulationssignal mit einer PWM-Periodendauer und einem Tastgrad sein. Auch kann das

LED-Modulationssignal S5w ein Spreiz-Code-Signal auf Basis einer Reihenfolge einer ersten Anzahl von 1-Bits und einer zweiten Anzahl von 0-sein, wobei die Bits des Spreiz-Codes eine Spreiz-Code-bit-Periodendauer aufweisen und wobei der Spreiz-Code eine Spreiz-Code-Periodendauer aufweist. Typischerweise wiederholt sich bei der Verwendung eines Spreiz-Codes dieser Spreiz-Code im LED-Modulationssignal S5w. Die erste Anzahl der 1-Spreiz-Code-Bits in einem Spreiz-Code ist vorzugsweise aber nicht notwendigerweise gleich der zweiten Anzahl der 0-Spreiz-Code-Bits in dem Spreiz-Code. Der Spreiz-Code kann auch unendlich lang sein und durch einen Zufallszahlengenerator (Abkürzung RNG) erzeugt werden, der Teil der Vorrichtung sein kann. Der Zufallszahlengenerator (Abkürzung RNG) kann ein Pseudozufallszahlengenerator (Abkürzung PRNG) beispielsweise auf Basis eines linear rückgekoppelten Schieberegisters (Abkürzung LFSR) oder ein echter Zufallszahlengenerator (Abkürzung TRNG) oder ein Quantenzufallszahlengenerator (Abkürzung QRNG) sein.

[0923] Typischerweise weist der zeitliche Intensitätsverlauf der Intensität der von der Lichtquelle LED emittierten Pumpstrahlung LB ein Pumpstrahlungsintensitätsspektrum auf, das in der Regel ein mehr oder weniger deformiertes LED-Modulationsspektrum ist. Die Deformation ergibt sich in der Regel aus dem nichtlinearen Verhalten der Lichtquelle LED. Ist das LED-Modulationssignal monofrequent, so ist in der Regel auch der zeitliche Intensitätsverlauf der Intensität der von der Lichtquelle LED emittierten Pumpstrahlung LB monofrequent mit der gleichen LED-Sendefrequenz f_{LED} .

[0924] Ein erstes optisches System (hier F1, LWL) erfasst die Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle, hier der Lichtquelle LED, und transportiert die Pumpstrahlung LB zu den einem oder den mehreren Sensorelementen SE des Sensorkopfes und bestrahlt das Sensorelement SE des Sensorkopfes mit dieser Pumpstrahlung LB. Bevorzugt weist das erste optische System ein optisches Funktionselement, beispielsweise eine Einkoppelstruktur, zur Erfassung eines möglichst großen Anteils der Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle, hier der Lichtquelle LED, auf. Bevorzugt weist das erste optische System ein optisches Funktionselement, beispielsweise eine Auskoppelstruktur, zur Bestrahlung des Sensorelements SE mit einem möglichst großen Anteils der von dem ersten optischen Funktionselement erfassten Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle, hier der Lichtquelle LED, auf. In dem Beispiel der **Fig. 69** transportiert ein Lichtwellenleiter LWL die Pumpstrahlung LB zu den einem oder den mehreren Sensorelementen SE des Sensorkopfes. Ein solches erstes optisches System kann ein oder mehrere optische Funktionselemente, wie beispielsweise aber nicht nur Linse, Prismen, Blenden, Filter, Spiegel, Strahlteiler, dichroitische Spiegel, photonische Kristalle, Lichtwellenleiter etc. umfassen.

[0925] Die elektromagnetische Pumpstrahlung LB mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} regt die NV-Zentren bzw. die paramagnetischen Zentren in dem Sensorelement SE dazu an, Fluoreszenzstrahlung FL der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} zu emittieren. Typischerweise weist der zeitliche Intensitätsverlauf der Intensität der von dem Sensorelement SE emittierten Fluoreszenzstrahlung FL ein Fluoreszenzstrahlungsintensitätsspektrum auf. Das Fluoreszenzstrahlungsintensitätsspektrum ist in der Regel ein mehr oder weniger deformiertes Pumpstrahlungsintensitätsspektrum und daher ein ebenfalls mehr oder weniger deformiertes LED-Modulationsspektrum. Ist das LED-Modulationssignal monofrequent, so ist in der Regel auch der zeitliche Intensitätsverlauf der Intensität der von der Lichtquelle LED emittierten Pumpstrahlung LB monofrequent mit der LED-Modulationsfrequenz f_{LED} und auch der zeitliche Intensitätsverlauf der Intensität $I_{ist}(t)$ der von dem Sensorelement SE emittierten Fluoreszenzstrahlung FL monofrequent mit der gleichen LED-Sendefrequenz f_{LED} .

[0926] Ein zweites optisches System (hier F1, LWL) erfasst die Fluoreszenzstrahlung FL des Sensorelements SE und transportiert die Fluoreszenzstrahlung FL zu den einem oder den mehreren Fotodetektor PD und bestrahlt den einen oder die mehreren Fotodetektoren PD mit dieser Fluoreszenzstrahlung FL. Bevorzugt weist das zweite optische System ein optisches Funktionselement, beispielsweise eine Einkoppelstruktur, zur Erfassung eines möglichst großen Anteils der Fluoreszenzstrahlung FL des Sensorelements SE auf. Bevorzugt weist das zweite optische System ein optisches Funktionselement, beispielsweise eine Auskoppelstruktur, zur Bestrahlung des einen oder der mehreren Fotodetektoren PD mit einem möglichst großen Anteil der von dem zweiten optischen System erfassten Fluoreszenzstrahlung FL des Sensorelements SE auf. In dem Beispiel der **Fig. 69** erfasst ein Lichtwellenleiter LWL die Fluoreszenzstrahlung LB und transportiert die erfasste Fluoreszenzstrahlung LB zu dem einen oder den mehreren Fotodetektoren PD. Typischerweise umfasst das zweite optische System ein optisches Funktionselement, beispielsweise einen Filter F1 und/oder einen dichroitischen Spiegel, die verhindern, dass Pumpstrahlung LB auf den einen oder die mehreren Fotodetektoren PD gelangt. Ein solches zweites optisches System kann ein oder mehrere optische Funktionselemente, wie beispielsweise aber nicht nur Linsen, Prismen, Blenden, Filter F1, Spiegel, Strahlteiler, dichroitische Spiegel, photonische Kristalle, Lichtwellenleiter LWL etc. umfassen.

[0927] Bevorzugt sind das erste optische System und das zweite optische System zu einem großen Anteil ihrer Vorrichtungsteile identisch.

[0928] In dem Beispiel der **Fig. 69** emittiert die Pumpstrahlungsquelle in Form der Lichtquelle LED die Pumpstrahlung LB mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Ein dichroitischer Spiegel F1 als erster beispielhafter Teil des ersten optischen Systems lässt die Pumpstrahlung LB passieren. Ein Lichtwellenleiter LWL als zweiter beispielhafter Teil des ersten optischen Systems nimmt die Pumpstrahlung LB an seinem ersten Ende auf und transportiert die Pumpstrahlung LB zu dem zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL. Die Pumpstrahlung LB tritt am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL aus dem Lichtwellenleiter LWL aus und bestrahlt ein oder mehrere Sensorelemente SE des Sensorkopfes.

[0929] Die Pumpstrahlung LB mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} bestrahlt somit die paramagnetischen Zentren und/oder die NV-Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND bzw. Kristallen des einen oder der mehreren Sensorelemente SE. Die so bestrahlten NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND emittieren aufgrund der Bestrahlung mit der Pumpstrahlung LB Fluoreszenzstrahlung FL mit einer Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} . Die Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} ist typischerweise von der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} verschieden. Typischerweise ist die Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} typischerweise langwelliger als die Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Typischerweise hängt die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL von der magnetischen Gesamtflussdichte B_{Σ} , der Mikrowellenamplitude und der Mikrowellenfrequenz des Mikrowellensignals μW und der Intensität der Pumpstrahlung LB ab.

[0930] Vorzugsweise erfasst der Lichtwellenleiter LWL als erster beispielhafter Teil des zweiten optischen Systems an seinem zweiten Ende einen möglichst großen Anteil der emittierten Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND des einen oder der mehreren Sensorelemente SE. Hierfür ist eine gute Justierung zwischen dem Sensorelement und dem Kern des Lichtwellenleiters LWL notwendig. Bevorzugt ist das Sensorelement SE daher mittels eines selbstjustierenden Prozesses am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL gefertigt. Der Lichtwellenleiter LWL transportiert die so erfasste Fluoreszenzstrahlung FL von dem zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL zu dem ersten Ende des Lichtwellenleiters LWL. Ein beispielhafter dichroitischer Spiegel F1 als zweites beispielhaftes optisches Funktionselement des zweiten optischen Systems trennt die Fluoreszenzstrahlung FL von der Pumpstrahlung LB indem der dichroitische Spiegel F1 die Fluoreszenzstrahlung FL im Wesentlichen aus dem Strahlengang heraus auf einen Fotodetektor PD spiegelt und die Pumpstrahlung LB im Wesentlichen nicht aus dem Strahlengang herauspiegelt.

[0931] Bevorzugt umfasst das zweite optische System somit ein optisches Funktionselement (F1), das die Fluoreszenzstrahlung FL in Richtung des Fotodetektors PD passieren lässt oder umlenkt und das die Pumpstrahlung LB in Richtung des Fotodetektors PD nicht passieren lässt und nicht umlenkt.

[0932] Aus dem Stand der Technik ist bekannt, die Amplitude des Mikrowellensignals μW mit einem Mikrowellenmodulationssignal oder alternativ die Amplitude der Pumpstrahlung LB mit einem LED-Modulationssignal zu modulieren.

[0933] Der hier vorgelegte Vorschlag sieht vor, mindestens zwei, besser drei oder mehr der folgenden Parameter mittels eines jeweiligen Modulationssignals zu modulieren bzw. einzustellen:

1. die Intensität der Pumpstrahlung LB (Amplitudenmodulation) z.B. mittels eines LED-Modulationssignals S5w,
2. die Intensität des Mikrowellensignals μW (Amplitudenmodulation) z.B. mittels eines Mikrowellenmodulationssignals S5m,
3. die Frequenz des Mikrowellensignals μW (Frequenzmodulation) z.B. mittels eines Mikrowellenfrequenzsteuersignals,
4. die Amplitude einer zusätzlichen, durch ein Magnetfelderzeugungsmittels Lc. erzeugten magnetischen Flussdichte B_{ad} z.B. mittels eines Kompensationsfeldsteuersignals.

[0934] Jeder dieser Modulationen ist eine von 4 Modulationsgrundfrequenzen zugeordnet.

Zu 1. der Modulation der Intensität der Pumpstrahlung LB (Amplitudenmodulation)

[0935] Vorzugsweise steuert eine Steuervorrichtung CTR der Vorrichtung mittels eines LED-Modulationssignals S5w die Intensität der Pumpstrahlung LB, die die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED, emittiert. Bevorzugt ist das LED-Modulationssignal S5w mit einem LED-Modulationsspektrum moduliert. Hierdurch sind dann auch der zeitliche Intensitätsverlauf der Pumpstrahlung LB und der zeitliche Intensitätsverlauf der Fluoreszenzstrahlung FL sowie die Amplitude des Empfänger Ausgangssignals S0 des Fotodetektors PD mit einem jeweils mehr oder weniger verzerrten LED-Modulationsspektrum moduliert. Bevorzugt ist das LED-Modulationssignal S5w monofrequent mit einer LED -Modulationsfrequenz f_{LED} amplitudenmoduliert. Hierdurch sind dann auch der zeitliche Intensitätsverlauf der Pumpstrahlung LB und der zeitliche Intensitätsverlauf der Fluoreszenzstrahlung FL sowie die Amplitude des Empfänger Ausgangssignals S0 des Fotodetektors PD im Wesentlichen mit der LED -Modulationsfrequenz f_{LED} amplitudenmoduliert.

[0936] Eine Modulation kann sein, dass das LED-Modulationssignal S5w die Pumpstrahlungsquelle PWM-moduliert. Dabei kann es sinnvoll sein, dass das LED-Modulationssignal S5w die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED, in einer PWM-Periode zeitweise ganz ausschaltet und für den Rest der betreffenden PWM-Periode einschaltet. Alternativ kann es sinnvoll sein, dass das LED-Modulationssignal S5w die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED, in einer PWM-Periode zeitweise in ihrer Emissionsintensität reduziert und für den Rest der betreffenden PWM-Periode in ihrer Emissionsintensität erhöht. Im Falle der Verwendung eines Spreiz-Codes kann es sinnvoll sein, wenn das LED-Modulationssignal S5w die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED, bei Vorliegen eines logischen 0-Spreiz-Code-Bits ganz ausschaltet und die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED, bei Vorliegen eines logischen 1-Spreiz-Code-Bits ganz einschaltet. Im Falle der Verwendung eines Spreiz-Codes kann es ggf. auch sinnvoll sein, wenn das LED-Modulationssignal S5w die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED, bei Vorliegen eines logischen 0-Spreiz-Code-Bits in ihrer Emissionsintensität reduziert und die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED, bei Vorliegen eines logischen 1-Spreiz-Code-Bits in ihrer Emissionsintensität erhöht.

Zu 2. der Modulation der Intensität des Mikrowellensignal μW (Amplitudenmodulation)

[0937] Vorzugsweise steuert die Steuervorrichtung CTR der Vorrichtung mittels eines Mikrowellenmodulationssignals S5m die Amplitude des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG erzeugt. Bevorzugt ist das Mikrowellenmodulationssignals S5m mit einem Mikrowellenmodulationsspektrum moduliert. Hierdurch sind dann auch der zeitliche Intensitätsverlauf der Fluoreszenzstrahlung FL sowie die Amplitude des Empfänger Ausgangssignals S0 des Fotodetektors PD mit einem jeweils mehr oder weniger verzerrten Mikrowellenmodulationsspektrum zusätzlich überlagernd zum LED-Modulationsspektrum moduliert. Bevorzugt ist das Mikrowellenmodulationssignal S5m monofrequent mit einer Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ amplitudenmoduliert. Hierdurch sind dann typischerweise auch der zeitliche Intensitätsverlauf der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL sowie die Amplitude des Empfänger Ausgangssignals S0 des Fotodetektors PD im Wesentlichen mit der Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ amplitudenmoduliert.

[0938] Eine Modulation kann sein, dass das Mikrowellenmodulationssignal S5m die Amplitude des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG erzeugt, PWM-moduliert. Dabei kann es sinnvoll sein, dass das das Mikrowellenmodulationssignal S5m die Amplitude des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG erzeugt, in einer PWM-Periode zeitweise ganz auf null ausschaltet und für den Rest der betreffenden PWM-Periode diese Amplitude auf einen von null verschiedenen Betrag einschaltet. Alternativ kann es sinnvoll sein, dass das Mikrowellenmodulationssignal S5m die Amplitude des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG erzeugt, in einer PWM-Periode zeitweise in ihrer Amplitude reduziert und für den Rest der betreffenden PWM-Periode in ihrer Amplitude erhöht. Im Falle der Verwendung eines Spreiz-Codes kann es sinnvoll sein, wenn das Mikrowellenmodulationssignal S5m die Amplitude des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG erzeugt, bei Vorliegen eines logischen 0-Spreiz-Code-Bits ganz auf null ausschaltet und die Amplitude des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG erzeugt, bei Vorliegen eines logischen 1-Spreiz-Code-Bits ganz auf eine von null verschiedene Amplitude einschaltet. Im Falle der Verwendung eines Spreiz-Codes kann es ggf. auch sinnvoll sein, wenn das Mikrowellenmodulationssignal S5m die Amplitude des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG erzeugt, bei Vorliegen eines logischen 0-Spreiz-Code-Bits in ihrer Amplitude reduziert und die Amplitude des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG erzeugt, bei Vorliegen eines logischen 1-Spreiz-Code-Bits in ihrer Amplitude erhöht.

Zu 3. der Modulation der Frequenz des Mikrowellensignals μW (Frequenzmodulation)

[0939] Vorzugsweise steuert die Steuervorrichtung CTR der Vorrichtung beispielsweise über einen Datenbus DB mittels eines Mikrowellenfrequenzsteuersignals die Frequenz des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellenquelle μWG erzeugt. Bevorzugt führt die Frequenzmodulation durch das Mikrowellenfrequenzsteuersignal über den Datenbus DB zu einem weiteren Mikrowellenmodulationsspektrum mit dem das Mikrowellensignals μW dann moduliert ist. Hierdurch sind dann auch der zeitliche Intensitätsverlauf der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL sowie die Amplitude des Empfänger Ausgangssignals S_0 des Fotodetektors PD mit einem jeweils mehr oder weniger verzerrten weiteren Mikrowellenfrequenzmodulationsspektrum zusätzlich überlagernd zum LED-Modulationsspektrum und zum Mikrowellenmodulationsspektrum moduliert. Beispielsweise kann die Mikrowellenfrequenz des Mikrowellensignals μW monofrequent mit einer Mikrowellenfrequenzmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ frequenzmoduliert sein. Da die unterschiedlichen Mikrowellenfrequenzen des Mikrowellensignals μW unterschiedliche Intensitäten $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL zur Folge haben, sind hierdurch dann auch der zeitliche Intensitätsverlauf der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL sowie die Amplitude des Empfänger Ausgangssignals S_0 des Fotodetektors PD dann im Wesentlichen auch mit der Mikrowellenfrequenzmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ moduliert.

Zu 4. der Modulation der Amplitude einer zusätzlichen, durch ein Magnetfelderzeugungsmittels L_c erzeugten magnetischen Flussdichte B_{ad}

[0940] Vorzugsweise steuert die Steuervorrichtung CTR der Vorrichtung beispielsweise über einen Datenbus DB mittels eines Kompensationsfeldsteuersignals die Amplitude einer zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} , das ein Magnetfelderzeugungsmittel L_c erzeugt. Die zusätzliche magnetische Flussdichte B_{ad} trägt zur magnetischen Gesamtflussdichte B_{Σ} bei. Die magnetische Gesamtflussdichte B_{Σ} durchflutet das Sensorelement SE und beeinflusst daher die Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL. Vorzugsweise steuert zu diesem Zweck der Steuerung des ein Magnetfelderzeugungsmittels L_c die Steuervorrichtung CTR über den Datenbus DB einen Magnetfeldregler LCTR. Der Magnetfeldregler LCTR steuert typischerweise eine Treiberstufe DRVL zur Versorgung des Magnetfelderzeugungsmittels L_c mit elektrischer Energie und/oder zur Steuerung des Magnetfelderzeugungsmittels L_c . Somit moduliert die Steuervorrichtung CTR über den Magnetfeldregler LCTR und die Treiberstufe DRLV mittels des beispielsweise über den Datenbus DB versendeten Kompensationsfeldsteuersignals die Amplitude der zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} , die das Magnetfelderzeugungsmittel L_c in Abhängigkeit vom Kompensationsfeldsteuersignal erzeugt.

[0941] Beispielsweise kann das Kompensationsfeldsteuersignal mit einem Magnetfeldmodulationsspektrum moduliert sein. Hierdurch kann die zusätzliche magnetische Flussdichte B_{ad} , die das Magnetfelderzeugungsmittel L_c in Abhängigkeit vom Kompensationsfeldsteuersignal erzeugt, mit dem Magnetfeldmodulationsspektrum amplitudenmoduliert sein. Die zusätzliche magnetische Flussdichte B_{ad} überlagert sich mit anderen magnetischen Flussdichten anderer Quellen zur magnetischen Gesamtflussdichte B_{Σ} . Dadurch ist die magnetische Gesamtflussdichte B_{Σ} , die das Sensorelement SE durchflutet, typischerweise im Wesentlichen ebenfalls mit dem Magnetfeldmodulationsspektrum moduliert.

[0942] Die Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL hängt u.a. von der Amplitude der magnetischen Gesamtflussdichte B_{Σ} ab. Hierdurch können dann somit auch der zeitliche Intensitätsverlauf der Fluoreszenzstrahlung FL sowie in letzter Konsequenz auch die Amplitude des Empfänger Ausgangssignals S_0 des Fotodetektors PD im Wesentlichen mit einem jeweils mehr oder weniger verzerrten Magnetfeldmodulationsspektrum zusätzlich überlagernd zum LED-Modulationsspektrum und zum Mikrowellenmodulationsspektrum und zum Mikrowellenfrequenzmodulationsspektrum moduliert sein.

[0943] Bevorzugt ist das Kompensationsfeldsteuersignal, wenn es periodisch angelegt ist, monofrequent mit einer Magnetfeldmodulationsfrequenz f_{mg} moduliert. Da die unterschiedlichen magnetischen Gesamtflussdichten B_{Σ} unterschiedliche Intensitäten der Fluoreszenzstrahlung FL zur Folge haben, sind hierdurch dann auch der zeitliche Intensitätsverlauf der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL sowie die Amplitude des Empfänger Ausgangssignals S_0 des Fotodetektors PD mit der Magnetfeldmodulationsfrequenz f_{mg} moduliert.

[0944] Es ergeben sich in dieser Konfiguration somit $2^4=16$ Mischfrequenzen mit denen das Empfänger Ausgangssignal S_0 des Fotodetektors PD moduliert sein kann.

[0945] Vorzugsweise sind die Magnetfeldmodulationsfrequenz f_{mg} , die Mikrowellenfrequenzmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$, die Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ und die LED -Modulationsfrequenz f_{LED} so gewählt, dass vorzugsweise alle Mischfrequenzen sich unterscheiden.

[0946] Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass eine zweite Modulationsgrundfrequenz den doppelten Frequenzwert einer ersten Modulationsgrundfrequenz aufweist und eine dritte Modulationsgrundfrequenz den vierfachen Frequenzwert der ersten Modulationsgrundfrequenz aufweist und eine vierte Modulationsgrundfrequenz den achtfachen Frequenzwert der ersten Modulationsgrundfrequenz aufweist.

[0947] Beispielsweise ist es, um hier ein willkürliches Beispiel zu nennen, denkbar, dass die die Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ den achtfachen Frequenzwert der Magnetfeldmodulationsfrequenz f_{mg} aufweist und dass die die LED -Modulationsfrequenz f_{LED} den vierfachen Frequenzwert der Magnetfeldmodulationsfrequenz f_{mg} aufweist und dass die die Mikrowellenfrequenzmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ den doppelten Frequenzwert der Magnetfeldmodulationsfrequenz f_{mg} aufweist.

Fall mit einer Modulationsgrundfrequenz (Mikrowellenmodulationsfrequenz)

[0948] Es ist aus dem Stand der Technik bekannt, die Vorrichtung mit nur einer von 0Hz verschiedenen Modulationsgrundfrequenz zu betreiben und die anderen Werte der anderen Modulationsgrundfrequenzen für die Dauer einer Messung auf quasi statische Werte zu setzen. Im Folgenden stellt das hier vorgelegte Dokument ein Beispiel vor.

[0949] Sofern die Steuervorrichtung CTR der Vorrichtung beispielsweise

1. über den Datenbus DB mittels Steuerung des ersten Signalgenerators G1 eine Modulation der Intensität der Pumpstrahlung LB (Amplitudenmodulation) quasistatisch, also mit einer mit einer LED-Modulationsfrequenz $f_{LED}=0Hz$, einstellt und
2. gleichzeitig über den Datenbus DB mittels Steuerung des zweiten Signalgenerators G2 eine Modulation der Intensität des Mikrowellensignals μW (Amplitudenmodulation) mit einer Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ vornimmt und
3. die Mikrowellenfrequenz des Mikrowellensignals μW den Datenbus DB in der Mikrowellensignalquelle μWG quasistatisch, also mit einer Mikrowellenfrequenzmodulationsfrequenz $f_{\mu W}=0Hz$, einstellt und
4. den Wert des Kompensationsfeldsteuersignals auf einen quasistatischen Wert, d.h. auf eine Magnetfeldmodulationsfrequenz $f_{mg}=0Hz$, und damit auf eine quasistatische, durch die Steuervorrichtung CTR eingestellte Amplitude einer zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} , einstellt, die das Magnetfelderzeugungsmittel L_c erzeugt,

[0950] Es ergibt sich somit genau eine Mischfrequenz mit denen das Empfängerausgangssignal S_0 des Fotodetektors PD moduliert sein kann.

[0951] Ein erster Signalgenerator G1 erzeugt in diesem Beispiel das quasi statische LED-Modulationssignal S_5w , mit einer der LED -Modulationsfrequenz $f_{LED}=0Hz$ typischerweise entsprechend einem Vorgabewert, den die Steuervorrichtung CTR über den Datenbus DB in dem ersten Signalgenerator G1 eingestellt hat. Die Steuervorrichtung CTR steuert den ersten Signalgenerator G1 bevorzugt über den beispielhaften Datenbus DB.

[0952] Ein Lichtquellentreiber LDRV für die Lichtquelle LED erzeugt typischerweise aus dem LED-Modulationssignal S_5w das quasistatische Sendesignal S_5 , mit dem der Lichtquellentreiber LDRV die Lichtquelle LED bevorzugt auch mit elektrischer Energie versorgt. Bevorzugt handelt es sich bei der Lichtquelle LED um eine Halbleiterlichtquelle wie beispielsweise einen Laser oder eine LED. Ganz besonders bevorzugt umfasst die Lichtquelle LED eine Silizium-LED und/oder eine Silizium-Lawinen-LED wodurch dieser Vorrichtungsteil ggf. auch CMOS integrierbar wird.

[0953] Die Lichtquelle LED emittiert dann in Abhängigkeit von dem Sendesignal S_5 die Pumpstrahlung LB. mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} .

[0954] Das Empfängerausgangssignal S_0 und das verstärkte Empfängerausgangssignal S_1 sind dann wegen LED - Modulationsfrequenz $f_{LED}=0Hz$ nicht mit einem LED-Modulationsspektrum moduliert.

[0955] In diesem Beispiel der **Fig. 69** erzeugt ein zweiter Signalgenerator G2 das Mikrowellenmodulationssignal S_5m insbesondere mit einer Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ typischerweise entsprechend einem Vorgabewert, den die Steuervorrichtung CTR über den Datenbus DB in dem zweiten Signalgenerator G2 eingestellt hat. Typischerweise moduliert der zweite Signalgenerator G2 das Mikrowellenmodulationssignal S_5m

mit dem besagten Mikrowellenmodulationsspektrum und/oder mit der besagten Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$. Ganz besonders bevorzugt handelt es sich bei der Mikrowellenmodulation des Mikrowellenmodulationssignals $S5m$ um eine PWM-Modulation mit einer PWM-Frequenz oder einen Bit-Strom eines Spreiz-Code-Signals mit einer Spreiz-Code-Periodendauer und einer Spreiz-Code-Bitfrequenz. Die Steuervorrichtung CTR steuert den zweiten Signalgenerator G2 bevorzugt über den beispielhaften Datenbus DB.

[0956] Die Mikrowellenquelle μWG erzeugt dann das mit dem Mikrowellenmodulationssignal modulierte Mikrowellenmodulationssignal μW . Die Steuervorrichtung CTR steuert die Mikrowellenquelle μWG bevorzugt über den beispielhaften Datenbus DB.

[0957] Da das Mikrowellenmodulationssignal $S5m$ mit einem Mikrowellenmodulationsspektrum moduliert ist, ist dann auch das Mikrowellenmodulationssignal μW mit dem Mikrowellenmodulationsspektrum amplitudenmoduliert. Daher ist dann typischerweise auch der zeitliche Intensitätsverlauf der Fluoreszenzstrahlung FL mit dem Mikrowellenmodulationsspektrum moduliert. Daher sind dann auch das Empfängermodulationssignal $S0$ und das verstärkte Empfängermodulationssignal $S1$ mit dem Mikrowellenmodulationsspektrum moduliert.

[0958] Typischerweise verstärkt ein optionaler erster Verstärker V1 das Empfängermodulationssignal $S0$ des Fotodetektors PD zu einem verstärkten Empfängermodulationssignal $S1$. Bevorzugt weist die Übertragungsfunktion des ersten Verstärkers V1 für die Verstärkung des Empfängermodulationssignals $S0$ zum verstärkten Empfängermodulationssignal $S1$ eine Filtereigenschaft auf, die typischerweise so gewählt ist, dass der erste Verstärker V1 im Wesentlichen nur modulierte Signalanteile des Empfängermodulationssignals $S0$ mit einer Frequenz $f \neq 0 \text{ Hz}$ zum verstärkten Empfängermodulationssignal $S1$ verstärkt und im Wesentlichen nur Signalanteile des Empfängermodulationssignals $S0$ mit einer Frequenz $f < f_{\max}$ zum verstärkten Empfängermodulationssignal $S1$ verstärkt. Dabei ist bevorzugt f_{\max} eine Maximalfrequenz deren Frequenzbetragswert vorzugsweise größer als der Frequenzbetragswert derjenigen Mischfrequenz mit dem größten Frequenzbetragswert ist.

[0959] Bevorzugt umfassen der erste Verstärker V1 oder die Vorrichtung eine Analog-zu-Digital-Wandlung ADC, sodass das verstärkte Empfängermodulationssignal $S1$ ein digitalisiertes Empfängermodulationssignal $S1$ sein kann.

[0960] Die Steuervorrichtung CTR kann den Mehrfachkorrelator LIV der **Fig. 69** in verschiedenen Ausprägungen der Vorrichtung emulieren.

[0961] Der Mehrfachkorrelator LIV der **Fig. 69** korreliert das verstärkte Empfängermodulationssignal $S1$ bzw. das digitalisierte Empfängermodulationssignal $S1$ typischerweise in dieser Betriebsart mit dem Mikrowellenmodulationssignal μW .

[0962] Sofern der Mehrfachkorrelator LIV das verstärkte Empfängermodulationssignal $S1$ bzw. das digitalisierte Empfängermodulationssignal $S1$ mit einem Signal $s1(t)$ korreliert, so berechnet der Mehrfachkorrelator LIV im Wesentlichen das folgende Korrelationsintegral:

$$S4(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot s1(t) dt$$

[0963] Hierbei bezieht sich der Winkel 2π auf die Periode des periodischen Signals $s1(t)$.

[0964] In dem Beispiel der **Fig. 69** korreliert der Mehrfachkorrelator LIV das verstärkte Empfängermodulationssignal $S1$ bzw. das digitalisierte Empfängermodulationssignal $S1$ vorzugsweise mit dem Mikrowellenmodulationssignal $S5m(t)$. So berechnet der Mehrfachkorrelator LIV im Wesentlichen das folgende Korrelationsintegral als L2-Produkt des Empfängermodulationssignals $S1(t)$ bzw. des digitalisierten Empfängermodulationssignals $S1(t)$ und des Mikrowellenmodulationssignals $S5m(t)$:

$$S4_a(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5m(t) dt$$

$$S4_b(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5mq(t) dt$$

[0965] Hierbei bezieht sich der Winkel 2π auf die Periode des periodischen Signals $S5m(t)$. Das Signal $SSmq$ ist typischerweise das invertierte Signal des Mikrowellenmodulationssignal $S5m$.

[0966] Bevorzugt ist das Mikrowellenmodulationssignal $S5m(t)$ ein digitales Signal, dass den logischen 1-Pegel und den Logischen 0-Pegel annehmen kann.

[0967] Im Extremfall des Mikrowellenmodulationssignals $S5m(t)$ soll bei einem logischen 1-Pegel des Mikrowellenmodulationssignals $S5m(t)$ soll gemäß willkürlicher Definition der hier vorgelegten Schrift die Mikrowellensignalquelle μWG ein Mikrowellensignal μW mit der über den Datenbus DB voreingestellten Amplitude und der voreingestellten Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ einschalten und erzeugen und bei einem logischen 0-Pegel des Mikrowellenmodulationssignals $S5m(t)$ die die Mikrowellensignalquelle μWG ein Mikrowellensignal mit der Amplitude 0 erzeugen und somit das Mikrowellensignal μW abschalten.

[0968] Bei einem logischen 1-Pegel des Mikrowellenmodulationssignals $S5m(t)$ soll nach willkürlicher Definition der hier vorgelegten Schrift die Mikrowellensignalquelle μWG ein Mikrowellensignal μW mit der über den Datenbus DB voreingestellten erhöhten Amplitude und der voreingestellten Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ einschalten und erzeugen und bei einem logischen 0-Pegel Mikrowellenmodulationssignals $S5m(t)$ die Mikrowellensignalquelle μWG ein Mikrowellensignal mit der über den Datenbus DB voreingestellten niedrigeren Amplitude und der voreingestellten Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ erzeugen (ausschalten).

[0969] In dem Fall, dass das Mikrowellenmodulationssignal $S5m(t)$ ein solches digitales Signal ist, kann ein invertiertes Mikrowellenmodulationssignals $S5mq(t)$ als invertiertes Signal des Mikrowellenmodulationssignals $S5m(t)$ definiert werden.

[0970] Das Filterausgangssignal $S4(t)$ gibt dann typischerweise den Anteil im verstärkten Empfänger Ausgangssignal $S1$ bzw. im digitalisierten Empfänger Ausgangssignal $S1$ an, der auf die Mikrowelleneinstrahlung des Mikrowellensignals μW in das Sensorelement SE zurückzuführen ist.

Fall mit einer Modulationsgrundfrequenz (LED-Modulationsfrequenz)

[0971] Es ist aus dem Stand der Technik bekannt, die Vorrichtung mit nur einer von 0Hz verschiedenen Modulationsgrundfrequenz zu betreiben und die anderen Werte der anderen Modulationsgrundfrequenzen für die Dauer einer Messung auf quasi statische Werte zu setzen. Im Folgenden stellt das hier vorgelegte Dokument ein Beispiel vor.

[0972] Sofern die Steuervorrichtung CTR der Vorrichtung beispielsweise

1. über den Datenbus DB mittels Steuerung des ersten Signalgenerators G1 eine Modulation der Intensität der Pumpstrahlung LB (Amplitudenmodulation), also mit einer mit einer LED-Modulationsfrequenz f_{LED} vornimmt und
2. gleichzeitig über den Datenbus DB mittels Steuerung des zweiten Signalgenerators G2 eine Modulation der Intensität des Mikrowellensignals μW (Amplitudenmodulation) quasistatisch, also mit einer Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}=0$ Hz vornimmt und
3. die Mikrowellenfrequenz des Mikrowellensignals μW den Datenbus DB in der Mikrowellensignalquelle μWG quasistatisch, also mit einer Mikrowellenfrequenzmodulationsfrequenz $f_{f_{\mu W}}=0$ Hz, einstellt und
4. den Wert des Kompensationsfeldsteuersignals auf einen quasistatischen Wert, d.h. auf eine Magnetfeldmodulationsfrequenz $f_{mg}=0$ Hz, und damit auf eine quasistatische, durch die Steuervorrichtung CTR eingestellte Amplitude einer zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} , einstellt, die das Magnetfelderzeugungsmittel L_c erzeugt,

[0973] Es ergibt sich somit genau eine Mischfrequenz mit denen das Empfänger Ausgangssignal $S0$ des Fotodetektors PD moduliert sein kann.

[0974] Ein erster Signalgenerator G1 erzeugt in diesem Beispiel das quasi statische LED-Modulationssignal $S5w$, mit einer der LED -Modulationsfrequenz f_{LED} typischerweise entsprechend einem Vorgabewert, den die Steuervorrichtung CTR über den Datenbus DB in dem ersten Signalgenerator G1 eingestellt hat. Die Steuervorrichtung CTR steuert den ersten Signalgenerator G1 bevorzugt über den beispielhaften Datenbus DB. Typischerweise moduliert der erst Signalgenerator G1 das LEED-Modulationssignal $S5w$ mit dem besagten LED-Modulationsspektrum und/oder mit der besagten LED-Modulationsfrequenz f_{LED} . Ganz besonders

bevorzugt handelt es sich bei der LED-Modulation des LED-Modulationssignals S5w um eine PWM-Modulation mit einer PWM-Frequenz oder einen Bit-Strom eines Spreiz-Code-Signals mit einer Spreiz-Code-Periodendauer und einer Spreiz-Code-Bitfrequenz. Die Steuervorrichtung CTR steuert den ersten Signalgenerator G1 bevorzugt über den beispielhaften Datenbus DB.

[0975] Ein Lichtquellentreiber LDRV für die Lichtquelle LED erzeugt typischerweise aus dem LED-Modulationssignal S5w das Sendesignal S5, mit dem der Lichtquellentreiber LDRV die Lichtquelle LED bevorzugt auch mit elektrischer Energie versorgt. Bevorzugt handelt es sich bei der Lichtquelle LED um eine Halbleiterlichtquelle wie beispielsweise einen Laser oder eine LED. Ganz besonders bevorzugt umfasst die Lichtquelle LED eine Silizium-LED und/oder eine Silizium-Lawinen-LED wodurch dieser Vorrichtungsteil ggf. auch CMOS integrierbar wird.

[0976] Die Lichtquelle LED emittiert dann in Abhängigkeit von dem Sendesignal S5 die Pumpstrahlung LB. mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} .

[0977] Das Empfänger Ausgangssignal S0 und das verstärkte Empfänger Ausgangssignal S1 sind dann mit einem LED-Modulationsspektrum moduliert.

[0978] Da das LED-Modulationssignal S5w mit einem LED-Modulationsspektrum moduliert ist, ist dann auch das Sendesignal S5 mit dem LED-Modulationsspektrum amplitudenmoduliert. Daher ist dann typischerweise auch der zeitliche Intensitätsverlauf $I_{\text{ist}}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL mit dem LED-Modulationsspektrum moduliert. Daher sind dann auch das Empfänger Ausgangssignal S0 und das verstärkte Empfänger Ausgangssignal S1 mit dem LED-Modulationsspektrum moduliert.

[0979] In diesem Beispiel der **Fig. 69** erzeugt ein zweiter Signalgenerator G2 das Mikrowellenmodulationssignal S5m insbesondere mit einer Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu\text{W}}=0\text{Hz}$ typischerweise entsprechend einem Vorgabewert, den die Steuervorrichtung CTR über den Datenbus DB in dem zweiten Signalgenerator G2 eingestellt hat. Typischerweise moduliert der zweite Signalgenerator G2 das Mikrowellenmodulationssignal S5m mit dem besagten Mikrowellenmodulationsspektrum und/oder mit der besagten Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu\text{W}}=0\text{Hz}$. Die Steuervorrichtung CTR steuert den zweiten Signalgenerator G2 bevorzugt über den beispielhaften Datenbus DB.

[0980] Die Mikrowellensignalquelle μWG erzeugt dann das unmodulierte Mikrowellensignal μW . Die Steuervorrichtung CTR steuert die Mikrowellensignalquelle μWG bevorzugt über den beispielhaften Datenbus DB.

[0981] Typischerweise verstärkt ein optionaler erster Verstärker V1 das Empfänger Ausgangssignal S0 des Fotodetektors PD zu einem verstärkten Empfänger Ausgangssignal S1. Bevorzugt weist die Übertragungsfunktion des ersten Verstärkers V1 für die Verstärkung des Empfänger Ausgangssignals S0 zum verstärkten Empfänger Ausgangssignal S1 eine Filtereigenschaft auf, die typischerweise so gewählt ist, dass der erste Verstärker V1 im Wesentlichen nur modulierte Signalanteile des Empfänger Ausgangssignals S0 mit einer Frequenz $f \neq 0\text{Hz}$ zum verstärkten Empfänger Ausgangssignal S1 verstärkt und im Wesentlichen nur Signalanteile des Empfänger Ausgangssignals S0 mit einer Frequenz $f < f_{\text{max}}$ zum verstärkten Empfänger Ausgangssignal S1 verstärkt. Dabei ist bevorzugt f_{max} eine Maximalfrequenz deren Frequenzbetragswert vorzugsweise größer als der Frequenzbetragswert derjenigen Mischfrequenz mit dem größten Frequenzbetragswert ist.

[0982] Bevorzugt umfassen der erste Verstärker V1 oder die Vorrichtung eine Analog-zu-Digital-Wandlung ADC, sodass das verstärkte Empfänger Ausgangssignal S1 ein digitalisiertes Empfänger Ausgangssignal S1 sein kann.

[0983] Die Steuervorrichtung CTR kann den Mehrfachkorrelator LIV der **Fig. 69** in verschiedenen Ausprägungen der Vorrichtung emulieren.

[0984] Der Mehrfachkorrelator LIV der **Fig. 69** korreliert das verstärkte Empfänger Ausgangssignal S1 bzw. das digitalisierte Empfänger Ausgangssignal S1 typischerweise in dieser Betriebsart mit dem LED-Modulationssignal S5w.

[0985] Sofern der Mehrfachkorrelator LIV das verstärkte Empfänger Ausgangssignal S1 bzw. das digitalisierte Empfänger Ausgangssignal S1 mit einem Signal $s_1(t)$ korreliert, so berechnet der Mehrfachkorrelator LIV im Wesentlichen das folgende Korrelationsintegral:

$$S4(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot s1(t) dt$$

[0986] Hierbei bezieht sich der Winkel 2π auf die Periode des periodischen Signals $s1(t)$. In dem Beispiel der **Fig. 69** korreliert der Mehrfachkorrelator LIV das verstärkte Empfängerausgangssignal $S1$ bzw. das digitalisierte Empfängerausgangssignal $S1$ vorzugsweise mit dem LED-Modulationssignal $S5w(t)$. So berechnet der Mehrfachkorrelator LIV im Wesentlichen das folgende Korrelationsintegral als L2-Produkt des Empfängerausgangssignals $S1(t)$ bzw. des digitalisierten Empfängerausgangssignals $S1(t)$ und des LED-Modulationssignals $S5w(t)$:

$$S4_a(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5w(t) dt$$

$$S4_b(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5wq(t) dt$$

[0987] Hierbei bezieht sich der Winkel 2π auf die Periode des periodischen Signals $S5m(t)$. Das Signal $S5wq$ ist typischerweise das invertierte Signal des LED-Modulationssignal $S5w$.

[0988] Bevorzugt ist das LED-Modulationssignal $S5w(t)$ ein digitales Signal, dass den logischen 1-Pegel und den Logischen 0-Pegel annehmen kann.

[0989] Im Extremfall des LED-Modulationssignals $S5w(t)$ soll bei einem logischen 1-Pegel des LED-Modulationssignals $S5w(t)$ gemäß willkürlicher Definition der hier vorgelegten Schrift die Lichtquelle LED ein die Pumpstrahlung LB mit der über den Datenbus DB voreingestellten Amplitude einschalten und erzeugen und bei einem logischen 0-Pegel des LED-Modulationssignals $S5w(t)$ soll die Lichtquelle LED die Pumpstrahlung LB mit der Amplitude 0 erzeugen und somit die Pumpstrahlung LB abschalten.

[0990] Bei einem logischen 1-Pegel des LED-Modulationssignals $S5w(t)$ soll nach willkürlicher Definition der hier vorgelegten Schrift die Lichtquelle LED die Pumpstrahlung LB mit der über den Datenbus DB voreingestellten erhöhten Amplitude einschalten und erzeugen und bei einem logischen 0-Pegel des LED-Modulationssignals $S5w(t)$ die Lichtquelle LED ein Pumpstrahlung LB mit der über den Datenbus DB voreingestellten niedrigeren Amplitude erzeugen (ausschalten).

[0991] In dem Fall, dass das LED-Modulationssignal $S5w(t)$ ein solches digitales Signal ist, kann ein invertiertes LED-Modulationssignals $S5wq(t)$ als invertiertes Signal des LED-Modulationssignals $S5w(t)$ definiert werden.

[0992] Das Filterausgangssignal $S4(t)$ gibt dann typischerweise den Anteil im verstärkten Empfängerausgangssignal $S1$ bzw. im digitalisierten Empfängerausgangssignal $S1$ an, der auf die Einstrahlung der Pumpstrahlung LB in das Sensorelement SE zurückzuführen ist.

Fall mit zwei Modulationsgrundfrequenzen

[0993] Es ist denkbar und neu gegenüber dem Stand der Technik, die Vorrichtung mit zwei statt nur einer von 0Hz verschiedenen Modulationsgrundfrequenzen zu betreiben und die anderen Werte für die Dauer einer Messung auf quasi statische Werte zu setzen. Im Folgenden stellt das hier vorgelegte Dokument ein bevorzugtes Beispiel vor, ohne die Offenbarung darauf zu beschränken.

[0994] Sofern die Steuervorrichtung CTR der Vorrichtung beispielsweise

1. über den Datenbus DB mittels Steuerung des ersten Signalgenerators G1 eine Modulation der Intensität der Pumpstrahlung LB (Amplitudenmodulation) mit einer LED-Modulationsfrequenz f_{LED} einstellt und
2. gleichzeitig über den Datenbus DB mittels Steuerung des zweiten Signalgenerators G2 eine Modulation der Intensität des Mikrowellensignals μW (Amplitudenmodulation) mit einer Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ vornimmt und
3. die Mikrowellenfrequenz des Mikrowellensignals μW den Datenbus DB in der Mikrowellensignalquelle μWG quasistatisch, also mit einer Mikrowellenfrequenzmodulationsfrequenz $f_{f_{\mu W}}=0Hz$, einstellt und

4. den Wert des Kompensationsfeldsteuersignals auf einen quasistatischen Wert, d.h. auf eine Magnetfeldmodulationsfrequenz $f_{mg}=0\text{Hz}$, und damit auf eine quasistatische, durch die Steuervorrichtung CTR eingestellte Amplitude einer zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} , einstellt, die das Magnetfelderzeugungsmittel L_c erzeugt,

[0995] Es ergeben sich somit nun $2^2=4$ Mischfrequenzen mit denen das Empfängerausgangssignal S_0 des Fotodetektors PD moduliert sein kann.

[0996] Vorzugsweise ist in dieser Konfiguration die Magnetfeldmodulationsfrequenz f_{mg} so eingestellt, dass für die Magnetfeldmodulationsfrequenz $f_{mg}=0\text{Hz}$ gilt.

[0997] Vorzugsweise ist in dieser Konfiguration die Mikrowellenfrequenzmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ so eingestellt, dass für die Mikrowellenfrequenzmodulationsfrequenz $f_{\mu W}=0\text{Hz}$ gilt.

[0998] Vorzugsweise sind die Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ und die LED -Modulationsfrequenz f_{LED} nun so gewählt, dass vorzugsweise diese vier Mischfrequenzen sich unterscheiden.

[0999] Dies kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass eine zweite Modulationsgrundfrequenz den doppelten Frequenzwert einer ersten Modulationsgrundfrequenz diese beiden Modulationsgrundfrequenzen $\omega_{\mu W}$ und ω_{LED} aufweist.

[1000] Beispielsweise ist es, um hier ein willkürliches Beispiel zu nennen, denkbar, dass die die Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ den doppelten Frequenzwert der LED -Modulationsfrequenz f_{LED} aufweist.

[1001] Der erste Signalgenerator G1 erzeugt in diesem Beispiel dieser Konfiguration das LED-Modulationssignal $S5W$, mit einer der LED -Modulationsfrequenz f_{LED} typischerweise entsprechend einem von null verschiedenen Vorgabewert, den die Steuervorrichtung CTR über den Datenbus DB in dem ersten Signalgenerator G1 eingestellt hat. Typischerweise moduliert der erste Signalgenerator G1 das LED-Modulationssignal $S5W$ mit dem besagten LED-Modulationsspektrum und/oder mit der besagten LED-Modulationsfrequenz f_{LED} . Ganz besonders bevorzugt handelt es sich bei der LED-Modulation des LED-Modulationssignal $S5W$ um eine PWM-Modulation mit einer PWM-Frequenz oder einen Bit-Strom eines Spreiz-Code-Signals mit einer Spreiz-Code-Periodendauer und einer Spreiz-Code-Bitfrequenz. Die Steuervorrichtung CTR steuert den ersten Signalgenerator G1 bevorzugt über den beispielhaften Datenbus DB.

[1002] Ein Lichtquellentreiber LDRV für die Lichtquelle LED erzeugt typischerweise aus dem LED-Modulationssignal $S5W$ das Sendesignal $S5$, mit dem der Lichtquellentreiber LDRV die Lichtquelle LED bevorzugt auch mit elektrischer Energie versorgt. Bevorzugt handelt es sich bei der Lichtquelle LED um eine Halbleiterlichtquelle wie beispielsweise einen Laser oder eine LED. Ganz besonders bevorzugt umfasst die Lichtquelle LED eine Silizium-LED und/oder eine Silizium-Lawinen-LED wodurch dieser Vorrichtungsteil ggf. auch CMOS integrierbar wird.

[1003] Die Lichtquelle LED emittiert dann in Abhängigkeit von dem Sendesignal $S5$ die Pumpstrahlung LB. mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} .

[1004] Da das LED-Modulationssignal $S5W$ mit einem LED-Modulationsspektrum moduliert ist, ist dann auch das Sendesignal $S5$ mit dem LED-Modulationsspektrum moduliert. Da das Sendesignal $S5$ mit dem LED-Modulationsspektrum moduliert ist, ist typischerweise der zeitliche Intensitätsverlauf der Pumpstrahlung LB mit dem LED-Modulationsspektrum moduliert. Daher ist dann typischerweise auch der zeitliche Intensitätsverlauf der Intensität $I_{ist}(t)$ der Fluoreszenzstrahlung FL mit dem LED-Modulationsspektrum moduliert. Daher sind dann auch das Empfängerausgangssignal S_0 und das verstärkte Empfängerausgangssignal S_1 typischerweise mit dem LED-Modulationsspektrum moduliert.

[1005] In diesem Beispiel der **Fig. 69** erzeugt in dieser Konfiguration der zweite Signalgenerator G2 das Mikrowellenmodulationssignal $S5m$ insbesondere mit einer von null verschiedenen Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ typischerweise entsprechend einem Vorgabewert, den die Steuervorrichtung CTR über den Datenbus DB in dem zweiten Signalgenerator G2 eingestellt hat. Typischerweise moduliert der zweite Signalgenerator G2 das Mikrowellenmodulationssignal $S5m$ mit dem besagten Mikrowellenmodulationsspektrum und/oder mit der besagten Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$. Ganz besonders bevorzugt handelt es sich bei der Mikrowellenmodulation des Mikrowellenmodulationssignals $S5m$ um eine PWM-Modulation mit einer PWM-Frequenz oder einen Bit-Strom eines Spreiz-Code-Signals mit einer Spreiz-Code-

Periodendauer und einer Spreiz-Code-Bitfrequenz. Die Steuervorrichtung CTR steuert den zweiten Signalgenerator G2 bevorzugt über den beispielhaften Datenbus DB.

[1006] Die Mikrowellensignalquelle μWG erzeugt dann das mit dem Mikrowellenmodulationssignal modulierte Mikrowellensignal μW . Die Steuervorrichtung CTR steuert die Mikrowellensignalquelle μWG bevorzugt über den beispielhaften Datenbus DB.

[1007] Da das Mikrowellenmodulationssignal $S5m$ mit einem Mikrowellenmodulationsspektrum moduliert ist, ist dann typischerweise auch das Mikrowellensignal μW mit dem Mikrowellenmodulationsspektrum amplitudenmoduliert. Daher ist dann typischerweise auch der zeitliche Intensitätsverlauf der Fluoreszenzstrahlung FL mit dem Mikrowellenmodulationsspektrum moduliert. Daher sind dann typischerweise auch das Empfänger Ausgangssignal $S0$ und das verstärkte Empfänger Ausgangssignal $S1$ mit dem Mikrowellenmodulationsspektrum moduliert.

[1008] Typischerweise verstärkt der optionale erste Verstärker V1 das Empfänger Ausgangssignal $S0$ des Fotodetektors PD zu einem verstärkten Empfänger Ausgangssignal $S1$. Bevorzugt weist die Übertragungsfunktion des ersten Verstärkers V1 für die Verstärkung des Empfänger Ausgangssignals $S0$ zum verstärkten Empfänger Ausgangssignal $S1$ eine Filtereigenschaft auf, die typischerweise so gewählt ist, dass der erste Verstärker V1 im Wesentlichen nur modulierte Signalanteile des Empfänger Ausgangssignals $S0$ mit einer Frequenz $f \neq 0\text{Hz}$ zum verstärkten Empfänger Ausgangssignal $S1$ verstärkt und im Wesentlichen nur Signalanteile des Empfänger Ausgangssignals $S0$ mit einer Frequenz $f < f_{\text{max}}$ zum verstärkten Empfänger Ausgangssignal $S1$ verstärkt. Dabei ist bevorzugt f_{max} eine Maximalfrequenz deren Frequenzbetragswert vorzugsweise größer als der Frequenzbetragswert derjenigen Mischfrequenz mit dem größten Frequenzbetragswert ist.

[1009] Bevorzugt umfassen der erste Verstärker V1 oder die Vorrichtung eine Analog-zu-Digital-Wandlung ADC, sodass das verstärkte Empfänger Ausgangssignal $S1$ ein digitalisiertes Empfänger Ausgangssignal $S1$ sein kann.

[1010] Die Steuervorrichtung CTR kann den Mehrfachkorrelator LIV der **Fig. 69** in verschiedenen Ausprägungen der Vorrichtung emulieren.

[1011] Der Mehrfachkorrelator LIV der **Fig. 69** korreliert das verstärkte Empfänger Ausgangssignal $S1$ bzw. das digitalisierte Empfänger Ausgangssignal $S1$ vorzugsweise mit den mindestens zwei folgenden Signalen:

1. dem LED-Modulationssignal $S5w$,
2. dem Mikrowellensignal μW .

[1012] Sofern der Mehrfachkorrelator LIV das verstärkte Empfänger Ausgangssignal $S1$ bzw. das digitalisierte Empfänger Ausgangssignal $S1$ mit zwei Signalen $s1(t)$ und $s2(t)$ korreliert, so berechnet der Mehrfachkorrelator LIV im Wesentlichen beispielsweise das folgende Korrelationsintegral:

$$S4(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot s1(t) \cdot s2(t) dt$$

[1013] DEFINITION: Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet diese mathematische Form nun als ein L3-Produkt (für drei Funktionen) in Anlehnung an das bekannte L2-Produkt.

[1014] Hierbei bezieht sich der Winkel 2π auf die Periode desjenigen periodischen Signals $s1(t)$ oder $s2(t)$ mit der längeren Periodendauer. Voraussetzung ist, dass die Periodendauer des Signals mit der längeren Periodendauer ein ganzzahliges Vielfaches der die Periodendauer des Signals mit der kürzeren Periodendauer ist.

[1015] In dem Beispiel der **Fig. 69** korreliert der Mehrfachkorrelator LIV das verstärkte Empfänger Ausgangssignal $S1$ bzw. das digitalisierte Empfänger Ausgangssignal $S1$ vorzugsweise mit dem LED-Modulationssignal $S5w(t)$ und dem Mikrowellenmodulationssignal $S5m(t)$. So berechnet der Mehrfachkorrelator LIV im Wesentlichen das folgende Korrelationsintegral als L3-Produkt des Empfänger Ausgangssignals $S1(t)$ bzw. des digitalisierten Empfänger Ausgangssignals $S1(t)$, des LED-Modulationssignals $S5w(t)$ und des Mikrowellenmodulationssignals $S5m(t)$:

$$S4(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5w(t) \cdot S5m(t) dt$$

[1016] Hierbei bezieht sich der Winkel 2π auf die Periode desjenigen periodischen Signals $S5m(t)$ oder $S5w(t)$ mit der längeren Periodendauer. Bevorzugte Voraussetzung ist, dass die Periodendauer des Signals mit der längeren Periodendauer ein ganzzahliges Vielfaches der die Periodendauer des Signals mit der kürzeren Periodendauer ist.

[1017] Bevorzugt ist das LED-Modulationssignal $S5w(t)$ ein digitales Signal, dass den logischen 1-Pegel und den Logischen 0-Pegel annehmen kann.

[1018] Im Extremfall des LED-Modulationssignals $S5w(t)$ soll bei einem logischen 1-Pegel des LED-Modulationssignals $S5w(t)$ soll willkürlicher Definition der hier vorgelegten Schrift der Lichtquellentreiber LDRV für die Lichtquelle LED die Abgabe einer Pumpstrahlung LB durch die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED einschalten und bei einem logischen 0-Pegel des LED-Modulationssignals $S5w(t)$ die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED abschalten.

[1019] Bei einem logischen 1-Pegel des LED-Modulationssignals $S5w(t)$ soll nach willkürlicher Definition der hier vorgelegten Schrift der Lichtquellentreiber LDRV für die Lichtquelle LED die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED, zu der Abgabe einer erhöhten Intensität der Pumpstrahlung LB veranlassen und bei einem logischen 0-Pegel des LED-Modulationssignals $S5w(t)$ die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED, zu der Abgabe einer verminderten Intensität der Pumpstrahlung LB veranlassen.

[1020] Bevorzugt ist das Mikrowellenmodulationssignal $S5m(t)$ ein digitales Signal, dass den logischen 1-Pegel und den Logischen 0-Pegel annehmen kann.

[1021] Im Extremfall des Mikrowellenmodulationssignals $S5m(t)$ soll bei einem logischen 1-Pegel des Mikrowellenmodulationssignals $S5m(t)$ soll gemäß willkürlicher Definition der hier vorgelegten Schrift die Mikrowellensignalquelle μWG ein Mikrowellensignal mit der über den Datenbus DB voreingestellten Amplitude und der voreingestellten Mikrowellenfrequenz einschalten und erzeugen und bei einem logischen 0-Pegel des Mikrowellenmodulationssignals $S5m(t)$ die die Mikrowellensignalquelle μWG ein Mikrowellensignal mit der Amplitude 0 erzeugen und somit das Mikrowellensignal μW abschalten.

[1022] Bei einem logischen 1-Pegel des Mikrowellenmodulationssignals $S5m(t)$ soll nach willkürlicher Definition der hier vorgelegten Schrift die Mikrowellensignalquelle μWG ein Mikrowellensignal mit der über den Datenbus DB voreingestellten erhöhten Amplitude und der voreingestellten Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ einschalten und erzeugen und bei einem logischen 0-Pegel Mikrowellenmodulationssignals $S5m(t)$ die Mikrowellensignalquelle μWG ein Mikrowellensignal mit der über den Datenbus DB voreingestellten niedrigeren Amplitude und der voreingestellten Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ erzeugen (ausschalten).

[1023] In dem Fall, dass das Mikrowellenmodulationssignal $S5m(t)$ ein solches digitales Signal ist, kann ein invertiertes Mikrowellenmodulationssignals $S5mq(t)$ als invertiertes Signal des Mikrowellenmodulationssignals $S5m(t)$ definiert werden.

[1024] In dem Fall, dass das LED-Modulationssignals $S5w(t)$ ein solches digitales Signal ist, kann ein invertiertes LED-Modulationssignals $S5wq(t)$ als invertiertes Signal des LED-Modulationssignals $S5w(t)$ definiert werden.

[1025] Insgesamt kann die der Mehrfachkorrelator LIV aus dem das verstärkten Empfänger Ausgangssignal $S1$, Mikrowellenmodulationssignal $S5m(t)$ und dem LED-Modulationssignal $S5w(t)$ dann vier L3-Produkte in Form von vier Filterausgangssignalen $S4(t)$ bilden:

$$S4_a(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5w(t) \cdot S5m(t) dt$$

$$S4_b(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5wq(t) \cdot S5m(t) dt$$

$$S4_c(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5w(t) \cdot S5mq(t) dt$$

$$S4_d(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5wq(t) \cdot S5mq(t) dt$$

[1026] Das erste so gebildete Filterausgangssignal $S4_a(t)$ gibt die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL an, wenn die Pumpstrahlung LB eingeschaltet ist und das Mikrowellensignal μW eingeschaltet ist.

[1027] Das zweite so gebildete Filterausgangssignal $S4_b(t)$ gibt die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL an, wenn die Pumpstrahlung LB ausgeschaltet ist und das Mikrowellensignal μW eingeschaltet ist. Da infolge der fehlenden Pumpstrahlung LB keine Fluoreszenzstrahlung FL auftritt, repräsentiert dieses zweite so gebildete Filterausgangssignal $S4_b(t)$ den Strahlungsuntergrund, der aus welchen Gründen auch immer vorhanden ist.

[1028] Das dritte so gebildete Filterausgangssignal $S4_c(t)$ gibt die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL an, wenn die Pumpstrahlung LB eingeschaltet ist und das Mikrowellensignal μW ausgeschaltet ist. Das dritte so gebildete Filterausgangssignal $S4_c(t)$ gibt somit die Intensität der mikrowellenfreien Fluoreszenzstrahlung FL an, wie sie beispielsweise aus der EP 3 980 797A1 bekannt ist.

[1029] Das vierte so gebildete Filterausgangssignal $S4_d(t)$ gibt die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL an, wenn die Pumpstrahlung LB ausgeschaltet ist und das Mikrowellensignal μW ausgeschaltet ist. Da infolge der fehlenden Pumpstrahlung LB keine Fluoreszenzstrahlung FL auftritt, repräsentiert dieses zweite so gebildete Filterausgangssignal $S4_d(t)$ den Strahlungsuntergrund, der aus welchen Gründen auch immer vorhanden ist.

[1030] Das hier vorgelegte Dokument schlägt nun vor, das Filterausgangssignal $S4(t)$ als Merkmalsvektorsignal zu verstehen. Das hier vorgelegte Dokument schlägt nun vor, dieses vektorielle Filterausgangssignal $S4(t)$ unter Subtraktion des jeweiligen Strahlungsuntergrunds beispielsweise wie folgt zu bilden:

$$S4(t) = \begin{pmatrix} S4_1(t) \\ S4_2(t) \\ S4_3(t) \\ S4_4(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S4_a(t) - S4_b(t) \\ S4_c(t) - S4_d(t) \\ S4_a(t) - S4_c(t) \\ S4_a(t) - S4_b(t) - S4_c(t) + S4_d(t) \end{pmatrix}$$

[1031] Dies entspricht:

$$S4(t) = \begin{pmatrix} \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5w(t) \cdot S5m(t) dt - \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5wq(t) \cdot S5m(t) dt \\ \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5w(t) \cdot S5mq(t) dt - \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5wq(t) \cdot S5mq(t) dt \\ \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5w(t) \cdot S5m(t) dt - \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5w(t) \cdot S5mq(t) dt \\ \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5w(t) \cdot S5m(t) dt - \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5wq(t) \cdot S5m(t) dt - \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5w(t) \cdot S5mq(t) dt + \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5wq(t) \cdot S5mq(t) dt \end{pmatrix}$$

$$S4(t) = \begin{pmatrix} \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot (S5w(t) - S5wq(t)) \cdot S5m(t) dt \\ \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot (S5w(t) - S5wq(t)) \cdot S5mq(t) dt \\ \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5w(t) \cdot (S5m(t) - S5mq(t)) dt \\ \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot (S5w(t) - S5wq(t)) \cdot (S5m(t) - S5mq(t)) dt \end{pmatrix}$$

[1032] Ergebnis ist ein vierdimensionales Filterausgangssignal $S_4(t)$. Hierbei wurde die mögliche weitere Dimension des Filterausgangssignals entsprechend dem Integral

$$\int_0^{2\pi} S_1(t) \cdot S_{5wq}(t) \cdot (S_{5m}(t) - S_{5mq}(t)) dt$$

nicht berücksichtigt, da dieses Integral einen Einfluss der Mikrowellenstrahlung auf das Rauschen ohne Fluoreszenz voraussetzt. Dieses Integral kann aber theoretisch ebenfalls Teil des vektoriiellen Filterausgangssignals $S_4(t)$ sein.

[1033] Typischerweise stellt die Steuervorrichtung CTR unterschiedliche Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu W}$ des Mikrowellensignals μW über den Datenbus DB in der Mikrowellensignalquelle μWG ein und unterschiedliche Werte des Kompensationsfeldsteuersignals ein. Die Steuervorrichtung CTR stellt somit typischer Weise unterschiedliche Amplituden der zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} , ein, die das Magnetfelderzeugungsmittel L_c erzeugt. Die Steuervorrichtung CTR bestimmt dann mittels des Mehrfachkorrelators LIV für vorzugsweise jeden der eingestellten zweidimensionalen Arbeitspunkte aus Wert des Kompensationsfeldsteuersignals (d.h. eingestellter zusätzlicher magnetischer Flussdichte B_{ad}) und Frequenzwert der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ des Mikrowellensignals μW den Wert des mehrdimensionalen Filterausgangssignals $S_4(t)$. D.h. die Vorrichtung überdeckt in der **Fig. 51a** die Fläche der **Fig. 51a** zumindest teilweise mit einem Gitter oder einer Verteilung von Arbeitspunkten der Vorrichtung an denen die Vorrichtung jeweils die Werte der jeweils diesen Arbeitspunkten zugehörigen mehrdimensionalen Filterausgangssignale $S_4(t)$ bestimmt.

[1034] Die Steuervorrichtung CTR speichert diese Werte vorzugsweise in einem Speicher RAM, NVM ab.

[1035] Die Steuervorrichtung CTR speichert diese Werte vorzugsweise in einem Speicher RAM, NVM vorzugsweise in Form von Datensätzen ab.

[1036] Vorzugsweise umfasst jeder Datensatz zum Ersten den vektoriiellen Wert des Arbeitspunkts, also den Wert des Kompensationsfeldsteuersignals (d.h. eingestellter zusätzlicher magnetischer Flussdichte B_{ad}) und den Frequenzwert der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ des Mikrowellensignals μW , und zum Zweiten die aktuellen Vektorkomponentenwerte des mehrdimensionalen Filterausgangssignals $S_4(t)$.

[1037] Wenn die Steuervorrichtung CTR alle Arbeitspunkte eines Messzyklus vermessen hat, können die Steuervorrichtung CTR und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV diese Datensätze als vorläufigen Merkmalsvektor für ein computer- oder logikimplementiertes Mustererkennungsverfahren oder eines der vorbeschriebenen computerimplementierten Verfahren verwenden.

[1038] Hierzu kann die Vorrichtung über eine separate Mustererkennungsvorrichtung MEV, verfügen, die das vektorielle Filterausgangssignal $S_4(t)$ direkt auswertet oder auf die Datensätze im Speicher RAM, NVM zugreift. Alternativ und bevorzugt kann die Steuervorrichtung CTR eine solche Mustererkennungsvorrichtung MEV durch ein computerimplementiertes verfahren emulieren. Beispielsweise kann die Steuervorrichtung CTR ein computerimplementiertes Programm der künstlichen Intelligenz als Mustererkennungsprogramm ausführen. Beispielsweise kann die Steuervorrichtung CTR ein computerimplementiertes Neuronales Netzwerkmodell NN ausführen, das aus den erfassten Parametern die Gesamtflussdichte B_{Σ} und die externe Gesamtflussdichte $B_{ext} = B_{\Sigma} - B_{ad}$ abschätzt. Beispielsweise kann es sich bei der Mustererkennungsvorrichtung MEV auch um eine Vorrichtung handeln, die ein computerimplementiertes oder logikimplementiertes Verfahren zur Mustererkennung oder zur Vorbereitung einer Mustererkennung durch die Steuervorrichtung CTR mittels eines computerimplementierten Verfahrens zur Mustererkennung durchführt. Typischerweise erzeugt die Mustererkennungsvorrichtung MEV hierzu einen Musterdatensatz MDS. Bevorzugt umfasst dieser Musterdatensatz MDS den Datensatz eines von der Mustererkennungsvorrichtung MEV erkannten Musters und/oder einen Merkmalsvektor, den die Mustererkennung MEV aus dem typischerweise vektoriiellen Filterausgangssignale $S_4(t)$ und ggf. weiteren im System vorliegenden Daten und Signalen extrahiert hat. Die Mustererkennungsvorrichtung MEV stellt diesen Musterdatensatz MDS für eine Mustererkennung und/oder eine Nachverarbeitung der Steuervorrichtung über den Datenbus DB und/oder über eine FiFo-Struktur oder eine spezielle Schnittstelle mit einem speziellen Musterdatensatzdatenbus zur weiteren Verarbeitung und/oder Verwendung zur Verfügung. Im Falle der Übermittlung von Merkmalsvektordaten innerhalb des Musterdatensatzes kann die Steuervorrichtung CTR eine Mustererkennung in den übermittelten aktuellen und zeitlich vorausgegangenen Merkmalsvektordaten mit Hilfe eines computerimplementierten Programms zur Mustererkennung oder dergleichen durchführen. Ein wichtiger Wert, den die Steuervorrichtung CTR und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV ermitteln, ist typischerweise der Wert der erkannten Gesamtflussdichte B_{Σ} . Typischer-

weise umfasst dieser Musterdatensatz MEV auch den Messfehlerwert, mit dem dieser Wert der erkannten Gesamtflussdichte B_z behaftet ist. Die Mustererkennungsvorrichtung MEV kann ein eigenes Rechnersystem mit einem eigenen Rechnerkern umfassen. Die Mustererkennungsvorrichtung MEV kann einen eigenen Programmspeicher und einen eigenen Datenspeicher umfassen. Die Speicher des Systems können flüchtig und nicht flüchtig sein. Ein solches Rechnersystem der Mustererkennungsvorrichtung MEV kann ggf. gemeinsam mit der Steuervorrichtung CTR auf die flüchtigen Speicher RAM und nicht flüchtigen Speicher NVM zugreifen und sich diese mit der Steuervorrichtung CTR ganz oder teilweise teilen. Die Mustererkennungsvorrichtung MEV kann ihre Funktionen ganz oder teilweise durch Ausführung entsprechender computerimplementierter Programme realisieren, die in den Speichern der Mustererkennungsvorrichtung MEV oder den Speichern RAM, NVM des Systems zumindest zeitweise abgelegt sind.

[1039] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Steuervorrichtung CTR während eines noch laufenden Messzyklus in Abhängigkeit von dem bereits in dem noch laufenden Messzyklus und in vorhergehenden Messzyklen erfassten Datensätzen einen oder mehrere zukünftige Arbeitspunkte des Sensorsystems (hinsichtlich magnetischer Flussdichte B_{ad} und Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ des Mikrowellensignals μW) festlegt, die als nachfolgend noch vermessen werden sollen. Vorzugsweise wendet die Steuervorrichtung CTR dabei beispielsweise ein computerimplementiertes Verfahren der Bayes'sche Optimierung an, um diese nachfolgenden einen oder mehreren Arbeitspunkte aus dem Wert des Kompensationsfeldsteuersignals (d.h. eingestellter zusätzlicher magnetischer Flussdichte B_{ad}) und dem Frequenzwert der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ des Mikrowellensignals μW an diesem Arbeitspunkt für die nächste(n) Bestimmung(en) der Vektorkomponentenwerte des mehrdimensionalen Filterausgangssignals $S_4(t)$ festzulegen.

[1040] In einer weiteren Ausbildung umfasst das Sensorsystem bevorzugt eine Anzeigeeinheit, insbesondere einen Bildschirm 32, die in der Lage ist, die Lage der Grenze zwischen dem ersten Messpunkt und dem zweiten Messpunkt im Parameterraum grafisch darzustellen.

[1041] In einer weiteren Ausbildung des Sensorsystems, weist die Anzeigeeinheit, insbesondere der Bildschirm 32, beispielsweise eine grafische Benutzeroberfläche auf, die es einem Benutzer ermöglicht, die Lage der Grenze im Parameterraum zu überwachen und anzupassen.

[1042] In einer weiteren Ausbildung des Sensorsystems, ist Steuerrechner, also beispielsweise die Steuervorrichtung CTR, dazu eingerichtet, computerimplementierte Fehlerkennungs- und Fehlerkorrekturalgorithmen basierend auf den Messwerten anzuwenden, um die Genauigkeit der Lagebestimmung der Grenze im Parameterraum zu verbessern.

[1043] In einer weiteren Ausbildung des Sensorsystems, ist der Steuerrechner, also beispielsweise die Steuervorrichtung CTR, dazu eingerichtet, mit anderen Sensoren und/oder Systemen (z.B. 33) insbesondere über eine Datenschnittstelle (z.B. 29) zu kommunizieren, um zusätzliche Informationen für die Lagebestimmung der Grenze im Parameterraum zu erhalten und/oder solche an diese anderen Sensoren und/oder Systemen (z.B. 33) weiterzugeben und/oder für diese bereitzuhalten.

[1044] In einer weiteren Ausbildung des Sensorsystems, ist der Steuerrechner, also beispielsweise die Steuervorrichtung CTR, dazu eingerichtet, in Echtzeit zu arbeiten und die Lage der Grenze im Parameterraum kontinuierlich zu überwachen und zu aktualisieren.

[1045] In einer weiteren Ausbildung des Sensorsystems, ist der Steuerrechner, also beispielsweise die Steuervorrichtung CTR, dazu eingerichtet, die Arbeitspunkte im Parameterraum adaptiv anzupassen, um eine optimale Messgenauigkeit für die Lagebestimmung der Grenze zu erreichen.

[1046] In einer weiteren Ausbildung des Sensorsystems, ist der Steuerrechner, also beispielsweise die Steuervorrichtung CTR, dazu eingerichtet, die Messergebnisse zu speichern und zu analysieren, um Trends und Muster in der Lagebestimmung der Grenze im Parameterraum zu erkennen.

[1047] Damit die Optimierung nicht durch eine zu lange Messdauer kontraproduktiv wird, sollt eine Abbruchbedingung, beispielsweise die Anzahl der Arbeitspunkte dann vorgesehen werden.

[1048] Sind alle vorbestimmten und ggf. im Laufe eines Messzyklus nachbestimmten Arbeitspunkte vermessen und/oder ist die vorgegebene maximale Anzahl an Messpunkten erreicht oder überschritten, so beendet das Sensorsystem typischerweise den Messzyklus.

[1049] Nach der Beendigung des letzten Messzyklus startet die Steuervorrichtung CTR typischerweise den nächsten Messzyklus. Hierzu kann die Steuervorrichtung CTR beispielsweise wieder zuerst die vorbestimmten Arbeitspunkte aus einem jeweiligen Wert des Kompensationsfeldsteuersignals (d.h. eingestellter zusätzlicher magnetischer Flussdichte B_{ad}) an diesem Arbeitspunkt und dem jeweiligen Frequenzwert der Mikrowellenfrequenz des Mikrowellensignals μW an diesem Arbeitspunkt vermessen und die zugehörigen Vektorkomponentenwerte des mehrdimensionalen Filterausgangssignals $S_4(t)$ an diesen Arbeitspunkten erfassen und dann die Messwerte in einer zweiten Phase und/oder weiteren Phasen des Messzyklus durch Vermessung zusätzlicher Arbeitspunkte zu optimieren.

[1050] Die Bestimmung der zusätzlichen Arbeitspunkte innerhalb der weiteren Phasen des Messzyklus kann auch durch andere computerimplementierte Optimierungsverfahren als ein computerimplementierte Bayes'sches Optimierungsverfahren erfolgen. Die Form und der Verlauf der unteren Resonanzkante 522, der unteren mittleren Resonanzkante 23, der oberen mittleren Resonanzkante 524, der oberen Resonanzkante 25 und des mittleren Resonanzminimums 529 der **Fig. 51a** sind ja vorbekannt oder in einem Kalibrationsmessvorgang erfassbar. Nur die Position 530 der Spitze der V-Formation (522, 525) ist durch eine zusätzliche magnetische Flussdichte B_{ad} oder eine Änderung der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} änderbar. Bevorzugt berücksichtigt das computerimplementierte Verfahren, das die Steuervorrichtung CTR ausführt, diese Daten. Bevorzugt sind diese Kalibrationsdaten, die die Form und Lage und den Verlauf der unteren Resonanzkante 522, der unteren mittleren Resonanzkante 523, der oberen mittleren Resonanzkante 24, der oberen Resonanzkante 525 und des mittleren Resonanzminimums 529 der **Fig. 51a** beschreiben zumindest teilweise in einem nicht flüchtigen Speicher NVM oder einem anderen Speicher RAM der Vorrichtung oder einem Speichermedium der Vorrichtung abgelegt, sodass die Steuervorrichtung CTR auf diese Daten über den Datenbus DB zugreifen kann und durch Vergleich zwischen den erfassten Datensätzen des aktuellen Messzyklus und ggf. vorhergehender Messzyklen auf die aktuelle Gesamtflussdichte B_z und die externe Gesamtflussdichte $B_{ext}=B_z-B_{ad}$ schließen kann und/oder auf zusätzlich notwendige Arbeitspunkte für weitere Messungen zur Verbesserung des Messergebnisses schließen kann.

[1051] Vorzugsweise bestimmt die Vorrichtung mittels eines computerimplementierten Verfahrens mittels der Steuervorrichtung CTR für die Arbeitspunkte und die dazwischen liegenden Bereiche eine jeweilige Messunsicherheit.

[1052] Bevorzugt ermittelt die Steuervorrichtung CTR im Rahmen eines Messzyklus einen oder mehrere der folgenden Werte

1. die wahrscheinliche Lage der unteren Resonanzkante 522,
2. die wahrscheinliche Lage der unteren mittleren Resonanzkante 523,
3. die wahrscheinliche Lage der oberen mittleren Resonanzkante 524,
4. die wahrscheinliche Lage der oberen Resonanzkante 525,
5. die wahrscheinliche Lage des mittleren Resonanzminimums 529,
6. den wahrscheinlichen Wert der wirksamen Offsetflussdichte B_{off} ,
7. den wahrscheinlichen Wert der Nullpunktsflussdichte B_0 ,
8. den wahrscheinlichen Wert der Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$,
9. den wahrscheinlichen Wert 564 der magnetischen Flussdichte B , der der oberen Referenzlinie 561 zugeordnet ist, an einem oder mehreren Arbeitspunkten,
10. den wahrscheinlichen Wert 565 der magnetischen Flussdichte B , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, an einem oder mehreren Arbeitspunkten,
11. die wahrscheinliche Differenz 566 des Werts der magnetischen Flussdichte B , der der mittleren Referenzlinie 563 zugeordnet ist, minus dem Wert 565 der magnetischen Flussdichte B , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist,
12. die wahrscheinliche Steigung 567 der Kurve an einem oder mehreren Arbeitspunkten;
13. die Polynomkoeffizienten der Polynomapproximation 627 der Kurve in einigen Arbeitspunkten,
14. den wahrscheinlichen Wert einer unteren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{22} ,
15. den wahrscheinlichen Wert einer unteren mittleren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{23} ,

16. den wahrscheinlichen Wert einer oberen mittleren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{24} ,
17. den wahrscheinlichen Wert einer oberen wirksamen magnetischen Flussdichte B_{25} ,
18. den wahrscheinlichen Wert einer wirksamen magnetische Resonanzminimum-Flussdichte B_{29} ,
19. den wahrscheinlichen Wert einer Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$;
20. den wahrscheinlichen Wert einer unteren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W22}$;
21. den wahrscheinlichen Wert einer unteren mittleren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W23}$;
22. den wahrscheinlichen Wert einer oberen mittleren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W24}$;
23. den wahrscheinlichen Wert einer oberen Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W25}$;
24. den wahrscheinlichen Wert einer Resonanzminimum-Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W29}$;
25. den wahrscheinlichen Wert einer unbekanntem Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$;
26. den wahrscheinlichen Wert einer Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{M\mu W}$;

[1053] Die Vorrichtung kann den wahrscheinlichen Frequenzwert einer unbekanntem Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$ dadurch bestimmen, dass der die Mikrowellensignalquelle μWG ein internes Mikrowellensignal (μW_G_I , μW_G_II , μW_G_III , μW_G_IV) (Siehe **Fig. 85** für ein vektorielle Ausgestaltung, die hier aber sinngemäß angewendet werden kann), das eine bekannte interne Mikrowellenfrequenz ($\omega_{\mu W_I}$, $\omega_{\mu W_II}$, $\omega_{\mu W_III}$, $\omega_{\mu W_IV}$) aufweist, mit einem externen Mikrowellensignal $S_{\omega nk}$ zu dem Mikrowellensignal μW mischt und die dabei eines der beiden Seitenbänder mittels eines Filters (μWG_F_I , μWG_F_II , μWG_F_III , μWG_F_I , μWG_F_IV) wegfiltert. Die Vorrichtung wird dann typischerweise mit einem bekannten externen Mikrowellensignal $S_{\omega \mu Wk}$ mit einer Referenzmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wk}$ kalibriert und es werden die Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$ und der Wert der Nullpunktsflussdichte B_0 , als Referenzarbeitspunkt bestimmt. Wenn nun eine unbekanntem Mikrowellenfrequenz ω_{nk} von extern als externes Mikrowellensignal $S_{\omega nk}$ eingespeist wird, so verschiebt sich die Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$ um einen Frequenzdifferenzwert, zwischen der Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$ bei der Kalibration und der Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$ bei der Messung der unbekanntem Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$ der Differenz zwischen Referenzmikrowellenfrequenz und der unbekanntem Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$ entspricht. Daher kann durch Bestimmung der Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$ die unbekanntem Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$ ermittelt werden.

[1054] Bevorzugt regelt die Vorrichtung das zusätzliche Magnetfeld B_{ad} nach. Hierzu erfasst die Vorrichtung mittels eines Magnetfeldsensors MS die magnetische Gesamtflussdichte B_{Σ} , vergleicht den erfassten Wert der Gesamtflussdichte B_{Σ} mit einem Sollwert und regelt dann die Bestromung des Magnetfelderzeugungsmittel L_c entsprechend der Differenz zwischen Gesamtflussdichte B_{Σ} und Sollwert nach. Bevorzugt handelt es sich um eine Regelung mit einer PID-Regler-Charakteristik. Die Vorrichtung kann beispielsweise das Signal $S_4(t)$ bilden und als Regelgröße verwenden. In dem Fall wäre das Sensorelement SE selbst der Magnetfeldsensor MS. Sofern die Vorrichtung nicht das Sensorelement SE als Magnetfeldsensor MS für die Regelung der magnetische Gesamtflussdichte B_{Σ} verwendet, kann die Vorrichtung über eine Magnetfeldsensoransteuerung SIS verfügen, die den Magnetfeldsensor MS ansteuert, betreibt und ausliest und die so ausgelesenen Messdaten dem Magnetfeldregler LCTR und/oder der Steuervorrichtung CTR für die Nachregelung der magnetischen Gesamtflussdichte B_{Σ} , beispielsweise mittels Regelung der Bestromung des Magnetfelderzeugungsmittels L_c durch den Magnetfeldregler LCTR, zur Verfügung stellt. Vorzugsweise kann dabei die Steuervorrichtung CTR den Magnetfeldregler LCTR und die Magnetfeldsensoransteuerung SIS über den Datenbus DB auslesen und/oder steuern.

[1055] Es ist offensichtlich, dass die Bildung der vorstehenden Integrale auch analog ohne Digitalisierung des Empfänger Ausgangssignals im Mehrfachkorrelator LIV erfolgen kann. Beispielsweise können die Vektorkomponentensignale S_{4a} , S_{4b} , S_{4c} und S_{4d} bzw. S_{41} , S_{42} , S_{43} und S_{44} in dem Mehrfachkorrelator LIV auch mittels analoger Signalverarbeitung gebildet werden. In dem Fall ist eine Digitalisierung der dann analogen Vektorkomponentensignale S_{4a} , S_{4b} , S_{4c} und S_{4d} bzw. S_{41} , S_{42} , S_{43} und S_{44} des Filterausgangssignals S_4 sinnvoll, um die Werte der Steuervorrichtung CTR zur Verfügung zu stellen. Im Falle einer analogen Bildung der obigen Integrale hat sich die Verwendung eines Tiefpassfilters TP oder eines Filters mit Tiefpasseigenschaften als Integrator nach den erfolgten Multiplikationen bewährt.

Zur Positionierung der Sensorelemente SE

[1056] Das hier vorgelegte Dokument weist darauf hin, dass insgesamt fünf Positionierungen von Sensorelementen SE relativ zu den Leitungen und Leitungsf lächen der Tri-Plate-Leitung 2380 möglich sind:

1. auf der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310,
2. in der nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340,
3. auf dem Signalleiter 1330,
4. in der nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350,
5. auf der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1320.

[1057] Mischformen der Sensorelemente SE durch Fehlplatzierungen und Vergrößerungen der betreffenden Sensorelemente SE sind möglich.

Figur 70

[1058] Fig. 70 zeigt eine beispielhafte schematische Realisierung eines analogen Mehrfachkorrelators LIV in einer schematisch skizzierten Konstruktion der Fig. 69.

[1059] Zur Vereinfachung stellt der analoge Mehrfachkorrelator LIV der Fig. 70 nur ein Integral der in der Beschreibung der Fig. 69 aufgezählten Integrale dar. Es handelt sich um das Integral

$$S4_a(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot S5w(t) \cdot S5m(t) dt$$

[1060] Da der Mehrfachkorrelator LIV in der Fig. 70 nur dieses eine Integral bildet, bildet der Mehrfachkorrelator LIV keine der Differenzen aus den Integralen, wie in der Beschreibung der Fig. 69 beschrieben.

[1061] Um die anderen Integrale bilden zu können, müssten weitere Vorrichtungsteile ergänzt werden, was einer fachkundigen Person leicht möglich ist.

[1062] Zum ersten müssten die jeweils fehlenden invertierten Signale der hier verwendeten Signale gebildet werden. Hierzu müsste beispielsweise ein Inverter oder dergleichen das invertierte Mikrowellenmodulationssignal SSmq oder ein funktionsäquivalentes Signal aus dem Mikrowellenmodulationssignal S5m bilden. Des Weiteren müsste ein Inverter oder dergleichen das invertierte LED-Modulationssignal S5wd oder ein funktionsäquivalentes Signal aus dem LED-Modulationssignal S5w bilden. Außerdem wären zusätzliche Multiplizierer und für jedes zu bildende Signal ein weiterer Tiefpass TP notwendig. Zu Bildung der Differenzen der von diesen Tiefpässen TP gebildeten Filterausgangssignale S4_a(t), S4_b(t), S4_c(t) und S4_d(t) wären dann für jedes zu bildende Differenzsignal jeweils ein Subtrahierer notwendig, der eines der Filterausgangssignale S4_a(t), S4_b(t), S4_c(t) und S4_d(t) von einem anderen der Filterausgangssignale S4_a(t), S4_b(t), S4_c(t) und S4_d(t) subtrahiert und daraus eines der Vektorkomponentensignale S4₁(t), S4₂(t), S4₃(t) und S4₄(t) des vektoriiellen Filterausgangssignal S4(t) und ggf. andere Vektorkomponentensignale des vektoriiellen Filterausgangssignal S4(t) bildet.

[1063] Die Fig. 70 ist daher nur ein Beispiel für eine analoge Realisierung des Mehrfachkorrelators LIV aus einer größeren Menge möglicher Realisierungen, die Teil der technischen Lehre des hier vorgelegten Dokuments sind.

[1064] In der Fig. 70 digitalisiert der erste Verstärker V1 das Empfänger Ausgangssignal S0 nicht zu einem digitalen Empfänger Ausgangssignal S1, sondern bildet nur das analoge, verstärkte Empfänger Ausgangssignal S1.

[1065] In dem Beispiel der Fig. 70 umfasst der Mehrfachkorrelator LIV einen ersten Multiplizierer M1, der das erste Produkt S1(t)·s1(t)=S3a(t) des L3-Produkts

$$S4(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot s1(t) \cdot s2(t) dt$$

bildet. Das Ergebnis ist das erste Zwischensignal $S3a$ des L3-Produkts des Mehrfachkorrelators LIV.

[1066] In dem Beispiel der **Fig. 70** ist das erste Signal $s1(t)$ des L3-Produkts das LED-Modulationssignal $S5w$.

[1067] In dem Beispiel der **Fig. 70** umfasst der Mehrfachkorrelator LIV einen zweiten Multiplizierer $M2$, der das zweite Produkt $(S1(t) \cdot s1(t)) \cdot s2(t) = S3a(t) \cdot s2(t) = S3b(t)$ des L3-Produkts

$$S4(t) = \int_0^{2\pi} S1(t) \cdot s1(t) \cdot s2(t) dt$$

bildet. Das Ergebnis ist das zweite Zwischensignal $S3b(t)$ des L3-Produkts des Mehrfachkorrelators LIV.

[1068] In dem Beispiel der **Fig. 70** realisiert eine Tiefpassfilterung des Zwischensignals $S3b$ des L3-Produkts des Mehrfachkorrelators LIV in einem analogen Tiefpassfilter TP die Integration. Dieser Tiefpassfilter TP bildet zum Ersten nur ein unbestimmtes und kein bestimmtes Integral. Zum Zweiten gilt diese Äquivalenz eines Tiefpassfilters TP mit einem Integrator nur für hinreichend niedrige Frequenzen.

[1069] Vorzugsweise ist die Grenzfrequenz des Tiefpassfilters TP daher so gewählt, dass die LED-Modulationsfrequenz f_{LED} , die Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$ und die Differenzfrequenz $|f_{LED} - f_{\mu W}|$ sicher unterdrückt werden, so dass im Wesentlichen nur die Anteile um 0Hz herum den Tiefpassfilter TP passieren.

[1070] Der Tiefpass TP kann auch komplexere Filterfunktionen realisieren und umfassen.

[1071] Der Verzicht auf die Bestimmtheit des Integrals im Tiefpassfilter TP führt zu Fehlern. Diese können vermieden werden, wenn eine Sample&Hold-Schaltung am Ausgang des Tiefpassfilters TP immer am Ende der längeren Periode der Periode des Mikrowellenmodulationssignals $S5m$ bzw. der Periode des LED-Modulationssignals $S5w$ den analogen Pegel am Ausgang des Tiefpasses TP bis zum nächsten Periodenende einfriert. Dafür ist es notwendig, dass die beiden Periodendauern in einem ganzzahligen Verhältnis stehen.

[1072] In der Praxis hat sich gezeigt, dass abhängig von der jeweiligen Anwendung eine solche Sample & Hold-Schaltung als Teil des Tiefpasses TP oft nicht zwingend erforderlich ist.

[1073] In dem Beispiel der **Fig. 70** bildet der Tiefpass TP das Vektorkomponentensignal $S4_a(t)$ des vereinfacht hier beispielhaft eindimensionalen vektoriellen Filterausgangssignals $S4(t)$.

[1074] In dem Beispiel der **Fig. 70** digitalisiert der Analog-zu-Digital-Wandler ADC das Vektorkomponentensignal $S4_a(t)$ des vereinfacht hier beispielhaft eindimensionalen vektoriellen Filterausgangssignals $S4(t)$ und stellt die Abtastwerte über den Datenbus DB der Steuervorrichtung CTR zur Verfügung.

[1075] Typischerweise umfasst die Vorrichtung im Falle einer solchen analogen Realisierung mehr als einen analogen Mehrfachkorrelator LIV zur Bildung mehrerer Vektorkomponentensignale $S4_a(t)$, $S4_b(t)$, $S4_c(t)$ und $S4_d(t)$ des vektoriellen Filterausgangssignals $S4(t)$. Der Analog-zu-Digital-Wandler ADC tastet dann jedes dieser Vektorkomponentensignale $S4_a(t)$, $S4_b(t)$, $S4_c(t)$ und $S4_d(t)$ des vektoriellen Filterausgangssignals $S4(t)$ ab und stellt deren Abtastwerte über den Datenbus DB der Steuervorrichtung CTR zur Verfügung.

[1076] Insofern ist die **Fig. 70** nur eine stark vereinfachte Darstellung zur Erläuterung der Realisierung eines Mehrfachkorrelators LIV. Umfasst die Vorrichtung mehr als einen Mehrfachkorrelator LIV, so umfassen diese typischerweise aus Synergiegründen verschiedene Vorrichtungsteile wie Multiplizierer und Zwischensignale gemeinsam, um Ressourcen zu sparen.

Figur 71

[1077] **Fig. 71** zeigt eine Vorrichtung zur Ansteuerung von beispielhaft drei Sensorelementen SE (1410, 1420, 1430), die auf dem Trägersubstrat 1360 platziert sind, mittels einer beispielhafte Tri-Plate-Leitung 2380. Statt der Tri-Plate-Leitung 2380 können auch andere Wellenleitungen wie beispielsweise eine Schlitzleitung 1880 mit den beispielhaften Sensorelementen 1410, 1420, 1430 oder die Mikrostreifenleitung 1380 mit den beispielhaften Sensorelementen 1410, 1420, 1430 eingesetzt werden. Die technische Lehre der **Fig. 59** soll hier also ganz allgemein für die Ansteuerung, Vermessung und Auswertung mehrerer Sensorelemente SE stehen, die auf einem Trägersubstrat 1360 platziert sind und deren NV-Zentren und/oder paramag-

netischen Zentren mit dem elektromagnetischen Feld und insbesondere mit der magnetischen Flussdichtekomponente eines elektromagnetischen Feldes wechselwirken, das von einem Wellenleiter, der auf dem Trägersubstrat 1360 gefertigt ist, transportiert wird.

[1078] In dem Beispiel der **Fig. 71** umfasst die Vorrichtung als beispielhaft drei Sensorelemente SE ein linkes Sensorelement 1410 und ein mittleres Sensorelement 1420 und ein rechtes Sensorelement 1430. Das Beispiel der **Fig. 71** steht beispielhaft für Vorrichtungen mit n Sensorelementen SE, wobei n eine ganze positive Zahl größer 1 ist und hier in diesem Beispiel $n=3$ beispielhaft gilt.

[1079] In dem Beispiel der **Fig. 71** umfasst die Vorrichtung mehrere - hier drei - Sensorelementkanäle. Jeder Sensorelementkanal ist bevorzugt einem Sensorelement der Sensorelemente SE(1410, 1420, 1430) zugeordnet.

Allgemeiner Sensorelementkanal

[1080] Die vorschlagsgemäße Vorrichtung kann typischerweise mehrere Sensorelementkanäle aufweisen. Die vorschlagsgemäße Vorrichtung umfasst vorzugsweise mindestens einen Sensorelementkanal oder besser mindestens zwei Sensorelementkanäle. In dem Beispiel der **Fig. 71** umfasst die vorschlagsgemäße Vorrichtung beispielhaft drei Sensorelementkanäle.

[1081] Vorzugsweise umfasst ein Sensorelementkanal

- einen ersten Signalgenerator G1, der das LED-Modulationssignal S5w erzeugt,
- einen Lichtquellentreiber LDRV, der das Sendesignal S5 für die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED, in Abhängigkeit von dem LED-Modulationssignal S5w erzeugt und vorzugsweise die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED, mit elektrischer Energie versorgt,
- ein Sendesignal S5;
- eine Pumpstrahlungsquelle, hier eine Lichtquelle LED, die die Pumpstrahlung LB in Abhängigkeit von dem Sendesignal S5 erzeugt und beispielsweise die Pumpstrahlungsquelle, hier eine Lichtquelle LED, nur zeitweise ein und nur zeitweise ausschaltet,
- ein erstes optisches System,
 - das ein oder mehrere optische Funktionselemente umfasst und
 - das die Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle, hier der Lichtquelle LED, erfasst und
 - das die Pumpstrahlung LB zum zugeordneten Sensorelement SE transportiert und
 - das die Pumpstrahlung LB aus dem ersten optischen System auskoppelt und
 - das das zugeordnete Sensorelement SE mit Pumpstrahlung LB bestrahlt und
 - das bevorzugt einen Lichtwellenleiter LWL für das Sensorelement SE als ein solches optisches Funktionselement umfasst,
- ein zweites optisches System,
 - das ein oder mehrere optische Funktionselemente umfasst und
 - das die Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE erfasst und
 - das Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE zum zugeordneten Fotodetektor PD transportiert und
 - das Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE aus dem zweiten optischen System auskoppelt und
 - das den zugeordneten Fotodetektor PD mit Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE bestrahlt und
 - das Funktionselemente, beispielsweise einen dichroitischen Spiegel F1 und/oder einen optischen Filter im Strahlengang, umfasst, die sicherstellen, dass im Wesentlichen keine Pumpstrahlung LB dieser oder anderer Pumpstrahlungsquellen, insbesondere die der Lichtquelle LED und/oder anderer Lichtquellen (LED, LED_1, LED2, LED_3), den Fotodetektor PD erreicht und

- das bevorzugt einen Lichtwellenleiter LWL für das Sensorelement SE als ein solches optisches Funktionselement umfasst und
- das Vorrichtungsteile umfassen kann, die mit Vorrichtungsteilen des ersten optischen Systems identisch sind,
- den Fotodetektor PD, der die Intensität der empfangenen Fluoreszenzstrahlung FL in eine Empfänger-ausgangssignal S0 wandelt,
- das Empfängerausgangssignal S0,
- einen ersten Verstärker V1 für das Sensorelement SE zur Verstärkung und/oder Digitalisierung des Empfangssignals S0 zum verstärkten Empfängerausgangssignal S1 bzw. zum digitalisierten Empfängerausgangssignal S1,
- das verstärkte Empfängerausgangssignal S1 bzw. das digitalisierte Empfängerausgangssignal S1,
- einen Mehrfachkorrelator LIV, der ein vektorielles Filterausgangssignal S4 in Abhängigkeit vom verstärkten Empfängerausgangssignal S1 bzw. vom digitalisierten Empfängerausgangssignal S1 und dem LED-Modulationssignal S5w bildet und Daten des vektoriiellen Filterausgangssignals S4 der Steuervorrichtung CTR zur Verfügung stellt, insbesondere für die Steuervorrichtung CTR bereithält oder an die Steuervorrichtung CTR oder eine andere Vorrichtung (z.B. den Mustererkennungsvorrichtung MEV) insbesondere zur Auswertung überträgt,
- ein vektorielles Filterausgangssignal S4 für das zugeordnete Sensorelement SE, das typischerweise ein Teil des eines gemeinsamen vektoriiellen Filterausgangssignals S4 der vektoriiellen Filterausgangssignale S4 anderer Sensorelementkanäle ist und typischerweise von einem Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder der Steuervorrichtung CTR ausgewertet wird.

[1082] In einer Weiterbildung umfasst der allgemeine Sensorelementkanal,

- einen zweiten Signalgenerator G2, der dazu eingerichtet ist, ein Mikrowellenmodulationssignal S5m zu erzeugen;
- eine Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980);
- eine Mikrowellensignalquelle μ WG, die dazu eingerichtet ist, das Mikrowellensignal μ W für die Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) in Abhängigkeit von dem Mikrowellenmodulationssignal S5m zu erzeugen und in die Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) einzuspeisen;
- den Mehrfachkorrelator LIV für das Sensorelement SE, der ein vektorielles Filterausgangssignal S4 für das Sensorelement SE in Abhängigkeit vom verstärkten Empfängerausgangssignal S1 für das Sensorelement SE bzw. vom digitalisierten Empfängerausgangssignal S1 für das Sensorelement SE und dem LED-Modulationssignal S5w für das Sensorelement SE und dem Mikrowellenmodulationssignal S5m bildet und Daten des vektoriiellen Filterausgangssignals S4 für das Sensorelement SE der Steuervorrichtung CTR zur Verfügung stellt, insbesondere für die Steuervorrichtung CTR bereithält oder an die Steuervorrichtung CTR oder eine andere Vorrichtung (z.B. die Mustererkennungsvorrichtung MEV) insbesondere zur Auswertung überträgt.

[1083] Die Fig. 71 weist drei solcher Sensorelementkanäle auf.

[1084] Ein beispielhafter erster, linker Sensorelementkanal ist dem beispielhaften linken Sensorelement 1410 zugeordnet.

[1085] Ein beispielhafter zweiter, mittlerer Sensorelementkanal ist dem beispielhaften mittleren Sensorelement 1420 zugeordnet.

[1086] Ein beispielhafter dritter, rechter Sensorelementkanal ist dem beispielhaften rechten Sensorelement 1430 zugeordnet.

Erster, linker Sensorelementkanal

[1087] Vorzugsweise umfasst der erste, linke Sensorelementkanal

- einen ersten Signalgenerator G1_1 für das linke Sensorelement 1410, der das LED-Modulationssignal S5w_1 für das linke Sensorelement 1410 erzeugt,

- einen Lichtquellentreiber LDRV_1 für das linke Sensorelement 1410, der das Sendesignal S5_1 für das linke Sensorelement 1410 zur Ansteuerung der Pumpstrahlungsquelle für das linke Sensorelement 1410, hier die Lichtquelle LED_1 für das linke Sensorelement 1410, in Abhängigkeit von dem LED-Modulationssignal S5w_1 für das linke Sensorelement 1410 erzeugt und vorzugsweise die Pumpstrahlungsquelle für das linke Sensorelement 1410, hier die Lichtquelle LED_1 für das linke Sensorelement 1410, mit elektrischer Energie versorgt,
- ein Sendesignal S5_1 für das linke Sensorelement 1410;
- eine Pumpstrahlungsquelle für das linke Sensorelement 1410, hier eine Lichtquelle LED_1 für das linke Sensorelement 1410, die die Pumpstrahlung LB_1 für das linke Sensorelement 1410 in Abhängigkeit von dem Sendesignal S5_1 für das linke Sensorelement 1410 erzeugt und beispielsweise die Pumpstrahlungsquelle für das linke Sensorelement 1410, hier eine Lichtquelle LED_1 für das linke Sensorelement 1410, nur zeitweise ein und nur zeitweise ausschaltet,
- ein erstes optisches System für das linke Sensorelement 1410,
 - das ein oder mehrere optische Funktionselemente umfasst und
 - das die Pumpstrahlung LB_1 für das linke Sensorelement 1410 der Pumpstrahlungsquelle für das linke Sensorelement 1410, hier der Lichtquelle LED_1 für das linke Sensorelement 1410, erfasst und
 - das die Pumpstrahlung LB für das linke Sensorelement 1410 zum zugeordneten Sensorelement SE, hier dem linken Sensorelement 1410, transportiert und
 - das die Pumpstrahlung LB_1 für das linke Sensorelement 1410 aus dem ersten optischen System für das linke Sensorelement 1410 auskoppelt und
 - das das zugeordnete Sensorelement SE, hier das linke Sensorelement 1410, mit Pumpstrahlung LB_1 für das linke Sensorelement 1410 bestrahlt und
 - das bevorzugt einen Lichtwellenleiter LWL_1 für das linke Sensorelement 1410 als ein solches optisches Funktionselement umfasst,
- ein zweites optisches System,
 - das ein oder mehrere optische Funktionselemente umfasst und
 - das die Fluoreszenzstrahlung FL_1 der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE, hier des linken Sensorelements 1410, erfasst und
 - das Fluoreszenzstrahlung FL_1 der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE, hier des linken Sensorelements 1410, zum zugeordneten Fotodetektor PD_1 für das linke Sensorelement 1410 transportiert und
 - das Fluoreszenzstrahlung FL_1 der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE, hier des linken Sensorelements 1410, aus dem zweiten optischen System auskoppelt und
 - das den zugeordneten Fotodetektor PD_1 für das linke Sensorelement 1410 mit Fluoreszenzstrahlung FL_1 der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE, hier des linken Sensorelements 1410, bestrahlt und
 - das Funktionselemente, beispielsweise einen dichroitischen Spiegel F1_1 für das linke Sensorelement 1410 und/oder einen optischen Filter im Strahlengang, umfasst, die sicherstellen, dass im Wesentlichen keine Pumpstrahlung LB_1 dieser oder anderer Pumpstrahlungsquellen, insbesondere die der Lichtquelle LED_1 und/oder anderer Lichtquellen (LED, LED_1, LED2, LED_3), den Fotodetektor PD_1 für das linke Sensorelement 1410 erreicht und
 - das bevorzugt einen Lichtwellenleiter LWL_1 für das linke Sensorelement 1410 als ein solches optisches Funktionselement umfasst und
 - das Vorrichtungsteile umfassen kann, die mit Vorrichtungsteilen des ersten optischen Systems identisch sind,
- den Fotodetektor PD_1 für das linke Sensorelement 1410, der die Intensität der empfangenen Fluoreszenzstrahlung FL_1 des linken Sensorelements 1410, in ein Empfängerausgangssignal S0_1 für das linke Sensorelement 1410 wandelt,
- das Empfängerausgangssignal S0_1 für das linke Sensorelement 1410,

- einen ersten Verstärker V1_1 für das Sensorelement SE, hier für das linke Sensorelement 1410, zur Verstärkung und/oder Digitalisierung des Empfangssignals S0_1 für das linke Sensorelement 1410 zum verstärkten Empfängerausgangssignal S1_1 für das linke Sensorelement 1410 bzw. zum digitalisierten Empfängerausgangssignal S1_1 für das linke Sensorelement 1410,
- das verstärkte Empfängerausgangssignal S1_1 für das linke Sensorelement 1410 bzw. das digitalisierte Empfängerausgangssignal S1_1 für das linke Sensorelement 1410,
- einen Mehrfachkorrelator LIV_1 für das linke Sensorelement 1410, der ein vektorielles Filterausgangssignal S4_1 für das linke Sensorelement 1410 in Abhängigkeit vom verstärkten Empfängerausgangssignal S1_1 für das linke Sensorelement 1410 bzw. vom digitalisierten Empfängerausgangssignal S1_1 für das linke Sensorelement 1410 und dem LED-Modulationssignal S5w_1 für das linke Sensorelement 1410 bildet und Daten des vektoriiellen Filterausgangssignals S4_1 für das linke Sensorelement 1410 der Steuervorrichtung CTR zur Verfügung stellt, insbesondere für die Steuervorrichtung CTR bereithält oder an die Steuervorrichtung CTR oder eine andere Vorrichtung (z.B. den Mustererkennungsvorrichtung MEV) insbesondere zur Auswertung überträgt,
- ein vektorielles Filterausgangssignal S4_1 für das linke Sensorelement 1410, das typischerweise ein Teil des vektoriiellen Filterausgangssignals S4 ist und typischerweise von einem Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder der Steuervorrichtung CTR ausgewertet wird.

[1088] In einer Weiterbildung umfasst der erste Sensorelementkanal,

- einen ersten zweiten Signalgenerator G2_I, der dazu eingerichtet ist, ein erstes Mikrowellenmodulationssignal S5m_I zu erzeugen;
- eine erste Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980);
- eine erste Mikrowellensignalquelle μ WG_I, die dazu eingerichtet ist, das erste Mikrowellensignal μ W_I für die erste Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) in Abhängigkeit von dem ersten Mikrowellenmodulationssignal S5m_I zu erzeugen und in die erste Wellenleitung 1380, 1880, 2380, 6830, 6980 einzuspeisen;
- den Mehrfachkorrelator LIV_1 für das linke Sensorelement 1410, der ein vektorielles Filterausgangssignal S4_1 für das linke Sensorelement 1410 in Abhängigkeit vom verstärkten Empfängerausgangssignal S1_1 für das linke Sensorelement 1410 bzw. vom digitalisierten Empfängerausgangssignal S1_1 für das linke Sensorelement 1410 und dem LED-Modulationssignal S5w_1 für das linke Sensorelement 1410 und dem ersten Mikrowellenmodulationssignal S5m_I bildet und Daten des vektoriiellen Filterausgangssignals S4_1 für das linke Sensorelement 1410 der Steuervorrichtung CTR zur Verfügung stellt, insbesondere für die Steuervorrichtung CTR bereithält oder an die Steuervorrichtung CTR oder eine andere Vorrichtung (z.B. die Mustererkennungsvorrichtung MEV) insbesondere zur Auswertung überträgt.

[1089] Hinsichtlich der Funktionen und dem Zusammenwirken der Sensorelementkanal spezifischen Vorrichtungsteile (SE(1410); S5w_1, LDRV_1, S5_1, LED_1, LB_1, LWL_1, F1_1, PD_1, S0_1, V1_1, S1_1, LIV_1, S4_1) des ersten, linken Sensorelementkanals und der anderen nicht Sensorelementkanal spezifischen Vorrichtungsteile der Vorrichtung verweist das hier vorgelegte Dokument auf die Beschreibung der **Fig. 69** für die korrespondierenden Vorrichtungsteile (SE, S5w, LDRV, S5, LED, LB, LWL, F1, PD, S0, V1, S1, LIV, S4) des einen Sensorkanals der **Fig. 69** und der anderen nicht Sensorelementkanal spezifischen Vorrichtungsteile der Vorrichtung der **Fig. 69**.

Zweiter, mittlerer Sensorelementkanal

[1090] Vorzugsweise umfasst der zweite, mittlere Sensorelementkanal

- einen ersten Signalgenerator G1_2 für das mittlere Sensorelement 1420, der das LED-Modulationssignal S5w_2 für das mittlere Sensorelement 1420 erzeugt,
- einen Lichtquellentreiber LDRV_2 für das mittlere Sensorelement 1420, der das Sendesignal S5_2 für das mittlere Sensorelement 1420 zur Ansteuerung der Pumpstrahlungsquelle für das mittlere Sensorelement 1420, hier die Lichtquelle LED_2 für das mittlere Sensorelement 1420, in Abhängigkeit von dem LED-Modulationssignal S5w_2 für das mittlere Sensorelement 1420 erzeugt und vorzugsweise die Pumpstrahlungsquelle für das mittlere Sensorelement 1420, hier die Lichtquelle LED_2 für das mittlere Sensorelement 1420, mit elektrischer Energie versorgt,

- ein Sendesignal S5_2 für das mittlere Sensorelement 1420;
- eine Pumpstrahlungsquelle für das mittlere Sensorelement 1420, hier eine Lichtquelle LED_2 für das mittlere Sensorelement 1420, die die Pumpstrahlung LB_2 für das mittlere Sensorelement 1420 in Abhängigkeit von dem Sendesignal S5_2 für das mittlere Sensorelement 1420 erzeugt und beispielsweise die Pumpstrahlungsquelle für das mittlere Sensorelement 1420, hier eine Lichtquelle LED_2 für das mittlere Sensorelement 1420, nur zeitweise ein und nur zeitweise ausschaltet,
- ein erstes optisches System für das mittlere Sensorelement 1420,
 - das ein oder mehrere optische Funktionselemente umfasst und
 - das die Pumpstrahlung LB_2 für das mittlere Sensorelement 1420 der Pumpstrahlungsquelle für das mittlere Sensorelement 1420, hier der Lichtquelle LED_2 für das mittlere Sensorelement 1420, erfasst und
 - das die Pumpstrahlung LB_2 für das mittlere Sensorelement 1420 zum zugeordneten Sensorelement SE, hier dem mittleren Sensorelement 1420, transportiert und
 - das die Pumpstrahlung LB_2 für das mittlere Sensorelement 1420 aus dem ersten optischen System für das mittlere Sensorelement 1420 auskoppelt und
 - das das zugeordnete Sensorelement SE, hier das mittlere Sensorelement 1420, mit Pumpstrahlung LB_2 für das mittlere Sensorelement 1420 bestrahlt und
 - das bevorzugt einen Lichtwellenleiter LWL_2 für das mittlere Sensorelement 1420 als ein solches optisches Funktionselement umfasst,
- ein zweites optisches System,
 - das ein oder mehrere optische Funktionselemente umfasst und
 - das die Fluoreszenzstrahlung FL_2 der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE, hier des mittleren Sensorelements 1420, erfasst und
 - das Fluoreszenzstrahlung FL_2 der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE, hier des mittleren Sensorelements 1420, zum zugeordneten Fotodetektor PD_2 für das mittlere Sensorelement 1420 transportiert und
 - das Fluoreszenzstrahlung FL_2 der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE, hier des mittleren Sensorelements 1420, aus dem zweiten optischen System auskoppelt und
 - das den zugeordneten Fotodetektor PD_2 für das mittlere Sensorelement 1420 mit Fluoreszenzstrahlung FL_2 der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE, hier des mittleren Sensorelements 1420, bestrahlt und
 - das Funktionselemente, beispielsweise einen dichroitischen Spiegel F1_2 für das mittlere Sensorelement 1420 und/oder einen optischen Filter im Strahlengang, umfasst, die sicherstellen, dass im Wesentlichen keine Pumpstrahlung LB_2 dieser oder anderer Pumpstrahlungsquellen, insbesondere die der Lichtquelle LED_2 und/oder anderer Lichtquellen (LED, LED_1, LED2, LED_3), den Fotodetektor PD_2 für das mittlere Sensorelement 1420 erreicht und
 - das bevorzugt einen Lichtwellenleiter LWL_2 für das mittlere Sensorelement 1420 als ein solches optisches Funktionselement umfasst und
 - das Vorrichtungsteile umfassen kann, die mit Vorrichtungsteilen des ersten optischen Systems identisch sind,
- den Fotodetektor PD_2 für das mittlere Sensorelement 1420, der die Intensität der empfangenen Fluoreszenzstrahlung FL_2 des mittleren Sensorelements 1420, in ein Empfänger Ausgangssignal S0_2 für das mittlere Sensorelement 1420 wandelt,
- das Empfänger Ausgangssignal S0_2 für das mittlere Sensorelement 1420,
- einen ersten Verstärker V1_2 für das Sensorelement SE, hier für das mittlere Sensorelement 1410, zur Verstärkung und/oder Digitalisierung des Empfangssignals S0_2 für das mittlere Sensorelement 1420 zum verstärkten Empfänger Ausgangssignal S1_2 für das mittlere Sensorelement 1420 bzw. zum digitalisierten Empfänger Ausgangssignal S1_2 für das mittlere Sensorelement 1420,

- das verstärkte Empfänger Ausgangssignal S1_2 für das mittlere Sensorelement 1420 bzw. das digitalisierte Empfänger Ausgangssignal S1_2 für das mittlere Sensorelement 1420,
- einen Mehrfachkorrelator LIV_2 für das mittlere Sensorelement 1420, der ein vektoriell Filterausgangssignal S4_2 für das mittlere Sensorelement 1420 in Abhängigkeit vom verstärkten Empfänger Ausgangssignal S1_2 für das mittlere Sensorelement 1420 bzw. vom digitalisierten Empfänger Ausgangssignal S1_2 für das mittlere Sensorelement 1420 und dem LED-Modulationssignal S5w_2 für das mittlere Sensorelement 1420 bildet und Daten des vektoriellen Filterausgangssignals S4_2 für das mittlere Sensorelement 1420 der Steuervorrichtung CTR zur Verfügung stellt, insbesondere für die Steuervorrichtung CTR bereithält oder an die Steuervorrichtung CTR oder eine andere Vorrichtung (z.B. den Mustererkennungsvorrichtung MEV) insbesondere zur Auswertung überträgt,
- ein vektoriell Filterausgangssignal S4_2 für das mittlere Sensorelement 1420, das typischerweise ein Teil des vektoriellen Filterausgangssignals S4 ist und typischerweise von einem Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder der Steuervorrichtung CTR ausgewertet wird.

[1091] In einer Weiterbildung umfasst der zweite Sensorelementkanal,

- einen zweiten zweiten Signalgenerator G2_II, der dazu eingerichtet ist, ein zweites Mikrowellenmodulationssignal S5m_II zu erzeugen;
- eine zweite Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980);
- eine zweite Mikrowellensignalquelle μ WG_II, die dazu eingerichtet ist, das zweite Mikrowellensignal μ W_II für die zweite Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) in Abhängigkeit von dem zweiten Mikrowellenmodulationssignal S5m_II zu erzeugen und in die zweite Wellenleitung 1380, 1880, 2380, 6830, 6980 einzuspeisen;
- den Mehrfachkorrelator LIV_2 für das mittlere Sensorelement 1420, der ein vektoriell Filterausgangssignal S4_2 für das mittlere Sensorelement 1420 in Abhängigkeit vom verstärkten Empfänger Ausgangssignal S1_2 für das mittlere Sensorelement 1420 bzw. vom digitalisierten Empfänger Ausgangssignal S1_2 für das mittlere Sensorelement 1420 und dem LED-Modulationssignal S5w_2 für das mittlere Sensorelement 1420 und dem zweiten Mikrowellenmodulationssignal S5m_II bildet und Daten des vektoriellen Filterausgangssignals S4_2 für das mittlere Sensorelement 1420 der Steuervorrichtung CTR zur Verfügung stellt, insbesondere für die Steuervorrichtung CTR bereithält oder an die Steuervorrichtung CTR oder eine andere Vorrichtung (z.B. die Mustererkennungsvorrichtung MEV) insbesondere zur Auswertung überträgt.

[1092] Hinsichtlich der Funktionen und dem Zusammenwirken der Sensorelementkanal spezifischen Vorrichtungsteile (SE(1420); S5w_2, LDRV_2, S5_2, LED_2, LB_2, LWL_2, F1_2, PD_2, S0_2, V1_2, S1_2, LIV_2, S4_2) des zweiten, mittleren Sensorelementkanals und der anderen nicht Sensorelementkanal spezifischen Vorrichtungsteile der Vorrichtung verweist das hier vorgelegte Dokument auf die Beschreibung der **Fig. 69** für die korrespondierenden Vorrichtungsteile (SE, S5w, LDRV, S5, LED, LB, LWL, F1, PD, S0, V1, S1, LIV, S4) des einen Sensorkanals der **Fig. 69** und der anderen nicht Sensorelementkanal spezifischen Vorrichtungsteile der Vorrichtung der **Fig. 69**.

Dritter, rechter Sensorelementkanal

[1093] Vorzugsweise umfasst der dritte, rechte Sensorelementkanal

- einen ersten Signalgenerator G1_3 für das rechte Sensorelement 1430, der das LED-Modulationssignal S5w_3 für das rechte Sensorelement 1430 erzeugt,
- einen Lichtquellentreiber LDRV_3 für das rechte Sensorelement 1430, der das Sendesignal S5_3 für das rechte Sensorelement 1430 zur Ansteuerung der Pumpstrahlungsquelle für das rechte Sensorelement 1430, hier die Lichtquelle LED_3 für das rechte Sensorelement 1430, in Abhängigkeit von dem LED-Modulationssignal S5w_3 für das rechte Sensorelement 1430 erzeugt und vorzugsweise die Pumpstrahlungsquelle für das rechte Sensorelement 1430, hier die Lichtquelle LED_3 für das rechte Sensorelement 1430, mit elektrischer Energie versorgt,
- ein Sendesignal S5_3 für das rechte Sensorelement 1430;
- eine Pumpstrahlungsquelle für das rechte Sensorelement 1430, hier eine Lichtquelle LED_3 für das rechte Sensorelement 1430, die die Pumpstrahlung LB_3 für das rechte Sensorelement 1430 in Abhängigkeit von dem Sendesignal S5_3 für das rechte Sensorelement 1430 erzeugt und beispielsweise die

Pumpstrahlungsquelle für das rechte Sensorelement 1430, hier eine Lichtquelle LED_3 für das rechte Sensorelement 1430, nur zeitweise ein und nur zeitweise ausschaltet,

- ein erstes optisches System für das rechte Sensorelement 1430,
 - das ein oder mehrere optische Funktionselemente umfasst und
 - das die Pumpstrahlung LB_3 für das rechte Sensorelement 1430 der Pumpstrahlungsquelle für das rechte Sensorelement 1430, hier der Lichtquelle LED_3 für das rechte Sensorelement 1430, erfasst und
 - das die Pumpstrahlung LB_3 für das rechte Sensorelement 1430 zum zugeordneten Sensorelement SE, hier dem rechten Sensorelement 1430, transportiert und
 - das die Pumpstrahlung LB_3 für das rechte Sensorelement 1430 aus dem ersten optischen System für das rechte Sensorelement 1430 auskoppelt und
 - das das zugeordnete Sensorelement SE, hier das rechte Sensorelement 1430, mit Pumpstrahlung LB_3 für das rechte Sensorelement 1430 bestrahlt und
 - das bevorzugt einen Lichtwellenleiter LWL_3 für das rechte Sensorelement 1430 als ein solches optisches Funktionselement umfasst,
- ein zweites optisches System,
 - das ein oder mehrere optische Funktionselemente umfasst und
 - das die Fluoreszenzstrahlung FL_3 der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE, hier des rechten Sensorelements 1430, erfasst und
 - das Fluoreszenzstrahlung FL_3 der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE, hier des rechten Sensorelements 1430, zum zugeordneten Fotodetektor PD_3 für das rechte Sensorelement 1430 transportiert und
 - das Fluoreszenzstrahlung FL_3 der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE, hier des rechten Sensorelements 1430, aus dem zweiten optischen System auskoppelt und
 - das den zugeordneten Fotodetektor PD_3 für das rechte Sensorelement 1430 mit Fluoreszenzstrahlung FL_3 der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten Sensorelements SE, hier des rechten Sensorelements 1430, bestrahlt und
 - das Funktionselemente, beispielsweise einen dichroitischen Spiegel F1_3 für das rechte Sensorelement 1430 und/oder einen optischen Filter im Strahlengang, umfasst, die sicherstellen, dass im Wesentlichen keine Pumpstrahlung LB_3 dieser oder anderer Pumpstrahlungsquellen, insbesondere die der Lichtquelle LED_3 und/oder anderer Lichtquellen (LED, LED_1, LED2, LED_3), den Fotodetektor PD_3 für das rechte Sensorelement 1430 erreicht und
 - das bevorzugt einen Lichtwellenleiter LWL_3 für das rechte Sensorelement 1430 als ein solches optisches Funktionselement umfasst und
 - das Vorrichtungsteile umfassen kann, die mit Vorrichtungsteilen des ersten optischen Systems identisch sind,
- den Fotodetektor PD_3 für das rechte Sensorelement 1430, der die Intensität der empfangenen Fluoreszenzstrahlung FL_3 des rechten Sensorelements 1430, in ein Empfängerausgangssignal S0_3 für das rechte Sensorelement 1430 wandelt,
- das Empfängerausgangssignal S0_3 für das rechte Sensorelement 1430,
 - einen ersten Verstärker V1_23 für das Sensorelement SE, hier für das rechte Sensorelement 1430, zur Verstärkung und/oder Digitalisierung des Empfangssignals S0_3 für das rechte Sensorelement 1430 zum verstärkten Empfängerausgangssignal S1_3 für das rechte Sensorelement 1430 bzw. zum digitalisierten Empfängerausgangssignal S1_3 für das rechte Sensorelement 1430,
 - das verstärkte Empfängerausgangssignal S1_3 für das rechte Sensorelement 1430 bzw. das digitalisierte Empfängerausgangssignal S1_3 für das rechte Sensorelement 1430,
 - einen Mehrfachkorrelator LIV_3 für das rechte Sensorelement 1430, der ein vektorielles Filterausgangssignal S4_3 für das rechte Sensorelement 1430 in Abhängigkeit vom verstärkten Empfängerausgangssignal S1_3 für das rechte Sensorelement 1430 bzw. vom digitalisierten Empfängerausgangssig-

nal S1_3 für das rechte Sensorelement 30e0 und dem LED-Modulationssignal S5w_3 für das rechte Sensorelement 1430 bildet und Daten des vektoriellen Filterausgangssignals S4_3 für das rechte Sensorelement 1430 der Steuervorrichtung CTR zur Verfügung stellt, insbesondere für die Steuervorrichtung CTR bereithält oder an die Steuervorrichtung CTR oder eine andere Vorrichtung (z.B. den Mustererkennungsvorrichtung MEV) insbesondere zur Auswertung überträgt,

- ein vektorielles Filterausgangssignal S4_3 für das rechte Sensorelement 1430, das typischerweise ein Teil des vektoriellen Filterausgangssignals S4 ist und typischerweise von einem Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder der Steuervorrichtung CTR ausgewertet wird.

[1094] In einer Weiterbildung umfasst der dritte Sensorelementkanal,

- einen dritte zweiten Signalgenerator G2_III, der dazu eingerichtet ist, ein drittes Mikrowellenmodulationssignal S5m_III zu erzeugen;
- eine dritte Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980);
- eine dritte Mikrowellensignalquelle gWG_III, die dazu eingerichtet ist, das dritte Mikrowellensignal μW_{III} für die dritte Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) in Abhängigkeit von dem dritten Mikrowellenmodulationssignal S5m_III zu erzeugen und in die dritte Wellenleitung 1380, 1880, 2380, 6830, 6980 einzuspeisen;
- den Mehrfachkorrelator LIV_3 für das rechte Sensorelement 1430, der ein vektorielles Filterausgangssignal S4_3 für das rechte Sensorelement 1430 in Abhängigkeit vom verstärkten Empfänger Ausgangssignal S1_3 für das rechte Sensorelement 1430 bzw. vom digitalisierten Empfänger Ausgangssignal S1_3 für das rechte Sensorelement 1430 und dem LED-Modulationssignal S5w_3 für das rechte Sensorelement 1430 und dem dritten Mikrowellenmodulationssignal S5m_III bildet und Daten des vektoriellen Filterausgangssignals S4_3 für das rechte Sensorelement 1430 der Steuervorrichtung CTR zur Verfügung stellt, insbesondere für die Steuervorrichtung CTR bereithält oder an die Steuervorrichtung CTR oder eine andere Vorrichtung (z.B. die Mustererkennungsvorrichtung MEV) insbesondere zur Auswertung überträgt.

[1095] Hinsichtlich der Funktionen und dem Zusammenwirken der Sensorelementkanal spezifischen Vorrichtungsteile (SE(1430); S5w_3, LDRV_3, S5_3, LED_3, LB_3, LWL_3, F1_3, PD_3, S0_3, V1_3, S1_3, LIV_3, S4_3) des dritten, rechten Sensorelementkanals und der anderen nicht Sensorelementkanal spezifischen Vorrichtungsteile der Vorrichtung verweist das hier vorgelegte Dokument auf die Beschreibung der **Fig. 69** für die korrespondierenden Vorrichtungsteile (SE, S5w, LDRV, S5, LED, LB, LWL, F1, PD, S0, V1, S1, LIV, S4) des einen Sensorkanals der **Fig. 69** und der anderen nicht Sensorelementkanal spezifischen Vorrichtungsteile der Vorrichtung der **Fig. 69**.

[1096] Die Anordnung der Sensorelemente 1410, 1420 1430 und der Leitungen 1310, 1320, 1330 auf dem Trägersubstrat 1360 bei bevorzugtem Vorhandensein eines Magnetfelderzeugungsmittels Lc beispielsweise einer Flachspule 2520 entspricht also im Wesentlichen der Anordnungen der **Fig. 68** und **67**.

Alternative Verwendung einer Schlitzleitung 1880

[1097] Weglassen des Signalleiters 1330 verwandelt die Triplate-Leitung 2380 in eine Schlitzleitung 1880. Das linke Sensorelement 1410 wird dann vorzugsweise auf der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 der beispielhaften Schlitzleitung 1880 links des Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880 nahe der Kante des Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880 platziert. Das rechte Sensorelement 1430 wird dann vorzugsweise auf der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 der beispielhaften Schlitzleitung 1880 rechts des Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880 nahe der Kante Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880 platziert. Das mittlere Sensorelement 1420 wird dann vorzugsweise möglichst mittig in dem Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 platziert.

[1098] Da die Empfindlichkeiten der Sensorelemente 1410, 1420, 1430 andere als die bei der Verwendung einer Tri-Plate-Leitung 2380 sind, müssen die Parameter die die Vorrichtungsteile verwenden, ggf. angepasst werden.

Alternative Verwendung einer Mikrostreifenleitung 1380

[1099] Weglassen der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 und der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 verwandelt die Triplate-Leitung 2380 in eine Mikrostreifenleitung 1380. Das linke

Sensorelement 1410 wird dann vorzugsweise auf der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationsfläche 1340 der beispielhaften Mikrostreifenleitung 1380 links des Signalleiters 1330 der Mikrostreifenleitung 1380 nahe der Kante des Signalleiters 1330 der Mikrostreifenleitung 1380 platziert. Das rechte Sensorelement 1430 wird dann vorzugsweise auf der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationsfläche 1350 der beispielhaften Mikrostreifenleitung 1380 rechts des Signalleiters 1330 der Mikrostreifenleitung 1380 nahe der Kante des Signalleiters 1330 der Mikrostreifenleitung 1380 platziert. Das mittlere Sensorelement 1420 wird dann vorzugsweise möglichst mittig auf dem Signalleiters 1330 der Mikrostreifenleitung 1380 platziert.

[1100] Da die Empfindlichkeiten der Sensorelemente 1410, 1420, 1430 andere als die bei der Verwendung einer Schlitzleitung 1880 sind, müssen die Parameter die die Vorrichtungsteile verwenden, ggf. angepasst werden. Im Falle der Verwendung einer Tri-Plate-Leitung 2380 sind die Parameterunterschiede zwischen den Parametern, die die Vorrichtungsteile im Falle einer Tri-Plate-Leitung 2380 verwenden, und den Parametern, die die Vorrichtungsteile im Falle einer Mikrostreifenleitung 1380 verwenden, in der Regel geringer.

Vereinfachung ohne linkes Sensorelement 1410

[1101] Sofern auf das linke Sensorelement 1410 verzichtet wird, können die sensorelementkanalspezifischen Vorrichtungsteile (SE(1410); S5w_1, LDRV_1, S5_1, LED_1, LB_1, LWL_1, F1_1, PD_1, S0_1, V1_1, S1_1, LIV_1, S4_1) des ersten linken Sensorelementkanals auch entfallen. Die Verarbeitung des dann in der Dimensionalität reduzierten vektoriellen Filterausgangssignals S4 durch die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder die Steuervorrichtung CTR muss dann noch entsprechend angepasst werden.

Vereinfachung ohne rechtes Sensorelement 1430

[1102] Sofern auf das rechte Sensorelement 1430 verzichtet wird, können die sensorelementkanalspezifischen Vorrichtungsteile (SE(1430); S5w_3, LDRV_3, S5_3, LED_3, LB_3, LWL_3, F1_3, PD_3, S0_3, V1_3, S1_3, LIV_3, S4_3) des dritten rechten Sensorelementkanals auch entfallen. Die Verarbeitung des dann in der Dimensionalität reduzierten vektoriellen Filterausgangssignals S4 durch die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder die Steuervorrichtung CTR muss dann noch entsprechend angepasst werden.

Vereinfachung ohne mittleres Sensorelement 1420

[1103] Sofern auf das mittlere Sensorelement 1420 verzichtet wird, können die sensorelementkanalspezifischen Vorrichtungsteile (SE(1420); S5w_2, LDRV_2, S5_2, LED_2, LB_2, LWL_2, F1_2, PD_2, S0_2, V1_2, S1_2, LIV_2, S4_2) des zweiten mittleren Sensorelementkanals auch entfallen. Die Verarbeitung des dann in der Dimensionalität reduzierten vektoriellen Filterausgangssignals S4 durch die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder die Steuervorrichtung CTR muss dann noch entsprechend angepasst werden. Eine solche Vorrichtung ist gegenüber Anteilen der magnetischen Flussdichte, die senkrecht zur Oberfläche des Trägersubstrats 1370 stehen oder dessen Anteile der magnetischen Flussdichte parallel zur Signalleitung 1330 stehen, jedoch -nicht oder nur wenig empfindlich.

Vereinfachung nur mit linken Sensorelement 1410

[1104] Sofern auf das rechte Sensorelement 1430 und das mittlere Sensorelement 1420 verzichtet wird, können die sensorelementkanalspezifischen Vorrichtungsteile (SE(1420); S5w_2, LDRV_2, S5_2, LED_2, LB_2, LWL_2, F1_2, PD_2, S0_2, V1_2, S1_2, LIV_2, S4_2) des zweiten mittleren Sensorelementkanals und (SE(1430); S5w_3, LDRV_3, S5_3, LED_3, LB_3, LWL_3, F1_3, PD_3, S0_3, V1_3, S1_3, LIV_3, S4_3) des dritten rechten Sensorelementkanals auch entfallen. Die Verarbeitung des dann in der Dimensionalität reduzierten vektoriellen Filterausgangssignals S4 durch die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder die Steuervorrichtung CTR muss dann noch entsprechend angepasst werden. Eine solche Vorrichtung ist gegenüber Anteilen der magnetischen Flussdichte, die senkrecht zur Oberfläche des Trägersubstrats 1370 stehen oder dessen Flussdichtevektor parallel zur Signalleitung 1330 steht, jedoch -nicht oder nur wenig empfindlich.

Vereinfachung nur mit rechtem Sensorelement 1430

[1105] Sofern auf das linke Sensorelement 1410 und das mittlere Sensorelement 1420 verzichtet wird, können die sensorelementkanalspezifischen Vorrichtungsteile (SE(1420); S5w_2, LDRV_2, S5_2, LED_2, LB_2, LWL_2, F1_2, PD_2, S0_2, V1_2, S1_2, LIV_2, S4_2) des zweiten mittleren Sensorelementkanals und (SE(1410); S5w_1, LDRV_1, S5_1, LED_1, LB_1, LWL_1, F1_1, PD_1, S0_1, V1_1, S1_1, LIV_1, S4_1) des

ersten linken Sensorelementkanals auch entfallen. Die Verarbeitung des dann in der Dimensionalität reduzierten vektoriellen Filterausgangssignals S4 durch die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder die Steuervorrichtung CTR muss dann noch entsprechend angepasst werden. Eine solche Vorrichtung ist gegenüber Anteilen der magnetischen Flussdichte, die senkrecht zur Oberfläche des Trägersubstrats 1370 stehen oder dessen Flussdichtevektor parallel zur Signalleitung 1330 stehen, jedoch -nicht oder nur wenig empfindlich.

Vereinfachung nur mit mittlerem Sensorelement 1420

[1106] Sofern auf das linke Sensorelement 1430 und das rechte Sensorelement 1430 verzichtet wird, können die sensorelementkanalspezifischen Vorrichtungsteile SE(1430); S5w_3, LDRV_3, S5_3, LED_3, LB_3, LWL_3, F1_3, PD_3, S0_3, V1_3, S1_3, LIV_3, S4_3) des dritten rechten Sensorelementkanals und (SE (1410); S5w_1, LDRV_1, S5_1, LED_1, LB_1, LWL_1, F1_1, PD_1, S0_1, V1_1, S1_1, LIV_1, S4_1) des ersten linken Sensorelementkanals auch entfallen. Die Verarbeitung des dann in der Dimensionalität reduzierten vektoriellen Filterausgangssignals S4 durch die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder die Steuervorrichtung CTR muss dann noch entsprechend angepasst werden. Eine solche Vorrichtung ist gegenüber Anteilen der magnetischen Flussdichte, die parallel zur Oberfläche des Trägersubstrats 1370 ausgerichtet sind, jedoch -nicht oder nur wenig empfindlich.

[1107] Natürlich ist es denkbar, dass die Vorrichtung weitere Trägersubstrate mit Wellenleitungen (2380, 1880, 1380, 6830) und Sensorelementen (SE, 1410, 1420, 1430, 1710, 2210, 2410, 2420, 2430, 4410, 7115, 7125, 1735, 7145 und 7155) und vorzugsweise zu jedem Sensorelement jeweils bevorzugt einen Sensorelementkanal mit entsprechenden Vorrichtungsteilen korrespondierend zu dem Vorrichtungsteilen (SE, S5w, LDRV, S5, LED, LB, LWL, F1, PD, S0, V1, S1, LIV, S4) des einen Sensorkanals der **Fig. 58** umfasst. Besonders bevorzugt sind Vorrichtungen, die zwei Wellenleiter (2380, 1880, 1380, 6830) mit jeweils einem oder mehreren Sensorelementen (SE, 1410, 1420, 1430, 1710, 2210, 2410, 2420, 2430, 4410, 7115, 7125, 1735, 7145 und 7155) und zugehörigen Sensorelementkanälen und den Sensorelementkanal unabhängigen Vorrichtungsteilen umfassen, bei denen die Wellenleiter senkrecht zueinander angeordnet sind. Besonders bevorzugt sind Vorrichtungen, die zwei Wellenleiter (2380, 1880, 1380, 6830) mit jeweils einem oder mehreren Sensorelementen (SE, 1410, 1420, 1430, 1710, 2210, 2410, 2420, 2430, 4410, 7115, 7125, 1735, 7145 und 7155) und zugehörigen Sensorelementkanälen und den Sensorelementkanal unabhängigen Vorrichtungsteilen umfassen, bei denen die Wellenleiter senkrecht zueinander in der Ebene der Oberfläche eines der Trägersubstrate 1370 angeordnet sind. (Siehe **Fig. 91**) Besonders bevorzugt sind Vorrichtungen, die zwei Wellenleiter (2380, 1880, 1380, 6830) mit jeweils einem oder mehreren Sensorelementen (SE, 1410, 1420, 1430, 1710, 2210, 2410, 2420, 2430, 4410, 7115, 7125, 1735, 7145 und 7155) und zugehörigen Sensorelementkanälen und den Sensorelementkanal unabhängigen Vorrichtungsteilen umfassen, bei denen die Wellenleiter senkrecht zueinander an der Oberfläche des gleichen Trägersubstrats 1370 angeordnet sind.

[1108] Typischerweise verfügen Sensorelemente (1410, 1420, 1430) eines Wellenleiters (2380, 1880, 1380, 6830) über ein oder mehrere gemeinsame Flachspulen 2520 als gemeinsames Magnetfelderzeugungsmittel Lc. Bevorzugt ermitteln die Steuervorrichtung CTR und/oder der Magnetfeldregler LCTR einen Wert für die Gesamtflussdichte B_z und vergleicht diesen ermittelten Wert der Gesamtflussdichte B_z mit einem Sollwert. Bevorzugt ermitteln die Steuervorrichtung CTR und/oder der Magnetfeldregler LCTR den Wert für die Gesamtflussdichte B_z mittels der Auswertung des vektoriellen Filterausgangssignals S4 und/oder mittels eines Magnetfeldsensors MS und einer Magnetfeldsensoransteuerung SIS.

Vektorieller Sensorelementkanal

[1109] Im Sinne des hier vorgelegten Dokuments kann die Mehrzahl der Sensorelemente (SE, 1410, 1420, 1430, 1710, 2210, 2410, 2420, 2430, 4410, 7115, 7125, 1735, 7145 und 7155) auch als ein vektorielles Sensorelement SE aufgefasst werden, dass eine Mehrzahl separater Fluoreszenzstrahlungssignale (FL_1, FL_2, FL_3) als vektorielles Fluoreszenzstrahlungssignal FL bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} erzeugt.

[1110] Die vorschlagsgemäße Vorrichtung kann typischerweise mehrere vektorielle Sensorelementkanäle und vektorielle Sensorelemente SE aufweisen. Die vorschlagsgemäße vektorielle Vorrichtung umfasst vorzugsweise mindestens einen vektoriellen Sensorelementkanal mit vorzugsweise mindestens zwei Sensorelementkanälen. In dem Beispiel der **Fig. 60** umfasst die vorschlagsgemäße Vorrichtung beispielhaft einen dreidimensionalen vektoriellen Sensorelementkanal mit drei Sensorelementkanälen und einem dreidimensionalen vektoriellen Sensorelement mit drei Sensorelementen (SE, 1410, 1420, 1430).

[1111] Vorzugsweise umfasst ein vektorieller Sensorelementkanal

- einen ersten Signalgenerator G1, der ein LED-Modulationssignal S5w erzeugt, oder einen ersten vektoriellen Signalgenerator G1 umfassend mehrere Signalgeneratoren (G1_1, G1_2, G1_3), der ein vektorielles LED-Modulationssignal S5w umfassen mehrere LED-Modulationssignale (S5w_1, S5w_2, S5w_3) erzeugt,
- einen vektoriellen Lichtquellentreiber LDRV umfassend mehrere Lichtquellentreiber (LDRV_1, LDRV_2, LDRV_3), der das vektorielle Sendesignal S5 für die vektorielle Pumpstrahlungsquelle, hier die vektorielle Lichtquelle LED, in Abhängigkeit von dem vektoriellen LED-Modulationssignal S5w und/oder dem LED-Modulationssignal S5w erzeugt und vorzugsweise die vektorielle Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquellen (LED_1, LED_2, LED_3) der vektoriellen Lichtquelle LED, mit elektrischer Energie versorgt,
- ein vektorielles Sendesignal S5, umfassen mehrere Sendesignale (S5_1, S5_2, S5_3),
- eine vektorielle Pumpstrahlungsquelle, hier eine vektorielle Lichtquelle LED, die die vektorielle Pumpstrahlung LB in Abhängigkeit von dem vektoriellen Sendesignal S5 erzeugt und beispielsweise die Pumpstrahlungsquelle, hier eine vektorielle Lichtquelle LED umfassen mehrere Lichtquellen (LED_1, LED_2, LED_3,), nur zeitweise und/oder teilweise ein- und nur zeitweise und/oder teilweise ausschaltet,
- ein erstes vektorielles optisches System,
 - das ein oder mehrere vektorielle optische Funktionselemente umfasst und
 - das die vektorielle Pumpstrahlung LB der vektoriellen Pumpstrahlungsquelle, hier der vektoriellen Lichtquelle LED, in vektorieller Weise erfasst, d. h. die die vektoriellen Pumpstrahlungskomponenten (LB_1, LB_2, LB_3) separat erfasst, und
 - das die erfasste vektorielle Pumpstrahlung LB vektoriell, d.h. im Wesentlichen ohne Vermischung der vektoriellen Pumpstrahlungskomponenten (LB_1, LB_2, LB_3) und ohne ungleichmäßige Dämpfung oder Modifikation der vektoriellen Pumpstrahlungskomponenten (LB_1, LB_2, LB_3), zum zugeordneten vektoriellen Sensorelement SE, d.h. zu den zugeordneten Sensorelementen (z.B. 1410, 1420, 1430) transportiert und
 - das die vektorielle Pumpstrahlung LB aus dem ersten vektoriellen optischen System vektoriell auskoppelt, d.h. im Wesentlichen ohne Vermischung der vektoriellen Pumpstrahlungskomponenten (LB_1, LB_2, LB_3) und ohne ungleichmäßige Dämpfung oder Modifikation der vektoriellen Pumpstrahlungskomponenten (LB_1, LB_2, LB_3) auskoppelt, und
 - das das zugeordnete vektorielle Sensorelement SE, d.h. die zugeordneten Sensorelemente (z.B. 1410, 1420, 1430), mit vektorieller Pumpstrahlung LB, d.h. mit den Pumpstrahlungskomponenten (LB_1, LB_2, LB_3), bestrahlt, wobei eine Pumpstrahlungskomponenten (LB_1, LB_2, LB_3) bevorzugt einem oder mehreren Sensorelementen (z.B. 1410, 1420, 1430) zugeordnet ist und wobei bevorzugt jedem benutzen Sensorelement (z.B. 1410, 1420, 1430) genau eine Pumpstrahlungskomponente (LB_1, LB_2, LB_3) zugeordnet ist, und
 - das bevorzugt einen vektoriellen Lichtwellenleiter LWL, der bevorzugt eine Mehrzahl von Lichtwellenleitern (LWL_1, LWL_2, LWL_3), für das vektorielle Sensorelement SE als ein solches vektorielles optisches Funktionselement umfasst,
- ein zweites vektorielles optisches System,
 - das ein oder mehrere vektorielle optische Funktionselemente umfasst und
 - das die vektorielle Fluoreszenzstrahlung FL vektoriell erfasst,
 - wobei die vektorielle Fluoreszenzstrahlung FL die Fluoreszenzstrahlungen (FL_1, FL_2, FL_3) der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten vektoriellen Sensorelements SE d.h. der Sensorelemente (z.B. 1410, 1420, 1430) als Fluoreszenzstrahlungskomponenten (FL_1, FL_2, FL_3) umfasst und
 - wobei diese Erfassung durch das zweite vektorielle optische System typischerweise im Wesentlichen ohne Vermischung der vektoriellen Fluoreszenzstrahlungskomponenten (FL_1, FL_2, FL_3) und ohne ungleichmäßige Dämpfung oder Modifikation der vektoriellen Fluoreszenzstrahlungskomponenten (FL_1, FL_2, FL_3) erfolgt, und

- das vektorielle Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten vektoriellen Sensorelements SE zum zugeordneten Fotodetektor PD, umfassend die Fotodetektoren (PD_1, PD_2, PD_3) vektoriell, d.h. im Wesentlichen ohne Vermischung der vektoriellen Fluoreszenzstrahlungskomponenten (FL_1, FL_2, FL_3) und ohne ungleichmäßige Dämpfung oder Modifikation der vektoriellen Fluoreszenzstrahlungskomponenten (FL_1, FL_2, FL_3), transportiert und
- das die vektorielle Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten vektoriellen Sensorelements SE aus dem zweiten vektoriellen optischen System vektoriell, d.h. im Wesentlichen ohne Vermischung der vektoriellen Fluoreszenzstrahlungskomponenten (FL_1, FL_2, FL_3) und ohne ungleichmäßige Dämpfung oder Modifikation der vektoriellen Fluoreszenzstrahlungskomponenten (FL_1, FL_2, FL_3), auskoppelt und
- das den zugeordneten vektoriellen Fotodetektor PD umfassend die Fotodetektoren (PD_1, PD_2, PD_3) mit vektorieller Fluoreszenzstrahlung FL umfassend die Fluoreszenzstrahlungen (FL_1, FL_2, FL_3) der NV-Zentren und/oder der paramagnetischen Zentren des zugeordneten vektoriellen Sensorelements SE vektoriell bestrahlt
 - wobei eine vektorielle Bestrahlung bedeutet,
 - dass vorzugsweise Fluoreszenzstrahlungskomponenten (FL_1, FL_2, FL_3) vorzugsweise jeweils ein Fotodetektor (PD_1, PD_2, PD_3) des vektoriellen Fotodetektors PD zugeordnet ist und
 - dass vorzugsweise Fotodetektoren (PD_1, PD_2, PD_3) des vektoriellen Fotodetektors PD vorzugsweise ein oder mehrere der Fluoreszenzstrahlungskomponenten (FL_1, FL_2, FL_3) zugeordnet sind und
 - dass besonders bevorzugt jeder Fluoreszenzstrahlungskomponente (FL_1, FL_2, FL_3) vorzugsweise genau ein Fotodetektor (PD_1, PD_2, PD_3) des vektoriellen Fotodetektors PD zugeordnet ist und
 - dass besonders bevorzugt jedem Fotodetektor (PD_1, PD_2, PD_3) des vektoriellen Fotodetektors PD genau eine der Fluoreszenzstrahlungskomponenten (FL_1, FL_2, FL_3) zugeordnet ist und
- das Funktionselemente, beispielsweise einen oder mehrere dichroitische Spiegel F1 und/oder einen oder mehrere optische Filter im Strahlengang, umfasst, die sicherstellen, dass im Wesentlichen keine Pumpstrahlung LB dieser oder anderer Pumpstrahlungsquellen, insbesondere die der Lichtquelle LED und/oder anderer Lichtquellen (LED, LED_1, LED_2, LED_3), den vektoriellen Fotodetektor PD erreicht und
- das bevorzugt einen oder mehrere Lichtwellenleiter LWL oder einen vektoriellen Lichtwellenleiter LWL für das vektorielle Sensorelement SE als ein solches vektorielles optisches Funktionselement umfasst und
 - wobei der vektoriellen Lichtwellenleiter LWL ein oder mehrere Lichtwellenleiter (LWL_1, LWL_2, LWL_3) mit jeweils einem ersten Ende und einem zweiten Ende umfasst und
 - wobei vorzugsweise Lichtwellenleiter (LWL_1, LWL_2, LWL_3) des vektoriellen Lichtwellenleiters LWL vorzugsweise einem Sensorelement (SE_1, SE_2, SE_3) des vektoriellen Sensorelements SE an ihrem zweiten Ende zugeordnet sind und
 - wobei vorzugsweise Lichtwellenleiter (LWL_1, LWL_2, LWL_3) des vektoriellen Lichtwellenleiters LWL vorzugsweise einem Fotodetektor (PD_1, PD_2, PD_3) des vektoriellen Fotodetektors SE an ihrem zweiten Ende zugeordnet sind und
 - wobei besonders bevorzugt jedem Lichtwellenleiter (LWL_1, LWL_2, LWL_3) des vektoriellen Lichtwellenleiters LWL vorzugsweise genau ein Sensorelement (SE_1, SE_2, SE_3) des vektoriellen Sensorelements SE an seinem ersten Ende zugeordnet ist und
 - wobei besonders bevorzugt jedem Lichtwellenleiter (LWL_1, LWL_2, LWL_3) des vektoriellen Lichtwellenleiters LWL vorzugsweise genau ein Fotodetektor (PD_1, PD_2, PD_3) des vektoriellen Fotodetektors SE an seinem ersten Ende zugeordnet ist und
- das Vorrichtungsteile umfassen kann, die mit Vorrichtungsteilen des ersten optischen Systems identisch sind,
 - den vektoriellen Fotodetektor PD, der die Intensität der empfangenen vektoriellen Fluoreszenzstrahlung FL in ein vektorielles Empfängerausgangssignal S0 wandelt,

- das vektorielle Empfänger Ausgangssignal S_0 , das die Empfänger Ausgangssignale (S_{0_1} , S_{0_2} , S_{0_3}) umfasst,
- einen ersten vektoriellen Verstärker V_1 für das vektorielle Sensorelement SE zur vektoriellen Verstärkung und/oder vektoriellen Digitalisierung des vektoriellen Empfänger Ausgangssignal S_0 zum verstärkten vektoriellen Empfänger Ausgangssignal S_1 bzw. zum digitalisierten vektoriellen Empfänger Ausgangssignal S_1 ,
 - wobei ersten vektoriellen Verstärker V_1 einen oder mehrere erste Verstärker (V_{1_1} , V_{1_2} , V_{1_3}) umfasst und
 - wobei erste Verstärker (V_{1_1} , V_{1_2} , V_{1_3}) des ersten vektoriellen Verstärkers V_1 ein Empfänger Ausgangssignal (S_{0_1} , S_{0_2} , S_{0_3}) des vektoriellen Empfänger Ausgangssignal S_0 zu einem verstärkten Empfänger Ausgangssignal (S_{1_1} , S_{1_2} , S_{1_3}) des verstärkten vektoriellen Empfänger Ausgangssignals S_1 bzw. zu einem digitalisierten Empfänger Ausgangssignal (S_{1_1} , S_{1_2} , S_{1_3}) des digitalisierten vektoriellen Empfänger Ausgangssignal S_1 verstärkt oder digitalisiert, und
- das verstärkte Empfänger Ausgangssignal S_1 bzw. das digitalisierte Empfänger Ausgangssignal S_1 , die ein oder mehrere verstärkte Empfänger Ausgangssignale (S_{1_1} , S_{1_2} , S_{1_3}) des verstärkten vektoriellen Empfänger Ausgangssignals S_1 bzw. zu einem digitalisierten Empfänger Ausgangssignal (S_{1_1} , S_{1_2} , S_{1_3}) umfassen,
- einen vektoriellen Mehrfachkorrelator LIV , der ein gemeinsames vektorielles Filterausgangssignal S_4 in Abhängigkeit vom vektoriellen verstärkten Empfänger Ausgangssignal S_1 bzw. vom vektoriellen digitalisierten Empfänger Ausgangssignal S_1 und dem vektoriellen LED-Modulationssignal S_{5w} bildet und Daten des vektoriellen Filterausgangssignals S_4 der Steuervorrichtung CTR zur Verfügung stellt, insbesondere für die Steuervorrichtung CTR bereithält oder an die Steuervorrichtung CTR oder eine andere Vorrichtung (z.B. die Mustererkennungsvorrichtung MEV) insbesondere zur Auswertung überträgt,
 - wobei der vektorielle Mehrfachkorrelator LIV typischerweise einen oder mehrere Mehrfachkorrelatoren (LIV_{1_1} , LIV_{1_2} , LIV_{1_3}) umfasst, und
 - wobei Mehrfachkorrelatoren (LIV_{1_1} , LIV_{1_2} , LIV_{1_3}) des vektoriellen Mehrfachkorrelators LIV , der ein Filterausgangssignal (S_{4_1} , S_{4_2} , S_{4_3}) des gemeinsamen vektoriellen Filterausgangssignals S_4 in Abhängigkeit von einem verstärkten Empfänger Ausgangssignal (S_{1_1} , S_{1_2} , S_{1_3}) des vektoriellen verstärkten Empfänger Ausgangssignal S_1 bzw. von einem digitalisierten Empfänger Ausgangssignal (S_{1_1} , S_{1_2} , S_{1_3}) des vektoriellen digitalisierten Empfänger Ausgangssignals S_1 und in Abhängigkeit von einem Modulationssignal (S_{5w_1} , S_{5w_2} , S_{5w_3}) des vektoriellen LED-Modulationssignals S_{5w} bildet und Daten des vektoriellen Filterausgangssignals (S_{4_1} , S_{4_2} , S_{4_3}) des gemeinsamen vektoriellen Filterausgangssignals S_4 der Steuervorrichtung CTR zur Verfügung stellt, insbesondere für die Steuervorrichtung CTR bereithält oder an die Steuervorrichtung CTR oder eine andere Vorrichtung (z.B. die Mustererkennungsvorrichtung MEV) insbesondere zur Auswertung überträgt,
- ein gemeinsames vektorielles Filterausgangssignal S_4 für das zugeordnete vektorielle Sensorelement SE ,
 - wobei das gemeinsame vektorielle Filterausgangssignal S_4 ein oder mehrere vektorielle Filterausgangssignale (S_{4_1} , S_{4_2} , S_{4_3}) umfasst, und
 - wobei typischerweise eine Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder die Steuervorrichtung CTR ein oder mehrere vektorielle Filterausgangssignale (S_{4_1} , S_{4_2} , S_{4_3}) und/oder das gemeinsame vektorielle Filterausgangssignal S_4 auswerten und/oder analysieren und/oder mittels computerimplementierter Verfahren verarbeiten.

[1112] In einer Weiterbildung umfasst der vektorielle Sensorelementkanal,

- einen zweiten Signalgenerator (G_2), der dazu eingerichtet ist, ein Mikrowellenmodulationssignal (S_{5m}) zu erzeugen, oder einen zweiten vektoriellen Signalgenerator (G_2), der mehrere zweite Signalgeneratoren (G_{2_1} , G_{2_2} , G_{2_3} , G_{2_4} , G_{2_5}) als zweite Signalgeneratorkomponenten umfasst und der dazu eingerichtet ist, ein vektorielles Mikrowellenmodulationssignal (S_{5m}) mit mehreren Mikrowellenmodulationssignalen (S_{5m_1} , S_{5m_2} , S_{5m_3} , S_{5m_4} , S_{5m_5}) als Mikrowellenmodulationssignalkomponenten zu erzeugen;
- eine Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) oder eine vektorielle Wellenleitung mit mehreren Wellenleitungen als Wellenleitungskomponenten (1380, 1880, 2380, 6830, 6980);

- eine Mikrowellensignalquelle (μWG), die dazu eingerichtet ist, das Mikrowellensignal (μW) für die Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) in Abhängigkeit von dem Mikrowellenmodulationssignal ($S5m$) zu erzeugen und in die Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) einzuspeisen oder
- eine vektorielle Mikrowellensignalquelle (μWG), die mehrere Mikrowellensignalquellen ($\mu\text{WG}_1, \mu\text{WG}_2, \mu\text{WG}_3, \mu\text{WG}_4, \mu\text{WG}_5$) als Mikrowellensignalquellenkomponenten umfasst und die dazu eingerichtet ist, das vektorielle Mikrowellensignal (μW) mit mehreren Mikrowellensignalen ($\mu\text{W}_1, \mu\text{W}_2, \mu\text{W}_3, \mu\text{W}_4, \mu\text{W}_5$) als Mikrowellensignalkomponenten in Abhängigkeit von dem vektoriellen Mikrowellenmodulationssignal ($S5m$) und/oder von dem Mikrowellenmodulationssignal ($S5m$) zu erzeugen und in die vektorielle Wellenleitung einzuspeisen und/oder
- eine vektorielle Mikrowellensignalquelle (μWG) aufweist, die mehrere Mikrowellensignalquellen ($\mu\text{WG}_1, \mu\text{WG}_2, \mu\text{WG}_3, \mu\text{WG}_4, \mu\text{WG}_5$) als Mikrowellensignalquellenkomponenten umfasst und wobei jeweilige Mikrowellensignalquellenkomponenten dazu eingerichtet sind, eine jeweilige Mikrowellensignalkomponente ($\mu\text{W}_1, \mu\text{W}_2, \mu\text{W}_3, \mu\text{W}_4, \mu\text{W}_5$) des vektoriellen Mikrowellensignals (μW) in Abhängigkeit von einer jeweiligen Mikrowellenmodulationssignalkomponente ($S5m_1, S5m_2, S5m_3, S5m_4, S5m_5$) des vektoriellen Mikrowellenmodulationssignal ($S5m$) und/oder von dem Mikrowellenmodulationssignal ($S5m$) zu erzeugen und in die jeweilige Wellenleitungskomponente (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) der vektoriellen Wellenleitung einzuspeisen;
- einen Mehrfachkorrelator (LIV), der dazu eingerichtet ist, ein Filterausgangssignal ($S4$) in Abhängigkeit vom verstärkten Empfänger Ausgangssignal ($S1$) bzw. vom digitalisierten Empfänger Ausgangssignal ($S1$) und von dem LED-Modulationssignal ($S5w$) und von einem Mikrowellenmodulationssignal ($S5m$) zu bilden oder mehrere Mehrfachkorrelatoren (LIV_1, LIV_2, LIV_3, LIV_4, LIV_5) eines vektoriellen Mehrfachkorrelators (LIV) als Mehrfachkorrelatorkomponenten umfasst, wobei jede der Mehrfachkorrelatorkomponenten (LIV_1, LIV_2, LIV_3, LIV_4, LIV_5) des vektoriellen Mehrfachkorrelators (LIV) jeweils dazu eingerichtet ist, jeweils ein jeweiliges Filterausgangssignal ($S4_1, S4_2, S4_3, S4_4, S4_5$) als jeweilige Filterausgangssignalkomponente eines gemeinsamen vektoriellen Filterausgangssignals ($S4$) in jeweiliger Abhängigkeit von der jeweiligen verstärkten Empfänger Ausgangssignalkomponente ($S1_1, S1_2, S1_3, S1_4, S1_5$) des vektoriellen verstärkten Empfänger Ausgangssignals ($S1$) bzw. in jeweiliger Abhängigkeit von der jeweiligen digitalisierten Empfänger Ausgangssignalkomponente ($S1_1, S1_2, S1_3, S1_4, S1_5$) des vektoriellen digitalisierten Empfänger Ausgangssignals ($S1$) und in jeweiliger Abhängigkeit von der jeweiligen LED-Modulationssignalkomponente ($S5w_1, S5w_2, S5w_3, S5w_4, S5w_5$) des vektoriellen LED-Modulationssignal ($S5w$) und zum ersten in jeweiliger Abhängigkeit von der jeweiligen Mikrowellenmodulationssignalkomponente ($S5m_1, S5m_2, S5m_3, S5m_4, S5m_5$) des vektoriellen Mikrowellenmodulationssignals ($S5m$) zu bilden oder zum zweiten in Abhängigkeit von dem Mikrowellenmodulationssignals ($S5m$) zu bilden.

Figur 72

[1113] Die Fig. 72 zeigt eine differentielle Mikrostreifenleitung 6880. Die beispielhafte differentielle Mikrostreifenleitung 6880 der Fig. 68 umfasst wieder ein vorzugsweise nicht oder nur wenig elektrisch leitendes Trägersubstrat 1360. Die differentielle Mikrostreifenleitung 6880 umfasst bevorzugt wieder einen elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 auf der Unterseite des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360. Die differentielle Mikrostreifenleitung 6880 umfasst bevorzugt eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende linke Isolationsfläche 1340 auf der Oberseite des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 und eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende rechte Isolationsfläche 1350 auf der Oberseite des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360. Des Weiteren umfasst bevorzugt die differentielle Mikrostreifenleitung 6880 eine linke elektrisch leitende Signalleitung 6810 auf der Oberseite des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 zwischen der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende linke Isolationsfläche 1340 einerseits und der elektrisch isolierenden Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 andererseits. Des Weiteren umfasst bevorzugt die differentielle Mikrostreifenleitung 6880 eine rechte elektrisch leitende Signalleitung 6820 auf der Oberseite des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 zwischen der elektrisch isolierenden Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 einerseits und der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationsfläche 1350 andererseits. Die elektrisch isolierende Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 isoliert elektrisch den linken Signalleiter 6810 von dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830. Der linke Signalleiter 6810 und der rechte Signalleiter 6820 bilden zusammen den differentiellen Signalleiter 6830 der differentielle Mikrostreifenleitung 6880. Die differentielle Mikrostreifenleitung 6880 kann mit einem Gleichtaktsignal angesteuert werden, bei dem in den linken Signalleiter 6810 und den rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 das gleiche Signal zeitsynchron

eingespeist wird. Dieser Betriebszustand heißt Gleichaktansteuerung mit einem Gleichtaktsignal. Die differentielle Mikrostreifenleitung 6880 kann mit einem Gegentaktaktsignal angesteuert werden, bei dem in den linken Signalleiter 6810 und den rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 das gleiche Signal zeitsynchron, aber mit unterschiedlichem Vorzeichen, eingespeist wird. Dieser Betriebszustand heißt Gegentaktansteuerung mit einem Gegentaktaktsignal.

[1114] Bevorzugt weist die differentielle Mikrostreifenleitung 6880 bezogen auf den differentieller Signalleiter 6830 als „heißen“ Innenleiter einen Gleichaktwellenwiderstand für eine Gleichaktansteuerung auf und einen Gegentaktwellenwiderstand für eine Gegentaktansteuerung auf.

[1115] Eine solche differentielle Mikrostreifenleitung 6880 ermöglicht durch unterschiedliche Nutzung der Gleichtakt- und Gegentaktansteuerung die vereinfachte Ansteuerung der Sensorelemente SE.

[1116] Bei Gleichaktansteuerung verhält sich der differentielle Signalleiter 6830 im Wesentlichen wie der Signalleiter 1330 einer beispielhaften Mikrostreifenleitung 1380. Die die differentielle Mikrostreifenleitung 6880 verhält sich bei Gleichaktansteuerung also im Wesentlichen wie eine Mikrostreifenleitung 1380.

[1117] Auch kann man den differentiellen Signalleiter 6830 bei Gegentaktansteuerung wie eine spezielle Schlitzleitung 1880 betrachten, bei der die Breite der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 der Schlitzleitung 1880 auf der Oberseite des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 auf die Breite des linken Signalleiters 6810 geschrumpft ist und bei der die Breite der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 der Schlitzleitung 1880 auf der Oberseite des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 auf die Breite des rechten Signalleiters 6820 geschrumpft ist. Die elektrisch isolierende Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 entspricht dann dem Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880. Der Abstand des linken Signalleiters 6810 vom rechten Signalleiter 6820, also die Breite der elektrisch isolierenden Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 entspricht daher in ihrer Funktion der Breite d_{SL} des Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880. Dies ist insofern von Bedeutung, als dass die folgenden Positionierungen der Sensorelemente SE dann besser zu verstehen sind.

[1118] Fig. 72 zeigt darüber hinaus eine beispielhafte differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980. Die beispielhafte differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 umfasst eine differenzielle Mikrostreifenleitung 6880 mit einem differentiellen Signalleiter 6830. Die differenzielle Mikrostreifenleitung 6880 wurde bereits erläutert. Die differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 umfasst zusätzlich eine elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 und eine elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320.

[1119] Die elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 ist durch eine elektrisch nicht-leitende linke Isolationslücke 2340 von dem linken Signalleiter 6810 des differentiellen Signalleiters 6830 der differenziellen Mikrostreifenleitung 6880 der beispielhaften differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980 beabstandet und isoliert.

[1120] Die elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 ist durch eine elektrisch nicht-leitende rechte Isolationslücke 2350 von dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 der differenziellen Mikrostreifenleitung 6880 der beispielhaften differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980 beabstandet und isoliert.

[1121] Die elektrisch isolierende Lücke 6840 separiert den linken Signalleiter 6810 von dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 der differenziellen Mikrostreifenleitung 6880 der beispielhaften differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980.

[1122] Wie bei der differenziellen Mikrostreifenleitung 6880 weist die differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 zumindest zwei unabhängige Wellenwiderstände auf. Die technische Lehre der hier vorgelegten Schrift geht vereinfachend davon aus, dass die elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 und die elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 und der elektrisch leitende Rückseitenkontakt 1370 miteinander elektrisch verbunden sind oder zumindest als Signalmasse angesehen werden können. Dies ist aber nicht zwingend so. Ggf. können sie auch zeitgleich als Zu- und Ableitung von elektrischer Energie zu Vorrichtungsteilen verwendet werden, die mit einem Gleichstrom oder einer Gleichspannung oder Wechselspannung versorgt werden müssen. Eine solche Energieversorgung dürfte aber in der Regel problematisch sein, da sie magnetische Felder erzeugt, die unerwünscht sind. Im Folgenden geht die hier vorgelegte Schrift daher davon aus, dass bis auf die von Signalgeneratoren eingespeisten Signale zur Ansteuerung der Senso-

relemente SE keine weiteren Signale über die differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 transportiert werden, was bevorzugt ist.

[1123] Bevorzugt ist die differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 an dem Ende, das dem anderen Ende der differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980, an dem die Einspeisung der Signale erfolgt, gegenüberliegt, mit Anschlusswiderständen 6710 abgeschlossen.

[1124] Bevorzugt ist die Breite der elektrisch nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340 im Wesentlichen gleich der Breite der elektrisch nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340.

[1125] Bevorzugt sind die Breiten der elektrisch nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340 und der elektrisch nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340 einerseits und die Breite der elektrisch isolierende Lücke 6840 so relativ zueinander eingestellt, dass der Gleichtaktwellenwiderstand der differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 bei Gleichtaktansteuerung des differentiellen Signalleiters 6830 der differenziellen Mikrostreifenleitung 6880 der beispielhaften differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980 im Wesentlichen gleich dem Gegentaktwellenwiderstand der differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 bei Gegentaktansteuerung des differentiellen Signalleiters 6830 der differenziellen Mikrostreifenleitung 6880 der beispielhaften differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980 ist.

[1126] Dies vereinfacht die Konstruktion der Ansteuerschaltungen (z.B. der Mikrowellensignalquelle μ WG) und der Abschlusswiderstände 6710.

[1127] Die beispielhafte Tri-Plate-Leitung 6980 der **Fig. 72** ist um verschiedene Sensorelemente SE an verschiedenen Punkten der Tri-Plate-Leitung 6980 ergänz.

[1128] Wie zuvor sollen die Sensorelemente SE jeweils eine Vielzahl von Diamant-Nano-Kristallen ND und/oder Kristallen mit unterschiedlicher und bevorzugt gleichverteilter räumlicher Ausrichtung umfassen. Bevorzugt umfassen Diamant-Nano-Kristalle ND bzw. Kristalle der Sensorelemente SE dabei wieder paramagnetische Zentren, insbesondere NV-Zentren, die bei Bestrahlung mit einer Pumpstrahlung LB einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} eine Fluoreszenzstrahlung FL mit einer Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} emittieren.

[1129] In dem Beispiel der **Fig. 72** ist angenommen, dass die Sensorelemente SE so platziert sind und in ihrer Größe so gewählt sind, dass sie sich ideal verhalten. Hierbei bezieht sich ideales Verhalten auf eine Platzierung entsprechend den vorausgehenden Figuren für andere Wellenleiter, die auch hier für eine differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 angewendet werden können. Mischformen durch übergroße Sensorelemente SE sind natürlich möglich. Diese Mischformen können auch hier für die Sensorelemente SE einer differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980 angewendet werden.

[1130] Der Unterschied zu der Tri-Plate-Leitung 2380 ist, dass durch die Verwendung einer differentiellen Signalleitung 6830 einer differenziellen Mikrostreifenleitung 6880 als Teil der differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980 zwei zusätzliche Positionen für die Sensorelemente SE hinzugekommen sind und dass die Eigenschaften der Sensorelemente SE nach Gleichtakteigenschaften und Gegentakteigenschaften sich unterscheiden.

linkes Sensorelement SE(1410)

[1131] Als erstes nennen wir hier wieder das linke Sensorelement SE(1410). Das linke Sensorelement SE (1410) ist stärker für Gleichtaktsignale des von den Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) in die differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 eingespeisten Signals und weniger für Gegentaktsignale des von den Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) in die differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 eingespeisten Signals empfindlich. Für Gleichtaktsignale verhält sich die Anordnung aus differentieller Tri-Plate-Leitung 6980 und linkem Sensorelement SE(1410) ähnlich einer Tri-Plate-Leitung 2380 mit linkem Sensorelement SE(1410) und zentraler Signalleitung 1330. Das hier vorgelegte Dokument verweist in diesem Zusammenhang auf die Beschreibung der entsprechenden **Fig. 68**, wobei angenommen wird, dass im Wesentlichen für die Gleichtaktansteuerung die differenzielle Signalleitung 6830 der differenziellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 zu einer zentrale Signalleitung 1330 einer Tri-Plate-Leitung 2380 bezgl. der Gleichtaktansteuerung zusammengefasst werden kann. Auch das Gegentaktsignal beeinflusst die Intensität der Fluoreszenzstrahlung LB des linken Sensorelements SE(1410). Da die Signale in der linken Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differenziellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 und der rechten Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differenziellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 sich jedoch aufgrund des gegentaktigen Verhaltens

größten Teils kompensieren, verbleibt nur der Einfluss der linken Signalleitung 6810 der differentielle Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 der aufgrund der größeren Nähe zwischen dem linken Sensorelement SE(1410) und der linken Signalleitung 6810 der differentielle Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 gegenüber der rechten Signalleitung 6820 der differentielle Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 überschießt. Dieser ist jedoch typischerweise massiv geringer als der Einfluss des Gleichtaktsignals. Vereinfachend nimmt die technische Lehre der hier vorgelegten Schrift an, dass das linke Sensorelement SE(1410) für Gleichtaktsignale des in die differentielle Tri-Plate-Leitung eingespeisten Signals der Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) empfindlich ist. Typischerweise ist dabei die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL des linken Sensorelements SE(1410) von dem Anteil der magnetischen Gesamtflussdichte B_z , dessen Komponentenvektor parallel zur Oberfläche des Trägersubstrats 1360 liegt, abhängig. Zusammenfassend nimmt das hier vorgelegte Dokument also an, dass die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL des linken Sensorelements SE(1410) von dem Anteil der magnetischen Gesamtflussdichte B_z , dessen Komponentenvektor parallel zur Oberfläche des Trägersubstrats 1360 liegt, und dem Gleichtaktsignal der Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) abhängt. Diese neue Erkenntnis kann zur gezielten Sensorsystemkonstruktion und Ansteuerung des linken Sensorelements SE(1410) durch die Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) eingesetzt werden.

rechtes Sensorelement SE(1430)

[1132] Als zweites nennen wir hier wieder das rechte Sensorelement SE(1430). Das rechte Sensorelement SE(1430) ist stärker für Gleichtaktsignale des von den Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) in die differentielle Tri-Plate-Leitung 6980 eingespeisten Signals und weniger für Gegentaktsignale des von den Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) in die differentielle Tri-Plate-Leitung 6980 eingespeisten Signals empfindlich. Für Gleichtaktsignale verhält sich die Anordnung aus differentieller Tri-Plate-Leitung 6980 und rechtem Sensorelement SE(1430) ähnlich einer Tri-Plate-Leitung 2380 mit rechtem Sensorelement SE(1430) und zentraler Signalleitung 1330. Das hier vorgelegte Dokument verweist in diesem Zusammenhang auf die Beschreibung der entsprechenden **Fig. 68**, wobei angenommen wird, dass im Wesentlichen für die Gleichaktansteuerung die differentielle Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 zu einer zentrale Signalleitung 1330 einer Tri-Plate-Leitung 2380 bezgl. der Gleichaktansteuerung zusammengefasst werden kann. Auch das Gegentaktsignal beeinflusst die Intensität der Fluoreszenzstrahlung LB des rechten Sensorelements SE(1430). Da die Signale in der rechten Signalleitung 6820 der differentielle Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 und der linken Signalleitung 6810 der differentielle Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 sich jedoch aufgrund des gegentaktigen Verhaltens größten Teils kompensieren, verbleibt nur der Einfluss der rechten Signalleitung 6820 der differentielle Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 der aufgrund der größeren Nähe zwischen dem rechten Sensorelement SE(1430) und der rechten Signalleitung 6820 der differentielle Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 gegenüber der linken Signalleitung 6810 der differentielle Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 überschießt. Dieser ist jedoch typischerweise massiv geringer als der Einfluss des Gleichtaktsignals. Vereinfachend nimmt die technische Lehre der hier vorgelegten Schrift an, dass das rechte Sensorelement SE(1430) für Gleichtaktsignale des in die differentielle Tri-Plate-Leitung eingespeisten Signals der Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) empfindlich ist. Typischerweise ist dabei die Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des rechten Sensorelements SE(1430) von dem Anteil der magnetischen Gesamtflussdichte B_z , dessen Komponentenvektor parallel zur Oberfläche des Trägersubstrats 1360 liegt, abhängig. Zusammenfassend nimmt das hier vorgelegte Dokument also an, dass die Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des rechten Sensorelements SE(1430) von dem Anteil der magnetischen Gesamtflussdichte B_z , dessen Komponentenvektor parallel zur Oberfläche des Trägersubstrats 1360 liegt, und dem Gleichtaktsignal der Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) abhängt. Diese neue Erkenntnis kann zur gezielten Sensorsystemkonstruktion und Ansteuerung des rechten Sensorelements SE(1430) durch die Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) eingesetzt werden.

mittleres Sensorelement SE(1420)

[1133] Als drittes nennen wir hier wieder das mittlere Sensorelement SE(1420). Das mittlere Sensorelement SE(1420) ist stärker für Gegentaktsignale des von den Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) in die differentielle Tri-Plate-Leitung 6980 eingespeisten Signals und weniger für Gleichtaktsignale des von den Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) in die differentielle Tri-Plate-Leitung 6980 eingespeisten Signals empfindlich. Für Gegentaktsignale verhält sich die Anordnung aus differentieller Tri-Plate-Leitung 6980 und mittlerem Sensor-

element SE(1420) ähnlich einer Schlitzleitung 1880 mit mittlerem Sensorelement SE(1430). Das hier vorgelegte Dokument verweist in diesem Zusammenhang auf die Beschreibung der **Fig. 55**, wobei angenommen wird, dass im Wesentlichen für die Gegentaktansteuerung die linke Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 mit der elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 zu einer elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 einer Schlitzleitung 1880 bezgl. der Gegentaktansteuerung näherungsweise zusammengefasst werden kann. Auch das Gleichtaktaktsignal beeinflusst die Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung LB des mittleren Sensorelements SE(1420), nun aber nur aufgrund von Fertigungsabweichungen. Da die Signale in der rechten Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 und der linken Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 sich jedoch aufgrund des gleichtaktaktigen Verhaltens kombiniert mit der unterschiedlichen durch die Gleichtaktsignale in den Leitungen 6810, 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 größten Teils kompensieren, verbleibt nur der Einfluss aus Justage- und Fertigungsfehlern des mittleren Sensorelements 1430, die zu Asymmetrien gegenüber der rechten Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 und der der linken Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 führen. Vereinfachend nimmt die technische Lehre der hier vorgelegten Schrift an, dass das mittlere Sensorelement SE(1420) für Gegentaktsignale des in die differentielle Tri-Plate-Leitung 6980 eingespeisten Signals der Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) empfindlich ist. Typischerweise ist dabei die Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des mittleren Sensorelements SE(1420) von dem Anteil der magnetischen Gesamtflussdichte B_{Σ} , dessen Komponentenvektor parallel zur Oberfläche des Trägersubstrats 1360 liegt, abhängig. Zusammenfassend nimmt das hier vorgelegte Dokument also an, dass die Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des mittleren Sensorelements SE(1420) von dem Anteil der magnetischen Gesamtflussdichte B_{Σ} , dessen Komponentenvektor parallel zur Oberfläche des Trägersubstrats 1360 liegt, und dem Gegentaktsignal der Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) abhängt. Dieses neue Erkenntnis kann zur gezielten Sensorsystemkonstruktion und Ansteuerung des mittleren Sensorelements SE(1420) durch die Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) eingesetzt werden.

linkes Leitungssensorelement SE(7110)

[1134] Als viertes nennen wir hier nun das neue linke Leitungssensorelement SE(7110). Das linke Leitungssensorelement SE(7110) ist für Gegentaktsignale und für Gleichtaktsignale des von den Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) in die differentielle Tri-Plate-Leitung 6980 eingespeisten Signals empfindlich. Insofern unterscheidet sich das linke Leitungssensorelement SE(7110) von dem linken Sensorelement SE(1410) und dem rechten Sensorelement SE(1430) und dem mittleren Sensorelement SE(1430). Wir unterscheiden daher hier das Verhalten Gleichtaktsignale und Gegentaktsignale des von den Signalgeneratoren (RWG, μ WG) in die differentielle Tri-Plate-Leitung 6980 eingespeisten Signals.

Gegentaktsignale

[1135] Für Gegentaktsignale verhält sich die Anordnung aus differentieller Tri-Plate-Leitung 6980 und linken Leitungssensorelement SE(7110) ähnlich einer Tri-Plate-Leitung 2380 mit mittlerem Sensorelement SE(1430). Das hier vorgelegte Dokument verweist in diesem Zusammenhang auf die Beschreibung der **Fig. 56**, wobei angenommen wird, dass im Wesentlichen für die Gegentaktansteuerung die rechte Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 mit der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 zu einer elektrisch leitende rechten Signalmassefläche 1320 der Tri-Plate-Leitung 2380 mit mittlerem Sensorelement SE(1430) bezgl. der Gegentaktansteuerung näherungsweise zusammengefasst werden kann.

Gleichtaktsignale

[1136] Für Gleichtaktsignale verhält sich die Anordnung aus differentieller Tri-Plate-Leitung 6980 und linken Leitungssensorelement SE(7110) ebenfalls ähnlich einer Tri-Plate-Leitung 2380 mit mittlerem Sensorelement SE(1430). Das hier vorgelegte Dokument verweist in diesem Zusammenhang wieder auf die Beschreibung der **Fig. 56**, wobei nun aber angenommen wird, dass im Wesentlichen für die Gleichaktansteuerung die rechte Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 mit der linken Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 zu einer elektrisch

leitenden Leitung 1330 der Tri-Plate-Leitung 2380 mit mittlerem Sensorelement SE(1430) bezgl. der Gleich-taktansteuerung näherungsweise zusammengefasst werden kann.

[1137] Typischerweise sollten also Gleichtaktsignale und Gegentaktsignale die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL des linken Leitungssensorelements SE(7110) im Wesentlichen in gleicher Weise beeinflussen.

Zusammenfassung linkes Leitungssensorelement SE(7110)

[1138] Typischerweise ist dabei die Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des linken Leitungssensorelements SE(7110) von dem Anteil der magnetischen Gesamtflussdichte B_z , dessen Komponentenvektor senkrecht zur Oberfläche des Trägersubstrats 1360 oder in Richtung der linken Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 liegt, abhängig. Zusammenfassend nimmt das hier vorgelegte Dokument also an, dass die Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des linken Leitungssensorelements SE(7110) von dem Anteil der magnetischen Gesamtflussdichte B_z , dessen Komponentenvektor senkrecht zur Oberfläche des Trägersubstrats 1360 oder in Richtung der linken Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 liegt, und dem Gegentaktsignal und Gleichtaktsignal der Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) abhängt. Diese neue Erkenntnis kann zur gezielten Sensorsystemkonstruktion und Ansteuerung des linken Leitungssensorelements SE(7110) durch die Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) eingesetzt werden.

rechtes Leitungssensorelement SE(7120)

[1139] Als fünftes nennen wir hier nun das neue rechte Leitungssensorelement SE(7120). Das rechte Leitungssensorelement SE(7120) ist ebenfalls für Gegentaktsignale und für Gleichtaktsignale des von den Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) in die differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 eingespeisten Signals empfindlich. Das rechte Leitungssensorelement SE(7120) ist jedoch für Gegentaktsignale mit dem umgekehrten Vorzeichen als das linke Leitungssensorelement SE(7110) empfindlich. Insofern unterscheidet sich das rechte Leitungssensorelement SE(7120) von dem linken Sensorelement SE(1410) und dem rechten Sensorelement SE(1430) und dem mittleren Sensorelement SE(1430) und dem linken Leitungssensorelement SE(7110). Wir unterscheiden daher wieder hier das Verhalten Gleichtaktsignale und Gegentaktsignale des von den Signalgeneratoren (RWG, μ WG) in die differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 eingespeisten Signals.

Gegentaktsignale

[1140] Für Gegentaktsignale verhält sich die Anordnung aus differentieller Tri-Plate-Leitung 6980 und rechtem Leitungssensorelement SE(7120) wieder ähnlich einer Tri-Plate-Leitung 2380 mit mittlerem Sensorelement SE(1430), wobei das Vorzeichen gegenüber dem Verhalten des linken Leitungssensorelements SE(7110) invertiert ist. Das hier vorgelegte Dokument verweist in diesem Zusammenhang auf die Beschreibung der **Fig. 56**, wobei angenommen wird, dass im Wesentlichen für die Gegentaktansteuerung die linken Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 mit der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 zu einer elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 der Tri-Plate-Leitung 2380 mit mittlerem Sensorelement SE(1430) bezgl. der Gegentaktansteuerung näherungsweise zusammengefasst werden kann.

Gleichtaktsignale

[1141] Für Gleichtaktsignale verhält sich die Anordnung aus differentieller Tri-Plate-Leitung 6980 und rechtem Leitungssensorelement SE(7120) ebenfalls ähnlich einer Tri-Plate-Leitung 2380 mit mittlerem Sensorelement SE(1430). Das hier vorgelegte Dokument verweist in diesem Zusammenhang wieder auf die Beschreibung der **Fig. 56**, wobei nun aber angenommen wird, dass im Wesentlichen für die Gleichaktansteuerung die linke Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 mit der rechten Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 zu einer elektrisch leitenden Leitung 1330 der Tri-Plate-Leitung 2380 mit mittlerem Sensorelement SE(1430) bezgl. der Gleichaktansteuerung näherungsweise zusammengefasst werden kann.

[1142] Typischerweise sollten also Gleichtaktsignale und Gegentaktsignale die Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des rechten Leitungssensorelements SE(7120) im Wesentlichen in gleicher Weise beeinflussen,

wobei nun aber die Wirkungsrichtung der Gegentaktsignale gegenüber der Wirkungsrichtung der Gleichtaktsignale im Falle des linken Leitungssensorelements SE(7110) invertiert ist.

Zusammenfassung linkes Leitungssensorelement SE(7110)

[1143] Typischerweise ist dabei die Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL des rechten Leitungssensorelements SE(7120) von dem Anteil der magnetischen Gesamtflussdichte B_z , dessen Komponentenvektor senkrecht zur Oberfläche des Trägersubstrats 1360 oder in Richtung der rechten Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 liegt, abhängig. Zusammenfassend nimmt das hier vorgelegte Dokument also an, dass die Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des rechten Leitungssensorelements SE(6820) von dem Anteil der magnetischen Gesamtflussdichte B_x , dessen Komponentenvektor senkrecht zur Oberfläche des Trägersubstrats 1360 oder in Richtung der rechten Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 liegt, und dem Gegentaktsignal und Gleichtaktsignal der Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) abhängt. Diese neue Erkenntnis kann zur gezielten Sensorsystemkonstruktion und Ansteuerung des rechten Leitungssensorelements SE(7120) durch die Signalgeneratoren (z.B. RWG, μ WG) eingesetzt werden.

[1144] Die Vektoren der jeweiligen magnetischen Flussdichte $B_{\mu W}$, die die linke Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 erzeugen sind mit dünnen Pfeilen zur Verdeutlichung eingezeichnet.

[1145] Die Vektoren der jeweiligen magnetischen Flussdichte $B_{\mu W}$, die die rechte Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 erzeugen sind mit fetten Pfeilen zur Verdeutlichung eingezeichnet.

[1146] Die Vektoren (7140, 7150, 7160, 7170, 7180, 7190) der jeweiligen magnetischen Flussdichte $B_{\mu W}$ der Bestromung der Signalleitungen 6810, 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 sind zur Verdeutlichung für Gegentaktansteuerung der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 dargestellt. Um die Darstellung der Gleichtaktansteuerung zu erhalten, reicht es beispielsweise aus, die Richtungen der Pfeile 7170, 7180 und 7190 umzudrehen.

Figur 73

[1147] Die **Fig. 73** entspricht der **Fig. 69**, wobei die Tri-Plate-Leitung 2380 durch eine differentielle Tri-Plate-Leitung 6980 ersetzt ist.

[1148] Das hier vorgelegte Dokument weist darauf hin, dass insgesamt sieben Positionierungen von Sensorelementen SE relativ zu den Leitungen und Leitungsf lächen der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 möglich sind:

1. auf der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310,
2. in der nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340,
3. auf dem linken Signalleiter 6810 des differentiellen Signalleiters 6830,
4. in der elektrisch isolierenden Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830.
5. auf dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830,
6. in der nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350,
7. auf der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320.

[1149] Mischformen durch Fehlplatzierungen und Vergrößerungen der betreffenden Sensorelemente SE sind möglich. Hieraus ergeben sich $2^7 = 128$ mögliche Platzierungskombinationen an den verschiedenen 3 Sensorelementpositionen, die hiermit alle für eine fachkundige Person offenbart sind.

Figur 74

[1150] Die Fig. 74 entspricht der Fig. 69, wobei die Tri-Plate-Leitung 2380 durch eine differentielle Mikrostreifenleitung 6880 ersetzt ist.

[1151] Das hier vorgelegte Dokument weist darauf hin, dass insgesamt fünf Positionierungen von Sensorelementen SE relativ zu den Leitungen und Leitungsflächen der differentielle Mikrostreifenleitung 6880 möglich sind:

1. auf der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationsfläche 1340,
2. auf dem linken Signalleiter 6810 des differentiellen Signalleiters 6830,
3. in der elektrisch isolierenden Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830.
4. auf dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830,
5. auf der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationsfläche 1350.

[1152] Mischformen durch Fehlplatzierungen und Vergrößerungen der betreffenden Sensorelemente SE sind möglich. Hieraus ergeben sich $2^5 = 32$ mögliche Platzierungskombinationen an den verschiedenen 3 Sensorelementpositionen, die hiermit alle für eine fachkundige Person offenbart sind.

Figur 75

[1153] Die Fig. 75 entspricht der Fig. 69, wobei die Tri-Plate-Leitung 2380 durch eine Mikrostreifenleitung 1380 ersetzt ist.

[1154] Das hier vorgelegte Dokument weist darauf hin, dass insgesamt drei Positionierungen von Sensorelementen SE relativ zu den Leitungen und Leitungsflächen der Mikrostreifenleitung 1380 möglich sind:

1. auf der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationsfläche 1340,
2. auf dem linken Signalleiter 1330,
3. auf der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationsfläche 1350.

[1155] Mischformen durch Fehlplatzierungen und Vergrößerungen der betreffenden Sensorelemente SE sind möglich. Hieraus ergeben sich $2^3 = 8$ mögliche Platzierungskombinationen an den verschiedenen 3 Sensorelementpositionen, die hiermit alle für eine fachkundige Person offenbart sind.

Figur 76

[1156] Die Fig. 76 entspricht der Fig. 69, wobei die Tri-Plate-Leitung 2380 durch eine Schlitzleitung 1880 ersetzt ist.

[1157] Das hier vorgelegte Dokument weist darauf hin, dass insgesamt drei Positionierungen von Sensorelementen SE relativ zu den Leitungen und Leitungsflächen der Schlitzleitung 1880 möglich sind:

1. auf der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310,
2. im Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880
3. auf der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320.

[1158] Mischformen durch Fehlplatzierungen und Vergrößerungen der betreffenden Sensorelemente SE sind möglich. Hieraus ergeben sich $2^3 = 8$ mögliche Platzierungskombinationen an den verschiedenen 3 Sensorelementpositionen, die hiermit alle für eine fachkundige Person offenbart sind.

Figur 77

[1159] Die Fig. 77 entspricht der Fig. 71 mit dem Unterschied, dass die Wellenleitung statt einer Tri-Plate-Leitung 2380 eine differenzielle Tri-Plate-Leitung 6830 ist. Da die differenzielle Triplate-Leitung 2380 sieben mögliche Positionierungen von Sensorelementen SE ermöglicht und zwar:

1. auf der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310;
2. in der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340,
3. auf dem linken Signalleiter 6810 des differentiellen Signalleiters 6830,
4. in der elektrisch isolierenden Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830.
5. auf dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830,
6. in der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350,
7. auf der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320;

[1160] Hier umfasst die Vorrichtung der **Fig. 77** nur fünf der sieben möglichen Sensorkanäle. Die Platzierungen auf der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 und auf der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 vernachlässigt das hier vorgelegte Dokument, da der zusätzliche Aufwand in der Regel den Informationsgewinn nicht rechtfertigt. Eine fachkundige Person kann diese zwei fehlenden Sensorelemente SE und die zugehörigen Sensorelementkanäle sich dazu denken, da deren Einbindung in das System der **Fig. 77** in analoger Weise wie die Einbindung der anderen Sensorelemente SE(1410, 1420, 1430, 6810, 6820) und deren zugehöriger Sensorelementkanäle erfolgt, die bereits **Fig. 77** zeigt. Alle Sensorelemente SE(1410, 1420, 1430, 6810, 6820) werden mit der im Wesentlichen gleichen, zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} des Magnetfelderzeugungsmittels L_c durchflutet. In dem Beispiel der **Fig. 77** sind die Sensorelemente vorzugsweise an verschiedenen Positionen auf der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 positioniert. Wie zuvor können Sensorelemente SE und die zugehörigen Sensorkanäle weggelassen werden.

[1161] Die Funktion der Sensorelementkanäle ist in der Beschreibung der **Fig. 71** beschrieben.

[1162] Die vektorielle Filterausgangssignal S_4 umfasst die vektoriellen Filterausgangssignale (S_4_1 , S_4_2 , S_4_3 , S_4_4 , S_4_5) der Mehrfachkorrelatoren (LIV_1 , LIV_2 , LIV_3 , LIV_4 , LIV_5).

[1163] Die Steuervorrichtung CTR und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV werden das vektorielle Filterausgangssignal S_4 vorzugsweise aus. Typischerweise emulieren die Steuervorrichtung CTR und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV einige Vorrichtungsteile der Sensorelementkanäle.

[1164] Es ist oft zweckmäßig, wenn die Steuervorrichtung CTR auch die Mustererkennungsvorrichtung MEV ganz oder in Teilen beispielsweise mittels eines computerimplementierten Verfahren emuliert.

[1165] Hieraus ergeben sich $2^7 = 128$ mögliche Platzierungskombinationen an den verschiedenen 3 Sensorelementpositionen, die hiermit alle für eine fachkundige Person offenbart sind.

Figur 78

[1166] Die **Fig. 78** entspricht der **Fig. 71** mit dem Unterschied, dass die Wellenleitung statt einer Tri-Plate-Leitung 2380 eine differenzielle Tri-Plate-Leitung 6830 ist und dass die Vorrichtung der **Fig. 78** für die Ansteuerung eine Mikrowellensignalquelle μWG und eine Radiowellensignalquelle RFG verwendet. Die differenzielle Triplate-Leitung 6980 ermöglicht wie zuvor wieder sieben mögliche Positionierungen von Sensorelementen SE und zwar:

1. auf der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310,
2. in der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340,
3. auf dem linken Signalleiter 6810 des differentiellen Signalleiters 6830,
4. in der elektrisch isolierenden Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830.
5. auf dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830,
6. in der im Wesentlichen elektrisch nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350,
7. auf der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320.

wieder umfasst die Vorrichtung der **Fig. 78** nun fünf Sensorkanäle. Die Platzierungen auf der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 und auf der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 vernachlässigt das hier vorgelegte Dokument, da der zusätzliche Aufwand in der Regel den Informationsgewinn nicht rechtfertigt. Eine fachkundige Person kann diese zwei fehlenden Sensorelemente SE und die zugehörigen Sensorelementkanäle sich dazu denken, da deren Einbindung in das System der **Fig. 78** in analoger Weise wie die Einbindung der anderen Sensorelemente SE(1410, 1420, 1430, 6810, 6820) und deren zugehöriger Sensorelementkanäle erfolgt, die bereits **Fig. 78** zeigt. Alle Sensorelemente SE(1410, 1420, 1430, 6810, 6820) werden mit der im Wesentlichen gleichen, zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} des Magnetfelderzeugungsmittels L_c durchflutet. In dem Beispiel der **Fig. 77** sind die Sensorelemente vorzugsweise an verschiedenen Positionen auf der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 positioniert. Wie zuvor können Sensorelemente SE und die zugehörigen Sensorkanäle weggelassen werden. Die Funktion der Sensorelementkanäle ist die in der Beschreibung der **Fig. 71** beschrieben.

[1167] Hieraus ergeben sich $2^7 = 128$ mögliche Platzierungskombinationen an den verschiedenen 3 Sensorelementpositionen, die hiermit alle für eine fachkundige Person offenbart sind.

[1168] Die vektorielle Filterausgangssignal S_4 umfasst die vektoriellen Filterausgangssignale (S_{4_1} , S_{4_2} , S_{4_3} , S_{4_4} , S_{4_5}) der Mehrfachkorrelatoren (LIV_1 , LIV_2 , LIV_3 , LIV_4 , LIV_5).

[1169] Die Steuervorrichtung CTR und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV werden das vektorielle Filterausgangssignal S_4 vorzugsweise aus. Typischerweise emulieren die Steuervorrichtung CTR und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV einige Vorrichtungsteile der Sensorelementkanäle.

[1170] Es ist oft zweckmäßig, wenn die Steuervorrichtung CTR auch die Mustererkennungsvorrichtung MEV ganz oder in Teilen beispielsweise mittels eines computerimplementierten Verfahren emuliert.

[1171] Das Besondere ist nun, dass in dem hier dargestellten Beispiel die Mikrowellensignalquelle μWG das von ihr erzeugte Mikrowellensignal μW nicht beide Signalleitungen 6810 und 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der Mikrostreifenleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 einspeist, sondern nur in eine der beiden Signalleitungen 6810 und 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der Mikrostreifenleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980. Zur Erläuterung soll die Mikrowellensignalquelle μWG bevorzugt das von ihr erzeugte Mikrowellensignal μW in die linke Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der Mikrostreifenleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 in dem Beispiel der **Fig. 78** beispielhaft einspeisen.

[1172] Die Mikrowellenquelle μWG erzeugt das Mikrowellensignal μW . Vorzugsweise steuert die Steuervorrichtung CTR die Erzeugung des Mikrowellensignals μW durch die Mikrowellenquelle μWG mittels Datenbotschaften über den Datenbus DB an die Mikrowellenquelle μWG . Die Steuervorrichtung CTR überprüft vorzugsweise den Status der Mikrowellensignalquelle μWG mittels Datenabfragen über den Datenbus DB. Ein zweiter Signalgenerator G_2 erzeugt typischerweise ein Mikrowellenmodulationssignal S_{5m} . Vorzugsweise steuert die Steuervorrichtung CTR die Erzeugung des Mikrowellenmodulationssignals S_{5m} durch den zweiten Signalgenerator G_2 mittels Datenbotschaften über den Datenbus DB an den zweiten Signalgenerator G_2 . Typischerweise überprüft die Steuervorrichtung CTR den Status des zweiten Signalgenerators G_2 mittels Datenabfragen über den Datenbus DB. Das Mikrowellenmodulationssignal S_{5m} moduliert bevorzugt die Amplitude des Radiowellensignals μW der Mikrowellenquelle μW . Typischerweise ist das Radiowellenmodulationssignal S_{5m} ein digitales Signal mit einem ersten logischen Pegel und einem zweiten logischen Pegel, der vom ersten logischen Pegel verschieden ist. Beispielsweise steuert der zweite Signalgenerator G_2 mittels des Mikrowellenmodulationssignals S_{5m} die Amplitude des Mikrowellensignals μW , das die Mikrowellensignalquelle μWG erzeugt.

[1173] Beispielsweise kann die Vorrichtung so konstruiert sein, dass die Mikrowellensignalquelle μWG ein Mikrowellensignal μW mit einer vorgegebenen Minimalamplitude erzeugt, wenn das Mikrowellenmodulationssignal S_{5m} den ersten logischen Wert annimmt.

[1174] Beispielsweise kann die Vorrichtung so konstruiert sein, dass die Mikrowellensignalquelle μWG ein Mikrowellensignal $R\mu W$ mit einer vorgegebenen Maximalamplitude erzeugt, wenn das Mikrowellenmodulationssignal S_{5m} den zweiten logischen Wert annimmt.

[1175] Die Steuerung der Mikrowellensignalquelle μWG durch das Mikrowellenmodulationssignal S_{5m} kann auch schaltend erfolgen:

Beispielsweise kann die Vorrichtung so konstruiert sein, dass die Mikrowellensignalquelle μWG das Mikrowellensignal μW abschaltet, wenn das Mikrowellenmodulationssignal S5m den ersten logischen Wert annimmt.

[1176] Beispielsweise kann die Vorrichtung so konstruiert sein, dass die Mikrowellensignalquelle μWG ein Mikrowellensignal μW mit der vorgegebenen Maximalamplitude erzeugt, wenn das Mikrowellenmodulationssignal S5m den zweiten logischen Wert annimmt.

[1177] Die Radiowellenquelle RFG erzeugt das Radiowellensignal RW . Vorzugsweise steuert die Steuervorrichtung CTR die Erzeugung des Radiowellensignals RW durch die Radiowellenquelle RFG mittels Datenbotschaften über den Datenbus DB an die Radiowellenquelle RFG . Die Steuervorrichtung CTR überprüft vorzugsweise den Status der Radiowellensignalquelle RFG mittels Datenabfragen über den Datenbus DB . Ein dritter Signalgenerator G3 erzeugt typischerweise ein Radiowellenmodulationssignal S5r . Vorzugsweise steuert die Steuervorrichtung CTR die Erzeugung des Radiowellenmodulationssignals S5r durch den dritten Signalgenerator G3 mittels Datenbotschaften über den Datenbus DB an den dritten Signalgenerator G3 . Typischerweise überprüft die Steuervorrichtung CTR den Status des dritten Signalgenerator G3 mittels Datenabfragen über den Datenbus DB . Das Radiowellenmodulationssignal S5r moduliert bevorzugt die Amplitude des Radiowellensignals RW der Radiowellenquelle RW . Typischerweise ist das Radiowellenmodulationssignal S5r ein digitales Signal mit einem ersten logischen Pegel und einem zweiten logischen Pegel, der vom ersten logischen Pegel verschieden ist. Beispielsweise steuert der dritte Signalgenerator G3 mittels des Radiowellenmodulationssignals S5r die Amplitude des Radiowellensignals RW , das die Radiowellensignalquelle RFG erzeugt.

[1178] Beispielsweise kann die Vorrichtung so konstruiert sein, dass die Radiowellensignalquelle RFG ein Radiowellensignal RW mit einer vorgegebenen Minimalamplitude erzeugt, wenn das Radiowellenmodulationssignal S5r den ersten logischen Wert annimmt.

[1179] Beispielsweise kann die Vorrichtung so konstruiert sein, dass die Radiowellensignalquelle RFG ein Radiowellensignal RW mit einer vorgegebenen Maximalamplitude erzeugt, wenn das Radiowellenmodulationssignal S5r den zweiten logischen Wert annimmt.

[1180] Die Steuerung der Radiowellensignalquelle RFG durch das Radiowellenmodulationssignal S5r kann auch schaltend erfolgen:

Beispielsweise kann die Vorrichtung so konstruiert sein, dass die Radiowellensignalquelle RFG das Radiowellensignal RW abschaltet, wenn das Radiowellenmodulationssignal S5r den ersten logischen Wert annimmt.

[1181] Beispielsweise kann die Vorrichtung so konstruiert sein, dass die Radiowellensignalquelle RFG ein Radiowellensignal RW mit der vorgegebenen Maximalamplitude erzeugt, wenn das Radiowellenmodulationssignal S5r den zweiten logischen Wert annimmt.

[1182] Vorzugsweise ist das Radiowellenmodulationssignal RW mit einer Radiowellenmodulationsfrequenz f_{RWm} moduliert. Vorzugsweise ist die Radiowellenmodulationsfrequenz f_{RWm} von den anderen Modulationsfrequenzen der Vorrichtung, wie zuvor erläutert, verschieden. Bevorzugt fügt sich die Radiowellenmodulationsfrequenz f_{RWm} in das 2^n -Schema der Modulationsfrequenzen der Vorrichtung ein, dass sicherstellt, dass keine der Mischfrequenzen der Modulationsfrequenzen gleich oder ähnlich sind.

[1183] Die beispielhafte Vorrichtung der **Fig. 78** verwendet zur Vereinfachung der Darstellung das Mikrowellenmodulationssignal S5m als Radiowellenmodulationssignal S5r und den zweiten Signalgenerator G2 als dritten Signalgenerator G3 .

[1184] Das Besondere ist nun, dass in dem hier dargestellten Beispiel die Radiowellensignalquelle RFG das von ihr erzeugte Radiowellensignal RW nicht beide Signalleitungen 6810 und 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der Mikrostreifenleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 einspeist, sondern nur in eine beiden Signalleitungen 6810 und 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der Mikrostreifenleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 und zwar bevorzugt nun in die andere der beiden Signalleitungen 6810 und 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der Mikrostreifenleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980. Zur Erläuterung soll die Radiowellensignalquelle RFG bevorzugt das von ihr erzeugte Radiowellensignal RW nun in die rechte Signalleitung 6820

der differentiellen Signalleitung 6830 der Mikrostreifenleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 in dem Beispiel der **Fig. 78** beispielhaft einweisen.

[1185] Dies hat den Vorteil, dass kein Mischer MIX für die Mischung des Radiowellensignals RW mit dem Mikrowellensignal μW zu einem Radiowellen-Mikrowellen-Mischsignal $RW\mu W$ mehr notwendig ist.

[1186] Die Verwendung von Radiowellen hat den Vorteil, dass auch Resonanzen, die durch die Wechselwirkung der paramagnetischen Zentren mit nuklearen Atomkernen von Isotopen, die ein magnetisches Moment aufweisen und sich im Material der Diamant-Nano-Kristalle ND bzw. der funktionsgleich verwendeten Kristalle im Sensorelement SE befinden, angeregt werden können und ggf. beobachtet werden können.

[1187] Die Grundidee der **Fig. 78** ist also die beiden Signalleitungen 6810 und 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 für unterschiedliche Funktionen zu nutzen. Eine Signalleitung der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 für die Anregung der Resonanzen zwischen dem nuklearen Atomkern von Isotopen mit magnetischen Momenten im Material der Diamant-Nano-Kristalle ND bzw. im Material der funktionsäquivalenten Kristalle, die sich jeweils in den Sensorelementen SE befinden, einerseits und den paramagnetischen Zentren, also beispielsweise NV-Zentren, in diesen Diamant-Nano-Kristalle ND bzw. diesen funktionsäquivalenten Kristallen andererseits.

Figur 79

[1188] Die **Fig. 79** entspricht der **Fig. 77**, wobei nun zum Ersten entlang der differentiellen Tri-Plate-Leitung beispielhaft fünf mittlere Sensorelemente 1420 angeordnet sind, denen jeweils ein Sensorelementkanal zugeordnet ist. Zum Zweiten umfasst die Vorrichtung der **Fig. 79** nun mehrere Magnetfelderzeugungsmittel (L_{c_1} , L_{c_2} , L_{c_3} , L_{c_4} , L_{c_5}). Diese Magnetfelderzeugungsmittel erzeugen jeweils eine jeweilige zusätzliche magnetische Flussdichte (B_{ad_1} , B_{ad_2} , B_{ad_3} , B_{ad_4} , B_{ad_5}), die vorzugsweise jeweils ein dem jeweiligen Magnetfelderzeugungsmittel (L_{c_1} , L_{c_2} , L_{c_3} , L_{c_4} , L_{c_5}) zugeordnetes Sensorelement (1420_1, 1420_2, 1420_3, 1420_4, 1420_5) zugeordnet ist.

[1189] Diese zusätzlichen magnetischen Flussdichten (B_{ad_1} , B_{ad_2} , B_{ad_3} , B_{ad_4} , B_{ad_5}) definieren in der **Fig. 51b** jeweils eine horizontale Linie, auf der der Arbeitspunkt des zugeordneten Sensorelements (1420_1, 1420_2, 1420_3, 1420_4, 1420_5) liegen muss. Im Beispiel der **Fig. 79** weisen sie Spulen der Magnetfelderzeugungsmittel (L_{c_1} , L_{c_2} , L_{c_3} , L_{c_4} , L_{c_5}) unterschiedliche Windungszahlen auf und sind in Serie geschaltet. Sie definieren daher in der **Fig. 51b** beispielhaft fünf dieser horizontalen Linien, auf denen die jeweiligen Arbeitspunkte der beispielhaft fünf Sensorelements (1420_1, 1420_2, 1420_3, 1420_4, 1420_5) liegen müssen, wobei jeder dieser Linien genau ein Sensorelement (1420_1, 1420_2, 1420_3, 1420_4, 1420_5) zugeordnet ist.

[1190] Die Vorgaben jeweils einer Mikrowellenfrequenzen ($\omega_{\mu W_I}$, $\omega_{\mu W_II}$, $\omega_{\mu W_III}$, $\omega_{\mu W_IV}$) der jeweiligen Mikrowellensignale (μW_I , μW_II , μW_III , μW_IV) der **Fig. 81** und **83** definieren jeweils eine senkrechte Linie in der **Fig. 51b**. Die fünf Kreuzungspunkte der horizontalen Linien und der so definierten senkrechten Linie ergeben für die jeweils zugeordneten Sensorelemente (1420_1, 1420_2, 1420_3, 1420_4, 1420_5) deren Arbeitspunkte. Es ist intuitiv sofort offensichtlich, dass auf diese Weise die Steuervorrichtung CTR einen oder mehrere der folgenden Werte bereits bei der ersten Messung grob ermitteln kann.

1. die wahrscheinliche Lage der unteren Resonanzkante 522,
2. die wahrscheinliche Lage der unteren mittleren Resonanzkante 523,
3. die wahrscheinliche Lage der oberen mittleren Resonanzkante 524,
4. die wahrscheinliche Lage der oberen Resonanzkante 525,
5. die wahrscheinliche Lage des mittleren Resonanzminimums 529,
6. den wahrscheinlichen Wert der wirksamen Offsetflussdichte B_{off} ,
7. den wahrscheinlichen Wert der Nullpunktsflussdichte B_0 ,
8. den wahrscheinlichen Wert der Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$,

[1191] Nach weiteren Messungen kann die Steuervorrichtung CTR auch hier auf einen oder mehrere der folgenden Werte schließen:

9. den wahrscheinlichen Wert 564 der magnetischen Flussdichte B, der der oberen Referenzlinie 561 zugeordnet ist, an einem oder mehreren Arbeitspunkten,
10. den wahrscheinlichen Wert 565 der magnetischen Flussdichte B, der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, an einem oder mehreren Arbeitspunkten,
11. die wahrscheinliche Differenz 566 des Werts der magnetischen Flussdichte B, der der mittleren Referenzlinie 563 zugeordnet ist, minus dem Wert 565 der magnetischen Flussdichte B, der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist,
12. die wahrscheinliche Steigung 567 der Kurve an einem oder mehreren Arbeitspunkten;
13. die Polynomkoeffizienten der Polynomapproximation 627 der Kurve in einigen Arbeitspunkten,
14. den wahrscheinlichen Wert einer unteren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{22} ,
15. den wahrscheinlichen Wert einer unteren mittleren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{23} ,
16. den wahrscheinlichen Wert einer oberen mittleren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{24} ,
17. den wahrscheinlichen Wert einer oberen wirksamen magnetischen Flussdichte B_{25} ,
18. den wahrscheinlichen Wert einer wirksamen magnetische Resonanzminimum-Flussdichte B_{29} ,
19. den wahrscheinlichen Wert einer Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$;
20. den wahrscheinlichen Wert einer unteren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W22}$;
21. den wahrscheinlichen Wert einer unteren mittleren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W23}$;
22. den wahrscheinlichen Wert einer oberen mittleren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W24}$;
23. den wahrscheinlichen Wert einer oberen Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W25}$;
24. den wahrscheinlichen Wert einer Resonanzminimum-Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W29}$;
25. den wahrscheinlichen Wert einer unbekanntem Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$;
26. den wahrscheinlichen Wert einer Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$;

Figur 80

[1192] Fig. 80 entspricht der Fig. 79 mit dem Unterschied, dass ein Gradienten behafteter Permanentmagnet GPM als Magnetfelserzeugungsmittel L_c die unterschiedlichen zusätzlichen magnetischen Flussdichten (B_{ad_1} , B_{ad_2} , B_{ad_3} , B_{ad_4} , B_{ad_5}) erzeugt. Auch hier kann die Erzeugung der zusätzlichen magnetischen Flussdichten wieder so aussehen, dass beispielsweise gilt:

$$|B_{ad_1}| > |B_{ad_2}| > |B_{ad_3}| > |B_{ad_4}| > |B_{ad_5}|.$$

[1193] Nachteil ist, dass eine Verstellung der magnetischen Gesamtflussdichte B_z dann nur mit dem Gradienten behafteter Permanentmagnet GPM alleine nicht mehr möglich ist. Daher ist es sinnvoll, in dem Fall ein zusätzliches Magnetfelserzeugungsmittel L_c zusätzlich zum Gradienten behafteten Permanentmagneten GPM vorzusehen.

[1194] Es wird hier offensichtlich, dass eine Auflösung mit nur 5 Sensorelementkanälen unzureichend ist.

Figur 81

[1195] Fig. 81 zeigt als konsequente Weiterentwicklung der Verwendung mehrerer mehr oder weniger punktförmiger Sensorelemente SE die Verwendung linienhafter und/oder flächenhafter Sensorelementschichten 5 als ein feingranulares ausgedehntes Sensorelement SE. Damit dies möglich ist, ist vorzugsweise die Sensorelementschicht 5 dünner als die kleinste Strukturgröße des zu vermessenden Wellenleiters (1380, 2380, 6830, 6980) gefertigt. Als Strukturgröße gelten hierbei die Breiten der Signalleitungen (1330, 6830, 6810, 6820) der betreffenden Wellenleiter (1380, 2380, 6830, 6980) und deren Abstände zueinander und zu Maschenflächen (2310, 2320) der betreffenden Wellenleiter (2380, 1880, 6980). Das in der Fig. 81 dargestellte Prinzip kann für verschiedene Wellenleiter (1380, 2380, 6830, 6980) angewendet werden. Vorzugsweise sind die Wellenleiter (1380, 2380, 6830, 6980) planare Wellenleiter. Exemplarisch behandelt die hier vorgelegte Schrift Mikrostreifenleitungen 1380, Schlitzleitungen 1880, Tri-Plate-Leitungen 2380, differenzielle Mikrostri-

fenleitungen 6830 und differenzielle Tri-Plate-Leitungen 6980. Die technische Lehre des hier vorgelegten Dokuments ist aber ausdrücklich nicht auf diese Wellenleitungstypen begrenzt. Vorzugsweise weist die linienhafte und/oder flächenhafte Sensorelementschicht 5 alle Merkmale eines Sensorelements SE, die in diesem Dokument bereits mehrfach beschreiben wurden, auf. Die Idee ist also, statt mit diskreten Sensorelementen SE mit einer kontinuierlich und linienhaften und/oder flächenhaften, typischerweise im Wesentlichen homogen gefertigten Sensorelementschicht 5 als Sensorelement SE die Messungen der magnetischen Gesamtflussdichte B_z und/oder der unbekanntenen Mikrowellenfrequenz ω_{nk} eines externen Mikrowellensignals S_{wnk} vorzunehmen, die auf die Sensorelementschicht 5 einwirken.

[1196] Eine Verwendung einer linienhaften Sensorelementschicht 5 als Sensorelement SE kann durch eine Verbindung der Sensorelemente beispielsweise der **Fig. 72, 54 bis 57** erhalten werden. Grundsätzlich kann zum Ersten ein linienhaftes Sensorelement SE(5) quer zur Richtung eines Wellenleiters (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) angeordnet sein. Grundsätzlich kann zum Zweiten ein linienhaftes Sensorelement SE(5) parallel zur Richtung eines Wellenleiters (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) angeordnet sein und dabei, wenn es schmaler als der Abstand der Signalleitungen (1330, 6810, 6820) und kleiner als die Breite der ggf. vorhandenen nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340 und der ggf. vorhandenen nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350 ist, mehrere Positionen relativ zu diesen Strukturen des jeweiligen Wellenleiters (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) einnehmen. In dem Fall kann somit das parallel zum jeweiligen Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) angeordnete linienhafte Sensorelement SE(5) verschiedene Positionen relativ zum Wellenleiter(1380, 1880, 2380, 6830, 6980) annehmen. Ist das linienhafte Sensorelement SE(5) jedoch in diesen Fällen breiter, so kommt dies dem Vorhandensein verschiedener idealer linienhafter Sensorelemente SE(5) direkt benachbart und parallel zueinander gleich. Eine Kamera kann die Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL dieser verbreiterten linienhaften Sensorelemente SE(5) beobachten und eine nachfolgende Aufbereitungsrichtung 30 bzw. eine Steuervorrichtung CTR, CTR2 können diese Signale der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL dieser linienhaften Sensorelemente SE(5) in dem verbreiterten linienhaften Sensorelement SE(5) mittels computerimplementierten Bildverarbeitungsverfahren trennen und zugehörige Messwerte ermitteln. Im Falle der Verbindung der Sensorelemente beispielsweise der **Fig. 72, 54 bis 57** wäre die linienhafte Sensorelementschicht 5 beispielhaft quer zur Richtung des Wellenleiters angeordnet. Eine solche quer zum Wellenleiter (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) angeordnete linienhafte Sensorelementschicht 5 bezeichnet daher das hier vorgelegte Dokument als querangeordnete linienhafte Sensorelementschicht 5.

[1197] Soll das Magnetfelderzeugungsmittel L_c mehrere Magnetfelderzeugungsmittel (L_{c_1} , L_{c_2} , L_{c_3} , L_{c_4} , L_{c_5}) als Teilvorrichtungen des Magnetfelderzeugungsmittel L_c umfassen, die längs des Wellenleiters (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) angeordnet sind, so kann bevorzugt eine linienhafte Sensorelementschicht 5 auch längs dieses Wellenleiters (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) ausgeformt sein. Eine solche längs des Wellenleiters (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) angeordnete linienhafte Sensorelementschicht 5 bezeichnet daher das hier vorgelegte Dokument als längsangeordnete linienhafte Sensorelementschicht 5, die hier typischerweise eine Vielzahl von ineinander übergehenden Sensorelementen SE umfasst.

[1198] Zunächst nehmen wir an, dass die längsangeordnete linienhafte Sensorelementschicht 5. so schmal ist, dass sie einer der im Folgenden für die zuvor bereits erwähnten verschiedenen beispielhaften Wellenleiter (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) möglichen Positionen einnehmen kann. Für alternative, hier nicht aufgeführte, insbesondere planare, Wellenleiter gelten die analogen Positionen.

[1199] Hierzu diskutiert das hier vorgelegte Dokument beispielhaft die in dem hier vorgelegten Dokument bereits beispielhaft erwähnten Wellenleiter (1380, 2380, 1880, 6830, 6980).

[1200] Das hier vorgelegte Dokument weist darauf hin, dass insgesamt drei Positionierungen von längsangeordneten linienhaften Sensorelementschichten 5 relativ zu den Leitungen und Leitungsflächen der Mikrostreifenleitung 1380 möglich sind:

1. auf der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationsfläche 1340,
2. auf dem linken Signalleiter 1330,
3. auf der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationsfläche 1350.

[1201] Das hier vorgelegte Dokument weist darauf hin, dass insgesamt drei Positionierungen von längsangeordneten linienhaften Sensorelementschichten 5 relativ zu den Leitungen und Leitungsflächen der Schlitzleitung 1880 möglich sind:

1. auf der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310, im Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880

2. auf der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320.

[1202] Das hier vorgelegte Dokument weist darauf hin, dass insgesamt fünf Positionierungen von längsangeordneten linienhaften Sensorelementschichten 5 relativ zu den Leitungen und Leitungsf lächen der Triplate-Leitung 2380 möglich sind:

1. auf der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310,
2. in der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340,
3. auf dem Signalleiter 1330,
4. in der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350
5. auf der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320.

[1203] Das hier vorgelegte Dokument weist darauf hin, dass insgesamt fünf Positionierungen von längsangeordneten linienhaften Sensorelementschichten 5 relativ zu den Leitungen und Leitungsf lächen der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 möglich sind:

1. auf der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationsfläche 1340,
2. auf dem linken Signalleiter 6810 des differentiellen Signalleiters 6830,
3. in der elektrisch isolierenden Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830.
4. auf dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830,
5. auf der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationsfläche 1350.

[1204] Das hier vorgelegte Dokument weist darauf hin, dass insgesamt sieben Positionierungen von längsangeordneten linienhaften Sensorelementschichten 5 relativ zu den Leitungen und Leitungsf lächen differenzielle Triplate-Leitung 2380 möglich sind:

1. auf der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310,
2. in der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340,
3. auf dem linken Signalleiter 6810 des differentiellen Signalleiters 6830,
4. in der elektrisch isolierenden Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830.
5. auf dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830,
6. in der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350,
7. auf der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320.

[1205] Mischformen durch Fehlplatzierungen und Vergrößerungen (Verbreiterungen) der betreffenden längsangeordneten linienhaften Sensorelementschichten 5 sind möglich und von der Beanspruchung ausdrücklich umfasst. Die Wellenleiter (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) können gerade oder nicht gerade auf dem Trägersubstrat 1360 ausgeformt sein. Die Breite der Wellenleiter (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) kann längs der Sensorelementschicht 5 variieren, wobei die Variationsstellen der Breite der Wellenleiter (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) bevorzugt so ausgeformt sind, dass keine Stoßstellen durch variierende Wellenwiderstände der jeweiligen Wellenleiter in Folge der Variation der Breite der Wellenleiter (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) entstehen. Bevorzugt weichen die Breiten der Signalleitungen (1330, 6810, 6820) und die Abstände der Signalleitungen (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) zueinander und die Breiten der ggf. vorhandenen nicht-leitenden linken Isolationslücken 2340 und der ggf. vorhandenen nicht-leitenden rechten Isolationslücken 2350 in einem ersten Bereich eines Wellenleiters (1380, 2380, 1880, 6830, 6980), der Sensorelemente SE aufweist und/oder ganz oder teilweise von einer Sensorelementschicht 5 bedeckt ist oder einer Sensorelementschicht 5 und/oder einem Sensorelement SE wechselwirkt, von den Breiten der Signalleitungen (1330, 6810, 6820) und den Abstände der Signalleitungen (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) zueinander und den Breiten der ggf. vorhandenen nicht-leitenden linken Isolationslücken 2340 und der ggf. vorhandenen nicht-leitenden rechten Isolationslücken 2350 in einem zweiten Bereich eines Wellenleiters (1380, 2380, 1880, 6830, 6980), der keine Sensorelemente SE aufweist und der nicht ganz oder teilweise von einer Sensorelementschicht 5 bedeckt ist und nicht mit einer Sensorelementschicht 5 und/oder einem Sensorelement SE wechselwirkt, ab.

Bevorzugt sind diese Abweichungen so gestaltet, dass der Wellenwiderstand des betreffenden Wellenleiters (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) im ersten Bereich vom Wellenwiderstand des zweiten Bereichs betragsmäßig um nicht mehr als 25% besser, um nicht mehr als 10%, besser um nicht mehr als 5%, besser um nicht mehr als 2%, besser um nicht mehr als 1%, besser, um nicht mehr als 0,5% abweicht.

[1206] Das hier vorgelegte Dokument weist darauf hin, dass auch die Verwendung anderer, insbesondere planarer, Wellenleiter in funktionsäquivalenter Weise möglich ist.

[1207] Auch können Wellenleiter, Funktionselemente der Streifenleitungstechnologie, wie Kapazitäten, Induktivitäten, Abzweigungen, Knicke, Kurven, Zirkulatoren, Wellenkoppler, Phasenschieber, Dickschichtwiderstände, Dünnschichttransistoren, MEMS-Schalter etc. aufweisen.

[1208] Werden nun zwei unmittelbar nebeneinander liegende längsangeordnete linienhaften Sensorelementschichten 5 verwendet, so können diese zwei oder mehr der oben aufgeführten Positionierungen gegenüber dem jeweiligen Wellenleiter gleichzeitig aufweisen.

[1209] Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet eine solche Sensorelementschicht 5 dann als längsangeordnete flächenhafte Sensorelementschicht 5. Werden nun mehrere unmittelbar nebeneinander liegende längsangeordnete linienhaften Sensorelementschichten 5 verwendet, die alle der oben aufgeführten Positionierungen gegenüber dem jeweiligen Wellenleiter gleichzeitig aufweisen, so bezeichnet das hier vorgelegte Dokument eine solche Sensorelementschicht 5 dann als flächenhafte Sensorelementschicht 5.

[1210] Vorzugsweise hängt dann der Betrag der zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} , die die flächenhafte Sensorelementschicht 5 durchflutet, von der Position längs des jeweiligen Wellenleiters ab.

[1211] Ganz besonders bevorzugt verwendet die vorgeschlagene Vorrichtung ein statisches Magnetfelderzeugungsmittel 19(Lc), beispielsweise in Form eines Permanentmagneten PM. Bevorzugt umfasst die Vorrichtung einen Gradienten behafteten Permanentmagneten GPM als statisches Magnetfelderzeugungsmittel 19(Lc) der eine zusätzliche magnetische Flussdichte B_{ad} erzeugt, die vorzugsweise von der Koordinate x längs der benutzten Wellenleiter (1380, 2380, 1880, 6830, 6980, 6830_I, 6830_II, 6830_III, 6830_IV) abhängt. Besonders bevorzugt ist diese Abhängigkeit der zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} von der Koordinate x längs des betreffenden Wellenleiters (1380, 2380, 1880, 6830, 6980, 6830_I, 6830_II, 6830_III, 6830_IV) im Bereich der flächenhaften Sensorelementschicht 5 linear abhängig von der Koordinate x längs des benutzten Wellenleiters (1380, 2380, 1880, 6830, 6980, 6830_I, 6830_II, 6830_III, 6830_IV):

$$B_{ad}(x) \approx B_{ad0} + k \times x$$

[1212] Hierbei ist B_{ad0} eine für den verwendeten Gradienten behafteten Permanentmagneten GPM(19) spezifischen Offset-Konstante, x ist die Koordinate längs des betreffenden Wellenleiters (1380, 2380, 1880, 6830, 6980, 6830_I, 6830_II, 6830_III, 6830_IV). k ist eine Proportionalitätskonstante für den verwendeten Gradienten behafteten Permanentmagneten GPM(19) im Bereich der flächenhaften Sensorelementschicht 5. In dem Beispiel der **Fig. 81** ist k willkürlich negativ gewählt. Natürlich können statt dieses linearen Zusammenhangs auch Polynome eines höheren Grades als 1 mit komplexeren Abhängigkeiten der zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} von der Koordinate x längs des betreffenden Wellenleiters (1380, 2380, 1880, 6830, 6980, 6830_I, 6830_II, 6830_III, 6830_IV) im Bereich der flächenhaften Sensorelementschicht 5 verwendet werden.

[1213] Durch die quasikontinuierliche Verteilung des Betrags der zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} von der Koordinate x längs des betreffenden Wellenleiters (1380, 2380, 1880, 6830, 6980, 6830_I, 6830_II, 6830_III, 6830_IV) entsprechend $B_{ad}(x)$ steigt die Dimensionalität des Sensorelement SE quasi ins Unendliche. Sie wird letztlich nur durch die Granularität der Diamant-Nano-Kristalle ND im Sensorelement SE, hier der Granularität der Kristalle / Diamant-Nano-Kristalle ND in der flächenhaften Sensorelementschicht 5, begrenzt. Es handelt sich also immer noch um ein vektorielles Sensorelement SE mit extrem hoher Dimensionalität. Der Übergang ist ähnlich dem Übergang von einer Fourier-Reihe zum Fourier-Integral.

[1214] Dementsprechend können die bis hierher vorgestellten Auswertevorrichtungen und Methoden dieses Problem in der Regel nicht mehr adäquat lösen.

[1215] Das hier vorgelegte Dokument schlägt daher vor, statt diskreter Sensorelementkanäle eine Magnetfeldkamera für die Auswertung zu verwenden. Hierzu verweist das hier vorgelegte Dokument auf die noch

unveröffentlichten deutschen Patentanmeldungen DE 10 2023 100 856.0, DE 10 2023 100 857.9, DE 10 2023 111 858.7 und DE 10 2023 111859.5.

[1216] Eine wesentliche Idee des hier vorgelegten Dokuments ist, eine solche Magnetfeldkamera, wie sie in diesen Dokumenten beschrieben ist, mit einem Wellenleiter, insbesondere einem planaren Wellenleiter und/oder insbesondere mit einem der hier diskutierten Wellenleiter (1380, 2380, 1880, 6830, 6980, 6830_1, 6830_II, 6830_III, 6830_IV), und einem der hier vorgestellten Systeme zu kombinieren und die Verteilung der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL in der Fläche der flächenhaften Sensorelementschicht 5 innerhalb des sich ergebenden Gesamtsystems als zweidimensional vektorielle Fluoreszenzstrahlung aufzufassen und mittels einer Kamera, insbesondere einer CMOS-Kamera, zu erfassen und durch die Steuerungsvorrichtung CTR bzw. eine Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder eine Auswertevorrichtung 30 unter Benutzung von computerimplementierten Bildverarbeitungsalgorithmen auszuwerten um auf Messwerte, insbesondere die Position der Spitze 30 der V-Formation (522, 525) und/oder daraus abgeleitete Werte, zu schließen. Bevorzugt umfassen die Auswertevorrichtung 30 und/oder die Steuervorrichtung CTR ein Speichermedium (RAM, NVM), dass diese computerimplementierten Bildverarbeitungsalgorithmen auf die Ausgangsdaten der Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 anwendet, um Messwerte und/oder Messwertgruppen zu ermitteln und auf einem Bildschirm 32 darzustellen und/oder für die Verarbeitung durch ein übergeordnetes Rechnersystem (CTR2, 29) bereitzustellen oder an ein solches übergeordnetes Rechnersystem (CTR2, 29) zu übertragen.

[1217] Bevorzugt ermitteln die Steuervorrichtung CTR und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV unter Verwendung von computerimplementierten Bildverarbeitungs- und/oder Mustererkennungsalgorithmen einen oder mehrere der folgenden Messwerte bzw. Messwertgruppen:

1. Informationen über die wahrscheinliche Lage der unteren Resonanzkante 522,
2. Informationen über die wahrscheinliche Lage der unteren mittleren Resonanzkante 523,
3. Informationen über die wahrscheinliche Lage der oberen mittleren Resonanzkante 524,
4. Informationen über die wahrscheinliche Lage der oberen Resonanzkante 525,
5. Informationen über die wahrscheinliche Lage des mittleren Resonanzminimums 529,
6. Informationen über den wahrscheinlichen Wert der wirksamen Offsetflussdichte B_{off} ,
7. Informationen über den wahrscheinlichen Wert der Nullpunktsflussdichte B_0 ,
8. Informationen über den wahrscheinlichen Wert der Nullpunktsmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}0}$,

[1218] Nach weiteren Messungen können die Steuervorrichtung CTR und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV bzw. eine Auswertevorrichtung 530 auch hier auf einen oder mehrere der folgenden Werte schließen:

9. Informationen über den wahrscheinlichen Wert 564 der magnetischen Flussdichte B_{61} , der der oberen Referenzlinie 561 zugeordnet ist, an einem oder mehreren Arbeitspunkten,
10. Informationen über den wahrscheinlichen Wert 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, an einem oder mehreren Arbeitspunkten,
11. Informationen über die wahrscheinliche Differenz 566 des Werts der magnetischen Flussdichte B_{63} , der der mittleren Referenzlinie 563 zugeordnet ist, minus dem Wert 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist,
12. Informationen über die wahrscheinliche Steigung 567 der Kurve an einem oder mehreren Arbeitspunkten;
13. Informationen über die Polynomkoeffizienten der Polynomapproximation 627 der Kurve in einigen Arbeitspunkten,
14. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer unteren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{22} ,
15. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer unteren mittleren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{23} ,
16. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer oberen mittleren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{24} ,

17. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer oberen wirksamen magnetischen Flussdichte B_{25} ,
18. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer wirksamen magnetische Resonanzminimum-Flussdichte B_{29} ,
19. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$;
20. den wahrscheinlichen Wert einer unteren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W22}$;
21. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer unteren mittleren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W23}$;
22. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer oberen mittleren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W24}$;
23. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer oberen Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W25}$;
24. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer Resonanzminimum-Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W29}$;
25. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer unbekanntes Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$;
26. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$;

[1219] Als Beispiel wird hier die Ermittlung einer unbekanntes Mikrowellenfrequenz ω_{nk} erläutert:

Besonders bevorzugt ist, dass die Relation $B_{ad}(x)$ eine bijektive Funktion ist. Für die Ermittlung einer zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} können dann die Auswertevorrichtung 30 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV in einem ersten Schritt eine Intensitätskurve $I_{fl}(x)$ der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL längs eines Wellenleiters (1380, 2380, 1880, 6830, 6980, 6830_I, 6830_II, 6830_III, 6830_IV), beispielsweise des ersten Wellenleiters (6830_1), mit den Fotodetektoren PD des Lichtsensorrarrays 1 für eine erste Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W_1}$ aufnehmen. Da die Relation $B_{ad}(x)$ des Gradienten behafteten Permanentmagneten GPM(19) bekannt und umkehrbar und eine Funktion von x ist, können die Auswertevorrichtung 30 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV die Umkehrfunktion $x(B_{ad})$ bestimmen und in eine für eine bei $\omega_{nk}=0\text{Hz}$ bestimmte Kalibrationskurve $I_{fl}(x)$ einsetzen und erhalten so eine Kurve $I_{fl}(B_{ad})$ für diese eine Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W_1}$. Vorzugsweise wurde zuvor das gesamte Intensitätsfeld $I_{fl}(\omega_{\mu W}, B_{ad})$ in einem Kalibrationsvorgang bestimmt, sodass Auswertevorrichtung 30 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV vorzugsweise über die entsprechenden Daten in einem Speicher (RAM, NVM) der Vorrichtung verfügen. Wird nun beispielsweise einem bekannten ersten Mikrowellensignal μW_G_I mit der ersten Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W_1}$ der ersten internen Mikrowellenquelle μW_G_I innerhalb der ersten Mikrowellenquelle μW_G_I (Siehe Fig. 83) in einem ersten Mixer μW_MX_I der ersten Mikrowellenquelle μW_G_I ein Signal $S_{\omega_{nk}}$ mit einer unbekanntes Mikrowellenfrequenz ω_{nk} zugemischt, so entsteht ein erstes Mikrowellenmischsignal μW_MX_I . Ein erster Mikrowellenfilter μW_F_I (Siehe Fig. 83) eliminiert bevorzugt einen der beiden bei $\omega_{\mu W_1}-\omega_{nk}$ und $\omega_{\mu W_1}+\omega_{nk}$ entstehenden Transienten im ersten Mikrowellenmischsignal μW_MX_I . Bevorzugt ist die Grenzfrequenz des ersten Mikrowellenfilters μW_F_I (Siehe Fig. 83) bei einem Tiefpass als ersten Mikrowellenfilter μW_F_I kleiner als die Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$. Bevorzugt ist die Grenzfrequenz des ersten Mikrowellenfilters μW_F_I (Siehe Fig. 83) bei einem Hochpass als erster Mikrowellenfilter μW_F_I größer als die Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$. Hierdurch wird das Diagramm der Fig. 2 betreffend die Position der untere Resonanzkante 522 in eine umkehrbare Funktion $\omega_{\mu W}(B_{ad})$ gewandelt. (Siehe Fig. 83).

[1220] Hierdurch können in einem dritten Schritt die Auswertevorrichtung 30 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV die Position der unteren Resonanzkante 522 in der erfassten Kurve $I_{fl}(B_{ad})$ als Wert der zusätzlichen magnetischen Flussdichte $B_{ad,22}$ für diese untere Resonanzkante 522 ermitteln. Dies kann beispielsweise durch Bildung eines Kreuzkorrelationsintegrals zwischen der erfassten Kurve $I_{fl}(B_{ad})$ und einer Referenzkurve $I_{fl_ref}(B_{ad})$ für $S_{\omega_{nk}}$ konstant geschehen.

$$K(B_{ad}) = \int_{B_{ad_min}}^{B_{ad_max}} I_{fl}(B_{ad}) \circ I_{fl_ref}(B_{ad_max} - B_{ad}) dB_{ad}$$

[1221] Wird nur eine untere Referenzkante gesucht, so liegt diese typischerweise bei der zusätzlichen magnetischen Flussdichte $B_{ad,22}$ mit dem Maximum der Korrelation $K(B_{ad})$.

[1222] In einem vierten Schritt können dann die Auswertevorrichtung 30 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV daraus dann eine Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W22} = \omega_{\mu W}(B_{ad,22})$ für die Lage der unteren Resonanzkante 522 bestimmen.

[1223] Je nach Art des ersten Mikrowellenfilters μW_F_I (Hochpass oder Tiefpass) können dann die Auswertevorrichtung 30 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV daraus dann mittels $\omega_{nk} = \omega_{\mu W22} - \omega_{\mu W_I}$ bzw. $\omega_{nk} = \omega_{\mu W_I} - \omega_{\mu W22}$ die unbekannte Mikrowellenfrequenz ω_{nk} bestimmen.

[1224] In **Fig. 81** ist links des Trägersubstrats 1360 ein XY-Diagramm zur Verdeutlichung des beispielhaften, möglichen Zusammenhangs $B_{ad}(x)$ dargestellt. Natürlich kann auch $k=0$ gelten, wenn kein Gradient der magnetischen Flussdichte in der jeweiligen Anwendung gewünscht ist.

[1225] Der linienhafte Wellenleiter (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) kann im Bereich der der flächenhaften Sensorelementschicht 5 nicht nur gerade, sondern auch krumm und/oder ringförmig und/oder ringsegmentförmig und/oder abknickend ausgeführt sein. Weist beispielsweise der linienhafte Wellenleiter (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) im Bereich der der flächenhaften Sensorelementschicht 5 zwei seriell hintereinander verschaltete Abschnitte des linienhaften Wellenleiters (1380, 2380, 1880, 6830, 6980) auf, die vorzugsweise in diesen Abschnitten gerade sind und die beispielsweise in einem Winkel von 90° zueinander angeordnet sind (siehe **Fig. 91**), so können die Steuervorrichtung CTR und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV durch ein computerimplementiertes Bildverarbeitungsverfahren auf die Polarisationsrichtung und Frequenz von extern einfallender Mikrowellenstrahlung bzw. anderer elektromagnetischer Strahlung schließen, deren Mischfrequenz mit der Mikrowellenfrequenz des Mikrowellensignals μW im Messbereich der paramagnetischen Zentren bzw. der NV-Zentren der Diamant-Nano-Kristalle ND bzw. der entsprechenden funktionsäquivalenten Kristalle liegt.

[1226] Im Folgenden erläutert das hier vorgelegte Dokument nochmals der Vollständigkeit halber die Funktionsweise der hier vorgeschlagenen Vorrichtung näher:

Die Lichtquelle LED emittiert als beispielhafte Pumpstrahlungsquelle Pumpstrahlung LB mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und möglicherweise unerwünschte elektromagnetische Strahlung 27 anderer Wellenlängenbereiche. Optional kann wieder ein erster Signalgenerator G1 ein LED-Modulationssignal S5w mit einer LED-Modulationsfrequenz f_{LED} erzeugen. Vorzugsweise steuert die Steuervorrichtung CTR den ersten Signalgenerator G1 über den Datenbus DB. Ein Lichtquellentreiber LDRV versorgt bevorzugt zumindest zeitweise in Abhängigkeit von dem optionalen LED-Modulationssignal S5w und/oder in Abhängigkeit von Steuerungsdaten der Steuervorrichtung CTR, die die Steuervorrichtung CTR über den Datenbus DB an den Lichtquellentreiber LDRV übermittelt, die Lichtquelle LED mit elektrischer Energie. Typischerweise können das LED-Modulationssignal S5w und/oder die Steuerungsdaten der Steuervorrichtung LED also die Intensität der Pumpstrahlung LB, die die Lichtquelle LED emittiert modulieren. Im Extremfall können das LED-Modulationssignal S5w und/oder die Steuerungsdaten der Steuervorrichtung LED also die Emission der Pumpstrahlung LB, die die Lichtquelle LED insbesondere in Abhängigkeit von einem computerimplementierten Lichterzeugungsprogramm in einem Speicher RAM, NVM der Vorrichtung, dass die Steuervorrichtung CTR zumindest zeitweise ausführt, an- und ausschalten. Ein optionales optischer Shortpass-Filter 4 lässt bevorzugt nur die Pumpstrahlung LB mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Lichtquelle LED passieren und hält bevorzugt die elektromagnetische Strahlung 27 anderer Wellenlängenbereiche zurück. Sofern die Lichtquelle LED keine unerwünschte elektromagnetische Strahlung 27 anderer Wellenlängenbereiche emittiert, ist dieses optische Shortpass-Filter 4 nicht notwendig. Eine optionale, vorzugsweise vorhandene Beleuchtungsoptik 3 sorgt dafür, dass die Pumpstrahlung LB die Sensorelementschicht 5 möglichst homogen ausleuchtet. Die Beleuchtungsoptik 3 kann ein oder mehrere optische Funktionselemente wie Linsen, Blenden, Lichtwellenleiter, Prismen etc., wie sie in jedem Lehrbuch der technischen Optik zu finden sind, umfassen. Die Form der Linsen und/oder Spiegel und sonstigen optischen Funktionselemente der Beleuchtungsoptik 3 ist vorzugsweise so berechnet und ausgeformt, dass bei einer bekannten Abstrahlcharakteristik der Lichtquelle LED die Ausleuchtung der Sensorelementschicht 5 mit Pumpstrahlung LB homogen ist. Diese optischen Funktionselemente können auch Funktionselemente der diffraktiven Optik wie photonische Kristalle, dielektrische Spiegel, Hologramme etc. umfassen. Das hier vorgelegte Dokument verweist hier beispielhaft auf die Dokumente Baha E.A. Saleh, Malvin Carl Teich, „Grundlagen der Photonik“ Wiley-VCH, 2007 und Bernhard C. Kress, Patrick Meyreueis „Applied Digital Optics“ Wiley, 2009

[1227] Die Sensorelementschicht 5 ist vorzugsweise auf dem mechanischen Trägersubstrat 1360, beispielsweise einer ebenen Fläche 16, aufgebracht. Die ebene Fläche kann insbesondere durch ein Dielektrikum 40 erzielt werden, dass Unebenheiten der Wellenleiter (1360, 1880, 2380, 6830, 6980, 6980_1, 6980_II,

6980_III, 6980_IV) ausgleicht. Vorzugsweise ist die Vorrichtung in ein Gehäuse 8 eingebaut. Das Material Gehäusewand des Gehäuses 8 ist in diesem Bereich bevorzugt nicht magnetisch und beeinflusst bevorzugt das magnetische Feld vorzugsweise im Wesentlichen nicht. Typischerweise umfasst das Trägersubstrat 1360 Materialien wie FR-4 (Flameresistent-4) oder PTFE (Polytetrafluorethylen) oder aus halbleitenden Materialien, wie beispielsweise Stücke von Platinenmaterialien oder Stücke von Kunststoffplatten- oder -folien und/oder Stücke von Glas-Wafern oder ein Stücke von Keramik-Wafern und/oder Stücke von Halbleiterwafern, beispielsweise Stücken von CMOS-Wafern oder beispielsweise Stücken von BiCMOS-Wafern beispielsweise Stücken von Wafern aus einer Bipolar-Technologie oder Stücke eines Wafers aus einem III/V-Material oder dergleichen und/oder beispielsweise Stücken von MEMS-Wafern und/oder Stücke mikroelektronischen Schaltungen und/oder beispielsweise Stücken von MEOS-Wafern (MEOS= micro electro optical system) und/oder beispielsweise Stücken von MOEMS-Wafern etc. und/oder Stücke von MOEMS-Wafern mikroelektronische Schaltkreise und Funktionselemente und/oder mikrooptische Funktionselemente und/oder mikromechanische Funktionselemente und/oder mikrofluidische Funktionselemente. Die Sensorelementschicht 5 umfasst bevorzugt eine Vielzahl zufällig und vorzugsweise gleichverteilt orientierter Kristalle mit paramagnetischen Zentren bzw. Diamant-Nano-Kristallen ND mit paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren. Bevorzugt umfasst die Sensorelementschicht 5 ein Trägermaterial TM, in das die Kristalle mit paramagnetischen Zentren bzw. Diamant-Nano-Kristallen ND mit paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren eingebettet sind. Bevorzugt ist das Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 5 ein ausgehärtetes Trägermaterial TM. Bevorzugt ist das Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 5 ein mittels elektromagnetischer Aushärtestrahlung 4910 einer Aushärtewellenlänge λ_H ausgehärtetes Trägermaterial TM. Die Sensorelementschicht 5 umfasst ganz besonders bevorzugt eine Vielzahl zufällig und vorzugsweise gleichverteilt orientierter Diamant-Nano-Kristalle ND mit NV-Zentren. Bei den paramagnetischen Zentren kann es sich bei der Verwendung von Diamant als Kristallmaterial der Diamant-Nano-Kristalle ND beispielsweise um NV-Zentren und/oder SiV-Zentren und/oder TiV-Zentren und/oder GeV-Zentren und/oder SnV-Zentren und/oder NiN4-Zentren und/oder PbV-Zentren und/oder ST1-Zentren handeln. Andere paramagnetische Zentren und/oder Kristallmaterialien erscheinen funktionsäquivalent möglich. Die Pumpstrahlung LB besitzt bei der Verwendung von NV-Zentren in Diamant als Kristalle der Sensorelementschicht 5 bevorzugt eine Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} in einem Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm Wellenlänge und/oder besser 450 nm bis 650 nm und/oder besser 500 nm bis 550 nm und/oder besser 515 nm bis 540 nm aufweisen. Bevorzugt ist dabei eindeutig eine Wellenlänge von 532 nm als Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Im Falle der Verwendung von NV-Zentren in Diamant oder in Diamanten der Sensorelementschicht 5 ist eine Laser-Diode der Fa. Osram vom Typ PLT5 520B beispielsweise als Lichtquelle LED mit 520nm Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} geeignet. Bei der Verwendung von NV-Zentren in Diamantkristallen als Diamant-Nano-Kristalle ND in der Sensorelementschicht 5 als paramagnetische Zentren der Sensorelementschicht 5 emittieren die NV-Zentren der Sensorelementschicht 5 typischerweise bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB der oben beschriebenen Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} eine Fluoreszenzstrahlung FL mit einer typischen Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} von ca. 637nm.

[1228] Bevorzugt ist das Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 5 nach dem Aushärten des Trägermaterials TM für elektromagnetische Strahlung mit der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle ND und/oder der NV-Zentren der Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelementschicht 5 transparent.

[1229] Bevorzugt ist das Trägermaterial TM der Sensorelementschicht 5 nach dem Aushärten des Trägermaterials TM für elektromagnetische Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Lichtquelle LED zur Anregung der Emission der Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle ND und/oder der NV-Zentren der Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelementschicht 5 transparent.

[1230] Eine abbildende Optik 7 erfasst bevorzugt das Bild der ortsabhängigen Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} , das die Sensorelementschicht 5 mittels der paramagnetischen Zentren, also beispielsweise mittels der NV-Zentren, in der Sensorelementschicht 5 bei Anregung durch die Pumpstrahlung LB mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} erzeugt.

[1231] Die abbildende Optik 7 kann ein oder mehrere optische Funktionselemente wie Linsen, Blenden, Lichtwellenleiter, Prismen, Spiegel, Planspiegel, Konvex- und Konkavspiegel etc., wie sie in jedem Lehrbuch der technischen Optik zu finden sind, umfassen. Diese optischen Funktionselemente können insbesondere auch Funktionselemente der diffraktiven Optik wie phononische Kristalle, dielektrische Spiegel, Hologramme etc. umfassen. Das hier vorgelegte Dokument verweist hierzu beispielhaft auf die Dokumente Baha E.A.

Saleh, Malvin Carl Teich, „Grundlagen der Photonik“ Wiley-VCH, 2007 und Bernhard C. Kress, Patrick Meyreueis „Applied Digital Optics“ Wiley, 2009.

[1232] Ein optisches Longpass-Filter F1(6) lässt bevorzugt elektromagnetische Strahlung mit der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} und damit die Fluoreszenzstrahlung FL passieren. Das optische Longpass-Filter F1 (13406) blockiert bevorzugt die Passage anderer elektromagnetische Strahlung, beispielsweise solcher mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} , und damit die Passage der Pumpstrahlung LB. Hierdurch kann die abbildende Optik 7 das Bild der Intensitätsverteilung der Emission der Fluoreszenzstrahlung FL über die Sensorelementschicht 5 im Wellenlängenbereich der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} abgetrennt von anderen Strahlungsbildern anderer Wellenlängen erfassen und auf die $n \times m$ Fotodetektoren PD des $n \times m$ Lichtsensorarrays 1 der Fluoreszenzkamera abbilden. Beispielsweise kann die Abbildende Optik Linsen und/oder Lichtwellenleiterbündel als vektorielle Lichtwellenleiter LWL mit Lichtwellenleitern als Lichtwellenleiterbündelkomponenten umfassen. n und m sind hier ganze positive Zahlen. Bei dem Lichtsensorarray 1 handelt es sich bevorzugt um einen CMOS-Chip, noch stärker bevorzugt um eine mikrointegrierte CCD-Fotodetektorschaltung, die vorzugsweise eine Auswerteelektronik umfasst. Da die Intensität $I_{ist}(x)$ der Fluoreszenzstrahlung FL der Sensorelementschicht 5 lokal in der Sensorelementschicht 5 von der magnetischen Gesamtflussdichte B_z und der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}(x)$ am jeweiligen Ort x des jeweiligen paramagnetischen Zentrums in der Sensorelementschicht 5 abhängt, entspricht das Bild der Intensitätsverteilung der Intensität $I_{ist}(x)$ der Emission der Fluoreszenzstrahlung FL über die Sensorelementschicht 5 einem Magnetflussdichtebetragsbild des Feldes der magnetischen Gesamtflussdichte B_z , das die Sensorelementschicht 5 durchflutet, bzw. einem Mikrowellenfrequenzbetragsbild, das nichtlinear von der Verteilung der Mikrowellenfrequenzen der Mikrowellenstrahlung im Bereich der Sensorelementschicht 5 abhängt. Da in der Regel die Dichteverteilung der paramagnetischen Zentren in der Sensorelementschicht 5 und/oder die Ausleuchtung der Sensorelementschicht 5 mit Pumpstrahlung LB und/oder die Erfassung der Intensität der Fluoreszenzstrahlung FL über die Fläche der Sensorelementschicht 5 bei allem Bemühen nicht ganz homogen zu fertigen sind, hat es sich bewährt, durch Kalibrationsmessungen das System vor dem ersten Gebrauch zu kalibrieren. Zur Verarbeitung der Messwerte der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 erfassen Auswerteelektroniken 15 des Lichtsensorarrays 1 die Messwerte der Signale der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und bilden daraus insbesondere durch Verstärkung und/oder Filterung die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1. Diese Auswerteelektroniken 15 des Lichtsensorarrays 1 entsprechen der Funktion des ersten Verstärkers V1 in den zuvor diskutierten Sensorelementkanälen. Die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 entsprechen analog dazu den Empfangssignalen 50 der zuvor diskutierten Fotodetektoren PD. Die Auswertung kann nun jedoch typischerweise aufgrund der hohen Dimensionalität nicht mehr mittels eines einfachen Mehrfachkorrelators LIV durchgeführt werden, der ggf. auch noch kanalweise zu Verfügung gestellt wird. Das hier vorgelegte Dokument schlägt stattdessen vor, die Analyse mittels eines computerimplementierten Bild- und/oder Mustererkennungsprogramms, das in einem Speicher (RAM, NVM) der Vorrichtung abgelegt ist und von der einer Aufbereitungsvorrichtung 30 als Steuervorrichtung CTR ausgeführt wird, durchzuführen.

[1233] Die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31(S0) der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 kann optional mittels einer Ansteuervorrichtung LCTR für weitere Magnetfelderzeugungsmittel L_c steuern, wenn diese nicht nur den Gradienten behafteten Permanentmagneten GPM umfassen. Bei den weiteren Magnetfelderzeugungsmitteln L_c kann es sich beispielsweise wieder um Flachspulen 2520 (L_c) handeln, die von der Ansteuervorrichtung LCTR für das weitere Magnetfelderzeugungsmittel L_c mit einem elektrischen Strom bestromt werden.

[1234] Die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 erzeugt aus den die Ausgangssignalen 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 vorzugsweise ein Bild der Intensitätsverteilung der Fluoreszenzstrahlung FL der Sensorelementschicht 5. Aufgrund der zuvor dargestellten Zusammenhänge stellen das Bild der Intensitätsverteilung der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL der Sensorelementschicht 5 ein Magnetflussdichtenbetragsbild des Feldes der magnetischen Gesamtflussdichte B_z in der Sensorelementschicht 5 dar. Die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 kann dieses Bild der Intensitätsverteilung der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL der Sensorelementschicht 5 beispielsweise direkt mittels der Schnittstellenschaltung 136 über einen Datenbus 29 an ein weiteres und/der übergeordnetes Rechnersystem 28(CTR2) übertragen. Das weitere und/der übergeordnete Rechnersystem 28 (CTR2) kann der Bedienung des Sensorsystems 21 dienen. Bei dem weiteren und/der übergeordneten Rechnersystem 28 kann es sich um eine weitere Steuervorrichtung CTR2 des Sensorsystems 21 handeln. Beispielsweise kann das weitere und/der übergeordnete Rechnersystem 28 zur Bedienung des Sensorsystems 21 aus dem von der Auswertevorrichtung 30 über eine Datenschnittstelle 36 und einen Datenbus 29 an das

das weitere und/der übergeordnete Rechnersystem 28 übertragene Bild der Intensitätsverteilung der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL der Sensorelementschicht 5 eine ein- oder zwei- oder dreidimensionale Darstellung der Verteilung der magnetischen Gesamtflussdichte B_{Σ} in der Sensorelementschicht 5. In dem Beispiel der **Fig. 81** sind auf einer ersten Oberfläche des Trägersubstrats 1360 beispielhaft vier Wellenleitungen, hier beispielhaft vier beispielhafte differentielle Tri-Plate-Leitungen (6980_I, 6980_II, 6980_III, 6980_IV), aufgebracht. In dem Beispiel der **Fig. 81** bedeckt das Dielektrikum 40 die Signalleitungen (6810, 6820) der Tri-Plate-Leitung 6980 dieser Tri-Plate-Leitungen (6980_I, 6980_II, 6980_III, 6980_IV) und die jeweilige elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 und die jeweilige elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 und füllt beispielhaft zur Planarisierung die jeweilige nicht-leitende linke Isolationslücke 2340 und die jeweilige nicht-leitende rechte Isolationslücke 2350 und die elektrisch isolierende Lücke 6840 zwischen dem jeweiligen linken Signalleiter 6810 und dem jeweiligen rechten Signalleiter 6820 des jeweiligen differentiellen Signalleiters 6830 auf, sodass sich eine im Wesentlichen glatte Zwischenoberfläche 16 ergibt, auf der die Sensorelementschicht 5 beispielhaft aufgebracht ist. In dem Beispiel der **Fig. 81** dient das Dielektrikum 40 somit auch zu dem Zweck eine planare Oberfläche 16 für das Aufbringen der Sensorelementschicht 5 auf das Trägersubstrat 1360 sicherzustellen, um die Artefakte in der computerimplementierten Bild- und Mustererkennung zu reduzieren. Das weitere und/der übergeordnete Rechnersystem 28 kann beispielweise als weitere Steuervorrichtung CTR2 des Sensorsystems 21 die empfangenen Bilder und/oder die extrahierten Messwerte auf dem Bildschirm 32 darstellen.

[1235] Der Datenbus 29 dient dabei der Herstellung der Datenverbindung zwischen der Aufbereitungsvorrichtung 30(CTR) für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 (Empfängerausgangssignale S0 bzw. digitalisierte Empfängerausgangssignale S1 bzw. analoge Empfängerausgangssignale 51) und dem weiteren und/der übergeordneten Rechnersystem 28(CTR2) zur Bedienung des Sensorsystems 21. Die von außen auf die Sensorelementschicht 5 einwirkenden externen magnetischen Flussdichten B_{ext} , die zur die Sensorelementschicht 5 beeinflussenden Gesamtflussdichte B_{Σ} beitragen, und die externe Mikrowellenstrahlung S_{wnk} beeinflussen durch Superposition die Intensitätsverteilung der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL der Sensorelementschicht 5. und damit die Bilder, die die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 als Bilder der Intensitätsverteilung der der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL der Sensorelementschicht 5 beispielsweise direkt mittels der Schnittstellenschaltung 36 über einen Datenbus 29 an das weitere und/der übergeordnete Rechnersystem 28(CTR2) überträgt.

[1236] Um mit einem Bild möglichst viele Daten zu erfassen verfügt die beispielhafte Vorrichtung über beispielhaft vier Mikrowellensignalquellen (μWG_I , μWG_{II} , μWG_{III} , μWG_{IV}). Vorzugsweise sind die beispielhaft vier Mikrowellensignalquellen (μWG_I , μWG_{II} , μWG_{III} , μWG_{IV}) Teil eines vektoriellen Mikrowellensignalquelle μW . Jede dieser beispielhaft vier Mikrowellensignalquellen (μWG_I , μWG_{II} , μWG_{III} , μWG_{IV}) erzeugt in dem Beispiel eines von vier Mikrowellensignalen (μW_I , μW_{II} , μW_{III} , μW_{IV}). D.h. die vektorielle Mikrowellensignalquelle μW erzeugt ein vektorielles Mikrowellensignal μW , das diese beispielhaft vier Mikrowellensignalquellen (μWG_I , μWG_{II} , μWG_{III} , μWG_{IV}) beispielsweise umfasst. Auf dem Trägersubstrat 1360 befinden sich beispielhaft vier Wellenleitungen, hier beispielhaft vier Triplate-Leitungen (6980_I, 6980_II, 6980_III, 6980_IV).

[1237] In dem Beispiel der **Fig. 81** speist die erste Mikrowellenquelle μWG_I das erste Mikrowellensignal μW_I in die erste Wellenleitung, hier eine erste Tri-Plate-Leitung 6980_I ein.

[1238] In dem Beispiel der **Fig. 81** speist die zweite Mikrowellenquelle μWG_{II} das zweite Mikrowellensignal μW_{II} in die zweite Wellenleitung, hier eine zweite Tri-Plate-Leitung 6980_II ein.

[1239] In dem Beispiel der **Fig. 81** speist die dritte Mikrowellenquelle μWG_{III} das dritte Mikrowellensignal μW_{III} in die dritte Wellenleitung, hier eine dritte Tri-Plate-Leitung 6980_III ein.

[1240] In dem Beispiel der **Fig. 81** speist die vierte Mikrowellenquelle μWG_{IV} das vierte Mikrowellensignal μW_{IV} in die vierte Wellenleitung, hier eine vierte Tri-Plate-Leitung 6980_IV ein.

[1241] Die vier Wellenleitungen, hier in dem Beispiel der **Fig. 81** die beispielhaften vier Tri-Plate-Leitungen (6980_I, 6980_II, 6980_III, 6980_IV), bilden zusammen eine vektorielle Wellenleitung, hier eine vektorielle Tri-Plate-Leitung 6980, die die beispielhaften vier Tri-Plate-Leitungen (6980_I, 6980_II, 6980_III, 6980_IV) in dem Beispiel der **Fig. 81** umfasst.

[1242] In dem Beispiel der **Fig. 81** speist die vektorielle Mikrowellenquelle μWG das vektorielle Mikrowellensignal μW in die vektorielle Wellenleitung, hier eine vektorielle Tri-Plate-Leitung 6980 ein.

[1243] In dem Beispiel der **Fig. 81** erzeugt die erste Mikrowellenquelle μWG_I das erste Mikrowellensignal μW_I mit einer ersten Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}_I}$.

[1244] In dem Beispiel der **Fig. 81** erzeugt die zweite Mikrowellenquelle μWG_{II} das zweite Mikrowellensignal μW_{II} mit einer zweiten Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}_{II}}$.

[1245] In dem Beispiel der **Fig. 81** erzeugt die dritte Mikrowellenquelle μWG_{III} das dritte Mikrowellensignal μW_{III} mit einer dritten Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}_{III}}$.

[1246] In dem Beispiel der **Fig. 81** erzeugt die vierte Mikrowellenquelle μWG_{IV} das vierte Mikrowellensignal μW_{IV} mit einer vierten Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}_{IV}}$.

[1247] Die erste Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}_I}$ und die zweite Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}_{II}}$ und die dritte Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}_{III}}$ und die vierte Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}_{IV}}$ können zusammen als vektorielle Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ aufgefasst werden.

[1248] In dem Beispiel der **Fig. 81** erzeugt die vektorielle Mikrowellenquelle μWG das vektorielle Mikrowellensignal μW somit mit einer vektorielle Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$.

[1249] Um ein Maximum an Informationen erfassen zu können, sind die erste Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}_I}$ und die zweite Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}_{II}}$ und die dritte Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}_{III}}$ und die vierte Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}_{IV}}$ vorzugsweise untereinander verschieden.

[1250] Diese vier Mikrowellenfrequenzen ($\omega_{\mu\text{W}_I}$, $\omega_{\mu\text{W}_{II}}$, $\omega_{\mu\text{W}_{III}}$, $\omega_{\mu\text{W}_{IV}}$) definieren dann in **Fig. 51b** vier senkrechte virtuelle Linien, auf denen die Arbeitspunkte liegen müssen. (Siehe nachfolgende **Fig. 82.**)

[1251] Durch die Verwendung eines Gradienten behafteten Permanentmagneten GPM, werden diese vertikalen Linien tatsächlich als Messwerte sichtbar und können durch ein computerimplementiertes Mustererkennungs- und/oder Bildverarbeitungsverfahren aus den Bildern des Lichtsensorarray 1 direkt extrahiert werden. Bevorzugt führen die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungs- und/oder das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28) das computerimplementierte Mustererkennungs- und/oder Bildverarbeitungsverfahren aus. Bevorzugt befinden sich die Programmdateien mit dem Programmcode für das computerimplementierte Mustererkennungs- und/oder Bildverarbeitungsverfahren in einem Speichermedium, beispielsweise in einem Speicher (RAM, NVM) des Systems. Bevorzugt führen die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungs- und/oder das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28) den Programmcode für das computerimplementierte Mustererkennungs- und/oder Bildverarbeitungsverfahren in einem Speichermedium, beispielsweise in einem Speicher (RAM, NVM) des Systems bei Ausführung dieser Verfahren aus.

[1252] Ein optionaler erster zweiter Signalgenerator $G2_I$ erzeugt ein erstes Mikrowellenmodulationssignal $S5m_I$ mit einer ersten Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu\text{W}_I}$.

[1253] Ein optionaler zweiter zweiter Signalgenerator $G2_{II}$ erzeugt ein zweites Mikrowellenmodulationssignal $S5m_{II}$ mit einer zweiten Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu\text{W}_{II}}$.

[1254] Ein optionaler dritter zweiter Signalgenerator $G2_{III}$ erzeugt ein drittes Mikrowellenmodulationssignal $S5m_{III}$ mit einer dritten Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu\text{W}_{III}}$.

[1255] Ein optionaler vierter zweiter Signalgenerator $G2_{IV}$ erzeugt ein viertes Mikrowellenmodulationssignal $S5m_{IV}$ mit einer vierten Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu\text{W}_{IV}}$.

[1256] Bevorzugt ist der Kehrwert der ersten Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu\text{W}_I}$ ein ganzzahliges Vielfaches der Bildwiederholperiode des Lichtsensorarrays 1. (Englisch: Frame Rate)

- [1257]** Bevorzugt ist der Kehrwert der zweiten Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W_II}$ ein ganzzahliges Vielfaches der Bildwiederholperiode des Lichtsensorarrays 1. (Englisch: Frame Rate)
- [1258]** Bevorzugt ist der Kehrwert der dritten Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W_III}$ ein ganzzahliges Vielfaches der Bildwiederholperiode des Lichtsensorarrays 1. (Englisch: Frame Rate)
- [1259]** Bevorzugt ist der Kehrwert der vierten Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W_IV}$ ein ganzzahliges Vielfaches der Bildwiederholperiode des Lichtsensorarrays 1. (Englisch: Frame Rate)
- [1260]** Dies vermeidet Alaising-Effekte.
- [1261]** Die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder das weitere und/oder übergeordnete
- [1262]** Rechnersystem CTR2(28) können typischerweise die ersten Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W_I}$ des ersten Mikrowellenmodulationssignals S5m_I des ersten zweiten Signalgenerators G2_I über den Datenbus DB einstellen.
- [1263]** Die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28) können typischerweise die zweiten Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W_II}$ des zweiten Mikrowellenmodulationssignals S5m_II des zweiten zweiten Signalgenerators G2_II über den Datenbus DB einstellen.
- [1264]** Die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28) können typischerweise die dritten Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W_III}$ des dritten Mikrowellenmodulationssignals S5m_III des dritten zweiten Signalgenerators G2_III über den Datenbus DB einstellen.
- [1265]** Die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28) können typischerweise die vierte Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W_IV}$ des vierten Mikrowellenmodulationssignals S5m_IV des vierten zweiten Signalgenerators G2_IV über den Datenbus DB einstellen.
- [1266]** Das optionale erste Mikrowellenmodulationssignal S5m_I kann typischerweise, wenn vorhanden, die Amplitude des ersten Mikrowellensignals μW_I modulieren.
- [1267]** Das optionale zweite Mikrowellenmodulationssignal S5m_II kann typischerweise, wenn vorhanden, die Amplitude des zweite Mikrowellensignals μW_II modulieren.
- [1268]** Das optionale dritte Mikrowellenmodulationssignal S5m_III kann typischerweise, wenn vorhanden, die Amplitude des dritte Mikrowellensignals μW_III modulieren.
- [1269]** Das optionale vierte Mikrowellenmodulationssignal S5m_IV kann typischerweise, wenn vorhanden, die Amplitude des vierten Mikrowellensignals μW_IV modulieren.
- [1270]** Bevorzugt übermittelt der erste zweite Signalgenerator G2_I das erste Mikrowellenmodulationssignal S5m_I auch an die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und ggf. über diese indirekt an das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28).
- [1271]** Bevorzugt übermittelt der zweite zweite Signalgenerator G2_II das zweite Mikrowellenmodulationssignal S5m_II auch an die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und ggf. über diese indirekt an das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28).
- [1272]** Bevorzugt übermittelt der dritte zweite Signalgenerator G2_III das dritte Mikrowellenmodulationssignal S5m_III auch an die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des

Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und ggf. über diese indirekt an das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28).

[1273] Bevorzugt übermittelt der erste vierte Signalgenerator G2_IV das vierte Mikrowellenmodulationssignal S5m_IV auch an die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und ggf. über diese indirekt an das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28).

[1274] Sofern eine solche Modulation entsprechend dem vektoriellen Mikrowellenmodulationssignal S5m stattfindet, berücksichtigen die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und ggf. über diese indirekt an das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28) den jeweiligen vektoriellen Wert des vektoriellen Mikrowellenmodulationssignals S5m bei der Ausführung der computerimplementierten Bildererkennungsverfahren und/oder Mustererkennungsverfahren.

[1275] Nach der Auswertung eines oder mehrerer Bilder des Lichtsensorarrays 1, ermitteln die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28) bevorzugt einen Verfeinerungsbedarf, um die Messergebnisse in ihrer Präzision zu verbessern. Hierfür führen bevorzugt die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28) beispielsweise ein computerimplementiertes Bayes'sche Optimierungsverfahren durch. Bevorzugt ist der Programmcode für das beispielhafte Bayes'sche Optimierungsverfahren in einem Speichermedium der Vorrichtung, insbesondere einem Speicher (RAM, NVM), abgelegt. Bevorzugt führen die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28) diesen Programmcode bei Ausführung des computerimplementierten Bayes'sche Optimierungsverfahrens durch.

[1276] Während des beispielhaften Bayes'sche Optimierungsverfahrens können die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28) beispielsweise über den Datenbus DB neue vektorielle Mikrowellenfrequenzen ($\omega_{\mu W_I}$, $\omega_{\mu W_II}$, $\omega_{\mu W_III}$, $\omega_{\mu W_IV}$) in der vektoriellen Mikrowellenquelle μW einstellen und so das Diagramm erfasste der **Fig. 51b** an interessierenden Punkten andere Mikrowellenfrequenzen ($\omega_{\mu W_I}$, $\omega_{\mu W_II}$, $\omega_{\mu W_III}$, $\omega_{\mu W_IV}$) geeignet verfeinern.

[1277] Während des beispielhaften Bayes'sche Optimierungsverfahrens können die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28) beispielsweise über den Datenbus DB andere zusätzliche magnetische Flussdichten B_{ad} einstellen, die die Magnetfelderzeugungsvorrichtung L_c erzeugt und die zur Gesamtflussdichte B_z jeweils beiträgt.

[1278] Hierdurch können die Aufbereitungsvorrichtung 30 für die Ausgangssignale 31 der Fotodetektoren PD des Lichtsensorarrays 1 und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28) den Erfassungsbereich in der **Fig. 51b** nach oben oder unten verschieben und so signifikantere Stellen, wie beispielsweise den Punkt der Nullpunktsmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W_0}$ und der Nullpunktsflussdichte B_0 , in den Erfassungsbereich bringen. Solche Positionen sind besonders leicht zu erkennen. Hierdurch kann die Sensorvorrichtung sehr schnell die Präzision der Messwerte verbessern und durch die Ermittlung der Lage der Kurve der **Fig. 51b** in einem Flussdichte-Mikrowellenfrequenzdiagramm die Parameter einer externen magnetischen Flussdichte B_{ext} und einer unbekanntenen Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W_{nk}}$ eines von extern einwirkenden Mikrowellenfeldes insbesondere durch Mischung mit einer Mischfrequenz ermitteln.

[1279] Bevorzugt ermitteln die Steuervorrichtung CTR (Aufbereitungsvorrichtung 30) und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28) unter Verwendung der besagten computerimplementierten Bildverarbeitungs- und/oder Mustererkennungsalgorithmen einen oder mehrere der folgenden Messwerte bzw. Messwertgruppen:

1. Informationen über die wahrscheinliche Lage der unteren Resonanzkante 522,
2. Informationen über die wahrscheinliche Lage der unteren mittleren Resonanzkante 523,

3. Informationen über die wahrscheinliche Lage der oberen mittleren Resonanzkante 524,
4. Informationen über die wahrscheinliche Lage der oberen Resonanzkante 525,
5. Informationen über die wahrscheinliche Lage des mittleren Resonanzminimums 529,
6. Informationen über den wahrscheinlichen Wert der wirksamen Offsetflussdichte B_{off} ,
7. Informationen über den wahrscheinlichen Wert der Nullpunktsflussdichte B_0 ,
8. Informationen über den wahrscheinlichen Wert der Nullpunktsmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$,

[1280] Nach weiteren Messungen können die Steuervorrichtung CTR und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV bzw. eine Auswertevorrichtung 30 und/oder das weitere und/oder übergeordnete Rechnersystem CTR2(28) auch hier auf einen oder mehrere der folgenden Werte schließen:

9. Informationen über den wahrscheinlichen Wert 564 der magnetischen Flussdichte B_{61} , der der oberen Referenzlinie 561 zugeordnet ist, an einem oder mehreren Arbeitspunkten,
10. Informationen über den wahrscheinlichen Wert 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist, an einem oder mehreren Arbeitspunkten,
11. Informationen über die wahrscheinliche Differenz 566 des Werts der magnetischen Flussdichte B_{63} , der der mittleren Referenzlinie 563 zugeordnet ist, minus dem Wert 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist,
12. Informationen über die wahrscheinliche Steigung 567 der Kurve an einem oder mehreren Arbeitspunkten;
13. Informationen über die Polynomkoeffizienten der Polynomapproximation 627 der Kurve in einigen Arbeitspunkten,
14. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer unteren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{22} ,
15. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer unteren mittleren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{23} ,
16. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer oberen mittleren wirksamen magnetischen Flussdichte B_{24} ,
17. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer oberen wirksamen magnetischen Flussdichte B_{25} ,
18. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer wirksamen magnetische Resonanzminimum-Flussdichte B_{29} ,
19. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer Nullpunktsmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$;
20. den wahrscheinlichen Wert einer unteren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W22}$;
21. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer unteren mittleren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W23}$;
22. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer oberen mittleren Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W24}$;
23. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer oberen Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W25}$;
24. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer Resonanzminimum-Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W29}$;
25. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer unbekanntenen Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$;
26. Informationen über den wahrscheinlichen Wert einer Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$;

Figur 82

[1281] Fig. 82 zeigt das Diagramm der Fig. 51b, wobei nun beispielhaft vier beispielhafte Mikrowellenfrequenzen ($\omega_{\mu W_I}$, $\omega_{\mu W_{II}}$, $\omega_{\mu W_{III}}$, $\omega_{\mu W_{IV}}$) eingezeichnet sind, mit denen beispielsweise eine Vorrichtung entsprechend der Fig. 81 die Messwerte der Intensität der $I_{fl}(B_{ad})$ Fluoreszenzstrahlung FL längs der vier eingezeichneten senkrechten Linien für verschiedene zusätzliche Beträge der magnetischen Flussdichte B_{ad} ermittelt. Hierdurch können die Steuervorrichtung CTR und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV

bzw. eine Auswertevorrichtung 30 den ersten Arbeitspunkt 14401 mit den Werten B_{22} , $\omega_{\mu W,22}=\omega_{\mu W_I}$ und den zweiten Arbeitspunkt 14402 mit den Werten B_{22} , $\omega_{\mu W,22}=\omega_{\mu W_II}$ auf der unteren Resonanzkante 522 ermitteln.

[1282] Außerdem können hierdurch die Steuervorrichtung CTR und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV bzw. eine Auswertevorrichtung 30 den dritten Arbeitspunkt 14403 mit den Werten B_{25} , $\omega_{\mu W,25}=\omega_{\mu W_III}$, und den vierten Arbeitspunkt 14404 mit den Werten B_{22} , $\omega_{\mu W,25}=\omega_{\mu W_IV}$ auf der oberen Resonanzkante 25 ermitteln. Es ist leicht zu erkennen, dass sich für Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu W}$, die größer als die Nullpunktsmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$ sind auch Schnittpunkte der vertikalen Linien mit der unteren mittleren Resonanzkante 523, mit der oberen mittleren Resonanzkante 524 und mit dem mittleren Resonanzminimum 529 ergeben können. Je nach Anwendung kann es daher besser sein, den linken Bereich des Diagramms der **Fig. 51b** mit $\omega_{\mu W} < \omega_{\mu W0}$ (präziser und eindeutiger) oder den rechten Bereich des Diagramms der **Fig. 51b** mit $\omega_{\mu W} > \omega_{\mu W0}$ (mehr Informationen) zu nutzen. Mittels computerimplementierter Verfahren können die Mustererkennungsvorrichtung MEV und/oder die Steuervorrichtung CTR die Position der Spitze 30 der F-Formation (522, 525) ermitteln und daraus Messwerte für gesuchte physikalische Parameter ableiten.

Figur 83

[1283] **Fig. 83** zeigt beispielhaft die innere Struktur einer vektoriellen Mikrowellenquelle μWG mit den Mikrowellenquellen (μWG_I , μWG_II , μWG_III , μWG_IV) der **Fig. 81** im Falle der Zumischung eines externen Signals $S_{\omega_{nk}}$ mit unbekannter Mikrowellenfrequenz ω_{nk} am Beispiel der Mikrowellenquellen (μWG_I , μWG_II , μWG_III , μWG_IV) der **Fig. 81**.

[1284] In dem Beispiel erzeugt die erste interne Mikrowellenquelle μW_G_I in Abhängigkeit von dem ersten Mikrowellenmodulationssignal $S5m_I$ und den über den Datenbus DB durch die Steuervorrichtung CTR oder die Auswertevorrichtung 30 oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV eingestellten Parametern das erste interne Mikrowellensignal μW_G_I . Bevorzugt hängt die Amplitude des ersten internen Mikrowellensignals μW_G_I von dem ersten Mikrowellenmodulationssignal $S5m_I$ ab. Das erste interne Mikrowellensignal μW_G_I weist dabei eine erste Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W_I}$ auf.

[1285] Ein erster interner Mixer μW_MX_I innerhalb der ersten Mikrowellenquelle μWG_I mischt nun das erste interne Mikrowellensignal μW_G_I mit dem Signal $S_{\omega_{nk}}$ mit der unbekannt Mikrowellenfrequenz ω_{nk} . Der erste interne Mixer μW_MX_I bildet somit das so gemischte erste Mikrowellenmischsignal μW_MX_I . Ein erster Mikrowellenfilter μW_F_I (Siehe **Fig. 83**) eliminiert bevorzugt einen der beiden bei $\omega_{\mu W_I}-\omega_{nk}$ und $\omega_{\mu W_I}+\omega_{nk}$ entstehenden Transienten in dem erste Mikrowellenmischsignal μW_MX_I und bildet das erste Mikrowellensignal μW_I . Bevorzugt ist die Grenzfrequenz des ersten Mikrowellenfilters μW_F_I bei einem Tiefpass als ersten Mikrowellenfilter μW_F_I kleiner als die Nullpunktsmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$. Bevorzugt ist die Grenzfrequenz des ersten Mikrowellenfilters μW_F_I bei einem Hochpass als ersten Mikrowellenfilter μW_F_I größer als die Nullpunktsmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$. Hierdurch wird das Diagramm der **Fig. 51b** betreffend die Position der untere Resonanzkante 522 in eine umkehrbare Funktion $\omega_{\mu W}(B_{ad})$ gewandelt. (siehe **Fig. 84**)

[1286] In dem Beispiel erzeugt die zweite interne Mikrowellenquelle μW_G_II in Abhängigkeit von dem zweiten Mikrowellenmodulationssignal $S5m_II$ und den über den Datenbus DB durch die Steuervorrichtung CTR oder die Auswertevorrichtung 30 oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV eingestellten Parametern das zweite interne Mikrowellensignal μW_G_II . Bevorzugt hängt die Amplitude des zweiten internen Mikrowellensignals μW_G_II von dem zweiten Mikrowellenmodulationssignal $S5m_II$ ab. Das zweite interne Mikrowellensignal μW_G_II weist dabei eine zweite Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W_II}$ auf.

[1287] Ein zweiter interner Mixer μW_MX_II innerhalb der zweiten Mikrowellenquelle μWG_II mischt nun das zweite interne Mikrowellensignal μW_G_II mit dem Signal $S_{\omega_{nk}}$ mit der unbekannt Mikrowellenfrequenz ω_{nk} . Der zweite interne Mixer μW_MX_II bildet somit das so gemischte zweite Mikrowellenmischsignal μW_MX_II . Ein zweiter Mikrowellenfilter μW_P_II (Siehe **Fig. 83**) eliminiert bevorzugt einen der beiden bei $\omega_{\mu W_II}-\omega_{nk}$ und $\omega_{\mu W_II}+\omega_{nk}$ entstehenden Transienten in dem zweiten Mikrowellenmischsignal μW_MX_II und bildet das zweite Mikrowellensignal μW_II . Bevorzugt ist die Grenzfrequenz des zweiten Mikrowellenfilters μW_F_II bei einem Tiefpass als zweiten Mikrowellenfilter μW_F_II kleiner als die Nullpunktsmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$. Bevorzugt ist die Grenzfrequenz des zweiten Mikrowellenfilters μW_F_II bei einem Hochpass als zweiten Mikrowellenfilter μW_F_II größer als die Nullpunktsmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$. Hierdurch wird das Diagramm der **Fig. 51b** betreffend die Position der untere Resonanzkante 522 in eine umkehrbare Funktion $\omega_{\mu W}(B_{ad})$ gewandelt. (siehe **Fig. 84**)

[1288] In dem Beispiel erzeugt die dritte interne Mikrowellenquelle μW_G_III in Abhängigkeit von dem dritten Mikrowellenmodulationssignal $S5m_III$ und den über den Datenbus DB durch die Steuervorrichtung CTR oder die Auswertevorrichtung 30 oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV eingestellten Parametern das dritte interne Mikrowellensignal μW_G_III . Bevorzugt hängt die Amplitude des dritten internen Mikrowellensignals μW_G_III von dem dritten Mikrowellenmodulationssignal $S5m_III$ ab. Das dritte interne Mikrowellensignal μW_G_III weist dabei eine dritte Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W_III}$ auf.

[1289] Ein dritter interner Mixer μW_MX_III innerhalb der dritten Mikrowellenquelle μWG_III mischt nun das dritte interne Mikrowellensignal μW_G_III mit dem Signal $S_{\omega_{nk}}$ mit der unbekanntem Mikrowellenfrequenz ω_{nk} . Der dritte interne Mixer μW_MX_III bildet somit das so gemischte dritte Mikrowellenmischsignal μW_MX_III . Ein dritter Mikrowellenfilter μW_F_III (Siehe **Fig. 83**) eliminiert bevorzugt einen der beiden bei $\omega_{\mu W_III}-\omega_{nk}$ und $\omega_{\mu W_III}+\omega_{nk}$ entstehenden Transienten in dem dritten Mikrowellenmischsignal μW_MX_III und bildet das dritte Mikrowellensignal μW_III . Bevorzugt ist die Grenzfrequenz des dritten Mikrowellenfilters μW_F_III bei einem Tiefpass als dritten Mikrowellenfilter μW_F_III kleiner als die Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$. Bevorzugt ist die Grenzfrequenz des dritten Mikrowellenfilters μW_F_III bei einem Hochpass als dritten Mikrowellenfilter μW_F_III größer als die Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$. Hierdurch wird das Diagramm der **Fig. 2** betreffend die Position der unteren Resonanzkante 522 in eine umkehrbare Funktion $\omega_{\mu W}(B_{ad})$ gewandelt. (siehe **Fig. 84**)

[1290] In dem Beispiel erzeugt die vierte interne Mikrowellenquelle μW_G_IV in Abhängigkeit von dem vierten Mikrowellenmodulationssignal $S5m_IV$ und den über den Datenbus DB durch die Steuervorrichtung CTR oder die Auswertevorrichtung 30 oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV eingestellten Parametern das vierte interne Mikrowellensignal μW_G_IV . Bevorzugt hängt die Amplitude des vierten internen Mikrowellensignals μW_G_IV von dem vierten Mikrowellenmodulationssignal $S5m_IV$ ab. Das vierte interne Mikrowellensignal μW_G_IV weist dabei eine vierte Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W_IV}$ auf.

[1291] Ein vierter interner Mixer μW_MX_IV innerhalb der vierten Mikrowellenquelle μWG_IV mischt nun das vierte interne Mikrowellensignal μW_G_IV mit dem Signal $S_{\omega_{nk}}$ mit der unbekanntem Mikrowellenfrequenz ω_{nk} . Der vierte interne Mixer μW_MX_IV bildet somit das so gemischte vierte Mikrowellenmischsignal μW_MX_IV . Ein vierter Mikrowellenfilter μW_F_IV (Siehe **Fig. 83**) eliminiert bevorzugt einen der beiden bei $\omega_{\mu W_IV}-\omega_{nk}$ und $\omega_{\mu W_IV}+\omega_{nk}$ entstehenden Transienten in dem vierten Mikrowellenmischsignal μW_MX_IV und bildet das vierte Mikrowellensignal μW_IV . Bevorzugt ist die Grenzfrequenz des vierten Mikrowellenfilters μW_F_IV bei einem Tiefpass als vierten Mikrowellenfilter μW_F_IV kleiner als die Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$. Bevorzugt ist die Grenzfrequenz des vierten Mikrowellenfilters μW_F_IV bei einem Hochpass als vierten Mikrowellenfilter μW_F_IV größer als die Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$. Hierdurch wird das Diagramm der **Fig. 51b** betreffend die Position der unteren Resonanzkante 522 in eine umkehrbare Funktion $\omega_{\mu W}(B_{ad})$ gewandelt. (siehe **Fig. 84**)

Figur 84

[1292] **Fig. 84** veranschaulicht, die Funktionsbildung der Kurve der unteren Resonanzkante 522 durch Tiefpassfilterung in den Mikrowellenfiltern (μW_F_I , μW_F_II , μW_F_III , μW_F_IV) (Siehe **Fig. 81, 82** und **83**).

Figur 85

[1293] Die Grundidee der Herstellung eines kolloidalen Lackes KL zur Belackung und/oder zum Bedrucken des Trägersubstrats 1360 ist in **Fig. 85** dargestellt:

Zunächst gehen wir hier davon aus, dass die Kristalle bzw. Diamant-Nano-Kristalle ND in ausreichend großen Mengen in vorzugsweise im Wesentlichen gleicher Form vorliegen. Beispielhaft gehen wir hier davon aus, dass es sich bei den Kristallen bzw. Diamant-Nano-Kristallen ND um Nanodiamanten mit einem oder mehreren paramagnetischen Zentren, vorzugsweise mit einem oder mehreren NV-Zentren, handelt. Andere Kristallmaterialien und/oder paramagnetische Zentren sind denkbar, wenn sie ebenfalls eine Fluoreszenzstrahlung FL bei Bestrahlung mit einer Pumpstrahlung LB einer typischerweise Zentren spezifischen Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} emittieren. Die Diamant-Nano-Kristalle ND stehen hier somit beispielhaft für andere mögliche Kristalle mit möglicherweise anderen Eigenschaften und/oder anderen paramagnetischen Zentren. Auf den Rest dieses Dokuments wird hier verwiesen. Im Falle der Diamant-Nano-Kristalle ND, die Diamant umfassen, sind NV-Zentren als paramagnetische Zentren bevorzugt.

[1294] Die Kristalle mit paramagnetischen Zentren und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND mit paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren werden mit dem zuvor ausgewählten und in geeigneter Form bereitgestelltem Trägermaterial TM und ggf. einem Lösungsmittel LM zur Einstellung der Viskosität beispielhaft zur Vermischung in einen Behälter gegeben und mittels Verrühren VR gemischt, bis eine kolloidale Mischung (kolloidaler Lack KL) entsteht, die für die vorgesehene Weiterverarbeitung beispielsweise in einer Nachfolgenden Spin-On-Belackung oder einen Druckvorgang, beispielsweise einen Siebdruckvorgang und/oder einem Schablonendruck und/oder Tampon-Druck, geeignet ist.

[1295] Das hier vorgestellte Dokument schlägt als Trägermaterial TM beispielsweise ein klares, farbloses, flüssiges Fotopolymer, beispielsweise den optischen Norland Klebstoff 61 vor. Weitere Informationen sind zum Zeitpunkt der Anmeldung des hier vorgelegten Dokuments unter <https://www.norlandprod.com/adhesives/noa%2061.html> verfügbar.

[1296] Norland Optical Adhesive 61 („NOA 61“) ist ein klares, farbloses, flüssiges Fotopolymer, das unter Bestrahlung mit einer Aushärtestrahlung 4910 mit der Aushärtewellenlänge λ_H im ultraviolettem Wellenlängenbereich aushärtet. Da es sich um ein Einkomponentensystem mit 100 % Feststoffanteil handelt, bietet es viele Vorteile bei Verklebungen, bei denen der Klebstoff UV-Licht ausgesetzt werden kann. Durch die Verwendung von NOA 61 entfällt das Vormischen, Trocknen oder Aushärten durch Wärme, wie es bei anderen Klebstoffsystemen üblich ist. Die Aushärtezeit ist typischerweise kurz und hängt von der aufgetragenen Dicke D_{SE} der Sensorelementschicht 5 bzw. des Sensorelements SE und der verfügbaren UV-Lichtenergie ab. Es ist besonders sinnvoll, wenn das Trägermittel TM die Federal Specification MIL-A-3920 für optische Klebstoffe erfüllt. NOA 61 erfüllt als Trägermittel TM die Federal Specification MIL-A-3920 vom 21 Februar 1977 für optische Klebstoffe. Das Trägermaterial TM soll eine bestmögliche optische Verbindung zu der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 herstellen können. Dementsprechend soll Das Trägermaterial TM soll eine bestmögliche optische und/oder mechanische Verbindung zu FR-4-Oberflächen (Flameresistent-4) oder PTFE-Oberflächen (Polytetrafluorethylen) oder Oberflächen halbleitender Materialien, wie beispielsweise zu Oberflächen von Stücken von Platinenmaterialien oder von Stücken von Kunststoffplatten- oder -folien und/oder von Stücken von Glas-Wafern oder von Stücken von Keramik-Wafern und/oder von Stücken von Halbleiterwafern, beispielsweise Oberflächen von Stücken von CMOS-Wafern oder beispielsweise von Stücken von BiCMOS-Wafern beispielsweise Stücken von Wafern aus einer Bipolar-Technologie oder von Stücken eines Wafers aus einem III/V-Material oder dergleichen und/oder beispielsweise von Stücken von MEMS-Wafern und/oder von Stücken mikroelektronischen Schaltungen und/oder beispielsweise von Stücken von MEOS-Wafern (MEOS= micro electro optical system) und/oder beispielsweise von Stücken von MOEMS-Wafern etc. und/oder von Stücken von MOEMS-Wafern mikroelektronischer Schaltkreise und mikroelektronischer Funktionselemente und/oder mikrooptische Funktionselemente und/oder mikromechanischer Funktionselemente und/oder mikrofluidischer Funktionselemente je nach Anwendungsbereich herstellen können. NOA61 erfüllt diese Voraussetzungen in der Regel und insbesondere auch über den benötigten Temperaturbereich und typischerweise die erwartete Lebensdauer. Dies macht eine Produktqualifikation aber nicht überflüssig. Besonders günstig ist die Verwendung eines Trägermaterials TM, das für die Verklebung von Linsen, Prismen und Spiegeln für militärische, luft- und raumfahrttechnische und kommerzielle Optiken sowie für den Abschluss und das Spleißen von Glasfasern empfohlen ist. NOA61 erfüllt diese Voraussetzungen.

[1297] Das Trägermaterial TM soll sich typischerweise nach Herstellerangaben außerdem durch hervorragende Klarheit, geringe Schrumpfung und Lichtflexibilität auszeichnen. Diese Eigenschaften sind wichtig, damit der Anwender qualitativ hochwertige Sensorelemente SE und/oder Sensorelementschichten SE(5) herstellen und eine langfristige Leistung unter wechselnden aggressiven Umgebungsbedingungen erzielen kann.

[1298] NOA 61 härtet, wie für das Trägermaterial TM gewünscht, mit ultraviolettem Licht als Aushärtestrahlung 4910 aus, wobei die maximale Absorption im Bereich von 320-380 Nanometern für die Aushärtewellenlänge λ_H liegt und die höchste Empfindlichkeit für die Aushärtung von NOA61 bei einer Aushärtewellenlänge λ_H von 365 nm erreicht wird. Die empfohlene Energie für die vollständige Aushärtung beträgt 3 Joule/cm² bei diesen Aushärtewellenlängen λ_H . Die Aushärtung von NOA 61 wird durch Sauerstoff nicht gehemmt, so dass alle Bereiche, die mit Luft in Berührung kommen, zu einem nicht klebrigen Zustand aushärten, wenn sie ultraviolettem Licht als Aushärtestrahlung 4910 ausgesetzt werden.

[1299] Bei den meisten optischen Anwendungen erfolgt die Aushärtung mittels der als Aushärtestrahlung 4910 in zwei Schritten. Zunächst erfolgt eine kurze, gleichmäßige Belichtung, die sogenannte Vorhärtung mit einer Aushärtestrahlung 4910 mit einer Aushärtewellenlänge λ_H . Die Aushärtungszeit ist ausreichend lang, um die Verbindung zu verfestigen und zu ermöglichen, dass sie bewegt/transportiert werden kann, ohne die

Ausrichtung zu stören. Danach folgt eine längere Aushärtung unter UV-Licht als Aushärtestrahlung 4910, um eine vollständige Vernetzung und Lösungsmittelbeständigkeit des Klebstoffs, also beispielsweise NOA 61, zu erreichen. Die Aushärtung mit Aushärtestrahlung 4910 kann in dem Beispiel NOA 61 als Trägermaterial TM in 10 Sekunden mit einer 100-Watt-Quecksilberlampe bei 6" erfolgen. Wenn für die Ausrichtung eine längere Zeit erforderlich ist, kann sie mit einer Lichtquelle für Aushärtestrahlung 4910 mit sehr geringer Intensität auf einige Minuten im Falle des beispielhaften Trägermaterials TM NOA 61 verlängert werden. Die endgültige Aushärtung kann im Falle des beispielhaften Trägermaterials TM mit der 100-Watt-Quecksilberlampe in 5 bis 10 Minuten erreicht werden.

[1300] Die Vorhärtung ermöglicht es dem Anwender, den das Trägersubstrat 1360 und/oder Lichtwellenleiter LWL im Falle der getrennten Bereitstellung bei Bedarf schnell gegeneinander noch auszurichten und zu fixieren, und minimiert die Anzahl der erforderlichen Haltevorrichtungen. Nach der Vorfixierung kann überschüssiger Klebstoff mit einem mit Alkohol oder Aceton als beispielhaftes Lösungsmittel LM angefeuchteten Tuch abgewischt und/oder abgespült werden. Die Lichtwellenleiter LWL sollten zu diesem Zeitpunkt geprüft und Ausschuss in Methylenchlorid separiert werden. Der beschichtete Bereich der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschichten 5 muss für eine Nacharbeit typischerweise in dem Lösungsmittel LM eingeweicht werden und löst sich normalerweise über Nacht. Die Zeit, die benötigt wird, um das Trägermaterial TM für eine Nacharbeit zu lösen, hängt vom Ausmaß der Aushärtung und der Größe der Beschichtung ab.

[1301] Nach der Aushärtung weist NOA 61 als Trägermaterial TM eine sehr gute Haftung und Lösungsmittelbeständigkeit auf, aber es hat noch nicht seine optimale Haftung auf Glas und/oder SiO₂-Halbleiterwafer-Oberflächen erreicht. Diese wird durch eine Alterung über einen Zeitraum von etwa 1 Woche erreicht, in der sich eine chemische Verbindung zwischen Glas bzw. SiO₂-Oberfläche einerseits und Trägermaterial TM bildet. Diese optimale Haftung kann auch durch eine Alterung des Trägersubstrats 1360 mit der Sensorelementschicht 5 und/oder den Sensorelementen SE bei 50° C für 12 Stunden in einem Temperaturschrank erreicht werden.

[1302] NOA 61 hält vor der Alterung Temperaturen von -15°C bis 60° C stand, wenn es zum Beschichten des Lichtwellenleiters LWL und/oder des Trägersubstrats 1360 verwendet wird. Nach der Alterung hält es Temperaturen von -150°C bis 125°C stand. Damit ist dieses Trägermaterial TM NOA 61 automotive-tauglich. Als Beschichtung auf der Oberfläche des Lichtwellenleiters LWL und/oder des Trägersubstrats 1360 hält NOA 61 drei Stunden lang 260°C und beim Reflow-Löten stand. Dies ist insbesondere dann von Interesse, wenn das Trägersubstrat ein Platinenmaterial, beispielsweise mit elektronischen Bauelementen ist. Das hier vorgelegte Dokument verweist in diesem Zusammenhang auf die noch unveröffentlichte Schrift DE 10 2023 111 858.7. Hierdurch können das Sensorelement SE und/oder die Sensorelementschicht 5 und/oder die vorschlagsgemäßen Lichtwellenleiter LWL bis zu diesen Temperaturen für die Messung der magnetischen Gesamtflussdichte B_z und/oder zur Messung von unbekanntem Mikrowellenfrequenzen ω_{nk} verwendet werden. Das hier vorgelegte Dokument schlägt daher die Verwendung eines vorschlagsgemäßen Lichtwellenleiters LWL und/oder des Sensorelements SE und/oder der Sensorelementschicht 5 bei Temperaturen oberhalb von 100°C und/oder sogar oberhalb von 110°C und/oder sogar oberhalb von 120°C und/oder sogar oberhalb von 130°C und/oder sogar oberhalb von 140°C und/oder sogar oberhalb von 150°C und/oder sogar oberhalb von 160°C und/oder sogar oberhalb von 170°C und/oder sogar oberhalb von 180°C und/oder sogar oberhalb von 190°C und/oder sogar oberhalb von 200°C und/oder sogar oberhalb von 210°C und/oder sogar oberhalb von 220°C und/oder sogar oberhalb von 230°C und/oder sogar oberhalb von 240°C und/oder sogar oberhalb von 250°C und/oder sogar oberhalb von 260°C vor. Hierbei ist zu beachten, dass hier die Eigenschaften des Materials des eines vorschlagsgemäßen Lichtwellenleiters LWL und/oder des Sensorelements SE und/oder der Sensorelementschicht 5 nicht berücksichtigt wurden, die ggf. diese Temperaturbereiche nicht mehr zulassen, was im Falle einer Nacharbeit zu prüfen wäre.

[1303] Typische Eigenschaften eines Trägermaterials TM sind ein Feststoffgehalt mehr als 80%, eine Viskosität bei 25°C von mehr als 250 cps, ein Brechungsindex des gehärteten Trägermaterials TM von mehr als 1,2 eine Dehnung bei Bruch von weniger als 50% oder mehr als 25% je nach Anwendung, ein Elastizitätsmodul von weniger als (psi) 200.000, eine Zugfestigkeit von mehr als (psi) 3.000 und eine Härte von mehr als Shore D 60.

[1304] Typische Eigenschaften von NOA 61 als beispielhaftes Trägermaterial TM sind ein Feststoffgehalt von 100%, eine Viskosität bei 25°C von 300 cps, ein Brechungsindex des gehärteten Polymers des Trägermaterials TM von 1,56, eine Dehnung bei Bruch von 38%, ein Elastizitätsmodul von (psi) 150.000, eine Zugfestigkeit von (psi) 3.000 und eine Härte von Shore D 85.

[1305] Wie bereits beschrieben, sind diese Verfahren prinzipiell nicht auf die Verwendung Trägermaterials TM (NAO 61 in z.B. alkoholischer Lösung) und dieser Kristalle bzw. Diamant-Nano-Kristalle ND mit paramagnetischen Zentren, insbesondere NV-Zentren beschränkt. Beispielsweise können auch statt der Diamanten mit NV-Zentren als Diamant-Nano-Kristalle ND auch Diamant-Nano-Kristalle ND mit SiV-Zentren und/oder mit TiV-Zentren und/oder mit GeV-Zentren und/oder mit SnV-Zentren und/oder mit NiN4-Zentren und/oder mit PbV-Zentren und/oder mit ST1-Zentren als paramagnetischen Zentren verwendet werden, wobei deren Eignung ggf. bei einer Nacharbeit zuvor durch eine fachkundige Person zu prüfen wäre. Solche alternativen paramagnetischen Zentren und/oder Materialien für Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND müssen für die Erfüllung des technischen Zwecks des herzustellenden Systems dienlich sein, was jeweils zu Beginn einer Nacharbeit zu prüfen wäre. Zur Vereinfachung der Beschreibung stellen wir hier nicht alle sinnvollen Varianten dar. Die Beanspruchung umfasst aber auch solche Kombinationen. Es können also auch andere Kombinationen aus Kristalle anderer Materialien und anderer Trägermaterialien TM und anderer Lösungsmittel LM verwendet werden, wenn die durch das herzustellende System zu lösende technische Aufgabe und die beabsichtigte Herstellungsmethode (Belacken und/oder Bedrucken und/oder lokales Benetzen) dies erfordert. Im Folgenden wird meistens nur der Begriff Belacken verwendet. Sofern anwendbar soll dieser Begriff auch die Begriffe Belacken, Beschichten und und/oder lokales Benetzen umfassen. Das Bezugszeichen ND steht hier also nicht nur für Diamant-Nano-Kristalle ND, die Diamant als Material umfassen, sondern auch für allgemeinere Kristalle.

[1306] Die Kristalle können auch poly-Kristallin sein und dann auch verschiedene Materialien und Schichten umfassen. Beispielsweise kann es sich um Silizium-Nanokristalle und/oder Kristalle und Mischkristalle beispielsweise umfassend III/V-Materialien handeln, die beispielsweise von einer SiO₂-Schicht oder eine andere optisch in den relevanten Wellenlängenbereichen (λ_{pmp} , λ_{fl}) transparente Isolationsschicht eingehüllt sind und bevorzugt geeignete paramagnetische Zentren aufweisen. Aus dem Stand der Technik sind beispielsweise darüber hinaus zahlreiche verschiedene transparente Lacke bekannt, die ggf. auf ihre jeweilige Eignung als Trägermaterial TM bei Verwendung anstelle von NOA61 jeweils geprüft werden können. Das hier geschriebene gilt für die Diamant-Nano-Kristalle ND im ganzen Dokument.

Figur 86

[1307] Das hier vorgestellte Verfahren sieht in seiner Grundversion vor, einen kolloidalen Lack KL umfassend ein Trägermaterial TM und Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND auf das Trägersubstrat 1360 aufzubringen.

[1308] Typischerweise umfasst das Trägersubstrat 1360 Materialien wie FR-4 (Flameresistent-4) oder PTFE (Polytetrafluorethylen) oder halbleitende Materialien, wie beispielsweise Stücke von Platinenmaterialien oder Stücke von Kunststoffplatten- oder -folien und/oder Stücke von Glas-Wafern oder Stücke von Keramik-Wafern und/oder Stücke von Halbleiterwafern, beispielsweise Stücke von CMOS-Wafern oder beispielsweise Stücke von BiCMOS-Wafern und/oder beispielsweise Stücke von Wafern aus einer Bipolar-Technologie und/oder Stücke eines Wafers aus einem III/V-Material oder dergleichen und/oder beispielsweise Stücke von MEMS-Wafern und/oder Stücke mikroelektronischer Schaltungen und/oder beispielsweise Stücke von MEOS-Wafern (MEOS= micro electro optical system) und/oder beispielsweise Stücke von MOEMS-Wafern etc. und/oder Stücke von MOEMS-Wafern mikroelektronische Schaltkreise und mikroelektronischer Funktionselemente und/oder mikrooptische Funktionselemente und/oder mikromechanische Funktionselemente und/oder mikrofluidische Funktionselemente.

[1309] Das Aufbringen des kolloidalen Lackes KL auf das Trägersubstrat 1360 kann beispielsweise durch Aufschleudern oder Aufsprühen oder Aufdrucken oder ähnliche Verfahren erfolgen. (Siehe Figur 147.) Hinsichtlich der im Stand der Mikrotechnik möglichen Belackungsverfahren sei hier beispielhaft auf Marc J. Madou „Fundamentals of Microfabrication: the science of miniaturization“ CRC Press 2002 verwiesen.

[1310] Die Fig. 86 stellt ein mögliches, dem entsprechendes Belackungsverfahren beispielhaft dar. Der kolloidale Lack KL wird beispielhaft mittels eines Dispensers DP, einer speziellen Dosiervorrichtung, bevorzugt im Symmetriezentrum des beispielhaften Trägersubstrats 1360, hier ein beispielhafter Wafer, auf dieses in einem bevorzugt vorbestimmten zeitlichen Mengenverlauf pro Zeiteinheit aufgebracht. Das beispielhafte Trägersubstrats 1360 in Form des beispielhaften Wafers, der hier das beispielhafte Trägersubstrat 1360 darstellt, liegt in diesem Beispiel auf dem Drehteller einer Lackschleuder SC. Dieser Drehteller der Lackschleuder SC rotiert mit einer prozesstypischen Geschwindigkeit typischerweise entsprechend einem prozesstypischen zeitlichen Geschwindigkeitsprofil. Die Auftragung und die Rotationsgeschwindigkeit können vom Zeitpunkt seit dem Beginn der Belackung beispielsweise durch den Dispenser DP abhängen, um ein

optimales Ergebnis für die Belackung mit dem kolloidalen Lack KL und die Platzierung der Nanopartikel NP sicherzustellen. Sie folgen also bevorzugt einem Rotationsgeschwindigkeitsprofil bzw. einem zeitlichen Profil der Auftragungsmenge des kolloidalen Lacks KL.

Figur 87

[1311] Die beispielhaften Schritte eines Wafer basierenden Belackungsverfahrens sind in **Fig. 87** beispielhaft schematisch und vereinfacht dargestellt.

[1312] Das betreffende beispielhafte Belackungsverfahren der **Fig. 87** beginnt mit dem Verfahrensbeginn 14910.

[1313] Es folgt das Bereitstellen 14920 Trägersubstrats 1360, bevorzugt also eines Halbleitersubstrates - beispielsweise eines Wafers.

[1314] Sodann folgt bevorzugt das Bereitstellen 14930 des eines kolloidalen Lackes KL in Form einer kolloidalen Lösung von Kristallen bzw. Diamant-Nano-Kristallen ND in einem noch flüssigen Trägermaterial TM und ggf. einem zusätzlichen Lösungsmittel. Dabei kann das Bereitstellen 14920 Trägersubstrats 1360 und das Bereitstellen 14930 des eines kolloidalen Lackes KL in beliebiger Reihenfolge hintereinander oder gleichzeitig erfolgen. Die Kristalle bzw. Diamant-Nano-Kristalle ND umfassen dabei bevorzugt paramagnetische Zentren und/oder NV-Zentren in Diamant.

[1315] Der kolloidale Lack KL wird später strukturiert und zu einem strukturierten kolloidalen Film in Form der Sensorelemente SE auf dem Trägersubstrat 1360 bevorzugt mittels einer Aushärtestrahlung 4910 mit der Aushärtewellenlänge λ_H gehärtet. Der kolloidale Lack KL wird vorzugsweise strukturiert zu einem strukturierten kolloidalen Film in Form der Sensorelemente SE auf dem Trägersubstrat 1360 ganz besonders bevorzugt mittels einer lokal selektiv aufprojizierten oder zugeführten Aushärtestrahlung 4910 mit der Aushärtewellenlänge λ_H lokal und selektiv gehärtet. Vorzugsweise werden optische Funktionselemente der Vorrichtung, beispielsweise Lichtwellenleiter LWL und/oder als Lichtwellenleiter verwendete Trägersubstrate 1360, die später gegenüber den dann ausgebildeten Sensorelementen SE und/oder den dann ausgebildeten Sensorelementschichten 5 justiert sein müssen, für die Zuführung Aushärtestrahlung 4910 mit der Aushärtewellenlänge λ_H verwendet, sodass sich durch diese Zuführung automatisch ein selbstjustierender Aushärteeffekt des UV-aushärtbaren kolloidalen Lackes KL bei der Ausbildung der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschichten 5 gegenüber diesen optische Funktionselemente der Vorrichtung, beispielsweise Lichtwellenleiter LWL und/oder als Lichtwellenleiter verwendete Trägersubstrate 1360 justiert sein müssen. Damit dieser spätere ausgehärtete kolloidalen Film in Form der Sensorelemente SE auf der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 haften kann, sollte der kolloidale Lack KL der Kristallen bzw. Diamant-Nano-Kristallen ND zumindest Teile des Trägersubstrats 1360 benetzen können. Dies kann beispielsweise durch eine oder mehrere optionale vorausgehende Plasmabehandlungen 14950 mit Wasserstoff oder Sauerstoff oder der Gleichen bekanntermaßen gesteuert werden. Hierbei können die Benetzungseigenschaften der Oberfläche mittels einer der Plasmabehandlung vorausgehenden Fotolithografie 14940 auch in der Fläche moduliert (benetzend vs. nicht benetzend) ausgeführt werden. Hierzu werden vor der Plasmabehandlung 14950 einige Oberflächenbereiche beispielsweise mit Fotolack in dem besagten Fotolithografieschritt 14940 selektiv abgedeckt und andere Bereiche, die behandelt werden sollen, nicht mit Fotolack abgedeckt, so dass diese dem Plasma ausgesetzt sind. Eine solche Modulation der Benetzungseigenschaften wäre somit ein weiterer optionaler zusätzlicher Arbeitsschritt in Form einer Fotolithografie 14940, der denkbar ist.

[1316] Nach der optionalen Plasmabehandlung 14950 wird typischerweise dann der Abdecklack wieder entfernt 14960, wenn zuvor der besagte Fotolithografieschritt 14940 durchgeführt wurde.

[1317] Es folgt dann das Belacken 14970 des Trägersubstrats 1360 mit dem kolloidalen Lack KL der Kristalle bzw. Diamant-Nano-Kristallen ND, um einen kolloidalen Film aus kolloidalen Lack KL auf einer Oberfläche des Trägersubstrats 1360 zu erhalten. Dies geschieht beispielsweise durch Ausschleudern und/oder Aufsprühen und/oder Aufdrucken eines zuvor erstellten kolloidalen Lackes der Kristalle bzw. Diamant-Nano-Kristallen ND.

[1318] In der Regel wird der kolloidale Lack KL der Kristalle bzw. Diamant-Nano-Kristallen ND mit den darin enthaltenen Kristallen bzw. Diamant-Nano-Kristallen ND dann soweit zu einem kolloidalen Film in Form von Sensorelementen SE ausgehärtet 14980, dass er mechanisch für die weitere Verarbeitung ausreichend stabil ist, aber ggf. noch mittels anderer nachfolgender Verfahrensschritte strukturiert werden kann. Auf die Verar-

beutungshinweise des bevorzugten Trägermaterials TM NOA 61 in diesem Dokument weist das hier vorgelegte Dokument in diesem Zusammenhang hin.

[1319] Diese Strukturierung 14990 des kolloidalen Filmes zur Erzeugung der Sensorelemente SE erfolgt in der Regel bevorzugt mit fotolithografischen Methoden.

[1320] Die bevorzugte Methode, die dieses Dokument vorschlägt ist die strukturierte Aushärtung des kolloidalen Films aus kolloidalem Lack KL auf der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 durch selektive Bestrahlung mit Aushärtestrahlung 4910 mit der Aushärtewellenlänge λ_H , Entfernung des überschüssigen kolloidalen Lackes KL mit einem Lösungsmittel LM und ggf. anschließende endgültige Aushärtung durch einen Temperaturschritt in einer Thermokammer oder einen Aushärteschritt durch Lagern.

Figur 88

[1321] Fig. 88 zeigt eine zweite Methode der Strukturierung. Diese zweite Methode der Strukturierung kann durch Vorhärten des kolloidalen Films aus kolloidalem Lack KL auf der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 erfolgen. Anschließend kann der nicht ganz ausgehärtete kolloidale Film aus kolloidalem Lack KL auf der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 mit fotolithografischen Methoden. Eine solche Fotolithografische Methode kann beispielsweise wie folgt aussehen:

1. Aufbringen 15010 des kolloidalen Films aus kolloidalem Lack KL auf die Oberfläche des Trägersubstrats 1360;
2. Anhärten 15020 des kolloidalen Films aus kolloidalem Lack KL auf der Oberfläche des Trägersubstrats 1360;
3. Aufbringen 15030 Fotolack auf die Oberfläche des kolloidalen Films aus kolloidalem Lack KL auf der Oberfläche des Trägersubstrats 1360
4. Aushärten 15040 des Fotolacks;
5. selektives Belichten 15050 des Fotolacks mit einer Maske, die gegenüber anderen Strukturen auf dem Trägersubstrats 1360 justiert ist, oder auf andere Weise ;
6. Entwickeln 15060 des Fotolacks entwickeln mit Öffnung der Ätzöffnungen im Fotolack;
7. ggf. Härten 15070 des Fotolackes, wobei hier die Herausforderung darin besteht, den Fotolack ausreichend zu härten und das Trägermaterial TM des kolloidalen Films im kolloidalen Lack KL auf der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 nicht zu weit auszuhärten;
8. selektives Ätzen oder Lösen 15080 des freiliegenden kolloidalen Films aus kolloidalem Lack KL auf der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 in den Ätzöffnungen, wobei der Fotolack möglichst wenig angegriffen werden sollte (ggf. können noch andere Zwischenschichten wie z.B. Metallschichten auf den kolloidalen Film aus kolloidalem Lack KL auf dem Trägersubstrats 1360 aufgebracht und strukturiert werden.);
9. selektives Entfernen 15090 des Fotolacks,
10. Aushärten 15095 des stehen gebliebenen kolloidalen Films aus kolloidalem Lack KL auf der Oberfläche des Trägersubstrats 1360, um die Sensorelemente SE und/oder Sensorelementschichten 5 zu erhalten.)

[1322] Ein solches Strukturierungsverfahren ist nicht selbstjustierend und daher mit größeren Fertigungsschwankungen behaftet als das selbstjustierende Fertigungsverfahren

[1323] Eine solche Strukturierung 14990 ist nicht unbedingt erforderlich. In einigen Anwendungen mag es ausreichen, den kolloidalen Lack KL der Kristalle bzw. Diamant-Nano-Kristallen ND mit einer der besagten Belackungsverfahren aufzutragen, also die Belackung 14970 durchzuführen und den kolloidalen Lack KL der Kristalle bzw. Diamant-Nano-Kristallen ND dann direkt komplett auszuhärten 14910. Die Strukturierung 14990 ist aber neben den besagten fotolithografischen Verfahren auch mittels mikromechanischer Verfahren (Ritzen, Fräsen) denkbar. Auch können Excimer-Laser und Partikelstrahlen wie Elektronen und/oder Ionenstrahlen zur Strukturierung verwendet werden. Entweder ist das Trägermaterial TM des kolloidalen Lackes KL bzw. des sich daraus ergebenden kolloidalen Films selbst ein Fotolackmaterial und damit der kolloidale Lack ein Fotolack oder der Fotolack wird auf den kolloidalen Lack KL als drüber liegende Schicht aufgebracht. Im letzteren Fall sollte der Fotolack so gewählt werden, dass er selektiv von dem kolloidalen Lack KL

bzw. kolloidalen Film strukturiert werden kann und der kolloidale Lack KL bzw. der kolloidale Film selektiv vom Fotolack strukturiert werden kann.

[1324] Bevorzugt ist aber eine Variante des kolloidalen Lackes KL mit einem fotoempfindlichen Trägermaterial TM, beispielsweise einem geeigneten fotoempfindlichen Polyimid und/oder NOA 61.

[1325] Es erfolgt dann die bevorzugt fotolithografische oder mikromechanische Strukturierung 14990 des kolloidalen Lackes KL zum kolloidalen Film mit den Sensorelementen SE und/oder den Sensorelementschichte 5.

[1326] Nach der Strukturierung 14990 erfolgt typischerweise die finale Aushärtung 14911 des kolloidalen Filmes und damit der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschichten 5.

[1327] Mittels des vorgeschlagenen Verfahrens ist es somit möglich, beliebige Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND gezielt auf einem Trägersubstrat 1360, insbesondere einer Platine und/oder einem Wafer, insbesondere auf einem CMOS-Wafer oder BICMOS-Wafer oder Bipolar-Wafer oder einem planaren Glas- oder Kunststoff-Wafer, lokalisiert zu platzieren und, wenn gewünscht selbstjustierend zu platzieren.

Figur 89

[1328] Fig. 89 zeigt schematisch und grob vereinfacht einen Schnitt durch ein beispielhaftes System, um den Inhalt des vorausgegangenen Vorschlags bei Anwendung auf einen mikroelektronischen CMOS-Schaltkreis zu verdeutlichen. Basis der beispielhaften Vorrichtung ist das Trägersubstrat 1360. Hierbei soll es sich in dem Beispiel der Fig. 89 beispielhaft zur Verdeutlichung um ein Silizium-Wafer-Stück (Im Allgemeinen mit den Englischen Worten Chip oder Die bezeichnet) beispielhaft mit einer p-Leitfähigkeit handeln, wie er in der MOS- und der CMOS- und der BICMOS- und der Bipolar-Technik heute üblich ist. Die Ausführungen hier lassen sich natürlich auch auf die Bipolartechnik übertragen.

Integrierte Schalung als Trägersubstrat 1360

[1329] Vor dem Einbringen der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND mit paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren wurde beispielhaft ein MOS- bzw. CMOS- bzw. BICMOS- bzw. ein Bipolar-Prozess und/oder ein anderer Halbleiterprozess mit dem beispielhaften Trägersubstrat 1360, hier dem beispielhaften Silizium-Wafer, durchgeführt. Bei diesem wurde eine beispielhafte mikroelektronische Schaltung mit mindestens einem mikroelektronischem Bauteil auf dem beispielhaften Silizium-Wafer und damit auf dem beispielhaften Trägersubstrat 1360 hergestellt. Durch diesen Herstellungsschritt wurde dieser zu einem MOS-Wafer bzw. zu einem CMOS-Wafer bzw. zu einem BICMOS-Wafer bzw. zu einem Bipolar-Wafer wurde. Symbolisch für eine solche mikroelektronische Schaltung ist ein einzelner beispielhafter MOS-Transistor vereinfacht schematisch angedeutet. Die Fig. 89 verzichtet auf eine komplexere Schaltungsdarstellung, um die Übersichtlichkeit aufrechtzuerhalten. Eine fachkundige Person liest hier direkt eine größere Menge möglicher Bauelemente und Schaltungen mit. Dort kann man sich beispielsweise auch einen Bipolartransistor oder ähnliche Bauelemente wie Thyristoren und dergleichen denken. Durch diese vereinfachte Darstellung soll sichergestellt werden, dass das Grundprinzip ohne verwirrende Details deutlich wird. Die vereinfachte Darstellung soll die Ko-Integration einer mikroelektronischen Schaltung mit dem Kristall und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND mit den paramagnetischen Zentren und/oder insbesondere NV-Zentren zum Ausdruck bringen. Eine Funktionstüchtigkeit kann aufgrund der Komplexität der dann erforderlichen Darstellung hier leider nicht dargestellt werden, was aber den Offenbarungsgehalt nicht reduziert.

Beispielhafter MOS-Transistor

[1330] Der beispielhaft dargestellte MOS-Transistor umfasst in diesem Beispiel eine N-Wanne NW in dem Trägersubstrat 1360. Der angedeutete beispielhafte MOS-Transistor weist ein Source-Gebiet Sr, ein Drain-Gebiet Dr, einen Source-Kontakt SrK zur Kontaktierung des Source-Gebiets Sr, einen Drain-Kontakt DrK zur Kontaktierung des Drain-Gebiets Dr, ein Gate-Oxid GOX, ein Feld-Oxid FOX, ein Abdeckoxid AOX und ein Gate GA auf. Oberhalb dieser mikroelektronischen Bauelemente befindet sich der Metallisierungsstapel der mikrointegrierten Schaltung. Der Metallisierungsstapel der mikrointegrierten Schaltung umfasst vorzugsweise mehrere strukturierte Isolationsschichten und mehrere strukturierte elektrische leitende Schichten, insbesondere Metallisierungsschichten, die die elektrischen Verbindungen herstellen. Eine Metallisierungsschicht ist beispielsweise angedeutet durch eine zweite elektrisch nach oben und unten isolierte und strukturierte zweite Metalllage M2L. In der Realität sind die MOS-, CMOS-, BICMOS und Bipolar-Strukturen wesentlich kompli-

zierter. Sie umfassen typischerweise beispielsweise mehrere Lagen aus elektrisch leitfähigem Metall und/oder polykristallinem Silizium und typischerweise mehrere Isolationsschichten z.B. aus SiO_2 und Kontakte und Durchkontaktierungen .

[1331] Der zweite Lichtwellenleiter LWL2 koppelt das lichtemittierende Gebiet LG der Mesa-Struktur MESA, die die Lichtquelle LED des Sensorsystems bilden, an das Sensorelement SE, das sich hier in der mikromechanischen Vertiefung der zweiten Fangstruktur FS2 befindet und das hier wieder Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND mit paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren umfasst. Die zweite untere Metallblende uMS2 des zweiten Lichtwellenleiters LWL2 schirmt den zweiten Lichtwellenleiter LWL2 nach unten zum Trägersubstrat 1360 als optische Abschirmung ME ab. Die zweite obere Metallblende oMS2 des zweiten Lichtwellenleiters LWL2 schirmt den zweiten Lichtwellenleiter LWL2 nach oben zur Oberfläche des Trägersubstrats 1360 als optische Abschirmung ME ab. Der zweite Lichtwellenleiter LWL2 erfasst die Pumpstrahlung LB des Lichterzeugenden Gebiets LG in seiner Funktion als Lichtquelle LED und transportiert die Pumpstrahlung LB zum Sensorelement SE. Vorzugsweise umfasst diese optische transportstrecke einen optischer Filter (Shortpass) 4, der in den zweiten Lichtwellenleiter LWL2 eingefügt ist und der elektromagnetische Wellen, die nicht die Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} aufweisen nicht transmittiert und nur elektromagnetische Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} transmittiert.

[1332] Der erste Lichtwellenleiter LWL1 erfasst die Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren des Sensorelements SE und transportiert die Fluoreszenzstrahlung FL zu dem Fotodetektor PD. Der Fotodetektor PD ist in dem Beispiel der **Fig.** 89 als PN-Übergang zwischen einem p-dotierten gebiet pG und einem n-dotierten Gebiet nG beispielhaft ausgeführt. Es kann sich bei dem Fotodetektor PD auch um andere Fotodetektoren wie beispielsweise CCD-Detektoren handeln. In den ersten Lichtwellenleiter LWL1 ist ein Filter F1 eingefügt, der im Wesentlichen nur elektromagnetische Strahlung der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung FL transmittiert und der vorzugsweise im Wesentlichen elektromagnetische Strahlung einer Wellenlänge verschieden von der Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung FL absorbiert oder reflektiert. Dies stellt sicher, dass beispielsweise die Pumpstrahlung LB mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} den Fotodetektor PD nicht erreichen kann. Die erste untere Metallblende uMS1 des ersten Lichtwellenleiters LWL1 schirmt den ersten Lichtwellenleiter LWL1 nach unten zum Trägersubstrat 1360 als optische Abschirmung ME ab. Die erste obere Metallblende oMS1 des ersten Lichtwellenleiters LWL1 schirmt den ersten Lichtwellenleiter LWL1 nach oben zur Oberfläche des Trägersubstrats 1360 als optische Abschirmung ME ab.

[1333] Bevorzugt umfasst die mikroelektronische Schaltung auf und/oder in dem Trägersubstrat 1360 Vorrichtungsteile von hier vorgestellten Systemen wie z.B. denen der **Fig.** 69 bis 71 und/oder denen der **Fig.** 73 bis 81. Solche Vorrichtungsteile, die die mikroelektronische Schaltung auf und/oder in dem Trägersubstrat 1360 umfassen kann, können beispielsweise umfassen:

die Auswertevorrichtung (AWV, 30), Steuervorrichtungen (CTR, CTR2, 33), Datenbusse (DB, 29), Treiberstufen DRVL, Signalgeneratoren (G1, G1_1, G1_2, G1_3, G2, G2_I, G2_II, G2_III, G2_IV), Magnetfelderzeugungsmittel (Lc, Lc_3, Lc_2, Lc_3, Lc_4, Lc_5), Magnetfeldregler LCTR, Lichtquellentreiber (LDRV, LDRV_1, LDRV_2, LDRV_3, LDRV_4, LDRV_5), Lichtquellen (LED, LED_1, LED_2, LED_3, LED_4, LED_5, 2), Mehrfachkorrelatoren (LIV, LIV_1, LIV_2, LIV_3, LIV_4, LIV_5), Multiplizierer (M1, M2), Mustererkennungsvorrichtung MEV, Mischer MIX, Magnetfeldsensoren MS, Mikrowellensignalquellen (μWG , μWG_I , μWG_{II} , μWG_{III} , μWG_{IV}), Speicher (RAM, NVM), Fotodetektoren (PD, PD_1, PD_2, PD_3, PD_4, PD_5), Radiowellenquellen RFG, Verstärker (V1, V1_1, V1_2, V1_3, V1_4, V1_5), Lichtsensorarrays 1, Auswertelektronik 15, Aufbereitungsvorrichtungen 30, Schnittstellenschaltungen 36, etc.

[1334] Bevorzugt umfasst die mikroelektronische Schaltung beispielsweise auch einen Spannungsregler zur Versorgung der mikroelektronischen Schaltung und ggf. ihrer Teilkomponenten und/oder zur Versorgung einer Pumplichtquelle, der Lichtquelle LED, zur Anregung der Emission der Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschichten 5 mittels Pumpstrahlung LB. Ein geeignetes mikrooptisches System muss aber zum einen die paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschichten 5 mittels Pumpstrahlung LB stimulieren können und zum anderen die Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschichten 5 erfassen und zuverlässig von der Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle, hier der Lichtquelle LED, trennen können. Hierfür ist es sinnvoll, wenn das mikro-elektrooptische System mikrooptische Bauelemente aufweist, die in

einem entsprechenden Prozessschritt mikrotechnisch hergestellt werden. Besonders wichtig sind hierbei optische Filter (F1, 3) und Lichtwellenleiter (LWL1, LWL2).

[1335] An dieser Stelle verweist das hier vorgelegte Dokument beispielhaft auf die Bücher Baha E.A. Saleh, Malvin Carl Teich, „Grundlagen der Photonik“ Wiley-VCH, 2007 und Bernhard C. Kress, Patrick Meyreueis „Applied Digital Optics“ Wiley, 2009.

[1336] Außerdem weist das hier vorgelegte Dokument auf andere Beschreibungsteile dieses Dokuments hin, die ebenfalls sich mit mikroelektronischen Systemen und/oder Schaltungen beschäftigen und die hier in diesem Zusammenhang daher auch wichtige Informationen zu diesem Abschnitt liefern der Kombination mit der technischen Lehrer dieses Abschnitts hier ebenfalls offenbart ist.

[1337] Das hier vorgelegte Dokument verweist daher hier auf den einschlägigen Stand der Technik zu mikroelektronischen Schaltkreisen verwiesen.

erster mikrooptischer Lichtwellenleiter LWL1 und Sensorelement SE

[1338] Die der Verdeutlichung dienende Struktur der Vorrichtung der **Fig. 89** umfasst beispielhafte mikrooptische Komponenten in Form von beispielhaften Lichtwellenleitern (LWL1, LWL2). Diese beispielhaften Lichtwellenleitern (LWL1, LWL2) sollen in dem Verdeutlichungsbeispiel der **Fig. 89** mit der Vielzahl paramagnetischer Zentren in der Vielzahl der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND mit NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren zusammenwirken. Bevorzugt kann es sich bei den Diamant-Nano-Kristallen ND um Nanodiamanten mit NV-Zentren als paramagnetische Zentren handeln. Der kolloidale Lack KL mit Trägermaterial TM und Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND ist in der Vertiefung der zweiten Fangstruktur FS2 platziert worden. Der kolloidale Lack KL bedeckt im Bereich der Fangstruktur FS2 die Oberfläche der Vorrichtung um die Position der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND in der Vertiefung der zweiten Fangstruktur FS2 zu fixieren. Das Trägermaterial TM des kolloidalen Lackes KL muss nach dem Aushärten für die zu verwendende Pumpstrahlung LB und die verwendete Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND ausreichend transparent sein. Die zweite Fangstruktur FS2 ist vorzugsweise mit dem Trägermaterial TM des kolloidalen Lackes KL gefüllt. Die Schicht des kolloidalen Lackes KL aus Trägermaterial TM und Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND ist in dem Beispiel der **Fig. 89** fotolithografisch und/oder durch ein selbstjustierendes Aushärteverfahren auf den Bereich der Fangstruktur FS2 begrenzt worden. Dies hat den Vorteil, dass z.B. elektrische Kontakte der integrierten Schaltung bevorzugt leichter wieder freigelegt werden können.

[1339] Die beispielhafte Vorrichtung, die hier zur Verdeutlichung beschrieben wird, weist eine erste Lichtwellenleiterstruktur LWL1 auf, deren Material beispielsweise ein aufgesputtertes SiO₂-Material oder das Material eines anderen transparenten Oxids und/oder einer optisch transparenten Isolationsschicht des Metallisierungsstapels umfassen kann, das auf die Oberfläche des Trägersubstrat 1360 aufgebracht wurde. Bevorzugt wurde zuvor eine Lichtabstrahlung in andere Bereiche der Schaltung durch einen ersten Abschnitt einer ersten Metallblende uMS1 nach unten zum Trägersubstrat 1360 hin unterbunden. Die erste Lichtwellenleiterstruktur LWL1 wurde bevorzugt fotolithografisch strukturiert und beispielhaft mit einem ersten Abschnitt einer zweiten Metallblende oMS1 nach oben hin zur Reduktion des optischen Übersprechens und zur Verbesserung des Signal- zu Rausch-Verhältnisses abgedeckt. Es wird empfohlen, die Arbeitsfähigkeit einer solchen Konstruktion mit einer FDTD-Simulation vor der Herstellung für die verwendeten Prozessparameter präzise zu simulieren, da bei zu kleinen Dimensionen beispielsweise eine Lichtausbreitung nicht mehr möglich ist. Auf die gleiche Weise wurde eine zweite Lichtwellenleiterstruktur LWL2 gefertigt, der von einem zweiten Abschnitt der ersten Metallblende uMS2 und einem zweiten Abschnitt der zweiten Metallblende oMS2 bevorzugt umfasst ist.

MESA-Struktur als Lichtquelle

[1340] In dem Beispiel der **Fig. 89** ist eine beispielhafte Lichtquelle vorgesehen. Diese besteht hier beispielhaft aus einer beispielhaften MESA-Struktur (LED), die bevorzugt und beispielhaft gegenüber dem planaren Substrat isoliert ist. Statt einer MESA-Struktur MESA können auch andere Silizium-LEDs oder andere Lichtquellen als Lichtquelle LED der Vorrichtung Verwendung finden. In dieser lichterzeugenden MESA-Struktur MESA ist typischerweise ein lichtemittierendes Gebiet als Lichtquelle LED gefertigt. In diesem Zusammenhang sei hinsichtlich der Fertigung einer Lichtquelle LED in indirekten Halbleitern wie Silizium auf die folgende Schrift verwiesen:

Röcke H., Meijer J., Stephan A., Weidenmüller U., Bukow H. H., Rolfs C. „White electroluminescent nanostructure in silicon fabricated using focused ion implantation“ Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 181 (1001) Seite 274-279.

[1341] Das besondere bei der Verwendung einer MESA-Struktur MESA ist, dass diese einen Wellenlängenbereich in dem notwendigen Wellenlängenbereich der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB emittiert. Leider emittiert die MESA-Struktur MESA auch andere Wellenlängen, sodass die Verwendung eines optischen Bandpassfilters 4 geboten erscheint.

[1342] Fig. 90 zeigt das beispielhafte Emissionsspektrum einer solchen MESA-Struktur MESA als Lichtquelle LED. Bei Versuchen hat sich gezeigt, dass das optische Bandpassfilter 4 in den zweiten Lichtwellenleiter LWL2 eingefügt werden sollte, um die optische Transmission in Richtung der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle ND mit den paramagnetischen Zentren bzw. NV-Zentren auf die Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} zu begrenzen und elektromagnetische Strahlung aus der Lichtquelle LED mit kürzeren und längeren Wellenlängen nicht zu transmittieren.

[1343] Sofern eine Lichtquelle LED verwendet wird, die im Wesentlichen nur elektromagnetische Strahlung der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} emittiert, kann auf das optische Bandpassfilter 4 verzichtet werden.

[1344] In dem Beispiel der Fig. 89 wird eine solche Lichtquelle LED mit dem lichtemittierenden Gebiet LG benutzt, um über den ersten Lichtwellenleiter LWL1 nach Bandpassfilterung im optischen Bandpassfilter 4 die paramagnetischen Zentren bzw. NV-Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND zu pumpen und zur Emission von Fluoreszenzstrahlung FL anzuregen.

[1345] Beispielhaft ist in den ersten Lichtwellenleiter LWL1 ein optisches Bandpassfilter 4 eingefügt, das elektromagnetische Strahlung mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} im Wesentlichen passieren lässt und elektromagnetische Strahlung anderer Wellenlängen, insbesondere der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} im Wesentlichen soweit dämpft, dass sie für die jeweilige Anwendung keine Rolle mehr spielen.

Zweiter Lichtwellenleiter LWL2 und Fotodetektor PD

[1346] Der zweite Lichtwellenleiter LWL2 erfasst in dem Beispiel der Fig. 89 die Fluoreszenzstrahlung FL und leitet diese zu einem Fotodetektor PD der mikroelektronischen Schaltung geleitet wird.

[1347] Beispielhaft ist in den zweiten Lichtwellenleiter LWL2 ein optisches Filter F1 eingefügt, das elektromagnetische Strahlung mit Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} im Wesentlichen passieren lässt und elektromagnetische Strahlung anderer Wellenlängen, insbesondere der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} im Wesentlichen soweit dämpft, dass sie für die jeweilige Anwendung keine Rolle mehr spielen.

[1348] Bevorzugt sind das optische Filter F1 und das optische Bandpassfilter 4 als mikrooptische Funktionselemente beispielsweise als dielektrische Schichtfolge und/oder als photonischer Kristall ausgeführt. Das hier vorgelegte Dokument empfiehlt FDTD-Simulationen zur Überprüfung der gewählten Konstruktionen, wobei die Fertigungstoleranzen unbedingt mitsimuliert werden sollten.

[1349] Der beispielhafte Fotodetektor PD umfasst in diesem Verdeutlichungsbeispiel der Fig. 89 beispielhaft eine PN-Diode, die eine N-Wanne nG und eine P-Kathode pG umfasst.

mikrotechnische Funktionselemente

[1350] Aus dem Stand der Technik sind zahlreiche lichtempfindliche mikroelektronische Bauteile bekannt, die insbesondere mit den besagten MOS-, CMOS-, BICMOS und Bipolar-Prozessen gefertigt werden können. Um die Komplexität der Darstellung gering und transparent zu halten wurde die Fig. 89 soweit vereinfacht, dass eine fachkundige Person erkennen kann, welche beispielhaften Elemente wie kombiniert werden können und beispielhaft zusammenwirken können. Es können auch die zahlreichen aus dem Stand der Technik bekannten mikrofluidischen, mikromechanischen, mikrooptischen und mikroelektronischen Funktionselemente in ähnlichen Vorrichtungen mit der hier vorgeschlagenen Methode kombiniert werden. Beispielsweise können Bragg-Filter und Spiegel-Strukturen in den Lichtwellenleitern (LWL1, LWL2) vorgesehen werden.

mikrotechnische Vorrichtung und Wellenleiter

[1351] Im Gegensatz zum Stand der Technik sieht der hier vorgelegte Vorschlag vor, einen Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6830, 6980), hier eine beispielhafte differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980, oberhalb oder wie hier unterhalb des Sensorelements SE zu platzieren. Die differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 umfasst wieder den elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370, die elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310, die elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 sowie die differentielle Signalleitung 6830 mit der der elektrisch leitenden linken Signalleitung 6810 und der der elektrisch leitenden rechten Signalleitung 6820. Die differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 ist nur ein Beispiel für einen Wellenleiter. Die beispielhafte mikrointegrierte Schaltung der **Fig. 89** kann stattdessen auch eine Mikrostreifenleitung 1380 und/oder eine Schlitzleitung 1880 und/oder eine Tri-Plate-Leitung 2380 und/oder eine differenzielle Mikrostreifenleitung 6830 und/oder eine andere Wellenleitung, insbesondere eine planare Wellenleitung, aufweisen, die mit einem Sensorelement SE und/oder einer Sensorelementschicht 5 wechselwirken. In den vorausgehenden Figuren wurden verschiedene Positionierungen verschiedener Sensorelemente SE gegenüber Vorrichtungsteilen von Wellenleitungen diskutiert. Eine solche mikrointegrierte Schaltung kann ein oder mehrere Sensorelemente SE aufweisen, die unterschiedlich zu den Vorrichtungsteilen der besagten Wellenleitungen positioniert sein können und die unterschiedliche Größen relativ zu den Vorrichtungsteilen der Wellenleitungen haben können. Auch diese unterschiedlichen Größen der Sensorelemente SE wurden in den vorausgehenden Figurenbeschreibungen diskutiert und werden daher hier nicht wiederholt. Sie gelten aber im Zusammenhang mit der Verwendung in mikrointegrierten Schaltungen im Sinne des hier vorgelegten Dokuments hiermit als offenbart.

mikroelektronisches System

[1352] Bevorzugt umfasst somit das System eine mikroelektronische Schaltung oder zumindest ein mikroelektronisches Bauelement, insbesondere einen Fotodetektor PD und/oder ein lichtemittierendes Bauelement als Lichtquelle LED. Im spezielleren umfasst das System bevorzugt einen mikroelektronischen MOS-, CMOS-, BICMOS oder Bipolar-Schaltkreis oder zumindest ein mikroelektronisches MOS- bzw. CMOS-bzw. BICMOS- oder Bipolar-Bauelement, insbesondere einen Fotodetektor und/oder ein lichtemittierendes Bauelement. Im Falle einer CMOS-Technologie handelt es sich bevorzugt um einen CMOS-Fotodetektor, z.B. eine CCD-Pixel oder ein CCD-Pixel-Array und/oder ein lichtemittierendes CMOS-Bauelement, wobei ein CMOS-Bauelement dadurch gekennzeichnet ist, dass es in einer CMOS-Technologie gefertigt wurde. Der mikroelektronische Schaltkreis ist bevorzugt zumindest in Teilen in MOS- oder CMOS- oder BICMOS- oder Bipolar-Technologie gefertigt.

[1353] Die mikroelektronische Schaltung kann eine Vielzahl von Schaltungselementen umfassen, von denen einige mit dem Sensorelement zusammenwirken können. Das hier vorgelegte Dokument zählt hier nur beispielhaft einige auf.

- Analog-Digital-Wandler (ADC): Wandelt analoge Eingangssignale in digitale Signale um.
- Digital-Analog-Wandler (DAC): Wandelt digitale Eingangssignale in analoge Signale um.
- Operationsverstärker (OPV): Verstärkt und verstärkt analoge Signale.
- Spannungsreferenzen: Erzeugen stabile Referenzspannungen für den Schaltungsbetrieb.
- Verstärker: Verstärkt analoge Signale mit unterschiedlichen Verstärkungsfaktoren.
- Filter: Filtert unerwünschte Frequenzen aus einem Signal (z. B. Tiefpass-, Hochpass- oder Bandpassfilter).
- Oszillatoren: Erzeugt periodische Wellenformen oder Taktsignale.
- Multiplexer (MUX) und Demultiplexer (DEMUX): Schalten zwischen verschiedenen Eingangssignalen oder verteilen ein Eingangssignal auf mehrere Ausgänge.
- Phasenregelkreise (PLL): Generiert stabilisierte Taktsignale basierend auf einem Referenztakt.
- Verzögerungselemente: Ermöglichen die zeitliche Steuerung von Signalen.
- Komparatoren: Vergleicht zwei Eingangssignale und gibt einen Ausgang entsprechend dem Vergleichsergebnis.
- Pufferverstärker: Verstärkt das Signal, ohne seine Charakteristik zu verändern.

- Spannungsregler: Stabilisiert die Ausgangsspannung, unabhängig von Schwankungen der Eingangsspannung oder Laständerungen.
- Taktgeneratoren: Erzeugt Taktsignale mit definierten Frequenzen und Phasenverschiebungen.
- Datenpuffer: Speichert Daten und ermöglicht eine zeitversetzte Übertragung.
- Schaltungsüberwachung: Überwacht die Betriebsbedingungen der Schaltung und schützt sie vor Schäden.
- Serielle Kommunikationsschnittstellen: Ermöglichen die Kommunikation zwischen verschiedenen Bauteilen oder Geräten über serielle Datenübertragung.
- Leistungstreiber: Verstärken das Signal für den Antrieb von Hochleistungskomponenten wie Motoren oder Aktuatoren.
- Schaltungslogik: Enthält logische Elemente wie AND-, OR-, NAND- und XOR-Gatter zur Durchführung von digitalen Berechnungen und Logikoperationen.
- Speicher: Umfasst verschiedene Arten von Speicherbausteinen wie Flip-Flops, Latches oder Register zum Speichern von Daten.
- Takt- und Phasenregelschleifen (PLL): Generiert präzise und stabile Taktsignale basierend auf einem Referenztakt und ermöglicht die Synchronisation von Signalen.
- Analogschalter: Schaltet analoge Signale zwischen verschiedenen Pfaden oder Kanälen um.
- Impulsbreitenmodulation (PWM): Moduliert die Breite von Impulsen, um die Leistung oder das Verhältnis von Einschaltzeit zu Ausschaltzeit eines Signals zu steuern.
- Signalverarbeitungseinheiten (DSP): Spezialisierte digitale Signalprozessoren für die Verarbeitung und Analyse von analogen und digitalen Signalen.
- Spannungsteiler: Teilt eine Eingangsspannung in zwei oder mehrere Ausgangsspannungen auf.
- Temperatursensoren: Erfassen und messen die Temperatur in der Umgebung oder in einem Bauteil.
- Stromquellen und Stromsenken: Erzeugen konstanten Strom oder absorbieren Strom in einer Schaltung.
- Schutzschaltungen: Überwachen und schützen die Schaltung vor Überspannung, Unterspannung, Übertemperatur oder Kurzschluss.
- Pegelwandler: Übersetzt Signale zwischen verschiedenen Spannungsebenen oder Logikpegeln.
- Impedanzwandler: Passt die Impedanz zwischen verschiedenen Teilen einer Schaltung an, um eine optimale Signalübertragung zu ermöglichen.
- Spannungsregler: Stabilisieren die Ausgangsspannung auf einen vordefinierten Wert, unabhängig von Schwankungen der Eingangsspannung oder Laständerungen.
- Strommessung: Ermöglicht die Messung des Stroms in einem Schaltungsteil oder einer Komponente.
- Digital Signaling Interface (DSI): Ein serieller Hochgeschwindigkeitsbus zur Übertragung von Daten zwischen integrierten Schaltungen.
- Analogschleifenfilter: Filtert unerwünschte Störsignale aus einem analogen Eingangssignal.
- Energieerfassung: Erfasst und misst den Energieverbrauch in einer Schaltung oder einem System.
- Fehlerkorrektur: Verwendet Fehlerkorrekturcodes und Algorithmen zur Erkennung und Korrektur von Übertragungsfehlern in digitalen Signalen.
- Datenkonverter: Wandelt Daten von einem Format in ein anderes um, z. B. seriell zu parallel oder umgekehrt.
- Verstärker mit variabler Verstärkung: Bietet die Möglichkeit, den Verstärkungsfaktor eines Verstärkers dynamisch anzupassen.
- Bandlückenreferenzen: Erzeugt eine stabile Referenzspannung unabhängig von Temperaturänderungen.

- Pulsweitenmodulation (PWM): Moduliert die Pulsweite eines Signals, um analoge Informationen zu übertragen oder die Leistung von Schaltungen zu regeln.
- Taktverteilung: Verteilt Taktsignale an verschiedene Teile einer Schaltung oder eines Systems.
- Taktreiniger: Filtert Störungen und Rauschen aus einem Taktsignal.
- Sensor-Schnittstellen: Integriert Schnittstellen für verschiedene Sensoren wie Temperatursensoren, Drucksensoren, Beschleunigungssensoren usw.
- Schaltungsmodelle: Beschreibt mathematische Modelle zur Analyse und Simulation von Mixed-Signal-Schaltungen.
- Digitale Signalverarbeitung (DSP): Verarbeitet digitale Signale durch mathematische Algorithmen wie Filterung, Spektralanalyse, Signalmodulation usw.
- Phasendetektoren: Vergleicht die Phasenbeziehung zwischen zwei Signalen und erzeugt eine Ausgangsspannung entsprechend der Phasendifferenz.
- Digitale Steuerlogik: Steuert die Funktionen und den Betrieb der Schaltung auf der Grundlage von digitalen Eingangssignalen.
- Spannungsmultiplikatoren: Erzeugt eine höhere Ausgangsspannung als die Eingangsspannung durch wiederholtes Laden und Entladen von Kondensatoren.
- Fehlererkennung und Fehlerkorrektur (ECC): Identifiziert und korrigiert Fehler in digitalen Daten durch Hinzufügen von Redundanzinformationen.
- Programmierbare Logik: Enthält programmierbare Logikbausteine wie FPGAs (Field-Programmable Gate Arrays) oder CPLDs (Complex Programmable Logic Devices), um flexible Schaltungsfunktionalitäten zu ermöglichen.
- Datenpuffer: Speichert Daten vorübergehend, um eine zeitliche Trennung zwischen Eingang und Ausgang zu ermöglichen.
- Taktgenerator: Erzeugt Taktsignale mit spezifischen Frequenzen und Phasenverschiebungen.
- Batteriemanagement: Überwacht und steuert den Ladezustand und die Leistung von Batterien.
- Digitale Filter: Filtert unerwünschte Frequenzen oder Rauschen aus digitalen Signalen.
- Phasenverschiebungsnetzwerke: Führt Phasenverschiebungen in einem Signal ein, um spezifische zeitliche Beziehungen zu erreichen.
- Signalisolatoren: Trennt galvanisch Signale, um elektrische Störungen zu minimieren.
- Impulsgeneratoren: Erzeugt Impulse oder kurze Signale für spezifische Anwendungen.
- Spektrumanalysatoren: Analysiert und visualisiert das Frequenzspektrum eines Signals.
- Echtzeituhr (RTC): Ermöglicht die genaue Zeitmessung und das Aufrechterhalten einer Echtzeituhr während des Stromausfalls.
- Multipunkt-Modulation: Kombiniert mehrere digitale Signale in einem Modulationsschema.
- Displaytreiber: Steuert die Ansteuerung von Anzeigeelementen wie LCDs oder LED-Anzeigen.
- Hysterese-Komparatoren: Vergleicht Eingangssignale mit einer Schwelle und erzeugt eine Ausgangsspannung, die abhängig von der Hysterese ist.
- Analogschleifenkompensatoren: Kompensiert Fehler in Rückkopplungsschleifen von Analogschaltungen, um die Stabilität und Genauigkeit zu verbessern.
- Programmierbare Verstärker: Erlaubt die Anpassung des Verstärkungsfaktors oder der Verstärkungsfunktion über eine digitale Schnittstelle.
- Clock-Multiplexer: Wählt zwischen verschiedenen Taktsignalen aus und leitet sie zur weiteren Verarbeitung weiter.
- Hochspannungstreiber: Verstärkt und treibt Hochspannungssignale an, beispielsweise für die Ansteuerung von Leistungstransistoren.

- I/O-Schnittstellen: Stellt die Kommunikation und den Datenaustausch mit externen Geräten oder Schnittstellen her.
- Logik-Überwachung: Überwacht und steuert die Logikpegel in einer Schaltung, um eine zuverlässige Signalverarbeitung sicherzustellen.
- Data Encoding/Decoding: Kodiert und dekodiert Daten für die effiziente Übertragung oder Speicherung.
- Lasttreiber: Steuert die Ausgabe von Leistung an externe Komponenten oder Lasten.

[1354] Bevorzugt umfasst die mikroelektronische Schaltung auf und/oder in dem Trägersubstrat 1360 Vorrichtungsteile von hier vorgestellten Systemen wie z.B. denen der **Fig.** 69 bis 71 und/oder denen der **Fig.** 73 bis 81. Solche Vorrichtungsteile, die die mikroelektronische Schaltung auf und/oder in dem Trägersubstrat 1360 umfassen kann, können beispielsweise umfassen:

die Auswertevorrichtung (AWV, 30), Steuervorrichtungen (CTR, CTR2, 33), Datenbusse (DB, 29), Treiberstufen DRVL, Signalgeneratoren (G1, G1_1, G1_2, G1_3, G2, G2_I, G2_II, G2_III, G2_IV), Magnetfelderzeugungsmittel (Lc, Lc_3, Lc_2, Lc_3, Lc_4, Lc_5), Magnetfeldregler LCTR, Lichtquellentreiber (LDRV, LDRV_1, LDRV_2, LDRV_3, LDRV_4, LDRV_5), Lichtquellen (LED, LED_1, LED_2, LED_3, LED_4, LED_5, 2), Mehrfachkorrelatoren (LIV, LIV_1, LIV_2, LIV_3, LIV_4, LIV_5), Multiplizierer (M1, M2), Mustererkennungsvorrichtung MEV, Mischer MIX, Magnetfeldsensoren MS, Mikrowellensignalquellen (μ WG, μ WG_I, μ WG_II, μ WG_III, μ WG_IV), Speicher (RAM, NVM), Fotodetektoren (PD, PD_1, PD_2, PD_3, PD_4, PD_5), Radiowellenquellen RFG, Verstärker (V1, V1_1, V1_2, V1_3, V1_4, V1_5), Lichtsensorarrays 1, Auswertelektronik 15, Aufbereitungsvorrichtungen 30, Schnittstellenschaltungen 36, etc.

[1355] Bevorzugt umfasst die mikroelektronische Schaltung beispielsweise auch einen Spannungsregler zur Versorgung der mikroelektronischen Schaltung und ggf. ihrer Teilkomponenten und/oder zur Versorgung einer Pumplichtquelle, der Lichtquelle LED, zur Anregung der Emission der Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschichten 5 mittels Pumpstrahlung LB. Ein geeignetes mikrooptisches System muss aber zum einen die paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschichten 5 mittels Pumpstrahlung LB stimulieren können und zum anderen die Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschichten 5 erfassen und zuverlässig von der Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle, hier der Lichtquelle LED, trennen können. Hierfür ist es sinnvoll, wenn das mikro-elektrooptische System mikrooptische Bauelemente aufweist, die in einem entsprechenden Prozessschritt mikrotechnisch hergestellt werden. Besonders wichtig sind hierbei optische Filter (F1, 3) und Lichtwellenleiter (LWL1, LWL2).

[1356] An dieser Stelle verweist das hier vorgelegte Dokument beispielhaft auf die Bücher Baha E.A. Saleh, Malvin Carl Teich, „Grundlagen der Photonik“ Wiley-VCH, 2007 und Bernhard C. Kress, Patrick Meyreueis „Applied Digital Optics“ Wiley, 2009.

[1357] Das vorgeschlagene Verfahren umfasst somit bevorzugt einen Schritt zur Durchführung eines Verfahrens zur Herstellung mikrooptischer Bauelemente auf dem Halbleitersubstrat.

Zur Co-Integration geeigneter lichtemittierender Bauteile

[1358] Ein besonderes Problem stellen, wie bereits angedeutet, lichtemittierende Bauelemente in Standard-Silizium-Technologien zur Herstellung mikroelektronischer Schaltungen dar. Entweder wird als Halbleitersubstrat ein Material aus einem Halbleiter mit einem direkten Übergang, wie beispielsweise GaAs oder ein anderes geeignetes III/V-Material, verwendet, wodurch die lichtemittierenden Bauelemente (Lichtquellen LED) für die Erzeugung der Pumpstrahlung LB für die Anregung der Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschichten 5 direkt auf dem Wafer gefertigt werden können, oder es wird als Halbleitersubstrat ein Material aus einem Halbleiter mit einem indirekten Übergang, wie beispielsweise Silizium oder Diamant, verwendet. Hinsichtlich der Erzeugung von Lichtquellen LED in Diamant verweist das hier vorgelegte Dokument beispielhaft auf das folgende Dokument:

Burchard B., „Elektronische und optoelektronische Bauelemente und Bauelementstrukturen auf Diamantbasis“ Dissertation, Hagen 1994.

[1359] Hinsichtlich der Erzeugung von Lichtquellen LED in Silizium verweist das hier vorgelegte Dokument beispielhaft nochmals auf den bereits erwähnten folgenden Zeitschriftenartikel:

Röcken H., Meijer J., Stephan A., Weidenmüller U., Bukow H.H., Rolfs C., „White electroluminescent nanostructure in silicon fabricated using focused ion implantation“ Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 181 (1001) Seite 274-279.

[1360] Dieses Dokument behandelt eine PNP- oder NPN-MESA-Struktur MESA, bei der die mittlere Dotierung extrem hoch und sehr schmal ausgeführt ist. Die Autoren des Dokuments vertreten die Auffassung, dass es sich hier um ein Bauteil im Lawinendurchbruch handelt. Dabei wird die Lichtenergie in Form eines thermischen Spektrums durch die heißen Elektronen abgestrahlt. Die mikroelektronische Schaltung legt bei einer NPN-Struktur zwischen den Kontakt des ersten N-Gebiets und dem Kontakt des zweiten N-Gebiets eine relativ hohe Spannung an. Es kommt zum Durchbruch. Durch den Durchbruch der Basis-Kollektor-Strecke wird ein Strom in die Basis injiziert. Die extrem hoch dotierte und sehr schmale Basis schaltet durch, sodass der Transistor schlagartig extrem schnell durchschaltet. Die Teile der Basis-Kollektor-Kapazität in der Nähe des PN-Übergangs werden schlagartig entladen. Hierdurch kommt es zu einer elektromagnetischen Welle in der Basis, die durch die hohe Dotierung und den dadurch vorhandenen Brechungsindexsprung fokussiert wird. Wenn ein „+“ eine hohe Dotierung symbolisieren soll, wird hier also die Verwendung einer PN+P-Struktur oder einer NP+N-Struktur vorgeschlagen. Aus der Literatur sind insbesondere sogenannte Silicon-Avalanche-Based-Light-Emitting-Diodes bekannt, die ähnliches leisten, typischerweise aber im infraroten Wellenlängenbereich strahlen. (K. Kurokawa, „Avalanche Breakdown Electroluminescence in Silicon Carbide Light Emitting Diodes“, January 2000 Materials Science Forum 338-342:691-694, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.338-342.691) Diese kommen also als Pumpstrahlungsquellen nicht in Frage.

[1361] Auf Basis einer solchen PN+P-Struktur oder einer NP+N-Struktur oder einer solchen Silicon-Avalanche-Based-Light-Emitting-Diode ergibt sich dann ein quantentechnologisches, mikro-elektrooptisches oder photonisches oder mikroelektronisches System in MOS-, CMOS-, BICMOS- oder Bipolar-Technik, oder einer anderen geeigneten Wafer-Fertigungstechnik. Das besagte System umfasst dann ein Trägersubstrat 1360, das insbesondere aus einem indirekten Halbleiter wie Silizium gefertigt sein kann und eine Oberfläche OF aufweist. Bevorzugt weist das Trägersubstrat 1360 für die Lichterzeugung eine Silicon-Avalanche-Based-Light-Emitting-Diode oder eine PN+P-Struktur oder eine NP+N-Struktur oder eine halbleitende MESA-Struktur (MESA) MESA auf. Diese Silicon-Avalanche-Based-Light-Emitting-Diode, PN+P-Struktur, NP+N-Struktur oder halbleitende MESA-Struktur (MESA) MESA dienen hier als lichtemittierendes mikroelektronisches Bauteil, das beispielsweise als Pumplichtquelle, hier die Lichtquelle LED, für die Anregung eines paramagnetischen Zentrums genutzt werden kann. Die MESA-Struktur MESA ist bevorzugt gegenüber dem Substrat isoliert und weist einen ersten Bereich (E) der MESA-Struktur (MESA), einen zweiten Bereich (B) der MESA-Struktur (MESA) und einen dritten Bereich (C) der MESA-Struktur (MESA) auf. Das quantentechnologische, mikroelektrooptische oder photonische oder mikroelektronische System weist darüber mehrere Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND mit zumindest einer Vielzahl bevorzugt möglichst gleicher paramagnetischer Zentren, insbesondere NV-Zentren, auf. Zumindest ein mikro-optisches Funktionselement, insbesondere ein Lichtwellenleiter LWL2, das in dem Trägersubstrat 1360 oder auf der Oberfläche OF des Trägersubstrats 1360 gefertigt ist, koppelt bevorzugt die besagten lichtemittierenden Bauteile in oder auf dem Trägersubstrat 1360 mit einem oder mehreren paramagnetischen Zentren, sodass diese gepumpt oder sonst wie optisch manipuliert werden können. Bevorzugt ist in das mikro-optische Funktionselement, insbesondere den zweiten Lichtwellenleiter LWL2, ein optisches Bandpassfilter 4 integriert, das bevorzugt im Wesentlichen die Pumpstrahlung LB mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} transmittiert. Im Sinne des hier vorgelegten Dokuments umfasst dann das Trägersubstrat 1360 das mikrooptische Funktionselement, hier den zweiten Lichtwellenleiter LWL2. Hierbei ist der zweite Lichtwellenleiter LWL2 in seiner Längserstreckung ganz oder zu großen Teilen vorzugsweise fest mit dem Substrat 1360 verbunden. Der erste Bereich (E) und der dritte Bereich (C) der ggf. verwendeten MESA-Struktur MESA weisen bevorzugt einen ersten Leitfähigkeitstyp auf. Der zweite Bereich (B) der ggf. verwendeten MESA-Struktur MESA weist bevorzugt einen zweiten Leitfähigkeitstyp auf, der vom ersten Leitfähigkeitstyp verschieden ist und der zweite Bereich (B) zwischen dem ersten Bereich (E) und dem zweiten Bereich (C) angeordnet ist. Bei der MESA-Struktur (MESA) MESA handelt es sich bevorzugt um eine PNP- oder NPN-MESA-Struktur MESA, wobei die Breite des zweiten Bereichs (B) bevorzugt kleiner als $3\mu\text{m}$ und/oder kleiner als $1\mu\text{m}$ und/oder kleiner als 500nm und/oder kleiner als 200nm und/oder kleiner als 100nm und/oder kleiner als 50nm und/oder kleiner als 25nm und/oder kleiner als 10nm ist. Der zweite Bereich (B) ist bei einer ausreichend hohen Dotierung dann dazu geeignet, bei Anlegen einer ausreichend hohen elektrischen Spannung Licht zu emittieren. Ein beispielhaftes Spektrum zeigt **Fig. 90**. Eine Kopplung mit einem optischen Funktionselement dokumentiert dann, dass die MESA-Struktur MESA dazu vorgesehen ist, Licht zu emittieren.

[1362] Das vom zweiten Bereich (B) emittierte Licht wirkt dann mit paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle ND des Sensorelements SE und/oder der Sensorelementschicht 5 mittels des besagten mikrooptischen Funktionselements, hier dem zweiten Lichtwellenleiter LWL2 zusammen.

[1363] Das Trägersubstrat 1360 ist bevorzugt Halbleitersubstrat oder ein Silizium-Wafer oder ein GaAs-Wafer oder ein Wafer aus einem III/V-Material oder ein Wafer aus II/VI-Material oder aus ein mittels Band-Gap-Engineering behandelter Wafer oder ein Diamant-Wafer oder ein Ge-Wafer oder ein anderer Wafer aus einem Mischhalbleiter oder ein Teil eines solchen Wafers.

[1364] Es wird in dieser Offenbarung somit ein quantentechnologisches, mikro-elektrooptisches oder photonisches System vorgeschlagen, das ein Trägersubstrat 1360, insbesondere ein Halbleitersubstrat umfasst. Das besondere des Vorschlags hier ist, dass das gesamte System mit Ausnahme der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND aus einem indirekten Halbleitermaterial gefertigt sein kann. In und/oder auf dem Halbleitermaterial ist typischerweise eine mikroelektronische Schaltung, bevorzugt in einer MOS-, CMOS-, BICMOS,- oder Bipolar-Technik gefertigt. Dabei umfasst die mikroelektronische Schaltung bevorzugt eine Mehrzahl von Bauelementen wie Transistoren, Dioden, Widerständen, Kondensatoren, lichtempfindliche und ggf. lichtemittierende elektronische Bauelemente. Ein solches, lichtempfindliches Bauelement, also beispielsweise ein Fotodetektor PD, der besagten mikroelektronischen Schaltung beispielsweise zur Erfassung der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle ND, die bevorzugt ein Diamant und NV-Zentrum umfassen, kann beispielsweise eine PN-Diode als lichtempfindliches, elektrisches Bauelement, als Fotodetektor PD sein, das Teil der mikroelektronischen Schaltung ist. Ein lichtemittierendes Bauelement kann beispielsweise eine MESA-Struktur MESA, wie hie beschrieben sein. Das quantentechnologische, mikro-elektrooptische oder photonische System umfasst bevorzugt einen Teilbereich eines kolloidalen Films bzw. kolloidalen Lackes KL als Sensorelement SE und/oder Sensorelementschicht 5, der mehrere Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND mit paramagnetischen Zentren aufweist. Ganz besonders bevorzugt ist eine Variante, bei der es sich bei Trägersubstrat 1360 um einen mikroelektronischen Schaltkreis, insbesondere um einen mikroelektronischen Schaltkreis in MOS-, CMOS-, BICMOS, oder Bipolar-Technologie handelt. Typischerweise umfasst das Trägersubstrat 1360 dann Materialien, wie beispielsweise Stücke von Platinenmaterialien oder Stücke von Kunststoffplatten- oder -folien und/oder Stücke von Glas-Wafern oder Stücke von Keramik-Wafern und/oder Stücke von Halbleiter-wafern, beispielsweise Stücke von CMOS-Wafern oder beispielsweise Stücke von BiCMOS-Wafern und/oder beispielsweise Stücke von Wafern aus einer Bipolar-Technologie und/oder Stücke eines Wafers aus einem III/V-Material oder dergleichen und/oder beispielsweise Stücke von MEMS-Wafern und/oder Stücke mikroelektronischer Schaltungen und/oder beispielsweise Stücke von MEOS-Wafern (MEOS= micro electro optical system) und/oder beispielsweise Stücke von MOEMS-Wafern etc. und/oder Stücke von MOEMS-Wafern mikroelektronische Schaltkreise und mikroelektronischer Funktionselemente und/oder mikrooptische Funktionselemente und/oder mikromechanische Funktionselemente und/oder mikrofluidische Funktionselemente.

[1365] Ein solcher mikroelektronischer Schaltkreis, der typischerweise in dem Trägersubstrat 1360 gefertigt ist, umfasst als bevorzugt eine Mehrzahl mikroelektronischer Bauelemente, wie MOS-Transistoren, Bipolartransistoren, Dioden, Widerstände, Kapazitäten, Spulen und ggf. weitere Halbleiterbauelemente, die in dem Trägersubstrat 1360 und insbesondere im Metallisierungsstapel, gefertigt sind und durch Leitungen zu der mikroelektronischen Schaltung verschaltet sind, die mit den paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder der Diamant-Nano-Kristalle ND, die bevorzugt Diamant und/oder NV-Zentren umfassen, zu einem Gesamtsystem optisch gekoppelt sind. Dabei umfasst das Trägersubstrat 1360 bevorzugt mindestens ein mikrooptisches Funktionselement, z.B. einen ersten Lichtwellenleiter LWL1 und die mikroelektronische Schaltung in MOS-, CMOS-, BICMOS, oder Bipolar-Technik. Typischerweise weist das Trägersubstrat 1360 auch das lichtempfindliche elektrische Bauelement (nG, pG), den Fotodetektor PD, auf, um bevorzugt mittels dieses lichtempfindlichen elektrischen Bauelements (pG, nG), des Fotodetektors PD, eine Emission von Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren, insbesondere von NV-Zentren, der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND zu erfassen. Typischerweise hängt dann zumindest ein Betriebsparameter der mikroelektronischen Schaltung von einem durch das lichtempfindliche Bauelement (pG, nG), den Fotodetektor PD, erfassten Wert der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5 ab. Die paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5 sind bevorzugt über das erste mikrooptische Funktionselement LWL1 mit dem lichtempfindlichen elektrischen Bauelement (pG, nG), dem Fotodetektor PD gekoppelt. Bevorzugt sind das erste optische Funktionselement und/oder das zweite optische Funktionselement in Teilen oder ganz identisch. **Fig. 89** zeigt jedoch beispielhaft verschiedene optische Funktionselemente. Ein solches quantentechnologisches, mikro-elektrooptisches oder photonisches oder mikroelektronisches System kann aber

auch auf einem mit einem Trägersubstrat 1360 aus einem direkten Halbleitermaterial gefertigt werden. Dies hat den Vorteil, dass die Lichtausbeute der lichtemittierenden Bauelemente des Systems bei Nutzung als Lichtquellen LED höher ist und so eine bessere Pumpleistung durch die Pumpstrahlung LB erreicht werden kann, was den Kontrast zwischen der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5 bei der magnetischen Flussdichte mit maximaler Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5 und der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5 bei der magnetischen Flussdichte mit minimaler Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5 verbessert. Bevorzugt werden dann Substratmaterialien des Trägersubstrats 1360 verwendet, bei denen ein Halbleitermaterial des Substrats ein III/V-Halbleitermaterial und/oder ein II/VI-Halbleitermaterial oder ein durch Bandgap-Engineering hergestelltes Halbleitermaterial sein kann. Das Substratmaterial des Trägersubstrats 1360 muss also ausdrücklich nicht homogen sein, sondern kann aus unterschiedlichen Materialien bestehen. Das System umfasst dann eine mikroelektronische Schaltung, die bevorzugt Teil des Trägersubstrats 1360 sein kann, und ein elektrisches Bauelement, das bevorzugt Teil der mikroelektronischen Schaltung ist, und eine mikrooptische Teilvorrichtung (LWL1, LWL2), die bevorzugt Teil des Trägersubstrats 1360 ist, und mehrere Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND, die Diamanten sein können, mit paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5. Das Trägersubstrat 1360 umfasst somit in dem hier vorgestellten Fall die mikroelektronische Schaltung und das elektrische Bauelement und die mikrooptische Vorrichtung (LWL1, LWL2). Das besondere des Systems ist dann, dass es zumindest ein lichtemittierendes elektrooptisches Bauelement MESA vorzugsweise als Lichtquelle LED aufweist, das Teil des Trägersubstrats 1360 ist oder auf der Oberfläche des Trägersubstrats 1360 gefertigt ist, wobei das Trägersubstrat 1360 das lichtemittierende Bauelement MS als Lichtquelle LED umfasst und wobei das lichtemittierende elektrooptische Bauelement MESA als Lichtquelle LED mit der mikrooptischen Teilvorrichtung (LWL1, LWL2) optisch wechselwirkt. Das lichtemittierende elektrooptische Bauelement MESA wechselwirkt als Lichtquelle LED mit dem elektrischen Bauelement elektrisch und/oder optisch in direkter oder indirekter Weise mittels der mikrooptischen Teilvorrichtung (LWL1, LWL2). Diese Wechselwirkung zwischen dem lichtemittierenden elektrooptischen Bauelement MESA als Lichtquelle LED mit dem elektrischen Bauelement erfolgt dabei bevorzugt unter Mitwirkung der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5.

[1366] Das Trägersubstrat 1360 ist in dem hier vorgestellten Fall also bevorzugt ein Halbleitersubstrat, ein Silizium-Wafer oder ein GaAs-Wafer oder ein Wafer aus einem III/V-Material oder ein Wafer aus II/VI-Material oder aus ein mittels Band-Gap-Engineering behandelte Wafer oder ein Diamant-Wafer oder ein Ge-Wafer oder ein anderer Wafer aus einem Mischhalbleiter.

[1367] Im Falle von III/V-Materialien kann das Substrat auch eine andere LED oder einen Laser als Lichtquelle LED umfassen.

[1368] Bevorzugt umfasst das quantentechnologische, mikro-elektrooptische oder photonische System mindestens ein mikrooptisches Element. Bevorzugt ist das das mikrooptische Element dazu geeignet oder vorgesehen, zumindest die Funktion eines der folgenden mikrooptischen Elemente zu erfüllen:

- die Funktion einer optischen Linse und/oder
- die Funktion eines photonischen Kristalls und/oder
- die Funktion eines optischen Filters und/oder
- die Funktion eines optischen ganz oder teilweise reflektierenden Spiegels und/oder
- die Funktion eines Lichtwellenleiters (LWL1, LWL2) und/oder
- die Funktion eines Richtkopplers und/oder
- die Funktion eines Wellensumpfes und/oder
- die Funktion eines Circulators (Zirkulators) und/oder
- die Funktion eines Koppel- und/oder Auskoppelgliedes.

[1369] Die paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5 wechselwirken in der Regel mit Magnetfeldern. Daher ist es denkbar, dass die Vorrichtung zumindest ein Funktionselement eines magnetischen Kreises und/oder eine ferromagnetische Teilvorrichtung oder eine ferromagnetische Teilstruktur umfasst. Dabei kann es sich um einen mikro- oder nanoskopischen Permanentmagneten PM handeln, der ggf. beispielsweise in den Metallisierungsstapel des besagten MOS-, CMOS-, BICMOS oder Bipolar-Schaltkreises, insbesondere oberhalb der paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5 integriert ist. Bevorzugt kann es sich um einen mit einem Gradienten behafteten Permanentmagneten GPM handeln. Bevorzugt ist die besagte ferromagnetische Teilvorrichtung oder Teilstruktur Teil eines magnetischen Kreises. In dem Falle verfügt das quantentechnologische, mikroelektrooptische System bevorzugt über eine Erregungsvorrichtung, beispielsweise ein Magnetfelderzeugungsmittel L_c , beispielsweise in Form einer oder mehrerer in dem Metallisierungsstapel gefertigten Flachspule, die dazu geeignet ist, eine magnetische Erregung in dem magnetischen Kreis hervorzurufen. Bevorzugt wird die magnetische Teilvorrichtung durch Abscheiden einer ferromagnetischen Schicht und anschließende fotolithografische Strukturierung gefertigt.

[1370] in dem Beispiel der **Fig. 89** umfasst die beispielhafte Vorrichtung oberhalb des Sensorelements SE bzw. der Sensorelementschicht 5 ein beispielhaftes Magnetfelderzeugungsmittel L_c in Form einer beispielhaften Flachspule im Metallisierungsstapel. Hinsichtlich der Funktion und des Betriebs verweist das hier vorgelegte Dokument auf die vorausgehenden Beschreibungen.

[1371] Sollen die paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5 als Teilvorrichtungen eines Sensorsystems verwendet werden, so hängt der Betrag und/oder die Richtung der durch die Erregungsvorrichtung erzeugten magnetischen Erregung H in dem magnetischen Kreis bzw. in dem Magnetfelderzeugungsmittel L_c bevorzugt von einem Betriebszustandsparameter des elektronischen Schaltkreises, also bevorzugt des MOS-, CMOS-, BICMOS- oder Bipolar-Schaltkreises, ab. In diesem Zusammenhang verweist das hier vorgelegte Dokument auf das Dokument DE 10 2018 127 394 A1. Die Verwendung des hier vorgestellten Verfahrens zur Herstellung einer Vorrichtung gemäß der DE 10 2018 127 394 A1 ist ausdrücklich Teil dieser Offenlegung. Die hier vorgelegte Schrift beschäftigt sich in ihrem Kern mit der großtechnischen Serienherstellung solcher Systeme, wie sie beispielsweise in der DE 10 2018 127 394 A1 beschrieben sind. Die hier vorgestellten Methoden werden sich aber auch für die Herstellung von Quantencomputern und anderen quantenoptischen Systemen eignen, die eine Anbindung an mikroelektronische und/oder mikromechanische und/oder mikrooptische Systeme benötigen.

[1372] Typischerweise weist ein solches quantentechnologische, mikroelektrooptische System ein lichtempfindliches Bauelement (pG, nG) auf. Dabei ist dann bevorzugt das lichtempfindliche Bauelement (pG, nG), insbesondere der Fotodetektor PD, dazu geeignet und/oder bestimmt, die Intensität I_{ist} einer Fluoreszenzstrahlung FL von paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5 zu erfassen. Bevorzugt werden die paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5 hierfür durch verschiedene optische Elemente zum einen mit einer Pumplichtquelle MS als Lichtquelle LED über eine optische Wellenverbindung aus mehreren optischen Komponenten (paramagnetische Zentren, SE, LWL2) und zum anderen mit dem lichtempfindlichen Bauelement (pG, nG) in Form der Lichtquelle LED über eine weitere optische Wellenverbindung aus mehreren weiteren optischen Komponenten (paramagnetische Zentren, SE, LWL1) gekoppelt.

[1373] Der hier offenbarte integrierter MOS-Schaltkreis bzw. CMOS- Schaltkreis, bzw. BICMOS-Schaltkreis bzw. Schaltkreis in Bipolar-Technologie oder einer anderen Schaltungstechnik zeichnet sich somit dadurch aus, dass er mehrere kristalline Teilvorrichtungen, die bevorzugt mechanisch mit ihm fest verbunden sind und die paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5 aufweist, wobei die paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5 Funktionselemente für die bestimmungsgemäße Verwendung des integrierten Schaltkreises sind. Ein kolloidaler Film und/oder ein kolloidaler Lack KL stellen als Sensorelement SE bzw. Sensorelementschicht 5 bevorzugt die mechanische Verbindung zwischen den kristallinen Teilvorrichtungen und dem Trägersubstrat 1360 her. Bevorzugt ein oder mehrere optische Kopplungen z.B. durch ein oder mehrere mikro-optisches Funktionselemente rufen eine oder mehrere Wirkverbindungen zwischen den paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND der Sensorelemente SE und/oder der Sensorelementschicht 5 und zumindest einem oder mehreren Teilen der MOS-, CMOS-, BICMOS- oder Bipolar- Schaltung, insbesondere

lichtemittierenden Gebieten LG der Lichtquelle LED und/oder lichtempfindlichen Bauteilen (PD, pG, nG), insbesondere dem Fotodetektor PD, hervor. Der integrierte CMOS-Schaltkreis, bzw. MOS-Schaltkreis, bzw. BICMOS-Schaltkreis bzw. Schaltkreis in Bipolar-Technologie oder einer anderen Schaltungstechnik weist typischerweise einen oder mehrere Transistoren auf. Im Falle einer BICMOS-Schaltung können das Bipolartransistoren und/oder MOS-Transistoren sein. Im Falle einer MOS- oder CMOS-Schaltung können das MOS-Transistoren sein. Im Falle einer Bipolar-Schaltung können das Bipolartransistoren sein.

[1374] Bevorzugt ist die mikrointegrierte Schaltung einstückig ausgeführt. Bevorzugt umfasst die mikrointegrierte Schaltung mehrere der folgenden Teilvorrichtungen wie die Steuervorrichtung CTR und die Speicher RAM, NVM, Teile des Datenbusses DB, einen oder mehrere Lichtquellentreiber LDRV, einen oder mehrere erste Signalgeneratoren G1, einen oder mehrere Mehrfachkorrelatoren LIV, einen oder mehrere Fotodetektoren PD, einen oder mehrere erste Verstärker V1, einen oder mehrere Mustererkennungsvorrichtungen MEV, einen oder mehrere Mikrowellenquellen μ WG, einen oder mehrere zweite Signalgeneratoren G2, einen oder mehrere Magnetfeldsensoransteuerungen SIS, einen oder mehrere Magnetfeldsensoren MS, einen oder mehrere Magnetfeldregler LCTR, einen oder mehrere mikrooptische Funktionselemente 6, 4, F1, ein oder mehrere Sensorelemente SE und/oder Sensorelementschichten 5, ein oder mehrere Lichtsensorarrays 1, ein oder mehrere Auswertelektroniken 15 des Lichtsensorarrays 1, ein oder mehrere Aufbereitungsvorrichtungen 30, eine oder mehrere Schnittstellenschaltungen 36, ein oder mehrere Permanentmagneten 19, ein oder mehrere Magnetfelderzeugungsvorrichtungen L_c .

[1375] Die mikroelektronische Schaltung kann entsprechend der technischen Lehre des hier vorgelegten Dokuments ein oder mehrere Sensorelemente SE und/oder ein oder mehrere Sensorschichten 5 umfassen. Die ein oder mehrere Sensorelemente SE und/oder die ein oder mehreren Sensorschichten 5 umfassen bevorzugt eine Vielzahl von Kristallen unterschiedlicher Ausrichtung mit paramagnetischen Zentren und/oder eine Vielzahl von Diamant-Nano-Kristallen ND unterschiedlicher Ausrichtung und NV-Zentren und/oder anderen paramagnetischen Zentren.

[1376] Bevorzugt umfasst die mikroelektronische Schaltung ein oder mehrere Lichtquellen LED zur Erzeugung der Pumpstrahlung LB für die ein oder mehreren Sensorelemente SE und/oder die ein oder mehreren Sensorschichten 5.

[1377] Bevorzugt umfasst die mikroelektronische Schaltung mikrooptische Funktionselemente zur Bestrahlung der ein oder mehreren Sensorelemente SE und/oder die ein oder mehreren Sensorschichten 5 mit der Pumpstrahlung LB der ein oder mehrere Lichtquellen LED.

[1378] Bevorzugt umfasst die mikroelektronische Schaltung mikrooptische Funktionselemente zur Erfassung der Fluoreszenzstrahlung FL der ein oder mehreren Sensorelemente SE und/oder die ein oder mehreren Sensorschichten 5 und zur Abtrennung der Fluoreszenzstrahlung FL der ein oder mehreren Sensorelemente SE und/oder die ein oder mehreren Sensorschichten 5 von der Pumpstrahlung LB der ein oder mehrere Lichtquellen LED und zur Bestrahlung der Fotodetektoren PD mit der Fluoreszenzstrahlung FL der ein oder mehreren Sensorelemente SE und/oder die ein oder mehreren Sensorschichten 5.

[1379] Für die Anwendung in verschiedenen Anwendungsfällen kann die mikroelektronische Schaltung darüber hinaus auch mikrofluidische und/oder mikromechanische und weitere mikrooptische Funktionselemente umfassen.

Figur 90

[1380] Die **Fig. 90** zeigt ein Spektrum einer MESA-Struktur MESA der **Fig. 89** aus dem Stand der Technik für eine Betriebsspannung von 15V.

[1381] Die Kurvendaten entstammen dem Dokument Röcken H., Meijer J., Stephan A., Weidenmüller U., Bukow H.H., Rolfs C., „White electroluminescent nanostructure in silicon fabricated using focused ion implantation“ Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 181 (1001) Seite 274-279.

[1382] Es ist klar zu erkennen, dass eine solche Struktur nicht nur Licht im Bereich der gewünschten Pumpstrahlungswellenlängen λ_{pmp} um 520nm herum aussendet, sondern auch im Bereich der zu erwartenden Fluoreszenzstrahlung FL oberhalb von 600nm. Eine Verwendung ohne optisches Bandpassfilter 4 ist daher nicht ratsam.

Figur 91

[1383] Fig. 91 zeigt ein beispielhaftes Trägersubstrat 1360 mit einem gewinkelt aufgebrachten Wellenleiter 6980. Der beispielhafte Wellenleiter ist in dem Beispiel der Fig. 91 eine differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980. Die beispielhafte Wellenleitung 6980 ist von einer Sensorelementschicht 5 als Sensorelement SE bedeckt. Die beispielhafte Sensorelementschicht 5 soll wieder eine Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND mit paramagnetischen Zentren umfassen, die bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} eine Fluoreszenzstrahlung FL mit einer Fluoreszenzwellenlänge λ_f in Abhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ des Mikrowellensignals μW und der zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} emittieren. Die Abschlusswiderstände 6710 schließen die beispielhafte Tri-Plate-Wellenleitung 6980 als beispielhafte Wellenleitung wieder vorzugsweise reflexionsfrei ab.

[1384] Bevorzugt durchflutet ein Gradienten behafteter Permanentmagnet GPM von der anderen Seite des Trägersubstrats 1360 die Sensorelementschicht 5 mit einer zusätzlichen magnetischen Flussdichte, die beispielsweise in x-Richtung von einer maximalen zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad_max} zu einer minimalen zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad_min} hin abnimmt und die beispielsweise in y-Richtung von einer maximalen zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad_max} zu einer minimalen zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad_min} hin abnimmt. Natürlich sind andere Verläufe denkbar.

[1385] Hierdurch verschiebt sich die Lage der V-Formation (522, 525, 530) der Fig. 51b in der Vertikalen der Fig. 51b für jeden Punkt der Sensorelementschicht 5 oberhalb des Wellenleiters, hier der Tri-Plate-Leitung 6980. Somit lässt der Intensitätsverlauf der Intensität $I_{ist}(x, y)$ der Fluoreszenzstrahlung FL längs der beiden Äste des Wellenleiters, hier der Tri-Plate-Leitung 6980, Rückschlüsse auf das Mikrowellenspektrum des Mikrowellensignals μW zu.

[1386] Bevorzugt umfasst das Sensorsystem in einem Speicher RAM, NVM des Sensorsystems über eine Datenbank einer Vielzahl von Messwertverläufen für den Intensitätsverlauf $I_{ist}(x, y)$ der Fluoreszenzstrahlung FL längs der Wellenleiterkoordinaten x, y für die jeweiligen Verläufe der beiden Äste des Wellenleiters, hier der Tri-Plate-Leitung 6980, für verschiedene bei der Erfassung dieser Messwertverläufe bekannte Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu W}$ des Mikrowellensignals μW und/oder computerimplementierte Modelle und/oder computerimplementierte Approximationsfunktionen, die diese Messwerte liefern können. Bevorzugt ermitteln die Steuervorrichtung CTR und/oder die Mustererkennungsvorrichtung MEV mit deren Hilfe für verschiedene Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu W}$ einen Korrelationswert $K(\omega_{\mu W})$ zwischen den Messwertverläufen für den Intensitätsverlauf $I_{LIB}(x)$ bzw. $I_{LIB}(y)$ der Fluoreszenzstrahlung FL längs der beiden Äste des Wellenleiters aus der Datenbank oder den computerimplementierten Modellen oder den computerimplementierten Approximationsfunktionen einerseits und dem aktuell gemessenen Messwertverläufen für den Intensitätsverlauf $I_{ist}(x)$ bzw. $I_{ist}(y)$ der Fluoreszenzstrahlung FL längs der beiden Äste des Wellenleiters.

[1387] Für den waagerechten Teil des Wellenleiters (siehe Fig. 90) bilden wir den Korrelationswert $K_w(\omega_{\mu W})$ beispielsweise durch Bildung eines L2-Produkt-Integrals:

$$K_w(\omega_{\mu W}) = \int_{x_a}^{x_b} I_{LIB}(x) * I_{ist}(x_0 + x) dx$$

[1388] Für den senkrechten Teil des Wellenleiters (siehe Fig. 90) bilden wir den Korrelationswert $K_s(\omega_{\mu W})$ beispielsweise durch Bildung eines L2-Produkt-Integrals:

$$K_s(\omega_{\mu W}) = \int_{y_a}^{y_b} I_{LIB}(y) * I_{ist}(y_0 + y) dy$$

[1389] Da jeder Position x und y genau eine zusätzliche magnetische Flussdichte $B_{ad}(x)$ bzw. $B_{ad}(y)$ zugeordnet ist, kann dieses L2-Produkt auch geschrieben werden als:

$$K_w(\omega_{\mu W}) = \int_{B_{ad}(x_a)}^{B_{ad}(x_b)} I_{LIB}(x(B_{ad})) * I_{ist}(x(B_{ad}) + x(B_{ad}(x_0))) dB_{ad}$$

$$K_s(\omega_{\mu W}) = \int_{B_{ad}(y_a)}^{B_{ad}(y_b)} I_{LIB}(y(B_{ad})) * I_{ist}(y(B_{ad}) + y(B_{ad}(y_0))) dB_{ad}$$

[1390] Die V-Formation (siehe Fig. 51b und 84) kann auf den linken Ast (522) oder den rechten Ast (25) beschränkt werden. Daher sollte vor der Einspeisung des Mikrowellensignals μW in den Wellenleiter 6980 im

Falle der Nutzung des linken Asts (522) ein Tiefpassfilter (z.B. $\mu\text{WG_F_I}$) sicherstellen, dass das Mikrowellensignal μW keine Signalkomponenten mit einer Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ größer als die Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}0}$ mehr umfasst. Daher sollte vor der Einspeisung des Mikrowellensignals μW in den Wellenleiter 6980 im Falle der Nutzung des rechten Asts (525) ein Hochpassfilter (z.B. $\mu\text{WG_F_I}$) sicherstellen, dass das Mikrowellensignal μW keine Signalkomponenten mit einer Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ kleiner als die Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}0}$ mehr umfasst. in der Praxis ist die Realisierung des Tiefpassfilters und damit die Nutzung des linken Asts (522) der V-Formation (siehe Fig. 2) einfacher.

[1391] In dem Fall ist dann jeder zusätzlichen magnetischen Flussdichte $B_{\text{ad}}(x)$ bzw. $B_{\text{ad}}(y)$ genau eine Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}(B_{\text{ad}}(x))$ bzw. $\omega_{\mu\text{W}}(B_{\text{ad}}(y))$ zugeordnet.

[1392] Das L2-Produkt kann dann geschrieben werden als:

$$K_W(\omega_{\mu\text{W}}(B_{\text{ad}}(x_0))) \\ = \int_{\omega_{\mu\text{W}}(B_{\text{ad}}(x_a))}^{\omega_{\mu\text{W}}(B_{\text{ad}}(x_b))} I_{LIB}(x(B_{\text{ad}}(\omega_{\mu\text{W}}))) \\ * I_{\text{ist}}(x(B_{\text{ad}}(\omega_{\mu\text{W}})) + x(B_{\text{ad}}(\omega_{\mu\text{W}}(B_{\text{ad}}(x_0)))))) d\omega_{\mu\text{W}}$$

$$K_S(\omega_{\mu\text{W}}(B_{\text{ad}}(y_0))) \\ = \int_{\omega_{\mu\text{W}}(B_{\text{ad}}(y_a))}^{\omega_{\mu\text{W}}(B_{\text{ad}}(y_b))} I_{LIB}(y(B_{\text{ad}}(\omega_{\mu\text{W}}))) \\ * I_{\text{ist}}(y(B_{\text{ad}}(\omega_{\mu\text{W}})) + y(B_{\text{ad}}(\omega_{\mu\text{W}}(B_{\text{ad}}(y_0)))))) d\omega_{\mu\text{W}}$$

[1393] Ein solcher von den Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu\text{W}}$ abhängiger Korrelationswert $K_S(\omega_{\mu\text{W}})$, $K_W(\omega_{\mu\text{W}})$ bezeichnet das hier vorgelegte Dokument als Hochfrequenzspektrum des Mikrowellensignals μW .

[1394] Es ist offensichtlich, dass für eine Vermessung der Messwertverläufe für den Intensitätsverlauf $I_{\text{ist}}(x)$ bzw. $I_{\text{ist}}(y)$ der Fluoreszenzstrahlung FL längs der beiden Äste des Wellenleiters Magnetfeldkameras wie sie in Fig. 79 bis 81 beispielhaft dargestellt sind, besonders günstig sind.

Figur 92

[1395] Fig. 92 veranschaulicht schematisch vereinfacht das bereits erwähnte Verfahren zur Herstellung eines selbstjustierten Sensorelements SE Lichtwellenleiters LWL(4630), wie er zuvor beschrieben und verwendet wurde. Das vorgeschlagene Verfahren umfasst die Schritte:

- Bereitstellen 15310 eines Lichtwellenleiters LWL(4630), wobei der Lichtwellenleiter LWL(4630) ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist;
- Bereitstellen 15320 eines flüssigen und mittels elektromagnetischer Strahlung einer Aushärtewellenlänge λ_H härtbaren Trägermaterials TM, wobei in das Trägermaterial TM eine Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND, vorzugsweise Nanodiamanten, eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND NV-Zentren und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND des Trägermaterials TM und/oder die anderen paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND des Trägermaterials TM bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL emittieren;
- Benetzen 15330 des zweiten Endes des Lichtwellenleiters LWL(4630) zumindest auf eine Benetzungslänge L_B mit dem Trägermaterial TM, das die Vielzahl eingebetteter Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND mit NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren aufweist;
- Einspeisen 15340 elektromagnetischer Strahlung in das erste Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630), wobei die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung, die Aushärtewellenlänge λ_H , so gewählt ist, dass das Trägermaterial TM am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630) aushärtet und sich in einen Festkörper wandelt.

- Entfernen 15350 des nicht ausgehärteten Trägermaterials TM insbesondere mittels eines Lösungsmittels LM, wobei der verbleibende Film des Trägermaterials TM am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630) das Sensorelement SE bildet.

[1396] Typischerweise härtet das Trägermaterial TM nur teilweise aus, was die Bildung des optischen Funktionselements und des Sensorelements SE ermöglicht.

Figur 93

[1397] Fig. 93 veranschaulicht schematisch vereinfacht das bereits erwähnte Verfahren zur Herstellung eines maskenjustierten Sensorelements SE am Lichtwellenleiters LWL(4630), wie er zuvor beschrieben und verwendet wurde. Das vorgeschlagene Verfahren umfasst die Schritte:

- Bereitstellen 15410 eines Lichtwellenleiters LWL(4630), wobei der Lichtwellenleiter LWL(4630) ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist;
- Bereitstellen 15420 eines flüssigen und mittels elektromagnetischer Strahlung einer Aushärtewellenlänge λ_H härtbaren Trägermaterials TM, wobei in das Trägermaterial TM eine Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND, vorzugsweise Nanodiamanten, eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND NV-Zentren und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND des Trägermaterials TM und/oder die anderen paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND des Trägermaterials TM bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL emittieren;
- Beschichten 15430 des zweiten Endes des Lichtwellenleiters LWL(4630) zumindest auf eine Benetzungslänge L_B mit dem Trägermaterial TM, das die Vielzahl eingebetteter Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND mit NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren aufweist;
- Justieren 15440 einer Belichtungsmaske 5410 gegenüber dem Trägersubstrat 1360.
- Bestrahlen 15450 des zweiten Endes des Lichtwellenleiters LWL(4630) durch die Belichtungsmaske 5410 mit elektromagnetischer, wobei die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung, die Aushärtewellenlänge λ_H , so gewählt ist, dass das Trägermaterial TM am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630) aushärtet und sich in einen Festkörper wandelt;
- Entfernen 15460 des nicht ausgehärteten Trägermaterials TM insbesondere mittels eines Lösungsmittels LM, wobei der verbleibende Film des Trägermaterials TM am zweiten Ende des Lichtwellenleiters LWL(4630) das Sensorelement SE bildet.

[1398] Typischerweise härtet das Trägermaterial TM nur teilweise aus, was die Bildung des optischen Funktionselements und des Sensorelements SE ermöglicht.

Figur 94

[1399] Fig. 94 zeigt ein beispielhaftes optisch transparentes Trägersubstrat 1360 mit einem beispielhaften Wellenleiter in Form einer Tri-Plate-Leitung 2380. Bei der Auswahl des Wellenleitertypen des Wellenleiters auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 ist es vorteilhaft, wenn die Leitungen und elektrisch leitenden Flächen des betreffenden Wellenleiters die Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 bis auf die Clearances (2340, 2350) komplett abdecken, sodass Licht aus dem optisch transparenten Trägersubstrat 1360 im Wesentlichen nur über die Kanten des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 und/oder die Clearances (2340, 2350) des Wellenleiters das optisch transparente Trägersubstrat 1360 verlassen kann. Bevorzugt ist der elektrisch leitender Rückseitenkontakt 1370 hierzu spiegelnd ausgeführt, sodass er das Licht innerhalb des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 wieder in das optisch transparente Trägersubstrat 1360 zurückspiegelt. Dies erhöht die Intensität der Pumpstrahlung in den Clearances (2340, 2350) des Wellenleiters. Als Wellenleiter kommen beispielsweise Schlitzleitungen 1880, Tri-Plate-Leitungen 2380, und differentielle Tri-Plate-Leitungen 6980 in Frage, da diese typischerweise über eine elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 und eine elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 verfügen, die den Austritt des Lichts, insbesondere der Pumpstrahlung 13 (13) aus dem optisch transparenten Trägersubstrat 1360 verhindern.

[1400] Im Falle einer Schlitzleitung 1880 bildet der Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 die Clearance, durch die die Pumpstrahlung 13 (13) aus dem für die Pumpstrahlung 13 (13) optisch transparenten Trägersubstrat

1360 austreten kann und in die Sensorschicht 5 als Sensorelement SE eintreten kann. Typischerweise emittieren die paramagnetischen Zentren, hier typischerweise NV-Zentren in Diamanten innerhalb der bestrahlten Segmente der Sensorschicht 5 im Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880, Fluoreszenzstrahlung 14 in Folge der Bestrahlung mit der Pumpstrahlung 13 (13).

[1401] Im Falle einer Tri-Plate-Leitung 2380 bilden die elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende linke Isolationslücke 2340 und die elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende rechte Isolationslücke 2350 der Tri-Plate-Leitung 2380 die beiden Clearances, durch die die Pumpstrahlung 13 (13) aus dem für die Pumpstrahlung 13 (13) optisch transparenten Trägersubstrat 1360 austreten kann und in die beiden Teilsegmente der Sensorschicht 5 als Sensorelemente SE eintreten kann. Typischerweise emittieren die paramagnetischen Zentren, hier typischerweise NV-Zentren in Diamanten innerhalb der bestrahlten Segmente der Sensorschicht 5 in der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340 und in der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350 der Tri-Plate-Leitung 2380, Fluoreszenzstrahlung 14 in Folge der Bestrahlung mit der Pumpstrahlung 13 (13).

[1402] Im Falle einer differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 bilden die elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende linke Isolationslücke 2340 und die elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende rechte Isolationslücke 2350 der Tri-Plate-Leitung 2380 sowie die elektrisch isolierende Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 der Tri-Plate-Leitung 2380 die drei Clearances, durch die die Pumpstrahlung 13 (13) aus dem für die Pumpstrahlung 13 (13) optisch transparenten Trägersubstrat 1360 austreten kann und in die drei Teilsegmente der Sensorschicht 5 als Sensorelemente SE in diesen drei Clearances eintreten kann. Typischerweise emittieren die paramagnetischen Zentren, hier typischerweise NV-Zentren in Diamanten innerhalb der bestrahlten Segmente der Sensorschicht 5 in der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340 und in der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350 der Tri-Plate-Leitung 2380 sowie in der elektrisch isolierende Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 der Tri-Plate-Leitung 2380, Fluoreszenzstrahlung 14 in Folge der Bestrahlung mit der Pumpstrahlung 13.

[1403] Vorzugsweise emittieren im normalen Betrieb LEDs als Pumpstrahlungsquellen 44 die Pumpstrahlung 13 und strahlen diese über Kanten des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 in das optisch transparente Trägersubstrat 1360 ein. Das optisch transparente Trägersubstrat 1360 verteilt die Pumpstrahlung 13 innerhalb des optisch transparenten Trägersubstrats 1360.

[1404] Die Pumpstrahlung 13 tritt durch die Clearances (2349, 2350) des Wellenleiters (2380) aus dem optisch transparenten Trägersubstrat 1360 aus und bestrahlt die Sensorelemente SE der Sensorschicht 5.

[1405] Der Schaltungsträger (PCB) 43 für die LEDs 44 ist vorzugsweise in eine Magnetfeldkamera, wie sie beispielsweise dieses Dokument beschreibt eingebaut. Auf die übrigen Abschnitte dieses Dokuments wird hier ausdrücklich Bezug genommen.

Figur 95

[1406] Fig. 95 zeigt den beispielhaften Ablauf der Herstellung einer Vorrichtung entsprechend Fig. 94.

[1407] Das vorgeschlagene Verfahren umfasst vorzugsweise folgende Schritte:

1. Bereitstellen 20310 eines optisch transparenten Trägersubstrat 1360, wobei das optisch transparente Trägersubstrat 1360 zumindest eine optische transparente Kante aufweist und wobei das optisch transparente Trägersubstrat 1360 mit einem Wellenleiter mit zumindest einer Clearance, beispielsweise einer Schlitzleitung und/oder einer Tri-Plate-Leitung oder einer differentiellen Tri-Plate-Leitung, abgedeckt ist, sodass Licht im Wesentlichen nur durch die Clearance des Wellenleiters auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 aus dem optisch transparenten Trägersubstrat 1360 austreten kann.
2. Bereitstellen 20320 einer flüssigen kolloidalen Mischung KL mit einem flüssigen und mittels elektromagnetischer Strahlung, der Aushärtestrahlung 4910, einer Aushärtewellenlänge λ_H härtbaren Trägermaterial TM, wobei in das Trägermaterial TM der kolloidalen Mischung KL eine Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND, vorzugsweise Nanodiamanten, eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND NV-Zentren und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kris-

talle ND der kolloidalen Mischung KL und/oder die anderen paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND der kolloidalen Mischung KL bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL emittieren;

3. Beschichten 20330 der er Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 und des Wellenleiters auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 zumindest auf eine Benetzungslänge L_B mit der kolloidalen Mischung KL aus dem Trägermaterial TM und den Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND mit NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren, wobei die kolloidale Mischung KL somit eine Vielzahl eingebetteter Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND mit NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren aufweist;

4. ggf. (nicht eingezeichnet) Anhängen der Beschichtung des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 aus der kolloidalen Mischung KL insbesondere mittels einer Temperaturbehandlung;

5. Einspeisen 20340 elektromagnetischer Aushärtestrahlung 4910 mit der Aushärtewellenlänge λ_H über die mindestens eine Kante des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 in das optisch transparente Trägersubstrat 1360,

6. Austreten 20350 der Aushärtestrahlung 4910 im Bereich zumindest einer Clearance (1840, 2340, 2350, 6840) des Wellenleiters (1880, 2380, 6980) auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 aus dem des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 und einstrahlen der Aushärtestrahlung 4910 in das Trägermaterial TM der kolloidalen Mischung KL, wobei die Aushärtewellenlänge λ_H der Aushärtestrahlung 4910 so gewählt ist, dass das Trägermaterial TM der kolloidalen Mischung KL im Bereich dieser Clearance (1840, 2340, 2350, 6840) des Wellenleiters (1880, 2380, 6980) auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 aushärtet und sich die kolloidale Mischung KL im bestrahlten Bereich in einen Festkörper wandelt;

7. Entfernen 20360 des nicht ausgehärteten Trägermaterials TM der kolloidalen Mischung KL insbesondere mittels eines Lösungsmittels LM, wobei der verbleibende Film des Trägermaterials TM der kolloidalen Mischung KL und der kolloidalen Mischung KL im Bereich dieser Clearance (1840, 2340, 2350, 6840) des Wellenleiters (1880, 2380, 6980) auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 ein Sensorelement SE und/oder eine Sensorschicht 16205 bildet;

8. ggf. (nicht eingezeichnet) finales Aushärten des Trägermaterials TM der kolloidalen Mischung KL des verbliebenen Sensorelements SE und/oder eine Sensorschicht 16205 in den Clearances (1840, 2340, 2350, 6840) des Wellenleiters (1880, 2380, 6980) im Bereich einer Clearance des Wellenleiters (1880, 2380, 6980) auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 insbesondere mittels einer Temperaturbehandlung. Die Erforderlichkeit dieses Post-Bake-Schrittes bestimmt sich aus der Art des verwendeten Trägermaterials TM der kolloidalen Mischung KL und des Lösungsmittels LM in der kolloidalen Mischung KL.

Figur 96

[1408] Fig. 96 zeigt schematisch die Durchführung der Aushärtung des Trägermaterials TM der kolloidalen Mischung KL entsprechend des Verfahrens nach Fig. 96 in Schritt 20350. zu diesem Zeitpunkt sind die Pumpstrahlungsquellen 44 und der Schaltungsträger (PCB) 43 für die LEDs 44 und deren Energieversorgung 45 vorzugsweise noch nicht mit dem optisch transparenten Trägersubstrat 1360 verbunden.

[1409] Aushärtestrahlungsquellen (nicht eingezeichnet) emittieren Aushärtestrahlung 4910 mit einer Aushärtewellenlänge λ_H . Ein optisches Aushärtensystem (nicht eingezeichnet) transportiert die Aushärtestrahlung 4910 zu den optisch transparenten Kanten des optisch transparenten Trägersubstrats 1360. Dieses optische Aushärtensystem umfasst vorzugsweise ein oder mehrere optische Funktionselemente wie Spiegel, Linsen, Blenden, Prismen etc. um die Aushärtestrahlung 4910 zu führen, in der Intensität und im Spektrum geeignet einzustellen. Vorzugsweise verfügt das System aus Aushärtestrahlungsquellen und optischem Aushärtensystem über eine (nicht eingezeichnete) Aushärtesteuerung mit einem Zeitgeber und/oder einem Rechnersystem mit einem Speicher, so dass das Rechnersystem der Aushärtesteuerung und/oder die Aushärtesteuerung die Dauer der Bestrahlung durch

1. Steuerung der Aushärtestrahlungsquellen z.B. durch Anschalten / Ausschalten der Aushärtestrahlungsquellen und/oder
2. mittels Shattern innerhalb des optische Aushärtensystems z.B. durch Unterbrechen / Öffnen des optischen Pfads zwischen Aushärtestrahlungsquellen und dem optisch transparenten Trägersubstrat 1360

steuern kann. Das Rechnersystem innerhalb der Aushärtesteuervorrichtung kann typischerweise mittels eines computerimplementierten Aushärtesteuersprogramms innerhalb des Speichers des Rechnersystems der Aushärtesteuervorrichtung den Aushärtvorgang steuern. Der Programmcode des computerimplementierten Aushärtesteuersprogramms befindet sich dabei vorzugsweise in dem Speicher des Rechnersystems der Aushärtesteuervorrichtung. Das Rechnersystem innerhalb der Aushärtesteuervorrichtung führt diesen Programmcode typischerweise bei der Bestrahlung des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 aus. Der Speicher kann ein ggf. auch austauschbares Speichermedium umfassen, das diesen Programmcode und/oder Parameter für die Durchführung der Bestrahlung umfasst. Bevorzugt temperiert eine nicht eingezeichnete Temperiervorrichtung das optisch transparente Trägersubstrat 1360 während der Bestrahlung mit Aushärtestrahlung 4910. Bei der Temperiervorrichtung kann es sich auch um einen beheizbaren und/oder klimatisierbaren Raum handeln, in dem die Bestrahlung mit Aushärtestrahlung 4910 stattfindet. Die Aushärtesteuervorrichtung kann ggf. diese Temperiervorrichtung in Abhängigkeit von dem Temperaturmesswert eines Temperatursensors steuern.

[1410] Das optische Aushärtesystem strahlt die Aushärtestrahlung 4910 über die Kanten des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 in das optisch transparente Trägersubstrat 1360 ein.

[1411] Das optisch transparente Trägersubstrat 1360 ist vorzugsweise für elektromagnetische Strahlung mit der Aushärtewellenlänge λ_H der Aushärtestrahlung 4910 für den vorgesehenen Zweck ausreichend transparent, sodass die Aushärtestrahlung 4910 das kolloidale Material KL in den Clearances (1840, 2340, 2350, 6840) des Wellenleiters (1880, 2380, 6980) auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 in für eine Aushärtung des Trägermaterials TM der kolloidalen Mischung KL ausreichenden Intensität erreicht. Dies bedeutet, dass das optisch transparente Trägersubstrat 1360 vorzugsweise für elektromagnetische Strahlung mit der Aushärtewellenlänge λ_H der Aushärtestrahlung 4910 im Wesentlichen transparent ist.

[1412] Das optisch transparente Trägersubstrat 1360 ist vorzugsweise für elektromagnetische Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} im Wesentlichen transparent. Dies bedeutet, dass die Intensität der Pumpstrahlung 13 (siehe **Fig. 94**), die die paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND und/oder die NV-Zentren der Diamant-Nano-Kristalle ND nach Durchgang durch das Material des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 erreicht, ausreichend ist, um dies zur Emission von Fluoreszenzstrahlung 14 (siehe **Fig. 94**) zu veranlassen.

[1413] Die Bestrahlung des kolloidalen Materials KL in den Clearances (1840, 2340, 2350, 6840) des Wellenleiters (1880, 2380, 6980) auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 führt zum Aushärten des Trägermaterials TM der kolloidalen Mischung KL in den Clearances (1840, 2340, 2350, 6840) des Wellenleiters (1880, 2380, 6980) auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360. Dies bildet verfestigte Sensorelemente SE innerhalb des kolloidalen Materials KL in den Clearances (1840, 2340, 2350, 6840) des Wellenleiters (1880, 2380, 6980) auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 aus. Nach dem Entfernen 20360 des überschüssigen kolloidalen Materials KL umfasst das optisch transparente Trägersubstrat 1360 in den Clearances (1840, 2340, 2350, 6840) des Wellenleiters (1880, 2380, 6980) auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 die notwendigen Sensorelemente SE um wie in der Figur 202 schematisch skizziert eingesetzt zu werden. Dieser Einsatz kann vorzugsweise in einer der zuvor beschriebenen Magnetfeldkammer erfolgen.

Figur 97a

[1414] **Fig. 97a** zeigt schematisch ein beispielhaftes Trägersubstrat 1360 mit einem beispielhaften Tri-Plate-Wellenleiter 2389 als Beispiel für einen Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6990). Der beispielhafte Tri-Plate-Wellenleiter 2380 ist auf einer Strecke 15740 des Wellenleiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) mit dem Sensorelement SE bedeckt. Das vorzugsweise nach einem der hier beschriebenen Verfahren hergestellte und mittels Aushärtestrahlung 4910 ausgehärtete Sensorelement SE umfasst beispielhaft wieder ein vorzugsweise strahlungsgehärtetes und optisch transparentes Trägermaterial TM, das bevorzugt wieder Kristalle und/oder Diamanten DM mit paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren NVZ. In dem Bereich der Strecke 15740 des Wellenleiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990), die mit dem Sensorelement SE bedeckt ist, können die paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM, die in dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE eingebettet sind, mit einem Mikrowellensignal μW und/oder einem HF-Signal RW, die beispielsweise über eine erste Mikrowellen- und/oder HF-Verbinder 15710 für den Anschluss der Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) beispielsweise in den Signalleiter 1330 der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 eingespeist werden, wechselwirken. Diese Wechselwirkung verursacht

einen frequenzabhängigen vom Wellenwiderstand der übrigen Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6990), hier der Tri-Plate-Leitung 2380, abweichenden Wellenwiderstand.

[1415] Ein erster Teil des in die Strecke 15740 des Welleneiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990), die mit dem Sensorelement SE bedeckt ist, eingestrahlten Mikrowellensignals μW wird als reflektiertes Mikrowellensignal μWR infolge der Wellenwiderstandssprünge an den Übergängen vom ungestörten Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6990), zur Strecke 15740 und wieder zurück wieder als reflektierte Mikrowellensignal μWR in Richtung des ersten Mikrowellen- und/oder HF-Verbinders 15710 zurückreflektiert und kann dort mittels eines Wellenkopplers μWC aus der Übertragungsleitung ausgekoppelt werden und einem Reflexions-Mikrowellen-Analysator μWAR zugeführt werden, der beispielsweise relevante Parameter wie Amplitude, Phase, Spektrum etc. bestimmen kann.

[1416] Ein zweiter Teil des in die Strecke 15740 des Welleneiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990), die mit dem Sensorelement SE bedeckt ist, eingestrahlten Mikrowellensignals μW wird als transmittiertes Mikrowellensignal μWT infolge der Wellenwiderstandssprünge an den Übergängen vom ungestörten Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6990), zur Strecke 15740 und wieder zurück als transmittiertes Mikrowellensignal μWT in Richtung des zweiten Mikrowellen- und/oder HF-Verbinders 15720 transmittiert und kann dort einem Transmissions-Mikrowellen-Analysator μWAT zugeführt werden, der beispielsweise relevante Parameter wie Amplitude, Phase, Spektrum etc. bestimmen kann.

[1417] Bei Kenntnis der relevanten Parameter des eingestrahlten Mikrowellensignals μW und des reflektierten Mikrowellensignals μWR und des transmittierten Mikrowellensignals μWT kann beispielsweise eine Steuervorrichtung CTR, die diese Daten von der Mikrowellenquelle μWG und dem Reflexions-Mikrowellen-Analysator μWAR und dem Transmissions-Mikrowellen-Analysator μWAT über den Datenbus DB erhält auf einen dritten absorbierten Anteil eines absorbierten Mikrowellensignals μWA des Mikrowellensignals μW schließen. Das Trägermaterial TM des Sensorelements SE und/oder die paramagnetischen Zentren und/oder die den NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM, die in dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE eingebettet sind, haben dann typischerweise dieses absorbierte Mikrowellensignal μWA beeinflusst. Daher hängt das absorbierte Mikrowellensignal μWA typischerweise von den Quantenzuständen der paramagnetischen Zentren und/oder der NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM, die in dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE eingebettet sind, ab. Daher ist es möglich, dass das absorbierte Mikrowellensignal μWA von der Intensität einer Pumpstrahlung LB, die die paramagnetischen Zentren und/oder der NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM mit elektromagnetischer Strahlung einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} bestrahlt, und dann zusätzlich von physikalischen Parameter physikalischer Größen, wie beispielsweise magnetischer Flussdichten, die die paramagnetischen Zentren und/oder der NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM beeinflusst, abhängt.

[1418] Bei Kenntnis der relevanten Parameter des eingestrahlten HF-Signals RW und des reflektierten HF-Signals RWR und des transmittierten HF-Signals RWT kann beispielsweise eine Steuervorrichtung CTR, die diese Daten von der HF-Quelle RFG und dem Reflexions-HF-Signal-Analysator RWAR und dem Transmissions-HF-Signal-Analysator RWAT über den Datenbus DB erhält auf einen dritten absorbierten Anteil eines absorbierten HF-Signals RWA des HF-Signals RW schließen. Das Trägermaterial TM des Sensorelements SE und/oder die paramagnetischen Zentren und/oder die den NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM, die in dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE eingebettet sind, haben dann typischerweise dieses absorbierte HF-Signal RWA beeinflusst. Daher hängt das absorbierte HF-Signal RWA typischerweise von den Quantenzuständen der paramagnetischen Zentren und/oder der NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM, die in dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE eingebettet sind, ab. Daher ist es möglich, dass das absorbierte HF-Signal RWA von der Intensität einer Pumpstrahlung LB, die die paramagnetischen Zentren und/oder der NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM mit elektromagnetischer Strahlung einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} bestrahlt, und dann zusätzlich von physikalischen Parameter physikalischer Größen, wie beispielsweise magnetischer Flussdichten, die die paramagnetischen Zentren und/oder der NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM beeinflusst, abhängt.

Figur 97b

[1419] Fig. 97b zeigt schematisch ein beispielhaftes Trägersubstrat 1360 mit einem beispielhaften Tri-Plate-Wellenleiter 2389 als Beispiel für einen Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6990), wobei XXXX die Strecke 15740 des Welleneiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990), die mit dem Sensorelement SE bedeckt ist, abdeckt und so vor Beschädigung schützt. Die Abdeckung 15730 des Trägersubstrats 1360 mit dem Wellenleiter

(1380, 1880, 2380, 6880, 6990) und dem Sensorelement SE zum mechanischen und chemischen Schutz des Sensorelements SE und ggf. zum EMV-Schutz beeinflusst vorzugsweise den Wert und/oder Betrag der zu vermessenden physikalischen Größe nicht. Die zu vermessende physikalische Größe kann beispielsweise eine magnetische Flussdichte B am Ort des Sensorelements SE sein.

Figur 98

[1420] Fig. 98 entspricht weitestgehend der Fig. 78, wobei zusätzlich das Bezugszeichen des ersten Mikrowellen- und/oder HF-Verbinders 15710 für den Anschluss der Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) an die Mikrowellensignalquelle μ WG und die HF-Signalquelle RFG und an einen Reflexions-Mikrowellensignalanalysator (μ WAR) und an einen Reflexions-HF-Signalanalysator (RWAR) mit dem Bezugszeichen 15710 eingezeichnet ist. In dem Beispiel der Fig. 98 ist als beispielhafte Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) eine differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 beispielhaft und stellvertretend für andere Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) eingezeichnet. Bevorzugt ist in dem Fall der erste Mikrowellen- und/oder HF-Verbinder 15710 ein Triax-Verbinder, der den gleichzeitigen, aber getrennten Anschluss eines Mikrowellensignals μ W und eines Hf-Signals RW an verschiedene Signalleiter 6910, 6920 der beispielhaften differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 ermöglicht.

[1421] Des Weiteren ist zusätzlich der zweite Mikrowellen- und/oder HF-Verbinder 15720 für den Anschluss der Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) an an einen Reflexions-Mikrowellensignalanalysator (μ WAR) und an einen Transmissions-HF-Signalanalysator (RWAT) eingezeichnet. In dem Beispiel der Fig. 98 ist als beispielhafte Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) eine differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 beispielhaft und stellvertretend für andere Wellenleitungen (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) eingezeichnet. Bevorzugt ist in dem Fall auch der zweite Mikrowellen- und/oder HF-Verbinder 15720 ein Triax-Verbinder, der die gleichzeitige, aber getrennte Entnahme des transmittierten Mikrowellensignals μ WT und des transmittierten Hf-Signals RWT an die betreffenden verschiedenen Signalleiter 6910, 6920 der beispielhaften differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 ermöglicht.

[1422] Ein erster Teil des in die Strecke 15740 der beispielhaften differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980, die mit dem Sensorelement SE bedeckt ist, eingestrahlten Mikrowellensignals μ W wird als reflektiertes Mikrowellensignal μ WR infolge der Wellenwiderstandssprünge an den Übergängen von der ungestörten beispielhaften differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980 zur Strecke 15740 und wieder zurück wieder als reflektiertes Mikrowellensignal μ WR in Richtung des ersten Mikrowellen- und/oder HF-Verbinders 15710 zurückreflektiert und wird dort mittels eines Wellenkopplers μ WC aus der Übertragungsleitung ausgekoppelt und dem Reflexions-Mikrowellen-Analysator μ WAR zugeführt, der beispielsweise relevante Parameter wie Amplitude, Phase, Spektrum etc. bestimmen kann. Vorzugsweise übermittelt der Reflexions-Mikrowellen-Analysator μ WAR die erfassten Parameter an die Steuervorrichtung CTR über den Datenbus DB.

[1423] Ein zweiter Teil des in die Strecke 15740 der beispielhaften differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980, die mit dem Sensorelement SE bedeckt ist, eingestrahlten Mikrowellensignals μ W wird als transmittiertes Mikrowellensignal μ WT infolge der Wellenwiderstandssprünge an den Übergängen vom ungestörten der beispielhaften differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980 zur Strecke 15740 und wieder zurück als transmittiertes Mikrowellensignal μ WT in Richtung des zweiten Mikrowellen- und/oder HF-Verbinders 15720 transmittiert und wird dort einem Transmissions-Mikrowellen-Analysator μ WAT zugeführt, der beispielsweise relevante Parameter wie Amplitude, Phase, Spektrum etc. bestimmen kann. Vorzugsweise übermittelt der Transmissions-Mikrowellen-Analysator μ WAT die erfassten Parameter an die Steuervorrichtung CTR über den Datenbus DB.

[1424] Ein erster Teil des in die Strecke 15740 der beispielhaften differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980, die mit dem Sensorelement SE bedeckt ist, eingestrahlten HF-Signals RW wird als reflektiertes HF-Signal RWR infolge der Wellenwiderstandssprünge an den Übergängen von der ungestörten beispielhaften differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980 zur Strecke 15740 und wieder zurück wieder als reflektiertes HF-Signal RWR in Richtung des ersten Mikrowellen- und/oder HF-Verbinders 15710 zurückreflektiert und wird dort mittels eines HF-Wellenkopplers RWC aus der Übertragungsleitung ausgekoppelt und dem Reflexions-HF-Signal-Analysator RWAR zugeführt, der beispielsweise relevante Parameter wie Amplitude, Phase, Spektrum etc. bestimmen kann. Vorzugsweise übermittelt der Reflexions-HF-Signal-Analysator RWAR die erfassten Parameter an die Steuervorrichtung CTR über den Datenbus DB.

[1425] Ein zweiter Teil des in die Strecke 15740 der beispielhaften differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980, die mit dem Sensorelement SE bedeckt ist, eingestrahlten HF-Signals RW wird als transmittiertes HF-Signal RWT infolge der Wellenwiderstandssprünge an den Übergängen vom ungestörten der beispielhaften diffe-

renziellen Tri-Plate-Leitung 6980 zur Strecke 15740 und wieder zurück als transmittiertes HF-Signal RWT in Richtung des zweiten Mikrowellen- und/oder HF-Verbinders 15720 transmittiert und wird dort einem Transmissions-HF-Signal-Analysator RWAT zugeführt, der beispielsweise relevante Parameter wie Amplitude, Phase, Spektrum etc. bestimmen kann. Vorzugsweise übermittle der Transmissions-HF-Signal-Analysator RWAT die erfassten Parameter an die Steuervorrichtung CTR über den Datenbus DB.

[1426] Bei Kenntnis der relevanten Parameter des eingestrahlten Mikrowellensignals μW und des reflektierten Mikrowellensignals μWR und des transmittierten Mikrowellensignals μWT kann beispielsweise die Steuervorrichtung CTR, die diese Daten von der Mikrowellenquelle μWG und dem Reflexions-Mikrowellen-Analysator μWAR und dem Transmissions-Mikrowellen-Analysator μWAT über den Datenbus DB erhält, auf den dritten absorbierten Anteil eines absorbierten Mikrowellensignals μWA des Mikrowellensignals μW schließen. Das Trägermaterial TM des Sensorelements SE und/oder die paramagnetischen Zentren und/oder die den NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM, die in dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE eingebettet sind, haben dann typischerweise dieses absorbierte Mikrowellensignal μWA beeinflusst. Daher hängt das absorbierte Mikrowellensignal μWA typischerweise von den Quantenzuständen der paramagnetischen Zentren und/oder der NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM, die in dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE eingebettet sind, ab. Daher ist es möglich, dass das absorbierte Mikrowellensignal μWA von der Intensität einer Pumpstrahlung LB, die die paramagnetischen Zentren und/oder der NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM mit elektromagnetischer Strahlung einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} bestrahlt, und dann zusätzlich von physikalischen Parameter physikalischer Größen, wie beispielsweise magnetischer Flussdichten, die die paramagnetischen Zentren und/oder der NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM beeinflusst, abhängt.

[1427] Bei Kenntnis der relevanten Parameter des eingestrahlten HF-Signals RW und des reflektierten HF-Signals RWR und des transmittierten HF-Signals RWT kann beispielsweise eine Steuervorrichtung CTR, die diese Daten von der HF-Quelle RFG und dem Reflexions-HF-Signal-Analysator RWAR und dem Transmissions-HF-Signal-Analysator RWAT über den Datenbus DB erhält auf einen dritten absorbierten Anteil eines absorbierten HF-Signals RWA des HF-Signals RW schließen. Das Trägermaterial TM des Sensorelements SE und/oder die paramagnetischen Zentren und/oder die den NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM, die in dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE eingebettet sind, haben dann typischerweise dieses absorbierte HF-Signal RWA beeinflusst. Daher hängt das absorbierte HF-Signal RWA typischerweise von den Quantenzuständen der paramagnetischen Zentren und/oder der NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM, die in dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE eingebettet sind, ab. Daher ist es möglich, dass das absorbierte HF-Signal RWA von der Intensität einer Pumpstrahlung LB, die die paramagnetischen Zentren und/oder der NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM mit elektromagnetischer Strahlung einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} bestrahlt, und dann zusätzlich von physikalischen Parameter physikalischer Größen, wie beispielsweise magnetischer Flussdichten, die die paramagnetischen Zentren und/oder der NV-Zentren NVZ der Kristalle und/oder Diamanten DM beeinflusst, abhängt. Mittels computerimplementierter Verfahren können die Mustererkennungs Vorrichtung MEV und/oder die Steuervorrichtung CTR unter Nutzung dieser Daten Werte physikalischer Parameter schätzen und/oder ermitteln, die auf diesen und anderen in diesem System ermittelten Daten beruhen. Bevorzugt ist der Programmcode für solche computerimplementierten Verfahren, die insbesondere Verfahren zur Mustererkennung umfassen können, in Speichern (RAM, NVM) der Vorrichtung abgelegt. Das hier Vorgelegte Dokument verweist hier auf die an anderer Stelle in diesem Dokument erwähnten Verfahren der Mustererkennung und künstlichen Intelligenz. Insbesondere die Emulation eines computerimplementierten neuronalen Netzwerkmodells und/oder die Anwendung von computerimplementierten Deep-Learning Verfahren und computerimplementierten Machine-Learning-Verfahren durch die Mustererkennungs Vorrichtung MEV und/oder die Steuervorrichtung CTR können solche computerimplementierte Verfahren umfassen. Vorzugsweise verwendet die Steuervorrichtung CTR zumindest einen Teil der in der Vorrichtung erfassten Daten für die Erzeugung eines Merkmalsvektors (Englisch Feature-Vektor), auf den die Steuervorrichtung dann ein computerimplementiertes Mustererkennungsverfahren anwendet.

[1428] Die Anwendung der technischen Lehre der **Fig. 97** und **98** auf die der übrigen Figuren und zwar insbesondere der **Fig. 1, 6, 8, 11 bis 14, 16 bis 20, 27, 29 bis 35, 38 bis 44, 47 bis 84, 89, 91, 96, 97** und der Beschreibung ist ausdrücklicher Teil der Offenlegung des hier vorgelegten Dokuments. Einer fachkundigen Person ist es ein Leichtes, die zusätzlichen Komponenten der **Fig. 98** im Vergleich zur **Fig. 78** in gleicherweise zusätzlich in die entsprechenden vorbenannten Figuren, insbesondere die besonders relevanten **Fig. 1, 6, 17, 49, 69, 70, 71, 73 bis 81** und **98**, in analoger Weise bei Bedarf einzufügen und damit zu der hier offenbarten technischen Lehre zu gelangen. Gleiches gilt für Komponenten, die in der entsprechenden Figur fehlen, aber in der **Fig. 98** vorhanden sind. Insofern sind die hier dargestellten Figuren nur Beispiele

zur Erläuterung, deren technischen Lehren miteinander sofern sinnvoll, kombiniert werden können. Einer technisch fachkundigen Person ist die Prüfung der Sinnhaftigkeit dieser Kombinationen möglich.

Bezugszeichenliste

- 1 Lichtsensorarray 1 mit Elektronik (Ansteuerung, etc.). Vorzugsweise umfasst das Lichtsensorarray 1 einen CCD Kamerasensor oder dergleichen, wobei jedes CCD Pixel des CCD Kamerasensors einen Lichtsensor des Lichtsensorarrays im Sinne des hier vorgelegten Dokuments darstellt;
- 2 Lichtquelle 2. Bei der Lichtquelle 2 kann es sich beispielsweise um einen Laser oder eine LED handeln. Bevorzugt strahlt die Lichtquelle 2 bei Versorgung mit elektrischer Energie Pumpstrahlung 13 (LB) der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} ab. Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet die Lichtquelle 2 auch als Pumpstrahlungsquelle PL mit dem Bezugszeichen PL;
- 3 Beleuchtungsoptik;
- 4 optischer Filter (Shortpass);
- 5 Sensorschicht 5. **Fig. 25** zeigt einen beispielhaften Aufbau der Sensorschicht 5 für die Bestrahlung durch eine externe Pumplichtquelle 2 als Pumpstrahlungsquelle PL;
- 6 optischer Filter (Longpass) 6. Der optische Filter 6 hat die Funktion des dichroitischen Spiegels / optischer Filters F1 zur Trennung der Fluoreszenzstrahlung FL von der Pumpstrahlung LB;
- 7 abbildende Optik 7;
- 8 Gehäuse 8. Beispielsweise kann es sich bei dem Gehäuse 8 der Magnetfeldkamera um ein 3D-Druckgehäuse handeln. Das Gehäuse 8 der Magnetfeldkamera kann beispielsweise oberer Gehäuseteil 40 des Gehäuses 8 und einen unteren Gehäuseteil 41 des Gehäuses 8 umfassen;
- 9 Trägermaterial I 9. Typischerweise umfasst das Trägermaterial I 9 eine Teilvorrichtung des unteren Gehäuseteils 41 des Gehäuses 8 der Magnetfeldkamera und/oder das Material eines Schaltungsträgers (PCB) und/oder ein Halbleiter-Wafer-Teil (Die) und/oder eine mikointegrierte Halbleiterschaltung und/oder eine mikromechanische Vorrichtung und/oder eine mikroelektromechanische Vorrichtung und/oder eine mikrooptische Vorrichtung und/oder eine mikroelektrooptische Vorrichtung und/oder eine mikrofluidische Vorrichtung etc. und/oder Kombinationen dieser;
- 10 Verspiegelung 10;
- 11 Schicht 11 mit Kristallen und/oder Nanokristallen 66 mit paramagnetischen Zentren. Bevorzugt umfasst diese Schicht eine Vielzahl von Kristallen und/oder Nanokristallen 66, die vorzugsweise vollkommen zufällig, gleichverteilt orientiert sind und deren Dichte vorzugsweise im Wesentlichen nicht abhängig von der Position in der Schicht ist. Vorzugsweise handelt es sich bei den Kristallen und/oder Nanokristallen 66 um Diamanten. Vorzugsweise handelt es sich bei den paramagnetischen Zentren um NV-Zentren. Bei diesem Diamantmaterial handelt es sich bevorzugt um NV-reichem Diamantstaub in einem optisch transparentem Verbundmaterial, das für elektromagnetische Strahlung, beispielsweise Pumpstrahlung 13, mit Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und für elektromagnetische Strahlung mit Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} im Wesentlichen transparent ist. Typischerweise umfasst die Sensorschicht 5 diese Schicht 11. Die Schicht 11 umfasst bevorzugt eine verfestigte kolloidale Mischung KL eines mittels elektromagnetischer Strahlung einer Aushärtewellenlänge λ_{H} ausgehärteten Trägermaterials TM. In das Trägermaterial TM sind bevorzugt eine Vielzahl von Diamanten DM bzw. Nanodiamanten und/oder Kristalle eingebettet. Einer oder mehrere oder alle Diamanten DM bzw. Nanodiamanten dieser Diamanten DM und/oder Kristalle weisen vorzugsweise NV-Zentren NVZ und/oder andere paramagnetischen Zentren auf. Die NV-Zentren NVZ des Trägermaterials TM und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Trägermaterials TM emittieren bevorzugt bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL;

- 12 Trägermaterial II 12. Bei dem Trägermaterial II 12 kann es sich beispielsweise um eine Glasplatte 46 handeln, die gleichzeitig als beispielhaftes optisches Funktionselement die Schicht 11 mit Kristallen und/oder Nanokristallen 66 mit paramagnetischen Zentren mit Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} bestrahlt. Im Sinne des hier vorgelegten Dokuments handelt es sich bei dem Trägermaterial II 12 um einen Lichtwellenleiter LWL;
- 13 Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet die Pumpstrahlung 13 auch mit dem Bezugszeichen LB (Wie Laser-Beam);
- 14 Fluoreszenzstrahlung 14 mit der Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} . Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet die Fluoreszenzstrahlung 14 auch mit dem Bezugszeichen FL (Wie Fluoreszenz);
- 15 Auswertelektronik 15 des Lichtsensorarrays 1;
- 16 vorzugsweise ebene Fläche 16;
- 17 ferromagnetisches Material 17;
- 18 Fehler in dem beispielhaften ferromagnetischen Material 17 der **Fig. 26**;
- 19 Hilfsmagnet 19;
- 20 beispielhafte Bewegungsrichtung 20;
- 21 Magnetfeldkamerakopf 21;
- 22 Unterseite der Sensorschicht 5 in Richtung vom Lichtsensorarray 1 weg;
- 23 Oberseite der Sensorschicht 5 in Richtung des Lichtsensorarrays 1;
- 24 Unterseite 24 des Gehäuses 8 der Magnetfeldkamera;
- 25 Sensorschichtdicke 25 der Sensorschicht 5;
- 26 der Abstand 26 zwischen Sensorschicht 5 und der Außenfläche des Gehäuses 8 der Magnetfeldkamera im Bereich der Sensorschicht 5. In den hier vorgestellten Beispielen betrug der Abstand zwischen der Sensorschicht 5 und der Oberfläche 34 des Messobjekts 17 weniger als 1mm;
- 27 elektromagnetische Strahlung 27 anderer Wellenlängenbereiche 27;
- 28 Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21;
- 29 Datenbus 29 zur Herstellung der Datenverbindung zwischen Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 des Magnetfeldkamerakopfes 21 und Rechnersystem 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21;
- 30 Aufbereitungsschaltung 30 für die Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 des Magnetfeldkamerakopfes 21. Die Aufbereitungsschaltung 30 ist bevorzugt Teil der Auswertelektronik 15 des Magnetfeldkamerakopfes 21;
- 31 Ausgangssignale 31 der Lichtsensoren des Lichtsensorarrays 1 des Magnetfeldkamerakopfes 21;
- 32 Bildschirm 32 der Magnetfeldkamera;
- 33 Rechnerkern 33 des Rechnersystems 28 zur Bedienung des Magnetfeldkamerakopfes 21 der Magnetfeldkamera mit zumindest einer CPU;
- 34 Oberfläche 34 des Messobjekts. In **Fig. 16** Oberfläche des ferromagnetischen Materials 17;
- 35 Ansteuervorrichtung 35 für die Elektromagnete der Hilfsmagnete 19 des Magnetfeldkamerakopfes 21;
- 36 Schnittstellenschaltung 36;
- 37 Permanentmagnete 37 für Prüfzwecke der Magnetfeldkamera und/oder des Magnetfeldkamerakopfes 21;

- 38 Glasplatte 38. Die technische Lehre des hier vorgelegten Dokuments verwendet in einigen Ausprägungen die Glasplatte 38 als Lichtwellenleiter LWL;
- 39 zweidimensionale Falschfarben- Magnetflussdichtenbetragsbild der Verteilung der magnetischen Flussdichte von vier Permanentmagneten 37 auf einer Glasplatte 38, das mit einer Magnetfeldkamera mit einem Magnetfeldkamerakopf 21 entsprechend der hier vorgestellten technischen Lehre ermittelt wurde.
- 40 oberer Gehäuseteil 40 des Gehäuses 8 eines beispielhaften Magnetfeldkamerakopfes 21 einer beispielhaften Magnetfeldkamera. Beispielsweise kann es sich um einen oberen 3D-Druckgehäuseteil des beispielhaften 3D-Druckgehäuses 8 handeln;
- 41 unterer Gehäuseteil 41 des Gehäuses 8 eines beispielhaften Magnetfeldkamerakopfes 21 einer beispielhaften Magnetfeldkamera. Beispielsweise kann es sich um einen unteren 3D-Druckgehäuseteil des beispielhaften 3D-Druckgehäuses 8 handeln;
- 42 Stromversorgungskabel 42 für das PCB 43 mit den LEDs 44 eines beispielhaften Magnetfeldkamerakopfes 21 einer beispielhaften Magnetfeldkamera;
- 43 Schaltungsträger (PCB) 43 für die LEDs 44 eines beispielhaften Magnetfeldkamerakopfes 21 einer beispielhaften Magnetfeldkamera und deren Energieversorgung 45;
- 44 LED 44 zur Bestrahlung der Sensorschicht 5 über eine Beleuchtungsoptik 3 beispielsweise in Form einer Glasplatte 46 als beispielhaftes optisches Funktionselement mit Pumpstrahlung 13(LB) mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . In dem Beispiel dient die Glasplatte 46 als optisches Funktionselement eines Lichtwellenleiters LWL. Die Kante der Glasplatte 46 das zweite Ende ELWL2 des Lichtwellenleiters LWL, hier das zweite Ende ELWL2 der Glasplatte 46, dar, über den die LEDs 44 als Pumpstrahlungsquellen (2, PL) die Pumpstrahlung 13(LB) mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} in den Lichtwellenleiters LWL, hier die Glasplatte 46, einstrahlen. Die Pumpstrahlung 13 (LB) mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} tritt dann über Oberfläche der Glasplatte 46 als erstes Ende ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL, hier das erste Ende ELWL1 der Glasplatte 46, aus dem Lichtwellenleiter LWL, hier die Glasplatte 46, wieder aus und in das Trägermaterial TM der verfestigten kolloidalen Mischung KL (Schicht 11) mit den Diamanten DM und/oder Nanodiamanten bz. den Diamanten und/oder Kristallen ND mit den paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren NVZ ein. Die Oberfläche der Glasplatte 46 stellt dabei die erste Endoberfläche EF1 des Lichtwellenleiters LWL dar, über den die LEDs 44 als Pumpstrahlungsquellen (2, PL) in das Sensorelement SE auf der Oberfläche der Glasplatte 46 (Lichtwellenleiter LWL) eintritt. Die optische Strecke zum Lichtsensorarray 1 stellt in dem Beispiel der Magnetfeldkamera mit dem Magnetfeldsensorkopf 21 den zweite Lichtwellenleiter LWL2 im Sinne des hier vorgelegten Dokuments dar. ;
- 45 Energieversorgung 45 der LEDs 44 des beispielhaften Schaltungsträgers (PCB) 43 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der Magnetfeldkamera;

- 46 Glasplatte 46 als beispielhaftes optisches Funktionselement und beispielhafter Lichtwellenleiter LWL, die die paramagnetischen Zentren der Schicht 11 mit Pumpstrahlung 13 mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} bestrahlen. Die Schicht 11 umfasst dabei bevorzugt Kristalle und/oder Nanokristalle 66 mit diesen paramagnetischen Zentren, die bevorzugt NV-Zentren sind. Bevorzugt umfasst die Schicht 11 eine ausgehärtete kolloidale Mischung KL aus einem Trägermaterial TM und Diamanten DM und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND mit einem oder mehreren paramagnetischen Zentren und/oder einem oder mehreren NV-Zentren NVZ. Bevorzugt bildet die Glasplatte 46 die ebene Fläche 16 des unteren Gehäuseteils 41 des Gehäuses 8 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera aus. Die Glasplatte 46 hat hier auch die Funktion des Trägermaterials II 12. Im Sinne des hier vorgelegten Dokuments ist die Glasplatte 46 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera somit ein Lichtwellenleiter LWL bei dem die erste Endfläche ELWL1 senkrecht zur zweiten Endfläche ELWL2 steht. Aus der ersten Endfläche ELWL1, des Lichtwellenleiters LWL, hier die Glasplatte 46, tritt die Pumpstrahlung LB in das Trägermaterial TM der kolloidalen Mischung KL der Schicht 11 über. Aus der ersten Endfläche ELWL1, des Lichtwellenleiters LWL, hier die Glasplatte 46, tritt die Aushärtestrahlung mit der Aushärtewellenlänge λ_{H} aus dem Lichtwellenleiter LWL in das Trägermaterial TM der kolloidalen Mischung KL der Schicht 11 über. Über die zweite Endfläche ELWL2 des Lichtwellenleiters LWL, hier der Glasplatte 46, wird die Pumpstrahlung LB und/oder die Aushärtestrahlung mit der Aushärtewellenlänge λ_{H} eingespeist;
- 47 dichroitisch verspiegelte optionale Schicht 47. Diese Schicht hat die Funktion des optischen Filters 6 und des dichroitischen Spiegels / optischer Filters F1 zur Trennung der Fluoreszenzstrahlung FL(14) von der Pumpstrahlung LB(13);
- 48 Kleber 48;
- 49 zweiter Kühlkörper 49 zur Kühlung des Schaltungsträgers (PCB) 43 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera für die LEDs 44 und deren Energieversorgung 45 und der LEDs 44. Der zweite Kühlkörper 49 umfasst bevorzugt Kupfer als Kühlkörpermaterial des zweiten Kühlkörpers 49;
- 50 erster Kühlkörper 50 zur Kühlung der Auswertelektronik 15 des Lichtsensorarrays 1 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera und/oder des Lichtsensorarrays 1. Der erste Kühlkörper 50 umfasst bevorzugt Kupfer als Kühlkörpermaterial des ersten Kühlkörpers 50;
- 51 Kühlrippen 51, die thermisch mit dem ersten Kühlkörper 50 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera beispielsweise mittels einer Wärmeleitpaste 53 oder dergleichen gekoppelt sind;
- 52 Deckel 52 des Gehäuses 8 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera;
- 53 Wärmeleitpaste 53 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera;
- 54 Kameragehäuse 54 der Fluoreszenzkamera mit dem Lichtsensorarray 1 mit dessen Auswertelektronik 15 und der abbildenden Optik 7. Es handelt sich um ein beispielhaftes Gehäuse 8 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera;
- 55 Energiezuleitung 55 zur Energieversorgung des Schaltungsträgers (PCB) 43 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera für die LEDs 44 und deren Energieversorgung 45 und der LEDs 44;
- 56 Anschlussstecker 56 für die Energiezuleitung 55 zur Energieversorgung des Schaltungsträgers (PCB) 43 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera für die LEDs 44 und deren Energieversorgung 45 und der LEDs 44;
- 57 elastisches und thermisch leitendes Material 57 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera;
- 58 Thermisch leitende Isolationsfolie 58 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera;

- 59 LED-Vorwiderstände 59 der LEDs 44 auf dem Schaltungsträger (PCB) 43 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera für die LEDs 44;
- 60 elektronische Bauteile 60 der Energieversorgung der LEDs 44 auf dem Schaltungsträger (PCB) 43 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera;
- 61 Spannungsregler und/oder Regeltransistor 61. Der Spannungsregler und/oder Regeltransistor 61 ist typischerweise ein elektronisches Bauteile 60 der Energieversorgung der LEDs 44 auf dem Schaltungsträger (PCB) 43 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera. Der Spannungsregler und/oder Regeltransistor 61 ist typischerweise das Stellglied der Spannungsreglung der Energieversorgung der LEDs 44 auf dem Schaltungsträger (PCB) 43 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera;
- 62 Kodierstecker 62 zur Änderung analoger Betriebsparameter der elektronischen Schaltung auf dem Schaltungsträger (PCB) 43 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera;
- 63 Befestigungsmittel für die beispielhafte Befestigung des Hilfsmagneten 19 an dem Deckel 52 des Gehäuses des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera ;
- 64 Zugangsöffnung 64 in dem unterer Gehäuseteil 41 des Gehäuses 8 an der Unterseite des Gehäuses 8 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera, die die Änderung der Kodierposition des Jumpers des Kodiersteckers 62 und damit eine Änderung analoger Betriebsparameter der elektronischen Schaltung auf dem Schaltungsträger (PCB) 43 nach dem Verschließen des Gehäuses 8 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera erlaubt. Hierfür muss der Kodierstecker 64 jedoch auf der anderen Seite des Schaltungsträgers (PCB) 43 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera als in den **Fig. 30, 31, 35, 38, 39** gezeigt montiert werden. Bei der Ausarbeitung der technischen Lehre dieses Dokuments wurde erkannt, dass eine Kodierung auf dieser Seite des Schaltungsträgers (PCB) 43 statt mit Jumpern und Kodiersteckern 62 durch Lötbrücken effizienter und haltbarer ist;
- 65 Öffnung 65 in dem Schaltungsträger (PCB) 43 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera für die LEDs 44. Die Öffnung 65 dient dazu, dass die Fluoreszenzstrahlung 14 der paramagnetischen Zentren, also beispielsweise der NV-Zentren, in der Schicht 11 der Sensorschicht 5 auf der Unterseite der Glasplatte 46 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera durch die Glasplatte 46 und die Öffnung in dem Schaltungsträger (PCB) 43 zum Lichtsensorarray 1 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera gelangen kann
- 66 Kristall, vorzugsweise Nano-Kristall 66 und/oder Diamant mit vorzugsweise mehreren paramagnetischen Zentren und/oder einem oder mehreren NV-Zentren NVZ;
- 67 erste Oberfläche 67 des ersten optischen Funktionselements (Glasplatte 46 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera);
- 68 zweite Oberfläche 68 des ersten optischen Funktionselements (Glasplatte 46 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera);
- 69 Diffusor-Schicht 69. Im Sinne der technischen Lehre des hiervorgelegten Dokuments kann die Diffusor-Schicht 69 auch eine Diffuser-Struktur auf der ersten Oberfläche 67 oder auf der zweiten Oberfläche 68 des ersten optischen Funktionselements, insbesondere der Glasplatte 46 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera sein. Bevorzugt befindet sich die Diffusor-Schicht 69 an der ersten Oberfläche 67 des ersten optischen Funktionselements der Sensorschicht 5 - hier der Glasplatte 46 des Magnetfeldsensorkopfes 21 der beispielhaften Magnetfeldkamera;
- 70 Anschlussleitung der LEDs 44;

- 71 Anschlussstecker und/oder Anschlussbuchse 71 des Mikrowellensignals μW und/oder des HF-Signals RW an einen Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6830, 6980) auf der Oberfläche des Trägersubstrats 1360. Im Falle des Anschlusses eines differentiellen Mikrostreifenwellenleiters 6830 oder einer differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 ist der Anschlussstecker und/oder Anschlussbuchse 71 vorzugsweise als Triaxstecker oder Triaxbuchse ausgeführt. Informationen hierzu können unter der URL <https://de.wikipedia.org/wiki/Triaxialkabel> im Internet gefunden werden. Die hier offengelegte technische Lehre beschreibt somit einen Anschluss einer Wellenleitung auf dem Trägersubstrat 1360 mittels eines Triaxkabels und ggf. der zugehörigen Triaxverbindungen.
- 72 Speicher 72 und/oder Speichermedium des Rechnerkerns 33 im Rechnersystem 38; Der Speicher 72 und/oder das Speichermedium können flüchtige Speicher RAM und nicht flüchtige Speicher ROM umfassen.
- λ_{fl} Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung 14 (FL);
- λ_{pmp} Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung 13 (LB);
- 140 Bereitstellen 140 eines Lichtwellenleiters LWL, wobei der Lichtwellenleiter LWL ein erstes Ende ELWL1 und ein zweites Ende ELWL2 aufweist;
- 145 Bereitstellen 145 eines flüssigen und mittels elektromagnetischer Strahlung einer Aushärtewellenlänge λ_{H} härtbaren Trägermaterials TM, wobei in das Trägermaterial (TM) eine Vielzahl von Diamanten DM bzw. Nanodiamanten eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten DM bzw. Nanodiamanten dieser Diamanten DM NV-Zentren NVZ und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren NVZ des Trägermaterials TM und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Trägermaterials TM bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL emittieren;
- 145 ggf. Vorhärten 147 (Pre-Bake) des Sensorelements SE durch eine vorausgehende Temperaturbehandlung;
- 150 Benetzen 150 des ersten Endes des Lichtwellenleiters TM auf eine Benetzungslänge L_{B} mit dem Trägermaterial TM, das die Vielzahl eingebetteter Diamanten DM bzw. Nanodiamanten und/oder Kristalle mit einem oder mehreren NV-Zentren und/oder einem oder mehreren paramagnetischen Zentren aufweist;
- 155 Einspeisen 155 elektromagnetischer Strahlung in das zweite Ende ELWL2 des Lichtwellenleiters LWL, wobei die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung, die Aushärtewellenlänge λ_{H} so gewählt ist, dass das Trägermaterial TM am zweiten Ende ELWL2 des Lichtwellenleiters LWL aushärtet und sich in einen Festkörper wandelt, wobei das ausgehärtete Trägermaterial TM das Sensorelement SE ausbildet;
- 160 Entfernen 160 des nicht ausgehärteten Trägermaterials TM insbesondere mittels eines Lösungsmittels, wobei der verbleibende Film des Trägermaterials TM am ersten Ende des Lichtwellenleiters LWL das Sensorelement bildet;
- 165 ggf. Nachhärten 165 (Post-Bake) des Sensorelements SE durch eine nachfolgende Temperaturbehandlung;
- 167 Bereitstellen 167 eines Sensorkopfgehäuses GH des Sensorkopfes SK und einer Erregungsquelle für eine magnetische Erregung H, insbesondere eines Permanentmagneten PM (in Anwendungsbeispiel I);
- 170 Einbau 170 des Lichtwellenleiters LWL mit dem neu gebildeten Sensorelement SE in den Kanal KN des Sensorkopfgehäuses GH des Sensorkopfes SK und Einbau der einer Erregungsquelle für eine magnetische Erregung H in das Sensorkopfgehäuses GH des Sensorkopfes SK (in Anwendungsbeispiel I);

- 180 Verwendung 180 des Sensorkopfes SK zur orts aufgelösten Vermessung der magnetischen Eigenschaften des Materials eines Werkstücks in der Nähe der Oberfläche OF des Werkstücks (in Anwendungsbeispiel I), wobei die Ortsauflösung besser als $500\mu\text{m}$ und/oder besser als $200\mu\text{m}$ und/oder besser als $100\mu\text{m}$ und/oder besser als $50\mu\text{m}$ und/oder besser als $20\mu\text{m}$ und/oder besser als $10\mu\text{m}$ ist. Dabei ist Auflösung die Möglichkeit zwei beieinanderliegende Störungen der magnetischen Eigenschaften einer Oberfläche OF eines Werkstücks noch durch ein Extremum von 5% der Signalamplitude zu können, wenn diese entsprechend der Auflösung voneinander beabstandet sind. Solche Störungen können beispielsweise Risse, Lunker, Materialinhomogenitäten etc. sein.
- 182 Bereitstellen 182 eines Gehäuses GH des Motors;
- 185 Einbau 185 des Lichtwellenleiters LWL mit dem neu gebildeten Sensorelement SE in die Öffnung OF des Gehäuses GH des Motors;
- 187 Verwendung 187 des Lichtwellenleiters LWL mit dem neu gebildeten Sensorelement SE zur Vermessung der magnetischen Flussdichte B innerhalb des Luftspalts LS des Motors oder im Streufeld BSTR des Magnetfelds im Luftspalt LS.
- 190 ggf. Ermittlung 190 des Zeitpunkten des Nulldurchgangs des Betrags der magnetischen Flussdichte B der magnetischen Flussdichte B innerhalb des Luftspalts LS des Motors oder im Streufeld BSTR des Magnetfelds im Luftspalt LS und/oder ggf. Ermittlung 190 des Betrags der magnetischen Flussdichte B der magnetischen Flussdichte B innerhalb des Luftspalts LS des Motors oder im Streufeld BSTR des Magnetfelds im Luftspalt LS.
- 193 ggf. Ermittlung 193 oder Schätzung der Position des Magnetfelds innerhalb des Luftspalts des Motors.
- 195 ggf. Kommutierung 195 der Bestromung einer oder mehrerer Statorspulen des Motors und/oder einer oder mehrerer Rotorspulen des Motors in Abhängigkeit a) von den ermittelten Zeitdurchgängen des Nulldurchgangs des Betrags der magnetischen Flussdichte B der magnetischen Flussdichte B innerhalb des Luftspalts LS des Motors oder im Streufeld BSTR des Magnetfelds im Luftspalt LS und/oder b) von dem ermittelten Betrags der magnetischen Flussdichte B der magnetischen Flussdichte B innerhalb des Luftspalts LS des Motors oder im Streufeld BSTR des Magnetfelds im Luftspalt LS und/oder von der ermittelten oder geschätzten Position des Magnetfelds innerhalb des Luftspalts des Motors
- 511 Diagramm der Resonanzlinien des Anteils mit Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu\text{W}}$ an der der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL eines mit NV-Zentren versehenen Diamant-Einkristalls in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ und von der magnetischen Flussdichte B. Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ in der X-Achse des Diagramms 511 aufgetragen. Die magnetische Flussdichte B ist in der Y-Achse des Diagramms 511 in willkürlichen Einheiten aufgetragen (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“). In dem Beispiel ist ein einzelner Diamantkristall in [111] gegenüber der Richtung der magnetischen Flussdichte B eines Magnetfelds ausgerichtet. Das in dem Diagramm 511 dargestellte Verhalten ist aus dem Stand der Technik bekannt;
- 512 Resonanzlinie von NV-Zentren eines Diamant-Einkristalls für die Spinquantenzahl $m_s=-1$, der gegenüber der magnetischen Flussdichte B des Magnetfelds in [111] Richtung ausgerichtet ist und wobei die bei dieser Resonanzlinie wechselwirkenden NV-Zentren des Diamant-Einkristalls in der [111]-Richtung des Diamant-Einkristalls ausgerichtet sind. Die B-Komponente des Mikrowellenfeldes ist gegenüber der magnetischen Flussdichte B des Magnetfelds senkrecht ausgerichtet. Die Resonanzlinie entspricht der Spinquantenzahl $m_s=-1$;
- 513 Resonanz eines Einkristalls, der gegenüber dem Magnetfeld in [111] Richtung ausgerichtet ist und wobei die bei dieser Resonanzlinie wechselwirkenden NV-Zentren des Diamant-Einkristalls in einer der drei anderen Kristallrichtungen des Diamant-Einkristalls gegenüber der [111]-Richtung des Diamant-Einkristalls ausgerichtet sind. Die B-Komponente des Mikrowellenfeldes ist gegenüber der magnetischen Flussdichte B des Magnetfelds senkrecht ausgerichtet. Die Resonanzlinie entspricht der Spinquantenzahl $m_s=-1$

- 514 Resonanzlinie von NV-Zentren eines Diamant-Einkristalls für die Spinquantenzahl $m_s = +1$, der gegenüber der magnetischen Flussdichte B des Magnetfelds in $[111]$ Richtung ausgerichtet ist und wobei die bei dieser Resonanzlinie wechselwirkenden NV-Zentren des Diamant-Einkristalls in einer der drei anderen Kristallrichtungen des Diamant-Einkristalls gegenüber der $[111]$ -Richtung des Diamant-Einkristalls ausgerichtet sind. Die B -Komponente des Mikrowellenfeldes ist gegenüber der magnetischen Flussdichte B des Magnetfelds senkrecht ausgerichtet. Die Resonanzlinie entspricht der Spinquantenzahl $m_s = +1$;
- 515 Resonanzlinie von NV-Zentren eines Diamant-Einkristalls für die Spinquantenzahl $m_s = +1$, der gegenüber der magnetischen Flussdichte B des Magnetfelds in $[111]$ Richtung ausgerichtet ist und wobei die bei dieser Resonanzlinie wechselwirkenden NV-Zentren des Diamant-Einkristalls in der $[111]$ -Richtung des Diamant-Einkristalls ausgerichtet sind. Die B -Komponente des Mikrowellenfeldes ist gegenüber der magnetischen Flussdichte B des Magnetfelds senkrecht ausgerichtet. Die Resonanzlinie entspricht der Spinquantenzahl $m_s = +1$;
- 520 Diagramm der Resonanz der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL bzw. der Änderung der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL eines Kollektivs von Diamantkristallen, die zueinander zufällig und im Wesentlichen gleichverteilt unterschiedlich im Raum orientiert sind, in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ und von der magnetischen Flussdichte B . Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ in der X-Achse des Diagramms aufgetragen. Die magnetische Flussdichte B ist in der Y-Achse in willkürlichen Einheiten aufgetragen. (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“), In dem Beispiel sind die Diamanten der Vielzahl der Diamantkristalle in unterschiedlichen Richtungen gegenüber dem Magnetfeld ausgerichtet. Dieses Verhalten ist aus dem Stand der Technik bekannt.
- 522 untere Resonanzkante 522. Es handelt sich um die untere Resonanzkante der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL bzw. der Änderung der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des Resonanzfelds der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL eines Kollektivs von Diamantkristallen, die zueinander zufällig und im Wesentlichen gleichverteilt unterschiedlich im Raum orientiert sind, in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ und von der magnetischen Flussdichte B . Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ in der X-Achse des Diagramms aufgetragen. Die magnetische Flussdichte B ist in der Y-Achse in willkürlichen Einheiten aufgetragen. (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“), In dem Beispiel sind die Diamanten der Vielzahl der Diamantkristalle in unterschiedlichen Richtungen gegenüber der magnetischen Flussdichte B des Magnetfelds ausgerichtet.
- 523 untere mittlere Resonanzkante 523. Es handelt sich um die untere mittlere Resonanzkante der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL bzw. der Änderung der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des Resonanzfelds der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL eines Kollektivs von Diamantkristallen, die zueinander zufällig und im Wesentlichen gleichverteilt unterschiedlich im Raum orientiert sind, in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ und von der magnetischen Flussdichte B . Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ in der X-Achse des Diagramms aufgetragen. Die magnetische Flussdichte B ist in der Y-Achse in willkürlichen Einheiten aufgetragen. (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“), In dem Beispiel sind die Diamanten der Vielzahl der Diamantkristalle in unterschiedlichen Richtungen gegenüber der magnetischen Flussdichte des Magnetfelds ausgerichtet.
- 524 obere mittlere Resonanzkante 524. Es handelt sich um die obere mittlere Resonanzkante der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL bzw. der Änderung der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des Resonanzfelds der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL eines Kollektivs von Diamantkristallen, die zueinander zufällig und im Wesentlichen gleichverteilt unterschiedlich im Raum orientiert sind, in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ und von der magnetischen Flussdichte B . Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ in der X-Achse des Diagramms aufgetragen. Die magnetische Flussdichte B ist in der Y-Achse in willkürlichen Einheiten aufgetragen. (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“), In dem Beispiel sind die Diamanten der Vielzahl der Diamantkristalle in unterschiedlichen Richtungen gegenüber der magnetischen Flussdichte des Magnetfelds ausgerichtet.

- 525 obere Resonanzkante 525. Es handelt sich um die obere Resonanzkante der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL bzw. der Änderung der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des Resonanzfelds der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL eines Kollektivs von Diamantkristallen, die zueinander zufällig und im Wesentlichen gleichverteilt unterschiedlich im Raum orientiert sind, in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ und von der magnetischen Flussdichte B. Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ in der X-Achse des Diagramms aufgetragen. Die magnetische Flussdichte B ist in der Y-Achse in willkürlichen Einheiten aufgetragen. (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“), In dem Beispiel sind die Diamanten der Vielzahl der Diamantkristalle in unterschiedlichen Richtungen gegenüber der magnetischen Flussdichte des Magnetfelds ausgerichtet.
- 526 unteres Resonanzteilfeld. Es handelt sich um das untere Resonanzteilfeld der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL bzw. der Änderung der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des Resonanzfelds der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL eines Kollektivs von Diamantkristallen, die zueinander zufällig und im Wesentlichen gleichverteilt unterschiedlich im Raum orientiert sind, in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ und von der magnetischen Flussdichte B. Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ in der X-Achse des Diagramms aufgetragen. Die magnetische Flussdichte B ist in der Y-Achse in willkürlichen Einheiten aufgetragen. (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“), In dem Beispiel sind die Diamanten der Vielzahl der Diamantkristalle in unterschiedlichen Richtungen gegenüber der magnetischen Flussdichte des Magnetfelds ausgerichtet. Die untere Resonanzkante 522 begrenzt das untere Resonanzteilfeld 26 zu niedrigeren Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu\text{W}}$ und zu niedrigeren magnetischen Flussdichten B hin. Die untere mittlere Resonanzkante 523 begrenzt das untere Resonanzteilfeld 526 zu höheren Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu\text{W}}$ und zu niedrigeren magnetischen Flussdichten B hin. Eine Offsetflussdichte B_{off} begrenzt das untere Resonanzteilfeld 526 zu kleineren magnetischen Flussdichten B hin weiter.
- 527 oberes Resonanzteilfeld. Es handelt sich um das obere Resonanzteilfeld der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL bzw. der Änderung der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des Resonanzfelds der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL eines Kollektivs von Diamantkristallen, die zueinander zufällig und im Wesentlichen gleichverteilt unterschiedlich im Raum orientiert sind, in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ und von der magnetischen Flussdichte B. Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ in der X-Achse des Diagramms aufgetragen. Die magnetische Flussdichte B ist in der Y-Achse in willkürlichen Einheiten aufgetragen. (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“), In dem Beispiel sind die Diamanten der Vielzahl der Diamantkristalle in unterschiedlichen Richtungen gegenüber der magnetischen Flussdichte des Magnetfelds ausgerichtet. Die obere Resonanzkante 525 begrenzt das obere Resonanzteilfeld 527 zu niedrigeren Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu\text{W}}$ und zu höheren magnetischen Flussdichten B hin. Die obere mittlere Resonanzkante 24 begrenzt das obere Resonanzteilfeld 527 zu höheren Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu\text{W}}$ und zu höheren magnetischen Flussdichten B hin. Eine Offsetflussdichte B_{off} begrenzt das obere Resonanzteilfeld 527 zu kleineren magnetischen Flussdichten B hin weiter.
- 528 unteres Resonanzfeld. Es handelt sich um das untere Resonanzteilfeld der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL bzw. der Änderung der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des Resonanzfelds der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL eines Kollektivs von Diamantkristallen, die zueinander zufällig und im Wesentlichen gleichverteilt unterschiedlich im Raum orientiert sind, in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ und von der magnetischen Flussdichte B. Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu\text{W}}$ in der X-Achse des Diagramms aufgetragen. Die magnetische Flussdichte B ist in der Y-Achse in willkürlichen Einheiten aufgetragen. (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“), In dem Beispiel sind die Diamanten der Vielzahl der Diamantkristalle in unterschiedlichen Richtungen gegenüber der magnetischen Flussdichte des Magnetfelds ausgerichtet. Die untere Resonanzkante 522 begrenzt das untere Resonanzfeld 528 zu niedrigeren Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu\text{W}}$ und zu kleineren magnetischen Flussdichten B hin. Die obere Resonanzkante 525 begrenzt das untere Resonanzteilfeld 528 zu höheren Mikrowellenfrequenzen $\omega_{\mu\text{W}}$ und zu kleineren magnetischen Flussdichten B hin. Eine Offsetflussdichte B_{off} begrenzt das untere Resonanzfeld 528 zu höheren magnetischen Flussdichten B hin weiter.

- 529 mittleres Resonanzminimum 529. Es handelt sich um das mittlere Resonanzminimum der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL bzw. der Änderung der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des Resonanzfelds der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL eines Kollektivs von Diamantkristallen, die zueinander zufällig und im Wesentlichen gleichverteilt unterschiedlich im Raum orientiert sind, in Anhängigkeit von der Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ und von der magnetischen Flussdichte B. Dabei ist die Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ in der X-Achse des Diagramms aufgetragen. Die magnetische Flussdichte B ist in der Y-Achse in willkürlichen Einheiten aufgetragen. (englisch: „arbitrary units“ oder abgekürzt „au“), In dem Beispiel sind die Diamanten der Vielzahl der Diamantkristalle in unterschiedlichen Richtungen gegenüber der magnetischen Flussdichte des Magnetfelds ausgerichtet. Das Resonanzminimum verläuft zwischen der unteren mittleren Resonanzkante 523 und der oberen mittleren Resonanzkante 524. Eine Offsetflussdichte B_{off} begrenzt das Resonanzminimum 529 zu kleineren magnetischen Flussdichten B hin weiter.
- 530 Spitze der V-Formation 530 aus unterer Resonanzkante 522 und einer oberer Resonanzkante 525;
- 541 Linie 541 entlang derer der Arbeitspunkt des Sensorelements SE wandert, wenn für die Bestimmung einer unbekannt Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$ die Vorrichtung beispielsweise die wirksame magnetische Referenzflussdichte B_{ref} mittels Änderung der zusätzlichen wirksamen magnetischen Flussdichte B_{adw} verändert;
- 542 Schnittpunkt 542 der Linie 543 mit der unteren Resonanzkante 522;
- 543 Linie 543 entlang derer der Arbeitspunkt des Sensorelements SE wandert, wenn für die Bestimmung einer unbekannt Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$ die Vorrichtung beispielsweise die ein Mikrowellensignal μW mit der variierten Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$ zumischt und sich hierdurch innerhalb des Sensorelements SE Mikrowellensignalanteile mit einer gemischten Mikrowellenfrequenz von $\omega_{\mu Wmix+} = \omega_{\mu Wnk} + \omega_{\mu W}$ und $\omega_{\mu Wmix-} = \omega_{\mu Wnk} - \omega_{\mu W}$ ergeben;
- 545 Schnittpunkt 545 der Linie 543 mit der oberen Resonanzkante 525;
- 561 obere Referenzlinie 561;
- 562 untere Referenzlinie 562;
- 563 mittlere Referenzlinie 563;
- 564 Wert 564 der magnetischen Flussdichte B_{61} , der der oberen Referenzlinie 561 zugeordnet ist;
- 565 Wert 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist;
- 566 Differenz 566 des Werts der magnetischen Flussdichte B_{63} , der der mittleren Referenzlinie 563 zugeordnet ist, minus dem Wert 565 der magnetischen Flussdichte B_{62} , der der unteren Referenzlinie 562 zugeordnet ist;
- 567 Steigung 567 der Kurve;
- 627 Polynomapproximation 627 der Kurve;
- 1310 elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 der beispielhaften Schlitzleitung 1880 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 bzw. beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980;
- 1320 elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 beispielhaften Schlitzleitung 1880 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 bzw. beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980;
- 1330 Signalleiter 1330 der beispielhaften Mikrostreifenleitung 1380 bzw. beispielhaften differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 bzw. beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980;

- 1340 elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende linke Isolationsfläche 1340. Im Sinne des hier vorgelegten Dokuments handelt es sich um eine Clearance, durch die im Falle eines optisch für Aushärtestrahlung 4910 einer Aushärtewellenlänge λ_H aus dem Trägersubstrat 1360 in ein ggf. aufgebrachtes Trägermaterial TM austreten kann und/oder durch die Pumpstrahlung LB aus dem Trägersubstrat 1360 in ein aufgebrachtes Sensorelement SE übertreten kann;
- 1350 elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende rechte Isolationsfläche 1350. Im Sinne des hier vorgelegten Dokuments handelt es sich um eine Clearance, durch die im Falle eines optisch für Aushärtestrahlung 4910 einer Aushärtewellenlänge λ_H aus dem Trägersubstrat 1360 in ein ggf. aufgebrachtes Trägermaterial TM austreten kann und/oder durch die Pumpstrahlung LB aus dem Trägersubstrat 1360 in ein aufgebrachtes Sensorelement SE übertreten kann;
- 1360 Trägersubstrat 1360. Insbesondere kann es sich um das Trägersubstrat 1360 der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 oder der beispielhaften Mikrostreifenleitung 1380 bzw. beispielhaften differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 bzw. beispielhaften Schlitzleitung 1880 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 bzw. beispielhaften differentiellen Triplate-Leitung 6980 handeln. Bevorzugt ist das Trägersubstrat 1360 ein dielektrisches Substrat wie beispielsweise eine Keramik mit hoher Dielektrizitätszahl ϵ_r . Bei dem Trägersubstrat 1360 kann es sich auch um einen Halbleiterwafer, wie beispielsweise einen Silizium-Wafer oder einen CMOS-Wafer oder BiCMOS-Wafer oder einen Wafer aus einem Bipolar-Halbleiter-Prozess oder ein Wafer aus einem III/V-Material oder ein Wafer aus einem II/VI-Material oder ein Wafer aus einem Mischkristallhalbleitermaterial oder einen Diamant-Wafer oder einen diamantbeschichteten Wafer handeln. Auch kann es sich bei dem Trägersubstrat 1360 um eine Isolationsschicht eines mikrointegrierten Schaltkreises und/oder eines MEMS-Bauteils oder einer mikro-optischen Systems oder eines mikro-elektro-optischen Systems oder eines mikrofluidischen Systems oder dergleichen handeln.
- 1370 elektrisch leitender Rückseitenkontakt 1370 der beispielhaften Mikrostreifenleitung 1380 bzw. beispielhaften differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 bzw. beispielhaften Schlitzleitung 1880 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 bzw. beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980;
- 1380 einzelne Mikrostreifenleitung 1380. Die beispielhafte einzelne Mikrostreifenleitung 1380 umfasst ein vorzugsweise nicht oder nur wenig elektrisch leitendes Trägersubstrat 1360, einen elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 auf der Unterseite des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360, eine elektrisch leitende Signalleitung 1330 auf der Oberseite des elektrisch nichtleitenden Trägersubstrats 1360. Dabei trennt eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende linke Isolationsfläche 1340 die elektrisch leitende Signalleitung 1330 von anderen Schaltungsteilen. Außerdem trennt eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende rechte Isolationsfläche 1350 die elektrisch leitende Signalleitung 1330 von anderen Schaltungsteilen. Bevorzugt weist einzelne Mikrostreifenleitung 1380 bezogen auf die elektrisch leitende Signalleitung 1330 als „heißen“ Innenleiter und den elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 als Masseelektrode einen Wellenwiderstand auf;
- 1410 linkes Sensorelement SE(1410) - links der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 auf der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationsfläche 1340 der beispielhaften Mikrostreifenleitung 1380 bzw. - links der elektrisch leitenden linken Signalleitung 6810 auf der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden linken Isolationsfläche 1340 der beispielhaften differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 bzw. - links der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 in der nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340 zwischen der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 und der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 bzw. - links der elektrisch leitenden linken Signalleitung 6810 in der nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340 zwischen der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 der beispielhaften differentiellen Triplate-Leitung 6980 und der elektrisch leitenden linken Signalleitung 6810 der beispielhaften differentiellen Triplate-Leitung 6980 bzw. - links des Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880 auf der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 der beispielhaften Schlitzleitung 1880;

- 1420 mittleres Sensorelement SE(1420) auf der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 bzw. in der Lücke 6840 zwischen der elektrisch leitenden linken Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Triplate-Leitung 6980 und der elektrisch leitenden rechten Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Triplate-Leitung 6980 bzw. auf der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 der beispielhaften Mikrostreifenleitung 1380 bzw. in der Lücke 6840 zwischen der elektrisch leitenden linken Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 und der elektrisch leitenden rechten Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 bzw. im Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880;
- 1430 rechtes Sensorelement SE(1430) - rechts der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 auf der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationsfläche 1350 der beispielhaften Mikrostreifenleitung 1380 bzw. - rechts der elektrisch leitenden rechten Signalleitung 6820 auf der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationsfläche 1350 der beispielhaften differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 bzw. - rechts der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 in der nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350 zwischen der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 und der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 bzw. - rechts der elektrisch leitenden rechten Signalleitung 6820 in der nichtleitenden rechten Isolationslücke 2350 zwischen der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 der beispielhaften differentiellen Triplate-Leitung 6980 und der elektrisch leitenden rechten Signalleitung 6820 der beispielhaften differentiellen Triplate-Leitung 6980 bzw. - rechts des Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880 auf der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 der beispielhaften Schlitzleitung 1880;
- 1440 Richtung des Vektors 1440 der magnetische Flussdichte $B_{\mu W}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , a) das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 einspeist, im Bereich des Sensorelements SE, wenn das Sensorelement SE links der Signalleitung 1330 platziert ist und es sich um Mikrostreifenleitung 1380 handelt, bzw. b) das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 einspeist, im Bereich des Sensorelements SE, wenn das Sensorelement SE links der Signalleitung 1330 platziert ist und es sich um eine Triplate-Leitung 2380 handelt, bzw. c) das die Mikrowellensignalquelle μWG in den Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 einspeist, im Bereich des Sensorelements SE, wenn das Sensorelement SE im Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 platziert ist und es sich um eine Schlitzleitung 1880 handelt;
- 1450 Richtung des Vektors 1450 der magnetische Flussdichte $B_{\mu W}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , a) das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 einspeist, im Bereich des Sensorelements SE, wenn das Sensorelement SE auf der Signalleitung 1330 platziert ist und es sich um Mikrostreifenleitung 1380 handelt, bzw. b) das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 einspeist, im Bereich des Sensorelements SE, wenn das Sensorelement SE auf der Signalleitung 1330 platziert ist und es sich um eine Triplate-Leitung 2380 handelt, bzw. c) das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Schlitzleitung 1880 einspeist, im Bereich des Sensorelements SE, wenn das Sensorelement SE auf elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310 platziert ist und es sich um eine Schlitzleitung 1880 handelt, bzw. d) das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Schlitzleitung 1880 einspeist, im Bereich des Sensorelements SE, wenn das Sensorelement SE auf elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 platziert ist und es sich um eine Schlitzleitung 1880 handelt;
- 1460 Richtung des Vektors 1460 der magnetische Flussdichte $B_{\mu W}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , a) das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 einspeist, im Bereich des Sensorelements SE, wenn das Sensorelement SE rechts der Signalleitung 1330 platziert ist und es sich um Mikrostreifenleitung 1380 handelt, bzw. b) das die Mikrowellensignalquelle μWG in die Signalleitung 1330 einspeist, im Bereich des Sensorelements SE, wenn das Sensorelement SE rechts der Signalleitung 1330 platziert ist und es sich um eine Triplate-Leitung 2380 handelt, bzw. c) das die Mikrowellensignalquelle μWG in den Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 einspeist, im Bereich des Sensorelements SE, wenn das Sensorelement SE im Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 platziert ist und es sich um eine Schlitzleitung 1880 handelt;

- 1710 Sensorelement SE(1710), dass die elektrisch leitende Signalleitung 1330 umgibt. Im weitesten Sinne ist das Sensorelement SE(1710) eine Kombination der Sensorelemente 1410, 1420 und 1430;
- 1840 Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880. Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet den Schlitz 1840 einer Schlitzleitung 1880 auch als Clearance einer Schlitzleitung 1880. Der Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 ist eine nicht-leitende Isolationslücke im Sinne dieses Dokuments. Im Sinne des hier vorgelegten Dokuments handelt es sich um eine Clearance, durch die im Falle eines optisch für Aushärtestrahlung 4910 einer Aushärtewellenlänge λ_H aus dem Trägersubstrat 1360 in ein ggf. aufgebrachttes Trägermaterial TM austreten kann und/oder durch die Pumpstrahlung LB aus dem Trägersubstrat 1360 in ein aufgebrachttes Sensorelement SE übertreten kann;
- 1880 Schlitzleitung 1880. Die beispielhafte Schlitzleitung 1880 umfasst ein vorzugsweise nicht oder nur wenig elektrisch leitendes Trägersubstrat 1360, einen elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 auf der Unterseite des elektrisch nichtleitenden Trägersubstrats 1360, eine elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 der beispielhaften Schlitzleitung 1880 auf der Oberseite des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360 und eine elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 der beispielhaften Schlitzleitung 1880 auf der Oberseite des elektrisch nicht-leitenden Trägersubstrats 1360. Dabei trennt eine elektrisch im Wesentlichen nichtleitende linke Isolationsfläche 1340 die elektrisch leitende Signalleitung 1330 von anderen Schaltungsteilen. Außerdem trennt ein elektrisch im Wesentlichen nicht-leitender Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 die elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 der beispielhaften Schlitzleitung 1880 von der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320 der beispielhaften Schlitzleitung 1880. Bevorzugt weist Schlitzleitung 1880 bezogen auf die elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 der beispielhaften Schlitzleitung 1880 und die elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 der beispielhaften Schlitzleitung 1880 als „heißen“ Außenleiter und den elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 als Masseelektrode einen Wellenwiderstand auf;
- 2210 den Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880 überdeckendes Sensorelement SE(2210);
- 2340 elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende linke Isolationslücke 2340. Im Sinne des hier vorgelegten Dokuments handelt es sich um eine Clearance, durch die im Falle eines optisch für Aushärtestrahlung 4910 einer Aushärtewellenlänge λ_H aus dem Trägersubstrat 1360 in ein ggf. aufgebrachttes Trägermaterial TM austreten kann und/oder durch die Pumpstrahlung LB aus dem Trägersubstrat 1360 in ein aufgebrachttes Sensorelement SE übertreten kann;
- 2350 elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende rechte Isolationslücke 2350. Im Sinne des hier vorgelegten Dokuments handelt es sich um eine Clearance, durch die im Falle eines optisch für Aushärtestrahlung 4910 einer Aushärtewellenlänge λ_H aus dem Trägersubstrat 1360 in ein ggf. aufgebrachttes Trägermaterial TM austreten kann und/oder durch die Pumpstrahlung LB aus dem Trägersubstrat 1360 in ein aufgebrachttes Sensorelement SE übertreten kann;

- 2380 Tri-Plate-Leitung 2380. Die beispielhafte Tri-Plate-Leitung 2380 umfasst ein vorzugsweise nicht oder nur wenig elektrisch leitendes Trägersubstrat 1360, einen elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 auf der Unterseite des elektrisch nicht leitenden Trägersubstrats 1360, eine elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 auf der Oberseite des elektrisch nicht leitenden Trägersubstrats 1360, eine elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 auf der Oberseite des elektrisch nicht leitenden Trägersubstrats 1360 zwischen der elektrisch leitende linken Signalmassefläche 1310 und der elektrisch leitende rechten Signalmassefläche 1320. Dabei trennt eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende linke Isolationslücke 2340 die elektrisch leitende Signalleitung 1330 von der elektrisch leitenden linken Signalmassefläche 1310. Außerdem trennt eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende rechte Isolationslücke 2350 die elektrisch leitende Signalleitung 1330 von der elektrisch leitenden rechten Signalmassefläche 1320. Bevorzugt weist die Tri-Plate-Leitung 2380 bezogen auf die elektrisch leitende Signalleitung 1330 als „heißen“ Innenleiter und die Gemeinschaft aus elektrisch leitender linken Signalmassefläche 1310, elektrisch leitender rechter Signalmassefläche 1320 und elektrisch leitendem Rückseitenkontakt 1370 als Masseelektroden einen Wellenwiderstand auf;
- 2410 linkes Sensorelement SE(2410), das die nicht-leitende linke Isolationslücke 2340 der Tri-Plate-Leitung 2380 überdeckt;
- 2420 mittleres Sensorelement SE(2420), das die elektrisch leitende Signalleitung 1330 der Tri-Plate-Leitung 2380 überdeckt;
- 2430 rechtes Sensorelement SE(2430), das die nicht-leitende rechte Isolationslücke 2350 der Tri-Plate-Leitung 2380 überdeckt;
- 2510 Isolationsschicht 2510;
- 2520 Flachspule 2520 als Magnetfelderzeugungsmittel Lc;
- 4410 großes Sensorelement SE(4410) zu dem das mittlere Sensorelement SE (1420) und das rechte Sensorelement SE (1430) und das linke Sensorelement SE (1410) verschmolzen sind;
- 4510 linke Durchkontaktierung 4510, die die elektrisch leitende linke Signalmassefläche 1310 der beispielhaften Schlitzleitung 1880 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 bzw. der beispielhaften differenziellen Triplate-Leitung 6980 mit dem elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 oder der beispielhaften differenziellen Triplate-Leitung 6980 oder der beispielhaften Schlitzleitung 1880 elektrisch verbinden;
- 4520 rechte Durchkontaktierung 4520, die die elektrisch leitende rechte Signalmassefläche 1320 der beispielhaften Schlitzleitung 1880 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 bzw. der beispielhaften differenziellen Triplate-Leitung 6980 mit dem elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 oder der beispielhaften differenziellen Triplate-Leitung 6980 oder der beispielhaften Schlitzleitung 1880 elektrisch verbinden;
- 4610 linker optischer Wellenleiter LWL (4610) ;
- 4620 rechter optischer Wellenleiter LWL (4620) ;
- 4630 mittleren optischen Lichtwellenleiters LWL (4630);
- 4810 Sensorelementschicht 4810;
- 4910 Aushärtestrahlung 4910 mit der Aushärtewellenlänge λ_H ;
- 5210 linke Justiermarke 5210;
- 5220 rechte Justiermarke 5220;
- 6710 Abschlusswiderstände 6710. Die Abschlusswiderstände 6710 können beispielsweise zwischen den Leitungen der jeweiligen Wellenleitung und/oder den Leitungen und dem elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 geschaltet sein;
- 6810 linker Signalleiter 6810 des differentiellen Signalleiters 6830;

- 6820 rechter Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830;
- 6830 differentieller Signalleiter 6830 der beispielhaften differentiellen Mikrostripleitung 6830 bzw. der beispielhaften differentiellen Triplate-Leitung 7080. Der differentielle Signalleiter 6830 kann Signale ggf. auch gleichzeitig im Gleichtaktbetrieb und im Gegentaktbetrieb übertragen. Im Gleichtaktbetrieb verhält der differentielle Signalleiter 6830 sich wie der Signalleiter 1330 der beispielhaften Mikrostripleitung 1380 bzw. der beispielhaften Triplate-Leitung 2380;
- 6840 elektrisch isolierende Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830. Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet die elektrisch isolierende Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 auch als Clearance des differentiellen Signalleiters 6830. Die elektrisch isolierende Lücke 6840 ist eine nicht-leitende Isolationslücke im Sinne dieses Dokuments. Im Sinne des hier vorgelegten Dokuments handelt es sich um eine Clearance, durch die im Falle eines optisch für Aushärtestrahlung 4910 einer Aushärtewellenlänge λ_H aus dem Trägersubstrat 1360 in ein ggf. aufgebrachtes Trägermaterial TM austreten kann und/oder durch die Pumpstrahlung LB aus dem Trägersubstrat 1360 in ein aufgebrachtes Sensorelement SE übertreten kann;

- 6880 differentielle Mikrostreifenleitung 6880. Die beispielhafte differentielle Mikrostreifenleitung 6880 umfasst ein vorzugsweise nicht oder nur wenig elektrisch leitendes Trägersubstrat 1360, einen elektrisch leitenden Rückseitenkontakt 1370 auf der Unterseite des elektrisch nicht leitenden Trägersubstrats 1360, eine elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende linke Isolationsfläche 1340 auf der Oberseite des elektrisch nicht leitenden Trägersubstrats 1360, elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende rechte Isolationsfläche 1350 auf der Oberseite des elektrisch nicht leitenden Trägersubstrats 1360, eine linke elektrisch leitende Signalleitung 6810 auf der Oberseite des elektrisch nicht leitenden Trägersubstrats 1360 zwischen der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitende linke Isolationsfläche 1340 einerseits und der elektrisch isolierenden Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 andererseits, eine rechte elektrisch leitende Signalleitung 6820 auf der Oberseite des elektrisch nicht leitenden Trägersubstrats 1360 zwischen der elektrisch isolierenden Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 einerseits und der elektrisch im Wesentlichen nicht-leitenden rechten Isolationsfläche 1350 andererseits. Die elektrisch isolierende Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 isoliert elektrisch den linken Signalleiter 6810 von dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830. Der linke Signalleiter 6810 und der rechte Signalleiter 6820 bilden zusammen den differentiellen Signalleiter 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880. Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet die elektrisch isolierende Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 auch als Clearance des differentiellen Signalleiters 6830. Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet die elektrisch isolierende Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 auch als Clearance des differentiellen Signalleiters 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880. Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet die elektrisch isolierende Lücke 6840 zwischen dem linken Signalleiter 6810 und dem rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 auch als Clearance der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880. Die differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 kann mit einem Gleichtaktsignal angesteuert werden, bei dem in den linken Signalleiter 6810 und den rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 das gleiche Signal zeitsynchron eingespeist wird. Dieser Betriebszustand heißt Gleichaktansteuerung mit einem Gleichtaktsignal. Die differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 kann mit einem Gegentaktsignal angesteuert werden, bei dem in den linken Signalleiter 6810 und den rechten Signalleiter 6820 des differentiellen Signalleiters 6830 das gleiche Signal zeitsynchron, aber mit unterschiedlichem Vorzeichen, eingespeist wird. Dieser Betriebszustand heißt Gegentaktansteuerung mit einem Gegentaktsignal. Bevorzugt weist die differentiellen Mikrostripleitung 6880 bezogen auf den differentieller Signalleiter 6830 als „heißen“ Innenleiter einen Gleichaktwellenwiderstand für eine Gleichaktansteuerung auf und einen Gegentaktwellenwiderstand für eine Gegentaktansteuerung auf;
- 6980 differentielle Tri-Plate-Leitung 6980;
- 7110 linkes Leitungssensorelement SE(7110) auf der elektrisch leitenden linken Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der beispielhaften differenziellen Triplate-Leitung 6980 bzw. auf der elektrisch leitenden linken Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880;
- 7120 rechtes Leitungssensorelement SE(7120) auf der elektrisch leitenden rechten Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 der beispielhaften differenziellen Triplate-Leitung 6980 bzw. auf der elektrisch leitenden rechten Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrostreifenleitung 6880;

- 7140 Richtung des Vektors 7340 der magnetische Flussdichte $B_{\mu W}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , a) das die Mikrowellensignalquelle μWG und/oder eine andere Signalquelle (RWG) in die linke Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrowellenleitung 6880 einspeist, im Bereich des linken Sensorelements SE(1410), wenn es sich um eine differenzielle Mikrostreifenleitung 6880 handelt, bzw. a) das die Mikrowellensignalquelle μWG und/oder eine andere Signalquelle (RWG) in die linke Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrowellenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 einspeist, im Bereich des linken Sensorelements SE(1410), wenn es sich um eine differentielle Tri-Plate-Leitung 6980 handelt;
- 7150 Richtung des Vektors 7350 der magnetische Flussdichte $B_{\mu W}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , a) das die Mikrowellensignalquelle μWG und/oder eine andere Signalquelle (RWG) in die linke Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrowellenleitung 6880 einspeist, im Bereich des linken Leitungssensorelements SE(7110), wenn es sich um eine differenzielle Mikrostreifenleitung 6880 handelt, bzw. a) das die Mikrowellensignalquelle μWG und/oder eine andere Signalquelle (RWG) in die linke Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrowellenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 einspeist, im Bereich des linken Leitungssensorelements SE(7110), wenn es sich um eine differentielle Tri-Plate-Leitung 6980 handelt;
- 7160 Richtung des Vektors 7360 der magnetische Flussdichte $B_{\mu W}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , a) das die Mikrowellensignalquelle μWG und/oder eine andere Signalquelle (RWG) in die linke Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrowellenleitung 6880 einspeist, im Bereich des mittleren Sensorelements SE(1420), wenn es sich um eine differenzielle Mikrostreifenleitung 6880 handelt, bzw. a) das die Mikrowellensignalquelle μWG und/oder eine andere Signalquelle (RWG) in die linke Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrowellenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 einspeist, im Bereich des mittleren Leitungssensorelements SE(1420), wenn es sich um eine differentielle Tri-Plate-Leitung 6980 handelt;
- 7170 Richtung des Vektors 7370 der magnetische Flussdichte $B_{\mu W}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , a) das die Mikrowellensignalquelle μWG und/oder eine andere Signalquelle (RWG) in die rechte Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrowellenleitung 6880 einspeist, im Bereich des mittleren Sensorelements SE(1420), wenn es sich um eine differenzielle Mikrostreifenleitung 6880 handelt, bzw. a) das die Mikrowellensignalquelle μWG und/oder eine andere Signalquelle (RWG) in die rechte Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrowellenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 einspeist, im Bereich des mittleren Leitungssensorelements SE(1420), wenn es sich um eine differentielle Tri-Plate-Leitung 6980 handelt;
- 7180 Richtung des Vektors 7380 der magnetische Flussdichte $B_{\mu W}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , a) das die Mikrowellensignalquelle μWG und/oder eine andere Signalquelle (RWG) in die rechte Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrowellenleitung 6880 einspeist, im Bereich des rechten Leitungssensorelements SE(7120), wenn es sich um eine differenzielle Mikrostreifenleitung 6880 handelt, bzw. a) das die Mikrowellensignalquelle μWG und/oder eine andere Signalquelle (RWG) in die rechte Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrowellenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 einspeist, im Bereich des rechten Leitungssensorelements SE(7120), wenn es sich um eine differentielle Tri-Plate-Leitung 6980 handelt;

- 7190 Richtung des Vektors 7390 der magnetische Flussdichte $B_{\mu W}$ des Mikrowellenfeldes des Mikrowellensignals μW , a) das die Mikrowellensignalquelle μWG und/oder eine andere Signalquelle (RWG) in die rechte Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrowellenleitung 6880 einspeist, im Bereich des rechten Sensorelements SE(1430), wenn es sich um eine differenzielle Mikrostreifenleitung 6880 handelt, bzw. a) das die Mikrowellensignalquelle μWG und/oder eine andere Signalquelle (RWG) in die rechte Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der differentiellen Mikrowellenleitung 6880 der differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 einspeist, im Bereich des rechten Sensorelements SE(1430), wenn es sich um eine differenzielle Tri-Plate-Leitung 6980 handelt;
- 13320 vergrößertes mittleres Sensorelement SE(13320). Das vergrößerte mittlere Sensorelement SE(13320) entspricht einem mittleren Sensorelement SE(1420), das Eigenschaften der benachbarten Sensorelemente, beispielsweise des linken Leitungssensorelements SE(7110) und des rechten Leitungssensorelement SE(7120), mitaufweist. Das vergrößerte mittlere Sensorelement SE(13320) befindet sich im Wesentlichen auf der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 der beispielhaften Triplate-Leitung 2380 bzw. in der Lücke 6840 zwischen der elektrisch leitenden linken Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Triplate-Leitung 6980 und der elektrisch leitenden rechten Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Triplate-Leitung 6980 bzw. auf der elektrisch leitenden Signalleitung 1330 der beispielhaften Mikrostreifenleitung 1380 bzw. in der Lücke 6840 zwischen der elektrisch leitenden linken Signalleitung 6810 der differentiellen Signalleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 und der elektrisch leitenden rechten Signalleitung 6820 der differentiellen Signalleitung 6830 der beispielhaften differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 bzw. im Schlitz 1840 der Schlitzleitung 1880;
- 15710 erster Mikrowellen und/oder HF-Verbinder für den Anschluss der Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) an eine Mikrowellensignalquelle μWG oder eine HF-Signalquelle RFG oder an einen Mikrowellensignalanalysator (μWAT , μWAR) oder an einen HF-Signalanalysator (RFAR, RFAT).
- 15720 zweiter Mikrowellen und/oder HF-Verbinder für den Anschluss der Wellenleitung (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) an eine Mikrowellensignalquelle μWG oder eine HF-Signalquelle RFG oder an einen Mikrowellensignalanalysator (μWAT , μWAR) oder an einen HF-Signalanalysator (RFAR, RFAT).
- 15730 Abdeckung 15730 des Trägersubstrats 1360 mit dem Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) und dem Sensorelement SE zum mechanischen und chemischen Schutz und ggf. zum EMV-Schutz.
- 15740 mit dem Sensorelement SE bedeckte Strecke 15740 des Welleneiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990)
- 20310 Bereitstellen 20310 eines optisch transparenten Trägersubstrats 1360, wobei das optisch transparente Trägersubstrat 1360 zumindest eine optische transparente Kante aufweist und wobei das optisch transparente Trägersubstrat 1360 mit einem Wellenleiter mit zumindest einer Clearance, beispielsweise einer Schlitzleitung und/oder einer Tri-Plate-Leitung oder einer differentiellen Tri-Plate-Leitung, abgedeckt ist, sodass Licht im Wesentlichen nur durch die Clearance des Welleneiters auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 aus dem optisch transparenten Trägersubstrat 1360 austreten kann.

20320	Bereitstellen 20320 einer flüssigen kolloidalen Mischung KL mit einem flüssigen und mittels elektromagnetischer Strahlung, der Aushärtestrahlung 4910, einer Aushärtewellenlänge λ_H härtbaren Trägermaterial TM, wobei in das Trägermaterial TM der kolloidalen Mischung KL eine Vielzahl von Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND, vorzugsweise Nanodiamanten, eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND NV-Zentren und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND der kolloidalen Mischung KL und/oder die anderen paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND der kolloidalen Mischung KL bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB zumindest eine Fluoreszenzstrahlung FL emittieren;
20330	Beschichten 20330 der er Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 und des Wellenleiters auf er Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 zumindest auf eine Benetzungslänge L_B mit der kolloidalen Mischung KL, das die Vielzahl eingebetteter Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND mit NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren aufweist;
20340	Einspeisen 20340 elektromagnetischer Aushärtestrahlung 4910 mit der Aushärtewellenlänge λ_H über die mindestens eine Kante des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 in das optisch transparente Trägersubstrat 1360,
20350	Austreten 20350 der Aushärtestrahlung 4910 im Bereich einer Clearance des Wellenleiters auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 aus dem des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 und einstrahlen der Aushärtestrahlung 4910 in das Trägermaterial TM der kolloidalen Mischung KL, wobei die Aushärtewellenlänge λ_H der Aushärtestrahlung 4910 so gewählt ist, dass das Trägermaterial TM der kolloidalen Mischung KL im Bereich dieser Clearance des Wellenleiters auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 aushärtet und sich in einen Festkörper wandelt;
20360	Entfernen 20360 des nicht ausgehärteten Trägermaterials TM der kolloidalen Mischung KL insbesondere mittels eines Lösungsmittels LM, wobei der verbleibende Film der kolloidalen Mischung KL im Bereich dieser Clearance des Wellenleiters auf der Oberfläche des optisch transparenten Trägersubstrats 1360 ein Sensorelement SE und/oder eine Sensorschicht 16205 bildet;
α	Winkel, den der Lichtwellenleiter LWL mit der Auflagefläche AF in unmittelbarer Nähe des Sensorelements SE bildet;
β	Winkel zwischen der virtuellen Senkrechten AFS zur Auflagefläche AF des Sensorkopfes SK einerseits und dem Lichtwellenleiter LWL beim Austritt aus dem Sensorkopfhöhle GH des Sensorkopfes SK. Bevorzugt beträgt der Winkel β 90° . Dies hat den Vorteil, dass ein solcher Winkel β das Drehmoment, das der Lichtwellenleiter LWL zusammen mit seiner mechanischen Hülle MH auf den Sensorkopf SK ausübt, minimiert, da der Lichtwellenleiter LWL dann in relativ geringer Entfernung vom Sensorkopf SK auf der Oberfläche des Werkstücks oder einer Oberfläche, auf der das Werkstück aufliegt zum Liegen kommt. Bevorzugt liegt der Wert von β zwischen 45° und 135° , besser zwischen 70° und 110° , besser zwischen 80° und 100° , besser zwischen 85° und 95° , besser zwischen 87° und 93° ;
AOX	Abdeckoxid AOX;
AWV	Auswertungsvorrichtung AWV;
AX	(erstes Anwendungsbeispiel) oder Permanentmagnetsymmetrieachse (zweites Anwendungsbeispiel);
AF	Auflagefläche des Sensorkopfes SK;
AFS	virtuelle Senkrechte zur Auflagefläche AF des Sensorkopfes SK;
B	magnetische Flussdichte B;
B_0	Nullpunktsflussdichte B_0 ;
B_{22}	untere wirksame magnetische Flussdichte B_{22} ;

B_{23}	untere mittlere wirksame magnetische Flussdichte B_{23} ;
B_{24}	obere mittlere wirksame magnetische Flussdichte B_{24} ;
B_{25}	obere wirksame magnetische Flussdichte B_{25} ;
B_{29}	wirksame magnetische Resonanzminimum-Flussdichte B_{29} ;
B_{61}	magnetischen Flussdichte B_{61} , die der oberen Referenzlinie 61 zugeordnet ist;
B_{62}	magnetischen Flussdichte B_{62} , die der unteren Referenzlinie 62 zugeordnet ist;
B_{63}	magnetischen Flussdichte B_{63} , die der mittleren Referenzlinie 63 zugeordnet ist;
d_l	Dicke des Trägermaterials TM am Mittelpunkt MP der Endfläche EF am ersten Ende ELWL1 des ersten gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL;
B_{ext}	externe Flussdichte B_{ext} . Die externe Flussdichte B_{ext} umfasst den Anteil der externen Flussdichte B_{ext} , deren Flussdichtevektor senkrecht zur magnetischen Flussdichtekomponente $B_{\mu W}$ der Mikrowellenstrahlung des Mikrowellensignals μW ist, und den Anteil der externen Flussdichte B_{ext} , deren Flussdichte Vektor parallel zur magnetischen Flussdichtekomponente $B_{\mu W}$ der Mikrowellenstrahlung des Mikrowellensignals μW ist. Sofern der Anteil der externen Flussdichte B_{ext} , deren Flussdichte Vektor senkrecht zur magnetischen Flussdichtekomponente $B_{\mu W}$ der Mikrowellenstrahlung des Mikrowellensignals μW ist, unbekannt ist, ist der Anteil der externen Flussdichte B_{ext} , deren Flussdichte Vektor senkrecht zur magnetischen Flussdichtekomponente $B_{\mu W}$ der Mikrowellenstrahlung des Mikrowellensignals μW ist, gleich der unbekannte externe wirksame magnetische Flussdichte B_{nk} ;
B_g	gemittelte mittlere wirksame Flussdichte B_g ;
$B_{\mu W}$	Flussdichtekomponente $B_{\mu W}$ der Mikrowellenstrahlung des Mikrowellensignals μW ;
B_{nk}	unbekannte externe wirksame magnetische Flussdichte B_{nk} . Die unbekannte externe wirksame magnetische Flussdichte B_{nk} ist der Anteil der unbekannt externen Flussdichte B_{ext} , deren Flussdichtevektor senkrecht zur magnetischen Flussdichtekomponente $B_{\mu W}$ der Mikrowellenstrahlung des Mikrowellensignals μW ist.
B_{off}	wirksame Offsetflussdichte B_{off} ;
BSTR	magnetisches Streufeld des Luftspalts LS (erstes Anwendungsbeispiel) oder der magnetischen Flussdichte des Permanentmagneten PM (zweites Anwendungsbeispiel);
B_{ref}	wirksame magnetische Referenzflussdichte B_{ref} ;
B_{Σ}	Gesamtflussdichte B_{Σ} , die das Sensorelement SE und die Nano-Diamanten ND durchflutet. Sie setzt sich zusammen aus der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} und der zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} , die das Magnetfelderzeugungsmittel Lc erzeugt.
CTR	Steuervorrichtung CTR;
CTR2	weitere Steuervorrichtung CTR2. Die weitere Steuervorrichtung CTR2 kann als Steuervorrichtung CTR der Vorrichtung dienen. (Siehe Fig. 81 .) Bevorzugt umfasst die Auswertevorrichtung 30 die Steuervorrichtung CTR;
CTRH	Halbbrückensteuerung CTRH. Die Halbbrückensteuerung CTRH umfasst bevorzugt in der Regel eine Steuervorrichtung CTR und/oder eine weitere Steuervorrichtung CTR2 im Sinne des hier vorgelegten Dokuments;
DB	Datenbus DB;
D_{LWL}	Durchmesser D_{LWL} des Lichtwellenleiters LWL;
d_l	Dicke des Trägermaterials TM am Mittelpunkt MP der Endfläche EF am ersten Ende ELWL1 des ersten und/oder der zweiten oder des gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL;
d_{IS1}	Breite d_{IS1} der nicht-leitenden linken Isolationslücke 2340 der Tri-Plate-Leitung 2380;
d_{IS2}	Breite d_{IS2} der nicht-leitenden rechten Isolationslücke 2350 der Tri-Plate-Leitung 2380;
Dr	Drain-Gebiet Dr;

DrK	Drain-Kontakt DrK;
DRVL	Treiberstufe DRVL zur Versorgung des Magnetfelderzeugungsmittels L _c mit elektrischer Energie und/oder zur Steuerung des Magnetfelderzeugungsmittels L _c . Sofern es sich bei dem Magnetfelderzeugungsmittels L _c um eine oder mehrere Spulen, insbesondere Flachspulen, handelt bestromt die Treiberstufe DRVL bevorzugt das des Magnetfelderzeugungsmittel L _c mit einem elektrischen Spulenstrom I _L . Ein Magnetfeldregler LCTR vergleicht Werte der magnetischen Flussdichte B mit einem Referenzwert und regelt die Versorgung des Magnetfelderzeugungsmittels L _c mit elektrischer Energie und/oder die Bestromung des Magnetfelderzeugungsmittel L _c mit einem elektrischen Spulenstrom I _L so nach, dass diese Änderung einer Differenz zwischen den Werten der magnetischen Flussdichte B und dem Referenzwert entgegenwirkt. Der Ein Magnetfeldregler LCTR erhält die Informationen über die Werte der magnetischen Flussdichte B entweder von separaten Magnetfeldsensoren und/oder von einer Steuervorrichtung CTR der vorschlagemäßigen Vorrichtung;
d _s	Breite d _s der elektrisch leitenden Signalleitung 1330;
d _{SE}	Durchmesser d _{SE} des Sensorelements SE;
D _{SE}	Dicke D _{SE} des Sensorelements SE und/oder der Sensorelementschicht 14305;
d _{SL}	Breite d _{SL} des Schlitzes 1840 der Schlitzleitung 1880 bzw. der Lücke 6840 einer differenziellen Mikrostreifenleitung 6880 bzw. der Lücke 6840 einer differenziellen Tri-Plate-Leitung 6980;
d _{pm}	Abstand d _{pm} des unteren Endes des Permanentmagneten PM zur Auflagefläche AF;
d _r	Dicke an anderen Punkten der Endfläche EF des ersten Endes ELWL1 des ersten und/oder der zweiten oder des gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL;
d _{SK1}	Höhe des Sensorkopfes SK;
d _{SK2}	Länge des Sensorkopfes SK;
d _{SK3}	Breite des Sensorkopfes SK;
d _{SK4}	Tiefe der Vertiefung VT des Sensorkopfes SK;
D _{LWL}	Durchmesser des Lichtwellenleiters LWL;
D _{LWLL}	Durchmesser der Lichtwellenleiterlinse LWLL;
D _{LWLMH}	Durchmesser des ummantelten Lichtwellenleiters LWL umfassend den Durchmesser des Lichtwellenleiters LWL mit der mechanischen Hülle MH;
DM	Diamanten DM. Die Diamanten haben vorzugsweise eine Größe kleiner 5mm, besser kleiner 2mm, besser kleiner 1mm, besser kleiner 0,5mm, besser kleiner 0,2mm, besser kleiner 0,1mm, besser kleiner 50µm, besser kleiner 20µm, besser kleiner 10µm, besser kleiner 5µm, besser kleiner 2mm, besser kleiner 1µm, besser kleiner 0,5µm, besser kleiner 0,2µm, besser kleiner 0,1µm, besser kleiner 50nm, besser kleiner 20nm, besser kleiner 10nm. Die Diamanten stehen hier auch für die anderen möglichen Kristalle mit paramagnetischen Zentren, die das Trägermaterial TM umfassen kann und die Fluoreszenzstrahlung FL bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB abgeben;
EF	Endfläche des ersten Endes ELWL1 des ersten und/oder der zweiten oder des gemeinsamen Lichtwellenleiters LWL;
ELWL1	erstes Ende des Lichtwellenleiters LWL;
ELWL2	zweites Ende des Lichtwellenleiters LWL;
EU	eine Umdrehung des Motors;
EXTDB	externer Datenbus EXTDB, insbesondere zur Kommunikation einer Steuervorrichtung (CTR, CTRH, CTR2) mit einem übergeordneten Rechnersystem;

- F1 dichroitischer Spiegel F1 oder optischer Filter F1 zur Trennung der Fluoreszenzstrahlung FL von der Pumpstrahlung LB für das Sensorelement SE. Der dichroitische Spiegel / optischer Filter F1 ist damit funktionsgleich zum optischen Filter (Longpass) 6. Bei dem dichroitischen Spiegel F1 oder dem optischen Filter F1 kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch einen vektoriellen dichroitischen Spiegel F1 oder einen vektoriellen optischen Filter F1 handeln, die eine Mehrzahl von dichroitischen Spiegelkomponenten oder eine Mehrzahl von optischen Filterkomponenten (F1_1, F1_2, F1_3, F1_4, F1_5) umfassen können;
- F1_1 dichroitischer Spiegel F1_1 für das linke Sensorelement SE(1410) oder optischer Filter F1 für das linke Sensorelement SE(1410) zur Abtrennung der Fluoreszenzstrahlung FL_1 des linken Sensorelements SE(1410) von der Pumpstrahlung LB_1 für das linke Sensorelement SE(1410);
- F1_2 dichroitischer Spiegel F1_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420) oder optischer Filter F1 für das mittlere Sensorelement SE(1420) zur Abtrennung der Fluoreszenzstrahlung FL_2 des mittleren Sensorelements SE(1420) von der Pumpstrahlung LB_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420);
- F1_3 dichroitischer Spiegel F1_3 für das rechte Sensorelement SE(1430) oder optischer Filter F1 für das rechte Sensorelement SE(1430) zur Abtrennung der Fluoreszenzstrahlung FL_3 des rechten Sensorelements SE(1430) von der Pumpstrahlung LB_3 für das rechte Sensorelement SE(1430);
- F1_4 dichroitischer Spiegel F1_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110) oder optischer Filter F1 für das linke Leitungssensorelement SE(7110) zur Abtrennung der Fluoreszenzstrahlung FL_4 des linken Leitungssensorelements SE(7110) von der Pumpstrahlung LB_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110);
- F1_5 dichroitischer Spiegel F1_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120) oder optischer Filter F1 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120) zur Abtrennung der Fluoreszenzstrahlung FL_5 des rechten Leitungssensorelements SE(7120) von der Pumpstrahlung LB_5 für das rechte
- $f_{\mu w}$ Mikrowellenfrequenzmodulationsfrequenz $f_{\mu w}$;
- FL Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren innerhalb des Sensorelements SE. Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet die Fluoreszenzstrahlung FL auch mit dem Bezugszeichen 14. Bei der Fluoreszenzstrahlung FL kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch eine vektorielle Fluoreszenzstrahlung FL handeln, die eine Mehrzahl von Fluoreszenzstrahlungskomponenten (FL_1, FL_2, FL_3, FL_4, FL_5) umfassen kann;
- FL_1 Fluoreszenzstrahlung FL_1 der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren innerhalb des linken Sensorelements SE(1410);
- FL_2 Fluoreszenzstrahlung FL_2 der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren innerhalb des mittleren Sensorelements SE(1420);
- FL_3 Fluoreszenzstrahlung FL_3 der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren innerhalb des rechten Sensorelements SE(1430);
- FL_4 Fluoreszenzstrahlung FL_4 der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren innerhalb des linken Leitungssensorelements SE(7110);
- FL_5 Fluoreszenzstrahlung FL_5 der NV-Zentren und/oder paramagnetischen Zentren innerhalb des rechten Leitungssensorelements SE(7120);
- f_{LED} LED -Modulationsfrequenz f_{LED} des LED-Modulationssignals S5w des Sendesignals S5 für das Sensorelement SE zur Modulation der Lichtquelle LED für das Sensorelement SE;
- f_{LED_1} LED -Modulationsfrequenz f_{LED_1} des LED-Modulationssignals S5w_1 des Sendesignals S5_1 für das linke Sensorelement SE(1410) zur Modulation der Lichtquelle LED_1 für das linke Sensorelement SE(1410);

f_{LED_2}	LED -Modulationsfrequenz f_{LED_2} des LED-Modulationssignals S5w_2 des Sendesignals S5_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420) zur Modulation der Lichtquelle LED_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420);
f_{LED_3}	LED -Modulationsfrequenz f_{LED_3} des LED-Modulationssignals S5w_3 des Sendesignals S5_3 für das rechte Sensorelement SE(1430) zur Modulation der Lichtquelle LED_3 für das rechte Sensorelement SE(1430);
f_{LED_4}	LED -Modulationsfrequenz f_{LED_4} des LED-Modulationssignals S5w_4 des Sendesignals S5_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110) zur Modulation der Lichtquelle LED_5 für das linke Leitungssensorelement SE(71100);
f_{LED_5}	LED -Modulationsfrequenz f_{LED_5} des LED-Modulationssignals S5w_5 des Sendesignals S5_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120) zur Modulation der Lichtquelle LED_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120);
FM	optisch intransparenten Füllmasse
f_{mg}	Magnetfeldmodulationsfrequenz f_{mg} ;
$f_{\mu W}$	Mikrowellenmodulationsfrequenz $f_{\mu W}$;
FMM	ferromagnetisches Material;
FOX	Feld-Oxid FOX;
f_{RWm}	Radiowellenmodulationsfrequenz f_{RWm} ;
FS2	zweiten Fangstruktur FS2;
G	Signalgenerator G;
G1	erster Signalgenerator G1. Bei dem ersten Signalgenerator G1 kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch um einen vektoriellen ersten Signalgenerator G1 handeln, der eine Mehrzahl von ersten Signalgeneratorkomponenten (G1_1, G1_2, G1_3, G1_4, G1_5) umfassen kann;
G1_1	erster Signalgenerator G1 für das linke Sensorelement SE(1410);
G1_2	erster Signalgenerator G1 für das mittlere Sensorelement SE(1420);
G1_3	erster Signalgenerator G1 für das rechte Sensorelement SE(1430);
G1_4	erster Signalgenerator G1 für das rechte Leitungssensorelement SE(7110);
G1_5	erster Signalgenerator G1 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120);
G2	zweiter Signalgenerator G2;
G2_I	erster zweiter Signalgenerator G2_I zur Erzeugung des ersten Mikrowellenmodulationssignals S5m_I;
G2_II	zweiter zweiter Signalgenerator G2_II zur Erzeugung des zweiten Mikrowellenmodulationssignals S5m_II;
G2_III	dritter zweiter Signalgenerator G2_III zur Erzeugung des dritten Mikrowellenmodulationssignals S5m_III;
G2_IV	vierter zweiter Signalgenerator G2_IV zur Erzeugung des vierten Mikrowellenmodulationssignals S5m_IV;
GA	Gate GA;
GH	Gehäuse, insbesondere des Stators des Motors im zweiten Ausführungsbeispiel eines Motors;
GHR	Rotorgehäuse;
GH	Sensorkopfgehäuse GH. Das Sensorkopfgehäuse GH des Sensorkopfes SK kann beispielsweise mittels 3D-Druck, beispielsweise mittels FDM oder SLS-Druck hergestellt werden. Bevorzugt ist das Material des Sensorkopfgehäuses zumindest in der Nähe des Sensorelements SE nicht ferromagnetisch ($\mu_t < 1$). Bevorzugt ist das Material des Sensorkopfgehäuses diamagnetisch;

GND	Bezugspotenzial;
GOX	Gate-Oxid GOX;
H	magnetische Erregung;
HB	Halbbrücken HB;
HSL	Halbbrückensteuerleitungen HSL;
I _{MPHU}	Motorphasenstrom der U-Motorphase MPH _u ;
I _{MPHV}	Motorphasenstrom der V-Motorphase MPH _v ;
I _{MPHW}	Motorphasenstrom der W-Motorphase MPH _w ;
JTAG	IEEE 1149 JTAG-Test-Controller JTAG;
KI	Knick im Kanal KN des Sensorkopfgehäuses GH;
KL	kolloidaler Lack KL. Der kolleoidale Lack KL umfasst bevorzugt das Trägermaterial TM, beispielsweise den UV-härtbaren NOA 61 Kleber und die Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND. Ggf. kann der kolleoidale Lack KL zum Zeitpunkt der Verarbeitung ein Lösungsmittel LM zur Einstellung der Viskosität für den Belackungs- und/oder Druck- und/oder Dispensiervorgang umfassen;
KN	Kanal KN, durch den der Lichtwellenleiter LWL in das Sensorkopfgehäuse GH eingeführt ist;
L _B	Benetzungslänge;
LB	Pumpstrahlung LB. Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet die Pumpstrahlung LB auch mit dem Bezugszeichen 13. Bei der Pumpstrahlung LB (13) kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch eine vektorielle Pumpstrahlung LB handeln, die eine Mehrzahl von Pumpstrahlungskomponenten (LB ₁ , LB ₂ , LB ₃ , LB ₄ , LB ₅) umfassen kann;
LB ₁	Pumpstrahlung LB ₁ der Lichtquelle LED ₁ (Pumpstrahlungsquelle) für das linke Sensorelement SE(1410);
LB ₂	Pumpstrahlung LB ₂ der Lichtquelle LED ₂ (Pumpstrahlungsquelle) für das mittlere Sensorelement SE(1420);
LB ₃	Pumpstrahlung LB ₃ der Lichtquelle LED ₃ (Pumpstrahlungsquelle) für das rechte Sensorelement SE(1430);
LB ₄	Pumpstrahlung LB ₄ der Lichtquelle LED ₄ (Pumpstrahlungsquelle) für das linke Leitungssensorelement SE(7110);
LB ₅	Pumpstrahlung LB ₅ der Lichtquelle LED ₅ für das rechte Leitungssensorelement SE(7120); Leitungssensorelement SE(7120);
Lc	Magnetfelderzeugungsmittel Lc. Das Magnetfelderzeugungsmittel Lc. kann beispielsweise eine elektrische Spule, insbesondere eine elektrische Flachspule auf der Rückseite des Schaltungsträgers 1360 (PCB), sein. Bevorzugt versorgt eine Treiberstufe DRVL zur Versorgung des Magnetfelderzeugungsmittels Lc das Magnetfelderzeugungsmittel Lc mit elektrischer Energie. Im Falle einer Spule als Magnetfelderzeugungsmittel Lc bestromt Treiberstufe DRVL zur Versorgung des Magnetfelderzeugungsmittels Lc das Magnetfelderzeugungsmittel Lc mit einem elektrischen Strom. Das Magnetfelderzeugungsmittel Lc kann im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch einen Permanentmagneten PM mit einer Positionierungsvorrichtung PV umfassen, wobei dann die Treiberstufe DRVL vorzugsweise die Positionierungsvorrichtung PV des Permanentmagneten PM steuert. Je nach Positionierung des Permanentmagneten PM relativ zum Sensorelement SE durchflutet eine andere wirksame magnetische Flussdichte B _w das Sensorelement SE. Bevorzugt steuert der Magnetfeldregler LCTR die Treiberstufe DRVL. Bei dem Magnetfelderzeugungsmittel Lc kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch im ein vektorielles Magnetfelderzeugungsmittel Lc handeln, das eine Mehrzahl von Magnetfelderzeugungsmittelkomponenten (Lc ₁ , Lc ₂ , Lc ₃ , Lc ₄ , Lc ₅) umfassen kann;

- L_{c_1} erstes Magnetfelderzeugungsmittel L_{c_1} für das erste Sensorelement SE des ersten Sensorelementkanals. In dem Beispiel der Figur 141 ist das erste Magnetfelderzeugungsmittel L_{c_1} Teil des Magnetfelderzeugungsmittels L_c. Das hier vorgelegte Dokument verweist an dieser Stelle auf die Beschreibung des Magnetfelderzeugungsmittels L_c.
- L_{c_2} zweites Magnetfelderzeugungsmittel L_{c_2} für das zweite Sensorelement SE des zweiten Sensorelementkanals. In dem Beispiel der Figur 141 ist das zweite Magnetfelderzeugungsmittel L_{c_2} Teil des Magnetfelderzeugungsmittels L_c. Das hier vorgelegte Dokument verweist an dieser Stelle auf die Beschreibung des Magnetfelderzeugungsmittels L_c.
- L_{c_3} drittes Magnetfelderzeugungsmittel L_{c_3} für das dritte Sensorelement SE des dritten Sensorelementkanals. In dem Beispiel der Figur 141 ist das dritte Magnetfelderzeugungsmittel L_{c_3} Teil des Magnetfelderzeugungsmittels L_c. Das hier vorgelegte Dokument verweist an dieser Stelle auf die Beschreibung des Magnetfelderzeugungsmittels L_c.
- L_{c_4} viertes Magnetfelderzeugungsmittel L_{c_4} für das vierte Sensorelement SE des vierten Sensorelementkanals. In dem Beispiel der Figur 141 ist das vierte Magnetfelderzeugungsmittel L_{c_4} Teil des Magnetfelderzeugungsmittels L_c. Das hier vorgelegte Dokument verweist an dieser Stelle auf die Beschreibung des Magnetfelderzeugungsmittels L_c.
- L_{c_5} fünftes Magnetfelderzeugungsmittel L_{c_5} für das fünfte Sensorelement SE des fünften Sensorelementkanals. In dem Beispiel der Figur 141 ist das fünfte Magnetfelderzeugungsmittel L_{c_5} Teil des Magnetfelderzeugungsmittels L_c. Das hier vorgelegte Dokument verweist an dieser Stelle auf die Beschreibung des Magnetfelderzeugungsmittels L_c.
- LCTR Magnetfeldregler LCTR. Der Magnetfeldregler LCTR vergleicht vorzugsweise Werte der magnetischen Flussdichte B mit einem Referenzwert und regelt die Versorgung des Magnetfelderzeugungsmittels L_c mit elektrischer Energie und/oder die Bestromung des Magnetfelderzeugungsmittels L_c mit einem elektrischen Spulenstrom I_L so nach, dass diese Änderung einer Differenz zwischen den Werten der magnetischen Flussdichte B und dem Referenzwert entgegenwirkt. Der Magnetfeldregler LCTR erhält die Informationen über die Werte der magnetischen Flussdichte B entweder von separaten Magnetfeldsensoren und/oder von einer Steuervorrichtung CTR der vorschlagemäßigen Vorrichtung. Der Ein Magnetfeldregler LCTR kann beispielsweise in P-Regler und/oder ein PI-Regler und/oder ein PID-Regler oder dergleichen sein, wobei der Regler vorzugsweise in seiner Regelcharakteristik zumindest eine integrierende Eigenschaft aufweist. Der Magnetfeldregler LCTR erhält den Referenzwert vorzugsweise von einer Steuervorrichtung CTR der vorschlagemäßigen Vorrichtung oder durch konstruktive Maßnahmen oder dergleichen. Die Steuervorrichtung CTR kann ggf. den Magnetfeldregler LCTR emulieren;
- LDRV Lichtquellentreiber LDRV für die Lichtquelle LED (Pumpstrahlungsquelle). Bei dem Lichtquellentreiber LDRV für die Lichtquelle LED (Pumpstrahlungsquelle) kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch um einen vektoriellen Lichtquellentreiber LDRV für eine vektorielle Lichtquelle LED (Pumpstrahlungsquelle) handeln, der eine Mehrzahl von Lichtquellentreiberkomponenten (LDRV_1, LDRV_2, LDRV_3, LDRV_4, LDRV_5) umfassen kann;
- LDRV_1 Lichtquellentreiber LDRV_1 für die Lichtquelle LED_1 (Pumpstrahlungsquelle) für die Pumpstrahlung LB_1 für das linke Sensorelement SE(1410);
- LDRV_2 Lichtquellentreiber LDRV_2 für die Lichtquelle LED_2 (Pumpstrahlungsquelle) für die Pumpstrahlung LB_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420);
- LDRV_3 Lichtquellentreiber LDRV_3 für die Lichtquelle LED_3 (Pumpstrahlungsquelle) für die Pumpstrahlung LB_3 für das rechte Sensorelement SE(1430);
- LDRV_4 Lichtquellentreiber LDRV_4 für die Lichtquelle LED_4 (Pumpstrahlungsquelle) für die Pumpstrahlung LB_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110);

LDRV_5	Lichtquellentreiber LDRV_5 für die Lichtquelle LED_5 (Pumpstrahlungsquelle) für die Pumpstrahlung LB_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120);
LED	Lichtquelle LED (Pumpstrahlungsquelle). Bei der Lichtquelle LED (Pumpstrahlungsquelle) kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch eine vektorielle Lichtquelle LED (Pumpstrahlungsquelle) handeln, der eine Mehrzahl von Lichtquellenkomponenten (LED_1, LED_2, LED_3, LED_4, LED_5) umfassen kann;
LED_1	Lichtquelle LED_1 (Pumpstrahlungsquelle) für das linke Sensorelement SE(1410);
LED_2	Lichtquelle LED_2 (Pumpstrahlungsquelle) für das mittlere Sensorelement SE(1420);
LED_3	Lichtquelle LED_3 (Pumpstrahlungsquelle) für das rechte Sensorelement SE(1430);
LED_4	Lichtquelle LED_4 (Pumpstrahlungsquelle) für das linke Leitungssensorelement SE (7110);
LED_5	Lichtquelle LED_5 (Pumpstrahlungsquelle) für das rechte Leitungssensorelement SE (7120);
λ_B	Belichtungswellenlänge λ_B ;
λ_{fl}	Fluoreszenzstrahlungswellenlänge λ_{fl} ;
λ_H	Aushärtewellenlänge λ_H ;
λ_{pmp}	Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} ;
LIV	Mehrfachkorrelator LIV. Bei dem Mehrfachkorrelator LIV handelt es sich bevorzugt um einen Lock-In-Verstärker oder eine funktionsäquivalente Vorrichtung beispielsweise zur Abschätzung des Anteils eines vorbestimmten Sendesignals in einem Empfangssignal. Bei dem Mehrfachkorrelator LIV kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch im einen vektoriellen Mehrfachkorrelator LIV handeln, der eine Mehrzahl von Mehrfachkorrelatorkomponenten (LIV_1, LIV_2, LIV_3, LIV_4, LIV_5) umfassen kann;
LIV_1	Mehrfachkorrelator LIV_1 für das linke Sensorelement SE(1410);
LIV_2	Mehrfachkorrelator LIV_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420);
LIV_3	Mehrfachkorrelator LIV_3 für das rechte Sensorelement SE(1430);
LIV_4	Mehrfachkorrelator LIV_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110);
LIV_5	Mehrfachkorrelator LIV_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120);
LS	Luftspalt;
LST	Wert des fluoreszenzintensitätsbasierenden Filterausgangssignals S4 (in willkürlichen Einheiten);
LWL	Lichtwellenleiter LWL. Beispielsweise kann es sich um eine Glasfaser oder eine Glasplatte 46 oder eine optische Übertragungsstrecke handeln. Bei dem Lichtwellenleiter LWL kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch einen vektoriellen Lichtwellenleiter LWL (z.B. ein Lichtwellenleiterbündel oder eine Zusammenstellung von Lichtwellenleitern LWL) handeln, die eine Mehrzahl von Lichtwellenleiterkomponenten (LWL_1, LWL_2, LWL_3, LWL_4, LWL_5) umfassen kann;
LWL1	erster Lichtwellenleiter LWL1;
LWL2	zweiter Lichtwellenleiter LWL2;
LWLC	Kern (Englisch Core) des Lichtwellenleiters LWL;
LWLL	Lichtwellenleiterlinse;
λ_{fl}	Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} ;
λ_H	Aushärtewellenlänge λ_H ;
λ_{pmp}	Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} ;
M1	erster Multiplizierer M1 bzw. einfach nur Multiplizierer;

M2	zweiter Multiplizierer M2;
M2L	zweite Metalllage M2L;
MDS	Musterdatensatz MDS. Bevorzugt umfasst dieser Musterdatensatz MDS den Datensatz eines erkannten Musters und oder eine Merkmalsvektor für eine Mustererkennung die die Steuervorrichtung CTR mit Hilfe eines computerimplementierten Programms zur Mustererkennung oder dergleichen durchführt. Typischerweise handelt es sich um den Wert der erkannten Gesamtflussdichte B_z . Typischerweise umfasst dieser Datensatz auch den Messfehlerwert, mit dem dieser Wert der erkannten Gesamtflussdichte B_z behaftet ist;
ME	optionale mechanische Hülle ME und/oder optische Abschirmung ME;
ME_1	optionale mechanische Hülle ME_1 und/oder optische Abschirmung ME_1 für das linke Sensorelement SE(1410);
ME_2	optionale mechanische Hülle ME_2 und/oder optische Abschirmung ME_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420);
ME_3	optionale mechanische Hülle ME_3 und/oder optische Abschirmung ME_3 für das rechte Sensorelement SE(1430);
MESA	MESA-Struktur MESA;
MEV	Mustererkennungsvorrichtung MEV;
MH	mechanische Hülle;
MIX	Mischer MIX;
ML	Mittellinie des Lichtwellenleiters LWL (Es handelt sich um eine virtuelle Linie);
MP	Mittelpunkt der Endfläche EF des ersten Endes ELWL1 des Lichtwellenleiters LWL;
MPH	Motorphasen;
MPHu	U-Motorphase;
MPHv	V-Motorphase;
MPHw	W-Motorphase;
MRK	Markierung auf dem Rotorgehäuse GHR;
MS	Magnetfeldsensor MS;
μW	Mikrowellensignal μW ;
μW_I	erstes Mikrowellensignal μW_I ;
μW_{II}	zweites Mikrowellensignal μW_{II} ;
μW_{III}	drittes Mikrowellensignal μW_{III} ;
μW_{IV}	viertes Mikrowellensignal μW_{IV} ;
μWG_{F_I}	erstes Mikrowellenfilter μWG_{F_I} ;
$\mu WG_{F_{II}}$	erstes Mikrowellenfilter $\mu WG_{F_{II}}$;
$\mu WG_{F_{III}}$	erstes Mikrowellenfilter $\mu WG_{F_{III}}$;
$\mu WG_{F_{IV}}$	erstes Mikrowellenfilter $\mu WG_{F_{IV}}$;
μW_{G_I}	erstes internes Mikrowellensignal μW_{G_I} ;
$\mu W_{G_{II}}$	zweites internes Mikrowellensignal $\mu W_{G_{II}}$;
$\mu W_{G_{III}}$	drittes internes Mikrowellensignal $\mu W_{G_{III}}$;
$\mu W_{G_{IV}}$	viertes internes Mikrowellensignal $\mu W_{G_{IV}}$;
μW_{MX_I}	erstes Mikrowellenmischsignal μW_{MX_I} ;
$\mu W_{MX_{II}}$	zweites Mikrowellenmischsignal $\mu W_{MX_{II}}$;

μW_{MX_III}	drittes Mikrowellenmischsignal μW_{MX_III} ;
μW_{MX_IV}	viertes Mikrowellenmischsignal μW_{MX_IV} ;
μWAR	Transmissions-Mikrowellensignalanalysator μWAR für die Erfassung des durch die mit dem Sensorelement SE bedeckte Strecke 15740 des Welleneiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) durch Wechselwirkung mit dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE und durch die Wechselwirkung mit den NV-Zentren NVZ und/oder paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamanten DM innerhalb des Trägermaterials TM des Sensorelements SE deformierten und reflektierten Mikrowellensignals μWR des Mikrowellensignals μW .
μWAT	Reflektions-Mikrowellensignalanalysator μWAT für die Erfassung des durch die mit dem Sensorelement SE bedeckte Strecke 15740 des Welleneiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) durch Wechselwirkung mit dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE und durch die Wechselwirkung mit den NV-Zentren NVZ und/oder paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamanten DM innerhalb des Trägermaterials TM des Sensorelements SE deformierten und transmittierten Mikrowellensignals μWT des Mikrowellensignals μW .
μWC	Mikrowellen-Richtkoppler zum Einspeisen des Mikrowellensignals μW in den Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) und zum Auskoppeln des reflektierten Mikrowellensignals μWR für die Analyse durch den Reflexions-Mikrowellenanalysator μWAR .
μWG	Mikrowellensignalquelle μWG ;
μWG_I	erste Mikrowellensignalquelle μWG_I ;
μWG_II	zweite Mikrowellensignalquelle μWG_II ;
μWG_III	dritte Mikrowellensignalquelle μWG_III ;
μWG_IV	vierte Mikrowellensignalquelle μWG_IV ;
μWG_MX_I	erster interner Mixer μW_G_I ;
μWG_MX_II	zweiter interner Mixer μW_G_II ;
μWG_MX_III	dritter interner Mixer μW_G_III ;
μWG_MX_IV	vierter interner Mixer μW_G_IV ;
μWR	reflektiertes Mikrowellensignal μWR des Mikrowellensignals μW , das durch Wechselwirkung mit dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE und durch die Wechselwirkung mit den NV-Zentren NVZ und/oder paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamanten DM innerhalb des Trägermaterials TM des Sensorelements SE in der mit dem Sensorelement SE bedeckte Strecke 15740 des Welleneiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) deformiert und reflektiert wird;
μWT	transmittiertes Mikrowellensignal μWT des Mikrowellensignals μW , das durch Wechselwirkung mit dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE und durch die Wechselwirkung mit den NV-Zentren NVZ und/oder paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamanten DM innerhalb des Trägermaterials TM des Sensorelements SE in der mit dem Sensorelement SE bedeckte Strecke 15740 des Welleneiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) deformiert und durch diese hindurch transmittiert wird;

ND	Diamant-Nano-Kristalle ND. Das hier vorgelegte Dokument bezeichnet mit dem Bezugszeichen ND nicht nur Diamanten DM, sondern ganz allgemein Kristalle, die paramagnetische Zentren aufweise können. Gleichwohl sind Diamantkristalle DM als Diamant-Nano-Kristalle ND bevorzugt. Als paramagnetische Zentren sind NV-Zentren in Diamant bevorzugt. Die kleinen stochastisch gleichverteilten Diamant-Nano-Kristalle ND im Material des Trägermaterials TM der kolloidalen Mischung KL sind in einigen Figuren zur Verdeutlichung angedeutet. Bevorzugt sind die Diamant-Nano-Kristalle ND Kristalle, vorzugsweise Diamantkristalle, mit einer Größe kleiner $10\mu\text{m}$, besser kleiner $5\mu\text{m}$, besser kleiner $2\mu\text{m}$, besser kleiner $1\mu\text{m}$, besser kleiner $0,5\mu\text{m}$, besser kleiner $0,2\mu\text{m}$, besser, kleiner $0,1\mu\text{m}$, kleiner 50nm , kleiner 20nm , , kleiner 10nm . Besonders bevorzugt sind Größen über 100nm , da Größen kleiner 100nm spezielle Oberflächeneffekte zwischen den paramagnetischen Zentren, insbesondere NV-Zentren und der jeweiligen Kristalloberfläche des betreffenden Diamant-Nano-Kristalls ND bzw. Kristalls hervorrufen können. Bevorzugt umfassen eine Vielzahl dieser Diamant-Nano-Kristalle ND bzw. Kristalle ein oder mehrere NV-Zentren in Diamant, die dann die Fluoreszenzstrahlung FL bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB erzeugen.;
NVM	nicht flüchtiger Speicher NVM;
NVZ	NV-Zentren;
NW	N-Wanne NW;
OF	Öffnung
KE	Kern;
KN	Kanal im Gehäuse GH bzw. Sensorkopfgehäuse GH für die Zuführung des Lichtwellenleiters LWL und/oder optisches Fenster im Gehäuse bzw. Sensorkopfgehäuse GH;
OE	Öffnung für den Lichtwellenleiter LWL in der ferromagnetischen Stütze ST des zweiten Anwendungsbeispiels;
OF	Oberfläche des Werkstücks, beispielsweise die Oberfläche eines ferromagnetischen Materials FMM, des ersten Anwendungsbeispiels;
OFF1	Offset-Addition;
oMS1	erste obere Metallblende oMS1 des ersten Lichtwellenleiters LWL1 nach oben zur Oberfläche des Trägersubstrats 1360. Es handelt sich um eine optische Abschirmung ME;
oMS2	zweite obere Metallblende oMS2 des zweiten Lichtwellenleiters LWL2 nach oben zur Oberfläche des Trägersubstrats 1360. Es handelt sich um eine optische Abschirmung ME;
$\omega_{\mu W}$	Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W}$;
$\omega_{\mu W0}$	Nullpunktmikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W0}$;
$\omega_{\mu W22}$	untere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W22}$;
$\omega_{\mu W23}$	untere mittlere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W23}$;
$\omega_{\mu W24}$	obere mittlere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W24}$;
$\omega_{\mu W25}$	obere Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W25}$;
$\omega_{\mu W29}$	Resonanzminimum-Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu W29}$;
$\omega_{\mu Wnk}$	unbekannte Mikrowellenfrequenz $\omega_{\mu Wnk}$;
φ_{MPHu}	Stromwinkel deskomplexen Stromvektors des Motorphasenstroms I_{MPHu} der Motorphase MPHu;
φ_{MPHv}	Stromwinkel deskomplexen Stromvektors des Motorphasenstroms I_{MPHv} der Motorphase MPHv;
φ_{MPHw}	Stromwinkel deskomplexen Stromvektors des Motorphasenstroms I_{MPHw} der Motorphase MPHw;

PD	Fotodetektor PD. Bei dem Fotodetektor PD kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch im einen vektoriellen Fotodetektor PD handeln, der eine Mehrzahl von Fotodetektorkomponenten (PD_1, PD_2, PD_3, PD_4, PD_5) umfassen kann;
PD_1	Fotodetektor PD_1 für das linke Sensorelement SE(1410);
PD_2	Fotodetektor PD_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420);
PD_3	Fotodetektor PD_3 für das rechte Sensorelement SE(1430);
PD_4	Fotodetektor PD_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110);
PD_5	Fotodetektor PD_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120);
PL	Pumpstrahlungsquelle PL, auch mit dem Bezugszeichen 2 als Lichtquelle 2 bezeichnet;
PM	Permanentmagnet PM. Bevorzugt ist in dem ersten Anwendungsbeispiel des Sensorkopfes SK der Permanentmagnet PM röhrenförmig mit einer Permanentmagnetsymmetrieachse AX ausgeführt. Sofern in diesem ersten Anwendungsbeispiel das Sensorelement SE sich auf dieser Symmetrieachse AX befindet, ist die horizontale Komponente der magnetischen Flussdichte B in etwa 0 T. In dem hier vorgestellten ersten Anwendungsbeispiel dient der Permanentmagnet PM zur Bereitstellung der magnetischen Erregung H des magnetischen Kreises des Sensorkopfes SK im Zusammenwirken mit dem Material des Werkstücks in der Nähe der Oberfläche OF des Werkstücks und in der Nähe des Sensorelements SE. Statt eines Permanentmagneten PM kann in dem ersten Anwendungsbeispiel auch eine stromdurchflossene Spule oder dergleichen hier eingesetzt werden. Auch sind kompliziertere magnetische Kreise mit mehr als einer Quelle magnetischer Erregung in dem ersten Anwendungsbeispiel zu dem gleichen Zweck denkbar. Beispielsweise kann der Sensorkopf SK in dem ersten Anwendungsbeispiel auch eine Kombination aus einem der mehreren Permanentmagneten mit einer oder mehreren Spulen als Quelle der magnetischen Erregung H aufweisen. Beispielsweise kann der Sensorkopf SK in dem ersten Anwendungsbeispiel auch einer oder mehrere Spulen als Quelle der magnetischen Erregung H aufweisen. Der Begriff Permanentmagnet steht im Sinne des hier vorgelegten Dokuments für eine beliebig strukturierte Quelle magnetischer Erregung H. Ein einzelner Permanentmagnet ist in dem ersten Anwendungsbeispiel jedoch ausdrücklich besonders bevorzugt. In dem zweiten Anwendungsbeispiel kann es sich um einen Permanentmagneten des Motors, also beispielsweise des Rotors oder des Stators handeln. In dem dritten Anwendungsbeispiel einer Magnetkamera kann der Permanentmagnet PM als Hilfsmagnet 19 für die magnetische Erregung H des zu prüfenden Messobjekts sorgen. Im Falle des vierten Anwendungsbeispiels eines Mikrowellenspektrometers kann der Permanentmagnet als Gradienten behafteter Permanentmagnet GPM für eine unterschiedliche Aufspaltung der unteren Resonanzkante 522 und der oberen Resonanzkante 525 sorgen. Ein Permanentmagnet PM kann beispielsweise als Magnetfelderzeugungsmittel Lc verwendet werden;
POS	Positionsdetektor;
POSS	Positionssignal;
POSSW	Wert des Positionssignals POSS in willkürlichen Einheiten;
RAM	Speicher RAM, insbesondere flüchtiger Speicher;
RFG	Radiowellenquelle (RF-Quelle) RFG;
RFAR	Transmissions-HF-Signalanalysator RFAR für die Erfassung des durch die mit dem Sensorelement SE bedeckte Strecke 15740 des Welleneiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) durch Wechselwirkung mit dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE und durch die Wechselwirkung mit den NV-Zentren NVZ und/oder paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamanten DM innerhalb des Trägermaterials TM des Sensorelements SE in der mit dem Sensorelement SE bedeckte Strecke 15740 des Welleneiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) deformierten und reflektierten HF-Signals RWR des HF-Signals RW.

RFAT	Reflexions-HF-Signalanalysator RFAT für die Erfassung des durch die mit dem Sensorelement SE bedeckte Strecke 15740 des Welleneiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) durch Wechselwirkung mit dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE und durch die Wechselwirkung mit den NV-Zentren NVZ und/oder paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamanten DM innerhalb des Trägermaterials TM des Sensorelements SE in der mit dem Sensorelement SE bedeckte Strecke 15740 des Welleneiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) deformierten und transmittierten HF-Signals RWT des HF-Signals RW.
RMK	magnetischer Rotorkreis RMK;
RI	Störung im ferromagnetischen Material FMM. Bei einer solchen Störung kann es sich um eine Änderung der Zusammensetzung handeln, die die magnetischen Eigenschaften des ferromagnetischen Materials FM lokal ändert. Beispielsweise kann es sich um einen Riss oder einen Lunker oder eine Bohrung oder eine Vertiefung oder um eine Dicken-schwankung oder eine Modulation eines Formfaktors wie Dicke, Breite oder dergleichen handeln;
RW	Radiowellensignal RW;
RWC	Mikrowellen-Richtkoppler zum Einspeisen des HF-Signals RW in den Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) und zum Auskoppeln des reflektierten HF-Signals RWR für die Analyse durch den Reflexions-HF-Signalanalysator μ WAR.
RWR	reflektiertes HF-Signal RWR des HF-Signals RW, das durch Wechselwirkung mit dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE und durch die Wechselwirkung mit den NV-Zentren NVZ und/oder paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamanten DM innerhalb des Trägermaterials TM des Sensorelements SE in der mit dem Sensorelement SE bedeckte Strecke 15740 des Welleneiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) deformiert und reflektiert wird;
RWT	transmittiertes HF-Signal RWT des HF-Signals RW, das durch Wechselwirkung mit dem Trägermaterial TM des Sensorelements SE und durch die Wechselwirkung mit den NV-Zentren NVZ und/oder paramagnetischen Zentren der Kristalle und/oder Diamanten DM innerhalb des Trägermaterials TM des Sensorelements SE in der mit dem Sensorelement SE bedeckte Strecke 15740 des Welleneiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6990) deformiert und durch diese hindurch transmittiert wird;
S0	Empfängerausgangssignal S0. Bei dem Empfängerausgangssignal S0 kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch im ein vektorielles Empfängerausgangssignal S0 handeln, das eine Mehrzahl von Empfängerausgangssignalkomponente (S0_1, S0_2, S0_3, S0_4, S0_5) umfassen kann;
S0_1	Empfängerausgangssignal S0_1 für das linke Sensorelement SE(1410). Das Empfängerausgangssignal S0_1 für das linke Sensorelement SE(1410) stellt bevorzugt eine Empfängerausgangssignalkomponente des vektorielles Empfängerausgangssignals S0 dar;
S0_2	Empfängerausgangssignal S0_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420);
S0_3	Empfängerausgangssignal S0_3 für das rechte Sensorelement SE(1430);
S0_4	Empfängerausgangssignal S0_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110);
S0_5	Empfängerausgangssignal S0_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120);
S1	verstärktes Empfängerausgangssignal S1 bzw. digitalisiertes Empfängerausgangssignal S1. Bei dem verstärktes Empfängerausgangssignal S1 bzw. digitalisiertes Empfängerausgangssignal S1 kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch im ein vektorielles verstärktes Empfängerausgangssignal S1 bzw. ein vektorielles digitalisiertes Empfängerausgangssignal S1 handeln, das eine Mehrzahl von verstärkten Empfängerausgangssignalkomponente (S1_1, S1_2, S1_3, S1_4, S1_5) umfassen kann;
S1_1	verstärktes Empfängerausgangssignal S1_1 für das linke Sensorelement SE(1410) bzw. digitalisiertes Empfängerausgangssignal S1_1 für das linke Sensorelement SE(1410);
S1_2	verstärktes Empfängerausgangssignal S1_2 für das linke Sensorelement SE(1420) bzw. digitalisiertes Empfängerausgangssignal S1_2 für das linke Sensorelement SE(1410);

S1_3	verstärktes Empfänger Ausgangssignal S1_3 für das linke Sensorelement SE(1430) bzw. digitalisiertes Empfänger Ausgangssignal S1_3 für das linke Sensorelement SE(1430);
S1_4	verstärktes Empfänger Ausgangssignal S1_4 für das linke Leitungssensorelement SE (7110) bzw. digitalisiertes Empfänger Ausgangssignal S1_3 für das linke Leitungssensorelement SE(7110);
S1_5	verstärktes Empfänger Ausgangssignal S1_5 für das rechte Leitungssensorelement SE (7120) bzw. digitalisiertes Empfänger Ausgangssignal S1_3 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120);
S3	Filtereingangssignal;
S3a	erstes Zwischensignal S3a des L3-Produkts des Mehrfachkorrelators LIV;
S3b	zweites Zwischensignal S3b des L3-Produkts des Mehrfachkorrelators LIV;
S4	Filterausgangssignal S4 auch als Flussdichtemesssignal im Falle der Verwendung als Magnetometer bezeichnet. Bei dem Filterausgangssignal S4 kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch um ein vektorielles Filterausgangssignal S4 handeln, das eine Mehrzahl von Filterausgangssignalkomponente (S4_1, S4_2, S4_3, S4_4, S4_5) umfassen kann;
S4_1	Filterausgangssignal S4_1 für das linke Sensorelement SE(1410);
S4_2	Filterausgangssignal S4_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420);
S4_3	Filterausgangssignal S4_3 für das rechte Sensorelement SE(1430);
S4_4	Filterausgangssignal S4_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110);
S4_5	Filterausgangssignal S4_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120);
S5	Sendesignal S5. Bei dem Sendesignal S5 kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch um ein vektorielles Sendesignal S5 handeln, das eine Mehrzahl von Sendesignalkomponente (S5_1, S5_2, S5_3, S5_4, S5_5) umfassen kann;
S5	Sendesignal S5 zur Modulation der Lichtquelle LED (Pumpstrahlungsquelle der Pumpstrahlung LB);
S5_1	Sendesignal S5_1 für das linke Sensorelement SE(1410) zur Modulation der Lichtquelle LED_1 für das linke Sensorelement SE(1410) (Pumpstrahlungsquelle der Pumpstrahlung LB_1 für das linke Sensorelement SE(1410));
S5_2	Sendesignal S5_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420) zur Modulation der Lichtquelle LED_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420) (Pumpstrahlungsquelle der Pumpstrahlung LB_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420));
S5_3	Sendesignal S5_3 für das rechte Sensorelement SE(1430) zur Modulation der Lichtquelle LED_3 für das rechte Sensorelement SE(1430) (Pumpstrahlungsquelle der Pumpstrahlung LB_3 für das rechte Sensorelement SE(1430));
S5_4	Sendesignal S5_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110) zur Modulation der Lichtquelle LED_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110) (Pumpstrahlungsquelle der Pumpstrahlung LB_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110));
S5_5	Sendesignal S5_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120) zur Modulation der Lichtquelle LED_5 für das rechte linke Leitungssensorelement SE(7120) (Pumpstrahlungsquelle der Pumpstrahlung LB_5 für das rechte linke Leitungssensorelement SE (7120));
S5m	Mikrowellenmodulationssignal S5m;
S5mq	invertiertes Mikrowellenmodulationssignal S5mq;
S5w	LED-Modulationssignal S5w, auch als Sendevorsignal bezeichnet. Bei dem LED-Modulationssignal S5w kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch um ein vektorielles LED-Modulationssignal S5w handeln, das eine Mehrzahl von LED-Modulationssignalkomponente (S5w_1, S5w_2, S5w_3, S5w_4, S5w_5) umfassen kann;

S5w_1	LED-Modulationssignal S5w1 für das linke Sensorelement SE(1410) zur Modulation der Lichtquelle LED_1 für das linke Sensorelement SE(1410) (Pumpstrahlungsquelle der Pumpstrahlung LB_1 für das linke Sensorelement SE(1410));
S5w_2	LED-Modulationssignal S5w2 für das mittlere Sensorelement SE(1420) zur Modulation der Lichtquelle LED_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420) (Pumpstrahlungsquelle der Pumpstrahlung LB_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420));
S5w_3	LED-Modulationssignal S5w3 für das rechte Sensorelement SE(1430) zur Modulation der Lichtquelle LED_3 für das rechte Sensorelement SE(1430) (Pumpstrahlungsquelle der Pumpstrahlung LB_3 für das rechte Sensorelement SE(1430));
S5w_4	LED-Modulationssignal S5w4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110) zur Modulation der Lichtquelle LED_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110) (Pumpstrahlungsquelle der Pumpstrahlung LB_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110));
S5w_5	LED-Modulationssignal S5w5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120) zur Modulation der Lichtquelle LED_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120) (Pumpstrahlungsquelle der Pumpstrahlung LB_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120));
S5wq	invertiertes LED-Modulationssignal S5wq;
SCHR	Schraube. Das Sensorkopfgehäuse GH weist im ersten Anwendungsbeispiel zur Aufnahme der Schraube vorzugsweise ein Gewinde für eine Madenschraube zur Fixierung des Lichtwellenleiters LWL auf;
SE	Sensorelement SE. Bevorzugt umfasst das Sensorelement SE eine Vielzahl von Nanodiamanten bzw. Diamanten DM, die unterschiedlich orientiert sind und bevorzugt eine Vielzahl von NV-Zentren NVZ aufweisen. Bevorzugt umfasst das Sensorelement SE eine Vielzahl von Kristallen, die unterschiedlich orientiert sind und bevorzugt eine Vielzahl von NV-Zentren NVZ und/oder paramagnetischer Zentren aufweisen. Bevorzugt ist im Falle des ersten Anwendungsbeispiels eines Sensorkopfes SK das Sensorelement SE mit den Diamanten DM bzw. Nanodiamanten und/oder den Kristallen mit paramagnetischen Zentren mittig unter dem Permanentmagneten PM und möglichst nah am Prüfobjekt, hier im ersten Anwendungsbeispiel eines Sensorkopfes SK dem beispielhaften Werkstück mit dem ferromagnetischen Material FMM, platziert. Im Falle des zweiten Anwendungsbeispiels eines Motors ist das Sensorelement vorzugsweise innerhalb der Luftspalts LS des Motors oder in dessen Streufeld positioniert. Im Falle des dritten Anwendungsbeispiels einer Magnetfeldkamera umfasst das Sensorelement SE vorzugsweise eine Sensorschicht 5. Im Falle des vierten Anwendungsbeispiels einer Wellenleitung (1380, 1880, 2380 6830, 6980) befindet sich das Sensorelement vorzugsweise in der Nähe einer Leitung (1310, 1320, 1330, 6810, 6820) der jeweiligen Wellenleitung und/oder in einer Clearance (1340, 1350, 1840, 2340, 2350, 6840) einer jeweiligen Wellenleitung. Das Sensorelement SE umfasst typischerweise die Nano-Diamant-Kristalle ND und ein typischerweise verfestigtes Trägermittel TE. Die hier vorgelegte Schrift beschreibt verschiedene Sensorelemente SE, insbesondere die Sensorelemente 1410, 1420, 1430, 1710, 2210, 2410, 2420, 2430, 4410, 7115, 7125, 1735, 7110 und 7120, 13310 die sich nach Ausdehnung und Lage gegenüber den Leitungen unterscheiden;
SIS	Magnetfeldsensoransteuerung SIS;
SK	Sensorkopf;
SL	Wicklungen einer Stator-Spule;
SMK	magnetischer Stator-Kreis;
Sr	Source-Gebiet Sr;
SrK	Source-Kontakt SrK;
ST	ferromagnetische Stütze;
TB	Datenschnittstelle des IEEE JTAG-Test-Controllers JTAG und JTAG-Testdatenbus;

TM	Trägermaterial TM. Das Trägermaterial TM der kolloidalen Mischung KL ist vorzugsweise zu Beginn der Verarbeitung flüssig und wird im Rahmen der Verarbeitung, beispielsweise durch Bestrahlung mit einer Aushärtestrahlung 4910 einer Aushärtewellenlänge λ_H verfestigt. Vorzugsweise ist das Trägermaterial TM nach der Verfestigung optisch transparent für elektromagnetische Strahlung mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} und der Fluoreszenzwellenlänge λ_f der paramagnetischen Zentren der eingebetteten Kristalle und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND, hier bevorzugt der NV-Zentren;
t	Zeit;
T	Periodendauer der Motorströme (I_{MPHU} , I_{MPHV} , I_{MPHW});
TM	Trägermaterial;
TP	Tiefpass;
TP	Tiefpassfilter bzw. Filter mit Tiefpasseigenschaften;
uMS1	erste untere Metallblende uMS1
uMS2	zweite untere Metallblende uMS2
v	Vorschubgeschwindigkeit;
V1	erster Verstärker V1 oder nur Verstärker in diesem Dokument. Bei dem Verstärker V1 kann es sich im Sinne des hier vorgelegten Dokuments auch um einen vektoriellen Verstärker V1 handeln, das eine Mehrzahl von Verstärkerkomponente (V1_1, V1_2, V1_3, V1_4, V1_5) umfassen kann;
V1_1	erster Verstärker V1_1 für das linke Sensorelement SE(1410) zur Verstärkung und/oder Digitalisierung des Empfangssignals S0_1 für das linke Sensorelement SE(1410) zum verstärkten Empfängerausgangssignal S1_1 für das linke Sensorelement SE(1410) bzw. zum digitalisierten Empfängerausgangssignal S1_1 für das linke Sensorelement SE(1410);
V1_2	erster Verstärker V1_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420) zur Verstärkung und/oder Digitalisierung des Empfangssignals S0_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420) zum verstärkten Empfängerausgangssignal S1_2 für das mittlere Sensorelement SE(1420) bzw. zum digitalisierten Empfängerausgangssignal S1_2 für das linke Sensorelement SE(1420);
V1_3	erster Verstärker V1_3 für das rechte Sensorelement SE(1430) zur Verstärkung und/oder Digitalisierung des Empfangssignals S0_3 für das rechte Sensorelement SE(1430) zum verstärkten Empfängerausgangssignal S1_3 für das rechte Sensorelement SE(1430) bzw. zum digitalisierten Empfängerausgangssignal S1_3 für das rechte Sensorelement SE(1430);
V1_4	erster Verstärker V1_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110) Verstärkung und/oder Digitalisierung des Empfangssignals S0_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110) zum verstärkten Empfängerausgangssignal S1_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110) bzw. zum digitalisierten Empfängerausgangssignal S1_4 für das linke Leitungssensorelement SE(7110)
V1_5	erster Verstärker V1_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120) zur Verstärkung und/oder Digitalisierung des Empfangssignals S0_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120) zum verstärkten Empfängerausgangssignal S1_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120) bzw. zum digitalisierten Empfängerausgangssignal S1_5 für das rechte Leitungssensorelement SE(7120);
VDD	Versorgungsspannung;
V_{MPHU}	Motorphasenspannung der U-Motorphase MPH _U bezogen auf das Bezugspotenzial GND;
V_{MPHV}	Motorphasenspannung der V-Motorphase MPH _V bezogen auf das Bezugspotenzial GND;

V_{MPHW}	Motorphasenspannung der W-Motorphase MPHw bezogen auf das Bezugspotenzial GND;
VT	Vertiefung VT des Sensorkopfes SK z.B. für einen Führungsfinger einer Hand;

Glossar

Diamant-Nano-Kristalle ND

[1429] Bevorzugt verwendet die hier vorgestellte technische Lehre HD-NV-Diamanten als Diamant-Nano-Kristalle ND bzw. Kristalle der Sensorelemente SE bzw. der Sensorelementschichten 5. Das hier vorgelegte Dokument weist in diesem Zusammenhang auf die Schrift DE 10 2020 109 477 A1 hin.

[1430] Ein HD-NV-Diamant ist im Sinne der hier vorgelegten Schrift ein Kristall mit einer besonders hohen Dichte an paramagnetischen Zentren. Durch diese hohe Dichte an paramagnetischen Zentren zeigen die Fluoreszenzintensitätskurve und/oder die Fluoreszenzverzögerungskurve Fluoreszenzmerkmale, die Kopplungen dieser paramagnetischen Zentren mit anderen Kristallstrukturelementen verursachen. Solche andere Kristallstrukturelemente können beispielsweise sein:

- i. Andere zum ankoppelnden paramagnetischen Zentrum gleich ausgerichtete paramagnetische Zentren gleicher Art, also beispielsweise die Kopplung eines NV-Zentrums an ein gleichausgerichtetes NV-Zentrum in Diamant;
- ii. Andere zum ankoppelnden paramagnetischen Zentrum nicht gleich ausgerichtete paramagnetische Zentren gleicher Art, also beispielsweise die Kopplung eines NV-Zentrums an ein nicht gleichausgerichtetes NV-Zentrum in Diamant;
- iii. Andere zum ankoppelnden paramagnetischen Zentrum gleich ausgerichtete paramagnetische Zentren anderer Art, also beispielsweise die Kopplung eines SiV-Zentrums und/oder TiV-Zentrums und/oder GeV-Zentrums und/oder SnV-Zentrums und/oder NiN4-Zentrums und/oder PbV-Zentrums und/oder ST1-Zentrums an ein gleichausgerichtetes NV-Zentrum in Diamant;
- iv. Andere zum ankoppelnden paramagnetischen Zentrum nicht gleich ausgerichtete paramagnetische Zentren anderer Art, also beispielsweise die Kopplung eines SiV-Zentrums und/oder TiV-Zentrums und/oder GeV-Zentrums und/oder SnV-Zentrums und/oder NiN4-Zentrums und/oder PbV-Zentrums und/oder ST1-Zentrums an ein nicht gleichausgerichtetes NV-Zentrum in Diamant;
- v. Nukleare Spins mit magnetischem Moment von Isotopen mit einem solchen Spin, die an das ankoppelnde paramagnetischen Zentrum koppeln und die Teil des paramagnetischen Zentrums sind, also beispielsweise die Kopplung eines NV-Zentrums an ein den Kern des Stickstoffs im NV-Zentrum;
- vi. Nukleare Spins mit magnetischem Moment von Isotopen mit einem solchen Spin, die an das ankoppelnde paramagnetischen Zentrum koppeln und die nicht Teil des paramagnetischen Zentrums sind, also beispielsweise die Kopplung eines NV-Zentrums an ein den Kern eines ^{13}C -Isotops im Umfeld eines NV-Zentrums.

[1431] Die hohe Dichte an paramagnetischen Zentren einer Art, beispielsweise von NV-Zentren in Diamant als Kristall, erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass der Abstand eines paramagnetischen Zentrums zu einem solchen anderen Kristallstrukturelement so gering ist, dass eine der oben angegebenen Kopplungen möglich wird. Dies hat zur Folge, dass die Fluoreszenzmerkmale, die eine solche Kopplung zwischen einem paramagnetischen Zentrum und einem anderen Kristallstrukturelement anzeigen, in der Fluoreszenzintensitätskurve bzw. der Fluoreszenzverzögerungskurve des Kristalls stärker ausgeprägt sind. Auf einen Diamanten mit einer hohen Dichte an NV-Zentren bedeutet dies, dass die Fluoreszenzmerkmale, die eine solche Kopplung zwischen einem NV-Zentrum und einem anderen Kristallstrukturelement anzeigen, in der Fluoreszenzintensitätskurve bzw. der Fluoreszenzverzögerungskurve des Diamanten stärker ausgeprägt sind.

[1432] Ein Merkmal, das beispielsweise für einen HD-NV-Diamanten kennzeichnend ist, ist die Kopplung eines NV-Zentrums an ein anderes NV-Zentrum. Ein solcher Diamant umfasst also ein NV-Zentren-Paar zweier gekoppelter und äquivalenter NV-Zentren. Entsprechend dem Inhalt der hier vorgelegten Schrift ist dieser Diamant (HDNV) dann bevorzugt für die Verwendung in einer quantentechnologischen Vorrichtung und/oder in einem quantentechnologischen Verfahren bestimmt. Der HD-NV-Diamant kann sich dann beispielsweise dadurch auszeichnen, dass die Intensitätswertkurve der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL des NV-Zentren-Paares bei Bestrahlung mit einer Pumpstrahlung LB mit einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) in Abhängigkeit vom Wert der magnetischen Flussdichte (B) eines zum Diamanten (HDNV)

externen magnetischen Feldes einen typischen Intensitätsabfall (englisch: Dip) des Fluoreszenzintensitätswerts der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL und/oder einen typischen Verzögerungsanstieg des Fluoreszenzverzögerungswerts von mehr als 0,01% und/oder von mehr als 0,02% und/oder von mehr als 0,05% und/oder von mehr als 0,1% und/oder von mehr als 0,2% und/oder von mehr als 0,5% und/oder 1% und/oder von mehr als 2% und/oder von mehr als 5% bei einer auf den Diamanten einwirkenden externen magnetischen Flussdichte (B) von etwa 34,0mT ($E_{34.0,0}$) zeigt, der auf eine NV-NV-Wechselwirkung äquivalenter Päre von NV-Zentren und damit einen geringen mittleren Abstand zwischen den äquivalenten NV-Zentren hinweist.

An dieser Stelle weist die hier vorgelegte Schrift darauf hin, dass in der Regel Diamanten eine extrem hohe Dichte an P1-Zentren aufweisen. Daher führt eine Erhöhung der NV-Zentrendichte in der Regel nicht zu einer Veränderung des Fluoreszenzmerkmals, das auf eine NV/P1-Kopplung hinweist.

Die Größe der Diamant-Nano-Kristalle ND ist bevorzugt kleiner 1mm, besser kleiner 500 μm , besser kleiner 200 μm , besser kleiner 100 μm , besser kleiner 50 μm , besser kleiner 20 μm , besser kleiner 10 μm , besser kleiner 5 μm , besser kleiner 2 μm , besser kleiner 1 μm , besser kleiner 500nm, besser kleiner 200nm, besser kleiner 100nm, besser kleiner 50nm. Die Größe der Diamant-Nano-Kristalle kann kleiner 20nm und/oder kleiner 10nm und/oder kleiner 5nm und/oder kleiner 2nm und/oder kleiner 1nm sein. Bei den Autoren besteht die Meinung, dass eine Größe von 50nm optimal ist, ohne dass entsprechende Experimente durchgeführt wurden. Gleiches gilt beim Einsatz von Kristallen, die andere Materialien aufweisen, und die Diamant-Nano-Kristalle ND funktionsäquivalent in den Sensorelementen SE ersetzen oder in den Sensorelementen SE ergänzen. Die technische Lehre dieses Dokuments ist somit ausdrücklich nicht auf Diamant-Nano-Kristalle ND mit Diamantkristallen und NV-Zentren beschränkt. Wenn in dem Text und/oder den Ansprüchen von Diamant-Nano-Kristallen ND und/oder NV-Zentren die Rede ist, kann eine fachkundige Person die Verwendung anderer Kristalle und/oder anderer paramagnetischer Zentren mitlesen. Diese müssen jedoch auf Eignung für den jeweiligen Anwendungsfall ausdrücklich erprobt werden.

Fluoreszenzmerkmale

[1433] Fluoreszenzmerkmale im Sinne der hier vorgelegten Schrift sind kennzeichnende Stellen in der Fluoreszenzintensitätskurve oder der Fluoreszenzverzögerungskurve. Die Fluoreszenzintensitätskurve ist dabei der Graph der Fluoreszenzintensitätswerte der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL eines Diamant-Nano-Kristalls ND aus Diamant dargestellt gegen den Betrag der magnetischen Flussdichte B. Die Fluoreszenzverzögerungskurve ist dabei der Graph der zeitlichen Verzögerungswerte der zeitlichen Verzögerung der Modulation der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL gegenüber der Modulation der Intensität der Pumpstrahlung LB oder gegenüber dem Modulationssignal S5 oder einem daraus abgeleiteten Signal dargestellt gegen den Betrag der magnetischen Flussdichte B. Fluoreszenzmerkmale in der Fluoreszenzintensitätskurve sind lokale Minima und Maxima im Kurvenverlauf. Fluoreszenzmerkmale in der Fluoreszenzverzögerungskurve sind lokale Maxima und Minima im Kurvenverlauf. Die folgende Liste zählt die in den Vorarbeiten zu den zitierten Schriften ermittelten Fluoreszenzmerkmale eines HD-NV-Diamanten (HDNV) mit einer hohen Dichte an NV-Zentren auf. Diese kommen als Fluoreszenzmerkmale im Sinne dieser Schrift bei Verwendung eines Diamanten als Kristall einer vorschlagsgemäßen Vorrichtung oder eines vorschlagsgemäßen Verfahren in Frage. Wenn in dieser Schrift von Fluoreszenzmerkmalen die Rede ist, sind zumindest die nachfolgenden Fluoreszenzmerkmale bei Verwendung eines Diamanten als Kristall einer vorschlagsgemäßen Vorrichtung oder eines vorschlagsgemäßen Verfahren gemeint. Im Falle der Verwendung anderer Materialien (siehe auch Inhalt der ZPL-Tabelle) ergeben sich andere Fluoreszenzmerkmale, die aber in der Regel auf analoge Mechanismen zurückzuführen sind. Die Verwendung dieser anderen Materialien und der entsprechenden paramagnetischen Zentren und deren Fluoreszenzmerkmale ist von der Offenlegung der hier vorgelegten Schrift umfasst. Insbesondere ist darüber hinaus die Verwendung von Kristallen aus Elementen der II. Hauptgruppe und der VI. Hauptgruppe und der IV. Hauptgruppe von der hier vorgelegten Offenlegung umfasst. Isotopen der IV-Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente und aus Mischkristallen Die Fluoreszenzmerkmale sind hierauf aber nicht beschränkt. Ggf. können weniger und mehr Fluoreszenzmerkmale verwendet werden:

Fluoreszenzmerkmalsgruppe	Nr.	Paar Nr des Fluoreszenzmerkmals	ca. Position in mT (ca. Angabe) *)	Typ des Intensitätsextremums min=-Minimum max=-Maximum	Typ des Verzögerungsextremums min=Minimum max=Maximum	Fluoreszenzmerkmalskategorie
0mT	E _{0,0,0}	0	0,00 mT	min	max	Hauptfluoreszenzmerkmal
	E _{0,0,1b}	1	2,10 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{0,0,2b}	2	3,80 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{0,0,3b}	3	5,30 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
9,5mT	E _{9,5,8a}	8	5,91 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{9,5,7a}	7	6,70 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{9,5,6a}	6	6,95 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{9,5,5a}	5	7,21 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{9,5,4a}	4	7,85 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal

Fluoreszenzmerkmalsgruppe	Nr.	Paar Nr des Fluoreszenzmerkmals	ca. Position in mT (ca. Angabe) *)	Typ des Intensitätsextremums min=-Minimum max=-Maximum	Typ des Verzögerungsextremums min=Minimum max=Maximum	Fluoreszenzmerkmalskategorie
	E _{9,5,3a}	3	8,12 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{9,5,2a}	2	8,43 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{9,5,1a}	1	8,82 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{9,5,0}	0	9,38 mT	min	max	Hauptfluoreszenzmerkmal
	E _{9,5,1b}	1	10,05 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{9,5,2b}	2	10,55 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{9,5,3b}	3	11,10 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{9,5,4b}	4	11,60 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{9,5,5b}	5	11,89 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{9,5,6b}	6	12,12 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal

Fluoreszenzmerk- mals- gruppe	Nr.	Paar Nr des Fluor- reszenz- merkmals	ca. Position in mT (ca. Angabe) *)	Typ des Intensität- sextremums min=- Minimum max=- Maximum	Typ des Verzöge- rungsextremums min=Minimum max=Maximum	Fluoreszenz- merkmalska- tegorie
34mT	E _{34,11a}	11	31,22 mT	max	min	Nebenfluor- reszenzmerk- mal
	E _{34,10a}	10	31,67 mT	min	max	Nebenfluor- reszenzmerk- mal
	E _{34,9a}	9	31,78 mT	max	min	Nebenfluor- reszenzmerk- mal
	E _{34,8a}	8	32,00 mT	min	max	Nebenfluor- reszenzmerk- mal
	E _{34,7a}	7	32,25 mT	max	min	Nebenfluor- reszenzmerk- mal
	E _{34,6a}	6	32,63 mT	min	max	Nebenfluor- reszenzmerk- mal
	E _{34,5a}	5	32,72 mT	max	min	Nebenfluor- reszenzmerk- mal
	E _{34,4a}	4	32,96 mT	min	max	Nebenfluor- reszenzmerk- mal

Fluoreszenzmerkmalgruppe	Nr.	Paar Nr des Fluoreszenzmerkmals	ca. Position in mT (ca. Angabe) *)	Typ des Intensitätsextremums min=-Minimum max=-Maximum	Typ des Verzögerungsextremums min=Minimum max=Maximum	Fluoreszenzmerkmalskategorie
	E _{34,3a}	3	33,24 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{34,2a}	2	33,53 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{34,1a}	1	33,65 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{34,0}	0	33,98 mT	min	max	Hauptfluoreszenzmerkmal
	E _{34,1b}	1	34,28 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{34,2b}	2	34,38 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{34,3b}	3	34,72 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{34,4b}	4	34,97 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{34,5b}	5	35,24 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal

Fluoreszenzmerkmalsgruppe	Nr.	Paar Nr des Fluoreszenzmerkmals	ca. Position in mT (ca. Angabe) *)	Typ des Intensitätsextremums min=-Minimum max=-Maximum	Typ des Verzögerungsextremums min=Minimum max=Maximum	Fluoreszenzmerkmalskategorie
	E _{34,6b}	6	35,35 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{34,7b}	7	35,74 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{34,8b}	8	36,03 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{34,9b}	9	36,30 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{34,10a}	10	36,44 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{34,11b}	11	36,67 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{34,12b}	12	36,80 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{34,13b}	13	36,97 mT	min	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
51,0mT	E _{51.0,0}	0	51,00 mT	min	max	Hauptfluoreszenzmerkmal
59,5mT	E _{59.5.0}	0	59,50 mT	min	max	Hauptfluoreszenzmerkmal

Fluoreszenzmerk- mals- gruppe	Nr.	Paar Nr des Fluor- reszenz- merkmals	ca. Position in mT (ca. Angabe) *)	Typ des Intensität- sextremums min=- Minimum max=- Maximum	Typ des Verzöge- rungsextremums min=Minimum max=Maximum	Fluoreszenz- merkmalska- tegorie
102,4mT	E _{102.4,9a}	9	97,10 mT	max	min	Nebenfluor- reszenzmerk- mal
	E _{102.4,8a}	8	97,60 mT	min	max	Nebenfluor- reszenzmerk- mal
	E _{102.4,7a}	7	98,00 mT	max	min	Nebenfluor- reszenzmerk- mal
	E _{102.4,6a}	6	98,40 mT	min	max	Nebenfluor- reszenzmerk- mal
	E _{102.4,5a}	5	98,90 mT	max	min	Nebenfluor- reszenzmerk- mal
	E _{102.4,4a}	4	99,50 mT	min	max	Nebenfluor- reszenzmerk- mal
	E _{102.4,3a}	3	100,10 mT	max	min	Nebenfluor- reszenzmerk- mal
	E _{102.4,2a}	2	101,10 mT	min	max	Nebenfluor- reszenzmerk- mal

Fluoreszenzmerkmalsgruppe	Nr.	Paar Nr des Fluoreszenzmerkmals	ca. Position in mT (ca. Angabe) *)	Typ des Intensitätsextremums min=-Minimum max=-Maximum	Typ des Verzögerungsextremums min=Minimum max=Maximum	Fluoreszenzmerkmalskategorie
	E _{102.4,1a}	1	101,80 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{102.4,0}	0	102,40 mT	min	max	Hauptfluoreszenzmerkmal
	E _{102.4,1b}	1	103,10 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{102.4,2b}	2	103,80 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{102.4,3b}	3	104,80 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{102.4,4b}	4	105,50 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{102.4,5b}	5	106,10 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{102.4,6b}	6	106,60 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{102.4,7b}	7	107,00 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{102.4,8b}	8	107,30 mT	min	max	Nebenfluoreszenzmerkmal
	E _{102.4,9b}	9	107,70 mT	max	min	Nebenfluoreszenzmerkmal

*) In dieser Schrift auch als kennzeichnende magnetischen Flussdichte B des Fluoreszenzmerkmals bezeichnet. Die jeweilige kennzeichnende magnetischen Flussdichte B des jeweiligen Fluoreszenzmerkmals ist jeweils den Zeichnungen entnommen. Die hier vorgelegte Schrift empfiehlt daher explizit bei der Nacharbeit der hier offengelegten technischen Lehre eine vorausgehende Nachmessung der präzisen Werte der kennzeichnenden magnetischen Flussdichten B. Die Werte könnten ggf. mit einem Offset von max. +/-1mT und einem proportionalen Fehler von 1% versehen sein.

Im Wesentlichen

[1434] Der Begriff „im Wesentlichen“ bedeutet im Sinne der hier vorgelegten Schrift, dass Abweichungen von einem idealen Wert zugelassen sind, die daraus resultierenden technischen Wirkungen aber den angestrebten Zweck des Verfahrens oder der Vorrichtung nur so wenig beeinträchtigen, dass die Nutzbarkeit der technischen Vorrichtung bzw. des technischen Verfahrens für einen Nutzer nicht oder nur so wenig beeinträchtigt ist, dass der Nutzer die reale technische Wirkung im Vergleich zur idealen technischen Wirkung als ausreichend bewertet.

Kristall (HDNV)

[1435] Bevorzugt umfasst der das Objekt, das der hier vorgelegten Text als Kristall (HDNV) bezeichnet, ein einkristallines Material. Sofern es sich nicht um ein einkristallines Material handelt, sollten bevorzugt die Teilkristalle einkristallin sein und bevorzugt soweit gleichausgerichtet sein, dass die Fluoreszenzmerkmale sich im Wesentlichen in gleicher Weise ausprägen. Bevorzugt ist das Material des Kristalls (HDNV) Diamant.

[1436] Hierzu verweist das hier vorgelegte Dokument auf die Schrift DE 10 2021 132 783 A1.

[1437] Die in der hier vorgelegten Schrift offengelegten Prinzipien können aber auch mit anderen kristallinen Materialien Anwendung finden. Diamant ist aber besonders geeignet, da eine Kühlung der Elektronenspin-Konfiguration auf wenige mK leicht durch Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) möglich ist und die T_2 -Zeiten, insbesondere die von NV-Zentren, relativ lang sind. An einigen Stellen in diesem Text ist nur von Diamant die Rede. Hier können auch andere Kristalle eingesetzt werden. In dem Fall des Einsatzes anderer Kristalle aus anderen Materialien als Diamant verwenden die in dieser Schrift offengelegten Vorrichtungen und Verfahren andere paramagnetische Zentren mit anderen Pumpstrahlungswellenlängen (λ_{pmp}) und mit anderen Fluoreszenzwellenlängen (λ_f). Besonders interessant sind hier Silizium-Kristalle, Germanium-Kristalle und Mischkristalle aus Elementen der IV.-Hauptgruppe des Periodensystems. In manchen Anwendungen sind die Kristalle isotonenrein. Isotonenrein im Sinne der hier vorgelegten Schrift ist ein Material dann, wenn die Konzentration anderer Isotope als der Basis-Isotope, die das Material des Kristalls (HDNV) dominieren, so gering ist, dass der technische Zweck in einem für die Produktion und den Verkauf von Produkten ausreichenden Maße mit einer wirtschaftlich ausreichenden Produktionsausbeute erreicht wird. Dies bedeutet, dass Störungen, die von solchen Isotopenverunreinigungen ausgehen, die Funktionstüchtigkeit der paramagnetischen Zentren nicht oder höchstens ausreichend gering stören. Auf Diamant als Material des Kristalls (HDNV) bezogen heißt das, dass der Diamant bevorzugt im Wesentlichen aus ^{12}C -Isotopen als Basis-Isotopen besteht, die kein magnetisches Moment haben. Dies zeigt sich so, dass beispielsweise in der Fluoreszenzintensitätskurve und/oder der Fluoreszenzverzögerungskurve die Nebenfluoreszenzmerkmale ($E_{102.4,9a}$, $E_{102.4,8a}$, $E_{102.4,7a}$, $E_{102.4,6a}$, $E_{102.4,5a}$, $E_{102.4,4a}$, $E_{102.4,3a}$, $E_{102.4,2a}$, $E_{102.4,1a}$, $E_{102.4,1b}$, $E_{102.4,2b}$, $E_{102.4,3b}$, $E_{102.4,4b}$, $E_{102.4,5b}$, $E_{102.4,6b}$, $E_{102.4,7b}$, $E_{102.4,8b}$, $E_{102.4,9b}$) des 102.4mT-Hauptfluoreszenzmerkmals ($E_{102.4,0}$) nicht oder schwächer ausgeprägt sind. Umgekehrt kann es wünschenswert sein, dass die Nebenfluoreszenzmerkmale ($E_{102.4,9a}$, $E_{102.4,8a}$, $E_{102.4,7a}$, $E_{102.4,6a}$, $E_{102.4,5a}$, $E_{102.4,4a}$, $E_{102.4,3a}$, $E_{102.4,2a}$, $E_{102.4,1a}$, $E_{102.4,1b}$, $E_{102.4,2b}$, $E_{102.4,3b}$, $E_{102.4,4b}$, $E_{102.4,5b}$, $E_{102.4,6b}$, $E_{102.4,7b}$, $E_{102.4,8b}$, $E_{102.4,9b}$) des 102.4mT-Hauptfluoreszenzmerkmals ($E_{102.4,0}$) besonders stark ausgeprägt sind, da dies eine verbesserte Interpolation und Kalibrierung ermöglicht. Auf Diamant als Material des Kristalls (HDNV) bezogen heißt das, dass dann zur Erhöhung der Intensität der Nebenfluoreszenzmerkmale der Diamant bevorzugt im Wesentlichen aus ^{13}C -Isotopen als Basis-Isotopen besteht, die ein magnetisches Moment haben. Eine weniger bevorzugte Möglichkeit ist, dass zur Erhöhung der Intensität der Nebenfluoreszenzmerkmale der Diamant bevorzugt einen erhöhten Anteil an ^{13}C -Isotopen als Basis-Isotopen umfasst, die ein magnetisches Moment haben. Als normale Isotopen-Verteilung nimmt die hier vorgelegte Schrift folgende Verteilung an:

Isotop	Anteil K_0 der Isotope ohne magnetisches Moment an 100% C
Isotop ^{12}C	98,94 %
Isotop ^{14}C	Spuren
Gesamtanteil K_{0G} der Isotope ohne magnetisches Moment an 100% C	98,94%
Gesamtanteil K_{1G} der Isotope mit magnetischen Moment an 100% C	1,06%

[1438] Eine Verringerung des Faktors K_{1G} um mehr als 10% besser mehr als 25% fasst die hier vorgelegte Schrift als einen isotonenreinen Diamantkristall (HDNV) auf. Eine Erhöhung des Faktors K_{1G} um mehr als 10% und/oder besser um mehr als 25% und/oder besser um mehr als 50% und/oder um mehr als 100% und/oder besser um mehr als 250% und/oder besser um mehr als 500% und/oder besser um mehr als 1000% und/oder besser um mehr als 2500% und/oder besser um mehr als 5000% (auf $K_{1G} > 50\%$) fasst die hier vorgelegte Schrift als einen isotonenreinen Diamantkristall (HDNV) mit verstärkten Nebenfluoreszenzmerkmalen auf. Die Verwendung solcher Diamanten für quantentechnologische Systeme im Sinne der hier vorgelegten Schrift und/oder im Sinne der quantentechnologischen Vorrichtungen und Verfahren, insbesondere im Sinne der quantentechnologischen Sensorvorrichtungen und Messverfahren der Schriften

DE 10 2020 101 784 B3, DE 20 2020 106 110 U, PCT / DE 2020 / 100 953, PCT / EP 2019 / 079 992, PCT / EP 2020 / 068 110, PCT / EP 2020 / 070 485, PCT / DE 2021 / 100 069, PCT / DE 2020 / 100 827, WO 2020 239 172 A1 (PCT / DE 2020 / 100 430) WO 2001 073 935 A1 und WO 2021 013 308 A1 (PCT / DE 2020 / 100 648) und der in diesen zitierten Schriften ist Teil der hier vorgelegten Offenbarung soweit dies das jeweilige Recht des Anmeldestaates zulässt.

[1439] Das hier geschriebene gilt für den ganzen hier vorgelegten Text.

Pumpstrahlung λ_{pmp}

Definition

[1440] Die vorausgehenden Beschreibungsteile verwenden den Begriff Pumpstrahlung LB zum Pumpen der paramagnetischen Zentren der Kristalle bzw. der Diamant-Nano-Kristalle ND, der bevorzugt Diamant umfasst. Die Pumpstrahlung LB weist eine Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} auf. Werden andere Störstellenzentren als NV-Zentren in Diamant verwendet, so kann eine vorschlagsgemäße Vorrichtung bzw. ein vorschlagsgemäßes Verfahren Licht bzw. elektromagnetische Strahlung anderer Pumpstrahlungswellenlängen λ_{pmp} als Pumpstrahlung LB verwenden. Damit diese Pumpstrahlung LB mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} die paramagnetischen Zentren in den Kristallen erreichen kann, sollte die Struktur ggf. auf der Oberfläche der Kristalle vorhandener elektrischer Leitungen und anderer Strukturen an der Oberfläche der Kristalle ein Passieren der Pumpstrahlung LB in Richtung auf die jeweiligen paramagnetischen Zentren zulassen. Vorzugsweise sind die Oberflächen der Kristalle bzw. Diamant-Nano-Kristalle ND frei von solchen Leitungen und Strukturen.

[1441] Die hier vorgeschlagenen Sensorsysteme nutzen nun bevorzugt die HD-NV-Diamanten (HDNV) mit einer jeweiligen hohen Dichte an paramagnetischen Zentren in Form von NV-Zentren als Sensorelemente (SE, 14305), die die Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL der paramagnetischen Zentren bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung LB erfassen. Die Pumpstrahlung LB mit der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} veranlasst das jeweilige paramagnetische Zentrum oder die paramagnetischen Zentren bzw. die Gruppe oder die Gruppen paramagnetischer Zentren in den Kristallen bzw. Diamant-Nano-Kristallen ND zur Abgabe von Fluoreszenzstrahlung FL mit einer Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} bei Bestrahlung mit der Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Typischerweise ist bei Verwendung von NV-Zentren in Diamant als paramagnetischen Zentren der Kristalle bzw. Diamant-Nano-Kristalle ND die Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren so, dass diese rot erscheinen. Es hat sich gezeigt, dass in Verbindung mit NV-Zentren in Diamant als paramagnetischen Zentren der Kristalle bzw. Diamantnanokristalle ND prinzipiell Licht mit einer Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB von höchstens 700nm und mindestens 500nm besonders als Pumpstrahlung

[1442] LB geeignet ist. Im Zusammenhang mit der Verwendung Kristallen anderer Materialien an Stelle der Diamant-Nano-Kristalle ND oder zur Ergänzung für das Sensorelement SE und entsprechend anderer paramagnetischer Zentren können ganz andere Wellenlängenbereiche der Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB die gleichen Funktionen in dem dann so modifizierten Sensorsystem erfüllen. Daher stellen die NV-Zentren hier nur ein Beispiel einer Ausführungsform eines solchen paramagnetischen Zentrums dar. Insbesondere bei der Verwendung eines NV-Zentrums in Diamant als paramagnetisches Zentrum in den Kristallen bzw. Diamant-Nano-Kristallen ND sollte die Pumpstrahlung LB eine Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} in einem Wellenlängenbereich von 400 nm bis 700 nm Wellenlänge und/oder besser 450 nm bis 650 nm und/oder besser 500 nm bis 550 nm und/oder besser 515 nm bis 540 nm aufweisen. Bevorzugt ist dabei eindeutig eine Wellenlänge von 532 nm als Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} . Licht bzw. elektromagnetische Pumpstrahlung LB, die bei der Verwendung anderer paramagnetischer Zentren insbesondere auch in anderen Materialien als von NV-Zentren in Diamant zur Ausführung gleicher Funktionen verwendet wird, sind ebenfalls möglich. Die vorgeschlagenen Sensorsystem sind somit auch für andere geeignete paramagnetische Zentren, wie z.B. SiV-Zentrum und/oder TiV-Zentrum und/oder GeV-Zentrum und/oder SnV-Zentrum und/oder NiN4-Zentrum und/oder PbV-Zentrum und/oder ST1-Zentrum etc. anwendbar. Das NV-Zentrum in Diamant ist aber besonders geeignet und besonders gut, z.B. wie oben beschrieben, und in hoher Dichte mit hoher Fertigungsausbeute herzustellen. Zweckmäßigerweise wird die Pumpstrahlung LB der jeweiligen Pumpstrahlungsquelle hier der Lichtquelle LED, die vorzugsweise ein Laser oder eine LED ist, gepulst in Abhängigkeit von einem gepulsten Wechselanteil des LED-Modulationssignals S5w mittels des Sendesignals S5 gepulst. Das LED-Modulationssignal S5w wird als Messsignal d.h. als Referenzsignal für einen Look-In-Verstärker, Hier den Mehrfachkorrelator LIV, genutzt, um die in modulierte elektrische Ströme, insbesondere Fotoelektronenströme oder Spannungen beispielsweise eines Empfängerausgangssignals S0 umgewandelte

Modulation der Intensität I_{ist} der Fluoreszenzstrahlung FL rauscharm zu verstärken. Es wurde erkannt, dass die gepulste Pulsmodulation der Pumpstrahlung LB und damit die gepulste Pulsmodulation der Wechselanteil des Sendesignals S5 bevorzugt kein 50% Tastverhältnis (Englisch Duty-Cycle) aufweisen sollte. Der der Wechselanteil des Sendesignals S5 besitzt eine Amplitude des Wechselanteils des Sendesignals S5. Zu Beginn einer Modulationssignalperiode T_p liegt der Wert des Sendesignals S5 beim Wert des Gleichanteils des Sendesignals S5 minus dem Werts der Amplitude des Wechselanteils des Sendesignals S5. Der Wert des Sendesignals S5 steigt dann auf den Wert aus der Summe des Werts der Amplitude des Wechselanteils des Sendesignals S5 plus dem Wert des Gleichanteils des Sendesignals S5 an. Für eine Modulationssignalplateauzeit verharrt dann der Wert des Sendesignals S5 im Wesentlichen auf diesem Wertenniveau, um dann mit einer Modulationssignalabfallszeit auf den Wert aus der Differenz Wert des Gleichanteils des Sendesignals S5 minus dem Wert der Amplitude des Wechselanteils des Sendesignals S5 abzufallen. Auf diesem Wert verharrt dann im Wesentlichen der Wert des Sendesignals S5 bis zum Ende der Modulationssignalperiode T_p der Wert des Sendesignals S5 dann wieder mit einer Modulationssignalanstiegszeit auf den Wert aus der Summe der Amplitude des Wechselanteils des Sendesignals S5 plus dem Wert des Gleichanteils des Sendesignals S5 ansteigt. Bevorzugt wird der maximale Wert der Pulse des Wechselanteils des Sendesignals S5 in Form der Summe der Amplitude des Wechselanteils des Sendesignals S5 plus dem Wert des Gleichanteils des Sendesignals S5 maximiert, um eine maximale Intensität der Pumpstrahlung LB zu den Zeiten zu erreichen, in denen die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED, Pumpstrahlung LB aussendet. Dies hat den Zweck, den Kontrast zu maximieren, da der Kontrast nicht linear von der Intensität der Pumpstrahlung LB, die die paramagnetischen Zentren erreicht, abhängt und zu großen Intensitäten Pumpstrahlung LB hinzunimmt. Dies ist für einzelne NV-Zentren in Diamant, also nicht für HD-NV-Diamanten, wie sie hier beschrieben sind, beispielsweise aus der Schrift Staacke, R., John, R., Wunderlich, R., Horsthemke, L., Knolle, W., Laube, C., Glösekötter, P., Burchard, B., Abel, B., Meijer, J. (2020), „Isotropie Scalar Quantum Sensing of Magnetic Fields for Industrial Application“, Adv. Quantum Technol., doi:10.1002/qute.202000037, bekannt. Wir verweisen insbesondere auf die Fig. 3b und 3d jener Schrift. Durch eine hohe Dichte an paramagnetischen Zentren in den Diamant-Nano-Kristallen ND, wie beispielsweise durch eine hohe Dichte an NV-Zentren wie in einem HD-NV-Diamanten, wie er in den Schriften DE 10 2021 132 780 A1, DE 10 2021 132 781 A1, DE 10 2021 132 782 A1, DE 10 2021 132 783 A1, DE 10 2021 132 784 A1, DE 10 2021 132 785 A1, DE 10 2021 132 786 A1, DE 10 2021 132 787 A1, DE 10 2021 132 788 A1, DE 10 2021 132 790 A1, DE 10 2021 132 791 A1, DE 10 2021 132 793 A1, DE 10 2021 132 794 A1, beschrieben wird, kann der Kontrast über das in jenen Schriften gezeigte Maß hinaus gesteigert werden.

[1443] Das Tastverhältnis des Sendesignals S5 wird hierbei als Modulationssignalpulsdauer dividiert durch die Modulationssignalperiode T_p definiert. Modulationssignalpulsdauer plus Modulationssignalkomplementärzeit sind hier gleich der Modulationssignalperiode. Bevorzugt ist der Wechselanteil des Sendesignals S5 mit einem Tastverhältnis des Wechselanteils des Sendesignals S5 kleiner 50% und/oder besser kleiner 40% und/oder besser kleiner 30% und/oder besser kleiner 20% und/oder besser kleiner 10% pulsmoduliert. Bevorzugt handelt es sich also um einen ultrakurzen Puls mit möglichst hoher Amplitude. Bevorzugt ist dementsprechend das LED-Modulationssignal S5w daher mit einem Tastverhältnis kleiner 50% und/oder besser kleiner 40% und/oder besser kleiner 30% und/oder besser kleiner 20% und/oder besser kleiner 10% pulsmoduliert. Bevorzugt handelt es sich also um einen ultrakurzen Puls. Dieser ultrakurze Puls wird bevorzugt mit möglichst große Verstärkung in einen entsprechenden kurzen, möglichst intensiven Intensitätspuls der Intensität der Pumpstrahlung LB gewandelt. Da die Pumpstrahlungsquelle, hier die Lichtquelle LED, mit dem Sendesignal S5 angesteuert wird, reproduziert sie typischerweise verzögert um eine Sendverzögerung im Wesentlichen das Sendesignal S5. Für die Berechnung vieler Anwendungen kann diese Sendverzögerung zu 0 s zur Vereinfachung angenommen werden. Dabei wird die Pumpstrahlungspulsdauer hier so definiert, dass der Intensitätspuls der Intensität der Pumpstrahlung LB ein Pumpstrahlungsintensitätsmaximum aufweist und dass die Pumpstrahlungsimpulsdauer eines Intensitätspulses der Pumpstrahlung LB mit dem ersten Zeitpunkt des Überschreitens von 50% des Intensitätswerts des Pumpstrahlungsintensitätsmaximums minus dem ggf. vorhandenen Bias-Wert der Intensität der Pumpstrahlung LB, durch die momentane Intensität des Intensitätspulses der Pumpstrahlung LB minus dem ggf. vorhandenen Bias-Wert der Intensität der Pumpstrahlung LB beginnt und dass die Pumpstrahlungsimpulsdauer eines Intensitätspulses der Pumpstrahlung LB mit dem zweiten Zeitpunkt des Unterschreitens von 50% des Intensitätswerts des Pumpstrahlungsintensitätsmaximums minus dem ggf. vorhandenen Bias-Wert der Intensität der Pumpstrahlung LB, durch die momentane Intensität des Intensitätspulses der Pumpstrahlung LB minus dem ggf. vorhandenen Bias-Wert der Intensität der Pumpstrahlung LB endet.

ZPL-Tabelle

[1444] Die Tabelle ist nur eine beispielhafte Zusammenstellung einiger möglicher paramagnetischer Zentren, die in Kristallen, die die Funktion der Diamant-Nano-Kristalle ND in diesem Dokument wahrnehmen können. Die funktionaläquivalente Nutzung anderer paramagnetischer Zentren in anderen Materialien der Kristalle ist ausdrücklich möglich. Für andere Kristalle und/oder paramagnetische Zentren als NV-Zentren ist eine Erprobung notwendig. Die Pumpstrahlungswellenlängen λ_{pmp} der Pumpstrahlung LB sind ebenfalls beispielhaft. Andere Pumpstrahlungswellenlängen λ_{pmp} sind in der Regel möglich, wenn sie kürzer als die Wellenlänge der anzuregenden ZPL sind.

Material	Störstellenzentrum	ZPL	beispielhafte	Referenz
des	Kristalls	ND		Pumpstrahlungs wellenlänge (λ_{pmp})
Diamant	NV-Zentrum		520nm, 532nm	
Diamant	SiV-Zentrum	738 nm	685 nm	/2/, /3/, /4/
Diamant	GeV-Zentrum	602 nm	532 nm	/4/, /5/
Diamant	SnV-Zentrum	620 nm	532 nm	/4/, /6/
Diamant	PbV-Zentrum	520 nm, 552 nm 715 nm	450 nm	/4/, /7/ /4/, /7/ /7/
Diamant	ST1-Zentrum	555 nm	532 nm	/15/
Diamant	TR12-Zentrum	471 nm	410 nm	/16/
Silizium	G-Zentrum	1278,38 nm	637 nm	/8/
Siliziumkar- bid	V _{Si} -Zentrum	862 nm(V1) 4H, 1330 nm		/1/, /9/, /10/
		858,2 nm(V1') 4H	1330 nm	/1/, /9/, /10/
		917 nm(V2) 4H, 1330 nm		/1/, /9/, /10/
		865 nm(V1) 6H, 1330 nm		/1/, /9/, /10/
		887 nm(V2) 6H, 1330 nm		/1/, /9/, /10/
		907 nm(V3) 6H	1330 nm	/1/, /9/, /10/
Siliziumkar- bid	DV-Zentrum	1078-1132 nm 6H	1330 nm	/9/
Siliziumkar- bid	V _C V _{Si} -Zentrum	1093-1140 nm 6H	1330 nm	/9/
Siliziumkar- bid	CAV-Zentrum	648.7 nm 4H, 6H, 3C	1330 nm	/9/
		651.8 nm 4H, 6H, 3C	1330 nm	/9/
		665.1 nm 4H, 6H, 3C	1330 nm	/9/
		668.5 nm 4H, 6H, 3C	1330 nm	/9/
		671.7 nm 4H, 6H, 3C	1330 nm	/9/
		673 nm 4H, 6H, 3C	1330 nm	/9/
		675.2 nm 4H, 6H, 3C	1330 nm	/9/
		676.5 nm 4H, 6H, 3C	1330 nm	/9/
Siliziumkar- bid	N _C V _{Si} -Zentrum	1180 nm-1242 nm 6H	1330 nm	/9/, /13/, /14/

Liste der Referenzliteratur zu obiger Tabelle

- /1/ Marina Radulaski, Matthias Widmann, Matthias Niethammer, Jingyuan Linda Zhang, Sang-Yun Lee, Torsten Rendler, Konstantinos G. Lagoudakis, Nguyen Tien Son, Erik Janzen, Takeshi Ohshima, Jörg Wrachtrup, Jelena Vučkovic, „Scalable Quantum Photonics with Single Color Centers in Silicon Carbide“, *Nano Letters* 17 (3), 1782-1786 (2017), DOI: 10.1021/acs.nanolett.6b05102, arXiv:1612.02874
- /2/ C. Wang, C. Kurtsiefer, H. Weinfurter, and B. Burchard, „Single photon emission from SiV centres in diamond produced by ion implantation“ *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 39(37), 2006
- /3/ Björn Tegetmeyer, „Luminescence properties of SiV-centers in diamond diodes“ Promotionschrift, Universität Freiburg, 30.01.2018
- /4/ Carlo Bradac, Weibo Gao, Jacopo Forneris, Matt Trusheim, Igor Aharonovich, „Quantum Nanophotonics with Group IV defects in Diamond“, DOI: 10.1038/s41467-020-14316-x, arXiv:1906.10992
- /5/ Rasmus Høy Jensen, Erika Janitz, Yannik Fontana, Yi He, Olivier Gobron, Ilya P. Radko, Mihir Bhaskar, Ruffin Evans, Cesar Daniel Rodriguez Rosenblueth, Lilian Childress, Alexander Huck, Ulrik Lund Andersen, „Cavity-Enhanced Photon Emission from a Single Germanium-Vacancy Center in a Diamond Membrane“, arXiv:1912.05247v3 [quant-ph] 25 May 2020
- /6/ Takayuki Iwasaki, Yoshiyuki Miyamoto, Takashi Taniguchi, Petr Siyushev, Mathias H. Metsch, Fedor Jelezko, Mutsuko Hatano, „Tin-Vacancy Quantum Emitters in Diamond“, *Phys. Rev. Lett.* 119, 253601 (2017), DOI: 10.1103/PhysRevLett.119.253601, arXiv:1708.03576 [quant-ph]
- /7/ Matthew E. Trusheim, Noel H. Wan, Kevin C. Chen, Christopher J. Ciccarino, Ravishankar Sundaraman, Girish Malladi, Eric Bersin, Michael Walsh, Benjamin Lienhard, Hassaram Bakhru, Prineha Narang, Dirk Englund, „Lead-Related Quantum Emitters in Diamond“ *Phys. Rev. B* 99, 075430 (2019), DOI: 10.1103/PhysRevB.99.075430, arXiv:1805.12202 [quant-ph]
- /8/ M. Hollenbach, Y. Berencén, U. Kentsch, M. Helm, G. V. Astakhov „Engineering telecom single-photon emitters in silicon for scalable quantum photonics“ *Opt. Express* 28, 26111 (2020), DOI: 10.1364/OE.397377, arXiv:2008.09425 [physics.app-ph]
- /9/ Castelletto and Alberto Boretti, „Silicon carbide color centers for quantum applications“ 2020 *J. Phys. Photonics* 2 022001
- /10/ V. Ivády, J. Davidsson, N. T. Son, T. Ohshima, I. A. Abrikosov, A. Gali, „Identification of Si-vacancy related room-temperature qubits in 4H silicon carbide“, *Phys. Rev. B*, 2017, 96,161114
- /11/ J. Davidsson, V. Ivády, R. Armiento, N. T. Son, A. Gali, I. A. Abrikosov, „First principles predictions of magneto-optical data for semiconductor point defect identification: the case of divacancy defects in 4H-SiC“, *New J. Phys.*, 2018, 20, 023035
- /12/ J. Davidsson, V. Ivády, R. Armiento, T. Ohshima, N. T. Son, A. Gali, I. A. Abrikosov „Identification of divacancy and silicon vacancy qubits in 6H-SiC“, *Appl. Phys. Lett.* 2019, 114, 112107
- /13/ S. A. Zargaleh, S. Hameau, B. Eble, F. Margaillan, H. J. von Bardeleben, J. L. Cantin, W. Gao, „Nitrogen vacancy center in cubic silicon carbide: a promising qubit in the 1.5 μ m spectral range for photonic quantum networks“ *Phys. Rev. B*, 2018, 98, 165203
- /14/ S. A. Zargaleh et al „Evidence for near-infrared photoluminescence of nitrogen vacancy centers in 4H-SiC“ *Phys. Rev. B*, 2016, 94, 060102
- /15/ P. Balasubramanian, M. H. Metsch, Reddy, R. Prithvi, J. Lachlan, N. B. Manson, M. W. Doherty, F. Jelezko, „Discovery of ST1 centers in natural diamond“ *Nanophotonics*, Vol. 8, Nr. 11, 2019, Seiten 1993-2002. <https://doi.org/10.1515/nanoph-2019-0148>
- /16/ J. Foglszinger, A. Denisenko, T. Kornher, M. Schreck, W. Knolle, B. Yavkin, R. Kolesov, J. Wrachtrup „ODMR on Single TR12 Centers in Diamond“ arXiv:2104.04746v1 [physics.optics]

Radiowellen vs. Mikrowellen

[1445] Radiowellen des Niederfrequenzbereiches sind im Sinne des hier vorgelegten Dokuments elektromagnetische Strahlungswellen in einem Frequenzbereich von 3Hz bis 30kHz, dem Niederfrequenzbereich.

[1446] Radiowellen des Radiowellenfrequenzbereiches sind im Sinne des hier vorgelegten Dokuments elektromagnetische Strahlungswellen in einem Frequenzbereich von 30kHz bis 300MHz, dem Radiowellenfrequenzbereich.

[1447] Mikrowellen des Mikrowellenfrequenzbereiches sind im Sinne des hier vorgelegten Dokuments elektromagnetische Strahlungswellen in einem Frequenzbereich von 300MHz bis 300GHz, dem Mikrowellenfrequenzbereich.

Streifenleitungstechnik für Wellenleiter

[1448] Die Streifenleitungstechnologie für die Verwendung im Zusammenhang mit Wellenleitern, insbesondere die hier erwähnten beispielhaften Wellenleitern (1380, 1880, 2380, 6880, 6980), ist eine Methode zur Übertragung elektrischer Signale vorzugsweise in Hochfrequenzanwendungen. Dabei werden die Leiterbahnen (Signalleitungen 1310, 1320, 1330, 6810, 6820) auf einer isolierenden Substratschicht (Trägersubstrat 1360) angeordnet, um eine effiziente und kontrollierte Signalübertragung zu ermöglichen. Hier sind einige der wichtigsten Funktionselemente der Streifenleitungstechnologie:

1. Leiterbahnen: In der Streifenleitungstechnologie umfassen die Leiterbahnen (Signalleitungen 1310, 1320, 1330, 6810, 6820) Metallstreifen, die auf dem Substrat (Trägersubstrat 1360) angebracht sind. Diese Metallstreifen Leiterbahnen (Signalleitungen 1310, 1320, 1330, 6810, 6820) dienen zur Übertragung des elektrischen Signals.

2. Substrat(Trägersubstrat 1360): Das Substrat (Trägersubstrat 1360) ist eine elektrisch isolierende Schicht, auf der die Leiterbahnen (Signalleitungen 1310, 1320, 1330, 6810, 6820) platziert werden. Typischerweise besteht das Substrat (Trägersubstrat 1360) aus Materialien wie FR-4 (Flameresistent-4) oder PTFE (Polytetrafluorethylen) oder aus halbleitenden Materialien, wie beispielsweise Stücken von Halbleiterwafern, beispielsweise Stücken von CMOS-Wafern oder beispielsweise Stücken von BiCMOS-Wafern beispielsweise Stücken von Wafern aus einer Bipolar-Technologie und/oder beispielsweise Stücken von MEMS-Wafern und/oder beispielsweise Stücken von MEOS-Wafern (MEOS= micro electro optical system) und/oder beispielsweise Stücken von MOEMS-Wafern etc. Beispielsweise können diese Stücke von CMOS-Wafern oder Stücken von BiCMOS-Wafern oder Stücke von Wafern aus einer Bipolar-Technologie oder Stücke eines Wafers aus einem III/V-Material oder dergleichen und/oder Stücke von MEMS-Wafern und/oder Stücke von MEOS-Wafern (MEOS= micro electro optical system) und/oder Stücke von MOEMS-Wafern mikroelektronische Schaltkreise und Funktionselemente und/oder mikrooptische Funktionselemente und/oder Mikromechanische Funktionselemente und/oder mikrofluidische Funktionselemente umfassen. Die se wiederum können Unterfunktionselemente umfassen, die mit den paramagnetischen Zentren und/oder NV-Zentren der Sensorelementschicht 14305 und oder Sensorelementen SE wechselwirken.

3. Dielektrikum: Das Dielektrikum ist das isolierende Material, das die Leiterbahnen (Signalleitungen 1310, 1320, 1330, 6810, 6820) umgibt und sie voneinander trennt. Es wird verwendet, um die Signalintegrität der Signale auf den Leiterbahnen (Signalleitungen 1310, 1320, 1330, 6810, 6820) zu erhalten und unerwünschte Signalverluste zu minimieren. Bei Streifenleitungen (z.B. Wellenleiter 1380, 1880, 2380, 6880, 6980) wird häufig Luft oder ein spezielles Dielektrikum mit niedrigem Verlust wie beispielsweise PTFE verwendet.

4. Impedanzkontrolle (Kontrolle des Wellenwiderstands): In der Streifenleitungstechnologie ist die Impedanzkontrolle des Wellenwiderstands der Wellenleitungen (z.B. Wellenleiter 1380, 1880, 2380, 6880, 6980) ein wichtiger Aspekt. Die Breite und Geometrie der Leiterbahnen (Signalleitungen 1310, 1320, 1330, 6810, 6820) sowie die Eigenschaften des Dielektrikums werden so gestaltet, dass die gewünschte Impedanz (Wellenwiderstand) des Übertragungssystems erreicht wird. Dies gewährleistet eine effiziente Signalübertragung und minimiert Reflexionen.

5. Abschlusswiderstände (6710): Abschlusswiderstände (6710) werden am Ende einer Streifenleitung (Signalleitungen 1310, 1320, 1330, 6810, 6820) platziert, um Reflexionen zu minimieren und die Signalintegrität zu verbessern. Sie werden verwendet, um die Impedanz (Wellenwiderstand) der Streifenleitung Wellenleitungen (z.B. Wellenleiter 1380, 1880, 2380, 6880, 6980) abzuschließen und eine effiziente Signalübertragung zu gewährleisten.

6. Verbindungsstrukturen: In der Streifenleitungstechnologie werden verschiedene Verbindungsstrukturen wie T-Verbinder, Kreuzverbinder und S-Verbinder verwendet, um Leiterbahnen(Signalleitungen 1310, 1320, 1330, 6810, 6820) und/oder verschiedene Streifenleitungen (z.B. Wellenleiter 1380, 1880, 2380, 6880, 6980) miteinander zu verbinden, Signale zu verzweigen oder zu kombinieren.

[1449] Diese Funktionselemente sind grundlegend für die Gestaltung und den Betrieb von Streifenleitungen in Hochfrequenzanwendungen. Sie ermöglichen eine präzise Signalübertragung und eine hohe Leistungsfähigkeit in Bereichen wie der Hochfrequenzkommunikation, Mikrowellen- und Radartechnik, Leistungselektronik und vielem mehr.

[1450] Unter Wikipedia (<https://de.wikipedia.org/wiki/Streifenleitung>) finden sich folgende Funktionselemente (Zitat):

„Einfache Bauelemente wie Kondensatoren und Induktivitäten lassen sich direkt durch besonders dimensionierte Streifen erzeugen. So haben lange, dünne Leiter eine induktive, dagegen breite, kurze eine kapazitive Wirkung. Neben diesen klassischen Bauelementen lassen sich noch weitere für die Hochfrequenztechnik typische Bauelemente direkt mit Streifen realisieren.“

[1451] Dazu gehören:

- Sumpf (reflexionsfreier Abschluss)
- Impedanzanpassung, induktive oder kapazitive Kopplung
- Reflektor, Reihenschwingkreis, Parallelschwingkreis

[1452] Aus diesen Grundelementen lassen sich komplexere Funktionseinheiten herstellen:

- Richtkoppler
- Leistungsteiler
- Filter (Bandpass, Bandsperre, Hochpass, Tiefpass)
- Frequenzweichen
- Übertrager zur Aus- und Einkopplung, Potentialtrennung, Impedanz- oder Symmetrieanpassung Discrete Bauelemente, wie sie auf normalen Platinen verwendet werden, können auch auf eine Mikrostriifenleiterschaltung gelötet werden, wenn man ihre Abmessungen und gegenseitige Beeinflussung berücksichtigt. Besonders geeignet sind SMD-Bauteile. Teilweise werden auch SMD-Bauformen speziell für diesen Fall gestaltet. Das ist besonders bei aktiven Elementen wie Transistoren oder Dioden der Fall.“

[1453] In der Mikrostriifenleitungstechnik lassen sich verschiedene Mikrowellenbauelemente realisieren. Hier sind einige der wichtigsten:

1. Mikrostriifenleitung: Eine Mikrostriifenleitung ist eine geprägte Leiterbahn auf einer Dielektrikumschicht, die auf einem leitenden Substrat liegt. Sie dient als Übertragungsmedium für Mikrowellensignale.
2. Mikrostriifen-Übergang: Ein Mikrostriifen-Übergang ermöglicht den Anschluss von zwei Mikrostriifenleitungen mit unterschiedlichen Impedanzen.
3. Mikrostriifenfilter: Ein Mikrostriifenfilter ist ein elektronisches Bauelement, das verwendet wird, um bestimmte Frequenzbereiche in einem Mikrowellensignal zu filtern. Es kann beispielsweise als Tiefpassfilter, Hochpassfilter oder Bandpassfilter ausgelegt sein.
4. Mikrostriifen-Koppler: Ein Mikrostriifen-Koppler wird verwendet, um ein Mikrowellensignal von einer Mikrostriifenleitung auf eine andere zu übertragen. Es gibt verschiedene Arten von Kopplern, wie z.B. Richtkoppler, Hybridkoppler und Ringkoppler.
5. Mikrostriifen-Phasenschieber: Ein Mikrostriifen-Phasenschieber ist ein Bauelement, das verwendet wird, um die Phase eines Mikrowellensignals zu ändern. Es kann für Phasenmodulation, Phasensteuerung oder Phasenanpassung eingesetzt werden.
6. Mikrostriifen-Verzögerungsleitung: Eine Mikrostriifen-Verzögerungsleitung ist eine spezielle Form der Mikrostriifenleitung, die verwendet wird, um die Laufzeit von Mikrowellensignalen zu verzögern. Sie kann zur Phasenkorrektur, zur Signalverarbeitung oder zur Erzeugung von Verzögerungselementen eingesetzt werden.
7. Mikrostriifen-Schaltkreiselemente: In der Mikrostriifenleitungstechnik können auch verschiedene Schaltkreiselemente realisiert werden, wie z.B. Mikrostriifen-Dioden, Mikrostriifen-Transistoren, Mikro-

streifen-Induktoren und Mikrostreifen-Kapazitäten. Diese werden in der Regel für aktive Schaltungen und passive Komponenten verwendet.

[1454] Es gibt noch viele weitere Mikrowellenbauelemente, die in der Mikrostreifenleitungstechnik eingesetzt werden können. Die genannten Beispiele sollten jedoch einen Überblick über die grundlegenden Bauelemente geben.

[1455] Die Verwendung dieser Funktionselemente zusammen mit den Sensorelementen SE und/oder Sensorelementschichten 14305 im Sinne des hier vorgelegten Dokuments sind Teil der Offenlegung des hier vorgelegten Dokuments.

Allgemeines zu verschiedenen Wellenleitungstypen

[1456] Dieser Abschnitt soll für beliebige Wellenleitungen und somit für das ganze Dokument gelten.

[1457] Das hier vorgelegte Dokument erwähnt nur der Vollständigkeit halber, dass grundsätzlich immer das Vorhandensein ein oder mehrerer Sensorelemente SE(1410, 1420, 1430, 7110, 7120, 2210, 2410, 2420, 2430, 4410) auf einer Wellenleitung, hier der beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980 und/oder der beispielhaften differentiellen Mikrostreifenleitung 6880 und/oder der beispielhaften Mikrostreifenleitung 1330 und/oder der beispielhaften Schlitzleitung 1880 und/oder der beispielhaften Tri-Plate-Leitung 2380 und/oder anderen vorzugsweise planaren Wellenleitern möglich ist. Dabei können immer mehr verschiedene dieser Typen von Sensorelemente SE zu einem Sensorelement SE „verschmolzen“ sein.

[1458] Vorzugsweise ist jedem dieser Sensorelemente SE zumindest ein Sensorelementkanal zugeordnet.

[1459] Sofern einem Sensorelemente SE mehr als ein Sensorelementkanal zugeordnet sind, sollte bevorzugt das Sensorelement unterschiedliche paramagnetische Zentren mit mindestens zwei unterschiedlicher Pumpstrahlungswellenlängen λ_{pmp} aufweisen und bevorzugt jeder Sensorelementkanal der mindestens zwei zugeordneten Sensorelementkanäle eine Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} dieser Pumpstrahlungswellenlängen λ_{pmp} verwenden, die von den Pumpstrahlungswellenlängen λ_{pmp} , die die anderen Sensorelementkanäle dieses Sensorelements SE verwenden, verschieden ist.

[1460] Einem Sensorelementkanal kann grundsätzlich im Sinne dieses Dokuments auch mehr als ein Sensorelement SE zugeordnet sein.

[1461] Das hier vorgelegte Dokument erwähnt nur der Vollständigkeit halber, dass grundsätzlich immer das Vorhandensein ein oder mehrerer Sensorelemente SE(1410, 1420, 1430, 7110, 7120, 2210, 2410, 2420, 2430, 4410) auf einer Wellenleitung, hier der beispielhaften differentiellen Tri-Plate-Leitung 6980, möglich ist. Dabei können ein oder mehr der Sensorelemente SE Nanokristalle ND mit paramagnetischen Zentren an Stelle der Diamant-Nano-Kristalle ND und deren paramagnetischen Zentren umfassen. Diese Nanokristalle ND mit paramagnetischen Zentren an Stelle der Diamant-Nano-Kristalle ND und deren paramagnetischen Zentren können insbesondere andere Kristalle als Diamantkristalle umfassen und daher andere paramagnetische Zentren als die hier erwähnten paramagnetischen Zentren in Diamant-Nanokristallen ND umfassen.

[1462] Im Falle der Verwendung solcher anderen Nanokristalle ND und/oder anderen paramagnetischen Zentren in Sensorelementen SE sollte insbesondere die Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} der Pumpstrahlungsquelle, insbesondere der Lichtquelle LED, des einem solchen Sensorelements SE zugeordneten Sensorelementkanals auf diese anderen paramagnetischen Zentren dieser ggf. anderen Nanokristalle ND angepasst sein. Vorzugsweise sollte LED-Modulationsfrequenz f_{LED} zumindest zwischen Sensorelementkanälen mit unterschiedlichen Pumpstrahlungswellenlängen λ_{pmp} unterschiedlich sein.

[1463] Im Falle der Verwendung solcher anderen Nanokristalle ND und/oder anderen paramagnetischen Zentren in Sensorelementen SE sollten ggf. auch die anderen Vorrichtungsteile der Sensorelementkanäle und/oder die Parameter zu deren Betrieb des einem solchen Sensorelements SE zugeordneten Sensorelementkanals auf diese anderen paramagnetischen Zentren dieser ggf. anderen Nanokristalle ND angepasst sein.

[1464] Die Positionierung der Struktur der **Fig. 2** in der zweidimensionalen Parameterfläche aus magnetischer Gesamtflussdichte B_z bzw. zusätzlicher magnetischer Flussdichte B_{ad} einerseits und deren Form ist von den verwendeten Nanokristallen bzw. Diamant-Nano-Kristallen ND und den verwendeten paramagneti-

schen Zentren abhängig. Typischerweise ist das Vorhandensein einer Struktur ähnlich der der **Fig. 2** für einen als Diamant-Nano-Kristall ND eingesetzten Kristall und dessen Kristallmaterial sowie die in diesem Kristall benutzten und verwendeten paramagnetischen Zentren Voraussetzung für die Anwendung der hier beschriebenen technischen Lehre. Sofern andere Kristalle aus einem Material anders als Diamant und/oder andere paramagnetische Zentren als NV-Zentren in Diamant eingesetzt werden sollen, sollte bei einer Nacharbeit die Struktur der **Fig. 2** oder eine funktionsäquivalente Struktur in entsprechenden Messwerten nachgewiesen werden.

[1465] Somit kann durch die Mikrowellenfrequenz $f_{\mu W}$ die Selektion unterschiedlicher paramagnetischer Zentren vorgenommen werden. Es ist daher denkbar, dass eines oder mehr Sensorelemente SE verschiedene Nanokristalle ND mit paramagnetischen Zentren an Stelle der Diamant-Nano-Kristalle ND und deren paramagnetischen Zentren und/oder Diamant-Nano-Kristalle ND mit verschiedenen paramagnetischen Zentren, beispielsweise SiV-Zentren und NV-Zentren, umfassen. Somit kann die vorgeschlagene Vorrichtung durch Verwendung unterschiedlicher Mikrowellenfrequenz $f_{\mu W}$ unterschiedliche paramagnetische Zentren und damit ggf. auch unterschiedliche Sensorelemente SE adressieren.

[1466] Wie in den Beschreibungen der **Fig. 13 bis 64** und **68 bis 134** dargestellt, kann durch eine unterschiedliche Positionierung und/oder Ausformung der Sensorelemente relativ zu den Vorrichtungselementen des jeweiligen Wellenleiters (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) die Empfindlichkeit und Selektivität des jeweiligen Sensorelements SE bzgl. der magnetischen Gesamtflussdichte B_z und/oder der externen magnetischen Flussdichte B_{ext} und/oder der zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} und/oder der magnetischen Flussdichtekomponente $B_{\mu W}$ des Mikrowellensignals μW gesteuert werden.

[1467] Des Weiteren kann durch die jeweilige LED-Modulationsfrequenz f_{LED} zwischen den Sensorelementen SE mit unterschiedlichen paramagnetischen Zentren unterschiedlicher zugehöriger Pumpstrahlungswellenlänge λ_{pmp} unterschieden werden.

Sensorelementkanal

[1468] Ein Sensorelementkanal im Sinne des hier vorgelegten Dokuments umfasst einen Lichtquellentreiber LDRV, eine Pumpstrahlungsquelle (LED), erste optische Mittel (LWL) zum Transport der Pumpstrahlung LB zum Sensorelement SE, zweite optische Mittel (LWL) zum Transport der Fluoreszenzstrahlung FL des Sensorelements SE zum Fotodetektor PD, einen Fotodetektor PD, Mittel (F1) zum Abtrennen der Fluoreszenzstrahlung FL aus dem Gesamtstrahlungsspektrum vor dem Erreichen des Fotodetektors PD, ggf. Mittel (1380, 1880, 2380, 6880, 6980, μWG) zum Bestrahlen des Sensorelements SE mit elektromagnetischer Strahlung eines Mikrowellensignals μW , ggf. Mittel (μWG) zum Erzeugen des Mikrowellensignals μW , Mittel (G1, S5, S5w) zum Modulieren der Intensität der Pumpstrahlung LB der Pumpstrahlungsquelle (LED) mit einem LED-Modulationssignal S5w, Mittel (G1) zum Erzeugen des LED-Modulationssignals S5w, Mittel (S5m, G2) zum Modulieren der Amplitude des Mikrowellensignals μW mittels eines Mikrowellenmodulationssignals S5m, Mittel (G2) zum Erzeugen des Mikrowellenmodulationssignals S5m, Mittel (V1) zur Aufbereitung des Empfänger Ausgangssignals S0 des Fotodetektors PD zu einem aufbereiteten (verstärktem, gefilterten und/oder digitalisierten) Empfänger Ausgangssignal S1, Mittel (LIV) zur Durchführung einer Mehrfachkorrelation zumindest zwischen dem aufbereiteten (verstärktem, gefilterten und/oder digitalisierten) Empfänger Ausgangssignal S1, dem LED-Modulationssignal S5w und ggf. dem Mikrowellenmodulationssignal S5m zur Erzeugung eines Korrelationsergebnisses beispielsweise zur Übergabe an die Steuervorrichtung CTR. Im Sinne des hier vorgelegten Dokuments ist das Sensorelement SE selbst nicht Teil des Sensorelementkanals.

[1469] Ein Sensorsystem umfasst somit vorzugsweise zumindest ein Sensorelement SE, einen oder mehrere Sensorelementkanäle und eine Steuervorrichtung CTR mit Speichern RAM, NVM zur Steuerung des Sensorkanals und zur Steuerung der Vorrichtungsteile des Sensorsystems und zur Kommunikation mit übergeordneten Rechnersystemen. Vorzugsweise kann ein solches Sensorsystem beispielsweise weitere Komponenten, wie Mittel (LCTR, LDRV, L_c) zur Erzeugung einer zusätzlichen magnetischen Flussdichte B_{ad} und/oder Mittel (MS, SIS) zur Messung der Gesamtflussdichte B_z umfassen und/oder Mittel (MEV) zur Mustererkennung umfassen.

Potenzielle Wechselwirkung mit plasmonisch wirkenden Nanopartikeln im Sensorelement SE

[1470] Die Fluoreszenzstrahlung der NV-Zentren und/oder der anderen paramagnetischen Zentren in den Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND in den Trägermaterialien TM der Sensorelemente SE und insbesondere die Fluoreszenzwellenlänge λ_{fl} der Fluoreszenzstrahlung FL der NV-Zentren und/oder der

anderen paramagnetischen Zentren in den Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND in den Trägermaterialien TM der Sensorelemente SE kann beispielsweise mittels plasmonischer Kopplung durch optionale metallische Nanopartikel, die den Trägermaterialien TM von Sensorelementen SE ebenfalls bei der Herstellung der kolloidalen Mischungen KL beigemischt werden, modifiziert werden. In dem Fall kann dann beispielsweise ein Trägermaterial TM der kolloidalen Mischung KL metallische Nanopartikel mit einem Durchmesser kleiner 200nm und/oder kleiner 100nm und/oder kleiner 50nm und/oder kleiner 20nm und/oder kleiner 10nm und/oder kleiner 5nm aufweisen, die später dann in dem verfestigten Trägermaterial TM der kolloidalen Mischung KL eingelagert sind. Dies verbessert die Anwendbarkeit in speziellen Anwendungsfällen.

[1471] Die metallischen Nanopartikel wechselwirken dann typischerweise plasmonisch mit den NV-Zentren und/oder den anderen paramagnetischen Zentren in den Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND in den Trägermaterialien TM der Sensorelemente SE und beeinflussen dann so die Fluoreszenzstrahlung FL dieser NV-Zentren und/oder der anderen paramagnetischen Zentren in den Kristallen und/oder Diamant-Nano-Kristallen ND in den Trägermaterialien TM der Sensorelemente SE.

[1472] Diese metallischen Nanopartikel weisen typischerweise Gold und/oder Platin und/oder Palladium und/oder Graphit und/oder Graphen und/oder Chrom und/oder Silizium und/oder Germanium und/oder Zinn und/oder Schwefel und/oder Selen und/oder Tellur und/oder Magnesium und/oder Kalzium und/oder Strontium und/oder Barium und/oder Titan und/oder Zirkon und/oder Hafnium und/oder Chrom und/oder Molybdän und/oder Wolfram und/oder Eisen und/oder Ruthenium und/oder Osmium und/oder Nickel und/oder Zinn und/oder Kadmium und/oder Quecksilber und/oder Cerium und/oder Neodym und/oder Samarium und/oder Gadolinium und/oder Dysprosium und/oder Erbium und/oder Ytterbium und/oder Thorium und/oder Proactinium und/oder Uran und/oder Plutonium auf. Wobei erstere besonders bevorzugt sind.

[1473] Die Atome des Metalls dieser optionalen Nanopartikel umfassen eines oder mehrerer Elemente des Periodensystems. Jedes dieser Elemente tritt in verschiedenen Isotopen in der Natur mit einem jeweiligen natürlichen Isotopenmischungsverhältnis auf. Jedes Isotop eines Elements weist dabei einen natürlichen Anteil entsprechend dem natürlichen Isotopenmischungsverhältnis dieses Elements auf. Hinsichtlich der dieser Anteile und der Werte verweist das hier vorgelegte Dokument auf die deutsche Patentanmeldung DE 10 2020 125 178 A1 der Anmelderin. Diese Isotope weisen jeweils ein magnetisches Kernmoment μ auf oder nichtaufweisen je nach Isotop. Bevorzugt weisen die metallischen Nanopartikel bei zumindest einem Element, das die metallischen Nanopartikel aufweisen, einen erhöhten Anteil im Isotopenmischungsverhältnis gegenüber dem natürlichen Anteil des Isotopenmischungsverhältnisses für zumindest eines der folgenden Isotope auf:

^{12}C , ^{14}C , ^{28}Si , ^{30}Si , ^{70}Ge , ^{72}Ge , ^{74}Ge , ^{76}Ge , ^{112}Zn , ^{114}Zn , ^{116}Zn , ^{118}Zn , ^{120}Zn , ^{122}Zn , ^{124}Zn , ^{16}O , ^{18}O , ^{32}S , ^{34}S , ^{36}S , ^{74}Se , ^{76}Se , ^{78}Se , ^{80}Se , ^{82}Se , ^{120}Te , ^{122}Te , ^{124}Te , ^{126}Te , ^{128}Te , ^{130}Te , ^{24}Mg , ^{26}Mg , ^{40}Ca , ^{42}Ca , ^{44}Ca , ^{46}Ca , ^{48}Ca , ^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{88}Sr , ^{130}Ba , ^{132}Ba , ^{134}Ba , ^{136}Ba , ^{138}Ba , ^{46}Ti , ^{48}Ti , ^{50}Ti , ^{90}Zr , ^{92}Zr , ^{94}Zr , ^{96}Zr , ^{174}Hf , ^{176}Hf , ^{178}Hf , ^{50}Cr , ^{52}Cr , ^{53}Cr , ^{92}Mo , ^{94}Mo , ^{96}Mo , ^{98}Mo , ^{100}Mo , ^{180}W , ^{182}W , ^{184}W , ^{186}W , ^{54}Fe , ^{56}Fe , ^{58}Fe , ^{96}Ru , ^{98}Ru , ^{100}Ru , ^{102}Ru , ^{104}Ru , ^{184}Os , ^{186}Os , ^{188}Os , ^{190}Os , ^{192}Os , ^{58}Ni , ^{60}Ni , ^{62}Ni , ^{64}Ni , ^{102}Pd , ^{104}Pd , ^{106}Pd , ^{108}Pd , ^{110}Pd , ^{190}Pt , ^{192}Pt , ^{194}Pt , ^{196}Pt , ^{198}Pt , ^{64}Zn , ^{66}Zn , ^{68}Zn , ^{70}Zn , ^{106}Cd , ^{108}Cd , ^{110}Cd , ^{112}Cd , ^{114}Cd , ^{116}Cd , ^{196}Hg , ^{198}Hg , ^{200}Hg , ^{202}Hg , ^{204}Hg , ^{136}Ce , ^{138}Ce , ^{140}Ce , ^{142}Ce , ^{142}Nd , ^{144}Nd , ^{146}Nd , ^{148}Nd , ^{150}Nd , ^{144}Sm , ^{146}Sm , ^{148}Sm , ^{150}Sm , ^{152}Sm , ^{154}Sm , ^{152}Gd , ^{154}Gd , ^{156}Gd , ^{158}Gd , ^{160}Gd , ^{156}Dy , ^{158}Dy , ^{160}Dy , ^{162}Dy , ^{164}Dy , ^{162}Er , ^{164}Er , ^{166}Er , ^{168}Er , ^{170}Er , ^{168}Yb , ^{170}Yb , ^{172}Yb , ^{174}Yb , ^{176}Yb , ^{232}Th , ^{234}Pa , ^{234}U , ^{238}U , ^{244}Pu .

Liste der zitierten Schriften

[1474] Sofern im Rahmen der Nationalisierung einer internationalen Folgeanmeldung es das Recht des jeweiligen Rechtssystems des Staates, in dem die Nationalisierung der internationalen Anmeldung der hier vorgelegten Schrift erfolgt, eine Offenbarung per Referenz erlaubt ist, ist der Inhalt der folgenden Schriften vollumfänglicher Teil der hier vorgelegten Offenlegung.

Patentliteratur

DE 10 2018 127 394 A1, DE 10 2019 120 076 A1, DE 10 2019 121 028 A1, DE 10 2020 101 784 B3, DE 10 2020 109 477 A1, DE 10 2020 125 178 A1, DE 10 2020 129 319 A1, DE 10 2020 129 367 A1, DE 10 2021 101 565 A1, DE 10 2021 114 589.9, DE 10 2021 132 148 A1, DE 10 2021 132 780 A1, DE 10 2021 132 781 A1, DE 10 2021 132 782 A1, DE 10 2021 132 783 A1, DE 10 2021 132 784 A1,

DE 10 2021 132 785 A1, DE 10 2021 132 786 A1, DE 10 2021 132 787 A1, DE 10 2021 132 788 A1,
 DE 10 2021 132 790 A1, DE 10 2021 132 791 A1, DE 10 2021 132 793 A1, DE 10 2021 132 794 A1,
 DE 10 2022 121 444.3, DE 10 2022 122 505.7, DE 10 2022 122 507.0, DE 10 2023 100 856.0,
 DE 10 2023 100 857.9, DE 10 2023 111 858.7, DE 10 2023 111 859.5, DE 11 2020 003 569 A5,
 DE 11 2020 004 650 A5, DE 20 2020 106 110 U,
 EP 3 213 093 B1, EP 3 874 343 A2,
 US 2017 / 0 322 244 A1, US 2022 / 0 307 997 A1,
 WO 2001 073 935 A1, WO 2020 089 465 A1, WO 2020 239 172 A1, WO 2020 260 640 A1,
 WO 2021 013 308 A1, WO 2021 083 448 A1, WO 2021 089 091 A1, WO 2021 018 654 A1,
 WO 2021 151 429 A1

Nicht-Patentliteratur

Keunhong Jeong, Anna J. Parker, Ralph H. Page, Alexander Pines, Christophoros C. Vassiliou, Jonathan P. King „Understanding the Magnetic Resonance Spectrum of Nitrogen Vacancy Centers in an Ensemble of Randomly Oriented Nanodiamonds“, *The Journal of Physical Chemistry C*, 2017, 121 (38), p. 21057-21061, DOI: 10.1021/acs.jpcc.7b07247

R.K. Hoffmann „Integrierte Mikrowellenschaltungen: Elektrische Grundlagen, Dimensionierung, technische Ausführung, Technologien“ Springer; 1. Edition (1. Juni 1983), ISBN-10: 3540123520, ISBN-13: 978-3540123521

Marc J. Madou „Fundamentals of Microfabrication: the science of miniaturization“ CRC Press 2002

Röcke H., Meijer J., Stephan A., Weidenmüller U., Bukow H. H., Rolfs C. „White electroluminescent nanostructure in silicon fabricated using focused ion implantation“ *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 181 (1001) Seite 274-279.

Baha E.A. Saleh, Malvin Carl Teich, „Grundlagen der Photonik“Wiley-VCH, 2007

Bernhard C. Kress, Patrick Meyreueis „Applied Digital Optics“ Wiley, 2009

Burchard B., „Elektronische und optoelektronische Bauelemente und Bauelementstrukturen auf Diamantbasis“ Dissertation, Hagen 1994.

K. Kurokawa, „Avalanche Breakdown Electroluminescence in Silicon Carbide Light Emitting Diodes“, January 2000 *Materials Science Forum* 338-342:691-694, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.338-342.691

Staecke, R., John, R., Wunderlich, R., Horsthemke, L., Knolle, W., Laube, C, Glösekötter, P., Burchard, B., Abel, B., Meijer, J. (2020), „Isotropie Scalar Quantum Sensing of Magnetic Fields for Industrial Application“, *Adv. Quantum Technol.*, doi:10.1002/qute.202000037,

Marina Radulaski, Matthias Widmann, Matthias Niethammer, Jingyuan Linda Zhang, Sang-Yun Lee, Torsten Rendler, Konstantinos G. Lagoudakis, Nguyen Tien Son, Erik Janzen, Takeshi Ohshima, Jörg Wrachtrup, Jelena Vučkovic, „Scalable Quantum Photonics with Single Color Centers in Silicon Carbide“, *Nano Letters* 17 (3), 1782-1786 (2017), DOI: 10.1021/acs.nanolett.6b05102, arXiv:1612.02874

C. Wang, C. Kurtsiefer, H. Weinfurter, and B. Burchard, „Single photon emission from SiV centres in diamond produced by ion implantation“ *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.*, 39(37), 2006

Björn Tegetmeyer, „Luminescence properties of SiV-centers in diamond diodes“ Promotionsschrift, Universität Freiburg, 30.01.2018

Carlo Bradac, Weibo Gao, Jacopo Forneris, Matt Trusheim, Igor Aharonovich, „Quantum Nanophotonics with Group IV defects in Diamond“, DOI: 10.1038/s41467-020-14316-x, arXiv:1906.10992

Rasmus Høy Jensen, Erika Janitz, Yannik Fontana, Yi He, Olivier Gobron, Ilya P. Radko, Mihir Bhaskar, Ruffin Evans, Cesar Daniel Rodriguez Rosenblueth, Lilian Childress, Alexander Huck, Ulrik Lund Andersen, „Cavity-Enhanced Photon Emission from a Single Germanium-Vacancy Center in a Diamond Membrane“, arXiv:1912.05247v3 [quant-ph] 25 May 2020

Takayuki Iwasaki, Yoshiyuki Miyamoto, Takashi Taniguchi, Petr Siyushev, Mathias H. Metsch, Fedor Jelezko, Mutsuko Hatano, „Tin-Vacancy Quantum Emitters in Diamond“, *Phys. Rev. Lett.* 119, 253601 (2017), DOI: 10.1103/PhysRevLett.119.253601, arXiv:1708.03576 [quant-ph]

Matthew E. Trusheim, Noel H. Wan, Kevin C. Chen, Christopher J. Ciccarino, Ravishankar Sundararaman, Girish Malladi, Eric Bersin, Michael Walsh, Benjamin Lienhard, Hassaram Bakhr, Prineha Narang, Dirk Englund, „Lead-Related Quantum Emitters in Diamond“ *Phys. Rev. B* 99, 075430 (2019), DOI: 10.1103/PhysRevB.99.075430, arXiv:1805.12202 [quant-ph]

M. Hollenbach, Y. Berencén, U. Kentsch, M. Helm, G. V. Astakhov „Engineering telecom single-photon emitters in silicon for scalable quantum photonics“ *Opt. Express* 28, 26111 (2020), DOI: 10.1364/OE.397377, arXiv:2008.09425 [physics.app-ph]

Castelletto and Alberto Boretti, „Silicon carbide color centers for quantum applications“ 2020 *J. Phys. Photonics* 2 022001

V. Ivády, J. Davidsson, N. T. Son, T. Ohshima, I. A. Abrikosov, A. Gali, „Identification of Si-vacancy related roomtemperature qubits in 4H silicon carbide“, *Phys. Rev.B*, 2017, 96,161114

J. Davidsson, V. Ivády, R. Armiento, N. T. Son, A. Gali, I. A. Abrikosov, „First principles predictions of magneto-optical data for semiconductor point defect identification: the case of divacancy defects in 4H-SiC“, *New J. Phys.*, 2018, 20, 023035

J. Davidsson, V. Ivády, R. Armiento, T. Ohshima, N. T. Son, A. Gali, I. A. Abrikosov „Identification of divacancy and silicon vacancy qubits in 6H-SiC“, *Appl. Phys. Lett.* 2019, 114, 112107

S. A. Zargaleh, S. Hameau, B. Eble, F. Margailan, H. J. von Bardeleben, J. L. Cantin, W. Gao, „Nitrogen vacancy center in cubic silicon carbide: a promising qubit in the 1.5 μ m spectral range for photonic quantum networks“ *Phys. Rev.B*, 2018, 98, 165203

S. A. Zargaleh et al „Evidence for near-infrared photoluminescence of nitrogen vacancy centers in 4H-SiC“ *Phys. Rev.B*, 2016, 94, 060102

P. Balasubramanian, M. H. Metsch, Reddy, R. Prithvi, J. Lachlan, N. B. Manson, M. W. Doherty, F. Jelezko, „Discovery of ST1 centers in natural diamond“ *Nanophotonics*, Vol. 8, Nr. 11, 2019, Seiten 1993-2002. <https://doi.org/10.1515/nanoph-2019-0148>

J. Foglszinger, A. Denisenko, T. Kornher, M. Schreck, W. Knolle, B. Yavkin, R. Kolesov, J. Wrachtrup „ODMR on Single TR12 Centers in Diamond“ arXiv:2104.04746v1 [physics.optics]

IEEE Standard for Test Access Port and Boundary-Scan Architecture, IEEE Std 1149.1-2013 (Revision of IEEE Std 1149.1-2001) beschrieben.

IEEE Standard for Reduced-Pin and Enhanced-Functionality Test Access Port and Boundary-Scan Architecture IEEE Std 1149.7-2009

IEEE Supplement to Standard Test Access Port and Boundary-Scan Architecture (1149.1) IEEE Std 1149.1b-1994

IEEE Standard for Reduced-Pin and Enhanced-Functionality Test Access Port and Boundary-Scan Architecture, IEEE Std 1149.7-2022 (Revision of IEEE Std 1149.7-2009)

IEEE Standard for Access and Control of Instrumentation Embedded within a Semiconductor Device, IEEE Std 1687-2014 Ilja Fescenko, Andrey Jarmola, Igor Savukov, Pauli Kehayias, Janis Smits, Joshua Damron, Nathaniel Ristoff, Nazanin Mosavian und Victor M. Acosta „Diamond magnetometer enhanced by ferrite flux concentrators“, *Phys. Rev. Research* 2, 023394, 24 June 2020,

DOI :<https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.2.023394>

Georgios Chatzidrosos, Joseph Shaji Rebeirro, Huijie Zheng, Muhib Omar, Andreas Brenneis, Felix M. Stürner, Tino Fuchs, Thomas Buck, Robert Rölver, Tim Schneemann, Peter Blümmler, Dmitry Budker, Arne Wickenbrock, „Fiberized Diamond-Based Vector Magnetometers“, *Front. Photon.*, 20 August 2021, Sec. Quantum Optics, Volume 2 - 2021 | <https://doi.org/10.3389/fphot.2021.732748>

Yuji Hatano, Jaewon Shin, Daisuke Nishitani, Haruki Iwatsuka, Yuta Masuyama, Hiroki Sugiyama, Makoto Ishii, Shinobu Onoda, Takeshi Ohshima, Keigo Arai, Takayuki Iwasaki, Mutsuko Hatano, „Simultaneous thermometry and magnetometry using a fiber-coupled quantum diamond sensor“ *Appl. Phys. Lett.* 118, 034001 (2021) <https://doi.org/10.1063/5.0031502>,

<https://de.wikipedia.org/wiki/Lichtwellenleiter>

„<https://de.wikipedia.org/wiki/Streifenleitung>“

„https://de.wikipedia.org/wiki/Joint_Test_Action_Group“

„<https://www.corelis.com/education/tutorials/boundary-scan/>“

„https://de.wikipedia.org/wiki/Statistische_Versuchsplanung“

„<https://www.norlandprod.com/adhesives/noa%2061.html>“

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102022005018 [0001]
- DE 102023100857 [0001, 1215, 1474]
- DE 102023111859 [0001, 1215, 1474]
- DE 102022122507 [0001, 1474]
- DE 102023115907 [0001]
- DE 102023121634 [0001]
- DE 102022131306 [0001]
- DE 102020129367 A1 [0020, 0060, 1474]
- DE 102020109477 A1 [0021, 1429, 1474]
- DE 102019120076 A1 [0022, 1474]
- DE 112020003569 A5 [0022, 1474]
- DE 112020004650 A5 [0022, 1474]
- DE 102021101565 A1 [0022, 1474]
- DE 102021132782 A1 [0022, 1442, 1474]
- EP 3874343 A2 [0022, 1474]
- WO 2022096891 A1 [0033]
- CN 114994006 A [0034]
- CN 112146782 A [0035]
- CN 114720553 A [0036]
- DE 102020125178 A1 [0186, 1473, 1474]
- DE 102021132780 A1 [0212, 1442, 1474]
- DE 102022122505 [0216, 1474]
- DE 102021132148 A1 [0739, 1474]
- EP 3980797 A1 [1028]
- DE 102023100856 [1215, 1474]
- DE 102023111858 [1215, 1302, 1474]
- DE 102018127394 A1 [1371, 1474]
- DE 102021132783 A1 [1436, 1442, 1474]
- DE 102020101784 B3 [1438, 1474]
- DE 202020106110 U [1438, 1474]
- DE 2020/100953 PCT [1438]
- EP 2019/079992 PCT [1438]
- EP 2020/068110 PCT [1438]
- EP 2020/070485 PCT [1438]
- DE 2021/100069 PCT [1438]
- DE 2020/100827 PCT [1438]
- WO 2020239172 A1 [1438, 1474]
- DE 2020/100430 PCT [1438]
- WO 2001073935 A1 [1438, 1474]
- WO 2021013308 A1 [1438, 1474]
- DE 2020/100648 PCT [1438]
- DE 102021132781 A1 [1442, 1474]
- DE 102021132784 A1 [1442, 1474]
- DE 102021132785 A1 [1442, 1474]
- DE 102021132786 A1 [1442, 1474]
- DE 102021132787 A1 [1442, 1474]
- DE 102021132788 A1 [1442, 1474]
- DE 102021132790 A1 [1442, 1474]
- DE 102021132791 A1 [1442, 1474]
- DE 102021132793 A1 [1442, 1474]
- DE 102021132794 A1 [1442, 1474]
- DE 102019121028 A1 [1474]
- DE 102020129319 A1 [1474]
- DE 102021114589 [1474]
- DE 102022121444 [1474]
- EP 3213093 B1 [1474]
- US 2017/0322244 A1 [1474]
- US 2022/0307997 A1 [1474]
- WO 2020089465 A1 [1474]
- WO 2020260640 A1 [1474]
- WO 2021083448 A1 [1474]
- WO 2021089091 A1 [1474]
- WO 2021018654 A1 [1474]
- WO 2021151429 A1 [1474]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Röcke H., Meijer J., Stephan A., Weidenmüller U., Bukow H. H., Rolfs C. „White electroluminescent nanostructure in silicon fabricated using focused ion implantation“ Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 181 (1001) Seite 274-279 [1340, 1474]
- Röcken H., Meijer J., Stephan A., Weidenmüller U., Bukow H.H., Rolfs C., „White electroluminescent nanostructure in silicon fabricated using focused ion implantation“ Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 181 (1001) Seite 274-279 [1359]
- Röcken H., Meijer J., Stephan A., Weidenmüller U., Bukow H.H., Rolfs C., „White electroluminescent nanostructure in silicon fabricated using focused ion implantation“ Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 181 (1001) Seite 274-279 [1381]
- Marina Radulaski, Matthias Widmann, Matthias Niethammer, Jingyuan Linda Zhang, Sang-Yun Lee, Torsten Rendler, Konstantinos G. Lagoudakis, Nguyen Tien Son, Erik Janzen, Takeshi Ohshima, Jörg Wrachtrup, Jelena Vučkovic, „Scalable Quantum Photonics with Single Color Centers in Silicon Carbide“, Nano Letters 17 (3), 1782-1786 [1444]
- C. Wang, C. Kurtsiefer, H. Weinfurter, and B. Burchard, „Single photon emission from SiV centres in diamond produced by ion implantation“ J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys., 39(37) [1444]
- Takayuki Iwasaki, Yoshiyuki Miyamoto, Takashi Taniguchi, Petr Siyushev, Mathias H. Metsch, Fedor Jelezko, Mutsuko Hatano, „Tin-Vacancy

- Quantum Emitters in Diamond“, Phys. Rev. Lett. 119, 253601 [1444, 1474]
- Matthew E. Trusheim, Noel H. Wan, Kevin C. Chen, Christopher J. Ciccarino, Ravishankar Sundararaman, Girish Malladi, Eric Bersin, Michael Walsh, Benjamin Lienhard, Hassaram Bakhru, Prineha Narang, Dirk Englund, „Lead-Related Quantum Emitters in Diamond“ Phys. Rev. B 99, 075430 [1444, 1474]
 - J. Davidsson, V. Ivády, R. Armiento, T. Ohshima, N. T. Son, A. Gali, I. A. Abrikosov „Identification of divacancy and silicon vacancy qubits in 6H-SiC“, Appl. Phys. Lett. 2019, 114, 112107 [1444]
 - P. Balasubramanian, M. H. Metsch, Reddy, R. Prithvi, J. Lachlan, N. B. Manson, M. W. Doherty, F. Jelezko, „Discovery of ST1 centers in natural diamond“ Nanophotonics, Vol. 8, Nr. 11, 2019, Seiten 1993-2002 [1444, 1474]
 - Keunhong Jeong, Anna J. Parker, Ralph H. Page, Alexander Pines, Christophoros C. Vasiliou, Jonathan P. King „Understanding the Magnetic Resonance Spectrum of Nitrogen Vacancy Centers in an Ensemble of Randomly Oriented Nanodiamonds“, The Journal of Physical Chemistry C, 2017, 121 (38), p. 21057-21061 [1474]
 - K. Kurokawa, „Avalanche Breakdown Electroluminescence in Silicon Carbide Light Emitting Diodes“, January 2000 Materials Science Forum 338-342:691-694 [1474]
 - S. A. Zargaleh et al „Evidence for near-infrared photoluminescence of nitrogen vacancy centers in 4H-SiC“ Phys. Rev.B, 2016, 94, 060102 [1474]
 - Yuji Hatano, Jaewon Shin, Daisuke Nishitani, Haruki Iwatsuka, Yuta Masuyama, Hiroki Sugiyama, Makoto Ishii, Shinobu Onoda, Takeshi Ohshima, Keigo Arai, Takayuki Iwasaki, Mutsuko Hatano, „Simultaneous thermometry and magnetometry using a fiber-coupled quantum diamond sensor“ Appl. Phys. Lett. 118, 034001 [1474]

Patentansprüche

1. Lichtwellenleiter (LWL)

mit einem Sensorelement (SE)

wobei das Sensorelement (SE) ein Trägermaterial (TM) aufweist und wobei in das Trägermaterial (TM) eine Vielzahl von Diamanten (DM) eingebettet sind und

wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten (DM) dieser Diamanten (DM) NV-Zentren (NVZ) und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren (NVZ) des Sensorelements (SE) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements (SE) bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) zumindest eine Fluoreszenzstrahlung (FL) emittieren, gekennzeichnet dadurch,

dass das Trägermaterial (TM) ein strahlungsgehärtetes Trägermaterial (TM) ist und dass das Trägermaterial (TM) für Strahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) der Pumpstrahlung (LB), mit der die NV-Zentren (NVZ) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren gepumpt werden, im Wesentlichen transparent ist und dass das Trägermaterial (TM) für Strahlung mit einer Fluoreszenzwellenlänge (λ_{fl}) der Fluoreszenzstrahlung (LB) der NV-Zentren (NVZ) und/oder der anderen paramagnetischen Zentren im Wesentlichen transparent ist.

2. Verfahren zur Herstellung eines Lichtwellenleiters (LWL), insbesondere Anspruch 1,

mit den Schritten

Bereitstellen (140) eines Lichtwellenleiters (LWL),

wobei der Lichtwellenleiter (LWL) ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist; Bereitstellen (145) eines flüssigen und mittels elektromagnetischer Strahlung einer Aushärtewellenlänge (λ_{H}) härtbaren Trägermaterials (TM),

wobei in das Trägermaterial (TM) eine Vielzahl von Diamanten (DM) und/oder Kristalle eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten (DM) dieser Diamanten (DM) und/oder Kristalle NV-Zentren (NVZ) und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und

wobei die NV-Zentren (NVZ) des Trägermaterials (TM) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Trägermaterials (TM) bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) zumindest eine Fluoreszenzstrahlung (FL) emittieren;

Benetzen (150) des ersten Endes des Lichtwellenleiters (LWL), insbesondere auf eine Benetzungslänge (L_{B}) oder in einem Benetzungsbereich, mit dem Trägermaterial (TM), das die Vielzahl eingebetteter Diamanten (DM) und/oder Kristalle aufweist;

Bestrahlen (155) des Trägermaterials (TM) im Bereich des ersten Endes (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL) mit elektromagnetischer Aushärtestrahlung, wobei die Wellenlänge dieser elektromagnetischen Strahlung, die Aushärtewellenlänge (λ_{H}), so gewählt ist, dass das Trägermaterial (TM) am ersten Ende (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL) im bestrahlten Bereich zumindest teilweise aushärtet und sich zumindest teilweise in einen Festkörper wandelt; Entfernen (160) des nicht ausgehärteten Trägermaterials (TM), insbesondere mittels eines Lösungsmittels,

wobei der verbleibende Film des Trägermaterials (TM) am ersten Ende des Lichtwellenleiters (LWL) das Sensorelement (SE) bildet.

3. Verfahren nach Anspruch 2,

wobei der bereitgestellte Lichtwellenleiter (LWL)

- zumindest am ersten Ende des Lichtwellenleiters (LWL) einen Lichtwellenleiterkern (LWLC) aufweist und/oder

- zumindest am ersten Ende des Lichtwellenleiters mit einer lichtundurchlässigen Schicht beschichtet ist, die eine oder mehrere lichtdurchlässige Öffnungen, die Clearances, aufweist, und

wobei diese Strukturen des Lichtwellenleiters (LWL), der Lichtwellenleiterkern (LWLC) und/oder die Clearances, den Lichtaustritt der Aushärtestrahlung mit der Aushärtewellenlänge λ_{H} am ersten Ende des Lichtwellenleiters bereichsweise auf einen oder mehrere Austrittsbereiche begrenzen und

wobei das Verfahren in dem Trägermaterial (TM) beim Aushärten durch Einspeisung der Aushärtestrahlung mit der Aushärtewellenlänge λ_{H} am zweiten Ende (ELWL2) des Lichtwellenleiters (LWL)

- ein oder mehrere optische Funktionselemente (LWLL) und/oder

- ein oder mehrere Sensorelemente (SE) am ersten Ende (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL) im Bereich des einen oder der mehreren Austrittsbereiche ausformt und

wobei das eine oder die mehreren so durch das Verfahren ausgeformten optischen Funktionselement (LWLL) und/oder das eine oder die mehreren so durch das Verfahren ausgeformten Sensorelemente (SE) durch das Verfahren so eingerichtet werden, dass das eine oder die mehreren so durch das Verfahren ausgeformten optischen Funktionselement (LWLL) und/oder das eine oder die mehreren so durch das Verfahren ausgeformten Sensorelemente (SE)

- mit dem Lichtwellenleiterkern (LWLC) am ersten Ende (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL) und/oder
- mit der einen oder den mehreren Clearances am ersten Ende (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL), insbesondere durch das Verfahren selbstjustiert, optisch zusammenwirken,
- wenn am zweiten Ende (ELWL2) des Lichtwellenleiters (LWL) optische Strahlung, insbesondere Pumpstrahlung (LB) mit der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) eingespeist wird und/oder
- wenn am ersten Ende (ELWL1) des Lichtwellenleiters (LWL) NV-Zentren (NVZ) innerhalb des Trägermaterials (TM) und/oder andere paramagnetische Zentren innerhalb des Trägermaterials (TM) eine Fluoreszenzstrahlung (FL) emittieren.

4. Verfahren zum Bestimmen einer physikalischen Größe mit den Schritten Bereitstellen eines Lichtwellenleiters (LWL) nach Anspruch 1, Einspeisen einer Pumpstrahlung (LB) mit der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) in den Lichtwellenleiter (LWL), insbesondere an dem zweiten Ende (ELWL2) des Lichtwellenleiters (LWL), oder Bestrahlen des Sensorelements (SE) des Lichtwellenleiters (LWL) mit einer Pumpstrahlung (LB) mit der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}); Erfassen eines Intensitätswerts der Fluoreszenzstrahlung (FL) der NV-Zentren (NVZ) des Sensorelements (SE) und/oder der anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements (SE) und Ermitteln zumindest eines Messwerts für eine physikalische Größe aus diesem Intensitätswert und ggf. weiteren Werten.

5. Magnetfeldkamera

mit einer Sensorelementschicht (5) als einem Sensorelement (SE) wobei das Sensorelement (SE) ein Trägermaterial (TM) aufweist und wobei in das Trägermaterial (TM) eine Vielzahl von Diamanten (DM) eingebettet sind und

wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten (DM) dieser Diamanten (DM) NV-Zentren (NVZ) und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren (NVZ) des Sensorelements (SE) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements (SE) bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) zumindest eine Fluoreszenzstrahlung (FL) emittieren, gekennzeichnet dadurch, dass das Trägermaterial (TM) ein strahlungsgehärtetes Trägermaterial (TM) ist und dass das Trägermaterial (TM) für Strahlung mit einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) der Pumpstrahlung (LB), mit der die NV-Zentren (NVZ) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren gepumpt werden, im Wesentlichen transparent ist und dass das Trägermaterial (TM) für Strahlung mit einer Fluoreszenzwellenlänge (λ_{fl}) der Fluoreszenzstrahlung (LB) der NV-Zentren (NVZ) im Wesentlichen transparent ist und dass die Magnetfeldkamera eine Fluoreszenzkamera, insbesondere ein Lichtsensorarray (1) und eine Optik (7), zur orts aufgelösten Aufnahme eines Fluoreszenzbildes der Fluoreszenzstrahlung (FL) der NV-Zentren (NVZ) und/oder der anderen paramagnetischen Zentren mit mindestens 2x2 Pixeln umfasst.

6. Motorsteuerung für einen Motor,

wobei der Motor und/oder die Ansteuerung des Motors einen Lichtwellenleiter Anspruch 1 umfasst und/oder wobei die Ansteuerung des Motors eine Magnetfeldkamera nach Anspruch 5 umfasst.

7. Verfahren zur Kommutierung eines Motors

Erfassen der Zeitpunkte der Nulldurchgänge des Phasenstromes einer Motorphase des Motors mittels eines Verfahrens nach Anspruch 4 und/oder Erfassen der Zeitpunkte der Nulldurchgänge des Betrags der magnetischen Flussdichte innerhalb des Luftspalts (LS) des Motors mittels eines Verfahrens nach Anspruch 4, wobei das Sensorelement (SE) im Luftspalt (LS) des Motors und/oder im Streufeld des magnetischen Feldes im Luftspalt (LS) des Motors angeordnet ist; Steuern der Kommutierung der Phasenspannungen der Phasenanschlüsse der Motorphasenwicklungen in Abhängigkeit von den Zeitpunkten der Nulldurchgänge.

8. Lichtwellenleiterproduktionsmenge

wobei die Lichtwellenleiterproduktionsmenge mehrere Lichtwellenleiter (LWL) umfasst und wobei der Lichtwellenleiter (LWL) der mehreren Lichtwellenleiter (LWL) mit einem Sensorelement (SE) versehen ist und

wobei das Sensorelement (SE) ein Trägermaterial (TM) aufweist und wobei in das Trägermaterial (TM) eine Vielzahl von Diamanten (DM) und/oder von Kristallen eingebettet sind und

wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten (DM) dieser Diamanten (DM) und/oder einer oder mehrere Kristalle dieser Kristalle NV-Zentren (NVZ) und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren (NVZ) des Sensorelements (SE) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements (SE) bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) einer vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität über den Lichtwellenleiter (LWL) zumindest eine Fluores-

zenzstrahlung (FL) emittieren, gekennzeichnet dadurch, dass diese Lichtwellenleiterproduktionsmenge dieser Lichtwellenleiter (LWL) 10 oder mehr Lichtwellenleiter (LWL) umfasst und dass das hier maßgebliche Toleranzfenster der Intensität der Fluoreszenzstrahlung (FL) der besagten bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) einer vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität über den Lichtwellenleiter (LWL) 10% des Mittelwerts der gemessenen Intensitäten der Fluoreszenzstrahlung (FL) der verschiedenen Lichtwellenleiter der Lichtwellenleiterproduktionsmenge bei der besagten Bestrahlung des Sensorelements (SE) mit Pumpstrahlung (LB) der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) der vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität beträgt, wobei die Bestrahlung die Bestrahlung für die Vermessung des jeweiligen Lichtwellenleiters (LWL) über den jeweiligen Lichtwellenleiter (LWL) erfolgt, und dass der C_{pk} -Wert dieser gemessenen Intensitäten der Fluoreszenzstrahlung (FL) der verschiedenen Lichtwellenleiter (LWL) der Lichtwellenleiterproduktionsmenge bei der besagten Bestrahlung des Sensorelements (SE) mit Pumpstrahlung (LB) der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) der vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität bezogen auf das besagte maßgebliche Toleranzfenster einen C_{pk} -Wert höher als $C_{\text{pk}}=0,8$ und/oder höher als $C_{\text{pk}}=1,0$ und/oder höher als $C_{\text{pk}}=1,2$ und/oder höher als $C_{\text{pk}}=1,4$ und/oder höher als $C_{\text{pk}}=1,66$ beträgt.

9. Wellenleiterproduktionsmenge

wobei die Wellenleiterproduktionsmenge mehrere Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) umfasst und wobei jeder Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) der Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) mit einem Sensorelement (SE) versehen ist und wobei das Sensorelement (SE) ein Trägermaterial (TM) aufweist und wobei in das Trägermaterial (TM) eine Vielzahl von Diamanten (DM) und/oder von Kristallen eingebettet sind und wobei einer oder mehrere oder alle Diamanten (DM) dieser Diamanten (DM) und/oder einer oder mehrere Kristalle dieser Kristall NV-Zentren (NVZ) und/oder andere paramagnetischen Zentren aufweisen und wobei die NV-Zentren (NVZ) des Sensorelements (SE) und/oder die anderen paramagnetischen Zentren des Sensorelements (SE) bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) einer vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität zumindest eine Fluoreszenzstrahlung (FL) emittieren, gekennzeichnet dadurch, dass diese Wellenleiterproduktionsmenge dieser Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) 10 oder mehr Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) umfasst und dass das hier maßgebliche Toleranzfenster der Intensität der Fluoreszenzstrahlung (FL) der besagten bei Bestrahlung mit Pumpstrahlung (LB) einer Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) einer vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität über einen Lichtwellenleiter (LWL) oder über eine für jeden Wellenleiter gleiche Lichtübertragungsstrecke 10% des Mittelwerts der gemessenen Intensitäten der Fluoreszenzstrahlung (FL) der verschiedenen Wellenleiter (1380, 1880, 2380, 6880, 6980) der Wellenleiterproduktionsmenge bei der besagten Bestrahlung des Sensorelements (SE) mit Pumpstrahlung (LB) der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) der vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität beträgt, wobei die Bestrahlung für die Vermessung des jeweiligen Wellenleiters über jeweils pro Wellenleiter den Lichtwellenleiter (LWL) oder über die für jeden Wellenleiter gleiche Lichtübertragungsstrecke erfolgt und dass der C_{pk} -Wert dieser gemessenen Intensitäten der Fluoreszenzstrahlung (FL) der verschiedenen Wellenleiter der Wellenleiterproduktionsmenge bei der besagten Bestrahlung des Sensorelements (SE) mit Pumpstrahlung (LB) der Pumpstrahlungswellenlänge (λ_{pmp}) der vorbestimmten Pumpstrahlungsintensität bezogen auf das besagte maßgebliche Toleranzfenster einen C_{pk} -Wert höher als $C_{\text{pk}}=0,8$ und/oder höher als $C_{\text{pk}}=1,0$ und/oder höher als $C_{\text{pk}}=1,2$ und/oder höher als $C_{\text{pk}}=1,4$ und/oder höher als $C_{\text{pk}}=1,66$ beträgt.

10. Mikointegrierter Schaltkreis

wobei es sich um einen MOS- oder einen CMOS oder einen BICMOS- oder einen Bipolar-Schaltkreis auf einem, insbesondere halbleitenden, Trägersubstrat (1360) handelt und wobei der mikointegrierte Schaltkreis zumindest einen Lichtwellenleiter (LWL1, LWL2) nach Anspruch 1 umfasst.

Es folgen 98 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

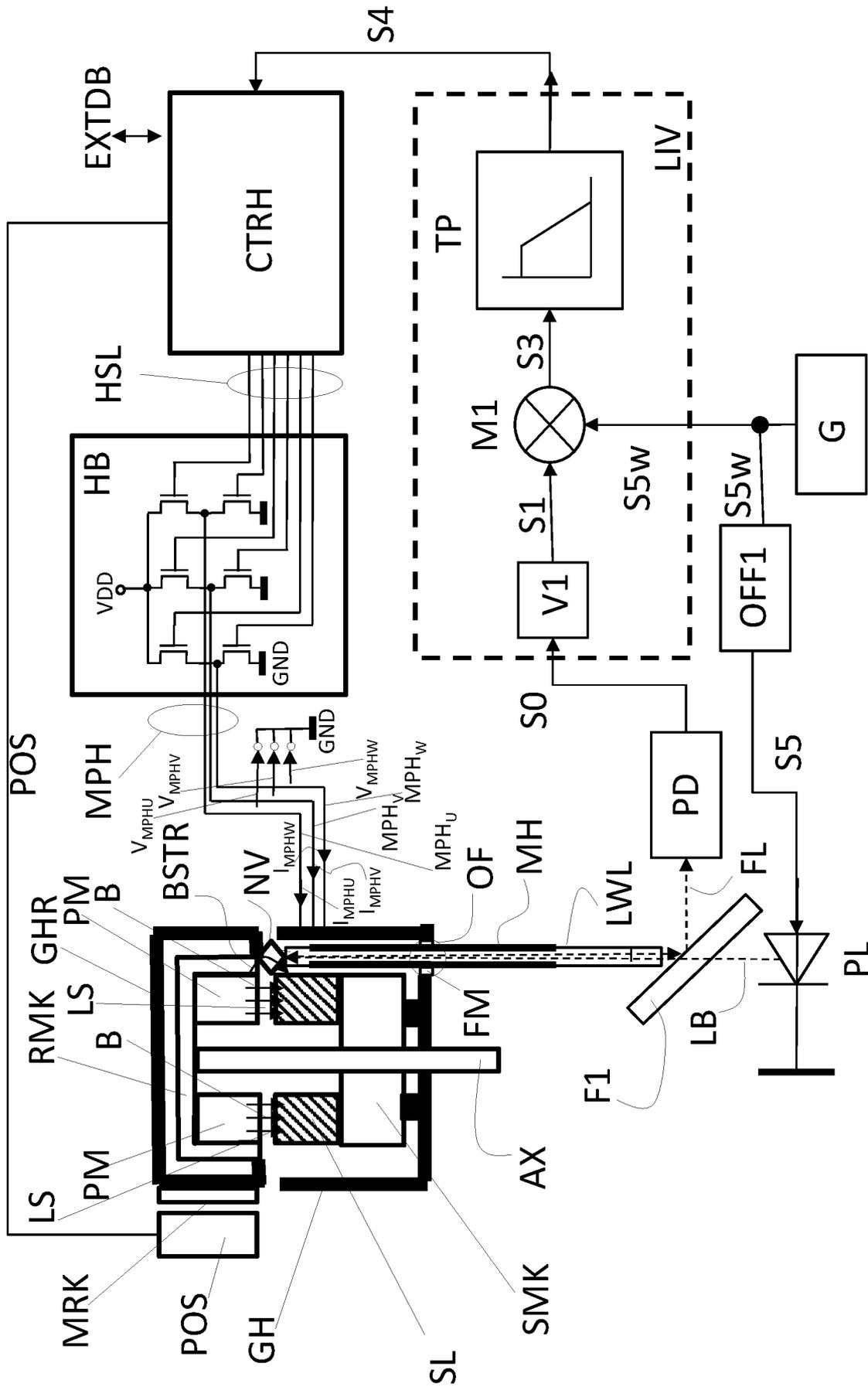


Fig. 1

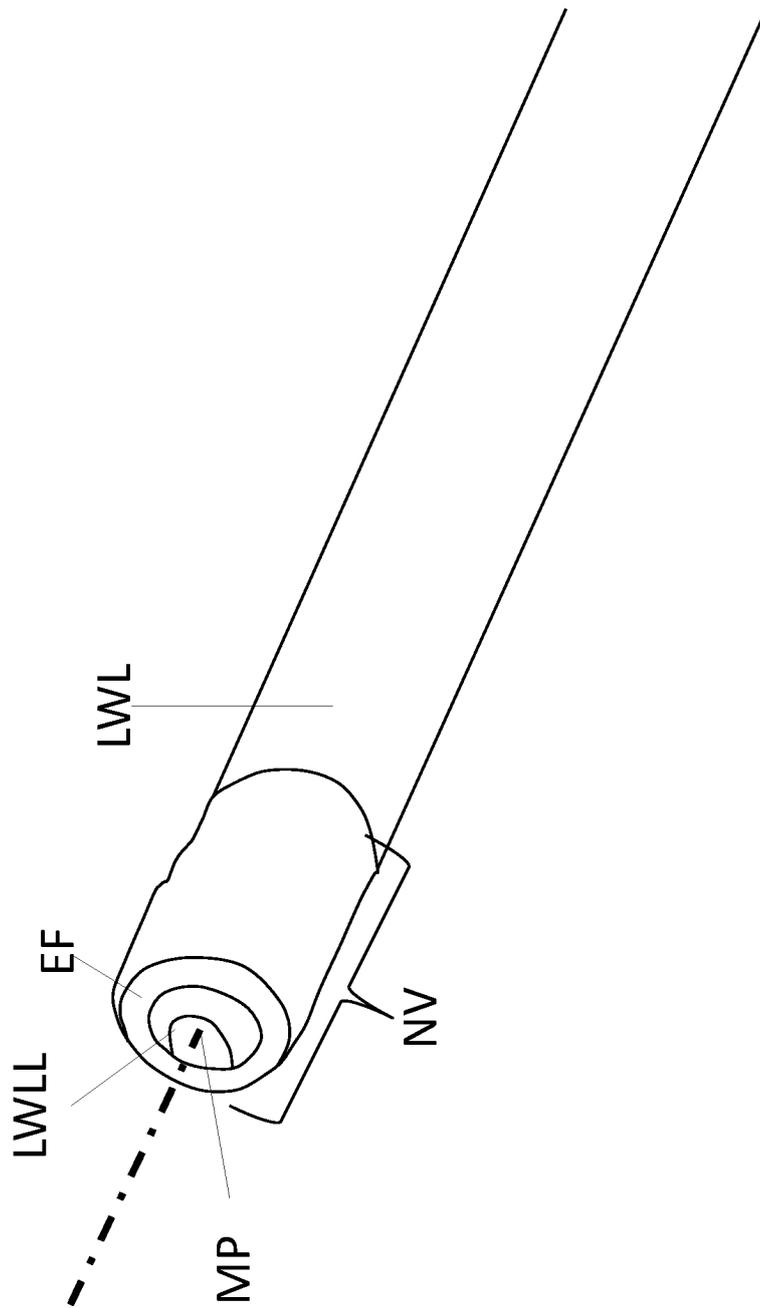


Fig. 2

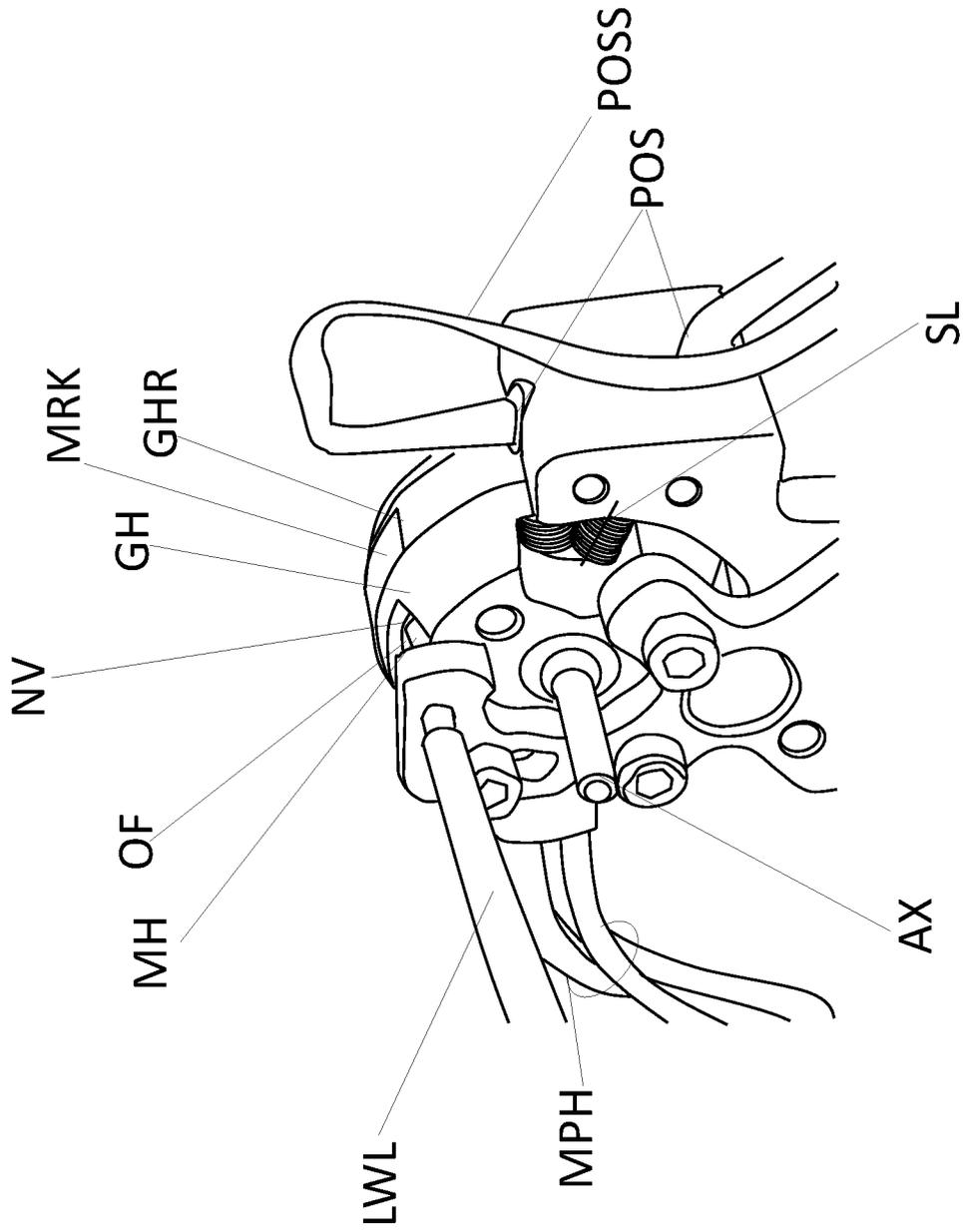


Fig. 3

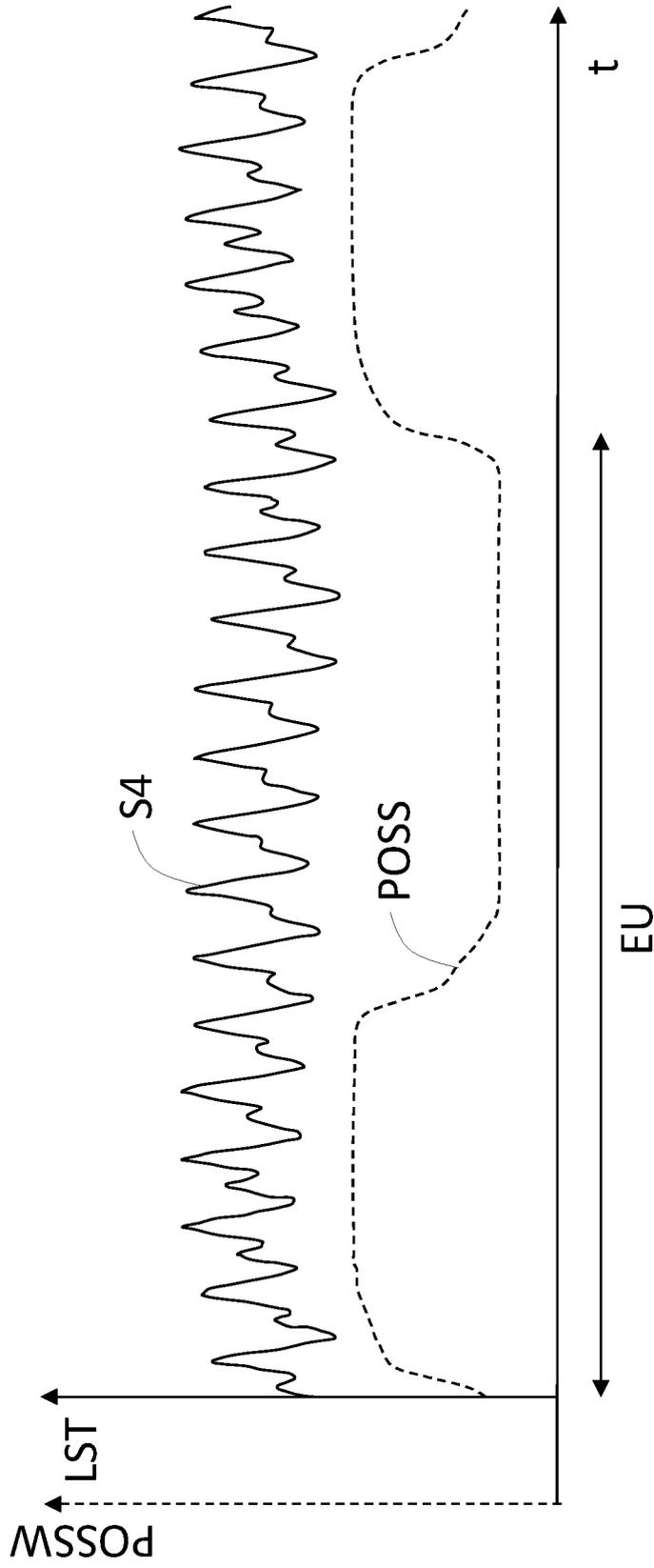


Fig. 4

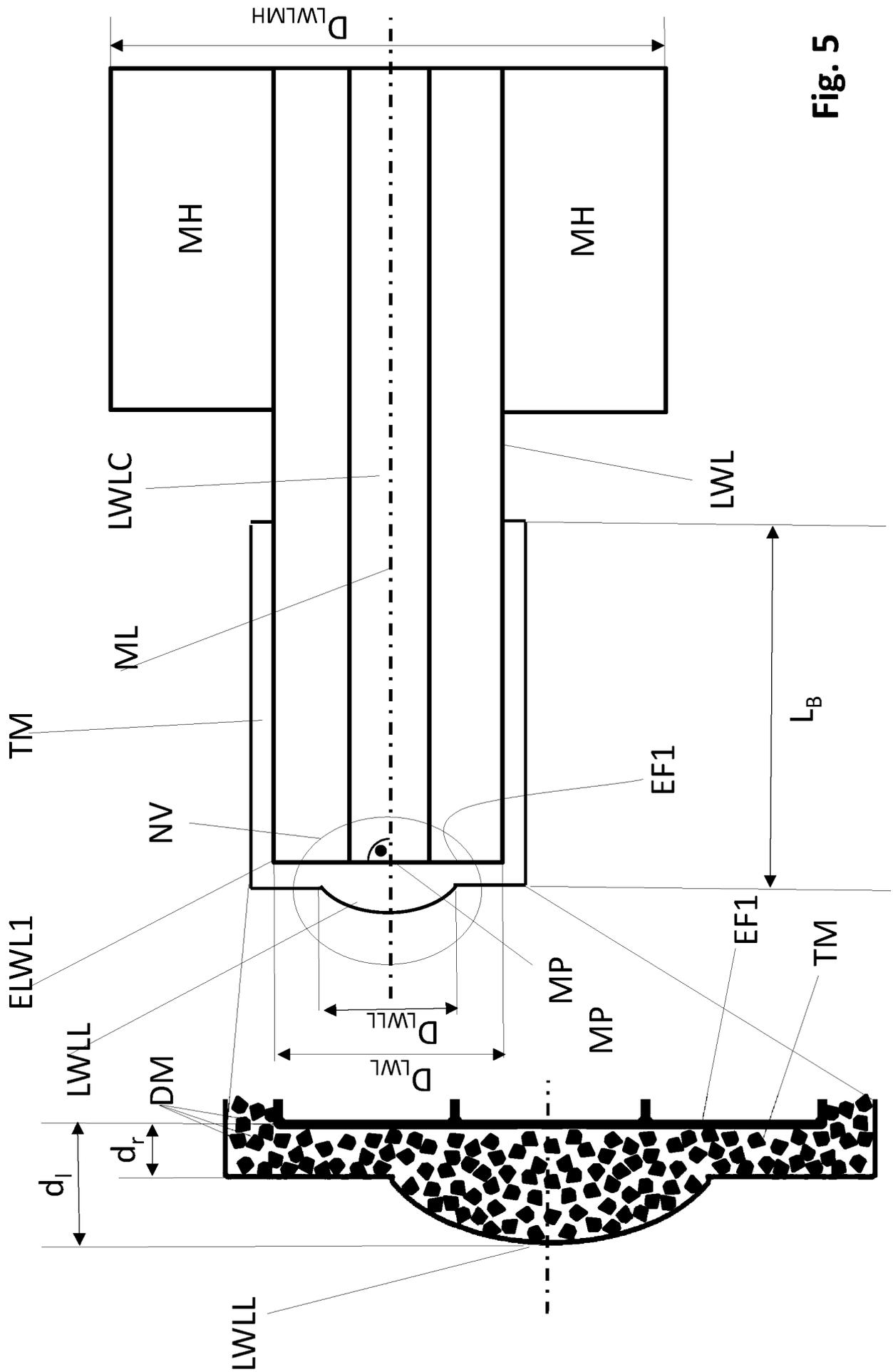


Fig. 5

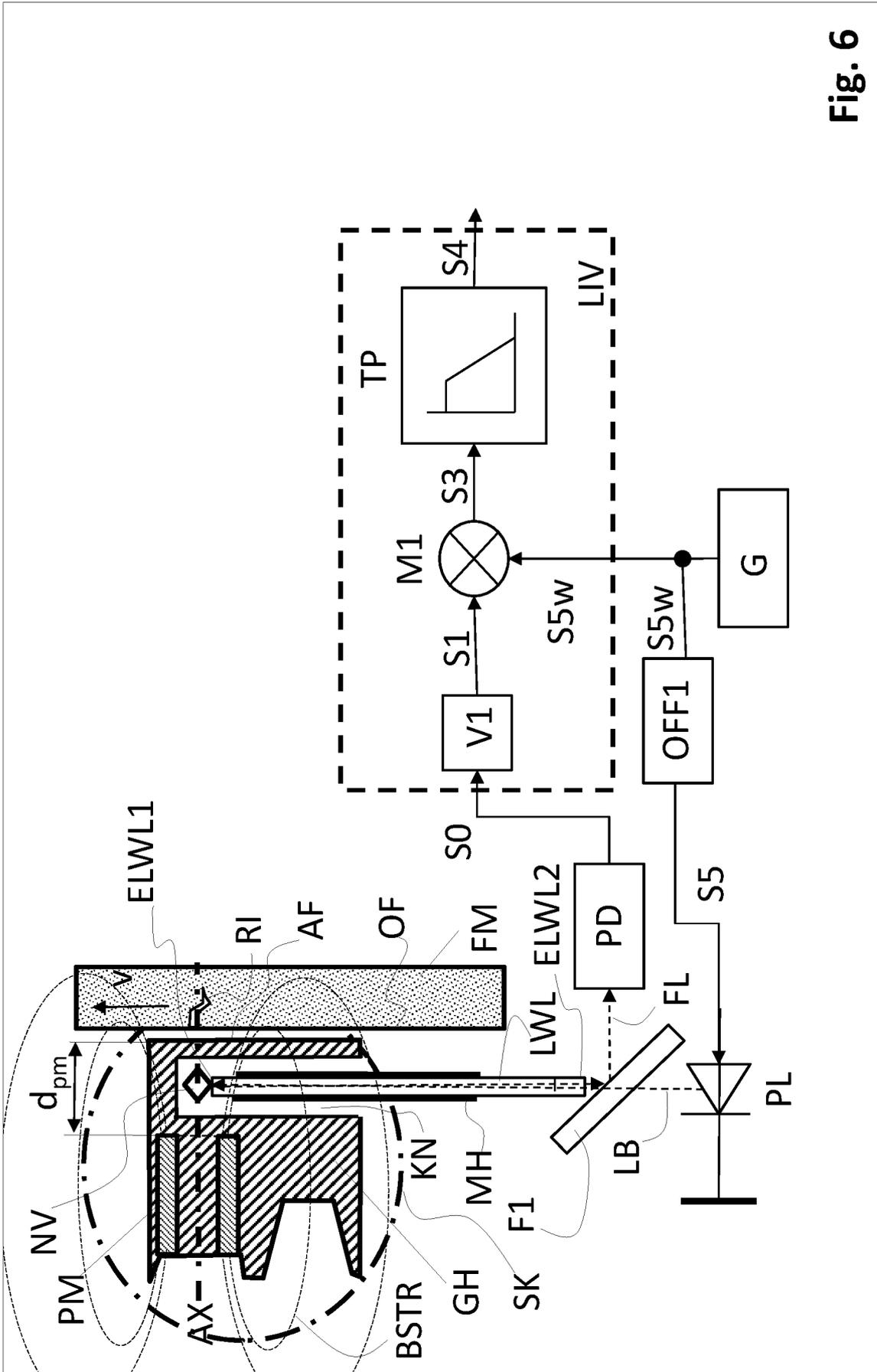


Fig. 6

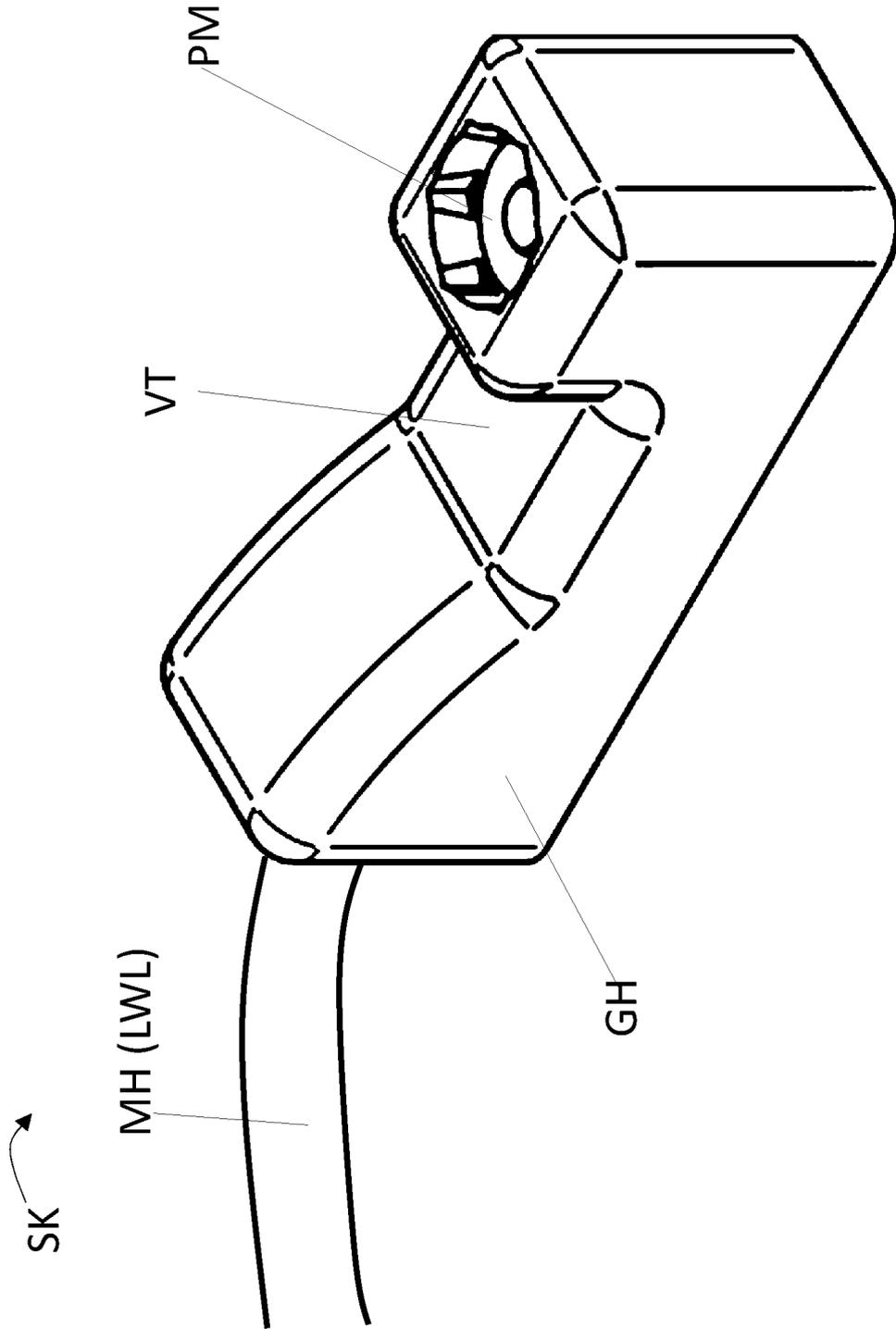


Fig. 7

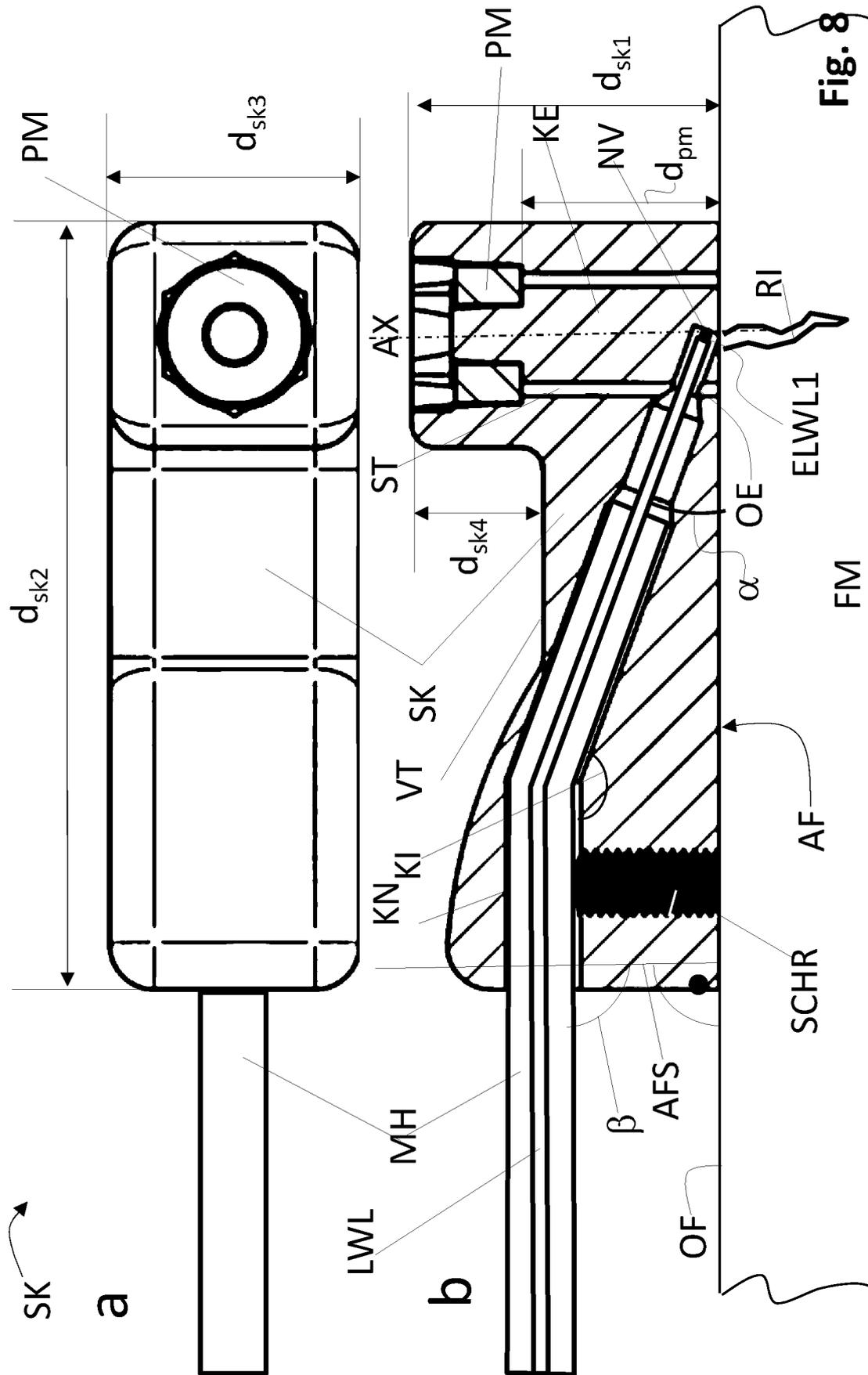


Fig. 8

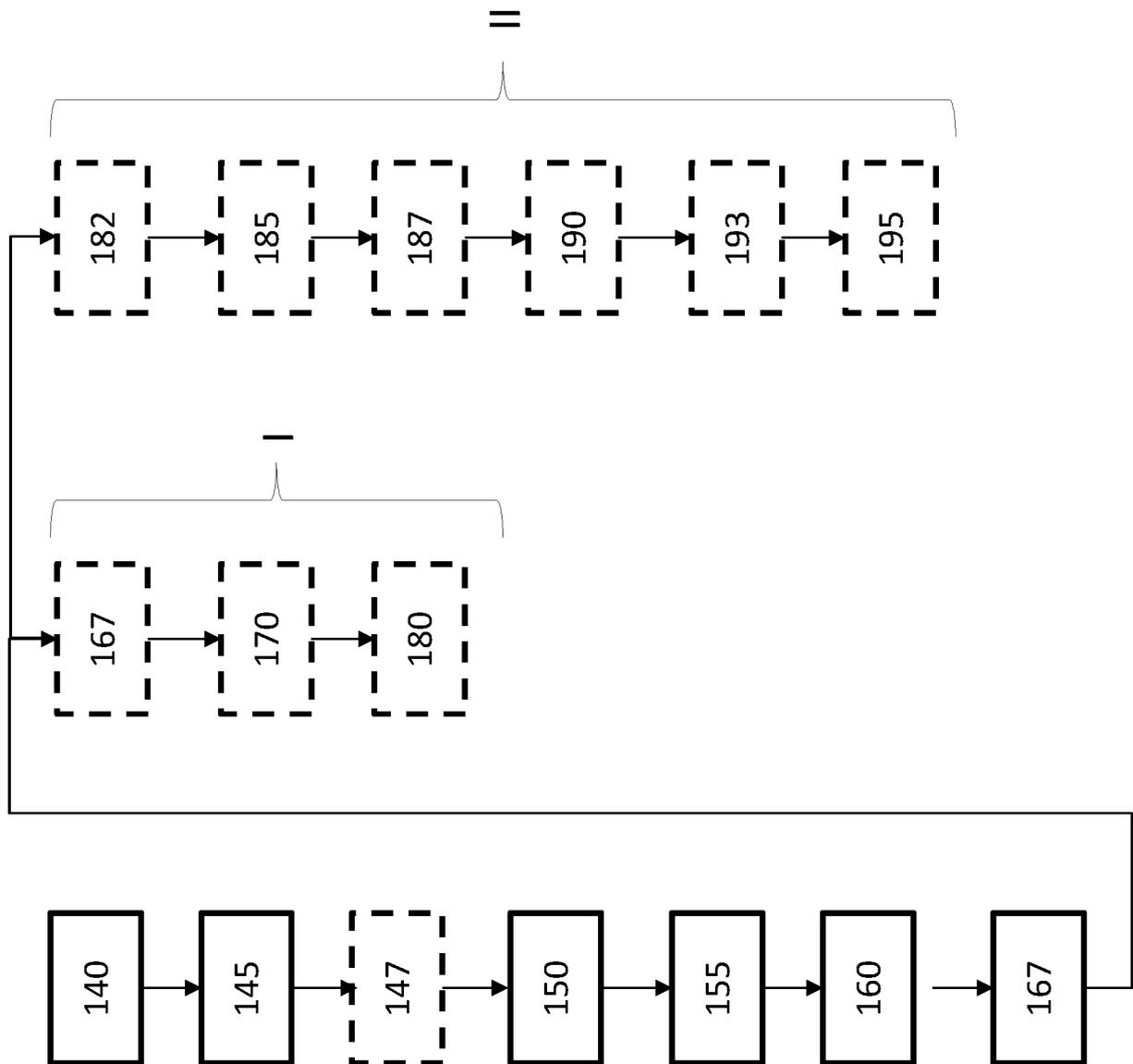


Fig. 9

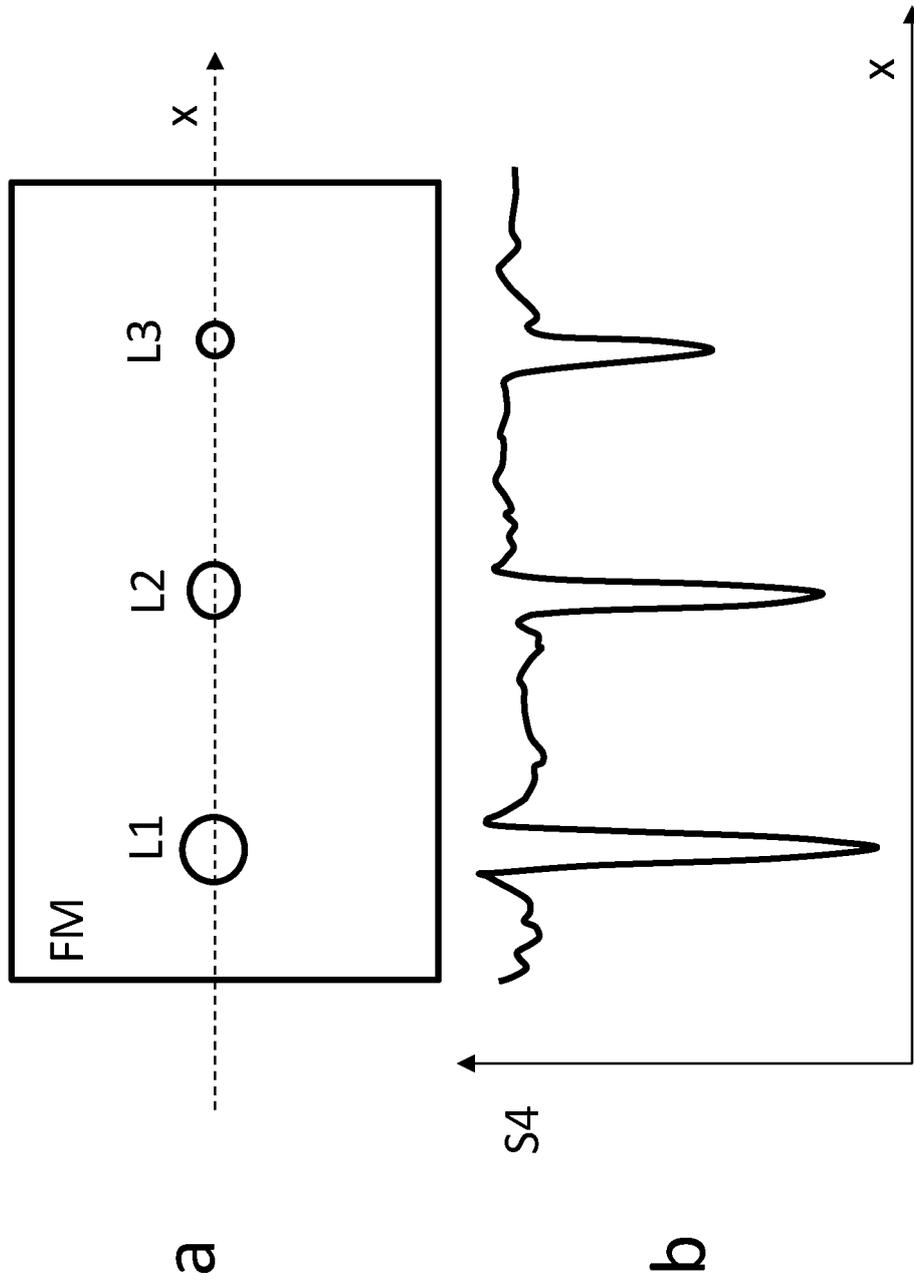


Fig. 10

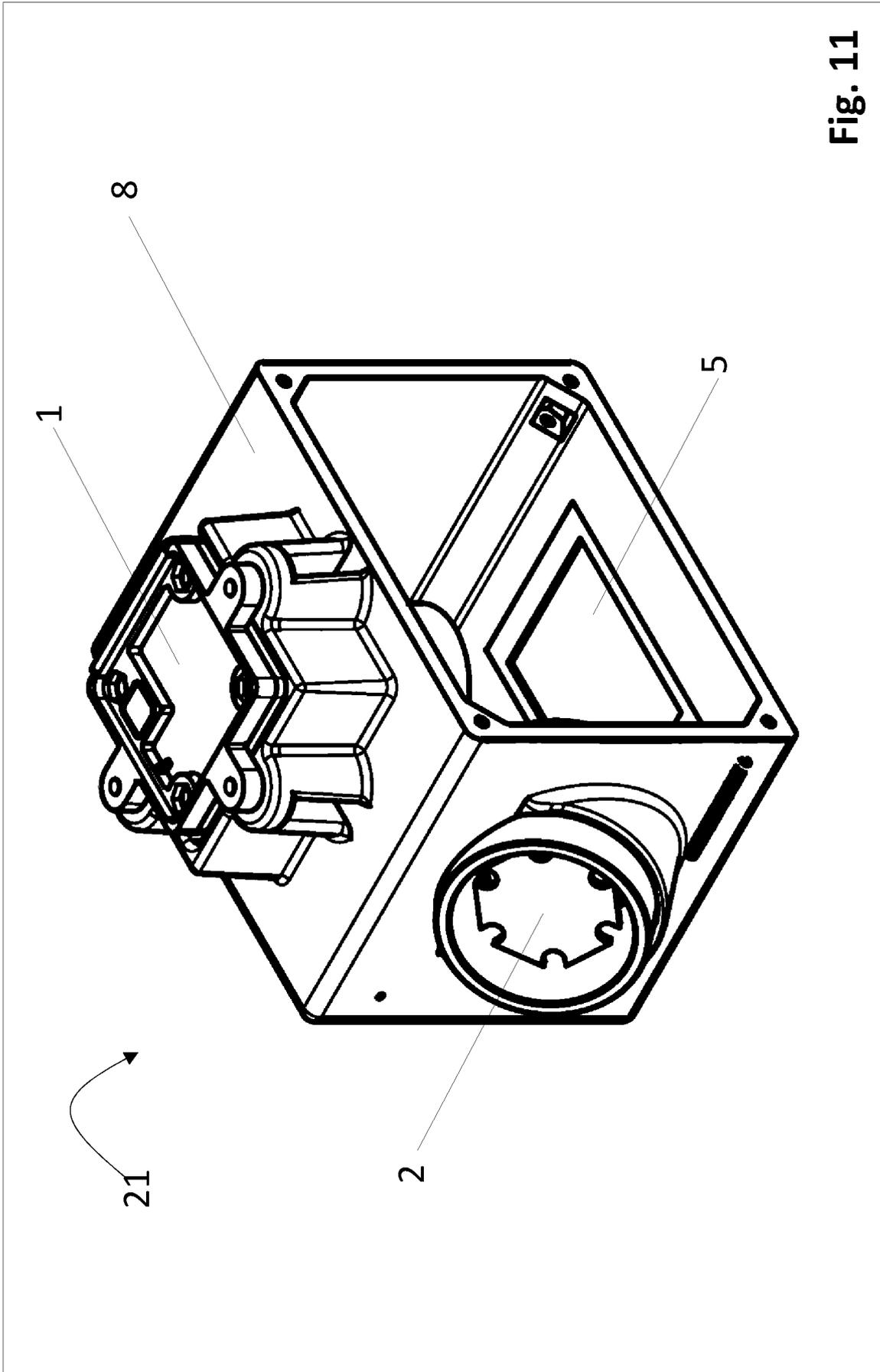


Fig. 11

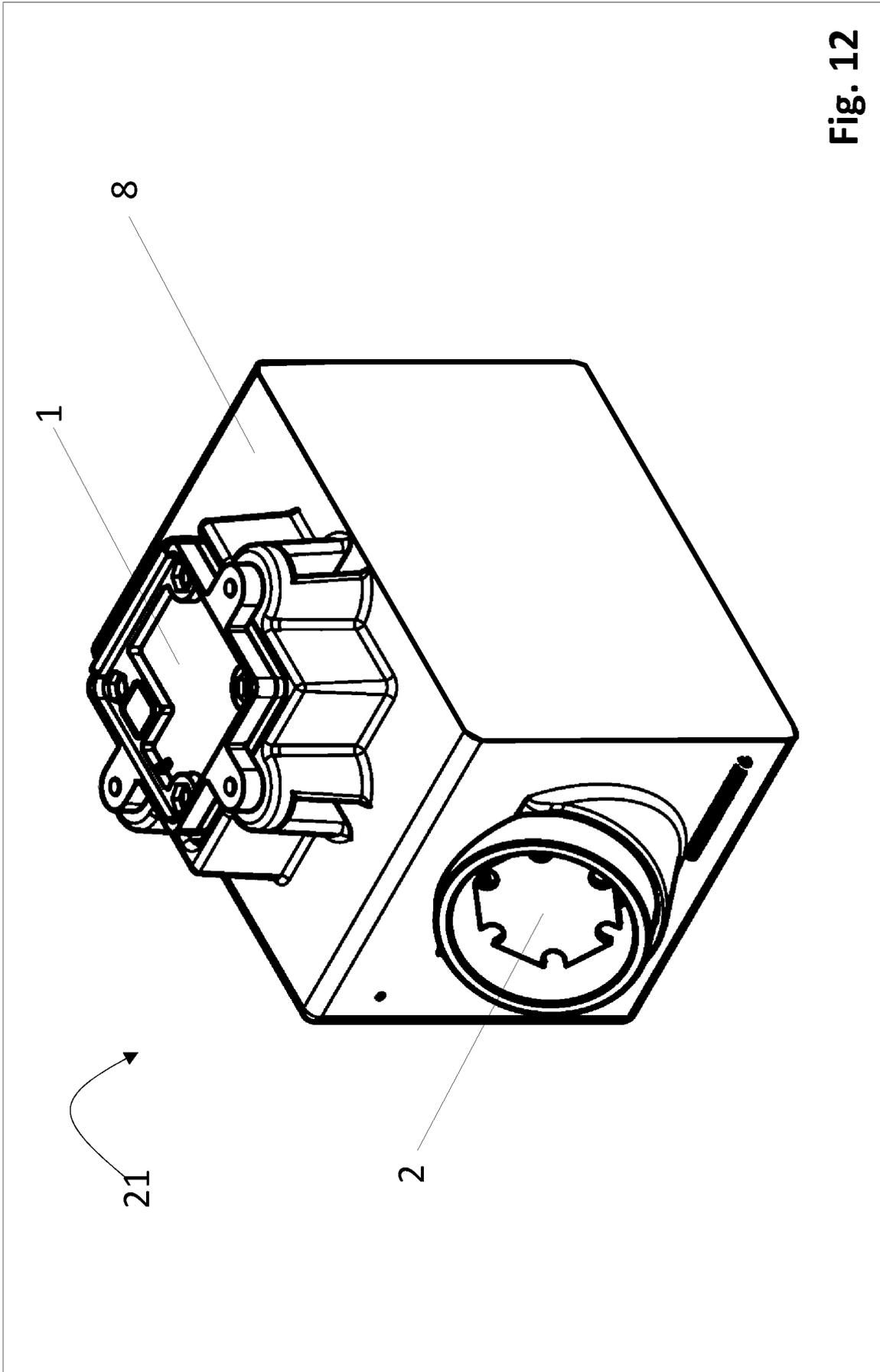


Fig. 12

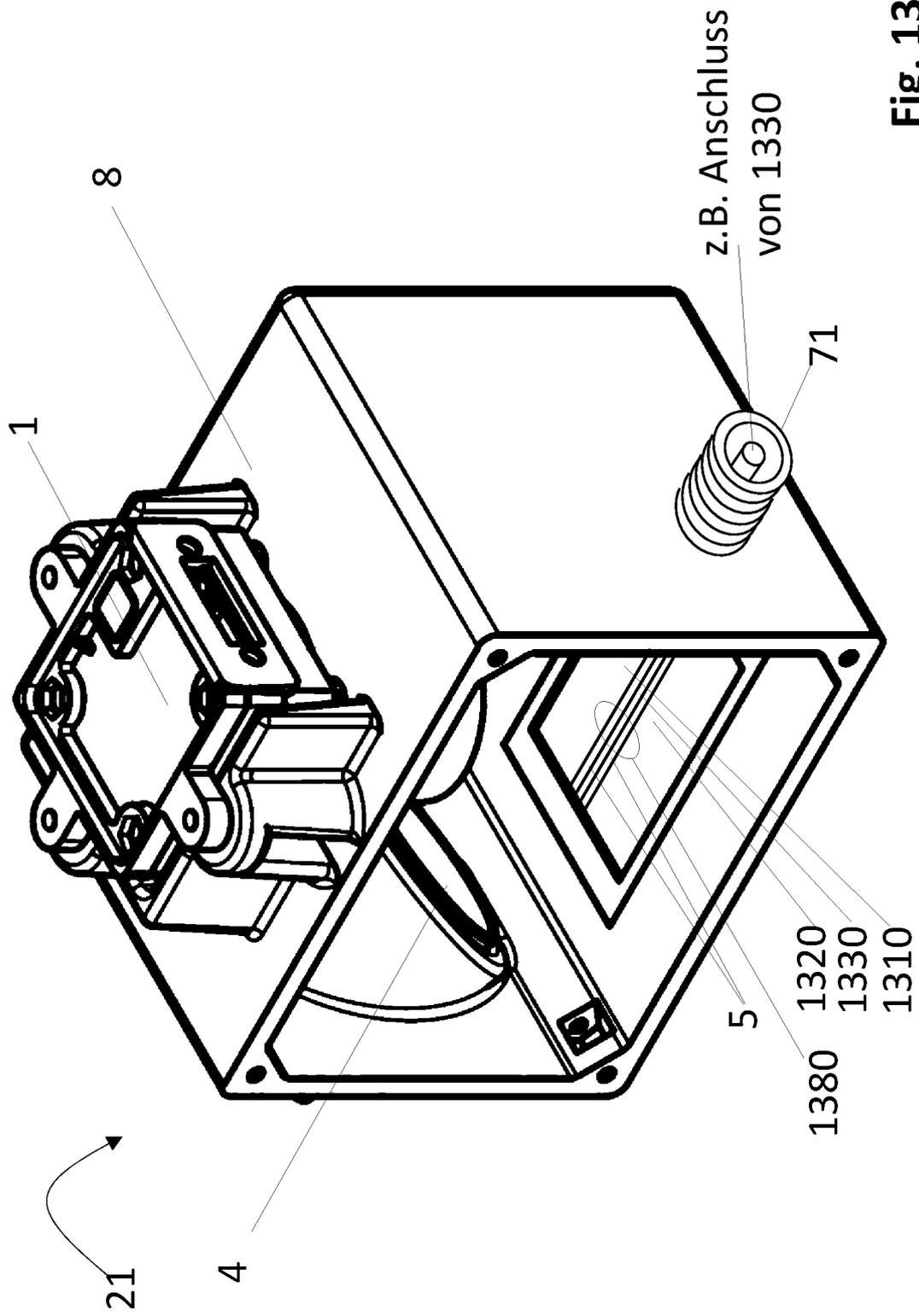
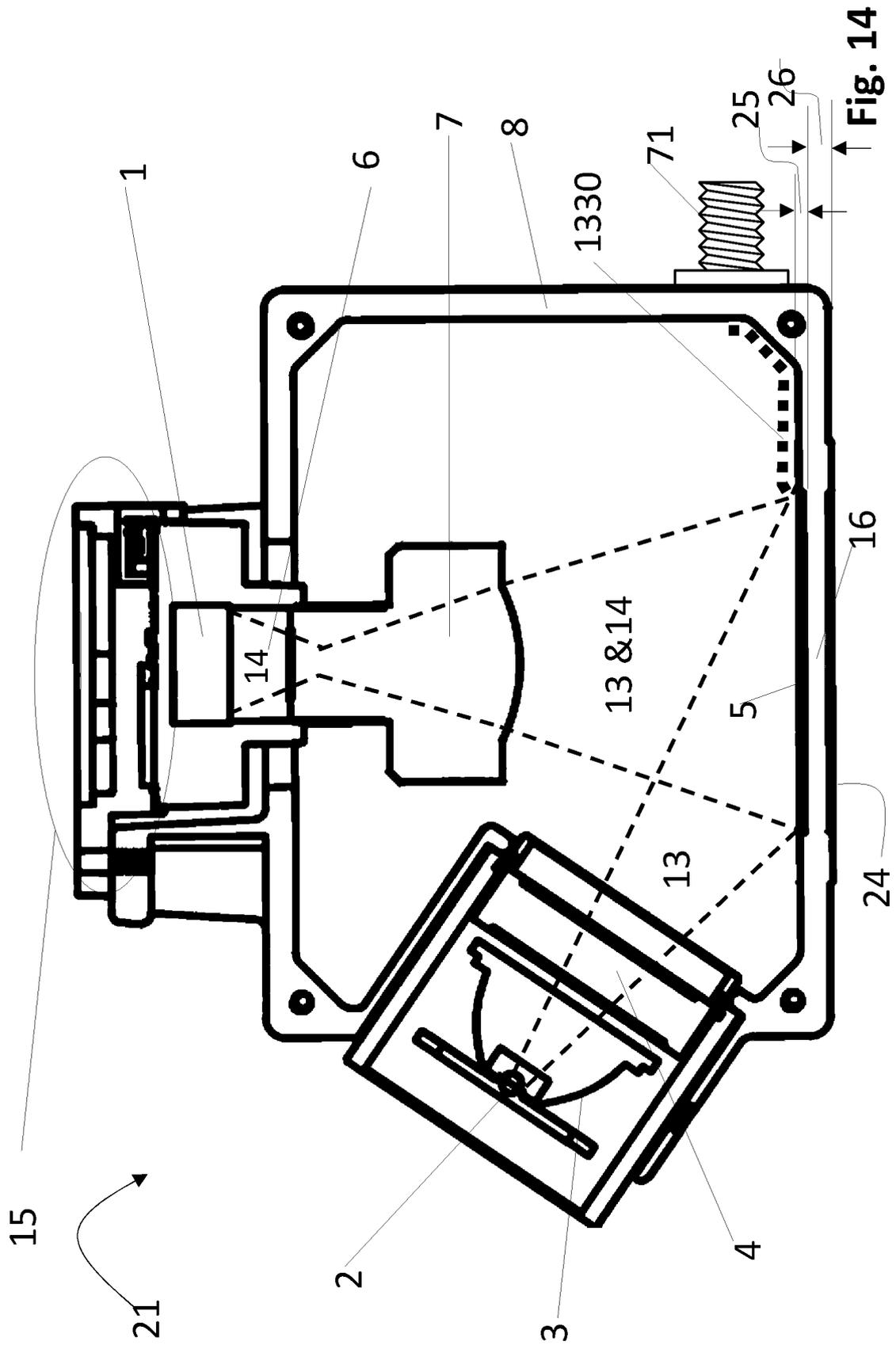


Fig. 13



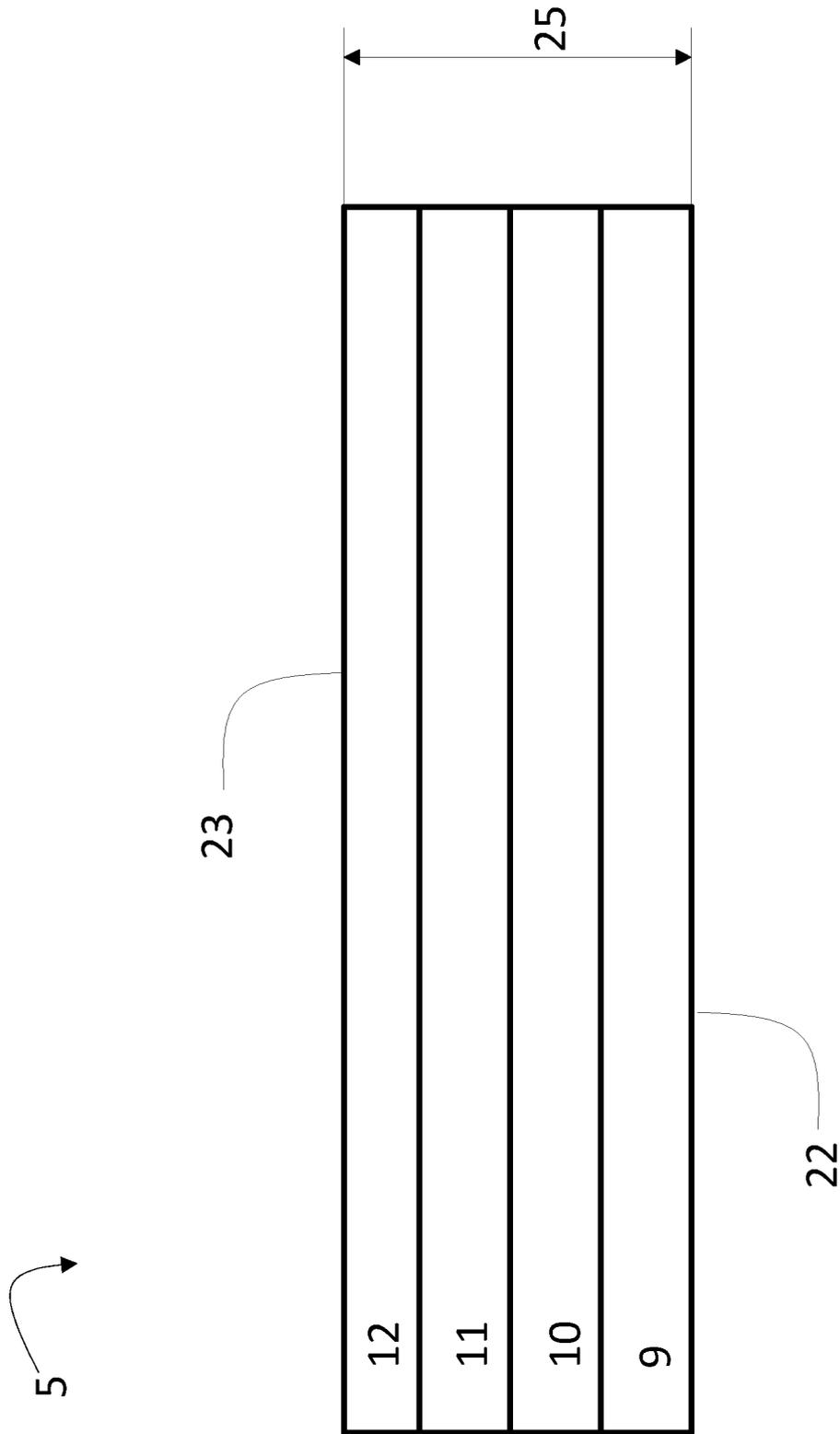


Fig. 15

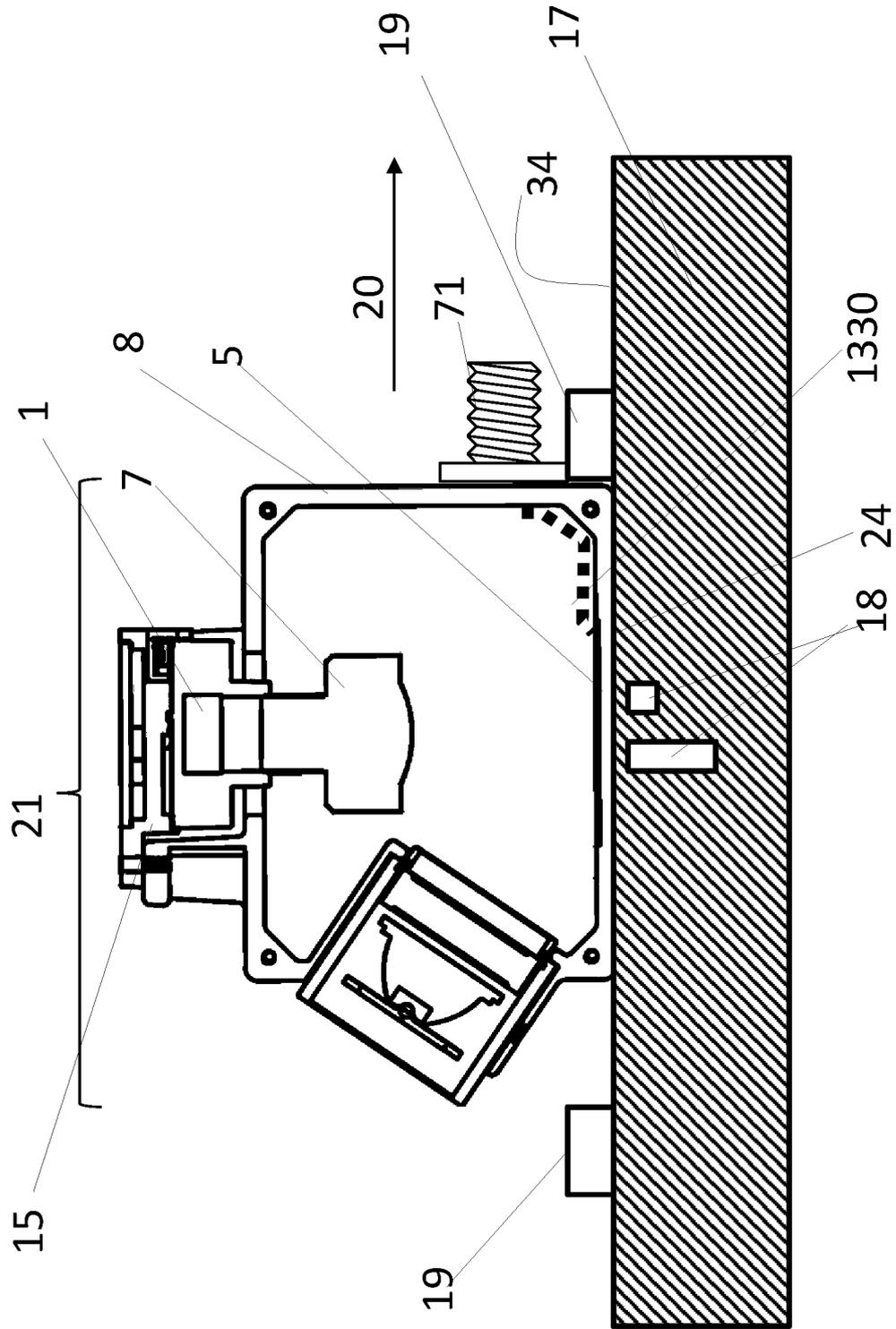


Fig. 16

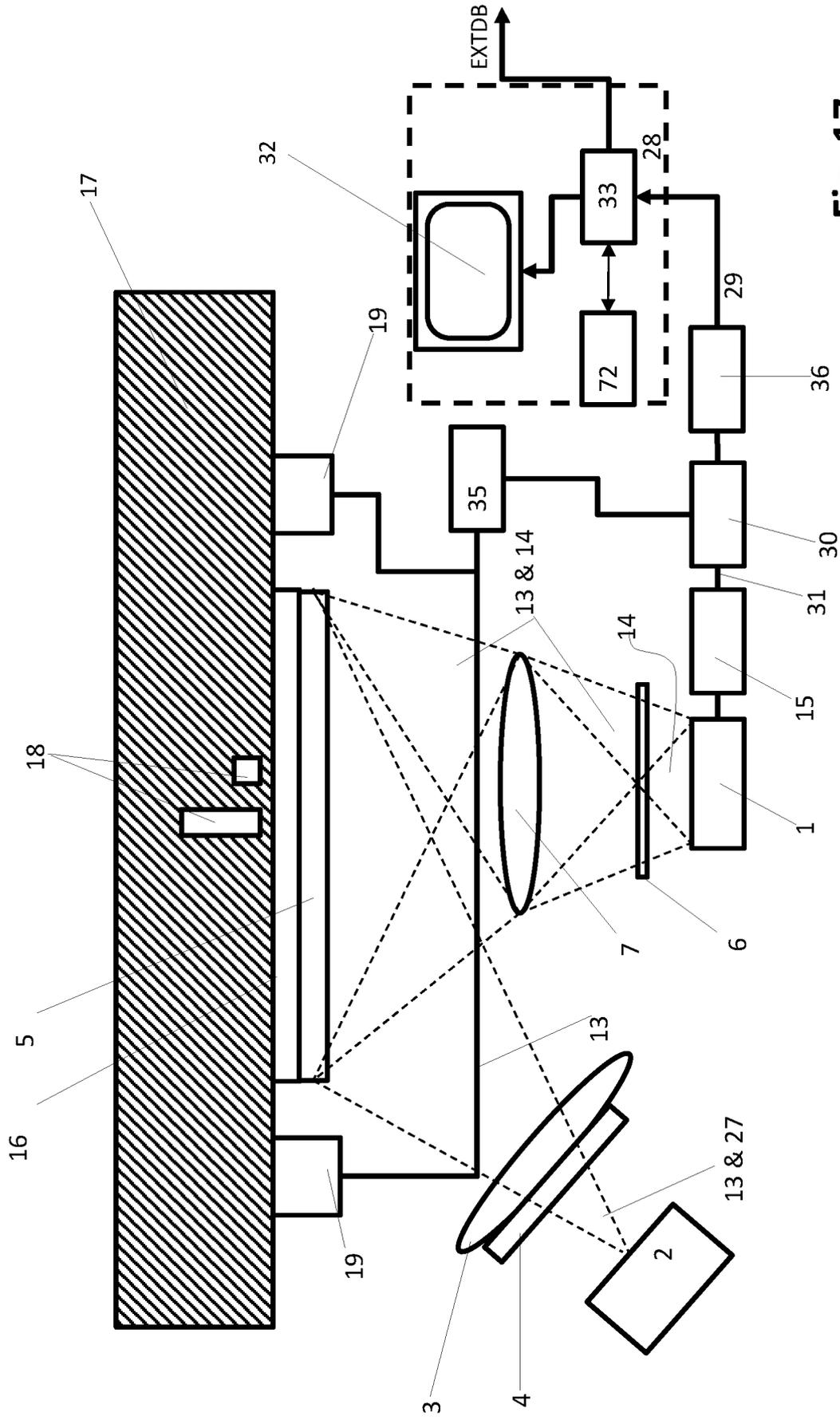


Fig. 17

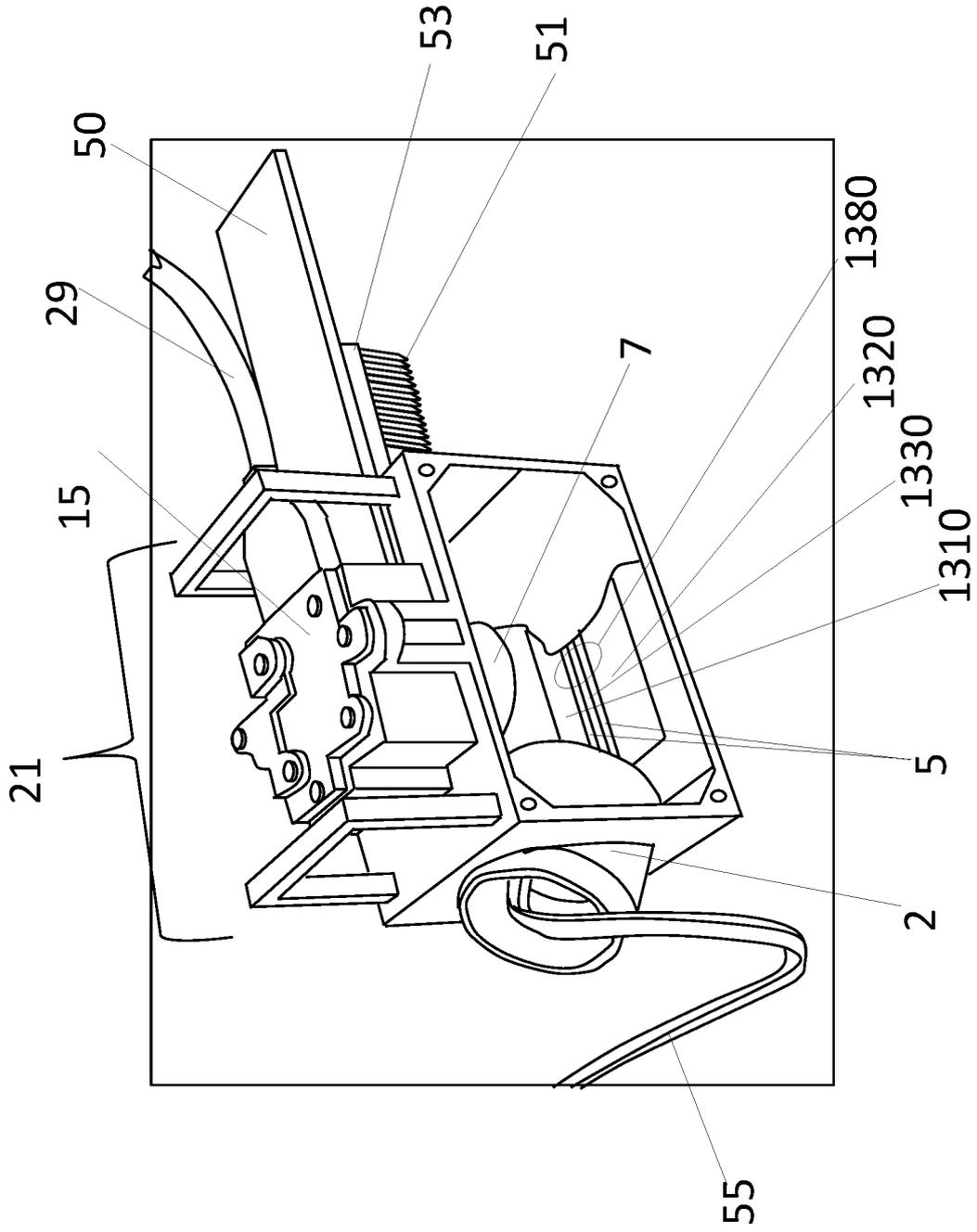


Fig. 18

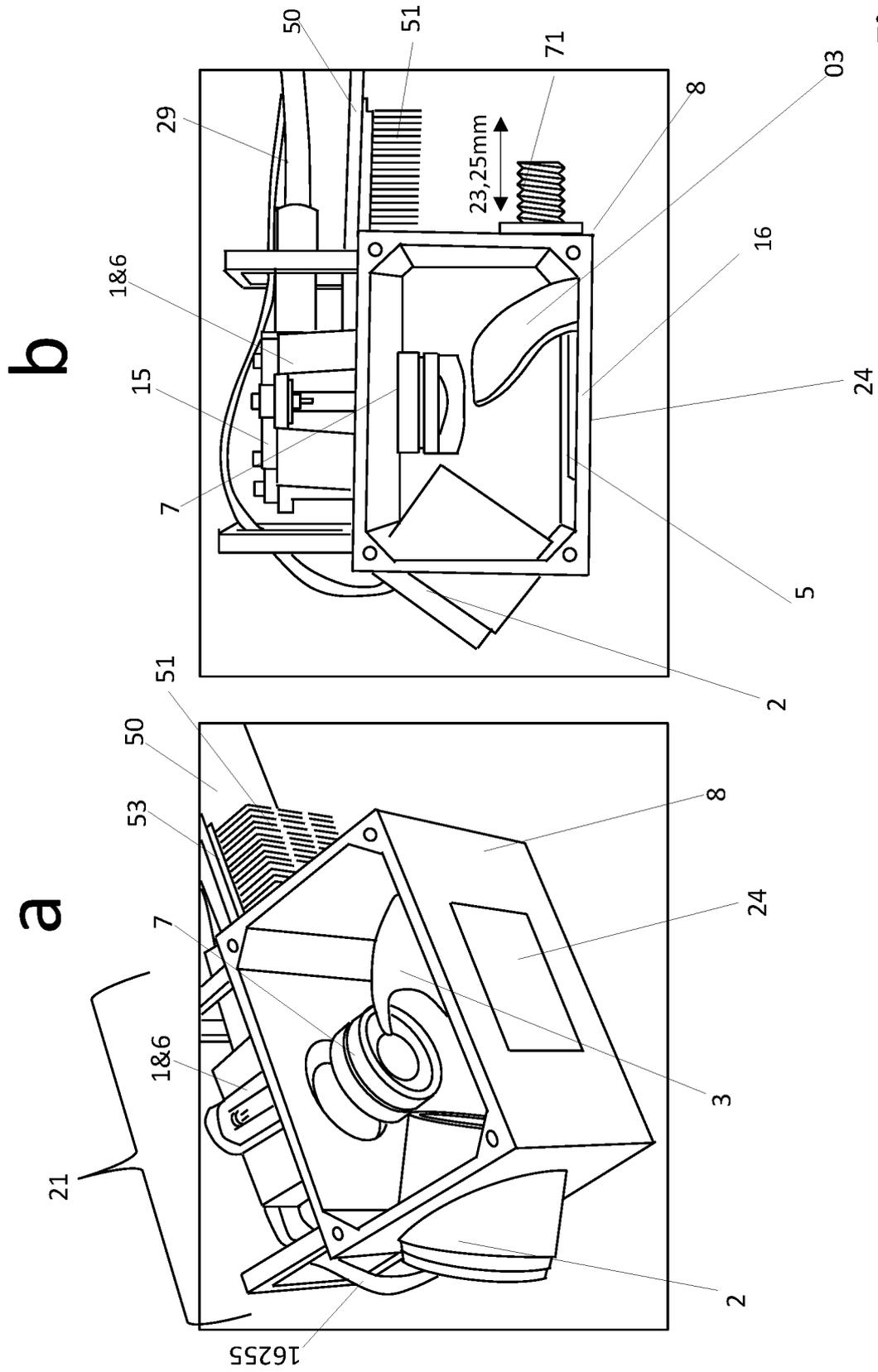


Fig. 19

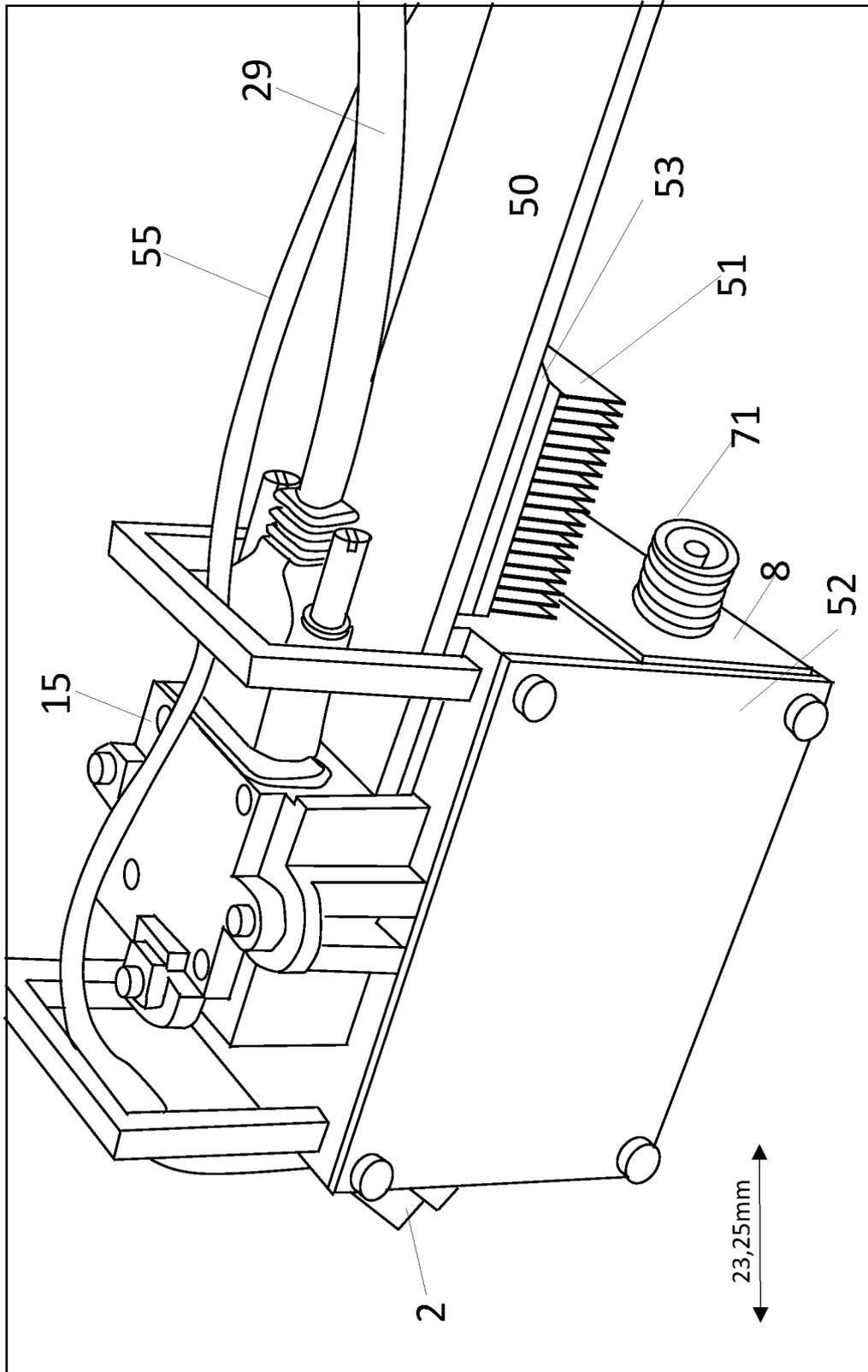


Fig. 20

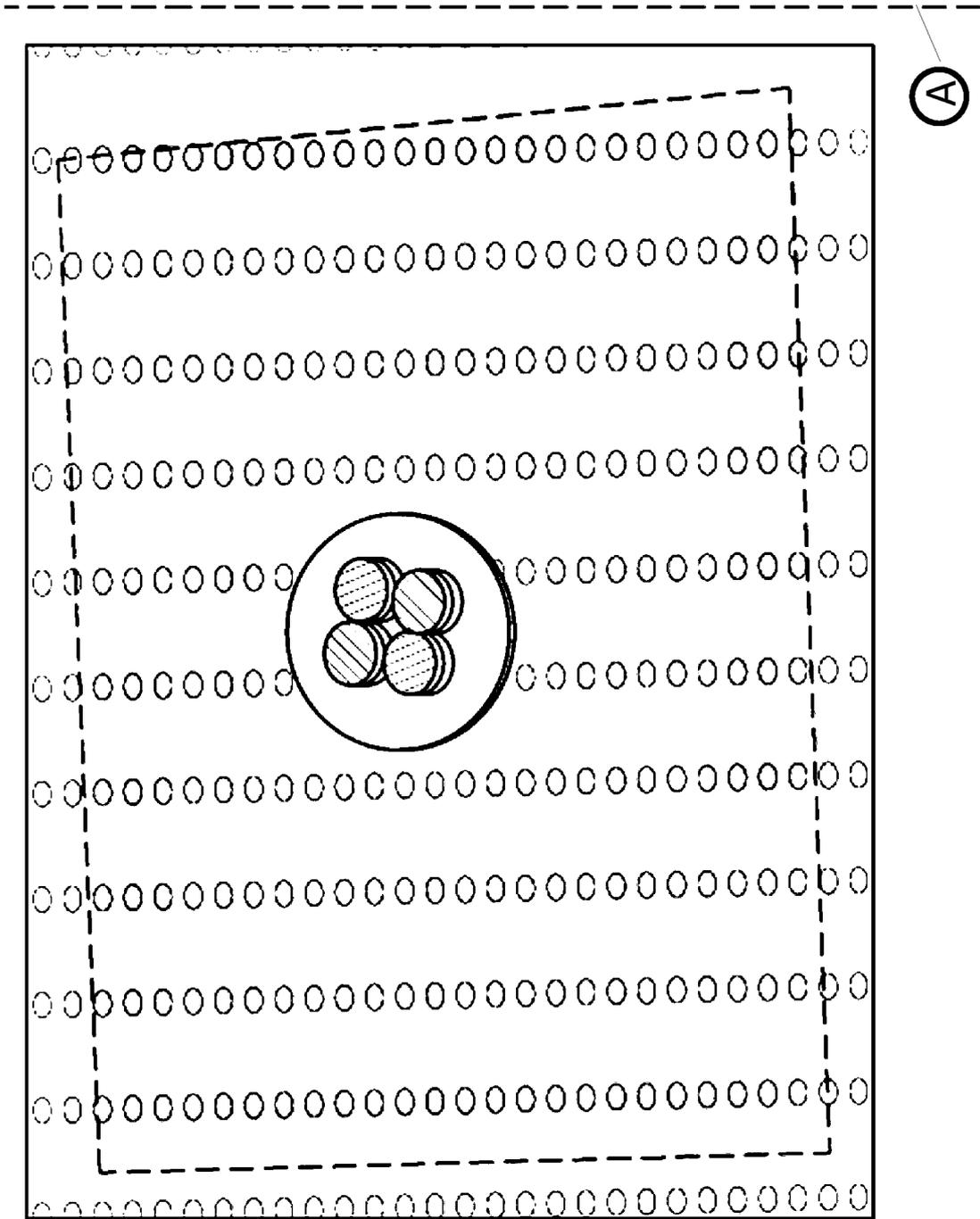


Fig. 21

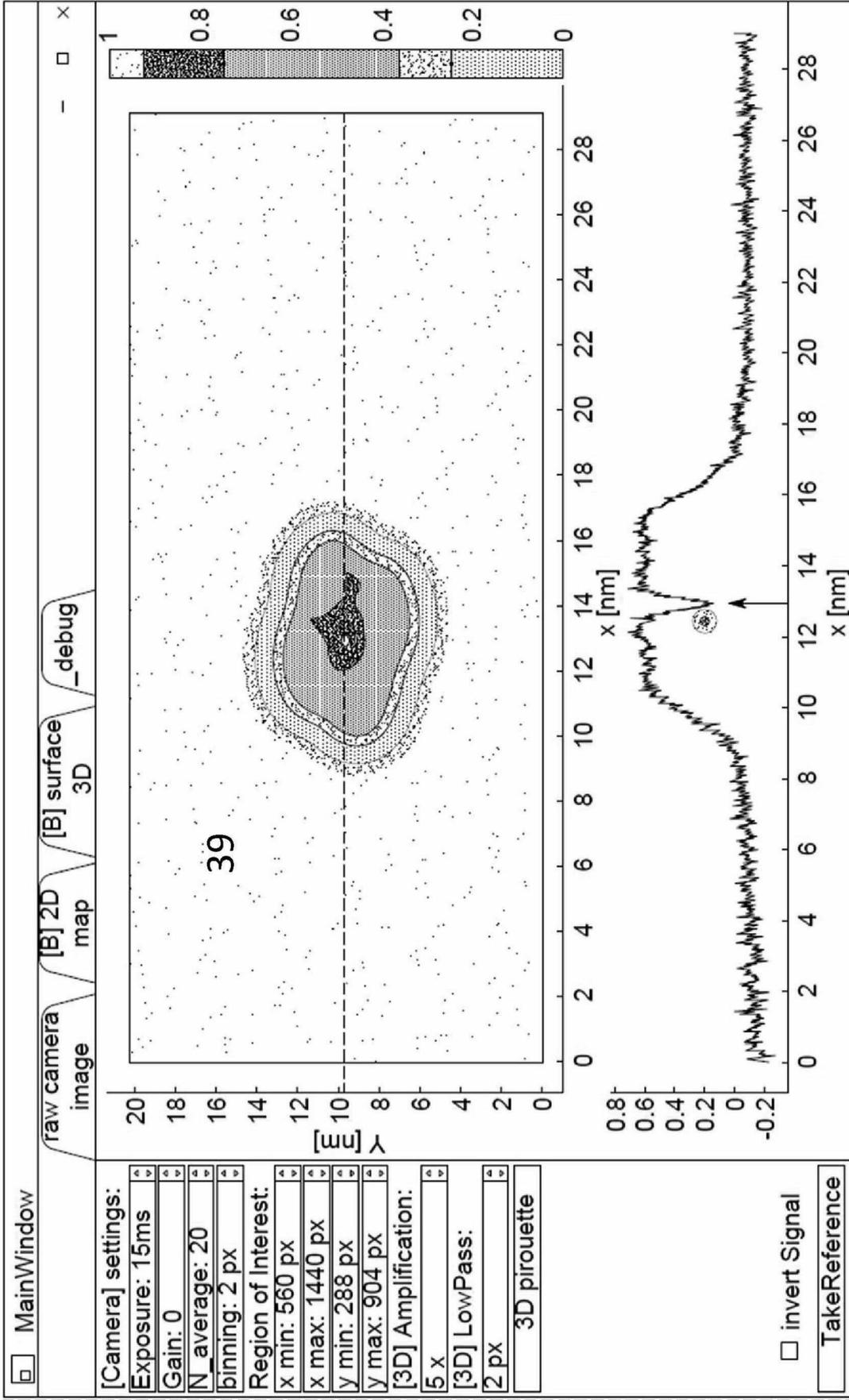


Fig. 22

(A)

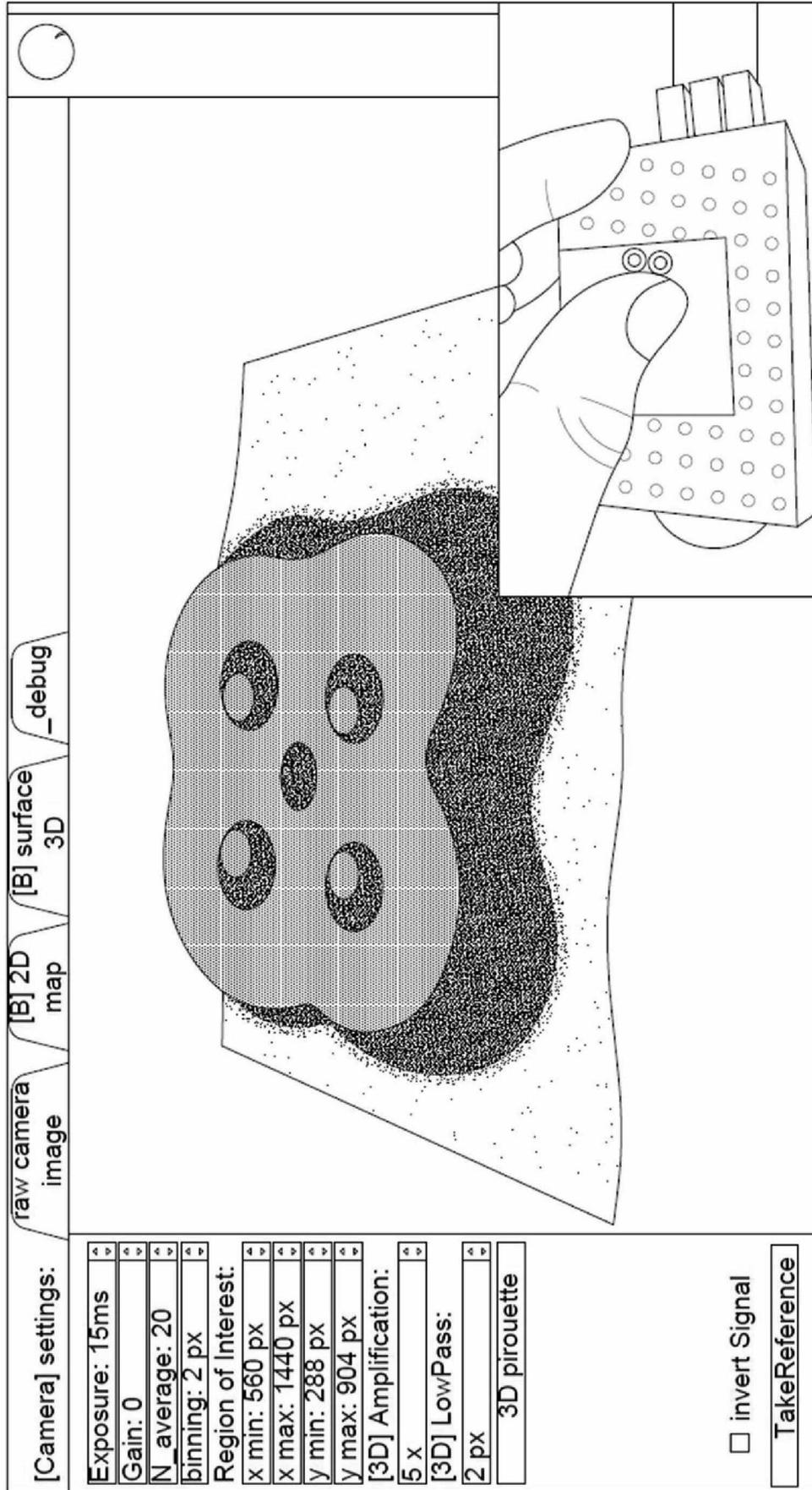
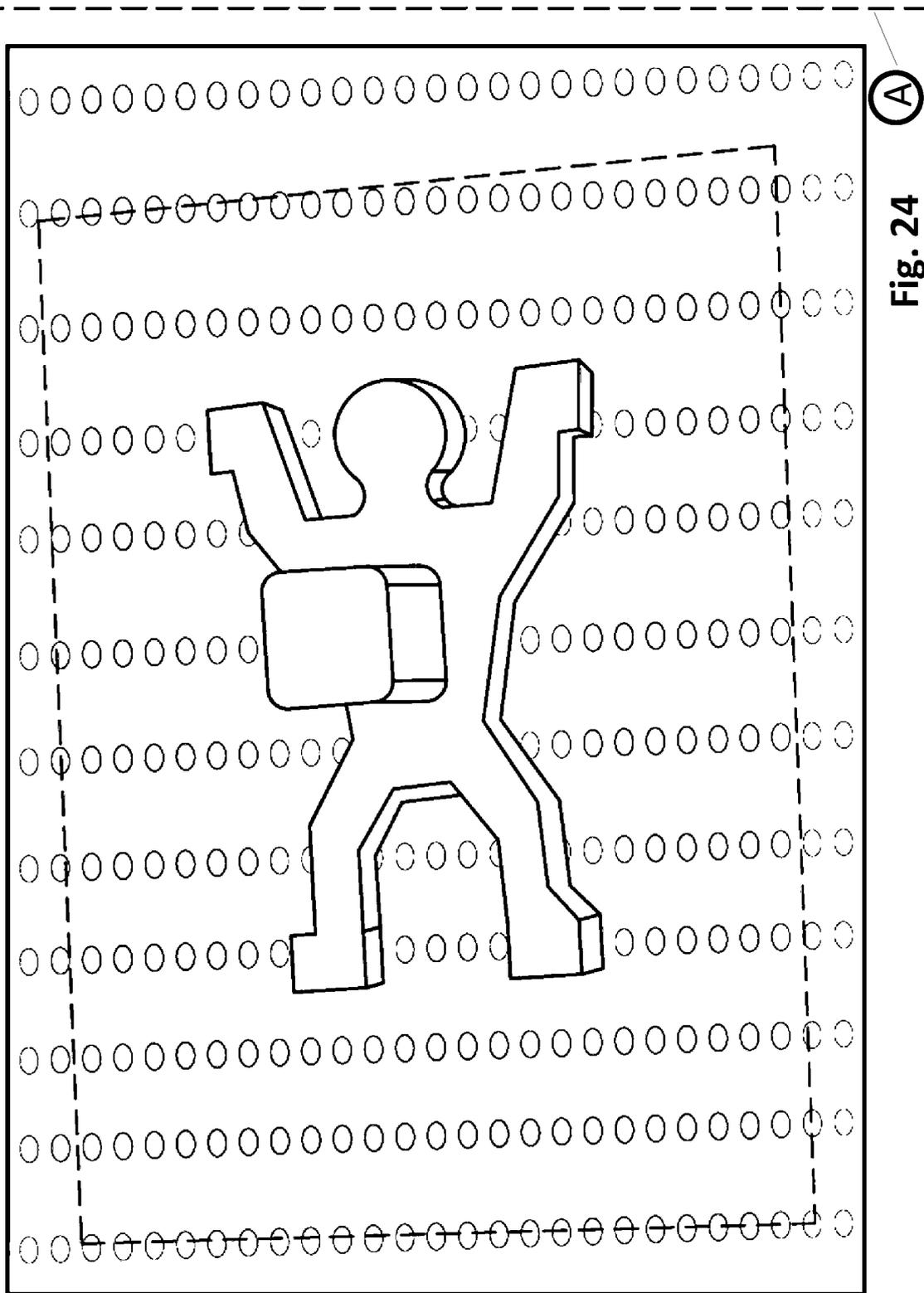


Fig. 23



A

Fig. 24

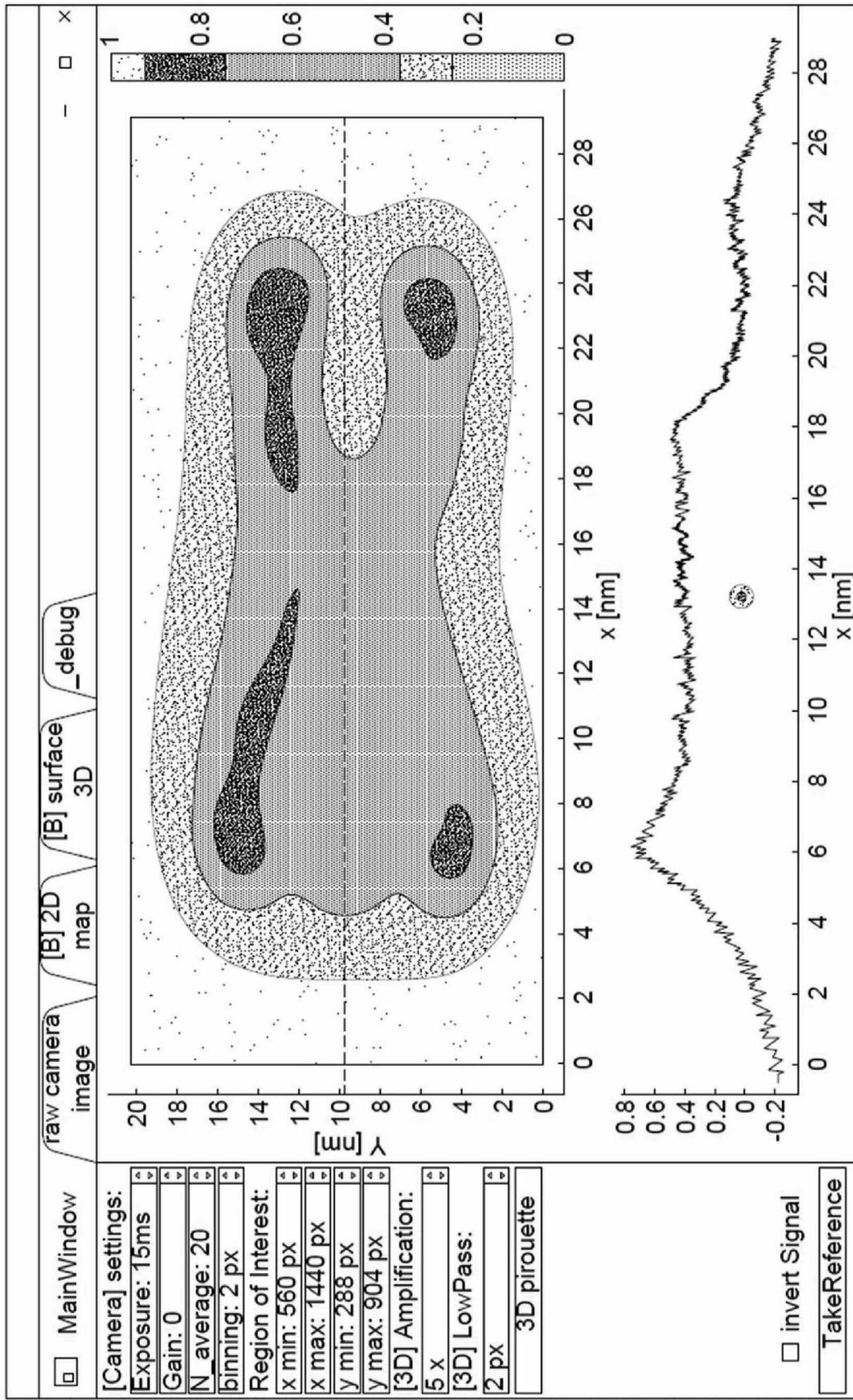


Fig. 25

Ⓐ

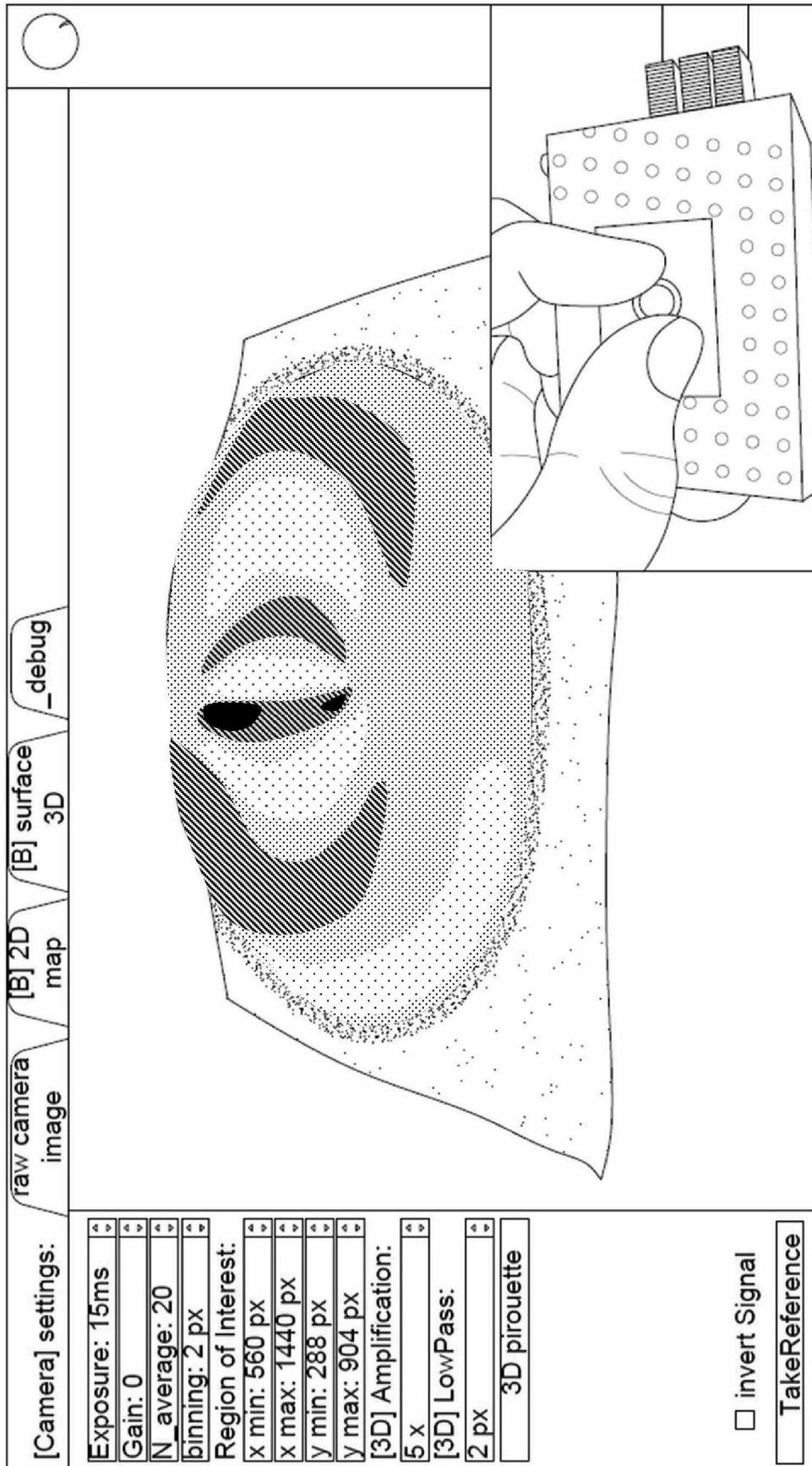


Fig. 26

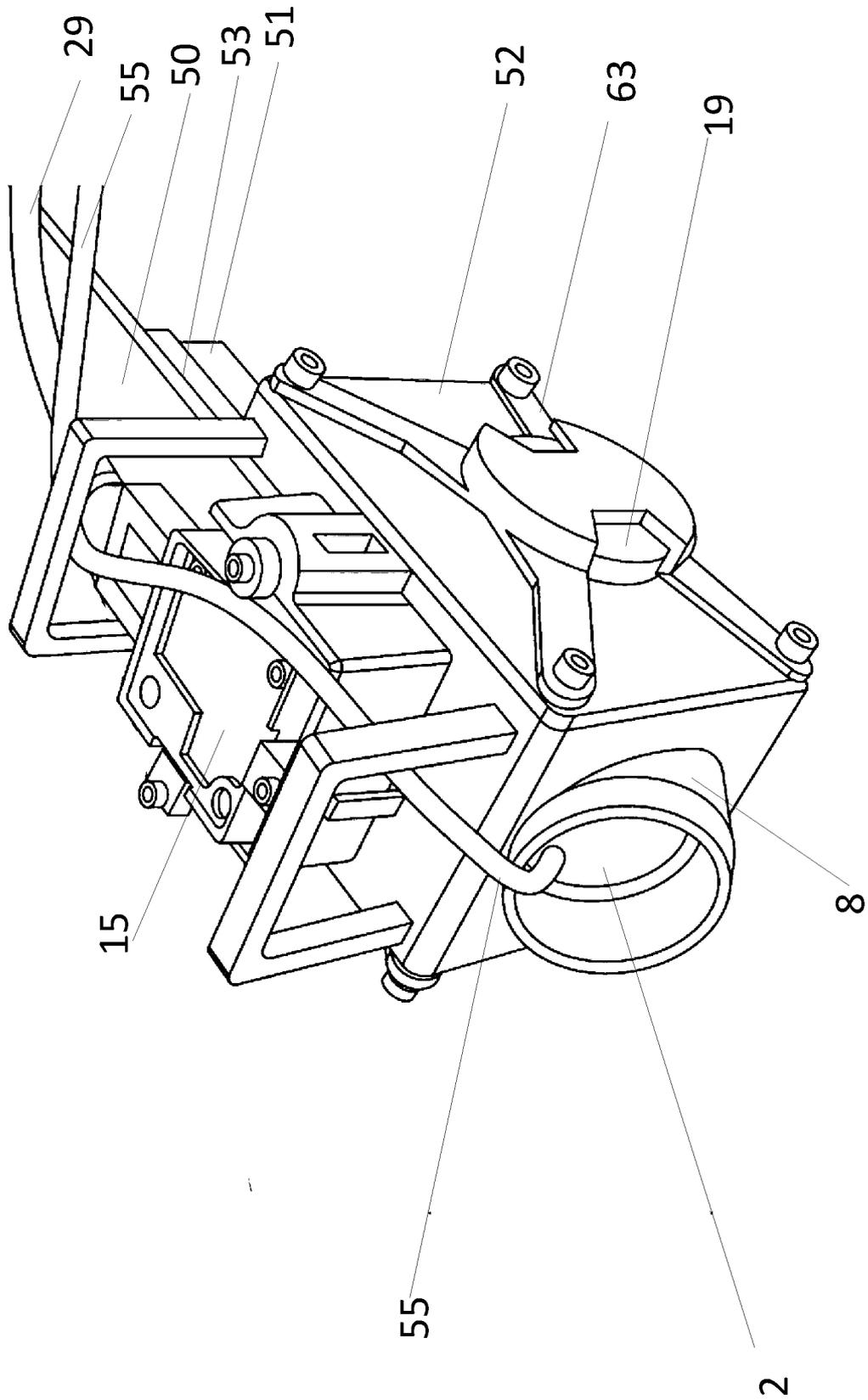


Fig. 27

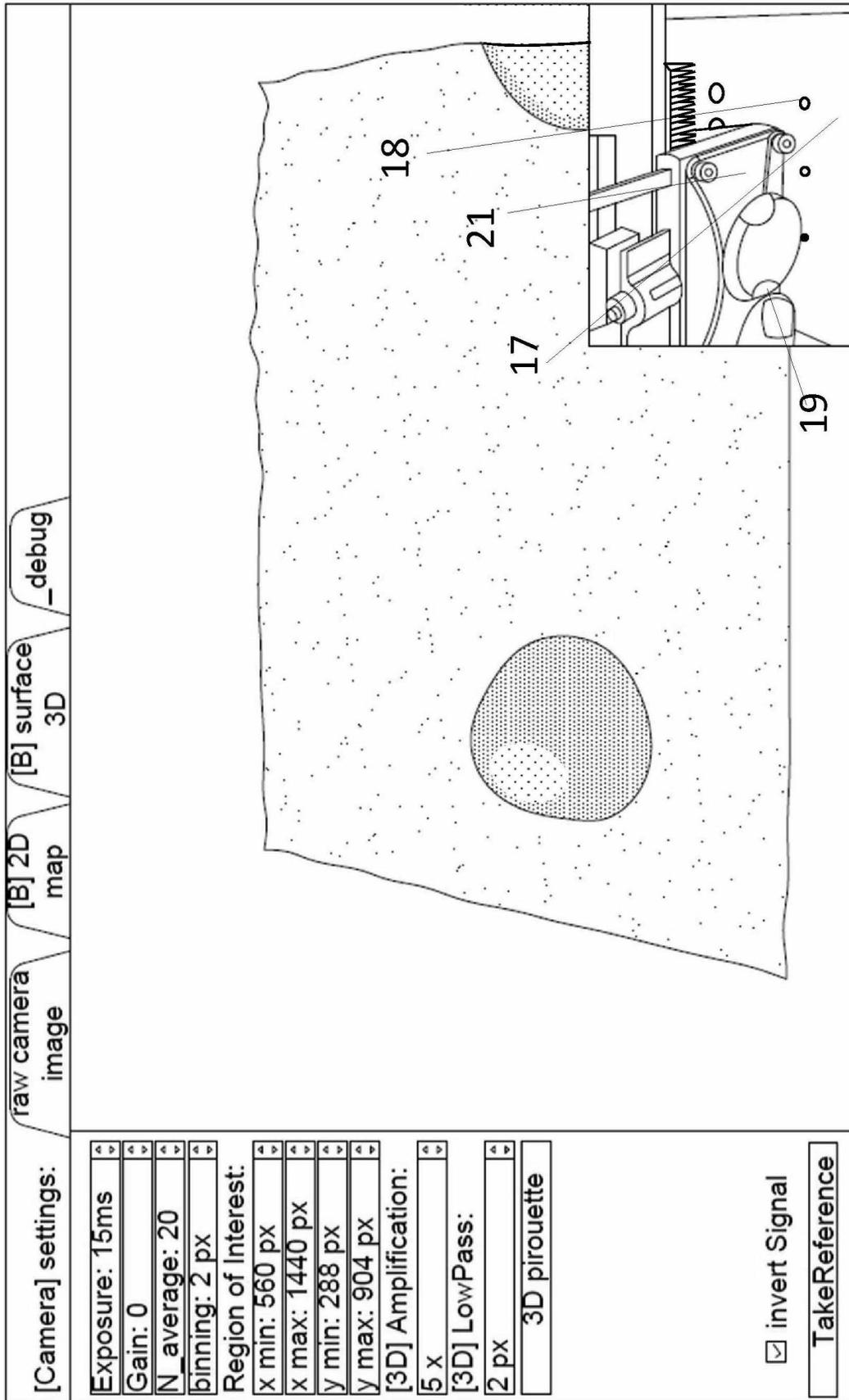


Fig. 28

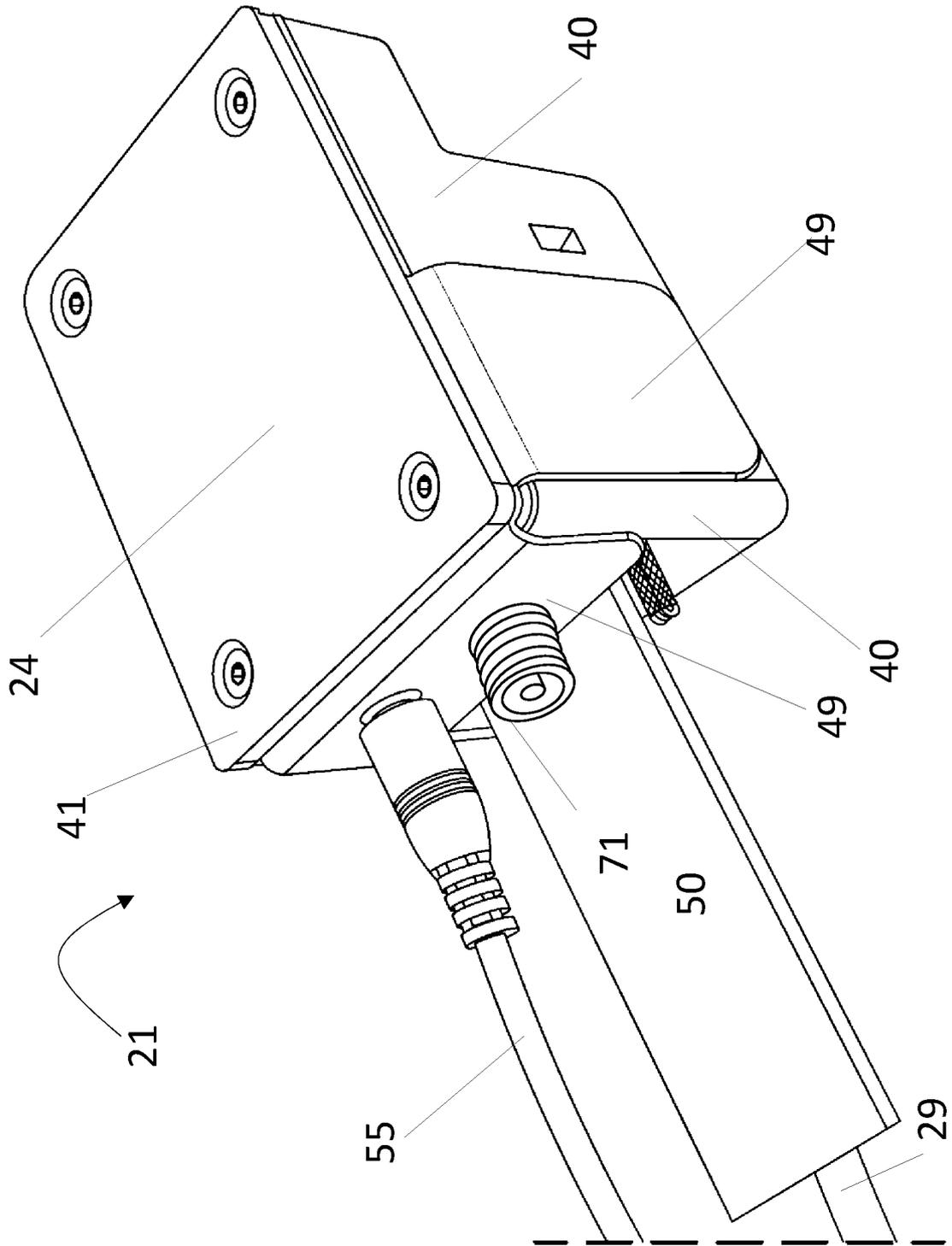
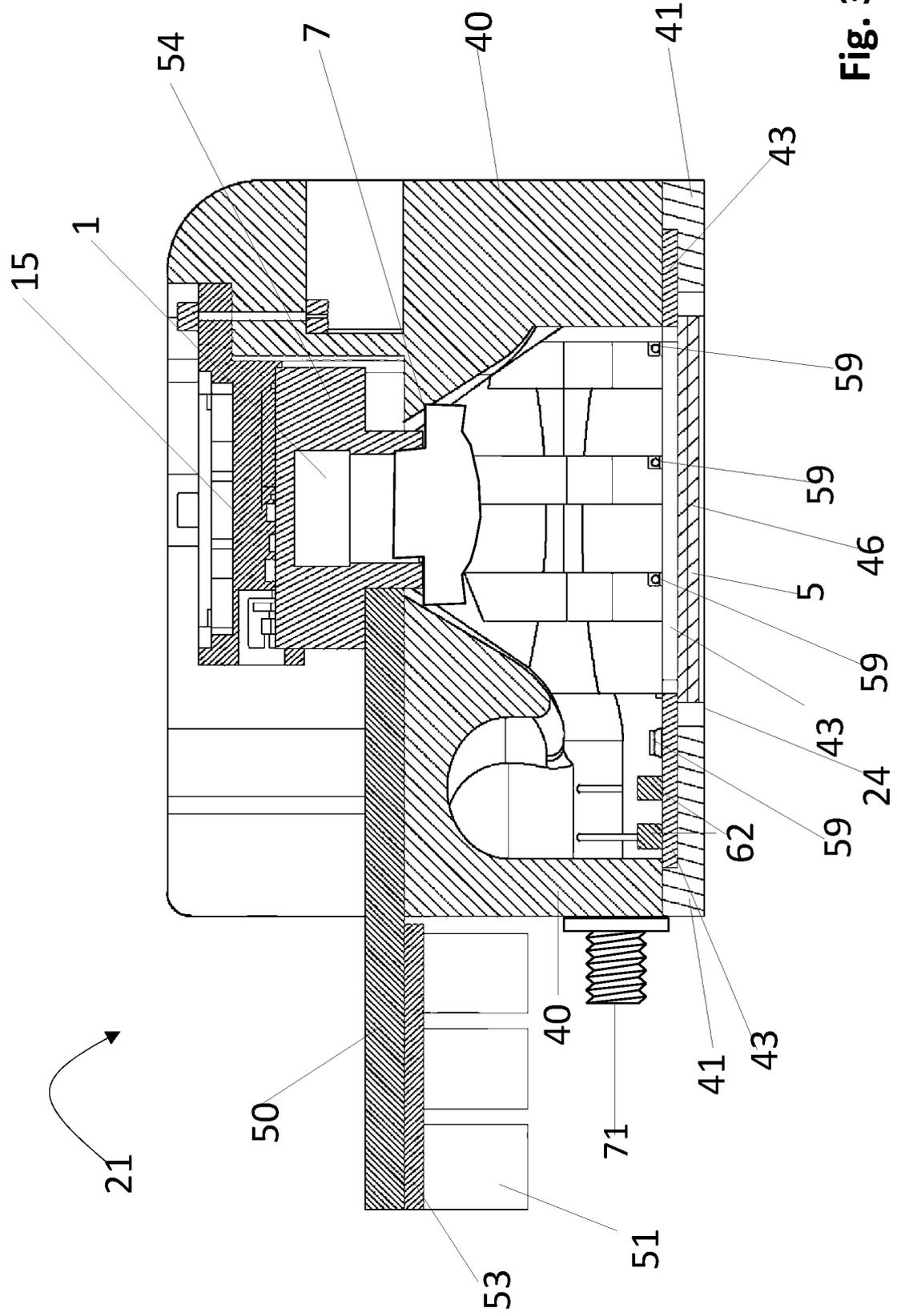


Fig. 29



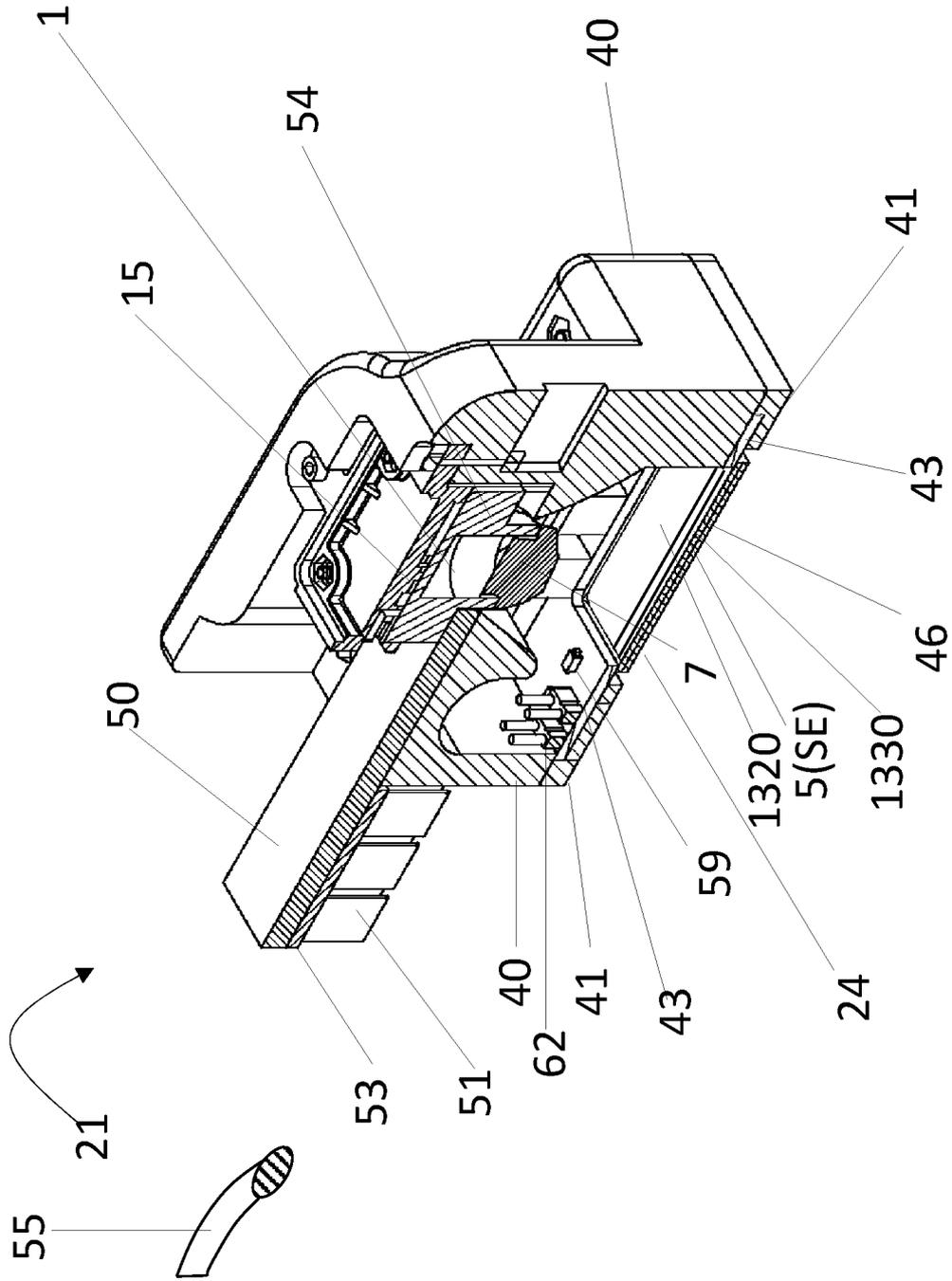


Fig. 31

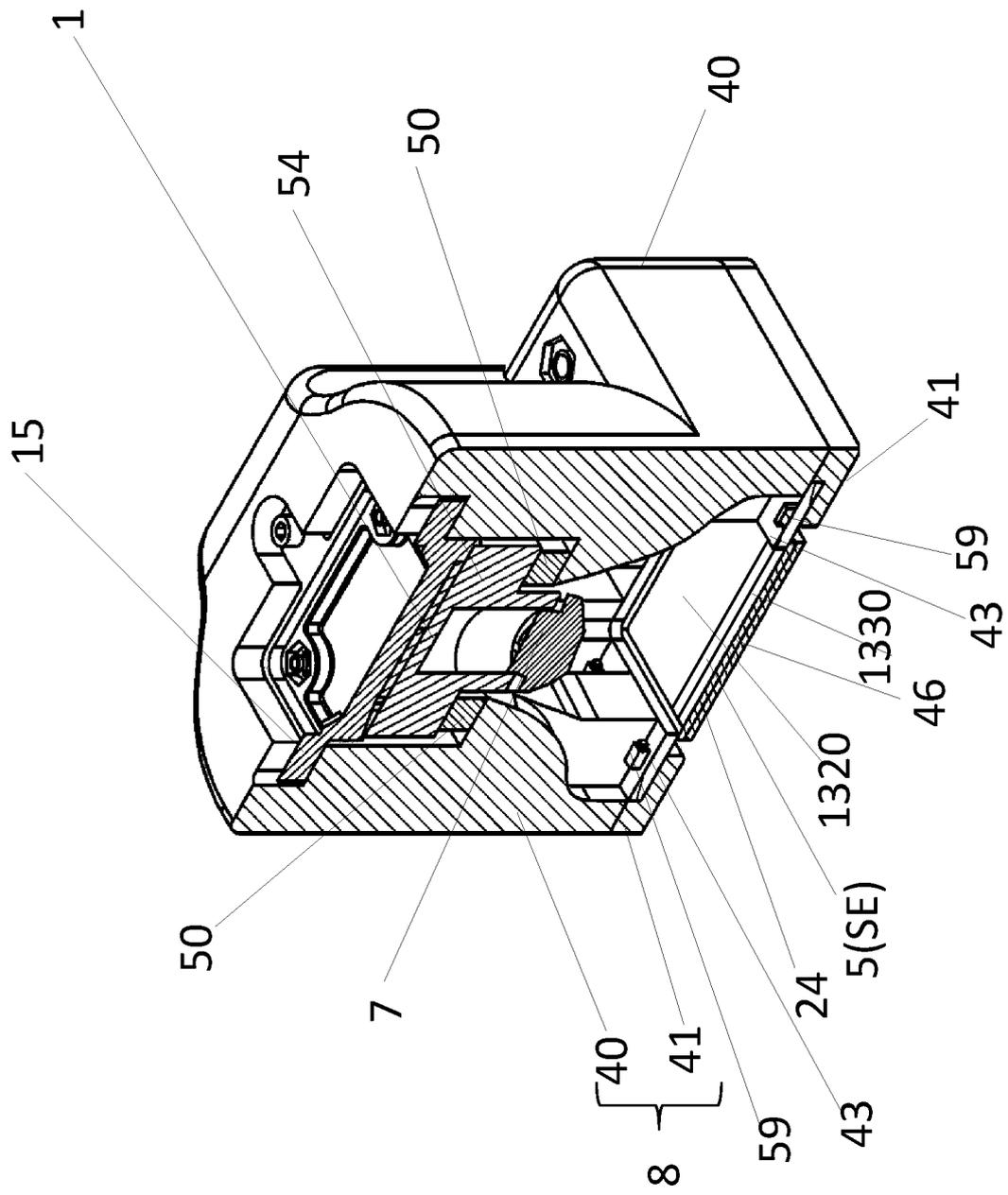


Fig. 32

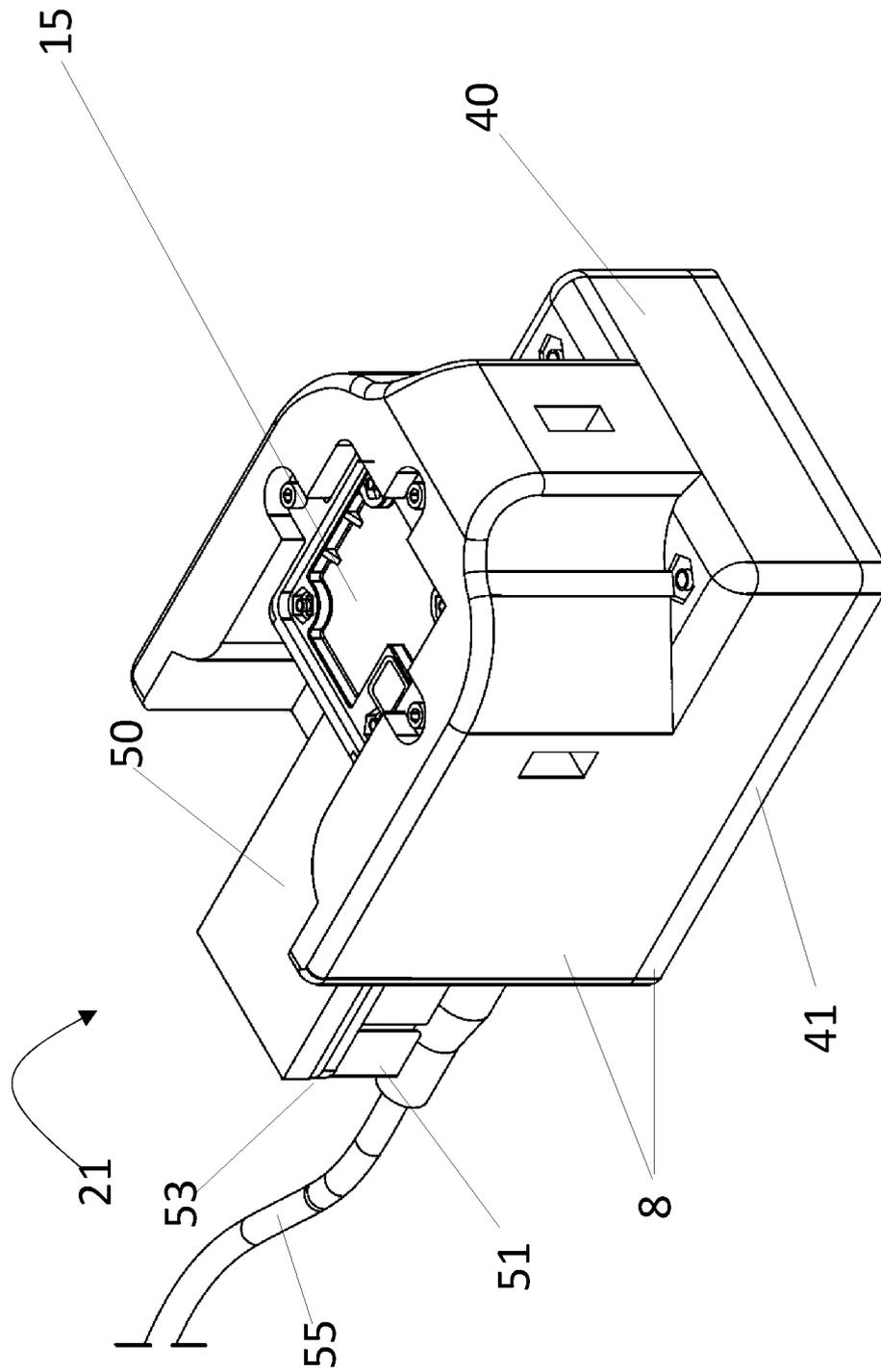


Fig. 33

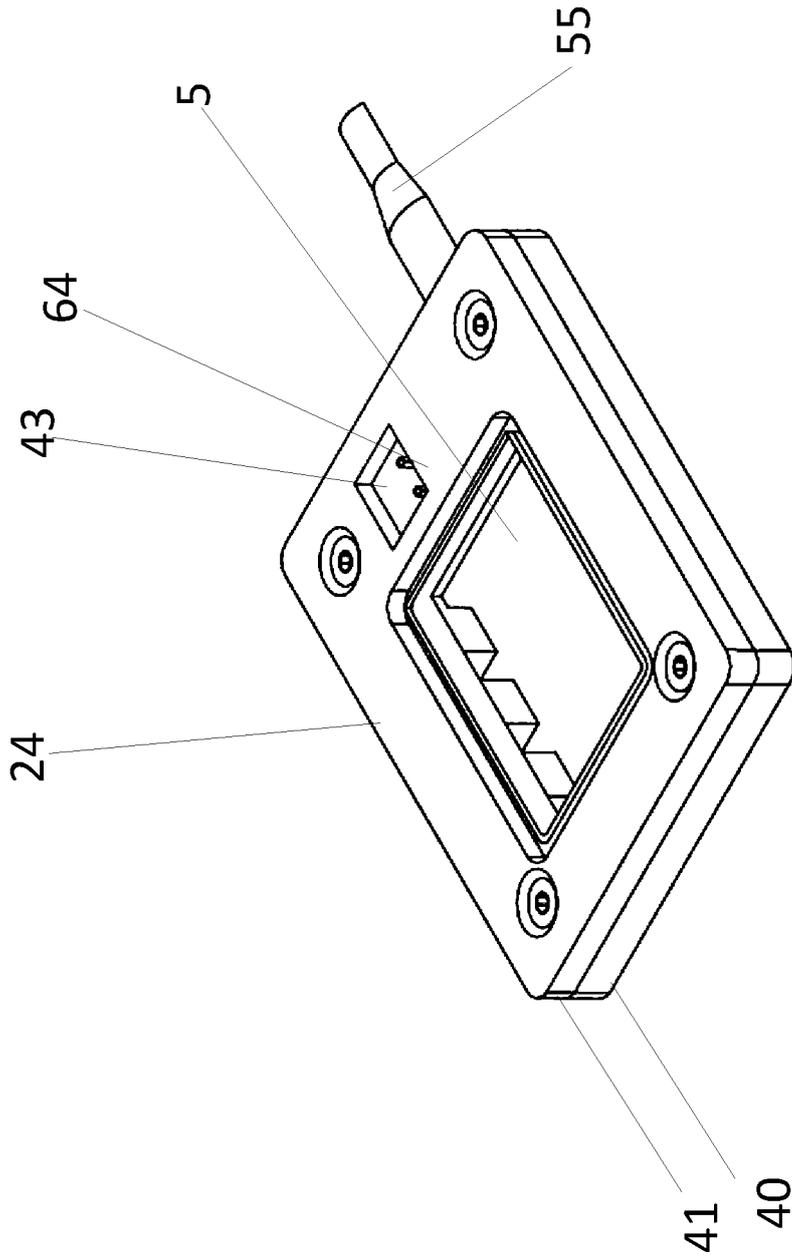


Fig. 34

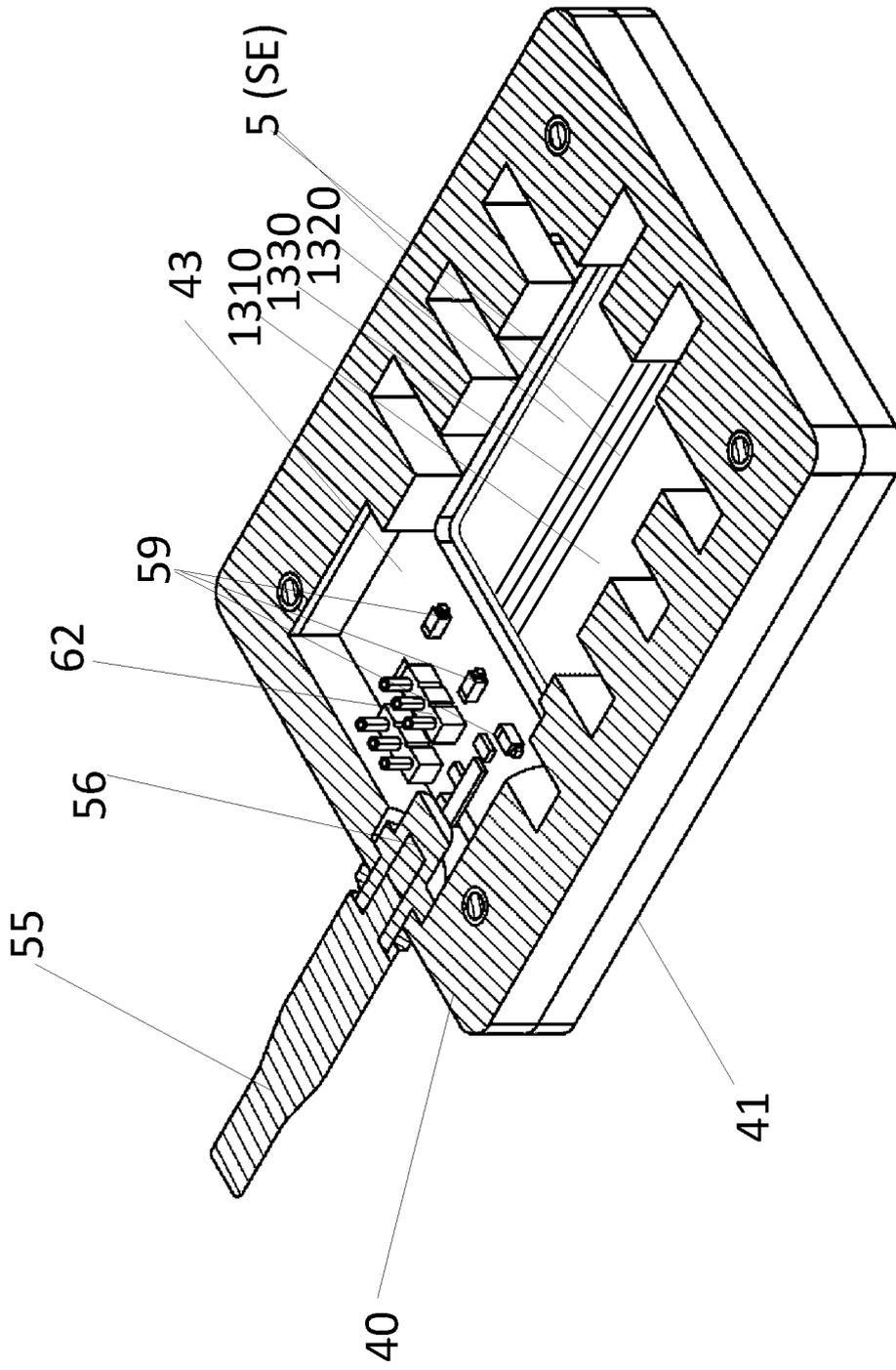


Fig. 35

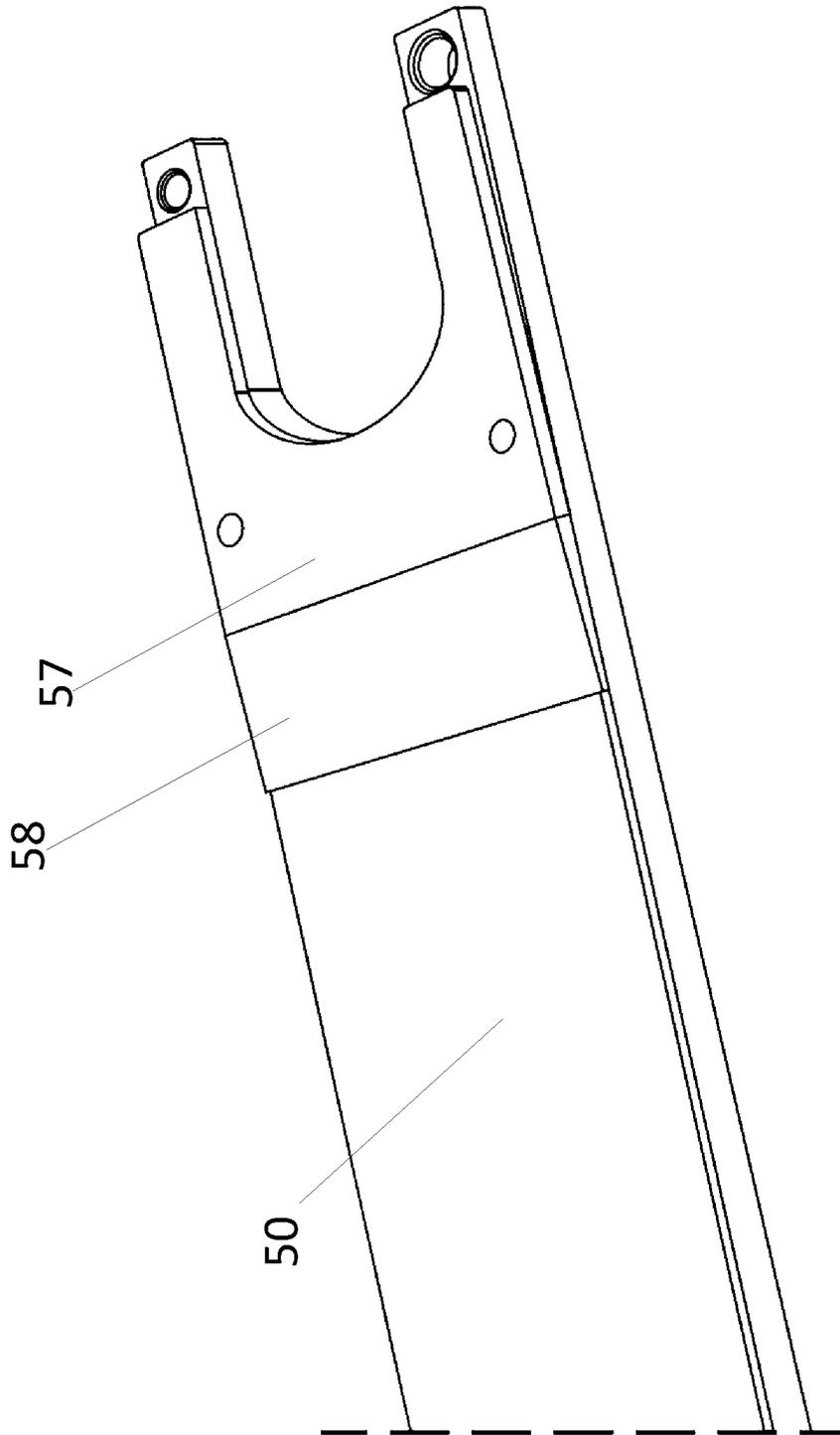


Fig. 36

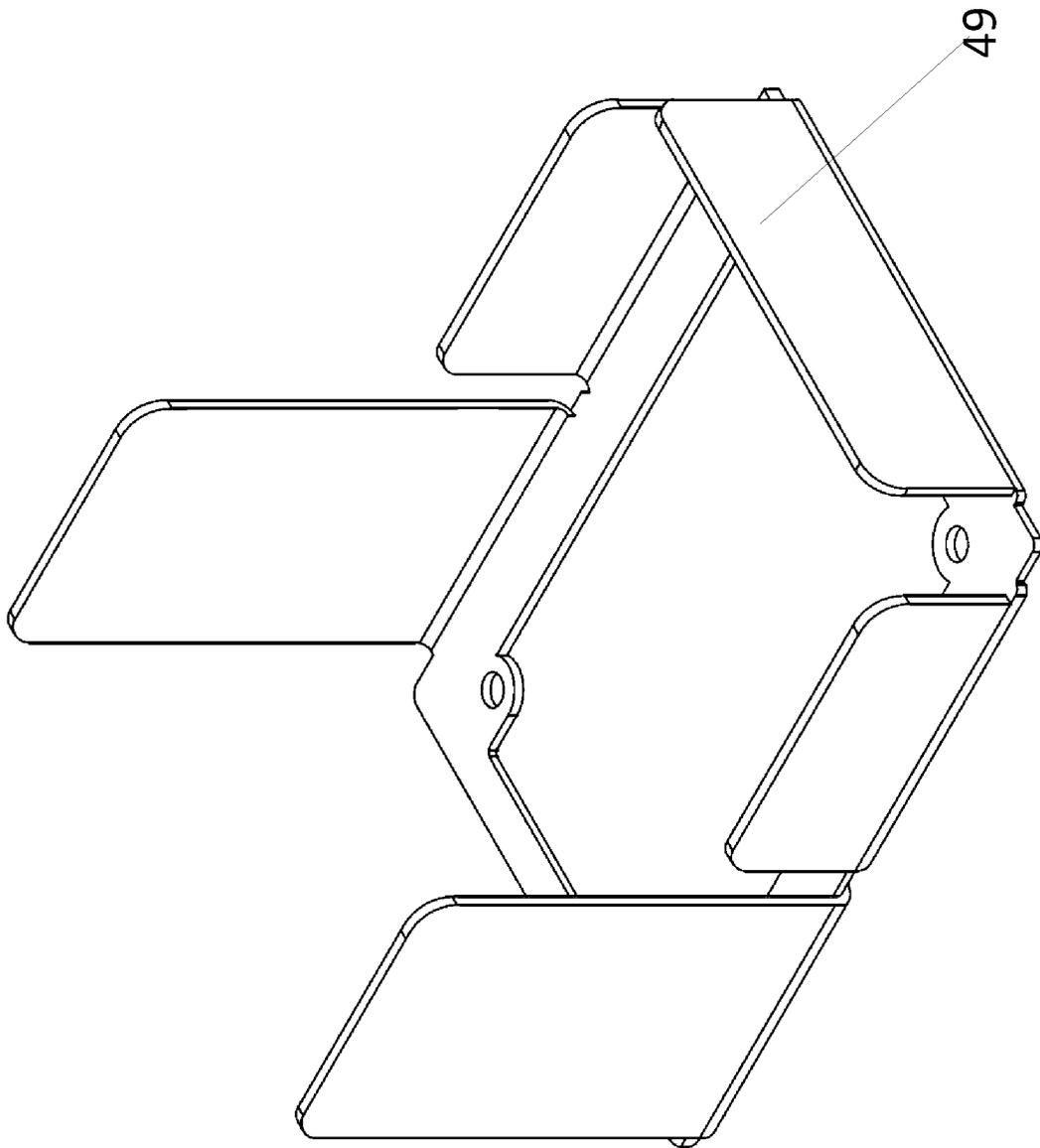


Fig. 37

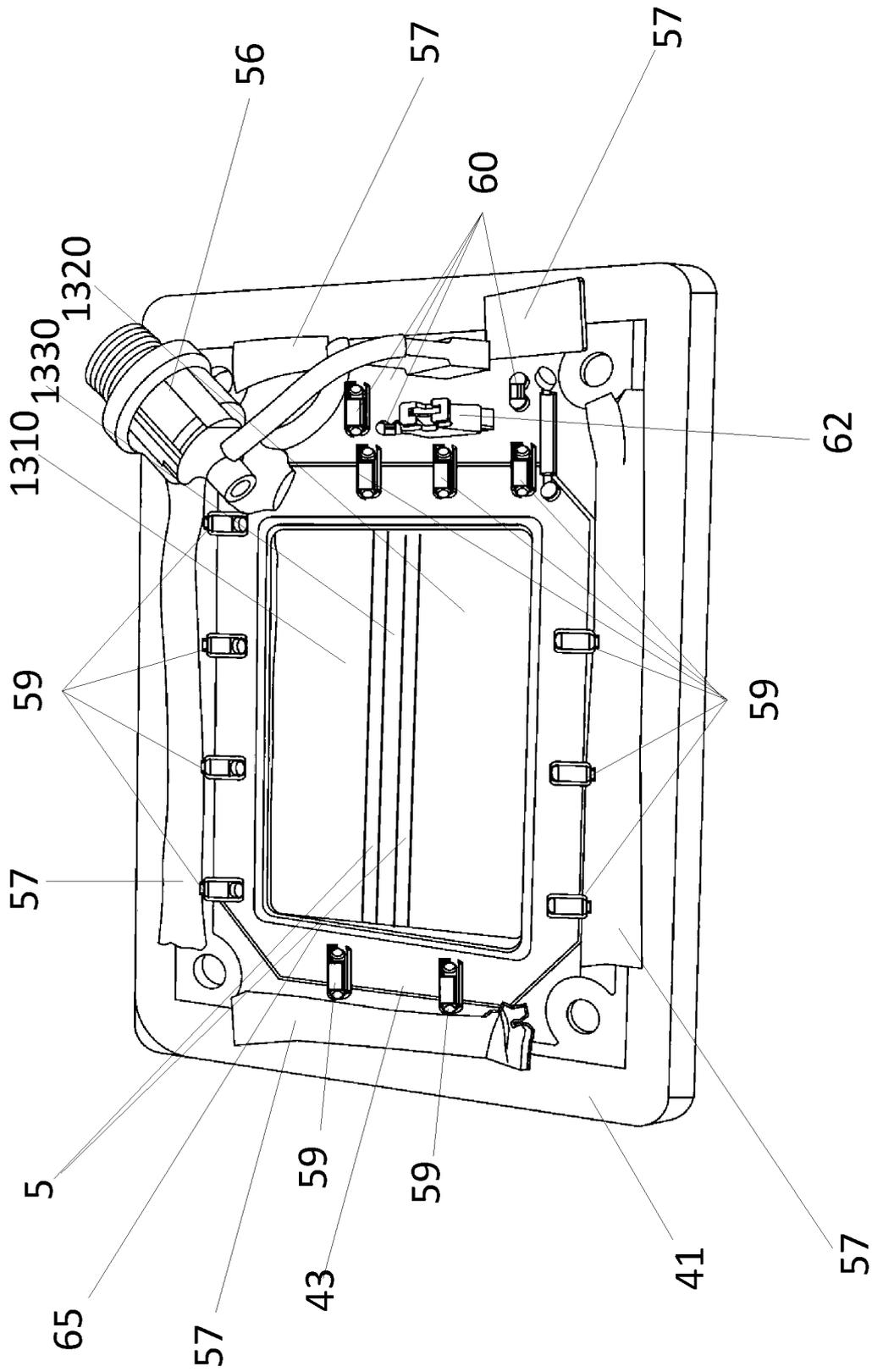


Fig. 38

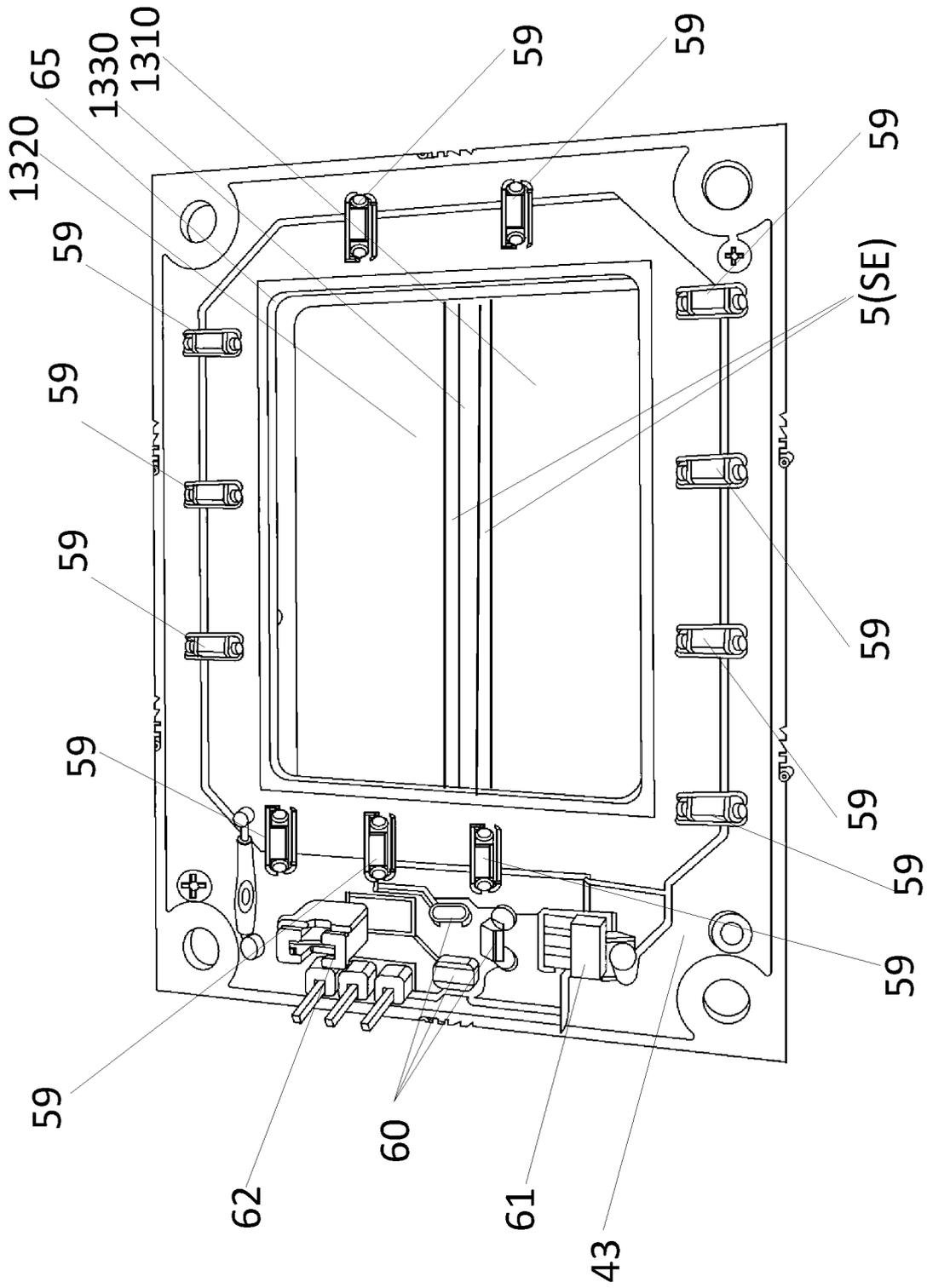


Fig. 39

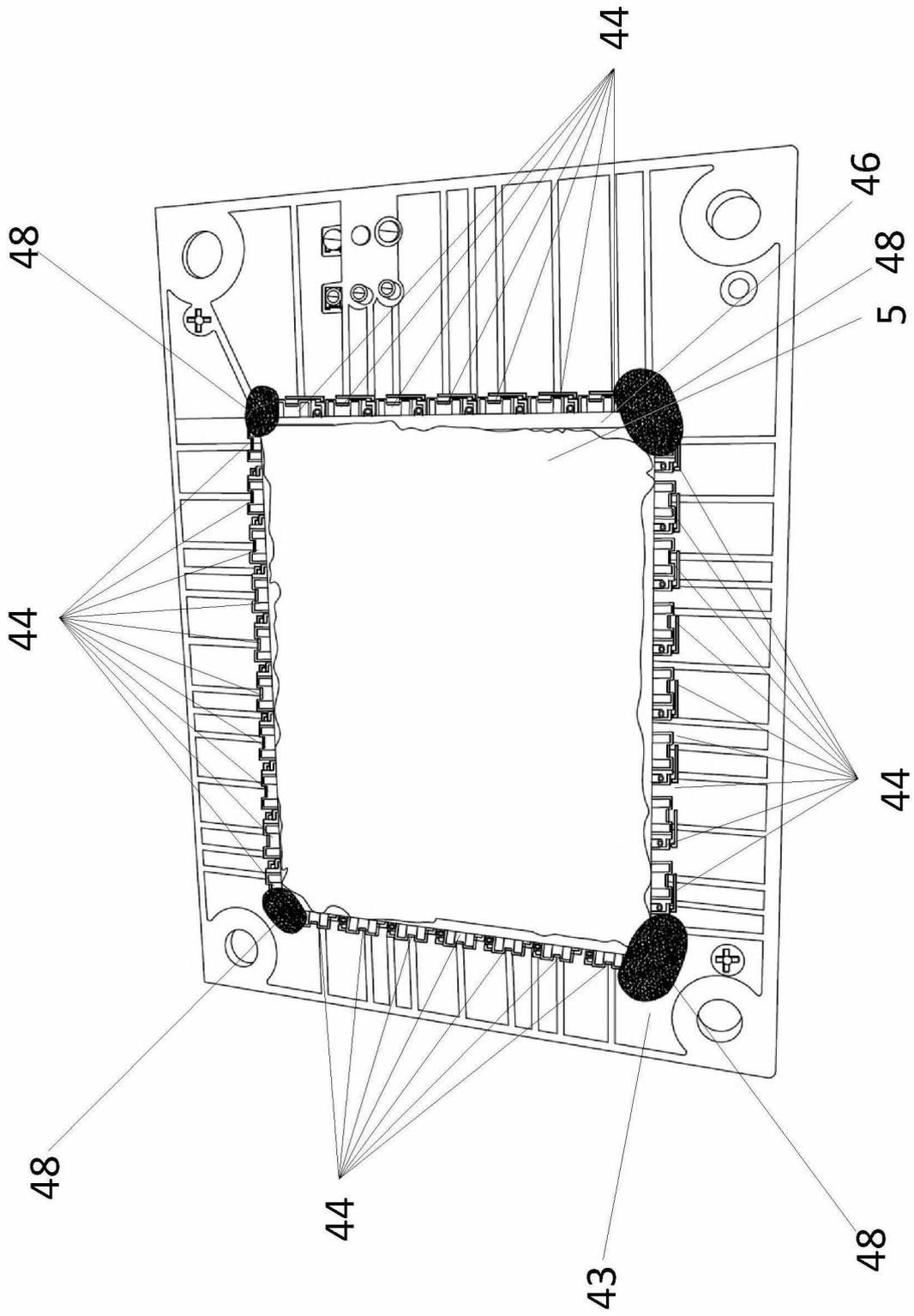


Fig. 40

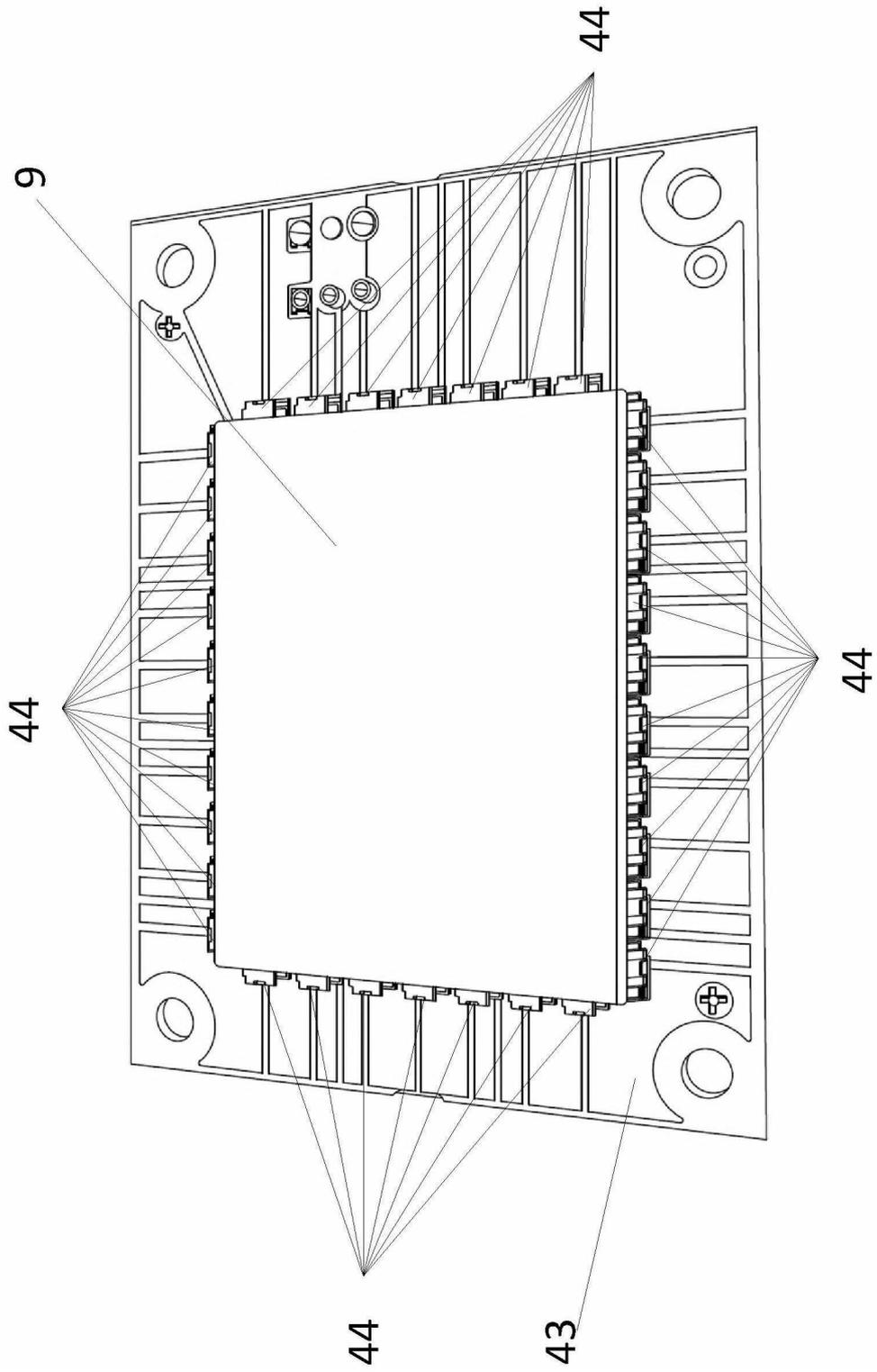


Fig. 41

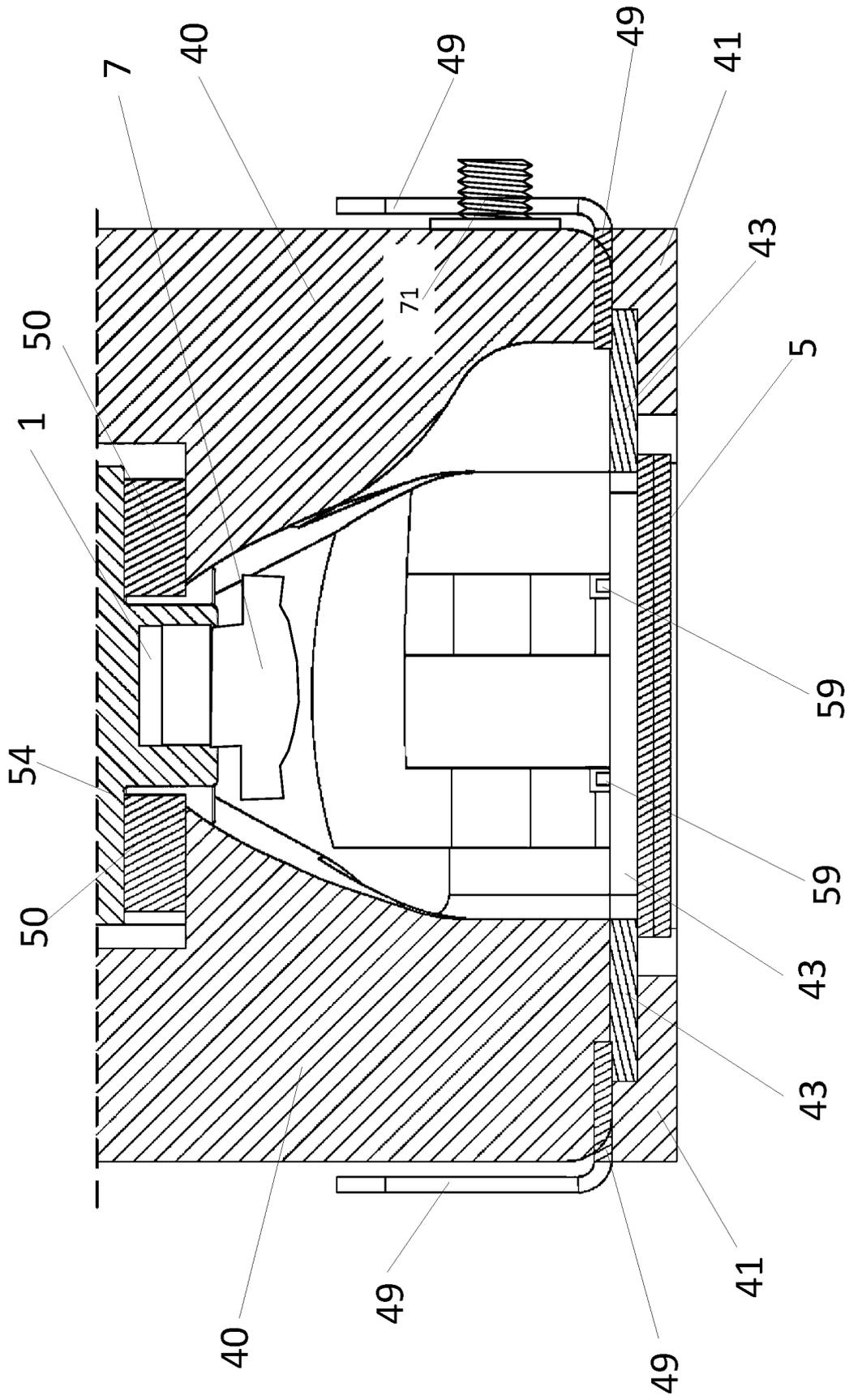


Fig. 43

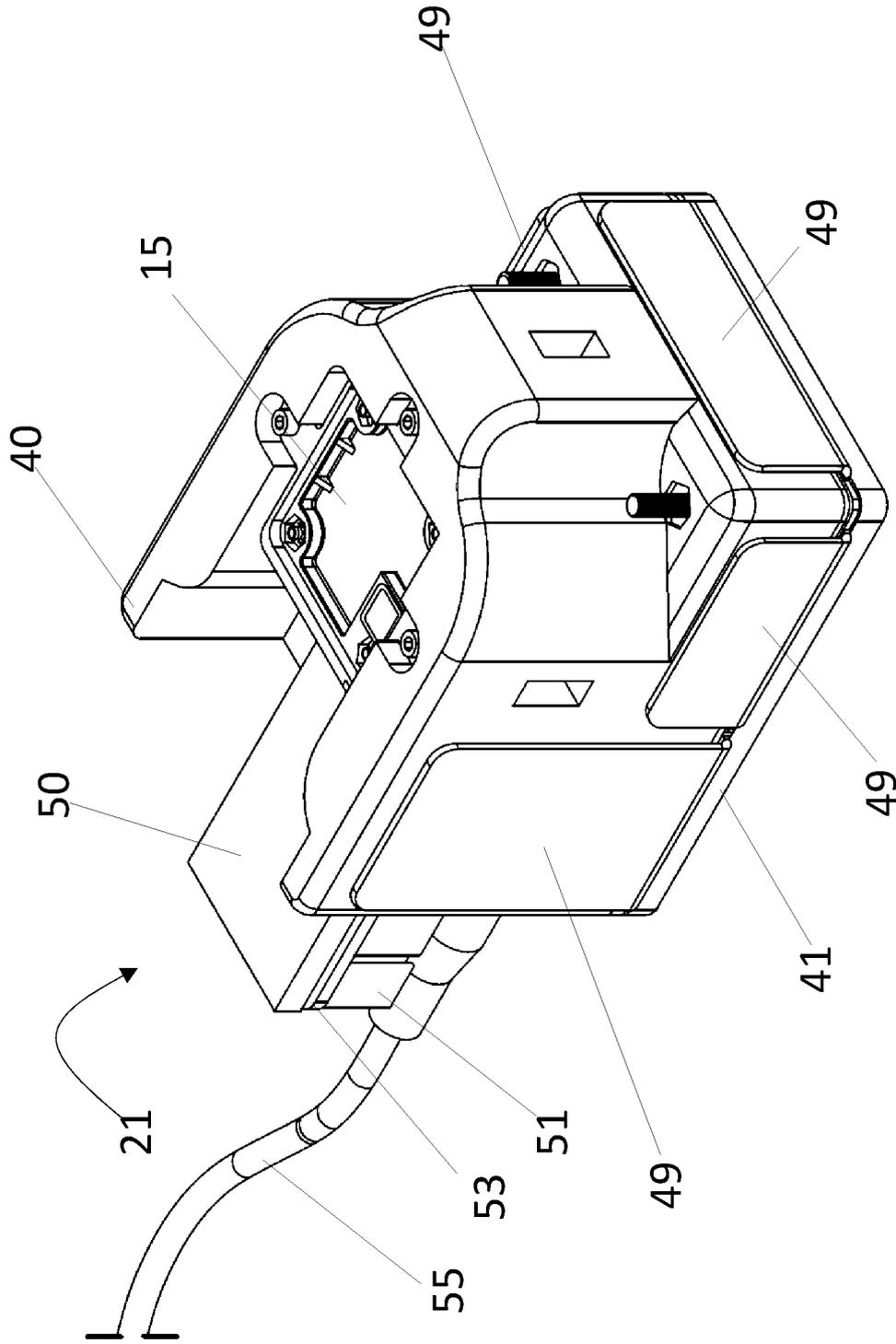


Fig. 44

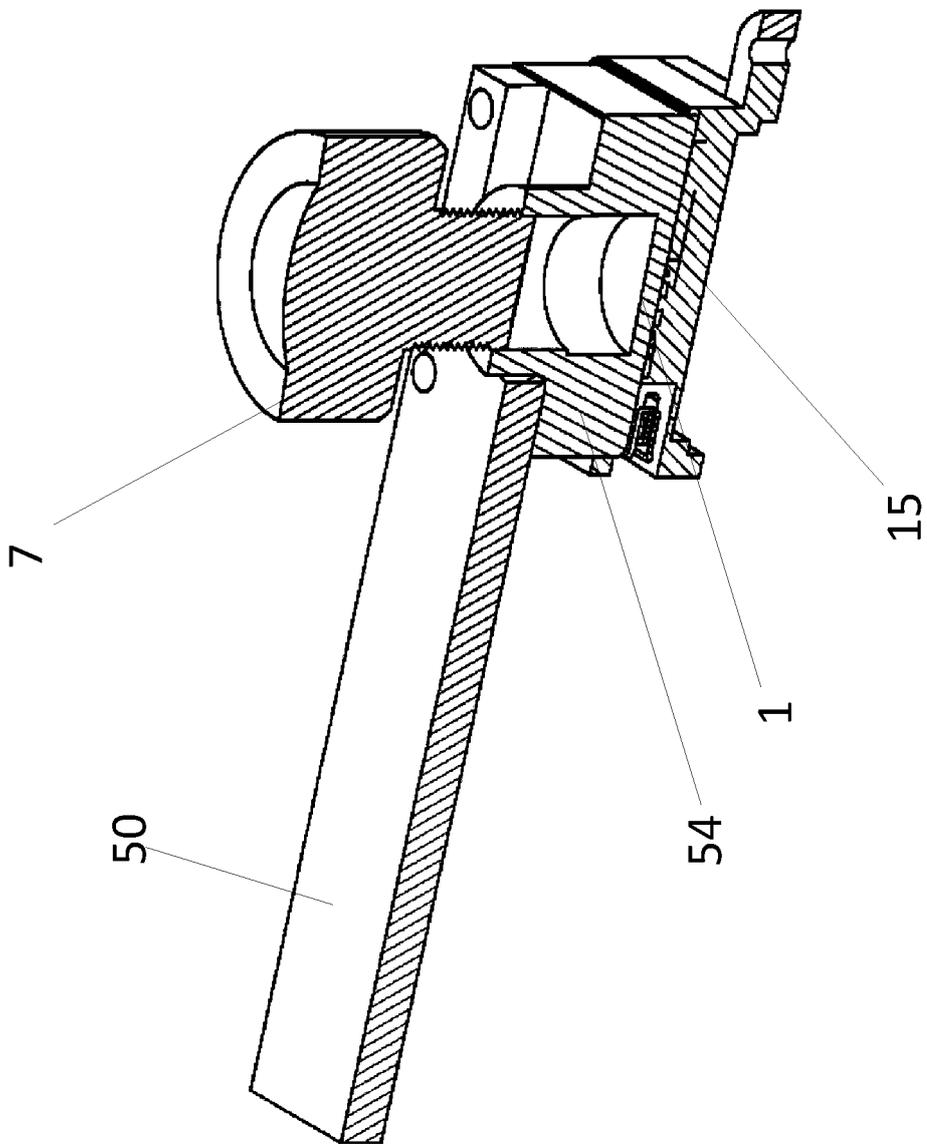


Fig. 45

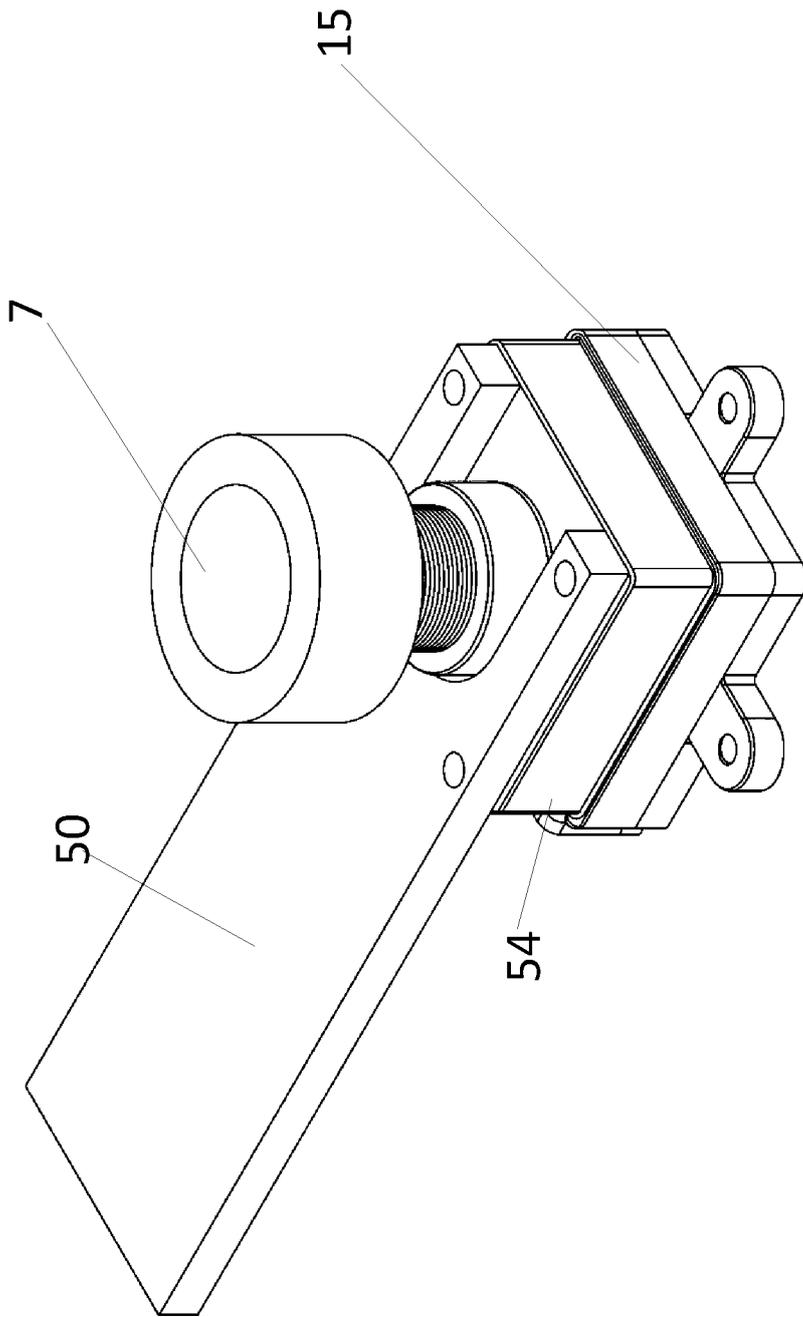


Fig. 46

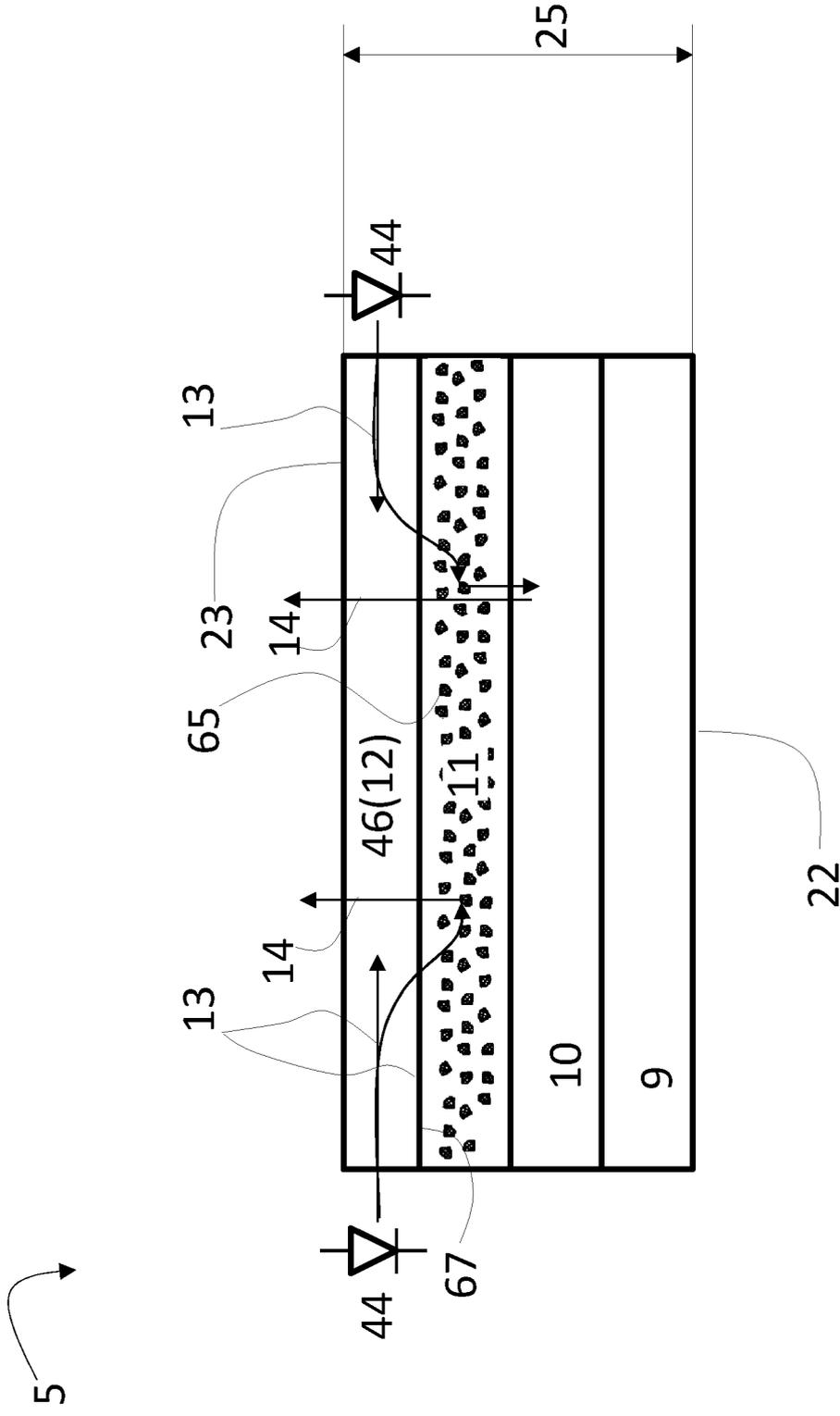


Fig. 47

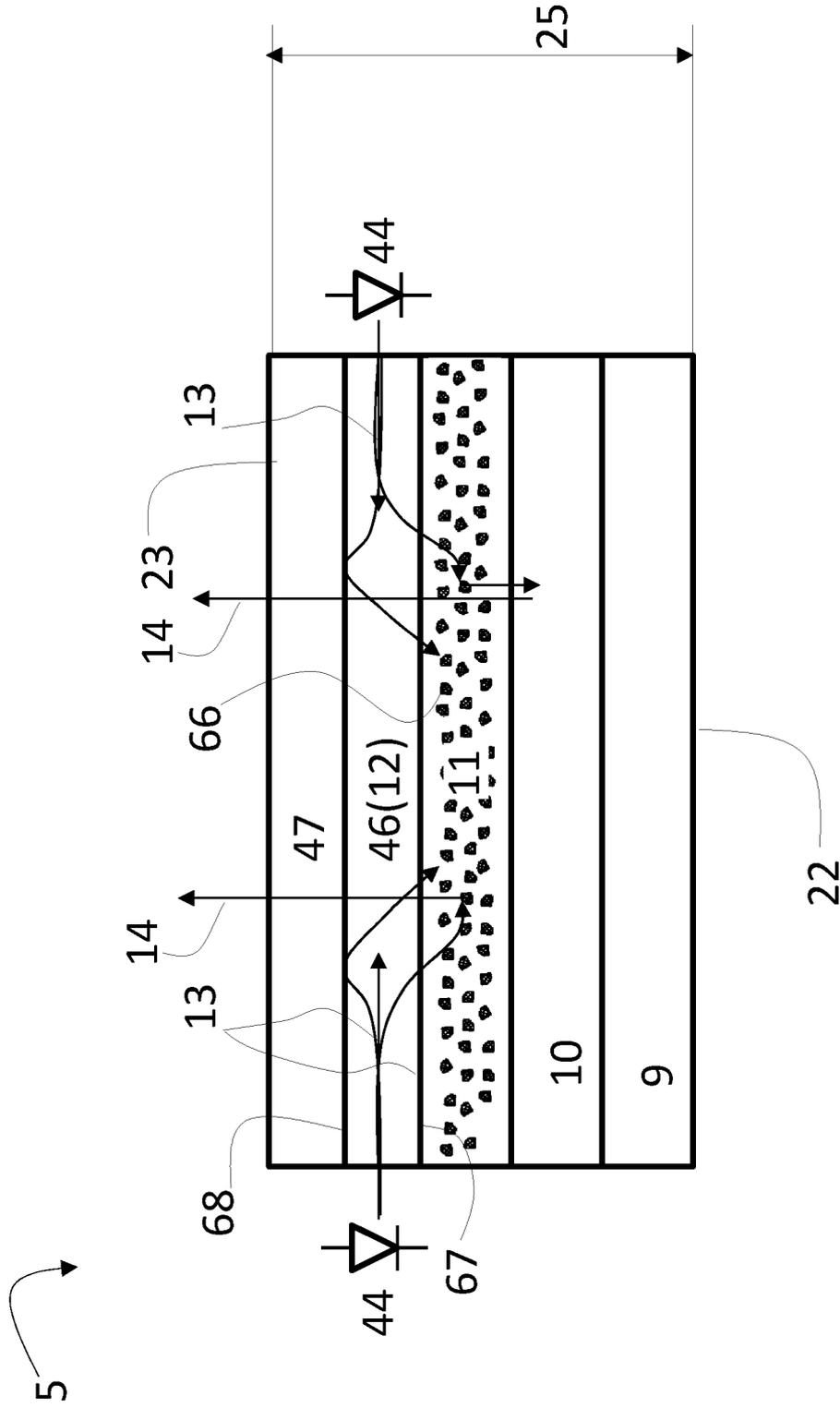


Fig. 48

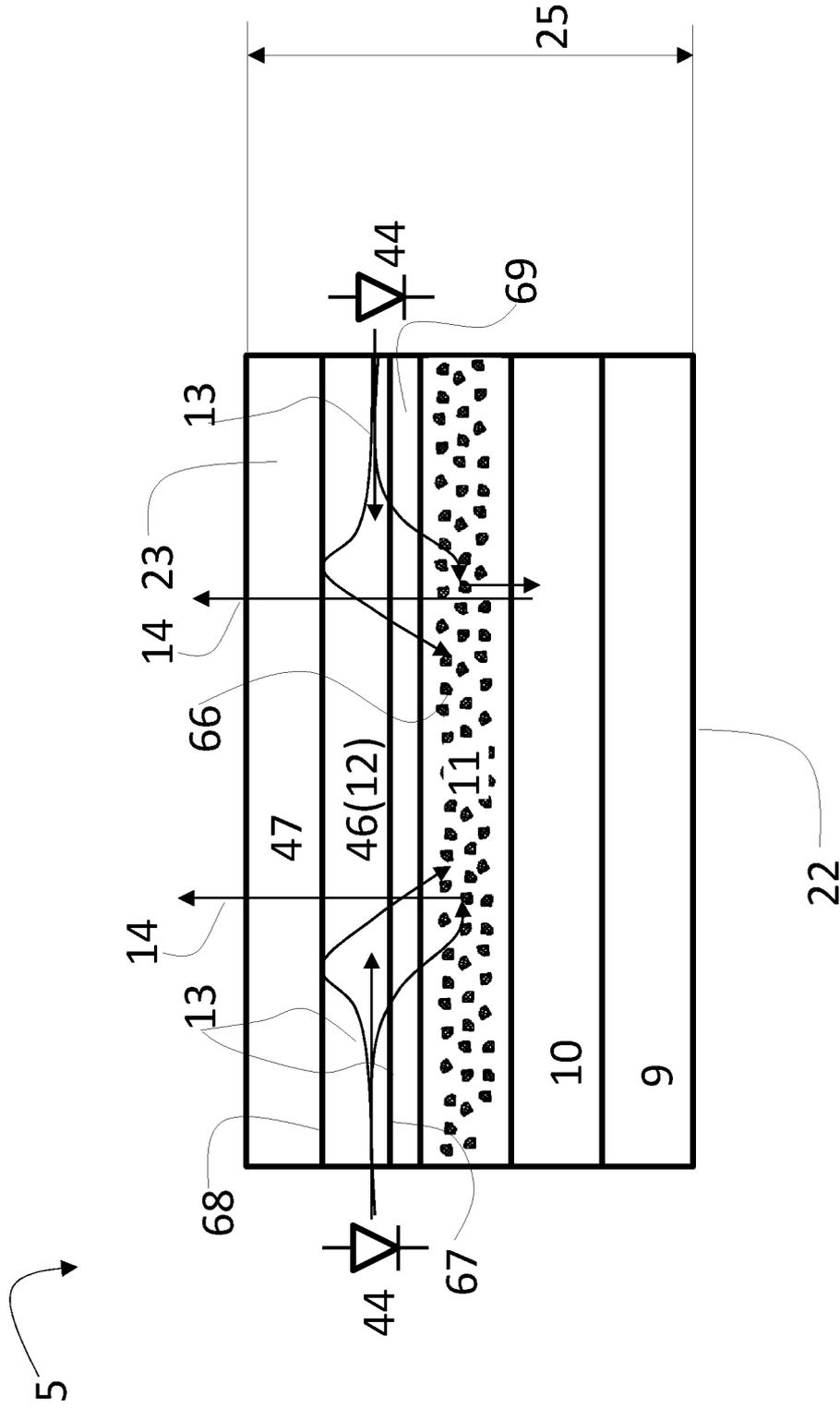


Fig. 50

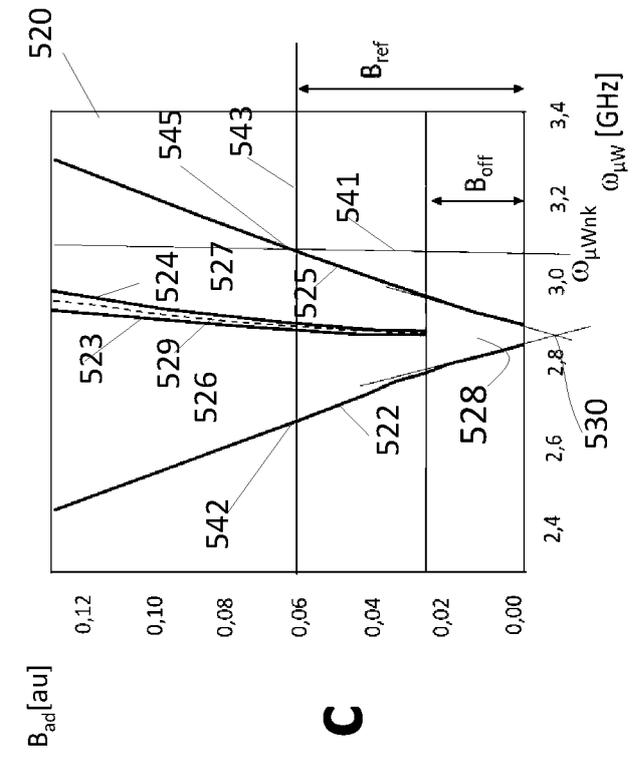
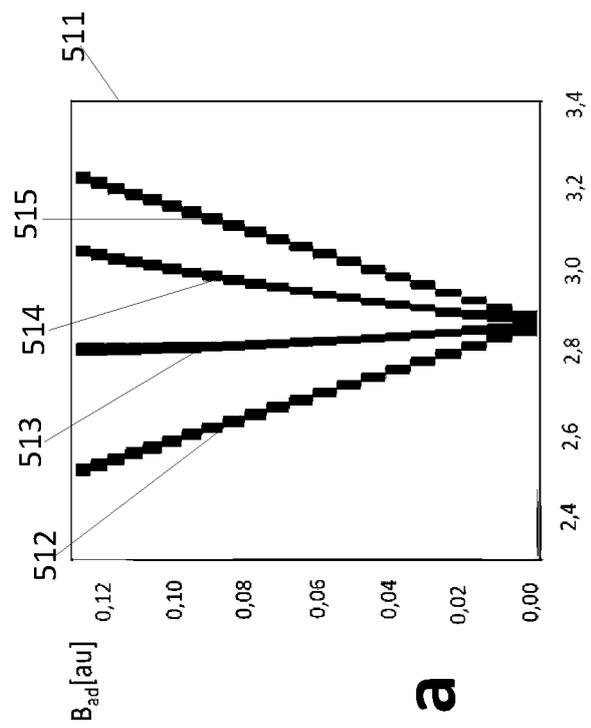
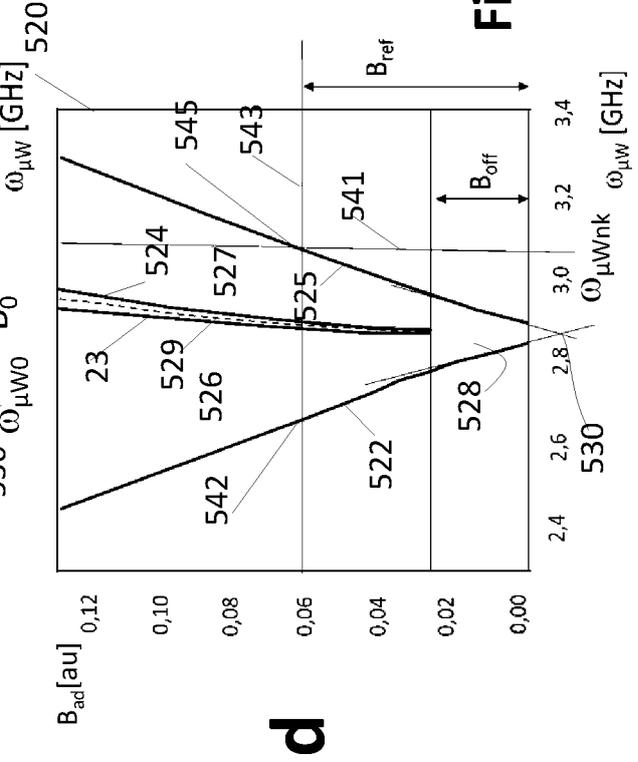
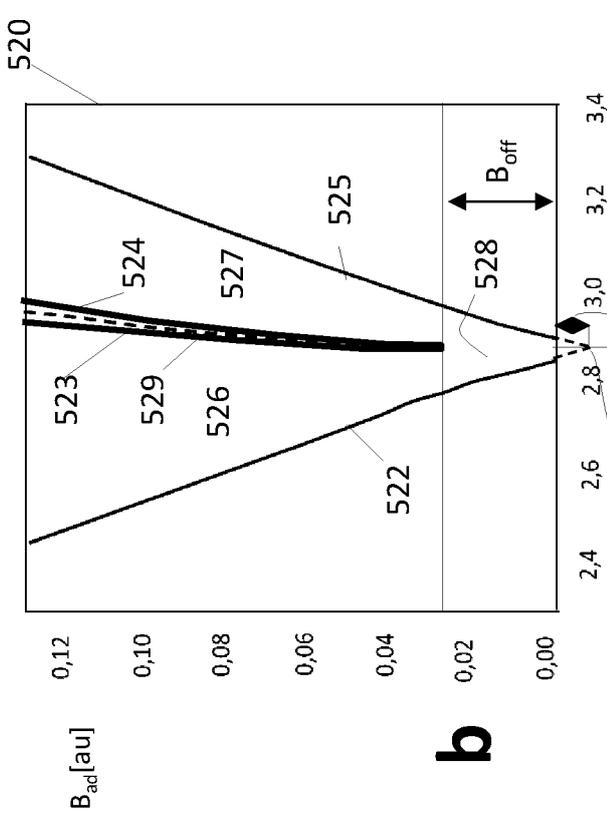
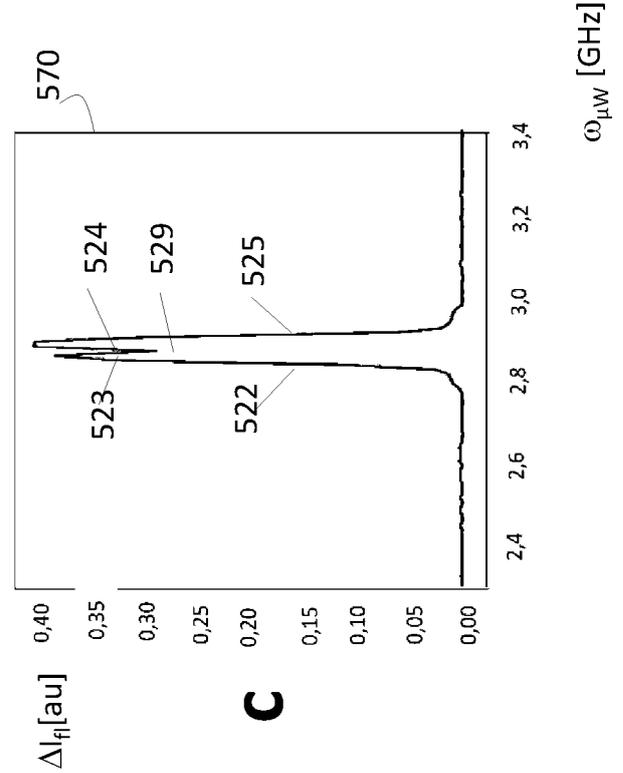
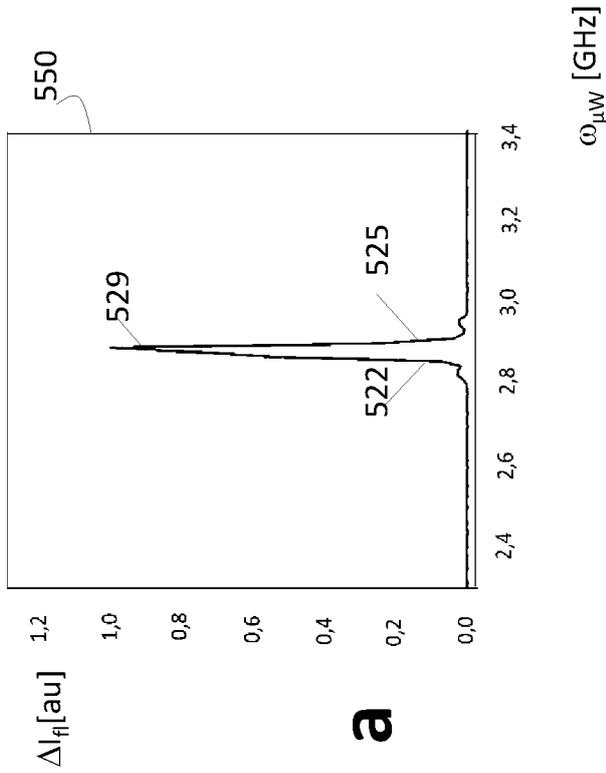
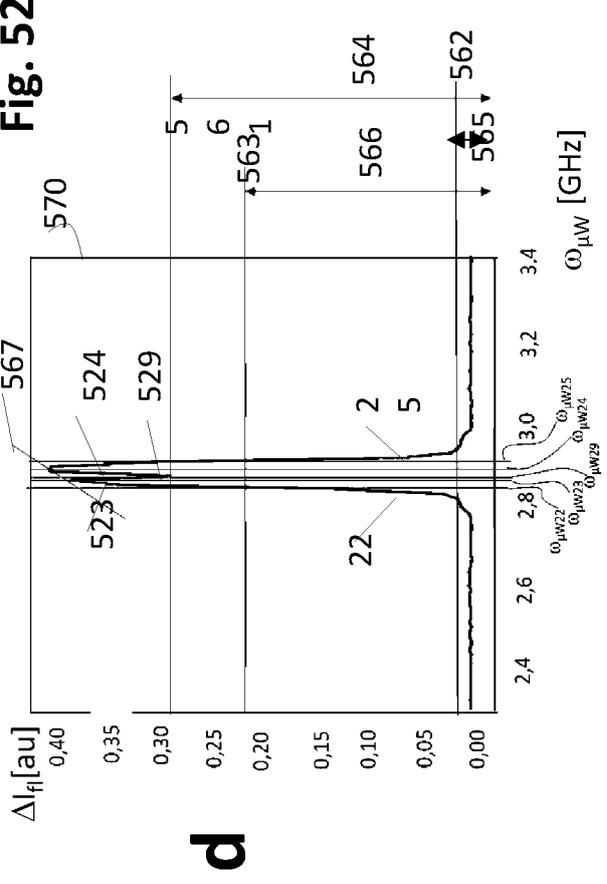
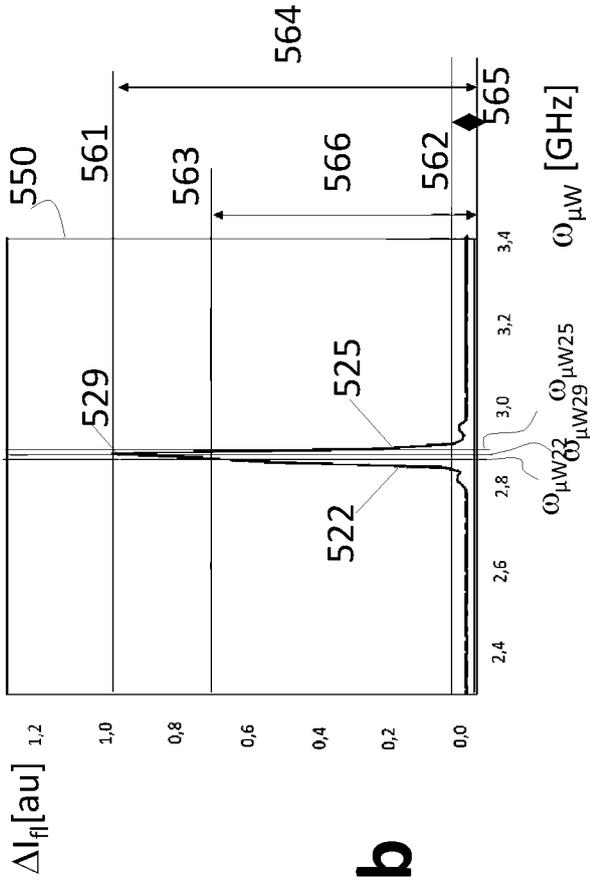


Fig. 51



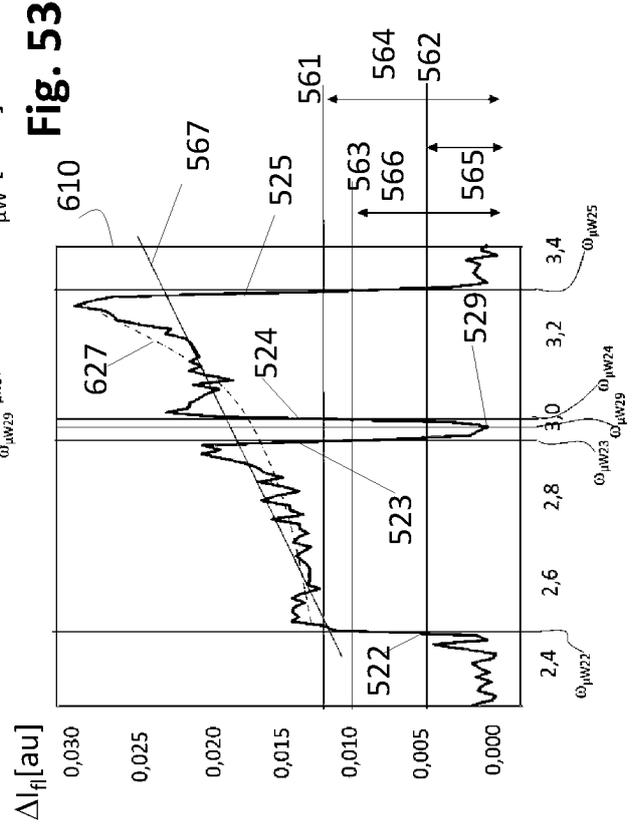
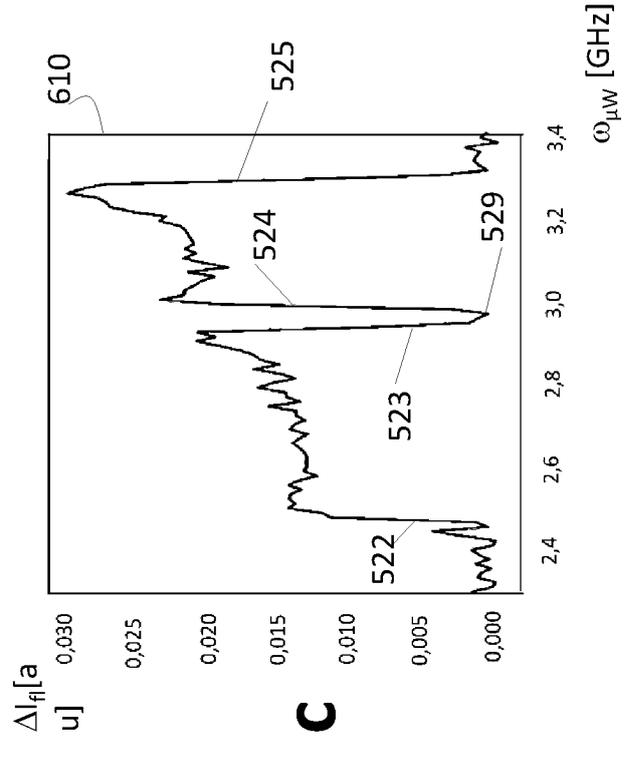
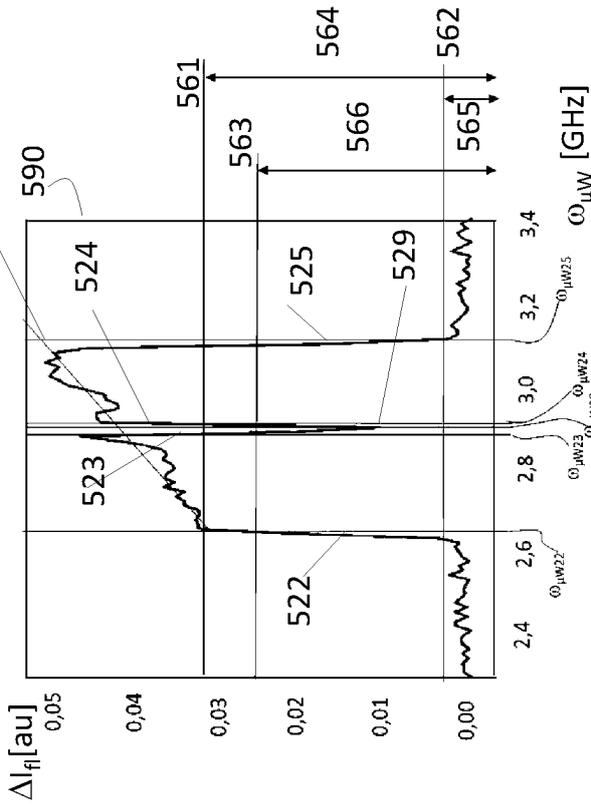
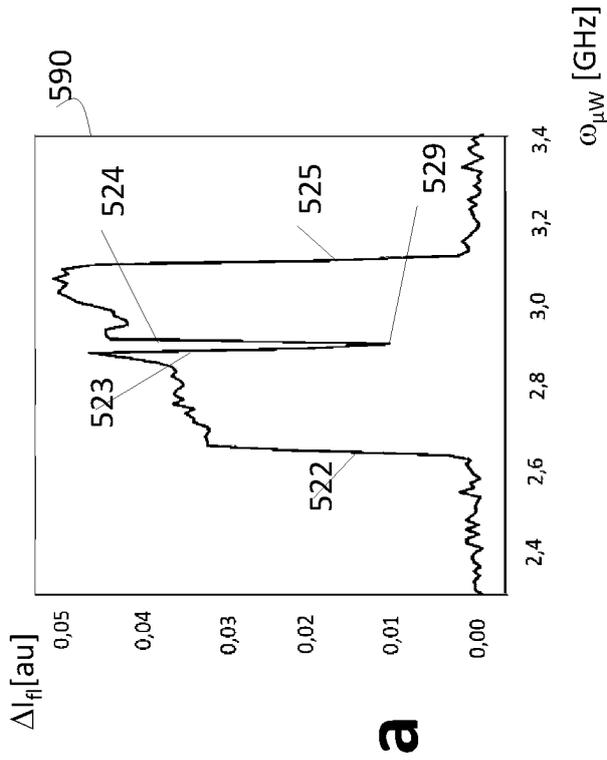


Fig. 53

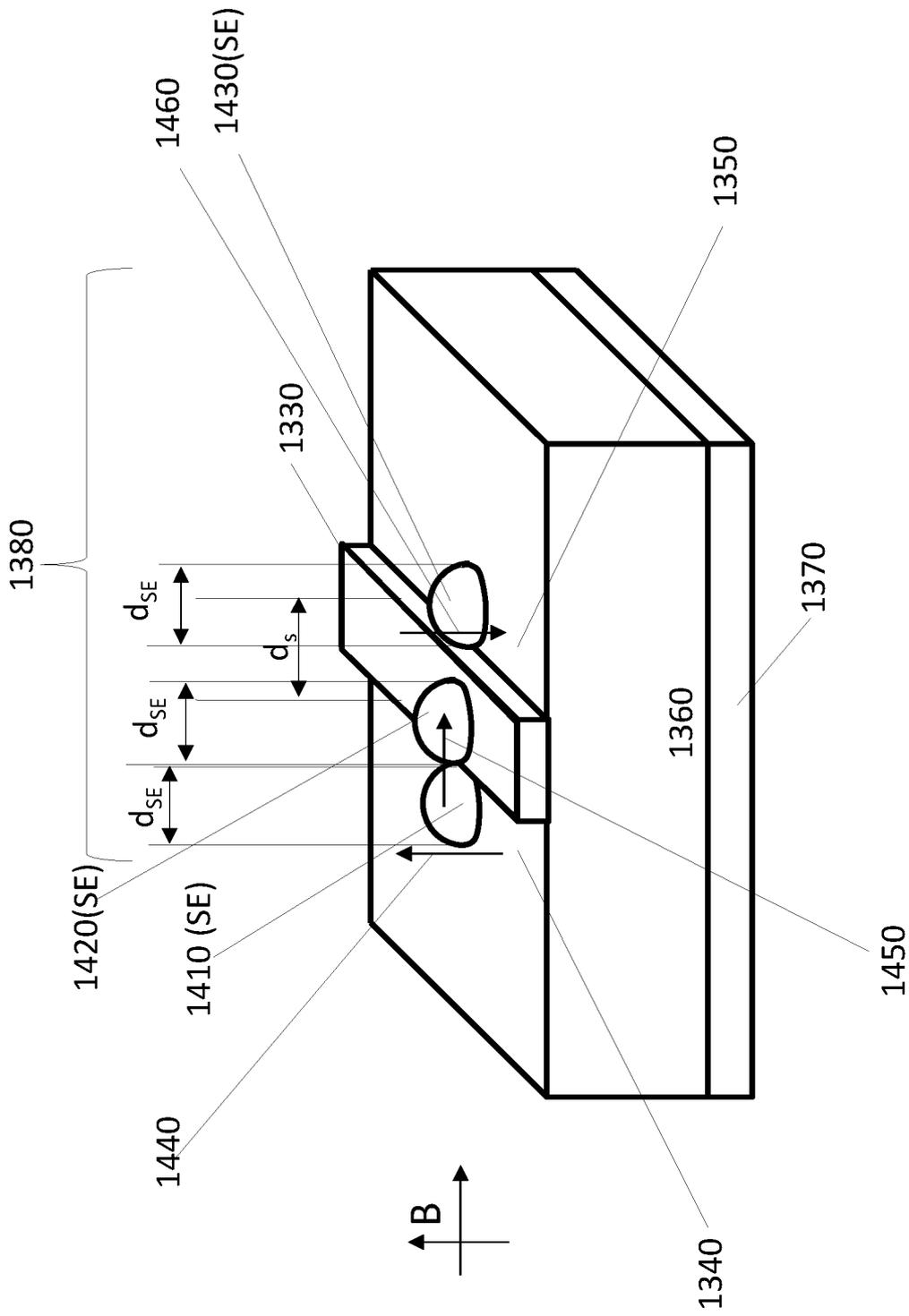


Fig. 54

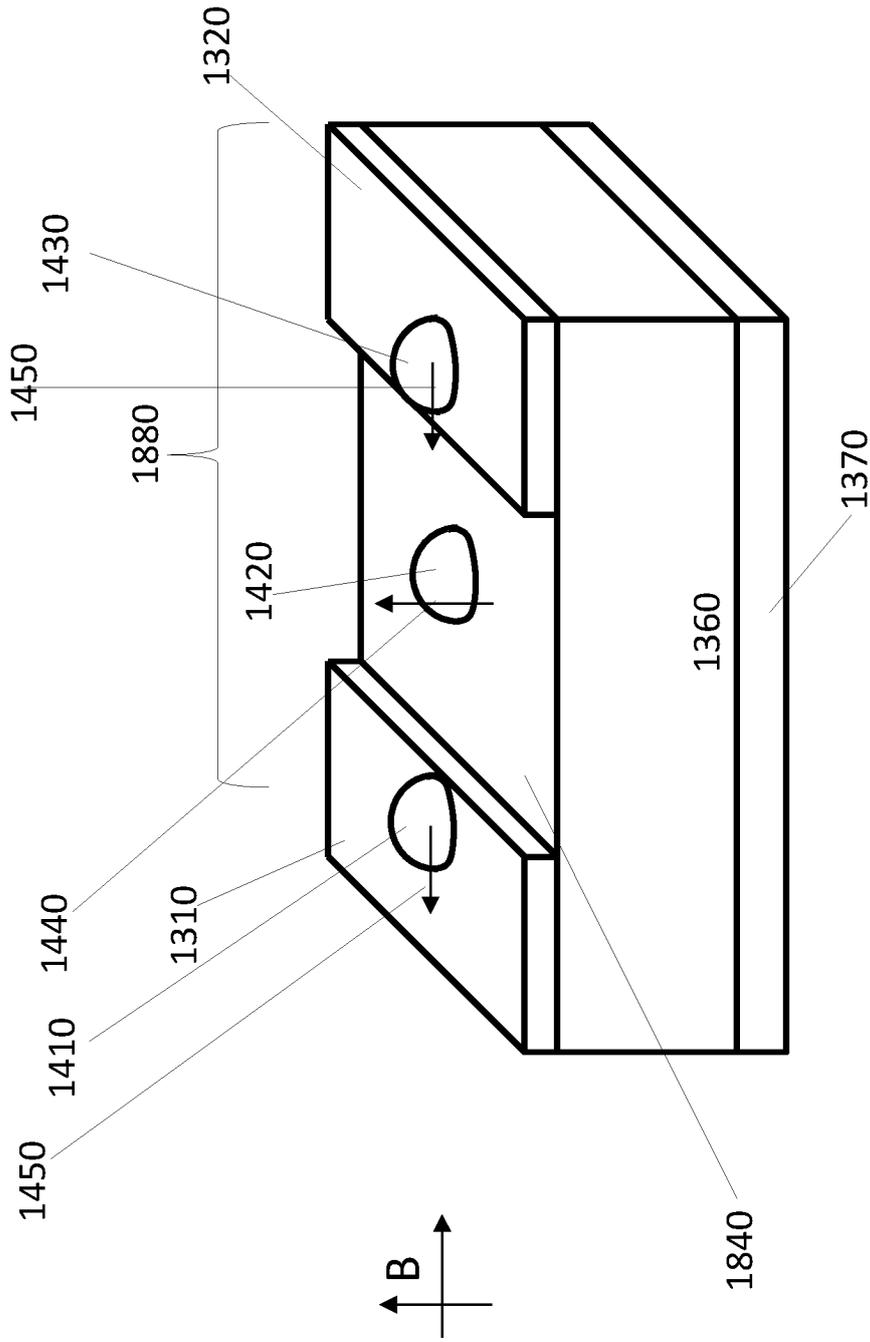


Fig. 55

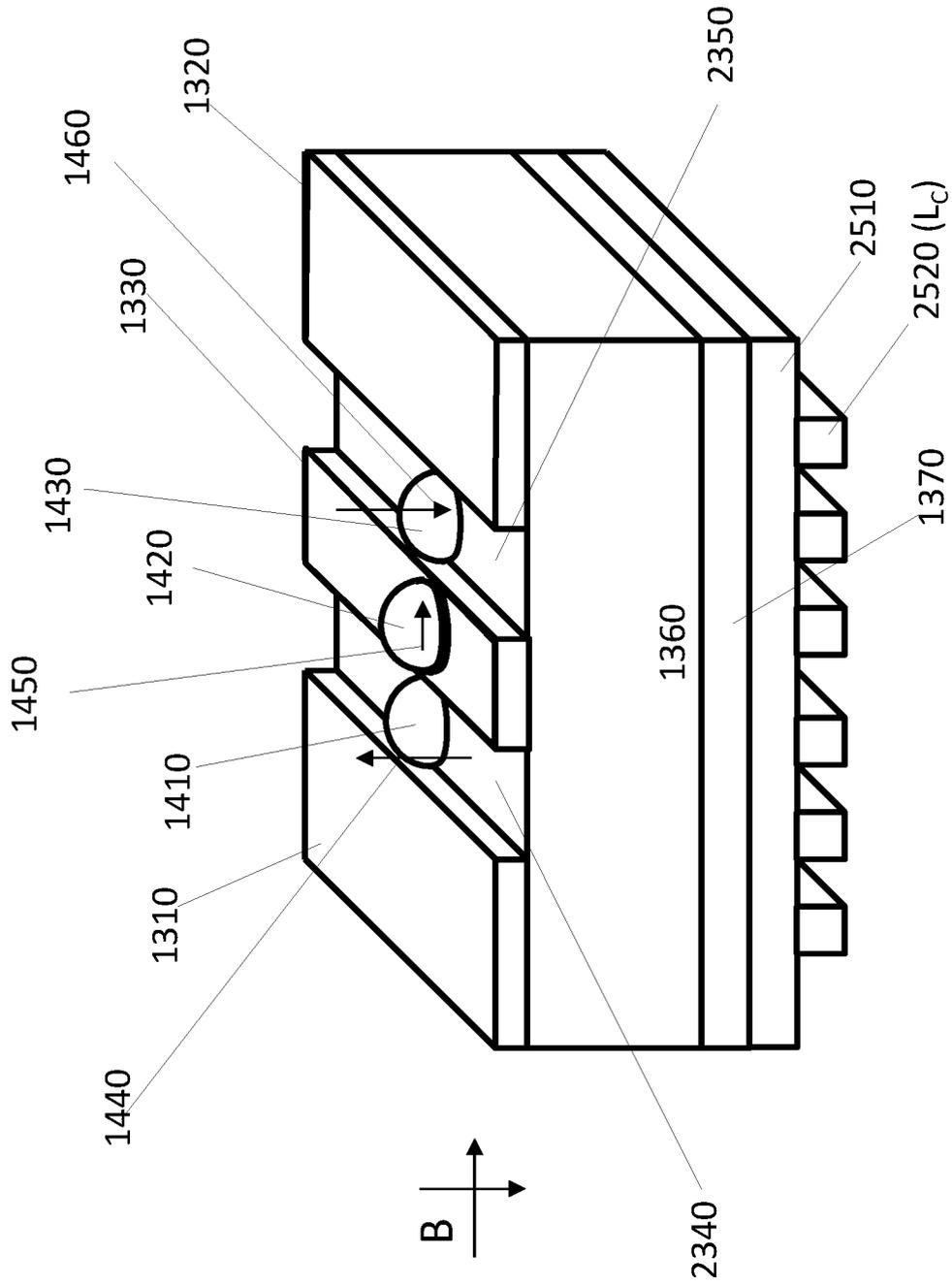


Fig. 57

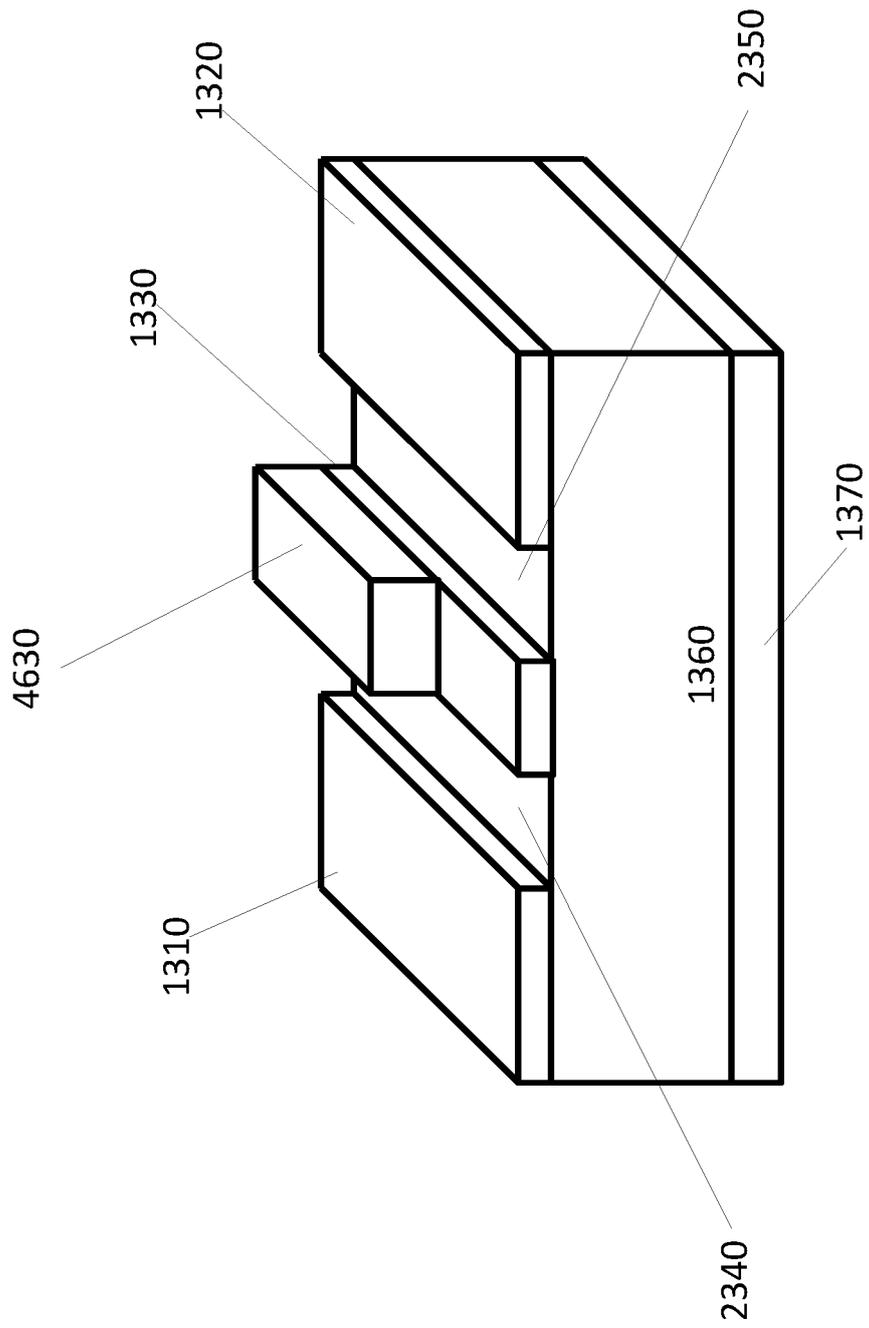


Fig. 58

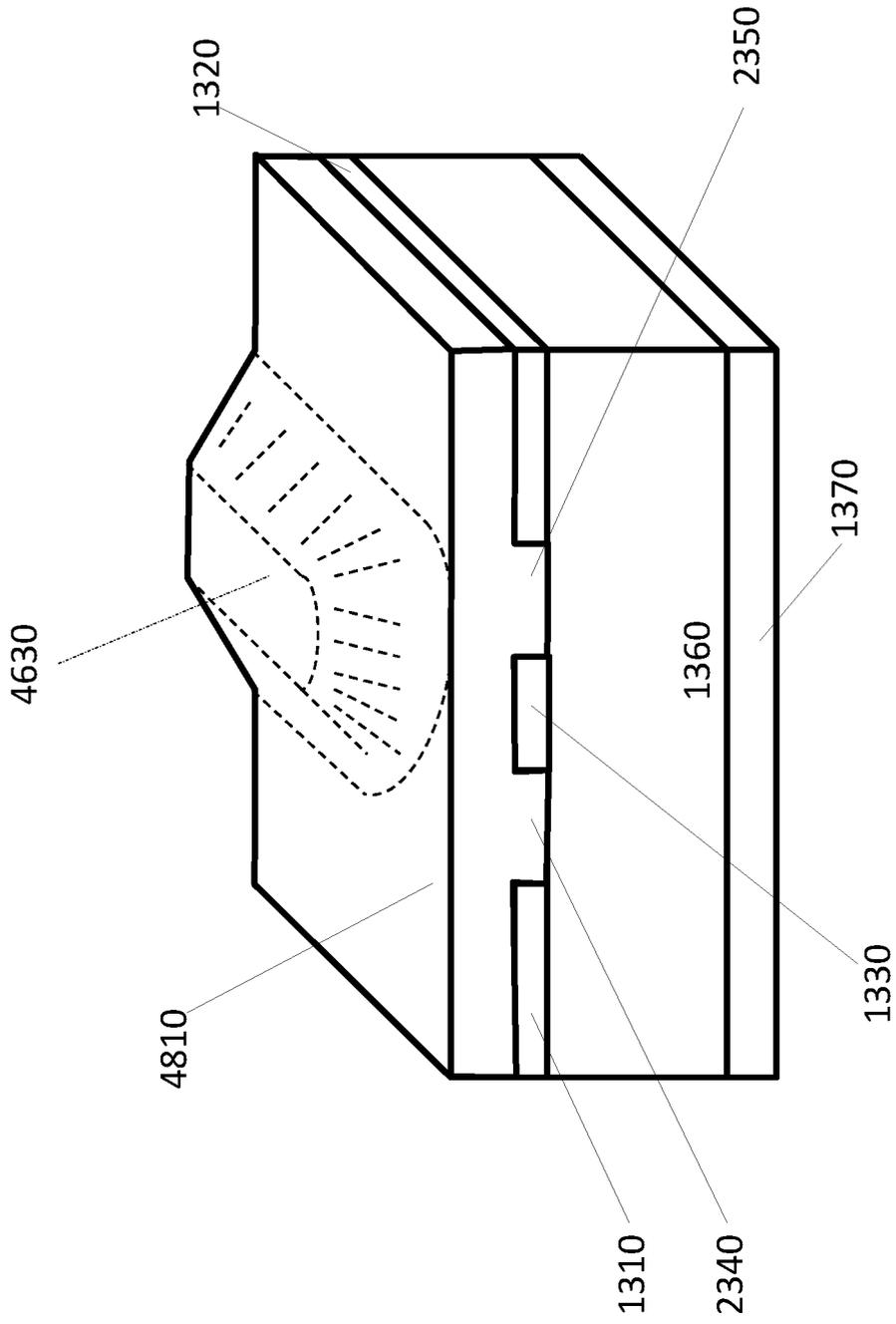


Fig. 59

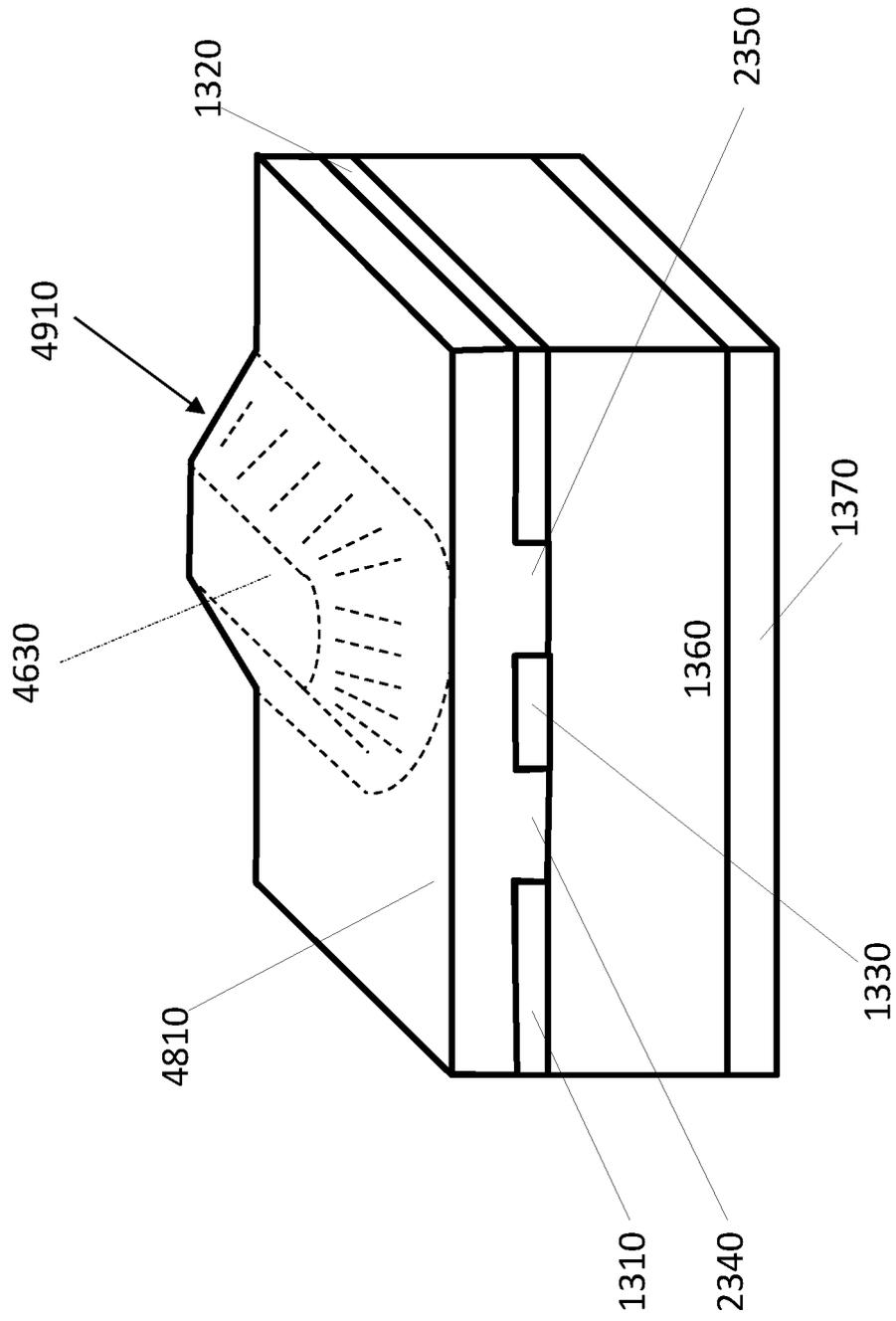


Fig. 60

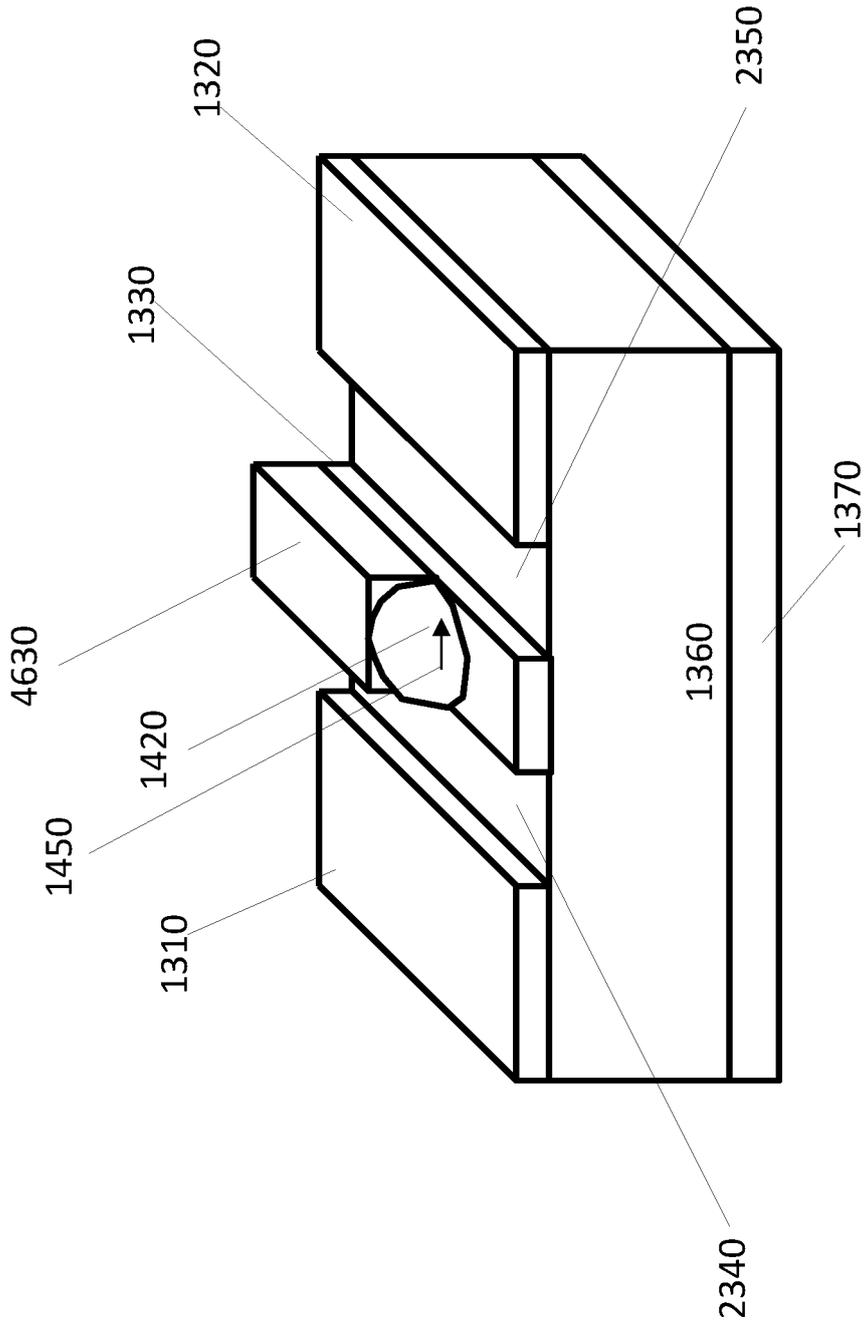


Fig. 61

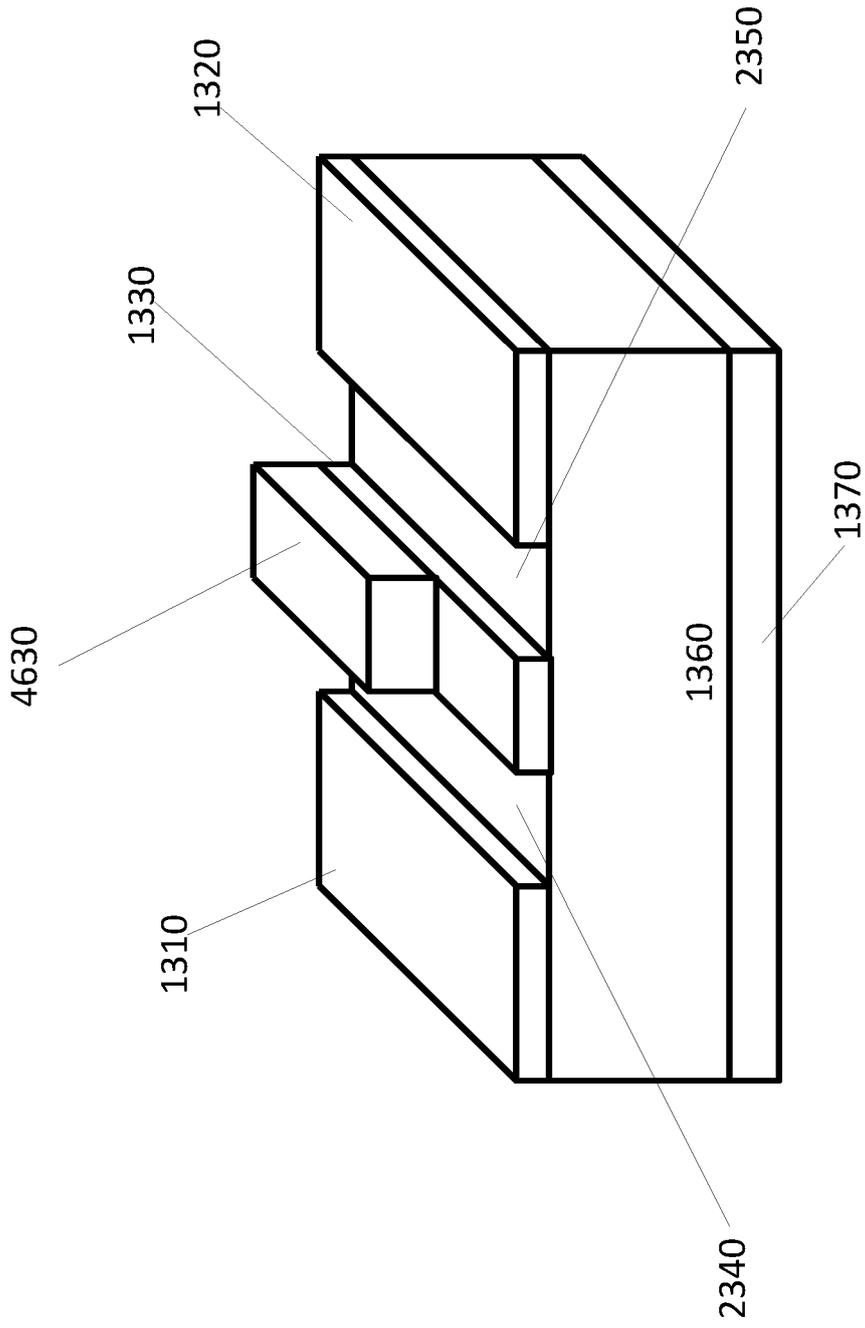


Fig. 62

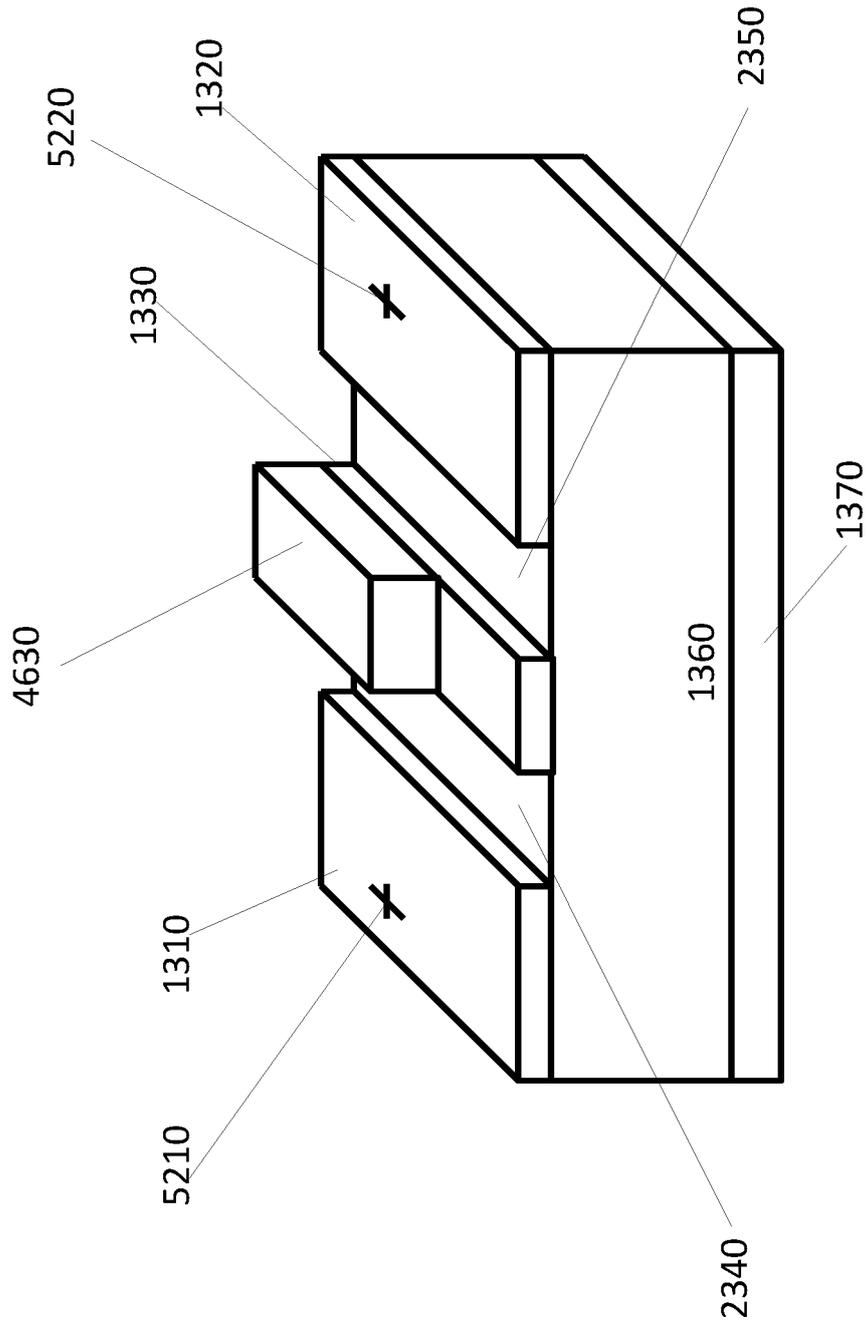


Fig. 63

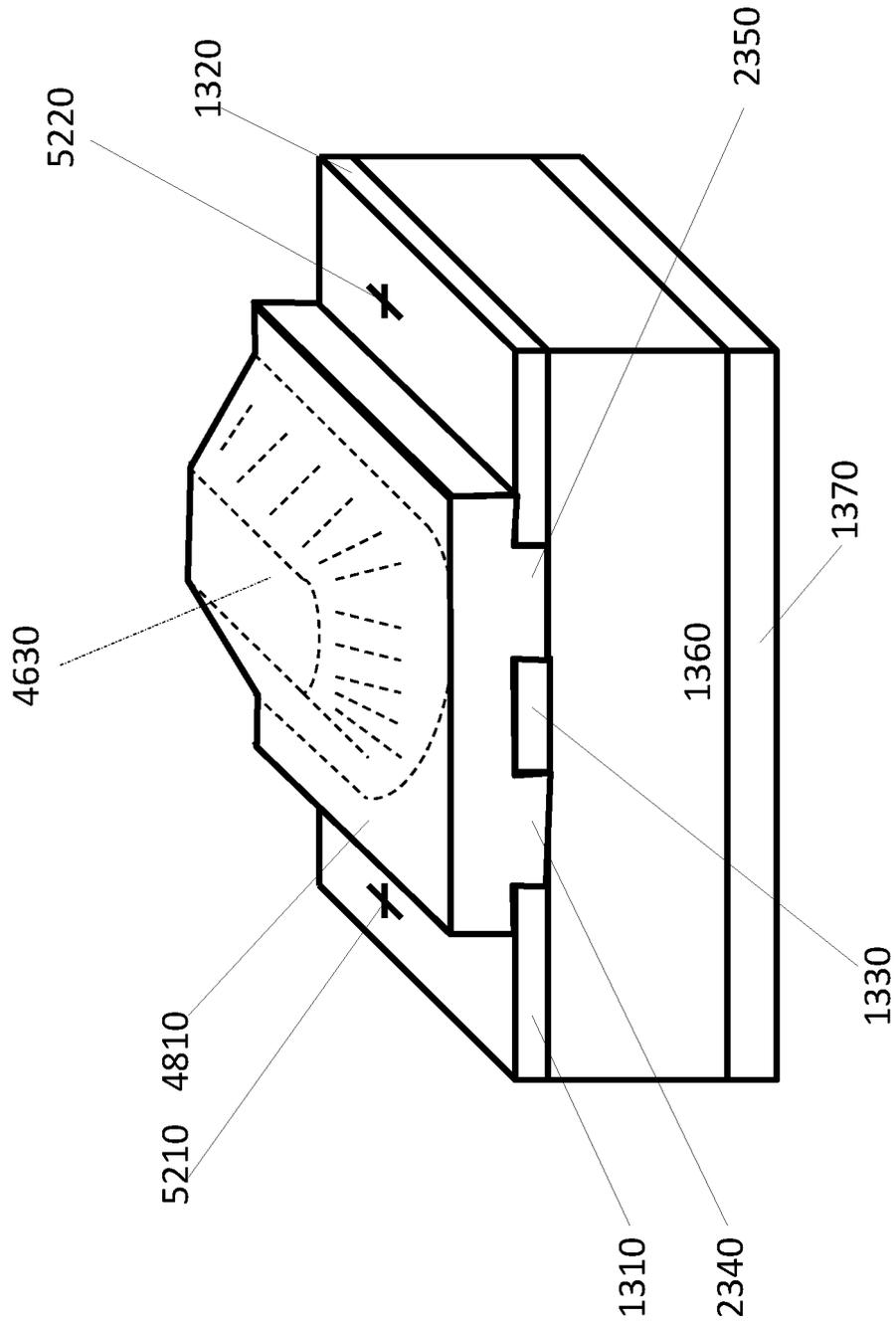


Fig. 64

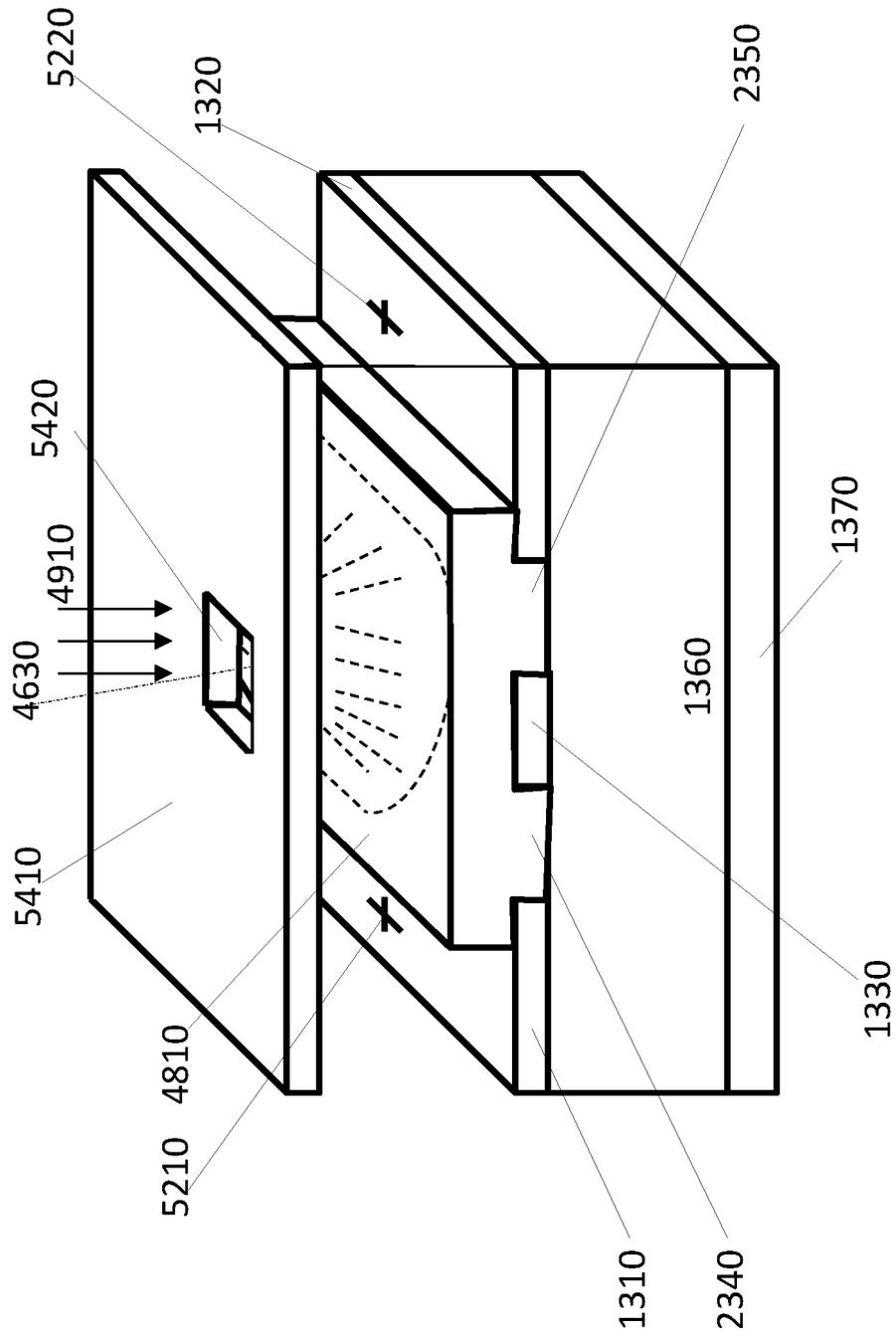


Fig. 65

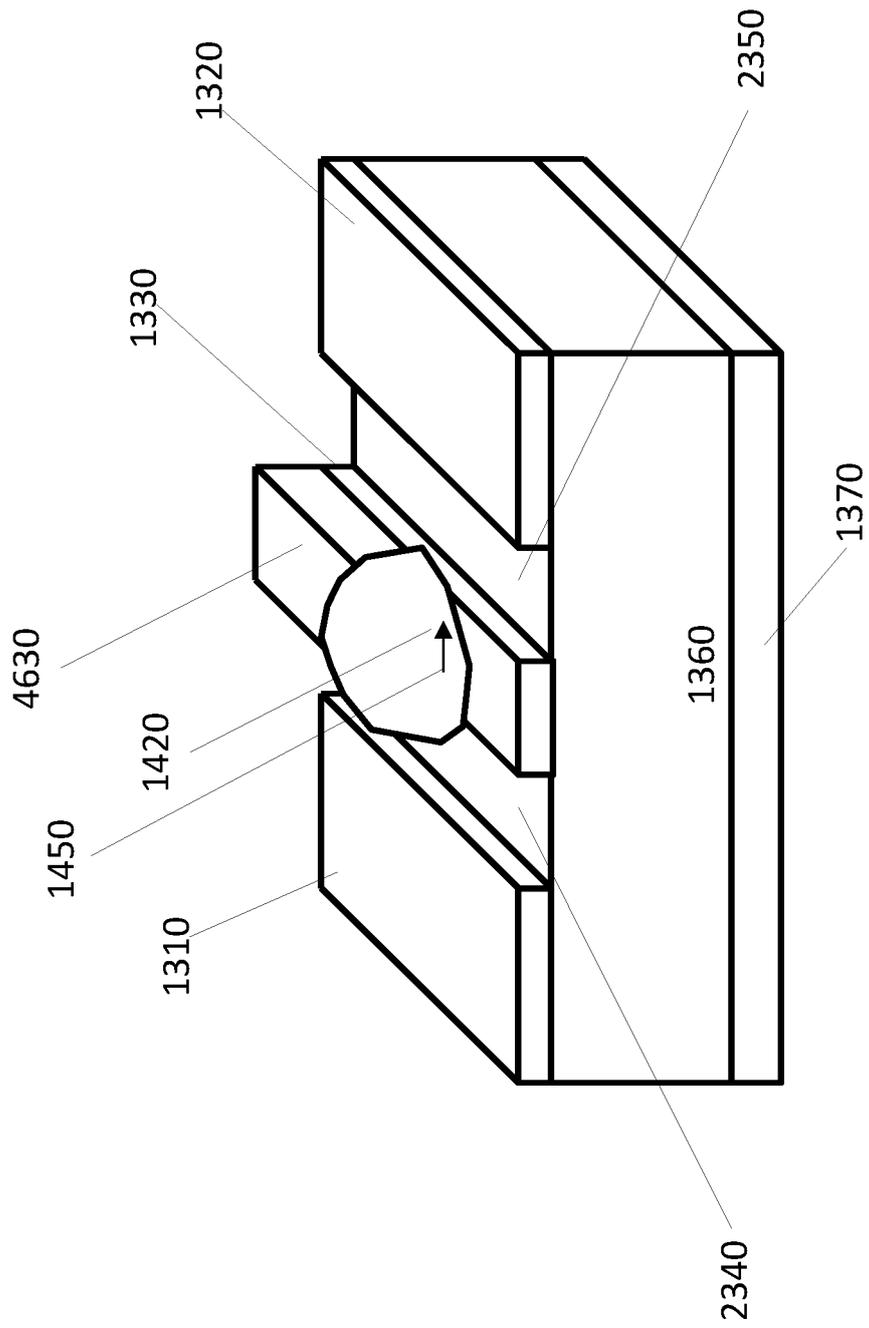


Fig. 66

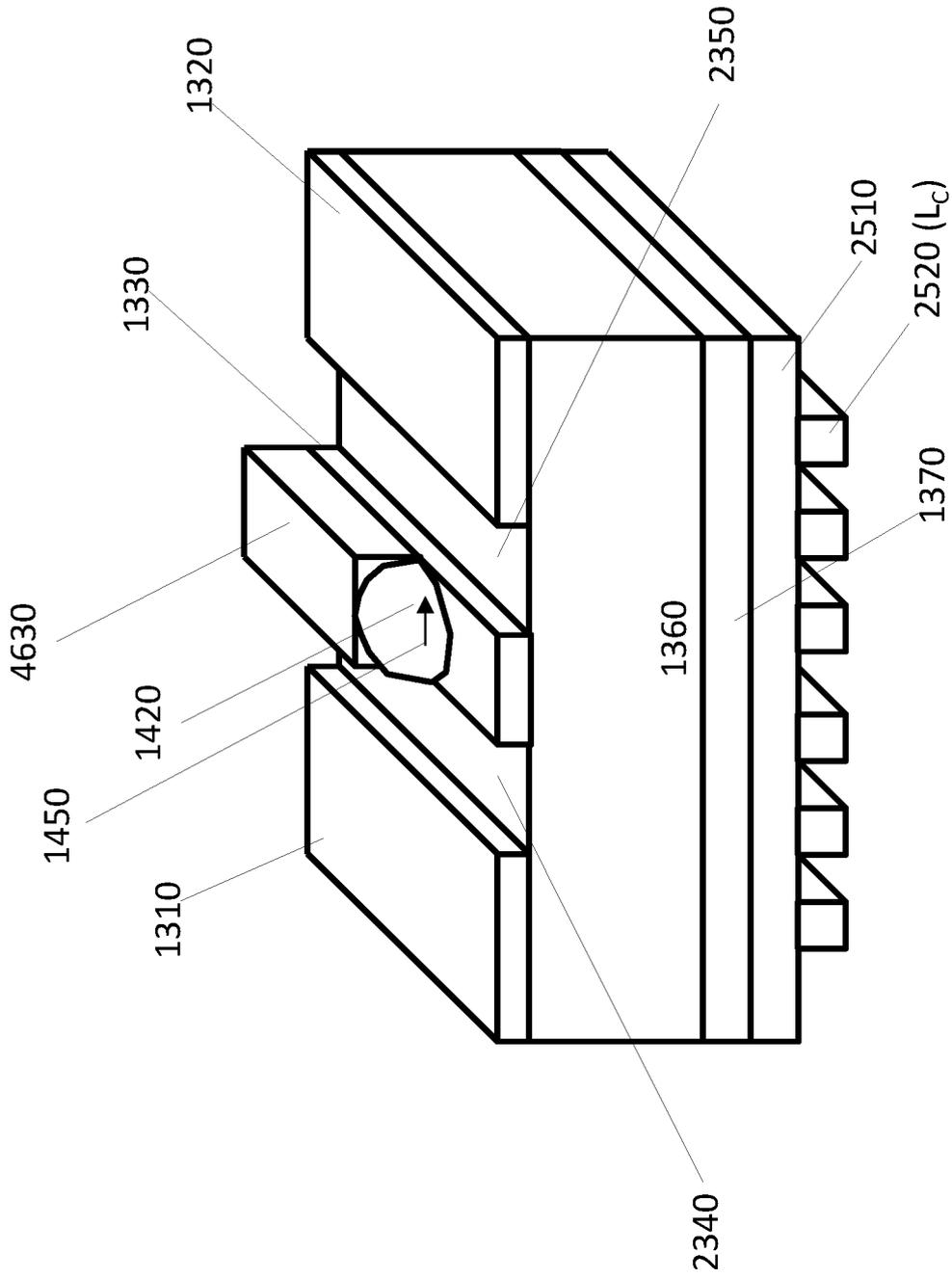


Fig. 67

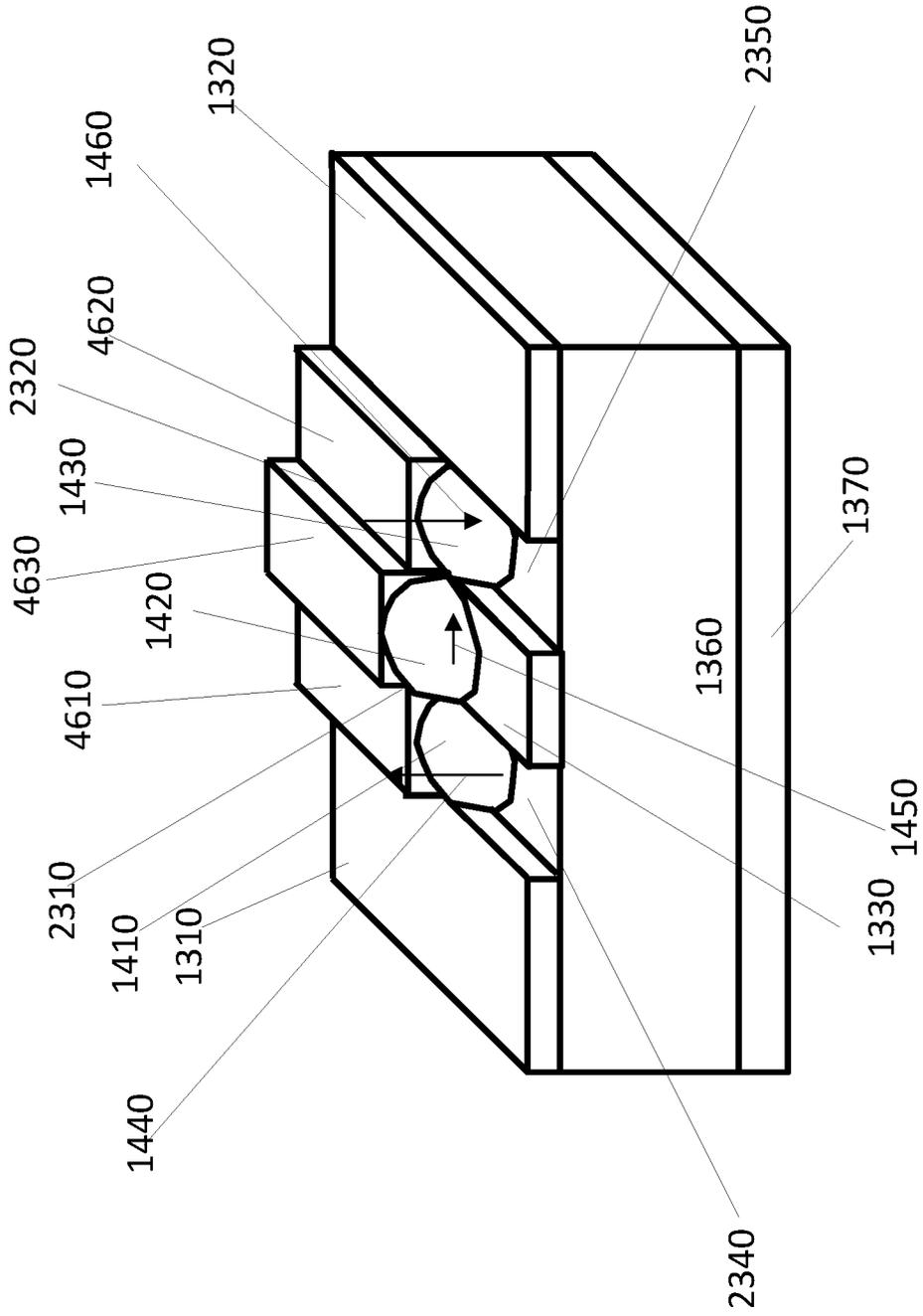


Fig. 68

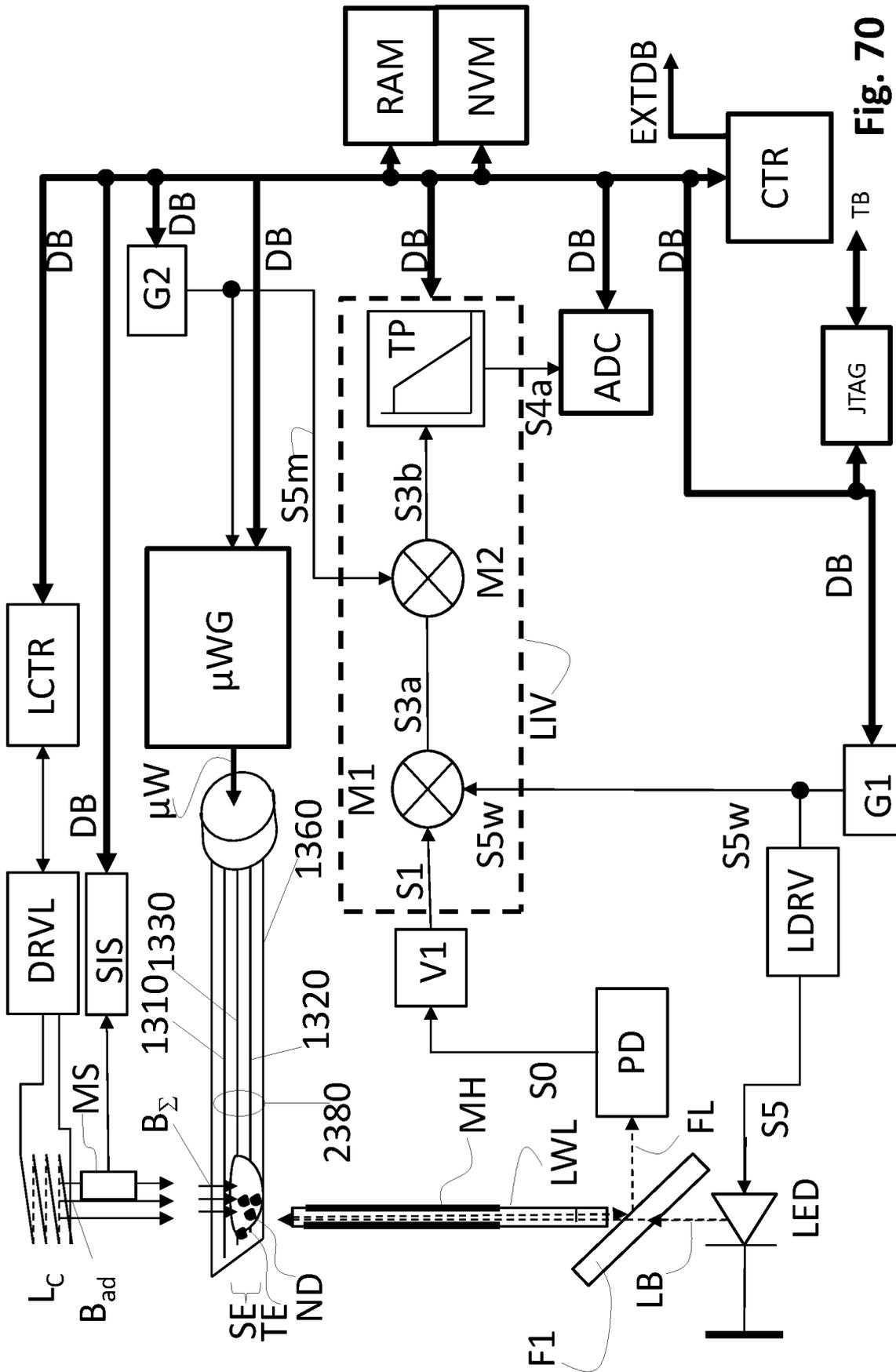


Fig. 70

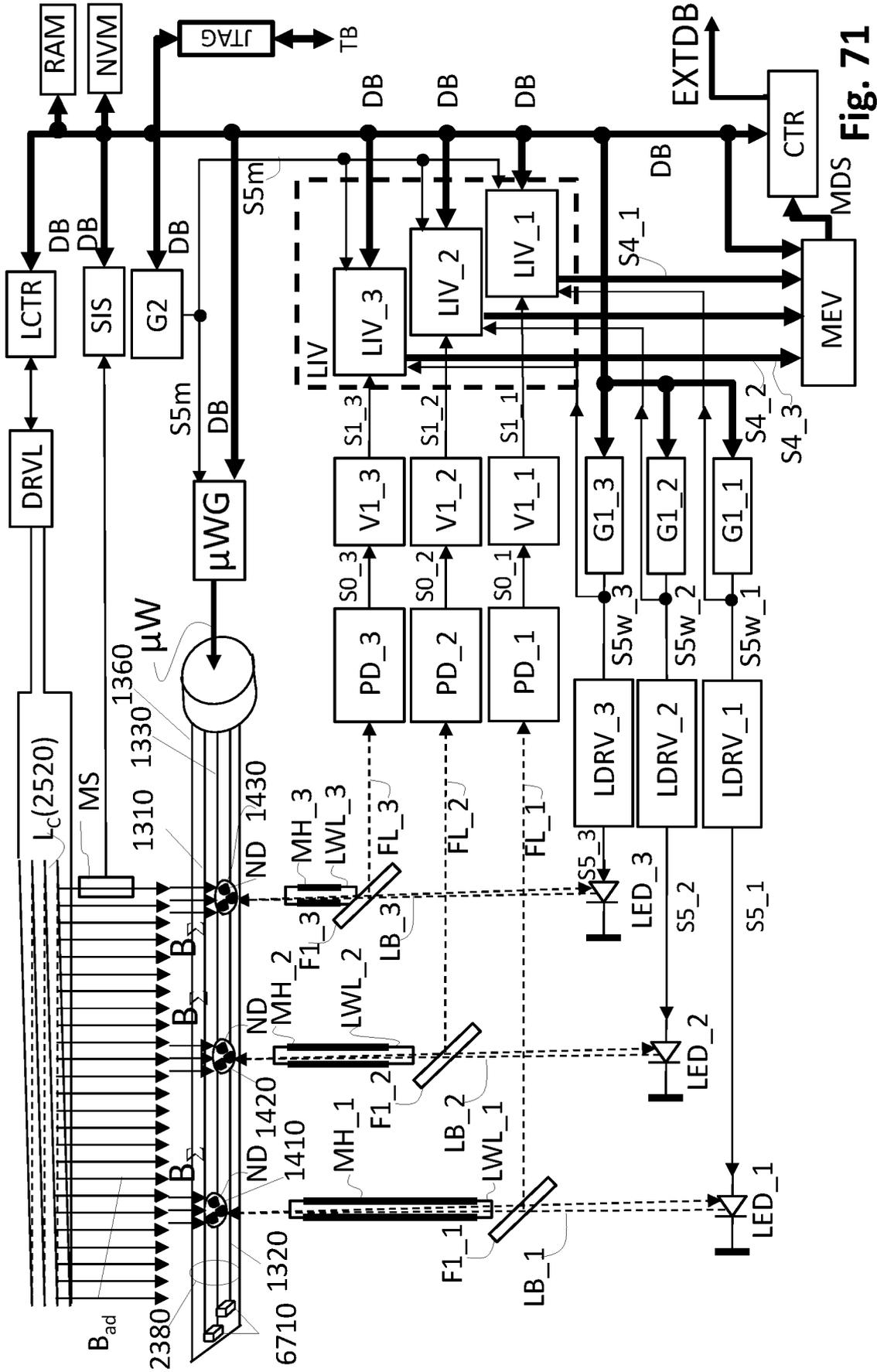


Fig. 71

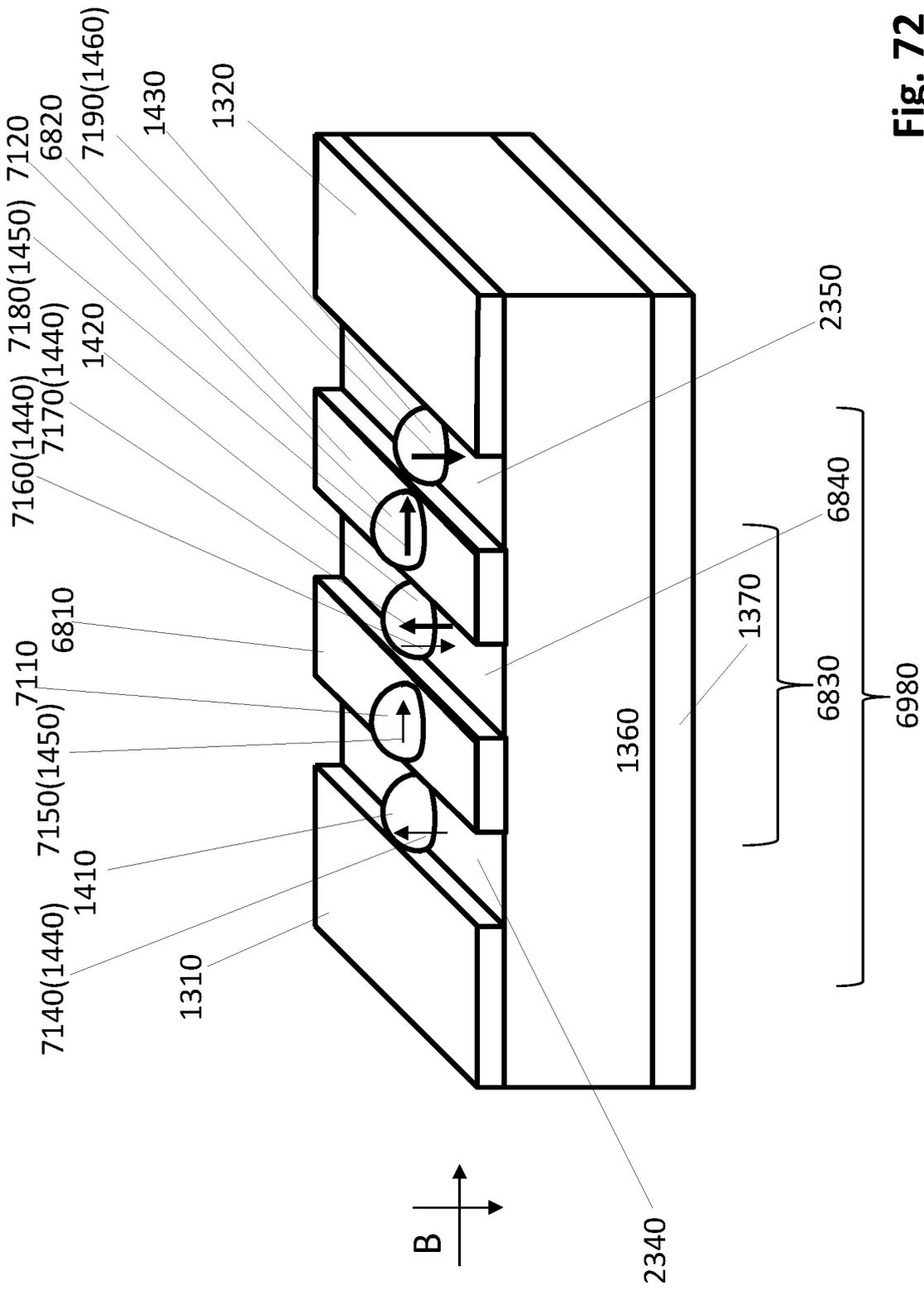


Fig. 72

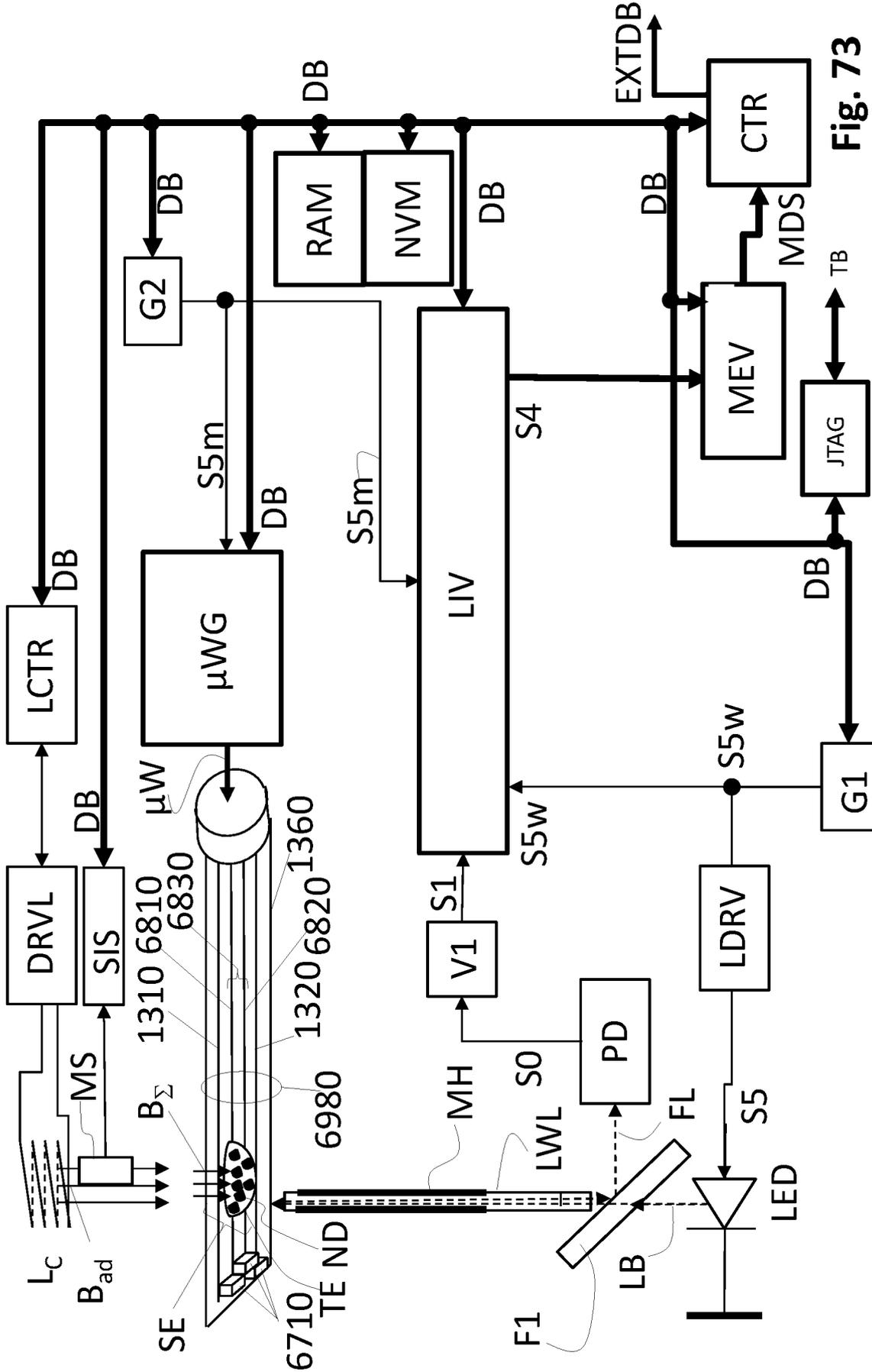


Fig. 73

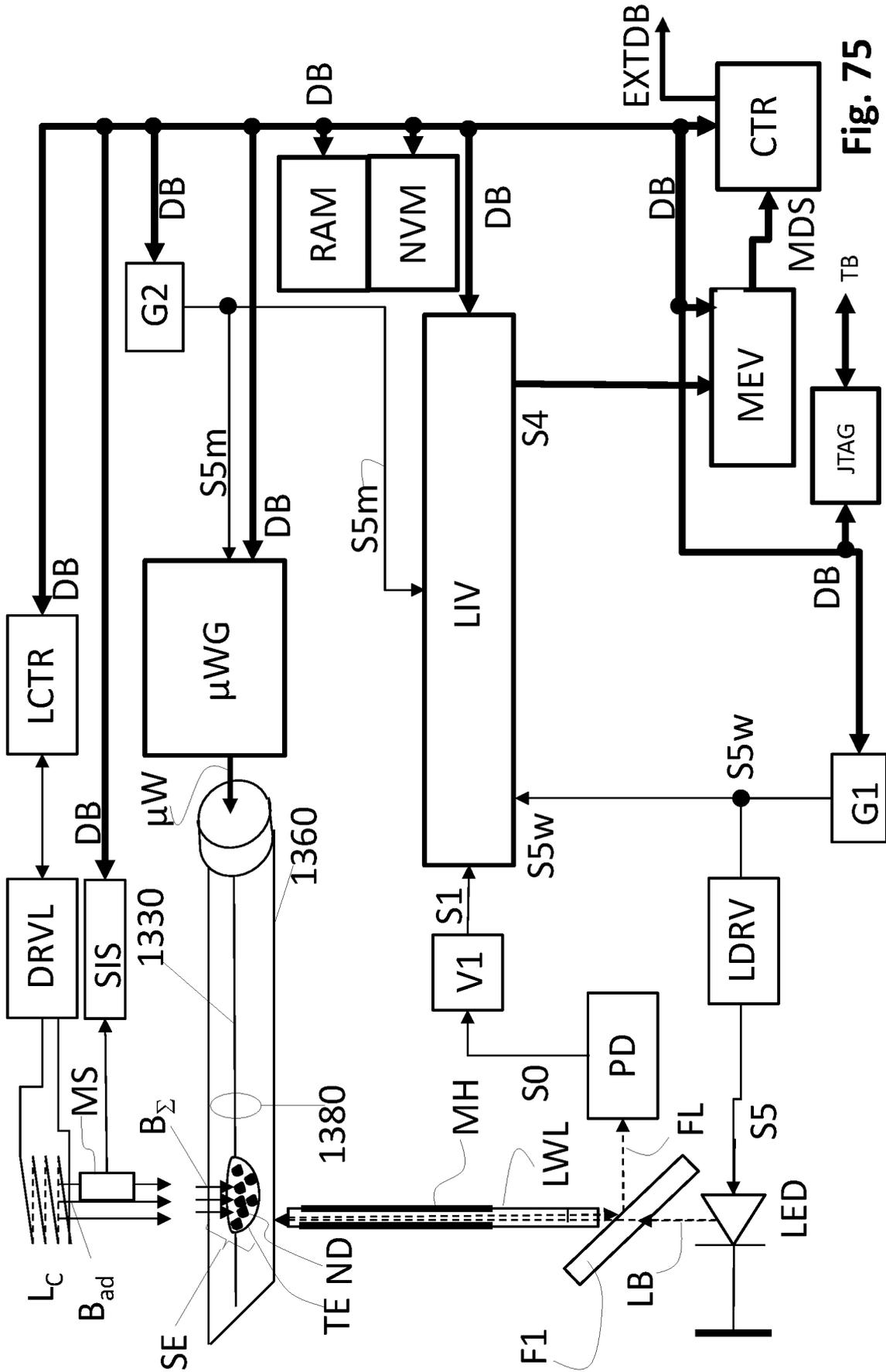


Fig. 75

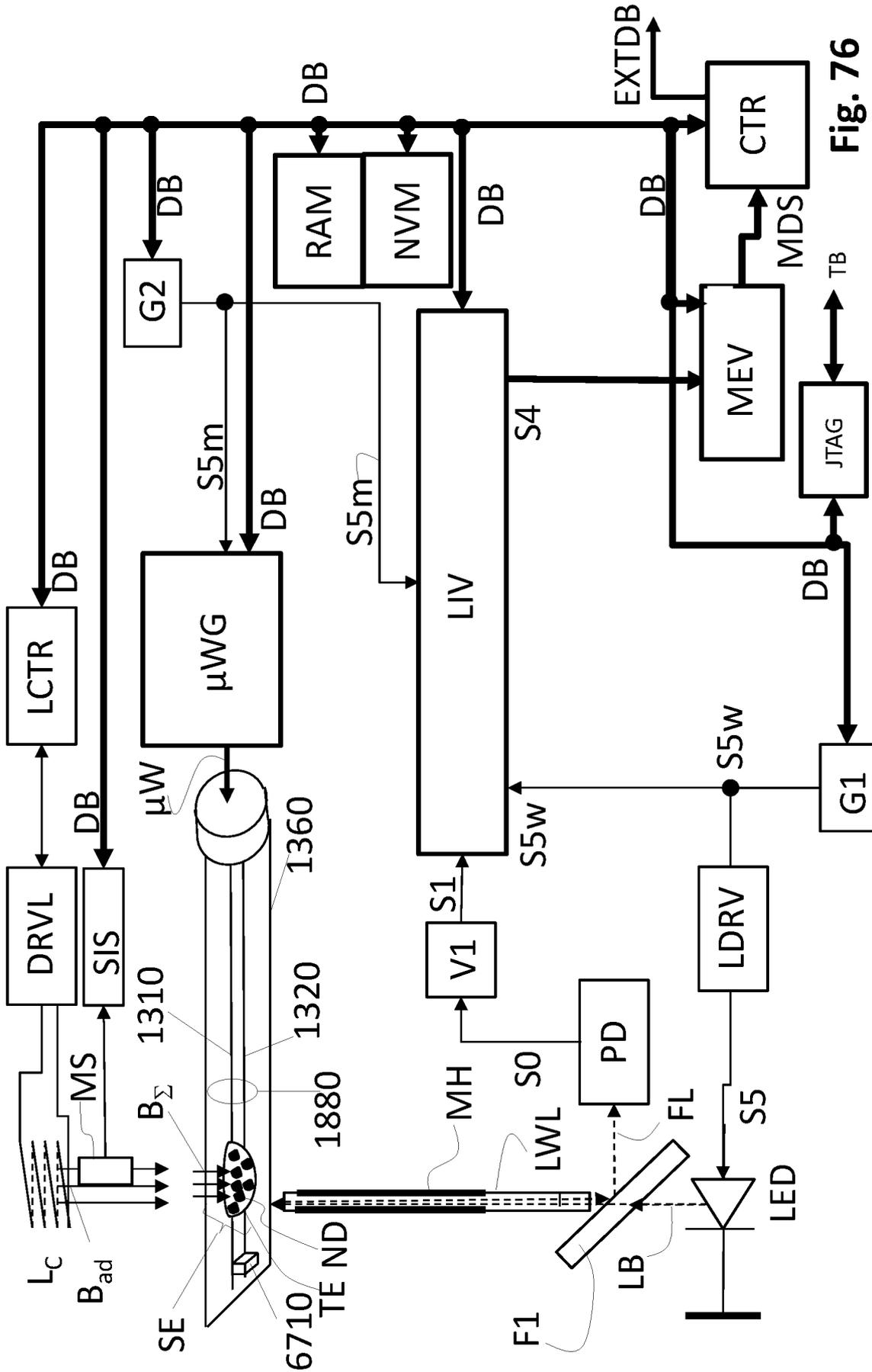


Fig. 76

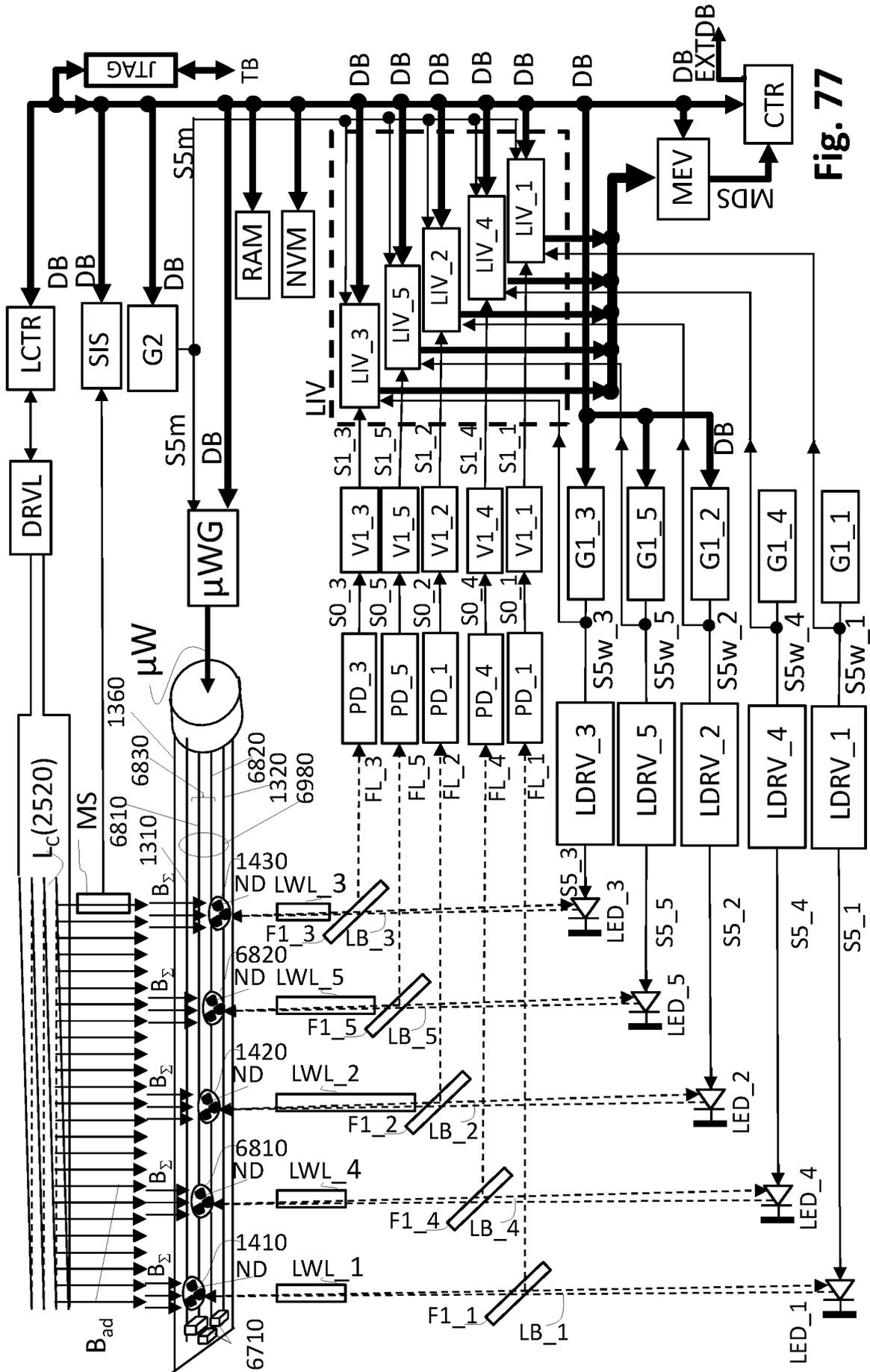


Fig. 77

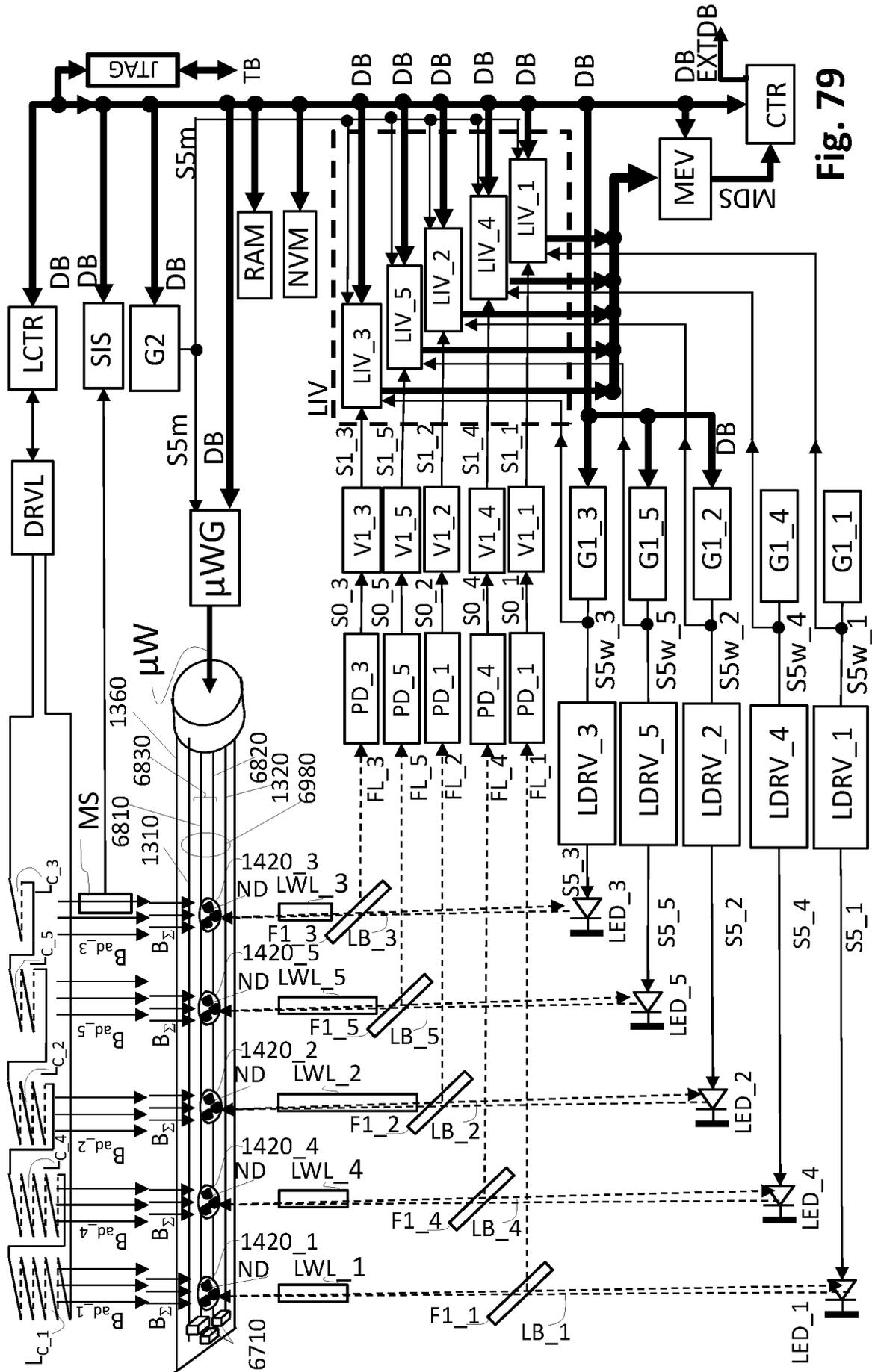


Fig. 79

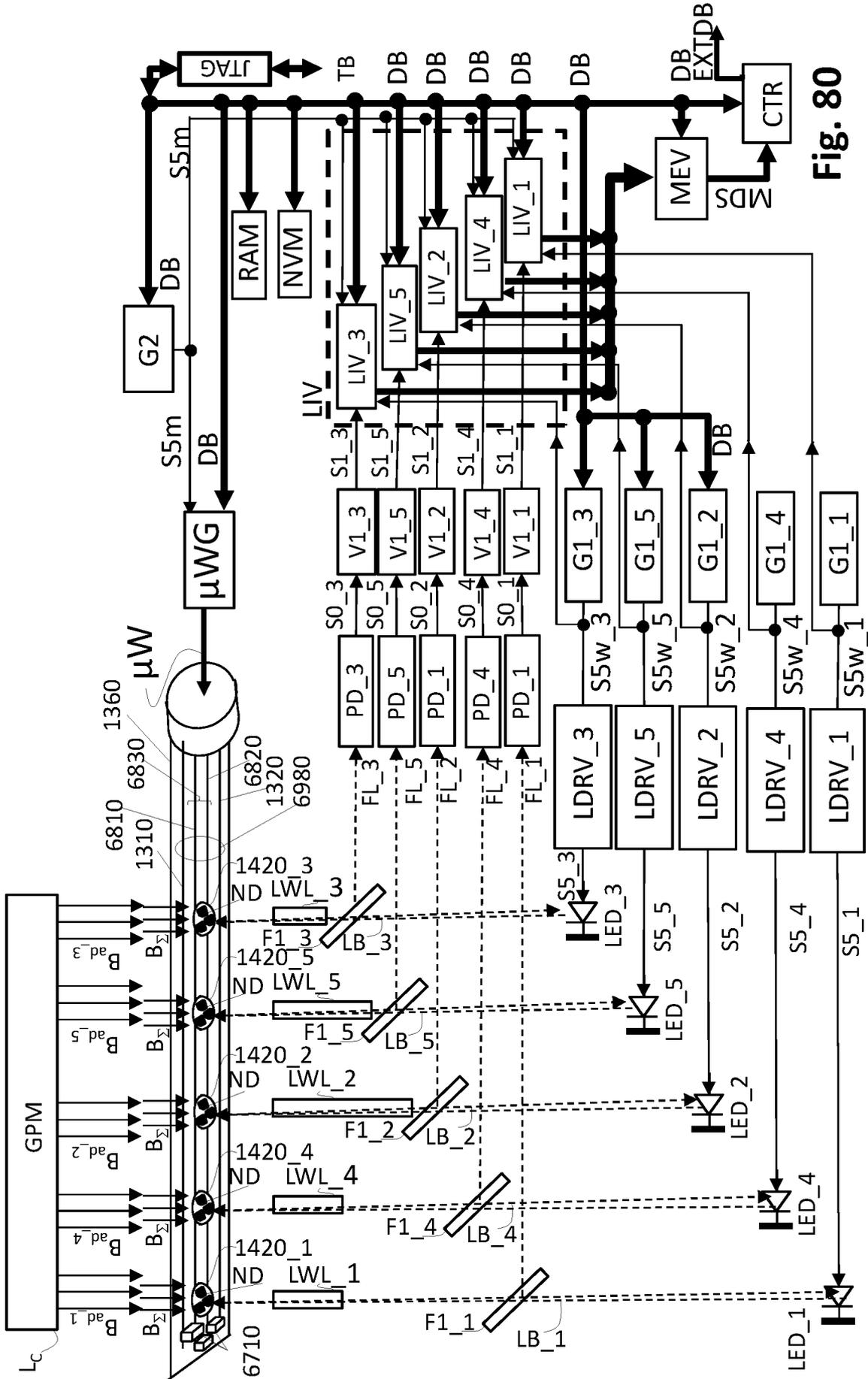


Fig. 80

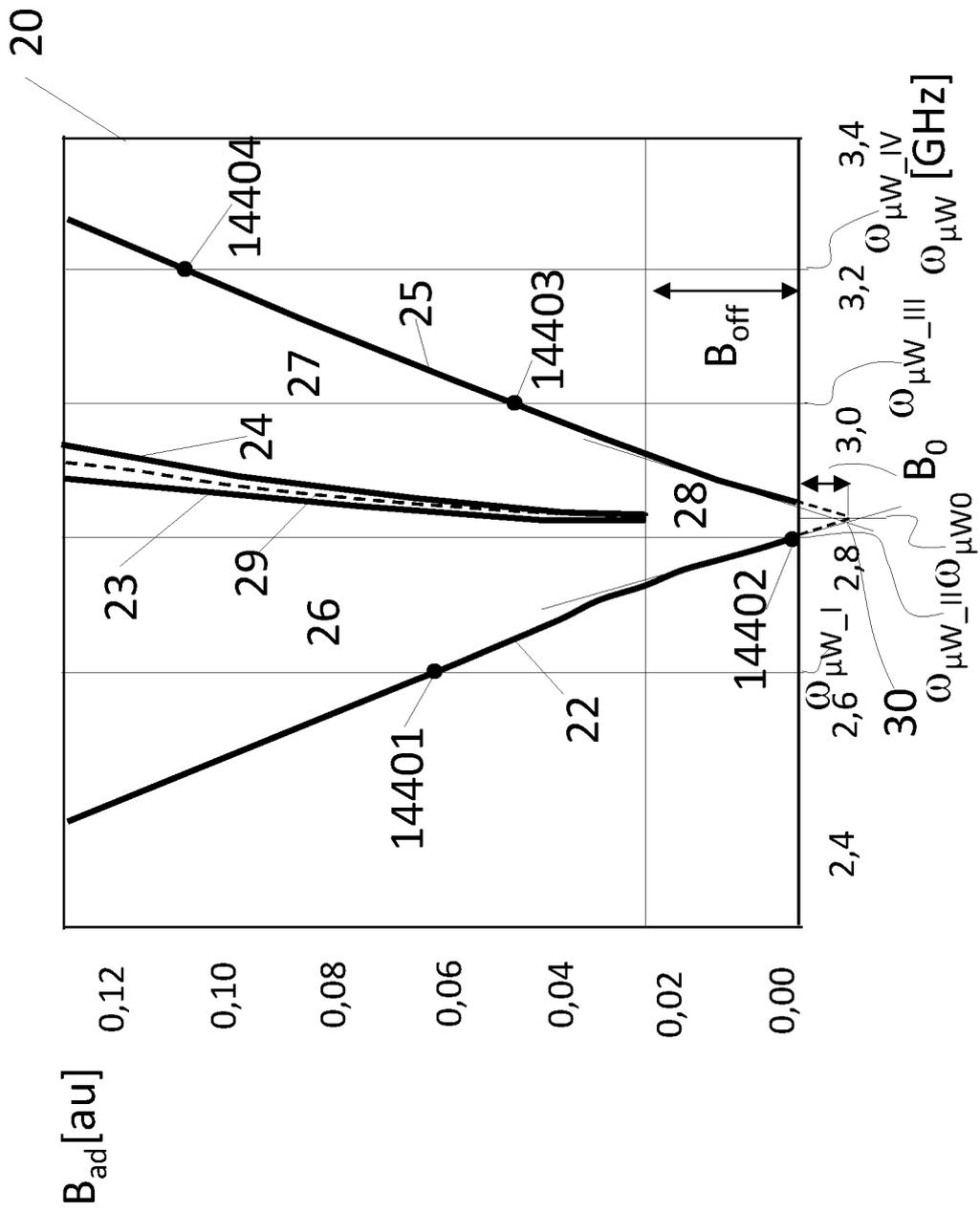


Fig. 82

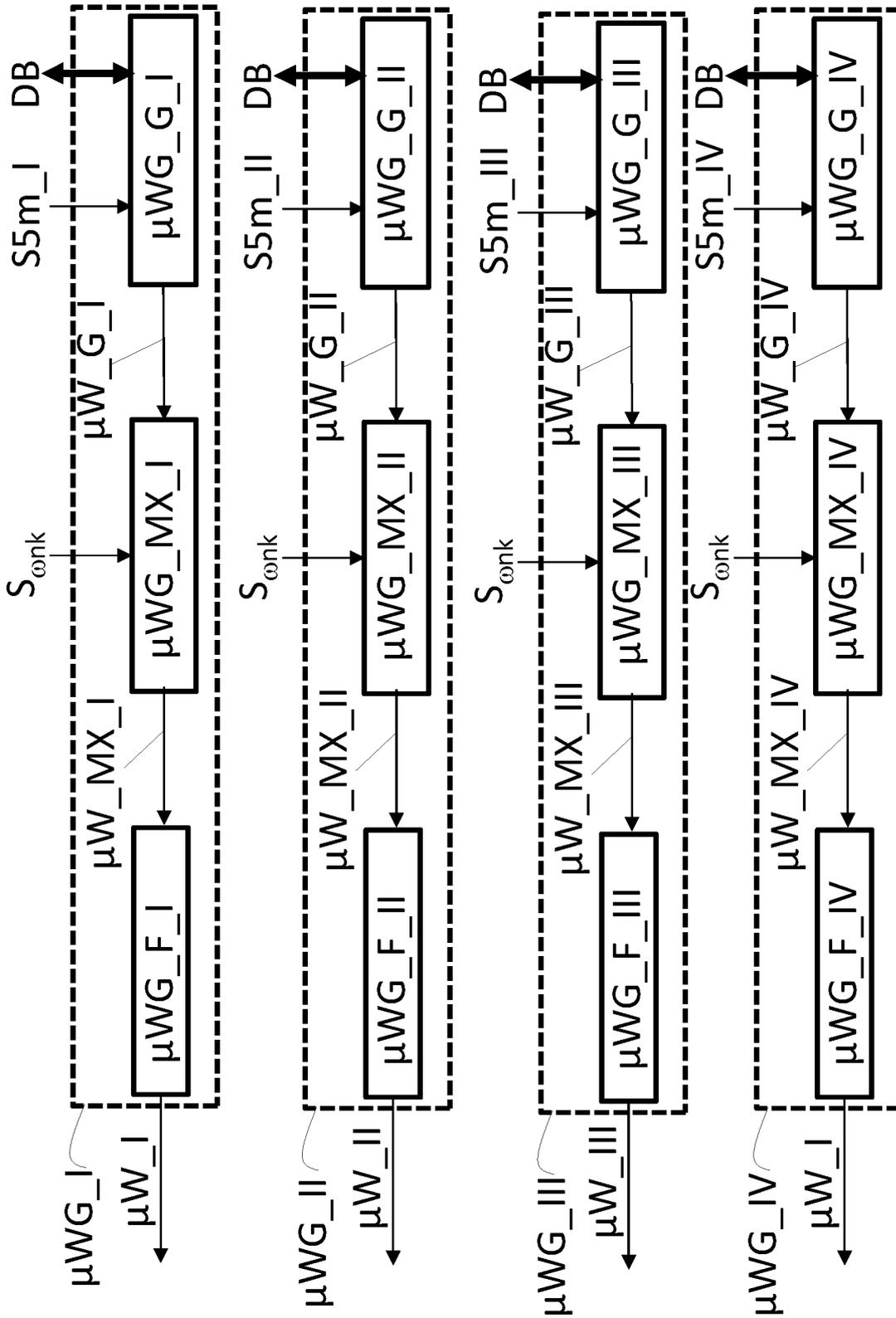


Fig. 83

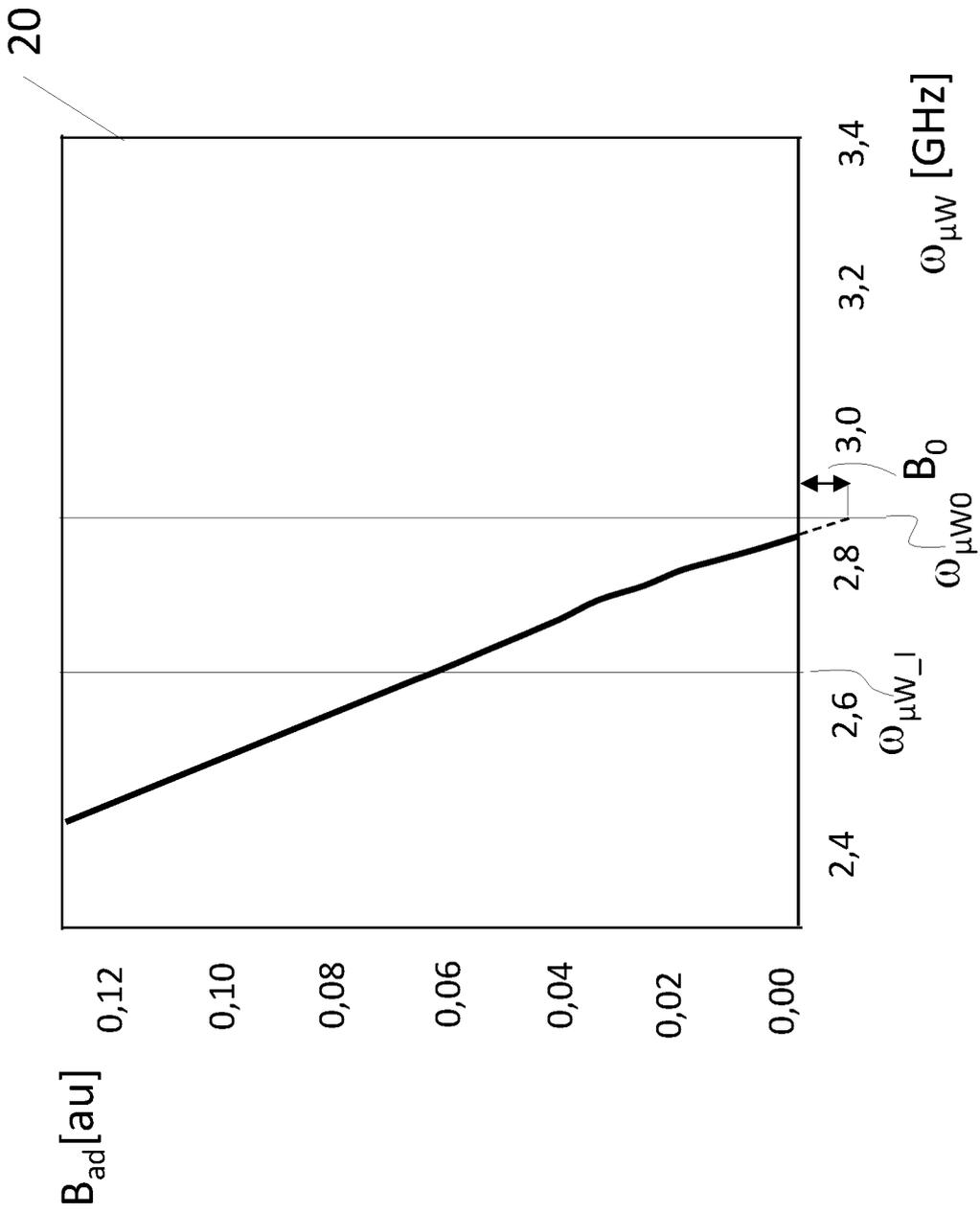


Fig. 84

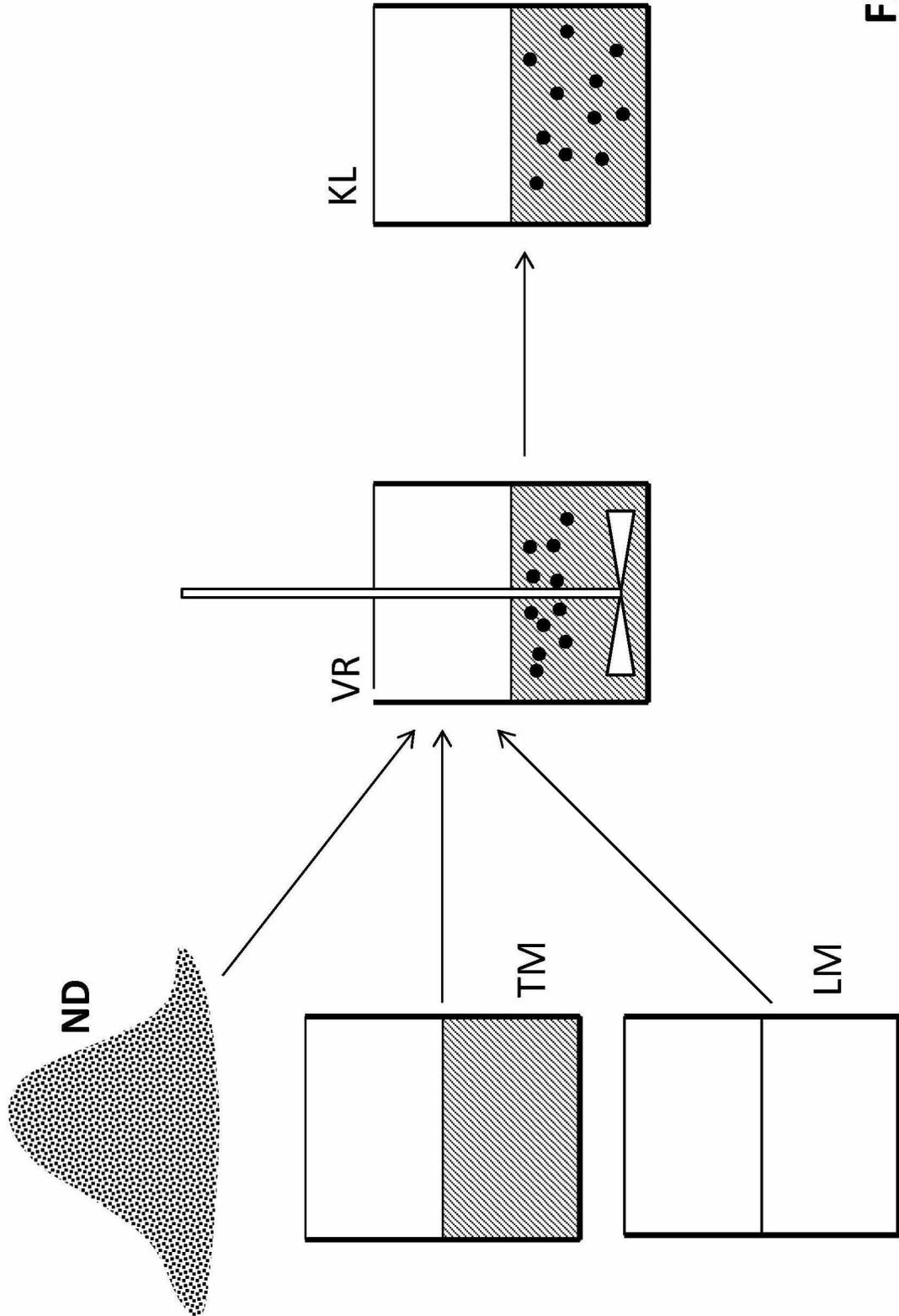


Fig. 85

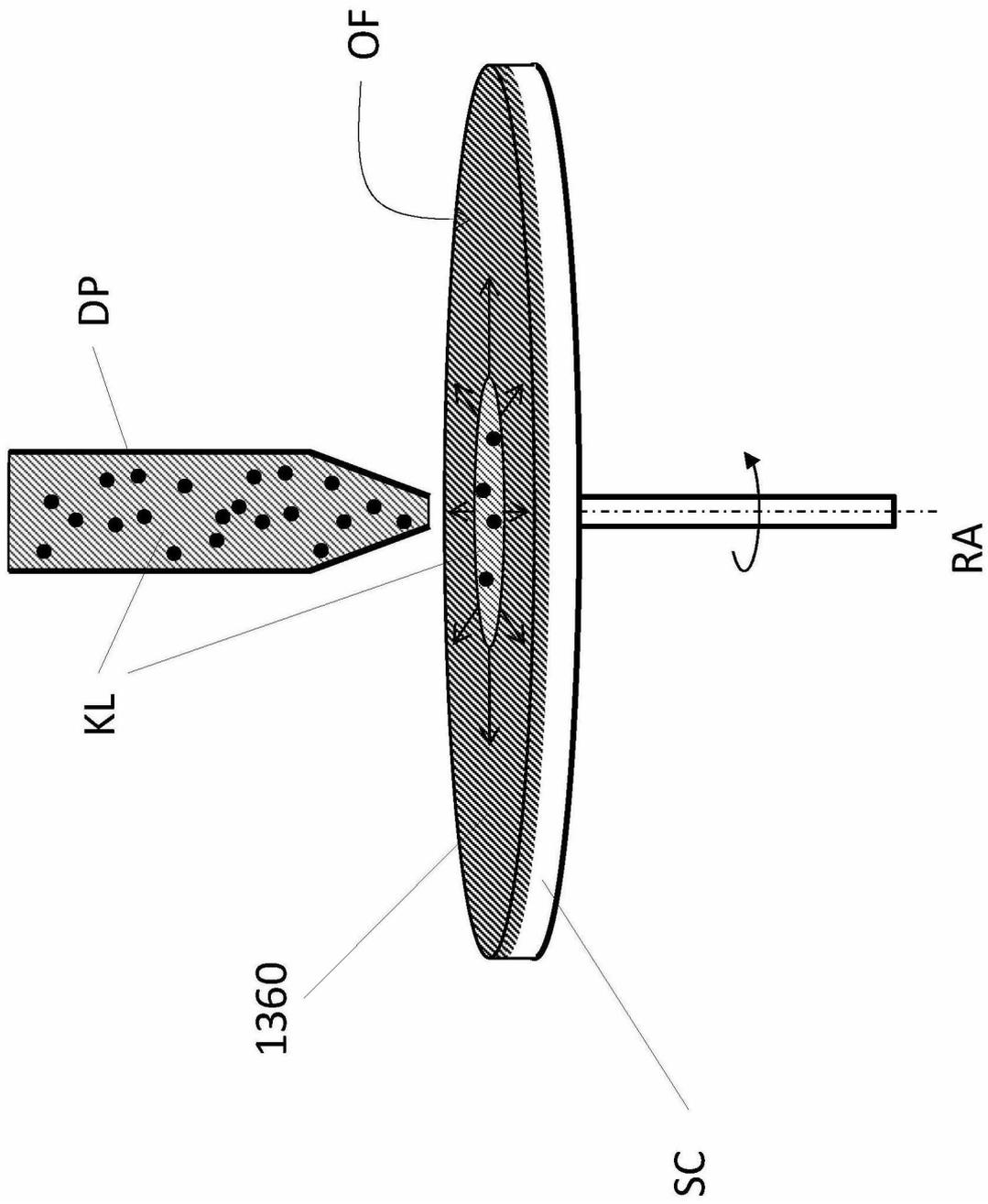


Fig. 86

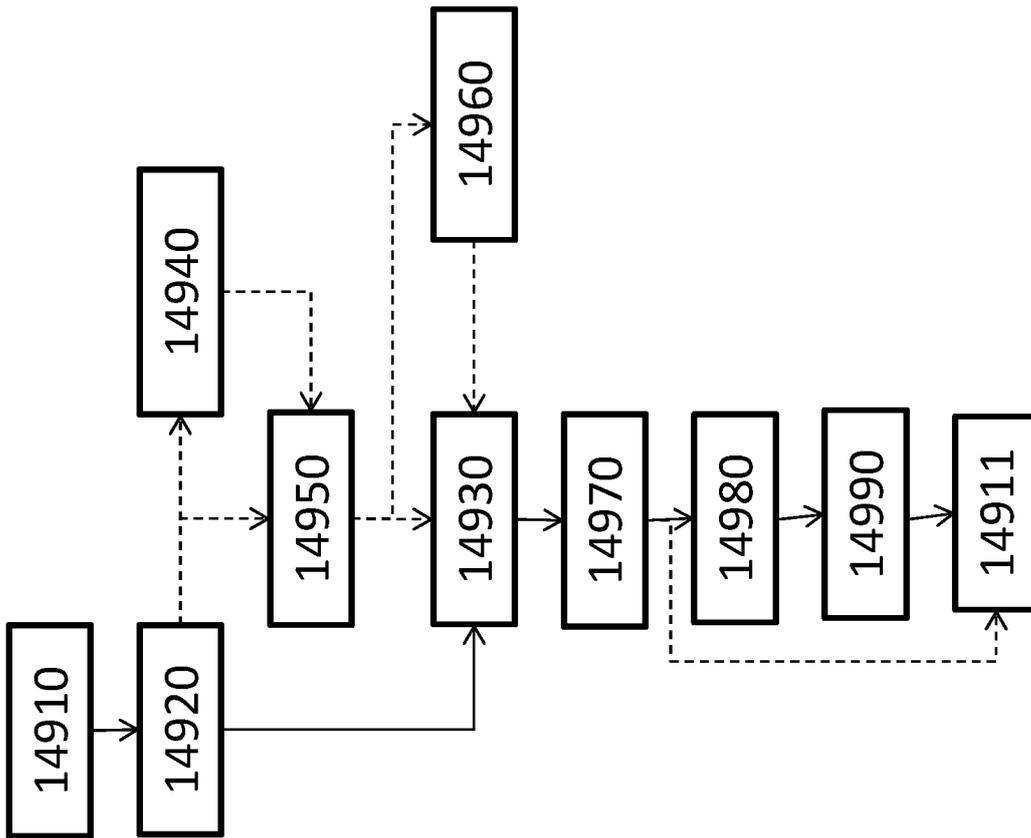


Fig. 87

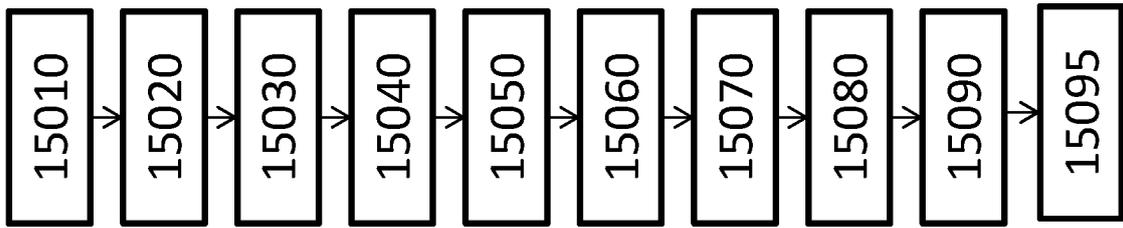


Fig. 88

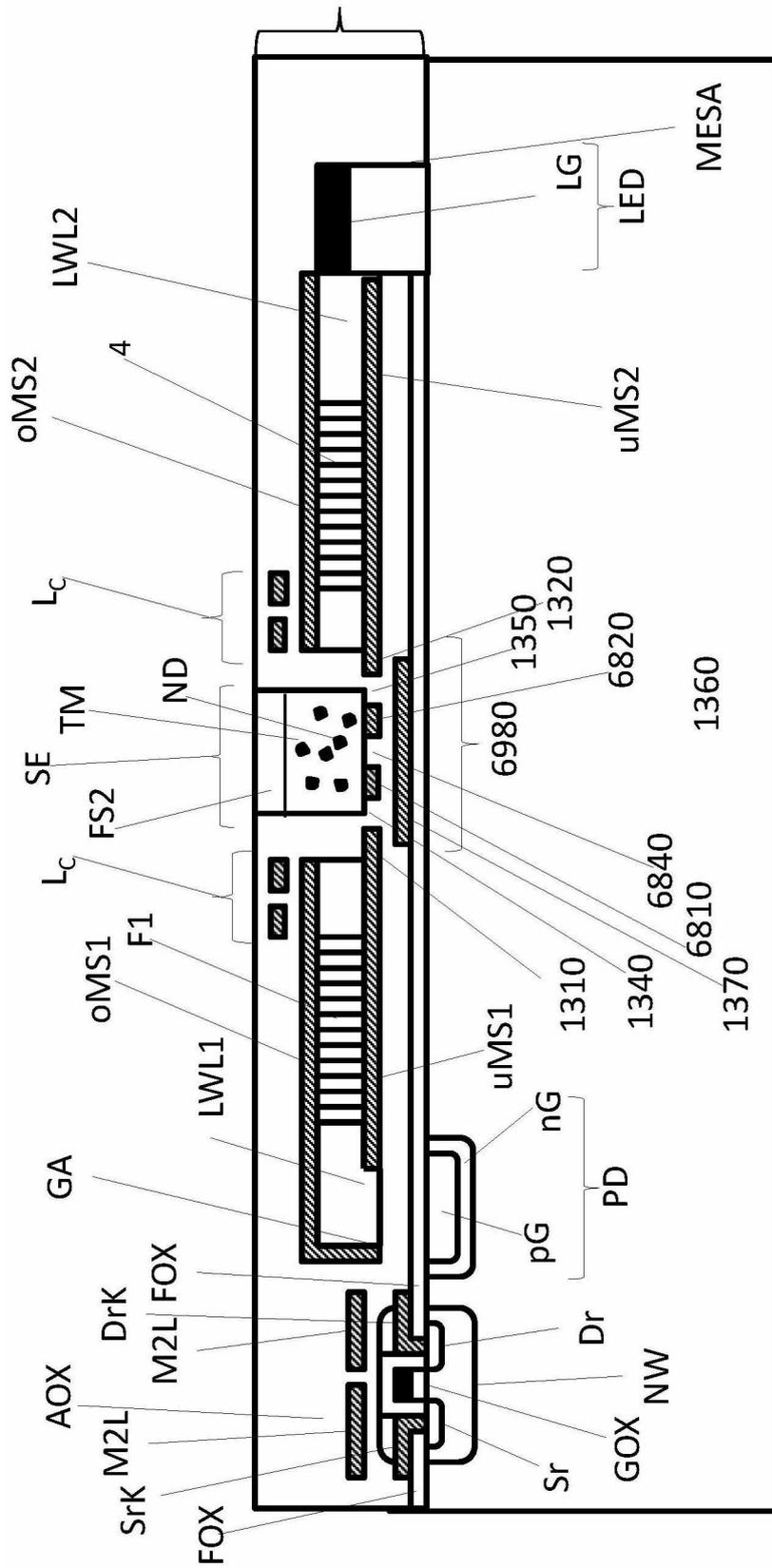
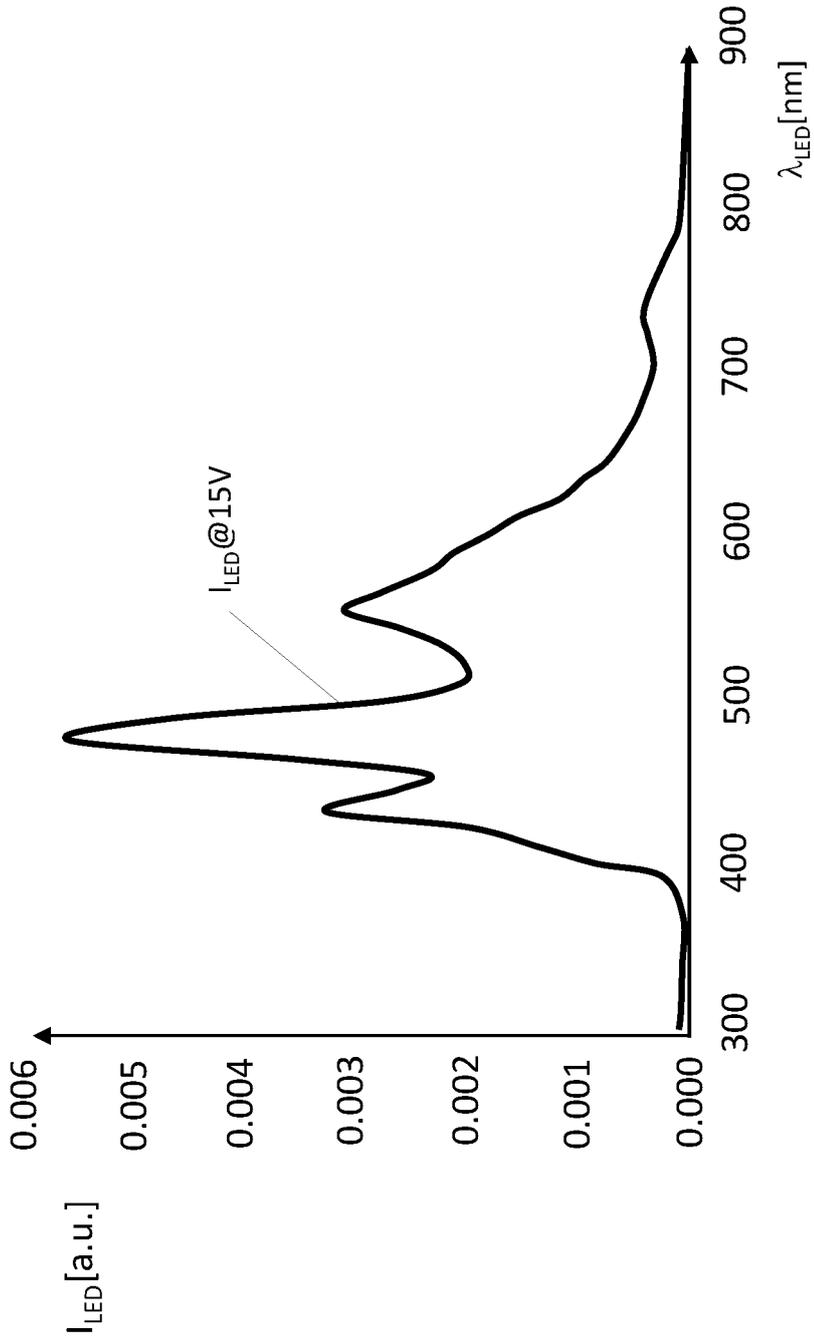


Fig. 89



Stand der Technik

Fig. 90

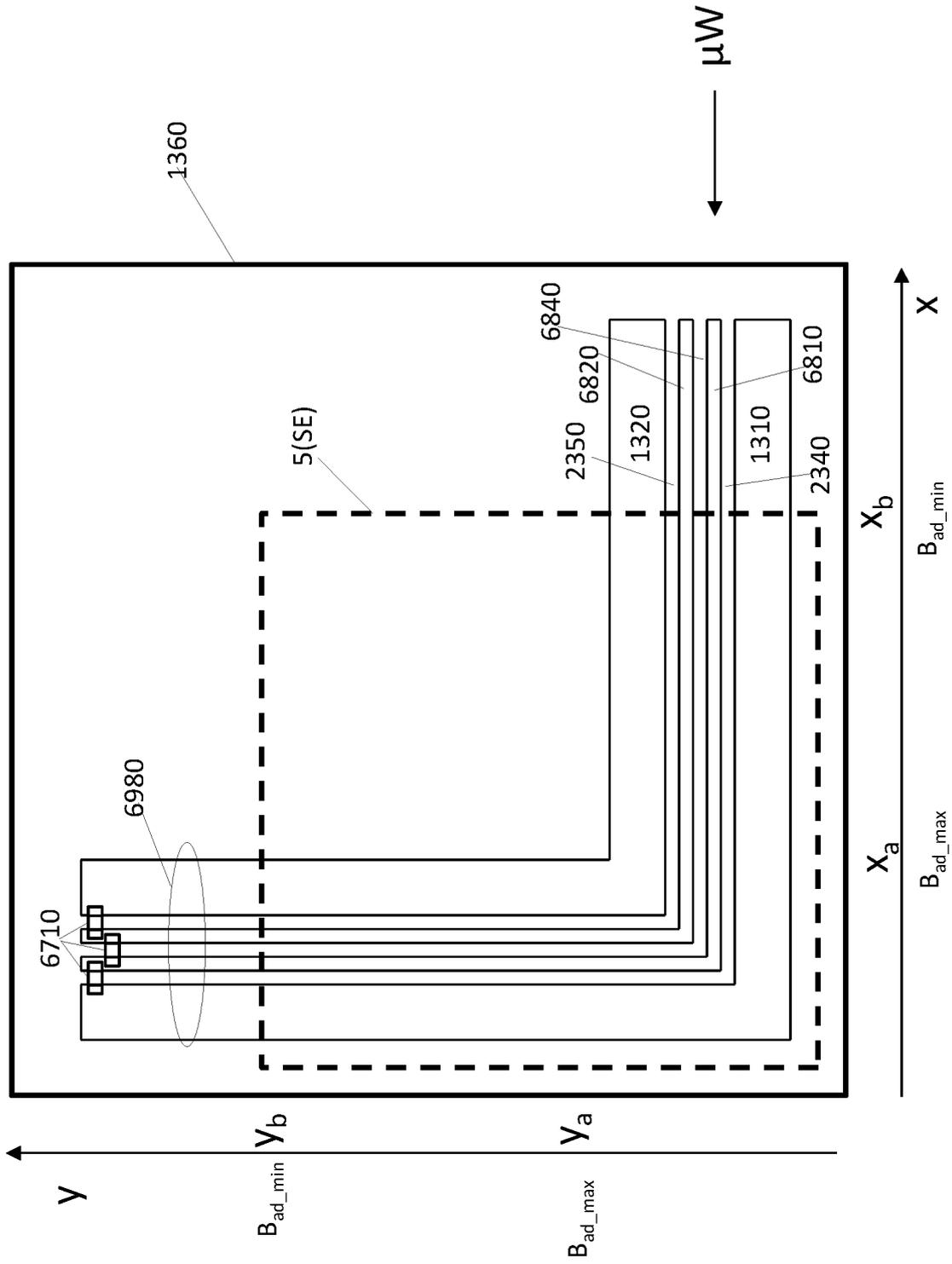


Fig. 91

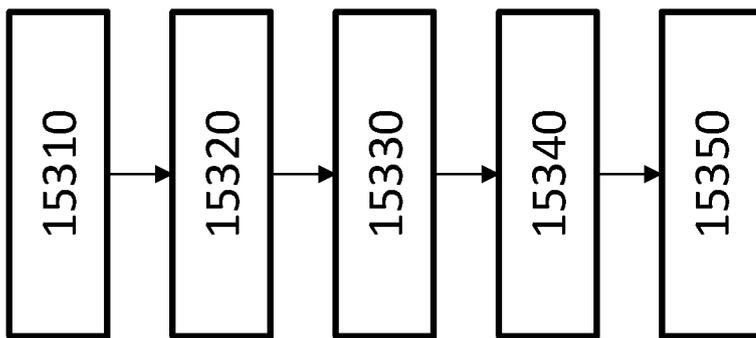


Fig. 92

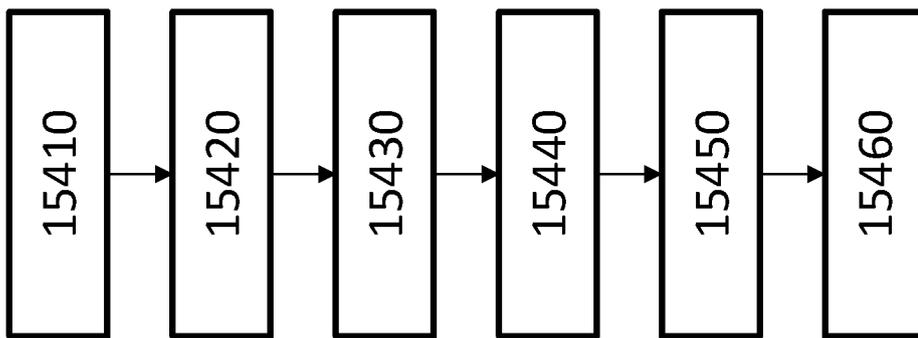


Fig. 93

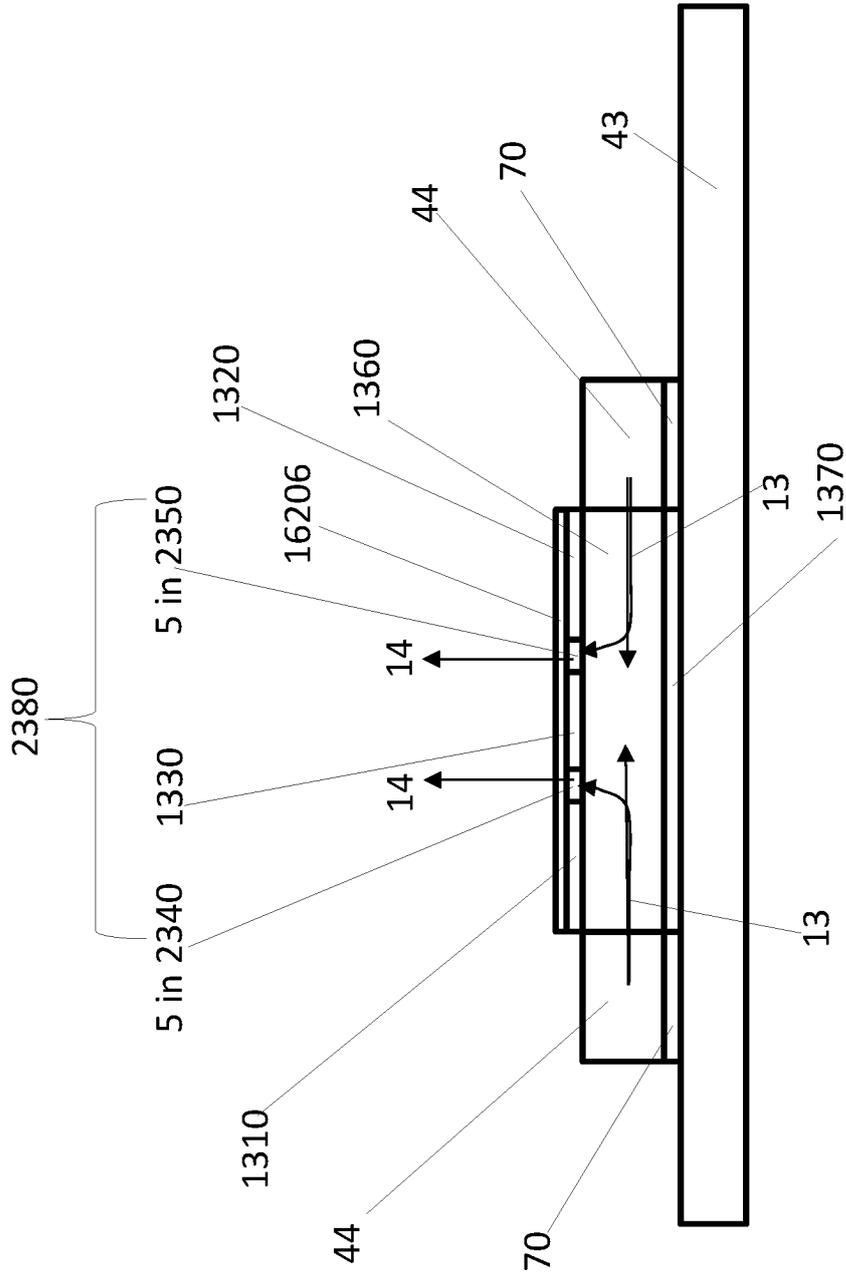


Fig. 94

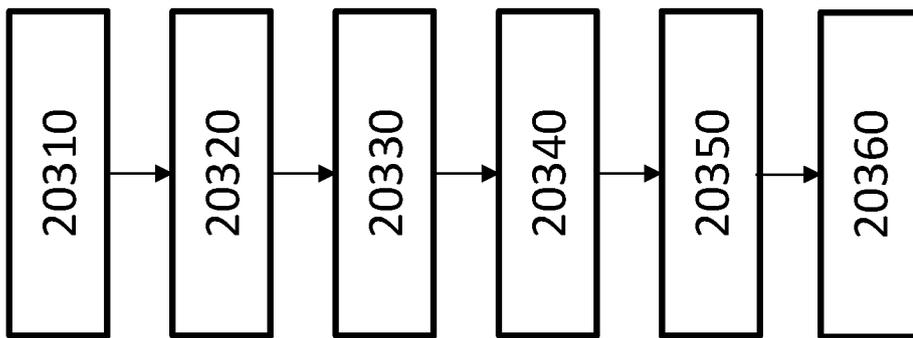


Fig. 95

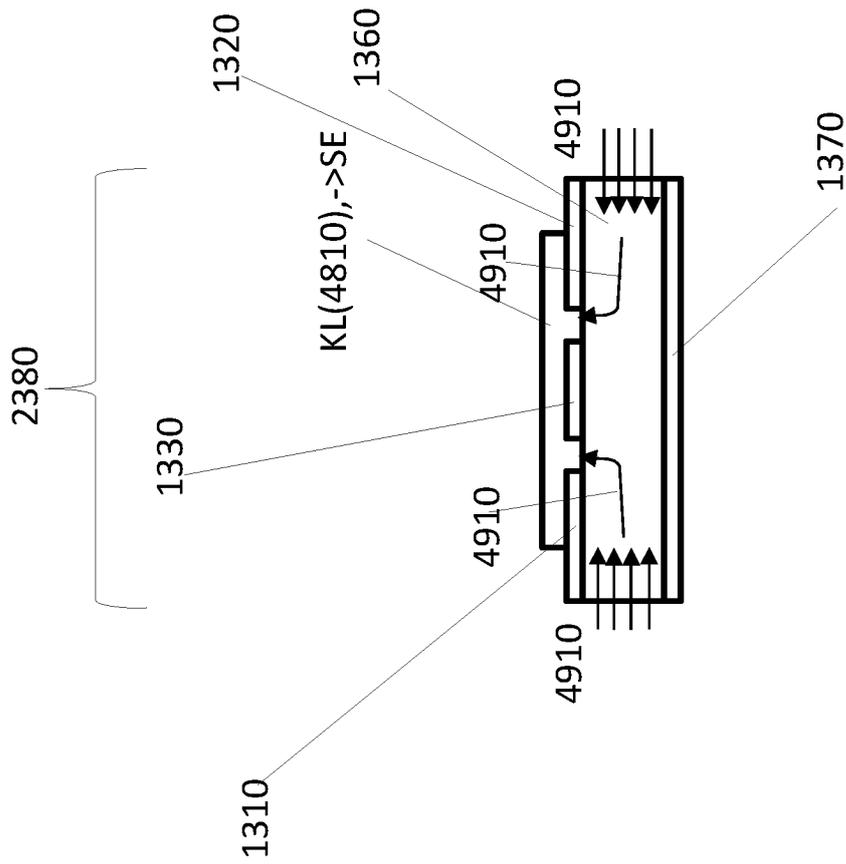


Fig. 96

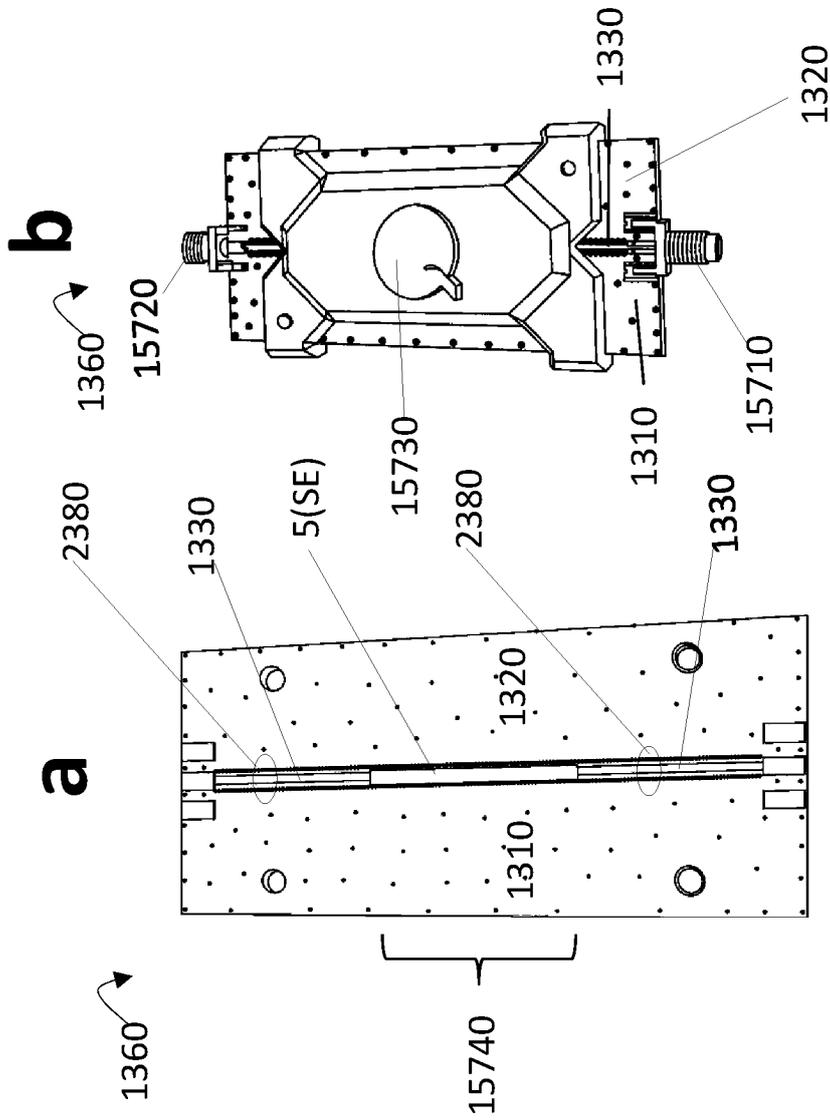


Fig. 97

