



(10) **DE 10 2019 203 929 A1** 2020.09.24

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2019 203 929.4**

(22) Anmeldetag: **22.03.2019**

(43) Offenlegungstag: **24.09.2020**

(51) Int Cl.: **G01N 21/64** (2006.01)

G01N 22/00 (2006.01)

G01R 33/032 (2006.01)

G02B 5/08 (2006.01)

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:

**Brenneis, Andreas, 71272 Renningen, DE;
Roelver, Robert, 75365 Calw, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US 2017 / 0 234 941 A1

EP 3 480 614 A1

WO 2017/ 014 807 A1

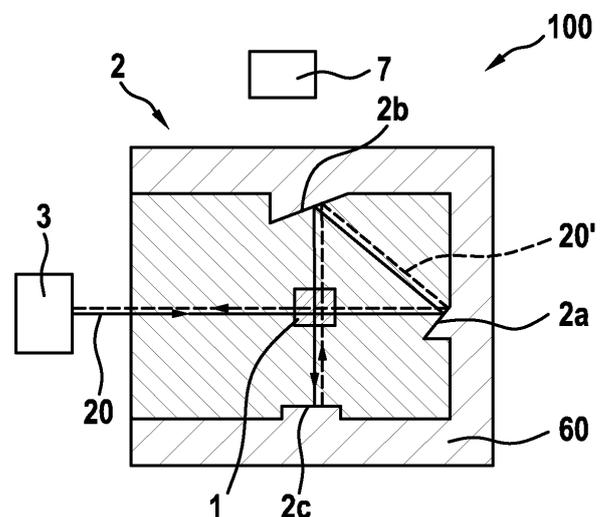
WO 2019/ 002 576 A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Sensoreinrichtung und Verfahren zur Herstellung einer Spiegelanordnung für eine Sensoreinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Sensoreinrichtung mit einem Kristallkörper (1), insbesondere einem Diamanten, mit einer Anzahl von Farbzentren, insbesondere von Stickstoff-Fehlstellen, einer Lichtquelle (3) zum Bestrahlen des Kristallkörpers (1) mit Anregungslicht (20), einer Hochfrequenzeinrichtung (7) zum Bestrahlen des Kristallkörpers (1) mit Mikrowellen, und einem oder mehreren Photodetektoren, die eingerichtet sind zum Detektieren von Fluoreszenzlicht, welches aufgrund der Bestrahlung des Kristallkörpers (1) durch das Anregungslicht (20) und die Mikrowellen erzeugt wird, wobei die Sensoreinrichtung wenigstens ein Spiegelsystem aufweist, wobei die Lichtquelle (3) derart angeordnet ist, dass das Anregungslicht (20) in den Kristallkörper (1) eingekoppelt wird und aus dem Kristallkörper (1) wieder transmittiert wird, wobei wenigstens ein Spiegelsystem derart ausgebildet und angeordnet ist, dass nach einem ersten Durchlauf durch den Kristallkörper (1) transmittiertes Anregungslicht (20) derart reflektiert wird, das es wieder in den Kristallkörper (1) eingekoppelt wird, wobei ein Spiegelsystem einen oder mehrere Spiegel (2a, 2b, 2c) aufweist, wobei das Anregungslicht nach wenigstens einem Austritt aus dem Kristallkörper (1) ein in den Kristallkörper (1) umgebendes Medium oder ein Vakuum passiert. Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer Spiegelanordnung für eine erfindungsgemäße Sensoreinrichtung.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Sensoreinrichtung mit einem Kristallkörper, insbesondere einem Diamanten, mit einer Anzahl von Farbzentren, insbesondere von Stickstoff-Fehlstellen, einer Lichtquelle zum Bestrahlen des Kristallkörpers mit Anregungslicht, einer Hochfrequenzeinrichtung zum Bestrahlen des Kristallkörpers mit Mikrowellen, und einem oder mehreren Photodetektoren, die eingerichtet sind zum Detektieren von Fluoreszenzlicht, welches aufgrund der Bestrahlung des Kristallkörpers durch das Licht und die Mikrowellen erzeugt wird, und ein Verfahren zur Herstellung einer Spiegelanordnung für eine Sensoreinrichtung.

Stand der Technik

[0002] Farbzentren, wie etwa Stickstoff-Fehlstellen-Zentren in einem Kristallkörper, insbesondere einem Diamantgitter, auch als NV-Zentren (NV steht hierbei für „Nitrogen Vacancy“) bezeichnet, können beispielsweise auf dem Gebiet der Sensorik angewandt werden. Durch Anregung derartiger NV-Zentren mit sichtbarem Licht im Grün-Bereich und Mikrowellenstrahlung kann eine magnetfeldabhängige Fluoreszenz beobachtet werden. Diese Fluoreszenz wird mittels einer Sensoreinrichtung erfasst und ausgewertet. Als weiteres Beispiel derartiger Farbzentren sei auf Defektzentren in SiC, aber auch auf SiV in Diamant, verwiesen.

[0003] Das negativ geladene NV-Zentrum in Diamant kann insbesondere zur hochempfindlichen Messung von Magnetfeldern, elektrischen Feldern, mechanischen Spannungen und Temperaturen genutzt werden. Derartige Quantentechnologien bieten gegenüber klassischen Sensorprinzipien entscheidende Vorteile, die das disruptive Potential der Quantentechnologie unterstreichen. Bei den NV Zentren bestehen konkret folgende Vorteile: (i) ultrahohe Empfindlichkeiten, (ii) Vektormagnetometrie (Richtungsbestimmung des Magnetfelds), (iii) hoher dynamischer Messbereich (> 1 Tesla), (iv) Linearität (Zeeman-Effekt), (v) keine Degradation, da die Messung auf quantenmechanischen Zuständen beruht. Um einen auf NV Zentren basierten Sensor auszulesen, wird die magnetische Resonanz des Spin-Triplets des Grundzustands optisch detektiert (ODMR, optically detected magnetic resonance). Dazu rot-verschobenes Fluoreszenzlicht zeigt dabei einen charakteristischen Dip bei der energetischen Lage der Elektronenspinresonanz. Die Lage ist auf Grund des Zeeman-Effekts linear abhängig vom magnetischen Feld. Damit lässt sich ein hochempfindlicher Magnetfeldsensor konstruieren.

[0004] NV-Zentren in Diamant besitzen eine derart hohe Magnetfeldempfindlichkeit, dass dies dazu genutzt werden kann um vielfältige bestehende Pro-

dukte zu verbessern (z.B. Suchgeräte für elektrische Leitungen in Wänden oder Strommessung von Fahrzeugbatterien) oder auch um neue Produkte zu realisieren, wie zum Beispiel eine kontaktlose Mensch-Maschine-Schnittstelle, die Ströme bzw. Steuersignale aus dem Gehirn nachweist und auswertet.

[0005] Als besonders vorteilhaft hat sich die Messung von Magnetfeldern über eine kombinierte Anregung derartiger Farbzentren mit sichtbarem Licht und Mikrowellen erwiesen. Insbesondere die hier eingesetzte Anregung mit sichtbarem Licht führt allerdings zu relativ komplexen und groß bauenden Sensoreinrichtungen.

[0006] Die DE 37 42 878 A1 beschreibt beispielsweise einen optischen Magnetfeldsensor, in dem ein Kristall als magnetempfindliches optisches Bauteil verwendet wird. Da nur ein Teil des sichtbaren Anregungslichtes an den Farbzentren absorbiert wird, ist die Effizienz derartiger Sensoreinrichtungen und damit ihre Genauigkeit nicht optimal. Es sind hohe Anregungslichtintensitäten notwendig, um einen hinreichend genauen Sensor zu erhalten.

[0007] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist eine Verbesserung des Anteils des absorbierten Anregungslichtes und damit eine Verbesserung der Energieeffizienz und eine Energieeinsparung bei der Anregungslichterzeugung.

Offenbarung der Erfindung

[0008] Erfindungsgemäß werden eine Sensoreinrichtung sowie ein Verfahren zur Herstellung einer Spiegelanordnung für eine Sensoreinrichtung mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

Vorteile der Erfindung

[0009] Erfindungsgemäß weist eine Sensoreinrichtung gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wenigstens ein Spiegelsystem auf, wobei die Lichtquelle derart angeordnet ist, dass das Anregungslicht in den Kristallkörper eingekoppelt wird und aus dem Kristallkörper wieder transmittiert wird, wobei das wenigstens eine Spiegelsystem derart ausgebildet und angeordnet ist, dass nach einem ersten Durchlauf durch den Kristallkörper transmittiertes Anregungslicht derart reflektiert wird, dass es wieder in den Kristallkörper eingekoppelt wird, wobei jedes der Spiegelsysteme einen oder mehrere Spiegel aufweist.

[0010] Ein bevorzugt kollimierter Lichtstrahl des Anregungslichtes, der insbesondere als Laserstrahl ausgebildet ist, wird zunächst auf eine erste Facette des Kristallkörpers gerichtet. Im Gegensatz zu bis-

her bekannten Ansätzen wird der durch den transparenten Kristallkörper transmittierte Lichtstrahl des Anregungslichtes, nachdem er den Kristallkörper passiert hat und aus diesem wieder ausgetreten ist, erneut zur Anregung des Kristallkörpers genutzt. Dies geschieht, indem er außerhalb des Kristallkörpers innerhalb der Sensoreinrichtung mit Hilfe von wenigstens einem Spiegelsystem erneut auf den Kristallkörper gelenkt wird. Auf diese Weise kann das Anregungslicht den Diamanten zwar aus einem anderen Winkel, aber in vorzugsweise exakt dem gleichen Volumen bzw. der gleichen Stelle anregen, das bzw. die bereits bei dem ersten Durchgang angeregt wurde.

[0011] Bevorzugt passiert das Anregungslicht bei mehreren, insbesondere sämtlichen Durchläufen durch den Kristallkörper zumindest teilweise dasselbe Kristallkörpervolumen. Dies ist vorteilhaft, da die Sensitivität für Magnetfelder in einem einzelnen NV-Zentrum von der Lichtintensität an der Stelle des NV-Zentrums abhängt. Würde das Licht gleichmäßig über den Kristallkörper verteilt, würden zwar viele NV-Zentren erreicht, aber jedes für sich genommen hätte eine geringe Empfindlichkeit. Daher ist es vorteilhaft, mit dem verfügbaren Anregungslicht, das ein bestimmtes Strahlprofil besitzt, immer die gleiche Region im Kristall zu treffen

[0012] In einer vorteilhaften Ausführungsform weist die Sensoreinrichtung mehr als ein Spiegelsystem auf, wobei die Spiegelsysteme derart angeordnet und ausgebildet sind, dass von dem Kristallkörper transmittiertes Anregungslicht nacheinander jeweils auf eins der Spiegelsysteme trifft, von diesem derart reflektiert wird, dass es wieder in den Kristallkörper eingekoppelt wird, wieder aus diesem Kristallkörper transmittiert wird, danach auf ein nächstes der Spiegelsysteme trifft und von diesem wieder derart reflektiert wird, dass es wieder in den Kristallkörper eingekoppelt wird, bis das Anregungslicht sämtliche der Spiegelsysteme passiert hat und wieder in den Kristallkörper eingekoppelt wird.

[0013] Die Anzahl der Durchgänge des Anregungslichtes durch den Kristallkörper kann durch eine entsprechende Zahl an Spiegelsystemen beliebig oft wiederholt und erweitert werden. Je öfter das Anregungslicht den Kristallkörper passiert, desto größer wird der Anteil des absorbierten Anregungslichtes und desto größer ist auch die Energieeffizienz. Jedoch nimmt der Zuwachs an Effizienz mit der Anzahl der Spiegelsysteme ab, da das Anregungslicht durch die fortlaufende Absorption mit jedem Durchgang schwächer wird. So ist eine vorteilhafte Anzahl zwischen zwei und zehn Spiegelsystemen, eine noch vorteilhaftere Anzahl zwischen drei und sechs Spiegelsystemen.

[0014] Bevorzugt ist eines der Spiegelsysteme, das als letztes von dem Anregungslicht passiert wird,

derart ausgebildet und angeordnet, dass das Anregungslicht im 180°-Winkel von diesem zurückreflektiert wird und in umgekehrter Reihenfolge sämtliche anderen der Spiegelsysteme erneut passiert. Ein Hinweg des Anregungslichtes entspricht demzufolge einem Rückweg des Anregungslichtes. Das Anregungslicht verlässt den Kristallkörper auf dem Rückweg bei dem letzten Durchgang umgekehrt parallel zu einem Eingangsstrahl des Anregungslichtes von der Lichtquelle.

[0015] Sämtliche der Spiegelsysteme sind hierbei bevorzugt derart angeordnet, dass das Anregungslicht sich von der Lichtquelle bis zu einem letzten Durchgang durch den Kristallkörper auf seiner gesamten Weglänge in einer Anregungslichtebene fortsetzt. Dies ist vorteilhaft, da auf diese Weise senkrecht zu der Anregungslichtebene bezüglich des Kristallkörpers Platz für wenigstens einen Photodetektor ist. So ist vorteilhaft wenigstens ein Photodetektor senkrecht zu der Anregungslichtebene bezüglich des Kristallkörpers angeordnet. Da sich das Fluoreszenzlicht von dem Kristallkörper annähernd isotrop in sämtliche Richtungen ausbreitet, lässt sich durch eine solche Anordnung ein großer Teil des Anregungslichtes detektieren, ohne den Anregungslichtstrahl zu blockieren. Insbesondere weist der wenigstens eine Photodetektor eine Detektionsfläche parallel zu der Anregungsebene auf. Dies ist aber nicht beschränkend zu verstehen.

[0016] Insbesondere ist wenigstens einer der Spiegel als holografischer Spiegel ausgebildet. Ein holografischer Spiegel weist holografische Schichten auf. Dies sind periodische Strukturen, die kohärentes Licht ablenken können. Solche holografischen Strukturen haben den Vorteil, dass sie planar implementiert werden können und gleichzeitig den Strahl in eine gewünschte Richtung ablenken können.

[0017] Auch ist denkbar, dass wenigstens ein Spiegel durch eine metallische Schicht realisiert ist. Metallische Schichten sind vergleichsweise günstig und einfach zu realisieren.

[0018] Andererseits kann wenigstens ein Spiegel durch eine dielektrische Schichtfolge realisiert sein. Eine dielektrische Schichtfolge hat sehr gute Reflexionseigenschaften.

[0019] Auch eine synergetische Kombination aus metallischen oder dielektrischen Spiegeln und holografischen Strukturen zur Strahlführung ist denkbar. Der Vorteil dieser Kombination besteht darin, dass nur ein fester Winkel für einen klassischen Spiegel gewählt werden muss, was beispielsweise durch nasschemisches KOH-Ätzen von Silizium erzeugt werden kann. Gleichzeitig können die holografischen Strukturen dazu genutzt werden, um für jeden Strahlendurchgang einen beliebigen Reflexions-

winkel einzustellen. Zusätzlich kann eine refokussierende bzw. rekollimierende Wirkung durch die holografischen Elemente erzeugt werden. Somit würden sich aufwendige Geometrien, die z.B. mikromechanisch strukturiert werden müssen, um verschiedene Ablenkungswinkel einzustellen, vermeiden.

[0020] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist wenigstens einer der Spiegel als aktuierbarer Mikrospiegel ausgebildet. Dies ist vorteilhaft, dadurch eine nachträgliche Justierung und Fokussierung des Laserstrahls auf den Kristallkörper ermöglicht wird. Somit können nachträgliche Einflüsse von z.B. thermischer Ausdehnung bei Temperaturschwankungen ausgeglichen werden.

[0021] Bevorzugt ist wenigstens einer der Spiegel, bevorzugt alle Spiegel, durch lithografisch definierte Strukturen und anschließend tiefes reaktives Ionenätzen in eine Silizium-Kaverne strukturiert, in die der Kristallkörper eingepasst ist. Dies ermöglicht eine miniaturisierte Umsetzung. Insbesondere sind geätzte Oberflächen beschichtet, bevorzugt metallisch oder dielektrisch beschichtet, ausgebildet, was zur Verbesserung der Lichtreflexion dient.

[0022] In einer vorteilhaften Ausführungsform sind sämtliche Spiegel und der Kristallkörper durch eine transparente Kappe bzw. Abdeckung geschützt, durch die das Anregungslicht von der Lichtquelle ein-koppelbar ist. Diese kann durch Bonden, z.B. anodisches Bonden, auf eine Halterung der Spiegel aufgebracht werden. Dabei ist die Lichtquelle bevorzugt derart angeordnet, dass das Anregungslicht senkrecht durch die transparente Kappe geführt wird. Insbesondere wird das Anregungslicht durch einen weiteren Spiegel abgelenkt, bevor es auf den Kristallkörper trifft. Durch die transparente Kappe können die Spiegel der Spiegelsysteme dauerhaft vor äußeren Einflüssen wie Staub oder Oxidation geschützt werden.

[0023] Bevorzugt passiert das Anregungslicht nach wenigstens einem, bevorzugt nach jedem Austritt aus dem Kristallkörper ein gasförmiges Medium, das bevorzugt Umgebungsluft oder ein Schutzgas ist. Auf diese Weise ist es möglich, Spiegelflächen in unterschiedlichen Winkeln zu der Kristallkörperoberfläche anzuordnen.

[0024] Weiterhin ermöglicht ein Schutzgas einen Schutz des Kristallkörpers und der Spiegelflächen vor Oxidation.

[0025] Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung einer Spiegelanordnung für eine Sensoreinrichtung vorgeschlagen, das, die folgenden Schritte umfasst:

- Bereitstellen eines Si-Substrats;
- Aufbringen eines Photoresistfilms;
- Lithografische Strukturierung des Photoresistfilms;
- Unter Ätzen Ausbildung einer Struktur einer Kaverne mit Spiegelflächen;
- Unter Ätzen Ausbildung einer podestartigen Aufnahme für einen Kristallkörper;
- Platzieren und Aufkleben des Kristallkörpers.

[0026] Dieses Verfahren ermöglicht die einfache Herstellung einer miniaturisierten Sensoreinrichtung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung. Außerdem entfällt das aufwändige Justieren der Spiegelsysteme, da bei diesem Verfahren die Winkel bei richtigem Ätzen direkt vorgegeben werden, so dass ein Justieren nicht erforderlich ist.

[0027] Bevorzugt umfasst das Verfahren weiter das Aufbringen einer spiegelnden Beschichtung. Dies kann durch Sputtern oder Atomic Layer Deposition von Metall oder durch die CVD- oder ALD-Abscheidung dielektrischer Schichten erfolgen. Dadurch werden die Reflexionseigenschaften der Spiegeloberflächen verbessert.

[0028] Es ist außerdem denkbar, dass als spiegelnde Beschichtung holografische Strukturen abge-schieden werden. Dies hat den Vorteil, dass keine schrägen und/oder glatten Reflexionsflächen notwendig sind. Da die Reflexionsebene von holografischen Strukturen nicht notwendig parallel zur Reflexionsfläche ist, kann durch entsprechende Strukturen eine Vielzahl von Reflexionswinkeln eingestellt werden.

[0029] Bevorzugt wird bei der Ausbildung der Struktur durch anisotropes nasschemisches Ätzen wenigstens eine schräge Facette ausgebildet. Dies ist eine weitere Möglichkeit, einen Reflexionswinkel einzustellen.

[0030] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0031] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in den Zeichnungen schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben.

Figurenliste

Fig. 1 zeigt eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung;

Fig. 2 zeigt eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung;

Fig. 3 zeigt eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung;

Fig. 4-11 zeigen ein Siliziumsubstrat jeweils nach der Durchführung einzelner Schritte einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer Spiegelanordnung für eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung;

Fig. 12-15 zeigen ein Siliziumsubstrat jeweils nach der Durchführung einzelner Schritte einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer Spiegelanordnung für eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung;

Fig. 16 zeigt eine Spiegelanordnung für eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung;

Fig. 17 zeigt eine Spiegelanordnung für eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung;

Fig. 18 zeigt eine Spiegelanordnung für noch eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung.

Detaillierte Beschreibung der Zeichnungen

[0032] In **Fig. 1** ist eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung dargestellt und insgesamt mit **100** bezeichnet. Die Sensoreinrichtung **100** weist einen Kristallkörper **1**, insbesondere einen Diamanten, mit einer Anzahl von Farbzentren, insbesondere von Stickstoff-Fehlstellen auf, sowie eine Lichtquelle **3** zum Bestrahlen des Kristallkörpers **1** mit Anregungslicht **20**, eine Hochfrequenzeinrichtung **7** zum Bestrahlen des Kristallkörpers mit Mikrowellen und einen oder mehrere Photodetektoren, die eingerichtet sind zum Detektieren von Fluoreszenzlicht, welches aufgrund der Bestrahlung des Kristallkörpers durch das Anregungslicht **20** und die Mikrowellen erzeugt wird. Die Photodetektoren sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in der **Fig. 1** nicht dargestellt.

[0033] Die Sensoreinrichtung weist weiterhin mehrere Spiegelsysteme **2** auf, wobei die Lichtquelle **3** derart angeordnet ist, dass das Anregungslicht **20** in den Kristallkörper **1** eingekoppelt wird und aus dem Kristallkörper wieder transmittiert wird.

[0034] Die Spiegelsysteme **2** sind hierbei derart angeordnet und ausgebildet, dass von dem Kristallkörper **1** transmittiertes Anregungslicht **20** nacheinander jeweils auf eines der Spiegelsysteme **2** trifft, von diesem derart reflektiert wird, dass es wieder in den Kristallkörper **1** eingekoppelt wird, wieder aus diesem Kristallkörper **1** transmittiert wird, danach auf ein nächstes der Spiegelsysteme **2** trifft und von diesem

wieder derart reflektiert wird, dass es wieder in den Kristallkörper **1** eingekoppelt wird.

[0035] Das erste Spiegelsystem **2** weist in dieser Ausführungsform zwei Spiegel **2a** und **2b** auf, die nach der ersten Transmission des Anregungslichts aus dem Kristallkörper **1** nacheinander passiert werden, bevor das Anregungslicht wieder in den Kristallkörper **1** eingekoppelt wird. Das zweite Spiegelsystem **2** weist in dieser Ausführungsform einen Spiegel **2c** auf.

[0036] Das zweite Spiegelsystem wird als letztes von dem Anregungslicht **20** passiert. Es ist derart ausgebildet und angeordnet, dass das Anregungslicht **20** im 180°-Winkel von dessen Spiegel **2c** zurückreflektiert wird und in umgekehrter Reihenfolge sämtliche anderen der Spiegelsysteme erneut passiert. Das zurücklaufende Anregungslicht ist in dieser Ausführungsform mit **20'** bezeichnet. Ein Hinweg des Anregungslichtes **20** durch den Kristallkörper **1** entspricht demzufolge einem Rückweg des Anregungslichtes **20'**. Das Anregungslicht **20'** verlässt den Kristallkörper auf dem Rückweg bei dem letzten Durchgang umgekehrt parallel zu einem Eingangsstrahl des Anregungslichtes **20** von der Lichtquelle **3**. Auf diese Weise werden mit dieser Anordnung vier Durchgänge des Anregungslichts **20**, **20'** durch den Kristallkörper **1** erzielt. Sämtliche der Spiegelsysteme sind derart angeordnet, dass das Anregungslicht **20** sich von der Lichtquelle **3** bis zu einem letzten Durchgang durch den Kristallkörper **1** auf seiner gesamten Weglänge in einer Anregungslichtebene fortsetzt, welche in der dargestellten Figur der Zeichenebene entspricht. So ist vorteilhaft wenigstens ein nicht dargestellter Photodetektor senkrecht zu der Anregungslichtebene bezüglich des Kristallkörpers **1** angeordnet, so dass er den Strahlengang des Anregungslichtes **20** nicht blockiert.

[0037] Die Spiegel **2a**, **2b**, **2c** sind in dieser Ausführungsform bevorzugt durch lithografisch definierte Strukturen und anschließend tiefes reaktives Ionenätzen in eine Silizium-Kaverne **60** strukturiert, in die der Kristallkörper **1** eingepasst ist. Bei jedem Austritt aus dem Kristallkörper findet ein Durchgang des Anregungslichtes durch Luft oder ein Schutzgas statt.

[0038] **Fig. 2** zeigt eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen dabei gleiche Elemente wie in **Fig. 1** und werden nicht erneut beschrieben. **Fig. 2** unterscheidet sich von **Fig. 1** dadurch, dass drei Spiegelsysteme **2** vorgesehen sind, die anders ausgebildet und angeordnet sind als in **Fig. 1**. Ein erstes Spiegelsystem **2** weist gemäß dieser Ausführungsform die Spiegel **2d** und **2e** auf. Ein zweites Spiegelsystem weist die Spiegel **2f** und **2g** auf. Ein drittes Spiegelsystem weist den Spiegel **2h** auf. Das dritte Spiegelsystem wird als letztes von dem Anre-

gungslicht **20** passiert. Es ist derart ausgebildet und angeordnet, dass das Anregungslicht **20** im 180°-Winkel von diesem zurückreflektiert wird und in umgekehrter Reihenfolge sämtliche anderen der Spiegelsysteme **2** erneut passiert. Auf diese Weise werden sechs Durchgänge des Anregungslichtes **20**, **20'** durch den Kristallkörper realisiert.

[0039] Fig. 3 zeigt eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung. Die dritte Ausführungsform weist drei Spiegelsysteme auf. Das erste Spiegelsystem umfasst Spiegel **2i** und **2k**, die nach dem ersten Durchgang des Anregungslichtes **20** durch den Kristallkörper **1** nacheinander passiert werden, bevor das Anregungslicht erneut in den Kristallkörper **1** eingekoppelt wird. Das zweite Spiegelsystem **2** weist die Spiegel **2l** und **2m** auf. Das dritte Spiegelsystem weist die Spiegel **2n** und **2k** auf. Dabei gehört der Spiegel **2k** sowohl zum ersten Spiegelsystem **2** als auch zum dritten Spiegelsystem **2**. Im Gegensatz zu der ersten und zweiten Ausführungsform findet keine 180°-Spiegelung statt. Das Anregungslicht **20** wird nach dem vierten Durchgang durch den Kristallkörper **20** nicht erneut reflektiert. Ein weiterer Unterschied zu der ersten und zweiten Ausführungsform ist, dass die dritte Ausführungsform holografische Spiegel **2a**, **2c**, **2e** aufweist. Wie in der Figur sichtbar ist, kann durch gezielte Beschichtungen erreicht werden, dass ein Ausfallswinkel jeweils der holografischen Spiegel **2a**, **2c**, **2e** nicht gleich dem Einfallswinkel ist. Durch die Wahl der Beschichtung kann ein beliebiger Reflexionswinkel eingestellt werden. Dies vereinfacht die Herstellung der Spiegelanordnung, da für die Ausbildung der holografischen Spiegel **2a**, **2c**, **2e** keine schrägen Reflexionsflächen bezüglich des Substrates bzw. der Kaverne **60** notwendig sind.

[0040] Gemäß den Fig. 4-11 wird nun eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer Spiegelanordnung für eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung erläutert. In Fig. 4 ist ein bereitgestelltes Siliziumsubstrat **4** dargestellt. Darauf wird in einem Verfahrensschritt ein Photoresistfilm aufgebracht. Fig. 5 zeigt das bereitgestellte Siliziumsubstrat **4** nach Aufbringung des Photoresistfilms **5**. Dieser Photoresistfilm wird in einem nächsten Verfahrensschritt lithografisch, insbesondere photolithografisch strukturiert. Fig. 6 zeigt Abschnitte **5a**, **5b** des Photoresistfilms auf dem Siliziumsubstrat **4** nach der lithografischen Strukturierung.

[0041] Durch einen ersten Ätzvorgang wird eine Struktur in dem Siliziumsubstrat ausgebildet. Fig. 7 zeigt das Siliziumsubstrat nach dem ersten Ätzvorgang, wobei es nun mit **4a** bezeichnet ist.

[0042] Auf dieses Siliziumsubstrat **4a** wird ein weiterer Photoresistfilm aufgebracht, wobei dieser weite-

re Photoresistfilm auch noch vorhandene Abschnitte **5a**, **5b** des ersten Photoresistfilms **5** bedecken kann. Auch dieser wird durch Belichtung strukturiert. Danach wird ein zweiter Ätzvorgang durchgeführt, wodurch eine podestartige Aufnahme **6** für einen Kristallkörper **1** entsteht. Fig. 8 zeigt das Siliziumsubstrat **4c** mit der podestartigen Aufnahme **6** und den Abschnitten **8a**, **8b**, **8c**, **5b** des Photoresistfilms. Man erkennt, dass hierbei der Abschnitt **8c** den Abschnitt **5b** überdeckt.

[0043] Nach Entfernung der verbleibenden Photoresistfilmabschnitte **8a**, **8b**, **8c**, **5b** wird in einem weiteren Verfahrensschritt auf das Siliziumsubstrat **4c** eine Spiegelschicht **9** aufgebracht. Dies ist in Fig. 9 sichtbar. Danach wird ein Kristallkörper **1** auf der podestartigen Aufnahme **6** platziert und aufgeklebt, was in Fig. 10 dargestellt ist.

[0044] In weiteren Verfahrensschritten können die vorstehend genannten Schritte an einem neuen Siliziumsubstrat wiederholt werden und mehrere strukturierte Siliziumsubstrate miteinander zu einer Kavität **60** zusammengestellt werden. Fig. 11 zeigt eine fertige Spiegelanordnung nach Durchführung sämtlicher Herstellungsschritte. Die Spiegelanordnung nach Fig. 11 ist auch in Fig. 1 dargestellt, weswegen weitere Bezugszeichen in Fig. 11 weggelassen sind.

[0045] Gemäß den Fig. 12-15 ist eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung einer Spiegelanordnung für eine Sensoreinrichtung beschrieben. Fig. 12 zeigt ein bereitgestelltes Siliziumsubstrat **4**. Auf dieses wird ein Photoresistfilm aufgetragen. Dieser wird lithografisch strukturiert und es wird unter Ätzen eine Struktur einer Kaverne mit Spiegelflächen ausgebildet. Diese Ausführungsform des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass bei der Ausbildung der Struktur durch anisotropes nasschemisches Ätzen eine schräge Facette **40** ausgebildet wird. Nach diesen Verfahrensschritten erhält man die Struktur in Fig. 13.

[0046] Auf die schräge Facette **40** wird nun eine Spiegelschicht **41** aufgebracht, was in Fig. 14 dargestellt ist. Durch die Abscheidung holografischer Strukturen **2i**, **2n** erhält man das Siliziumsubstrat **4d** gemäß Fig. 15.

[0047] Durch weitere Verfahrensschritte, die für den Fachmann aus den genannten Verfahrensschritten ableitbar sind, lässt sich die Spiegelanordnung der Sensoreinrichtung gemäß Fig. 3 herstellen.

[0048] Fig. 16 zeigt eine Spiegelanordnung für eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung. In dieser Spiegelanordnung wird das Anregungslicht zunächst von einem weiteren Spiegel **2p** abgelenkt, bevor es auf den Kristallkörper **1** trifft.

Im Übrigen entspricht diese Ausführungsform derjenigen gemäß **Fig. 1**.

[0049] Gemäß **Fig. 17** und **Fig. 18** sind sämtliche Spiegel **2p, 9** und der Kristallkörper **1** durch eine transparente Abdeckung bzw. Kappe **30** geschützt, durch die das Anregungslicht **20** von der Lichtquelle **3** einkoppelbar ist. Diese kann durch Bonden, z.B. anodisches Bonden, auf eine Halterung der Spiegel **2o, 9** aufgebracht werden. Dabei ist die Lichtquelle **3** bevorzugt derart angeordnet, dass das Anregungslicht senkrecht durch die transparente Kappe **30** geführt wird. Insbesondere wird das Anregungslicht durch einen weiteren Spiegel **2o** abgelenkt, bevor es auf den Kristallkörper trifft. Die Spiegel **2p, 9** befinden sich in einer Gasatmosphäre **50**, bevorzugt eine Schutzgasatmosphäre.

[0050] **Fig. 18** zeigt hierbei einen Spiegel **2p**, der als aktuierbarer Mikrospiegel ausgebildet ist und damit eine nachträgliche Justierung ermöglicht.

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 3742878 A1 [0006]

Patentansprüche

1. Sensoreinrichtung mit einem Kristallkörper (1), insbesondere einem Diamanten, mit einer Anzahl von Farbzentren, insbesondere von Stickstoff-Fehlstellen, einer Lichtquelle (3) zum Bestrahlen des Kristallkörpers (1) mit Anregungslicht (20), einer Hochfrequenzeinrichtung (7) zum Bestrahlen des Kristallkörpers (1) mit Mikrowellen, und einem oder mehreren Photodetektoren, die eingerichtet sind zum Detektieren von Fluoreszenzlicht, welches aufgrund der Bestrahlung des Kristallkörpers (1) durch das Anregungslicht (20) und die Mikrowellen erzeugt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sensoreinrichtung wenigstens ein Spiegelsystem aufweist, wobei die Lichtquelle (3) derart angeordnet ist, dass das Anregungslicht (20) in den Kristallkörper (1) eingekoppelt wird und aus dem Kristallkörper (1) wieder transmittiert wird, wobei das wenigstens eine Spiegelsystem derart ausgebildet und angeordnet ist, dass nach einem ersten Durchlauf durch den Kristallkörper (1) transmittiertes Anregungslicht (20) derart reflektiert wird, dass es wieder in den Kristallkörper (1) eingekoppelt wird, wobei jedes der Spiegelsysteme einen oder mehrere Spiegel (2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f, 2g, 2h, 2i, 2k, 2l, 2m, 2n, 2p) aufweist, wobei das Anregungslicht (20) nach wenigstens einem Austritt aus dem Kristallkörper (1) ein den Kristallkörper (1) umgebendes Medium (50) oder ein Vakuum passiert.
2. Sensoreinrichtung nach Anspruch 1, wobei die Lichtquelle (3) und die Spiegelsysteme derart angeordnet sind, dass das Anregungslicht (20) bei mehreren, insbesondere sämtlichen Durchläufen durch den Kristallkörper (1) zumindest teilweise dasselbe Kristallkörpervolumen passiert.
3. Sensoreinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Sensoreinrichtung mehr als ein Spiegelsystem aufweist, wobei die Spiegelsysteme derart angeordnet und ausgebildet sind, dass von dem Kristallkörper (1) transmittiertes Anregungslicht (20) nacheinander jeweils auf eins der Spiegelsysteme trifft, von diesem derart reflektiert wird, dass es wieder in den Kristallkörper eingekoppelt wird, wieder aus dem Kristallkörper (1) transmittiert wird, danach auf ein weiteres der Spiegelsysteme trifft und von diesem wieder derart reflektiert wird, dass es wieder in den Kristallkörper (1) eingekoppelt wird, bis das Anregungslicht (20) sämtliche der Spiegelsysteme passiert hat und wieder in den Kristallkörper (1) eingekoppelt wird.
4. Sensoreinrichtung nach Anspruch 3, wobei eines der Spiegelsysteme, das als letztes von dem Anregungslicht (20) passiert wird, derart ausgebildet und angeordnet ist, dass das Anregungslicht (20) in einem 180°-Winkel von diesem zurückreflektiert wird und in umgekehrter Reihenfolge sämtliche anderen der Spiegelsysteme erneut passiert.
5. Sensoreinrichtung nach Anspruch 3 oder 4, wobei sämtliche der Spiegelsysteme derart angeordnet sind, dass das Anregungslicht (20) sich ausgehend von der Lichtquelle (3) bis zu einem letzten Durchgang durch den Kristallkörper (1) auf seiner gesamten Weglänge in einer Anregungslichtebene fortsetzt.
6. Sensoreinrichtung nach Anspruch 5, wobei wenigstens ein Photodetektor senkrecht zu der Anregungslichtebene bezüglich des Kristallkörpers (1) angeordnet ist, bevorzugt mit seiner Detektionsfläche parallel zur Anregungslichtebene.
7. Sensoreinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei wenigstens einer der Spiegel (2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f, 2g, 2h, 2i, 2k, 2l, 2m, 2n, 2p) ein holografischer Spiegel ist.
8. Sensoreinrichtung nach einem der Ansprüche 1-7, wobei wenigstens einer der Spiegel (2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f, 2g, 2h, 2i, 2k, 2l, 2m, 2n, 2p) durch eine metallische Schicht realisiert ist.
9. Sensoreinrichtung nach einem der Ansprüche 1-8, wobei wenigstens einer der Spiegel (2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f, 2g, 2h, 2i, 2k, 2l, 2m, 2n, 2p) durch eine dielektrische Schichtfolge realisiert ist.
10. Sensoreinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei wenigstens einer der Spiegel (2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f, 2g, 2h, 2i, 2k, 2l, 2m, 2n, 2p) als aktuierbarer Mikrospiegel ausgebildet ist.
11. Sensoreinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei wenigstens einer der Spiegel (2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f, 2g, 2h, 2i, 2k, 2l, 2m, 2n, 2p) durch lithografisch definierte Strukturen und anschließend tiefes reaktives Ionenätzen in eine Silizium-Kaverne strukturiert ist, in die der Kristallkörper (1) eingepasst ist.
12. Sensoreinrichtung nach Anspruch 11, wobei geätzte Oberflächen beschichtet, bevorzugt metallisch oder dielektrisch beschichtet, ausgebildet sind.
13. Sensoreinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei sämtliche Spiegel (2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f, 2g, 2h, 2i, 2k, 2l, 2m, 2n, 2p) und der Kristallkörper (1) durch eine transparente Kappe (30) geschützt sind, durch die das Anregungslicht von der Lichtquelle eingekoppelt wird.
14. Sensoreinrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das den Kristallkörper umgebende Medium (50) bevorzugt ein gasförmiges Medium und noch bevorzugter Umgebungsluft oder ein Schutzgas ist.

15. Verfahren zur Herstellung einer Spiegelanordnung für eine Sensoreinrichtung, umfassend die Schritte:

- Bereitstellen eines Si-Substrats (4, 4a, 4c, 4d);
- Aufbringen eines Photoresistfilms (5, 5a, 5b);
- Lithografische Strukturierung des Photoresistfilms (5, 5a, 5b);
- Unter Ätzen Ausbildung einer Struktur einer Kaverne mit Spiegelflächen (9);
- Unter Ätzen Ausbildung einer podestartigen Aufnahme (6) für einen Kristallkörper (1);
- Platzieren und Aufkleben des Kristallkörpers (1) auf der Aufnahme (6).

16. Verfahren nach Anspruch 15, weiter umfassend das Aufbringen einer spiegelnden Beschichtung (9).

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei als spiegelnde Beschichtung (9) holografische Strukturen (2i, 2n) abgedeutet werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, wobei bei der Ausbildung der Struktur durch anisotropes nasschemisches Ätzen wenigstens eine schräge Facette (40) ausgebildet wird.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

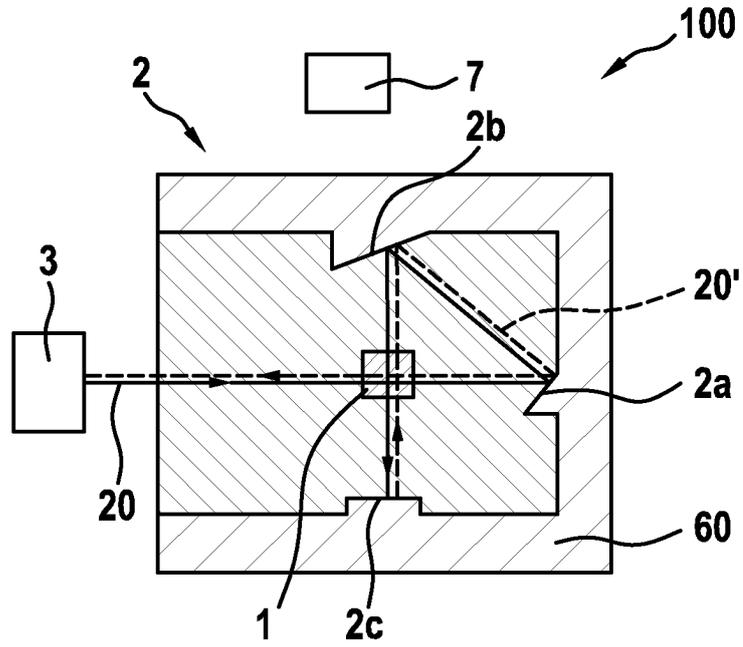


Fig. 2

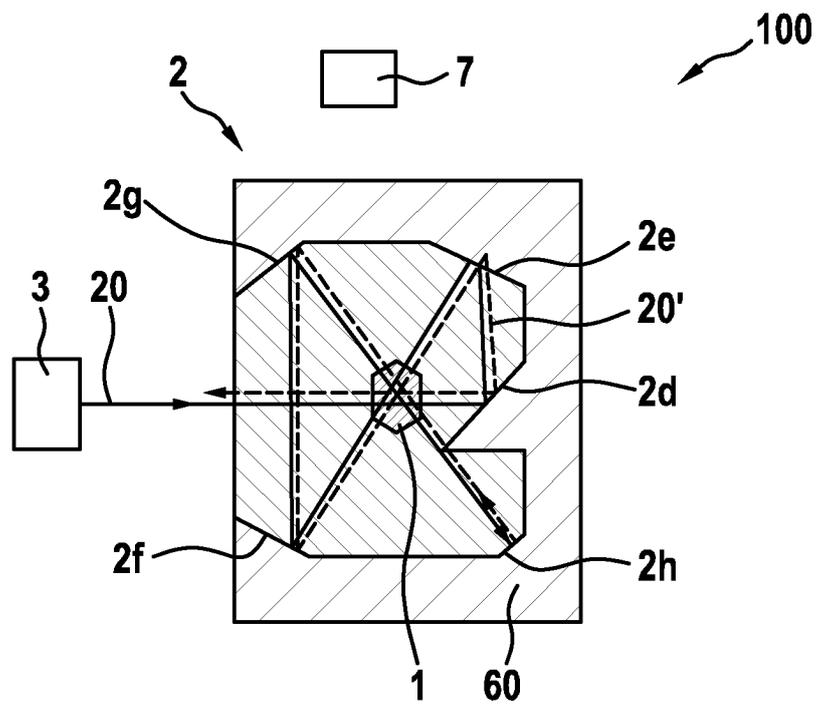


Fig. 3

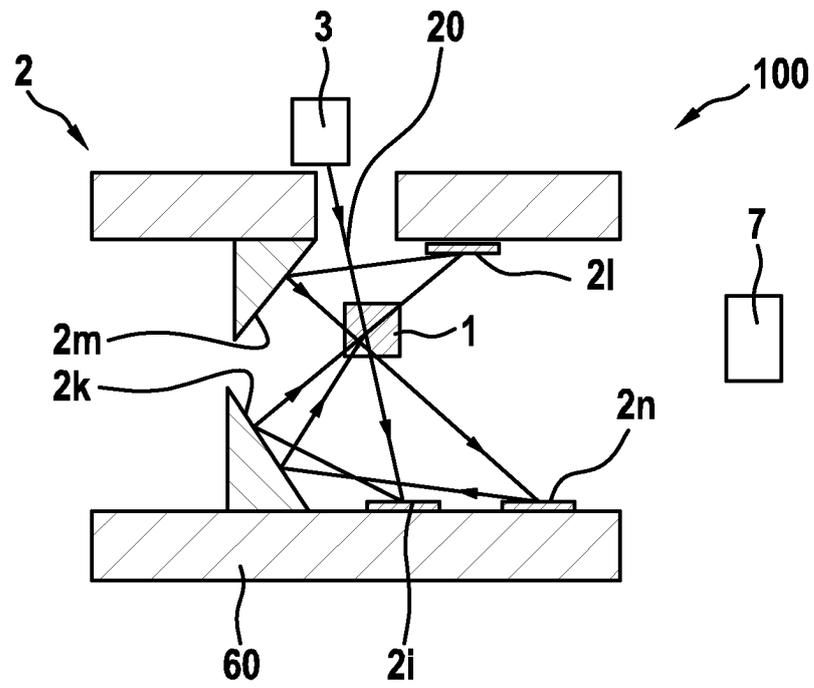


Fig. 4

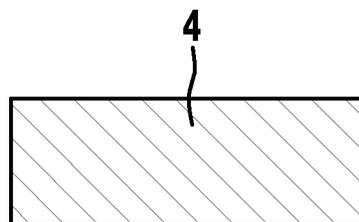


Fig. 5

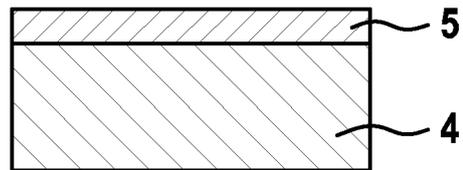


Fig. 6

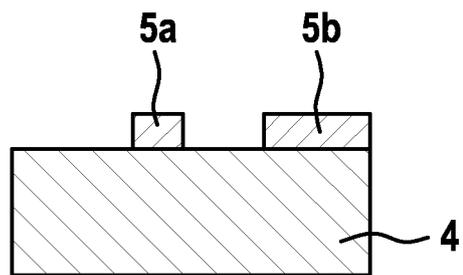


Fig. 7

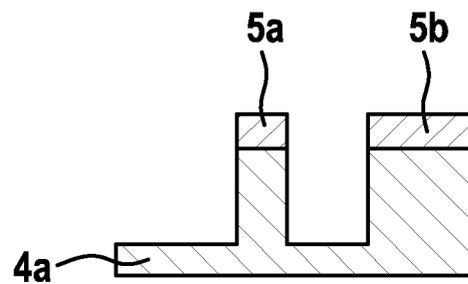


Fig. 8

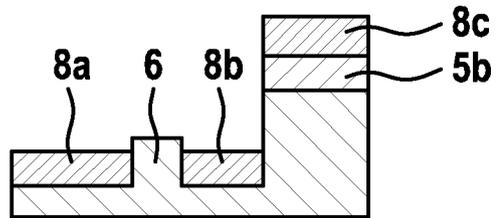


Fig. 9

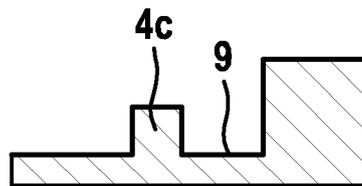


Fig. 10

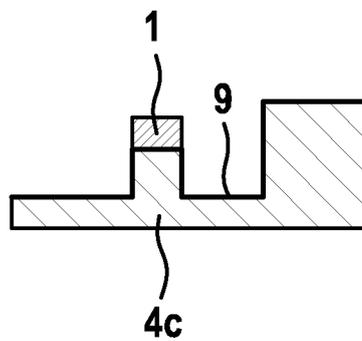


Fig. 11

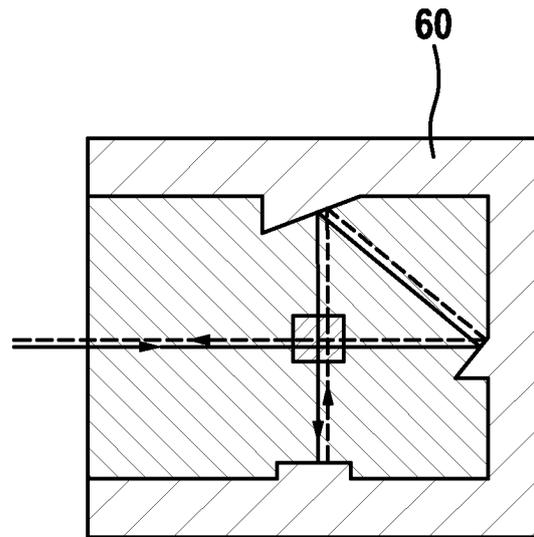


Fig. 12

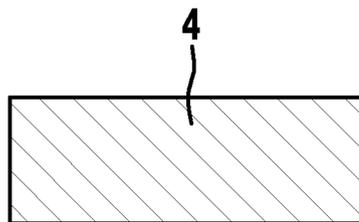


Fig. 13

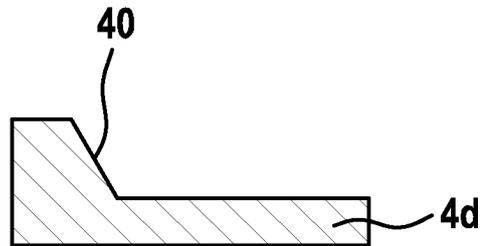


Fig. 14

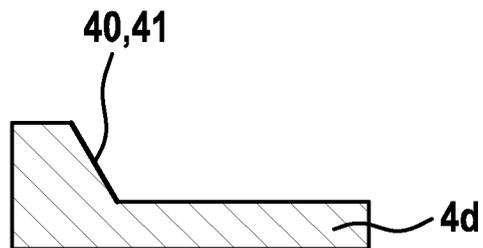


Fig. 15

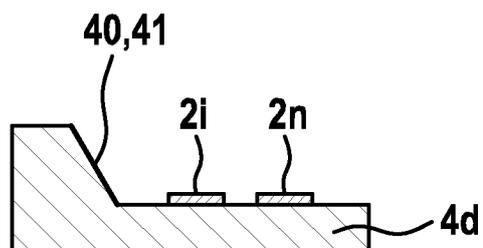


Fig. 16

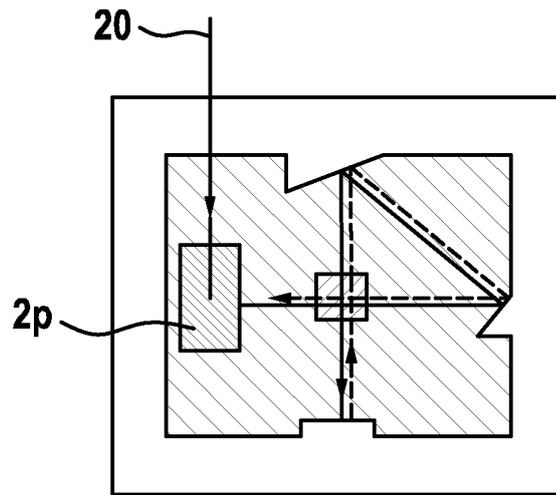


Fig. 17

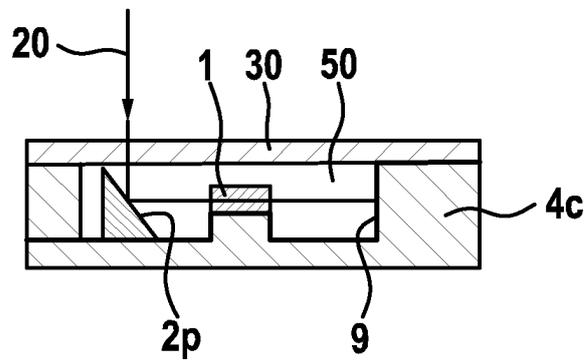


Fig. 18

