

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
04. Februar 2021 (04.02.2021)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2021/018654 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G06N 10/00 (2019.01) H01L 29/16 (2006.01)
H01L 21/02 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2020/070485
- (22) Internationales Anmeldedatum:
20. Juli 2020 (20.07.2020)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2019 120 716.9
31. Juli 2019 (31.07.2019) DE
- (71) Anmelder: UNIVERSITÄT LEIPZIG [DE/DE]; Ritter-
strasse 26, 04109 Leipzig (DE).
- (72) Erfinder: MEIJER, Jan Berend; Hirschgraben 28, 44892
Bochum (DE). JOHN, Roger; Heinrichstrasse 15a, 04317
Leipzig (DE). STAACKE, Robert; Breilkopfstrasse 14,
04317 Leipzig (DE).
- (74) Anwalt: HECHT, Jan-David; Ranstädter Steinweg 28,
04109 Leipzig (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR ADDRESSING QUBITS, AND METHOD FOR PRODUCING THE DEVICE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ADRESSIERUNG VON QUBITS SOWIE VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG DER VORRICHTUNG

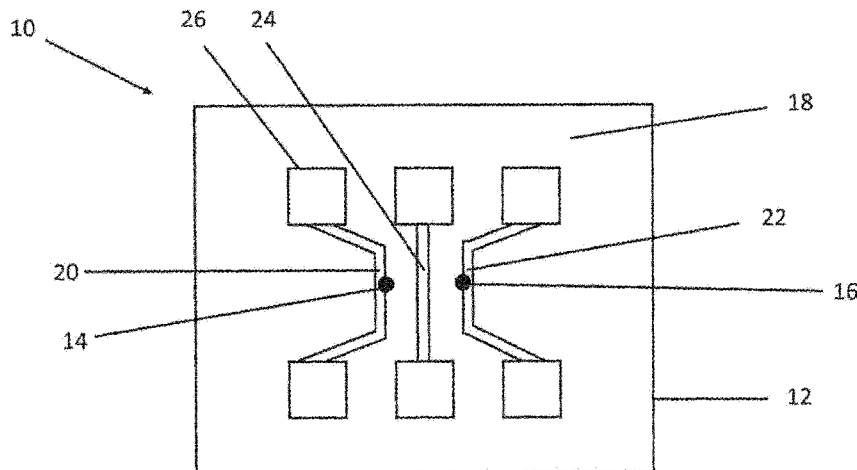


Fig.2

(57) Abstract: The present invention relates to a method for addressing qubits (14, 16), to a device (10) for addressing qubits (14, 16) and to a method for producing the device (10). The addressing of qubits (14, 16) is made possible thereby in a simple way, without the risk of crosstalk between different qubits (14, 16). The addressing can be carried out both individually and jointly for different qubits (14, 16). In addition, the qubits (14, 16) can also be easily read out.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Adressierung von Qubits (14, 16), eine Vorrichtung (10) zur Adressierung von Qubits (14, 16) und ein Verfahren zur Herstellung der Vorrichtung (10). Dadurch wird die Adressierung von Qubits (14, 16) auf einfache Art und Weise ermöglicht, ohne dass die Gefahr des Übersprechens zwischen verschiedenen Qubits (14,



WO 2021/018654 A1

TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

**Verfahren und Vorrichtung zur Adressierung von Qubits
sowie Verfahren zur Herstellung der Vorrichtung**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Adressierung von Qubits nach dem
5 Oberbegriff von Anspruch 1, eine Vorrichtung zur Adressierung von Qubits nach dem
Oberbegriff von Anspruch 6 und ein Verfahren zur Herstellung der Vorrichtung nach dem
Oberbegriff von Anspruch 14.

Quantencomputer bieten die Möglichkeit, spezielle Probleme mithilfe von quantenmech a-
10 nischen Effekten zu lösen. Der Unterschied zu einem handelsüblichen Computer besteht
hierbei in der Verwendung von Quantenbits (Qubits), diese stellen das Äquivalent zu Bits in
einem klassischen Computer dar.

Die Betrachtung von Bits zeigt, dass diese nur zwei Zustände einnehmen können. Diese
15 beiden Zustände sind 0 und 1. Qubits dagegen können nicht nur den Zustand 0 und 1
einnehmen, sondern auch innerhalb einer bestimmten Zeitspanne (Kohärenzzeit) einen
Zwischenzustand aus 0 und 1 einnehmen. Dieser Zustand wird als Superposition bezeichnet.

Im Gegensatz zu den klassischen Bits heutiger Computer können Qubits somit viel mehr
20 Informationen verarbeiten und bieten daher das Potenzial für Computer mit nie dagewese-
ner Rechenkapazität. Besonders die Herstellung solcher Qubits ist derzeit ein Thema in der
Wissenschaft, in das viel Forschungsarbeit investiert wird. Wissenschaftler suchen nach
dem besten Weg, Qubits herzustellen und sie gemäß der Quantengesetze zu Recheneinhei-
ten miteinander zu verbinden.

25 Eine Realisierung von Qubits kann derzeit durch unterschiedliche Methoden erfolgen.
Bekannt sind supraleitende Qubits, die leicht aufzubauen und skalierbar sind. Es wurden so
schon bis zu 20 Qubits verschränkt. Allerdings bestehen nur extrem kurze T₂-Zeiten
(Transversale Relaxationszeit – Spin-Spin Relaxation) und es muss eine Kühlung auf 4°K (-
30 273°C) sichergestellt werden, weshalb die die Computer in extra dafür bereitgestellten
Räumen installiert werden müssen, um die Kühlung und einen möglichst hohen Schutz vor
Erschütterungen, elektrischen Streufeldern und Restwärme zu gewährleisten.

Qubits über Ionenfallen sind gut zu kontrollieren und besitzen extrem lange T2-Zeiten. Es wurden so schon zwischen 10 und 20 Qubits verschränkt. Allerdings sind sie nicht skalierbar und technisch sehr aufwendig.

- 5 Es wurden auch schon NMR Quantencomputer untersucht, wobei 5 Qubits verschränkt wurden. Diese zeichnen sich durch eine sehr einfache Programmierung aus, allerdings sind sie nicht skalierbar und die dahinter stehende Technik ist sehr aufwendig.

10 Festkörperbasierte Quantenbits sind bisher die einzige Möglichkeit, die oben genannten Nachteile zu umgehen, denn ein Quantencomputer betrieben mit festkörperbasierten Qubits ermöglicht den Betrieb bei Raumtemperatur. Außerdem ist er skalierbar und CMOS-kompatibel, weshalb eine gute Anbindung an bisher genutzte Halbleitertechniken möglich ist.

- 15 Die vorliegende Erfindung geht von solchen festkörperbasierten Qubits aus. Die zurzeit erfolgversprechendste Variante der festkörperbasierten Qubits besteht in der Nutzung von Stickstoff-Fehlstellen-Zentren (NV-Zentren) in Diamanten.

20 Diamanten bieten verschiedene mechanische Besonderheiten, wie die sehr hohe Härte, Wärmeleitfähigkeit und Reaktionsbeständigkeit. Die Forschung hat es in den letzten Jahren geschafft, das Herstellen von Diamanten über chemische Gasphasenabscheidung (CVD) zu ermöglichen. Die synthetische Herstellung bietet den Vorteil, dass Diamanten mit hoher Isotopenreinheit und bestimmten Kristalldefekten erstellbar sind. Die Diamanten können dadurch mit anwendungsspezifischen optischen und elektronischen Attributen ausgestattet
25 werden. Diese nun festlegbaren Attribute der Diamanten sind für die Quantenmechanik von hoher Wichtigkeit und finden dort ein großes Anwendungsgebiet.

Ein zwei dimensionales Gitter von NV Zentren kann in synthetischen Diamanten erzeugt werden. Die Kernspins der Stickstoffatome fungieren dabei als Qubits; Auslese und Kopp-
30 lung erfolgen über den elektronischen Spin des NV-Zentrums, wobei die Kopplung durch die magnetische Dipolwechselwirkung erreicht wird; inhomogene Magnetfelder ermöglichen die individuelle Quanten Gatter- und parallele Gatter Operation auf vielen Qubits. Allerdings stellt vor allem die Adressierung individueller Gatter-Operationen und Auslesung der einzelnen Qubits ein Problem dar.

Die Ermöglichung einer lokalen Adressierung (Verschiebung der Resonanzfrequenz um mindestens eine Linienbreite) erfolgt in der Regel durch die Verwendung von Magnetfeldern oder unterschiedlichen Orientierungen der Qubits. Die notwendige Verschiebung hängt von der T2-Zeit ab. Problematisch ist dabei, dass bei angewandtem Resonanzverschieben der Einfluss benachbarter Qubits, ein sogenanntes Crossover bzw. Crosstalk, nicht vollständig vermieden werden kann.

Eine Alternative stellt die optische Adressierung dar, wie sie beispielsweise in der US 9 317 473 B2 beschrieben wird. Dabei erfolgt die Adressierung auf optischem Wege. Damit kein Übersprechen zwischen verschiedenen Qubits (Registern) erfolgt, müssen diese ausreichend weit beabstandet (400 nm bis 500 nm) angeordnet werden. Für diese Abstände kann allerdings keine direkte Verschränkung der Qubits erfolgen, so dass eine Vermittlung der Verschränkung über eine sogenannte Dunkle Spin-Kette (dark spin chain) von optisch nicht adressierbaren Spins verwendet werden muss. Wenn dagegen der Abstand ausreichend klein ist, dass eine direkte Verschränkung erfolgen kann, dann wird die Adressierung über Nahfeldmikroskopie (Spin-Resolft) erfolgen. Die indirekte Verschränkung beinhaltet allerdings Funktionsrisiken und der Einsatz der Nahfeldmikroskopie für jedes einzelne Register ist sehr aufwendig. Außerdem ist in beiden Fällen ein Crosstalk (Übersprechen) nicht ausgeschlossen

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die Adressierung von Qubits auf einfache Art und Weise zu ermöglichen, ohne dass die Gefahr des Übersprechens besteht. Insbesondere soll auch ein leichtes Auslesen der Qubits möglich sein.

Diese Aufgabe wird gelöst mit dem erfindungsgemäßen Verfahren nach Anspruch 1, der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Anspruch 6 und dem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren für die Vorrichtung nach Anspruch 14. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen und in der nachfolgenden Beschreibung zusammen mit den Figuren angegeben.

Erfinderseits wurde erkannt, dass diese Aufgabe in überraschender Art und Weise dadurch gelöst werden kann, dass die Adressierung eines Qubits über ein elektromagnetisches Feld erfolgt, wobei die nicht zu adressierenden Qubits durch angepasste elektromagnetische

Gegenfelder abgeschirmt werden. Dadurch kann eine sehr präzise und zugleich einfache Adressierung jedes einzelnen Qubits einer Menge von zwei oder mehr Qubits erfolgen, auch wenn diese zum Zwecke einer direkten Verschränkung relativ nah bei einander angeordnet sind.

5

Das erfindungsgemäße Verfahren des Adressierens zumindest eines Qubits in einer Menge von zwei und mehr Qubits ist dadurch gekennzeichnet, dass das zu adressierende Qubit einem elektromagnetischen Feld ausgesetzt wird, während zumindest ein anderes Qubit der Menge Qubits einem elektromagnetischen Gegenfeld so ausgesetzt wird, dass das elektro-
10 magnetische Feld keine Wirkung auf das andere Qubit hat (zum Zwecke der reinen Abschirmung dieses anderen Qubits) oder dass das elektromagnetische Feld eine andere Wirkung auf das andere Qubit hat als auf das zu adressierende Qubit (zum Zwecke einer unterschiedlichen Adressierung). Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird unter „Adressierung“ nicht nur die Auswahl eines Qubits zur Änderung seines Zustandes verstan-
15 den, sondern auch die eigentliche Änderung seines Zustandes im Rahmen einer Quantum Gatter-Operation (auch Quantum Gate Operationen genannt). Als Gatter-Operationen kommen Single-Gate oder Zwei- oder Mehr-Gate Operationen in Frage; letzteres erfolgt meistens in Abhängigkeit vom Zustand eines Qubits (Beispiel CNOT Gate). Das erfindungsgemäße „Verfahren zur Adressierung eines Qubits“ ist somit genauer gesagt ein „Verfahren
20 zur Auswahl eines Qubits und/oder zur Änderung des Zustands eines Qubits“.

Die Adressierung erfolgt somit über die Auswahl der gewünschten Qubits und der Ausführung von Quanten Gatter Operationen auf diesen Qubits. Währenddessen werden die anderen Qubits abgeschirmt bzw. die Gegenfelder so angepasst, dass darauf eigene
25 Quanten Gatter Operationen optimiert werden.

Quantum Gate Operationen basieren z.B. auf die Änderung des Spin-Zustandes des Qubits durch Einwirkung eines zeitlich variierenden Magnetfeldes einer bestimmten Dauer. Dabei ist die Pulsform so eingestellt, dass ein wohldefinierten Zustand mit geringer Fehlerrate
30 erreicht wird. Bei verschränkten Qubits, zur Steuerung von Register oder zur Fehlerkorrektur können mehrere Qubits gleichzeitig adressiert werden. Typischerweise werden für die Pulsformen eine Trägerfrequenz in einem Frequenzbereich von 500MHz bis zu 50 Ghz für Elektronenspinsysteme und ein Frequenzbereich von 1kHz- 100 MHz für nukleare Spinsysteme genutzt.

Das genaue Vorgehen bei den Quantum Gate Operationen ist nicht Gegenstand dieser Erfindung. Es kann beispielsweise dem Artikel „Protecting a Diamond Quantum Memory by Charge State Control“ von M. Pfender et al., Nano Lett. 2017, 17, 10, 5931-5937, entnommen werden, deren diesbezüglicher Inhalt hiermit vollumfänglich aufgenommen wird.

Die elektromagnetischen Felder und die elektromagnetischen Gegenfelder werden dabei in Abhängigkeit von der elektromagnetischen Quelle und der Lage der Qubits in Bezug auf diese Quelle speziell abgestimmt, um jeweils für die Qubits die jeweils gewünschte Adressierung oder Nichtadressierung zu erreichen.

Durch die Linearität der Maxwellgleichungen können so unterschiedliche individuelle Adressierungen jedes einzelnen Qubits erfolgen. Im Detail können folgende Adressierungsarten verwirklicht werden:

- jedes Qubit kann gesondert zu einem bestimmten Zeitpunkt adressiert werden, während die anderen Qubits nicht adressiert werden,
- zwei und mehr Qubits können gleichzeitig identisch adressiert werden, während die anderen Qubits nicht adressiert werden,
- zwei und mehr Qubits können gleichzeitig unterschiedlich adressiert werden, während die übrigen Qubits nicht adressiert werden,
- zwei und mehr Qubits können gleichzeitig identisch adressiert werden, während gleichzeitig zumindest ein weiteres Qubit unterschiedlich adressiert wird und die übrigen Qubits nicht adressiert werden,
- zwei und mehr Qubits können gleichzeitig identisch adressiert werden, während die restlichen Qubits gleichzeitig unterschiedlich adressiert werden
- alle Qubits können gleichzeitig unterschiedlich adressiert werden.

Dabei findet durch die jeweils für jedes Qubit in Bezug auf die Adressierung der anderen Qubits speziell angepassten elektromagnetischen Gegenfelder kein Übersprechen zwischen der Adressierung der Qubits statt.

Jedes Qubit kann somit mit elektromagnetischen Feldern und elektromagnetischen Gegenfeldern zur selben Zeit beaufschlagt werden, wobei durch die Superposition der elektromagnetischen Felder und elektromagnetischen Gegenfelder zugleich die gewünschte

Quantum Gatter Operation und Abschirmung erfolgt. Dabei muss nicht das elektromagnetische Feld selbst exakt einer Quantum Gatter-Operation auf dem einen Qubit und das elektromagnetische Gegenfeld exakt der Abschirmung des anderen Qubits dienen, sondern es sind Mischformen möglich, so können beispielsweise auch das elektromagnetische Feld des einen Qubits und das elektromagnetische Gegenfeld des anderen Qubits zur Realisierung der Quantum-Gatter-Operation des anderen Qubits verwendet werden.

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass das elektromagnetische Feld und das elektromagnetische Gegenfeld amplitudenmoduliert sind, wobei eine zeitliche Variation zwischen der Modulation des elektromagnetischen Feldes und des elektromagnetischen Gegenfeldes besteht. Dadurch ist das Verfahren besonders einfach und effektiv umsetzbar.

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass als das elektromagnetische Feld und als das elektromagnetische Gegenfeld elektromagnetische Nahfelder verwendet werden, wobei die elektromagnetischen Nahfelder bevorzugt magnetische Nahfelder sind, die insbesondere eine Frequenz im Mikrowellenbereich und/oder Kilohertzbereich aufweisen. Elektromagnetische Nahfelder koppeln sehr gut an benachbarte Qubits an, wobei es aufgrund der Laplace-Gleichungen zu einer maximalen Feldüberhöhung in der Nähe der Quelle des elektromagnetischen Nahfeldes kommt. Diese Nahfelder sind unabhängig von der Wellenlänge des verwendeten elektromagnetischen Feldes bzw. Gegenfeldes und lassen sich durch Überlagerung lokal verstärken bzw. begrenzen. Felder im Kilohertzbereich (Bereich 0 kHz bis 1 GHz) können zur Adressierung der Kernspins verwendet werden, während Felder im Mikrowellenbereich (Bereich 0 GHz bis 50 GHz, bevorzugt im Bereich 2,87 GHz) zur Adressierung der Elektronenspins verwendet werden können.

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, als Qubits Farbzentren, bevorzugt NV-Zentren im Diamant, zu verwenden. Diese lassen sich besonders einfach und mit hohen Umwandlungsraten herstellen, wie in der DE 10 2019 117 423.6 gezeigt ist, deren diesbezüglicher Inhalt hiermit vollumfänglich einbezogen wird.

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass zur Bereitstellung der elektromagnetischen Felder und Gegenfelder elektromagnetische Quellen, bevorzugt elektrisch leitfähige Strukturen, verwendet werden, die einzelnen Qubits zugeordnet sind. Dadurch

können die elektromagnetischen Felder und Gegenfelder besonders einfach lokal jedem einzelnen Qubit zugewiesen werden.

5 In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass die elektrisch leitfähigen Strukturen als Leitungen, Metallisierungen, Drähte oder dgl. für ein elektromagnetisches Feld, bevorzugt ein elektromagnetisches Hochfrequenzfeld bereitgestellt werden. Die leitfähigen Strukturen sollten dazu insbesondere Hochfrequenz übertragungsfähig sein. Vorzugsweise besitzen dazu die leitfähigen Strukturen eine kleinere Dimension (Durchmesser – die Länge kann größer sein) als der Abstand benachbarter Qubits. Dadurch kann das Verfahren
10 besonders einfach umgesetzt werden.

In einer bevorzugten Ausgestaltung werden als Qubits Farbzentren verwendet, wobei die elektromagnetischen Felder und elektromagnetischen Gegenfelder durch elektrisch leitfähige Strukturen bereitgestellt werden, die eine kleinere Dimension besitzen als der Abstand
15 benachbarter Qubits. Dadurch lassen sich die Qubits besonders einfach adressieren.

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass eine zur Anzahl an Qubits identische Anzahl an leitfähigen Strukturen besteht, wodurch die Adressierung besonders einfach möglich ist.
20

Allerdings muss nicht zwingend eine zur Anzahl der Qubits identische Anzahl an leitfähigen Strukturen bestehen, weil die Felder aus unterschiedlichen leitfähigen Strukturen überlagert werden können und auch Gradientenfelder gebildet werden können. Damit das System nicht unterbestimmt ist, könnten man auf den leitfähigen Strukturen ein zusätzliches
25 elektrischen quasistatisches Feld erzeugen und z.B. über den Starkeffekt oder den Zeemaneffekt eine Adressierung erreichen. Dies führt zu einer definierten Frequenzverschiebung und macht die anderen Qubits für die elektromagnetischen Felder quasi unsichtbar. In dem einfachsten Fall legt man an einer Leitung einen definierten Bias an (z.B. 10V) und nur am Kreuzungspunkt addieren sich die Spannungen (20V) und führen zu der abgestimmte
30 Frequenz des elektromagnetischen Feldes. Dadurch wäre es beispielsweise auch möglich, an zwei oder drei Qubits gleichzeitig Quanten Gatter Operationen durchzuführen. Eventuell auftretende Fehler durch mit Biasänderungen verbundenen Pulsen könnten dann über mehre zeitlich getrennte Pulsfolgen korrigiert werden.

So könnte ein Feld von beispielsweise 9 Qubits, die als orthogonales 3 x 3 Raster in einer Ebene angeordnet sind, durch 6 erste elektrisch leitfähige Drähte adressiert werden, die in zwei Ebenen bestehen, wobei jede Ebene 3 parallel zueinander angeordnete erste elektrisch leitfähige Drähte aufweist; die Drähte einer Ebene orthogonal zu den Drähten der anderen Ebene liegen und die einzelnen Drähte voneinander elektrisch isoliert angeordnet sind. Vorzugsweise laufen die Drähte jeweils parallel zu einer Linie von Qubits. Allgemein gesprochen können Raster von $X * Y$ Qubits durch zumindest zwei Ebenen von jeweils zumindest X Leitungen bzw. Y Leitungen adressiert werden. Das Raster und die Drähte müssen dabei nicht zwingend orthogonal angeordnet sein, sie können auch schräg angeordnet sein. Die Adressierung wird in diesem Fall beispielsweise durch ein elektrisches Feld über den Starkeffekt erreicht oder durch ein semistatisches Magnetfeld über den Zeemanneffekt. In beiden Fällen wird die Resonanzfrequenz der Qubits verändert, was wiederum zu Auswahleffekt führt.

Andererseits könnte bei einer dreidimensionalen orthogonalen oder schrägen Anordnung der Qubits ($X * Y * Z$) die Adressierung durch zumindest drei orthogonal oder schräg zueinander stehende Ebenen von zumindest X , Y und Z Drähten erfolgen. Auch hier laufen die Drähte vorzugsweise parallel zu einer Linie von Qubits.

Grundsätzlich reicht es somit, wenn für jedes Qubit eine gesonderte elektrisch leitfähige Struktur, beispielsweise Draht, Leitung oder Metallisierung, besteht. Durch Anordnung der Qubits in 2- oder 3-dimensionalen Rastern kann die Anzahl der notwendigen elektrisch leitfähigen Strukturen aber reduziert werden. Die einzelnen elektrisch leitfähigen Strukturen müssen dabei in jedem Fall elektrisch voneinander isoliert angeordnet sein, was beispielsweise durch ein Isolatormaterial innerhalb einer Ebene zwischen einzelnen elektrisch leitfähigen Strukturen und eine Isolatorschicht zwischen verschiedenen Ebenen mit elektrisch leitfähigen Strukturen erreicht werden kann.

Die elektromagnetischen Quellen bzw. leitfähigen Strukturen können gleichzeitig zum Auslesen der Qubits verwendet werden, wozu beispielsweise mittels eines Lichtpulses Photoelektronen in dem auszulesenden Qubit erzeugt und über die elektromagnetischen Quellen bzw. leitfähigen Strukturen erfasst werden. Hierzu sollte noch zusätzliche zumindest eine Erdung bereitgestellt werden. Diese Erdung kann beispielsweise als Rückseitenkontakt einer dünnen Schicht bestehen, wobei die die Qubits in der dünnen Schicht

vorliegen, oder es bestehen ein oder mehrere weitere leitfähige Strukturen, die geerdet sind.

Das genaue Vorgehen bei der Auslesung ist nicht Gegenstand dieser Erfindung. Es kann
5 beispielsweise dem Artikel „Photoelectrical imaging and coherent spin-state readout of single nitrogen-vacancy centers in diamond“ von P. Siyushev et al., Science, 363, 6428, 728-731 entnommen werden, deren diesbezüglicher Inhalt hiermit vollumfänglich aufgenommen wird.

10 In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Qubits in einem transparenten Material bestehen, so dass eine Formatierung der Qubits, bevorzugt eine gleichzeitige Formatierung mehrerer, insbesondere aller Qubits, mittels einer optischer Strahlung, vorzugsweise einer LASER-Strahlung, erfolgen kann, so wie es beispielsweise ebenfalls in dem Artikel „Photoelectrical imaging and coherent spin-state readout of single nitrogen-
15 vacancy centers in diamond“ von P. Siyushev et al., Science, 363, 6428, 728-731 entnommen beschrieben ist, deren diesbezüglicher Inhalt hiermit vollumfänglich aufgenommen wird. Wenn leitfähige Strukturen als elektromagnetische Quellen verwendet werden, dann sollten diese möglichst transparent ausgebildet sein, um die Bestrahlung nicht zu verschatten. Es könnte sich beispielsweise um Leitungen oder Drähte aus einem Metalloxid, wie ITO
20 (Indium-Zink-Oxid) handeln. Im Fall nicht transparenter leitfähiger Strukturen können diese so dimensioniert werden, dass die Bestrahlung durch Beugung das entsprechende Qubit erreichen kann.

Selbständiger Schutz wird beansprucht für die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Adressierung
25 zumindest eines Qubits in einer Menge von zwei oder mehr Qubits, die dadurch gekennzeichnet ist, dass Mittel zur Erzeugung eines elektromagnetischen Feldes bestehen, die so ausgebildet sind, dass das zu adressierende Qubit dem elektromagnetischen Feld ausgesetzt werden kann, und dass Mittel zur Erzeugung zumindest eines elektromagnetischen Gegenfelds bestehen, die so ausgebildet sind, dass zumindest ein anderes Qubit der
30 Menge Qubits dem elektromagnetischen Gegenfeld so ausgesetzt werden kann, dass das elektromagnetische Feld des zu adressierenden Qubits keine Wirkung auf das andere Qubit hat oder dass das elektromagnetische Feld eine andere Wirkung auf das andere Qubit hat als auf das zu adressierende Qubit.

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Vorrichtung angepasst ist, das erfindungsgemäße Verfahren durchzuführen.

5 In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass erste elektromagnetische Quellen, bevorzugt erste elektrisch leitfähige Strukturen, insbesondere Leitungen, Drähte, Metallisierungen und dgl., zur Erzeugung der elektromagnetischen Felder und der elektromagnetischen Gegenfelder bestehen, wobei jedem Qubit zumindest eine elektromagnetische Quelle, bevorzugt eine erste elektrisch leitfähige Struktur, zugeordnet ist. Dadurch können die elektromagnetischen Felder und Gegenfelder besonders einfach den einzelnen Qubits
10 zugewiesen werden.

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass mehrere erste elektromagnetische Quellen, bevorzugt erste elektrisch leitfähige Strukturen, insbesondere in der Form von Drähten, in einer Ebene angeordnet sind, wobei die Qubits einen Abstand senkrecht zu
15 dieser Ebene von ihrer jeweils zugeordneten elektromagnetischen Quelle von höchstens 30 nm, bevorzugt von höchstens 20 nm, insbesondere im Bereich 0 nm bis 10 nm aufweisen. Dadurch lassen sich besonders einfach elektromagnetische Nahfelder erzeugen, die sehr stark an das benachbarte Qubit ankoppeln, wobei es aufgrund der Laplace-Gleichungen zu einer maximalen Feldüberhöhung kommt. Diese Nahfelder sind unabhängig von der Wellenlänge
20 des verwendeten elektromagnetischen Feldes bzw. Gegenfeldes und lassen sich durch Überlagerung lokal verstärken bzw. begrenzen.

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass zumindest eine erste elektrisch leitfähige Struktur wahlweise mit einer elektromagnetischen Anregung oder einer Photoelektronenerfassung verbindbar ist. Dadurch können die elektrisch leitfähigen Strukturen
25 sowohl zur Adressierung als auch zur Auslesung verwendet werden.

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass mehrere erste elektromagnetische Quellen, bevorzugt erste elektrisch leitfähige Strukturen, insbesondere in der Form
30 von Drähten, in einer Ebene angeordnet sind, wobei die Qubits projiziert auf diese Ebene einen Abstand von der jeweils zugeordneten ersten elektromagnetischen Quelle von höchstens 20 nm, bevorzugt von höchstens 10 nm, insbesondere im Bereich 0 nm bis 5 nm aufweisen. Auch dadurch lassen sich besonders einfach elektromagnetische Nahfelder erzeugen, die sehr stark an das benachbarte Qubit ankoppeln, wobei es aufgrund der Laplace-

Gleichungen zu einer maximalen Feldüberhöhung kommt. Diese Nahfelder sind unabhängig von der Wellenlänge des verwendeten elektromagnetischen Feldes bzw. Gegenfelds und lassen sich durch Überlagerung lokal verstärken bzw. begrenzen.

- 5 In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass zumindest eine zweite elektrische leitfähige Struktur, bevorzugt ein zweiter elektrisch leitfähiger Draht, eine Leitung oder eine Metallisierung oder eine Elektrode besteht, die die Erdung für das Auslesen der Qubits bildet, wobei die zweite elektrisch leitfähige Struktur bevorzugt benachbart zu einer ersten elektromagnetischen Quelle angeordnet ist, insbesondere in einem Abstand in einer Ebene
10 von höchstens 40 nm, bevorzugt höchstens 30 nm, insbesondere in einem Bereich von 10 nm bis 20 nm.

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass zumindest eine zweite elektrisch leitfähige Struktur als Rückseitenkontakt einer relativ dünnen Schicht besteht, wobei sich
15 für Diamant eine Schichtdicke von höchstens 100 nm, bevorzugt höchstens 80 nm, insbesondere höchstens 60 nm, empfiehlt. Dadurch erfolgt das Auslesen besonders effizient.

- In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass die ersten elektrisch leitfähigen Drähte und/oder die zweiten elektrisch leitfähigen Drähte
20 i) einen Querschnitt mit einer Längsdimension von weniger als 50 nm, bevorzugt von weniger als 20 nm, insbesondere im Bereich 1 nm bis 10 nm aufweisen und/oder
ii) eine Länge von weniger als 50 nm, bevorzugt von weniger als 30 nm, insbesondere von 5 nm bis 20 nm aufweisen. Dadurch lassen sich besonders gut elektromagnetische Nahfelder erzeugen.

25

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass die Qubits ein-, zwei- oder dreidimensional angeordnet sind. Dadurch lassen sich besonders gut zahlreiche Qubits miteinander verschränken und dennoch unabhängig voneinander adressieren.

- 30 In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass die elektrisch leitfähigen Strukturen eindimensional, zweidimensional oder dreidimensional angeordnet sind, wobei bevorzugt zwei oder mehr Ebenen bestehen, in denen elektrisch leitfähige Drähte, insbesondere parallel zueinander, angeordnet, wobei die elektrisch leitfähigen Strukturen verschiedener Ebenen unterschiedlich angeordnet sind, wobei zwischen zwei Ebenen vorzugsweise ein

elektrischer Isolator angeordnet ist. Dadurch können die Qubits leicht adressiert und wieder ausgelesen werden. Bevorzugt sind die elektrisch leitfähigen Strukturen unterschiedlicher Ebenen schräg zueinander, vorzugsweise orthogonal zueinander angeordnet, weil sich dann elektromagnetische Felder mit elliptischer bzw. zirkularer Polarisation erzeugen lassen, wodurch sich Qutrits (double quantum transitions, vgl. den Artikel „Room temperature entanglement between distant single spins in diamond“ von F. Dolde et al., Nature Physics, 9, 139–143 (2013)) erzeugen lassen.

In einer bevorzugten Ausgestaltung sind die Qubits Farbzentren, wobei die Mittel zur Erzeugung der elektromagnetischen Felder und der elektromagnetischen Gegenfelder elektrisch leitfähige Strukturen umfassen, die eine kleinere Dimension besitzen als der Abstand benachbarter Qubits. Dadurch lassen sich die Qubits besonders einfach adressieren.

Weiterhin wird selbständiger Schutz beansprucht für das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung, das sich dadurch auszeichnet, dass zwei oder mehrere Qubits in einem Umgebungsmaterial erzeugt werden und auf dem Umgebungsmaterial erste elektrisch leitfähige Strukturen angeordnet werden.

In einer vorteilhaften Weiterbildung ist vorgesehen, dass zusätzlich zumindest einer der nachfolgenden Schritte durchgeführt wird:

- Wahl einer Diamantschicht (als bulk-Material oder als Schicht auf einem Substrat) als das Umgebungsmaterial,
- Dotierung des Umgebungsmaterials mit einem Dotanden, vorzugsweise Schwefel, Phosphor oder Sauerstoff,
- Durchführung eines ersten Temperierungsschrittes nach der Dotierung,
- Durchführung eines zweiten Temperierungsschrittes nach der Erzeugung der Qubits,
- Aufbringung von zweiten elektrisch leitfähigen Strukturen zum Auslesen der Qubits.

Genauere Angaben zur Erzeugung der Qubits können der DE 10 2019 117 423.6 entnommen werden.

Die elektrisch leitfähigen Strukturen, wie Leitungen, Drähte und Metallisierungen, können mit verschiedenen Verfahren hergestellt werden. Zum einen ist ein Drucken möglich. Dann können sie durch Masken hindurch aufgebracht werden. Außerdem können Drähte auch

direkt geschrieben werden, beispielsweise mit einer AFM-Spitze, wie es in dem Artikel „Atomic force microscope integrated with a scanning electron microscope for correlative nanofabrication and microscopy“ von I.W. Rangelow et al., J. Vac. Sci. Technol. B 36 (6), Nov/Dec 2018 beschrieben ist.

5

Die Erzeugung der Qubits kann in einer bevorzugten Ausgestaltung die Implantation von Fremdatomen umfassen, die entsprechende dem in der Veröffentlichung „Nanoscale Engineering and Optical Addressing of Single Spins in Diamond“, S. Pezzagna et al., small 2010, 6, No. 19, 2117-2121 beschriebenen Verfahren mittels einer AFM-Spitze erfolgt, weil
10 dadurch eine sehr genaue Positionierung der Qubits ermöglicht wird.

In einer bevorzugten Ausgestaltung werden als Qubits Farbzentren erzeugt und die elektrisch leitfähigen Strukturen werden so erzeugt, dass sie eine kleinere Dimension besitzen als der Abstand benachbarter Qubits. Dadurch lassen sich die Qubits besonders
15 einfach adressieren.

Die Merkmale und weitere Vorteile der vorliegenden Erfindung werden im Folgenden anhand der Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele im Zusammenhang mit den Figuren deutlich. Dabei zeigen rein schematisch:

20

Fig. 1 die erfindungsgemäße Vorrichtung in einer ersten bevorzugten Ausgestaltung in einer Ansicht von oben,

Fig. 2 die erfindungsgemäße Vorrichtung nach Fig. 1 in einer Schnittansicht von der Seite,

25

Fig. 3 die erfindungsgemäße Vorrichtung in einer ersten bevorzugten Ausgestaltung in einer Ansicht von oben und

Fig. 4 die erfindungsgemäße Vorrichtung nach Fig. 3 in einer Schnittansicht von der Seite.

30

In den Fig. 1 und 2 ist eine erste bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 10 näher dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass die Vorrichtung 10 ein Diamant-Bulk-Material 12 aufweist, in dem zwei Qubits 14, 16 in einer Tiefe von ca. 10 nm unterhalb der Oberfläche 18 des Diamantmaterials 12 angeordnet sind.

5 Direkt oberhalb der beiden Qubits 14, 16 sind erste elektrisch leitfähige Drähte 20, 22 aus ITO (Indium-Tin-Oxide) angeordnet. Außerdem besteht ein zweiter elektrisch leitfähiger Draht 24, der aus Wolfram gebildet ist. Zur Kontaktierung weisen diese Drähte 20, 22, 24 jeweils entsprechende Kontaktflächen 26 auf, an die jeweils elektrische Anschlüsse (nicht gezeigt) angebondet werden können.

10

Die beiden ersten Drähte 20, 22, die der Adressierung und dem Auslesen der beiden Qubits 14, 16 dienen, weisen einen Abstand von etwa 20 nm bis 30 nm auf, was somit auch dem Abstand der beiden Qubits 14, 16 entspricht. Dadurch können sich diese Qubits 14, 16 leicht verschränken.

15

Der zweite Draht 24, der die Erdung für das Auslesen der Qubits 14, 16 bildet, ist mittig zwischen den beiden ersten Drähten 20, 22 angeordnet und weist somit einen Abstand von 10 nm bis 15 nm von diesen ersten Drähten 20, 22 auf. Alle Drähte 20, 22, 24 sind zueinander planparallel auf der Oberfläche 18 angeordnet. Sie weisen im geraden Bereich (vgl. Fig. 2) zwischen den Kontaktfläche 26 eine Länge von 5 nm bis 30 nm, bevorzugt 20 nm auf und eine Höhe und Breite im Bereich 1 nm bis 10 nm, bevorzugt von 5 nm.

20

Die Vorrichtung 10 funktioniert nun so, dass eine zeitgleiche Formatierung der Qubits 14, 16 durch einen geeigneten LASER-Puls durch die Oberfläche 18 gegeben wird, der durch die transparenten Drähte 20, 22 aus ITO ohne weiteres die Qubits 14, 16 erreicht. Dabei findet durch den Laser-Puls eine Spinpolarisation statt und alle Qubits 14, 16 gehen in den Grundzustand über. Dadurch hat man einen definierten und bekannten Ausgangszustand (Formatierung).

25

30 Alternativ könnten die Drähte 20, 22 beispielsweise auch aus Silber oder Gold gebildet sein, wobei dann aufgrund der sehr schmalen Dimensionierung der Drähte 20, 22 eine Beugung des LASER-Pulses um diese Drähte 20, 22 stattfindet, so dass auch dann der LASER-Puls die Qubits 14, 16 zur Formatierung erreicht.

Anschließend können die Qubits 14, 16 einzeln oder gemeinsam adressiert werden. Hierzu werden die Kontakte 26 der jeweiligen Drähte 20, 22 mit einem geeigneten hochfrequenten Strom beaufschlagt, der zur Adressierung der Kern-Spins der Qubits 14, 16 im Kilohertzbereich liegt. Durch den in den Drähten 20, 22 fließenden Strom wird jeweils ein Magnetfeld
5 induziert, das auf den jeweiligen Qubit 14, 16 einwirkt.

Dabei bildet sich in unmittelbarer Umgebung der Drähte 20, 22 ein magnetisches Nahfeld aus, das aufgrund der Laplace-Gleichungen im Bereich der jeweils benachbart angeordneten Qubits 14, 16 überhöht ausgebildet ist und damit besonders gut auf die Kern-Spins
10 dieser Qubits 14, 16 einwirkt.

Jedem Qubit 14, 16 wird so das passende magnetische Nahfeld aufgespeist, wodurch es adressiert wird. Zugleich wird dem jeweils anderen Qubit 16, 14 ein magnetisches Gegenfeld aufgespeist, das am Ort des jeweils anderen Qubits 16, 14 die magnetischen Feldkomponenten der zur Adressierung der Qubits 14, 16 verwendeten magnetischen Nahfelder so
15 kompensiert, so dass kein Crosstalk stattfinden kann.

Dadurch können sowohl beide Qubits 14, 16 zugleich unterschiedlich oder auch identisch adressiert werden, als auch eine Adressierung ausschließlich eines einzelnen Qubits 14, 16
20 unabhängig von der Adressierung des anderen Qubits 16, 14 stattfinden.

Zum Auslesen der Qubits 14, 16 könnte beispielsweise wiederum eine geeignete einheitliche LASER-Bestrahlung stattfinden, wodurch in beiden Qubits 14, 16 Photoelektronen erzeugt werden, die dann über die jeweils zugeordneten ersten Drähte 20, 22 abgeschöpft
25 und gemessen werden, wobei der zweite Draht 24 als Erdung dient. Dazu bestehen Umschalter, so dass die Drähte 20, 22 einmal zur Formatierung (also Stromzuführung) und einmal zum Auslesen (also Strommessen) verwendet werden können.

Alternativ könnten auch jedem Qubit 14, 16 gesondert geeignete LASER-Pulse durch
30 geeignete Beleuchtungsmittel zugespeist werden, so dass die Qubits 14, 16 einzeln auslesbar sind.

Die Herstellung der Vorrichtung 10 könnte beispielsweise folgendermaßen erfolgen: Es wird eine Herstellung der Qubits 14, 16 unter Dotierung des Diamanten 12 mit anschließenden

ersten und zweiten Temperierungsschritten entsprechend der DE 10 2019 117 423.6 vorgenommen, wobei die Schritte der Kontaktierung mit dem zweiten Draht 24 und der Maskierung sowie Kontaktierung mit den ersten Drähten 20, 22 in dieses Herstellungsverfahren geeignet integriert werden.

5

Genauer gesagt, wird ein Diamant 12 mit Schwefel oder einem anderen geeigneten Dotanden dotiert und einem ersten Temperierungsschritt bei etwa 1000°C unterzogen. Anschließend wird der zweite Draht 24 aus Wolfram zusammen mit den jeweiligen Kontaktflächen 26 beispielsweise mittels einer wieder entfernbaren Maske auf der Oberfläche 18 des
10 Diamanten 12 aufgedampft.

10

Danach wird eine Kontaktmaske (in Fig. 1 der Übersichtlichkeit halber nicht gezeigt) aus Glas oder Siliziumkarbid auf der mit dem zweiten Draht 24 versehenen Oberfläche 18 des Diamanten 12 angeordnet, die zwei Öffnungen besitzt, die die Form der ersten Drähte 20,
15 22 aufweisen, und die im gewünschten Abstand von dem zweiten Draht 24 angeordnet sind.

15

Entsprechende Maskenherstellungsverfahren sind dem Fachmann geläufig, so dass hierauf nicht näher eingegangen werden muss.

20

Durch diese Maske erfolgt eine Implantation von Stickstoff, um die Qubits 14, 16 zu erzeugen. Dadurch wird auch die Position der Qubits 14, 16 unter den später gebildeten ersten Drähten 20, 22 exakt vorgegeben.

25

Nach einem zweiten Temperierungsschritt bei etwa 800°C werden die ersten Drähte 20, 22 zusammen mit den jeweiligen Kontaktflächen 26 aus ITO durch die Maske aufgedampft und so die Vorrichtung 10 fertig gestellt.

30

In den Fig. 3 und 4 ist eine zweite bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 50 näher dargestellt.

Aus den Fig. 3 und 4 ist zu erkennen, dass die Vorrichtung 50 ein Diamant-Schicht-Material 52 aufweist, in dem neun Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 in einer Tiefe von ca. 10 nm unterhalb der Oberfläche 72 des Diamantmaterials 52 angeordnet sind.

Direkt oberhalb der neun Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 sind drei erste elektrisch leitfähige Drähte 74, 76, 78 aus ITO in einer ersten Ebene 80 angeordnet. Diese ersten Drähte 74, 76, 78 sind mit einer Isolatorschicht 82 überdeckt, die beispielsweise aus einem Oxid, insbesondere SiO₂ gebildet sein kann. Auf der Oberfläche 84 der Isolatorschicht 82 sind drei weitere erste elektrisch leitfähige Drähte 86, 88, 90 in einer zweiten Ebene 92 angeordnet.

Die Drähte 74, 76, 78 in der ersten Ebene 80 sind planparallel zueinander ausgerichtet und die Drähte 86, 88, 90 in der zweiten Ebene 92 sind planparallel zueinander ausgerichtet. Die Drähte 74, 76, 78 der ersten Ebene 80 sind orthogonal zu den Drähten 86, 88, 90 der zweiten Ebene 92 ausgerichtet und alle Drähte sind voneinander elektrisch isoliert. Entsprechende Kontaktflächen wurden hier zur Vereinfachung der Darstellung nicht gezeigt. Auch diese ersten elektrisch leitfähigen Drähte 74, 76, 78, 86, 88, 90 weisen eine Höhe und Breite im Bereich 1 nm bis 10 nm, bevorzugt von 5 nm auf. Die Länge der geraden Abschnitte der Drähte 74, 76, 78, 86, 88, 90 ragt jeweils etwa 5 nm bis 10 nm über die äußeren Qubits 54, 56, 58, 60, 64, 66, 68, 70 hinaus.

Diese ersten elektrisch leitfähigen Drähte 74, 76, 78, 86, 88, 90 dienen wiederum der Adressierung und dem Auslesen der Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 und weisen einen Abstand von etwa 20 nm bis 30 nm in der jeweiligen Ebene 80, 92 auf, was somit auch dem Abstand der direkt unter den virtuellen Schnittpunkten der Drähte 74, 76, 78, 86, 88, 90 (vgl. Fig. 4) angeordneten Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 entspricht. Durch den Abstand von 20 nm bis 30 nm können sich die Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 leicht verschränken.

Anstelle ein oder mehrerer zweiter elektrisch leitfähiger Drähte, wie bei der Vorrichtung nach Fig. 1 und 2, besteht hier ein gemeinsamer Rückseitenkontakt 94, beispielsweise aus Wolfram, der sich zwischen der Diamantschicht 52 und einem Substrat 96 befindet. Dieser Rückseitenkontakt 94 dient als gemeinsame Erdung für das Auslesen der einzelnen Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70.

Die Vorrichtung 50 funktioniert nun so, dass eine zeitgleiche Formatierung der Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 durch einen geeigneten LASER-Puls durch die Oberfläche 84

gegeben wird, der durch die transparenten Drähte 74, 76, 78, 86, 88, 90 aus ITO ohne weiteres die Qubits 14, 16 erreicht.

Die Adressierung der einzelnen Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 kann nun dadurch
5 erfolgen, dass jedem Qubit 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 jeweils zwei erste Drähte 74,
76, 78, 86, 88, 90 zugeordnet sind, wodurch durch unterschiedliche geeignete Signale auf
den sich jeweils kreuzenden ersten Drähten 74, 76, 78, 86, 88, 90 jeder einzelne Qubit 54,
56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 durch die sich individuell ausbildenden magnetischen Nahfel-
der individuell adressiert werden kann. Genauer gesagt befinden sich die Qubits 54, 56, 58,
10 60, 62, 64, 66, 68, 70 in Bezug auf eine Projektion auf die Ebenen 80, 92 in der Nähe von
Kreuzungspunkten von ersten Drähten 74, 76, 78, 86, 88, 90, so dass sich in den sich
kreuzenden Drähten 74, 76, 78, 86, 88, 90 angelegte magnetische Hochfrequenzfelder sich
überlagern, so dass sich für jedes Qubit 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 individuelle
magnetische Nahfelder einstellen. Durch individuell angepasste magnetische Gegenfelder in
15 diesen individuellen Nahfeldern werden dabei die Einflüsse der magnetischen Nahfelder der
jeweils übrigen Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 ausgeschaltet bzw. ausreichend
reduziert.

Durch die sich kreuzenden Drähte 74, 76, 78, 86, 88, 90 können so elliptisch oder zirkular
20 polarisierte magnetische Nahfelder für jeden Qubit 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 erzeugt
werden, so dass Qutrit-Zustände herstellbar sind.

Zum Zwecke des Auslesens der Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 wird beispielsweise
ein geeigneter LASER-Puls verwendet, wobei die ersten Drähte 74, 76, 78, 86, 88, 90 von
25 einer Stromspeisung umgeschaltet werden auf eine Strommessung und der Rückseitenkon-
takt als Erdung für die erzeugten Photoelektronen dient. Durch die Kombination der
einzelnen Messsignale der ersten Drähte 74, 76, 78, 86, 88, 90 kann jedem Qubit 54, 56, 58,
60, 62, 64, 66, 68, 70 sein spezielles Messsignal zugeordnet werden.

30 Die Herstellung der Vorrichtung 50 könnte beispielsweise folgendermaßen erfolgen: Es wird
eine Herstellung der Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 unter Dotierung des Diamant-
Schichtmaterials 52 mit anschließenden ersten und zweiten Temperierungsschritten
entsprechend der DE 10 2019 117 423.6 vorgenommen, wobei die Schritte der Kontaktie-

rung mit dem Rückseitenkontakt 94 und der Kontaktierung mit den ersten Drähten 74, 76, 78, 86, 88, 90 in dieses Herstellungsverfahren geeignet integriert werden.

Genauer gesagt, wird hier auf einem geeigneten Substratmaterial 96 ein Rückseitenkontakt 5 94 aus Wolfram durch Abscheiden, beispielsweise Aufspütern, erzeugt und darauf eine Diamant-Schicht 52 beispielsweise durch Gasphasenabscheidung angeordnet. Diese Diamantschicht 52 wird mit Schwefel oder einem anderen Dotanden gemäß der DE 10 2019 117 423.6 dotiert und einem ersten Temperierungsschritt bei etwa 1000°C unterzogen.

10

Anschließend wird Stickstoff zur Erzeugung der Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 implantiert, wobei zur genauen Positionierung der Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 der Stickstoff mit einer AFM-Spitze implantiert wird. Dieses Verfahren ist beispielsweise grundsätzlich in dem Artikel „Nanoscale Engineering and Optical Addressing of Single Spins 15 in Diamond“, S. Pezzagna et al., small 2010, 6, 19, 2117-2121 beschrieben. Zur Orientierung können Hilfsmarkierungen in Form von Graphit-Marken oder Metalldrähten außerhalb des mit den Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 zu versiehenden Oberflächenbereichs angeordnet werden.

20

Nach einem zweiten Temperierungsschritt bei etwa 800°C werden die ersten Drähte 74, 76, 78 der Ebene 80, beispielsweise aus Silber, mit Hilfe einer AFM-Spitze auf der Oberfläche 72 des Diamantmaterials 52 gezeichnet und entsprechende Kontaktflächen (nicht gezeigt) erzeugt. Anschließend wird eine geeignete elektrische Isolatorschicht 82, wie beispielsweise aus SiO₂, auf der Oberfläche 72 des Diamantmaterials 52 angeordnet, wodurch die 25 ersten Drähte 74, 76, 78 überdeckt werden. Schließlich werden die ersten Drähte 86, 88, 90 der zweiten Ebene 92 auf der Oberfläche 84 der Isolatorschicht 82 ebenfalls durch Zeichnen mit der AFM-Spitze angeordnet.

30

Das Drahtzeichnen mit der AFM-Spitze kann dabei entsprechend dem in der Veröffentlichung „Atomic force microscope integrated with a scanning electron microscope for correlative nanofabrication and microscopy“ von I.W. Rangelow et al., J. Vac. Sci. Technol. B 36 (6), Nov/Dec 2018 grundsätzlich beschriebenen Verfahren erfolgen. Außerdem können wiederum Marker bzw. Hilfsdrähte zur Orientierung verwendet werden.

Alternativ zum Drahtzeichnen mit einer AFM-Spitze können auch wiederum maskenbasierte Verfahren zur Erzeugung der ersten Drähte 74, 76, 78, 86, 88, 90 verwendet werden, wobei diese Masken bevorzugt jedes Mal abgetragen werden, um einen möglichst geringen Abstand zwischen den Drähten 74, 76, 78, 86, 88, 90 und den jeweils zugeordneten Qubits 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 sicherzustellen.

Aus der vorstehenden Darstellung ist deutlich geworden, dass mit der vorliegenden Erfindung eine Adressierung von Qubits 14, 16, 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 auf einfache Art und Weise ermöglicht wird, ohne dass die Gefahr des Übersprechens zwischen verschiedenen Qubits 14, 16, 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 besteht. Die Adressierung kann dabei sowohl einzeln als auch gemeinsam für unterschiedliche Qubits 14, 16, 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 erfolgen. Zusätzlich ist auch ein leichtes Auslesen der Qubits 14, 16, 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 möglich.

Soweit nichts anders angegeben ist, können sämtliche Merkmale der vorliegenden Erfindung frei miteinander kombiniert werden. 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.

Bezugszeichenliste

	10	erste bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung
	12	Diamant-Bulk-Material
5	14, 16	Qubits
	18	Oberfläche des Diamantmaterials 12
	20, 22	erste elektrisch leitfähige Drähte aus ITO (Indium-Tin-Oxide)
	24	zweiter elektrisch leitfähiger Draht aus Wolfram
	26	Kontaktflächen der Drähte 20, 22, 24
10	50	zweite bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung
	52	Diamant-Schicht-Material
	54, 56, 58	Qubits
	60, 62, 64	Qubits
	66, 68, 70	Qubits
15	72	Oberfläche des Diamantmaterials 52
	74, 76, 78	erste elektrisch leitfähige Drähte aus ITO (Indium-Tin-Oxide)
	80	erste Ebene, in der die Drähte 74, 76, 78 angeordnet sind
	82	Isolatorschicht
	84	Oberfläche der Isolatorschicht 82
20	86, 88, 90	erste elektrisch leitfähige Drähte aus ITO (Indium-Tin-Oxide)
	92	zweiten Ebene, in der die Drähte 86, 88, 90 angeordnet sind
	94	Rückseitenkontakt aus Wolfram
	96	Substrat

25

Patentansprüche

1. Verfahren zur Adressierung zumindest eines Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) in einer Menge von zwei oder mehr Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70), **dadurch gekennzeichnet, dass** das zu adressierende Qubit (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) einem elektromagnetischen Feld ausgesetzt wird, während zumindest ein anderes Qubit der Menge Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) einem elektromagnetischen Gegenfeld so ausgesetzt wird, dass das elektromagnetische Feld keine Wirkung auf das andere Qubit (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) hat oder dass das elektromagnetische Feld eine andere Wirkung auf das andere Qubit (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) hat als auf das zu adressierende Qubit (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als das elektromagnetische Feld und als das elektromagnetische Gegenfeld elektromagnetische Nahfelder verwendet werden, wobei die elektromagnetischen Nahfelder bevorzugt magnetische Nahfelder sind, die insbesondere eine Frequenz im Mikrowellenbereich und/oder oder Kilohertzbereich aufweisen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) Farbzentren, bevorzugt NV-Zentren im Diamant (12, 52), verwendet werden.
4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die elektromagnetischen Felder und elektromagnetischen Gegenfelder durch elektromagnetische Quellen (20, 22; 74, 76, 78, 86, 88, 90), bevorzugt elektrisch leitfähige Strukturen, insbesondere Leitungen, Metallisierungen oder Drähte (20, 22; 74, 76, 78, 86, 88, 90) bereitgestellt werden, wobei die elektrisch leitfähigen Strukturen (20, 22; 74, 76, 78, 86, 88, 90) eine kleinere Dimension besitzen als der Abstand benachbarter Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70).
5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) in einem transparenten Material (12; 52) bestehen, so dass eine Formatierung der Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70),

bevorzugt eine gleichzeitige Formatierung mehrerer, insbesondere aller Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70), mittels einer optischer Strahlung, vorzugsweise einer LASER-Strahlung, erfolgen kann.

5 6. Vorrichtung zur Adressierung zumindest eines Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) in einer Menge von zwei oder mehr Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70), **dadurch gekennzeichnet, dass** Mittel (20, 22; 74, 76, 78, 86, 88, 90) zur Erzeugung eines elektromagnetischen Feldes bestehen, die so ausgebildet sind, dass das zu adressierende Qubit (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) dem elektromagnetischen Feld
10 ausgesetzt werden kann, und dass Mittel (20, 22; 74, 76, 78, 86, 88, 90) zur Erzeugung zumindest eines elektromagnetischen Gegenfelds bestehen, die so ausgebildet sind, dass zumindest ein anderes Qubit der Menge Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) einem elektromagnetischen Gegenfeld so ausgesetzt werden kann, dass das elektromagnetische Feld keine Wirkung auf das andere Qubit (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70)
15 hat oder dass das elektromagnetische Feld eine andere Wirkung auf das andere Qubit (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) hat als auf das zu adressierende Qubit (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70).

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung
20 angepasst ist, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4 durchzuführen.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** elektromagnetische Quellen (20, 22; 74, 76, 78, 86, 88, 90), bevorzugt erste elektrisch leitfähige Strukturen, insbesondere Leitungen, Drähte (20, 22; 74, 76, 78, 86, 88, 90) oder Metallisierungen,
25 zur Erzeugung der elektromagnetischen Felder und der elektromagnetischen Gegenfelder bestehen, wobei jedem Qubit (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) zumindest eine elektromagnetische Quelle zugeordnet ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** mehrere elektromagnetische Quellen (20, 22; 74, 76, 78, 86, 88, 90) in einer Ebene angeordnet sind,
30 wobei die Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) einen Abstand senkrecht zu dieser Ebene von der jeweils zugeordneten elektromagnetischen Quelle von höchstens 30 nm, bevorzugt von höchstens 20 nm, insbesondere im Bereich 0 nm bis 10 nm aufweisen und/oder

wobei die Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) projiziert auf diese Ebene einen Abstand von der jeweils zugeordneten elektromagnetischen Quelle (20, 22; 74, 76, 78, 86, 88, 90) von höchstens 20 nm, bevorzugt von höchstens 10 nm, insbesondere im Bereich 0 nm bis 5 nm aufweisen.

5

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine erste elektrisch leitfähige Struktur (20, 22; 74, 76, 78, 86, 88, 90) wahlweise mit einer elektromagnetischen Anregung und einer Photoelektronenerfassung verbindbar ist.

10

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine zweite elektrisch leitfähige Struktur (24; 94), bevorzugt ein zweiter elektrisch leitfähiger Draht (24), eine Leitung oder eine Metallisierung oder eine Elektrode (94) besteht, die die Erdung für das Auslesen der Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) bildet, wobei die zweite elektrisch leitfähige Struktur (24) bevorzugt benachbart zu einer ersten elektromagnetischen Quelle (20, 22) angeordnet ist, insbesondere in einem Abstand in einer Ebene von höchstens 40 nm, bevorzugt höchstens 30 nm, insbesondere in einem Bereich von 10 nm bis 20 nm.

15

20

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ersten elektrisch leitfähigen Strukturen (20, 22; 74, 76, 78, 86, 88, 90) und/oder die zweiten elektrisch leitfähigen Strukturen (24)

i) einen Querschnitt mit einer Längsdimension von weniger als 50 nm, bevorzugt von weniger als 20 nm, insbesondere im Bereich 1 nm bis 10 nm aufweisen und/oder

25

ii) eine Länge von weniger als 50 nm, bevorzugt von weniger als 30 nm, insbesondere von 5 nm bis 20 nm aufweisen.

30

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) ein-, zwei- oder dreidimensional angeordnet sind und/oder **dass** die elektrisch leitfähigen Strukturen (20, 22; 74, 76, 78, 86, 88, 90) ein-, zwei- oder dreidimensional angeordnet sind, wobei bevorzugt zwei oder mehr Ebenen (80, 92) bestehen, in denen elektrisch leitfähige Strukturen (74, 76, 78, 86, 88, 90), insbesondere parallel zueinander, angeordnet sind, wobei die elektrisch leitfähigen Strukturen (74, 76, 78, 86, 88,

90) verschiedener Ebenen (80, 92) unterschiedlich angeordnet sind, wobei zwischen zwei Ebenen (80, 92) vorzugsweise ein elektrischer Isolator (82) angeordnet ist.

14. Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 13,
5 **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei oder mehrere Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70) in einem Umgebungsmaterial erzeugt werden und auf dem Umgebungsmaterial erste elektrisch leitfähige Drähte (20, 22; 74, 76, 78, 86, 88, 90) angeordnet werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich zumindest
10 einer der nachfolgenden Schritte durchgeführt wird:

- Wahl einer Diamantschicht (12; 52) als das Umgebungsmaterial,
- Dotierung des Umgebungsmaterials mit einem Dotanden, vorzugsweise Schwefel, Phosphor oder Sauerstoff,
- Durchführung eines ersten Temperierungsschrittes nach der Dotierung,
- 15 - Durchführung eines zweiten Temperierungsschrittes nach der Erzeugung der Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70),
- Aufbringung von zweiten elektrisch leitfähigen Drähten (24) zum Auslesen der Qubits (14, 16; 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70).

1/4

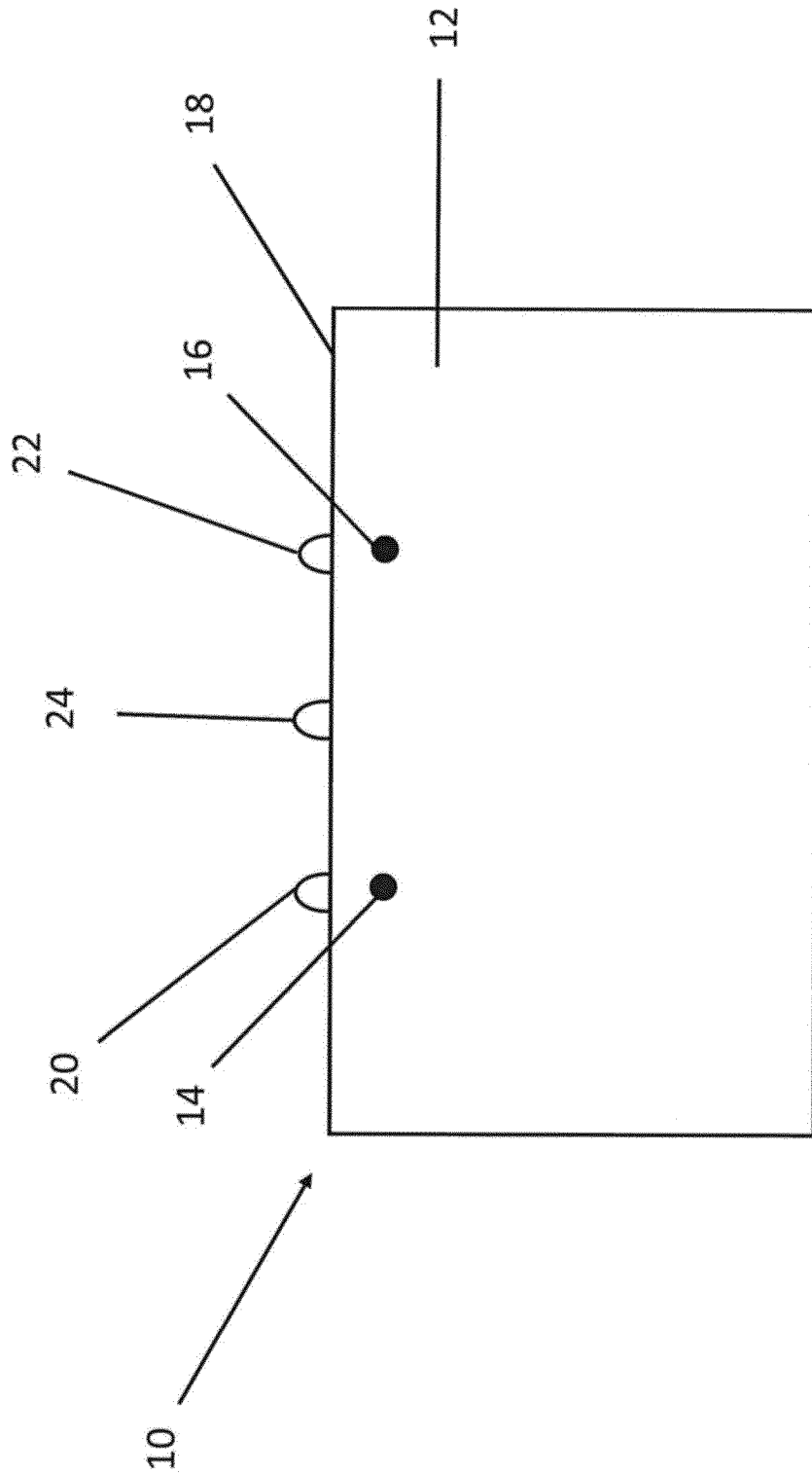


Fig.1

2/4

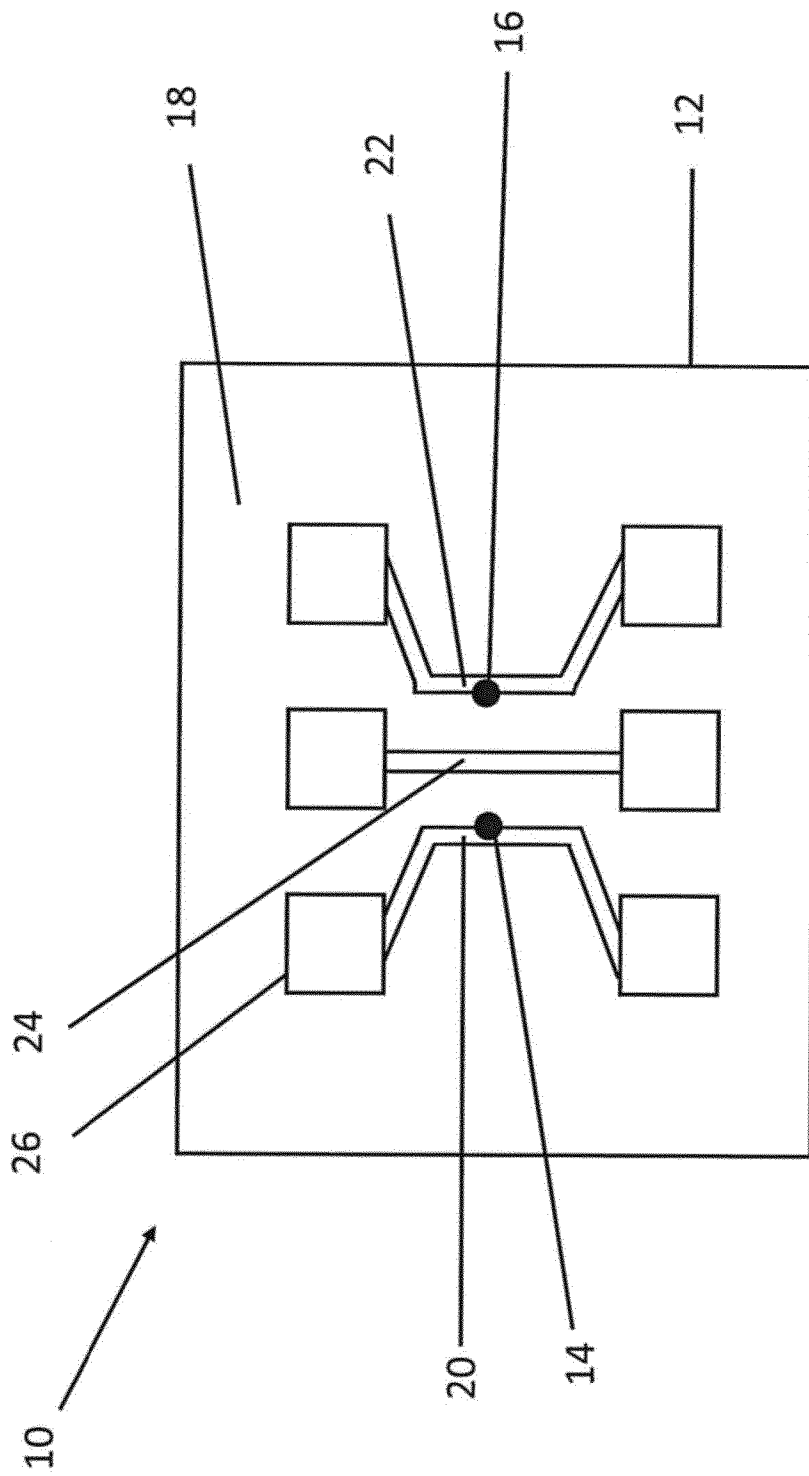


Fig.2

4/4

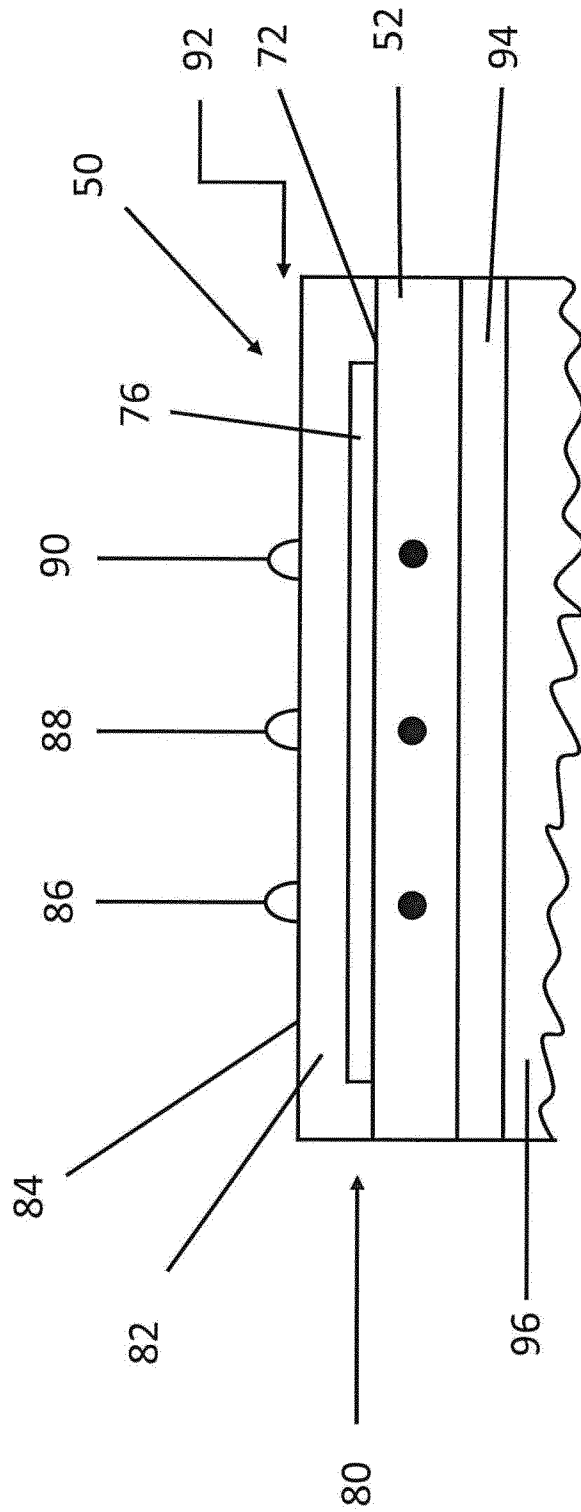


Fig.3

4/4

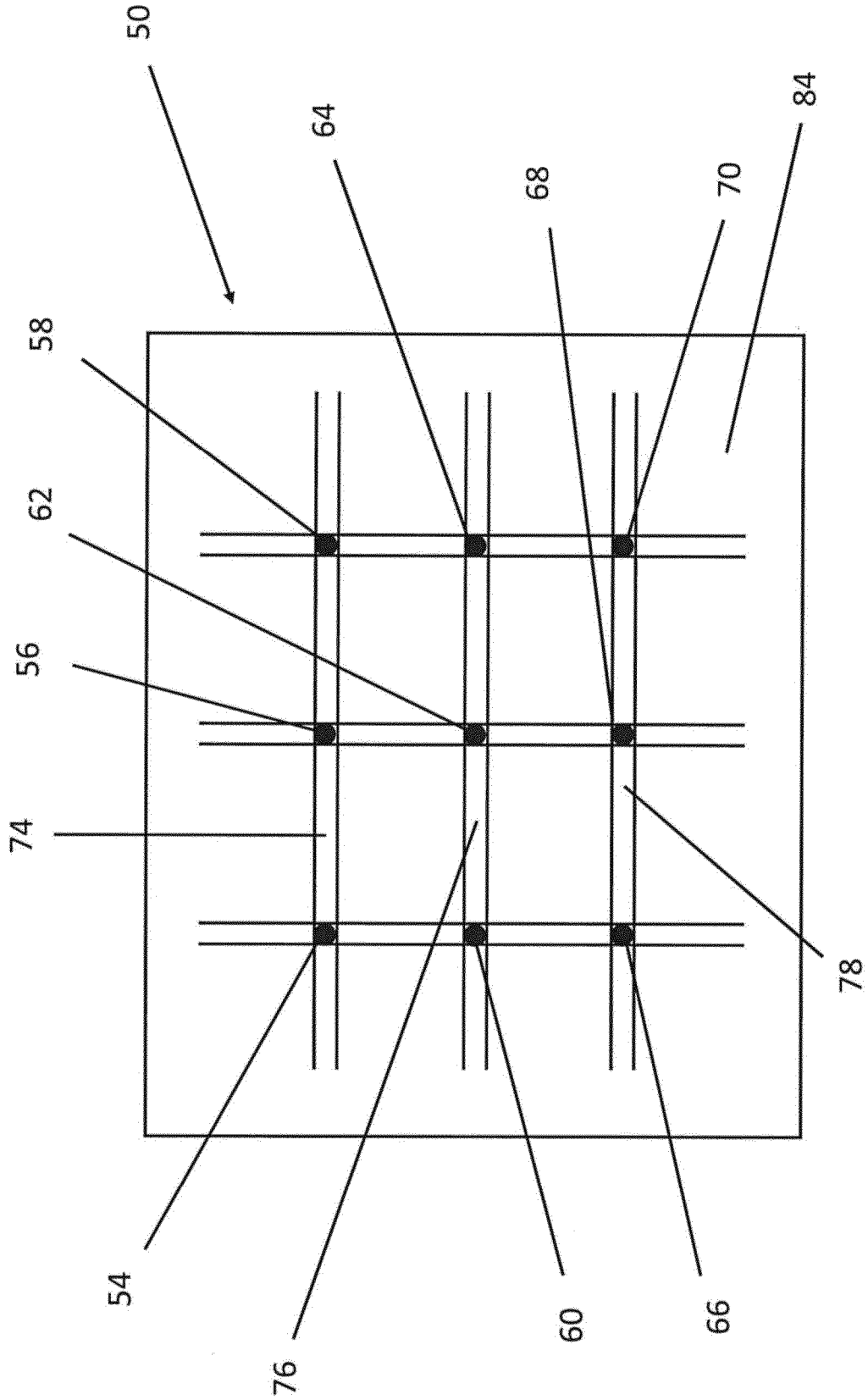


Fig.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/070485

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G06N 10/00</i> (2019.01)i; <i>H01L 21/02</i> (2006.01)i; <i>H01L 29/16</i> (2006.01)n		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G06N; H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102009033566 A1 (UNIV PADERBORN [DE]) 20 January 2011 (2011-01-20) figure 2 paragraphs [0023], [0024], [0034], [0061]	1-15
X	GARELLI M S ET AL. "Buckyball Quantum Computer: Realization of a Quantum Gate" <i>ARXIV.ORG, CORNELL UNIVERSITY LIBRARY, 201 OLIN LIBRARY CORNELL UNIVERSITY ITHACA, NY 14853</i> , 14 January 2005 (2005-01-14), DOI: 10.1140/EPJB/E2005-00397-6 XP080189373 section 5.1 figure 1	1,6
X	DE 102010053575 A1 (BRANDLMAIER ANDREAS [DE]; BRANDT MARTIN S [DE] ET AL.) 06 June 2012 (2012-06-06) figure 1 paragraph [0008]	1,6
X	US 2005167772 A1 (STONEHAM ARTHUR M [GB] ET AL) 04 August 2005 (2005-08-04) figure 3 paragraph [0053]	1,6
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search 09 October 2020		Date of mailing of the international search report 22 October 2020
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Theissing, Simon Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2020/070485

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	LILIAN CHILDRESS ET AL. "Diamond NV centers for quantum computing and quantum networks" <i>M R S BULLETIN</i> , US, Vol. 38, No. 2, 01 February 2013 (2013-02-01), pages 134-138 DOI: 10.1557/mrs.2013.20 ISSN: 0883-7694, XP055738266 page 134, left-hand column, last paragraph	1-15
A	Michael Scott Wolf. "COUPLING NITROGEN-VACANCY CENTER SPINS IN DIAMOND TO A FERROMAGNETIC VORTEX" 06 June 2017 (2017-06-06), Retrieved from the Internet: https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=case1491817964933604&disposition=inline [retrieved on 2020-10-09] XP055738251 figure 1 section 4.1	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/EP2020/070485

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
DE	102009033566	A1	20 January 2011	NONE	
DE	102010053575	A1	06 June 2012	NONE	
US	2005167772	A1	04 August 2005	AU 2003248873 A1	16 September 2003
				EP 1506524 A2	16 February 2005
				US 2005167772 A1	04 August 2005
				WO 03075220 A2	12 September 2003

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G06N10/00 H01L21/02
 ADD. H01L29/16

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTER GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G06N H01L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2009 033566 A1 (UNIV PADERBORN [DE]) 20. Januar 2011 (2011-01-20) Abbildung 2 Absätze [0023], [0024], [0034], [0061]	1-15
X	GARELLI M S ET AL: "Buckyball Quantum Computer: Realization of a Quantum Gate", ARXIV.ORG, CORNELL UNIVERSITY LIBRARY, 201 OLIN LIBRARY CORNELL UNIVERSITY ITHACA, NY 14853, 14. Januar 2005 (2005-01-14), XP080189373, DOI: 10.1140/EPJB/E2005-00397-6 Abschnitt 5.1 Abbildung 1	1,6

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
9. Oktober 2020	22/10/2020

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Theissing, Simon
--	---

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2010 053575 A1 (BRANDLMAIER ANDREAS [DE]; BRANDT MARTIN S [DE] ET AL.) 6. Juni 2012 (2012-06-06) Abbildung 1 Absatz [0008]	1,6
X	----- US 2005/167772 A1 (STONEHAM ARTHUR M [GB] ET AL) 4. August 2005 (2005-08-04) Abbildung 3 Absatz [0053]	1,6
A	----- LILIAN CHILDRESS ET AL: "Diamond NV centers for quantum computing and quantum networks", M R S BULLETIN, Bd. 38, Nr. 2, 1. Februar 2013 (2013-02-01), Seiten 134-138, XP055738266, US ISSN: 0883-7694, DOI: 10.1557/mrs.2013.20 Seite 134, linke Spalte, letzter Absatz	1-15
A	----- Michael Scott Wolf: "COUPLING NITROGEN-VACANCY CENTER SPINS IN DIAMOND TO A FERROMAGNETIC VORTEX", 6. Juni 2017 (2017-06-06), XP055738251, Gefunden im Internet: URL: https://etd.ohiolink.edu/!etd.send_file?accession=case1491817964933604&disposition=inline [gefunden am 2020-10-09] Abbildung 1 Abschnitt 4.1	1-15

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2020/070485

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102009033566 A1	20-01-2011	KEINE	

DE 102010053575 A1	06-06-2012	KEINE	

US 2005167772 A1	04-08-2005	AU 2003248873 A1	16-09-2003
		EP 1506524 A2	16-02-2005
		US 2005167772 A1	04-08-2005
		WO 03075220 A2	12-09-2003
