



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2017 129 365.5**

(22) Anmeldetag: **10.12.2017**

(43) Offenlegungstag: **11.10.2018**

(51) Int Cl.: **H01L 39/12 (2006.01)**

H01L 39/24 (2006.01)

H01L 27/18 (2006.01)

(66) Innere Priorität:

10 2017 004 103.2 07.04.2017

(71) Anmelder:

**Burchard, Bernd, Dr., 45276 Essen, DE;
Universität Leipzig, 04109 Leipzig, DE**

(72) Erfinder:

**Esquinazi, Pablo D., Prof. Dr., 04299 Leipzig,
DE; Meijer, Jan, Prof. Dr., 44801 Bochum, DE;
Burchard, Bernd, Dr., 45276 Essen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

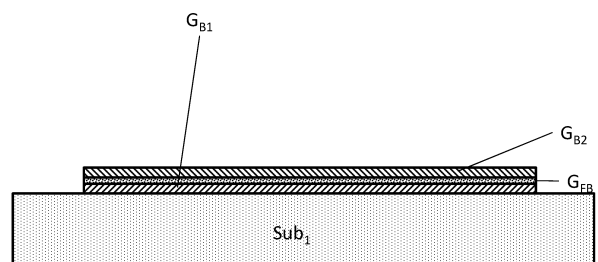
**BALLESTAR, Ana. Superconductivity at
graphite interfaces. Dissertation. Leipzig 2014.**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Material für Raumtemperatur-Supraleitung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement mit einer Teilvorrichtung, die ein erstes Substrat (G_{sub}) bestehend aus zumindest zwei Schichtbereichen (G_{B2} , G_{B1}) umfasst. Der erste Schichtbereich (G_{B1}) und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) sind übereinander angeordnet und weisen eine gemeinsame erste Grenzfläche (G_{F1}) zwischen dem ersten Schichtbereich (G_{B1}) und dem zweiten Schichtbereich (G_{B2}) auf. Der erste Schichtbereich (G_{B1}) besteht aus Graphit mit einer ersten Stapelfolge von mindestens 3 Graphen-Schichten. Der zweite Schichtbereich (G_{B2}) besteht aus Graphit mit einer zweiten Stapelfolge von Graphen-Schichten. Die Gesamtstapelfolge bestehend aus der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) und der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) und der gemeinsamen Grenzfläche (G_F) zusammen nicht der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) entspricht.



Beschreibung

[0001] Diese Anmeldung nimmt die Priorität der deutschen Patentanmeldung DE 10 2017 004 103.2 vom 07.04.2017 in Anspruch.

[0002] Dieser Offenlegungsschrift liegen die zum Zeitpunkt der Anmeldung noch unveröffentlichten Schriften DE 10 2017 004 103.2, DE 10 2017 107 597.6, DE 10 2017 108 619.6, DE 10 2017 004 141.5

[0003] DE 10 2017 109 759.7 und DE 10 2017 111 577.3 zugrunde deren Inhalt und Offenbarungsgehalt in vollem Umfang Teil dieser Offenbarung ist.

Stand der Technik

[0004] Methoden zur Graphitherstellung sind seit langem aus der Patentreliteratur bekannt. Zu nennen wäre hier beispielsweise die US 836 355 A, CA 764 889 A, CA 702 962 A, CA 238 795 A, CA 717 458 A, CA 632 113 A. Aus der DE 3 602 330 A1 und der CN102 800 382 B ist die Herstellung von Graphitfasern bekannt. Auch die Verwendung von Graphit für elektrische Bauelemente ist seit langem bekannt. Es sei hier an Edisons Glühbirne erinnert.

[0005] Aus der US 8 964 491 B2 ist eine Graphen basierende Speicherzelle bekannt. Dabei wird ein Stapel aus Graphen-Schichten verschiedenen elektrischen Bedingungen ausgesetzt. Aus dieser Schrift ist auch bekannt, dass die Bandlücke der unterschiedlichen Stapelungen von Graphen (siehe **Fig. 3** der US 8 964 491 B2 und entsprechende Beschreibung in der US 8 964 491 B2) wesentlich unterschiedliche Bandlückenaufweisen kann.

[0006] Aus dem Stand der Technik ist Graphen als einfachste zweidimensionale flächenhafte Anordnung von Kohlenstoff-Atomen bekannt. Eine Graphen-Schicht ist also ein zweidimensionaler Kristall von Kohlenstoff-Atomen. Graphen ist im Stand der Technik die Bezeichnung für eine Modifikation des Kohlenstoffs mit zweidimensionaler Struktur, in der jedes Kohlenstoffatom im Winkel von 120° von drei weiteren umgeben ist, sodass sich ein bienenwabenhöförmiges Muster ausbildet. Da Kohlenstoff vierwertig ist, müssen dabei je „Wabe“ zwei Doppelbindungen auftreten, die jedoch nicht lokalisiert sind. Es handelt sich um eine Verkettung von Benzolringen, wie sie in aromatischen Verbindungen oft auftritt. Graphen lässt sich als polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoff beschreiben. Am „Rande“ des Wabengitters müssen andere Atomgruppen angedockt sein, die aber je nach dessen Größe die Eigenschaften des Graphens kaum verändern. Unendlich ausgedehnte und überall flache strikt zweidimensionale

Strukturen sind allerdings aufgrund eines rigorosen mathematischen Theorems, des Mermin-Wagner-Theorems und seiner Varianten, nicht möglich, da sie nachweislich thermodynamisch instabil sind.

[0007] Aus der Schrift US 8 247 060 B2 ist eine nicht supraleitende Graphit-basierende Struktur für Abschirmaufgaben bekannt. Die in der US 8 247 060 B2 offengelegte technische Lehre nutzt den Diamagnetismus der Graphen Ebenen, um ein angelegte Magnetfelder abzuschirmen.

[0008] Aus dem Stand der Technik ist für den Diamagnetismus bekannt, dass Diamagnetismus eine der Ausprägungsformen des Magnetismus in Materie ist. Diamagnetische Materialien entwickeln in einem externen Magnetfeld ein induziertes Magnetfeld in einer Richtung, die dem äußeren Magnetfeld entgegengesetzt ist. Diamagnetische Materialien haben die Tendenz, aus einem inhomogenen Magnetfeld herauszuwandern. Ohne äußeres Magnetfeld haben diamagnetische Materialien kein eigenes Magnetfeld, sie sind nichtmagnetisch. Der Proportionalitätsfaktor der Feldabschwächung wird durch die relative Permeabilität μ_r (bzw. die magnetische Suszeptibilität $\chi = \mu_r - 1$) bestimmt und ist bei Diamagneten kleiner als 1.

[0009] In der Physik werden alle Materialien mit negativer magnetischer Suszeptibilität und ohne magnetische Ordnung als diamagnetisch klassifiziert. Die am stärksten diamagnetischen Elemente unter Normalbedingungen sind Wismut und Kohlenstoff.

[0010] Durch die Strukturierung in kleine Teilflächen kann gemäß der US 8 247 060 B2 ein Supraleiter ähnliches Verhalten bei höheren Temperaturen erzielt werden als dies zum Zeitpunkt der Anmeldung der US 8 247 060 B2 für Supraleiter bekannt war. So heißt es z.B. in Spalte 1, Zeile 65 bis Spalte 2 Zeile 1 der US 8 247 060 B2: „The metamaterial structures disclosed herein are capable of operating at higher T than a metamaterial based on a superconductor.“ Dies bedeutet übersetzt: „Die hierin offenbarten Metamaterialstrukturen sind in der Lage, bei höherem T zu arbeiten als ein Metamaterial auf der Basis eines Supraleiters.“ In Spalte 3 Zeile 32 bis 34 der US 8 247 060 B2 heißt es: „The approximation, $\chi(\Theta) \sim \cos^2 \Theta$, also can be used for the fit (similarly to superconductor-based metamaterials).“ Dies heißt übersetzt: „Die Approximation, $\chi(\Theta) \sim \cos^2 \Theta$, kann auch für die Näherung (ähnlich wie supraleiterbasierte Metamaterialien) verwendet werden.“ Der in der Schrift US 8 247 060 B2 für die Abschirmung genutzte Effekt ist somit der Landau-Diamagnetismus von Graphit. (Vergleiche auch: Y. Kopelevich et al., J.; Ferromagnetic- and Superconducting-Like Behavior of Graphite; Low Temp. Phys. 119, 691 (2000), P. Esquinazi et al., Ferromagnetism in oriented graphite samples; Phys. Rev. B 66, 024429 (2002) und M. P. Sharma et al., Diamagnetism of Graphite Phys.

Rev. B 9, 2467 (1974), M. Koshino et al., Magnetic field screening and mirroring in graphene; Phys. Rev. Lett. 102, 177203 (2009)). Die US 8 247 060 B2 offenbart beispielsweise, in Spalte 3 Zeilen 63 bis 66 der US 8 247 060 B2, dass der in der US 8 247 060 B2 beschriebene Effekt auf Basis des Diamagnetismus des Graphits bei einer bernalen Kristallstruktur des Graphits auftritt.

[0011] Aus verschiedensten Publikationen sind Bauelemente mit bei Tieftemperatur supraleitenden Strukturen bekannt. Als eines von unzähligen Beispielen kann hier die US 2015 / 0 080 223 A1 genannt werden. Als Supraleitung bei Tieftemperatur sei hier eine Sprungtemperatur T_c zu verstehen, die kleiner als 0°C ist. Diese Vorrichtungen müssen also bei Raumtemperatur (typ. 20°C) gekühlt werden.

Aufgabe

[0012] Dem Vorschlag liegt die Aufgabe zugrunde, ein Bauelement anzugeben, das zumindest eine vorzugsweise bei Raumtemperatur supraleitende Teilstruktur aufweist.

[0013] Diese Aufgabe wird durch das Bauelement des der Anspruchs 1 gelöst.

Erläuterungen zur Lösung der Aufgabe

[0014] Um die Nacharbeit zu ermöglichen, wird zunächst ein allgemeines Verfahren zur Herstellung eines elektrischen oder magnetischen oder elektronischen Bauelements vorgeschlagen, das zumindest eine bei Raumtemperatur supraleitende Komponente aufweisen soll.

[0015] Eine besonders einfache Methode zur Erzielung dieses Verhaltens erhält man durch die Kombination zweier unterschiedlicher Graphit-Modifikationen. Hierzu wird vorgeschlagen, dieses Verhalten in einem ersten Verfahrensschritt durch das Bereitstellen (1) eines ersten Substrats (G_{Sub}) bestehend aus zumindest zwei Schichtbereichen (G_{B1} , G_{B2}) zu erzielen. Jeder dieser beiden Schichtbereiche (G_{B1} , G_{B2}) repräsentiert dabei vorzugsweise eine Graphit-Modifikation. Der erste Schichtbereich (G_{B1}) und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) sind übereinander angeordnet und weisen einen gemeinsamen Grenzflächenbereich (G_{FB}) auf. Der Grenzflächenbereich (G_{FB}) entsteht durch den mechanischen und damit auch elektronischen Kontakt der zumindest zwei Schichtbereiche (G_{B1} , G_{B2}). Er zeichnet sich bevorzugt durch zumindest eine Graphen-Schicht aus, deren Elektronen in einer anderen elektronischen Konfiguration als die der Graphen-Schichten der zumindest zwei Schichtbereiche (G_{B1} , G_{B2}) vorliegen. Der erste Schichtbereich (G_{B1}) besteht beispielsweise aus Graphit mit Bernal-Kristallstruktur (Graphit-2H) mit mindestens 3 Atom-Lagen (Graphen-Schichten) mit ei-

ner jeweiligen Dicke von genau einem Atom je Atom-Lage (Graphen-Schicht). Der zweite Schichtbereich (G_{B2}) besteht aus Graphit mit rhombohedrischer Kristallstruktur (englisch rhombohedral, Graphit-3R) mit mindestens 3 Atom-Lagen (Graphen-Schichten) mit einer jeweiligen Dicke von genau einem Atom je Atom-Lage (Graphen-Schicht). Die Bezeichnung erster und zweiter Schichtbereich (G_{B1} , G_{B2}) kann in der Realität vertauscht sein. Der Grenzflächenbereich (G_{FB}) umfasst die eigentliche erste Grenzfläche (G_{F1}) und weist bevorzugt eine Orientierung ihrer ersten Flächennormalen (n_{F1}) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (c) des Kristallgitters der Graphen-Schichten des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) auf. Parallel im Sinne dieser Offenbarung bedeutet dabei, dass die Orientierung der ersten Flächennormalen (n_{F1}) der ersten Grenzfläche (G_{F1}) relativ zur hexagonalen Symmetrieachse (c) des Kristallgitters der Graphen-Schichten des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) einen Kippwinkel von weniger als 45° , besser weniger als 20° , besser weniger als 10° , besser weniger als 5° , besser weniger als 2° , besser weniger als 1° , besser weniger als $0,5^\circ$, besser weniger als $0,25^\circ$ aufweist. Für den exakten Bereich konnte bisher noch keine exakte Untersuchung durchgeführt werden. Für die Nacharbeit wird daher empfohlen, für die jeweilige Graphit-Quelle eigene statistische Untersuchungen anzustellen, um den Bereich einzugrenzen. Sicher ist, dass bei einer perfekten Übereinstimmung der beobachtete Effekt auftritt. Insofern sind bei einer Produktion Fertigungstests vorzusehen, die nicht funktionierende Substrate (G_{Sub}) aussortieren. Besonders bewährt haben sich Widerstandsmessungen und Messungen mit einem Magnetic Force Microscope (MFM). (siehe **Fig. 21-23**) Des Weiteren soll der Graphen-Schichtstapel des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) eine Orientierung der ersten Flächennormalen (n_{F1}) der Graphen-Schichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) ebenfalls parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (d) des Kristallgitters der Graphen-Schichten des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) sein. Hinsichtlich der Toleranzen dieser Parallelität gilt hier das Vorgesagte ebenfalls.

[0016] Die Verwendung dieser Eigenschaftender der Grenzflächen zwischen Graphen-Schichten unterschiedlicher Stapelungen und die entsprechenden Verfahren zur Nutzbarmachung sind aus dem Stand der Technik für die Verwendung in elektrischen, elektronischen, optischen oder magnetischen Bauelementen nicht bekannt.

[0017] Es wurde bei der Ausarbeitung des Vorschlags beobachtet, dass zumindest ein Teil des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) supraleitende Eigenschaften aufweist und dabei der Grenzflächenbereich (G_{FB}) eine Sprungtemperatur (T_c) aufweist, die höher ist als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder eine kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei

77 K aufweist, die höher ist als 1T und/oder 50 T. Insbesondere wurde festgestellt, dass die hier beschriebene Konfiguration mit einem Grenzflächenbereich (G_{FB}) zwischen zwei Kristallen aus verschiedenen Graphitmodifikationen (bernal, rhombohedisch) eine Sprungtemperatur T_C von 370°K +/- 7°K aufzuweisen scheint. Mit Hilfe einer MFM konnte dokumentiert werden, dass ein einmal induktiv in den Grenzflächenbereich (G_{FB}) eingepprägter elektrischer Strom über Wochen konstant blieb. Dies kann nur mit supraleitenden Effekten erklärt werden. Dies ist somit ein wesentliches Merkmal zur Unterscheidung vom Stand der Technik aus dem keine Raumtemperatursupraleitung bekannt und zum Zeitpunkt der Anmeldung dieser Offenbarung zweifelsfrei nachgewiesen ist. Um nun ein elektronisches, elektrisches, optisches oder magnetisches Bauelement herzustellen, ist es sinnvoll, das Substrat (G_{Sub}) zu strukturieren (8). Dies kann insbesondere durch nass-chemische Ätzung (z.B. in konzentrierter Schwefelsäure, in der Kalium-Di-Chromat gelöst ist) geschehen. Ein Problem der nasschemischen Ätzung ist die Aggressivität der Chemikalien, die zu Ätzung notwendig sind. Daher ist eine Strukturierung mittels Ionen- oder Teilchenstrahlätzung sehr sinnvoll. Dies kann beispielsweise in einem Sauerstoff-Plasma oder in einem Argon-Plasma geschehen. Eine andere mögliche und sehr erfolgreiche Methode zur Herstellung kleinster Strukturen ist die Focussed-Ion-Beam-Ätzung, die reaktiv unter Verwendung chemisch ätzender Atome und Moleküle erfolgen kann und/oder die Verwendung von Gasen, die eine rein mechanische Ätzung hervorrufen (z.B. Argon etc.). Auch ist eine Plasma-ätzung möglich. Hierbei können sowohl RIE-Verfahren als auch DRIE-Verfahren zum Einsatz kommen. Eine nasschemische Ätzung kann durch das Anlegen einer Spannung an das Substrat (G_{Sub}) gegenüber einer Elektrode im Ätzbad unterstützt werden. Eine solche elektrochemische Ätzung ist somit eine weitere Möglichkeit der Strukturierung eines solchen supraleitenden Graphit-Substrats (G_{Sub}). Neben diesen chemischen Strukturierungsmethoden, kommt auch eine spanende Formgebung mittels eines oder mehrere Meißel mit Schneiden in Frage. Daher kann die Strukturierung auch durch Fräsen, Ritzen, Drehen, Schleifen, Schneiden, Stechen unter Erzeugung von Spänen erfolgen. Es ist denkbar, mehrere Substrate durch Pressung und/oder Sinterung zu einem größeren Ganzen zusammenzufassen. Eine Variante des Plasmaätzens, die möglich ist, ist die Funkenerosion. Durch eine Amorphisierung, beispielsweise mittels eines Kohlenstoff-Ionenstrahls oder eines Ionenstrahls aus einem anderen Element oder aus Molekülen, kann die Kristallstruktur lokal zerstört werden, wodurch die Grenzfläche als solche zerstört wird und der supraleitende Bereich begrenzt oder strukturiert wird. Um später das Substrat anschließen zu können, wird diese in mindestens einem weiteren Verfahrensschritt mit elektrischen Kontakten versehen. Es handelt sich also um einen Verfahrensschritt des

Bereitstellens (13) von Kontakten des Grenzflächenbereichs (G_{FB}).

[0018] Bei der Ausarbeitung des vorgeschlagenen Verfahrens hat es sich gezeigt, dass es sinnvoll ist, vor der Verarbeitung der Substrate (G_{Sub}), diese auszurichten. Daher umfasst ein verbessertes Verfahren zur Herstellung eines vorgeschlagenen Bauelements den Schritt des Feststellens (2) der Orientierung der Flächennormalen (n_F) der Graphen-Schichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) innerhalb des Substrats (G_{Sub}). Diese Orientierung kann beispielsweise mittels einer Röntgenbeugungsanalyse erfolgen. Andere Verfahren sind denkbar. So lässt sich Graphit vorzugsweise längs der Atomlagen spalten. Ein solcher Orientierungsschritt kann daher auch in der Form geschehen, dass auf einer Seite des Graphit-Schicht-Pakets einige Atomlagen abgespalten werden. Die verbleibende Oberfläche ist dann vorzugsweise senkrecht zur Flächennormale der Grenzfläche.

[0019] Es hat sich bei der Verwendung von Naturgraphit gezeigt, dass nicht alle Graphitsubstrate die gewünschte Raumtemperatursupraleitung aufweisen. Bei flächigen Proben wurde zur Feststellung des bei Raumtemperatur supraleitenden Bereiches zunächst die Probe erhitzt und dann mit Hilfe eines genügend starken Permanentmagneten magnetisiert. Hierbei entstand ein Kreisstrom, dessen charakteristisches Profil seines Magnetfeldes der mittels eines Magnetic Force Microscopes (MFM) detektiert werden konnte (Siehe **Fig. 21** bis **Fig. 23**).

[0020] Es ist daher vorteilhaft, mittels eines solchen Messmittels die in dem Prozessschritt (2) die Lage des supraleitenden Bereiches des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) innerhalb des Substrats (G_{Sub}) mittels eines Magnetic Force Microscopes (MFM) oder eines anderen geeigneten Messmittels für die Verteilung einer magnetischen Flussdichte oder Feldstärke zu erfassen und den supraleitenden Bereich zu identifizieren.

[0021] In der Regel liegt das Substrat(G_{Sub}) nicht in der gewünschten Form vor. Daher ist es vorteilhaft die Schichtbereiche (G_{B1} , G_{B2}) abzdünnen. Ein solcher Verfahrensschritt des Abdünnens (3) eines Schichtbereiches (G_{B1} , G_{B2}), im Folgenden der „betreffende Schichtbereich“, und der Schaffung einer unteren Grenzfläche (UGF) parallel zu den Graphen-Schichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) ist daher ein bevorzugter Bestandteil des vorgeschlagenen Verfahrens. Die Mindestdicke des betreffenden Schichtbereichs, der abgedünnt wird, sollte dabei drei Atomlagen nicht unterschreiten. Besser ist eine Abdünnung auf mehr als 6, besser mehr als 10, besser mehr als 20, besser mehr als 50, besser mehr als 100 Atom-Lagen. Das Abdünnen kann dabei beispielsweise mit den Verfahren erfolgen, die auch

bei der Strukturierung angewandt werden. Dies wären beispielsweise, aber nicht nur, das nasschemische Ätzen, die Ionen- oder Teilchenstrahlätzung, die Focussed-Ion-Beam-Ätzung, die Plasmaätzung mit RIE- und/oder DRIE-Ätzung, die elektrochemische Ätzung, die spanende Formgebung und die Funkenerosion. Die verfahrenstechnischen Möglichkeiten der Abdünnung sind hierauf aber sicher nicht beschränkt. Besonders zu erwähnen wären hier besonders präzise Methoden wie Läppen und elektrochemische Politur und das Polieren mit heißen Metallscheiben, bei denen sich Kohlenstoff im Metall während des Kontakts mit dem Graphit löst.

[0022] Nachdem nun einer der Schichtbereiche (G_{B1} , G_{B2}) soweit abgedünnt wurde, dass er beispielsweise mit fotolithografischen Verfahren weiter strukturiert werden kann, wird nun in einer Variante des Verfahrens zu Herstellung des elektrischen Bauelements vorgeschlagen, das Substrat (G_{Sub}) nach dem Abdünnen des betreffenden Schichtbereichs der beiden Schichtbereiche (G_{B1} , G_{B2}) mit der so entstandenen, typischerweise nahezu ideal glatten Oberfläche in einem weiteren Schritt auf der Oberfläche (OF) eines Trägers (Sub_1) zu befestigen bzw. zu platzieren. Es handelt sich also um den Verfahrensschritt des Aufbringens (4) des abgedünnten Substrats (G_{Sub}) auf die Oberfläche (OF) eines Trägers (Sub_1).

[0023] Sofern die im Laufe des Abdünnens entstandene Oberfläche des Substrats (G_{Sub}) ideal poliert wurde, und die Oberfläche (OF) des Trägers (Sub_1) ebenfalls ideal ist, können bereits Van-der-Waalsche Kräfte zwischen diesen Oberflächen wirken und zu einem Verschweißen der Flächen führen. In diesem Falle würde es sich um ein Befestigen (5) des abgedünnten Substrats (G_{Sub}) an der Oberfläche (OF) des Trägers (Sub_1) mittels Adhäsion handeln. Es hat sich aber gezeigt, dass in der Regel der Aufwand für die Erreichung dieser Präzision der Oberflächenbearbeitung zu groß ist und/oder das Arbeitsergebnis zu unzuverlässig ist. Daher ist es in der Regel sinnvoll, in einem Verfahrensschritt des Befestigens (5) des abgedünnten Substrats (G_{Sub}) an der Oberfläche (OF) des Trägers (Sub_1) mittels Bildung eines Karbides z.B. durch Temperaturbehandlung in einem Ofen und Wahl eines karbidbildenden Materials des Trägers (Sub_1) die Verbindung zuverlässiger zu gestalten. Auch ist stattdessen die Bildung eines Eutektikums denkbar. Schließlich kommen auch Klebung oder Schweißung, insbesondere Laser-Schweißung, in Frage. Im letzteren Falle ist die Verwendung eines Schutzgases oder die Bearbeitung in einem Vakuum, wie bei allen Temperaturbehandlungen von Graphit angezeigt.

[0024] Nach dem der betreffende Schichtbereich der Schichtbereiche (G_{B2} , G_{B1}) abgedünnt wurde, ist es nun meistens sinnvoll, den noch nicht abge-

dünnten Schichtbereich der beiden Schichtbereiche (G_{B1} , G_{B2}) ebenfalls abzdünnen. Das vorgeschlagene Verfahren wird daher bevorzugt um einen weiteren Verfahrensschritt des Abdünnens (6) des anderen Schichtbereiches (G_{B1} , G_{B2}), im Folgenden der „anderer Schichtbereich“, der nicht der betreffende Schichtbereich ist, erweitert. Dies resultiert in der Schaffung einer oberen Grenzfläche (OGF) parallel zu den Graphen-Schichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB}). Wieder sollte die gleiche Mindestdicke des anderen Schichtbereichs eingehalten werden, wie beim zuvor beschriebenen, betreffenden Schichtbereich. Die Mindestdicke des anderen Schichtbereichs, der nun ebenfalls abgedünnt wird, sollte dabei wieder drei Atomlagen nicht unterschreiten. Besser ist eine Abdünnung auf mehr als 6, besser mehr als 10, besser mehr als 20, besser mehr als 50, besser mehr als 100 Atom-Lagen. Das Abdünnen kann dabei beispielsweise wieder mit den Verfahren erfolgen, die auch bei der Strukturierung angewandt werden. Dies wären wieder beispielsweise, aber nicht nur, das nasschemische Ätzen, die Ionen- oder Teilchenstrahlätzung, die Focussed-Ion-Beam-Ätzung, die Plasmaätzung mit RIE- und/oder DRIE-Ätzung, die elektrochemische Ätzung, die spanende Formgebung und die Funkenerosion. Die verfahrenstechnischen Möglichkeiten der Abdünnung des anderen Schichtbereiches sind hierauf wiederum nicht beschränkt. Besonders zu erwähnen wären hier wieder besonders präzise Methoden wie Läppen und elektrochemische Politur und das Polieren mit heißen Metallscheiben, bei denen sich Kohlenstoff im Metall während des Kontakts mit dem Graphit löst.

[0025] Ganzallgemein zeichnen sich Verfahrensvarianten dadurch aus, dass Prozessschritte zum Abdünnen von Schichtbereichen (G_{B1} , G_{B2}) durch Anwendung zumindest eines der folgenden Verfahren umfassen:

- spanerzeugende Formgebung und/oder
- Polieren und/oder
- Schleifen und/oder
- Elektrochemisches Polieren und/oder
- Chemisch mechanisches Polieren (CMP) und/oder
- Nasschemisches Ätzen und/oder
- Ionenätzung und/oder
- Teilchenstrahlätzung und/oder
- Chemische Ätzung und/oder
- Plasmaätzung

[0026] Es wurde nun erkannt, dass es sinnvoll ist, das ein so erstelltes elektrisches, elektronisches, optisches oder magnetisches Bauelement mit konventionellen Schaltungen kombiniert werden kann. Bei-

spielsweise kann es sinnvoll sein, eine konventionelle Schaltung in Form der Bereitstellung (7) eines zweiten Substrates (SUB) für diese Kombination vorzusehen. Dieses zweite Substrat (SUB) kann elektrisch isolierend oder elektrisch normalleitend oder elektrisch halbleitend vom p-Leitungstyp oder elektrisch halbleitend vom n-Leitungstyp oder elektrisch metallisch leitend sein. Das zweite Substrat (SUB) kann mit dem Träger (Sub₁) identisch sein. Der Träger (Sub₁) kann aber auch beispielsweise selbst wieder auf dem zweiten Substrat (SUB) durch Klebung etc. angebracht werden. Diese Verfahrensvariante umfasst natürlich auch das Durchführen des Verfahrens, wie zuvor beschrieben. Dabei kann die Reihenfolge der Verfahrensschritte insbesondere, was die Bereitstellung des zweiten Substrats (SUB) betrifft, geändert sein. Sofern es sich um ein ganz oder teilweise halbleitendes Substrat, beispielsweise einen integrierten Schaltkreis handelt, ist es sinnvoll, wenn das zweite Substrat (SUB) zumindest ein halbleitendes elektronisches Bauelement umfasst. Dies können beispielsweise, aber nicht beschränkt darauf sein:

[0027] Verdrahtungen, Kontakte, Gesamtsubstratdurchkontaktierungen (englisch: Through-Silicon-Via, TSV), Kreuzungen, Isolierschichten, Dioden, PN-Dioden, eine Schottky-Dioden, ohmschen Widerstände, Transistoren, PNP- und/oder PNP-Bipolartransistoren, n- oder p-Kanal-MOS-Transistoren, Diacs, Triacs, pip,- oder nin- oder pin-Dioden, Solarzellen, etc.

[0028] Das zweite Substrat (SUB) kann auch komplexere Strukturen, wie Logik-Gatter, Verstärker, Filter, Operationsverstärker, Multiplizierer, Analog-zu-Digitalwandler, Referenzspannungsquellen und -Referenzstromquellen, Stromspiegel, Differenzverstärker, Digital-zu-Analog-Wandler, Komparatoren, Speicher, Mikrorechner, Oszillatoren etc. aufweisen. Neben diesen rein elektronischen und mikroelektronischen Teilvorrichtungen, kann das zweite Substrat (SUB) auch in anderer Weise gleichzeitig oder alternativ modifiziert sein, so dass es fluidische und/oder mikrofluidische und/oder optische und/oder mikrooptische Teilvorrichtungen aufweist. Beispielsweise ist es denkbar den MHD-Effekt in einer solchen Vorrichtung auszunutzen. Des Weiteren kann es sein, dass das zweite Substrat (SUB) ein anderes elektronisches und/oder elektrisches Bauelement, insbesondere aber nicht beschränkt darauf, eine Flachspule oder einen Kondensator, aufweist, das in Mikrostrukturtechnik auf dem zweiten Substrat oder in diesem zweiten Substrat (SUB) gefertigt ist. Um eine Verdrahtung oder Kontaktierung herzustellen, ist es zunächst angebracht, mittels Aufbringen (9) mindestens einer elektrisch leitenden Schicht auf das erste Substrat (G_{Sub}) oder zweite Substrat (SUB), die Kontakte herzustellen. Dabei kann die elektrisch leitende Schicht elektrisch normalleitend oder elektrisch

halbleitend vom p-Leitungstyp oder elektrisch halbleitend vom n-Leitungstyp oder elektrisch metallisch leitend sein. Insbesondere kann es sich auch um einen amorphen oder polykristallinen Halbleiter, beispielsweise Silizium oder Germanium oder Diamant oder diamantähnliche Schichten (DLC) handeln. Es ist denkbar, in einer solchen halbleitenden Schicht halbleitende elektronische Bauelemente wie Dioden, Transistoren und Widerstände einzubetten. Teile einer solchen halbleitenden Schicht können daher eine andere Dotierung und damit einen anderen Leitungstyp aufweisen als andere Teile der gleichen halbleitenden Schicht. Auch können die spezifischen Widerstände und/oder die Beweglichkeit und/oder die Ladungsträgerdichte und oder die Dotierstoffdichte und/oder die Dichte der Traps innerhalb einer solchen halbleitenden Schicht variieren. Um die Bauteile gut verdrahten zu können, ist es zweckmäßig diese insbesondere durch foto- und/oder ionenstrahlolithografische Verfahren zu strukturieren. Aus dem Stand der Technik sind diese Verfahren hinlänglich bekannt, weshalb hier auf eine weitere Beschreibung verzichtet wird. Somit umfasst das vorgeschlagene Verfahren in diesem Fall auch die Strukturierung (10) der mindestens einen elektrisch leitenden, insbesondere elektrisch normalleitenden Schicht, beispielsweise um Leiterbahnen herzustellen. Es sei hier darauf hingewiesen, dass Leiterbahnen auch aus hochdotiertem Halbleitermaterial hergestellt werden können. Um diese Leiterbahnen durch das erste Substrat (G_{Sub}) nicht kurzzuschließen, ist es sinnvoll, wenn dieses von dem Graphitkörper des ersten Substrats (G_{Sub}) elektrisch isoliert wird. Hierzu ist es sinnvoll, vor dem Aufbringen der normalleitenden Schicht das Aufbringen (11) mindestens einer elektrisch isolierenden Schicht auf das erste Substrat (G_{Sub}) oder das zweite Substrat (SUB) oder auf eine elektrisch normalleitende Schicht durchzuführen. Hierzu eignen sich beispielsweise Siliziumdioxid oder andere isolierende Stoffe, wie Siliziumnitrid. Auch ist es denkbar, hierfür vorzugsweise fotolithografisch strukturierbare Kunststoffe wie beispielsweise Polyimid zu verwenden. Typischerweise ist die Öffnung der elektrischen Kontakte anschließend notwendig. Dies kann durch die Strukturierung (12) der mindestens einen isolierenden Schicht erfolgen.

[0029] Um den elektrischen Kontakt tatsächlich herzustellen, ist es typischerweise notwendig, dass die elektrisch leitende Schicht mit dem ersten Substrat (G_{Sub}) an zumindest einer Stelle in direktem mechanischen Kontakt steht. Vorzugsweise sollte es sich hierbei nicht nur um einen mechanischen, sondern auch um einen elektrischen Kontakt handeln. Auch die isolierende Schicht, muss mechanisch durch das erste Substrat (G_{Sub}) gestützt werden. Die elektrisch isolierende Schicht ist daher mit dem ersten Substrat (G_{Sub}) an zumindest einer Stelle in direktem mechanischem Kontakt. Die Strukturierung (9, 11) der isolierenden Schicht erfolgt, wie die der elektrisch lei-

tenden oder halbleitenden Schicht bevorzugt fotolithografisch und/oder nasschemisch und/oder durch Plasmaätzung und/oder Ionen- und Partikelstrahlbeschuss und/oder Amorphisierung und/oder E-Beam-Bestrahlung und/oder Laser-Bestrahlung und/oder mechanisch spanende Verfahren und/oder formgebende Verfahren, die bei einer Strukturierung, die die Strukturierung der Grenzfläche mit umfasst, mit einem Reißen der Graphen-Schichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) kombiniert sind.

[0030] Als Ergebnis des oben beschriebenen, beispielhaften Herstellungsprozesses ergibt sich ein elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement, das zumindest eine Teilvorrichtung umfasst, die ein erstes Substrat (G_{Sub}) bestehend aus zumindest zwei Schichtbereichen (G_{B1} , G_{B2}) umfasst, wobei der erste Schichtbereich (G_{B1}) und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) übereinander angeordnet sind und einen gemeinsamen Grenzflächenbereich (G_{FB}) mit einer ersten Grenzfläche (G_{F1}) aufweisen. Wenn in dieser Offenlegung von übereinander gesprochen wird, so ist damit gemeint, dass bei geeigneter Orientierung des Gesamtpakets die jeweiligen Schichtbereiche übereinander liegen. Daher kann das Gesamtpaket auch in andere Orientierungen gedreht sein, ohne dass der Offenbarungs- und Beanspruchungsgehalt dieser Offenlegung aufgrund dieser anderen Orientierung verlassen wird. Der erste Schichtbereich (G_{B1}) der Teilvorrichtung besteht in dem hier zunächst diskutierten besonders bevorzugten und besonders erprobten Beispiel aus Graphit mit Bernal-Kristallstruktur (Graphit-2H) mit mindestens 3 Atom-Lagen mit einer jeweiligen Dicke von genau einem Atom. Diese Atom-Lagen werden in dieser Offenlegung auch als Graphen-Schichten bezeichnet. Der zweite Schichtbereich (G_{B2}) der Teilvorrichtung besteht aus Graphit mit rhombohedraler Kristallstruktur (englisch rhombohedral, Graphit-3R) mit mindestens 3 Atom-Lagen mit einer jeweiligen Dicke von genau einem Atom. Die Graphen-Lagen des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) weist vorzugsweise wieder eine Orientierung ihrer ersten Flächennormalen (n_{F1}) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (c) der Kristallgitter der Graphen-Schichten des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) auf. Die Graphen-Lagen des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) weist des Weiteren eine Orientierung ihrer ersten Flächennormalen (n_{F1}) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (d) der Kristallgitter der Graphen-Schichten des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) auf. Zumindest ein Teilbereich des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) weist dabei im Gegensatz zum Stand der Technik supraleitende Eigenschaften auf. Dieser Teilbereich des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) weist dabei eine Sprungtemperatur (T_C) auf, die höher ist als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder eine kritische magnetische Flussdichte (B_K) bei 77 K auf, die höher ist als 1T und/oder 50 T ist. Um die Kontaktierung der

Graphen-Lagen des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) zu ermöglichen, ist das erste Substrat (G_{Sub}) ist dabei so strukturiert, dass die Außenkante des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) in zumindest einem Teilbereich des ersten Substrats (G_{Sub}) durch Bearbeitung verändert ist. Vorzugsweise wird dieser Randbereich des ersten Substrats (G_{Sub}) so verändert, dass beispielsweise durch ein Ansträgen der Grenzflächenbereich (G_{FB}) offen liegt und mittels Metalldeposition kontaktiert werden kann. Um das Bauteil anschließen zu können, ist es sinnvoll, wenn der Grenzflächenbereich (G_{FB}) zumindest einen elektrischen Kontakt aufweist, mit der dazu vorgesehen oder geeignet ist, den Grenzflächenbereich (G_{FB}) elektrisch mit einem elektrischen Leiter zu verbinden.

[0031] Um nun ein geeignetes Signal aus dem Bauelement zu erhalten, wird das Bauelement mittels eines Verfahrens zum Betreiben eines elektrischen oder optischen oder magnetischen oder elektronischen Bauelements mit elektrischer Energie versorgt. Hierzu wird das vorgeschlagene elektrische oder magnetische oder elektronische Bauelement bereitgestellt. Das vorgeschlagene Verfahren zum Betrieb eines vorgeschlagenen elektrischen oder optischen oder magnetischen oder elektronischen Bauelements zeichnet sich unter anderem dadurch aus, dass das Bauelement eine supraleitende Teilvorrichtung mit einer Sprungtemperatur (T_C) aufweist, die höher ist als -196°C und/oder eine kritische magnetische Flussdichte (B_K) bei 77 K aufweist, die höher ist als 1T und/oder 50 T. Durch Bestromen des elektrischen Bauelements bei einer Temperatur (T), die oberhalb von -196°C liegt wird in dem elektrischen oder optischen oder magnetischen oder elektronischen Bauelement ein elektrischer Stromfluss hervorgerufen. Hierbei ist es vorteilhaft, das Bauelement zunächst auf eine Temperatur oberhalb der Sprungtemperatur (T_C) zu erhitzen und dann unterhalb der Sprungtemperatur, aber noch oberhalb von -195°C zu betreiben. Dabei tritt dann innerhalb des supraleitenden Teilbereichs, des Grenzflächenbereichs (G_{FB}), ein Stromfluss auf. Auf Basis eines solchen bei Raumtemperatur supraleitenden Teilbereichs lässt sich somit ein elektrisches Bauelement definieren, was dadurch gekennzeichnet ist, dass es zumindest eine Teilvorrichtung aufweist, die ein elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_C) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder die kritische magnetische Flussdichte (B_K) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T aufweist. Vorzugsweise weist es als elektrischer Supraleiter Kohlenstoff und zwar vorzugsweise in kristalliner Form und zwar vorzugsweise in rhombohedraler Kristallstruktur (Graphit 3R) und/oder in Bernal-Kristallstruktur (Graphit 2H) auf. Es ist vorzugsweise dazu vorgesehen, in einem ersten vorgesehenen Betriebszustand bei einer Arbeitstemperatur (T_a) oberhalb der Sprungtemperatur (T_C) betrieben zu werden und in einem zweiten

vorgesehenen Betriebszustand bei einer Arbeitstemperatur (T_a) unterhalb der Sprungtemperatur (T_c) betrieben zu werden.

[0032] Ein solches supraleitendes Bauelement kann durch Ausnutzung der kritischen Temperatur (T_c) als Temperatursensor verwendet werden. Ein vorgeschlagener Temperatursensor ist demnach dadurch gekennzeichnet, dass er ein elektrisches Bauelement wie zuvor vorgeschlagen aufweist, das mindestens eine supraleitende Teilvorrichtung wie zuvor beschrieben aufweist. Bei einem solchen vorgeschlagenen elektrischen Bauelement hängt seine Leitfähigkeit von einem externen Magnetfeld ab. Diese Abhängigkeit kann abrupt durch Überschreiten der kritischen Magnetfeldstärke (B_k) oder durch langsames Eindringen der magnetischen Flusslinien in den Supraleiter hervorgerufen werden. Von besonderem Interesse sind ringförmige und/oder spiralförmige Strukturen insbesondere im Zusammenhang mit Flachspulen und/oder Josephson-Kontakten. Solche Strukturen zeichnen sich dadurch aus, dass die supraleitende Teilstruktur eines solchen Bauelements ein topologisches Geschlecht größer 0 aufweist. Das bedeutet: Die supraleitende Struktur weist zumindest ein Loch (O1) auf, das ganz vom Supraleiter umfassen ist. (siehe **Fig. 13**) Im Sinne dieser Offenbarung sind damit auch beispielsweise ringförmige Supraleiter eingeschlossen, die z.B. an einem oder zwei oder noch mehreren Stellen beispielsweise durch Tunnelstrecken für Ladungsträger unterbrochen sind. (siehe **Fig. 28, Fig. 29**) Auch solche Konstruktionen sollen durch das topologische Geschlecht 0 erfasst sein.

[0033] Das einfachste elektronische Bauelement, das sich durch das oben skizzierte Verfahren realisieren lässt, ist das einer elektrischen Leitung. Hierfür wird beispielsweise das erste Substrat (G_{Sub}), wie beschrieben auf beiden Seiten abgedünnt und auf einem zweiten Substrat (SUB) als Träger montiert. Die Kristallkanten werden parallel zur Leitungsrichtung links und rechts der Mittellinie der Leitung durch die Strukturierung so herausgearbeitet, dass vorzugsweise nur noch die Leitung als solche auf dem zweiten Substrat (SUB) verbleibt. Ggf. wird die Leitung an ihren beiden Enden, wie zuvor beschrieben, mittels Metalldeposition und anschließender vorzugsweise fotolithografischer Strukturierung dieses Metalls angeschlossen. Diese Metallisierung kontaktiert den Grenzflächenbereich (G_{FB}) oder eine darin enthaltene Grenzfläche (G_F). Natürlich ist es auch denkbar, ein erstes Substrat (G_{Sub}) beispielsweise mechanisch so zu bearbeiten, dass sich beispielsweise ein länglicher Stab ergibt, wobei der Vektor der Stabrichtung bevorzugt parallel zu einem Ebenenvektor der Graphen-Schichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB}), der parallel zu den Graphen-Schichten dieses Grenzflächenbereichs (G_{FB}) ist, ist, wodurch der Stab in zwei Hälften, den ersten Schichtbereich (G_{B1}) und den zweiten Schichtbereich (G_{B2}) geteilt wird. Die

elektrischen Kontakte zu dem Grenzflächenbereich (G_{FB}) können in einem solchen Fall auch durch Metallkappen hergestellt werden, die auf dem so gefertigten Stab an dessen jeweiligen Enden aufgesetzt werden.

[0034] Da beim Stromfluss ein Magnetfeld auftritt, ist es möglich, mittels einer ersten solchen Leitung, wenn sie in einem Abstand (d_L) zu einer zweiten solchen Leitung geführt ist, elektrische Eigenschaften der ersten Leitung durch den Stromfluss in der zweiten Leitung zu verändern. (siehe **Fig. 10**) Hierbei kann es sich bei der zweiten Leitung auch um einen Teilabschnitt eines anderen vorgeschlagenen Bauelements, umfassend einen Raumtemperatursupraleiter als funktionale Teilvorrichtung handeln. Statt einer Ringstruktur ist es denkbar, das Bauelement nicht in Planartechnik herzustellen. Die Herstellung von Graphit mit hohem Anteil von rhombohedrischem Graphit ist beispielsweise aus den Patentfamilien der AU 2015 234 343 A1, der EP 2 982 646 A1 und der JP 5 697 067 B1 bekannt.

[0035] Besonders vorteilhaft ist es, wenn auf Basis der vorgeschlagenen Vorrichtung eine bei Raumtemperatur supraleitende Leitung hergestellt wird. Diese sollte dann vorzugsweise zylinderförmig sein und rundherum graphitisiert sein. Bei einer solchen Leitung sollte bevorzugt zumindest eine supraleitende Teilstruktur zylinderförmig sein.

[0036] Ein solches vorgeschlagenes elektrisches Bauelement mit einer bei Raumtemperatur supraleitenden Teilstruktur kann beispielsweise aber nicht nur eine elektrische Spule oder in speziellen Fällen eine Flachspule sein. Zwei solcher Spulen können zu einem bei Raumtemperatur elektrisch supraleitenden Übertrager für Signale und/oder für Energie kombiniert werden. Wird ein Zylinder mit bernalem und rhombohedrischen Graphit abwechselnd umlaufend beschichtet und wird beispielsweise ein spiralförmiger Graben in das so entstandene Graphit-Schichtpaket gefräst, das dieses elektrisch durchtrennt, so erhält man eine bei Raumtemperatur elektrisch supraleitende Zylinderspule.

[0037] Aus der Mikrowellentechnik sind Mikrostreifenleitungen bekannt. Es wird daher vorgeschlagen, solche Mikrostreifenleitungen mittels bei Raumtemperatur supraleitenden Teilstrukturen herzustellen. (siehe **Fig. 30**) Das hierzu gangbare Verfahren wurde oben beschrieben. In vielen Anwendungsfällen ist kein Übertrager notwendig, sondern eine effiziente Antenne oder ein anderes HF-Bauelement, das möglichst verlustfrei arbeitet. Es wird daher vorgeschlagen, Resonatoren, insbesondere Mikrowellenresonator und/oder THz Resonatoren und/oder Antennen und/oder ein Oszillatoren mit zumindest Teilvorrichtungen aus einem bei Raumtemperatur supraleitendem Material herzustellen. Hier kann beispielsweise

das oben angegebene Verfahren angewendet werden.

[0038] Des Weiteren wird vorgeschlagen, die Verwendung solcher bei Raumtemperatur supraleitender Teilvorrichtungen als Bauteile von elektrischen Kondensatoren zu verwenden. Beispielsweise können die Zuleitungen und/oder die Kondensator-Platten aus dem oben beschriebenen bei Raumtemperatur supraleitenden Material gefertigt werden. (siehe Fig. 30b)

[0039] Ein Bauelement kann nun so gefertigt werden, dass es einen vorgegebenen magnetischen Fluss einfriert. Wird es mit einem Sensor zur Auswertung des magnetischen Flusses kombiniert, so weist das Bauteil ein bistabiles Verhalten auf.

[0040] Ein besonders wichtiges Bauelement in diesem Zusammenhang ist eine Josephson-Diode. Eine Josephson Diode oder englisch Josephson-Junction wird bevorzugt als phasenmodulierendes Element für Elektronenwellen bzw. Cooper-Paar-Wellen eingesetzt. Zur Herstellung einer solchen Josephson Diode wird beispielsweise eine bei Raumtemperatur supraleitende Leiterbahn z.B. aus dem oben oder weiter unten beschriebenen Material mittels eines Focussed-Ion-Beams oder Elektronenstrahls durchtrennt und die Trennstelle mit wenigen Atomlagen eines Isolators gefüllt. Die Schichten sind dabei so nahe beieinander, dass ein Tunneln der Ladungsträger immer noch möglich ist. Eine solche Struktur weist ein bistabiles Verhalten auf. Aus der DE 2 434 997 ist bekannt, dass auf Basis solcher Josephson-Dioden Josephson-Speicher hergestellt werden können.

[0041] Auf Basis eines solchen bei Raumtemperatur supraleitenden Bauelements können Quantenregister-Bits hergestellt werden. Hierzu später mehr.

[0042] Auf Basis des bisher gesagten lassen sich auch optische Bauelemente herstellen, die zumindest eine Teilvorrichtung aufweisen, die einen elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_c) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder höher als 360°K und/oder die kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T aufweist.

[0043] Ebenso werden hier auch magnetische Bauelemente vorgeschlagen, die zumindest eine Teilvorrichtung aufweisen, die jeweils zumindest einen elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_c) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder die kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T aufweist. Durch die Einprägung eines Ringstromes kann ein Material wie

hier bereits beschrieben, z.B. als Permanentmagnet verwendet werden.

[0044] Es ist somit z.B. dazu vorgesehen, bei einer Temperatur unterhalb der Sprungtemperatur (T_c) und/oder bei einem externen Magnetfeld unterhalb der kritischen magnetischen Flussdichte (B_k) betrieben zu werden. Bei bestimmungsgemäßen Gebrauch weist das vorgeschlagene magnetische Bauelement ein Dauermagnetfeld mit einer magnetischen Flussdichte (B_f) von mehr als $5\mu\text{T}$ auf.

[0045] Ein solches vorgeschlagenes magnetisches Bauelement ist ein Flussquantengenerator. In diesem Zusammenhang sei auf die DE 28 43 647 verwiesen.

[0046] Ein solches Bauelement kann auch in elektrischen Maschinen eingesetzt werden. Insbesondere können solche Bauelemente zur Messung des Magnetfeldes und damit zur Bestimmung der Rotorposition in rotierenden elektrischen Maschinen eingesetzt werden. Es wird daher eine elektrische Maschine vorgeschlagen, die eine rotierende Maschine oder ein Linearmotor sein kann, die zumindest eine Teilvorrichtung - beispielsweise einen elektromagnetisch arbeitenden Sensor zur Rotorpositionsbestimmung - aufweist, die selbst wieder eine Teilvorrichtung aufweist, die ein elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_c) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder die kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T ist, womit die betreffende elektrische Maschine diese Eigenschaft ebenfalls besitzt. Der Sensor und damit die supraleitende Teilvorrichtung kann Teil eines Rotors und/oder eines Läufers und/oder eines Stators der Maschine sein.

[0047] Solche magnetischen Sensoren, mit zumindest einer bei Raumtemperatur supraleitenden Teilvorrichtung, die ein elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_c) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder die kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T ist, sind aufgrund ihrer Empfindlichkeit von besonderem Interesse für die Medizintechnik. Beispielsweise können sie als Sensoren und Antennen für NMR-Anlagen etc. eingesetzt werden.

[0048] Aus dem gleichen Grunde wird vorgeschlagen, mobile Geräte mit solchen Sensoren auszustatten. Das vorgeschlagene mobile Gerät weist daher zumindest eine Teilvorrichtung auf, die ein elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_c) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder die kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T ist. Eine solche Teil-

vorrichtung kann aber auch beispielsweise ein Energiespeicher für das mobile Gerät sein. Auch ist es denkbar in Zukunft tragbare Quantencomputer unter Ausnutzung der Eigenschaften des hier beschriebenen Materials zu bauen. Da die Kühlvorrichtungen entfallen, ist die Verfügbarkeit des hier beschriebenen Materials ausschlaggebend für die Nacharbeitbarkeit. Hierzu später mehr.

[0049] Des Weiteren wird auch ein Energiespeicher vorgeschlagen, der Energie beispielsweise in Form eines supraleitenden Kreisstroms speichert. Ein solcher Energiespeicher zeichnet sich dadurch aus, dass er zumindest eine Teilvorrichtung aufweist, die ein elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_c) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder die kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T ist.

Exemplarische Beschreibung eines beispielhaften Hall-Bauelements als beispielhaftes elektromagnetisches Sensorbauelement

[0050] Bei dem beispielhaften Hall-Bauelement handelt es sich um ein elektronisches Bauelement mit einer Hall-Messstruktur. Vorteilhafterweise kann auf im Stand der Technik verfügbare halbleitende Hall-Strukturen zurückgegriffen werden. Im Sinne dieses Vorschlags ist es möglich, das Hall-Bauelement durch ein anderes für magnetische Felder empfindliches elektronisches Bauteil, beispielsweise einen GMR-Widerstand oder einen AMR-Sensor zu ersetzen. Ganz allgemein wird also ein elektronisches Bauelement vorgeschlagen, das eine elektronische Teilvorrichtung aufweist, die einen elektrischen Parameter in Abhängigkeit von einer Magnetfeldgröße oder von einem anderen Parameter des elektromagnetischen Feldes ändert und somit als Magnetfeldsensor dienen kann.

[0051] Auf diese Teilvorrichtung, also beispielsweise die besagte Hall-Struktur, wird das zuvor beschriebene bei Raumtemperatur supraleitende Substrat (G_{Sub}) zusätzlich aufgebracht. (siehe **Fig. 19**) Dies kann beispielsweise, aber nicht nur durch Aufkleben oder Festklemmen mit einem nicht magnetischen Werkstoff (z.B. einem Kleber GL) geschehen. Dadurch weist das elektronische Bauelement, vorzugsweise in seiner unmittelbaren Nähe zumindest eine Teilvorrichtung auf, die ein elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_c) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder und/oder höher als 360°K aufweist. Ein anderes gleichberechtigtes Merkmal kann sein, dass die kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T ist. Vorzugsweise wird das zuvor beschriebene Bauelement durch Verwendung der zuvor beschriebenen Graphit-Struktur hergestellt. In dem Fall ist dann die erste Teilvorrich-

tung ein erstes Substrat (G_{Sub}) bestehend aus zumindest zwei Schichtbereichen (G_{B1} , G_{B2}), wobei der erste Schichtbereich (G_{B1}) und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) übereinander angeordnet sind und einen gemeinsamen Grenzflächenbereich (G_{FB}) aufweisen und wobei zumindest der erste Schichtbereich (G_{B1}) oder der zweite Schichtbereich (G_{B2}), besser jedoch beide Schichtbereiche (G_{B1} , G_{B2}) über der Hallmessstruktur angeordnet ist. Im Falle der Verwendung eines anderen für magnetische Felder empfindlichen elektronischen Bauteils anstelle einer Hall-Struktur, beispielsweise eines GMR-Widerstands oder eines AMR-Sensors, ist dann zumindest der erste Schichtbereich (G_{B1}) oder der zweite Schichtbereich (G_{B2}) über oder in der Nähe der für magnetische Felder empfindlichen Teilstruktur des anderen für magnetische Felder empfindlichen elektronischen Bauteils, das anstelle einer Hall-Struktur verwendet wird, angeordnet. In der Nähe bedeutet dabei, dass ein magnetisches Feld der bei Raumtemperatur supraleitenden Struktur auf die für magnetische Felder empfindliche Teilstruktur des anderen für magnetische Felder empfindlichen elektronischen Bauteils, das anstelle einer Hall-Struktur verwendet wird, so einwirken kann, dass ein elektrischer des anderen für magnetische Felder empfindlichen elektronischen Bauteils, das anstelle einer Hall-Struktur verwendet wird, messbar in Abhängigkeit von oder in Korrelation mit dem magnetischen Feld der bei Raumtemperatur supraleitenden Struktur verändert wird.

[0052] Der erste Schichtbereich (G_{B1}) besteht dann wieder aus Graphit mit Bernal-Kristallstruktur (Graphit-2H) mit mindestens 3 Atom-Lagen mit einer jeweiligen Dicke von genau einem Atom je Atom-Lage und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) aus Graphit mit rhombohedrischer Kristallstruktur (englisch rhombohedral, Graphit-3R) mit mindestens 3 Atom-Lagen mit einer jeweiligen Dicke von genau einem Atom je Atom-Lage.

[0053] Die Graphen-Schichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) weisen bevorzugt eine Orientierung ihrer ersten Flächennormalen (n_{F1}) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (c) des Kristallgitters der Graphen-Schichten des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) auf.

[0054] Die Graphen-Schichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) weisen bevorzugt eine Orientierung ihrer ersten Flächennormalen (n_{F1}) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (d) des Kristallgitters der Graphen-Schichten des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) auf.

[0055] Zumindest ein Teilbereich des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) weist dann wieder zumindest teilweise supraleitende Eigenschaften aufweist und wobei der betreffende Teilbereich des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) weist zumindest teilweise eine Sprung-

temperatur (T_c) auf, die höher als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K ist, und/oder eine kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K auf, die höher ist als 1T und/oder 50 T.

[0056] Bei Versuchen hat es sich gezeigt, dass es u.U. ausreichend ist, wenn das elektronische Bauelement zumindest eine Teilvorrichtung aufweist, die ein elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_c) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder mit einer kritischen magnetischen Flussdichte (B_k) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T ist, wobei diese erste Teilvorrichtung ein erstes Substrat (G_{Sub}) bestehend aus zumindest zwei Schichtbereichen (G_{B1} , G_{B2}) ist. Dabei sind der erste Schichtbereich (G_{B1}) und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) übereinander angeordnet und weisen einen gemeinsamen Grenzflächenbereich (G_{FB}) auf. Zumindest der erste Schichtbereich (G_{B1}) oder der zweite Schichtbereich (G_{B2}), bevorzugt jedoch beide Schichtbereiche, sind dabei über der Hallstruktur oder dem angeordnet. In bestimmten Fällen ist es ausreichend, wenn der erste Schichtbereich (G_{B1}) ein Kristall aus Kohlestoff mit einer ersten Kristallstruktur (Stapelfolge) ist und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) ein zweiter Kristall aus Kohlestoff mit einer ersten oder zweiten Kristallstruktur (Stapelfolge) ist und zwischen dem ersten Kristall und dem zweiten Kristall eine erste Grenzfläche (G_{F1}) ausgebildet ist, die innerhalb eines Grenzflächenbereichs (G_{FB}) liegt. Es hat sich gezeigt, dass eine Dotierung, insbesondere mit Bor, in manchen Fällen dazu führen kann, dass zumindest ein Teilbereich des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) zumindest teilweise supraleitende Eigenschaften aufweist und dieser betreffende Teilbereich des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) zumindest teilweise eine Sprungtemperatur (T_c) aufweist, die höher ist als -195°C bzw. höher als -100°C bzw. höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder eine kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K aufweist, die höher ist als 1T und/oder 50 T. Die Reproduzierbarkeit war zum Zeitpunkt der Offenlegung aber nur gering. Die Dotierung mit Bor dient dabei dem elektrischen Anschluss der Grenzschicht. Zumindest der erste Schichtbereich (G_{B1}) oder der zweite Schichtbereich (G_{B2}) bevorzugt über oder in der Nähe einer Hallmessstruktur oder einem anderen Magnetfeld sensitiven Sensor oder Sensorelement angeordnet. Hierbei bedeutet Nähe, dass ein magnetisches Feld, das durch einen Strom in dem Grenzflächenbereich (G_{FB}) oder dem ersten Schichtbereich (G_{B1}) oder dem zweiten Schichtbereich (G_{B2}) erzeugt wird, einen Parameter, insbesondere ein Messsignal, der Hallmessstruktur oder des anderen Magnetfeld sensitiven Sensors oder Sensorelements ändern kann.

[0057] Dem Fachmann ist offenbar, dass auf diesem hier offenbarten Grundprinzip jede integrierte Schal-

tung im Stand der Technik mit dem zuvor beschriebenen, bei Raumtemperatur supraleitenden Substrat (G_{Sub}) kombiniert werden kann. Hierfür wird das zuvor beschriebene, bei Raumtemperatur supraleitende Substrat (G_{Sub}) auf dem integrierten Schaltkreis als Träger (Sub_1) aufgebracht oder in diesen eingebracht. Dies kann beispielsweise, aber nicht nur durch Aufkleben oder Festklemmen mit einem nicht magnetischen Werkstoff geschehen. Die integrierte Schaltung umfasst dann auch das supraleitende Substrat (G_{Sub}) als Teilvorrichtung der integrierten Schaltung. Dadurch weist die integrierte elektronische Schaltung, zumindest eine Teilvorrichtung auf, die ein elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_c) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder die kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T ist. Dies beispielsweise dann von Vorteil, wenn das Signal des Hall-Elements noch verstärkt werden soll. Vorzugsweise wird das zuvor beschriebene Bauelement durch Verwendung der zuvor beschriebenen Graphit-Struktur hergestellt. In dem Fall ist dann die erste Teilvorrichtung ein erstes Substrat (G_{Sub}) bestehend aus zumindest zwei Schichtbereichen (G_{B1} , G_{B2}), wobei der erste Schichtbereich (G_{B1}) und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) übereinander angeordnet sind und einen gemeinsamen Grenzflächenbereich (G_{FB}) aufweisen und wobei zumindest der erste Schichtbereich (G_{B1}) oder der zweite Schichtbereich (G_{B2}) auf einer Oberfläche der integrierten Schaltung angeordnet ist.

Vorgeschlagene Bauelementstruktur mit modifizierten Materialien

[0058] Es wird basierend auf dem vorher Beschriebenen als Verallgemeinerung ein elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement mit einem modifizierten Graphit-Material vorgeschlagen. Es wurde erkannt, dass geänderte Graphen-Stapelfolgen und Stapelfehler zu einer Änderung des Ordnungsparameters $8\pi\Delta/g$ führen können, der typischerweise proportional zur Sprungtemperatur T_c des Leiters ist, was zu einer gezielten Modifikation der Sprungtemperatur (T_c) genutzt werden kann. Es wurde im Rahmen der Ausarbeitung dieser Offenlegung somit erkannt, dass durch eine geeignete Abweichung von der zuvor beschriebenen Gesamtstapelfolge aus einer ersten bernalen Stapelfolge und einer zweiten rhombohedrischen Stapelfolge die Sprungtemperatur (T_c) des Substrates (G_{sub}) mit dieser Gesamtstapelfolge modifiziert werden kann. Nachdem nun für die Gesamtstapelfolge aus bernalen und rhombohedrischen Graphit bekannt ist, dass Raumtemperatursupraleitung möglich ist, ist auch offenbar, dass durch eine Modulation der Stapelfolgen der Graphen-Ebenen in der Abfolge der Graphen-Ebenen in einem Graphit-Kristall tatsächlich die Supraleitersprungtemperatur T_c und ggf. auch an-

dere elektrische Eigenschaften der Gesamtstapelfolge modifiziert werden können. Es wird daher vorgeschlagen, ausgehend von der Gesamtstapelfolge aus bernalem und rhombohedrischen Graphit für das erste Substrat (G_{sub}) die sich ergebende Gesamtstapelfolge zu variieren und auf diese Weise die Sprungtemperatur (T_c) und die kritische Flussdichte (B_c) entsprechend der gewünschten Anwendung zu modifizieren.

[0059] Es wurde daher erkannt, dass neben der oben offenbarten tatsächlich Raumtemperatursupraleitung zeigenden Kombination eines rhombohedrischen Graphitkristalls als zweiten Schichtbereich (G_{B2}) mit einem bernalem Graphitkristall als ersten Schichtbereich (G_{B1}) weitere Graphen-Schicht-Stapelfolgen als Gesamtstapelfolge Supraleitung mit typischerweise abweichender Sprungtemperatur (T_c) zeigen müssen.

[0060] Es wird daher als Verallgemeinerung dieses erkannten Prinzips ein elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement mit abweichender Sprungtemperatur (T_c) und abweichender kritischer magnetischer Flussdichte (B_c) mit einer Teilvorrichtung vorgeschlagen, die ein erstes Substrat (G_{sub}) bestehend aus zumindest zwei Schichtbereichen (G_{B2} , G_{B1}) umfasst. Der erste Schichtbereich (G_{B1}) und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) sind wieder übereinander angeordnet und besitzen eine gemeinsame erste Grenzfläche (G_{F1}) zwischen dem ersten Schichtbereich (G_{B1}) und dem zweiten Schichtbereich (G_{B2}). Insofern stimmt diese Anordnung mit der zuvor beschriebenen Anordnung überein. Bevorzugt besteht der erste Schichtbereich (G_{B1}) aus Graphit mit einer ersten Stapelfolge von mindestens 3 Graphen-Schichten. Die 3 Graphen-Schichten ergeben sich als Mindestzahl, um zwischen einer bernalem und rhombohedrischen Stapelfolge unterscheiden zu können. Es wurde bei der Ausarbeitung des Vorschlags erkannt, dass eine größere Anzahl von Graphen-Schichten vorteilhaft ist, um mit wesentlich größerer Sicherheit den gewünschten Effekt zu erzielen. Bevorzugt ist daher ein Graphen-Schicht-paket mit wesentlich mehr als 3 Graphen-Schichten als erster Schichtbereich (G_{B1}). Der zweite Schichtbereich (G_{B2}) besteht wieder aus Graphit mit einer zweiten Stapelfolge von Graphen-Schichten. Zu dessen Mindestdicke später mehr.

[0061] Die Gesamtstapelfolge bestehend aus der Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) und der Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) und der gemeinsamen Grenzfläche (G_F) entspricht dabei nicht der Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}). Das bedeutet nichts anderes, als dass es an der Grenze zwischen erstem Schichtbereich (G_{B1}) und zweitem Schichtbereich (G_{B2}) zu einem Stapelfehler kommt. Eine wesentliche Erkenntnis dieses Vorschlags ist es, dass nicht nur Punkt-Gitter-Feh-

ler wie z.B. Fremdatome zur Veränderung elektronischer Eigenschaften von Materialien verwendet werden können, sondern auch Stapelfehler leitfähiger Materialien. In diesem Fall ist das leitfähige Material Graphit. Bei einem Halbleiter werden durch Dotierung isolierende, n-halbleitende und p-halbleitende Bereiche geschaffen. Es ist eine wesentliche Erkenntnis dieses Vorschlags durch stapelfehlerinduzierte Modifikation des Materials- hier Graphit - zum einen supraleitende Teilbereiche und nicht supraleitende Teilbereiche innerhalb eines Substrats (G_{sub}) zu schaffen und zum anderen die Sprungtemperatur (T_c) durch die Kombination von Stapelfolgen der Graphen-Schichten zu modifizieren. Das Bauelement ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Teilbereich der Gesamtstapelfolge supraleitende Eigenschaften mit einer Sprungtemperatur (T_c) aufweist oder eine kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K aufweist.

[0062] Dabei hängen in bevorzugten Realisierungen die Sprungtemperatur (T_c) oder die kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K von der Gesamtstapelfolge ab. Die Sprungtemperatur (T_c) sollte durch die geeignete Wahl der Stapelfolge so eingestellt werden, dass sie höher ist als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder dass die kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T ist. Wie oben bereits erläutert, besteht eine mögliche Gesamtstapelfolge für die Einstellung von supraleitenden Eigenschaften bei Raumtemperatur aus einer ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) in Form einer bernalem ersten Stapelfolge in Kombination mit einer zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) in Form einer rhombohedrischen zweiten Stapelfolge.

[0063] Bevorzugt hat die erste Grenzfläche (G_{F1}) eine Orientierung ihrer ersten Flächennormalen (n_{F1}) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (c) des Kristallgitters der Graphen-Schichten des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) und eine Orientierung ihrer ersten Flächennormalen (n_{F1}) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (d) des Kristallgitters der Graphen-Schichten des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}).

[0064] Das erste Substrat (G_{sub}) wird bevorzugt so strukturiert, dass die Außenkannte der ersten Grenzfläche (G_{F1}) in zumindest einem Teilbereich des ersten Substrats (G_{sub}) durch Bearbeitung verändert wird. Hierzu sei auf die Ausführungen oben ausdrücklich verwiesen.

[0065] Um das elektrische Bauteil betreiben zu können, sollte die erste Grenzfläche (G_{F1}) zumindest einen elektrischen Kontakt aufweisen, der dazu vorgesehen oder geeignet ist, die erste Grenzfläche (G_{F1}) oder einen, diese enthaltenden Grenzflächenbereich (G_{FB}) elektrisch mit einem elektrischen Leiter zu verbinden. Es ist allerdings auch denkbar, supraleitende Bauelemente rein Kapazitiv oder induktiv, also oh-

ne Kontakt anzuschließen. Ein bei Raumtemperatur supraleitendes magnetisches Bauelement kann beispielsweise eine Teilvorrichtung bestehend aus einem supraleitenden Ring aufweisen, in dem ein zuvor induzierter Permanentstrom fließt. Eine solche Teilvorrichtung verhält sich ähnlich einem Permanentmagneten.

[0066] Zur direkten Kontaktierung sollte die erste Grenzfläche (G_{F1}) oder ein diese enthaltender Grenzflächenbereich (G_{FB}) bevorzugt zumindest einen elektrischen Kontakt aufweist, der dazu vorgesehen oder geeignet ist, die erste Grenzfläche (G_{F1}) oder den diese enthaltenden Grenzflächenbereich (G_{FB}) elektrisch mit einem elektrischen Leiter zu verbinden.

[0067] Wie oben bereits erwähnt, handelt es sich bei der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) bzw. bei der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) bevorzugt jeweils um die Stapelfolge von bernalem Graphit oder um die Stapelfolge von rhombohedrischen Graphit.

[0068] Andere Stapelfolgen können synthetisiert werden, wobei es sich dann mikroskopisch wieder um Kombinationen von A-, B- und C- Positionierungen von Graphen-Schichten handeln dürfte. Die Abfolge kann aber variiert werden, was jedes Mal die Sprungtemperatur (T_c) bzw. die kritische magnetische Flussdichte (B_c) beeinflusst.

[0069] Bei einer besonderen Variante, die vorgeschlagen wird, ist die erste Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) gleich der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}). Die zweite Stapelfolge ist in dieser Variante aber gegenüber der ersten Stapelfolge um einen translatorischen Verschiebungsvektor längs der ersten Grenzfläche (G_{F1}) versetzt. Auch ist ein rotatorischer Versatz denkbar. Es entsteht dann aufgrund des rotatorischen Versatzes um eine Drehachse ein Morie-Muster in den elektrischen Eigenschaften modifizierten Graphits. Bei einem solchen Bauelement ist bevorzugt die erste Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) gleich der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}), die zweite Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) wäre dann aber gegenüber der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) um einen Winkel ungleich null um eine Flächennormale der ersten Grenzfläche (G_{F1}) verdreht.

[0070] Statt „Gleichheit“ kann auch „Ungleichheit“ der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) und des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}), also beispielsweise bernaler Graphit in Kombination mit rhombohedrischem Graphit, verwendet werden. Dabei ist die erste Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) nicht gleich der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}).

[0071] Wie bei einer PN-Diode bei der Dotierung von Halbleitern, können auch hier Mehrschicht-Strukturen definiert werden, die PNP- oder NPN-Strukturen der Halbleitertechnik strukturell entsprechen. Hierzu wird ein dritter Schichtbereich (G_{B3}) eingeführt, der mit dem ersten Schichtbereich (G_{B1}) dann den zweiten Schichtbereich (G_{B2}) von oben und unten einschließt. (siehe **Fig. 31**)

[0072] In dieser Variante mit drei Schichtbereichen (G_{B1} , G_{B2} , G_{B3}) weist ein vorschlagsgemäßes Bauelement eine Teilvorrichtung auf, die ein erstes Substrat (G_{Sub}) bestehend aus nun zumindest drei Schichtbereichen (G_{B1} , G_{B2} , G_{B3}) statt zwei Schichtbereichen (G_{B1} , G_{B2}) umfasst. Der erste Schichtbereich (G_{B1}) und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) sind wieder übereinander angeordnet und weisen wieder die gemeinsame erste Grenzfläche (G_{F1}) zwischen dem ersten Schichtbereich (G_{B1}) und dem zweiten Schichtbereich (G_{B2}) auf. Zusätzlich sind in dieser Variante der zweite Schichtbereich (G_{B2}) und der dritte Schichtbereich (G_{B3}) übereinander angeordnet und weisen eine gemeinsame zweite Grenzfläche (G_{F2}) zwischen dem zweiten Schichtbereich (G_{B2}) und dem dritten Schichtbereich (G_{B3}) auf. Der erste Schichtbereich (G_{B1}) besteht wieder aus Graphit mit einer ersten Stapelfolge von mindestens 3 Graphen-Schichten. Auch der dritte Schichtbereich (G_{B3}) besteht in dieser Variante mit drei Schichtbereichen (G_{B1} , G_{B2} , G_{B3}) aus Graphit mit einer dritten Stapelfolge von mindestens 3 Graphen-Schichten. Der zweite Schichtbereich (G_{B2}) besteht wieder aus Graphit mit der zweiten Stapelfolge von Graphen-Schichten. Hierbei kann der zweite Schichtbereich (G_{B2}) auch nur eine Graphen-Schicht oder nur zwei Graphen-Schichten oder mindestens 3 Graphen-Schichten umfassen. Insofern ist der Begriff zweite Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) hier weiter gefasst, da er in dieser Variante auch nur eine einzelne Graphen-Schicht umfassen kann.

[0073] Wie zuvor soll die Gesamtstapelfolge keiner der Stapelfolgen der Schichtbereiche (G_{B1} , G_{B2} , G_{B3}) entsprechen. Handelt es sich bei der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) um eine einzelne Graphen-Schicht, so ist diese zweite Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) im Sinne dieser Offenlegung als abweichend von den anderen Stapelfolgen anzusehen. Handelt es sich bei der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) um zwei Graphen-Schichten, so ist diese zweite Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) im Sinne dieser Offenlegung als eine bernale Stapelfolge anzusehen.

[0074] Wichtig ist nun, dass wieder die Gesamtstapelfolge aus der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) und der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) und der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs (G_{B3}) und der

ersten Grenzfläche (G_{F1}) und der zweiten Grenzfläche (G_{F2}) nicht der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) in ihrer Gesamtheit entspricht.

[0075] Bevorzugt sollte die Gesamtstapelfolge aus der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B2}) und der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) und der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs (G_{B3}) und der ersten Grenzfläche (G_{F1}) und der zweiten Grenzfläche (G_{F2}) auch nicht der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs (G_{B3}) in ihrer Gesamtheit entsprechen.

[0076] Bevorzugt sollte die Gesamtstapelfolge aus der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B2}) und der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) und der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs (G_{B3}) und der ersten Grenzfläche (G_{F1}) und der zweiten Grenzfläche (G_{F2}) auch nicht der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) in ihrer Gesamtheit entsprechen.

[0077] Bevorzugt sollte die zweite Grenzfläche (G_{F2}) eine Orientierung ihrer zweiten Flächennormalen (n_{F2}) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (c) des Kristallgitters der Graphen-Schichten des dritten Schichtbereichs (G_{B3}) aufweisen und eine Orientierung ihrer zweiten Flächennormalen (n_{F2}) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (d) des Kristallgitters der Graphen-Schichten des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) aufweisen.

[0078] Bevorzugt handelt es sich in einer weiteren Variante des vorgeschlagenen Bauelements bei der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs (G_{B3}) um die Stapelfolge von rhombohedrischen Graphit oder um die Stapelfolge von bernalem Graphit.

[0079] Wieder ist eine erste Möglichkeit, um die zweidimensionale Störung hervorzurufen und die elektronischen Eigenschaften geeignet zu modifizieren, dass die erste Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) gleich der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs (G_{B3}) ist, die dritte Stapelfolge aber gegenüber der ersten Stapelfolge um einen translatorischen längs der ersten Grenzfläche (G_{F1}) versetzt ist. Auch kann wieder analog zu dem zuvor Beschriebenen die erste Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) gleich der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs (G_{B3}) sein, die dritte Stapelfolge aber gegenüber der ersten Stapelfolge um einen Winkel ungleich null um die Flächennormale der ersten Grenzfläche (G_{F1}) verdreht sein.

[0080] Ebenso kann die zweite Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) gleich der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs (G_{B3}) sein, die dritte Stapelfolge aber gegenüber der zweiten Stapelfolge um einen translatorischen längs der zweiten Grenzfläche (G_{F2}) versetzt sein. Auch kann wieder die

zweite Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) gleich der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs (G_{B3}) sein, die dritte Stapelfolge aber gegenüber der zweiten Stapelfolge um einen Winkel ungleich null um die Flächennormale der zweiten Grenzfläche (G_{F2}) verdreht sein.

[0081] Als erste prinzipielle Möglichkeit kann also die erste Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) gleich der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) sein und/oder die dritte Stapelfolge des dritten Schichtbereichs (G_{B3}) gleich der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) sein und/oder die dritte Stapelfolge des dritten Schichtbereichs (G_{B3}) gleich der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) sein.

[0082] Als zweite prinzipielle Möglichkeit kann die erste Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) nicht gleich der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) sein und/oder die dritte Stapelfolge des dritten Schichtbereichs (G_{B3}) nicht gleich der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) sein und/oder die dritte Stapelfolge des dritten Schichtbereichs (G_{B3}) nicht gleich der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) sein.

[0083] Wichtig ist nur, dass die sich ergebende Gesamtstapelfolge den besagten Stapelfehler aufweist, der zur geeigneten Veränderung der Sprungtemperatur (T_c) und/oder der kritischen magnetischen Flussdichte (B_k) führt.

[0084] Bisher haben wir für den ersten Schichtbereich nur eine Mindestdicke von drei Graphen-Lagen angegeben. Es wurde aber bei der Ausarbeitung des Vorschlags erkannt, dass die Beobachtbarkeit des Effekts steigt, wenn die Anzahl der verwendeten Graphen-Schichten größer ist. Der erste Schichtbereich (G_{B1}), der in der ersten Stapelfolge (G_{B1}) angeordnet ist, sollte daher mindestens drei und/oder besser mindestens sechs und/oder besser mindestens 10 und/oder besser mindestens 20 und/oder besser mindestens 50 und/oder besser mindestens 100 Graphen-Schichten umfassen.

[0085] Der dritte Schichtbereich (G_{B3}), der in der dritten Stapelfolge (G_{B3}) angeordnet ist, sollte daher mindestens drei und/oder besser mindestens sechs und/oder besser mindestens 10 und/oder besser mindestens 20 und/oder besser mindestens 50 und/oder besser mindestens 100 Graphen-Schichten umfassen.

[0086] Der zweite Schichtbereich (G_{B2}), der in der zweiten Stapelfolge (G_{B2}) angeordnet ist, sollte mindestens eine und/oder besser zwei und/oder besser mindestens drei und/oder besser mindestens sechs und/oder besser mindestens 10 und/oder besser mindestens 20 und/oder besser mindestens 50 und/oder

besser mindestens 100 Graphen-Schichten umfassen.

[0087] Auf ein solches Bauelement kann dann ein vorgeschlagenes Verfahren zum Transport von elektrischen Ladungsträgern durch diese Bauelemente angewendet werden. Hierzu wird ein oben beschriebenes Bauelement bereitgestellt und ohmsch und/oder induktiv und/oder kapazitiv kontaktiert. Es werden dann erste Ladungsträger in den supraleitenden Teilbereich des Bauelements an einer ersten Stelle eingespeist und bis auf die quantenmechanische Unschärfe gleichzeitig zweite Ladungsträger gleicher Polarität an einer zweiten Stelle des Bauelements, die von der ersten Stelle verschieden ist, dem den supraleitenden Teilbereich entnommen.

[0088] Darüber hinaus kann es vorteilhaft sein, wenn eine oder mehrere Graphen-Schicht des ersten Substrats (G_{sub}) durch Fremdatome dotiert sind. Auch kann es vorteilhaft sein, die Graphen-Schichten isotopenrein herzustellen. Es kann dementsprechend vorteilhaft sein, wenn zumindest eine Graphen-Schicht des ersten Substrats (G_{sub}) isotopenrein ist oder zumindest eine Graphen-Schicht des ersten Substrats (G_{sub}) eine gegenüber lebendem organischem biologischen Material der Erdoberfläche eine um mindestens 10% besser 50%, besser 100% abweichende Konzentration von C^{13} -Isotopen aufweist. Ganz besonders bevorzugt ist die Verwendung von Graphen-Schichten mit 100% C^{13} -Isotopen und/oder 100% C^{14} Isotopen. Natürlich ist auch die Verwendung von C^{14} -Isotopen anstelle der C^{13} -Isotopen möglich. Diese Graphen-Schichten wären dann aber radioaktiv, was in der Regel nachteilig ist.

Beschreibung möglicher Quantenbauelemente

[0089] Es ist aus dem Stand der Technik bekannt, dass mit Supraleitern sogenannte Cooper-Paar-Bonen hergestellt werden können. Diese erfordern im Stand der Technik jedoch eine Kühlung, um die Supraleitung erzeugen zu können. Dieser gravierende Nachteil kann mit den oben beschriebenen Materialien bei geeigneter Wahl der Stapelfolgen vermieden werden.

[0090] Es wird daher darüber hinaus ein elektrisches Bauelement und/oder Quanteninterferenzbauelement (siehe auch **Fig. 13**) mit einem Leiter (W) vorgeschlagen, wobei als Material dieses Leiters (W) bevorzugt ein Graphen-Schichtpaket mit einer bei Raumtemperatur supraleitenden Teilstruktur, wie oben beschrieben, eingesetzt wird. Im Folgenden wird der Leiter (W) als aus mehreren Teilabschnitten (W1a, W1b, W2a, W2b) bestehend beschrieben. Der Leiter (W) ist bevorzugt in einen ersten Leiterzweig (W1a, W1b) und einen zweiten Leiterzweig (W2a, W2b) aufgeteilt. Der erste Leiterzweig (W1a, W1b) und der zweite Leiterzweig (W2a, W2b) sind

bevorzugt so angeordnet, dass sie zumindest teilweise einen Bereich umschließen, sodass sich eine Öffnung (O1) zwischen den Leiterzweigen (W1a, W1b und W2a, W2b) bildet. Der Leiter (W) ist dabei im Gegensatz zum Stand der Technik zumindest teilweise aus einem der oben beschriebenen Materialien gefertigt. Es handelt sich somit bevorzugt um ein Material, das ein elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_c) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder mit einer kritischen magnetischen Flussdichte (B_k) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T ist.

[0091] Bevorzugt weist in einer weiteren Ausgestaltung nun zumindest der erste Leiterzweig (W1a, W1b) eine erste Phasendifferenz-einführende Schwachstelle (TU_1) (Josephson Junction) auf. In einer weiteren Ausgestaltung weist auch der zweite Leiterzweig (W2a, W2b) eine zweite Phasendifferenz-einführende Schwachstelle (TU_2) auf. Bevorzugt wird die Phasendifferenz-einführende Schwachstelle durch einen Isolator oder eine lokale Modifikation der Stapelfolge der Graphen-Schichten gebildet. Die Lücke, die die jeweilige Phasendifferenz-einführende Schwachstelle (TU_1 , TU_2) in dem jeweiligen Zweig darstellt, ist bevorzugt kleiner als $1\mu\text{m}$, besser kleiner als 500nm , besser kleiner als 200nm , besser kleiner als 100nm , besser kleiner als 50nm , besser kleiner als 20nm , besser kleiner als 10nm , besser kleiner als 5nm , besser kleiner als 2nm , besser kleiner als 1nm , besser kleiner als $0,5\text{nm}$. Bevorzugt wird daher die jeweilige Phasendifferenz-einführende Schwachstelle (TU_1 , TU_2) mittels Ionen- oder Elektronenstrahlbearbeitung gefertigt.

[0092] Theoretisch kann die Phasendifferenz-einführende Schwachstelle statt durch einen Isolator auch durch einen bei Raumtemperatur normalleitenden Bereich (z.B. durch Störung der Stapelfolge) oder durch Metall oder durch normalleitenden Graphit (z.B. durch Störung der Stapelfolge) oder durch eine Verringerung zumindest eines Querschnittmaßes, insbesondere der Breite und/oder der Dicke, des Leiters (W) gebildet werden.

[0093] In einer weiteren Ausprägung kann die Phasendifferenz-einführende Schwachstelle (TU_1 , TU_2) mit einer Steuerelektrode (G1, G2) bedeckt sein, die gegenüber dem Leiter (W) elektrisch isoliert ist.

[0094] In einer anderen Ausprägung des vorgeschlagenen Bauelements ist ein Teilbereich eines Leiterzweiges (W1a, W1b) mit einer Steuerelektrode (G1) bedeckt, die gegenüber dem Leiter (W) elektrisch isoliert ist. Hierdurch ist eine kapazitive Kopplung dieses Leiterteilbereiches beispielsweise an eine Spannungsquelle möglich. Es wird vorge-

schlagen, mittels einer elektrischen Schaltung, deren Teil ein vorgeschlagenes elektrisches Bauelement und/oder Quanteninterferenzbauelement ist mittels einer Spannung (v_1) zwischen einem Leiterzweig (W1b, W2b) und zumindest einer Steuerelektrode (G1) das vorgeschlagene elektrische Bauelement und/oder Quanteninterferenzbauelement durch eine Steuerspannungsquelle (V1) zu steuern.

[0095] Bevorzugt wird dabei der Leiter (W) auf einem elektrisch normal leitenden oder halbleitenden Träger (Sub_1), beispielsweise einem Silizium-Wafer gefertigt. Es ist aber auch möglich, den Leiter auf einem isolierenden Träger (Sub_1), beispielsweise einem Glas-Substrat oder einem elektrisch isolierenden Kristall (z.B. Saphir) zu fertigen. Bevorzugt wird der Leiter (W) gegenüber einem elektrisch normal leitenden oder halbleitenden Träger (Sub_1) elektrisch isoliert. Dies kann beispielsweise durch aufdampfen von Siliziumdioxid oder der gleichen oder durch thermische Oxidation des Trägers (Sub_1) geschehen.

[0096] Die so erstellten elektronischen Bauelemente und/oder Quanteninterferenzbauelemente werden typischerweise zu komplexeren Schaltungen zusammenschaltet. Die Zusammenschaltung kann durch elektrischen Kontakt der Bauelementanschlüsse oder durch Feldkopplung durch elektrische Felder (kapazitiv) oder magnetische Felder (induktiv) erfolgen. Eine solche elektrische Schaltung kann auch konventionelle Bauelemente umfassen. Diese können beispielsweise als integrierte Bauelemente in einem halbleitenden Träger (Sub_1) realisiert sein. Es wird daher eine elektrische Schaltung vorgeschlagen, die zumindest eines der in diesem Dokument vorgeschlagenen elektrischen Bauelemente und/oder Quanteninterferenzbauelemente mit umfasst.

[0097] Des Weiteren wird ein elektrisches Bauelement und/oder Quanteninterferenzbauelement (**Fig. 34**) mit einem Leiter (W, W1a, W1b) vorgeschlagen, bei dem das elektrische Bauelement und/oder Quanteninterferenzbauelement eine Teilvorrichtung aufweist, die die Funktion einer Cooper-Paar-Box (engl. Cooper-Pair-Box) hat. In einer solchen Cooper-Paar-Box kommt es zu einer Reflektion der Welle der Zustandsfunktion des Cooper-Paares an den Grenzen der Cooper-Paar-Box. Diese vorgeschlagene Teilvorrichtung weist zumindest einen Leiter (W), der zumindest teilweise aus einem Material, beispielsweise einem oben beschriebenen, gefertigt ist, die ein elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_c) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder mit einer kritischen magnetischen Flussdichte (B_k) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T ist. Dieser Leiter (W) wird durch eine erste Phasendifferenz-einführende Schwachstelle (TU_1) in einen ers-

ten Leiterabschnitt (W1a) und einen zweiten Leiterabschnitt (W1b) unterteilt. Der erste Leiterabschnitt (W1a) kann elektrisch mittels eines ersten Knotens (N1) kontaktiert werden. Der zweite Leiterabschnitt (W1b) kann mittels einer Koppelkapazität (C_g) kapazitiv über einen zweiten Knoten (N2) kontaktiert werden. Damit ist der zweite Leiterabschnitt (W1b) auf der einen Seite durch die eine erste Phasendifferenz-einführende Schwachstelle (TU_1), die beispielsweise wieder aus einem Isolator gefertigt sein kann, und auf der anderen Seite durch Koppelkapazität (C_g) isoliert. Der zweite Leiterabschnitt (W1b) bildet damit die Cooper-Paar-Box.

[0098] Eine weitere Variante des zuvor vorgeschlagenen elektrischen Bauelements weist statt einer ersten Phasendifferenz-einführenden Schwachstelle (TU_1) zusätzlich eine zweite Phasendifferenz-einführende Schwachstelle (TU_2) auf. Es handelt sich daher um ein elektrisches Bauelement und/oder Quanteninterferenzbauelement (**Fig. 35**) mit einem Leiter (W, W1a, W1b, W1c), bei dem das elektrische Bauelement und/oder Quanteninterferenzbauelement eine Teilvorrichtung aufweist, die die Funktion einer Cooper-Paar-Box (engl. Cooper-Pair-Box) hat und bei dem die Teilvorrichtung einen Leiter (W) aufweist, der durch die erste Phasendifferenz-einführende Schwachstelle (TU_1) und die zweite Phasendifferenz-einführende Schwachstelle (TU_2) in einen ersten Leiterabschnitt (W1a) und einen zweiten Leiterabschnitt (W1b) und einen dritten Leiterabschnitt (W1c) unterteilt ist. Im Gegensatz zum Stand der Technik ist der Leiter (W) zumindest teilweise aus einem Material gefertigt, das ein elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_c) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder mit einer kritischen magnetischen Flussdichte (B_k) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T ist. Der erste Leiterabschnitt (W1a) kann elektrisch mittels eines ersten Knotens (N1) kontaktiert werden, der zweite Leiterabschnitt (W1b) kann mittels einer Koppelkapazität (C_g) kapazitiv über einen zweiten Knoten (N2) kontaktiert werden und der dritte Leiterabschnitt (W1c) kann elektrisch mittels eines dritten Knotens (N3) kontaktiert werden. Somit stellt auch in diesem Beispiel der zweite Leiterabschnitt (W1b) eine Cooper-Paar-Box dar.

Vorgeschlagenes Metamaterial

[0099] Es wird nun auf Basis solcher Quanteninterferenzbauelemente ein Metamaterial vorgeschlagen, das eine zwei-dimensional periodischen Anordnung von $n \cdot m$ Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) mit n und m als ganzen positiven Zahlen und $1 < i \leq n$ und $1 < j \leq m$ besteht. Die $n \cdot m$ Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) bilden dabei bevorzugt ein zweidimensionales translatorisches oder rotatorisches Gitter. Jede der Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) umfasst dabei

bevorzugt zumindest einen Leiter ($W_{i,j}$). Diese Leiter ($W_{i,j}$) werden bevorzugt aus einem Raumtemperatursupraleiter hergestellt. Dabei bilden bevorzugt jede Metamaterialteilstruktur ($MTS_{i,j}$), die nicht am Rand des Metamaterials liegt, und die zumindest zu dieser benachbarten Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{(i+1),j}$, $MTS_{(i-1),j}$, $MTS_{i,(j+1)}$, $MTS_{i,(j-1)}$) eine Teilvorrichtung eines Quanteninterferenzbauelements. Somit ergibt sich ein Metamaterial mit einer zwei-dimensional periodischen Anordnung von $(n-1)*(m-1)$ Quanteninterferenzbauelementen mit $(n-1)$ und $(m-1)$ als ganzen positiven Zahlen. Jede dieser Metamaterialteilstruktur ($MTS_{i,j}$) umfasst dabei bevorzugt zumindest einen Leiter ($W_{i,j}$), der mit den benachbarten Leitern ($W_{(i+1),j}$, $W_{(i-1),j}$, $W_{i,(j+1)}$, $W_{i,(j-1)}$) der benachbarten Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{(i+1),j}$, $MTS_{(i-1),j}$, $MTS_{i,(j+1)}$, $MTS_{i,(j-1)}$) ohmsch, insbesondere durch leitende oder supraleitende Verbindungen zwischen den Leitern ($W_{i,j}$, $W_{(i+1),j}$, $W_{(i-1),j}$, $W_{i,(j+1)}$, $W_{i,(j-1)}$) und/oder induktiv, durch Öffnungen in den Leitern ($W_{i,j}$, $W_{(i+1),j}$, $W_{(i-1),j}$, $W_{i,(j+1)}$, $W_{i,(j-1)}$), und/oder kapazitiv, durch Koppelflächen der Leiter ($W_{i,j}$, $W_{(i+1),j}$, $W_{(i-1),j}$, $W_{i,(j+1)}$, $W_{i,(j-1)}$), verbunden sind.

[0100] Jede der Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) weist somit bevorzugt zumindest einen zugehörigen Leiter ($W_{i,j}$) auf. Dieser Leiter ($W_{i,j}$) wird bevorzugt aus zumindest teilweise aus einem Material gefertigt, das ein elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_c) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K ist und/oder mit einer kritischen magnetischen Flussdichte (B_k) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T ist.

[0101] Die elektrische Verbindung zwischen den benachbarten Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$, $MTS_{(i+1),j}$, $MTS_{(i-1),j}$, $MTS_{i,(j+1)}$, $MTS_{i,(j-1)}$) kann auch durch Phasenverschiebung einführenden Schwachstellen ($TU_{i,i,j}$, $TU_{o,i,j}$, $TU_{i,i,(j-1)}$, $TU_{o,(i+1),j}$) hergestellt werden. Es wird somit ein Metamaterial vorgeschlagen, bei dem Leiter ($W_{i,j}$) von Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) mit Leitern ($W_{(i+1),j}$, $W_{(i-1),j}$, $W_{i,(j+1)}$, $W_{i,(j-1)}$) von benachbarten Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{(i+1),j}$, $MTS_{(i-1),j}$, $MTS_{i,(j+1)}$, $MTS_{i,(j-1)}$) über die besagten Phasenverschiebung einführenden Schwachstellen ($TU_{i,i,j}$, $TU_{o,i,j}$, $TU_{i,i,(j-1)}$, $TU_{o,(i+1),j}$), insbesondere Josephson-Verbindungen (englisch: Josephson junctions), verbunden sind. Hierdurch können mehrere Metamaterialteilstrukturen (z.B. $MTS_{i,j}$, $MTS_{(i+1),j}$, $MTS_{i,(j+1)}$, $MTS_{(i+1),(j+1)}$) jeweils ein Quanteninterferenzbauelement bilden. Hierdurch ergibt sich dann das besagte Metamaterial mit einer zwei-dimensional periodischen Anordnung von $(n-1)*(m-1)$ Quanteninterferenzbauelementen mit $(n-1)$ und $(m-1)$ als ganzen positiven Zahlen. Statt einer zwei-dimensionalen Anordnung ist durch periodische Stapelung solcher zwei-dimensionalen Metamaterialien auch eine dreidimensionale Anordnung der Metamaterialteilstrukturen (z.B. $MTS_{i,j,k}$) denkbar. Hierdurch ergibt sich dann

eine dreidimensionale Anordnung der sich ergebenden Quanteninterferenzbauelemente.

[0102] Solche zweidimensionalen Metamaterialien können als Abschirmung oder als Filter für elektromagnetische Wellen oder als digital optisches Element (siehe z.B. B. C. Kress, P. Meyrueis, „Applied Digital Optics: from micro-optics to nanophotonics“ ISBN 987-0-470-02263-4, 2009 John Wiley & Sons Ltd) für elektromagnetische Strahlung eingesetzt werden. Besonders interessant ist beispielsweise der Einsatz als ein- oder zweidimensionales Gitter von verschränkten Flussquanten in Quantensystemen (z.B. Quantencomputern). Für letzteres ist es sinnvoll, nur eine ein-dimensional periodische Anordnung von $(n-1)$ Quanteninterferenzbauelementen mit $(n-1)$ als ganzer positiven Zahlen vorzusehen. Dies erfordert eine zweidimensionale Anordnung von $n*2$ Metamaterialteilstrukturen.

Vorteil der Vorschläge

[0103] Durch das vorgeschlagene Verfahren und das vorgeschlagene Material wird die energieverlustfreie Nutzung supraleitender elektrischer Leiter bei Raumtemperatur möglich. Die Vorteile sind hierauf aber nicht beschränkt.

Figurenliste

[0104] Die Figuren stellen schematisch vereinfachte Prinzip-Skizzen dar.

Fig. 1

Fig. 1 zeigt für ein beispielhaft vorgeschlagenes Herstellungsverfahren den ersten Schritt der Bereitstellung (1) eines Substrats (G_{Sub}) mit einem ersten Schichtbereich (G_{B1}) und einem zweiten Schichtbereich (G_{B2}) und einer Grenzfläche (G_{FB}). In einer bevorzugten Realisierung bestehen beispielsweise der erste Schichtbereich (G_{B1}) aus bernalem Graphit und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) aus rhomboedrischen Graphit.

Fig. 2

Fig. 2 zeigt einen ersten bevorzugten Schritt der Bearbeitung des Substrats (G_{Sub}) der **Fig. 1** mit dem dritten Schritt des Abdünnens (3) eines „betreffenden“ Schichtbereiches (G_{B1} , G_{B2}), hier des ersten Schichtbereiches (G_{B1}) und der Schaffung einer unteren Grenzfläche (UGF) parallel zum Grenzflächenbereich (G_{FB}) nach bereits erfolgtem Feststellen (2) der Orientierung der Flächennormalen (n_{F}) der Graphen-Schichten des Grenzflächenbereiches (G_{FB}) innerhalb des Substrats (G_{Sub}).

Fig. 3

Fig. 3 den bevorzugten Schritt des Befestigens (5) des vorzugsweise abgedünnten Substrats (G_{Sub}) der **Fig. 2** an der Oberfläche (OF) des

Trägers (Sub_1) nach dem Aufbringen (4) des vorzugsweise abgedünnten Substrats (G_{Sub}) auf die Oberfläche (OF) eines Trägers (Sub_1). Dieses Aufbringen kann beispielsweise durch aufkleben mittels eines hier nicht gezeichneten Klebers (GL) erfolgen.

Fig. 4

Fig. 4 zeigt einen weiteren bevorzugten Schritt der Bearbeitung des Substrats (G_{Sub}) der **Fig. 3** in Form des Abdünnens (6) des anderen Schichtbereiches (G_{B1} , G_{B2}), der nicht der betreffende Schichtbereich ist. Dies ist hier der zweite Schichtbereich (G_{B2}).

Fig. 5

Fig. 5 zeigt eine beispielhafte Strukturierung (8) des ersten Substrats (G_{Sub}) der **Fig. 4**.

Fig. 6

Fig. 6 zeigt die beispielhafte Strukturierung (8) des ersten Substrats (G_{Sub}) der **Fig. 5** mit beispielhafter Abschrägung der Ätzkanten durch eine geeignete Wahl der Prozessparameter. Hier kommen insbesondere fotolithografische Ätzverfahren, wie oben erwähnt in Frage.

Fig. 7

Fig. 7 zeigt das beispielhafte Aufbringen (9) mindestens einer elektrisch leitenden Schicht (ELS) auf das erste Substrat (G_{Sub}) der **Fig. 6**, um die Kontakte herzustellen.

Fig. 8

Fig. 8 zeigt die beispielhafte Strukturierung (10) der mindestens einen elektrisch leitenden Schicht (ELS) der **Fig. 7** wodurch diese in diesem Beispiel der **Fig. 8** eine erste Leiterbahn (L1) und eine zweite Leiterbahn (L2) bildet.

Fig. 9

Fig. 9 zeigt das beispielhafte Aufbringen (11) mindestens einer elektrisch isolierenden Schicht (IS) auf dem ersten Substrat (G_{Sub}) der **Fig. 8** bzw. den Träger (Sub_1) der **Fig. 8** bzw. der elektrisch, insbesondere normal leitenden Schicht (ELS) der **Fig. 8**.

Fig. 10

Fig. 10 zeigt die beispielhafte Strukturierung (12) der mindestens einen isolierenden Schicht (IS) der **Fig. 9** z.B. zum Öffnen der Kontakte (K) oder von Durchkontaktierungen.

Fig. 11

Fig. 11 zeigt eine beispielhafte Schrittabfolge zur Herstellung der vorgeschlagenen Vorrichtungen:

- Bereitstellen (1) eines ersten Substrats (G_{Sub}) bestehend aus zumindest zwei Schichtbereichen (G_{B1} , G_{B2});
- Feststellens (2) der Orientierung der Flächennormalen (n_F) der Graphen-Schichten des

Grenzflächenbereichs (G_{FB}) innerhalb des Substrats (G_{Sub});

- Abdünnen (3) eines „betreffenden“ Schichtbereiches (G_{B1} , G_{B2}) und Schaffung einer unteren Grenzfläche (UGF) parallel zur den Graphen-Schichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB});

- Aufbringen (4) des vorzugsweise abgedünnten Substrats (G_{Sub}) auf die Oberfläche (OF) eines Trägers (Sub_1);

- Befestigen (5) des vorzugsweise abgedünnten Substrats (G_{Sub}) an der Oberfläche (OF) des Trägers (Sub_1);

- Abdünnen (6) des anderen Schichtbereiches (G_{B1} , G_{B2}), der nicht der betreffende Schichtbereich ist;

- Bereitstellung (7) eines zweiten Substrates (SUB), beispielsweise in Form einer mikroelektronischen Schaltung;

- Strukturierung (8) des ersten Substrats (G_{Sub});

- Aufbringen (9) mindestens einer elektrisch leitenden Schicht auf das erste Substrat (G_{Sub}) oder auf das zweite Substrat (SUB), beispielsweise um die Kontakte herzustellen;

- Strukturierung (10) der mindestens einen elektrisch leitenden Schicht;

- Aufbringen (11) mindestens einer elektrisch isolierenden Schicht auf das erste Substrat (G_{Sub}) oder zweite Substrat (SUB) oder den Träger (Sub_1) oder auf eine elektrisch, insbesondere normal, leitende Schicht durchzuführen;

- Strukturierung (12) der mindestens einen isolierenden Schicht z.B. zum Öffnen der Kontakte oder von Durchkontaktierungen;

- Bereitstellen (13) der Kontakte des Grenzflächenbereichs (G_{FB}).

Fig. 12

Fig. 12 zeigt eine Josephson-Diode im Querschnitt. Das beispielhafte erste Substrat (G_{Sub}) aus **Fig. 4** ist durch eine erste Phasendifferenz-einführende Schwachstelle, das Tunnel-Element (TU), beispielsweise ein wenige Atomlagen dickes Oxid oder eine normal leitende Störung der Stapelfolge der Graphen-Schichten, durchtrennt. Eine solche Phasendifferenz-einführende Schwachstelle kann durch einen Isolator, insbesondere auch Luft oder Vakuum, oder durch eine lokale Modifikation der Graphen-Schichtstapelfolge oder durch einen anderen bei Raumtemperatur normalleitenden oder durch Metall oder durch bei Temperaturen größer -195°C nicht supraleitenden Graphitbereich innerhalb des Leiters (W) gebildet werden.

Fig. 13

Fig. 13 zeigt das beispielhafte elektrische Bauelement (SQUID) auf Basis der Phasendifferenz-einführende Schwachstelle (Josephson-Kontakt) aus **Fig. 12** in der Aufsicht. Das erste Substrat (G_{Sub}) ist so strukturiert, dass sich ein ringförmiges Gebilde ergibt. Die beiden Zweige sind durch je eine Josephson-Diode in Form eines phasenmodulierenden Tunnel-Elements (TU_1, TU_2) unterbrochen. Bei Stromfluss (I) hängt der Spannungsabfall vom Magnetfeld senkrecht zur Bildfläche ab. Ein SQUID kann als Phasen Q-Bit (englisch phase qbit) innerhalb von Quanten-Computern benutzt werden. Hier sei in diesem Zusammenhang auf Xiu Gua „Microwave photonics with superconducting quantum circuits“ arXiv:1707.02046v2 [quant-ph] 19 Oct 2017 verwiesen.

Figuren der beispielhaften Hall-Struktur

Fig. 14

Fig. 14 zeigt einen schematischen, vereinfachten Prinzip-Querschnitt durch eine integrierte mikroelektronische Schaltung mit einer Hall-Struktur (HL), die als Magnetfeld sensitive Teilvorrichtung Teil einer integrierten Schaltung ist. Die Hall-Struktur (HL) ist in einem halbleitenden Träger (Sub_1) gefertigt. Die Hall-Struktur (HL) ist durch einen Isolator (OX) geschützt. Andere Isolatoren sind denkbar. Auch sind ganze Metall / Oxid-Stapel als Isolator (OX) denkbar. Aus dem Stand der Technik sind hier vielfältige Verdrahtungssysteme für integrierte Schaltungen und Hall-Sensor-Strukturen bekannt.

[0105] Die Hall-Struktur ist in diesem Beispiel über Kontakte ($K1, K2$) kontaktierbar. Mittels eine Klebers (GL) wird das supraleitende Schichtpaket, das erste Substrat (G_{Sub} mit G_{B1}, G_{B2}, G_{FB}) mit der eigentlich supraleitenden Grenzfläche auf dem Träger (Sub_1) mit der Hall-Struktur (HL) befestigt. Auf diese Teilvorrichtung, also beispielsweise den besagten Träger (Sub_1) mit der die besagten Hall-Struktur (HL) wird also das zuvor beschriebene, bei Raumtemperatur supraleitende erste Substrat (G_{B1}, G_{B2}, G_{FB}) aufgebracht. Dies kann beispielsweise, aber nicht nur durch Aufkleben oder Festklemmen mit einem nicht magnetischen Werkstoff, hier dem Kleber (GL), geschehen. Dadurch weist die Hall-Struktur (HL) als Magnetfeld empfindliches elektronisches Bauelement, in seiner unmittelbaren Nähe zumindest eine Teilvorrichtung auf, die ein elektrischer Supraleiter mit einer Sprungtemperatur (T_C) größer als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K und/oder die kritische magnetische Flussdichte (B_K) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T ist. Das supraleitende Schichtpaket (G_{Sub}) besteht, wie zuvor, aus zumindest zwei Schichtbereichen (G_{B1}, G_{B2}), wobei der erste Schichtbereich (G_{B1}) und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) übereinander angeordnet sind und eine erste gemeinsame Grenzfläche (G_{F1}) innerhalb eines Grenzflächenbe-

reiches (G_{FB}) aufweisen und wobei zumindest der erste Schichtbereich (G_{B1}) oder der zweite Schichtbereich (G_{B2}) über der Hall-Struktur (HL) im Wesentlichen parallel angeordnet ist. Der erste Schichtbereich (G_{B1}) und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) können natürlich ihre Position tauschen. Hinsichtlich des Materials des ersten Substrats (G_{B1}, G_{B2}, G_{FB}) sei hier auf die vorausgehenden Ausführungen verwiesen.

[0106] Der erste Schichtbereich (G_{B1}) besteht dann beispielsweise wieder aus Graphit mit bernaler Kristallstruktur (Graphit-2H) mit bevorzugt mindestens 3 Atom-Lagen mit einer jeweiligen Dicke von genau einem Atom je Atom-Lage und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) beispielsweise aus Graphit mit rhomboedrischer Kristallstruktur (englisch rhombohedral, Graphit-3R) mit mindestens 3 Atom-Lagen mit einer jeweiligen Dicke von genau einem Atom je Atom-Lage. Hinsichtlich der Anzahl der Atomlagen des Materials des ersten Substrats (G_{B1}, G_{B2}, G_{FB}) sei hier auf die vorausgehenden Ausführungen verwiesen.

[0107] Die Graphen-Schichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) weist bevorzugt eine Orientierung ihrer ersten Flächennormalen (n_{F1}) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (c) des Kristallgitters des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) auf.

[0108] Die Graphen-Schichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) weisen bevorzugt eine Orientierung ihrer ersten Flächennormalen (n_{F1}) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (d) des Kristallgitters des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) auf.

[0109] Zumindest ein Teilbereich des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) weist dann bevorzugt bei geeigneter Konstruktion der Stapelfolge der Graphen-Schichten wieder zumindest teilweise supraleitende Eigenschaften auf. Dieser Teilbereich des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) weist dann typischerweise zumindest teilweise eine Sprungtemperatur (T_C) auf, die höher ist als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder höher als -50°C und/oder höher als 360°K ist, und/oder eine kritische magnetische Flussdichte (B_K) bei 77 K, die höher ist als 1T und/oder 50 T.

[0110] Es hat sich in Laborversuchen gezeigt, dass ein Abdünnen der Graphitschichten je nach Ausgangsmaterial nicht immer notwendig ist.

[0111] Durch eine erste Kontaktdotierung ($KD1$) und eine zweite Kontaktdotierung ($KD2$) wird in dem Beispiel der Hall-Struktur (HL) der **Fig. 14** diese Hall-Struktur (HL) elektrisch über den ersten Kontakt ($K1$) und den zweiten Kontakt ($K2$) kontaktiert. Diese Dotierungen des Substrats des Trägers (Sub_1) erfolgen üblicherweise mit einer sehr hohen Dotierstoffkonzentration, um ohmsche Kontakte ($K1, K2$) herzustellen. Ist das halbleitende Substrat des Trägers (Sub_1)

von einem ersten Leitungstyp, beispielsweise ein p-dotiertes Silizium-Substrat, wie es in CMOS Schaltkreisen üblich ist, so ist die Hall-Struktur (**HL**) dann, wenn sie nicht in einer separaten Wanne platziert ist, von einem zweiten Leitungstyp, der dem ersten Leitungstyp entgegengesetzt ist, also beispielsweise eine schwach n-dotierte Silizium-Struktur innerhalb des halbleitenden Substrat des Trägers (**Sub₁**). In diesem Fall sind die Kontaktdotierungen (**KD1**, **KD2**) ebenso von einem zweiten Leitungstyp, der dem ersten Leitungstyp entgegengesetzt ist, also beispielsweise hoch n-dotierte Silizium-Strukturen innerhalb des halbleitenden Substrat des Trägers (**Sub₁**), die in Kontakt mit der Hall-Struktur (**HL**) und dem Metall der Kontakte (**K1**, **K2**) stehen. Dem Fachmann ist offenbar, dass vor dem Aufbringen des Substrats (G_{Sub}) auf den Träger (**Sub₁**) der Träger einem mikro-technischen Prozess unterworfen worden sein kann, wobei auf bzw. in dem Träger nano- oder mikroelektronische Schaltkreise und/oder nano- oder mikromechanische Vorrichtungen und/oder mikrooptische Vorrichtungen und/oder mikrofluidische Vorrichtungen gefertigt worden sein können.

[0112] Fig. 15

Fig. 15 basiert auf **Fig. 14**. Im Gegensatz zu **Fig. 14** zeigt **Fig. 15** nun einen beispielhaften komplexeren Metallisierungsstapel. Dieser besteht aus einer ersten Isolationsschicht, vorzugsweise einem ersten Oxid (**OX1**), das vorzugsweise ein Gate-Oxid ist, und aus einer zweiten Isolationsschicht (**OX2**), vorzugsweise einem zweiten Oxid. Zwischen der ersten Isolationsschicht (**OX1**) und der zweiten Isolationsschicht (**OX2**) sind zwei beispielhafte Leiterbahnen (**L1**, **L2**). Es kommt nun zu einer Wechselwirkung zwischen dem Stromfluss in den Leiterbahnen (**L1**, **L2**) und der bei Raumtemperatur supraleitenden Grenzfläche G_F des Substrats G_{Sub} . Der Induktivitätsbelag der Leiterbahnen (**L1**, **L2**) wird durch die Nähe des bei Raumtemperatur supraleitenden Substrats (G_{Sub}) verändert. Kompliziertere Metallisierungsstapel und Dotierungsstrukturen innerhalb des Trägers (**Sub₁**) sind natürlich möglich.

[0113] Fig. 16

Fig. 16 entspricht der **Fig. 15** mit dem Unterschied, dass das Substrat (G_{Sub}) nun über eine dritte Leitung (**L3**) fotolithografisch angeschlossen wird. In dem Beispiel ist das Substrat (G_{Sub}) mit dem zweiten Kontakt (**K2**) beispielhaft elektrisch verbunden. Hierdurch wird verhindert, dass das Substrat (G_{Sub}) sich statisch aufladen kann.

[0114] Fig. 17

Fig. 17 zeigt schematisch eine beispielhafte kombinierte mikrofluidische / mikromechanische Vorrichtungen mit einem beispielhaften Halbleitersubstrat als Träger (**Sub₁**). Der Metallisierungsstapel der **Fig. 15** wird nun komplexer ausgeführt, um in diesem Beispiel die mikromechanischen und mikrofluidischen

Teilvorrichtungen im Metallisierungsstapel auszuführen. Aus dem Stand der Technik ist bekannt, dass die Ausführung mikromechanischer / mikrofluidischer Komponenten auch im Substrat des Trägers (**Sub₁**) erfolgen kann. Beispielsweise kann der Metallisierungsstapel Schichten aus Metallen, wie beispielsweise Titan, Wolfram, Gold, Platin, Aluminium, Eisen, Niob, Vanadium, Mangan etc., aus Isolatoren, wie beispielsweise SiliziumNitrid, Siliziumoxid etc., aus amorphen oder polykristallinen Halbleiterschichten, wie beispielsweise polykristallinem Silizium - auch Poly genannt - oder amorphem Silizium oder einkristallinem Silizium oder anderen entsprechenden Halbleitermaterialien, insbesondere III/V-Materialien und II/VI-Materialien, umfassen. Dieser Schichtstapel kann daher zumindest zum Teil auch durch Bondung verschiedener Substrate aufeinander erzeugt werden. In dem Beispiel der **Fig. 17** sind eine erste Isolatorschicht (**OX1**), eine zweite Isolatorschicht (**OX2**) und eine dritte Isolatorschicht (**OX3**) und eine polykristalline Siliziumschicht (**PLY**) vorgesehen. In dem Beispiel der **Fig. 17** wird nun durch oberflächenmikromechanische Methoden die polykristalline Siliziumschicht in Teilbereichen der Oberfläche der Vorrichtung unterhalb der dritten Isolatorschicht (**OX3**) entfernt. Dies kann beispielsweise durch gasförmige Ätzgase, wie im Stand der Technik bekannt, geschehen. Bei geeigneter Strukturierung kann ein mikromechanischer Balken (**BE**) erzeugt werden, der zum einen elektrostatisch, z.B. über die Hall-Struktur (**HL**) oder die beispielhaften Leiterbahnen (**L1**, **L2**) zum Schwingen angeregt werden kann. Aus dem Stand der Technik ist bekannt, dass ein solcher Balken eine Güte der Schwingung aufweist, die von dem Druck des Restgases in seiner Umgebung abhängt. Das Schwingungsverhalten hängt hier aber auch von der Wechselwirkung zwischen dem bei Raumtemperatur supraleitendem Substrat (G_{Sub}) und den anderen elektrisch leitfähigen Teilvorrichtungen (**L1**, **L2**, **HL**, **Sub₁**) ab. Der Balken ist somit also auch ein mikrofluidisches Element, das mit dem gasförmigen Fluid seiner Umgebung wechselwirkt. Dessen Effizienz ist in Flüssigkeiten zwar herabgesetzt, funktioniert dort aber prinzipiell auch. Die Verwendung im Zusammenwirken mit einer Druckdose in einem Drucksensor, insbesondere einem Absolutdrucksensor ist daher ebenfalls denkbar. Hierfür muss die Kavität (CAV) der **Fig. 17** nur rundherum durch das beispielhafte PolySilizium abgeschlossen sein. Dies zeigt **Fig. 18**.

[0115] Fig. 18

Fig. 18 entspricht der **Fig. 17** mit abgeschlossener Kavität (CAV), beispielsweise für einen Absolutdrucksensor oder ein mikrofluidisches Bauteil.

[0116] Fig. 19

Fig. 19 entspricht der **Fig. 15** mit dem Unterschied, dass eine optisch aktive Schicht (**OA**) aufgebracht ist, die einen elektrooptischen Effekt zeigt, der mit dem magnetischen Feld des bei Raumtemperatur

supraleitenden Substrats (G_{Sub}) wechselwirkt. Diese Wechselwirkung kann optisch beobachtet werden bzw. zur Modifikation optischer Strahlung, die auf die optisch aktive Schicht (OA) fällt und dort reflektiert wird genutzt werden. Im letzteren Fall ist es zweckmäßig, eine Reflexionsschicht zwischen optisch aktiver Schicht (OA) und dem bei Raumtemperatur supraleitenden Substrat (G_{Sub}) einzufügen.

[0117] Fig. 20

Fig. 20 entspricht **Fig. 19** mit dem Unterschied, dass die optisch aktive Schicht (OA) nun als ein elektrooptisch aktiver Abschnitt eines Lichtwellenleiters (OA) ausgeführt ist. Die Figur zeigt diesen Abschnitt schematisch als Prinzipskizze im Querschnitt. Das Licht wird dabei senkrecht zur Bildebene in dem Lichtwellenleiter geführt. Auf diese Weise lässt sich ein magneto-optischer Schalter bauen, der mittels des Kerr-Effekts einen Lichtwellenleiterabschnitt, der in Form eines elektrooptisch aktiven Abschnitts ausgeführt ist, die Phasenlage des Lichts im Lichtwellenleiter bzw. die Laufzeit des Lichts durch diesen Abschnitt des Lichtwellenleiters moduliert. Das Besondere ist, dass das bei Raumtemperatur supraleitende Substrat ein Magnetfeld erzeugen kann, dass diesen Abschnitt des Lichtwellenleiters beeinflussen kann. Dadurch lassen sich Lichtschalter bauen, die nur zum Umschalten eine kurzzeitige Ansteuerung benötigen.

Figuren zur Materialvermessung

[0118] Fig. 21

Fig. 21 entstammt der Schrift „Local magnetic measurements of permanent current paths in a natural graphite crystal“ von Markus Stiller, Pablo D. Esquinazi, Christian Precker, und Jose Barzola-Quiquia. Diese zum Zeitpunkt der Anmeldung der Priorität begründenden Anmeldung noch nicht veröffentlichte Schrift ist hinsichtlich der angewandten Verfahren und Materialien vollumfänglicher Teil dieser Offenbarung. Die **Fig. 21** zeigt die Eigenschaften dieses natürlichen Graphits, der für die Verwendung in solchen Vorrichtungen und Verfahren, wie hier beschrieben, geeignet ist. Die Verwendung dieser Art von Graphit für die beschriebenen Vorrichtungen und Verfahren wird ausdrücklich beansprucht. Insbesondere wird die Verwendung von Graphit aus Sri Lanka beansprucht. Die Figur zeigt die Topografie einer geeigneten Graphitprobe in den Unterfiguren ((21a), (21c),(21e)), die mittels einer MAFM gemessen wurde. Sie zeigt des Weiteren die gemessene Phase in den Unterfiguren ((21b), (21d), (21f)) Das Unterfiguren paar (21a, 21b) zeigt Topografie und Phase für die ursprüngliche Probe im Ursprungszustand. Die Unterfiguren paare (21c, 21d; 21e, 21f) zeigten die Topografie und die Phase nach der Anwendung eines magnetischen Feldes. Die Phase zeigt ein Signal erst nachdem die Probe einem magnetischen Feld ausgesetzt wurde. Daher ist das Verfahren zum Auffin-

den von geeigneten Substraten mit folgenden Schritten Teil der Beanspruchung:

- Bereitstellen eines Substrats zur Untersuchung auf Raumtemperatur-Supraleitung insbesondere zwecks Bequemlichkeit bei einer Temperatur höher -40°C ;
- Aussetzen des Substrats einem Magnetfeld, mit mehr als 0,5 besser mehr als 1T, besser mehr als 2T, besser mehr als 4T, besser mehr als 8T.
- Vermessung eines Bereiches mit einer **MFM** zu Lokalisierung eines Linienstromes;

[0119] Besonders bevorzugt wird der Bereich vor der Anwendung des magnetischen Feldes vermessen, um die Änderungen vermessen zu können.

[0120] Es wird eine erneute Vermessung eines Bereiches mit einem Linienstrom nach einer Verweilzeit von mehr als 5 Minuten und/oder von mehr als einer Stunde und/oder von mehr als einem Tag und/oder von mehr als einer Woche besser einem Monat zur erneuten Bestätigung der Supraleitung empfohlen.

[0121] Die Unterfiguren 21d und 21f zeigen den Sprung des Magnetfeldes in Form einer gezackten Stufe quer durch das Bild.

[0122] Fig. 22

Fig. 22 zeigt eine Aneinanderreihung mehrerer Bilder der mit der **MFM** gemessenen Phase. Es deutlich zu erkennen, dass es sich um großräumige Strukturen handelt.

[0123] Fig. 23

Fig. 23 zeigt den Sprung der Phase gemessen quer zu einer Kante der **Fig. 21** und **Fig. 22**. Die $1/r$ Abhängigkeit in der Nähe der Kante

Figuren zum Materialaufbau

[0124] Fig. 24

Fig. 24 zeigt schematisch eine bernale Kristall-Struktur von Graphit entsprechend dem Stand der Technik

[0125] Fig. 25

Fig. 25 zeigt schematisch eine rhombohedrische Kristall-Struktur von Graphit entsprechend dem Stand der Technik

[0126] Fig. 26

Fig. 26 zeigt schematisch den Kontakt zwischen einer rhombohedrischen Kristall-Struktur von Graphit in den oberen drei Graphen-Ebenen als zweiten Schichtbereich (G_{B2}) und einer bernalen Graphen-Struktur in den unteren drei Graphen-Ebenen als ersten Schichtbereich (G_{B1}). Weitere Graphen-Ebenen sind als Fortsetzung nach oben und unten denkbar. **Fig. 26** entspricht in ihrer Struktur der **Fig. 1**.

[0127] Fig. 27

Fig. 27 zeigt ein weiteres Beispiel für die Erzeugung einer Gesamtstapelfolge durch Einschub einer einzelnen Graphen-Schicht als zweiter Schichtbereich (\mathbf{G}_{B2}) in einen bernalen Graphit-Kristall bestehend aus einem ersten Schichtbereich (\mathbf{G}_{B1}) und einem dritten Schichtbereich (\mathbf{G}_{B3}). In dem Beispiel ist eine einzelne rhombohedrische Graphen-Schicht als zweiter Schichtbereich (\mathbf{G}_{B2}) zwischen die zwei anderen bernalen Graphen-Schichtbereiche, den ersten Schichtbereich (\mathbf{G}_{B1}) und den dritten Schichtbereich (\mathbf{G}_{B3}) platziert. In diesem Sinne weist die Struktur der **Fig. 27** zwei Grenzflächen (\mathbf{G}_{F1} , \mathbf{G}_{F2}) innerhalb eines Grenzflächenbereiches (\mathbf{G}_{FB}) auf.

[0128] Fig. 28

Fig. 28 zeigt schematisch eine einfache Anordnung für eine Cooper-Paar-Box für ein einzelnes Cooper-Paar, wie sie beispielsweise aus V. Bouchiat „Quantum Coherence with a single cooper pair“, Physica Scripta, Vol. T76, 165-170, **Fig. 1, Fig. 1998** für normale Supraleiter bereits bekannt ist. Der Leiter (\mathbf{W}) ist durch eine erste Phasenverschiebung einführende Schwachstelle (\mathbf{TU}_1) (englisch Josephson Junction) in einen ersten Leitungsabschnitt ($\mathbf{W1a}$) und einen zweiten Leitungsabschnitt ($\mathbf{W1b}$) unterteilt. Der erste Leitungsabschnitt ($\mathbf{W1b}$) wird über einen ersten elektrischen Knoten ($\mathbf{N1}$) kontaktiert. Der zweite elektrische Leitungsabschnitt wird über eine Koppelkapazität (C_g) kapazitiv kontaktiert. Der andere Pol der Koppelkapazität (C_g) ist bevorzugt über einen zweiten elektrischen Knoten ($\mathbf{N2}$) elektrisch kontaktierbar. Mittels einer Steuerspannung (\mathbf{V}_g) kann die Besetzung der Energiezustände in der Cooper-Paar-Box, die durch den zweiten Leitungsabschnitt ($\mathbf{W1b}$) gebildet wird, gesteuert werden. Im Gegensatz zum Stand der Technik wird hier in dieser Offenlegung nun vorgeschlagen, dass das Material des ersten und zweiten Leitungsabschnitts ($\mathbf{W1a}$, $\mathbf{W1b}$) durch ein Material gebildet wird, dass zumindest in Teilbereichen supraleitende Eigenschaften aufweist. Bevorzugt ist es eines der zuvor beschriebenen Materialien mit einer geeignet gewählten Gesamtstapelfolge der Graphen-Schichten. Dieses Material soll dabei eine Sprungtemperatur (\mathbf{T}_c) aufweisen, die bevorzugt höher ist als -195°C und/oder besser höher als -100°C und/oder besser höher als -50°C und/oder besser höher als 360°K und/oder eine kritische magnetische Flussdichte (\mathbf{B}_k) bei 77 K aufweist, die höher ist als 1T und/oder besser höher als 50 T. Insbesondere wurde festgestellt, dass die hier beschriebene Graphitkristallkonfiguration aus einem rhombohedrischen Teilkristall als zweiter Schichtbereich (\mathbf{G}_{B2}) in Kontakt mit einem bernalen Teilkristall als erstem Schichtbereich (\mathbf{G}_{B1}) besonders als Material des ersten und zweiten Leitungsabschnitts ($\mathbf{W1a}$, $\mathbf{W1b}$) geeignet ist. Ganz besonders geeignet ist ein Grenzschichtbereich zwischen zwei Kristallen aus verschiedenen Graphitmodifikationen (bernal, rhombohedrische), die eine Sprungtemperatur \mathbf{T}_c von $370^\circ\text{K} \pm 7^\circ\text{K}$ aufzuwei-

sen scheint. Bei dem hier vorgeschlagenen Bauteil handelt sich um ein Ladungs-Q-Bit. (englisch charge qbit). Hier sei in diesem Zusammenhang auf Xiu Gua „Microwave photonics with superconducting quantum circuits“ arXiv:1707.02046v2 [quant-ph] 19 Oct 2017 verwiesen.

[0129] Fig. 29

Fig. 29 stellt eine Erweiterung des in **Fig. 28** dargestellten Grundprinzips einer Cooper-Paar-Box dar. Die Cooper-Paar-Box wird wieder durch den zweiten Leitungsabschnitt ($\mathbf{W1b}$) gebildet. Nun jedoch ist diese Cooper-Paar-Box mit drei statt zwei Anschlüssen versehen. Der Leiter (\mathbf{W}) wird wieder im Gegensatz zum Stand der Technik durch eine erste Phasenverschiebung einführende Schwachstelle (\mathbf{TU}_1) und eine zweite Phasenverschiebung einführende Schwachstelle (\mathbf{TU}_2) in einen ersten Leitungsabschnitt ($\mathbf{W1a}$), einen zweiten Leitungsabschnitt ($\mathbf{W1b}$) und einen dritten Leitungsabschnitt ($\mathbf{W1c}$) unterteilt. Eine solche Phasenverschiebung einführende Schwachstelle ist typischerweise wieder ein Josephson-Kontakt. Der erste Leitungsabschnitt ($\mathbf{W1a}$) wird über einen ersten elektrischen Knoten ($\mathbf{N1}$) kontaktiert. Der dritte Leitungsabschnitt ($\mathbf{W1c}$) wird über einen dritten elektrischen Knoten ($\mathbf{N3}$) kontaktiert. Die Cooper-Paar-Box in Form des zweiten Leitungsabschnitts ($\mathbf{W1b}$) wird wieder kapazitiv über eine Koppelkapazität (C_g) angeschlossen.

[0130] Beispielsweise aus Caspar H. van der Wal et. al. „Quantum Superposition of Macroscopic Persistent-Current States“ Science Vol. 290, 27.10.2000, Seite 773-777 ist für Supraleiter aus dem Stand der Technik bekannt, dass die zuvor in **Fig. 13, Fig. 28** und **Fig. 29** und in der folgenden **Fig. 33** beschriebenen Quanteninterferenzbauelemente zu komplexeren Schaltungen zusammengeschaltet werden können. Solche Zusammenschaltungen auf Basis konventioneller Supraleiter sind beispielsweise auch aus der US 6 838 694 B2 bekannt. Im Gegensatz zum Stand der Technik wird hier jedoch vorgeschlagen, solche Zusammenschaltungen aus Quanteninterferenzbauelementen zu fertigen die zumindest eine Teilvorrichtung aufweisen, die ein Raumtemperatursupraleiter im Sinne dieser Offenlegung ist. Ein Material eines Raumtemperatursupraleiter im Sinne dieser Offenlegung soll eine Sprungtemperatur (\mathbf{T}_c) aufweisen, die bevorzugt höher ist als -195°C und/oder besser höher als -100°C und/oder besser höher als -50°C und/oder besser höher als 360°K und/oder eine kritische magnetische Flussdichte (\mathbf{B}_k) bei 77 K aufweisen, die höher ist als 1T und/oder besser höher als 50 T. Insbesondere wurde festgestellt, dass die hier beschriebene Graphitkristallkonfiguration aus einem rhombohedrischen Teilkristall als zweiten Schichtbereich (\mathbf{G}_{B2}) in Kontakt mit einem bernalen Teilkristall als ersten Schichtbereich (\mathbf{G}_{B1}) besonders als Material eines Raumtemperatursupraleiters geeignet ist.

[0131] Die Verwendung einzelner solcher Quanteninterferenzbauelemente auf Basis von Supraleitern aus dem Stand der Technik ist beispielsweise aus V. Bouchiat „Single Cooper Pair Electronics“ Applied Superconductivity Vol. 6, Nos 10±12, pp. 491±494, 1998 und A. B. Zorin, „Cooper-pair qubit and Cooper-pair electrometer in one device“, arXiv:cond-mat/0112351 [cond-mat.supr-con], 19.12.2001 und Michel H. Devoret und Robert J. Schoelkopf „Amplifying quantum signals with the single-electron transistor“ Nature, Vol. 406, 31 Aug. 2000 bekannt.

[0132] Im Gegensatz zum Stand der Technik wird hier in dieser Offenlegung vorgeschlagen, dass das Material des ersten, zweiten und dritten Leitungsabschnitts (**W1a**, **W1b**, **W1c**) durch ein Material gebildet wird, dass zumindest in Teilbereichen supraleitende Eigenschaften aufweist. Bevorzugt ist es eines der zuvor beschriebenen Materialien mit einer geeignet gewählten Gesamtstapelfolge der Graphen-Schichten. Dieses Material soll dabei eine Sprungtemperatur (T_C) aufweisen, die bevorzugt höher ist als -195°C und/oder besser höher als -100°C und/oder besser höher als -50°C und/oder besser höher als 360°K und/oder eine kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K aufweist, die höher ist als 1 T und/oder besser höher als 50 T. Insbesondere wurde festgestellt, dass die hier beschriebene Graphitkristallkonfiguration aus einem rhombohedrischen Teilkristall als zweiten Schichtbereich (G_{B2}) in Kontakt mit einem bernalen Teilkristall als ersten Schichtbereich (G_{B1}) besonders als Material des ersten, zweiten und dritten Leitungsabschnitts (**W1a**, **W1b**) geeignet ist.

[0133] Fig. 30

Fig. 30 zeigt eine weitere sinnvolle technische Anwendung. Sie ist für Supraleiter aus dem Stand der Technik beispielsweise aus folgenden Schriften bekannt:

Robert J Schoelkopf, Steven M Girvin „Experiments in Quantum Coherence and Computation with Single Cooper-Pair Electronics“ US Army Report 2006.

A. Wallraff et al. „Circuit Quantum Electrodynamics: Coherent Coupling of a Single Photon to a Cooper Pair Box“ arXiv:cond-mat/0407325v1 [cond-mat.mes-hall] 13 Jul 2004

M. Göppl et al., „Coplanar Waveguide Resonators for Circuit Quantum Electrodynamics“ opt-arXiv: 0807.4094v1 [cond-mat.supr-con] 25 Jul 2008

Luigi Frunzio et al. „Fabrication and characterization of superconducting circuit QED devices for quantum computation“ arXiv:cond-mat/0411708v1 [cond-mat.supr-con] 28 Nov 2004

Alexandre Blais et. al., „Cavity quantum electrodynamics for superconducting electrical circuits: an

architecture for quantum computation“, arXiv:cond-mat/0402216v1 [cond-mat.mes-hall] 7 Feb 2004

[0134] Es handelt sich hier um ein Fluss Q-Bit (englisch flux qbit). Hier sei in diesem Zusammenhang auch auf Xiu Gua „Microwave photonics with superconducting quantum circuits“ arXiv:1707.02046v2 [quant-ph] 19 Oct 2017 verwiesen.

[0135] Es wird nun davon ausgegangen, dass im Gegensatz zum Stand der Technik kein konventioneller Supraleiter verwendet wird, sondern ein Graphen-Stapel mit einer geeignet gewählten Stapelfolge der Graphen-Schichten, wie er zuvor beschrieben wurde. Bevorzugt zeigt der Graphen-Stapel bei Raumtemperatur zumindest in einem Teilbereich supraleitende Eigenschaften.

[0136] Wie oben beschrieben, eignet sich als Material zur Realisierung der beispielhaften Strukturen der **Fig. 30** ein Raumtemperatursupraleiter, der eine Sprungtemperatur (T_C) aufweist, die bevorzugt höher ist als -195°C und/oder besser höher als -100°C und/oder besser höher als -50°C und/oder besser höher als 360°K ist, und/oder der eine kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K aufweist, die höher ist als 1 T und/oder besser höher als 50 T. Insbesondere wurde festgestellt, dass die hier beschriebene Graphitkristallkonfiguration aus einem rhomboedrischen Teilkristall als zweiten Schichtbereich (G_{B2}) in Kontakt mit einem bernalen Teilkristall als ersten Schichtbereich (G_{B1}) besonders als Material eines Raumtemperatursupraleiters für diesen Zweck geeignet ist.

[0137] Das Graphen-Schichtpaket wird auf einen Träger (**Sub₁**) elektrisch isoliert aufgebracht. Das Graphen-Schichtpaket wird vorzugsweise fotolithografisch strukturiert. Das Schichtpaket wird infolge der Strukturierung durch eine strukturierte Triplate-Mikrostreifenleitung in eine erste Masse-Platte (**GND1**) und eine zweite Masse-Platte (**GND2**) geteilt. Diese Masse-Platten (**GND1**, **GND2**) stellen zwei der drei Leiter der Triplate-Mikrostreifenleitung dar. Zwischen diesen befindet sich getrennt von diesen ein strukturierter Mittelleiter (**ML**). An den Ein- und Auskoppelstellen (**E1**, **E2**) für das Mikrowellensignal ist der Mittelleiter zur Anpassung an ein koaxiales Anschlusskabel verbreitert. Auch der Mittelleiter (**ML**) besteht aus dem Material des Graphen-Schichtpakets. Der Mittelleiter(**ML**) wird bevorzugt während der Strukturierung des Graphen-Schichtpakets hergestellt. In dem Beispiel der **Fig. 36** ist der Mittelleiter an einer Stelle durch eine Kapazität (**C1**) unterbrochen. Diese ist in **Fig. 36b** im Detail dargestellt. Durch Windungen der Triplate-Leitung sind in dem Beispiel zwei Induktivitäten (**Li1**, **Li2**) in die Leitung

eingebaut. An einer Stelle zwischen diesen Induktivitäten (L_{i1} , L_{i2}) ist eine Cooper-Paar-Box in einen der beiden Schlitz zwischen Mittelleiter (ML) und den beiden Masseplatten ($GND1$, $GND2$) eingebaut. In diesem Beispiel ist die Cooper-Paar-Box in den Zwischenraum zwischen dem Mittelleiter (ML) und der ersten Masseplatte ($GND1$) eingebaut. Die Cooper-Paar-Box (CPB) wird durch eine einzelne Leitung gebildet. Sie entspricht dem zweiten Leitungsabschnitt $W1b$ der beiden vorausgehenden Figuren. Die ist über zwei Leitungen mit je einer eine Phasenverschiebung einführenden Schwachstelle (TU_1 , TU_2) mit der Koppelfläche einer Koppelkapazität (C_g) verbunden. Außerdem weist dieser Vorrichtungsteil eine Öffnung (O_1) auf, über die eine induktive Kopplung an das B-Feld der elektromagnetischen Welle im Wellenleiter erfolgen kann. Die Cooper-Paar-Box ist darüber hinaus noch kapazitiv an den Mittelleiter gekoppelt. Es ist auch denkbar, nur diese Teile der Vorrichtung mit Hilfe des vorgeschlagenen Graphen-Stapels zu realisieren. Besonders bevorzugt sollte das Material der Cooper-Paar-Box und um die Öffnung (O_1) herum dabei eine Sprungtemperatur (T_C) aufweisen, die bevorzugt höher ist als $-195^\circ C$ und/oder besser höher als $-100^\circ C$ und/oder besser höher als $-50^\circ C$ und/oder besser höher als $360^\circ K$ ist und/oder die eine kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K aufweist, die höher ist als 1T und/oder besser höher als 50 T. Insbesondere wurde festgestellt, dass die hier beschriebene Graphitkristallkonfiguration besonders als Material des ersten und zweiten Leitungsabschnitts ($W1a$, $W1b$) geeignet ist. Ganz besonders geeignet ist eine Grenzschicht (G_F) an zwei Kristallen aus verschiedenen Graphitmodifikationen, die eine Sprungtemperatur T_C von $370^\circ K \pm 7^\circ K$ aufzuweisen scheint.

[0138] Fig. 31

Fig. 31 zeigt ein weiteres Beispiel. In dem Beispiel ist ein drittes, hier ein beispielhaftes, bernales Graphen-Schicht-Paket (G_{B2}) zwischen zwei ebenfalls beispielhaften bernalen Graphen-Schichtpaketen (G_{B1} , G_{B3}) platziert. In diesem Sinne weist die Struktur der **Fig. 31** zwei Grenzflächen (G_{F1} , G_{F2}) innerhalb des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) auf.

[0139] Fig. 32

Fig. 32 zeigt ein weiteres Beispiel. In dem Beispiel sind zwei beispielhafte bernale Graphen-Schichtpakete (G_{B1} , G_{B2}) translatorisch versetzt zueinander platziert. In diesem Sinne weist die Struktur der **Fig. 32** eine Grenzflächen (G_F) auf.

[0140] Fig. 33

Fig. 33 zeigt das beispielhafte elektrische Bauelement (SQUID) auf Basis des Josephson-Kontakts aus **Fig. 12** in der Aufsicht. Das erste Substrat (G_{Sub}) ist so strukturiert, dass sich ein ringförmiges Gebilde ergibt, wobei der Ring nun im Gegensatz zur **Fig. 13** nicht vollständig geschlossen ist. Von den bei-

den Zweigen ist der erste Zweig ($W1a$, $W1b$) durch eine Josephson-Diode in Form eines ersten phasenmodulierenden Tunnel-Elements (TU_1) unterbrochen. Bei Stromfluss (I) hängt der Spannungsabfall auch hier vom Magnetfeld senkrecht zur Bildfläche ab. Der zweite Zweig ($W2a$, $W2b$) ist durch einen Spalt im zweiten Zweig ($W2a$, $W2b$) unterbrochen, sodass sich eine zweite Kapazität (C_2) ergibt, die eine weitere Phasenverschiebung verursacht.

[0141] Fig. 34

Fig. 34 zeigt ein beispielhaftes Metamaterial in der Aufsicht. Das Metamaterial wird auf dem nicht gezeichneten Träger (Sub1) aufgebracht und strukturiert. Das Metamaterial besteht aus einer beispielhaft zwei-dimensionalen Anordnung von $n \times m$ Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) mit n und m als ganzer positiver Zahl und $1 < i \leq n$ und $1 < j \leq m$. Drei-dimensionale Anordnungen von $l \times n \times m$ Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j,k}$) mit l und n und m als ganzer positiver Zahl und $1 < k \leq l$ und $1 < i \leq n$ und $1 < j \leq m$ sind denkbar. Insofern stellt die **Fig. 34** nur ein Beispiel für ein vorgeschlagenes Metamaterial dar. Jedes Metamaterialstrukturteil umfasst eine Leiterstruktur ($W_{i,j}$) wobei die Indices i und j die x- und y-Position innerhalb der zwei-dimensionalen Anordnung von $n \times m$ Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$), also die Position in einer ersten und in einer zweiten Richtung, darstellt. Analog würden bei einer drei-dimensionalen Anordnungen von $l \times n \times m$ Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j,k}$) der zusätzliche Index k die Position in z-Richtung, also in Richtung der dritten Koordinate angeben. Ein solches Metamaterial mit einer zwei-dimensionalen Anordnung von $n \times m$ Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) ist dadurch gekennzeichnet, dass es bevorzugt eine zweidimensionale Periodizität aufweist, also ein zweidimensionales Gitter darstellt. Analog würde eine drei-dimensionale Anordnungen von $l \times n \times m$ Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j,k}$) eine dreidimensionale Periodizität aufweisen und somit ein dreidimensionales Gitter darstellen. In dem Beispiel der **Fig. 34** ist ein flächenhaftes Metamaterial mit beispielhaft 4×4 Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) dargestellt. Das bedeutet dass der Index i im Bereich zwischen 1 und 4 liegt und der Index j im Bereich zwischen 1 und 4 liegt, wobei jeweils die Bereichsgrenzen für diese beiden Zahlenbereiche eingeschlossen sind.

[0142] Bevorzugt weist jede der Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) zumindest einen zugehörigen Leiter ($W_{i,j}$) auf. Dieser ist wieder bevorzugt ein Raumtemperatursupraleiter, der eine Sprungtemperatur (T_C) aufweist, die bevorzugt höher ist als $-195^\circ C$ und/oder besser höher als $-100^\circ C$ und/oder besser höher als $-50^\circ C$ und/oder besser höher als $360^\circ K$ ist, und/oder der eine kritische magnetische Flussdichte (B_k) bei 77 K aufweist, die höher ist als 1T und/oder besser höher als 50 T. Er wird also bevorzugt aus einem der zuvor beschriebenen Materialien hergestellt. Besonders bevorzugt ist eine Herstellung aus

einem Substrat (G_{sub}), das einen ersten Schichtbereich (G_{B1}) und einen zweiten Schichtbereich (G_{B2}) mit einer gemeinsamen Grenzfläche (G_F) aufweist. Besonders bevorzugt besteht der erste Schichtbereich (G_{B1}) aus einer ersten Stapelfolge von Graphen-Schichten, besonders bevorzugt bernaler Graphit, und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) aus einer zweiten Stapelfolge von Graphen-Schichten, besonders bevorzugt aus rhombohedrischem Graphit. Besonders bevorzugt sind benachbarte Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) ohmsch durch direkten Kontakt, magnetisch über koppelnde Magnetfelder oder kapazitiv über Kapazitäten miteinander verkoppelt. Die Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) können insbesondere zur magnetischen Kopplung Öffnungen aufweisen. Das topologische Geschlecht ihrer Form in Aufsicht kann also von 0 abweichen. Die Kopplung kann aber auch, wie in dem Beispiel der **Fig. 34**, durch eine Phasenverschiebung einführenden Schwachstelle ($TU_{i,j}$) Metamaterialteilstruktur ($MTS_{i,j}$) erzielt werden. In dem Beispiel der **Fig. 34** sind zwei Phasenverschiebung einführende Schwachstellen ($TU_{l,i,j}$, $TU_{o,i,j}$) je Metamaterialteilstruktur ($MTS_{i,j}$) vorgesehen. Hierdurch ist innerhalb des beispielhaften Metamaterials jede Metamaterialteilstruktur ($MTS_{i,j}$) mit vier anderen Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{(i+1),j}$, $MTS_{(i-1),j}$, $MTS_{i,(j+1)}$, $MTS_{i,(j-1)}$) über vier Phasenverschiebung einführende Schwachstellen ($TU_{l,i,j}$, $TU_{o,i,j}$, $TU_{l,i,(j-1)}$, $TU_{o,(i+1),j}$) verbunden. Es ist denkbar, einzelne oder alle dieser Phasenverschiebung einführenden Schwachstellen ($TU_{l,i,j}$, $TU_{o,i,j}$, $TU_{l,i,(j-1)}$, $TU_{o,(i+1),j}$) durch die besagten ohmschen Verbindungen, Koppelkapazitäten etc. vorzugsweise räumlich periodisch zu ersetzen.

[0143] In dem Beispiel der **Fig. 34** bilden je vier Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$, $MTS_{(i+1),j}$, $MTS_{i,(j+1)}$, $MTS_{(i+1),(j+1)}$) eine Struktur, die eine Öffnung ($O_{i+1,j+1}$) offen lässt.

[0144] Es handelt sich also letztlich bei einem solchen Metamaterial um eine elektrische Zusammenschaltung von elektrischen Bauelementen zu einer Gesamtschaltung. Sind zumindest ein Teil der Verbindungen zwischen den Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$, $MTS_{(i+1),j}$, $MTS_{i,(j+1)}$, $MTS_{(i+1),(j+1)}$) wie in der beispielhaften **Fig. 34** als Phasenverschiebung einführende Schwachstellen ($TU_{l,i,j}$, $TU_{o,i,j}$, $TU_{l,i,(j-1)}$, $TU_{o,(i+1),j}$) ausgeführt, so handelt es sich um eine Zusammenschaltung von Quanteninterferenzbauelementen. Es wird daher ein Metamaterial vorgeschlagen, das aus einer räumlich periodischen dreidimensionalen Zusammenschaltung von Quanteninterferenzbauelementen oder Quanteninterferenzteilvorrichtungen, hier den Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j,k}$), oder aus einer zweidimensional periodischen zweidimensionalen Zusammenschaltung von Quanteninterferenzbauelementen oder Quanteninterferenzteilvorrichtungen, hier den Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$), besteht. Die räumliche oder zweidimensionale Periodizität kann sich jeweils auf

eine translatorische Verschiebung oder eine rotatorische Drehung beziehen.

[0145] Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass die **Fig. 34a** die beispielhafte zweidimensionale Anordnung der Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) darstellt. Dabei sind zur besseren Übersicht keine Bezugszeichen für die Phasenverschiebung einführende Schwachstellen und die Öffnungen sowie die Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) eingetragen. Nur die Bezugszeichen der Leiter ($W_{i,j}$) sind zur Übersicht eingetragen. Eine beispielhafte Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) ist herausgegriffen und in der **Fig. 34b** vergrößert dargestellt. Diese soll alle Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) innerhalb des Metamaterials repräsentieren. Metamaterialteilstrukturen ($MTS_{i,j}$) am Rand ($i=1$ oder $i=n$ oder $j=1$ oder $j=m$) können in ihrer Struktur je nach Definition der Metamaterialteilstruktur ($MTS_{i,j}$) abweichen. Bei ausreichender Größe des Metamaterials können die sich ergebenden Randeffekte, wie bei Metamaterialien üblich, vernachlässigt werden.

Glossar

Graphen

[0146] Graphit Schicht, Benzol-Ringe etc. Graphen ist die übliche Bezeichnung für eine Modifikation des Kohlenstoffs mit zweidimensionaler Struktur, in der jedes Kohlenstoffatom im Winkel von 120° von drei weiteren umgeben ist, sodass sich ein bienenwabenförmiges Muster ausbildet. Graphit ist typischerweise aus Graphen-Schichten in rhombohedrischer oder bernaler Stapelfolge aufgebaut.

Graphen-Lage oder Graphen-Schicht

[0147] Im Sinne dieser Offenbarung besteht eine Graphen-Lage zumindest an einer Stelle aus zumindest einem Benzol-Ring, besser der Verkettung von mindestens zwei oder mehr als zwei BenzolRingen.

Mikrostrukturtechnik / Mikrotechnik

[0148] Die Mikrotechnik (auch Mikrostrukturtechnik) befasst sich mit Verfahren, die zur Herstellung von Körpern und geometrischen Strukturen mit Dimensionen im Mikrometerbereich ($0,1-1000 \mu\text{m}$) angewandt werden. Strukturgrößen von unter 100 Nanometer werden zwar mit Nanotechnik bezeichnet. Sie werden hier aber im Sinne dieser Offenbarung von den Begriffen Mikrostrukturtechnik und Mikrotechnik mit umfasst.

mikroelektronische Schaltkreise

[0149] Mikroelektronische Schaltkreise im Sinne dieser Offenbarung sind elektrische Schaltungen und Vorrichtungen, die zumindest teilweise mit Verfahren

der Mikrostrukturtechnik / Mikrotechnik / Nanotechnik hergestellt wurden.

mikromechanische Vorrichtungen

[0150] Mikromechanische Vorrichtungen im Sinne dieser Offenlegung sind mechanische Vorrichtungen, die zumindest teilweise mit Verfahren der Mikrostrukturtechnik / Mikrotechnik / Nanotechnik hergestellt wurden.

mikrooptische Vorrichtungen

[0151] Mikrooptische Vorrichtungen im Sinne dieser Offenlegung sind optische Vorrichtungen, die zumindest teilweise mit Verfahren der Mikrostrukturtechnik / Mikrotechnik / Nanotechnik hergestellt wurden.

mikrofluidische Vorrichtungen

[0152] Mikrofluidische Vorrichtungen im Sinne dieser Offenlegung sind im weitesten Sinne mikromechanische Vorrichtungen, die dem Transport, der Modifikation oder sonstigen Behandlung von zumindest teilweise gasförmigen und/oder zumindest teilweise flüssigen Fluiden dienen und die zumindest teilweise mit Verfahren der Mikrostrukturtechnik / Mikrotechnik / Nanotechnik hergestellt wurden.

Bezugszeichenliste

- 1 Bereitstellen eines ersten Substrats (G_{Sub}) bestehend aus zumindest zwei Schichtbereichen (G_{B1} , G_{B2});
- 2 Feststellens der Orientierung der Flächennormalen (n_F) der Graphen-Schichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) innerhalb des Substrats (G_{Sub});
- 3 Abdünnen eines „betreffenden“ Schichtbereiches (G_{B1} , G_{B2}) und Schaffung einer unteren Grenzfläche (UGF) parallel zu den Graphen-Schichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB});
- 4 Aufbringen des vorzugsweise abgedünnten Substrats (G_{Sub}) auf die Oberfläche (OF) eines Trägers (Sub_1);
- 5 Befestigen des vorzugsweise abgedünnten Substrats (G_{Sub}) an der Oberfläche (OF) des Trägers (Sub_1);
- 6 Abdünnen des anderen Schichtbereiches (G_{B1} , G_{B2}), der nicht der betreffende Schichtbereich ist;
- 7 Bereitstellung eines zweiten Substrates (SUB), beispielsweise in Form einer mikroelektronischen Schaltung;
- 8 Strukturierung des ersten Substrats (G_{Sub});

- 9 Aufbringen mindestens einer elektrisch leitenden Schicht auf das erste Substrat (G_{Sub}) oder auf das zweite Substrat (SUB), beispielsweise um die Kontakte herzustellen;
 - 10 Strukturierung der mindestens einen elektrisch leitenden Schicht;
 - 11 Aufbringen mindestens einer elektrisch isolierenden Schicht auf das erste Substrat (G_{Sub}) oder zweite Substrat (SUB) oder den Träger (Sub_1) oder auf eine elektrisch, insbesondere normal, leitende Schicht durchzuführen;
 - 12 Strukturierung der mindestens einen isolierenden Schicht z.B. zum Öffnen der Kontakte oder von Durchkontaktierungen;
 - 13 des Bereitstellens (**13**) der Kontakte zu den Graphen-Schichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB});
- A** Graphen-Schicht mit Positionierung **A**;
- B** Graphen-Schicht mit Positionierung **B**;
- B_f** magnetische Flussdichte;
- BE** mikromechanischer Balken;
- B_k** kritische magnetische Flussdichte;
- c** sechszählige Symmetrieachse der hexagonalen Elementarzelle der Graphit 2H Struktur;
- C** Graphen-Schicht mit Positionierung **C**;
- C1** erste Kapazität;
- C2** zweite Kapazität;
- Cg** Koppelkapazität;
- CMP** chemisch-mechanische Polieren;
- CPB** Cooper-Paar-Box;
- d** hexagonalen Symmetrieachse (**d**) des Kristallgitters des zweiten Schichtbereichs (G_{B2});
- d_L** Abstand zwischen einer ersten Leitung und einer zweiten Leitung aus dem vorgeschlagenen Material, die sich induktiv und/oder kapazitiv beeinflussen;
- DLC** diamond like carbon (diamant-ähnliche Schichten);
- E1** erster Ein- bzw. Auskoppelpunkt;
- E2** zweiter Ein- bzw. Auskoppelpunkt;
- ELS** elektrisch leitende Schicht;
- G_A** erste Graphen-Lage;
- G_{B1}** erster Teilmenge von Graphen-Schichten bzw. erster Schichtbereich in einer ers-

	ten Stapelfolge von Graphen-Schichten, bevorzugt aus Graphit mit bernaler-Kristallstruktur (Graphit-2H) mit mindestens 3 Atom-Lagen (Graphen-Lagen) mit einer jeweiligen Dicke von genau einem Atom je Atom-Lage;	I_e	Elektronenstrom;
		I_{p+}	Löcherstrom;
		IS	elektrisch isolierenden Schicht;
G_{B2}	zweiter Teilmenge von Graphen-Schichten bzw. zweiter Schichtbereich in einer zweiten Stapelfolge von Graphen-Schichten, bevorzugt aus Graphit mit rhombohedraler Kristallstruktur (englisch rhombohedral, Graphit-3R) weniger bevorzugt aus Graphit mit Bernal-Kristallstruktur (Graphit-2H) mit mindestens einer Atom-Lage (Graphen-Lagen) mit einer jeweiligen Dicke von genau einem Atom je Atom-Lage;	K1	erster Kontakt
		K2	zweiter Kontakt
		KD1	erste Kontaktdotierung;
		KD2	zweite Kontaktdotierung;
		L1	erste Leiterbahn. Die erste Leiterbahn wird vorzugsweise mittels fotolithografischer Ätzverfahren aus einer ersten Metallisierungsschicht im Laufe des Herstellungsprozesses herausgearbeitet. Die erste Metallisierungsschicht wird auf der ersten Isolatorschicht (OX1) aufgebracht. Im Bereich der Kontakte (K1 , K2) wird die erste Metallisierung direkt auf das Halbleitersubstrat des Trägers (Sub₁) aufgebracht.
G_{B3}	dritte Teilmenge von Graphen-Schichten bzw. dritter Schichtbereich in einer dritten Stapelfolge von Graphen-Schichten, bevorzugt aus Graphit mit Bernal-Kristallstruktur (Graphit-2H) mit mindestens 3 Atom-Lagen (Graphen-Lagen) mit einer jeweiligen Dicke von genau einem Atom je Atom-Lage;		
G_{FB}	Grenzflächenbereich aus einer oder mehreren Graphen-Schichten im allgemeineren Sinne.;	L2	zweite Leiterbahn. Die zweite Leiterbahn wird vorzugsweise mittels fotolithografischer Ätzverfahren aus einer ersten Metallisierungsschicht im Laufe des Herstellungsprozesses herausgearbeitet. Die erste Metallisierungsschicht wird auf der ersten Isolatorschicht (OX1) aufgebracht. Im Bereich der Kontakte (K1 , K2) wird die erste Metallisierung direkt auf das Halbleitersubstrat des Trägers (Sub₁) aufgebracht.
G_F	Grenzfläche zwischen dem ersten Schichtbereich (G_{B1}) und dem zweiten Schichtbereich (G_{B2});		
G_{F1}	erste Grenzfläche zwischen dem ersten Schichtbereich (G_{B1}) und dem zweiten Schichtbereich (G_{B2});		
G_{F2}	zweite Grenzfläche zwischen dem zweiten Schichtbereich (G_{B2}) und dem dritten Schichtbereich (G_{B3});		
GL	Kleber zum Verbinden des supraleitenden Schichtpakets mit dem Träger (Sub₁);		
GND1	erste Massefläche;		
GND2	zweite Massefläche;		
G_s	Graphit-Substrat;	L3	dritte Leiterbahn. Die dritte Leiterbahn wird vorzugsweise mittels fotolithografischer Ätzverfahren aus einer zweiten Metallisierungsschicht im Laufe des Herstellungsprozesses herausgearbeitet. Die zweite Metallisierungsschicht wird auf der zweiten Isolatorschicht (OX2) aufgebracht. Im Bereich der Kontakte (K1 , K2) wird bevorzugt, aber nicht not-
G_{Sub}	Substrat (G_{Sub}) bestehend aus zumindest zwei Schichtbereichen (G_{B1} , G_{B2}) und zumindest einer Grenzfläche (G_F bzw. G_{F1});		
HL	Hall-Struktur. Es handelt sich hier um eine beispielhafte Hall-Struktur im Querschnitt.		

	wendigerweise die zweite Metallisierung direkt auf die erste Metallisierung aufgebracht.		mensionalen beispielhaften Metamaterials;
Li1	erste Induktivität;	MTS_{i,j-1}	Metamaterialteilstruktur in der i-ten Spalte und (j-1)-ten Zeile des zweidimensionalen beispielhaften Metamaterials;
Li2	zweite Induktivität;		
MFM	Magnetic Force Microscope;	N1	erster Knoten;
ML	Mittenleiter;	N2	zweiter Knoten;
MTS_{i,j,k}	Metamaterialteilstruktur in der i-ten Spalte und j-ten Zeile und k-ten Schicht des dreidimensionalen beispielhaften Metamaterials;	N3	dritter Knoten;
		n_F	Flächennormale der Oberfläche (OF);
		n_{F1}	erste Flächennormale der ersten Grenzfläche (G_{F1});
MTS_{i,j}	Metamaterialteilstruktur in der i-ten Spalte und j-ten Zeile des zweidimensionalen beispielhaften Metamaterials;	n_{F2}	zweite Flächennormale der zweiten Grenzfläche (G_{F2});
		NMR	nuclear magnetic resonance;
MTS_{i+1,j}	Metamaterialteilstruktur in der (i+1)-ten Spalte und j-ten Zeile des zweidimensionalen beispielhaften Metamaterials;	OF	Oberfläche des Trägers (Sub₁);
		OA	optisch aktive Schicht, (z.B. Schicht, die einen elektrooptischen Effekt, beispielsweise den Kerr-Effekt zeigt.);
MTS_{i-1,j}	Metamaterialteilstruktur in der (i-1)-ten Spalte und j-ten Zeile des zweidimensionalen beispielhaften Metamaterials;	OF	Oberfläche des Trägers (Sub₁). Sofern ein Hall-Element realisiert werden soll, ist es bevorzugt, wenn der Träger aus halbleitendem Material gefertigt ist. Der Träger kann auch eine integrierte Schaltung umfassen;
MTS_{i+1,j+1}	Metamaterialteilstruktur in der (i+1)-ten Spalte und (j+1)-ten Zeile des zweidimensionalen beispielhaften Metamaterials;		
MTS_{i-1,j+1}	Metamaterialteilstruktur in der (i-1)-ten Spalte und (j+1)-ten Zeile des zweidimensionalen beispielhaften Metamaterials;	OGF	obere Grenzfläche (OGF) des Substrats (G_{sub}) parallel zu den Graphenschichten des Grenzflächenbereichs (G_{FB}) nach dem bevorzugten Abdünnen;
MTS_{i+1,j-1}	Metamaterialteilstruktur in der (i+1)-ten Spalte und (j-1)-ten Zeile des zweidimensionalen beispielhaften Metamaterials;	OX	Isolator, typischerweise SiO ₂ oder Silizium Nitrit oder Silizium Nitrid. Andere Isolatoren, wie z.B. Polyimid sind denkbar;
MTS_{i-1,j-1}	Metamaterialteilstruktur in der (i-1)-ten Spalte und (j-1)-ten Zeile des zweidimensionalen beispielhaften Metamaterials;	OX1	erste Isolatorschicht, typischerweise SiO ₂ oder Silizium Nitrit oder Silizium Nitrid. Andere Isolatoren, wie z.B. Polyimid sind denkbar. Besonders
MTS_{i,j+1}	Metamaterialteilstruktur in der i-ten Spalte und (j+1)-ten Zeile des zweidi-		

	bevorzugt ist die Verwendung eines Gate-Oxids als erste Isolatorschicht;		Verbindung zwischen dem Leiter ($\mathbf{W}_{i,j}$) der Metamaterialteilstruktur ($\mathbf{MTS}_{i,j}$) in der i -ten Spalte und der j -ten Zeile des Metamaterials und dem Leiter ($\mathbf{W}_{i-1,j}$) der Metamaterialteilstruktur ($\mathbf{MTS}_{i-1,j}$) in der $(i-1)$ -ten Spalte und der j -ten Zeile des Metamaterials, typischerweise ein Josephson Junction;
OX2	zweite Isolatorschicht, typischerweise SiO_2 oder Silizium Nitrit oder Silizium Nitrid. Andere Isolatoren, wie z.B. Polyimid sind denkbar.;		
OX3	dritte Isolatorschicht, typischerweise SiO_2 oder Silizium Nitrit oder Silizium Nitrid. Andere Isolatoren, wie z.B. Polyimid sind denkbar;	TU _{i,j,i}	linke Phasenverschiebung einführenden Schwachstelle zum Herstellen einer Verbindung zwischen dem Leiter ($\mathbf{W}_{i,j-1}$) der Metamaterialteilstruktur ($\mathbf{MTS}_{i,j-1}$) in der i -ten Spalte und der $(j-1)$ -ten Zeile des Metamaterials und dem Leiter ($\mathbf{W}_{i,j}$) der Metamaterialteilstruktur ($\mathbf{MTS}_{i,j}$) in der i -ten Spalte und der j -ten Zeile des Metamaterials, typischerweise ein Josephson Junction;
PLY	polykristalline Siliziumschicht. In dem Beispiel der Fig. 17 muss die polykristalline Siliziumschicht von ihrem Material her so gewählt werden, dass sie selektiv gegenüber der zweiten Isolatorschicht (OX2) und der dritten Isolatorschicht (OX3) ätzbar ist;		
SC	Raumladungszone mit erhöhter Elektronendichte (gestrichelt gezeichnet);	TU _{o,i,j}	obere Phasenverschiebung einführenden Schwachstelle zum Herstellen einer Verbindung zwischen dem Leiter ($\mathbf{W}_{i,j}$) der Metamaterialteilstruktur ($\mathbf{MTS}_{i,j}$) in der i -ten Spalte und der j -ten Zeile des Metamaterials und dem Leiter ($\mathbf{W}_{i,j-1}$) der Metamaterialteilstruktur ($\mathbf{MTS}_{i,j-1}$) in der i -ten Spalte und der $(j-1)$ -ten Zeile des Metamaterials, typischerweise ein Josephson Junction;
Sub₁	Träger;		
SUB	zweites Substrat, das beispielsweise eine mikroelektronische Schaltung sein kann. Das zweite Substrat (SUB) kann mit dem Träger (Sub₁) identisch sein;		
T	Temperatur;		
Ta	Arbeitstemperatur;		
T_c	Sprungtemperatur;		
TSV	Through Silicon-Via;	TU _{$o,i+1,j$}	obere Phasenverschiebung einführenden Schwachstelle zum Herstellen einer Verbindung zwischen dem Leiter ($\mathbf{W}_{i+1,j}$) der Metamaterialteilstruktur ($\mathbf{MTS}_{i+1,j}$) in der $(i+1)$ -ten Spalte und der j -ten Zeile des Metamaterials und dem Leiter ($\mathbf{W}_{i,j}$) der Metamaterialteilstruktur ($\mathbf{MTS}_{i,j}$) in der i -ten Spalte und der j -ten Zeile des Metamaterials, typischerweise ein Josephson Junction;
TU₁	erste eine Phasenverschiebung einführenden Schwachstelle, typischerweise ein Josephson Junction;		
TU₂	zweite eine Phasenverschiebung einführenden Schwachstelle, typischerweise ein Josephson Junction;		
TU_{i,j}	linke Phasenverschiebung einführenden Schwachstelle zum Herstellen einer		

UGF	durch Abdünnen geschaf- fene untere Grenzfläche des Substrats (\mathbf{G}_{Sub}) par- allel zu den Graphen- Schichten des Grenzflä- chenbereichs (\mathbf{G}_{FB});	$\mathbf{W}_{i+1,j-1}$	Leiter der Metamaterialteil- struktur ($\mathbf{MTS}_{i+1,j-1}$) in der (i+1)-ten Spalte und der (j- 1)-ten Zeile des Metama- terials;
v_g	Steuerspannung;	$\mathbf{W}_{i-1,j-1}$	Leiter der Metamaterialteil- struktur ($\mathbf{MTS}_{i-1,j-1}$) in der (i-1)-ten Spalte und der (j- 1)-ten Zeile des Metama- terials;
V_g	Steuerspannungsquelle;		
W	Leiter aus dem beschrie- benen Graphen-Schicht- Paket;	$\mathbf{W}_{i,j+1}$	Leiter der Metamaterialteil- struktur ($\mathbf{MTS}_{i,j+1}$) in der i- ten Spalte und der (j+1)- ten Zeile des Metamateri- als;
W1	erster Zweig des Leiters (W);		
W1a	erster Leitungsabschnitt des ersten Zweigs des Leiters (W);	$\mathbf{W}_{i,j-1}$	Leiter der Metamaterialteil- struktur ($\mathbf{MTS}_{i,j-1}$) in der i- ten Spalte und der (j-1)- ten Zeile des Metamateri- als;
W1b	zweiter Leitungsabschnitt des ersten Zweigs des Leiters (W);		
W1c	dritter Leitungsabschnitt des ersten Zweigs des Leiters (W);		
W2	zweiter Zweig des Leiters (W);		
W2a	erster Leitungsabschnitt des zweiten Zweigs (W2) des Leiters (W);		
W2b	zweiter Leitungsabschnitt des zweiten Zweigs (W2) des Leiters (W);		
$\mathbf{W}_{i,j}$	Leiter der Metamaterial- teilstruktur ($\mathbf{MTS}_{i,j}$) in der i-ten Spalte und der j-ten Zeile des Metamaterials;		
$\mathbf{W}_{i+1,j}$	Leiter der Metamaterialteil- struktur ($\mathbf{MTS}_{i+1,j}$) in der (i +1)-ten Spalte und der j- ten Zeile des Metamateri- als;		
$\mathbf{W}_{i-1,j}$	Leiter der Metamaterialteil- struktur ($\mathbf{MTS}_{i-1,j}$) in der (i- 1)-ten Spalte und der j-ten Zeile des Metamaterials;		
$\mathbf{W}_{i+1,j+1}$	Leiter der Metamaterialteil- struktur ($\mathbf{MTS}_{i+1,j+1}$) in der (i+1)-ten Spalte und der (j +1)-ten Zeile des Metama- terials;		
$\mathbf{W}_{i-1,j+1}$	Leiter der Metamaterialteil- struktur ($\mathbf{MTS}_{i-1,j+1}$) in der (i-1)-ten Spalte und der (j +1)-ten Zeile des Metama- terials;		

ZITATE ENHALTEN 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 102017004103 [0001, 0002]
- DE 102017107597 [0002]
- DE 102017108619 [0002]
- DE 102017004141 [0002]
- DE 102017109759 [0003]
- DE 102017111577 [0003]
- US 836355 A [0004]
- CA 764889 A [0004]
- CA 702962 A [0004]
- CA 238795 A [0004]
- CA 717458 A [0004]
- CA 632113 A [0004]
- DE 3602330 A1 [0004]
- CN 102800382 B [0004]
- US 8964491 B2 [0005]
- US 8247060 B2 [0007, 0010]
- US 2015/0080223 A1 [0011]
- AU 2015234343 A1 [0034]
- EP 2982646 A1 [0034]
- JP 5697067 B1 [0034]
- DE 2434997 [0040]
- DE 2843647 [0045]
- US 6838694 B2 [0130]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Y. Kopelevich et al., J.; Ferromagnetic- and Superconducting-Like Behavior of Graphite; Low Temp. Phys. 119, 691 (2000) [0010]
- P. Esquinazi et al., Ferromagnetism in oriented graphite samples; Phys. Rev. B 66, 024429 (2002) [0010]
- M. P. Sharma et al., Diamagnetism of Graphite Phys. Rev. B 9, 2467 (1974) [0010]
- M. Koshino et al., Magnetic field screening and mirroring in graphene; Phys. Rev. Lett. 102, 177203 (2009) [0010]
- „Applied Digital Optics: from micro-optics to nanophotonics“ ISBN 987-0-470-02263-4, 2009 John Wiley & Sons Ltd [0102]
- Caspar H. van der Wal et. al. „Quantum Superposition of Macroscopic Persistent-Current States“ Science Vol. 290, 27.10.2000, Seite 773-777 [0130]
- A. B. Zorin, „Cooper-pair qubit and Cooper-pair electrometer in one device“ [0131]

Patentansprüche

1. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement

- mit einer Teilvorrichtung, die ein erstes Substrat (G_{sub}) bestehend aus zumindest einem ersten Schichtbereich (G_{B1}) und einem zweiten Schichtbereich (G_{B2}) umfasst,

• wobei der erste Schichtbereich (G_{B1}) und der zweite Schichtbereich (G_{B2}) übereinander angeordnet sind und eine gemeinsame erste Grenzfläche (G_{F1}) zwischen dem ersten Schichtbereich (G_{B1}) und dem zweiten Schichtbereich (G_{B2}) aufweisen und

• wobei der erste Schichtbereich (G_{B1}) aus Graphit mit einer ersten Stapelfolge von mindestens 3 Graphen-Schichten besteht und

• wobei der zweite Schichtbereich (G_{B2}) aus Graphit mit einer zweiten Stapelfolge von Graphen-Schichten besteht und

• wobei die Gesamtstapelfolge bestehend aus der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) und der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) und der gemeinsamen Grenzfläche (G_{F}) zusammen nicht der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) entspricht

- wobei ein Teilbereich der Gesamtstapelfolge supraleitende Eigenschaften mit einer Sprungtemperatur (T_{C}) aufweist oder eine kritische magnetische Flussdichte (B_{k}) bei 77 K aufweist und

2. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach Anspruch 1

- wobei die Sprungtemperatur (T_{C}) oder die kritische magnetische Flussdichte (B_{k}) bei 77 K von der Gesamtstapelfolge abhängt.

3. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach Anspruch 1 und/oder 2

- wobei die Sprungtemperatur (T_{C}) höher ist als -195°C und/oder höher als -100°C und/oder

- wobei die kritische magnetische Flussdichte (B_{k}) bei 77 K höher als 1T und/oder 50 T ist.

4. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3

- wobei die erste Grenzfläche (G_{F1}) eine Orientierung ihrer ersten Flächennormalen (n_{F1}) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (c) des Kristallgitters der Graphen-Schichten des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) aufweist und

- wobei die erste Grenzfläche (G_{F1}) eine Orientierung ihrer ersten Flächennormalen (n_{F1}) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (d) des Kristallgitters der Graphen-Schichten des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) aufweist.

5. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4

- wobei das erste Substrat (G_{sub}) so strukturiert ist, dass die Außenkante der ersten Grenzfläche (G_{F1}) in zumindest einem Teilbereich des ersten Substrats (G_{sub}) durch Bearbeitung verändert ist.

6. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5

- wobei die erste Grenzfläche (G_{F1}) oder ein Grenzflächenbereich (G_{FB}), dessen Teil die erste Grenzfläche (G_{F1}) ist, zumindest einen elektrischen Kontakt aufweist, der dazu vorgesehen oder geeignet ist, die erste Grenzfläche (G_{F1}) oder den Grenzflächenbereich (G_{FB}), dessen Teil die erste Grenzfläche (G_{F1}) ist, elektrisch mit einem elektrischen Leiter zu verbinden.

7. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6

- wobei die erste Grenzfläche (G_{F1}) oder ein Grenzflächenbereich (G_{FB}), dessen Teil die erste Grenzfläche (G_{F1}) ist, zumindest einen elektrischen Kontakt aufweist, der dazu vorgesehen oder geeignet ist, die erste Grenzfläche (G_{F1}) oder den Grenzflächenbereich (G_{FB}), dessen Teil die erste Grenzfläche (G_{F1}) ist, elektrisch mit einem elektrischen Leiter zu verbinden.

8. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7

- wobei es sich bei der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) und/oder bei der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) um die Stapelfolge von bernalem Graphit oder um die Stapelfolge von rhomboedrischen Graphit handelt.

9. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8

- wobei die erste Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) gleich der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) ist, die zweite Stapelfolge aber gegenüber der ersten Stapelfolge um einen translatorischen Verschiebungsvektor längs der ersten Grenzfläche (G_{F1}) versetzt ist und/oder gegenüber der ersten Stapelfolge um einen Winkel ungleich null um eine Flächennormale der ersten Grenzfläche (G_{F1}) verdreht ist.

10. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9

- wobei die erste Stapelfolge des ersten Schichtbereichs (G_{B1}) nicht gleich der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs (G_{B2}) ist.

11. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10

- mit einer Teilvorrichtung, die ein erstes Substrat (G_{Sub}) bestehend aus zumindest einem ersten Schichtbereich ($G_{\text{B}1}$) und einem zweiten Schichtbereich ($G_{\text{B}2}$) und zusätzlich einem dritten Schichtbereich ($G_{\text{B}3}$) umfasst,

• wobei der zweite Schichtbereich ($G_{\text{B}2}$) und der dritte Schichtbereich ($G_{\text{B}3}$) übereinander angeordnet sind und eine gemeinsame zweite Grenzfläche ($G_{\text{F}2}$) zwischen dem zweiten Schichtbereich ($G_{\text{B}2}$) und dem dritten Schichtbereich ($G_{\text{B}3}$) aufweisen und

• wobei der dritte Schichtbereich ($G_{\text{B}3}$) aus Graphit mit einer dritten Stapelfolge von mindestens 3 Graphen-Schichten besteht und

• wobei der zweite Schichtbereich ($G_{\text{B}2}$) auch nur eine Graphen-Schicht oder nur zwei Graphen-Schichten oder mindestens 3 Graphen-Schichten umfassen kann und

• wobei die zweite Gesamtstapelfolge bestehend aus der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs ($G_{\text{B}2}$) und der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs ($G_{\text{B}3}$) und der zweiten Grenzfläche ($G_{\text{F}2}$) zusammen nicht der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs ($G_{\text{B}2}$) entspricht.

12. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11

- wobei die zweite Grenzfläche ($G_{\text{F}2}$) eine Orientierung ihrer zweiten Flächennormalen ($n_{\text{F}2}$) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (c) des Kristallgitters der Graphen-Schichten des dritten Schichtbereichs ($G_{\text{B}3}$) aufweist und

- wobei die zweite Grenzfläche ($G_{\text{F}2}$) eine Orientierung ihrer Flächennormalen ($n_{\text{F}2}$) parallel zur hexagonalen Symmetrieachse (d) des Kristallgitters der Graphen-Schichten des zweiten Schichtbereichs ($G_{\text{B}2}$) aufweist

13. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12

- wobei es sich bei der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs ($G_{\text{B}3}$) um die Stapelfolge von rhomboedrischen Graphit handelt oder

- wobei es sich bei der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs ($G_{\text{B}3}$) um die Stapelfolge von bernalem Graphit handelt.

14. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13

- wobei die erste Stapelfolge des ersten Schichtbereichs ($G_{\text{B}1}$) gleich der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs ($G_{\text{B}3}$) ist, die dritte Stapelfolge aber gegenüber der ersten Stapelfolge um einen translatorischen längs der ersten Grenzfläche ($G_{\text{F}1}$) versetzt ist und/oder

- wobei die erste Stapelfolge des ersten Schichtbereichs ($G_{\text{B}1}$) gleich der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs ($G_{\text{B}3}$) ist, die dritte Stapelfolge aber gegenüber der ersten Stapelfolge um einen Winkel ungleich null um die Flächennormale der ersten Grenzfläche ($G_{\text{F}1}$) verdreht ist.

15. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14

- wobei die zweite Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs ($G_{\text{B}2}$) gleich der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs ($G_{\text{B}3}$) ist, die dritte Stapelfolge aber gegenüber der zweiten Stapelfolge um einen translatorischen längs der zweiten Grenzfläche ($G_{\text{F}2}$) versetzt ist und/oder

- wobei die zweite Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs ($G_{\text{B}2}$) gleich der dritten Stapelfolge des dritten Schichtbereichs ($G_{\text{B}3}$) ist, die dritte Stapelfolge aber gegenüber der zweiten Stapelfolge um einen Winkel ungleich null um die Flächennormale der zweiten Grenzfläche ($G_{\text{F}2}$) verdreht ist.

16. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14

- wobei die dritte Stapelfolge des dritten Schichtbereichs ($G_{\text{B}3}$) nicht gleich der zweiten Stapelfolge des zweiten Schichtbereichs ($G_{\text{B}2}$) ist.

17. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16

- wobei die dritte Stapelfolge des dritten Schichtbereichs ($G_{\text{B}3}$) nicht gleich der ersten Stapelfolge des ersten Schichtbereichs ($G_{\text{B}1}$) ist.

18. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 17

- wobei der erste Schichtbereich ($G_{\text{B}1}$), der in der ersten Stapelfolge ($G_{\text{B}1}$) angeordnet ist, mindestens drei und/oder mindestens sechs und/oder mindestens 10 und/oder mindestens 20 und/oder mindestens 50 und/oder mindestens 100 Graphen-Schichten umfasst und/oder

- wobei der zweite Schichtbereich ($G_{\text{B}2}$), der in der zweiten Stapelfolge ($G_{\text{B}2}$) angeordnet ist, mindestens eine Graphen-Schicht und/oder mindestens zwei und/oder drei und/oder mindestens sechs und/oder mindestens 10 und/oder mindestens 20 und/oder mindestens 50 und/oder mindestens 100 Graphen-Schichten umfasst.

- wobei der dritte Schichtbereich ($G_{\text{B}3}$), der in der dritten Stapelfolge ($G_{\text{B}3}$) angeordnet ist, mindestens drei und/oder mindestens sechs und/oder mindestens 10 und/oder mindestens 20 und/oder mindestens 50 und/oder mindestens 100 Graphen-Schichten umfasst.

19. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 18

- wobei zumindest eine Graphen-Schicht des ersten Substrats (G_{sub}) durch Fremdatome, insbesondere Sauerstoff-Atome und/oder Wasserstoff-Atome, dotiert ist.

20. Elektrisches oder optisches oder magnetisches oder elektronisches Bauelement nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 19

- wobei zumindest eine Graphen-Schicht des ersten Substrats (G_{sub}) isotopenrein ist und/oder

- wobei zumindest eine Graphen-Schicht des ersten Substrats (G_{sub}) eine gegenüber lebendem organischem biologischen Material der Erdoberfläche eine um mindestens 10% besser 50%, besser 100% abweichende Konzentration von C^{13} Isotopen aufweist.

21. Verfahren zum Transport von elektrischen Ladungsträgern durch ein Bauelement entsprechend einem oder mehreren der vorausgehenden Ansprüche 1 bis 20

- Bereitstellen des Bauelement entsprechend einem oder mehreren der vorausgehenden Ansprüche 1 bis 20;

- Einspeisen von ersten Ladungsträgern in den supraleitenden Teilbereich und/oder den Grenzflächenbereich (G_{FB}) an einer ersten Stelle und bis auf die quantenmechanische Unschärfe gleichzeitige Entnahme zweiter Ladungsträger gleicher Polarität wie die ersten Ladungsträger an einer zweiten Stelle, die von der ersten Stelle verschieden ist.

Es folgen 34 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

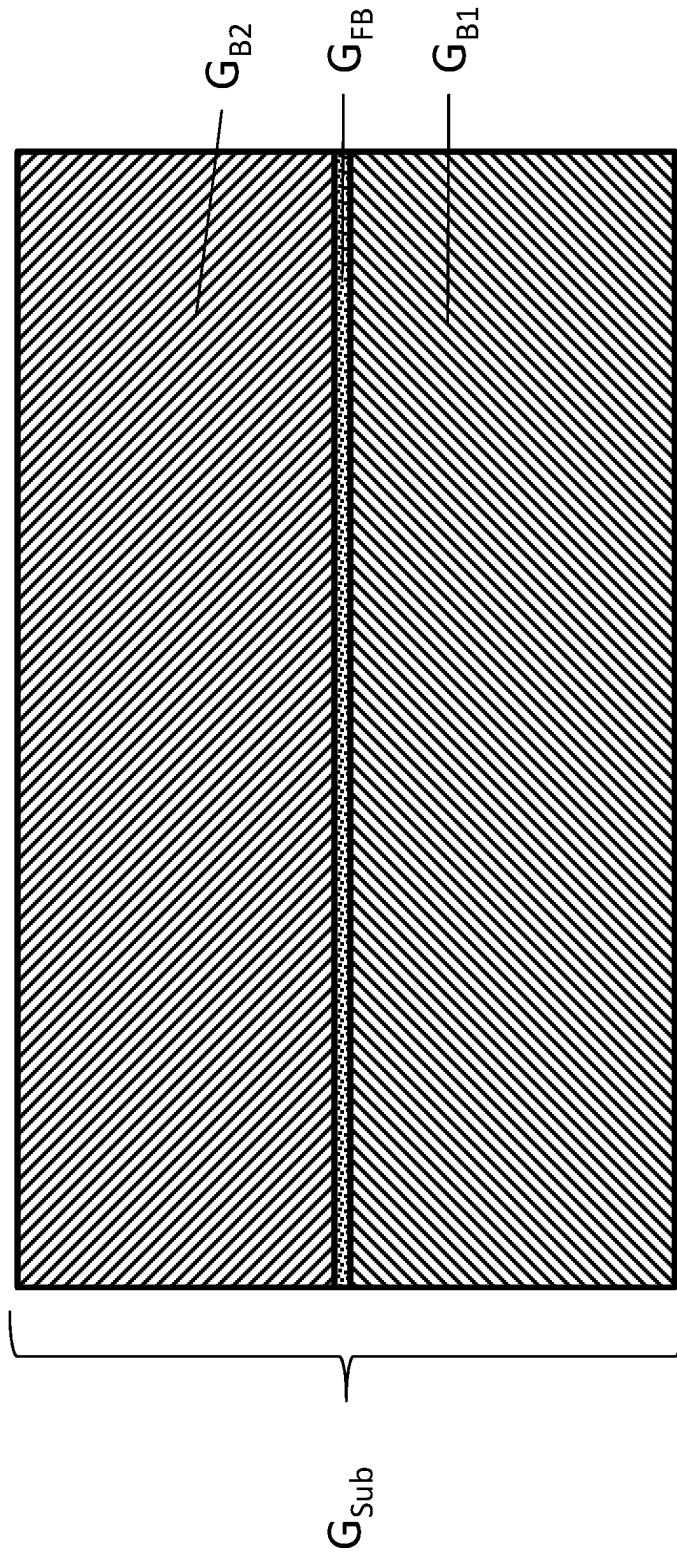


Fig. 1

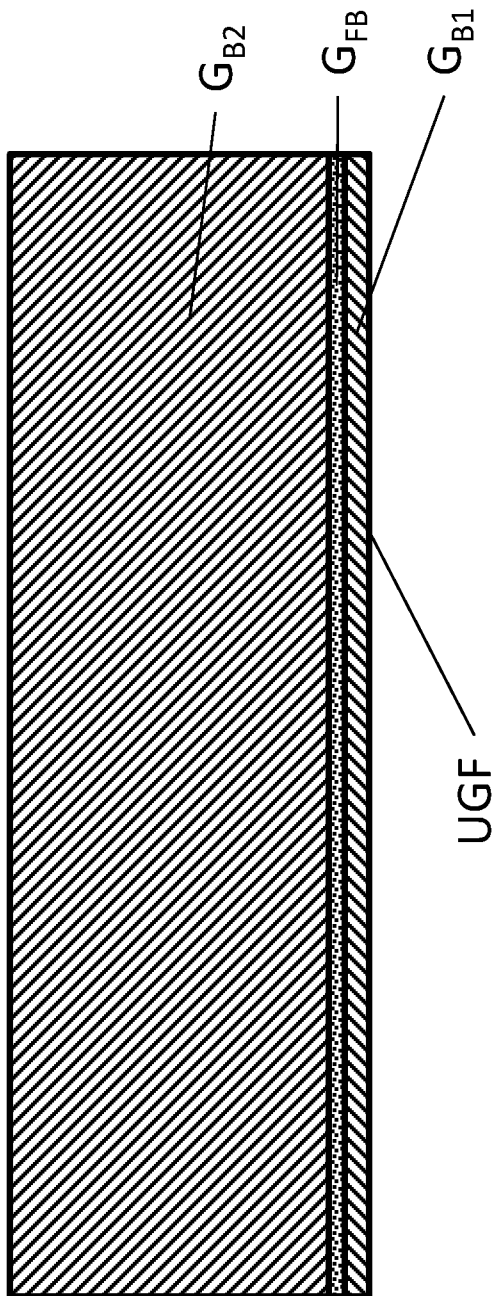


Fig. 2

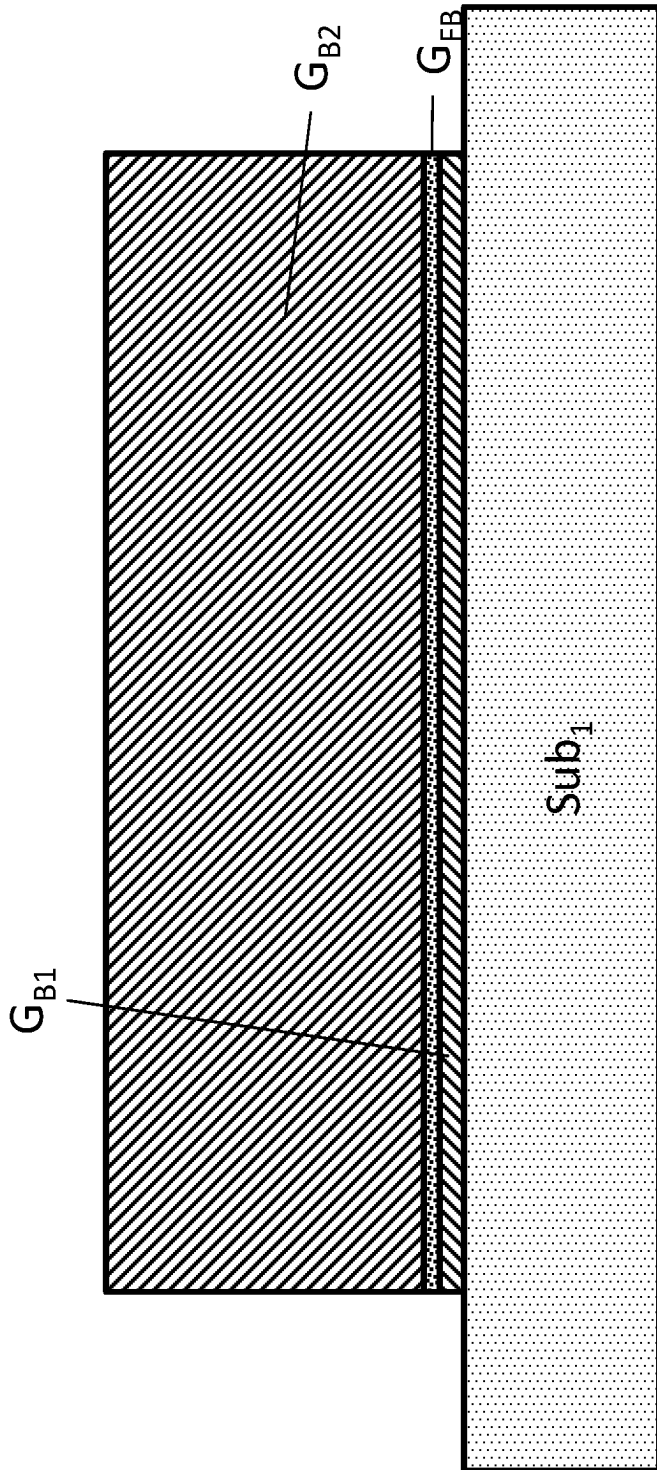


Fig. 3

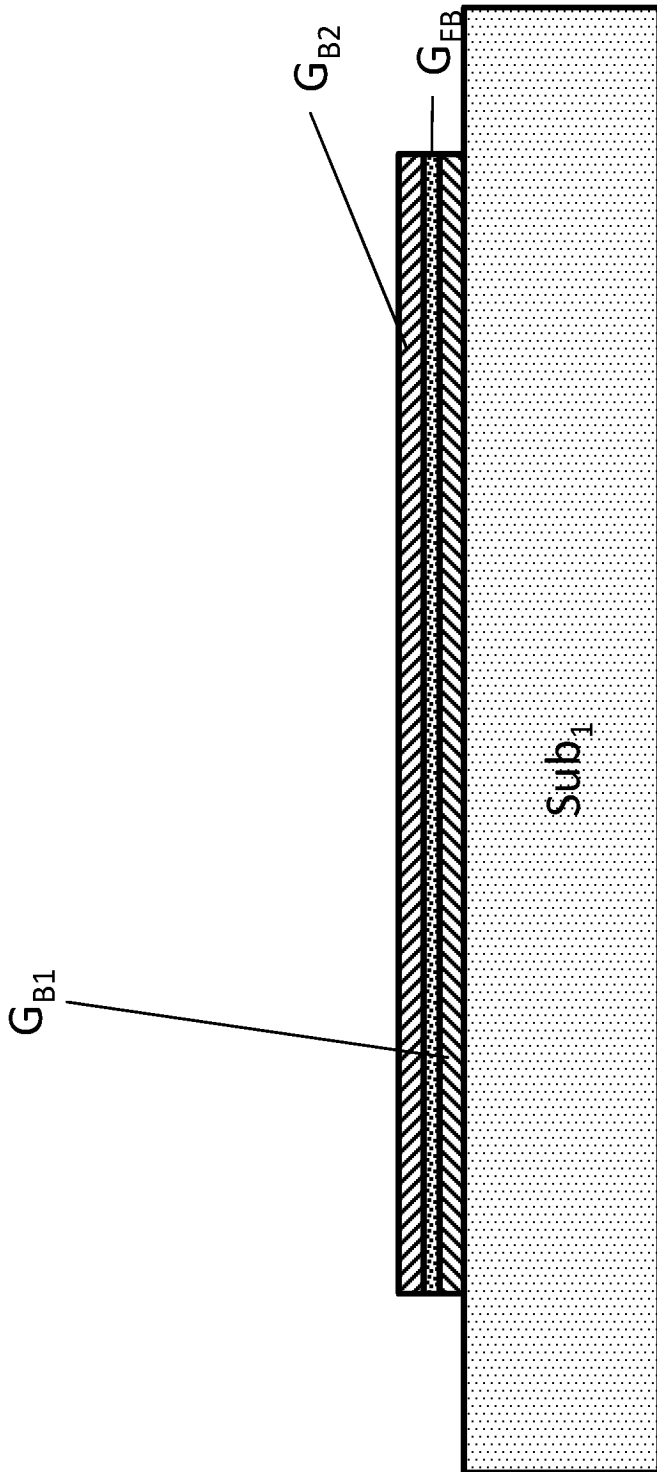


Fig. 4

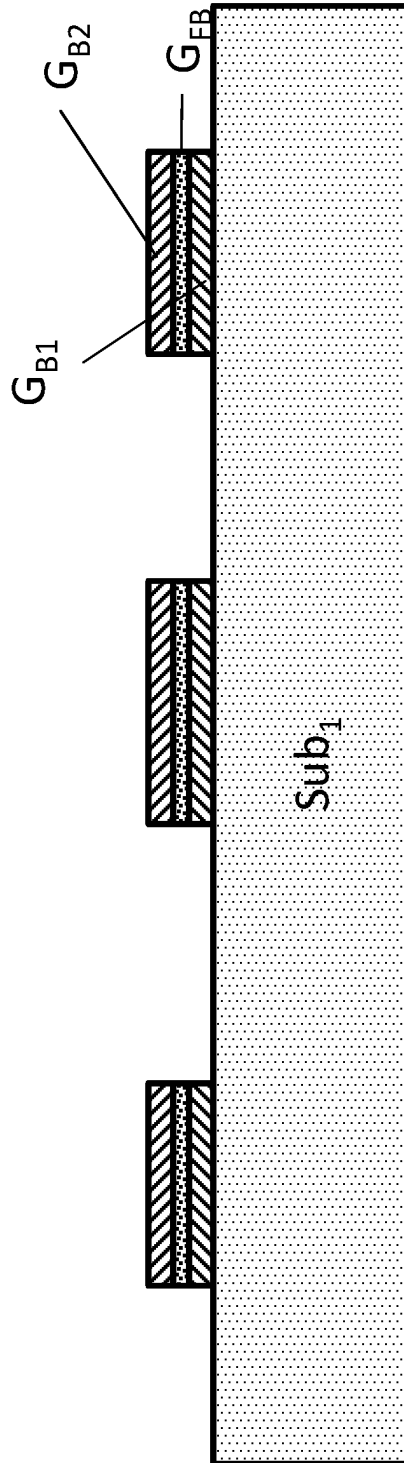


Fig. 5

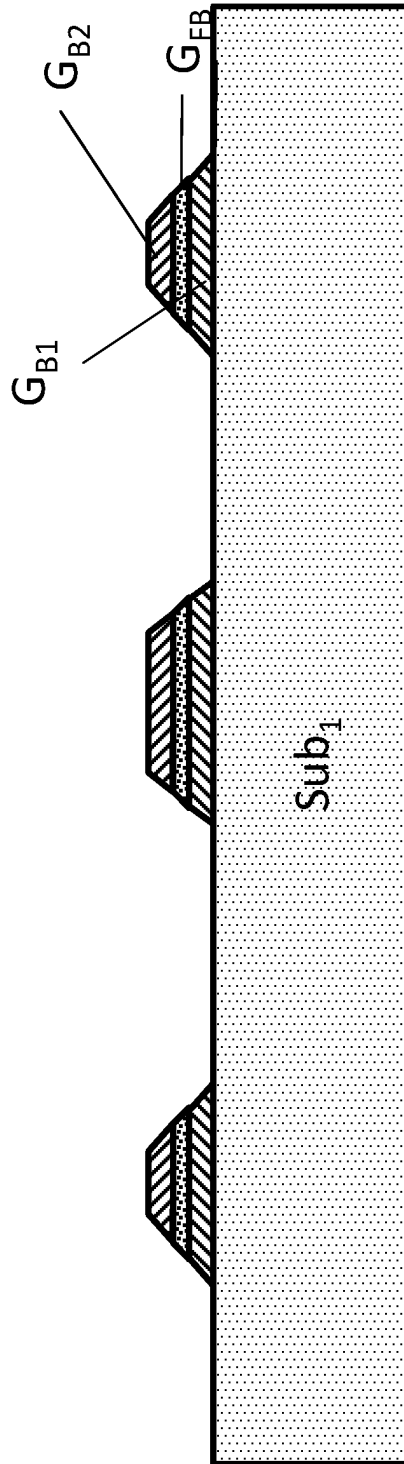


Fig. 6

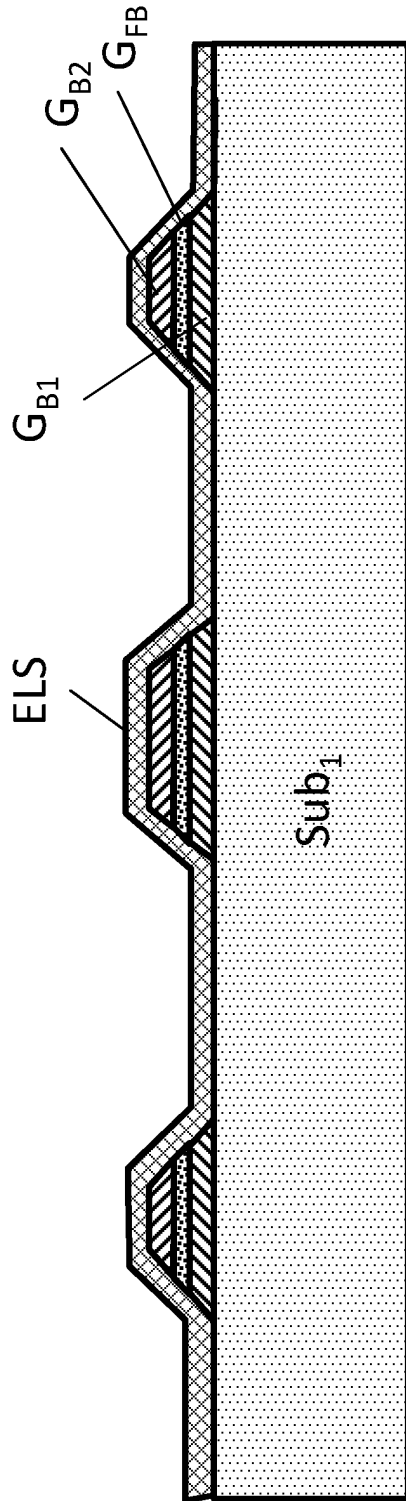


Fig. 7

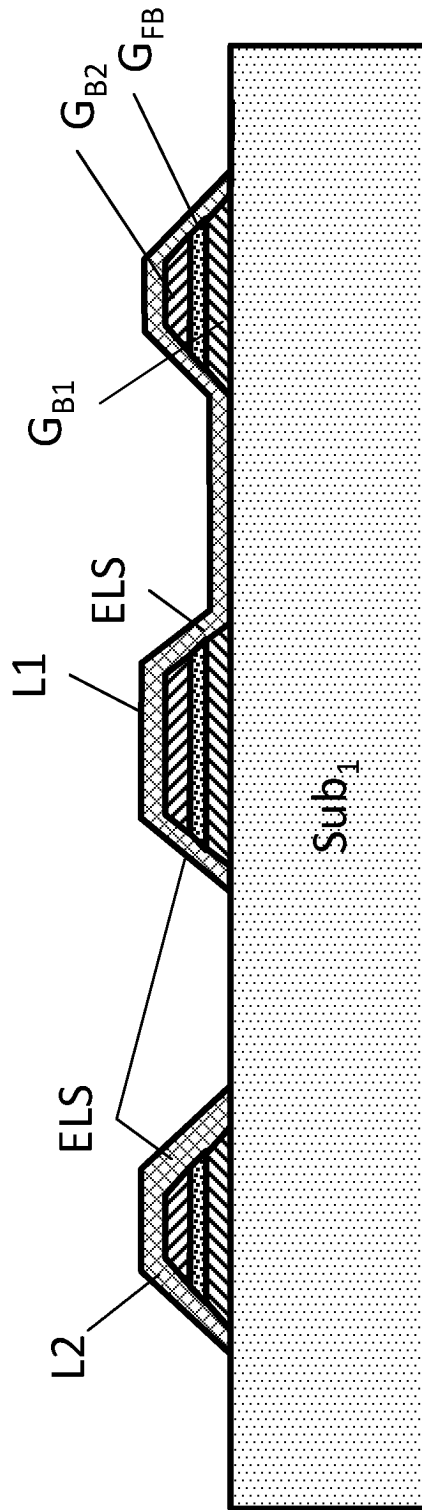


Fig. 8

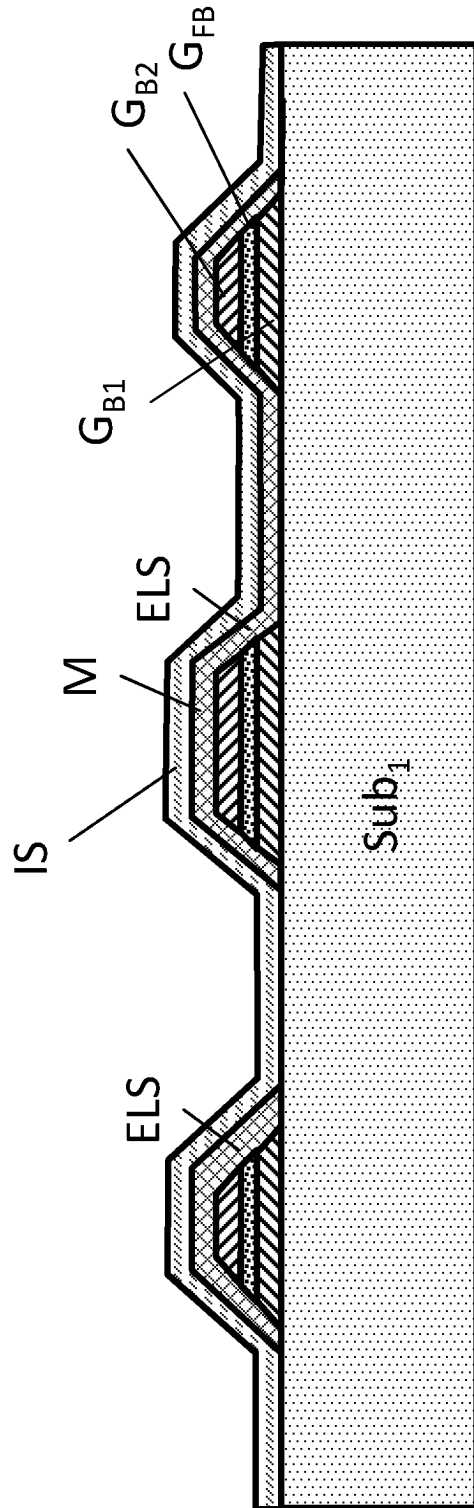


Fig. 9

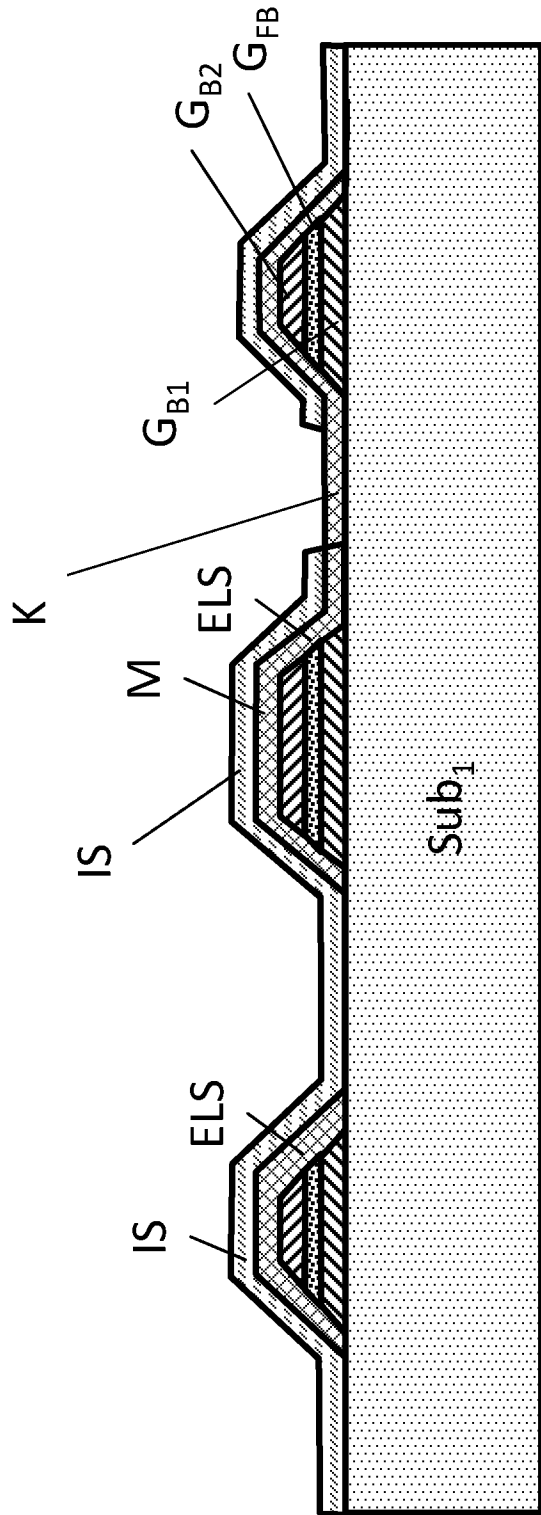


Fig. 10

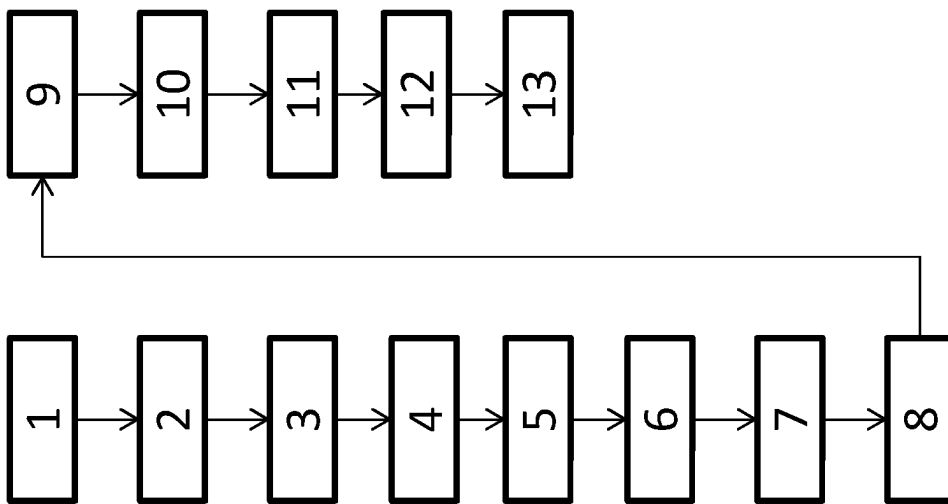


Fig. 11

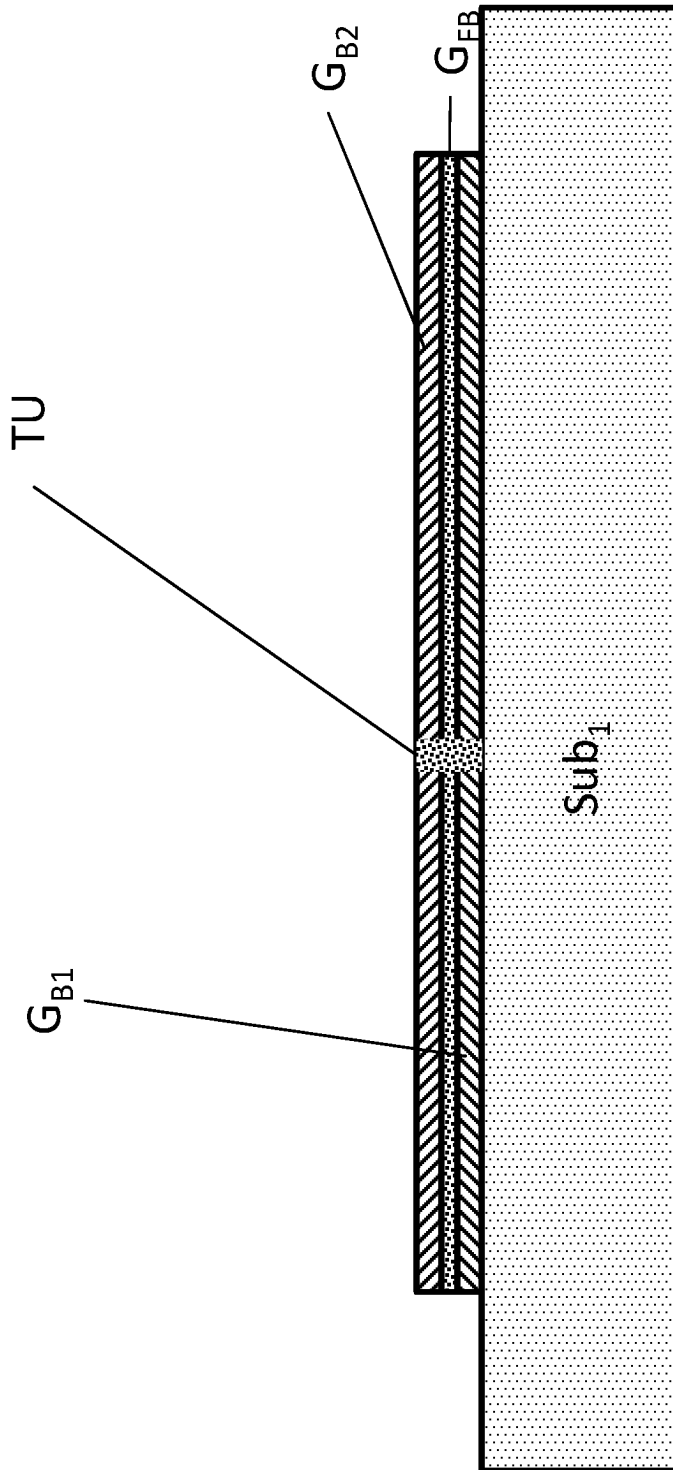


Fig. 12

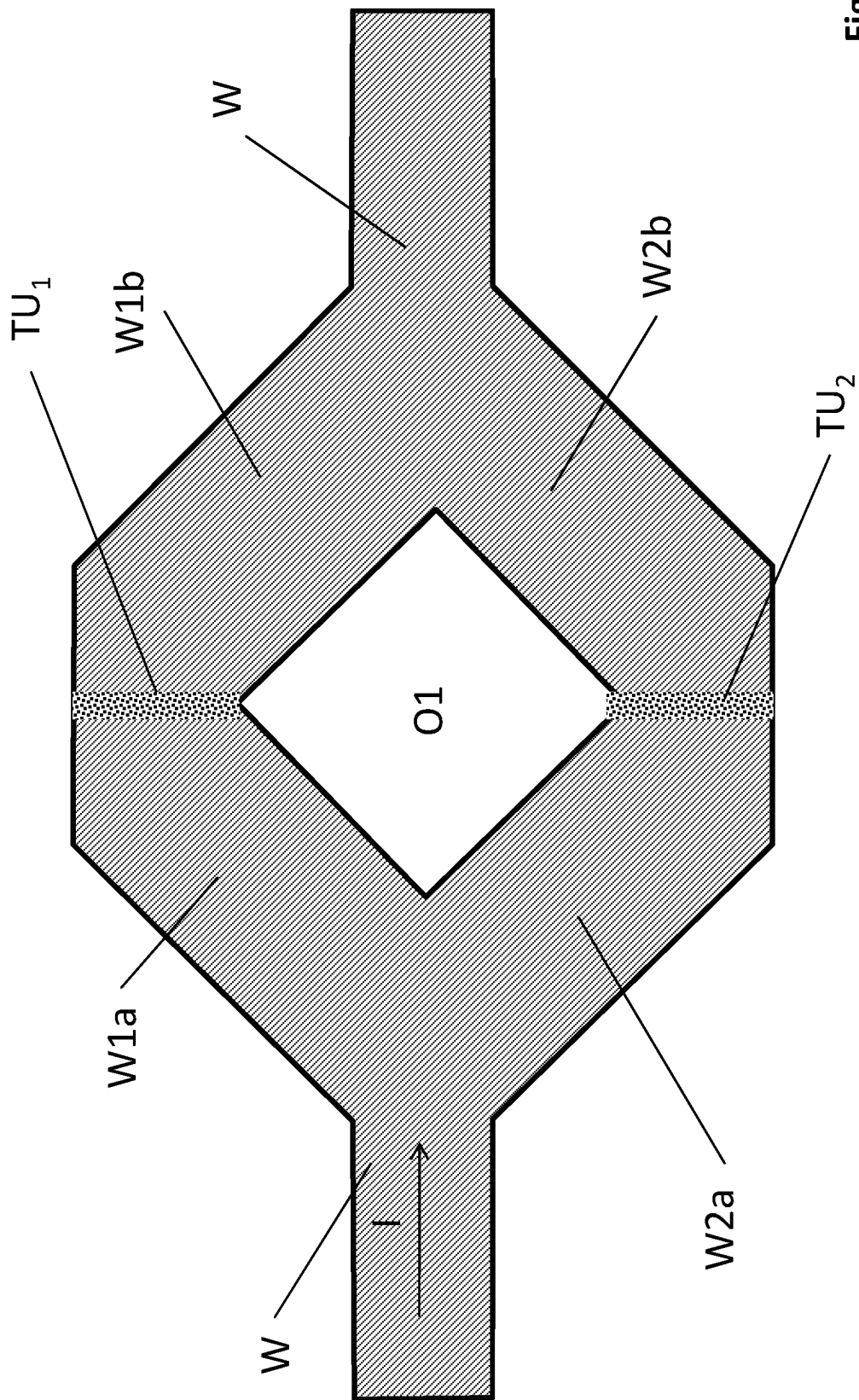


Fig. 13

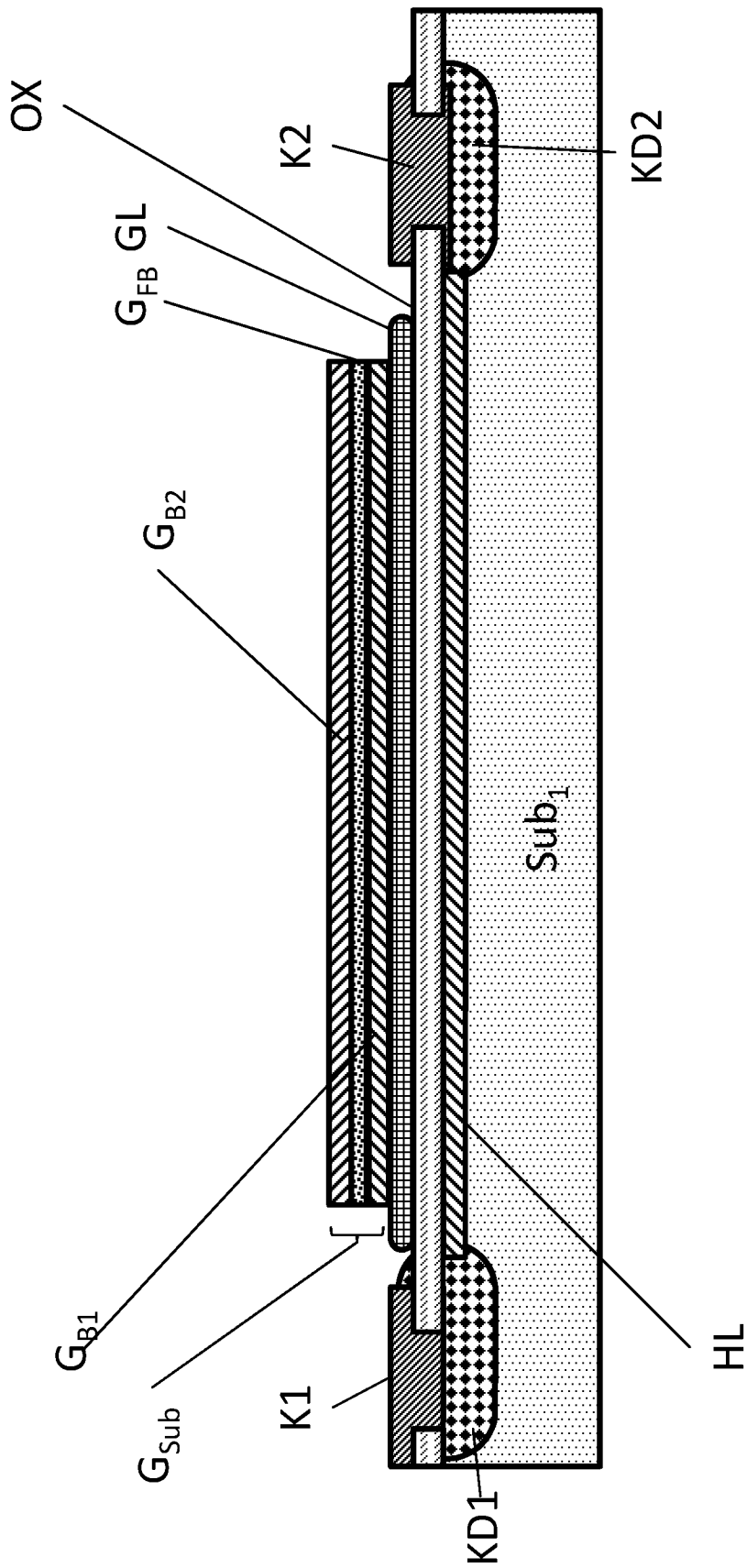


Fig. 14

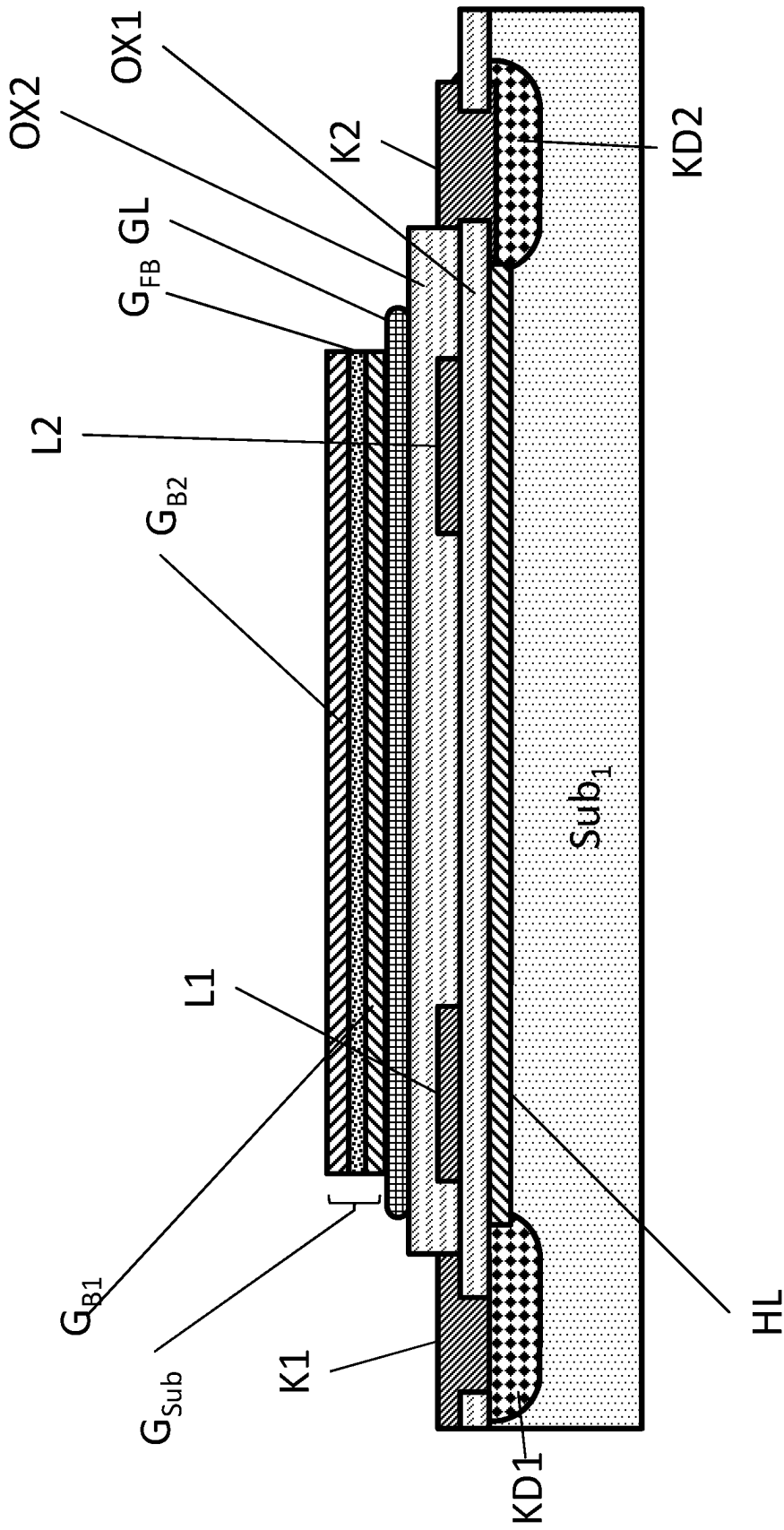


Fig. 15

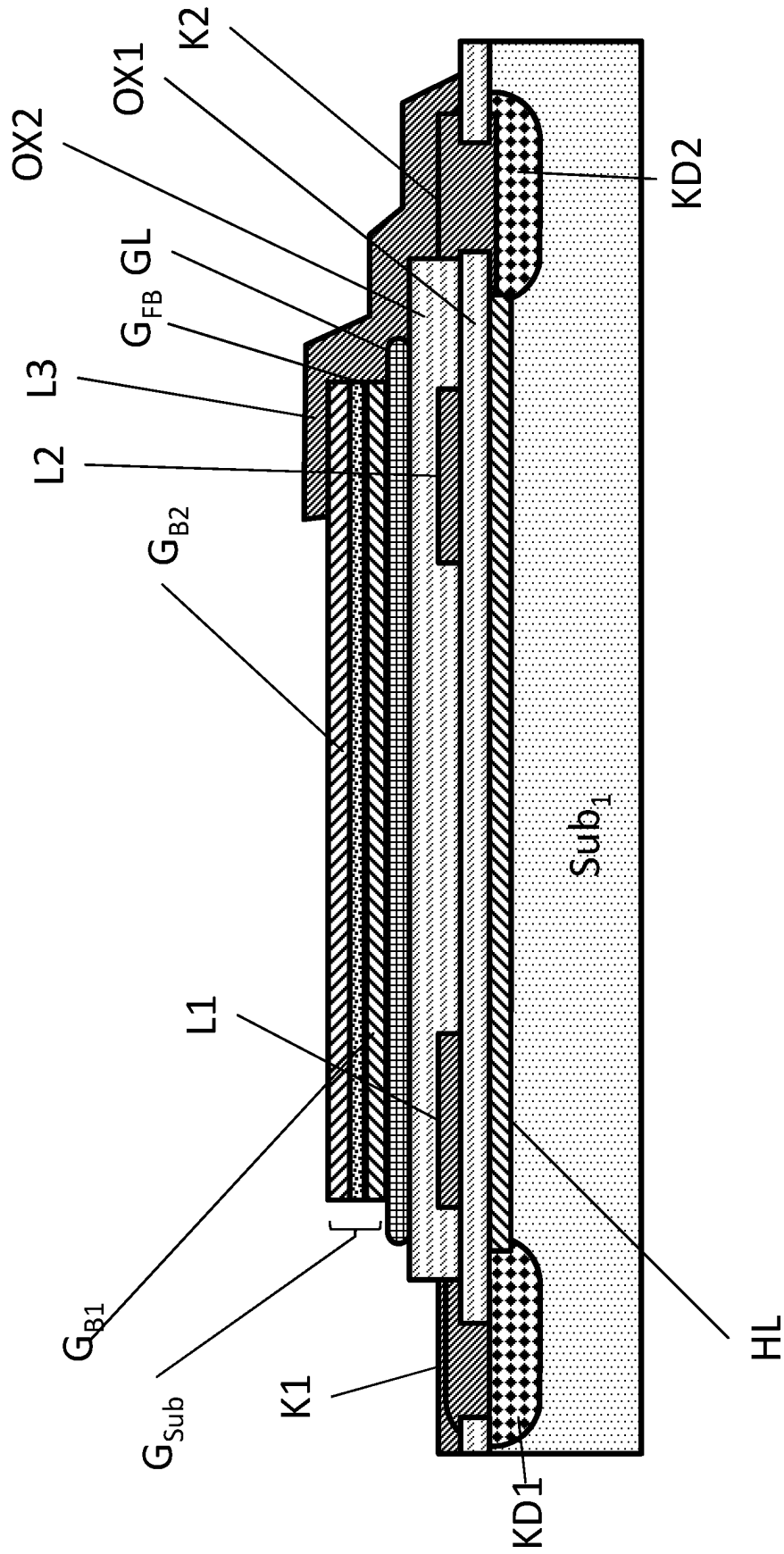


Fig. 16

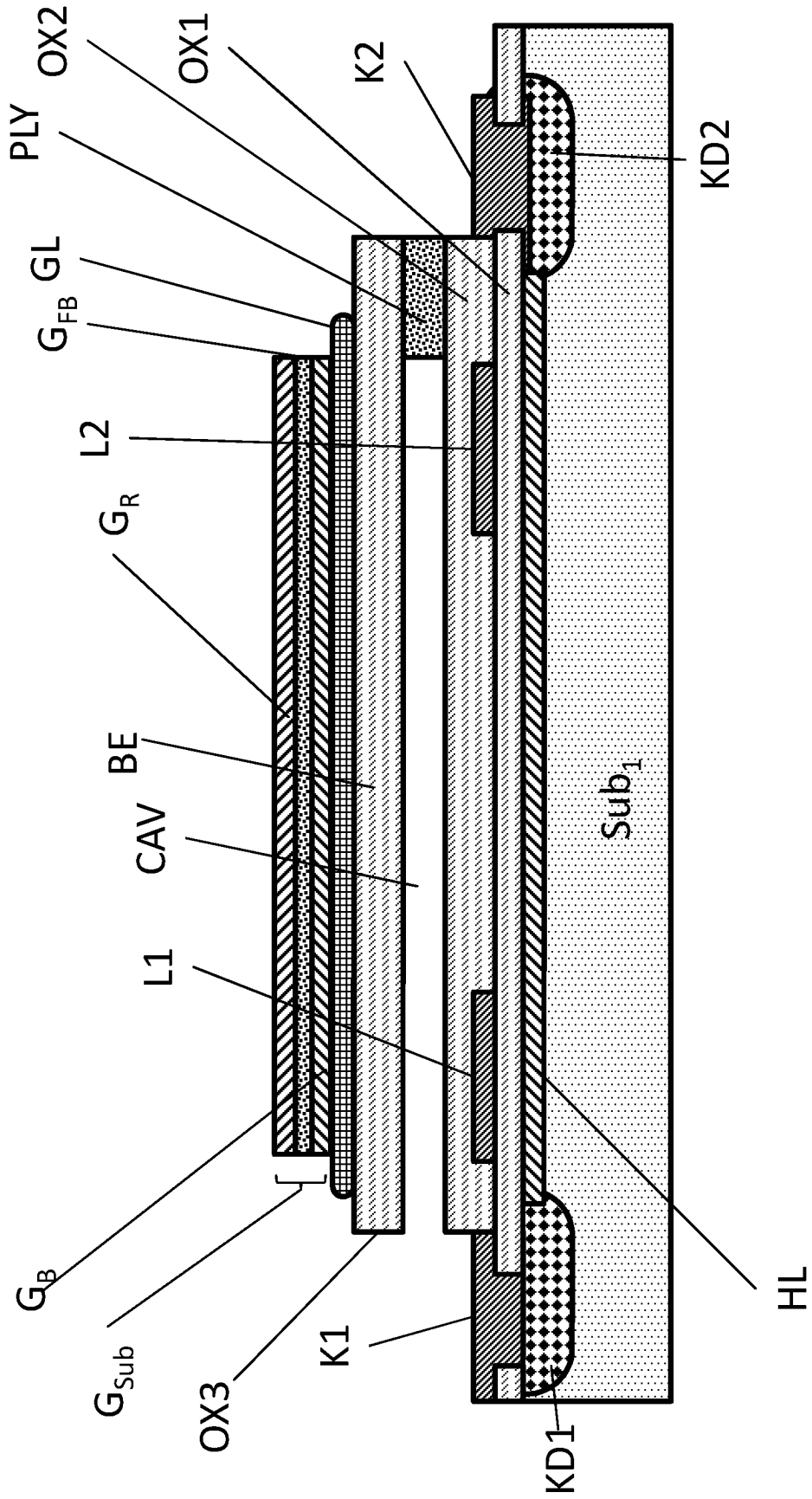


Fig. 17

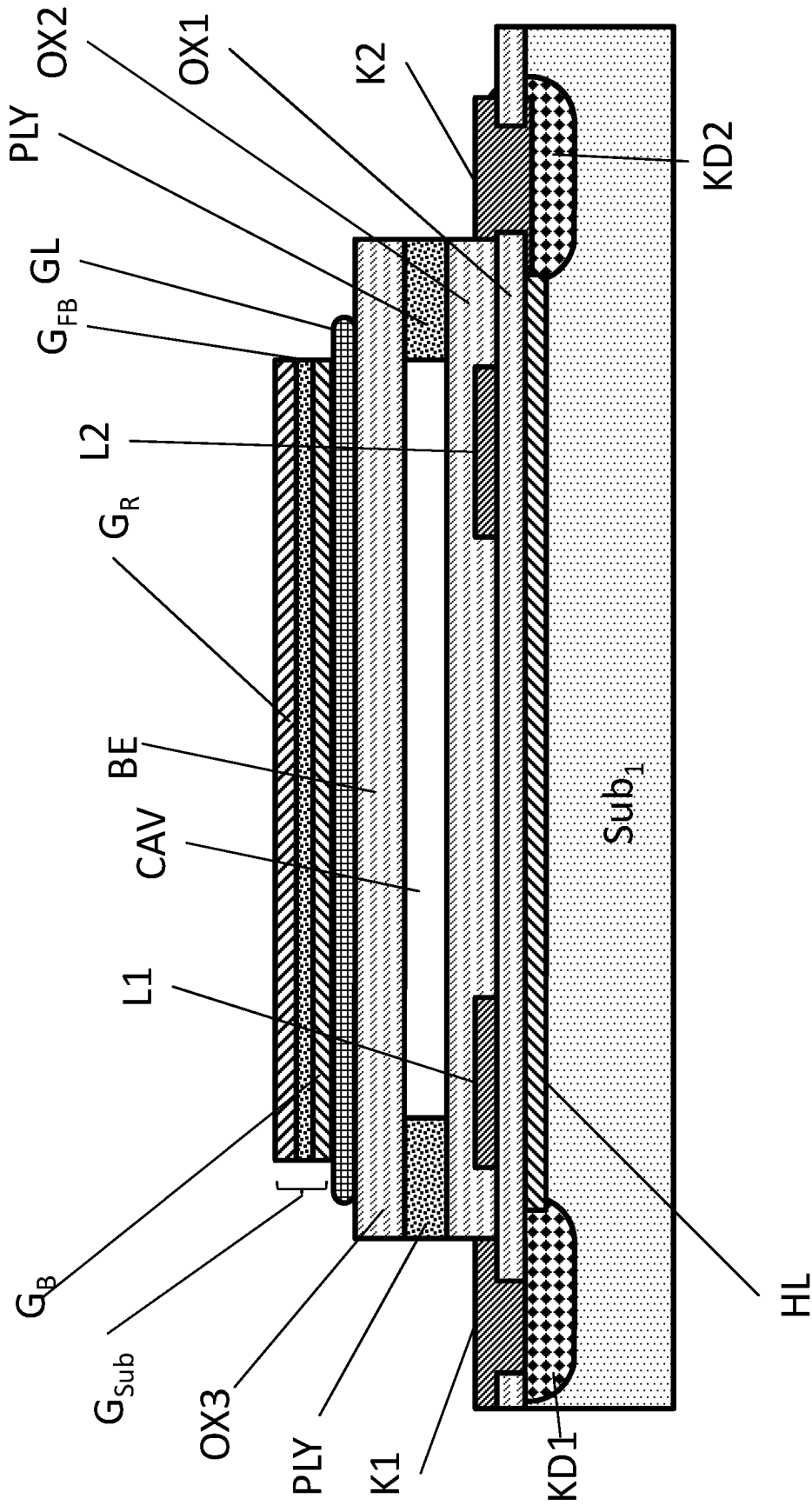


Fig. 18

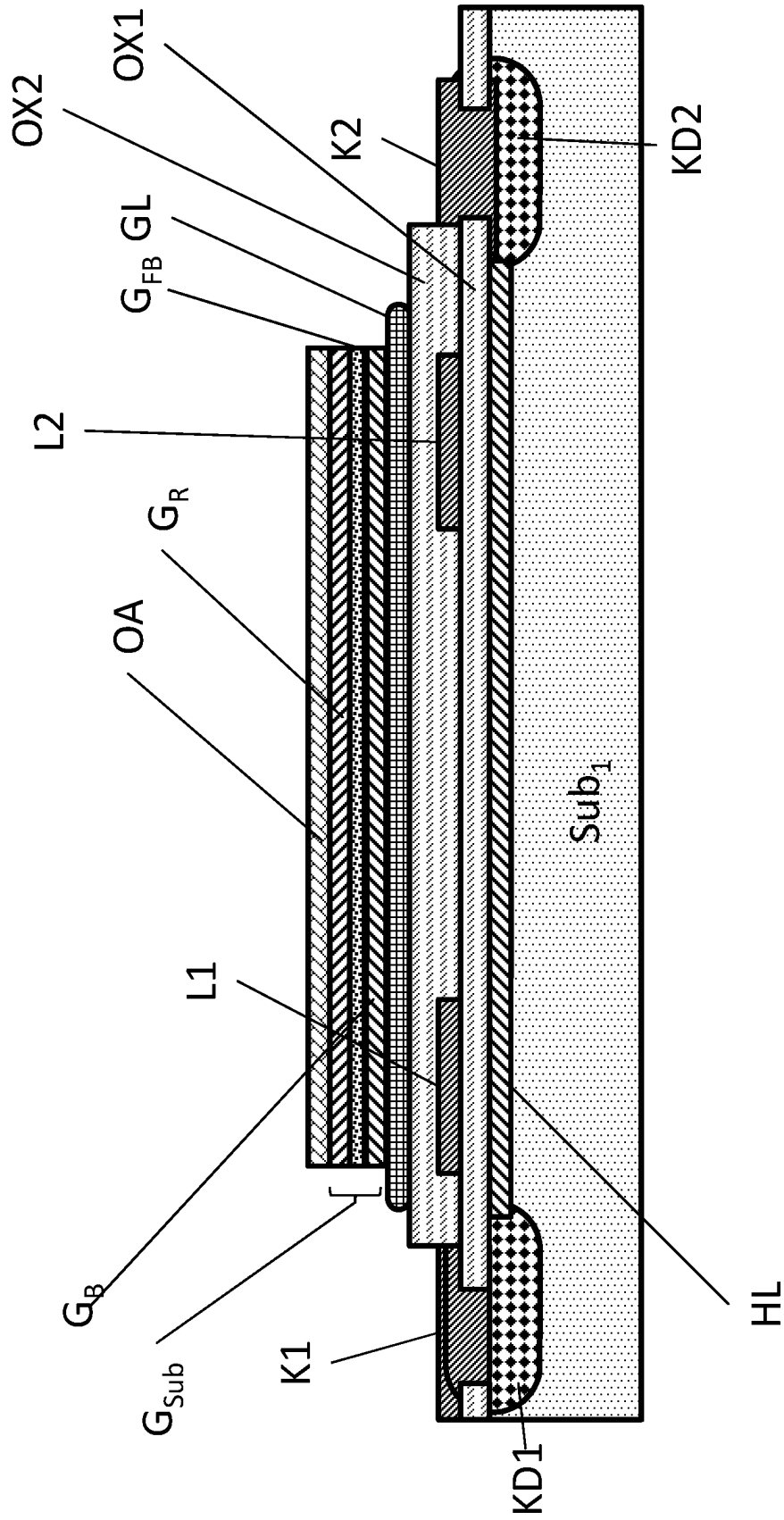


Fig. 19

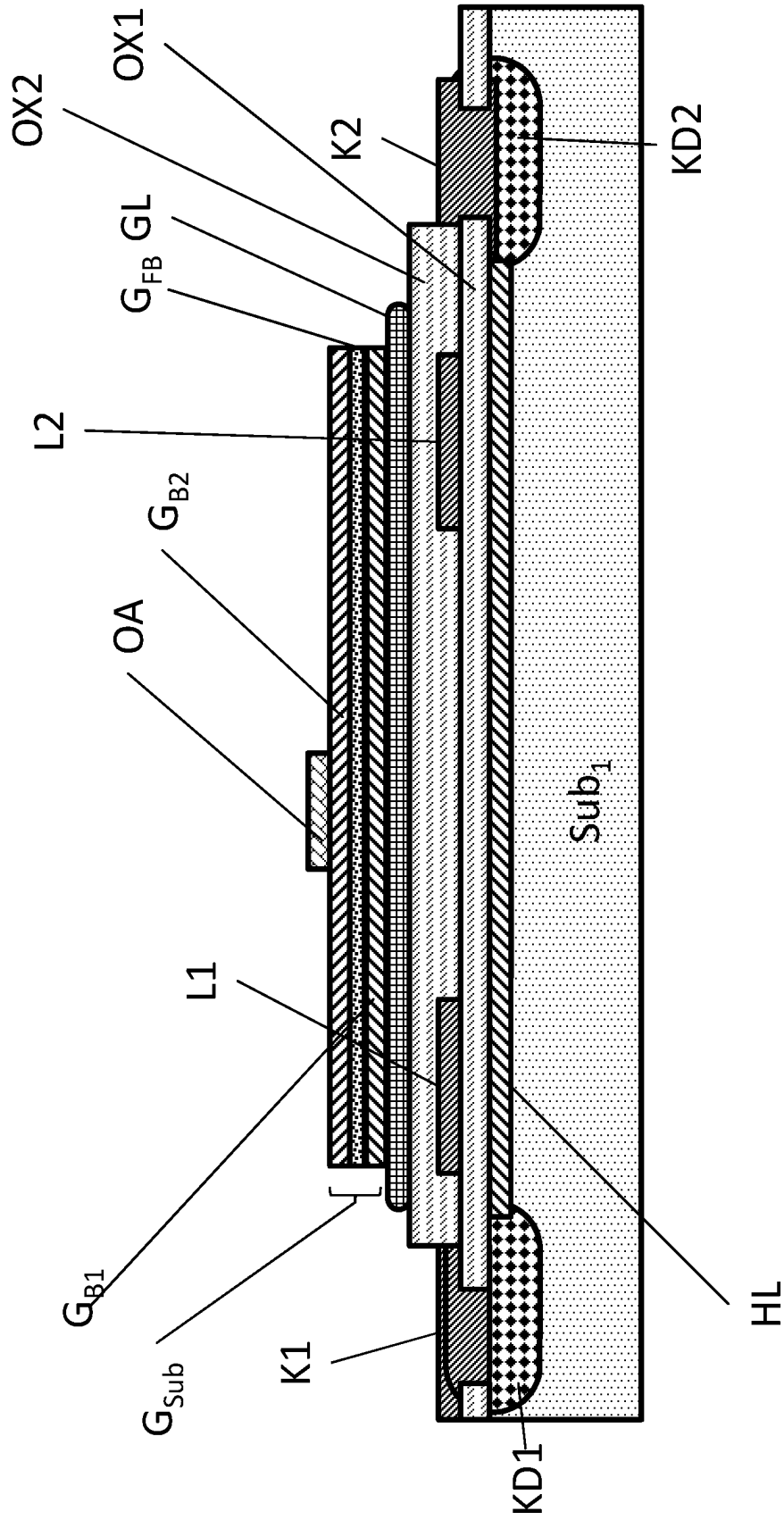


Fig. 20

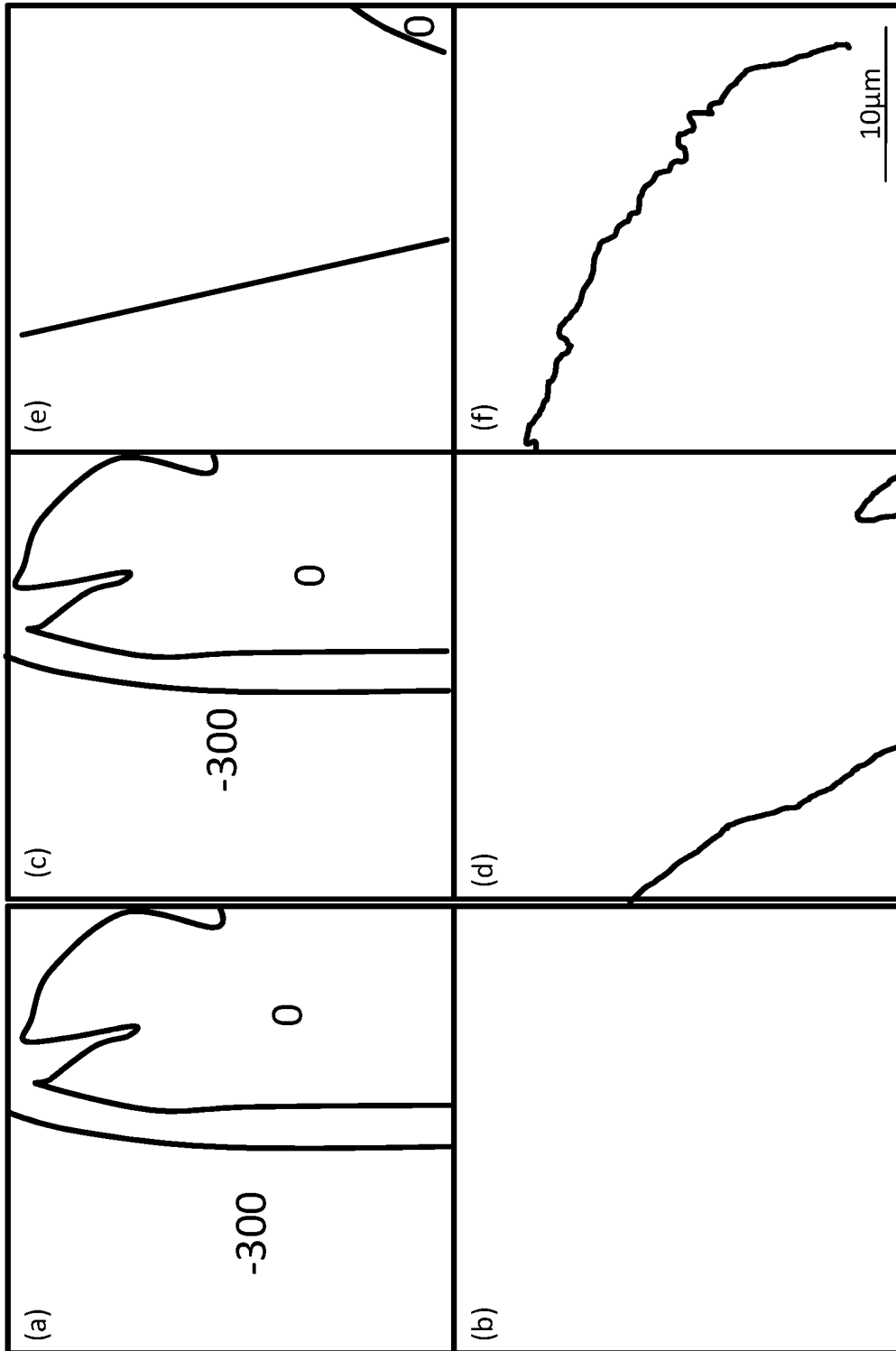


Fig. 21

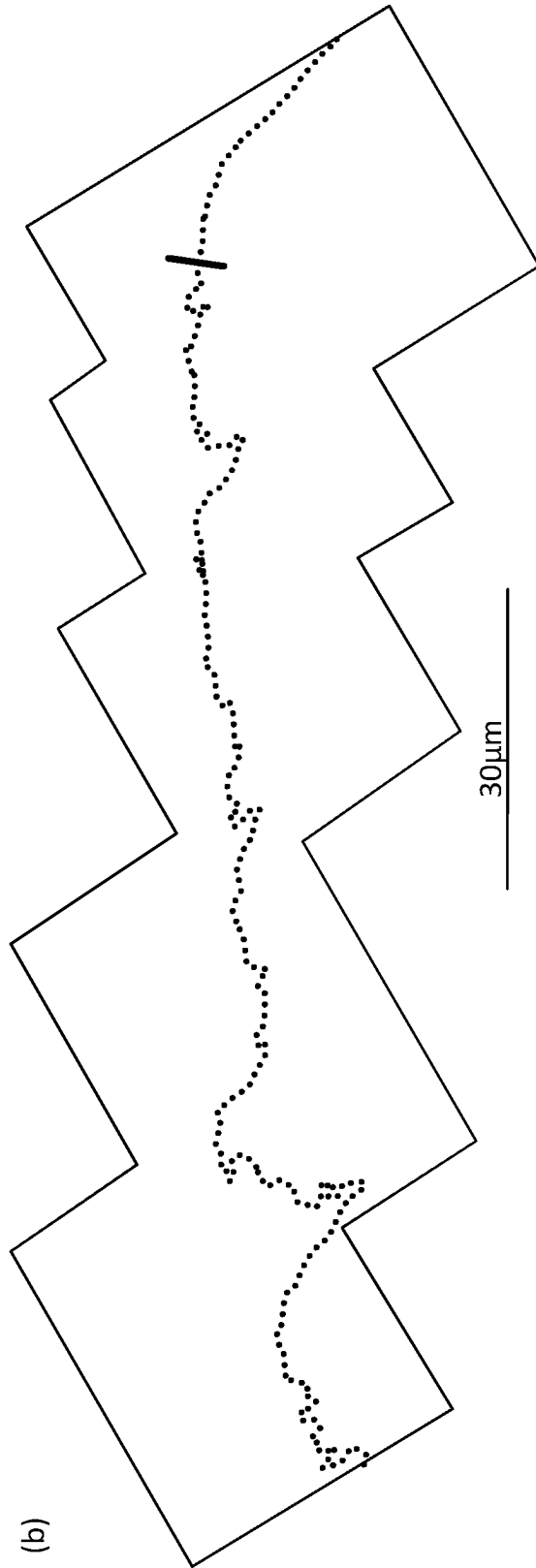


Fig. 22

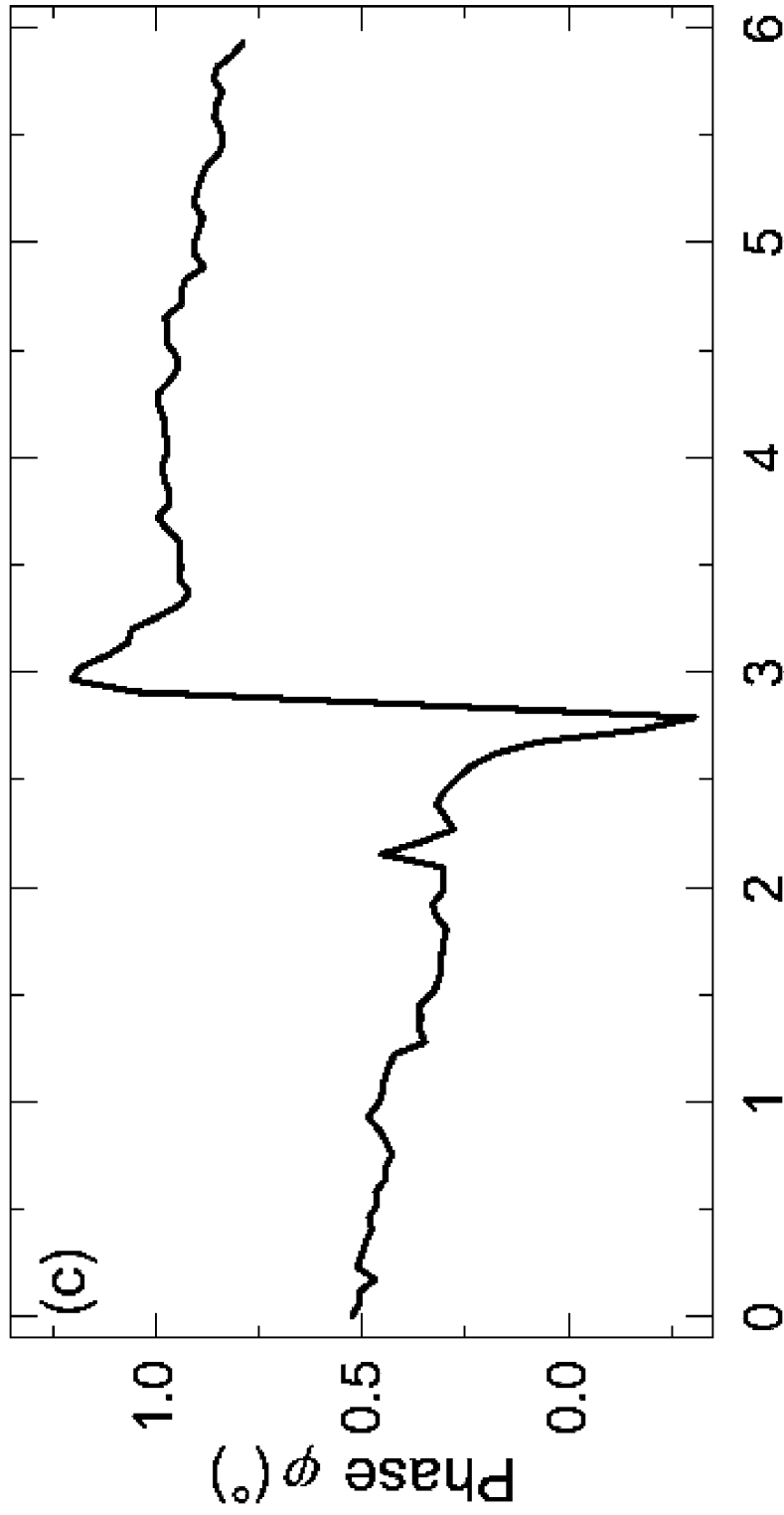


Fig. 23

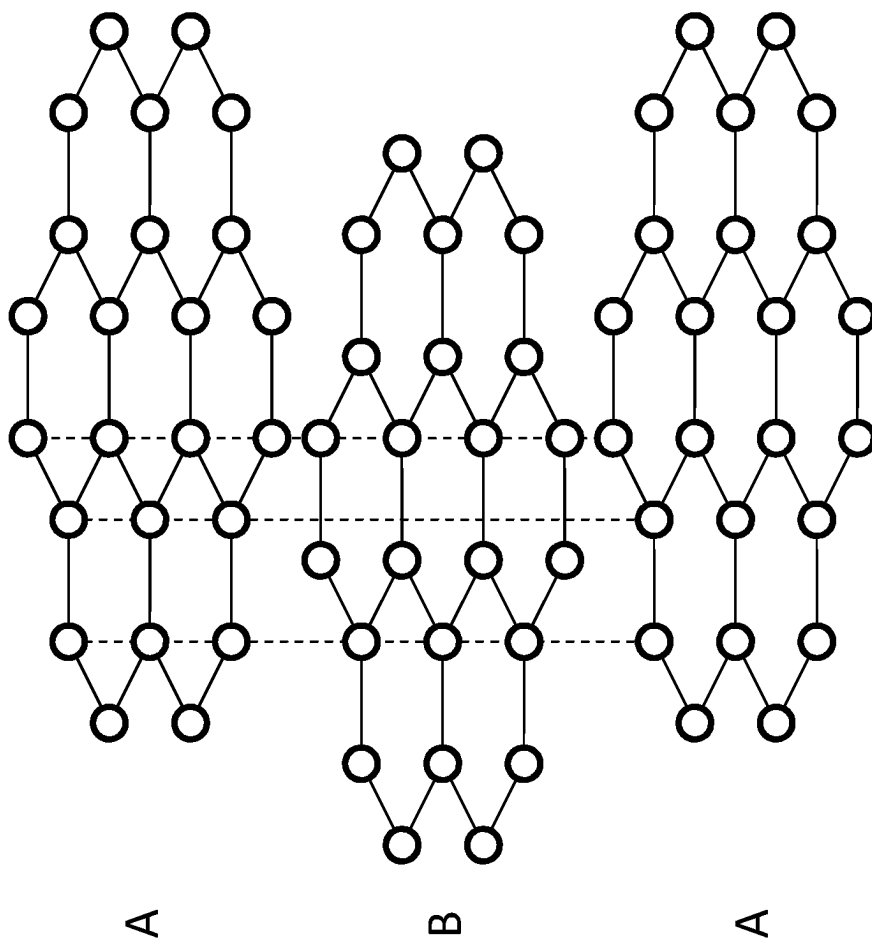


Fig. 24

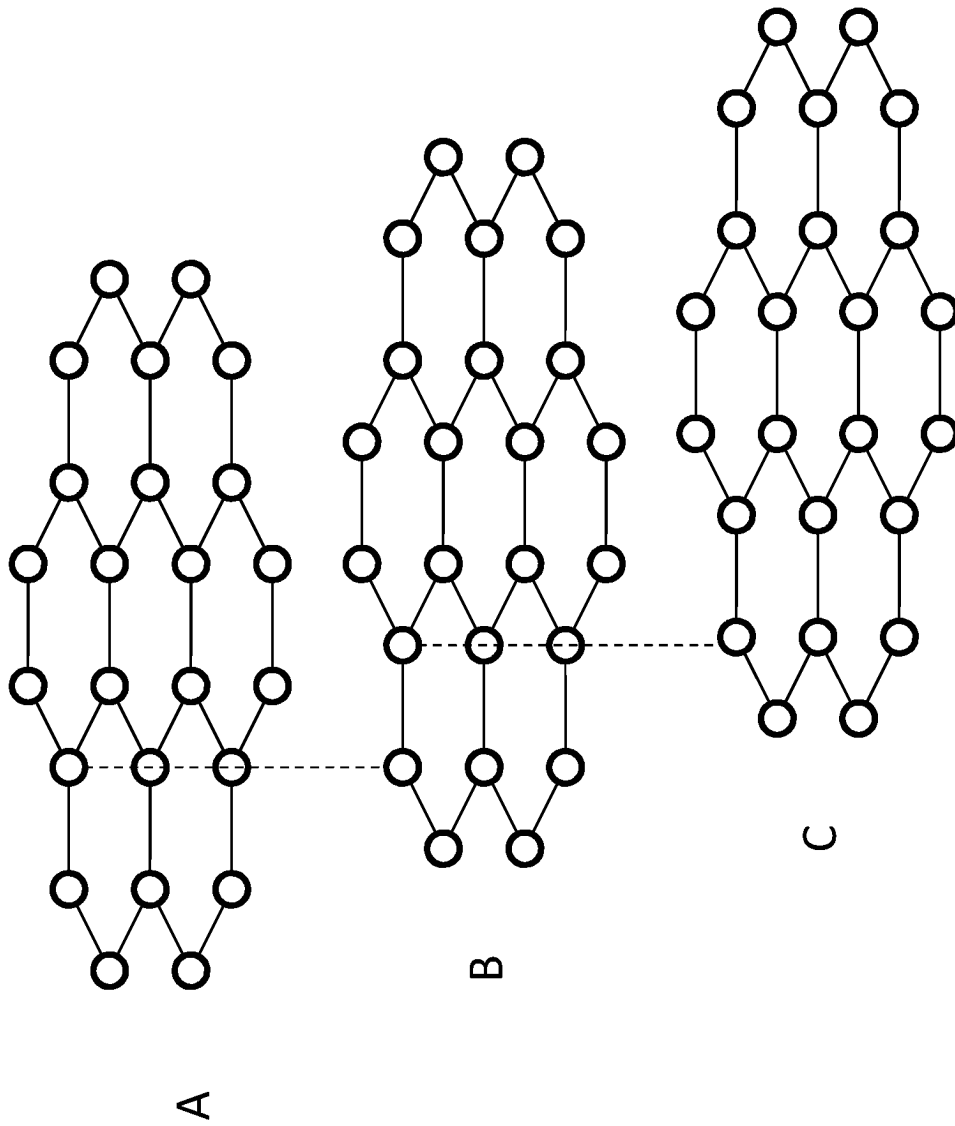


Fig. 25

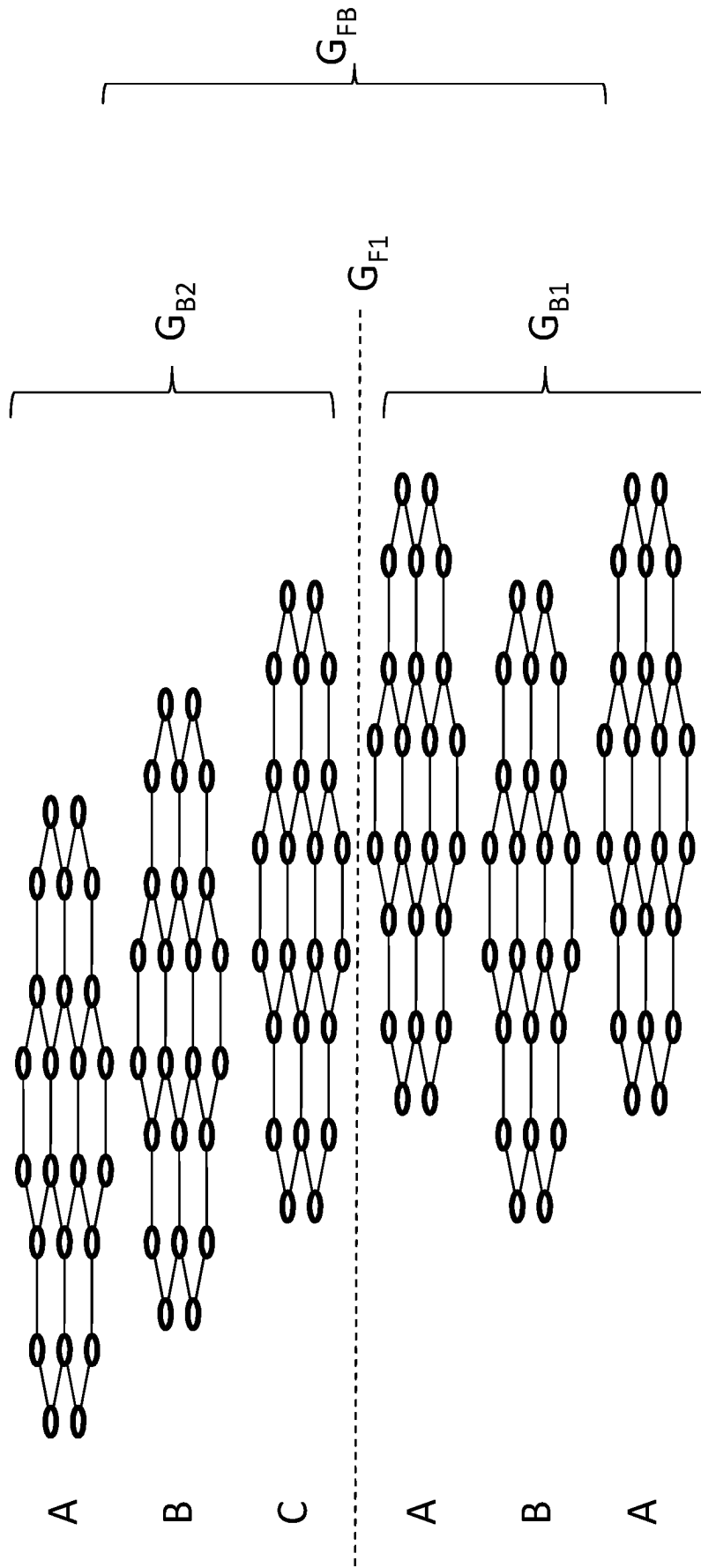


Fig. 26

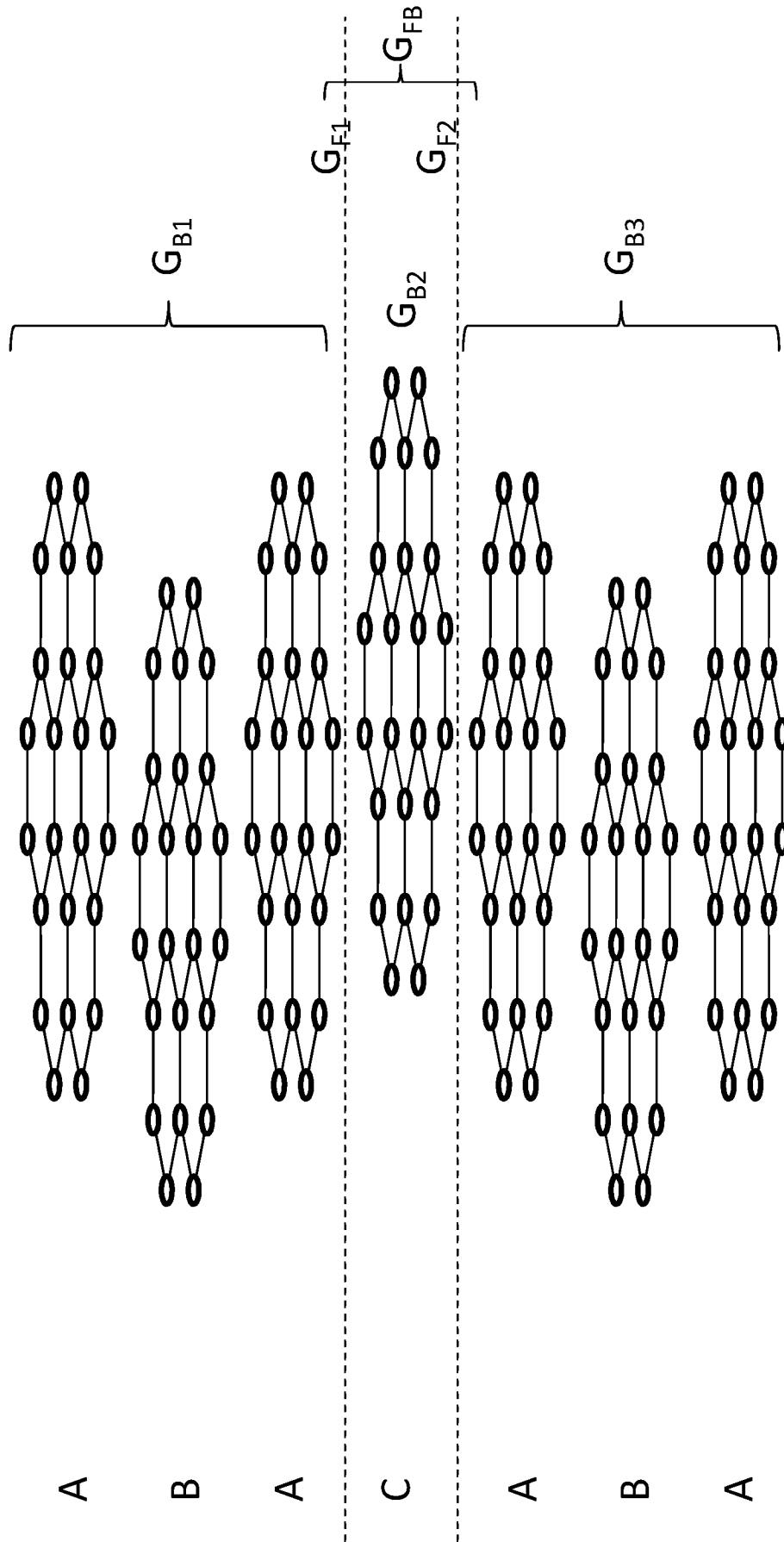


Fig. 27

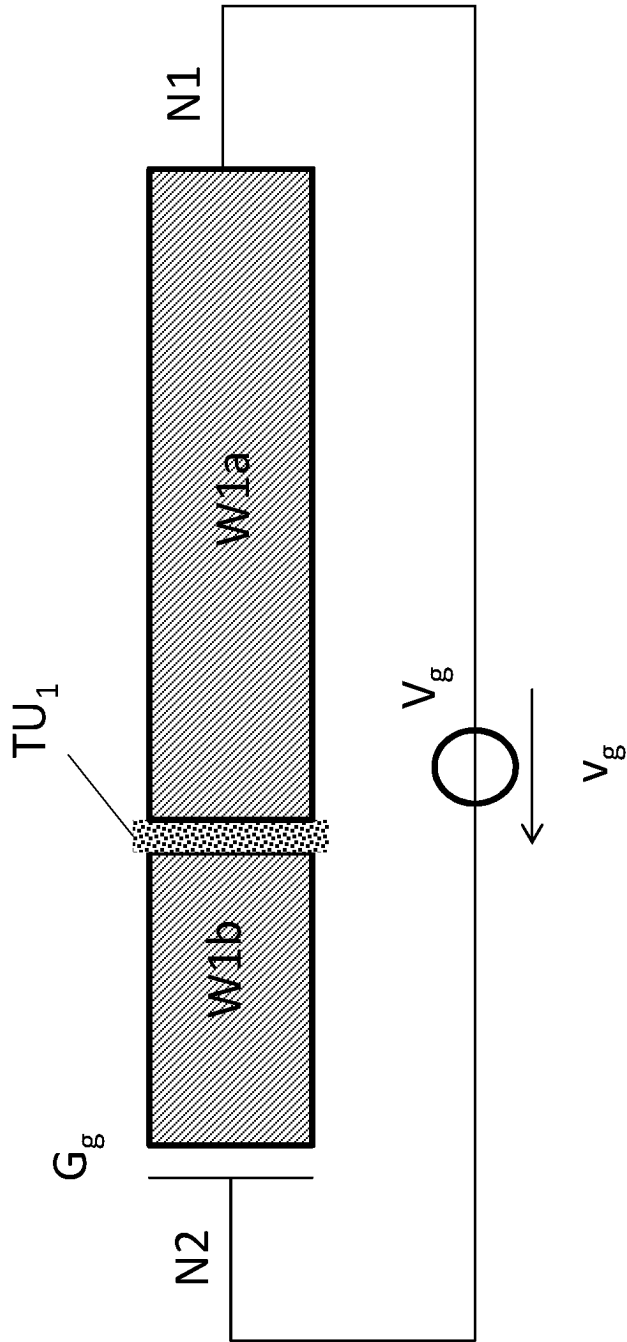


Fig. 28

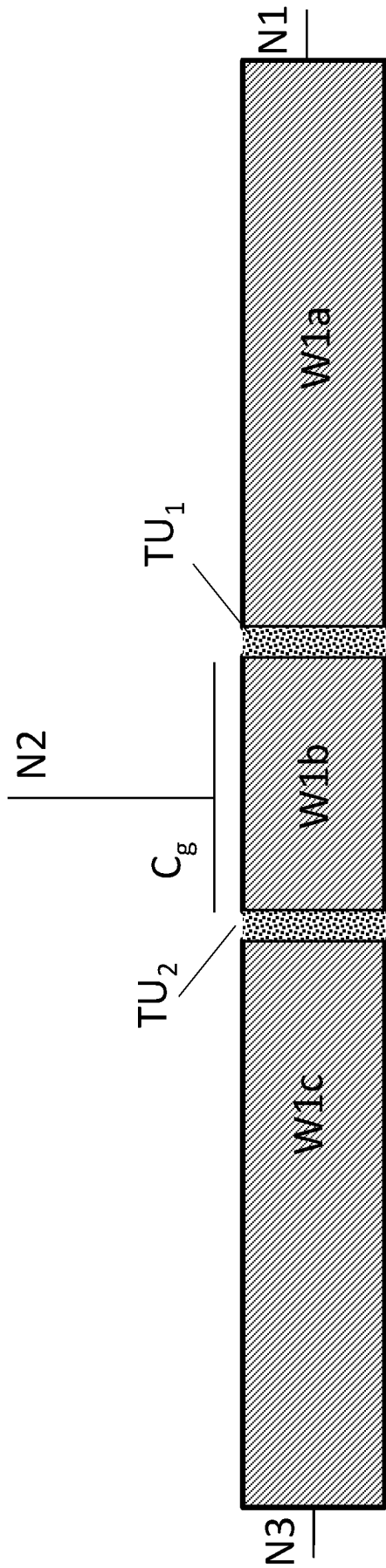


Fig. 29

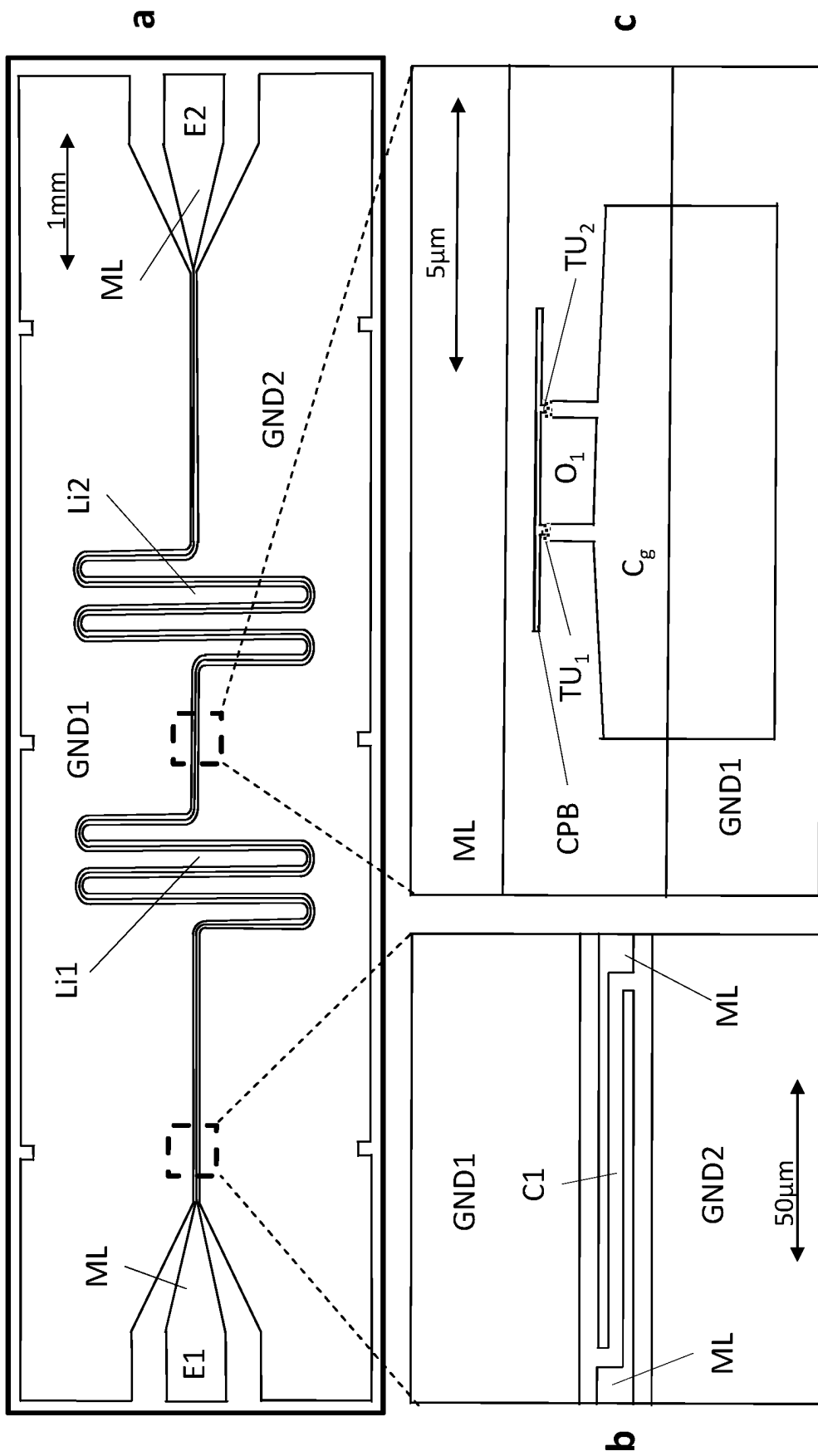


Fig. 30

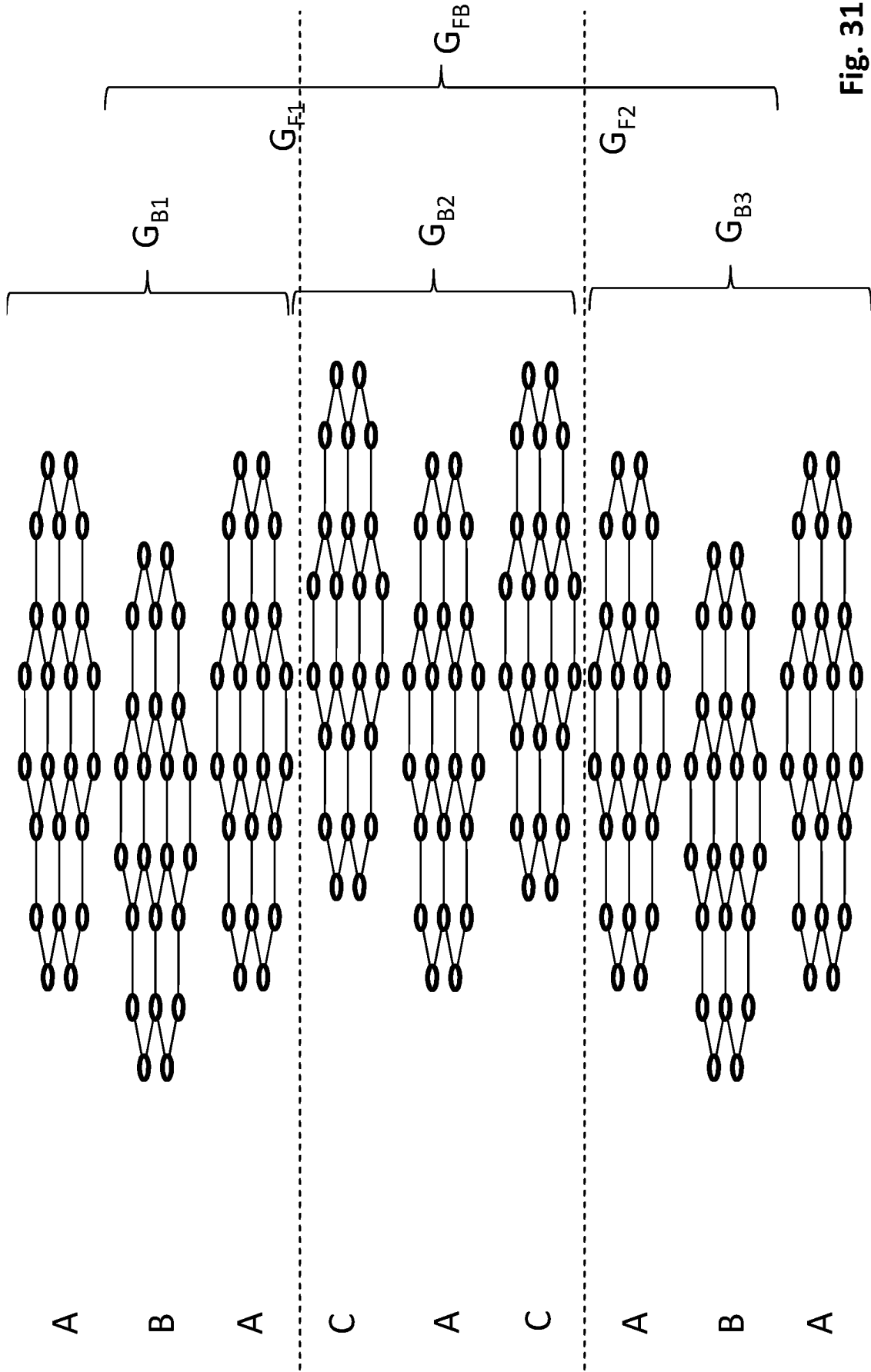


Fig. 31

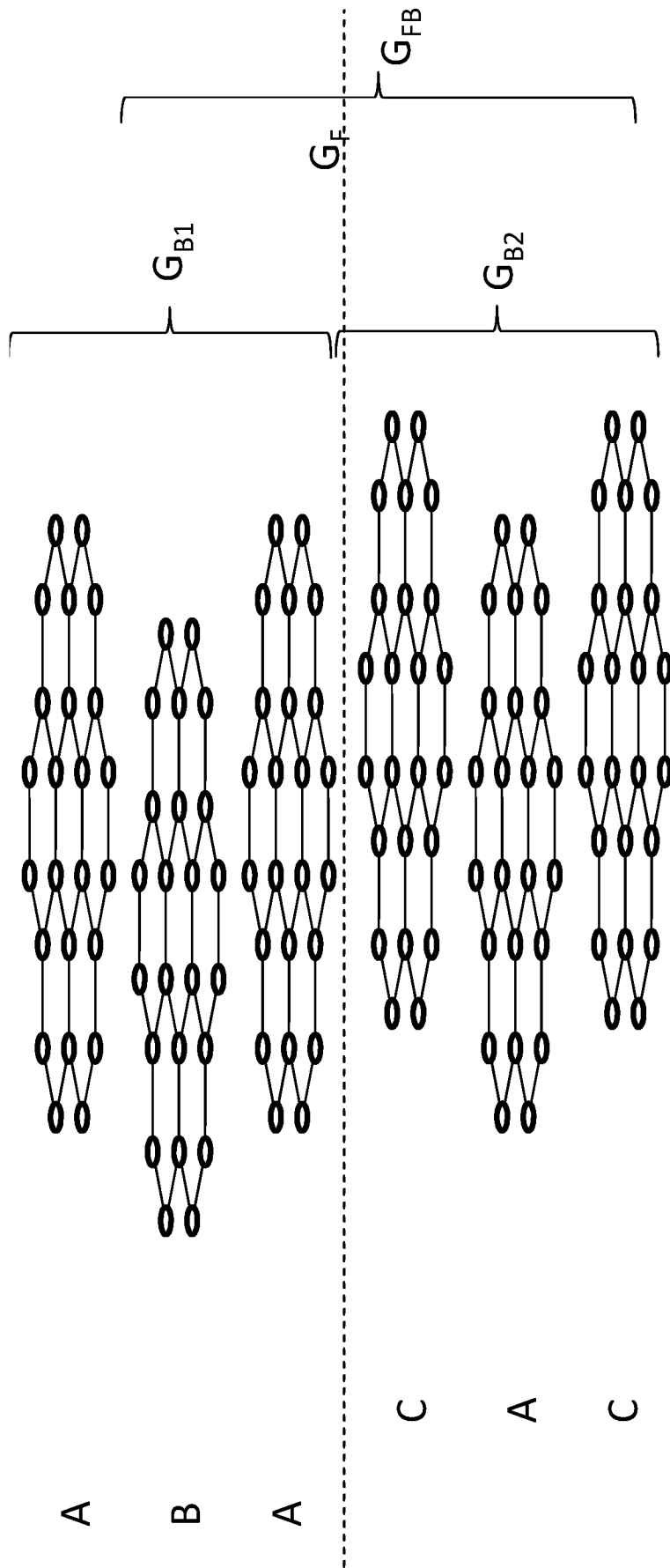


Fig. 32

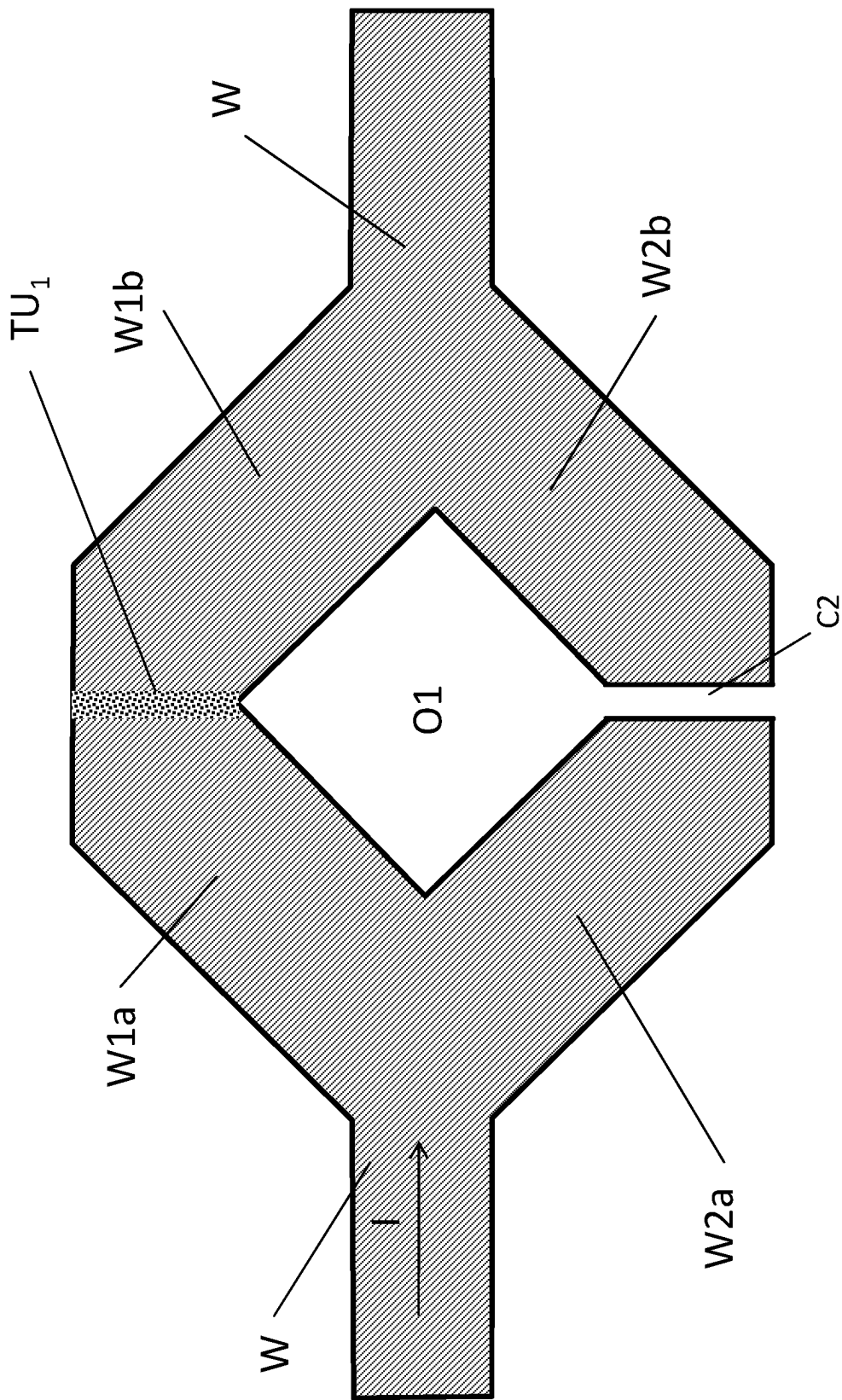


Fig. 33

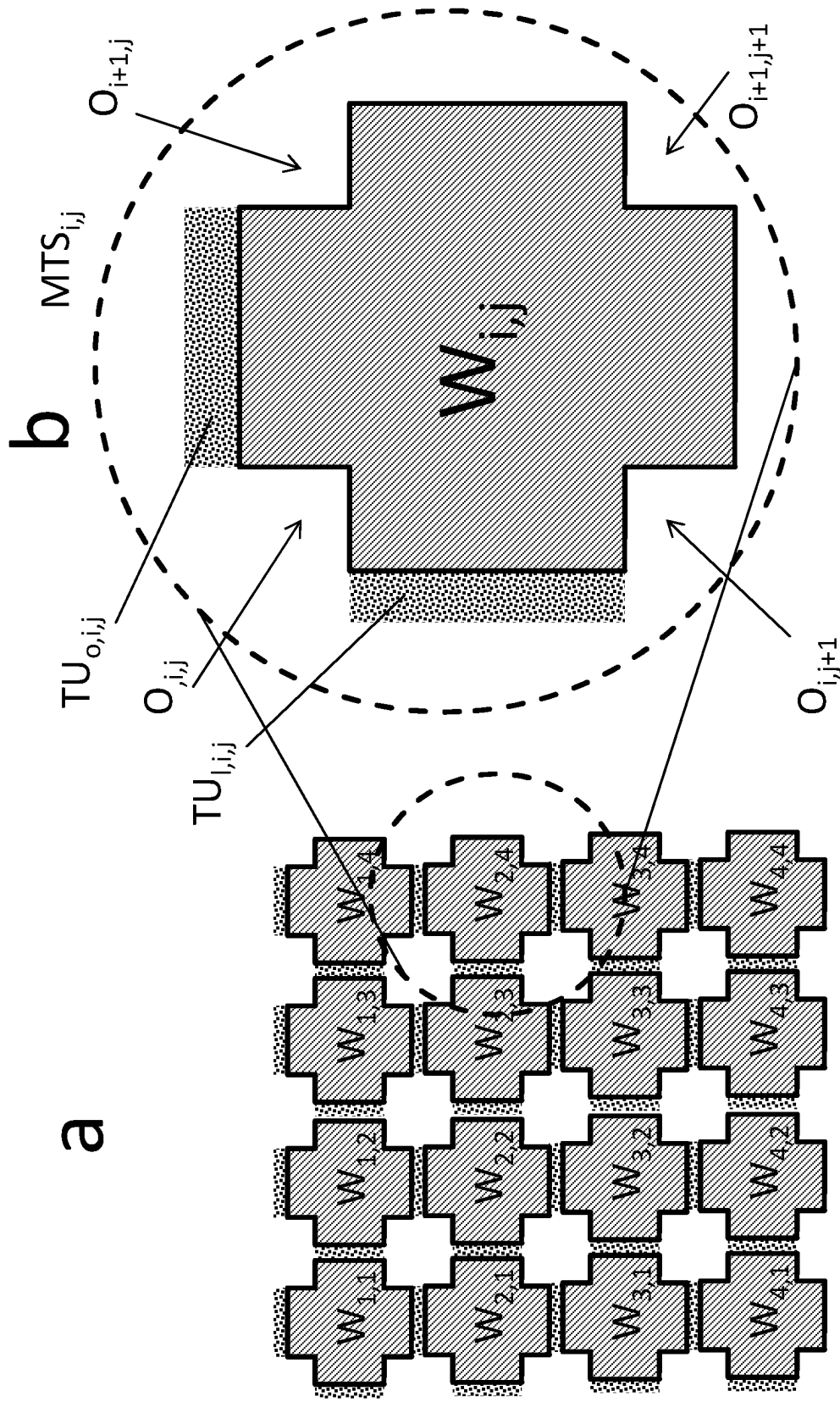


Fig. 34