



(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2020 108 433.1**
 (22) Anmeldetag: **26.03.2020**
 (43) Offenlegungstag: **30.09.2021**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **04.05.2023**

(51) Int Cl.: **B81B 3/00 (2006.01)**
B81C 1/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
TDK Corporation, Tokyo, JP

(74) Vertreter:
Epping Hermann Fischer
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80639 München, DE

(72) Erfinder:
Rasmussen, Kurt, Herlev, DK

(56) Ermittelte Stand der Technik:

DE	100 30 352	A1
DE	10 2014 103 341	A1
US	2004 / 0 140 732	A1
US	2010 / 0 044 808	A1
US	2010 / 0 327 702	A1
US	2018 / 0 376 270	A1

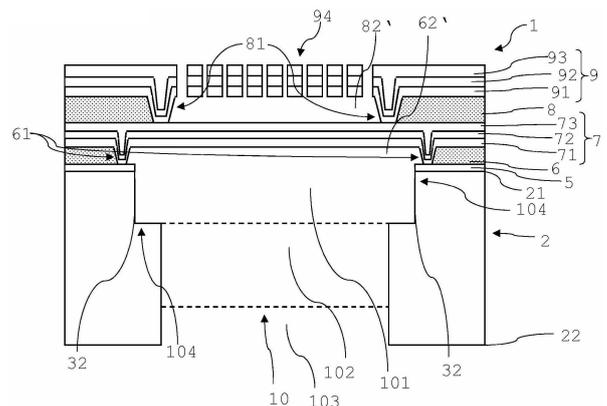
(54) Bezeichnung: **Vorrichtung mit einer Membran und Herstellungsverfahren**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung (1), wobei

- ein Substrat (2) eine obere Substratfläche (21) und eine untere Substratfläche (22) umfasst und die untere Substratfläche (22) eine Fläche des Substrats (2) ist, die der oberen Substratfläche (21) entgegengesetzt ist,
- eine Membranschicht (7) über der oberen Substratfläche (21) aufgehängt ist,
- das Substrat (2) eine Aussparung (10) umfasst, die das Substrat (2) zwischen der unteren Substratfläche (22) und der oberen Substratfläche (21) durchdringt,
- die Membran (7) die Aussparung (10) überspannt,
- die Aussparung (10) einen oberen Aussparungsbereich (101), einen mittleren Aussparungsbereich (102) und einen unteren Aussparungsbereich (103) umfasst und der obere Aussparungsbereich (101) ein Teil der Aussparung (10) in unmittelbarer Nähe der oberen Substratfläche (21) ist, der mittlere Aussparungsbereich (102) ein Teil der Aussparung (10) unmittelbar unter dem oberen Aussparungsbereich (101) ist und der untere Aussparungsbereich (103) ein anderer Teil der Aussparung (10) als der obere Aussparungsbereich (101) und der mittlere Aussparungsbereich (102) ist,
- die parallel zur oberen Substratfläche (2) ermittelte Querschnittsfläche des oberen Aussparungsbereichs (101) größer als die entsprechende Querschnittsfläche des mittleren Aussparungsbereichs (102) ist,
- eine erste Isolierschicht (6) zwischen der oberen Substratfläche (21) und der Membranschicht (7) angeordnet ist,
- die erste Isolierschicht (6) eine Öffnung (62') umfasst, die von einem unteren Ätzstopper (61) umrahmt wird, und der

untere Ätzstopper (61) in einem Abstand e auswärts von einer Kante des oberen Aussparungsbereichs (101) positioniert ist, und

- der untere Ätzstopper (61) eine höhere Zugfestigkeit als ein Hauptbestandteil der ersten Isolierschicht (6) aufweist.



Beschreibung

[0001] Bei vielen Vorrichtungen, wie etwa Vorrichtungen, die sich auf MEMS- (Micro-Electro-Mechanical System) -Technologie stützen, und insbesondere bei MEMS-Mikrofonen ist eine Aussparung in einem Substrat verwirklicht. Solch eine Aussparung kann Teil eines Schallkanals in MEMS-Mikrofonen sein.

[0002] Für eine schnelle, kosteneffiziente und groß angelegte Herstellung solcher Vorrichtungen muss das Verfahren zum Ausbilden einer derartigen Aussparung einen Schnellätzschritt umfassen.

[0003] Üblicherweise werden in einem ersten Schritt Komponenten einer solchen Vorrichtung auf ein Substrat montiert, und anschließend wird von der Rückseite her, also von der Seite, die der Seite entgegengesetzt ist, auf die die Komponenten montiert sind, eine Aussparung in das Substrat geätzt.

[0004] Bei dieser Ätzung handelt es sich oft um eine reaktive Ionentiefenätztechnik (DRIE), mit der hohe Ätzraten von mindestens 20 mm/min in Siliciumsubstrat erzielt werden können.

[0005] Der Nachteil dieser schnellen Rückseitenätzung kann eine nicht wohldefinierte Wand der Aussparung oder des Schallkanals bei einem MEMS-Mikrofon sein, insbesondere nahe einer Membran.

[0006] Allerdings hängt insbesondere die Leistung der mikromechanischen Komponenten, wie etwa der Membranen, stark von der wohldefinierten Beschaffenheit einer solchen Aussparung oder eines solchen Schallkanals ab. Insbesondere hängt der Durchmesser der aktiven Membranfläche von der Präzision der Ätztechnik ab.

[0007] Anders ausgedrückt ist die Glattheit der Aussparung in der Nähe der mikromechanischen Komponenten ausschlaggebend.

[0008] Abweichungen in der Größenordnung von einigen zehn Mikrometern von einer angestrebten Membranform können bereits eine beträchtliche Verschlechterung der Membranempfindlichkeit, der Robustheit und folglich der Leistung der Vorrichtung bewirken.

[0009] Bislang wurde diesem Problem in unbefriedigender Weise begegnet, beispielsweise durch eine zeitaufwendige und teure Modifizierung der rückseitigen DRIE-Ätzung. Insbesondere wurden eine Verringerung der Ätzrate und das aufwendige Anlegen einer Vorspannung an Masken angewendet.

[0010] Die US 2010/0 327 702 A1 offenbart eine mikromaschinelle Struktur, welche zum Beispiel als

piezoelektrischer mikromaschineller Transducer ausgeführt sein kann. Hierbei ist offenbart, dass in einem Substrat eine Aussparung realisiert werden kann, welche einen höheren Durchmesser als eine darunter angeordnete Öffnung aufweist. Oberhalb der Aussparung ist eine Membranstruktur angeordnet. Hierbei ist die Aussparung mit einer präzisen Methode im Vergleich zur ansonsten für die Öffnung verwendeten Ionentiefenätztechnik hergestellt.

[0011] Die US 2004/0 140 732 A1 offenbart einen Flextionswandler, zum Beispiel für einen Drucker. Hierbei ist auf einem Substrat eine flexible Membran, welche zum Ausstoß von Flüssigkeit geeignet ist, angeordnet ist. Es ist offenbart, dass eine Aussparung näher an der Membran gelegen ist als eine darunter angeordnete Öffnung und dass die Aussparung einen größeren Durchmesser als die darunter angeordnete Öffnung aufweist.

[0012] Die DE 10 2014 103 341 A1 offenbart ein mikromechanisches System (MEMS), wobei das MEMS eine Membran und eine Rückplatte oberhalb eines Substrats aufweist. In dem Substrat ist eine Öffnung gebildet, wobei ein erster Hohlraum der Öffnung von der Membran entfernt angeordnet ist. Ein zweiter Hohlraum ist direkt unterhalb der Membran angeordnet. Dieser kann einen größeren Durchmesser aufweisen als der darunter gelegene erste Hohlraum der Öffnung.

[0013] Die US 2010/0 044 808 A1 offenbart ein MEMS-Mikrofon, welches auf einem Siliziumsubstrat gebildet werden kann. Das Siliziumsubstrat bildet hierbei die Rückplatte. Gegenüber der Rückplatte auf der anderen Seite der Membran ist eine Glasplatte und eine Klebeschicht angeordnet. Hierbei kann eine Öffnung in der Glasplatte, welche näher an der Membran liegt als die Klebeschicht, größer sein als die Öffnung in der Klebeschicht.

[0014] Die US 2018/0 376 270 A1 offenbart ein Mikrofon und sein Herstellungsverfahren. Das Herstellungsverfahren umfasst das Bereitstellen eines Substrats, das Ausbilden einer grabenartigen Ringöffnung, das Ausbilden einer Ringtrennkomponente durch Einfüllen eines Trennmaterials in die Ringöffnung und das Ausbilden einer Isolierschicht auf dem Substrat.

[0015] Weiterhin ist ein mikromechanisches Bauelement, insbesondere ein Sensorelement, mit einer stabilisierten Membran und ein Verfahren zur Herstellung eines derartigen Bauelements aus der DE 100 30 352 A1 bekannt.

[0016] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung mit einer wohldefinierten Aussparung in der Nähe der Membran bereitzustellen. Ferner ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfin-

dung, ein Verfahren zum genauen Definieren der Abmessungen und der Glattheit der Aussparung nahe der Membran bereitzustellen.

[0017] Es wird eine Vorrichtung beschrieben, bei der

- ein Substrat eine obere Substratfläche und eine untere Substratfläche umfasst und die untere Substratfläche eine Fläche des Substrats ist, die der oberen Substratfläche entgegengesetzt ist,
- eine Membranschicht über der oberen Substratfläche aufgehängt ist,
- das Substrat eine Aussparung umfasst, die das Substrat zwischen der unteren Substratfläche und der oberen Substratfläche durchdringt,
- die Membran die Aussparung überspannt,
- die Aussparung einen oberen Aussparungsbereich, einen mittleren Aussparungsbereich und einen unteren Aussparungsbereich umfasst und der obere Aussparungsbereich ein Teil der Aussparung in unmittelbarer Nähe der oberen Substratfläche ist, der mittlere Aussparungsbereich ein Teil der Aussparung unmittelbar unter dem oberen Aussparungsbereich ist und der untere Aussparungsbereich ein anderer Teil der Aussparung als der obere Aussparungsbereich und der mittlere Aussparungsbereich ist,
- die parallel zur oberen Substratfläche ermittelte Querschnittsfläche des oberen Aussparungsbereichs größer als die entsprechende Querschnittsfläche des mittleren Aussparungsbereichs ist.

[0018] Das heißt, dass der obere Aussparungsbereich, d.h. der Bereich der Aussparung in unmittelbarer Nähe der Membranschicht, breiter als der mittlere Aussparungsbereich ist, der unmittelbar unter dem oberen Aussparungsbereich gelegen ist.

[0019] Dadurch ist an der Grenze zwischen dem oberen Aussparungsbereich und dem mittleren Aussparungsbereich eine Stufe ausgebildet.

[0020] Grundsätzlich ist diese Stufe nicht unbedingt über die gesamte Grenze zwischen dem oberen Aussparungsbereich und dem mittleren Aussparungsbereich gleichförmig.

[0021] Üblicherweise ist die im Allgemeinen angestrebte Form der Aussparung bei allen Bereichen der Aussparung gleich. Beispielsweise kann die angestrebte Form eine zylindrische Form sein, d.h., dass die zur oberen Substratfläche parallele Querschnittsfläche in allen Aussparungsbereichen eine kreisrunde, ovale oder elliptische Form haben kann, wobei die Wände senkrecht zur oberen Substratfläche ausgerichtet sind.

[0022] Vorzugsweise sind die Abweichungen von einer angestrebten Form beim oberen Aussparungsbereich geringer als beim mittleren Aussparungsbereich. Noch bevorzugter sind die Abweichungen von einer angestrebten Form beim oberen Aussparungsbereich geringer als bei dem mittleren und dem unteren Aussparungsbereich.

[0023] Beispielsweise kann eine Abweichung von einer angestrebten Form oder Rauheit im oberen Aussparungsbereich $\pm 1 \mu\text{m}$ oder weniger betragen. Doch kann eine Abweichung von einer angestrebten Form oder Rauheit im mittleren Aussparungsbereich oder im mittleren und unteren Aussparungsbereich bis zu $\pm 15 \mu\text{m}$ betragen.

[0024] Somit kann die Öffnung in der oberen Substratfläche mit einer kleinen Toleranz von $\pm 1 \mu\text{m}$ definiert sein. Demnach kann die aktive Fläche der Membran wohldefiniert sein.

[0025] Zugleich ermöglicht die größere Toleranz gegenüber Abweichungen des mittleren Aussparungsbereichs oder des mittleren und des unteren Aussparungsbereichs die Anwendung von schnellen und kosteneffizienten Strukturierungsverfahren mit geringeren Genauigkeitsanforderungen.

[0026] Weiterhin ist die Vorrichtung derart ausgeführt, dass

- eine erste Isolierschicht zwischen der oberen Substratfläche und der Membranschicht angeordnet ist,
- die erste Isolierschicht eine Öffnung umfasst, die von einem unteren Ätzstopper umrahmt wird, und der untere Ätzstopper in einem Abstand e auswärts von einer Kante des oberen Aussparungsbereichs positioniert ist, und
- der untere Ätzstopper eine höhere Zugfestigkeit als ein Hauptbestandteil der ersten Isolierschicht aufweist.

[0027] Üblicherweise sind Membranen in mikromechanischen Vorrichtungen im Allgemeinen und in MEMS-Mikrofonen im Besonderen elektrisch leitend.

[0028] Durch Anordnung der ersten Isolierschicht zwischen der oberen Substratfläche und der Membran lassen sich die Membran und das Substrat elektrisch isolieren. Dies ist besonders dann wichtig, wenn auch das Substrat elektrisch leitend ist.

[0029] Gemäß der oben besprochenen Ausführungsform umrahmt der untere Ätzstopper die Öffnung in der ersten Isolierschicht. Üblicherweise ist der untere Ätzstopper ebenfalls elektrisch isolierend.

[0030] Zusätzlich zu den Vorteilen des unteren Ätzstoppers in einem Herstellungsprozess, wie unten

angeführt, kann der untere Ätzstopper auch Vorteile für die Leistung der Komponente mit sich bringen.

[0031] Üblicherweise kann die Membranschicht direkt auf der ersten Isolierschicht angeordnet sein. Somit ist ein Teil der Membranschicht unmittelbar über der vom unteren Ätzstopper umrahmten Öffnung in der ersten Isolierschicht freistehend.

[0032] In einem solchen Fall bildet der untere Ätzstopper die untere Membranaufhängung. Wenn eine Kraft auf die Membran ausgeübt wird, beispielsweise bei Schalldruck, ist diese untere Membranaufhängung einer hohen Spannung ausgesetzt.

[0033] Indem der untere Ätzstopper derart realisiert wird, dass er aus einem Material mit einer höheren Zugfestigkeit als der des Hauptbestandteils der Isolierschicht besteht, kann die Widerstandsfähigkeit gegenüber Bruch erhöht werden.

[0034] Demzufolge kann die Gesamthaltbarkeit der Vorrichtung gegen Spannung im Vergleich zu einem Fall erhöht werden, in dem die untere Membranaufhängung aus dem Hauptbestandteil der Isolierschicht besteht, der üblicherweise ein Material mit geringer Zugfestigkeit wie etwa Siliciumoxid ist.

[0035] Beispielsweise kann der untere Ätzstopper spannungsarmes (low-stress) Siliciumnitrid als Hauptbestandteil umfassen, und die übrige erste Isolierschicht kann aus Siliciumoxid bestehen.

[0036] Wenn eine glatte, wohldefinierte Öffnung in der oberen Substratfläche vorliegt, kann auch der Abstand e zwischen dem unteren Ätzstopper und der Kante, die von der Aussparung in der oberen Substratfläche gebildet wird, wohldefiniert sein. Das bedeutet, dass Abweichungen von e ebenfalls in dem Bereich von $\pm 1 \mu\text{m}$ oder weniger gehalten werden können.

[0037] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Vorrichtung derart ausgeführt sein, dass

- eine zweite Isolierschicht unmittelbar über der Membran angeordnet ist,
- eine Öffnung in der zweiten Isolierschicht von einem oberen Ätzstopper umrahmt wird,
- der obere Ätzstopper eine höhere Zugfestigkeit als ein Hauptbestandteil der zweiten Isolierschicht aufweist.

[0038] Die zweite Isolierschicht kann die Membranschicht von anderen funktionalen Teilen der Vorrichtung, wie beispielsweise einer Rückplatte eines MEMS-Mikrofons, elektrisch isolieren. Ferner kann die zweite Isolierschicht einen Abstandhalter bilden, der zwischen Membran und Rückplatte angeordnet ist.

[0039] Die Vorteile des oberen Ätzstoppers entsprechen denen des unteren Ätzstoppers, insbesondere was das Bereitstellen einer hohen Zugfestigkeit der oberen Membranaufhängung betrifft.

[0040] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Vorrichtung derart ausgeführt sein, dass

- eine Siliciumnitridschicht direkt auf der oberen Substratfläche angeordnet ist, und
- eine Öffnung in der Siliciumnitridschicht mindestens so breit wie die Öffnung der Aussparung in der oberen Substratfläche und höchstens so breit wie die Öffnung in der ersten Isolierschicht ist.

[0041] Die Siliciumnitridschicht kann insbesondere dann vorteilhaft sein, wenn auch ein aus Siliciumnitrid bestehender unterer Ätzstopper realisiert wird. Die Siliciumnitridschicht kann als feste Grundlage für den unteren Ätzstopper dienen. Dies kann das Risiko eines mechanischen Bruchs des unteren Ätzstoppers vom darunterliegenden Material verringern.

[0042] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Vorrichtung derart ausgeführt sein, dass

- das Substratmaterial Silicium ist,
- ein Material der zweiten und der ersten Isolierschicht Siliciumoxid umfasst, und
- ein Material des unteren Ätzstoppers und des oberen Ätzstoppers mindestens einen Stoff umfasst, der aus Silicium und Siliciumnitrid ausgewählt ist.

[0043] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Vorrichtung ein MEMS-Mikrofon sein.

[0044] Es wird ein Verfahren zum Ausbilden der Vorrichtung beschrieben, bei dem

- ein Substrat bereitgestellt wird, das eine obere und eine untere Substratfläche umfasst, die einander entgegengesetzt sind,
- ein durchgehender, in sich geschlossener Graben mit einer Breite w und einer Tiefe d mittels eines ersten Strukturierungsverfahrens in der oberen Substratfläche ausgebildet wird,
- der Graben mit einem Füllmaterial aufgefüllt wird,
- eine Membranschicht über der oberen Substratfläche, welche den gefüllten Graben aufweist, ausgebildet wird,
- eine vorläufige Aussparung mit einer aus Richtung der unteren Substratfläche her angewandten zweiten Ätztechnik in dem Substrat ausgebildet wird,

- die vorläufige Aussparung einen vorläufigen oberen Aussparungsbereich umfasst, der sich von der oberen Substratfläche bis zur Tiefe d erstreckt, und der vorläufige obere Aussparungsbereich vom Füllmaterial des Grabens eingerahmt wird,

- ein mittlerer Aussparungsbereich der Bereich der vorläufigen Aussparung unmittelbar unter dem vorbereitenden oberen Aussparungsbereich ist,

- die Seitenwände des mittleren Aussparungsbereichs innerhalb eines räumlichen Volumens senkrecht unter dem Graben gelegen sind,

- ein unterer Aussparungsbereich ein Teil der vorläufigen Aussparung ist, der von dem vorläufigen oberen Aussparungsbereich und dem mittleren Aussparungsbereich verschieden ist,

- eine Aussparung durch Entfernen des Füllmaterials mit einer dritten Ätztechnik ausgebildet wird, und

- die Aussparung den mittleren Aussparungsbereich, den unteren Aussparungsbereich und einen oberen Aussparungsbereich umfasst und der obere Aussparungsbereich aus dem kombinierten Volumen des Grabens und des vorläufigen oberen Aussparungsbereichs gebildet wird.

[0045] Anders ausgedrückt wird in einem entsprechend definierten Prozess zuerst ein Graben in der oberen Substratfläche ausgebildet. Der Graben ist durchgehend und in sich geschlossen. Das bedeutet, dass ein innerer Teil der oberen Substratfläche von dem Graben eingeschlossen wird und ein äußerer Teil der Substratfläche ein Teil der Substratfläche ist, der nicht von dem Graben eingeschlossen wird.

[0046] Ein Außenrand dieses Grabens wird den Rand des oberen Aussparungsbereichs definieren, d.h. die Öffnung der Aussparung in der oberen Substratfläche des Endprodukts.

[0047] Vorzugsweise sind die Seitenwände des Grabens ungefähr senkrecht zur oberen Substratfläche ausgerichtet.

[0048] Nach dem Ausbilden des Grabens wird er mit einem Füllmaterial aufgefüllt. Üblicherweise kann das Füllmaterial ein anderes Material als das Material des Substrats sein.

[0049] Üblicherweise können das Füllmaterial und die obere Substratfläche zusammen eine vorwiegend kontinuierliche Oberfläche bilden. Dies hat den Vorteil, dass übliche Depositionsverfahren zum Ausbilden geschichteter Strukturen von MEMS-Vorrichtungen angewendet werden können.

[0050] Über der oberen Substratfläche wird die Membranschicht angeordnet.

[0051] In einem nächsten Schritt wird die zweite Ätztechnik von der Rückseite, also der Seite der unteren Substratfläche, her angewendet.

[0052] Das Ätzen von der Rückseite her kann vorzuziehen sein, weil es die Anwendung von Schnellätztechniken gestattet, ohne dass es eines aufwendigen Schutzes der funktionalen Komponenten einer MEMS-Vorrichtung bedarf.

[0053] Die vorläufige Aussparung wird mit der zweiten Ätztechnik ausgebildet. Die vorläufige Aussparung umfasst den vorläufigen oberen Aussparungsbereich. Der vorläufige obere Aussparungsbereich wird auf seiner ganzen Höhe von dem gefüllten Graben umrahmt, d.h., dass er die Höhe d hat, die der Tiefe des Grabens entspricht.

[0054] Zum Ausbilden des vorläufigen oberen Aussparungsbereichs wird mit der zweiten Ätztechnik das ganze Material des Substrats entfernt, das von dem Graben eingeschlossen wird. Die gesamte vorläufige Aussparung wird mit der zweiten Ätztechnik ausgebildet. Dies hat den Vorteil, dass innerhalb eines Ätzschritts die gesamte vorläufige Aussparung ohne weitere Differenzierung des Prozesses ausgebildet werden kann, um die verschiedenen Bereiche der vorläufigen Aussparung auszubilden.

[0055] Der mittlere Aussparungsbereich ist unmittelbar unter dem vorläufigen oberen Aussparungsbereich angeordnet. Die Seitenwände des mittleren Aussparungsbereichs sind derart ausgebildet, dass sie innerhalb eines räumlichen Volumens senkrecht unter dem Graben gelegen sind. Der Ausdruck „Seitenwände des mittleren Aussparungsbereichs“ kann als Oberfläche des Substrats in Richtung des mittleren Aussparungsbereichs verstanden werden. Bei senkrechter Parallelprojektion aller Punkte, welche die Seitenwände des mittleren Aussparungsbereichs bilden, und des Grabens in die Ebene der oberen Substratfläche fallen alle projizierten Punkte der Seitenwände in die projizierte Fläche des Grabens.

[0056] Das bedeutet, dass sich Auswölbungen der Seitenwände des mittleren Aussparungsbereichs nicht über den Innenrand des Grabens hinaus in die Aussparung erstrecken dürfen und dass sich Einbuchtungen in den Seitenwänden des mittleren Aussparungsbereichs nicht über den Außenrand des Grabens hinaus in das Substrat erstrecken dürfen.

[0057] Vorzugsweise sind die Seitenwände sowohl des mittleren Aussparungsbereichs als auch des unteren Aussparungsbereichs innerhalb eines räumlichen Volumens senkrecht unter dem Graben gelegen.

[0058] Nach dem Ausbilden der mittleren Aussparung wird das Füllmaterial des Grabens mit einer dritten Ätztechnik entfernt.

[0059] Demnach wird die Aussparung aus dem zusammengesetzten Volumen des vorläufigen oberen Aussparungsbereichs, dem Volumen des Grabens, dem mittleren Aussparungsbereich und dem unteren Aussparungsbereich gebildet.

[0060] Der obere Aussparungsbereich ist als das zusammengesetzte Volumen des vorläufigen oberen Aussparungsbereichs und dem Volumen des Grabens definiert.

[0061] Somit kann die Position der Seitenwände in dem oberen Aussparungsbereich mit der Toleranz des ersten Strukturierungsverfahrens, mit dem der Graben ausgebildet wird, definiert werden und sie kann unabhängig von der Toleranz der zweiten Ätztechnik sein.

[0062] Des Weiteren kann auch die Struktur der Seitenwände mit dem ersten Strukturierungsverfahren definiert werden.

[0063] Vorzugsweise kann das erste Strukturierungsverfahren derart gewählt werden, dass die Struktur der Seitenwände des oberen Aussparungsbereichs genauer als die Struktur der mit der zweiten Ätztechnik ausgebildeten Seitenwände definiert ist.

[0064] Beispielsweise können die Seitenwände des oberen Aussparungsbereichs eine glattere Struktur als die des mittleren Aussparungsbereichs und/oder des unteren Aussparungsbereichs haben.

[0065] Dies ermöglicht es, die Seitenwände der Aussparung in der Nähe des Substrats genauer als mit den dieser Erfindung vorausgehenden Verfahren auszubilden, von denen in der Einführung die Rede ist.

[0066] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Verfahren derart angewendet, dass die Breite w des Grabens mindestens das Zweifache der Toleranz der zweiten Ätztechnik beim Ausbilden des mittleren Aussparungsbereichs beträgt.

[0067] Wenn die Breite w des Grabens so gewählt wird, dass sie das Zweifache der Toleranz der zweiten Ätztechnik beträgt, kann es leicht bewerkstelligt werden, dass die Seitenwände des mittleren Aussparungsbereichs innerhalb eines räumlichen Volumens senkrecht unter dem Graben gelegen sind.

[0068] Die Breite w , die das Zweifache der Toleranzbreite der zweiten Ätztechnik beträgt, kann Abweichungen der Seitenwände des mittleren Aussparungsbereichs von einer angestrebten Form oder

Position in beiden Richtungen kompensieren. Somit kann der Graben mit der Breite w die Toleranz der zweiten Ätztechnik kompensieren.

[0069] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Verfahren derart angewendet, dass das Füllmaterial so gewählt wird, dass es eine geringere Ätzrate als das Substrat bei der zweiten Ätztechnik hat.

[0070] Wenn das Füllmaterial des Grabens so gewählt wird, dass es während der Anwendung der zweiten Ätztechnik langsamer als das Substrat geätzt wird, wird die Füllung während der zweiten Ätztechnik nicht vollständig aufgelöst.

[0071] Dies kann sicherstellen, dass die Seitenwände des oberen Aussparungsbereichs von der zweiten Ätztechnik unberührt bleiben, weil das Füllmaterial das ganze Substratmaterial innerhalb der Tiefe d , das nicht von dem Graben eingeschlossen wird, davor schützt, geätzt zu werden.

[0072] Das Verfahren wird derart angewendet, dass das Füllmaterial so gewählt wird, dass es eine höhere Ätzrate als das Substrat bei der dritten Ätztechnik hat. Infolgedessen ist der Materialverlust des Substrats während des dritten Ätzschritts geringer als die Abtragerate des Füllmaterials.

[0073] Somit kann das Füllmaterial ohne starke Auswirkungen auf die angestrebte Form der Aussparung vollständig entfernt werden.

[0074] Vorzugsweise wird das Füllmaterial so gewählt, dass es eine mindestens zweimal höhere Ätzrate als das Substrat bei der dritten Ätztechnik hat.

[0075] Sogar noch bevorzugter wird das Füllmaterial so gewählt, dass es eine mindestens fünfmal höhere Ätzrate als das Substrat bei der dritten Ätztechnik hat.

[0076] Idealerweise wird das Füllmaterial so gewählt, dass es eine mindestens zehnmal höhere Ätzrate als das Substrat bei der dritten Ätztechnik hat.

[0077] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Verfahren derart angewendet, dass das auf die obere Substratfläche angewendete erste Strukturierungsverfahren eine geringere Toleranz als die auf das Substrat angewendete zweite Ätztechnik aufweist.

[0078] Dies kann den Vorteil mit sich bringen, dass die Abweichungen der Seitenwände des oberen Aussparungsbereichs von einer angestrebten Form geringer sind als in einem Fall, in dem die gesamte

Aussparung ausschließlich mit der zweiten Ätztechnik ausgebildet wird.

[0079] Toleranz bezeichnet üblicherweise die maximale Abweichung von einer angestrebten Form, die in einer zur Ebene der oberen Substratfläche parallelen Ebene und in Richtung der Normalen zur Seitenwand des oberen Aussparungsbereichs gemessen wird.

[0080] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Verfahren derart angewendet, dass die Toleranz des auf die obere Substratfläche angewendeten ersten Strukturierungsverfahrens mindestens zehnmal kleiner als die Toleranz der auf das Substrat angewendeten zweiten Ätztechnik ist.

[0081] Dies hat den Vorteil, dass die Form des oberen Aussparungsbereichs mindestens zehnmal genauer definiert werden kann, als wenn nur die zweite Ätztechnik zum Ausbilden einer Aussparung verwendet wird.

[0082] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Verfahren derart angewendet, dass die Toleranz des auf die obere Substratfläche angewendeten ersten Strukturierungsverfahrens $\pm 1 \mu\text{m}$ oder weniger beträgt und die Toleranz der auf das Substrat angewendeten zweiten Ätztechnik $\pm 15 \mu\text{m}$ oder weniger beträgt.

[0083] Insbesondere ermöglicht dies bei Kombination mit der Ausführungsform, bei der die Breite w des Grabens so gewählt wird, dass sie das Zweifache der Toleranz der zweiten Ätztechnik beträgt, die Anwendung einer schnellen, aber weniger genauen zweiten Ätztechnik, während eine wohldefinierte Aussparung nahe der Membranschicht beibehalten wird.

[0084] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Verfahren derart angewendet, dass

- das Substratmaterial Silicium ist,
- das Füllmaterial mindestens eines ist, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die Siliciumoxid, Phosphorsilicatglas und Borphosphorsilicatglas umfasst,
- das erste Strukturierungsverfahren eine langsame reaktive Ionentiefenätztechnik ist, die von der Seite der oberen Substratfläche her angewendet wird,
- die zweite Ätztechnik eine schnelle reaktive Ionentiefenätztechnik ist, die von der Seite der unteren Substratfläche her angewendet wird, und
- die dritte Ätztechnik eine gepufferte Oxidätztechnik ist.

[0085] Reaktive Ionentiefenätzverfahren (DRIE) werden routinemäßig zum Ausbilden von Strukturen auf Siliciumsubstraten wie etwa Silicium-Wafern angewendet.

[0086] DRIE kann mit hoher Genauigkeit bis hinunter zu einer Oberflächenrauheit in der Größenordnung von 10 nm angewendet werden, allerdings auf Kosten langsamer Ätzraten.

[0087] Ein langsames DRIE-Verfahren mit hoher Genauigkeit und langsamer Ätzrate kann zum Ausbilden des Grabens angewendet werden.

[0088] Vorzugsweise umfasst das langsame DRIE-Verfahren die Anwendung einer lithografisch ausgebildeten Maske, da lithografische Verfahren kleine Toleranzen in der Größenordnung von $\pm 1 \mu\text{m}$ oder weniger erbringen.

[0089] Beispielsweise weist das langsame DRIE-Verfahren Ätzraten in der Größenordnung unter $1 \mu\text{m}/\text{min}$ und bis zu $4 \mu\text{m}/\text{min}$ auf.

[0090] Zum Ausbilden des vorbereitenden Hohlraums kann ein schnelles DRIE-Verfahren mit geringerer Genauigkeit, aber höherer Ätzrate angewendet werden.

[0091] Beispielsweise weist das schnelle DRIE-Verfahren Ätzraten in der Größenordnung über $10 \mu\text{m}/\text{min}$ auf, beispielsweise 10 bis $30+$ $\mu\text{m}/\text{min}$.

[0092] Die genaue Definition der Aussparung nahe der Membran durch einen langsamen, aber genauen Ätzschritt kann vorzugsweise angewendet werden, weil der obere Aussparungsbereich viel kleiner als die Summe des mittleren und des unteren Aussparungsbereichs ist. Beispielsweise kann der Höhenanteil des oberen Aussparungsbereichs der Aussparung insgesamt 2% oder darunter betragen. Vorzugsweise beträgt der Höhenanteil des oberen Aussparungsbereichs zwischen $0,25\%$ und 2% .

[0093] Des Weiteren ist das Volumen, das zum Ausbilden des Grabens geätzt werden muss, typischerweise viel kleiner als das Volumen des gesamten oberen Aussparungsbereichs. Beispielsweise kann der Volumenbeitrag des Grabens zum oberen Aussparungsbereich unter 15% betragen. Üblicherweise kann der Volumenbeitrag des Grabens zum oberen Aussparungsbereich zwischen 3% und 12% betragen.

[0094] Ferner ist Siliciumoxid ein bevorzugtes Füllmaterial, da es eine geringere Ätzrate als Silicium beim DRIE aufweist, jedoch wirksam mit gepufferte Oxidätztechniken geätzt werden kann.

[0095] Dotierte Siliciumoxidmaterialien, wie Phosphorsilicatglas und Borphosphorsilicatglas, sind sogar noch bevorzugtere Füllmaterialien, da sie mit gepufferte Oxidätztechniken sogar noch schneller geätzt werden können.

[0096] Wenn eine MEMS-Schichtstruktur weitere Siliciumoxid umfassende Bestandteile enthält, die gleichzeitig mit dem Füllmaterial geätzt werden sollen, ist insbesondere die Verwendung von dotiertem Siliciumoxid als Füllmaterial vorteilhaft. Das Füllmaterial des Grabens ist verhältnismäßig voluminös im Vergleich zu typischen MEMS-Schichtstrukturen. Daher kann die Verwendung von dotiertem Siliciumoxid als Füllmaterial die Ätzzeit verkürzen, die zum vollständigen Entfernen des Füllmaterials benötigt wird. Folglich können die Auswirkung auf andere Komponenten und Überätzen reduziert werden.

[0097] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird unmittelbar nach dem Auffüllen des Grabens mit dem Füllmaterial ein chemisch-mechanischer Polierschritt auf die obere Substratfläche und den gefüllten Graben angewendet.

[0098] Dieser Polierschritt kann Unebenheiten der gemeinsamen Oberfläche nivellieren, die von der oberen Substratfläche und dem gefüllten Graben gebildet wird. Dies erleichtert das Aufbringen von Schichtstrukturen einer MEMS-Vorrichtung, wie etwa der Membranschicht. Dies kann das Einprägen von Unebenheiten in Schichten verhindern, die mit üblichen Techniken deponiert werden, die beim Ausbilden einer MEMS-Schichtstruktur verwendet werden.

[0099] Das Verfahren wird derart angewendet, dass

- eine erste Isolierschicht zwischen der oberen Substratfläche und der Membranschicht ausgebildet wird,
- ein unterer Ätzstopper in der ersten Isolierschicht ausgebildet wird und der untere Ätzstopper in einem Abstand e weg vom Außenrand des Grabens positioniert wird, und
- das Material des unteren Ätzstoppers eine geringere Ätzrate bei der dritten Ätztechnik als zumindest ein innerer Abschnitt der ersten Isolierschicht aufweist, der von dem unteren Ätzstopper umrahmt wird.

[0100] Wie oben zur Vorrichtung erläutert, kann der untere Ätzstopper für die Leistung der Vorrichtung von Vorteil sein.

[0101] Außerdem kann der untere Ätzstopper derart ausgebildet werden, dass ein innerer Abschnitt der ersten Isolierschicht von ihm umrahmt wird.

[0102] Dadurch kann die dritte Ätztechnik, mit der das Füllmaterial geätzt wird, nur den inneren Abschnitt der ersten Isolierschicht beeinflussen oder ätzen, aber nicht die übrige erste Isolierschicht, weil der Ätzstopper verhindern kann, dass die dritte Ätztechnik die übrige erste Isolierschicht angreift.

[0103] Da es möglich ist, die Form und die Position der Aussparung in der oberen Substratfläche mit hoher Genauigkeit zu definieren, kann der Ätzstopper dicht beim Außenrand des Grabens positioniert werden, weil Unterätzen des Substrats unter dem Ätzstopper vermieden werden kann.

[0104] Da der untere Ätzstopper die untere Membranaufhängung sein kann, kann dies eine feste physikalische Verbindung der Membranschicht mit dem Substrat durch den unteren Ätzstopper sicherstellen.

[0105] Da ferner die Position des Ätzstoppers keine großen Toleranzen in der Position der Aussparung verkraften muss, kann der Abstand e so klein sein, dass ein Kontakt der Membran mit einer Kante des Substrats bei der Öffnung der Aussparung in der oberen Substratfläche unter hoher Auslenkung der Membran während des Betriebs vermieden werden kann.

[0106] Kontakt der Membran mit der Substratkante kann bei einer MEMS-Vorrichtung Signalartefakte bewirken. Ein wiederholter Kontakt der Membran mit der Substratkante kann zur Bildung von Defekten in der Membran führen, was zum Bruch der Membran führen kann.

[0107] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Verfahren die folgenden weiteren Schritte:

- eine zweite Isolierschicht wird über der Membranschicht ausgebildet,
- ein oberer Ätzstopper wird in der zweiten Isolierschicht ausgebildet, und
- das Material des oberen Ätzstoppers weist eine geringere Ätzrate bei der dritten Ätztechnik als zumindest ein innerer Abschnitt der zweiten Isolierschicht auf, der von dem oberen Ätzstopper umrahmt wird.

[0108] Ähnlich wie im Falle des unteren Ätzstoppers kann der obere Ätzstopper während der dritten Ätztechnik das Ätzen eines Teils der zweiten Isolierschicht verhindern, der nicht der von dem oberen Ätzstopper umrahmte Teil ist.

[0109] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Verfahren derart angewendet, dass der innere Abschnitt der ersten Isolierschicht, der von dem unteren Ätzstopper umrahmt wird, und der innere Abschnitt der zweiten Isolierschicht, der von dem

oberen Ätzstopper umrahmt wird, während der dritten Ätztechnik entfernt werden. Üblicherweise wird die dritte Ätztechnik entweder von der Seite der unteren Substratfläche her, d.h. durch die Aussparung, oder von der entgegengesetzten Richtung, also der Vorderseite, her angewendet. Beispielsweise können kleine Öffnungen oder Poren in der Membranschicht oder anderen Strukturen, die über der vorbereitenden Aussparung angeordnet sind, die Anwendung der dritten Ätztechnik von der Vorderseite her ermöglichen.

[0110] Beispielsweise kann eine Ätzlösung einer gepufferten Oxidätztechnik durch derartige Poren aufgebracht werden.

[0111] Durch das Entfernen des Füllmaterials zusammen mit den inneren Abschnitten der ersten und der zweiten Isolierschicht in einem gemeinsamen Ätzschritt kann der Gesamtaufwand des Prozesses im Vergleich zu gesonderten Ätzschritten verringert werden.

[0112] Üblicherweise umfasst bereits ein dieser Erfindung vorausgehender herkömmlicher Ansatz einen Ätzschritt zum Ausbilden von Öffnungen in Isolierschichten. Durch das Ausbilden der Öffnungen und das Entfernen des Füllmaterials in einem gemeinsamen Ätzschritt kann der durch den vorliegenden Ansatz bewirkte Mehraufwand im Vergleich zu einem herkömmlichen Ansatz gering gehalten werden.

[0113] Gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst das Verfahren die folgenden weiteren Schritte:

- eine Siliciumnitridschicht wird vor dem Ausbilden der ersten Isolierschicht direkt auf der oberen Substratfläche ausgebildet, und
- die Siliciumnitridschicht wird durch die dritte Ätztechnik in einem Abschnitt entfernt, der senkrecht über dem oberen Aussparungsbereich angeordnet ist.

[0114] Wie in Bezug auf die Vorrichtung erläutert, kann die Siliciumnitridschicht Vorteile für die entsprechende zusammengebaute Vorrichtung bieten.

[0115] Da die Siliciumnitridschicht außerdem sowohl bei der zweiten als auch der dritten Ätztechnik eine geringere Ätzrate aufweist, kann sie die verhältnismäßig dünnen Isolierschichten während dieser Ätzschritte schützen.

[0116] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das Verfahren derart angewendet, dass

- das Material der zweiten und der ersten Isolierschicht Siliciumoxid umfasst, und

- das Material des unteren und des oberen Ätzstoppers mindestens einen Stoff umfasst, der aus Silicium und Siliciumnitrid ausgewählt ist.

[0117] Siliciumoxid ist ein hochisolierendes Material mit bevorzugten Ätzeigenschaften insbesondere während der zweiten und der dritten Ätztechnik. Daher kann es bevorzugt als Material für die Isolierschichten verwendet werden.

[0118] Vorzugsweise umfassen die Membranen ein leitfähiges Material wie etwa Silicium oder noch bevorzugter dotiertes Silicium.

[0119] Eine Membran, die Siliciumnitrid umfasst, kann eine vorteilhafte Zugfestigkeit im Vergleich zu einer Membran aufweisen, die kein Siliciumnitrid umfasst.

[0120] Beispielsweise kann die Membran eine Schichtstruktur haben, bei der eine mittlere Siliciummembranschicht sandwichartig zwischen eine untere und eine obere Siliciumnitridschicht eingefügt ist.

[0121] Gemäß einer weiteren Ausführungsform ist die mit dem Verfahren hergestellte Vorrichtung ein MEMS-Mikrofon.

[0122] Im Folgenden wird die Erfindung auf der Grundlage von beispielhaften Ausführungsformen und den zugehörigen Figuren detaillierter erläutert.

[0123] Die Figuren dienen nur zur Verdeutlichung der Erfindung und sind daher nur schematische Darstellungen und nicht maßstabsgetreu. Einzelne Teile können vergrößert oder im Hinblick auf die Abmessungen verzerrt dargestellt sein. Daher können aus den Figuren weder absolute noch relative Maßangaben abgeleitet werden. Gleiche oder gleich wirkende Teile sind mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0124] In den Figuren:

Die **Fig. 1** und **Fig. 2** zeigen einen ersten Schritt einer ersten Ausführungsform eines Verfahrens zum Ausbilden eines MEMS-Mikrofons in einer schematischen Draufsicht beziehungsweise einem schematischen Querschnitt.

Die **Fig. 3** und **Fig. 4** zeigen einen zweiten Schritt einer ersten Ausführungsform eines Verfahrens zum Ausbilden eines MEMS-Mikrofons in einer schematischen Draufsicht beziehungsweise einem schematischen Querschnitt.

Die **Fig. 5** und **Fig. 6** zeigen einen dritten Schritt einer ersten Ausführungsform eines Verfahrens zum Ausbilden eines MEMS-Mikrofons in einer schematischen Draufsicht beziehungsweise einem schematischen Querschnitt.

Fig. 7 zeigt einen vierten Schritt einer ersten Ausführungsform eines Verfahrens zum Ausbilden eines MEMS-Mikrofons in einem schematischen Querschnitt.

Die **Fig. 8** und **Fig. 9** zeigen einen fünften Schritt einer ersten Ausführungsform eines Verfahrens zum Ausbilden eines MEMS-Mikrofons in einer schematischen Draufsicht beziehungsweise einem schematischen Querschnitt.

Fig. 10 zeigt einen sechsten Schritt einer ersten Ausführungsform eines Verfahrens zum Ausbilden eines MEMS-Mikrofons in einem schematischen Querschnitt.

Die **Fig. 11** und **Fig. 12** zeigen einen siebten Schritt einer ersten Ausführungsform eines Verfahrens zum Ausbilden eines MEMS-Mikrofons in einer schematischen Draufsicht beziehungsweise einem schematischen Querschnitt.

Fig. 13 zeigt einen achten Schritt einer ersten Ausführungsform eines Verfahrens zum Ausbilden eines MEMS-Mikrofons in einem schematischen Querschnitt.

Fig. 14 zeigt einen neunten Schritt einer ersten Ausführungsform eines Verfahrens zum Ausbilden eines MEMS-Mikrofons in einem schematischen Querschnitt.

Fig. 15 zeigt einen detaillierten Ausschnitt des neunten Schritts einer ersten Ausführungsform eines Verfahrens zum Ausbilden eines MEMS-Mikrofons in einem schematischen Querschnitt.

Fig. 16 zeigt eine erste Ausführungsform eines MEMS-Mikrofons in einem schematischen Querschnitt.

Fig. 17 zeigt einen zweiten Schritt einer zweiten Ausführungsform eines Verfahrens zum Ausbilden eines MEMS-Mikrofons in einer schematischen Draufsicht.

Fig. 18 zeigt eine dritte Ausführungsform eines MEMS-Mikrofons in einem schematischen Querschnitt.

[0125] Im Folgenden wird eine erste Ausführungsform eines Verfahrens zum Ausbilden eines MEMS-Mikrofons mit Bezug auf Figuren beschrieben, die Zwischenschritte während des Prozesses in schematischen Ansichten darstellen.

[0126] **Fig. 1** zeigt eine schematische Draufsicht auf eine obere Substratfläche 21 eines Substrats 2.

[0127] **Fig. 2** zeigt einen schematischen Querschnitt des Substrats 2 entlang der in **Fig. 1** angegebenen Linie A - B.

[0128] Eine untere Substratfläche 22 ist die Oberfläche des Substrats 2, die der oberen Substratfläche 21 entgegengesetzt ist.

[0129] Das Material des Substrats 2 ist Silicium. Beispielsweise ist das Substrat 2 ein Silicium-Wafer.

[0130] Wie in den **Fig. 3** (Draufsicht) und 4 (Querschnitt) dargestellt, wird mit einem ersten Strukturierungsverfahren ein Graben 3 in der oberen Substratfläche ausgebildet.

[0131] Bei der ersten Ausführungsform ist der Graben 3 ringförmig. Der Graben 3 hat eine Tiefe d und eine Breite w zwischen einem Innenrand 31 des Grabens und einem Außenrand 32 des Grabens.

[0132] Die Breite w des Grabens 3 ist derart gewählt, dass die Toleranz einer Ätztechnik zum Ausbilden einer vorläufigen Aussparung kompensiert wird, wie unten beschrieben wird.

[0133] Beispielsweise kann die Breite $30\ \mu\text{m}$ betragen. Beispielsweise kann die Tiefe d des Grabens $3\text{--}8\ \mu\text{m}$ betragen.

[0134] Vorzugsweise hat der Graben einen rechteckigen Querschnitt, wie in **Fig. 4** angegeben.

[0135] Das erste Strukturierungsverfahren kann ein beliebiges Verfahren sein, das zum Ausbilden eines ringförmigen Grabens 3 in einem Siliciumsubstrat 2 geeignet ist. Vorzugsweise weist das erste Strukturierungsverfahren eine Toleranz von $\pm 1\ \mu\text{m}$ oder darunter auf.

[0136] Beispielsweise kann zum Ausbilden des Grabens ein Sputterverfahren angewendet werden.

[0137] Vorzugsweise wird eine langsame DRIE-Ätztechnik von der Vorderseite, also der Seite der oberen Substratfläche 21, her angewendet. Die langsame DRIE-Ätztechnik umfasst die Anwendung eines fotolithografischen Schritts mit einer Genauigkeit/Toleranz unter $\pm 1\ \mu\text{m}$. Anschließend wird der Graben 3 in das Substrat geätzt und Masken von der Fotolithografie werden entfernt.

[0138] Beispielsweise weist das langsame DRIE-Verfahren Ätzraten in der Größenordnung unter $1\ \mu\text{m}/\text{min}$ und bis zu $4\ \mu\text{m}/\text{min}$ auf.

[0139] Als Nächstes wird der Graben 3 mit einem Füllmaterial 4 aufgefüllt, wie es in den **Fig. 5** (Draufsicht) und 6 (schematischer Querschnitt) dargestellt ist.

[0140] Das Füllmaterial 4 umfasst Siliciumoxid. Das Füllmaterial 4 kann reines Siliciumoxid oder vorzugs-

weise dotiertes Siliciumoxid wie Phosphorsilicatglas oder Borphosphorsilicatglas sein.

[0141] Das dotierte Siliciumoxid hat den Vorteil, dass es in einem nachfolgenden gepufferten Oxidätzschritt effizienter als reines Siliciumoxid geätzt werden kann.

[0142] Das Siliciumoxid oder dotierte Siliciumoxid kann mit einer beliebigen geeigneten Methode abgeschieden werden. Vorzugsweise wird es mit einem Verfahren zur plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung (plasma enhanced chemical vapor deposition, PECVD) unter Verwendung von Tetraethylorthosilicat (TEOS) abgeschieden.

[0143] Vorzugsweise wird ein chemisch-mechanischer Polierschritt nach dem Füllen des Grabens 3 angewendet, um die Oberseite des Füllmaterials 4 und der oberen Substratfläche 21 zu nivellieren.

[0144] Wie in **Fig. 7** in schematischem Querschnitt dargestellt, wird eine Siliciumnitridschicht 5 auf der oberen Substratfläche 21 ausgebildet, die den gefüllten Graben 3 umfasst.

[0145] Das Material der Siliciumnitridschicht 5 ist vorzugsweise ein spannungsarmes (low-stress) Siliciumnitrid, das eine verhältnismäßig geringe Zugfestigkeit in der Größenordnung von 250 MPa oder darunter aufweist. Vorzugsweise weist das spannungsarme Siliciumnitrid eine Zugfestigkeit von 135 MPa oder darunter auf.

[0146] Die Siliciumnitridschicht 5 kann mit einem beliebigen geeigneten Methode abgeschieden werden. Vorzugsweise wird die Siliciumnitridschicht 5 durch chemische Gasphasenabscheidung unter Niederdruck (low pressure chemical vapor deposition, LPCVD) deponiert.

[0147] Die Dicke der Siliciumnitridschicht 5 kann im Bereich von 0,1 μm bis 1 μm und vorzugsweise im Bereich von 0,1 μm bis 0,3 μm liegen.

[0148] Wie in den **Fig. 8** (Draufsicht) und 9 (schematischer Querschnitt) dargestellt, wird eine erste Isolierschicht 6 auf der Siliciumnitridschicht 5 angeordnet.

[0149] Das Material der ersten Isolierschicht 6 ist Siliciumoxid, das mit einer beliebigen geeigneten Methode abgeschieden werden kann. Vorzugsweise wird es mit einem PECVD-Verfahren unter Verwendung von TEOS abgeschieden.

[0150] Eine Dicke der ersten Isolierschicht 6 kann 0,5 μm betragen.

[0151] Ein Teil der ersten Isolierschicht 6 wird entfernt, um eine grabenförmige Einkerbung in der ersten Isolierschicht 6 auszubilden, an deren Boden die Siliciumnitridschicht 5 freigelegt ist.

[0152] Diese grabenförmige Einkerbung ist bei der vorliegenden Ausführungsform ringförmig.

[0153] Die grabenförmige Einkerbung kann mit einem beliebigen geeigneten Verfahren ausgebildet werden, wie beispielsweise Lithografie-basierte Verfahren oder Ätztechniken.

[0154] Anschließend wird die grabenförmige Einkerbung mit Siliciumnitrid, und noch bevorzugter mit spannungsarmem Siliciumnitrid, aufgefüllt, um den unteren Ätzstopper 61 auszubilden. Das Siliciumnitrid des unteren Ätzstoppers 61 kann mit einem beliebigen geeigneten Mittel deponiert werden. Vorzugsweise wird das Siliciumnitrid durch LPCVD deponiert.

[0155] Der untere Ätzstopper 61 ist ringförmig und umrahmt einen inneren Abschnitt 62 der ersten Isolierschicht 6.

[0156] Der von dem unteren Ätzstopper 61 gebildete Ring ist konzentrisch zum ringförmigen Graben 3. Der untere Ätzstopper 61 ist in einem Abstand e vom Außenrand 32 des Grabens 3 positioniert. Der Abstand e kann beispielsweise 1 bis 5 μm betragen.

[0157] Als Nächstes wird, wie in **Fig. 10** in einem schematischen Querschnitt dargestellt, eine Membranschicht 7 auf der ersten Isolierschicht 6 angeordnet.

[0158] Die Membranschicht 7 enthält Silicium, das beispielsweise durch LPCVD deponiert werden kann. Die Membranschicht 7 kann beispielsweise dotiertes Polysilicium enthalten.

[0159] Die Dicke der Membranschicht 7 kann in der Größenordnung von 0,5 μm sein.

[0160] Während dieses Prozessschrittes kann die Membranschicht 7 beispielsweise mit fotolithografischen Verfahren strukturiert werden.

[0161] Wie in den **Fig. 11** (Draufsicht) und 12 (schematischer Querschnitt) dargestellt, wird eine zweite Isolierschicht 8 auf der Membranschicht 7 angeordnet.

[0162] Das Material der zweiten Isolierschicht 8 ist Siliciumoxid, das mit einer beliebigen geeigneten Methode abgeschieden werden kann. Vorzugsweise wird es mit einem PECVD-Verfahren unter Verwendung von TEOS abgeschieden.

[0163] Die Dicke der zweiten Isolierschicht 8 kann etwa 2,35 µm sein.

[0164] Ein Teil der zweiten Isolierschicht 8 wird entfernt, um eine grabenförmige Einkerbung in der zweiten Isolierschicht 8 auszubilden, an deren Boden die Membranschicht 7 freigelegt ist.

[0165] Diese grabenförmige Einkerbung ist ringförmig.

[0166] Die grabenförmige Einkerbung kann mit einem beliebigen geeigneten Verfahren ausgebildet werden, wie beispielsweise Lithografie-basierte Verfahren oder Ätztechniken.

[0167] Anschließend wird die grabenförmige Einkerbung mit Siliciumnitrid, und bevorzugter mit spannungsarmem Siliciumnitrid, aufgefüllt, um den oberen Ätzstopper 81 auszubilden. Der obere Ätzstopper 81 aus Siliciumnitrid kann mit einer beliebigen geeigneten Methode abgeschieden werden. Vorzugsweise wird der obere Ätzstopper 81 aus Siliciumnitrid durch LPCVD abgeschieden.

[0168] Der obere Ätzstopper 81 ist ringförmig und umrahmt einen inneren Abschnitt 82 der zweiten Isolierschicht 8.

[0169] Der von dem oberen Ätzstopper 81 gebildete Ring ist konzentrisch zu dem ringförmigen Graben 3 und zu dem vom unteren Ätzstopper 61 gebildeten Ring. Der Ring des oberen Ätzstoppers 81 hat einen kleineren Durchmesser als der Ring des unteren Ätzstoppers 61.

[0170] Der laterale Abstand zwischen dem oberen Ätzstopper 81 und dem unteren Ätzstopper 61 ist als lateraler Membranaufhängungsabstand definiert und wird parallel zur oberen Substratfläche 21 gemessen. Der laterale Membranaufhängungsabstand ist gleich der halben Durchmesserdifferenz zwischen den Ringen des oberen Ätzstoppers 81 und des unteren Ätzstoppers 61.

[0171] Vorzugsweise liegt der seitliche Membranaufhängungsabstand im Bereich von 3 bis 10 µm.

[0172] Wie in dem schematischen Querschnitt in **Fig. 13** dargestellt, wird als Nächstes eine Rückplattenschicht (back plate layer) 9 auf der zweiten Isolierschicht 8 ausgebildet.

[0173] Die Rückplattenschicht 9 umfasst Silicium, das beispielsweise durch LPCVD abgeschieden werden kann. Die Rückplattenschicht 9 kann beispielsweise dotiertes Polysilicium enthalten.

[0174] Die Dicke der Rückplattenschicht 9 kann in der Größenordnung von 1 µm bis 5 µm sein.

[0175] Nach dem Ausbilden der Rückplattenschicht 9 können elektrische Kontakte an dem entsprechend aufgebauten Schichtstapel angebracht werden (nicht dargestellt).

[0176] Bei diesem Prozessschritt kann die Rückplattenschicht 9, ähnlich wie die Membran 7, derart lateral strukturiert werden, dass sie beispielsweise Luftlöcher umfasst. Dies kann beispielsweise mit fotolithografischen Verfahren durchgeführt werden.

[0177] Wie in dem schematischen Querschnitt in **Fig. 14** dargestellt, wird als Nächstes mit einer zweiten Ätztechnik eine vorläufige Aussparung 10' in dem Substrat 2 ausgebildet.

[0178] Die zweite Ätztechnik kann ein beliebiges geeignetes Verfahren zum Ausbilden einer vorläufigen Aussparung 10' in einem Siliciumsubstrat 2 sein. Vorzugsweise wird die vorläufige Aussparung 10' mit einem schnellen DRIE-Verfahren ausgebildet, das von der Rückseite, also der Seite der unteren Substratfläche 22, her angewendet wird.

[0179] Das Substrat 2 wird von der unteren Substratfläche 22 her bis hin zur oberen Substratfläche 21 geätzt.

[0180] Die vorläufige Aussparung 10' umfasst den vorläufigen oberen Aussparungsbereich 101'. Der vorläufige obere Aussparungsbereich 101' ist der Abschnitt der vorläufigen Aussparung 10' in nächster Nähe zur Membranschicht 7.

[0181] Der vorläufige obere Aussparungsbereich 101' erstreckt sich von der oberen Substratfläche 21 bis zur Tiefe d. Er wird vom Innenrand 31 des Füllmaterials 4 des Grabens 3 umrahmt.

[0182] Anders ausgedrückt wird mit der zweiten Ätztechnik das Substratmaterial entfernt, bis zumindest der Innenrand 31 des Füllmaterials 4 vollständig freiliegt.

[0183] Der vorläufige obere Aussparungsbereich 101' hat eine zylindrische Form, wobei Wände des vorläufigen oberen Aussparungsbereichs 101' (= Innenrand 31) senkrecht zur oberen Substratfläche 21 sind.

[0184] Der Bereich der vorläufigen Aussparung 10' unmittelbar unter dem vorläufigen oberen Aussparungsbereich 101' ist als mittlerer Aussparungsbereich 102 definiert.

[0185] Der Durchmesser des mittleren Aussparungsbereichs 102 entspricht mindestens dem Durchmesser des vorläufigen oberen Aussparungsbereichs 101'.

[0186] Üblicherweise ist der Durchmesser des mittleren Aussparungsbereichs 102 größer als der Durchmesser des vorläufigen oberen Aussparungsbereichs 101'.

[0187] Maximal ist der Durchmesser des mittleren Aussparungsbereichs gleich dem Durchmesser des Außenrands 32 des Grabens.

[0188] Der Bereich der vorläufigen Aussparung 10', der nicht der vorläufige obere Aussparungsbereich 101' oder der mittlere Aussparungsbereich 102 ist, ist als unterer Aussparungsbereich definiert.

[0189] Vorzugsweise entspricht der Durchmesser des unteren Aussparungsbereichs 103 mindestens dem Durchmesser des vorläufigen oberen Aussparungsbereichs 101'.

[0190] Beispielsweise ist der Durchmesser des unteren Aussparungsbereichs 103 größer als der Durchmesser des vorläufigen oberen Aussparungsbereichs 101'.

[0191] Vorzugsweise ist der Durchmesser des unteren Aussparungsbereichs höchstens gleich dem Durchmesser des Außenrands 32 des Grabens.

[0192] Fig. 15 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt der Zwischenstruktur während des Ausbildens eines in Fig. 14 gezeigten MEMS-Mikrofons nach dem Ausbilden der vorläufigen Aussparung 10'.

[0193] Die zweite Ätztechnik im Allgemeinen und ein schnelles DRIE-Verfahren im Besonderen weisen eine begrenzte Toleranz beim Ausbilden der Seitenwände der vorläufigen Aussparung 10' auf.

[0194] Im vorläufigen oberen Aussparungsbereich 101' sind die Seitenwände mit der Toleranz des ersten Strukturierungsverfahrens definiert, da das Füllmaterial 4 bei der zweiten Ätztechnik eine erheblich geringere Ätzrate als das Siliciumsubstrat 2 aufweist.

[0195] Insbesondere verursacht schnelles DRIE Kerben und Ausbuchtungen in der Wand des mittleren Aussparungsbereichs 102 um eine angestrebte Position x der Wand herum.

[0196] Doch diese Kerben und Ausbuchtungen, d.h. die gesamte Wand des mittleren Aussparungsbereichs 102, dürfen sich nicht über das räumliche Volumen senkrecht unter dem Füllmaterial 4 des Grabens 3 hinaus erstrecken. Dieses Volumen hat die Breite w des Grabens und ist ein in eine Richtung unendlicher, zylindrischer Mantel, der sich unter dem Füllmaterial 4 des Grabens 3 erstreckt.

[0197] Das bedeutet, dass die Breite w des Grabens 3 in Abhängigkeit von der Toleranz der zweiten Ätz-

technik gewählt ist. Die seitliche Abmessung des Grabens 3 erstreckt sich mit der gegebenen Toleranz des Ätzschritts von einer angestrebten Position x der Seitenwand in beide Richtungen; das heißt, dass die Breite w das Zweifache der Toleranz beträgt.

[0198] Beispielsweise weist ein schnelles DRIE-Verfahren eine Toleranz von $\pm 15 \mu\text{m}$ auf. Daher wird die Breite w so gewählt, dass sie mindestens $15 \mu\text{m}$ beträgt.

[0199] Vorzugsweise wird die Breite w so gewählt, dass sie genau $15 \mu\text{m}$ beträgt. Dementsprechend kann der Graben 3 die Toleranz der zweiten Ätztechnik kompensieren, doch der Außenrand 32 des Grabens, und damit der Rand des oberen Aussparungsbereichs bei der derart zusammengebauten Vorrichtung (vergleiche unten), ist möglichst nahe am mittleren Durchmesser der Aussparung.

[0200] Vorzugsweise erfüllt der untere Aussparungsbereich die gleichen Bedingungen wie der mittlere Aussparungsbereich. Fig. 16 zeigt das zusammengebaute MEMS-Mikrofon 1.

[0201] Es wird aus der in Fig. 14 gezeigten Zwischenstruktur durch Anwenden einer dritten Ätztechnik gebildet.

[0202] Mit der dritten Ätztechnik wird der innere Abschnitt 82 der zweiten Isolierschicht 8 entfernt, wodurch die Öffnung 82' in der zweiten Isolierschicht 8 zwischen der Rückplattenschicht 9 und der Membranschicht 7 geschaffen wird. Die Öffnung 82' wird vom oberen Ätzstopper 81 umrahmt.

[0203] Des Weiteren wird der innere Abschnitt 62 der ersten Isolierschicht 6 mit der dritten Ätztechnik entfernt, wodurch die Öffnung 62' in der ersten Isolierschicht 6 unmittelbar unter der Membran geschaffen wird. Die Öffnung 62' wird vom unteren Ätzstopper 61 umrahmt.

[0204] Außerdem wird das Füllmaterial 4 mit der dritten Ätztechnik entfernt. Dadurch bildet der obere Aussparungsbereich 101 ein zusammengesetztes Volumen aus dem vorläufigen oberen Aussparungsbereich und dem Volumen des Grabens 3.

[0205] Demgemäß wird die Aussparung 10 vom oberen Aussparungsbereich 101, dem mittleren Aussparungsbereich 102 und dem unteren Aussparungsbereich 103 gebildet.

[0206] Der Durchmesser des mittleren Aussparungsbereichs 102 ist höchstens so groß wie der Durchmesser des oberen Aussparungsbereichs 101, d.h. der Durchmesser des Außenrands 32 des Grabens 3.

[0207] Vorzugsweise ist der Durchmesser des mittleren Aussparungsbereichs 102 kleiner als der Durchmesser des oberen Aussparungsbereichs 101, d.h. der Durchmesser des Außenrands 32 des Grabens 3.

[0208] Dadurch wird die Stufe 104 zwischen dem oberen Aussparungsbereich 101 und dem mittleren Aussparungsbereich 102 im Substrat 2 gebildet.

[0209] Während der Anwendung der dritten Ätztechnik wird auch eine Öffnung in die Siliciumnitridschicht 5 geätzt. Die Öffnung in der Siliciumnitridschicht 5 hat ungefähr den Durchmesser des oberen Aussparungsbereichs 101 und verbindet die Aussparung 10 mit der Öffnung 62' in der ersten Isolierschicht 6, wodurch ein Schallkanal in Richtung der Membranschicht gebildet wird.

[0210] Der mittlere Durchmesser des Schallkanals kann im Bereich von 500 bis 1700 µm liegen.

[0211] Die Außenabmessungen des MEMS-Mikrofons können beispielsweise 0,8 mm × 2 mm × 2 mm betragen.

[0212] Die dritte Ätztechnik kann eine beliebige Technik sein, die geeignet ist, um Siliciumoxid oder dotiertes Siliciumoxid wirksam zu ätzen, während sich die Ätzung auf Silicium und Siliciumnitrid weniger auswirkt.

[0213] Anders gesagt sind die Ätzraten von Siliciumoxid oder dotiertem Siliciumoxid bei der dritten Ätztechnik höher als die von Silicium und Siliciumnitrid.

[0214] Beispielsweise kann der dritte Ätzschritt ein gepufferter Oxidätzschritt auf der Basis von Fluorwasserstoff-Ätzen sein.

[0215] Die dritte Ätztechnik kann entweder einen gemeinsamen Ätzschritt oder zwei Teilschritte umfassen.

[0216] Im Falle eines gemeinsamen Ätzschritts kann die gepufferte Oxidätzlösung über die Aussparung 10 aufgebracht werden. Dabei löst die Ätzlösung zuerst das Füllmaterial 4 und ätzt langsam durch die dünne Nitridschicht 5. Dann ätzt die Lösung wiederum schnell durch das Siliciumoxid des inneren Abschnitts 62 der ersten Isolierschicht 6. Der untere Ätzstopper verhindert Überätzen der ersten Isolierschicht 6.

[0217] Durch Poren in der Membranschicht 7 kann die Ätzlösung zum inneren Abschnitt 82 der zweiten Isolierschicht gelangen und diesen auflösen.

[0218] Wenn die dritte Ätztechnik zwei Teilschritte umfasst, wird die Ätzlösung zuerst durch die Ausspa-

rung aufgebracht, um das Füllmaterial 4 zu lösen. Die Siliciumnitridschicht 5 stoppt die Ätzung. Die inneren Abschnitte 82 und 62 der zweiten und der ersten Isolierschicht 8 und 6 werden in einem unabhängigen Teilschritt von der Vorderseite her geätzt, also durch Poren in der Rückplattenschicht 9 und der Membranschicht 7.

[0219] Die Öffnung in der Siliciumnitridschicht 5 wird durch die kombinierte Ätzung beider Teilschritte ausgebildet.

[0220] Bei der derart zusammengebauten MEMS-Vorrichtung ist die über dem Schallkanal freistehende Fläche der Membranschicht 7 die aktive Membranfläche.

[0221] Der untere und der obere Ätzstopper 61 und 81 fungieren als die untere beziehungsweise die obere Membranaufhängung. Da sie aus spannungsarmem Siliciumnitrid sind, weisen sie eine hohe Zugfestigkeit auf. Daher kann die Membranaufhängung hohen Auslenkungen standhalten.

[0222] Fig. 17 zeigt eine schematische Draufsicht einer zweiten Ausführungsform eines Herstellungsverfahrens für ein MEMS-Mikrofon.

[0223] Fig. 17 zeigt die Ausbildung eines Grabens 3 in einem Substrat 2.

[0224] Bei der zweiten Ausführungsform haben der Schallkanal im Allgemeinen und somit der Graben 3 und die Aussparung 10 (nicht dargestellt) sowie alle anderen Öffnungen (nicht dargestellt) eine ovale Form anstatt einer kreisrunden Form.

[0225] Ansonsten entspricht die zweite Ausführungsform im Hinblick sowohl auf das Verfahren als auch die fertige Vorrichtung der ersten Ausführungsform, wie sie oben beschrieben wird.

[0226] Fig. 18 zeigt einen schematischen Querschnitt einer dritten Ausführungsform eines MEMS-Mikrofons.

[0227] Die dritte Ausführungsform ähnelt der ersten und der zweiten Ausführungsform mit Ausnahme der folgenden Eigenschaften.

[0228] Die Membranschicht 7 und die Rückplattenschicht 9 sind beide mehrschichtig.

[0229] Die Membranschicht 7 umfasst eine untere Membranschicht 71, eine mittlere Membranschicht 72 und eine obere Membranschicht 73, die unmittelbar übereinander angeordnet sind. Das bedeutet, dass die mittlere Membranschicht 72 sandwichartig von der oberen und der unteren Membranschicht 71 und 73 umschlossen wird.

[0230] Die obere und die untere Membranschicht 71 und 73 sind Schichten aus spannungsarmem Siliciumnitrid und die mittlere Membranschicht 72 ist eine Schicht aus dotiertem Polysilicium. Beide können mit LPCVD-Verfahren deponiert werden.

[0231] Das dotierte Polysilicium sorgt für die Leitfähigkeit der Membran 7. Das spannungsarme Siliciumnitrid erhöht die Widerstandsfähigkeit und isoliert außerdem die mittlere Membranschicht 72.

[0232] Des Weiteren ist der untere Ätzstopper 61 als Teil der Membranschicht 7 ausgebildet.

[0233] Hierzu wird eine V-förmige Einkerbung in der ersten Isolierschicht 6 ausgebildet und die Membranschichten 71, 72, 73 werden auf die derart ausgebildete Struktur abgeschieden, ohne gesondert einen Ätzstopper zu bilden. Hierdurch wird die V-Form in die Membranschicht 7 übertragen, wodurch der untere Ätzstopper 61 gebildet wird.

[0234] Gleichermaßen ist auch die Rückplattenschicht 9 mehrschichtig. Die Rückplattenschicht 9 umfasst eine untere Rückplattenschicht 91, eine mittlere Rückplattenschicht 92 und eine obere Rückplattenschicht 93, die unmittelbar übereinander angeordnet sind. Das bedeutet, dass die mittlere Rückplattenschicht 92 sandwichartig von der oberen und der unteren Rückplattenschicht 91 und 93 umschlossen wird. Die untere und die obere Rückplattenschicht 91 und 93 sind Schichten aus spannungsarmem Siliciumnitrid und die mittlere Rückplattenschicht 92 ist eine Schicht aus dotiertem Polysilicium. Beide können mit LPCVD-Verfahren deponiert werden.

[0235] Das dotierte Polysilicium sorgt für die Leitfähigkeit der Membran. Das spannungsarme Siliciumnitrid isoliert die mittlere Rückplattenschicht 92.

[0236] Des Weiteren ist der obere Ätzstopper 81 als Teil der Rückplattenschicht 9 ausgebildet.

[0237] Hierzu wird eine V-förmige Aussparung in der zweiten Isolierschicht 8 ausgebildet und es werden die Rückplattenschichten 91, 92, 93 auf die derart ausgebildete Struktur abgeschieden, ohne dass gesondert Ätzstopper ausgebildet wird. Hierdurch wird die V-Form in die Rückplattenschicht 9 übertragen, wodurch der obere Ätzstopper 81 ausgebildet wird.

[0238] Durch das Ausbilden der Ätzstopper 61 und 81 aus der Membranschicht und der Rückplattenschicht können zusätzliche Ausbildungsschritte vermieden werden, wodurch der Herstellungsprozess effizienter wird.

[0239] Des Weiteren zeigt **Fig. 18** explizit einen strukturierten inneren Bereich 94 der Rückplatte 9.

Bezugszeichenliste

1	MEMS-Mikrofon
2	Substrat
21	obere Substratfläche
22	untere Substratfläche
3	Graben
31	Innenrand des Grabens
32	Außenrand des Grabens
4	Füllmaterial
5	Siliciumnitridschicht
6	erste Isolierschicht
61	unterer Ätzstopper
62	innerer Abschnitt der ersten Isolierschicht
62'	Öffnung in der ersten Isolierschicht
7	Membranschicht
71	untere Membranschicht
72	mittlere Membranschicht
73	obere Membranschicht
8	zweite Isolierschicht
81	oberer Ätzstopper
82	innerer Abschnitt der zweiten Isolierschicht
82'	Öffnung in der zweiten Isolierschicht
9	Rückplattenschicht
91	untere Rückplattenschicht
92	mittlere Rückplattenschicht
93	obere Rückplattenschicht
10	Aussparung
10'	vorläufige Aussparung
101'	vorläufiger oberer Aussparungsbereich
101	oberer Aussparungsbereich
102	mittlerer Aussparungsbereich
103	unterer Aussparungsbereich
104	Stufe
d	Tiefe des Grabens
e	Abstand zwischen der von der Aussparung in der oberen Substratfläche gebildeten Kante und dem unteren Ätzstopper

w Breite des Grabens

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1), wobei

- ein Substrat (2) eine obere Substratfläche (21) und eine untere Substratfläche (22) umfasst und die untere Substratfläche (22) eine Fläche des Substrats (2) ist, die der oberen Substratfläche (21) entgegengesetzt ist,
- eine Membranschicht (7) über der oberen Substratfläche (21) aufgehängt ist,
- das Substrat (2) eine Aussparung (10) umfasst, die das Substrat (2) zwischen der unteren Substratfläche (22) und der oberen Substratfläche (21) durchdringt,
- die Membran (7) die Aussparung (10) überspannt,
- die Aussparung (10) einen oberen Aussparungsbereich (101), einen mittleren Aussparungsbereich (102) und einen unteren Aussparungsbereich (103) umfasst und der obere Aussparungsbereich (101) ein Teil der Aussparung (10) in unmittelbarer Nähe der oberen Substratfläche (21) ist, der mittlere Aussparungsbereich (102) ein Teil der Aussparung (10) unmittelbar unter dem oberen Aussparungsbereich (101) ist und der untere Aussparungsbereich (103) ein anderer Teil der Aussparung (10) als der obere Aussparungsbereich (101) und der mittlere Aussparungsbereich (102) ist,
- die parallel zur oberen Substratfläche (2) ermittelte Querschnittsfläche des oberen Aussparungsbereichs (101) größer als die entsprechende Querschnittsfläche des mittleren Aussparungsbereichs (102) ist,
- eine erste Isolierschicht (6) zwischen der oberen Substratfläche (21) und der Membranschicht (7) angeordnet ist,
- die erste Isolierschicht (6) eine Öffnung (62') umfasst, die von einem unteren Ätzstopper (61) umrahmt wird, und der untere Ätzstopper (61) in einem Abstand e auswärts von einer Kante des oberen Aussparungsbereichs (101) positioniert ist, und
- der untere Ätzstopper (61) eine höhere Zugfestigkeit als ein Hauptbestandteil der ersten Isolierschicht (6) aufweist.

2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei

- eine zweite Isolierschicht (8) unmittelbar über der Membranschicht (7) angeordnet ist,
- eine Öffnung (82') in der zweiten Isolierschicht (8) von einem oberen Ätzstopper (81) umrahmt wird,
- der obere Ätzstopper (81) eine höhere Zugfestigkeit als ein Hauptbestandteil der zweiten Isolierschicht (8) aufweist.

3. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 und 2, wobei

- eine Siliciumnitridschicht (5) direkt auf der oberen Substratfläche (21) angeordnet ist, und
- eine Öffnung in der Siliciumnitridschicht (5) min-

destens so breit wie die Öffnung der Aussparung (10) in der oberen Substratfläche (21) und höchstens so breit wie die Öffnung (62') in der ersten Isolierschicht (6) ist.

4. Vorrichtung (1) nach Anspruch 2, wobei

- das Substratmaterial Silicium ist,
- ein Material der zweiten Isolierschicht (8) und der ersten Isolierschicht (6) Siliciumoxid umfasst, und
- ein Material des unteren Ätzstoppers (61) und des oberen Ätzstoppers (81) mindestens einen Stoff umfasst, der aus Silicium und Siliciumnitrid ausgewählt ist.

5. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Vorrichtung (1) ein MEMS-Mikrofon ist.

6. Verfahren zum Ausbilden einer Vorrichtung (1), wobei

- ein Substrat (2) bereitgestellt wird, das eine obere Substratfläche (21) und eine untere Substratfläche (22) umfasst, die einander entgegengesetzt sind,
- ein durchgehender, in sich geschlossener Graben (3) mit einer Breite w und einer Tiefe d mit einem ersten Strukturierungsverfahren in der oberen Substratfläche (21) ausgebildet wird,
- der Graben (3) mit einem Füllmaterial (4) aufgefüllt wird,
- eine Membranschicht (7) über der oberen Substratfläche (21), die den gefüllten Graben (3) in sich einschließt, ausgebildet wird,
- eine vorläufige Aussparung (10') mit einer von der Seite der unteren Substratfläche (22) her angewandten zweiten Ätztechnik in dem Substrat (2) ausgebildet wird,
- die vorläufige Aussparung (10') einen vorläufigen oberen Aussparungsbereich (101') umfasst, der sich von der oberen Substratfläche (21) bis zur Tiefe d erstreckt, und der vorläufige obere Aussparungsbereich (101') vom Füllmaterial (4) des Grabens (3) umrahmt wird,
- ein mittlerer Aussparungsbereich (102) der Bereich der vorläufigen Aussparung (10') unmittelbar unter dem vorläufigen oberen Aussparungsbereich (101') ist,
- die Seitenwände des mittleren Aussparungsbereichs (102) innerhalb eines räumlichen Volumens senkrecht unter dem Graben (3) gelegen sind,
- ein unterer Aussparungsbereich (103) ein anderer Teil der vorläufigen Aussparung (10') als der vorläufige obere Aussparungsbereich (101') und der mittlere Aussparungsbereich (102) ist,
- eine Aussparung (10) durch Entfernen des Füllmaterials (4) mit einer dritten Ätztechnik ausgebildet wird, wobei das Füllmaterial (4) derart gewählt wird, dass es eine höhere Ätzrate als das Substrat (2) bei der dritten Ätztechnik aufweist, und
- die Aussparung (10) den mittleren Aussparungsbereich (102), den unteren Aussparungsbereich (103)

und einen oberen Aussparungsbereich (101) umfasst und der obere Aussparungsbereich (101) von dem zusammengesetzten Volumen aus dem Graben (3) und dem vorläufigen oberen Aussparungsbereich (101') gebildet wird wobei

- eine erste Isolierschicht (6) zwischen der oberen Substratfläche (21) und der Membranschicht (7) ausgebildet wird,
- ein unterer Ätzstopper (61) in der ersten Isolierschicht (6) ausgebildet wird und der untere Ätzstopper (61) in einem Abstand e weg vom Außenrand (32) des Grabens (3) positioniert wird, und
- das Material des unteren Ätzstoppers (61) eine geringere Ätzrate bei der dritten Ätztechnik als zumindest ein innerer Abschnitt (62) der ersten Isolierschicht (6) aufweist, der von dem unteren Ätzstopper (61) umrahmt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Breite w des Grabens (3) mindestens das Zweifache der Toleranz der zweiten Ätztechnik beim Ausbilden des mittleren Aussparungsbereichs (102) beträgt.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, wobei das Füllmaterial (4) derart gewählt wird, dass es eine geringere Ätzrate als das Substrat (2) bei der zweiten Ätztechnik aufweist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, wobei das auf die obere Substratfläche (21) angewendete erste Strukturierungsverfahren eine geringere Toleranz als die auf das Substrat (2) angewendete zweite Ätztechnik aufweist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei die Toleranz des auf die obere Substratfläche (21) angewendeten ersten Strukturierungsverfahrens mindestens zehnmal kleiner als die Toleranz der auf das Substrat (2) angewendeten zweiten Ätztechnik ist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 10, wobei die Toleranz des auf die obere Substratfläche (21) angewendeten ersten Strukturierungsverfahrens $\pm 1 \mu\text{m}$ oder weniger beträgt und die Toleranz der auf das Substrat (2) angewendeten zweiten Ätztechnik $\pm 15 \mu\text{m}$ oder weniger beträgt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 11, wobei

- das Substratmaterial Silicium ist,
- das Füllmaterial (4) mindestens eines ist, das aus der Gruppe ausgewählt ist, die Siliciumoxid, Phosphorsilicatglas und Borphosphorsilicatglas umfasst,
- das erste Strukturierungsverfahren eine langsame reaktive Ionentiefenätztechnik ist, die von der Seite der oberen Substratfläche (21) her angewendet wird,
- die zweite Ätztechnik eine schnelle reaktive Ionentiefenätztechnik ist, die von der Seite der unteren

Substratfläche (22) her angewendet wird, und

- die dritte Ätztechnik eine gepufferte Oxidätztechnik ist.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 12, wobei unmittelbar nach dem Auffüllen des Grabens (3) mit dem Füllmaterial (4) ein chemisch-mechanischer Polierschritt auf die obere Substratfläche (21) und den gefüllten Graben (3) angewendet wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 13, wobei

- eine zweite Isolierschicht (8) über der Membranschicht (7) ausgebildet wird,
- ein oberer Ätzstopper (81) in der zweiten Isolierschicht (8) ausgebildet wird, und
- das Material des oberen Ätzstoppers (81) eine geringere Ätzrate bei der dritten Ätztechnik als zumindest ein innerer Abschnitt (82) der zweiten Isolierschicht aufweist, der von dem oberen Ätzstopper umrahmt wird.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei der innere Abschnitt (62) der ersten Isolierschicht (6), der von dem unteren Ätzstopper (61) umrahmt wird, und der innere Abschnitt (82) der zweiten Isolierschicht (8), der von dem oberen Ätzstopper (81) umrahmt wird, während der dritten Ätztechnik entfernt werden.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 13, wobei

- eine Siliciumnitridschicht (5) vor dem Ausbilden der ersten Isolierschicht (6) direkt auf der oberen Substratfläche (21) ausgebildet wird, und
- die Siliciumnitridschicht (5) in einem Abschnitt entfernt wird, der senkrecht über dem oberen Aussparungsbereich (101) angeordnet ist.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 14, wobei

- das Material der zweiten Isolierschicht (8) und der ersten Isolierschicht (6) Siliciumoxid umfasst, und
- das Material des unteren Ätzstoppers (61) und des oberen Ätzstoppers (81) mindestens einen Stoff umfasst, der aus Silicium und Siliciumnitrid ausgewählt ist.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 17, wobei die Vorrichtung (1) ein MEMS-Mikrofon ist.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig 1

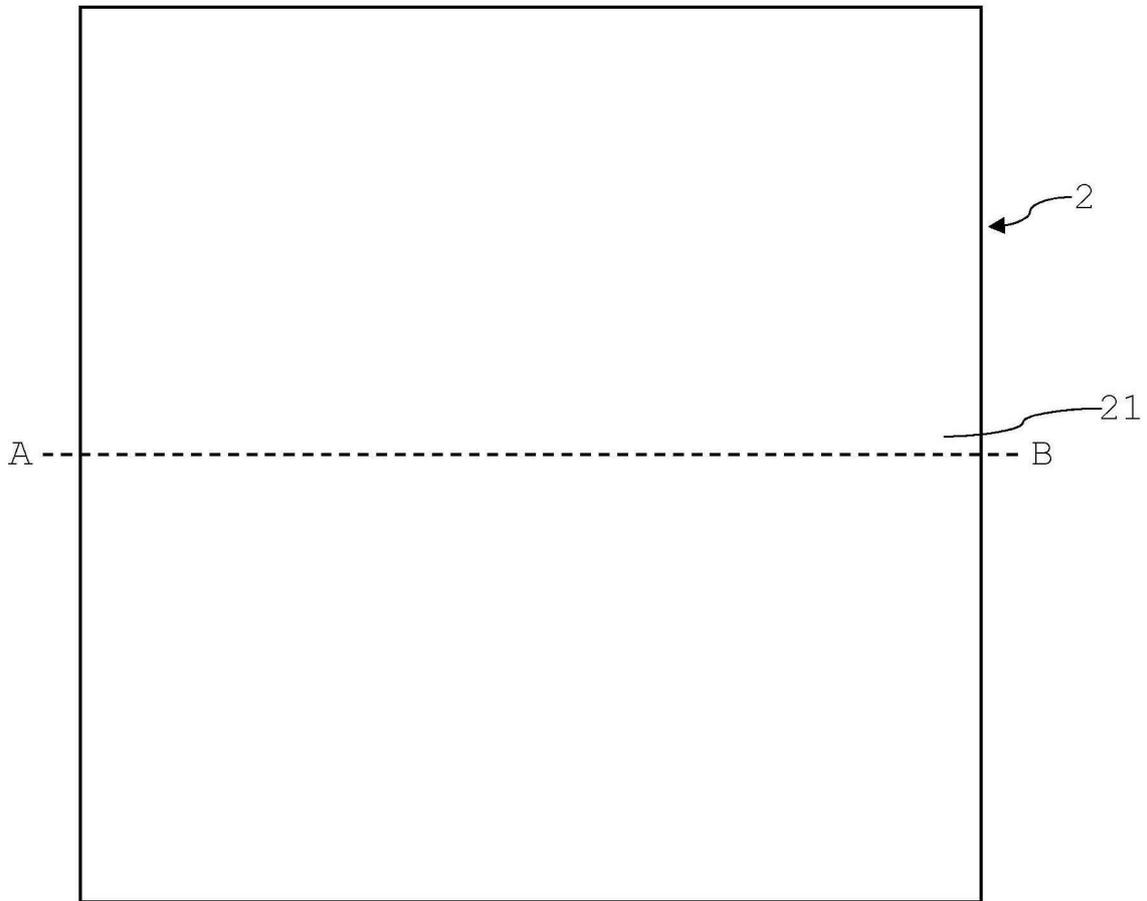


Fig 2



Fig 3

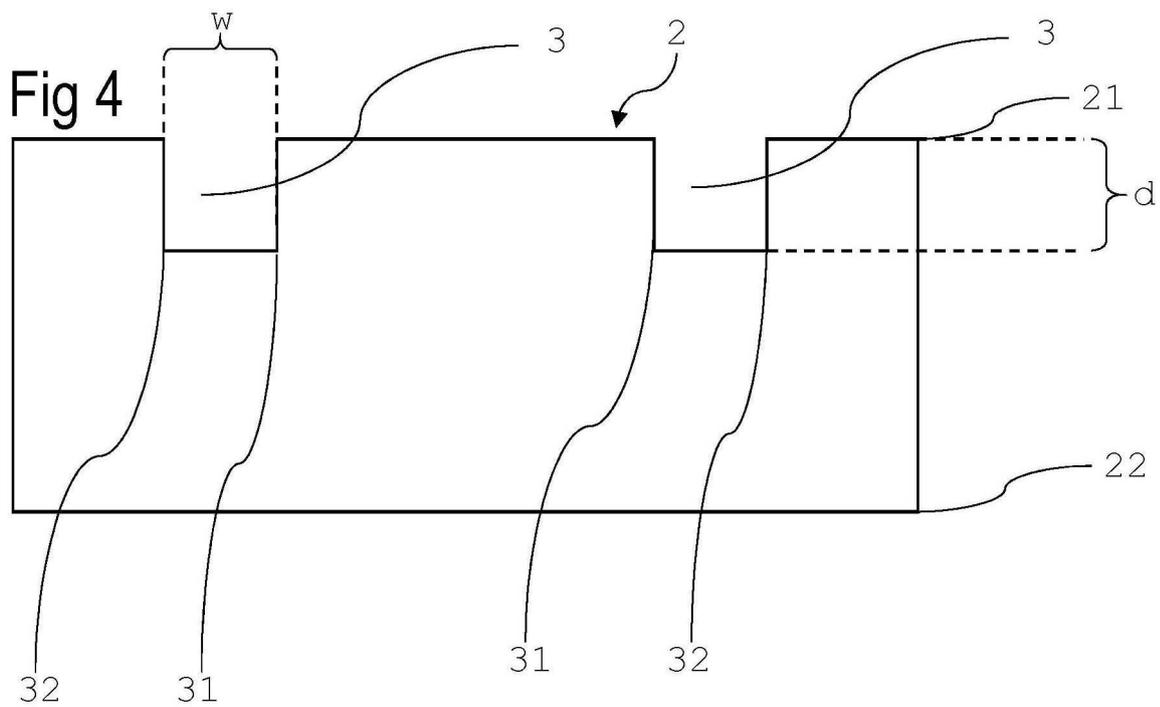
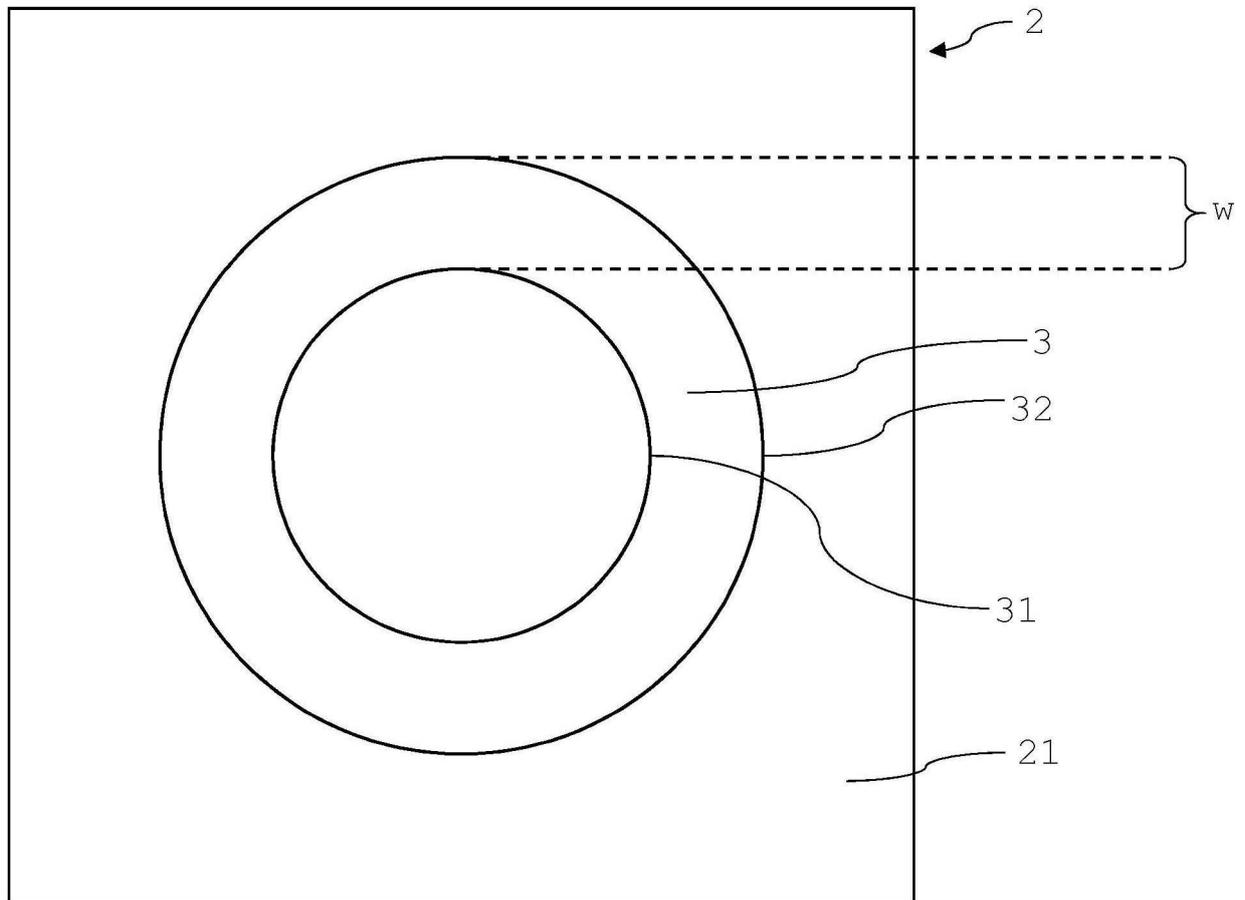


Fig 5

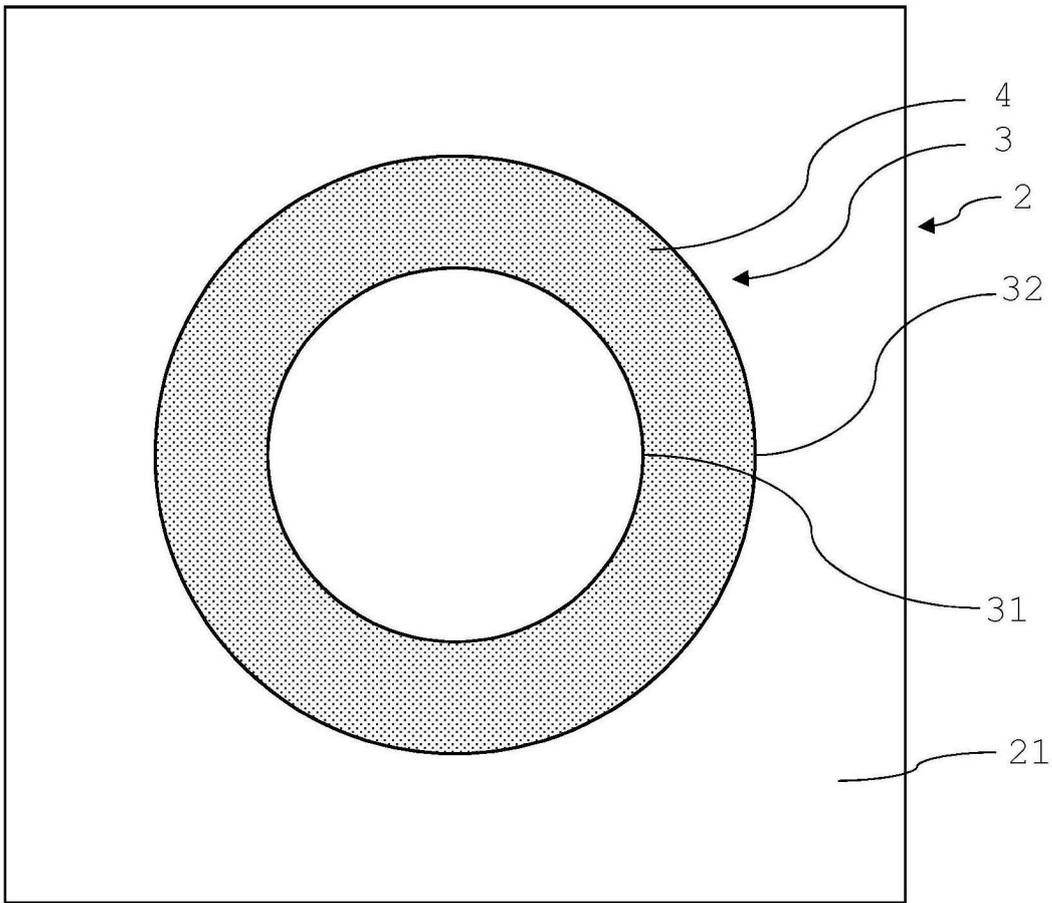


Fig 6

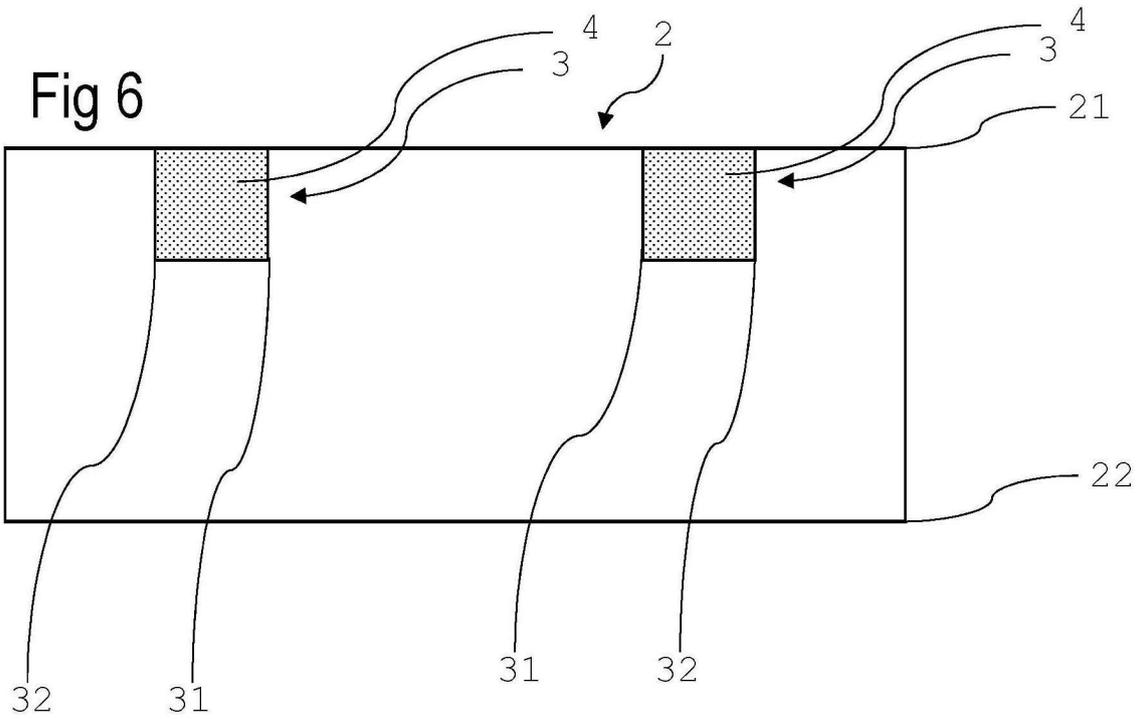


Fig 7

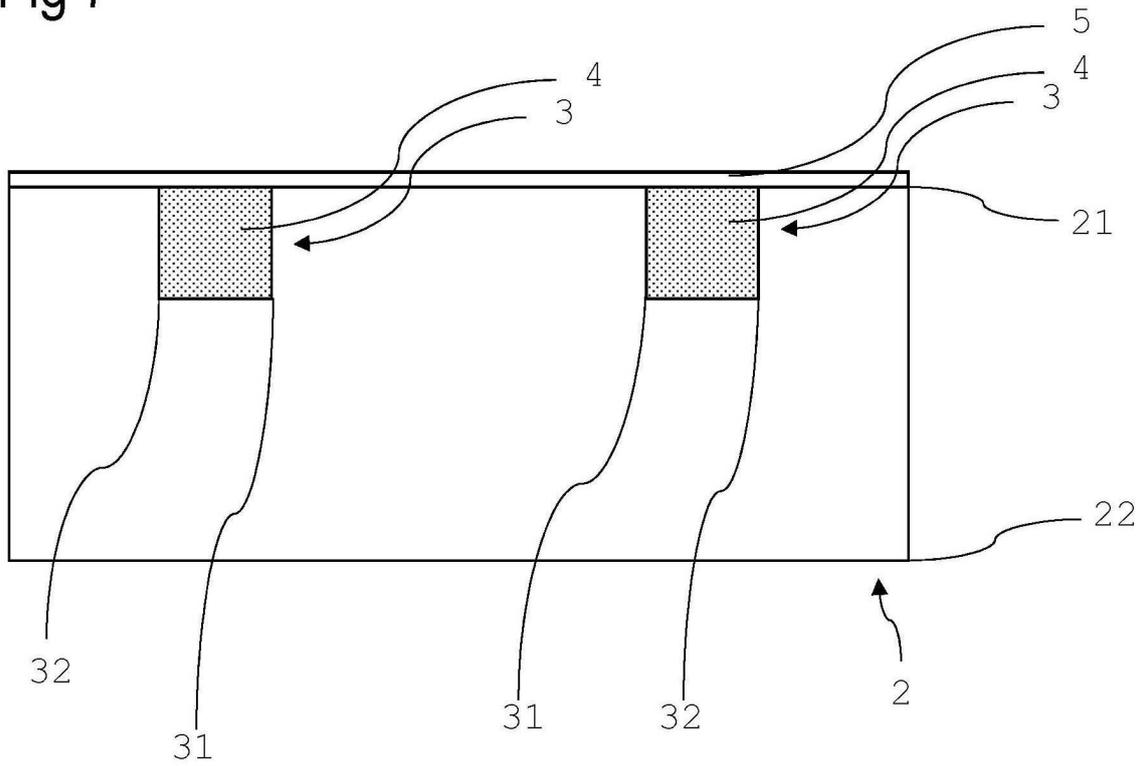


Fig 8

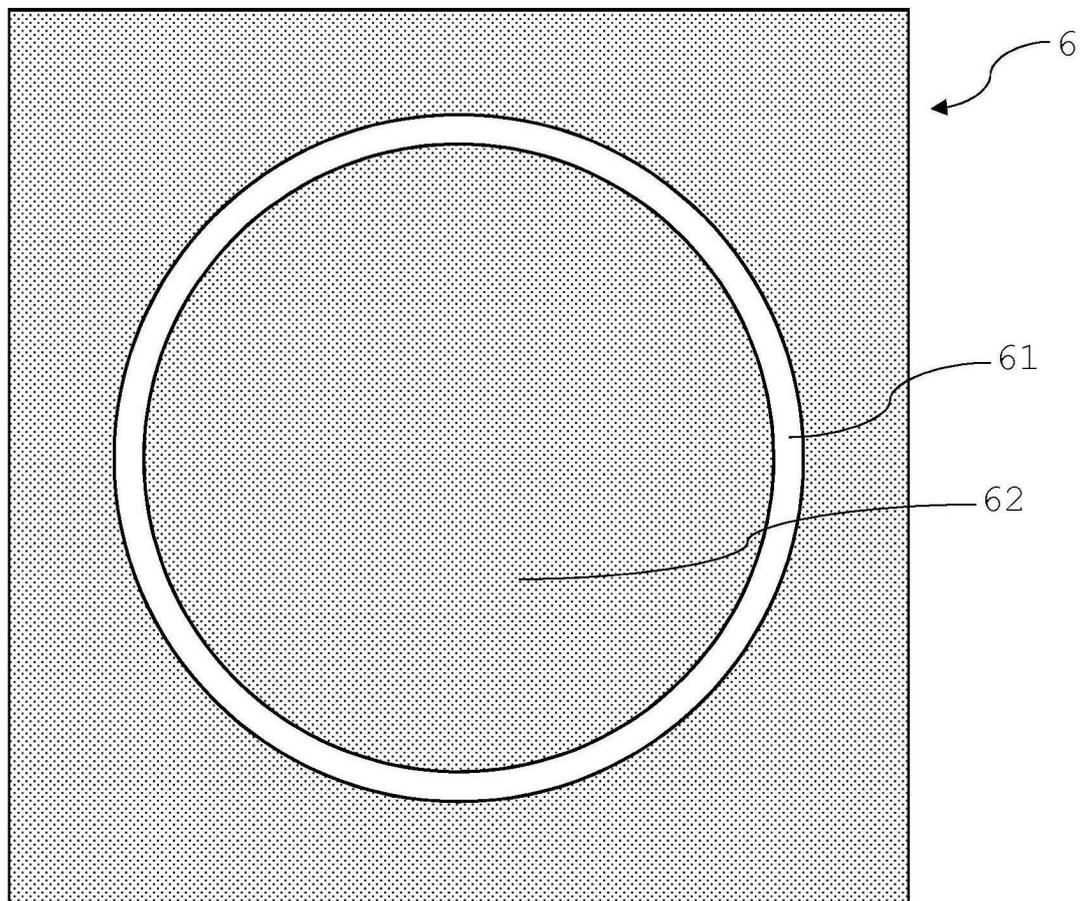


Fig 9

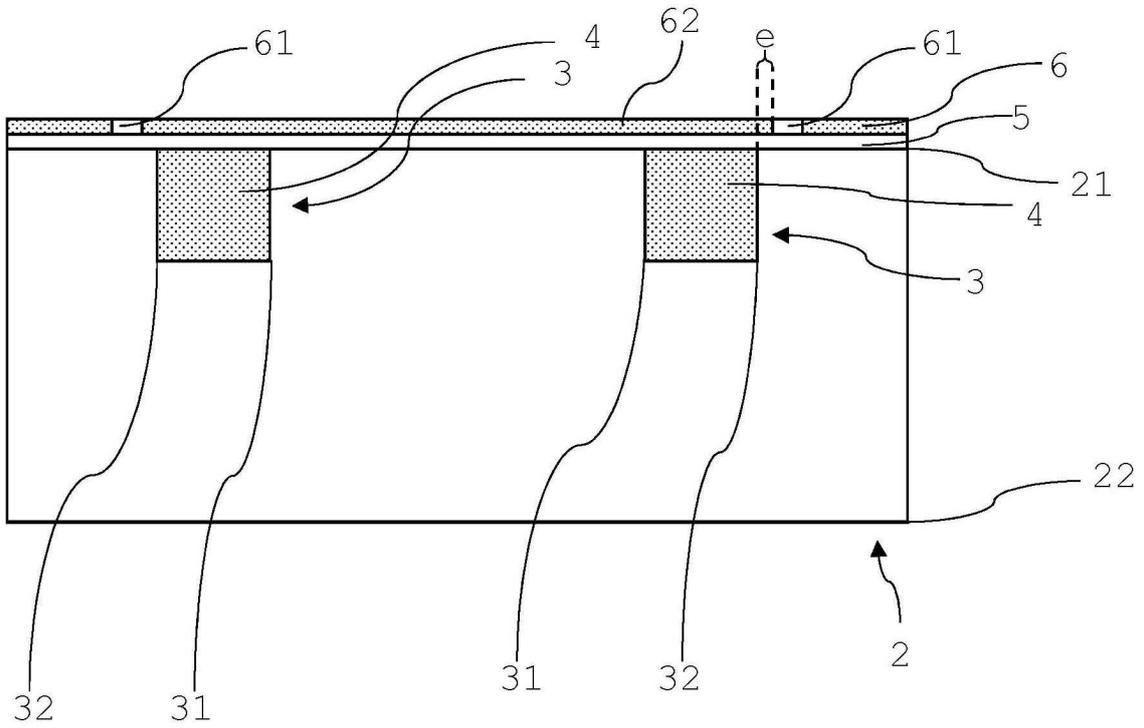


Fig 10

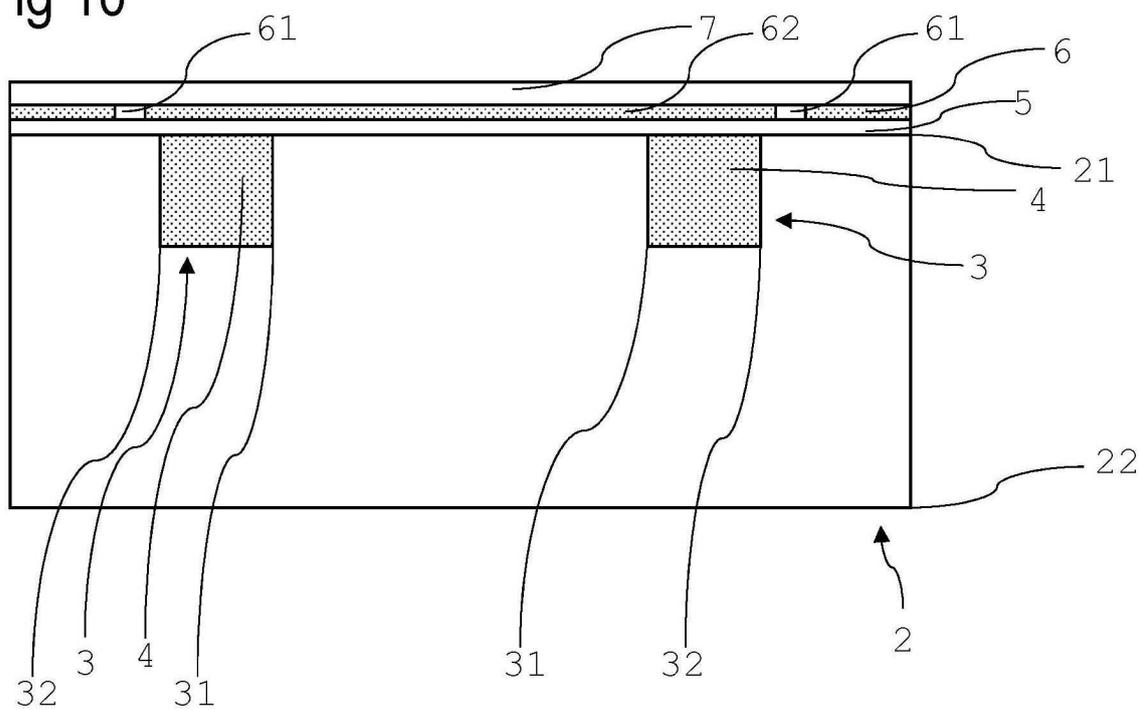


Fig 11

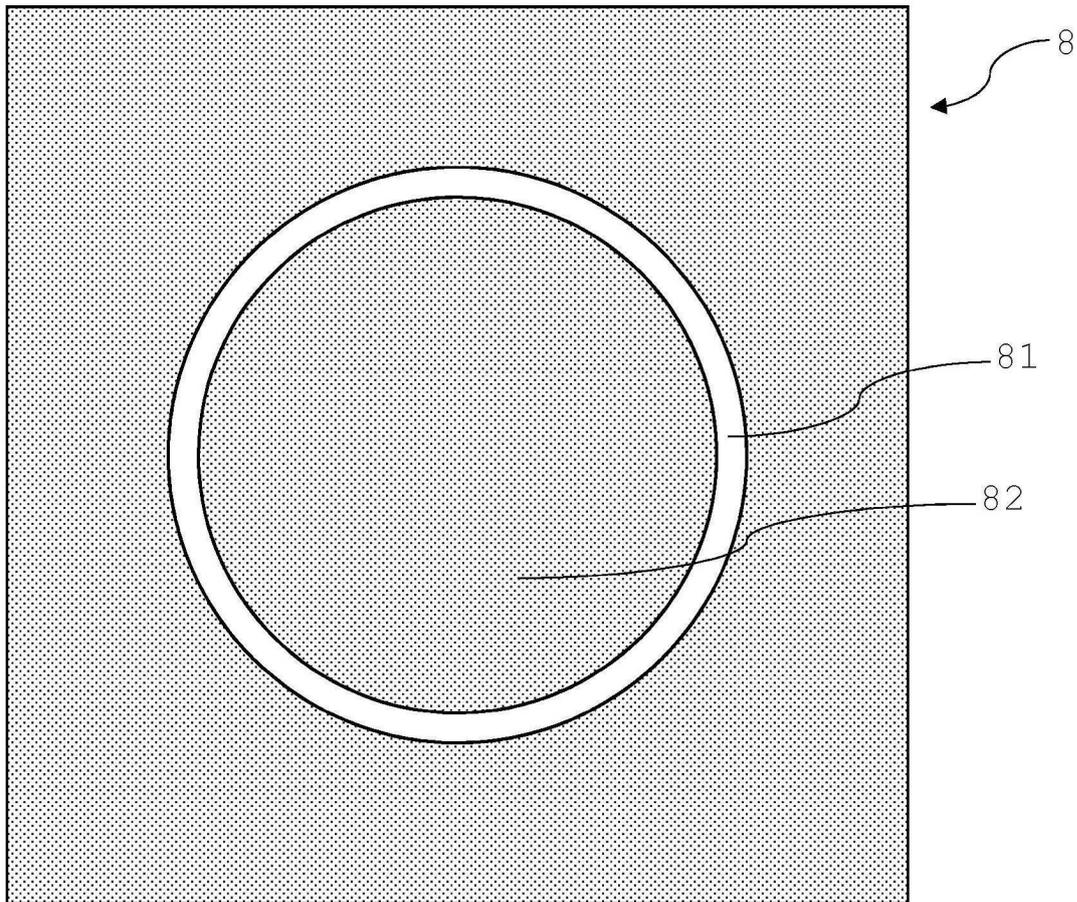


Fig 12

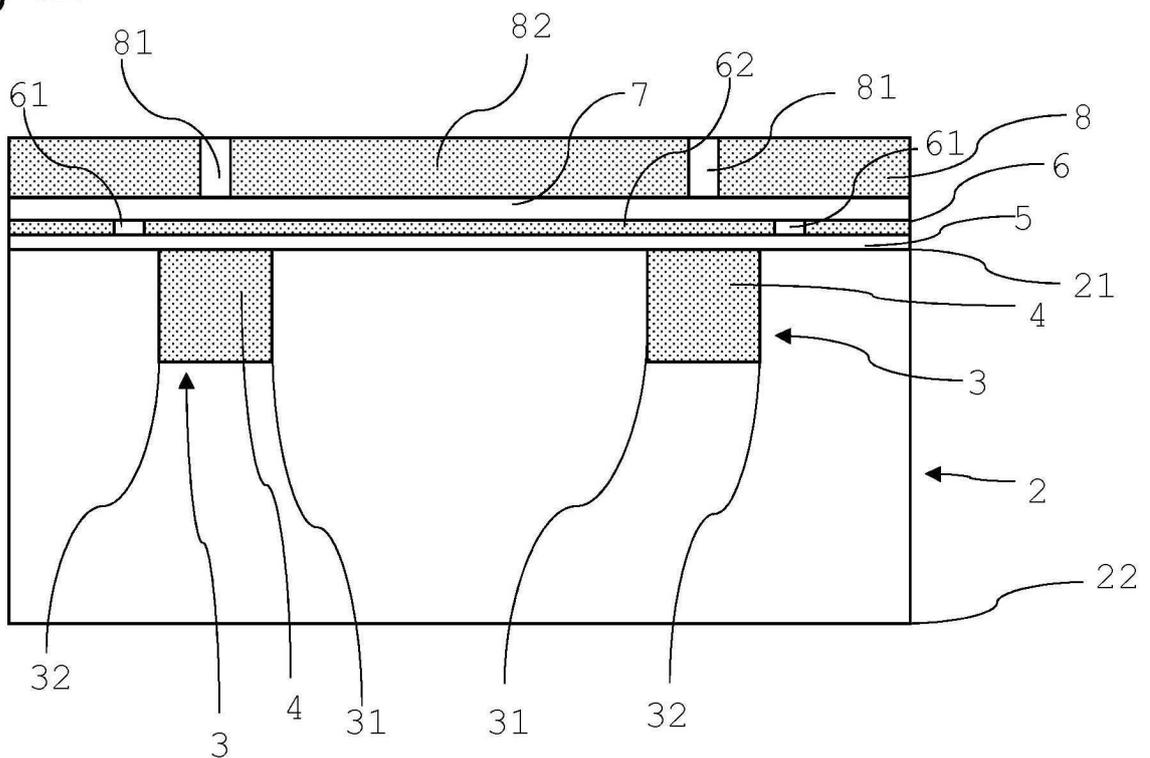


Fig 13

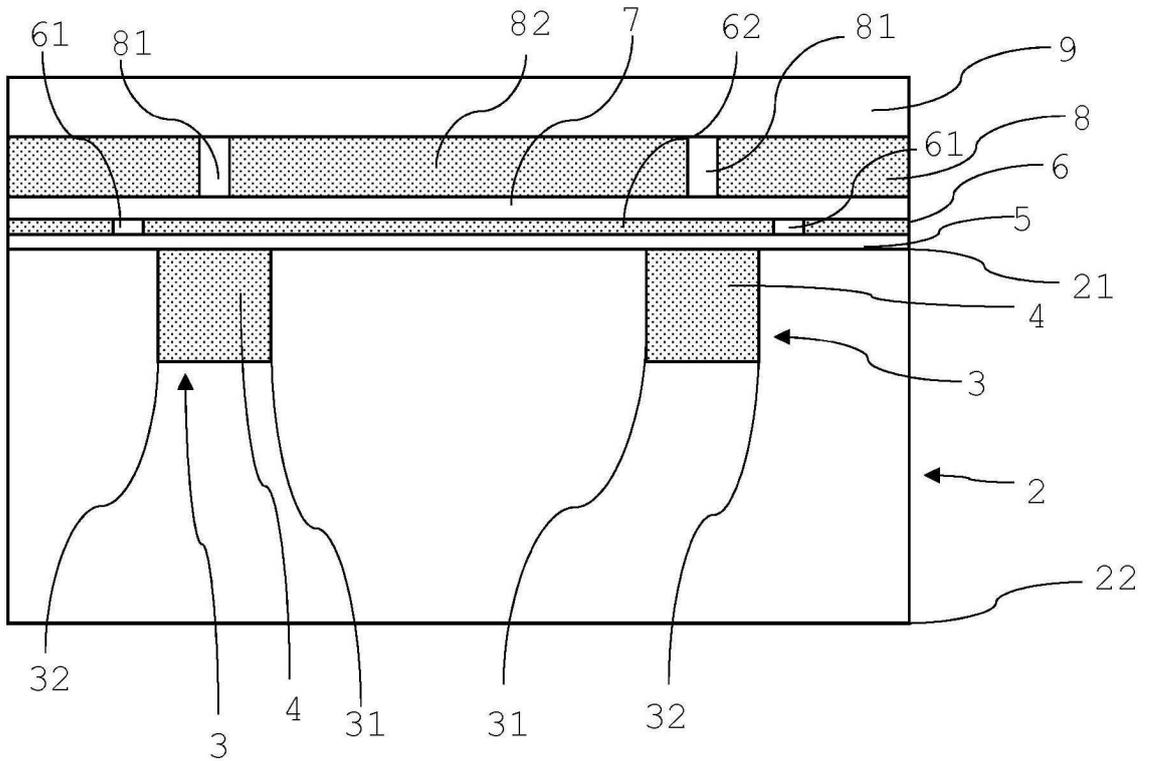


Fig 14

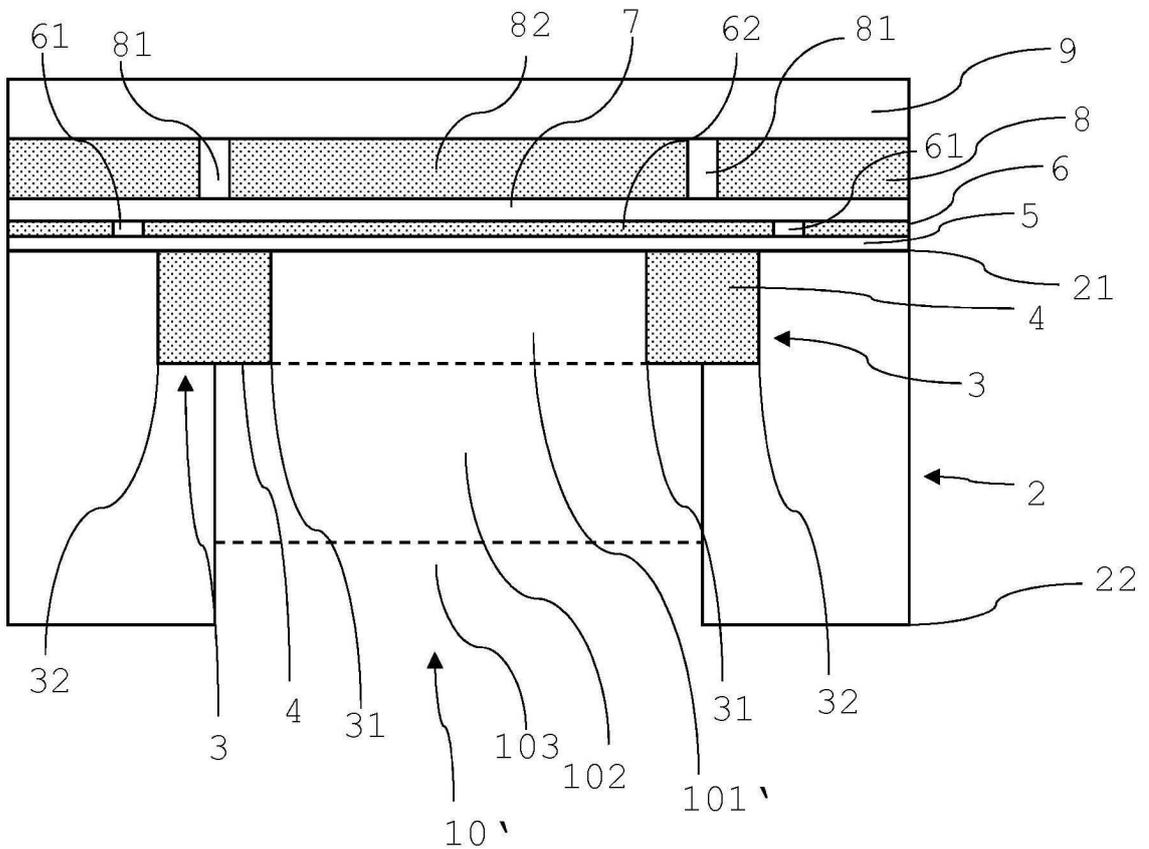


Fig 15

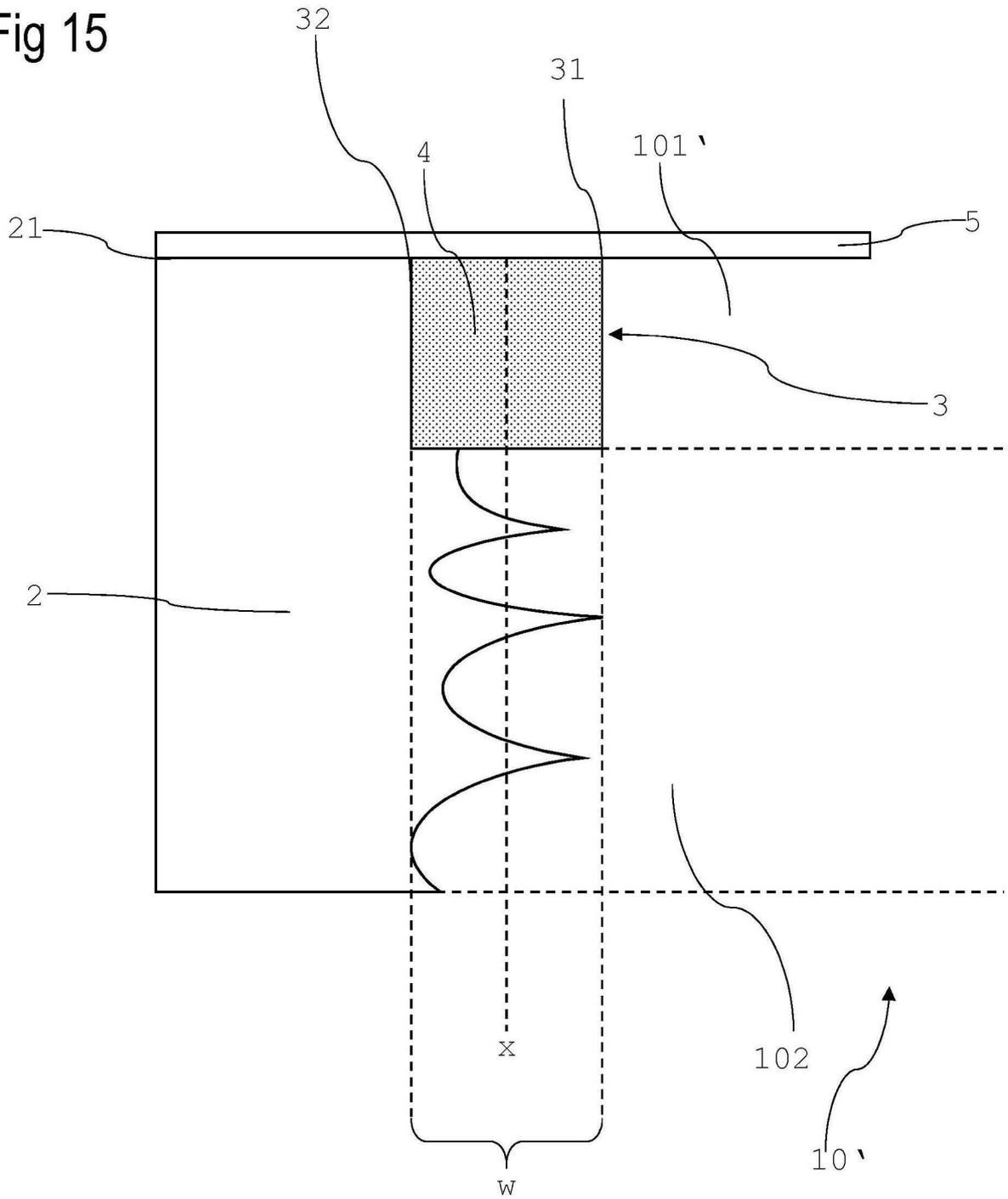


Fig 16

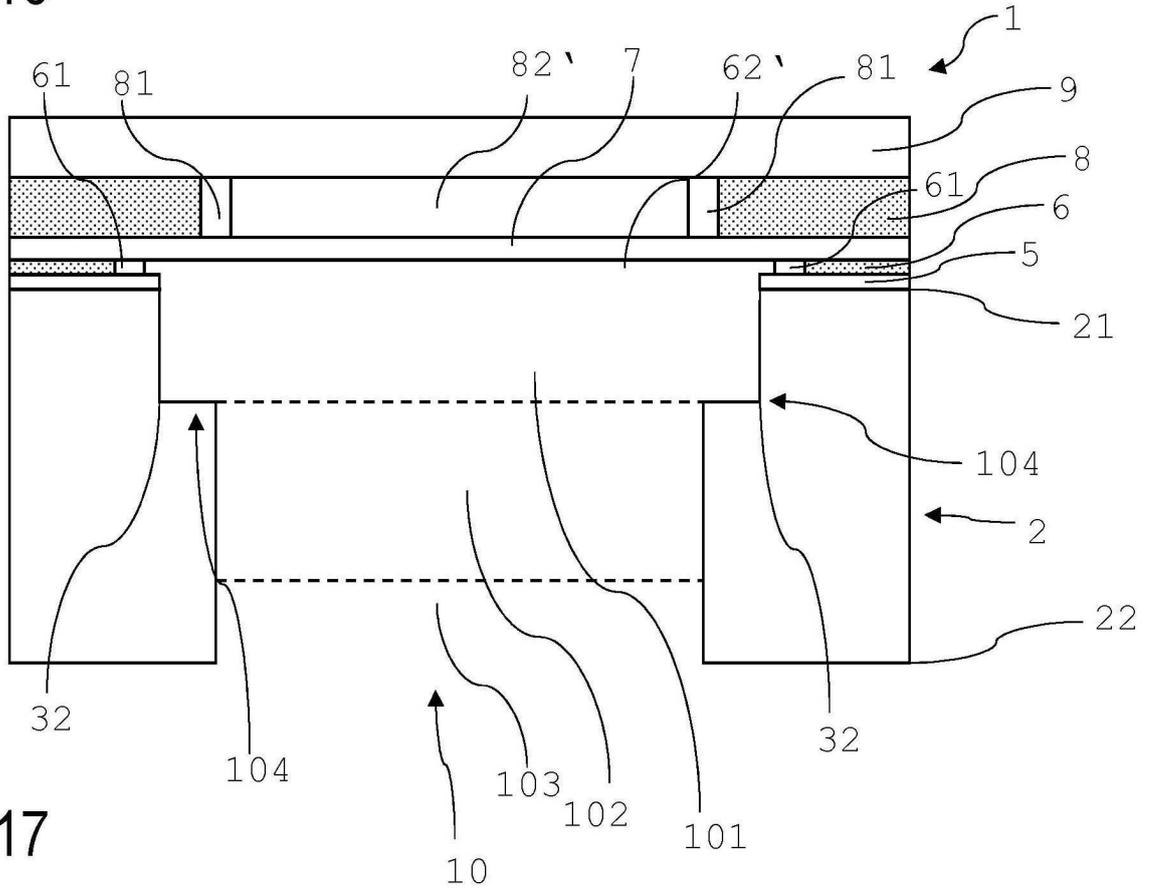


Fig 17

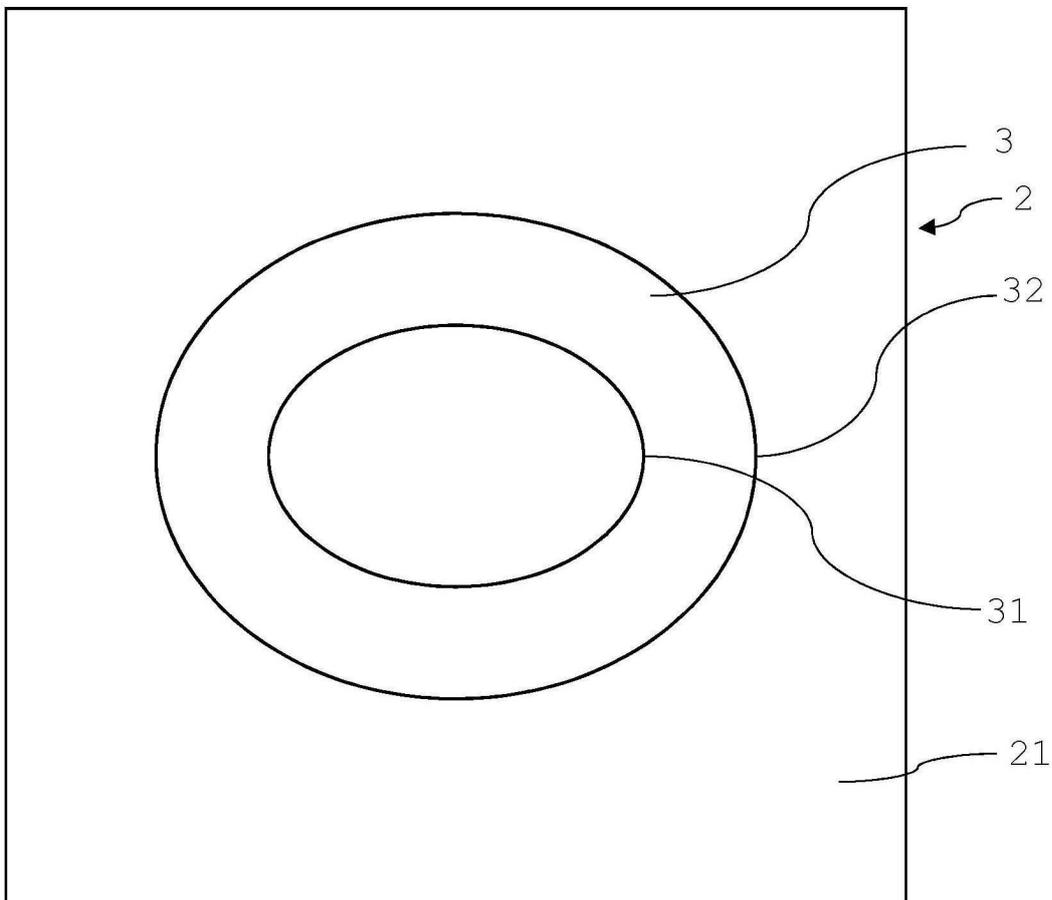


Fig 18

