(19) österreichisches patentamt

(10) **AT 519160 A2 2018-04-15**

(12) Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: A 50726/2017
(22) Anmeldetag: 31.08.2017
(43) Veröffentlicht am: 15.04.2018

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

(30) Priorität:
08.09.2016 DE 102016217123.2 beansprucht.

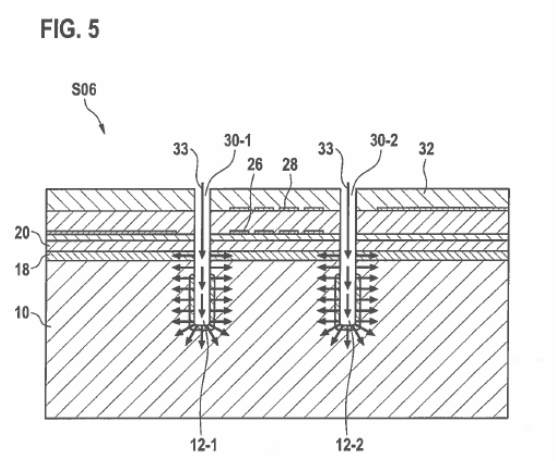
(71) Patentanmelder:
Robert Bosch GmbH
70442 Stuttgart (DE)

(74) Vertreter:
Puchberger & Partner Patentanwälte
1010 Wien (AT)

AT 519160 A2 2018-04-15

(54) **Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils und mikromechanisches Bauteil**

(57) Die Erfindung schafft ein Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils und ein mikromechanisches BauteiL Das Verfahren umfasst die Schritte: Ausbilden mindestens eines Hohlraums (12·1, 12·2) in einem Substrat (10) mit einer Öffnung an einer Oberfläche des Substrats (10); Abscheiden einer Verschlussschicht (18) auf der Oberfläche des Substrats (10) zumindest bis die Öffnung des mindestens einen Hohlraums (12-1, 12·2) verschlossen ist; Ausbilden einer ersten dielektrischen Schicht (20) auf oder an der Verschlussschicht {18); Ausbilden mindestens eines Durchgangs (30-1, 30-2} zu dem mindestens einen Hohlraum (12-1, 12·2) durch zumindest die erste dielektrische Schicht (20} hindurch; Einleiten (S06} eines Ätzgases (33), gegen welches die erste dielektrische Schicht (20) ätzresistent ist, durch den Durchgang (30-1, 30-2) in den mindestens einen Hohlraum (12-1, 12-2) zum Ätzen einer Kaverne in dem Substrat (10).



Zusammenfassung

Die Erfindung schafft ein Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils und ein mikromechanisches Bauteil. Das Verfahren umfasst die Schritte: Ausbilden mindestens eines Hohlraums (12-1, 12-2) in einem Substrat (10) mit einer Öffnung an einer Oberfläche des Substrats (10); Abscheiden einer Verschlussschicht (18) auf der Oberfläche des Substrats (10) zumindest bis die Öffnung des mindestens einen Hohlraums (12-1, 12-2) verschlossen ist; Ausbilden einer ersten dielektrischen Schicht (20) auf oder an der Verschlussschicht (18); Ausbilden mindestens eines Durchgangs (30-1, 30-2) zu dem mindestens einen Hohlraum (12-1, 12-2) durch zumindest die erste dielektrische Schicht (20) hindurch; Einleiten (S06) eines Ätzgases (33), gegen welches die erste dielektrische Schicht (20) ätzresistent ist, durch den Durchgang (30-1, 30-2) in den mindestens einen Hohlraum (12-1, 12-2) zum Ätzen einer Kaverne in dem Substrat (10).

(Fig. 5)

Beschreibung

Titel

Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils und mikromechanisches Bauteil

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils, insbesondere eines mikromechanischen Bauteils mit einer über einer Kaverne angeordneten Membran sowie ein mikromechanisches Bauteil mit einer über einer Kaverne angeordneten Membran.

Stand der Technik

Bei der Herstellung von mikromechanischen Sensoren, zum Beispiel Gassensoren, werden häufig Strukturen benötigt, welche eine von einer Membran abgedeckte, aber nach außen für Gase zugängliche Kaverne aufweisen. Bei mikromechanischen Gassensoren werden beispielsweise sogenannte Micro-Hotplates eingesetzt. Micro-Hotplates sind dazu ausgebildet, um Pastendots, welche zur Gassensierung eingesetzt werden, mit geringer Leistung auf eine definierte Betriebstemperatur heizen zu können.

Herkömmlicherweise werden solche mikromechanischen Sensoren durch die Freistellung der Membran an der Substrat-Vorderseite von der Substrat-Rückseite aus hergestellt, wobei das Substrat oft ein Wafer ist, auf dem eine Vielzahl von Sensoren gleichzeitig hergestellt wird. Hierbei müssen die Wafer jedoch mit der Vorderseite nach unten auf einen Chuck aufgelegt werden, was zu einer Beanspruchung und beispielsweise zu Kratzern auf der späteren Membran auf der Substrat-Vorderseite führen kann.

Alternativ ist es bekannt, dass Membranen durch eine ausschließliche Prozessierung einer Substrat-Vorderseite hergestellt werden können. Diese Art der Prozessierung wird Oberflächen-Mikromechanik (OMM) genannt. Bei der OMM-Technik wird beispielsweise Silizium im Bereich der späteren Membran durch Ätzzugänge im Membranschichtsystem herausgeätzt und so eine freitragende Membran geschaffen. Bei zunehmendem Ätzfortschritt laufen von dem jeweiligen Ätzzugang ausgehende Ätzfronten ineinander und bilden eine Kaverne unterhalb des Membranbereichs aus. Je nach Lage und Anzahl der Ätzzugänge ergibt sich hierbei eine mehr oder minder unregelmäßige oder raue Kavernenkante mit lokalen, in die Kaverne ragenden Kanten oder Spitzen. Solche Spitzen können an der Membraneinspannung Stresszentren darstellen, welche zu unerwünschten Nebenwirkungen führen können.

Fig. 16a) und Fig. 16b) zeigen schematisch ein mikromechanisches Bauteil 7 mit einer Membran über einer Kaverne 1 gemäß dem Stand der Technik. Fig. 16a) zeigt eine schematische Querschnittsdarstellung senkrecht zu einem Trägersubstrat 6 durch das mikromechanische Bauteil 7 gemäß dem Stand der Technik. Fig. 16b zeigt dasselbe Bauteil 7 gemäß dem Stand der Technik in einer Querschnittsdarstellung parallel zu dem Trägersubstrat 6. Durch eine Ätzstoppschicht 4 auf dem Trägersubstrat 6, sowie durch auf der Ätzstoppschicht 4 angeordnete weitere Schichten 2, werden Durchgänge 3 hindurch bis zu dem Trägersubstrat 6 gebohrt. Durch ein in die Durchgänge 3 eingeleitetes Ätzmittel wird die Kaverne 1 in dem Trägersubstrat geätzt. Dabei geht von jedem der Durchgänge 3 eine Ätzfront aus, welche ineinander übergehen. Hierdurch entsteht eine Kaverne 1 mit in die Kaverne hinein ragenden Ecken und Kanten 5, insbesondere an den lateralen Wänden der Kaverne 1.

Offenbarung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie ein mikromechanisches Bauteil mit den Merkmalen des Patentanspruchs 9 und ein mikromechanisches Bauteil mit den Merkmalen des Patentanspruchs 11.

Dementsprechend wird ein Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils bereitgestellt, mit den Schritten: Ausbilden mindestens eines Hohlraums in einem Substrat mit einer Öffnung an einer Oberfläche des Substrats; Abscheiden einer Verschlussschicht auf der Oberfläche des Substrats zumindest bis die Öffnung des mindestens einen Hohlraums verschlossen ist; Ausbilden einer ersten dielektrischen Schicht auf oder an der Verschlussschicht; Ausbilden mindestens eines Durchgangs zu dem mindestens einen Hohlraum durch zumindest die erste dielektrische Schicht und die Verschlussschicht hindurch; und Einleiten eines Ätzgases, gegen welches die erste dielektrische Schicht ätzresistent ist, durch den mindestens einen Durchgang in den mindestens einen Hohlraum zum Ätzen einer Kaverne in dem Substrat. Insbesondere wird zu dem Hohlraum mindestens ein Durchgang ausgebildet.

Soll ein erstes Element „auf" einer Außenseite eines zweiten Elements ausgebildet werden, so soll darunter sowohl verstanden werden, dass es unmittelbar an dem zweiten Element an der Außenseite, das heißt, der Außenfläche, des zweiten Elements ausgebildet wird, als auch, dass es mittelbar über dieser Außenseite ausgebildet wird. Soll das erste Element „an" der Außenseite des zweiten Elements ausgebildet werden, ist darunter zu verstehen, dass es unmittelbar an der Außenseite, das heißt, der Außenfläche, ausgebildet wird.

Soll das erste Element in Bezug auf ein zweites Element auf eine bestimmte Weise angeordnet werden, soll damit nicht notwendigerweise bestimmt sein, dass das zweite Element schon ausgebildet sein muss, wenn das erste Element ausgebildet wird. Vielmehr wird hier ein Endzustand beschrieben, welchen der Fachmann entsprechend der Beschreibung herzustellen weiß.

Weiterhin wird ein mikromechanisches Bauteil bereitgestellt, mit einer in einem Substrat ausgebildeten Kaverne, welche durch mindestens zwei Durchgänge mit einer Außenseite des Substrats verbunden ist, wobei alle Wände der Kaverne aus demselben Material wie das unbehandelte Substrat bestehen, und wobei an Übergängen von Wänden der Kaverne zu einer Decke der Kaverne keine ins Innere der Kaverne ragenden Spitzen oder Kanten ausgebildet sind.

Eine Kaverne kann durch Wände, eine Decke und einen Boden charakterisiert werden. Die Decke der Kaverne ist die der Außenseite, von der aus die Kaverne erzeugt wurde, am nächsten, und häufig parallel zu dieser, liegende Begrenzung der Kaverne. Der an die Decke der Kaverne angrenzende Bereich des Bauteils ist somit auch als eine Membran bezeichenbar. Ein jeweiliger Bereich, in welchem diese Membran oder Decke in die Wände übergeht, ist auch als Membraneinspannung bezeichenbar.

Außerdem wird ein mikromechanisches Bauteil bereitgestellt, mit: einer in einem Substrat ausgebildeten Kaverne, welche durch mindestens einen Durchgang mit einer Außenseite des Substrats verbunden ist; wobei die Kaverne eine Form aufweist, welche von einer bezüglich des Durchgangs als Mittelpunkt radialsymmetrischen Form abweicht. Mit anderen Worten weist die Kaverne vorteilhaft eine Form auf, welche nicht durch ein isotropes Ätzen von dem Durchgang aus herstellbar ist.

Vorteile der Erfindung

Durch das Ausbilden des mindestens einen Hohlraums und das anschließende Verschließen des mindestens einen Hohlraums durch die Verschlussschicht können in dem Substrat Hohlräume generiert werden, welche eine beliebige Form haben können. Durch entsprechendes Ausgestalten der Form des mindestens einen Hohlraums vor dem Verschließen durch die Verschlussschicht können somit vorteilhafte geometrische Formen der Kaverne erzeugt werden, welche bei herkömmlichen Verfahren auszubilden bisher nicht möglich war und die unabhängig sind von einer sich von einem Ätzzugang ausbildenden konzentrischen Ätzfront.

Während sich bei herkömmlichen Ätzverfahren Ätzfronten konzentrisch von einem jeweiligen Ätz-Ausgangspunkt in dem Substrat ausbreiten und dadurch an geometrischen Orten, an welchen die konzentrischen Ätzformen aufeinander treffen, Spitzen und Kanten erzeugen, kann durch vorheriges Ausbilden der Hohlräume in dem Substrat gemäß der vorliegenden Erfindung eine gleichmäßigere und glattere Ätzfront bewirkt werden. Dadurch ist die Kaverne in dem mikromechanischen Bauteil, vor allem in einem Bereich der

Membraneinspannung, d.h. in einem Bereich, in welchem eine Membran an dem restlichen mikromechanischen Bauteil befestigt ist, ohne nach innen in die Kaverne ragende Kanten und Spitzen ausbildbar. Dies gelingt insbesondere, ohne dass in dem Substrat als spätere Wände, oder andere Begrenzungen, der Kaverne Bereiche aus einem anderen Material, z.B. einem Ätzstopp-Material oder einem ätzresistenten Material, angelegt zu werden brauchen.

Durch gezielt angelegte Hohlräume kann ein Ort des Ätzangriffs auf das Substrat gesteuert werden, sodass dieser nicht unmittelbar von der Lage und Anzahl von Ätzzugangsöffnungen abhängt.

Über die Tiefe der erzeugten Hohlräume kann ein Höhe-zu-Breite Verhältnis der resultierenden Kaverne gesteuert werden. Insbesondere können die resultierenden Kavernen deutlich tiefer als breit hergestellt werden.

Darüber hinaus ist es erfindungsgemäß nicht notwendig, in aufwendiger Weise ätzresistente Begrenzungen, zum Beispiel Begrenzungswände, in dem Substrat auszubilden, um eine beliebige Kavernengeometrie ausbilden zu können, welche von einer Kavernenstruktur abweicht, welche durch eine einzelne sich konzentrisch ausbreitende Ätzfront oder ein Ineinanderlaufen oder Aufeinandertreffen mehrerer sich konzentrisch ausbreitender Ätzfronten erzielt wird.

Im Gegensatz etwa zu Kavernenstrukturen, welche zu einer Substrat-Rückseite hin offen sind, haben Membranen, die mit Hilfe der OMM-Technik hergestellt wurden, den Vorteil, dass bei diesen ein Eindringen von Chipkleber und/oder Underfill etwaiger benachbarter Bauteile über den rückseitigen Kavernenrand hinweg bis beispielsweise in den Membranbereich hinein ausgeschlossen ist. Dies ist umso vorteilhafter, je kleiner die geometrischen Abmessungen der mikromechanischen Bauteile sind.

Weitere Vorteile ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie aus der Beschreibung unter Bezugnahme auf die Figuren.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung wird der mindestens eine Hohlraum mit einer Hinterschneidung hinter die Oberfläche des Substrats ausgebildet. Mit anderen Worten kann ein Querschnitt, parallel zu der Oberfläche des Substrats, des mindestens einen Hohlraums bei geringerem Abstand von der Oberfläche des Substrats geringer sein als ein paralleler Querschnitt durch den mindestens einen Hohlraum bei größerem Abstand von der Oberfläche des Substrats. Beispielsweise kann der mindestens eine Hohlraum mit einem Querschnitt, senkrecht zur Oberfläche des Substrats, in Flaschenform, Dreiecksform oder dergleichen ausgebildet werden. Somit können Hohlräume geschaffen werden, welche ein tiefes und/oder breites Ätzen der Kaverne ermöglichen und gleichzeitig relativ schnell durch das Abscheiden der Verschlussschicht, und mit einer geringen Menge von abgeschiedenem Material, verschlossen werden können.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung werden im Bereich der Kaverne eine Heizstruktur und eine Elektrodenstruktur ausgebildet, wobei die Heizstruktur von der Elektrodenstruktur durch eine dielektrische Schicht isoliert ist. Insbesondere werden die Heizstruktur und die Elektrodenstruktur oberhalb der Kaverne, d.h. in oder an der Membran, ausgebildet.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird auf einer von der Kaverne abgewandten Seite der Elektrodenstruktur ein Pastendot ausgebildet. Somit kann das mikromechanische Bauteil als Gassensor, beispielsweise mit einer Micro-Hotplate, fungieren. Der Pastendot kann vor oder nach dem Einleiten des Ätzgases zum Ätzen der Kaverne ausgebildet bzw. angeordnet werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird der mindestens eine Hohlraum in einer kreisförmigen oder andersförmigen Ringstruktur ausgebildet. Auf diese Weise kann in dem durch die Ringstruktur umschlossenen Bereich später mit geringem Aufwand die freitragende Membran ausgebildet werden. Insbesondere kann in dem von der Ringstruktur umschlossenen Bereich eine Heizstruktur und/oder ein Pastendot angeordnet werden, wie voranstehend beschrieben. Der mindestens eine Hohlraum kann auch eine sternförmige Struktur oder eine mäanderförmige Struktur aufweisen. Somit kann eine laterale Umgebung des mindestens einen Hohlraums besonders schnell geätzt werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird der mindestens eine Hohlraum mittels eines Trench-Verfahrens ausgebildet. Somit kann der mindestens eine Hohlraum besonders präzise und mit einer gewünschten Form ausgebildet werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung weist die erste auf dem Substrat und dem verschlossenen Hohlraum abgeschiedene dielektrische Schicht Siliziumdioxid auf oder besteht aus Siliziumdioxid. Als Ätzgas kann Xenondifluorid, XeF_2, verwendet werden. Alternativ oder zusätzlich kann als Ätzgas auch Chlortrifluorid, ClF_3, verwendet werden.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung weist eine Tiefe der Kaverne in dem Substrat im Vergleich zu einer lateralen Ausdehnung der Kaverne in dem Substrat ein Verhältnis von größer als 1:2 auf, bevorzugt von größer als 1,2:2, besonders bevorzugt von größer als 1,5:2, insbesondere von größer als 2:2. Mit anderen Worten kann die Tiefe einer Kaverne größer ausgebildet werden als deren halbe laterale Abmessungen. Mit herkömmlichen Verfahren, bei denen das Substrat, ausgehend von Ätzzugängen im darüber befindlichen Schichtsystem, isotrop geätzt wird, ist es dagegen nur möglich Kavernen herzustellen, deren jeweilige laterale Abmessungen doppelt so groß wie deren jeweilige Tiefe sind. Bei der erfindungsgemäß hergestellten Kaverne des mikromechanischen Bauteils kann jedoch über die Tiefe der eingebrachten Hohlräume ein höheres Verhältnis von vertikaler zur lateraler Ausdehnung der Kaverne erreicht werden, wodurch das Bauteil vielseitiger für eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten verwendet werden kann. Unter der Tiefe der Kaverne ist zu verstehen, wie weit sich die Kaverne ausgehend von ihrer Decke aus in das Substrat hinein erstreckt. Die Tiefe der Kaverne kann insbesondere der Höhe der Wände der Kaverne gleich sein.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand der in den schematischen Figuren der Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 bis Fig. 7
schematische Querschnittsansichten zum Erläutern eines Verfahrens zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils gemäß einer Ausführungsform sowie ein mikromechanisches Bauteil gemäß einer weiteren Ausführungsform;

Fig. 8a) bis Fig. 15
schematische Darstellungen zum Erläutern von vorteilhaften Varianten gemäß weiteren Ausführungsformen; und

Fig 16a) und Fig. 16b)
schematisch ein mikromechanisches Bauteil mit einer Membran über einer Kaverne gemäß dem Stand der Technik.

In allen Figuren sind gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente und Vorrichtungen - sofern nichts anderes angegeben ist - mit denselben Bezugszeichen versehen. Die Nummerierung von Verfahrensschritten dient der Übersichtlichkeit und soll insbesondere nicht, sofern nichts anderes angegeben ist, eine bestimmte zeitliche Reihenfolge implizieren. Insbesondere können auch mehrere Verfahrensschritte gleichzeitig durchgeführt werden.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Im Folgenden wird anhand von Fig. 1 bis Fig. 7 ein Herstellungsverfahren gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben. Die Fig. 1 bis Fig. 7 zeigen jeweils schematische Querschnittsansichten durch ein mikromechanisches Bauteil 100 oder das in Herstellung befindliche mikromechanische Bauteil 100, wobei die Darstellungen nicht notwendigerweise maßstabsgetreu sind. Es soll verstanden werden, dass das gezeigte Herstellungsverfahren auch im großen Maßstab auf einem Wafer als Substrat durchgeführt werden kann, so dass nicht nur ein einzelnes mikromechanisches Bauteil 100 auf dem Wafer, sondern eine Vielzahl, beispielsweise eintausend oder mehr, gleich ausgebildete mikromechanische Bauteile 100 gleichzeitig auf

dem Wafer hergestellt werden können, wobei der Wafer für jedes der Bauteile 100 als Substrat fungiert.

Fig. 1 veranschaulicht, wie in einem Schritt S01 in einem Substrat 10 an einer Oberfläche 10-s des Substrats 10 mindestens ein Hohlraum 12-1, 12-2 mit einer jeweiligen Öffnung 14-1, 14-2 an der Oberfläche 10-s des Substrats 10 ausgebildet werden. Das Substrat 10 ist vorteilhaft ein Siliziumsubstrat. Somit lässt sich das Bauteil 100 vorteilhaft in großer Anzahl gleichzeitig auf einem Siliziumwafer als Substrat 10 herstellen.

In Fig. 1 sind beispielhaft zwei Hohlräume 12-1, 12-2 dargestellt, welche im Folgenden zusammenfassend auch als 12-i bezeichnet werden. Je nach der gewünschten endgültigen Form der Kaverne in dem mikromechanischen Bauteil 100 kann auch nur ein Hohlraum 12-i oder eine Vielzahl von Hohlräumen 12-i, insbesondere von drei oder mehr Hohlräumen, ausgebildet werden. Die Hohlräume 12-i in Fig. 1 können auch derart ausgebildet sein, dass sie miteinander innerhalb des Substrats 10 verbunden sind, so dass eigentlich ein einziger Hohlraum ausgebildet ist, welcher sich hinter und/oder vor der Papierebene der Fig. 1 ringförmig schließt.

Wo hier und im Folgenden auf einzelne Elemente des mindestens einen Hohlraums 12-i Bezug genommen wird, werden diese teilweise ebenfalls zusammenfassend mit dem Index „i" bezeichnet. Beispielsweise können die Öffnungen 14-1, 14-2 zusammenfassend als 14-i bezeichnet werden.

Fig. 2 veranschaulicht, wie in einem Verfahrensschritt S02 eine Verschlussschicht 18 auf der Oberfläche 10s des Substrats 10 abgeschieden wird, zumindest bis die jeweiligen Öffnungen 14-i des mindestens einen Hohlraums 12-i verschlossen sind. In dem in Fig. 2 gezeigten Fall wird somit solange die Verschlussschicht 18 abgeschieden, bis die erste Öffnung 14-1 des ersten Hohlraums 12-1 und die zweite Öffnung 14-2 des zweiten Hohlraums 12-2 beide verschlossen sind. Die Verschlussschicht 18 kann vorteilhaft aus demselben Material bestehen oder dasselbe Material aufweisen, aus welchem auch das Substrat 10 besteht.

Ist das Substrat 10 etwa ein Siliziumsubstrat, kann Silizium als Verschlussschicht 18 auf die Oberfläche 10-s des Substrats 10 abgeschieden werden. Vorteilhaft ist ein epitaktisches Abscheiden von Silizium (Epi-Silizium). Wenn das Silizium monokristallin aufgewachsen wird, hat dies den Vorteil, dass in späteren Prozessschritten eine Integration von elektrischen Bauteilen umgesetzt werden kann. Nach dem Abscheiden kann optional eine Planarisierung der von dem Substrat 10 abgewandten Oberfläche der Verschlussschicht 18 erfolgen. Die Planarisierung kann beispielsweise durch ein chemisch-mechanisches Planarisieren (CMP von engl. „chemical mechanical polishing" oder „chemical mechanical planarization") oder durch einen Plasmaplanarisierungsschritt erfolgen.

Die Dicke der abgeschiedenen Verschlussschicht 18 sowie der Abtrag von der Verschlussschicht 18 durch die Planarisierung werden dabei vorteilhaft derart gewählt, dass es dabei an keiner Stelle zum erneuten Eröffnen einer der Öffnungen 14-i der verschlossenen Hohlräume 12-i kommt.

Alternativ kann der mindestens eine Hohlraum 12-i mittels in einem chemischen Gasphasenabscheidungsprozess (CVD, von englisch „chemical vapour deposition"), insbesondere in einem Niederdruck-CVD (LPCVD, von englisch „low pressure chemical vapour deposition), abgeschiedenem Silizium verschlossen werden. Dabei entsteht eine polykristalline Verschlussschicht 18, welche in einem nachfolgenden Schritt strukturiert oder entfernt werden kann (z.B. mittels CMP), um das vorzugsweise monokristalline Substrat 10 freizulegen.

Gegenüber der Verwendung von LPCVD-Silizium hat das epitaktische Abscheiden von Silizium den Vorteil, dass das epitaktisch abgeschiedene Silizium monokristallin aufgewachsen wird, wodurch die Verschlussschicht 18 leichter weiterverarbeitbar ist. Zudem besitzt die epitaktische Abscheidung eine deutlich höhere Abscheiderate, was Vorteile beim Verschluss der Öffnungen 14-i hat und weiter die Herstellung dicker Schichten in kurzer Zeit ermöglicht.

Das epitaktische Abscheiden der Verschlussschicht 18 hat weiterhin den Vorteil, dass, insbesondere beim Abscheiden von Silizium, monokristalline Siliziumschichten vorliegen, wodurch es erleichtert wird, elektrische

Schaltungskomponenten auf dem mikromechanischen Bauteil 100 vorzusehen, beispielsweise um einen integrierten Gassensor zu realisieren. Auf diese Weise kann es möglich werden, eine Gassensierung, eine Auswertung und eine Verarbeitung der ausgewerteten Messsignale auf einem einzelnen Chip, nämlich dem mikromechanischen Bauteil 100, durchzuführen.

Fig. 3 veranschaulicht, wie in einem Schritt S03 eine erste dielektrische Schicht 20 auf der Verschlussschicht 18, insbesondere unmittelbar an der Verschlussschicht 18, ausgebildet wird. Die erste dielektrische Schicht 20 ist vorteilhaft gegenüber dem später verwendeten Ätzgas ätzresistent. Handelt es sich beispielsweise um das Ätzgas Xenondifluorid, XeF_2, oder das Ätzgas Chlortrifluorid, ClF_3, kann es sich bei der dielektrischen Schicht 20 vorteilhaft um Siliziumdioxid, SiO_2, handeln. Das Ausbilden der ersten dielektrischen Schicht 20 unmittelbar an der Verschlussschicht 18 hat den Vorteil, dass die erste dielektrische Schicht 20 bei dem späteren Ätzen der Kaverne ausgehend von den verschlossenen Hohlräumen 12-i den Ätzvorgang in ein sich optional darüber befindliches Schichtsystem blockiert. Das Herstellen der dielektrischen Schicht 20 kann hierbei mit Verfahren wie z.B. der thermischen Oxidation oder der CVD- PECVD- oder LPCVD-Abscheidung erfolgen

In einem optionalen Schritt S04 können vorteilhaft weitere Schichten 21 auf, insbesondere unmittelbar an, der ersten dielektrischen Schicht 20, insbesondere an einer von der Verschlussschicht 18 abgewandten Seite der ersten dielektrischen Schicht 20, ausgebildet werden. Als Teil der weiteren Schichten 21 können insbesondere verschiedene strukturierte metallische Schichten, beispielsweise Leiterbahnschichten 22, 24, eine Heizstruktur 26 und/oder eine Elektrodenstruktur 28 ausgebildet werden. Weiter können bei der Auswahl der weiteren Schichten 21 Schichten mit unterschiedlichem Schichtstress und/oder unterschiedlicher Wärmeleitung (z.B. LPCVD-Si_3N_4, PECVD-SiO_2, PECVD-Si_3N_4 etc.) Verwendung finden, um den Stress und die thermische Leitfähigkeit der Membran einstellen zu können Die Elektrodenstruktur 28 kann, beabstandet durch eine dielektrische Schicht, insbesondere direkt oberhalb der Heizstruktur 26 angeordnet sein.

Auf den weiteren Schichten 21 kann während der Prozessierung vorteilhaft eine Photolackschicht 32 ausgebildet werden, um Durchgänge 30-i zu den Hohlräumen 12-i herstellen zu können, wie in Fig. 4 und 5 dargestellt ist.

Fig. 4 erläutert schematisch einen Schritt S05, in welchem zu jedem der Hohlräume 12-i jeweils ein Durchgang 30-i durch die weiteren Schichten 21, zumindest aber durch die erste dielektrische Schicht 20 hindurch ausgebildet wird. Ist noch ein Teil der Verschlussschicht 18 vorhanden, können die Durchgänge 30-i auch durch die Verschlussschicht 18 hindurch ausgebildet werden. Die Durchgänge 30-i verlaufen insbesondere von dem jeweiligen Hohlraum 12-i an eine Außenseite der gesamten aktuellen Substratstruktur, das heißt bei dem vorliegend beschriebenen Ausführungsbeispiel verlaufen die Durchgänge 30-i nacheinander durch die Verschlussschicht 18, die erste dielektrische Schicht 20, die weiteren Schichten 21 und die Photolackschicht 32. Die Photolackschicht 32 kann als eine Photolackmaske ausgebildet und/oder verwendet werden. Die Durchgänge 30-i können mittels der Photolackschicht 32 durch Standardätzprozesse, wie beispielsweise Plasmaätzen und/oder Trenchen, ausgebildet werden.

Fig. 5 zeigt schematisch einen Schritt S06, bei welchem ein Ätzgas 33 durch den jeweiligen Durchgang 30-i bis in den jeweiligen Hohlraum 12-i eingeleitet wird, um das Substrat 10 ausgehend von den Hohlräumen 12-i zu ätzen. Wie bereits erläutert, ist es besonders vorteilhaft, wenn die erste dielektrische Schicht 20 gegen das Ätzgas 33 ätzresistent ist. Beispielsweise kann es sich bei dem Ätzgas um Xenondifluorid, XeF_2, oder um Chlortrifluorid, ClF_3, handeln und bei der ersten dielektrischen Schicht 20 um Siliziumdioxid, SiO_2, und hier vorteilhaft ein mittels thermischer Oxidation hergestelltes Siliziumoxid, handeln.

Fig. 6 veranschaulicht, wie sich das Ätzgas 33 nach Einleitung in den jeweiligen Hohlraum 12-i vorteilhaft ausbreiten kann. Ausgehend von jedem der Hohlräume 12-i bildet sich eine jeweilige Teil-Kaverne 34-i, welche vorteilhaft ineinander übergehen können, und somit gemeinsam auch eine einzige Kaverne 34 bilden können.

Fig. 7 veranschaulicht weitere mögliche Verfahrensschritte nach dem Ausbreiten des Ätzgases 33 und zeigt weiterhin das fertiggestellte Bauteil 100 in einer schematischen Querschnittsansicht.

Nach dem Ausbilden der Kaverne 34 kann in einem Schritt S07 die Photolackschicht 32 ganz oder teilweise wieder entfernt werden, um die weiteren Schichten 21 freizugeben.

In einem Schritt S08 kann weiterhin ein Pastendot 36 auf, insbesondere an, der Elektrodenstruktur 28 und vorzugsweise auch auf, d.h. über, der Heizstruktur 26 ausgebildet werden. Somit ist der Pastendot 36 durch die Heizstruktur 26 beheizbar und durch die Elektrodenstruktur 28 zur elektrischen Auswertung kontaktiert.

Das somit fertig ausgebildete mikromechanische Bauteil 100 kann daher beispielsweise als ein Gassensor oder als Teil eines Gassensors verwendet werden.

Im Folgenden wird anhand der Figuren Fig. 8a) bis Fig. 13b) erläutert, wie durch gezielt und mit speziellen geometrischen Formen angelegte Hohlräume ein Ätzangriff auf das Substrat 10 gesteuert werden kann, sodass dieser vorteilhaft nicht unmittelbar und ausschließlich von der Lage und Anzahl der Ätzzugangsöffnungen, d.h. der Durchgänge 30-i, abhängt. Insbesondere kann über die Tiefe der erzeugten Hohlräume ein Höhe-zu-Breite-Verhältnis der resultierenden Kaverne gesteuert werden.

Fig. 8a) und b) sowie Fig. 9a) und b) zeigen schematische Darstellungen, anhand welchen erläutert wird, auf welche Weise durch eine vorteilhafte Ausgestaltung von Hohlräumen in dem Substrat 10 eine gewünschte Kavernenstruktur einer Kaverne 34‘ erzielt und Spitzen und Kanten an der Membraneinspannung vermieden werden können.

Fig. 8a) und b) erläutern den Fall, dass als der mindestens eine Hohlraum ein Hohlraum 112 in dem Substrat 10 ausgebildet wurde, welcher beispielhaft durch vier Durchgänge 30-1, 30-2, 30-3, 30-4 mit der Außenseite der aktuellen

Bauteilstruktur verbunden ist. Fig. 8a) zeigt eine schematische Querschnittsdarstellung senkrecht zur Oberfläche 10-s des Substrats 10, durch die Bauteilstruktur mit dem Hohlraum 112 entlang der Linie A-A' nach dem Ausbilden der Photolackschicht 32, aber vor dem Einleiten des Ätzgases 33 in den Hohlraum 112.

Fig. 8b) zeigt eine schematische Schnittansicht entlang der Linie A-A' in Fig. 8 a). Die Ansicht gemäß Fig. 8b) ist somit gegenüber der Ansicht gemäß Fig. 8a) um 90° gedreht, d.h. parallel zu der Oberfläche 10-s des Substrats 10 angeordnet. Die Form des Hohlraums 112 ist gestrichelt dargestellt. Der Hohlraum 112 ist bei der Variante gemäß Fig. 8a) und b) als eine rechteckige, insbesondere quadratische, Ringstruktur ausgebildet.

Fig. 9a) zeigt dieselbe Ansicht wie Fig. 8a), jedoch nach dem Abschluss des Ätzvorgangs zum Ätzen der Kaverne 34' mittels des Ätzgases 33. Fig. 9b) zeigt dieselbe Ansicht wie Fig. 8b), ebenfalls nach Abschluss des Ätzvorgangs. Wie aus Fig. 9b) ersichtlich ist, ergibt sich aufgrund der spezifischen Form des Hohlraums 112 eine im Wesentlichen rechteckige, insbesondere quadratische Querschnittsstruktur der Kaverne 34' in dem Substrat 10.

Fig. 10a) und b) und Fig. 11a) und b) zeigen schematische Darstellungen, anhand welchen erläutert wird, auf welche Weise durch eine vorteilhafte Ausgestaltung von Hohlräumen in dem Substrat 10 eine gewünschte Kavernenstruktur einer Kaverne 34" erzielt und Spitzen und Kanten an der Membraneinspannung vermieden werden können.

Fig. 10a) zeigt dieselbe Ansicht wie Fig. 8a, und Fig. 10b) dieselbe Ansicht wie Fig. 8b), wobei in der Bauteilstruktur als eine Variante jeweils statt des Hohlraums 112 ein Hohlraum 212 ausgebildet wurde. Der Hohlraum 212 ist mit einer elliptischen, insbesondere kreisförmigen Ringstruktur ausgebildet.

Fig. 11a) zeigt dieselbe Ansicht wie Fig. 10a, und Fig. 11b) dieselbe Ansicht wie Fig. 10b), jeweils nach dem Abschluss des Ätzvorgangs zum Ätzen der Kaverne 34". Wie aus Fig. 11b) ersichtlich ist, ergibt sich aufgrund der spezifischen Form

des Hohlraums 212 eine im Wesentlichen elliptische, insbesondere kreisförmige Querschnittsstruktur der Kaverne 34" in dem Substrat 10.

Fig. 12a) und b) und Fig. 13a) und b) zeigen schematische Darstellungen, anhand welchen erläutert wird, auf welche Weise durch eine vorteilhafte Ausgestaltung von Hohlräumen in dem Substrat 10 eine gewünschte Kavernenstruktur einer Kaverne 34"' erzielt und Spitzen und Kanten an der Membraneinspannung vermieden werden können.

Fig. 12a) zeigt dieselbe Ansicht wie Fig. 10a, und Fig. 13b) dieselbe Ansicht wie Fig. 10b), wobei in der Bauteilstruktur als eine Variante jeweils statt des Hohlraums 212 ein Hohlraum 212' ausgebildet wurde. Der Hohlraum 212' weist, ebenso wie der Hohlraum 212, eine elliptische, insbesondere kreisförmige Ringstruktur auf. Zusätzlich weist der Hohlraum 212' innerhalb dieser Ringstruktur weitere Hohlraumstrukturen auf, insbesondere, wie in Fig. 12b) beispielhaft dargestellt, kreuzförmig und symmetrisch innerhalb der Ringstruktur angeordnete Hohlraumstrukturen.

Unter Verwendung des Hohlraums 212' kann ein Bereich innerhalb der Ringstruktur besonders schnell geätzt werden. Dadurch kann die Kaverne 34"' mit besonders geringen lateralen Abmessungen im Vergleich zu einer Tiefe der Kaverne 34"' ausgebildet werden.

Fig. 13a) zeigt dieselbe Ansicht wie Fig. 12a, und Fig. 13b) dieselbe Ansicht wie Fig. 12b), jeweils nach dem Abschluss des Ätzvorgangs zum Ätzen der Kaverne 34"'. Wie aus Fig. 13b) ersichtlich ist, ergibt sich aufgrund der spezifischen Form des Hohlraums 212' eine im Wesentlichen elliptische, insbesondere kreisförmige Querschnittsstruktur der Kaverne 34"' in dem Substrat 10.

Fig. 14 zeigt eine schematische Querschnittsansicht eines in der Herstellung befindlichen erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauteils gemäß einer Variante des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens in einem Zustand, der dem Zustand in Fig. 2, das heißt nach dem Schritt S02 entspricht. Bei der in Fig. 14 dargestellten Variante werden statt der Hohlräume 12-1, 12-2 in Fig. 2 Hohlräume 312-1, 312-2 ausgebildet, welche eine negative Flankenform

aufweisen, das heißt, in einer Ebene parallel zu der Oberfläche 10-s des Substrats 10 näher an der Oberfläche 10-s einen geringeren Querschnitt aufweisen als in jeder Querschnittsebene, welche parallel zu der Oberfläche 10-s liegt und, welche weiter von der Oberfläche 10-s entfernt ist.

In einer Querschnittsebene senkrecht zu der Oberfläche 10-s können die Hohlräume 312-1, 312-2, wie in Fig. 14 gezeigt, beispielsweise einen dreieckigen Querschnitt aufweisen. Die in Fig. 14 gezeigten Hohlräume 312-1, 312-2 können sowohl zwei voneinander separate Hohlräume 312-1, 312-2 darstellen als auch zwei Bereiche ein- und desselben, ringförmig hinter und/oder vor der Papierebene der Fig. 14 geschlossenen einzelnen Hohlraums 312-1, 312-2.

Auch bei dieser Variante weisen die Öffnungen der Hohlräume 312-1, 312-2 bzw. des einen Hohlraums 312-1, 312-2 an der Oberfläche 10-s des Substrats 10 die kleinsten Abmessungen auf, so dass bei dem Abscheiden S02 der Verschlussschicht 18 die Hohlräume 312-1, 312-2 verschlossen werden, ehe die Hohlräume 312-1, 312-2 aufgefüllt werden.

Fig. 15 zeigt eine schematische Querschnittsansicht eines in der Herstellung befindlichen erfindungsgemäßen mikromechanischen Bauteils gemäß einer Variante des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens in einem Zustand, der dem Zustand in Fig. 2, das heißt nach dem Schritt S02 entspricht.
Bei der Variante gemäß Fig. 15 werden statt der Hohlräume 12-1, 12-2 wie in Fig. 2 Hohlräume 412-1, 412-2 ausgebildet, welche in allen Querschnittsebenen parallel zu der Oberfläche 10-s des Substrats 10 eine konstante Querschnittsfläche aufweisen. In diesem Fall kann bei dem Abscheiden S02 der Verschlussschicht 18 der Abscheidungsprozess, beispielsweise der Epi-Silizium-Abscheidungsprozess, derart gefahren werden, dass das aufwachsende Silizium an den Kanten der Öffnungen der Hohlräume 412-1, 412-2 eine hohe laterale Aufwachsrate besitzt, das heißt eine hohe Aufwachsrate in Richtungen parallel zu der Oberfläche 10-s des Substrats 10.

Mit anderen Worten wird der Epi-Silizium-Abscheidungsprozess derart gezielt gefahren, dass keine gleichmäßige Abscheidung überall in den Hohlräumen 412-1, 412-2 stattfindet. Auf diese Weise können die Hohlräume 412-1, 412-2 nahe

der Oberfläche 10-s des Substrats 10 verschlossen werden, ehe die Hohlräume 412-1, 412-2 selbst vollständig mit Silizium gefüllt werden. Über die Form und Tiefe der Hohlräume 412-1, 412-2 ist es somit möglich, die Flankengeometrie, das heißt die geometrische Struktur der Wände der Kaverne 34; 34'; 34" auf gewünschte Weise auszubilden. Ein derart gefahrener Epi-Silizium-Abscheidungsprozess kann auch bei den anderen im Voranstehenden beschriebenen Formen der Hohlräume 12; 112; 212; 312-1, 312-2 zum besseren Verschluss der Hohlräume 12; 112; 212; 312-1; 312-2 eingesetzt werden.

Es versteht sich, dass bei sämtlichen, in den Figuren 9 bis 13 gezeigten Varianten die dem jeweils gezeigten Zustand vorangehenden und/oder nachfolgenden Schritte jeweils so durchgeführt werden können, wie in Bezug auf die Figuren 1 bis 8 beschrieben und auch mit den in Bezug auf die Figuren 1 bis 8 beschriebenen Varianten und Weiterbildungen modifiziert werden können.

Patent-

Ansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauteils (100), mit den Schritten:

Ausbilden (S01) mindestens eines Hohlraums (12-i; 112; 212; 312-i; 412-i) in einem Substrat (10) mit einer Öffnung (14-i) an einer Oberfläche (10-s) des Substrats (10);

Abscheiden (S02) einer Verschlussschicht (18) auf der Oberfläche (10-s) des Substrats (10) zumindest bis die Öffnung (14-i) des mindestens einen Hohlraums (12-i) verschlossen ist;

Ausbilden (S03) einer ersten dielektrischen Schicht (20) auf oder an der Verschlussschicht (18);

Ausbilden (S05) mindestens eines Durchgangs (30-i) zu dem mindestens einen Hohlraum (12-i) durch zumindest die erste dielektrische Schicht (20) hindurch;

Einleiten (S06) eines Ätzgases (33), gegen welches die erste dielektrische Schicht (20) ätzresistent ist, durch den mindestens einen Durchgang (30-i) in den mindestens einen Hohlraum (12-i) zum Ätzen einer Kaverne (34; 34'; 34") in dem Substrat (10).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei

der mindestens eine Hohlraum (12-i; 112; 212; 312-i) mit einer Hinterschneidung hinter die Oberfläche (10-s) des Substrats (10) ausgebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

wobei die Verschlussschicht (18) dasselbe Material aufweist wie das Substrat (10) oder aus demselben Material besteht wie das Substrat (10).

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

wobei die Verschlussschicht (18) epitaktisch auf dem Substrat (10) abgeschieden wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,

wobei im Bereich der Kaverne (34; 34‘; 34“) eine Heizstruktur (26) und eine Elektrodenstruktur (28) ausgebildet werden, welche durch eine dielektrische Schicht voneinander getrennt sind.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

wobei auf einer von der Kaverne (34; 34‘; 34“) abgewandten Seite der Elektrodenstruktur (28) ein Pastendot (36) ausgebildet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,

wobei der mindestens eine Hohlraum (112; 212) in einer kreisförmigen oder andersförmigen Ringstruktur, in einer sternförmigen Struktur und/oder in einer mäanderförmigen Struktur ausgebildet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

wobei der mindestens eine Hohlraum (12-i; 112; 212; 312-i; 412-i) mittels eines Trench-Verfahrens ausgebildet wird.

9. Mikromechanisches Bauteil (100), mit:

einer in einem Substrat (10) ausgebildeten Kaverne (34; 34‘; 34“), welche durch mindestens zwei Durchgänge (30-i) mit einer Außenseite des Substrats (10) verbunden ist;

wobei alle Wände der Kaverne (34; 34‘; 34“) aus demselben Material wie das unbehandelte Substrat (10) bestehen; und

wobei an Übergängen von Wänden der Kaverne (34; 34‘; 34“) zu einer Decke der Kaverne (34; 34‘; 34“) keine ins Innere der Kaverne (34; 34‘; 34“) ragenden Spitzen (5) oder Kanten ausgebildet sind.

10. Mikromechanisches Bauteil (100) nach Anspruch 8,

wobei eine Tiefe der Kaverne (34; 34‘; 34“) in dem Substrat (10) im Vergleich zu einer lateralen Ausdehnung der Kaverne (34; 34‘; 34“) in dem Substrat (10) ein Verhältnis von größer als Eins zu Zwei aufweist.

11. Mikromechanisches Bauteil (100), mit:

einer in einem Substrat (10) ausgebildeten Kaverne (34; 34‘; 34“), welche durch mindestens einen Durchgang (30-i) mit einer Außenseite des Substrats (10) verbunden ist;

wobei die Kaverne (34; 34‘; 34“) eine Form aufweist, welche von einer bezüglich des Durchgangs (30-i) als Mittelpunkt radialsymmetrischen Form abweicht.

12. Mikromechanisches Bauteil (100) nach Anspruch 10,

wobei eine Tiefe der Kaverne (34; 34‘; 34“) in dem Substrat (10) im Vergleich zu einer lateralen Ausdehnung der Kaverne (34; 34‘; 34“) in dem Substrat (10) ein Verhältnis von größer als Eins zu Zwei aufweist.

FIG. 1

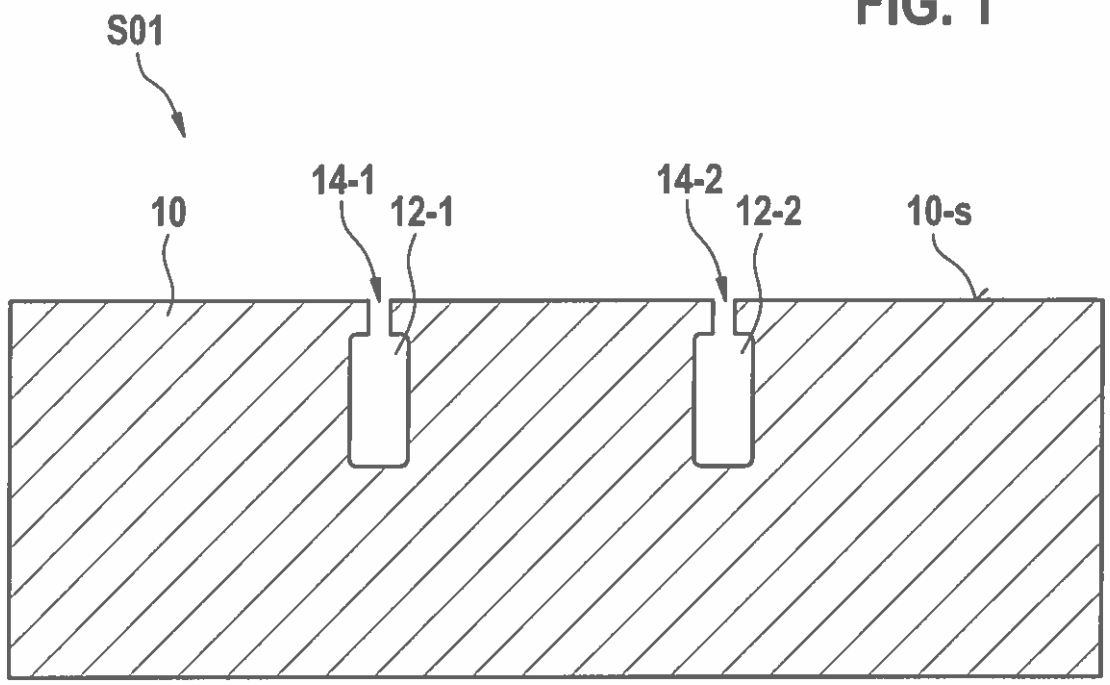


FIG. 2

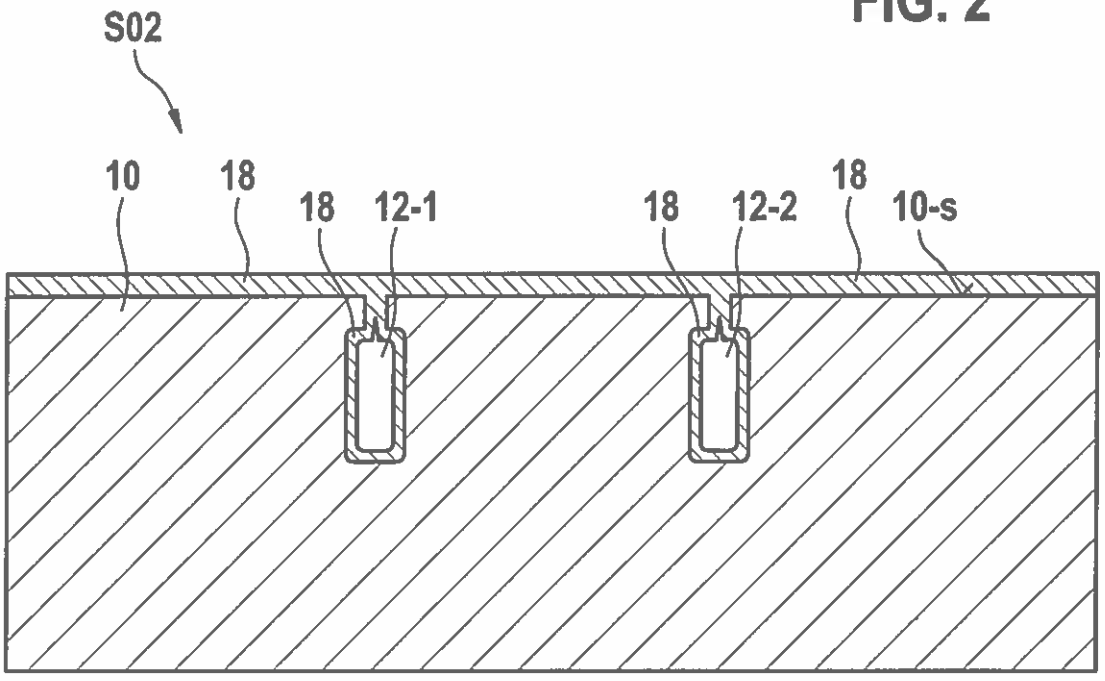


FIG. 3

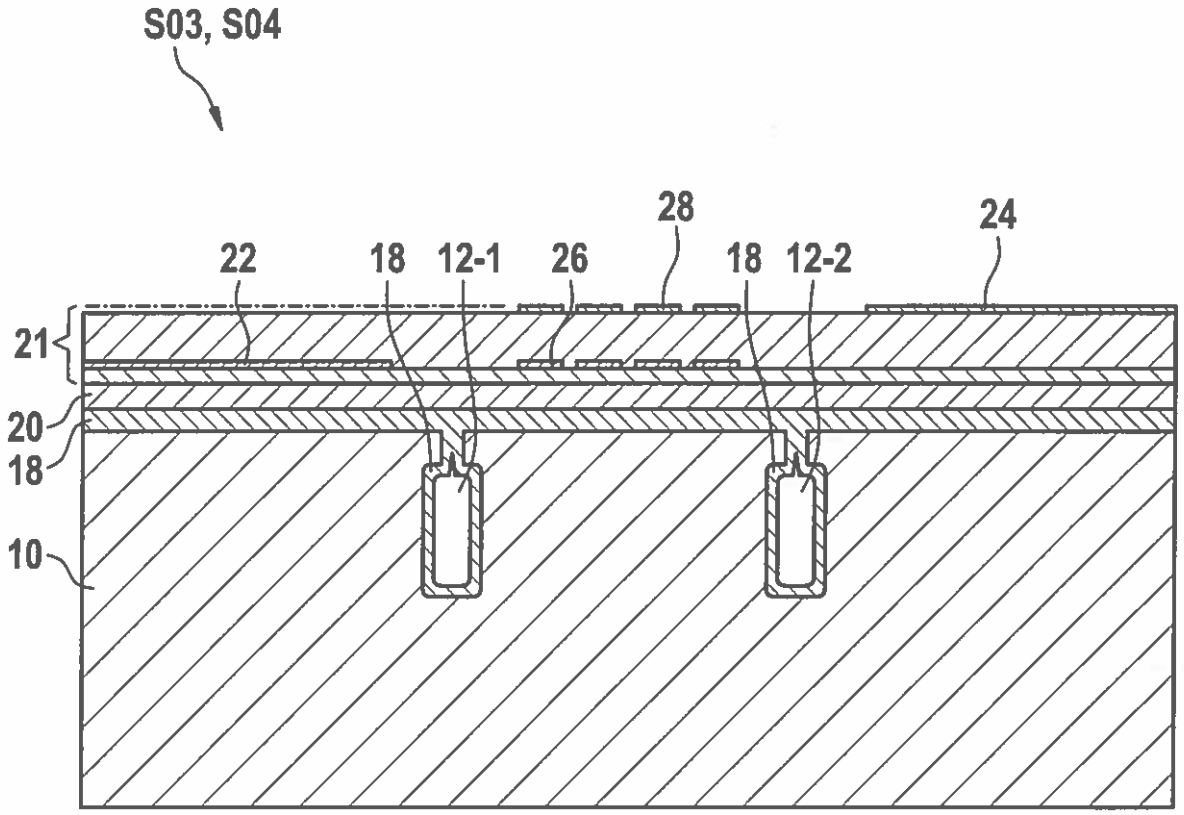


FIG. 4

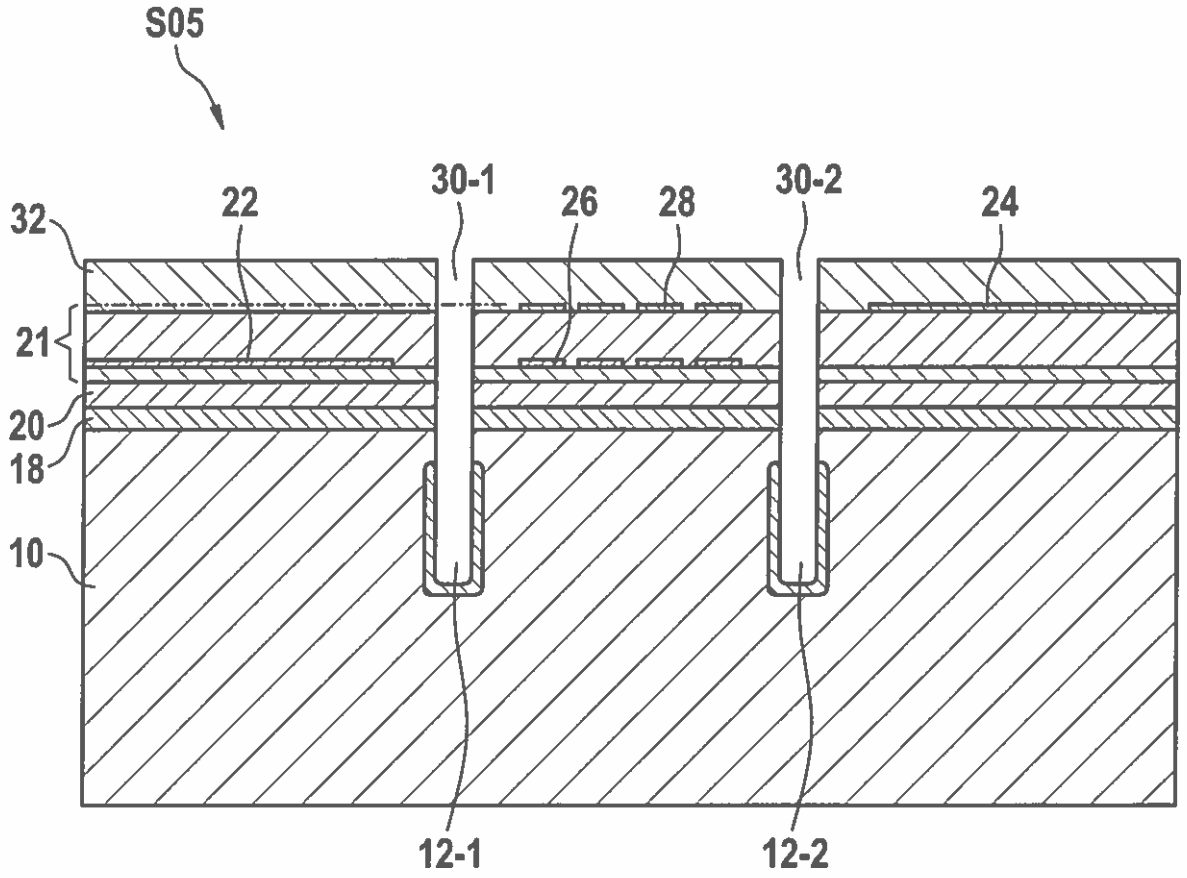


FIG. 5

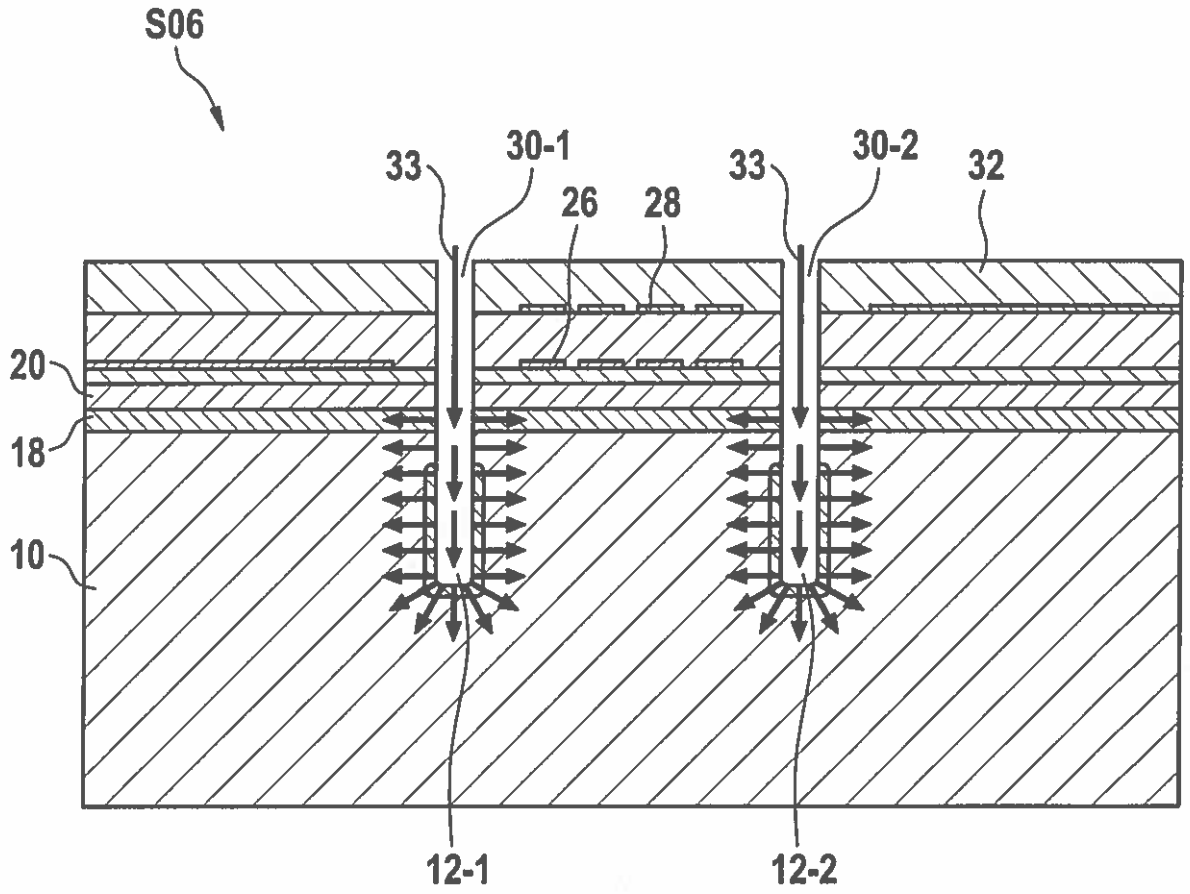


FIG. 6

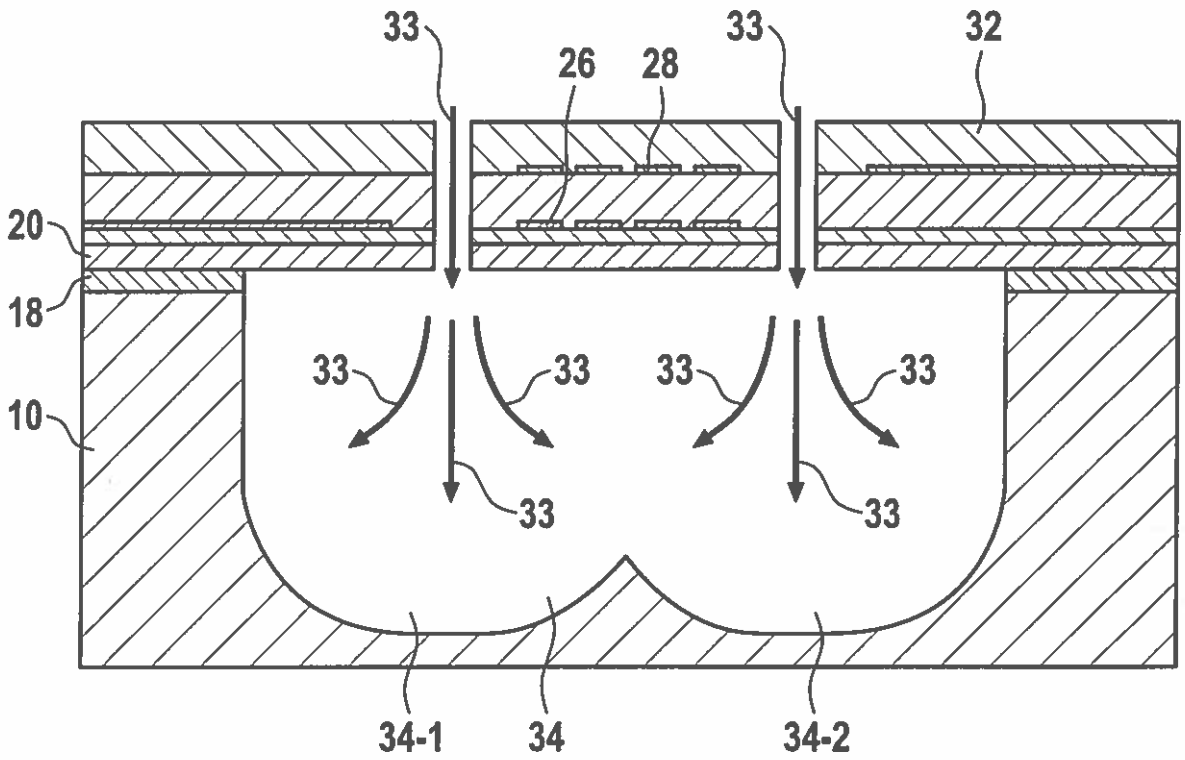
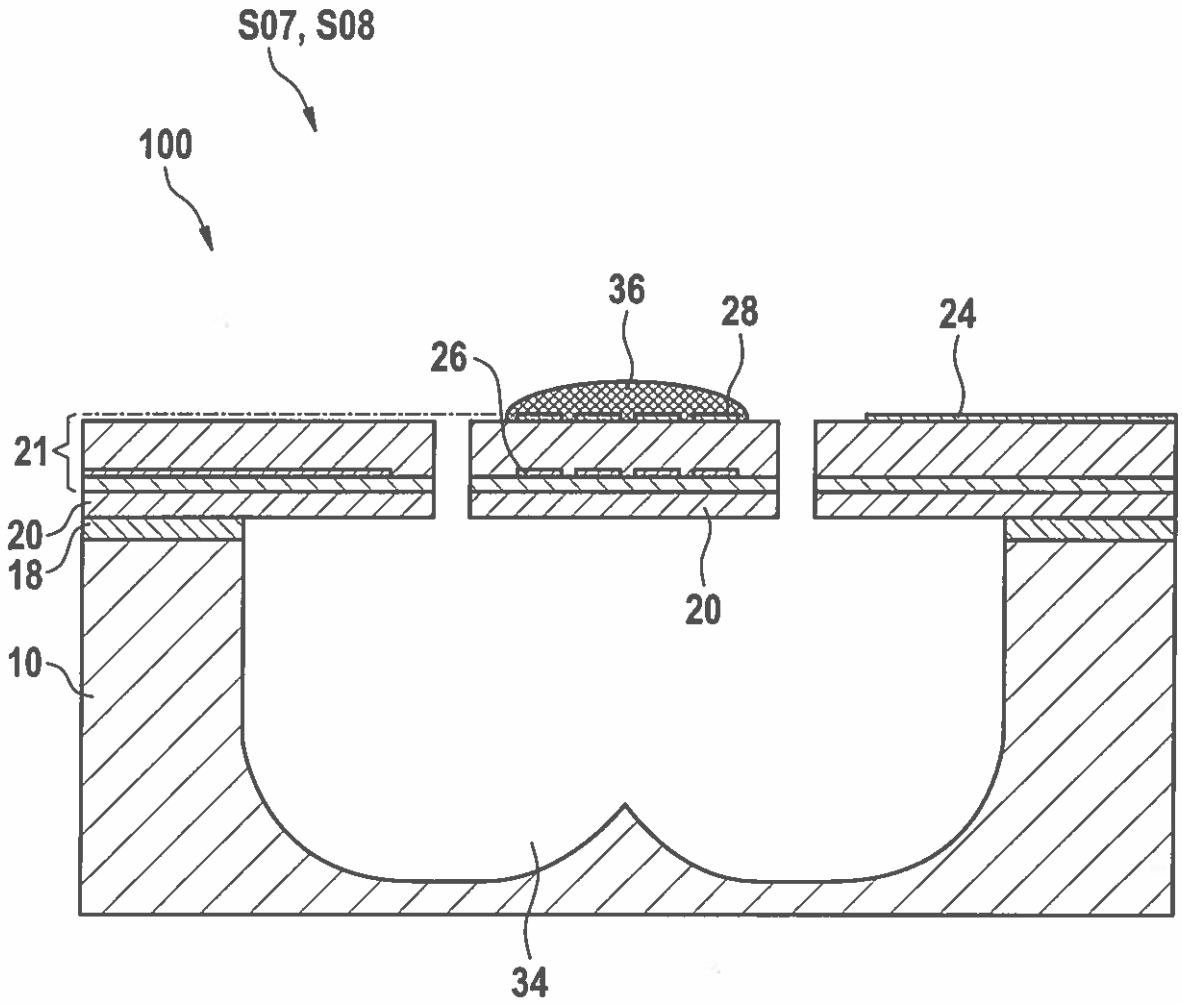


FIG. 7



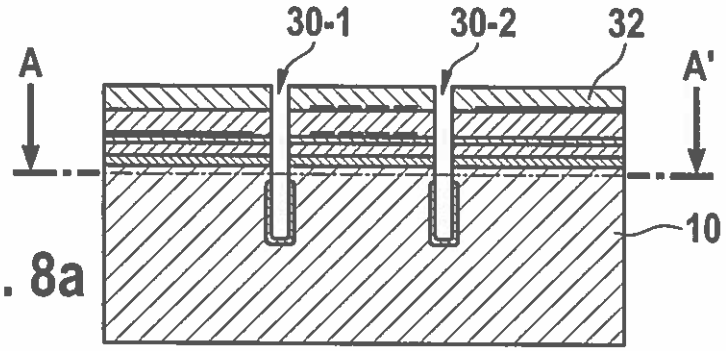


FIG. 8a

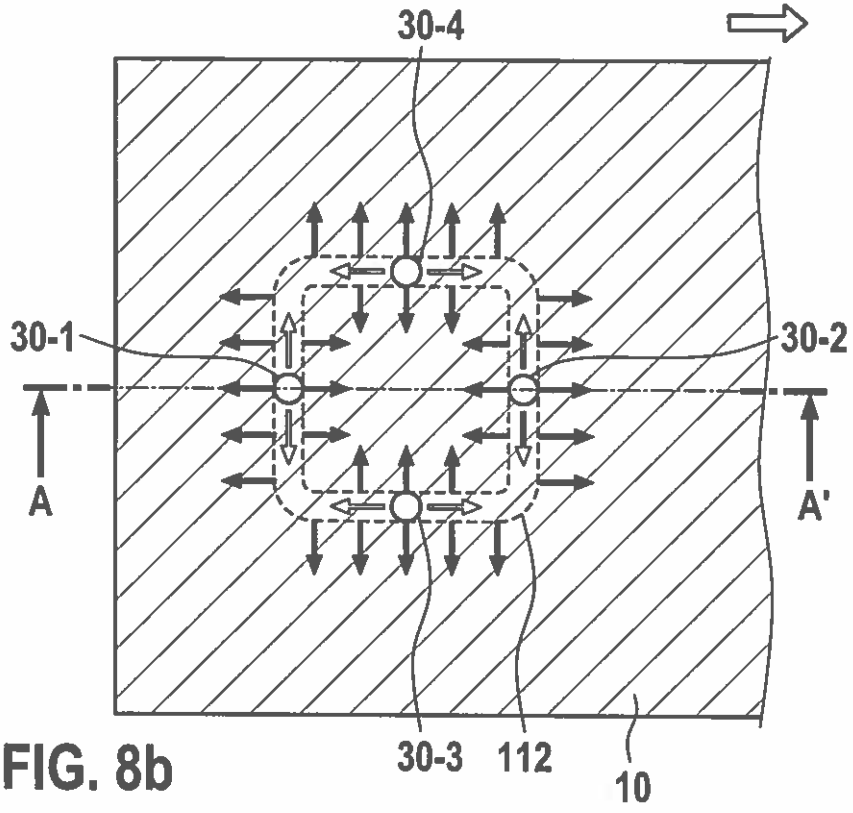


FIG. 8b

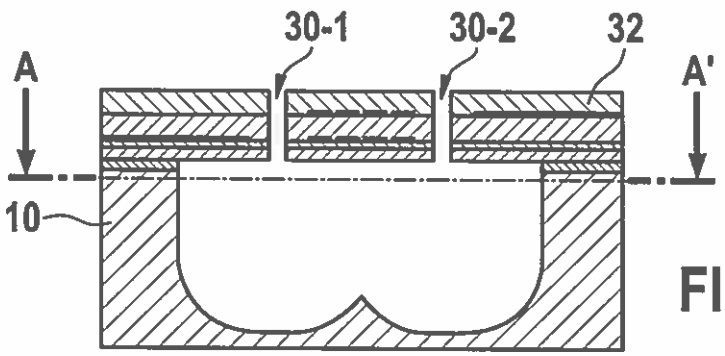


FIG. 9a

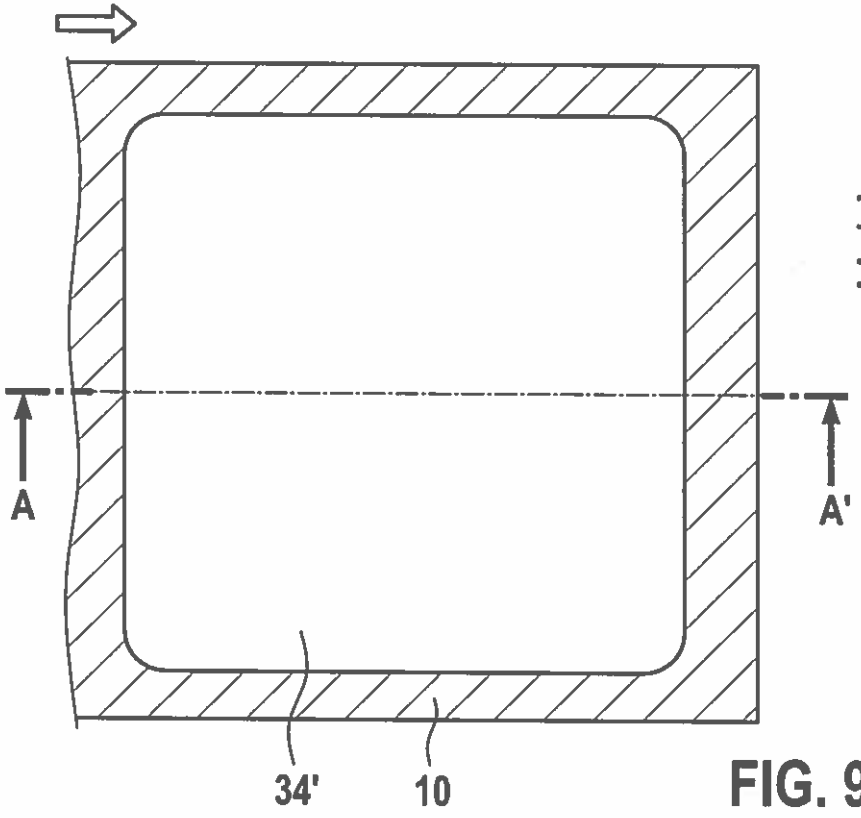


FIG. 9b

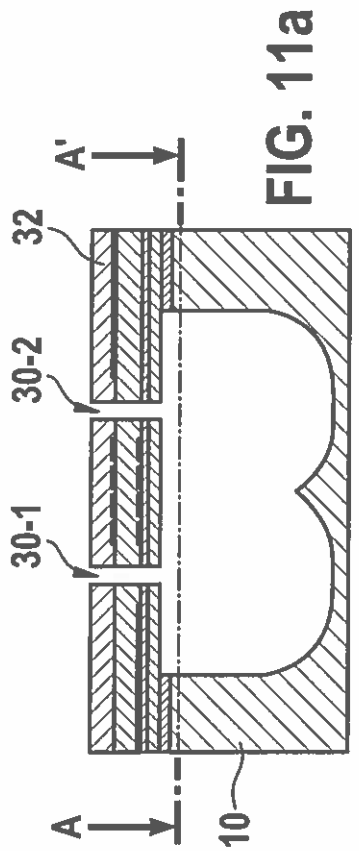


FIG. 11a

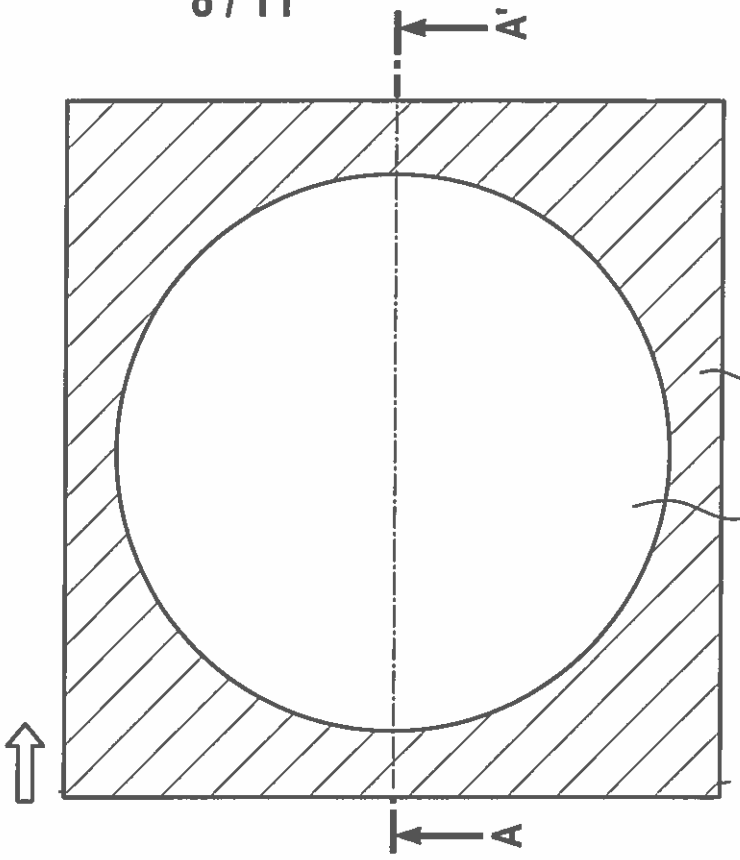


FIG. 11b

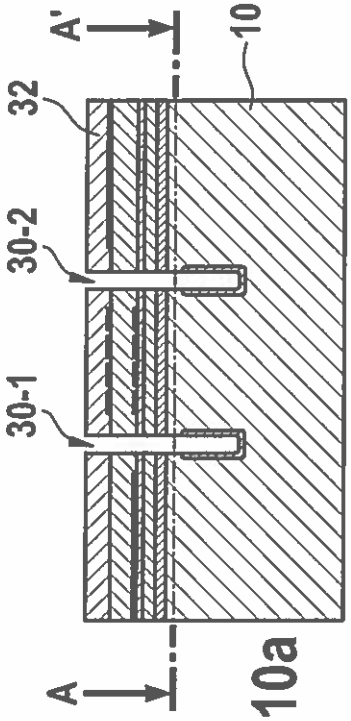


FIG. 10a

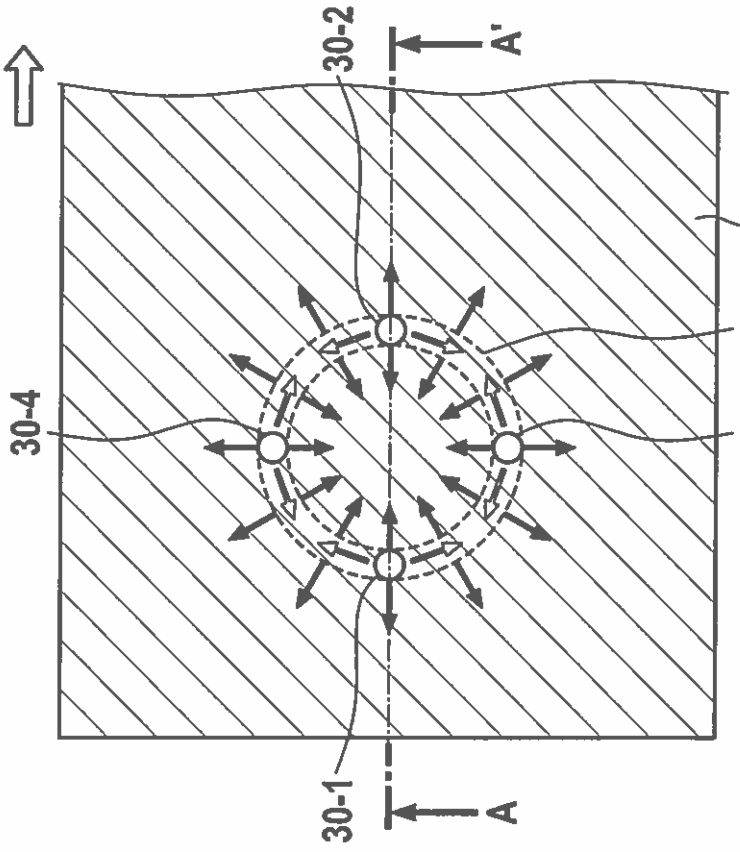


FIG. 10b

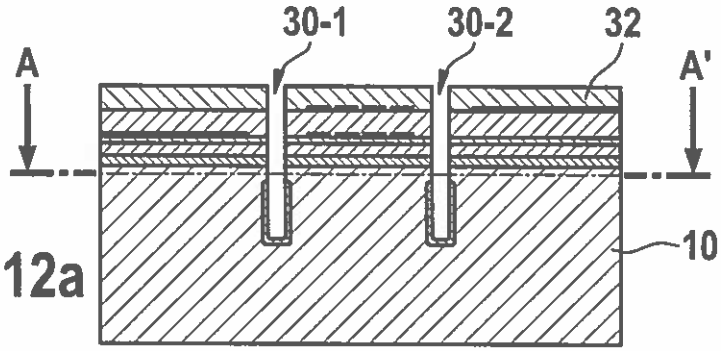


FIG. 12a

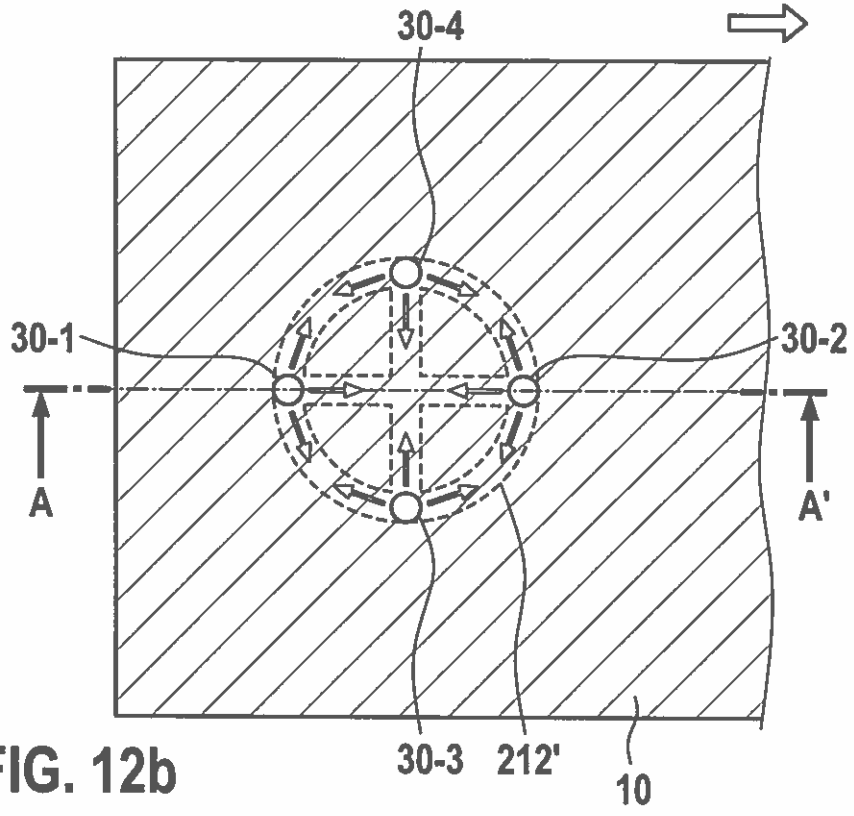


FIG. 12b

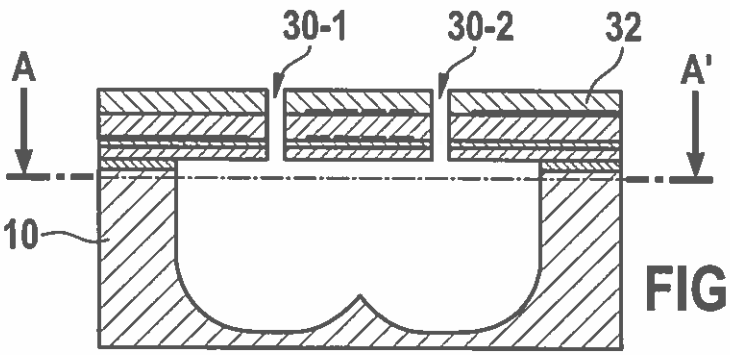


FIG. 13a

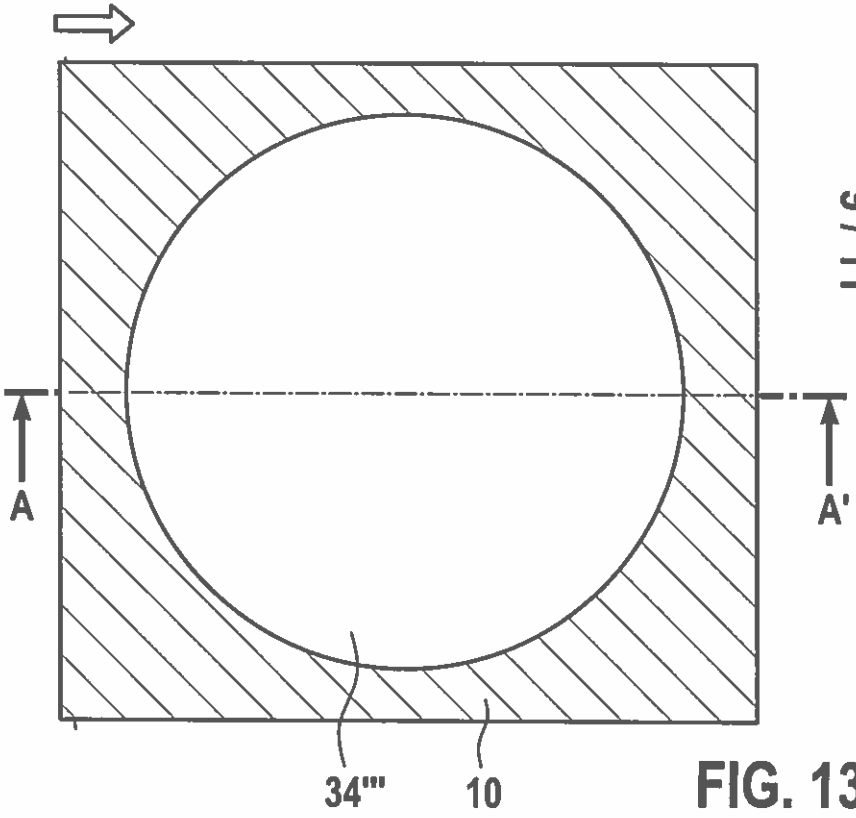


FIG. 13b

FIG. 14

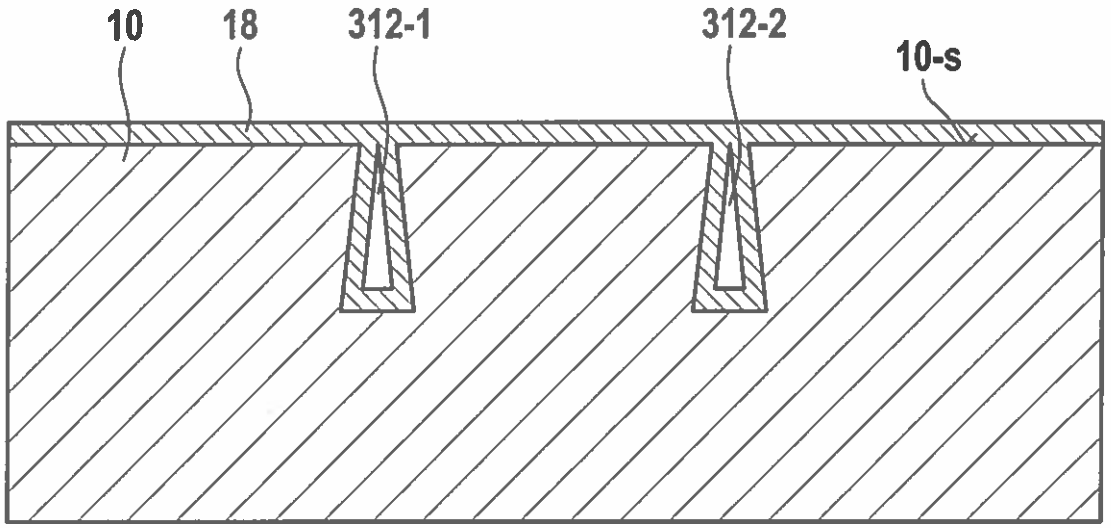


FIG. 15

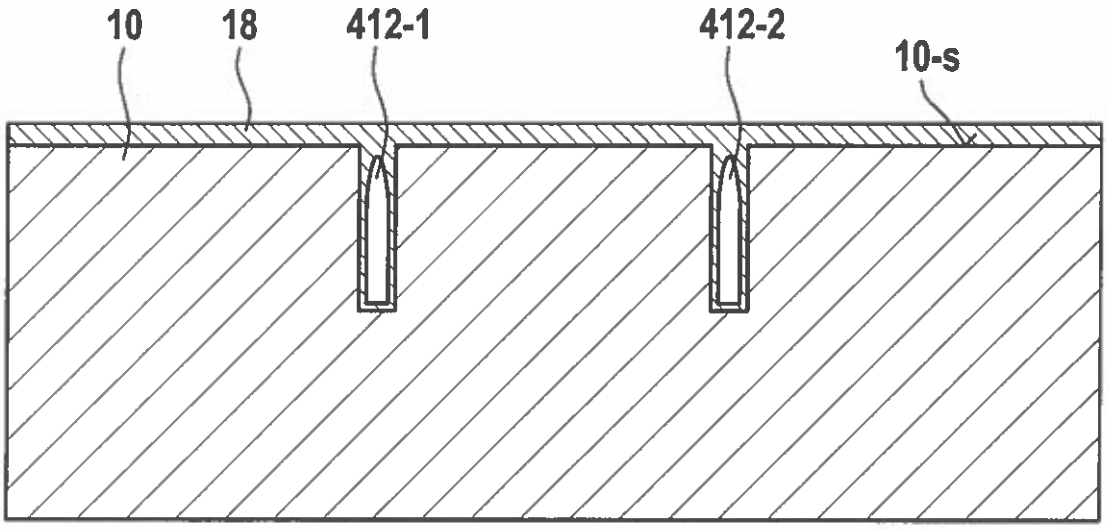


FIG. 16a

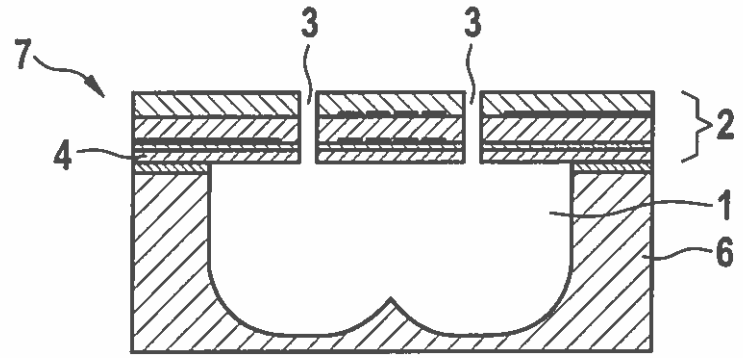


FIG. 16b

