



(10) **DE 10 2018 211 330 A1** 2020.01.16

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 211 330.0**
 (22) Anmeldetag: **10.07.2018**
 (43) Offenlegungstag: **16.01.2020**

(51) Int Cl.: **G01L 9/12 (2006.01)**
G01L 13/06 (2006.01)
B81B 3/00 (2006.01)
B81B 7/02 (2006.01)
B81C 1/00 (2006.01)
H01L 29/84 (2006.01)

(71) Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:
Schmollngruber, Peter, 71134 Aidlingen, DE;
Weber, Heribert, 72622 Nürtingen, DE

(56) Ermittelte Stand der Technik:

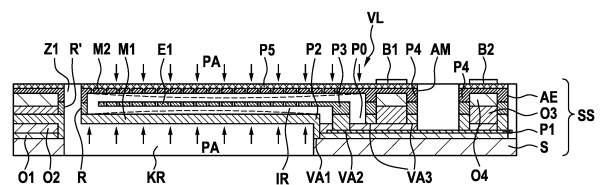
DE	42 27 819	A1
DE	10 2015 103 236	A1
DE	10 2016 106 117	A1
US	2011 / 0 100 129	A1
US	2018 / 0 172 534	A1
US	6 159 762	A
US	5 450 754	A
US	5 332 469	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Mikromechanische Drucksensorvorrichtung und entsprechendes Herstellungsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung schafft eine mikro-mechanische Drucksensorvorrichtung und ein entsprechendes Herstellungsverfahren. Die mikro-mechanische Drucksensorvorrichtung ist ausgestattet mit einem Sensorsubstrat (SS); einer im Sensorsubstrat (SS) verankerten Membrananordnung, welche eine erste Membran (M1) und eine davon beabstandete zweite Membran (M2), welche in einem Randbereich (R; R') umlaufend miteinander verbunden sind und in einem dazwischen gebildeten Innenraum (IR) einen Referenzdruck (P0) einschließen; und einer in dem Innenraum (IR) aufgehängten plattenförmigen Elektrode (E1), welche von der ersten Membran (M1) und von der zweiten Membran (M2) beabstandet angeordnet ist und welche mit der ersten Membran (M1) eine erste Kapazität und mit der zweiten Membran (M2) eine zweite Kapazität bildet. Die erste Membran (M1) und die zweite Membran (M1) sind derart ausgestaltet, dass sie bei Beaufschlagung mit einem äußeren Druck (PA; PA, PA') zueinander hin deformierbar sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine mikromechanische Drucksensorvorrichtung und ein entsprechendes Herstellungsverfahren.

Stand der Technik

[0002] Obwohl auf beliebige mikromechanische Drucksensorvorrichtungen anwendbar, werden die vorliegende Erfindung und die ihr zugrundeliegende Problematik anhand von mikromechanischen Drucksensorvorrichtungen auf Siliziumbasis erläutert.

[0003] Bekannt im Stand der Technik sind kapazitive mikromechanische Drucksensorvorrichtungen mit einer deformierbaren Membran, die eine allseitig umlaufende Membraneinspannung besitzt, wobei die Auslenkung der Membran mit Hilfe einer Elektrode auf einem darunter befindlichen Substrat kapazitiv bestimmt wird. Bei dieser Art von Drucksensorvorrichtungen bilden die Membran und die fest auf dem Substrat verankerte Elektrode eine Kondensatorstruktur, mit deren Hilfe eine Abstandsänderung zwischen der Membran und der Elektrode aufgrund eines einwirkenden Drucks auf die Membran, gemessen werden kann. Über die Bestimmung der Kapazität zwischen der Membran und der Elektrode kann somit eine Aussage über den an der Membran anliegenden Druck getroffen werden.

[0004] Derartige Drucksensorvorrichtungen reagieren allgemein sensitiv auf einen in die Membran eingekoppelten Stress, bedingt z.B. durch den Herstellungsprozess. Weiter reagieren diese Drucksensorvorrichtungen empfindlich auf Feuchte an der Sensoroberfläche, z.B. durch Bildung von unerwünschten Streukapazitäten, weshalb diese in der Regel mit einer Gelvorlage auf der Membran betrieben werden müssen.

[0005] Die US 5,332,469 offenbart einen Differenzdrucksensor mit einer Sensorkapazität und einer Referenzkapazität, welche seitlich benachbart in einem Sensorsubstrat angeordnet sind.

[0006] Die US 6,159,762 offenbart ein Herstellungsverfahren für eine mikromechanische Drucksensorvorrichtung, wobei ein Opferschichtätzprozess angewendet wird, um eine Membran freizustellen.

[0007] Die US 5,450,754 offenbart einen Drucksensor, bei dem eine Anordnung von Membranen vorgesehen ist, welche benachbart in einem Sensorsubstrat angeordnet sind.

Offenbarung der Erfindung

[0008] Die Erfindung schafft eine mikromechanische Drucksensorvorrichtung nach Anspruch 1 und

ein entsprechendes Herstellungsverfahren nach Anspruch 12.

[0009] Bevorzugte Weiterbildungen sind Gegenstand der jeweiligen Unteransprüche.

Vorteile der Erfindung

[0010] Die Erfindung ermöglicht es, eine kapazitive mikromechanische Drucksensorvorrichtung zur Verfügung zu stellen, die eine hohe Feuchteunempfindlichkeit/-resistenz besitzt, eine Membran mit einer sehr guten Stressentkopplung zum umgebenden Sensorsubstrat aufweist und eine hohe Sensitivität besitzt.

[0011] Kern der Erfindung ist eine freitragende oder eingespannte Membrankonstruktion, bei welcher sich zwischen zwei deformierbaren Membranen eine zentrale Elektrode befindet. Die beiden Membranen umschließen die zentrale Elektrode und bilden somit gleichermaßen eine Druckdose. Außerhalb des Bereichs der zentralen Elektrode berühren sich beide Membranebenen, so dass sich eine Konstruktion ergibt, bei der die zentrale Elektrode mechanisch wie elektrisch, vollständig von den umgebenden Membranen umschlossen ist.

[0012] Bei dieser Konstruktion werden bei einer Druckbeaufschlagung beide Membranen ausgelenkt. Hierdurch kann mit vergleichbaren Membranabmessungen eine doppelt so hohe Kapazitätsänderung im Vergleich zu üblichen Drucksensorvorrichtungen erzielt werden, bei denen nur eine Membran ausgelenkt wird. Aufgrund der vorliegenden Erfindung ist es somit möglich, bei vergleichbaren Membranabmessungen kapazitiver Drucksensoren, eine annähernd doppelt so hohe Empfindlichkeit bzw. die gleiche Empfindlichkeit bei nur annähernd halb so großen Membranflächen zu erreichen. Durch die freitragende und nur bereichsweise bzw. einseitig ausgeführte Einspannung der Membrankonstruktion, kann weiterhin eine maximale Stressentkopplung zum umgebenden Material der Drucksensorvorrichtung erreicht werden. Das wiederum besitzt den Vorteil, dass Stress, welcher z.B. durch die Art der Aufbau und Verbindungstechnik in die Drucksensorvorrichtung eingekoppelt wird, nicht in die Membran weitergeleitet wird und nicht zu einer Deformation führt, welche das Druckmessergebnis verfälscht.

[0013] Durch die allseitige Umhüllung der zentralen Elektrode mit den beiden Membranen (bestehend aus einer oberen und einer unteren Membran) ist es bei geschickter Designauslegung der Drucksensorvorrichtung möglich, alle medienberührenden Teile auf das gleiche Potential, z.B. Massepotential zu legen. Dies hat den Vorteil, dass es nicht zu elektrochemischen Reaktionen und Streukapazitäten an Strukturen mit unterschiedlichem Potential kommen

kann. Aufgrund des besonderen Aufbaus der Membrankonstruktion ist es weiter möglich, bei geeignetem Schutz der Bondpads, z.B. durch Vergelen, die Membrankonstruktion direkt z.B. Wasser oder anderen Flüssigkeiten auszusetzen. Ein Schutz der Membran durch z.B. eine großflächige Gelvorlage, wie teilweise bei herkömmlichen Drucksensoren notwendig, ist nicht erforderlich.

[0014] Weiter kann die Erfindung mit nur geringen Prozessmodifikationen als OMM- oder Bulk-Silizium-Variante ausgeführt werden. Letztere Variante hat Vorteile, wenn der Drucksensor des Öfftens stark wechselnden Medien (trocken/feucht/nass) ausgesetzt wird (besseres Trocknungsverhalten).

[0015] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist die Membrananordnung im Wesentlichen freitragend angeordnet und über mindestens einen sich seitlich weg von der Membrananordnung erstreckenden Verlängerungsbereich im Sensorsubstrat verankert. Somit lässt sich eine effektive Stressentkopplung realisieren.

[0016] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung weist die Membrananordnung einen zylindrischen Aufbau auf, wobei ein erster Verlängerungsbereich und ein zweiter Verlängerungsbereich vorgesehen sind, welche sich tangential seitlich weg von der Membrananordnung erstrecken und welche sich diametral gegenüberliegen. Dies hat den Vorteil, dass es bei einer thermischen Ausdehnung der Verankerungen lediglich zu einer leichten Verdrehung der Membrananordnung, nicht aber zu einer Stresseinkopplung kommen kann.

[0017] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist die zentrale Elektrode freitragend angeordnet und über den mindestens einen Verlängerungsbereich im Sensorsubstrat verankert. Durch die freitragende Verankerung kann eine maximale Stressentkopplung der zentralen Elektrode zum umgebenden Material der Drucksensorvorrichtung erreicht werden

[0018] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist die zentrale Elektrode zumindest bereichsweise im Innenraum über einen Einspannbereich eingespannt. Dies trägt zur Stabilisierung der zentralen Elektrode bei.

[0019] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist die Membrananordnung am Randbereich über zumindest eine elastische Federeinrichtung im Sensorsubstrat eingespannt. Dies trägt zur Stabilisierung der Membrananordnung bei.

[0020] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung sind die erste Membran und die zweite Mem-

bran über den Randbereich elektrisch leitfähig miteinander verbunden.

[0021] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung sind die erste Membran und die zweite Membran über den Randbereich elektrisch isolierend miteinander verbunden.

[0022] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist die erste Membran über eine Kaverne zu einer ersten Seite oder zu einer zweiten Seite des Sensorsubstrats nach außen hin freigelegt und die zweite Membran zur zweiten Seite des Sensorsubstrats nach außen hin freigelegt.

[0023] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist die erste Membran über elektrisch isolierende Verbindungsbereiche mit der zentralen Elektrode verbunden, so dass die zentrale Elektrode bei Beaufschlagung der ersten Membran mit dem äußeren Druck gemeinsam mit der ersten Membran deformierbar ist und dadurch eine Referenzkapazität gebildet ist.

[0024] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist die zweite Membran über elektrisch isolierende Verbindungsbereiche mit der zentralen Elektrode verbunden, so dass die zentrale Elektrode bei Beaufschlagung der zweiten Membran mit dem äußeren Druck gemeinsam mit der zweiten Membran deformierbar ist und dadurch eine Referenzkapazität gebildet ist.

[0025] Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist seitlich beabstandet von der Membrananordnung eine separate Referenzkapazität im Sensorsubstrat gebildet.

Figurenliste

[0026] Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend anhand von Ausführungsformen mit Bezug auf die Figuren erläutert.

[0027] Es zeigen:

Fig. 1a) bis k) schematische senkrechte Querschnittsdarstellungen zur Erläuterung eines Herstellungsverfahrens für eine mikromechanische Drucksensorvorrichtung und einer entsprechenden mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2a), b) schematische senkrechte Querschnittsdarstellungen einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei **Fig. 2b)** eine Ausschnittsvergrößerung von **Fig. 2a)** zeigt;

Fig. 3a) bis Fig. d) schematische waagrechte Querschnittsdarstellungen zur Erläuterung verschiedener Verankerungsvarianten einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß der beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung;

Fig. 4 eine schematische senkrechte Querschnittsdarstellung einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5a) bis Fig. d) schematische senkrechte Querschnittsdarstellungen zur Erläuterung verschiedener Einspannungsvarianten einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß der beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung;

Fig. 6 eine schematische senkrechte Querschnittsdarstellung einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 7 eine schematische senkrechte Querschnittsdarstellung einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 8 eine schematische senkrechte Querschnittsdarstellung einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 9a) bis Fig. d) schematische senkrechte Querschnittsdarstellungen zur Erläuterung eines Herstellungsverfahrens für eine mikromechanische Drucksensorvorrichtung und einer entsprechenden mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer siebenten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 10 eine schematische senkrechte Querschnittsdarstellung einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer achten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 11 eine schematische senkrechte Querschnittsdarstellung einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer neunten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 12 eine schematische senkrechte Querschnittsdarstellung einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer zehnten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Ausführungsformen der Erfindung

[0028] In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche bzw. funktionsgleiche Elemente.

[0029] **Fig. 1a)** bis k) sind schematische senkrechte Querschnittsdarstellungen zur Erläuterung eines

Herstellungsverfahrens für eine mikromechanische Drucksensorvorrichtung und einer entsprechenden mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0030] Gemäß **Fig. 1a)** wird auf einem Grundsubstrat **S**, beispielsweise einem Siliziumsubstrat, eine erste Isolationsschicht **O1**, beispielsweise eine Siliziumoxidschicht, ausgebildet bzw. abgeschieden. Auf der ersten Isolationsschicht **O1** wird eine erste leitfähige Schicht **P1**, beispielsweise eine Polysiliziumschicht, abgeschieden, was zum Beispiel durch ein LPCVD-Verfahren geschehen kann. Die erste leitfähige Schicht **P1** wird anschließend derart strukturiert, dass Leiterbahnstrukturen bzw. weitere Strukturen entstehen.

[0031] Auf diesen Schichtverbund wird im Folgenden eine zweite Isolationsschicht **O2**, beispielsweise eine Siliziumoxidschicht, abgeschieden. In einem folgenden Prozessschritt werden die erste Isolationsschicht **O1** und die zweite Isolationsschicht **O2** durch ein Standard-Ätzverfahren, beispielsweise Plasmaätzen oder Nassätzen, strukturiert. Dabei ist es von Vorteil, ein Ätzverfahren zu wählen, das eine hohe Ätzselektivität gegenüber der ersten leitfähigen Schicht **P1** und gegenüber dem Grundsubstrat **S** aufweist, also hier zu Silizium. Beim Strukturieren der ersten und zweiten Isolationsschicht **O1**, **O2** werden Löcher **L1** bis **L5** gebildet, welche zur Anbindung der folgenden Schicht **P2** an entsprechende darunterliegende Schichten dienen, also vorliegend die Löcher **L1**, **L2** zur Anbindung an das Grundsubstrat **S** und die Löcher **L3**, **L4**, **L5** an die erste leitfähige Schicht **P1**.

[0032] Nach der Strukturierung der ersten und zweiten Isolationsschicht **O1**, **O2** wird gemäß **Fig. 1b)** eine zweite leitfähige Schicht **P2**, beispielsweise eine Polysiliziumschicht, über der Struktur gemäß **Fig. 1a)** abgeschieden und strukturiert. Diese zweite leitfähige Schicht **P2** dient einerseits zur Erzeugung von lateralen Ätzstoppstrukturen **ES** (vergleiche **Fig. 1g)** und **Fig. 1j)**), andererseits dem elektrischen Anschluss der ersten leitfähigen Schicht **P1** und letztlich auch zur Erzeugung einer unteren ersten Membran **M1**.

[0033] Beim Strukturieren der zweiten leitfähigen Schicht **P2** werden Löcher **L6** bis **L12** gebildet, welche in einem folgenden Prozessschritt mit einer dritten Isolationsschicht **O3** zu verfüllen sind.

[0034] Je nach Anwendungsfall kann es von Vorteil sein, wenn die zweite leitfähige Schicht **P2** eine Dicke von mehreren Mikrometern aufweist. Um dies zu erreichen, könnte beim vorliegenden Beispiel auf die zweite leitfähige Schicht **P2** aus Polysilizium eine weitere Polysiliziumschicht epitaktisch aufgebracht werden und gleichzeitig mit der darunterliegenden zwei-

ten leitfähigen Schicht **P2** strukturiert werden. Diese optionale epitaktisch aufgebrachte weitere Polysiliziumschicht kann auch aus mehreren Einzelabscheidungen hergestellt werden, um einen Einfluss auf den Schichtstress und die spätere Verbiegung der ersten Membran **M1** zu minimieren.

[0035] Weiter mit Bezug auf **Fig. 1c)** wird auf der strukturierten zweiten leitfähigen Schicht **P2** eine dritte Isolationsschicht **O3** abgeschieden und strukturiert. Beim Strukturieren der dritten Isolationsschicht **O3** werden Löcher **L13** bis **L19** gebildet, welche einerseits zur weiteren Ausbildung der lateralen Ätzstoppstrukturen ES (**L13** und **L14**), andererseits zur Ausbildung von elektrischen Kontaktierungsstrukturen (**L15** bis **L19**) dienen.

[0036] Wie in **Fig. 1d)** dargestellt, erfolgt nach der Strukturierung der dritten Isolationsschicht **O3** die Abscheidung und Strukturierung einer dritten leitfähigen Schicht **P3**, beispielsweise ebenfalls einer Polysiliziumschicht. Bei der Strukturierung werden die Ätzstoppstrukturen ES und die elektrischen Kontaktstrukturen fortgeführt. Insbesondere wird aus der dritten leitfähigen Schicht **P3** eine zentrale Elektrode **E1** gebildet. Auch hier kann die Bildung der dritten leitfähigen Schicht **P3** optional eine Aufdickung mit Hilfe weiterer epitaktisch aufgebrachter Polysiliziumschichten umfassen. In der zentralen Elektrode **E1** werden Ätzlöcher **V1** vorgesehen, welche es später ermöglichen sollen, unterhalb der zentralen Elektrode **E1** die dritte Isolationsschicht **O3** zu entfernen. Über die Lage der Ätzlöcher **V1** kann weiter beeinflusst werden, wie und wo Ätzfronten beim Entfernen der Isolationsschicht aufeinandertreffen und wie lokal die Entfernung der Isolationsschicht **O3** erfolgt. Auf diese Weise ist es möglich, die spätere Freistellung der zentralen Elektrode **E1** gezielt zu steuern.

[0037] Wie in **Fig. 1e)** dargestellt, wird auf die strukturierte dritte leitfähige Schicht **P3** und die freigelegte dritte Isolationsschicht **O3** eine vierte Isolationsschicht **O4** abgeschieden und strukturiert, welche ebenfalls beispielsweise aus Siliziumoxid besteht. Beim Strukturieren werden Löcher **L20** bis **L25** gebildet, welche zur Weiterführung der lateralen Ätzstoppstrukturen ES (**L20**, **L21**) und zur Weiterführung der elektrischen Kontaktierungen (**L22** bis **L25**) dienen.

[0038] Daran anschließend wird mit Bezug auf **Fig. 1f)** eine vierte leitfähige Schicht **P4**, beispielsweise ebenfalls aus Polysilizium, auf der strukturierten vierten Isolationsschicht **O4** abgeschieden.

[0039] Die vierte leitfähige Schicht **P4** dient ebenfalls der Fortführung der Ätzstoppstrukturen ES und der elektrischen Kontaktierungen sowie auch der Herstellung einer oberen zweiten Membran **M2**. Wie bei den zuvor beschriebenen leitfähigen Schichten **P2**

und **P3** kann auch die vierte leitfähige Schicht **P4** mit Hilfe von weiteren epitaktisch aufgebrachten Polysiliziumschichten aufgedickt werden.

[0040] Innerhalb der zweiten Membran **M2** werden wiederum Ätzlöcher **V2** vorgesehen, die eine Unterätzung der zweiten Membran **M2** sowie der zentralen Elektrode **E1** mit Hilfe von Standardprozessen, wie z.B. HF-Gasphasenätzen, ermöglichen, um in dem betreffenden Bereich die dritte Isolationsschicht **O3** und die vierte Isolationsschicht **O4** zu entfernen.

[0041] Der Unterätzschritt ist in **Fig. 1g)** gezeigt. Durch den Unterätzschritt erhält man eine freitragende zentrale Elektrode **E1** in einem Raum, der im Wesentlichen von der ersten Membran **M1**, der zweiten Membran **M2** und den lateralen Ätzstoppstrukturen ES begrenzt wird.

[0042] In einem anschließenden Prozessschritt, welcher in **Fig. 1h)** gezeigt ist, wird über der vierten leitfähigen Schicht **P4** eine fünfte leitfähige Schicht **P5**, beispielsweise ebenfalls aus Polysilizium, abgeschieden, wodurch die Ätzlöcher **V2** verschlossen werden und somit der Innenraum **IR** (vgl. **Fig. 1k)**), in dem sich die zentrale Elektrode **E1** befindet, verschlossen wird. In diesem Schritt kann ein vorbestimmter Referenzdruck **P0** in dem Innenraum **IR** eingeschlossen werden, wie später näher erläutert wird. Optional ist es möglich, die fünfte leitfähige Schicht **P5** durch weitere epitaktisch aufgebrachte Polysiliziumschichten aufzudicken (s.o.).

[0043] Um die Bildung von möglichen Kurzschlüssen zwischen der zweiten Membran **M2** und der zentralen Elektrode **E1** zu vermeiden, kann es unter Umständen bei diesem Schritt vorteilhaft sein, das Verschließen der Ätzlöcher **V2** durch Abscheiden einer Isolationsschicht, beispielsweise aus Siliziumoxid und/oder Siliziumnitrid, und/oder durch Abscheiden einer epitaktischen Polysiliziumschicht zu realisieren.

[0044] Wird als Verschlusschicht für die Ätzlöcher **V2** eine Isolationsschicht bzw. eine Kombination von Isolationsschichten eingesetzt, so können diese im Nachhinein strukturiert bzw. planarisiert werden und mit der fünften leitfähigen Schicht **P5** aus Polysilizium ganzflächig überdeckt werden.

[0045] Als Ätzlöcher **V2** sind insbesondere Ätzlöcher mit kleinen lateralen Abmessungen in der oberen Membran **M2** von Vorteil, da durch die hohe Abscheiderate beim Aufbringen einer epitaktischen Polysiliziumschicht diese schnell verschlossen werden können und dadurch Kurzschlüsse einfach vermeidbar sind. Auch beim Verschluss der Ätzlöcher **V2** mit einer Isolationsschicht sind Ätzlöcher mit kleinen lateralen Abmessungen von Vorteil, da hierdurch ein schneller Verschluss der Löcher erfolgen und eine mechanische Verbindung zwischen der Membran **M2**

und der zentralen Elektrode **E1** vermieden werden kann.

[0046] Wie in **Fig. 1i)** gezeigt, erfolgt nach dem Verschließen der Ätzlöcher **V2** ein Abscheiden und Strukturieren einer Bondpad-Metallisierung, zum Beispiel aus Aluminium, zum Bilden von Bondpads **B1**, **B2**. In diesem Prozessschritt oder einem folgenden Prozessschritt können dann noch die vierte und fünfte leitfähige Schicht **P4**, **P5** strukturiert werden, um Löcher **L30**, **L31** und **L32** in Bereichen zu bilden, welche zur späteren Freistellung der Membrananordnung mit der ersten und zweiten Membran **M1**, **M2** notwendig sind bzw. welche zur Freistellung eines elektrischen Anschlusses AE der zentralen Elektrode **E1** und eines elektrischen Anschlusses **AM** der zweiten Membran **M2** notwendig sind.

[0047] Mit Bezug auf **Fig. 1j)** erfolgt nun von der Seite des Grundsubstrats S aus im Bereich der Membrananordnung mit der ersten und zweiten Membran **M1**, **M2** ein Trenchätzen des Grundsubstrats S, um eine Kaverne **KR** vorzusehen. Dieser Trench-Ätzschritt ist jedoch optional.

[0048] Schließlich mit Bezug auf **Fig. 1k)** erfolgt nach dem optionalen Bilden der Kaverne **KR** unterhalb der Membrananordnung mit der ersten und zweiten Membran **M1**, **M2** ein Entfernen der freigelegten ersten bis vierten Isolationsschicht **O1**, **O2**, **O3**, **O4** im Bereich der Ätzstoppstrukturen **ES**, ein Entfernen der ersten und zweiten Isolationsschicht **O1**, **O2** unterhalb der Membrananordnung **M1**, **M2** und optional ein Entfernen der zweiten, dritten und vierten Isolationsschicht **O2**, **O3**, **O4** innerhalb der Löcher **L31**, **L32** im Bereich der elektrischen Anschlüsse **AE**, **AM**. Dies kann ebenfalls mit Hilfe von Standardprozessen, wie zum Beispiel HF-Gasphasenätzen, Nassätzen oder auch Plasmaätzen, realisiert werden.

[0049] Die lateralen Ätzstoppstrukturen **ES** tragen dazu bei, dass nur präzise definierte Siliziumoxidbereiche der ersten bis vierten Isolationsschichten **O1** bis **O4** im Schichtverbund entfernt werden.

[0050] Somit zeigt **Fig. 1k)** die fertiggestellte mikromechanische Drucksensorvorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform, wobei es sich um eine Absolutdruck-Drucksensorvorrichtung handelt, welche ausgestaltet ist, einen äußeren Druck **PA** zu erfassen, welcher gegenüber dem Referenzdruck **P0** innerhalb des Innenraums **IR** der Membrananordnung **M1**, **M2** anliegt.

[0051] Die Membrananordnung **M1**, **M2** mit der ersten Membran **M1** und der zweiten Membran **M2** ist im Wesentlichen freitragend angeordnet und nur über einen sich seitlich weg von der Membrananordnung **M1**, **M2** erstreckenden Verlängerungsbereich **VL** im Sensorsubstrat **SS** verankert, wobei das Sensorsub-

strat **SS** die gesamte in **Fig. 1k)** dargestellte Anordnung bezeichnet. Die Verankerungsbereiche sind mit Bezugszeichen **VA1**, **VA2**, **VA3** bezeichnet, wobei der erste Verankerungsbereich **VA1** eine elektrische Anbindung an das Grundsubstrat **S** beinhaltet, der zweite Verankerungsbereich **VA2** eine elektrische Anbindung an die erste leitfähige Schicht **P1** und der dritte Verankerungsbereich **VA3** eine mechanische elektrisch isolierte Anbindung an die zweite Isolationsschicht **O2** bildet.

[0052] In einem Randbereich **R** sind die erste Membran **M1** und die zweite Membran **M2** umlaufend miteinander verbunden und ebenfalls elektrisch leitfähig miteinander verbunden, so dass diese auf dem gleichen elektrischen Potential liegen und daher eine gefaltete Kondensatoranordnung mit der im Innenraum **IR** aufgehängten plattenförmigen zentralen Elektrode **E1** bilden, welche von der ersten Membran **M1** und von der zweiten Membran **M2** beabstandet aufgehängt ist und eine erste Kapazität mit der ersten Membran und eine zweite Kapazität mit der zweiten Membran **M2** bildet.

[0053] Die erste Membran **M1** und die zweite Membran **M2** sind derart ausgestaltet, dass sie bei Beaufschlagung mit dem äußeren Druck **PA** zueinander hin deformierbar sind (gestrichelte Linien), wodurch sich bei Druckbeaufschlagung eine doppelt so große Kapazitätsänderung wie nur bei einer einzigen Membran ergibt, ohne dass sich der Bauraum wesentlich vergrößert.

[0054] Der Randbereich **R** der Membrananordnung **M1**, **M2** ist von einem Randbereich **R'** des umgebenden Sensorsubstrats **SS** durch einen Zwischenraum **Z1** beabstandet.

[0055] Das Bondpad **B1** dient zur elektrischen Kontaktierung der ersten und zweiten Membran **M1**, **M2**, welche elektrisch leitfähig miteinander verbunden sind, und das Bondpad **B2** dient zur elektrischen Kontaktierung der zentralen Elektrode **E1**.

[0056] Bei dieser Ausführungsform ist das Grundsubstrat **S** leitfähig mit der ersten Membran **M1** verbunden, falls gewünscht, kann jedoch durch Vorsehen eines weiteren Isolationbereichs der ersten Isolationsschicht **O1** diese Anbindung auch elektrisch isolierend erfolgen.

[0057] **Fig. 2a)**, **b)** sind schematische senkrechte Querschnittsdarstellungen einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, wobei **Fig. 2b)** eine Ausschnittvergrößerung von **Fig. 2a)** zeigt.

[0058] Bei der zweiten Ausführungsform sind im Vergleich zur ersten Ausführungsform modifizierte Ätz-

stoppstrukturen ES' vorgesehen, welche oberhalb der ersten leitfähigen Schicht P1 nur aus der vierten und fünften leitfähigen Schicht P4, P5 gebildet sind. Hierdurch lässt sich der Zuleitungswiderstand zwischen dem Bondpad B2 und der ersten leitfähigen Schicht P1 reduzieren. Prinzipiell ist es auch denkbar, unterhalb des Bondpad B2 die fünfte leitfähige Schicht P5 zu entfernen, so dass nur die vierte leitfähige Schicht P4 als elektrische Zuleitungsbahn zur ersten leitfähigen Schicht P1 dient.

[0059] Weiterhin unterscheidet sich die zweite Ausführungsform von der ersten Ausführungsform durch den Aufbau der ersten Membran M1', der zweiten Membran M2' und der zentralen Elektrode E1'. Insbesondere ist dies in Fig. 2b) gezeigt, welche eine Ausschnittvergrößerung des gezeigten Bereichs VD von Fig. 2a) darstellt.

[0060] Die erste Membran M1' ist aus einer leitfähigen Schicht P2a und einer leitfähigen Schicht P2b gebildet, die zweite Membran M2' ist aus der vierten leitfähigen Schicht P4, einer weiteren leitfähigen Schicht P5a und noch einer weiteren leitfähigen P5b gebildet, und die zentrale Elektrode E1' ist aus einer leitfähigen Schicht P3a und einer weiteren leitfähigen Schicht P3b gebildet.

[0061] Die leitfähigen Schichten P2a, P2b bzw. P3a, P3b bzw. P4, P5b, P5b sind eingebettet zwischen zusätzlichen Schichten ZW oder Schichtkombinationen angeordnet, welche zum Beispiel Siliziumoxid, Siliziumnitrid, Siliziumcarbid etc. umfassen und welche dazu beitragen, die Verwölbung der einzelnen Schichtstapel zu beeinflussen, um möglichst planare Schichtstapel zu erzeugen. Um eine elektrische Verbindung zwischen benachbarten leitfähigen Schichten sicherstellen zu können, können die zusätzlichen Schichten ZW zudem strukturiert werden. Die in Fig. 2b) gezeigte Anzahl von Schichten und Schichtkombinationen ist beispielhaft zu verstehen und ist beliebig erweiterbar.

[0062] Fig. 3a) bis Fig. d) sind schematische waagrechte Querschnittsdarstellungen zur Erläuterung verschiedener Verankerungsvarianten einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß der beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

[0063] Insbesondere ist in Fig. 3a) bis Fig. 3d) ein Querschnitt durch die jeweilige zentrale Elektrode E1, E1', E1'' bzw. E1''' dargestellt.

[0064] Fig. 3a) entspricht der in Fig. 1k) dargestellten Anordnung, wobei die zylindrische dosenförmige Membrananordnung mit der ersten und zweiten Membran M1, M2 und die zentrale Elektrode E1 über den Verlängerungsbereich VL winkelig zu den Verankerungsbereichen VA1, VA2 und VA3 geführt ist. Dies

ermöglicht eine effektive Spannungsentkopplung gegenüber dem umgebenden Sensorsubstrat SS.

[0065] Gemäß Fig. 3b) weist die Membrananordnung ebenfalls einen Aufbau wie gemäß Fig. 3a) auf, jedoch sind ein erster Verlängerungsbereich VL1 und ein zweiter Verlängerungsbereich VL2 vorgesehen, welche sich tangential weg von der Membrananordnung mit der ersten und zweiten Membran M1'', M2'' erstrecken. Entsprechende Verlängerungen weist auch die zentrale Elektrode E1'' auf. Gemäß Fig. 3b) ist nur der Verlängerungsbereich VL1 der zentralen Elektrode E1'' an die erste leitfähige Schicht P1 elektrisch angeschlossen. Die Verlängerungsbereiche VL1, VL2 sind diametral einander gegenüberliegend.

[0066] Die tangential Anbindung der Membrananordnung mit der ersten und zweiten Membran M1'', M2'' hat den Vorteil, dass es bei einer thermischen Ausdehnung der Verankerungen VL1, VL2 lediglich zu einer leichten Verdrehung der Membrananordnung, nicht aber zu einer Stresseinkopplung kommen kann.

[0067] Bei der Ausführungsvariante gemäß Fig. 3c) ist der Verlängerungsbereich VL1 der Membrananordnung mit der ersten und zweiten Membran M1''', M2''' genauso gestaltet wie der Verlängerungsbereich VL1 gemäß Fig. 3b), jedoch ist im Verlängerungsbereich VL2 die zentrale Elektrode E1''' nicht zur Verankerung geführt, sondern die Verankerung erfolgt durch die Schichten der ersten und zweiten Membran M1''', M2'''.

[0068] Bei der vierten Ausführungsvariante schließlich ist der Verlängerungsbereich VL1 genauso ausgestaltet wie derjenige gemäß Fig. 3b), jedoch ist im Vergleich zu Fig. 3b) die zentrale Elektrode E1''' unterbrochen und weist einen elektrisch nicht angeschlossenen Bereich VE auf, was prozesstechnisch Vorteile bringen kann.

[0069] Die Membranen M1''', M2''' sind ebenfalls über die Verlängerungsbereiche VL1, VL2 aufgehängt, wie im Zusammenhang mit Fig. 3a) beschrieben.

[0070] Die Anzahl von tangentialen Anbindungen der Membrananordnung ist nicht beschränkt auf die gezeigten Verankerungen VL1 und VL2 in den Fig. 3b) bis Fig. 3d), sondern kann vielmehr eine beliebige Anzahl umfassen.

[0071] Fig. 4 ist eine schematische senkrechte Querschnittsdarstellung einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0072] Die dritte Ausführungsform unterscheidet sich von der ersten Ausführungsform dadurch, dass die zentrale Elektrode **E1** über einen Einspannungsbereich **EE** im Innenraum **IR** eingespannt ist, also nicht freitragend aufgehängt ist. Der Einspannungsbereich **EE** umfasst Reste der geätzten dritten und vierten Isolationsschicht **O3**, **O4**. Auch ist der Randbereich **R** der Membrananordnung mit der ersten und zweiten Membran **M1**, **M2** nicht freitragend, sondern durch Weglassen des Zwischenraums **Z1** geschlossen, so dass bei dieser Ausführungsform die Kaverne **KR** notwendig ist, um die erste Membran **M1** mit dem externen Druck **PA** zu beaufschlagen. Durch geeigneten Aufbau des Drucksensorchips ist es weiter möglich, auch die Membran **M2** mit dem Druck **PA** zu beaufschlagen, um eine Verdopplung der Druckempfindlichkeit zu erreichen.

[0073] Des Weiteren sind an der Unterseite der zentralen Elektrode **E1** Noppen **N1** und an der Unterseite der zweiten Membran **M2** zweite Noppen **N2** angeordnet, welche ein Sticking der ersten Membran **M1** an der zentralen Elektrode **E1** und ein Sticking der zweiten Membran **M2** an der zentralen Elektrode **E1** verhindern sollen.

[0074] Auch sind bei dieser Ausführungsform die dritte und vierte Isolationsschicht **O3**, **O4** im Bereich der elektrischen Anschlüsse **AE**, **EM** nicht entfernt.

[0075] Ansonsten entspricht die dritte Ausführungsform der oben beschriebenen ersten Ausführungsform.

[0076] Der Einspannbereich **EE** kann umlaufend oder partiell verlaufend sein. Durch ihn lässt sich eine Relativbewegung zwischen der zentralen Elektrode **E1** und den Membranen **M1**, **M2**, zum Beispiel aufgrund einer Beschleunigung der Drucksensorvorrichtung reduzieren.

[0077] Bei einer umlaufenden Ausgestaltung des Einspannbereichs **EE** kann die Drucksensorvorrichtung gemäß der dritten Ausführungsform auch als Differenzdrucksensor betreiben werden (siehe hierzu auch **Fig. 6**)).

[0078] **Fig. 5a)** bis **Fig. d)** sind schematische senkrechte Querschnittsdarstellungen zur Erläuterung verschiedener Einspannungsvarianten einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß der beschriebenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

[0079] Die Darstellungen in **Fig. 5a)** bis **Fig. d)** zeigen, dass die Membrananordnung mit der ersten und zweiten Membran **M1**, **M2** innerhalb des oben beschriebenen Zwischenraums **Z1** entweder partiell oder umlaufend eingespannt werden kann. Zur Einspannung dient eine jeweilige elastische Federein-

richtung **F1**, **F2**, **F3** bzw. **F4**. Die Federeinrichtung **F1** gemäß **Fig. 5a)** ist stufenförmig ausgeführt, wohingegen die Federeinrichtung **F2** gemäß **Fig. 5b)** nur durch die zweite leitfähige Schicht **P2** gebildet ist. Die Federeinrichtung **F3** gemäß **Fig. 5c)** ist durch die vierte und fünfte leitfähige Schicht **P4**, **P5** gebildet, und die Federeinrichtung **F4** gemäß **Fig. 5d)** ist durch die dritte leitfähige Schicht **P3** gebildet.

[0080] Selbstverständlich sind auch Kombinationen der dargestellten Federeinrichtungen **F1** bis **F4** oder anderweitige geometrische Ausbildungen vorstellbar.

[0081] Zur Herstellung der Federeinrichtungen **F1** bis **F4** sind zusätzliche geeignet strukturierte Ätzstoppstrukturen, wie oben beschrieben, notwendig.

[0082] Da die Federeinrichtungen **F1** bis **F4** aus Polysilizium der leitenden Schichten **P1** bis **P5** hergestellt werden, ist auch über sie eine elektrische Anbindung der ersten und zweiten Membran **M1**, **M2** vorstellbar.

[0083] Des Weiteren können die Federeinrichtung **F1** bis **F4** unter einem beliebigen Winkel an die Membrananordnung und unter einem beliebigen Winkel an das die Membrananordnung umlaufende Substrat angeschlossen / verankert werden.

[0084] **Fig. 6** ist eine schematische senkrechte Querschnittsdarstellung einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0085] Die mikromechanische Drucksensorvorrichtung gemäß **Fig. 6** basiert auf der mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß **Fig. 4**. Im Unterschied dazu ist der Randbereich **R** der Membrananordnung mit der ersten und zweiten Membran **M1**, **M2** elektrisch isolierend ausgestaltet, so dass die erste Membran **M1** und die zweite Membran **M2** elektrisch isolierend miteinander verbunden und zusätzlich umlaufend eingespannt sind. Auch ist die zentrale Elektrode **E1** über den Einspannungsbereich **EE** mit der dritten und vierten Isolationsschicht **O3**, **O4** eingespannt.

[0086] Zusätzlich vorgesehen ist ein drittes Bondpad **B3**, über das die erste Membran **M1** separat von der zweiten Membran **M2** elektrisch kontaktierbar ist. Diese Drucksensorvorrichtung ist somit als Absolutdrucksensor konfiguriert, welcher eine Druckdifferenz zwischen einem ersten äußeren Druck **PA** und einem zweiten äußeren Druck **PA'** erfassen kann. In diesem Beispiel wird über das dritte Bondpad **B3** sowohl die Membran **M1** als auch das Substrat **S** elektrisch kontaktiert. Optional ist es möglich, die Membran **M1** nicht elektrisch mit dem Substrat zu verbinden, sondern isolierend zu dem Substrat auszuführen. Auf diese Weise kann das Substrat **S** und die

Membran **M1** auf unterschiedliche elektrische Potentiale gelegt werden.

[0087] Fig. 7 ist eine schematische senkrechte Querschnittsdarstellung einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer fünften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0088] Bei der Ausführungsform gemäß Fig. 7 ist die zentrale Elektrode **E1** über die zweite leitfähige Schicht **P2** über den elektrischen Anschluss **AE'** elektrisch kontaktierbar. Die zweite Membran **M2** ist über die dritte, vierte und fünfte elektrisch leitfähige Schicht **P3, P4, P5** durch den elektrischen Anschluss **AM'** elektrisch kontaktierbar und auf der dritten Isolationsschicht **O3** verankert.

[0089] Fig. 8 ist eine schematische senkrechte Querschnittsdarstellung einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer sechsten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0090] Bei der sechsten Ausführungsform gemäß Fig. 8 ist die zentrale Elektrode **E1** über die dritte, vierte und fünfte leitfähige Schicht **P3, P4, P5** über den elektrischen Anschluss **AE''** elektrisch kontaktierbar, und die zweite Membran **M2** über den elektrischen Anschluss **AM''**, welcher über die vierte und fünfte elektrisch leitfähige Schicht **P4, P5** verläuft.

[0091] Ebenfalls möglich und nicht gezeigt ist es, das elektrische Bondpad **B2** unmittelbar auf die zur elektrischen Kontaktierung der zentralen Elektrode verwendete dritte leitfähige Schicht **P3** abzulegen.

[0092] Fig. 9a) bis Fig. d) sind schematische senkrechte Querschnittsdarstellungen zur Erläuterung eines Herstellungsverfahrens für eine mikromechanische Drucksensorvorrichtung und einer entsprechenden mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer siebenten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0093] Die zuvor beschriebenen Ausführungsformen mikromechanischer Drucksensorvorrichtungen sind derart beschrieben, dass sie in Bulk-Mikromechanik gefertigt werden können. Mit wenigen Design- und Prozessänderungen kann dieser prinzipielle Aufbau auch zur Herstellung eines kapazitiven Oberflächenmikromechanik-Drucksensors verwendet werden.

[0094] Der Oberflächenmikromechanik-Drucksensor hat den Vorteil, dass er nur von einer Seite aus prozessiert wird, was Beschädigungen der Membrananordnung aufgrund einer Face-Down-Prozessierung, die bei der Bulk-Mikromechanik auftritt verhindern kann. Abweichend vom Bulk-Mikromechanik-Drucksensor wird beim Oberflächenmikromechanik-Drucksensor die zweite leitfähige Schicht **P2** im Membranbereich der Membran **M1** mit Durchgangs-

löchern **V10** versehen und die darunterliegende erste und zweite Isolationsschicht **O1, O2** wird in einem frühen Prozessstadium unter Verwendung dieser Ätzlöcher **V10** durch einen Ätzprozess teilweise oder vollständig entfernt.

[0095] Dies ist in Fig. 9a) gezeigt, welche mit der zuvor beschriebenen Fig. 1b) korrespondiert. Bei geeigneter Platzierung der Ätzlöcher **V10** ist es möglich, zunächst lokale Inseln **I** der ersten und zweiten Isolationsschicht **O1, O2** zu erzeugen. Diese Inseln **I** unterstützen die erste Membran **M1** vor einem großflächigen Durchbiegen bei einem späteren Prozessschritt, z. B. einem Polierschritt (CMP). Mit Hilfe einer weiteren leitfähigen Schicht **P2'**, z.B. aus Polysilizium, welche ebenfalls optional durch weitere leitfähige Schichten aufgedickt werden kann, oder epitaktisch abgeschiedenem Silizium, werden die Ätzlöcher **V10** nach Bilden der Inseln **I** verschlossen. Um Kurzschlüsse zwischen der ersten Membran **M1** und dem Grundsubstrat **S** vermeiden zu können, sollten die Ätzlöcher **V10** möglichst kleine laterale Abmessungen besitzen, um sie schnell verschließen zu können, oder sie können optional vor der Abscheidung der weiteren leitfähigen Schicht **P2'** mit Hilfe einer Isolationsschicht, zum Beispiel Siliziumoxid oder Siliziumnitrid oder Kombinationen davon, zunächst verschlossen werden und anschließend die weitere leitfähige Schicht **P2'** mit Hilfe einer beispielsweise PECVD-Schichtabscheidung, einer LPCVD-Schichtabscheidung oder einer epitaktischen Schichtabscheidung aufgetragen werden.

[0096] Bei der Variante mit der zusätzlichen Isolationsschicht kann die Verschlusschicht nach der Abscheidung noch derart strukturiert werden, dass eine nachfolgend abgeschiedene Polysiliziumschicht die Verschlussstopfen auf der Membranschicht vollständig umschließt. Dies ist als Alternative in Fig. 9b) gezeigt, wobei die Verschlussstopfen mit Bezugszeichen NP dargestellt sind. Optional kann das Verschlussoxid auch derart strukturiert werden, dass lediglich an definierten Stellen Kontaktlöcher erzeugt werden, welche eine elektrische Kontaktierung zwischen den Schichten **P2** und **P2'** ermöglichen. Des Weiteren kann die Isolationsschicht auch so strukturiert werden, dass diese vollständig von den elektrisch leitfähigen Schichten **P2** und **P2'** umschlossen wird.

[0097] Im Weiteren erfolgen nun gemäß Fig. 9c) und 9d) die bereits erläuterten Schichtabscheidungen und Strukturierungen. Nach Strukturierung der oberen zweiten Membran **M2** erfolgt bei der Oberflächenmikromechanik-Variante nun die Freistellung der Membrananordnung durch bereichsweises Entfernen der ersten bis vierten Isolationsschicht **O1** bis **O4**, wie bereits erläutert. Durch die am Anfang zur Stabilisierung der ersten Membran **M1** erzeugten Siliziuminseln **I** aus Siliziumoxid kann jetzt auch eine

schnelle Durchdringung der zu entfernenden ersten und zweiten Isolationsschicht **O1**, **O2** unter der ersten Membran **M1** durch ein geeignetes Ätzmedium erfolgen. Mit Hilfe der lateralen Ätzstoppstrukturen **ES** (vgl. **Fig. 1j**)) können auch hier wohldefinierte Isolationsbereiche entfernt werden.

[0098] Die unter der ersten Membran **M1** entstandene Kaverne **KR'** ist bei dieser Ausführungsform nicht zur Rückseite des Grundsubstrats **S** hin geöffnet.

[0099] **Fig. 10** ist eine schematische senkrechte Querschnittsdarstellung einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer achten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0100] Da beim nasschemischen Ätzen die Gefahr besteht, dass die freigestellte Membranstruktur über die erste Membran **M1** flächig am darunter befindlichen Grundsubstrat **S** anhaften kann, können bei der achten Ausführungsform bei geeigneter Designauslegung der ersten leitfähigen Schicht **P1** und der zweiten Isolationsschicht **O2** optional Anschläge an der Unterseite der ersten Membran **M1** hergestellt werden, wie in **Fig. 10** dargestellt und mit Bezugszeichen **N3** bezeichnet.

[0101] Bei der Variante ohne erste leitfähige Schicht **P1** (vergleiche **Fig. 7** und **Fig. 8**) können diese auch beispielsweise durch Zeitätzen in der zweiten Isolationsschicht **O2** erzeugt werden.

[0102] Auch bei der Oberflächenmikromechanik-Variante sind alle schon in der Bulk-Mikromechanik beschriebenen Variante beschriebenen Optionen bezüglich Design- und Prozessgestaltung möglich. Da bei der Oberflächenmikromechanik-Variante der später vereinzelt Drucksensorchip an der Rückseite keine Kaverne aufweist, ist es hier möglich, den Drucksensorchip flächig aufzukleben.

[0103] **Fig. 11** ist eine schematische senkrechte Querschnittsdarstellung einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer neunten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0104] Bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 11** ist die erste Membran **M1** im Vergleich zur achten Ausführungsform gemäß **Fig. 10** über elektrisch isolierende Verbindungsbereiche **VK** der dritten isolierenden Schicht **O3** mit der zentralen Elektrode **E1** verbunden.

[0105] Dadurch lässt sich die zentrale Elektrode **E1** bei Beaufschlagung der ersten Membran **M1** mit dem äußeren Druck **PA** gemeinsam mit der ersten Membran **M1** deformieren, wodurch eine Referenzkapazität **CR1** gebildet ist. Optional kann eine Referenzkapazität **CR1** auch derart gebildet werden, in dem sich elektrisch isolierende Verbindungsbereiche **VK** der

vierten isolierenden Schicht **O4** zwischen der zentralen Elektrode **E1** und der Membran **M2** befinden und diese mechanisch verbinden.

[0106] **Fig. 12** ist eine schematische senkrechte Querschnittsdarstellung einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung gemäß einer zehnten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0107] Bei der Ausführungsform gemäß **Fig. 12** ist seitlich beabstandet von der Membrananordnung mit der ersten und zweiten Membran **M1**, **M2** eine separate Referenzkapazität **CR2** im Sensorsubstrat **SS** gebildet. Diese umfasst die leitfähigen Schichten **P2**, **P2'** der ersten Membran **M1**, die dritte leitfähige Schicht **P3** der zentralen Elektrode **E1** und die vierte und fünfte leitfähige Schicht **P4**, **P5** der zweiten Membran **M2** sowie Verbindungsbereiche **VK2** aus der dritten Isolationsschicht **O3**, sowie Verbindungsbereiche **VK2'** aus der vierten Isolationsschicht **O4**, welche jeweils zwischen den Kondensatorplatten zur Stabilisierung und Fixierung ausgebildet sind. Optional kann hier eine Referenzkapazität auch derart gebildet werden, in dem nur die Verbindungsbereiche **VK2** oder nur die Verbindungsbereiche **VK2'** hergestellt werden. Werden nur die Verbindungsbereich **VK2** hergestellt, bilden die Schicht **P3** der zentralen Elektrode **E1** und die Schichten **P2**, **P2'** der Membran **M1** eine Referenzkapazität. Werden nur die Verbindungsbereich **VK2'** hergestellt, bilden die Schicht **P3** der zentralen Elektrode **E1** und die Schichten **P4**, **P5** der Membran **M2** eine Referenzkapazität. Eine weitere Option der Realisierung einer Referenzkapazität besteht darin keine Verbindungsbereiche **VK2**, **VK2'** vorzusehen. Werden die vierte und fünfte leitfähige Schicht **P4**, **P5** der zweiten Membran **M2** nicht mechanisch mit der dritten leitfähigen Schicht **P3** der zentralen Elektrode **E1** gekoppelt, so bewirkt ein an der vierten und fünften leitfähigen Schicht **P4**, **P5** anliegender Druck **PA** nur eine Deformation dieser Schichten, nicht aber der dritten leitfähigen Schicht **P3** der zentralen Elektrode **E1**. Bei Druckbeaufschlagung mit einem Druck **PA** ändert sich somit der Abstand zwischen der Schicht **P3** der zentralen Elektrode **E1** und den Schichten **P2**, **P2'** der Membran **M1** nicht. Somit kann eine Referenzkapazität **CR2** im Sensorsubstrat **SS** auch ohne Verbindungsbereiche **VK2**, **VK2'** gebildet werden. Obwohl die vorliegende Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt. Insbesondere sind die genannten Materialien und Topologien nur beispielhaft und nicht auf die erläuterten Beispiele beschränkt.

[0108] Obwohl bei den oben beschriebenen Ausführungsformen nicht beschrieben, kann nach jeder beschriebenen Schichtabscheidung eine Planarisierung der Substratoberfläche mit Hilfe eines Polierschrittes (beispielsweise CMP-Polierschritt) erfolgen. Weiterhin ist es denkbar, die abgeschiedenen leitfähigen

gen Schichten aus Polysilizium o. ä. zu dotieren oder zu implantieren, um deren elektrische Leitfähigkeit zu verbessern. Eine derartige Dotierung kann hier z.B. nach der Schichtabscheidung oder in situ während der Schichtabscheidung erfolgen.

[0109] Die hier beschriebenen Drucksensorvorrichtungen basieren auf der Verwendung von Siliziumschichten für Membran- und Elektrodenstruktur. Prinzipiell ist es auch denkbar, diese Strukturen mit Hilfe von metallischen oder anderen leitenden Schichten zu realisieren.

[0110] Bei den hier beschriebenen Drucksensorvorrichtungen bestehen die lateralen Ätzstoppstrukturen aus, elektrisch leitfähigen, Schichten wie z.B. Polysilizium. Prozesstechnisch ist es möglich, diese lateralen Ätzstoppstrukturen optional auch aus elektrisch isolierenden Schichten auszuführen oder aus Schichtfolgen von Polysilizium und isolierenden Schichten. Denkbar ist es auch elektrisch leitfähige und elektrische isolierende Ätzstoppstrukturen simultan auf einem Sensorchip einzusetzen. Bei der Auswahl der isolierenden Schichten ist darauf zu achten, dass diese chemisch resistent sind gegenüber den Ätzprozessen mit dem die isolierenden Schichten **O1**, **O2**, **O3**, **O4** lokal entfernt werden. Bestehen die isolierenden Schichten **O1**, **O2**, **O3**, **O4** z.B. aus Siliziumoxid, so haben sich für den Einsatz in Ätzstoppstrukturen isolierende Schichten aus z.B. Siliziumcarbid, Siliziumnitrid und hier speziell siliziumreiches Siliziumnitrid bewährt.

[0111] Obwohl bei einem obigen Beispiel sich die Verlängerungsbereiche tangential weg von der Membrananordnung erstrecken, ist es möglich, dass sich die Verlängerungsbereiche unter einem beliebigen Winkel weg von der Membrananordnung aber auch unter einem beliebigen Winkel weg von dem umgebenden Sensorsubstrat erstrecken.

[0112] Das Bilden einer Referenzkapazität ist insbesondere möglich zwischen der zentralen Elektrode und der ersten Membran. Eine Referenzkapazität kann auch gebildet werden, wenn elektrisch isolierende Verbindungsbereiche zwischen der zentralen Elektrode und der zweiten Membran vorgesehen werden. Auch können sowohl die erste Membran als auch die zweite Membran mittels Verbindungsbereichen an die zentrale Elektrode gekoppelt werden.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 5332469 [0005]
- US 6159762 [0006]
- US 5450754 [0007]

Patentansprüche

1. Mikromechanische Drucksensorvorrichtung mit:
 einem Sensorsubstrat (SS);
 einer im Sensorsubstrat (SS) verankerten Membrananordnung, welche eine erste Membran (M1; M1'; M1"; M1'''; M1''''') und eine davon beabstandete zweite Membran (M2; M2'; M2"; M2'''; M2'''''), welche in einem Randbereich (R; R'') umlaufend miteinander verbunden sind und in einem dazwischen gebildeten Innenraum (IR) einen Referenzdruck (P0) einschließen; und
 einer in dem Innenraum (IR) aufgehängten plattenförmigen zentralen Elektrode (E1; E1'; E1"; E1'''; E1'''''), welche von der ersten Membran (M1; M1'; M1"; M1'''; M1''''') und von der zweiten Membran (M2; M2'; M2"; M2'''; M2''''') beabstandet angeordnet ist und welche mit der ersten Membran (M1; M1'; M1"; M1'''; M1''''') eine erste Kapazität und mit der zweiten Membran (M2; M2'; M2"; M2'''; M2''''') eine zweite Kapazität bildet; wobei die erste Membran (M1; M1'; M1"; M1'''; M1''''') und die zweite Membran (M1; M1'; M1"; M1'''; M1''''') derart ausgestaltet sind, dass sie bei Beaufschlagung mit einem äußeren Druck (PA; PA, PA') zueinander hin deformierbar sind.

2. Mikromechanische Drucksensorvorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Membrananordnung im Wesentlichen freitragend angeordnet ist und über mindestens einen sich seitlich weg von der Membrananordnung erstreckenden Verlängerungsbereich (VL; VL1, VL2) im Sensorsubstrat (SS) verankert ist.

3. Mikromechanische Drucksensorvorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Membrananordnung einen zylindrischen Aufbau aufweist und ein erster Verlängerungsbereich (VL1) und ein zweiter Verlängerungsbereich (VL2) vorgesehen sind, welche sich tangential seitlich weg von der Membrananordnung erstrecken und welche sich diametral gegenüberliegen.

4. Mikromechanische Drucksensorvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 oder 3, wobei die zentrale Elektrode (E1; E1'; E1"; E1'''; E1''''') freitragend angeordnet ist und über den mindestens einen Verlängerungsbereich (VL; VL1, VL2) im Sensorsubstrat (SS) verankert ist.

5. Mikromechanische Drucksensorvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 oder 3, wobei die zentrale Elektrode (E1; E1'; E1"; E1'''; E1''''') zumindest bereichsweise im Innenraum (IR) über einen Einspannbereich (EE) eingespannt ist.

6. Mikromechanische Drucksensorvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Membrananordnung am Randbereich (R; R'')

über zumindest eine elastische Federeinrichtung (F1; F2; F3; F4) im Sensorsubstrat (SS) eingespannt ist.

7. Mikromechanische Drucksensorvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Membran (M1; M1'; M1"; M1'''; M1''''') und die zweite Membran (M2; M2'; M2"; M2'''; M2''''') über den Randbereich (R') elektrisch leitfähig miteinander verbunden sind.

8. Mikromechanische Drucksensorvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die erste Membran (M1; M1'; M1"; M1'''; M1''''') und die zweite Membran (M2; M2'; M2"; M2'''; M2''''') über den Randbereich (R') elektrisch isolierend miteinander verbunden sind.

9. Mikromechanische Drucksensorvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Membran (M1; M1'; M1"; M1'''; M1''''') über eine Kaverne (KR) zu einer ersten Seite oder zu einer zweiten Seite des Sensorsubstrats (SS) nach außen hin freigelegt ist und die zweite Membran (M2; M2'; M2"; M2'''; M2''''') zur zweiten Seite des Sensorsubstrats (SS) nach außen hin freigelegt ist.

10. Mikromechanische Drucksensorvorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die erste Membran (M1; M1'; M1"; M1'''; M1''''') über elektrisch isolierende Verbindungsbereiche mit der zentralen Elektrode (E1; E1'; E1"; E1'''; E1''''') verbunden ist, so dass die zentrale Elektrode (E1; E1'; E1"; E1'''; E1''''') bei Beaufschlagung der ersten Membran (M1; M1'; M1"; M1'''; M1''''') mit dem äußeren Druck (PA; PA, PA') gemeinsam mit der ersten Membran (M1; M1'; M1"; M1'''; M1''''') deformierbar ist und dadurch eine Referenzkapazität (CR1) gebildet ist.

11. Mikromechanische Drucksensorvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei seitlich beabstandet von der Membrananordnung (M1, M2; M1', M2') eine separate Referenzkapazität (CR2) im Sensorsubstrat (SS) gebildet ist.

12. Verfahren zum Herstellen einer mikromechanischen Drucksensorvorrichtung mit den Schritten:
 Bilden von einer in einem Sensorsubstrat (SS) verankerten Membrananordnung (M1, M2; M1', M2'), welche eine erste Membran (M1; M1'; M1"; M1'''; M1''''') und eine davon beabstandete zweite Membran (M2; M2'; M2"; M2'''; M2'''''), welche in einem Randbereich (R; R'') umlaufend miteinander verbunden sind und in einem dazwischen gebildeten Innenraum (IR) einen Referenzdruck (P0) einschließen; und
 Bilden einer in dem Innenraum (IR) aufgehängten plattenförmigen zentralen Elektrode (E1; E1'; E1"; E1'''; E1'''''), welche von der ersten Membran (M1; M1'; M1"; M1'''; M1''''') und von der zweiten Membran (M2; M2'; M2"; M2'''; M2''''') beabstandet angeordnet ist und welche mit der ersten Membran (M1; M1'; M1"; M1'''; M1''''')

M1''''') eine erste Kapazität und mit der zweiten Membran (M2; M2'; M2''; M2''' ; M2''''') eine zweite Kapazität bildet;

wobei die erste Membran (M1; M1'; M1''; M1''' ; M1''''') und die zweite Membran (M1; M1'; M1''; M1''' ; M1''''') derart ausgestaltet sind, dass sie bei Beaufschlagung mit einem äußeren Druck (PA; PA, PA') zueinander hin deformierbar sind.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei die erste Membran (M1; M1'; M1''; M1''' ; M1''''') aus einer über einem Grundsubstrat (S) abgeschiedenen und strukturierten ersten leitfähigen Schicht (P2; P2, P2') gebildet wird, wobei die zentrale Elektrode (E1; E1'; E1''; E1''' ; E1''''') aus einer über der ersten leitfähigen Schicht (P2; P2, P2') abgeschiedenen und strukturierten zweiten leitfähigen Schicht (P3) gebildet wird, und wobei zweite Membran (M2; M2'; M2''; M2''' ; M2''''') aus einer über der zweiten leitfähigen Schicht (P3) abgeschiedenen und strukturierten dritten und vierten leitfähigen Schicht (P4, P5) gebildet wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei der Innenraum (IR) dadurch gebildet wird, dass im Innenraum (IR) zwischen der ersten leitfähigen Schicht (P2; P2, P2') und zweiten leitfähigen Schicht (P3) eine erste Opferschicht (O3) abgeschieden und strukturiert wird, zwischen der zweiten leitfähigen Schicht (P3) eine zweite Opferschicht (O4) abgeschieden und strukturiert wird und ein Opferschichtätzprozess zum zumindest teilweisen Entfernen der ersten Opferschicht (O3) und der zweiten Opferschicht (O4) nach Perforieren der dritten leitfähigen Schicht (P4) im Innenraum (IR) durchgeführt wird, wonach die dritte leitfähige Schicht (P4) durch Abscheiden der vierten leitfähigen Schicht (P5) verschlossen wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, wobei zwischen der Membrananordnung ein Zwischenraum (Z1) zum umgebenden Sensorsubstrat (SS) gebildet wird, so dass Membrananordnung im Wesentlichen freitragend angeordnet ist.

Es folgen 18 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1a)

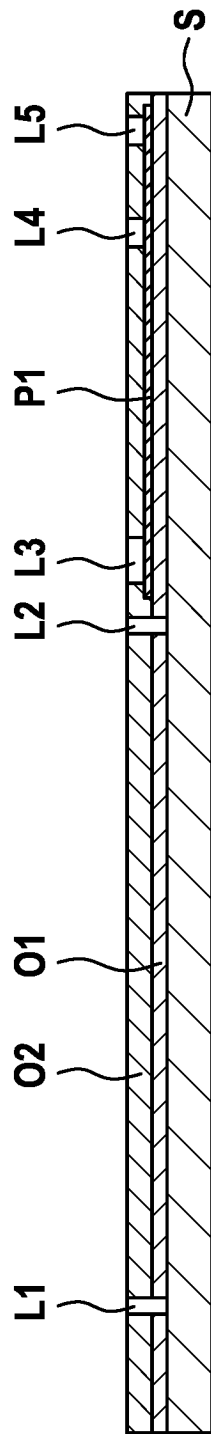


Fig. 1b)

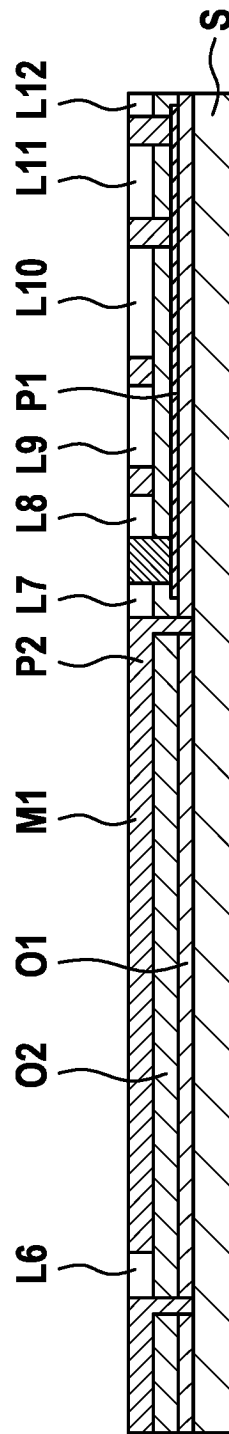


Fig. 1c)

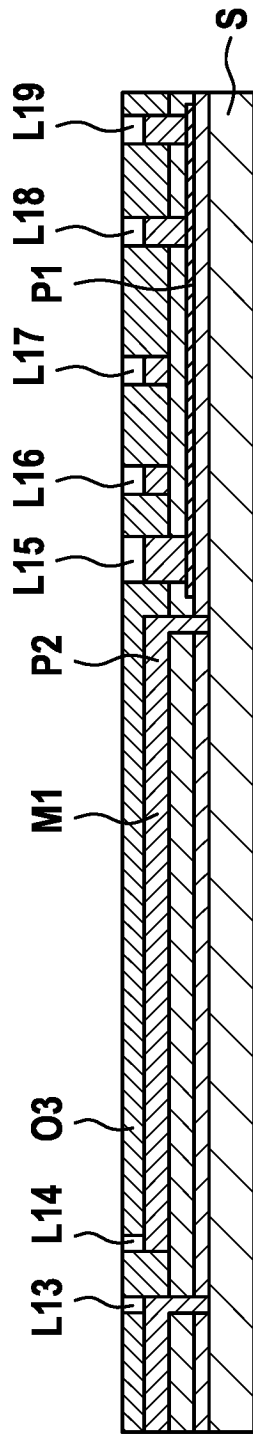
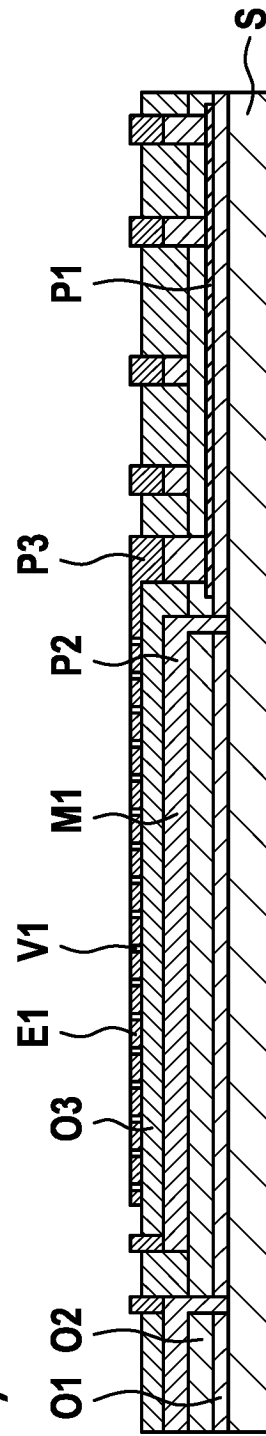


Fig. 1d)



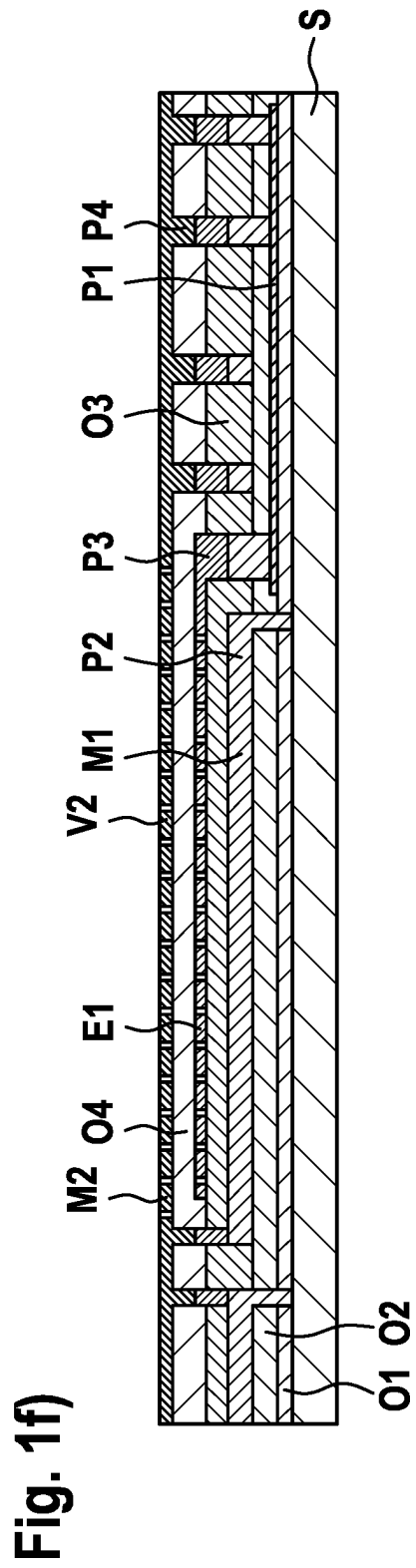
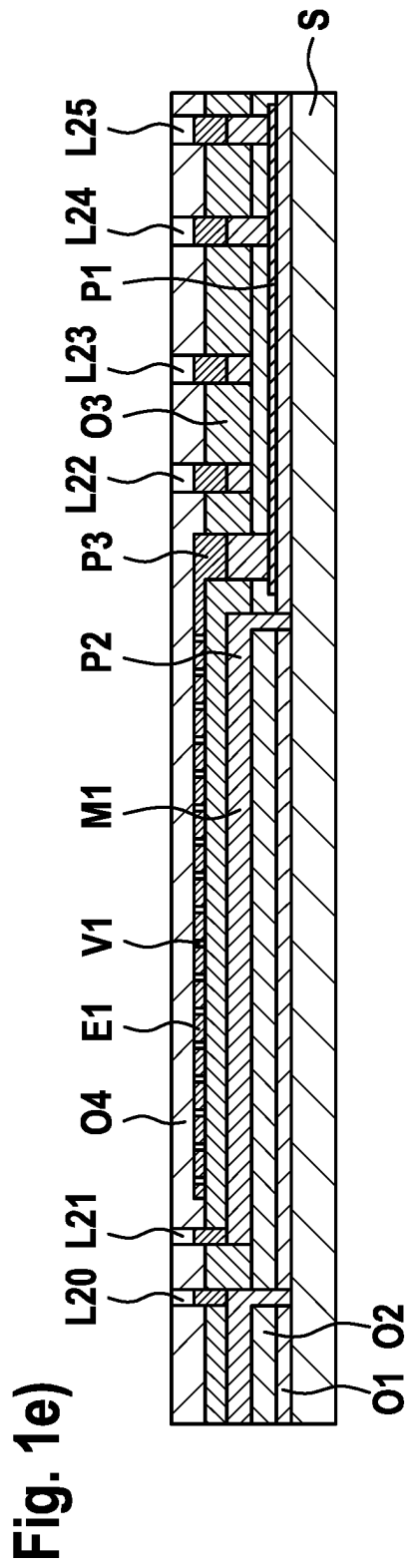


Fig. 1g)

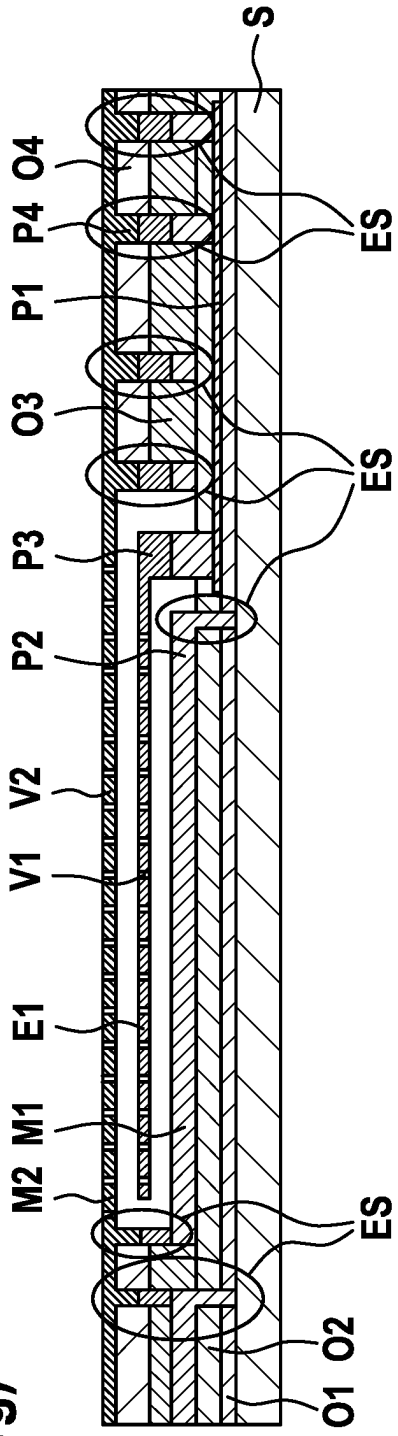
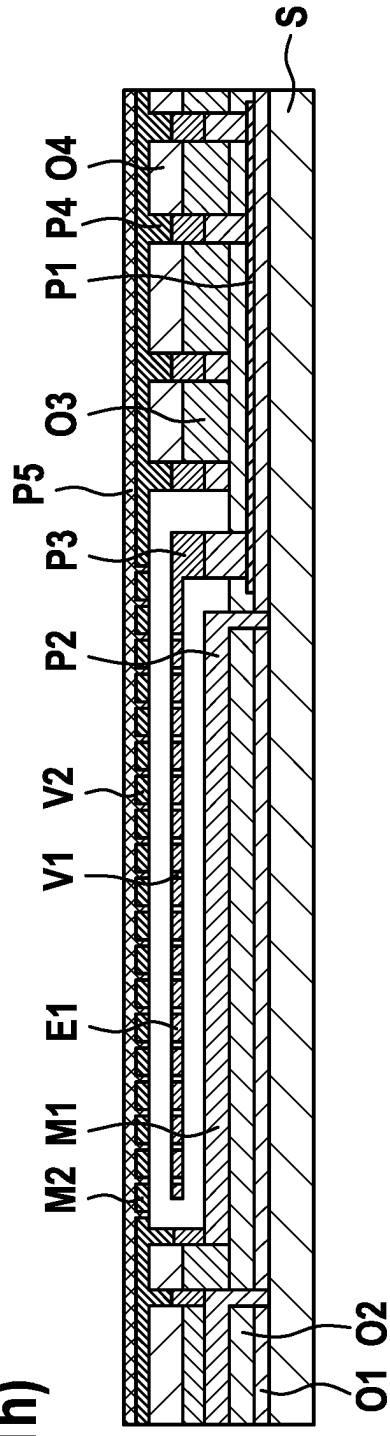


Fig. 1h)



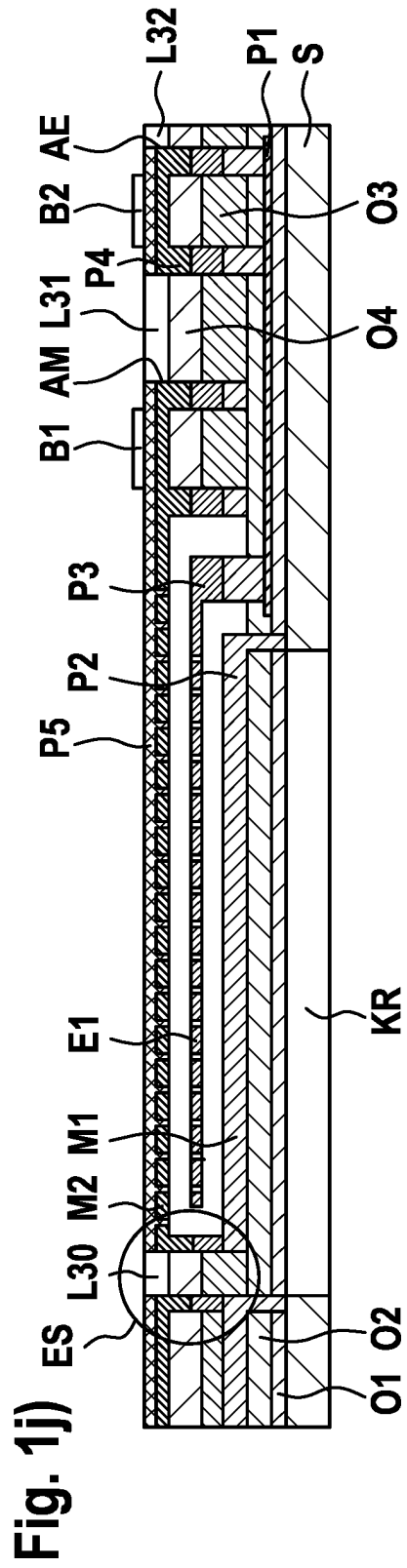
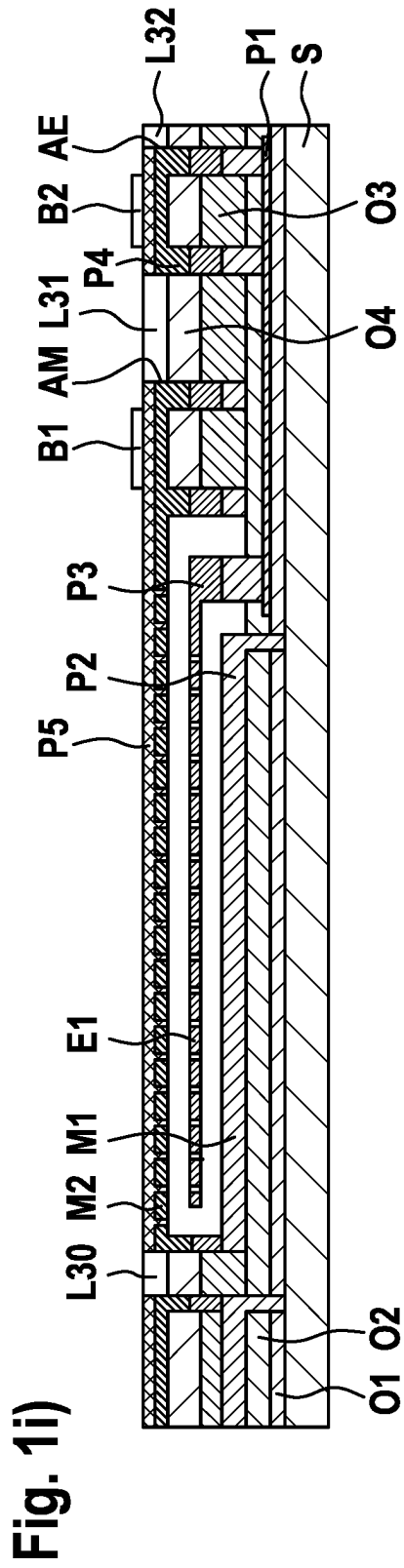
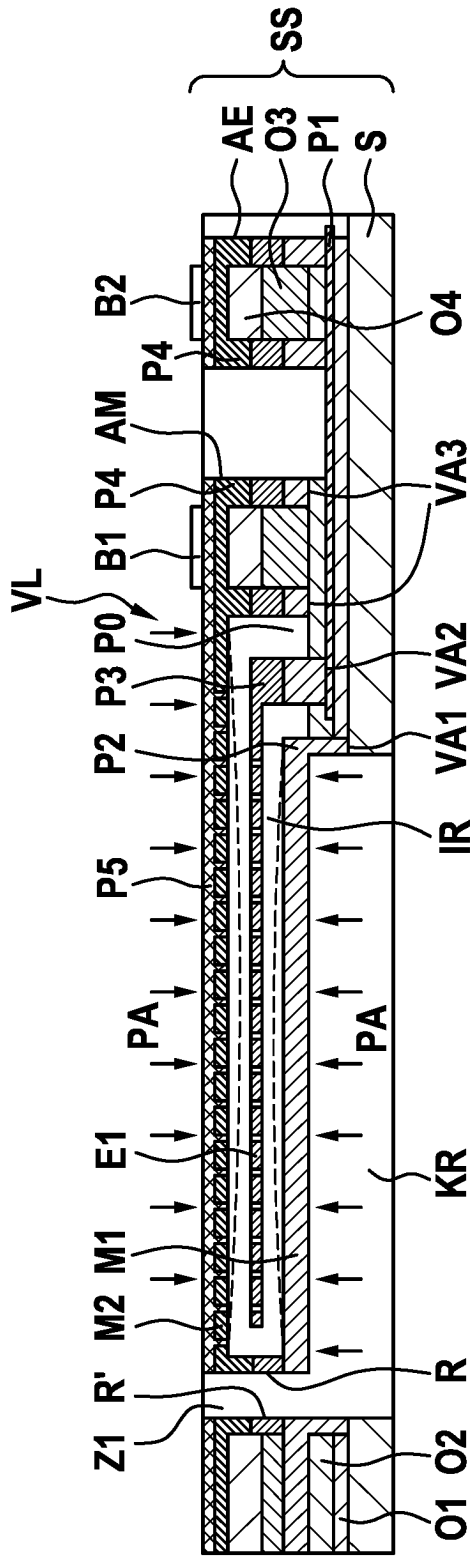


Fig. 1k)



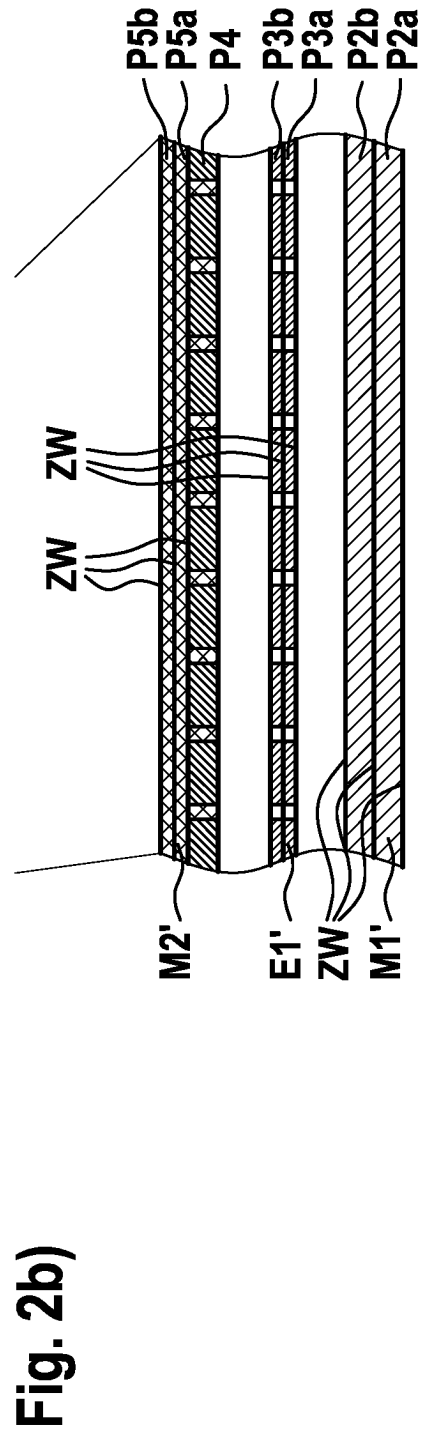
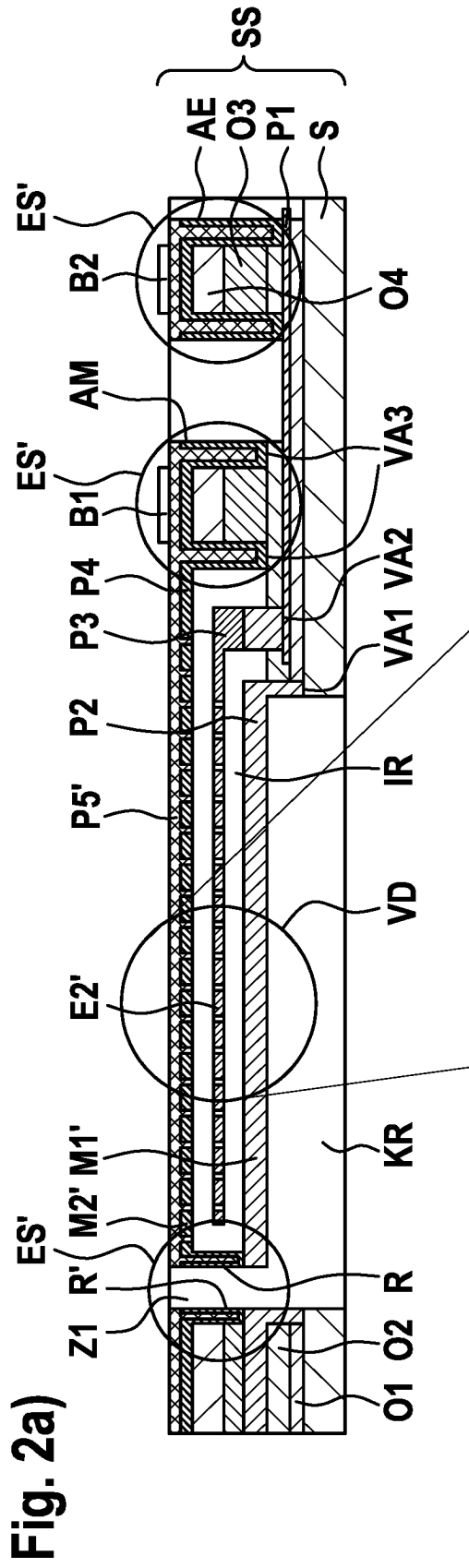


Fig. 3a)

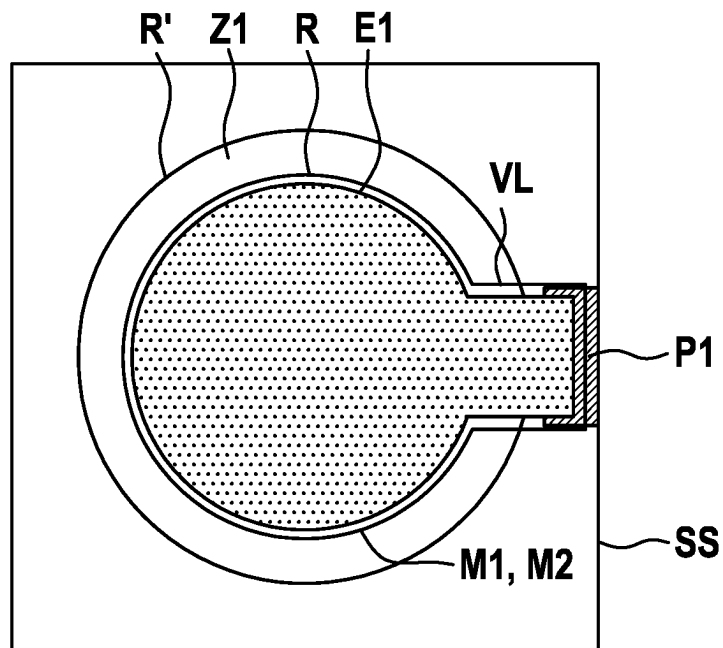


Fig. 3b)

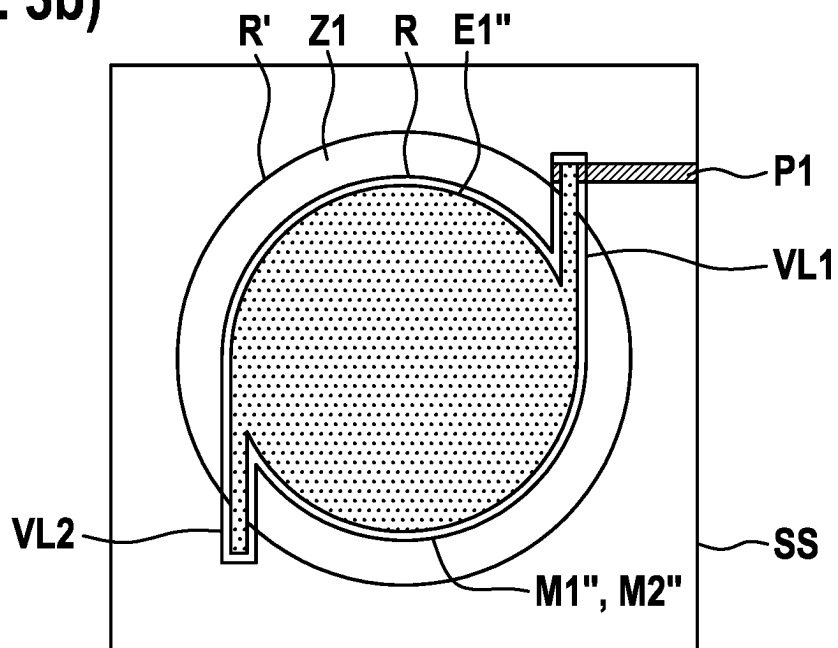


Fig. 3c)

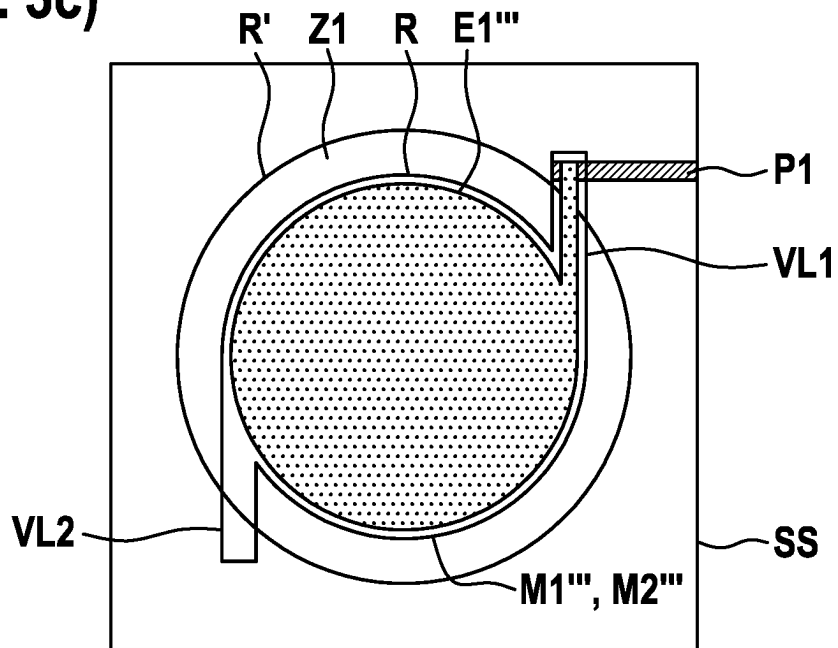


Fig. 3d)

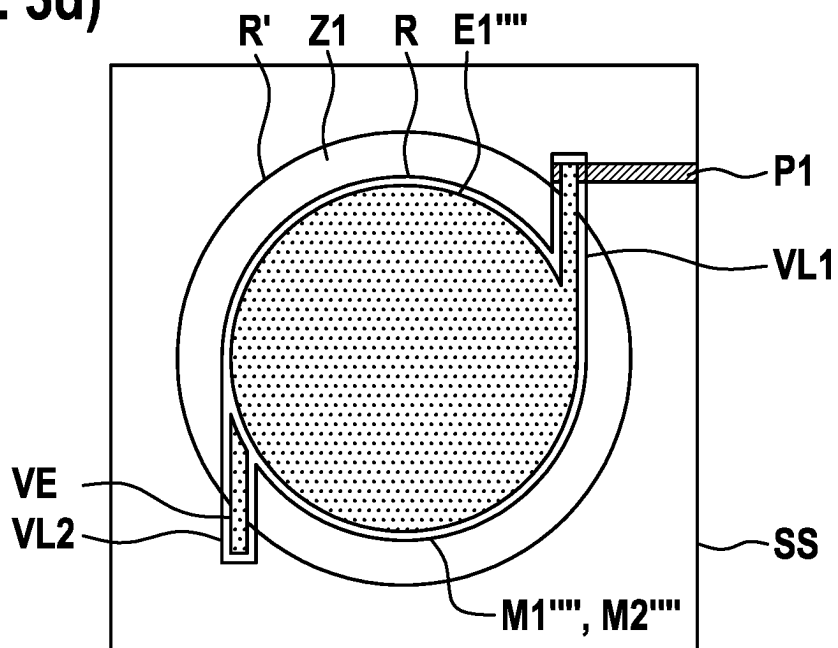
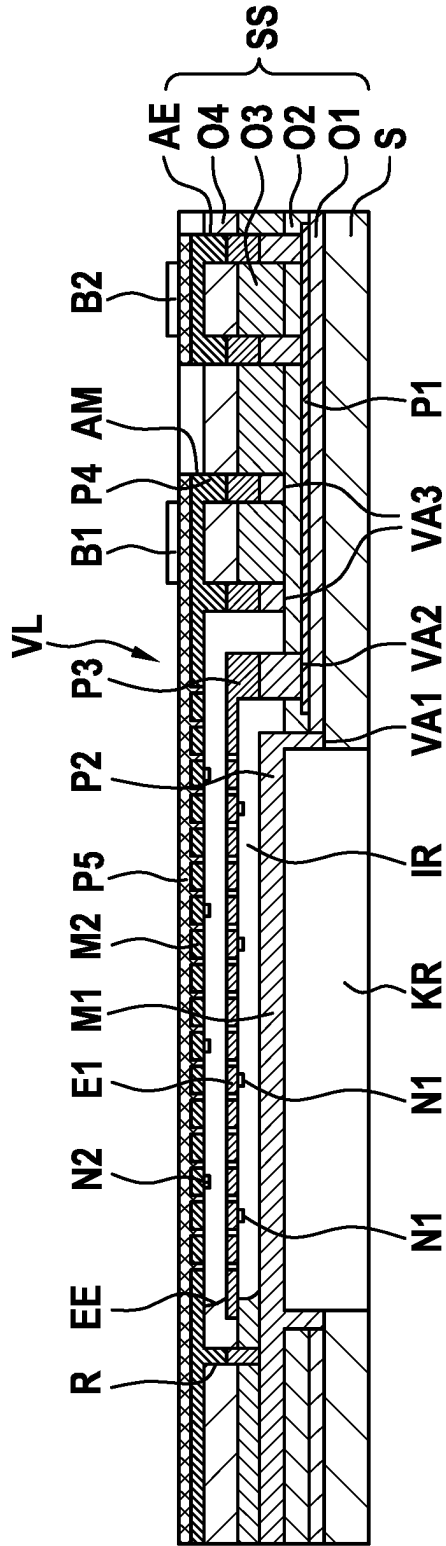
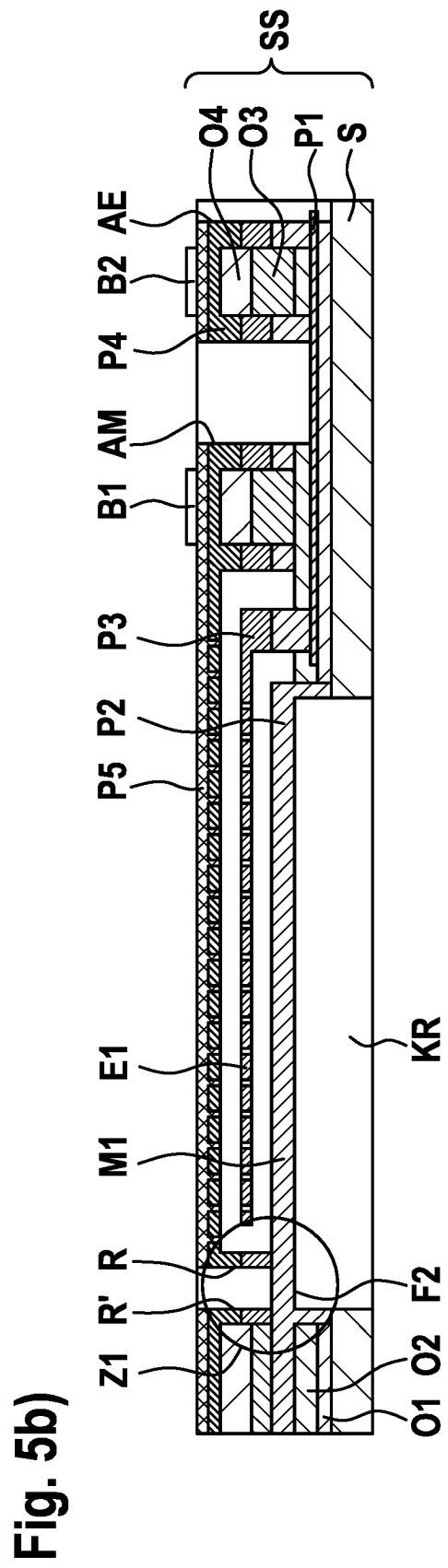
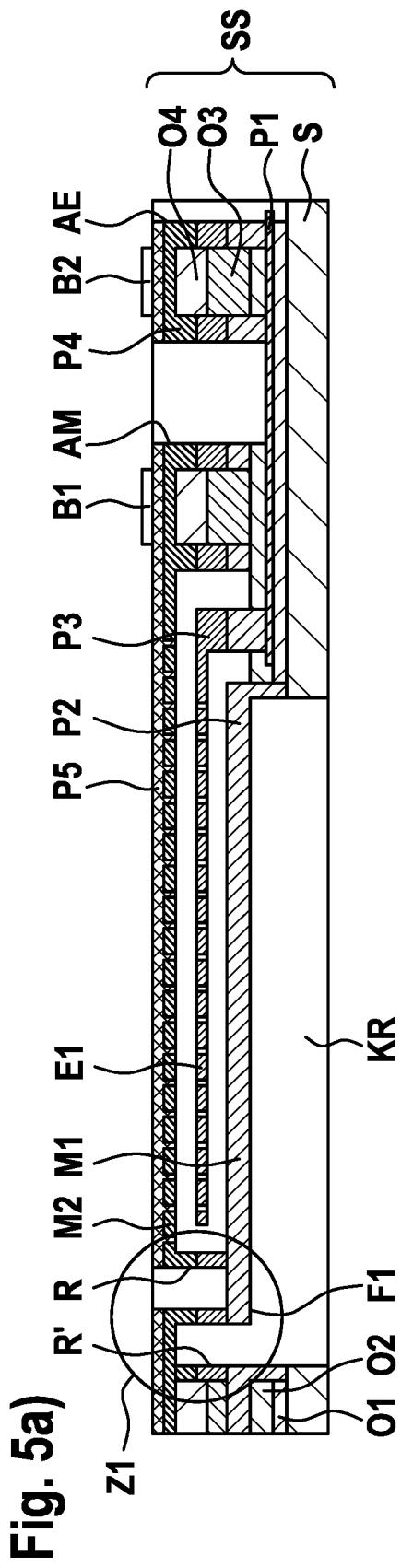
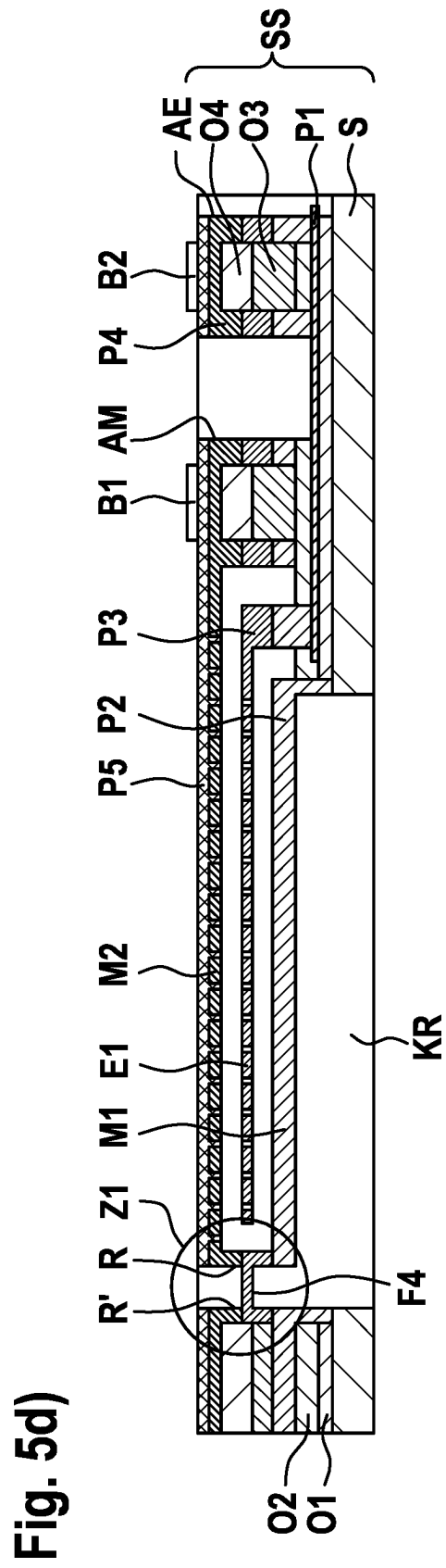
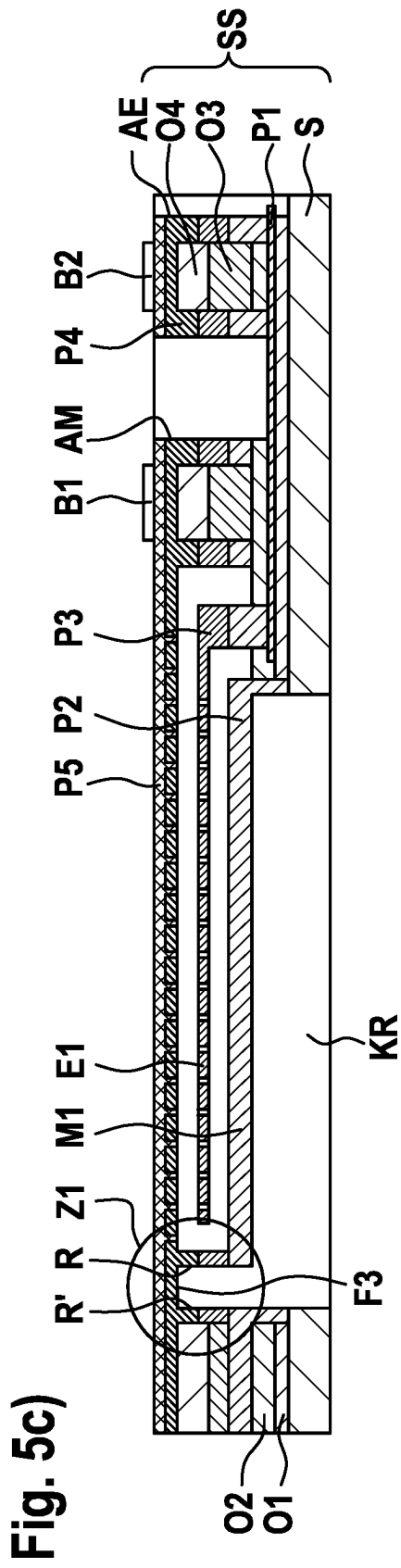


Fig. 4







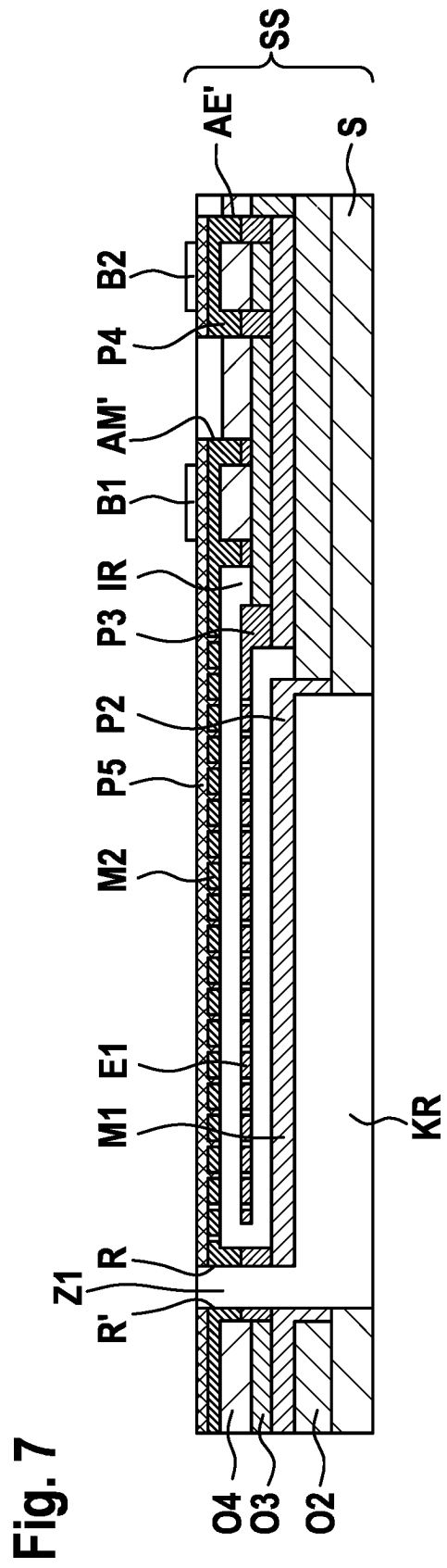
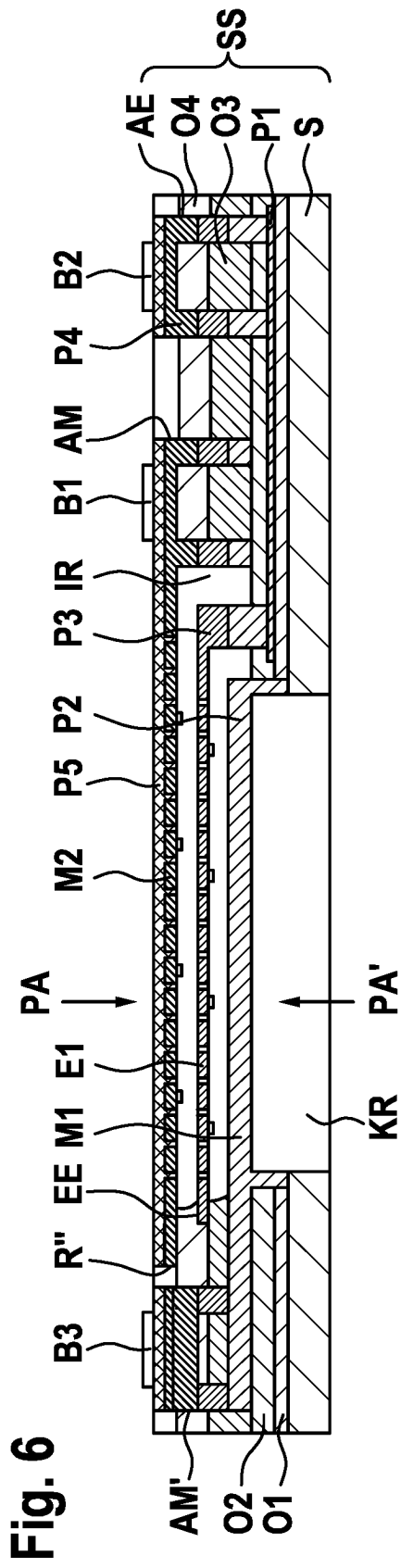


Fig. 8

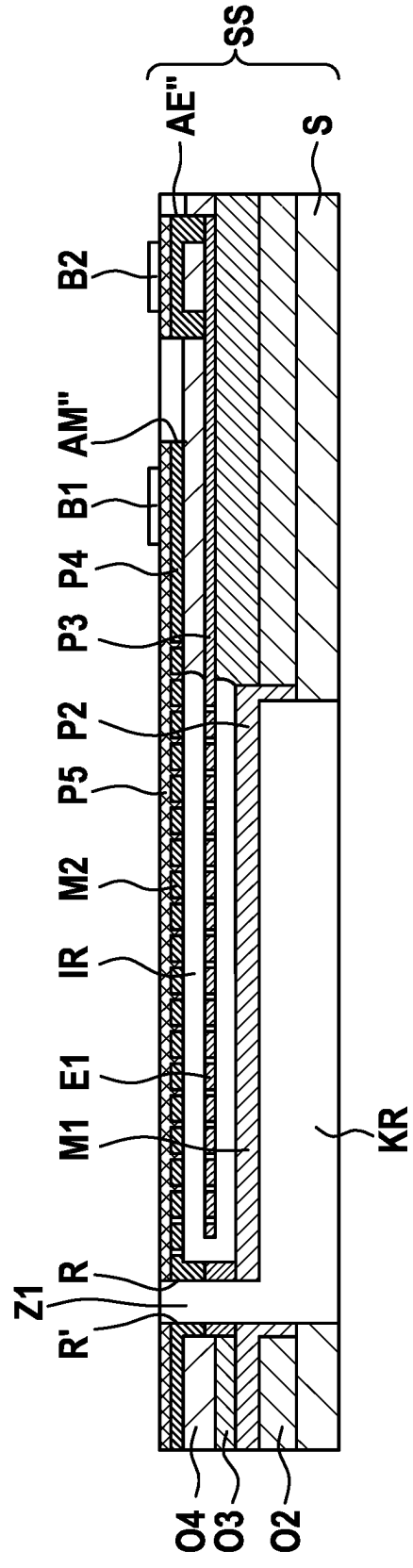


Fig. 9a)

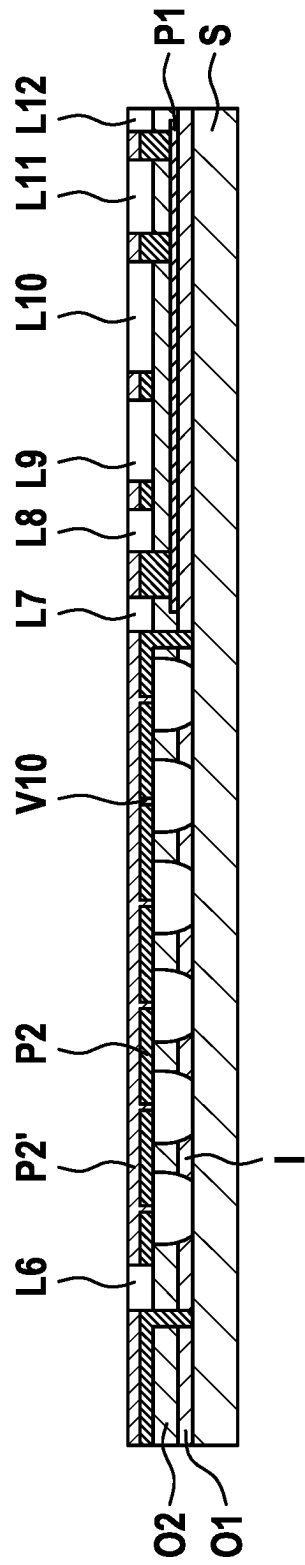


Fig. 9b)

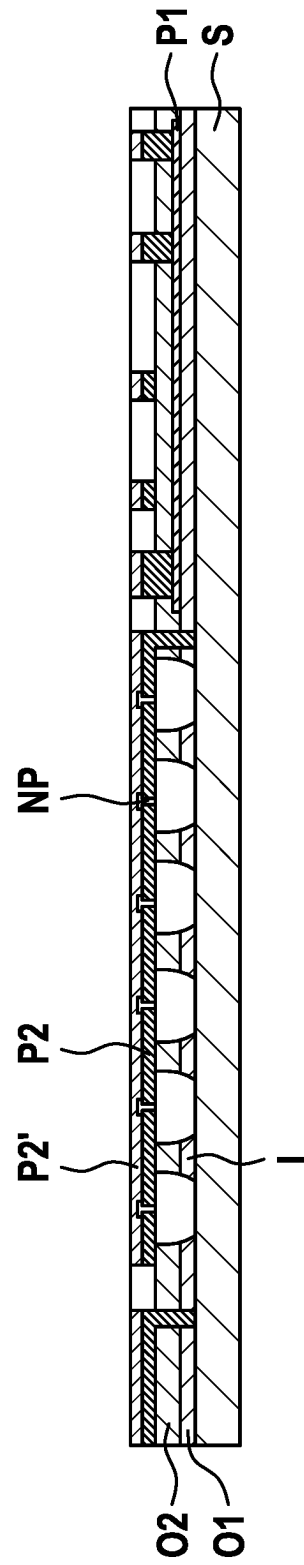


Fig. 9c)

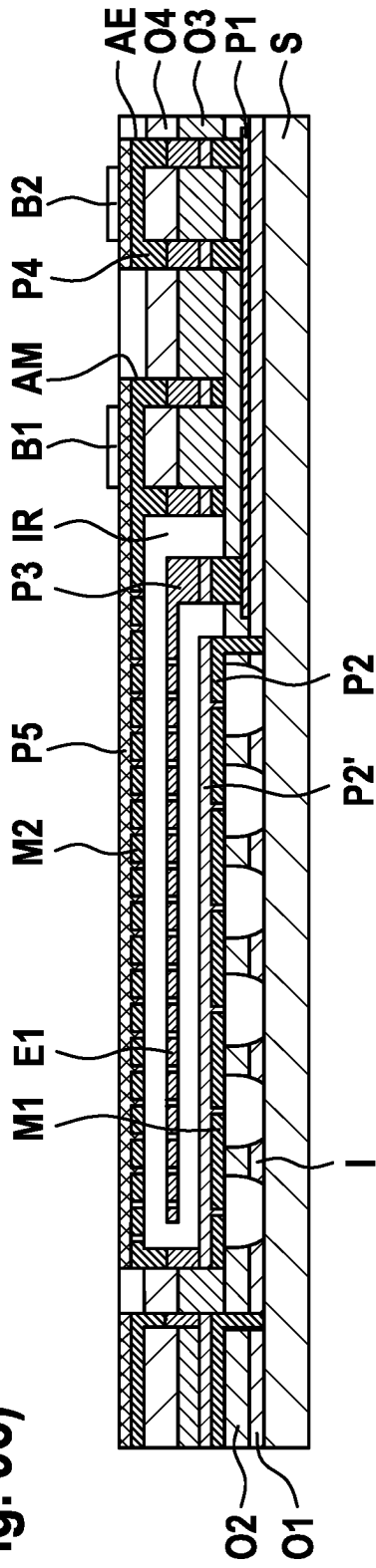
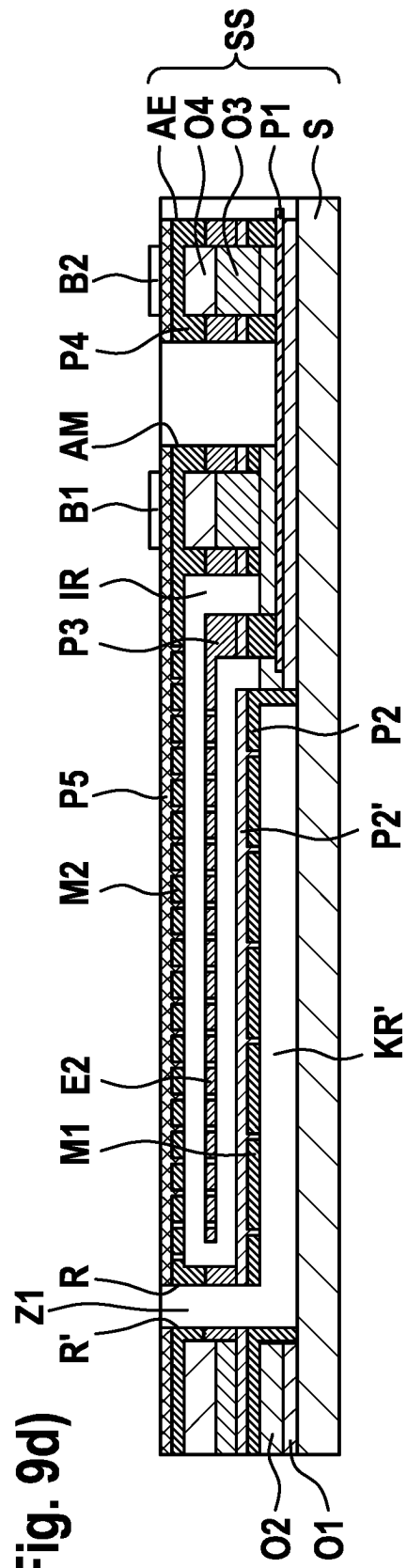


Fig. 9d)



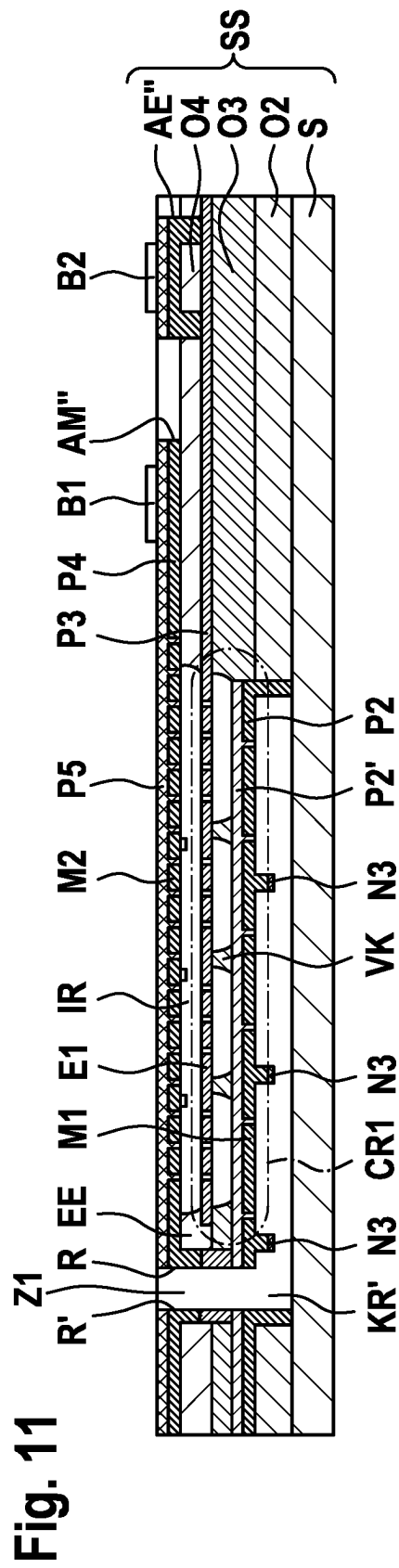
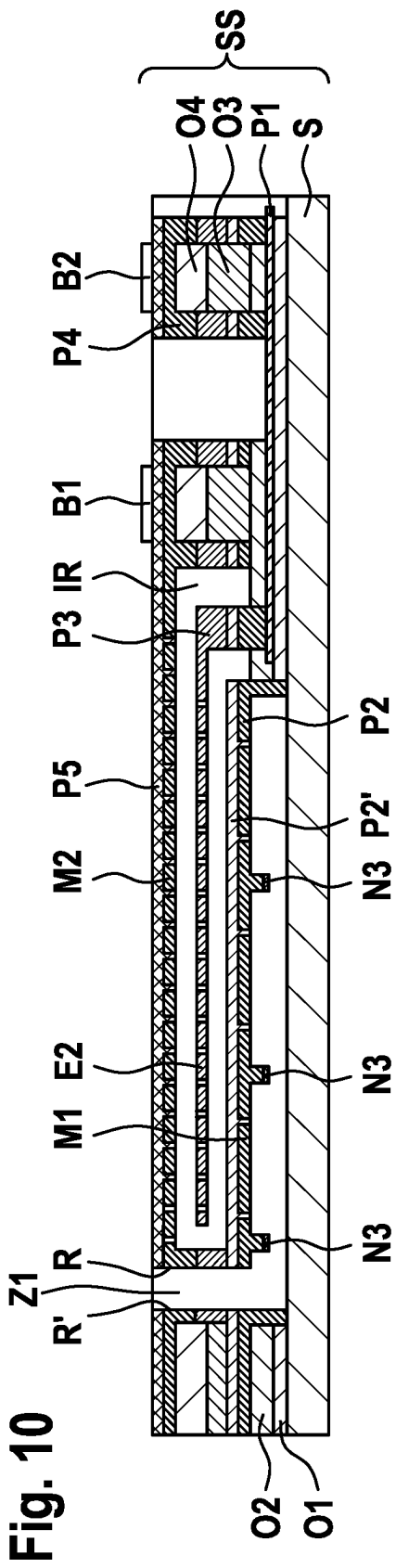


Fig. 12

