



(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2020 213 030.2**

(22) Anmeldetag: **15.10.2020**

(43) Offenlegungstag: **21.04.2022**

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

B81B 3/00 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Robert Bosch Gesellschaft mit beschränkter
Haftung, 70469 Stuttgart, DE**

**Nürtingen, DE; Schiller, Uwe, 72074 Tübingen, DE;
Scheurle, Andreas, 71229 Leonberg, DE**

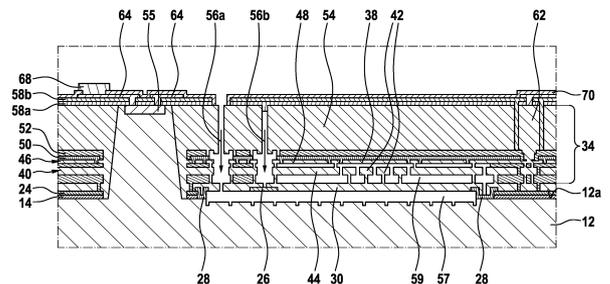
(72) Erfinder:

**Artmann, Hans, 71034 Böblingen, DE; Friedrich,
Thomas, 72116 Mössingen, DE; Schmollngruber,
Peter, 71134 Aidlingen, DE; Weber, Heribert, 72622**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Herstellungsverfahren für ein mikromechanisches Bauteil für eine Sensor- oder Mikrofonvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Herstellungsverfahren für ein mikromechanisches Bauteil für eine Sensor- oder Mikrofonvorrichtung mit den Schritten: Bilden einer Stützstruktur (10) aus einem ersten Opfermaterial an einer Substratoberfläche (12a) eines Substrats (12) mit einer ersten Opfermaterialschicht (14), einer Vielzahl von durch die erste Opfermaterialschicht (14) strukturierten Ätzlöcher (16) und einer Vielzahl von in das Substrat (12) hineinragenden Stützpfosten (18), Ätzen mindestens einer von der Stützstruktur (10) überspannten Kavität (22) in die Substratoberfläche (12a), Bilden einer Membran (30) aus zumindest einem Halbleitermaterial auf oder über der ersten Opfermaterialschicht (14) der Stützstruktur (10), Abscheiden eines Schichtstapels (34) umfassend mindestens eine Opferschicht (36a, 36b) und mindestens eine Gegenelektrode (38), und Freistellen der Membran (30) durch zumindest teilweises Entfernen zumindest der Stützstruktur (10) und der mindestens einen Opferschicht (36a, 36b).



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Herstellungsverfahren für ein mikromechanisches Bauteil für eine Sensor- oder Mikrofonvorrichtung. Des Weiteren betrifft die Erfindung ein mikromechanisches Bauteil für eine Sensor- oder Mikrofonvorrichtung.

Stand der Technik

[0002] Aus dem Stand der Technik, wie beispielsweise der DE 10 2012 217 979 A1 ist es bekannt, als drucksensitives Element eines Sensors oder eines Mikrofons eine Membran aus zumindest einem Halbleitermaterial zu verwenden, wobei die Membran selbst oder eine an der Membran angebundene Elektrode mit einer ortsfesten Gegenelektrode zusammenwirkt. In der Regel ist in diesem Fall zumindest eine Teilfläche einer von der Gegenelektrode weg gerichteten Membranoberfläche der Membran freiliegend.

Offenbarung der Erfindung

[0003] Die Erfindung schafft ein Herstellungsverfahren für ein mikromechanisches Bauteil für eine Sensor- oder Mikrofonvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein mikromechanisches Bauteil für eine Sensor- oder Mikrofonvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 8.

Vorteile der Erfindung

[0004] Die vorliegende Erfindung schafft mikromechanische Bauteile mit jeweils einer als druck- oder schallwellensensitives Element einsetzbaren Membran, welche verglichen mit dem Stand der Technik besser gegenüber mechanischen Beschädigungen oder Verschmutzungen der Membran geschützt ist. Da bei den mittels der vorliegenden Erfindung realisierten mikromechanischen Bauteilen die Membran auf ihrer von der mindestens einen zusammenwirkenden Gegenelektrode weg gerichteten Seite mindestens einen in die Substratoberfläche geätzten Freiraum überspannt, trägt das Substrat mit der Substratoberfläche zu einem verlässlichen Schutz der Membran vor mechanischen Beschädigungen bei. Gleichzeitig ist auf einfache Weise sicherstellbar, dass mit einer hohen Wahrscheinlichkeit Partikel ab einer festlegbaren Größe nicht in die in die Substratoberfläche geätzte Kavität eindringen können, wodurch die für einen korrekte Funktion des mikromechanischen Bauteils/bzw. der damit ausgebildeten Sensor- oder Mikrofonvorrichtung notwendige Membranauslenkung seiner Membran vorteilhaft sichergestellt ist. Die vorliegende Erfindung schafft damit mikromechanische Bauteile/bzw. damit ausgebildete Sensor- oder Mikrofonvorrichtung, deren jeweilige Membran verlässlicher zur Druckmessung oder zur Schallwellen-Elektrosignal-Umwandlung

eingesetzt werden kann. Ebenso weisen die mittels der vorliegenden Erfindung realisierten mikromechanischen Bauteile eine gegenüber dem Stand der Technik gesteigerte Lebensdauer auf.

[0005] In einer vorteilhaften Ausführungsform des Herstellungsverfahrens werden zum Bilden der Stützstruktur aus dem ersten Opfermaterial an der Substratoberfläche des Substrats die folgenden Schritte ausgeführt: Strukturieren einer Vielzahl von Gräben in die Substratoberfläche des Substrats, Abscheiden des ersten Opfermaterials auf der Substratoberfläche mit der darin strukturierten Vielzahl von Gräben derart, dass die Vielzahl von in das Substrat hineinragenden Stützpfeiler aus dem in die Vielzahl von Gräben eingefüllten ersten Opfermaterial gebildet wird und die Substratoberfläche zumindest teilweise mit der späteren ersten Opfermaterialschicht aus dem ersten Opfermaterial abgedeckt wird, Strukturieren der Vielzahl von Ätzlöchern durch die erste Opfermaterialschicht und Ätzen der Kavität in die Substratoberfläche durch die Vielzahl von Ätzlöchern in der ersten Opfermaterialschicht. Die hier beschriebenen Verfahrensschritte sind leicht mittels standardgemäßer Prozesse der Halbleitertechnologie ausführbar. Die mittels der hier beschriebenen Verfahrensschritte gebildete Stützstruktur eignet sich verlässlich zur Realisierung mindestens einer in die Substratoberfläche geätzten und von der Membran überspannten Kavität, insbesondere einer von der Membran überspannten Kavität mit einer senkrecht zu der Substratoberfläche ausgeprägten Ausdehnung der Kavität größer-gleich 5 μm .

[0006] Vorzugsweise wird vor dem Bilden der Membran die erste Opfermaterialschicht zumindest teilweise mit einer zweiten Opfermaterialschicht aus dem ersten Opfermaterial und/oder einem zweiten Opfermaterial abgedeckt, und wobei beim Bilden der Membran die zweite Opfermaterialschicht zumindest teilweise mit der Membran abgedeckt wird. Mittels der zweiten Opfermaterialschicht können auf diese Weise die in die erste Opfermaterialschicht strukturierten Ätzlöcher abgedeckt werden, so dass ein Eindringen von Membranmaterial in die Ätzlöcher beim Bilden der Membran nicht zu befürchten ist.

[0007] In einer vorteilhaften Ausführungsform wird die Stützstruktur aus Siliziumdioxid als dem ersten Opfermaterial gebildet. Somit kann Siliziumdioxid als bereits häufig in der Halbleitertechnologie verwendetes Material auch zum Bilden der Stützstruktur und/oder der zweiten Opfermaterialschicht verwendet werden. Dies trägt zur Erleichterung der vorausgehend beschriebenen Verfahrensschritte und der Umsetzung eines später durchzuführenden Opfermaterialschichtätzprozesses bei.

[0008] Als vorteilhafte Weiterbildung können vor dem Bilden der Membran siliziumreiches Siliziumnitrid, Siliziumnitrid, Siliziumcarbid und/oder Aluminiumoxid lokal auf der ersten Opfermaterialschicht aus Siliziumdioxid, auf der zweiten Opfermaterialschicht aus Siliziumdioxid und/oder in mindestens einer durch die erste Opfermaterialschicht aus Siliziumdioxid und/oder die zweite Opfermaterialschicht aus Siliziumdioxid strukturierten Öffnung abgeschieden werden. Wie unten genauer erläutert ist, können auf diese Weise mindestens eine laterale Ätzbegrenzung und/oder mindestens eine elektrische Isolierung aus siliziumreichen Siliziumnitrid, Siliziumnitrid, Siliziumcarbid und/oder Aluminiumoxid gebildet werden, welche gegenüber einiger häufig zum Ätzen von Siliziumdioxid eingesetzte Ätzmedien eine hohe Ätzresistenz aufweist.

[0009] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform des Herstellungsverfahrens werden zum Freistellen der Membran mindestens ein sich durch den Schichtstapel erstreckender erster Ätzmediumzugang, mindestens ein sich lediglich durch einen Teil des Schichtstapels erstreckender zweiter Ätzmediumzugang und/oder ein sich durch das Substrat erstreckender Kanal gebildet, und zumindest die Stützstruktur und die mindestens eine Opferschicht werden mittels mindestens eines durch den mindestens einen ersten Ätzmediumzugang und/oder durch den mindestens einen zweiten Ätzmediumzugang und/oder durch den mindestens einen Kanal geleiteten Ätzmediums zumindest teilweise entfernt werden. Wie unten erläutert wird, sind die hier beschriebenen Verfahrensschritte mittels standardgemäßer Prozesse der Halbleitertechnologie ausführbar. Optionaler Weise kann auch zur Druckzuführung zur Membran mindestens ein sich durch das Substrat in den Freiraum erstreckender Kanal gebildet werden.

[0010] Bevorzugter Weise ist eine senkrecht zu der Substratoberfläche ausgerichtete maximale Spaltbreite des Freiraums (zwischen der Membran und dem Substrat) größer-gleich $5\ \mu\text{m}$. Eine derartig bemessene Spaltbreite bietet ausreichend Volumen für Verwölbungen der Membran und verhindert ein Anhaften von Partikeln an der Membran.

[0011] Vorzugsweise ist an einer von der Membran weg gerichteten und an dem Substrat angrenzenden Seite des Freiraums eine Vielzahl von Gräben in das Substrat geätzt. Diese Gräben sind Reste, Spuren oder Abformungen von zuvor in das Substrat geätzten Gräben. Anhand dieser Reste, Spuren oder Abformungen im Substrat ist nach dem Durchführen eines Opferschichtätzprozesses verlässlich erkennbar, dass das jeweilige mikromechanische Bauteil mittels eines der vorhergehend beschriebenen Herstellungsverfahren hergestellt ist.

Figurenliste

[0012] Weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend anhand der Figuren erläutert. Es zeigen:

Fig. 1A bis Fig. 1H schematische Darstellungen von Zwischenprodukten und eines mikromechanischen Bauteils zum Erläutern einer ersten Ausführungsform eines Herstellungsverfahrens für ein mikromechanisches Bauteil für eine Sensor- oder Mikrofonvorrichtung;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines mikromechanischen Bauteils zum Erläutern einer zweiten Ausführungsform des Herstellungsverfahrens;

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines mikromechanischen Bauteils zum Erläutern einer dritten Ausführungsform des Herstellungsverfahrens; und

Fig. 4a bis Fig. 4f schematische Darstellungen von Zwischenprodukten zum Erläutern von weiteren Ausführungsformen des mikromechanischen Bauteils.

Ausführungsformen der Erfindung

[0013] **Fig. 1A bis Fig. 1H** zeigen schematische Darstellungen von Zwischenprodukten und eines mikromechanischen Bauteils zum Erläutern einer ersten Ausführungsform eines Herstellungsverfahrens für ein mikromechanisches Bauteil für eine Sensor- oder Mikrofonvorrichtung.

[0014] In einem mittels der **Fig. 1A** schematisch wiedergegebenen Verfahrensschritt des Herstellungsverfahrens wird eine Stützstruktur 10 aus einem ersten Opfermaterial an einer Substratoberfläche 12a eines Substrats 12 gebildet. Die Stützstruktur 10 wird mit einer die Substratoberfläche 12a zumindest teilweise abdeckenden ersten Opfermaterialschicht 14 aus dem ersten Opfermaterial, welche eine Vielzahl von durch die erste Opfermaterialschicht 14 strukturierte Ätzlöcher 16 aufweist, und mit einer Vielzahl von in das Substrat 12 hineinragenden Stützpfosten 18 aus dem ersten Opfermaterial gebildet. Beispielsweise wird die Stützstruktur 10 (vollständig) aus Siliziumdioxid als dem ersten Opfermaterial gebildet. Das Substrat 12 ist vorzugsweise ein Halbleitersubstrat, wie insbesondere ein Siliziumsubstrat. Anstelle oder als Ergänzung zu Silizium kann das Substrat 12 jedoch auch mindestens ein anderes Halbleitermaterial, mindestens ein Metall und/oder mindestens ein elektrisch isolierendes Material umfassen.

[0015] Bei der hier beschriebenen Ausführungsform des Herstellungsverfahrens wird zum Bilden der Stützstruktur 10 aus dem ersten Opfermaterial an

der Substratoberfläche 12a des Substrats 12 zuerst eine Vielzahl von Gräben 20 in die Substratoberfläche 12a des Substrats 12 strukturiert. Die Vielzahl von Gräben 20 kann beispielsweise mit Hilfe eines Plasmaätzprozesses/Trenchätzprozesses in die Substratoberfläche 12a geätzt werden. Die Gräben 20 werden vorzugsweise mit einer senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichteten Grabentiefe zwischen 1 µm bis 20 µm (Mikrometer), vorzugsweise mit einer Grabentiefe zwischen 5 µm bis 10 µm (Mikrometer), in die Substratoberfläche 12a strukturiert. Wie nachfolgend genauer erklärt wird, legt die Grabentiefe der Gräben 20 eine spätere Stützpfeilhöhe der Stützpfeile 18 fest. Die hier angegebenen Zahlenwerte für die Grabentiefe der Gräben 20 sind jedoch nur beispielhaft zu interpretieren, denn die Gräben 20 können beliebig tief geätzt werden.

[0016] Danach wird das erste Opfermaterial auf der Substratoberfläche 12a mit der darin strukturierten Vielzahl von Gräben 20 derart abgeschieden, dass aus dem in die Vielzahl von Gräben 20 (vollständig) eingefüllten ersten Opfermaterial die Vielzahl von in das Substrat hineinragenden Stützpfeilen 18 gebildet wird und zusätzlich die Substratoberfläche 12a zumindest teilweise mit der späteren ersten Opfermaterialschicht 14 aus dem ersten Opfermaterial abgedeckt wird. Die Stützpfeile 18 können eine senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichtete Stützpfeilhöhe zwischen 1 µm bis 20 µm (Mikrometer) haben. Bevorzugt wird eine Stützpfeilhöhe der Stützpfeile 18 zwischen 5 bis 10 µm (Mikrometer). Die hier angegebenen Zahlenwerte für die Stützpfeilhöhe der Stützpfeile 18 sind jedoch nicht einschränkend zu interpretieren. Über die Stützpfeilhöhe der Stützpfeile 18 kann eine senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichtete maximale Ausdehnung mindestens einer später gebildeten Kavität 22 festgelegt werden. Anschließend wird die Vielzahl von Ätzlöchern 16 durch die erste Opfermaterialschicht 14 strukturiert.

[0017] Nach dem Bilden der Stützstruktur 10 wird mindestens eine von der Stützstruktur 10 überspannte Kavität 22 in die Substratoberfläche 12a geätzt. Dies geschieht mittels eines durch die Vielzahl von Ätzlöchern 16 in der ersten Opfermaterialschicht 14 geleiteten Ätzmediums, gegen welches das erste Ätzmaterial eine höhere Ätzresistenz als das Substrat 12 aufweist. Vorzugsweise wird zum Ätzen der mindestens einen Kavität 22 ein isotroper Ätzschritt, wie beispielsweise ein Silizium-Plasma-Ätzprozess, ausgeführt, bei welchem die Vielzahl von Ätzlöchern 16 durch die erste Opfermaterialschicht 14 als Ätzzugänge genutzt werden. Auf diese Weise können Bereiche des Substrats 12 zwischen den Stützpfeilen 18 gezielt entfernt werden. Die Stützpfeile 18 können auf diese Weise teilweise freigelegt werden, wobei jedoch bevorzugter

Weise das Ätzen der mindestens einen Kavität 22 nur solange ausgeführt wird, dass noch Verankerungsbereiche 18a der Stützpfeile 18 in das Substrat 12 hineinragen. Die mindestens eine Kavität 22 wird vorzugsweise mit einer senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichteten maximalen Ausdehnung kleiner als die Stützpfeilhöhe der Stützpfeile 18 geätzt. Auch nach dem Ätzen der mindestens einen Kavität 22 weist die Stützstruktur 10 damit noch eine vorteilhafte Stabilität auf. Die nach dem Ätzen der mindestens einen Kavität 22 verbleibenden Verankerungsbereiche 18a der Stützstrukturen 18 im Substrat 12 haben vorzugsweise eine senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichtete Höhe zwischen 0,5 mm bis 2 µm (Mikrometer), wobei diese Zahlenwerte nur beispielhaft zu interpretieren sind. **Fig. 1A** zeigt das Zwischenergebnis nach dem Ätzen der mindestens einen Kavität 22.

[0018] Optionaler Weise wird bei dem hier beschriebenen Herstellungsverfahren die erste Opfermaterialschicht 14 (vor dem Bilden einer später beschriebenen Membran) zumindest teilweise mit einer zweiten Opfermaterialschicht 24 aus dem ersten Opfermaterial und/oder einem zweiten Opfermaterial abgedeckt. Mittels der zweiten Opfermaterialschicht 24 können die Ätzlöcher 16 in der ersten Opfermaterialschicht 14 verschlossen werden. Wahlweise kann auch die zweite Opfermaterialschicht 24 aus Siliziumdioxid gebildet werden. Als vorteilhafte Weiterbildung wird bei dem hier erläuterten Herstellungsverfahren auch noch (vor dem Bilden der später beschriebenen Membran) siliziumreiches Siliziumnitrid als mindestens eine elektrische Isolierung 26 und/oder als mindestens eine laterale Ätzbegrenzung 28 auf der ersten/zweiten Opfermaterialschicht 14 oder 24 aus Siliziumdioxid und/oder in mindestens einer durch die erste Opfermaterialschicht 14 aus Siliziumdioxid und/oder die zweite Opfermaterialschicht 24 aus Siliziumdioxid strukturierten Öffnung abgeschieden. Anstelle von siliziumreichem Siliziumnitrid können jedoch auch Siliziumnitrid, Siliziumcarbid und/oder Aluminiumoxid zum Bilden der mindestens einen elektrischen Isolierung 26 und/oder der mindestens einen lateralen Ätzbegrenzung 28 verwendet werden. Da siliziumreiches Siliziumnitrid, Siliziumnitrid, Siliziumcarbid und Aluminiumoxid gegenüber vielen häufig zum Ätzen von Siliziumdioxid eingesetzten Ätzmedien, wie beispielsweise Fluorwasserstoffsäure in flüssiger oder gasförmiger Form, eine vorteilhafte geringe Ätzrate/hohe Ätzresistenz aufweisen, kann die mindestens eine elektrische Isolierung 26 und/oder die mindestens eine laterale Ätzbegrenzung 28 problemlos schon vor einem Entfernen von zumindest Teilen der Stützstruktur 10 gebildet werden. **Fig. 1B** zeigt das Zwischenergebnis nach dem optionalen Verfahrensschritt zum Abscheiden von siliziumreichem Siliziumnitrid.

[0019] Anschließend wird eine Membran 30 aus zumindest einem Halbleitermaterial, wie beispielsweise dotiertem Polysilizium, auf/über der ersten Opfermaterialschiicht 14 der Stützstruktur 10 gebildet. In dem Beispiel der **Fig. 1C** wird beim Bilden der Membran 30 die zweite Opfermaterialschiicht 24 zumindest teilweise mit der Membran 30 abgedeckt. Über eine Anzahl und Form der Stützpfosten 18 kann eine Verbiegbarkeit von einzelnen Membranbereichen der Membran 30 beeinflusst werden. Vorzugsweise wird anschließend mindestens eine durchgehende Aussparung 32 durch die Membran 30 strukturiert, wodurch gezielt mindestens eine Grenzfläche der ersten/zweiten Opfermaterialschiicht 14 oder 24, der mindestens einen elektrischen Isolierung 26 und/oder der mindestens einen lateralen Ätzbegrenzung 28 freigelegt werden kann.

[0020] **Fig. 1D** zeigt ein Zwischenergebnis nach einem Abscheiden eines Schichtstapels 34 auf einer von dem Substrat 12 weg gerichteten Seite der Membran 30, wobei der Schichtstapel 34 mindestens eine Opferschiicht 36a und 36b und mindestens eine auf einer von der Membran 30 weg gerichteten Seite der mindestens einen Opferschiicht 36a und 36b gebildete Gegenelektrode 38 umfasst. Bei der hier beschriebenen Ausführungsform wird zuerst eine erste Opferschiicht 36a, z.B. eine Siliziumdioxidschiicht, auf der von dem Substrat 12 weg gerichteten Seite der Membran 30 abgeschieden. Später wird eine erste Elektrodenmaterialschiicht 40 auf zumindest Teilflächen der ersten Opfermaterialschiicht 36a abgeschieden, wobei mittels eines in mindestens eine durch die erste Opfermaterialschiicht 36a strukturierte Öffnung eingefüllten Teilmaterials der ersten Elektrodenmaterialschiicht 40 mindestens eine aus der ersten Elektrodenmaterialschiicht 40 gebildete Elektrode 42 an der Membran 30 mechanisch fixiert, aufgehängt oder angebunden und mit der Membran 30 elektrisch verbunden werden kann. Optionaler Weise kann auch noch mindestens eine Referenzelektrode 44 aus der ersten Elektrodenmaterialschiicht 40 gebildet werden. Die erste Elektrodenmaterialschiicht 40 kann beispielsweise eine dotierte Polysiliziumschicht sein.

[0021] Bei dem hier beschriebenen Herstellungsverfahren wird nach dem Abscheiden und Strukturieren der ersten Elektrodenmaterialschiicht 40 noch eine zweite Opferschiicht 36b, insbesondere eine Siliziumdioxidschiicht, abgeschieden, welche nach ihrer Strukturierung zumindest teilflächig mit einer zweiten Elektrodenmaterialschiicht 46 abgedeckt wird. Aus der mindestens einen zweiten Elektrodenmaterialschiicht 46 wird die mindestens eine Gegenelektrode 38 gebildet. Optionaler Weise kann noch mindestens eine Referenz-Gegenelektrode 48 zusätzlich aus der zweiten Elektrodenmaterialschiicht 46 strukturiert werden, welche mit mindestens einer Referenzelektrode 44 bestehend aus dem Material der Elektroden-

materialschiicht 40 eine Referenzkondensatorstruktur bilden kann. Mittels eines in mindestens eine durch die zweite Opfermaterialschiicht 36b verlaufende Öffnung eingefüllten Teilmaterials der zweiten Elektrodenmaterialschiicht 46 kann die mindestens eine Referenzelektrode 44 derart an mindestens einer Teilfläche der zweiten Elektrodenmaterialschiicht 46 fixiert werden, dass selbst bei einer späteren Verwölbung der Membran 30 (im Wesentlichen) keine Abstandsänderung zwischen der mindestens einen Referenzelektrode 44 und ihrer jeweils zugeordneten Referenz-Gegenelektrode 48 auftritt.

[0022] Zumindest Teilflächen der zweiten Elektrodenmaterialschiicht 46 werden anschließend mit mindestens einer Isolierschiicht 50 und (optional) einer weiteren Schicht 52, z.B. einer weiteren Isolierschiicht, abgedeckt. Um ein späteres Unterätzen der zweiten Elektrodenmaterialschiicht 46 während eines Opferschiichtätzprozesses zu verhindern, werden zumindest Teilflächen der zweiten Elektrodenmaterialschiicht 46 mit einer Schicht 50 aus siliziumreichen Siliziumnitrid (als einer ersten Isolierschiicht 50) abgedeckt. Dann wird (optional) eine weitere Schicht 52 aus Siliziumdioxid (als eine zweite Isolierschiicht 52) auf der Schicht 50 aus siliziumreichen Siliziumnitrid abgeschieden. Um dem Schichtstapel 34 mechanische Festigkeit zu geben, wird vorzugsweise noch eine Stützschiicht/Verstärkungsschiicht 54 aus (evtl. in einem Epitaxiereaktor und/oder LPCVD-Rohr zumindest bereichsweise aufgewachsenem) Polysilizium auf/über den Schichten 50 und 52 aufgebracht. Optionaler Weise kann noch mindestens ein Dotierungsbereich 55 in die Stützschiicht/Verstärkungsschiicht 54 eingebracht werden. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass die in **Fig. 1D** wiedergegebene Ausbildung des Schichtstapels 34 nur beispielhaft zu interpretieren ist.

[0023] Bei dem hier beschriebenen Herstellungsverfahren wird für ein späteres Freistellen der Membran 30 auch mindestens ein sich durch den Schichtstapel 34 erstreckender Ätzmediumzugang 56a und 56b gebildet, um zumindest die Stützstruktur 10 und die mindestens eine Opferschiicht 36a und 36b mittels mindestens eines durch den mindestens einen Ätzmediumzugang 56a und 56b geleiteten Ätzmediums zumindest teilweise zu entfernen. Unter dem mindestens einen Ätzmediumzugang 56a und 56b kann jeweils auch ein Ätzkanal verstanden werden. **Fig. 1D** zeigt das Zwischenprodukt nach dem Bilden des mindestens einen Ätzmediumzugangs 56a und 56b, jedoch vor der Ätzung zumindest der Stützstruktur 10 und der mindestens einen Opferschiicht 36a und 36b.

[0024] Beispielhaft wird bei dem hier beschriebenen Herstellungsverfahren zum Freistellen der Membran 30 nicht nur mindestens ein sich durch den Schichtstapel 34 erstreckender erster Ätzmediumzugang

56a, sondern auch mindestens ein sich lediglich durch einen Teil des Schichtstapels 34 erstreckender zweiter Ätzmediumzugang 56b gebildet. Durch die zusätzliche Ausbildung des mindestens einen zweiten Ätzmediumzugangs 56b kann eine spätere Ätzung der mindestens einen Opferschicht 36a und 36b erfolgen.

[0025] In Fig. 1E ist das Zwischenprodukt nach dem Freistellen der Membran 30 gezeigt. Zumindest die Stützstruktur 10, evtl. die zweite Opfermaterialschicht 24 und die mindestens eine Opferschicht 36a und 36b werden mittels mindestens eines durch den mindestens einen ersten Ätzmediumzugang 56a und/oder durch den mindestens einen zweiten Ätzmediumzugang 56b geleiteten Ätzmediums zumindest teilweise entfernt. Zum Ausführen der Ätzung kann beispielsweise ein fluorwasserstoffsäurehaltiger Gasphasenätzprozess eingesetzt werden. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das Freistellen der Membran 30 durch zumindest teilweises Entfernen zumindest der Stützstruktur 10, evtl. der zweiten Opfermaterialschicht 24 und der mindestens einen Opferschicht 36a und 36b mittels einer schnellen Ätzung möglich ist, da die zu ätzenden Bereiche mittels des mindestens einen Ätzmediumzugangs 56a und 56b verlässlich mit dem Ätzmedium, wie insbesondere Fluorwasserstoffsäure (HF)-Dampf, versorgt werden können. Der materialfreie Bereich innerhalb der mindestens einen ausgebildeten Kavität 22 erleichtert die Ausbreitung des Ätzmediums in der Kavität 22 und die Ätzung der Stützstruktur 10 trotz ihrer Lage zwischen der Membran 30 und dem Substrat 12. Wäre hingegen das Volumen der mindestens einen Kavität 22 mit dem mindestens einen ersten Opfermaterial und/oder mit dem mindestens einen zweiten Opfermaterial vollständig gefüllt, so wäre die Herstellung/Ätzung des Volumens bzw. der mindestens einen Kavität 22 zwischen der Membran 30 und dem Substrat 12 wesentlich zeitaufwändiger.

[0026] Wie in Fig. 1E erkennbar ist, bewirkt das Entfernen von zumindest Teilen der Stützstruktur 10 und evtl. der zweiten Opfermaterialschicht 24 einen Freiraum 57 zwischen der Membran 30 und dem Substrat 12. Beispielsweise kann der Freiraum 57 eine senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichtete maximale Spaltbreite σ zwischen 1 μm bis 15 μm (Mikrometer) haben. Eine vorteilhafte Verwölbbarkeit der Membran 30 ist somit gewährleistet. Gleichzeitig ist durch die Ausbildung des Freiraums 57 zwischen der Membran 30 und dem Substrat 12 ein verlässlicher Schutz der Membran 30 gegenüber mechanischen Beschädigungen oder Verschmutzungen gewährleistet. Insbesondere das Substrat 12 trägt zu einem verlässlichen Schutz der Membran vor mechanischen Beschädigungen bei. Vorteilhafte Möglichkeiten zum Verhindern eines Eindringens von Verschmutzungen in den Freiraum 57 zwischen

der Membran 30 und dem Substrat 12 sind unten noch beschrieben.

[0027] Vorzugsweise ist die senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichtete maximale Spaltbreite σ des Freiraums 57 größer-gleich 5 μm (Mikrometer). Erkennbar ist in Fig. 1E auch, dass an einer von der Membran 30 weg gerichteten und an dem Substrat 12 angrenzenden Seite des Freiraums 57 eine Vielzahl von in das Substrat 12 geätzte Gräben 20a als Reststrukturen 20a verbleiben. Die als Reststrukturen 20a bezeichnbaren Gräben 20a sind „Spuren“ oder Abformungen der nach dem Ätzen der Stützpfosten 18 in der mindestens einen Kavität 22 noch in das Substrat 12 hineinragenden Verankerungsbereiche 18a der früheren Stützpfosten 18. Wie in Fig. 1E gezeigt, bewirkt das Entfernen von zumindest Teilen der Stützstruktur 10 und evtl. der zweiten Opfermaterialschicht 24 zur Herstellung eines Freiraums 57 zwischen der Membran 30 und dem Substrat 12 gleichzeitig das Entfernen von zumindest Teilen der mindestens einen Opferschicht 36a und 36b und die Herstellung eines Hohlraums 59 in dem Schichtstapel 34.

[0028] Anschließend kann, wie in Fig. 1F bildlich wiedergegeben ist, der mindestens einen Ätzmediumzugang 56a und 56b mittels mindestens einer auf einer von dem Substrat 12 weg gerichteten Seite des Schichtstapels 34 aufgetragenen Schicht 58a und 58b, wie z.B. mindestens einer weiteren Isolierschicht 58a und 58b, verschlossen werden. Anstelle der mindestens einen Schicht 58a und 58b kann jedoch auch ein eutektischer Verschluss, wie beispielsweise ein Gold-Silizium-Eutektikum, zum Verschließen des mindestens einen Ätzmediumzugangs 56a und 56b genutzt werden. Ebenso kann ein Laser-Reseal-Prozess zum Verschließen des mindestens einen Ätzmediumzugangs 56a und 56b ausgeführt werden, indem durch ein Laser aufgeschmolzenes/verflüssigtes Silizium als Verschlussmaterial benutzt wird.

[0029] Als die mindestens einen weiteren Isolierschicht 58a und 58b können beispielsweise eine Siliziumdioxidschicht 58a, eine (nicht dargestellte) Aluminiumoxidschicht und/oder eine Siliziumnitridschicht 58b, speziell eine siliziumreiche Siliziumnitridschicht 58b, auf dem Schichtstapel 34 abgeschieden werden. Mit dem Material der mindestens einen weiteren Isolierschicht 58a und 58b kann auch mindestens ein durch den Schichtstapel 34 strukturierter Trenngraben 60 zum Isolieren mindestens eines Durchkontakts 62 durch den Schichtstapel 34 zumindest teilweise gefüllt werden.

[0030] Optionaler Weise kann auch mindestens eine Leiterbahn 64, beispielsweise aus Aluminium, welches optional Bestandteile aus Silizium und/oder Kupfer aufweisen kann, und/oder aus dotiertem Sili-

zium, auf der mindestens einen weiteren Isolierschicht 58a und 58b gebildet werden. Mittels mindestens einer durch die mindestens eine weitere Isolierschicht 58a und 58b strukturierten Öffnung kann die mindestens eine Leiterbahn 64 an dem mindestens einen Durchkontakt 62 und/oder an dem mindestens einen Dotierungsbereich 55 in der Stützschiicht 54 elektrisch angebunden werden. Zur elektrischen Kontaktierung der mindestens einen Leiterbahn 64 kann mindestens ein Bondpad 68 an/auf der mindestens einen Leiterbahn 64 angeordnet werden, welches aus den in der Halbleitertechnologie bekannten Schichten, Schichtabfolgen, Schichtzusammensetzungen und/oder aus Germanium, einer Schichtfolge aus Aluminium und Germanium (optional mit Bestandteilen von Silizium und Kupfer) und/oder einer Schichtfolge aus Gold und Germanium (optional mit Bestandteilen von Silizium und/oder Kupfer) bestehen kann. Optionaler Weise kann auch noch eine Abdeckschicht 70, wie beispielsweise eine Abdeckschicht 70 aus Siliziumoxid, Aluminiumoxid, Siliziumcarbid, Siliziumnitrid und/oder siliziumreichen Siliziumnitrid, auf der mindestens einen weiteren Isolierschicht 58a und 58b, der mindestens einen Leiterbahn 54 und/oder dem mindestens einen Bondpad 68 abgeschieden und strukturiert werden. Das Zwischenergebnis ist in **Fig. 1F** dargestellt.

[0031] Fig. 1G zeigt das Zwischenprodukt nach einem Freilegen des mindestens einen ersten Ätzmediumzugangs 56a von einer von dem Substrat 12 weg gerichteten Seite des Zwischenprodukts. Damit kann der mindestens eine erste Ätzmediumzugang 56a während einer späteren Nutzung des mikromechanischen Bauteils auch als (zumindest Teil einer) Druckzuleitung, Schallwellenzuleitung oder Mediumzuführung zu dem Freiraum 57 zwischen der Membran 30 und dem Substrat 12 genutzt werden. Demgegenüber bleibt der mindestens eine zweite Ätzmediumzugang 56b verschlossen und ist somit gegenüber einem Eindringen von Fremdkörpern oder Flüssigkeiten geschützt.

[0032] Fig. 1H zeigt das fertig hergestellte mikromechanische Bauteil nach einem letzten optionalen Verfahrensschritt, in welchem die von dem Substrat 12 weg gerichtete Seite des Zwischenprodukts an einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (Application-Specific Integrated Circuit, ASIC) 72 oder einer Leiterplatte befestigt wird. Das Befestigen des Zwischenprodukts an dem ASIC 72 oder der Leiterplatte kann mittels eines Bondprozesses/Waferbondprozesses unter Verwendung des mindestens einen an dem Zwischenprodukt befestigten Bondpads 68 und/oder mindestens einer separat angeordneten Bond-/Verbindungsfläche, bestehend aus z.B. dem Material des mindestens einen Bondpads 68 und mindestens eines an dem ASIC 72 oder der Leiterplatte befestigten (korrespondierenden) weiteren Bondpad 74 und/oder der mindestens

einen separat angeordneten Bond-/Verbindungsfläche erfolgen. Wie in **Fig. 1H** erkennbar ist, verläuft bei dem mikromechanischen Bauteil eine Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 zu dem Freiraum 57 deshalb auch zwischen dem ASIC 72 oder der Leiterplatte und dem Schichtstapel 34. Der beim Bonden eingestellte Abstand zwischen dem ASIC 72 oder der Leiterplatte und dem Schichtstapel 34 dient aber nicht nur zur Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76, sondern trägt auch zur zusätzlichen Verhinderung eines Einbringens von Fremdkörpern in den Freiraum zwischen dem ASIC 72 oder der Leiterplatte und dem Schichtstapel 34 und/oder den Freiraum 57 bei. Bildlich nicht gezeigt, aber auch möglich, ist das Befestigen des Zwischenprodukts an dem ASIC 72 oder der Leiterplatte mit Hilfe der Flip-Chip Technik unter Verwendung von Solder Balls auf Bondpads und/oder der separat angeordneten Bond-/Verbindungsflächen.

[0033] Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines mikromechanischen Bauteils zum Erläutern einer zweiten Ausführungsform des Herstellungsverfahrens.

[0034] Bei dem mittels der **Fig. 2** schematisch wiedergegebenen Herstellungsverfahren wird die Stützstruktur 10 derart ausgebildet, dass ein späterer mittlerer Membranbereich 30a der Membran 30 lokal an dem Substrat 12 mechanisch angebunden wird, jedoch (optional) mittels einer elektrischen Isolierung 26 von dem Substrat 12 elektrisch isoliert werden kann. Durch Abdünnen des Substrats 12 kann das Substrat 12 als „weitere Membran“ realisiert werden, welche mechanisch und (optional) elektrisch isoliert mit der Membran 30 verbunden sein kann. Befindet sich in diesem Fall z.B. in dem Freiraum 57 ein erster Druck und auf einer von dem Freiraum 57 weg gerichteten Außenseite des Substrats 12 ein zweiter Druck ungleich dem ersten Druck, so kann durch die mechanische Kopplung der Membran 30 und der „weiteren Membran“ des Substrats 12 eine Druckdifferenz zwischen dem ersten Druck und dem zweiten Druck bestimmt werden.

[0035] Bezüglich weiterer Verfahrensschritte des Herstellungsverfahrens der **Fig. 2** wird auf die zuvor beschriebene Ausführungsform der **Fig. 1A** bis **Fig. 1H** verwiesen.

[0036] Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung eines mikromechanischen Bauteils zum Erläutern einer dritten Ausführungsform des Herstellungsverfahrens.

[0037] Das mittels der **Fig. 3** schematisch wiedergegebene Herstellungsverfahren unterscheidet sich von der Ausführungsform der **Fig. 1A** bis **Fig. 1H** lediglich darin, dass die Druckzuführung zur Membran 30 durch mindestens einen Kanal 56c erfolgt, der

sich durch das Substrat 12 erstreckt und eine Druckeinleitung in den Freiraum 57 zwischen der Membran 30 und dem Substrat 12 ermöglicht. Dieser mindestens eine Kanal 56c kann alternativ oder zusätzlich zu dem mindestens einen ersten Ätzkanal/Ätzmediumzugang 56a als Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 zu dem Freiraum 57 genutzt werden.

[0038] Alternativ kann der mindestens eine Kanal 56c als ein dritter Ätzmediumzugang 56c zum Freistellen der Membran 30 ausgebildet sein, wobei zumindest die Stützstruktur 10 und evtl. die zweite Opfermaterialschicht 24 mittels eines durch den mindestens einen dritten Ätzmediumzugang 56c und evtl. auch durch den mindestens einen ersten Ätzmediumzugang 56a geleiteten ersten Ätzmediums und die mindestens eine Opferschicht 36a und 36b mittels eines durch den mindestens einen zweiten Ätzmediumzugang 56b geleiteten ersten Ätzmediums und/oder zweiten Ätzmediums zumindest teilweise entfernt werden.

[0039] Auf die Ausbildung des mindestens einen ersten Ätzmediumzugangs 56a kann bei dem hier beschriebenen Herstellungsverfahren auch verzichtet werden. Erkennbar ist in **Fig. 3** auch, dass beim Strukturieren des mindestens einen Kanal 56c durch das Substrat 12 mindestens ein Bereich 78 der mindestens einen Opferschicht 36a und 36b als Trenchstopppstruktur verwendet werden kann.

[0040] Bezüglich weiterer Verfahrensschritte des Herstellungsverfahrens der **Fig. 3** wird auf die zuvor beschriebene Ausführungsform der **Fig. 1A** bis **Fig. 1H** verwiesen.

[0041] **Fig. 4a** bis **Fig. 4f** zeigen schematische Darstellungen von Zwischenprodukten zum Erläutern von weiteren Ausführungsformen des mikromechanischen Bauteils.

[0042] **Fig. 4a** ist ein Teilausschnitt der **Fig. 1D**. Erkennbar ist in **Fig. 4a**, dass an einer späteren Mündung 80 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 an dem Freiraum 57 ein senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichteter Gap-Abstand Δ_1 gleich einer Summe aus der senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichteten maximalen Ausdehnung der mindestens einen Kavität 22, aus einer ersten Schichtdicke der ersten Opfermaterialschicht 14 und aus einer zweiten Schichtdicke der zweiten Opfermaterialschicht 24 ist. Die durch den Gap-Abstand Δ_1 an der späteren Mündung 80 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 in den Freiraum 57 eindringenden Partikel/ Fremdpartikel können somit höchstens eine Größe gleich der Summe aus der maximalen Ausdehnung der mindestens einen Kavität 22, aus der ersten Schichtdicke der ersten Opfermaterialschicht 14 und aus der

zweiten Schichtdicke der zweiten Opfermaterialschicht 24 aufweisen.

[0043] Demgegenüber ist in dem Beispiel der **Fig. 4b** der senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichtete Gap-Abstand Δ_2 an der späteren Mündung 80 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 an dem Freiraum 57 auf die Summe der ersten Schichtdicke der ersten Opfermaterialschicht 14 und der zweiten Schichtdicke der zweiten Opfermaterialschicht 24 reduziert. Erreicht ist dies durch lokale Unterlassung der Ausbildung von Ätzlöchern 16 durch die erste Opfermaterialschicht 14 an der späteren Mündung 80 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 an dem Freiraum 57. Durch den Gap-Abstand Δ_2 an der späteren Mündung 80 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 in den Freiraum 57 eindringende Partikel können somit höchstens eine Größe gleich der Summe der ersten Schichtdicke der ersten Opfermaterialschicht 14 und der zweiten Schichtdicke der zweiten Opfermaterialschicht 24 haben.

[0044] In dem Beispiel der **Fig. 4c** ist der senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichtete Gap-Abstand Δ_3 an der späteren Mündung 80 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 in den Freiraum 57 auf die erste Schichtdicke der ersten Opfermaterialschicht 14 reduziert. Erreicht ist dies durch lokale Unterlassung der Ausbildung von Ätzlöchern 16 durch die erste Opfermaterialschicht 14 an der späteren Mündung 80 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 an dem Freiraum 57 und lokales Entfernen der zweiten Opfermaterialschicht 24 an der gleichen Position. Bei der Ausführungsform der **Fig. 4c** können nur Partikel mit höchstens einer Größe gleich dem Gap-Abstand Δ_3 an der späteren Mündung 80 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 in den Freiraum 57 eindringen.

[0045] **Fig. 4d** ist ein Teilausschnitt der **Fig. 3**. Ein senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichteter Gap-Abstand Δ_4 an einer späteren Mündung 82 der durch das Substrat 12 verlaufenden Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 in dem Freiraum 57 ist gleich einer Summe aus der senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichteten maximalen Ausdehnung der mindestens einen Kavität 22, aus der ersten Schichtdicke der ersten Opfermaterialschicht 14 und aus der zweiten Schichtdicke der zweiten Opfermaterialschicht 24. Die durch den Gap-Abstand Δ_4 an der späteren Mündung 82 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 in den Freiraum 57 eindringenden Partikel/Fremdpartikel können somit höchstens eine Größe gleich der Summe aus der maximalen Ausdehnung der mindestens einen Kavität 22, aus der ersten Schichtdicke der ersten Opfermaterialschicht 14 und aus der zweiten Schichtdicke der zweiten Opfermaterialschicht 24 aufweisen.

[0046] Bei dem Beispiel der **Fig. 4e** ist der senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichtete Gap-Abstand Δ_5 an der späteren Mündung 82 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 an dem Freiraum 57, bzw. an der Mündung des als dritter Ätzmediumzugang 56c genutzten Kanals 56c, gleich der Summe der ersten Schichtdicke der ersten Opfermaterialschicht 14 und der zweiten Schichtdicke der zweiten Opfermaterialschicht 24. Erreicht ist dies durch lokale Unterlassung der Ausbildung von Ätzlöchern 16 durch die erste Opfermaterialschicht 14 an der späteren Mündung 82 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 an dem Freiraum 57. Durch den Gap-Abstand Δ_5 an der späteren Mündung 82 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 in den Freiraum 57 eindringende Partikel können somit höchstens eine Größe gleich der Summe der ersten Schichtdicke der ersten Opfermaterialschicht 14 und der zweiten Schichtdicke der zweiten Opfermaterialschicht 24 aufweisen.

[0047] Zuletzt ist in dem Beispiel der **Fig. 4f** der senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichtete Gap-Abstand Δ_6 an der späteren Mündung 82 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 in den Freiraum 57 auf die erste Schichtdicke der ersten Opfermaterialschicht 14 reduziert. Erreicht ist dies durch lokale Unterlassung der Ausbildung von Ätzlöchern 16 durch die erste Opfermaterialschicht 14 an der späteren Mündung 82 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 an dem Freiraum 57 und lokales Entfernen der zweiten Opfermaterialschicht 24 an der gleichen Position. Bei der Ausführungsform der **Fig. 4f** können nur Partikel mit höchstens einer Größe gleich dem Gap-Abstand Δ_6 an der späteren Mündung 82 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 in den Freiraum 57 eindringen.

[0048] Um ein Einbringen von Partikeln/Fremdpartikeln an der Mündung 80 oder 82 der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 in den Freiraum 57 (zusätzlich) zu verhindern, besteht auch die Möglichkeit, in der Druck-, Schallwellen- oder Mediumzuführung 76 mindestens eine Gitterstruktur auszubilden.

[0049] Bei allen oben beschriebenen Herstellungsverfahren können zum Abscheiden und Strukturieren der einzelnen Schichten Standardprozesse aus der Halbleitertechnologie verwendet werden. Außerdem können alle oben beschriebenen Herstellungsverfahren um chemisch-mechanische Polierschritte erweitert werden.

[0050] Alle oben beschriebenen Herstellungsverfahren eignen sich vorteilhaft zum Herstellen von Sensor- und Mikrofonvorrichtungen, insbesondere zur Herstellung von kapazitiven Drucksensoren, bei welchen die Membran 30 oder die an der Membran 30 aufgehängte Elektrode 42 zusammen mit der

Gegenelektrode 38 zu Druckmessungen eingesetzt wird. Ebenso können die mittels der oben beschriebenen Herstellungsverfahren hergestellten mikromechanischen Bauteile als zumindest Teile von kapazitiven Schallwandlern zur Umwandlung von Schallwellen in elektrische Signale genutzt werden. Aufgrund des vorteilhaften Schutzes der Membran 30 mittels des Substrats 12 treten in der Regel selbst bei einem Kontakt des jeweiligen Zwischenprodukts während des Herstellungsverfahrens mit anderen Komponenten, wie zum Beispiel Chucks oder Handling-Systemen, keine/kaum mechanische Beschädigungen an der Membran 30 auf.

[0051] Entsprechend können die mikromechanischen Bauteile der **Fig. 1H**, **Fig. 2** und **Fig. 3** als zumindest Teile von Sensor- und Mikrofonvorrichtungen, wie z.B. kapazitive Drucksensoren oder kapazitive Schallwandler zur Umwandlung von Schallwellen in elektrische Signale, genutzt werden. Mittels eines derartigen kapazitiven Drucksensors können insbesondere sehr niedrige Drücke gemessen werden, da die Membran 30 sehr fragil ausgebildet werden kann, ohne dass eine frühzeitige mechanische Beschädigung der fragilen Membran 30 zu befürchten ist. Die fragile Ausbildung der Membran 30 kann beispielsweise durch Vergrößerung ihrer Membranoberfläche und/oder durch Verringerung ihrer Membrandicke erfolgen. Es wird außerdem darauf hingewiesen, dass eine Verwendbarkeit der mikromechanischen Bauteile der **Fig. 1H**, **Fig. 2** und **Fig. 3** nicht auf die hier beschriebenen Verwendungszwecke beschränkt ist.

[0052] Jedes der mikromechanischen Bauteile der **Fig. 1H**, **Fig. 2** und **Fig. 3** ist jeweils ausgebildet mit: einem Substrat 12 mit einer Substratoberfläche 12a, an welcher eine Membran 30 aus zumindest einem Halbleitermaterial derart aufgespannt ist, dass die Membran 30 mindestens einen in die Substratoberfläche 12a geätzten Freiraum 57 überspannt, und einem auf einer von dem Substrat 12 weg gerichteten Seite der Membran 30 abgedeckten Schichtstapel 34 mit mindestens einer Gegenelektrode 38, wobei zwischen der Membran 30 und der mindestens einen Gegenelektrode 38 ein Hohlraum 59 in dem Schichtstapel 34 ausgebildet ist, an welchem die Membran 30 angrenzt. An diesen Merkmalen ist erkennbar, dass die mikromechanischen Bauteile der **Fig. 1H**, **Fig. 2** und **Fig. 3** mittels eines der oben beschriebenen Herstellungsverfahren hergestellt sind.

[0053] Dass die mikromechanischen Bauteile der **Fig. 1H**, **Fig. 2** und **Fig. 3** mittels eines der oben beschriebenen Herstellungsverfahren hergestellt sind, ist auch daran erkennbar, dass eine senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichtete maximale Spaltbreite σ des Freiraums 57 größer-gleich $5 \mu\text{m}$ (Mikrometer) ist. Des Weiteren ist die Tatsache,

dass die mikromechanischen Bauteile der **Fig. 1H**, **Fig. 2** und **Fig. 3** mittels eines der oben beschriebenen Herstellungsverfahren hergestellt sind, auch daran erkennbar, dass an einer von der Membran 30 weg gerichtete und an dem Substrat 12 angrenzenden Seite des Freiraums 57 eine Vielzahl von in das Substrat 12 geätzte Gräben 20a als Reststrukturen 20a der „früheren“ Gräben verbleiben. Die Gräben 20a/Reststrukturen 20a sind „Spuren“/Abformungen der nach dem Ätzen der Stützpfeiler 18 in der mindestens einen Kavität 22 noch in das Substrat 12 hineinragenden Verankerungsbereiche 18a der früheren Stützpfeiler 18. Vorzugsweise haben die Gräben 20a eine senkrecht zu der Substratoberfläche 12a ausgerichtete Höhe zwischen 0,5 μm bis 2 μm (Mikrometer), wobei diese Zahlenwerte nicht einschränkend zu interpretieren sind.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Zitierte Patentliteratur

- DE 102012217979 A1 [0002]

Patentansprüche

1. Herstellungsverfahren für ein mikromechanisches Bauteil für eine Sensor- oder Mikrofonvorrichtung mit den Schritten:

Bilden einer Stützstruktur (10) aus einem ersten Opfermaterial an einer Substratoberfläche (12a) eines Substrats (12), wobei die Stützstruktur (10) mit einer die Substratoberfläche (12) zumindest teilweise abdeckenden ersten Opfermaterialschiicht (14) aus dem ersten Opfermaterial, welche eine Vielzahl von durch die erste Opfermaterialschiicht (14) strukturierte Ätzlöcher (16) aufweist, und mit einer Vielzahl von in das Substrat (12) hineinragenden Stützpfoften (18) aus dem ersten Opfermaterial gebildet wird;

Ätzen mindestens einer von der Stützstruktur (10) überspannten Kavität (22) in die Substratoberfläche (12a) mittels eines durch die Vielzahl von Ätzlöcher (16) in der ersten Opfermaterialschiicht (14) geleiteten Ätzmediums, gegen welches das erste Opfermaterial eine höhere Ätzresistenz als das Substrat (12) aufweist;

Bilden einer Membran (30) aus zumindest einem Halbleitermaterial auf oder über der ersten Opfermaterialschiicht (14) der Stützstruktur (10);

Abscheiden eines Schichtstapels (34) auf einer von dem Substrat (12) weg gerichteten Seite der Membran (30) umfassend mindestens eine Opferschiicht (36a, 36b) und mindestens eine auf einer von der Membran (30) weg gerichteten Seite der mindestens einen Opferschiicht (36a, 36b) gebildete Gegenelektrode (38); und

Freistellen der Membran (30) durch zumindest teilweises Entfernen zumindest der Stützstruktur (10) und der mindestens einen Opferschiicht (36a, 36b).

2. Herstellungsverfahren nach Anspruch 1, wobei zum Bilden der Stützstruktur (10) aus dem ersten Opfermaterial an der Substratoberfläche (12a) des Substrats (12) die folgenden Schritte ausgeführt werden:

Strukturieren einer Vielzahl von Gräben (20) in die Substratoberfläche (12a) des Substrats (12);

Abscheiden des ersten Opfermaterials auf der Substratoberfläche (12a) mit der darin strukturierten Vielzahl von Gräben (20) derart, dass die Vielzahl von in das Substrat (12) hineinragenden Stützpfoften (18) aus dem in die Vielzahl von Gräben (20) eingefüllten ersten Opfermaterial gebildet wird und die Substratoberfläche (12a) zumindest teilweise mit der späteren ersten Opfermaterialschiicht (14) aus dem ersten Opfermaterial abgedeckt wird;

Strukturieren der Vielzahl von Ätzlöchern (16) durch die erste Opfermaterialschiicht (14); und

Ätzen der Kavität (22) in die Substratoberfläche (12a) durch die Vielzahl von Ätzlöcher (16) in der ersten Opfermaterialschiicht (14).

3. Herstellungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei vor dem Bilden der Membran (30) die erste Opfermaterialschiicht (14) zumindest teilweise mit einer zweiten Opfermaterialschiicht (24) aus dem ersten Opfermaterial und/oder einem zweiten Opfermaterial abgedeckt wird, und wobei beim Bilden der Membran (30) die zweite Opfermaterialschiicht (24) zumindest teilweise mit der Membran (30) abgedeckt wird.

4. Herstellungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Stützstruktur (10) aus Siliziumdioxid als dem ersten Opfermaterial gebildet wird.

5. Herstellungsverfahren nach Anspruch 4, wobei vor dem Bilden der Membran (30) siliziumreiches Siliziumnitrid, Siliziumnitrid, Siliziumcarbid und/oder Aluminiumoxid lokal auf der ersten Opfermaterialschiicht (14) aus Siliziumdioxid, auf der zweiten Opfermaterialschiicht (24) aus Siliziumdioxid und/oder in mindestens einer durch die erste Opfermaterialschiicht (14) aus Siliziumdioxid und/oder die zweite Opfermaterialschiicht (24) aus Siliziumdioxid strukturierten Öffnung abgeschieden wird.

6. Herstellungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei zum Freistellen der Membran (30) mindestens ein sich durch den Schichtstapel (34) erstreckender erster Ätzmediumzugang (56a), mindestens ein sich lediglich durch einen Teil des Schichtstapels (34) erstreckender zweiter Ätzmediumzugang (56b) und/oder ein sich durch das Substrat (12) erstreckender Kanal (56c) gebildet werden, und zumindest die Stützstruktur (10) und die mindestens eine Opferschiicht (36a, 36b) mittels mindestens eines durch den mindestens einen ersten Ätzmediumzugang (56a) und/oder durch den mindestens einen zweiten Ätzmediumzugang (56b) und/oder durch den mindestens einen Kanal (56c) geleiteten Ätzmediums zumindest teilweise entfernt werden.

7. Herstellungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei zur Druckzuführung zur Membran (30) mindestens ein sich durch das Substrat (12) in den Freiraum (57) erstreckender Kanal (56c) gebildet wird.

8. Mikromechanisches Bauteil für eine Sensor- oder Mikrofonvorrichtung mit:

einem Substrat (12) mit einer Substratoberfläche (12a), an welcher eine Membran (30) aus zumindest einem Halbleitermaterial derart aufgespannt ist, dass die Membran (30) mindestens einen in die Substratoberfläche (12a) geätzten Freiraum (57) überspannt; und

einem auf einer von dem Substrat (12) weg gerichteten Seite der Membran (30) abgeschiedenen Schichtstapel (34) mit mindestens einer Gegenelekt-

rode (38), wobei zwischen der Membran (30) und der mindestens einen Gegenelektrode (38) ein Hohlraum (59) in dem Schichtstapel (34) ausgebildet ist, an welchem die Membran (30) angrenzt.

9. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 8, wobei eine senkrecht zu der Substratoberfläche (12a) ausgerichtete maximale Spaltbreite (σ) des Freiraums (57) größer-gleich $5 \mu\text{m}$ ist.

10. Mikromechanisches Bauteil nach Anspruch 8 oder 9, wobei an einer von der Membran (30) weg gerichteten und an dem Substrat (12) angrenzenden Seite des Freiraums (57) eine Vielzahl von Gräben (20a) in das Substrat (12) geätzt sind.

Es folgen 12 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1A

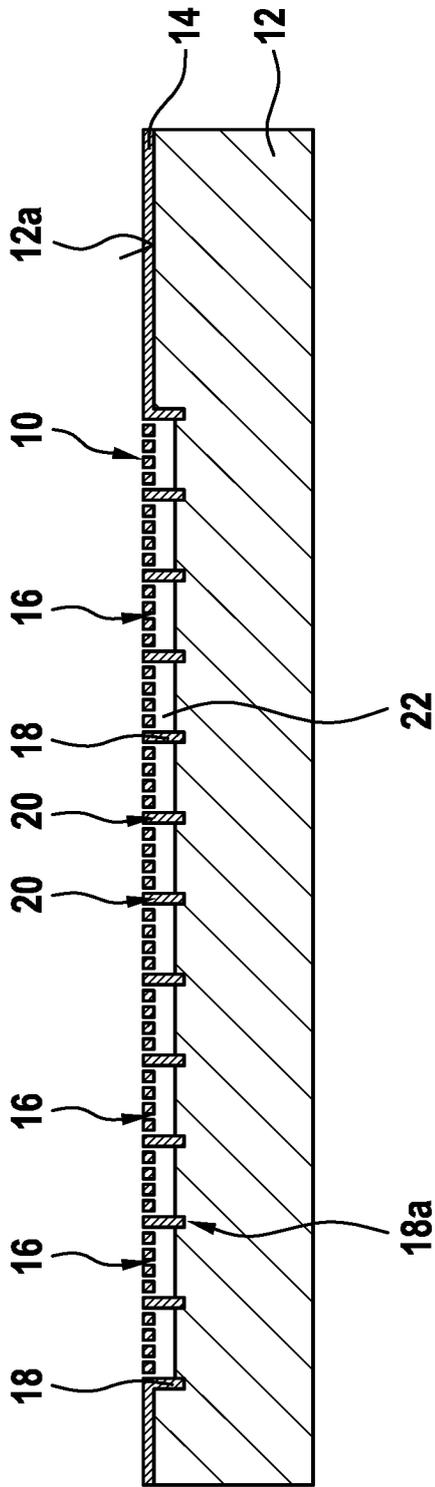


Fig. 1B

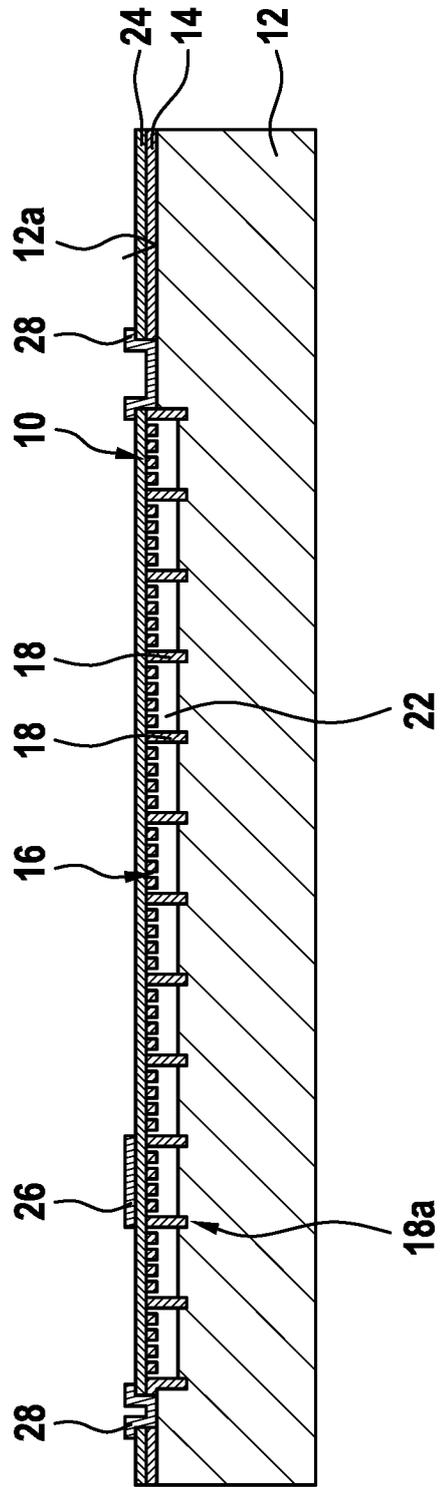


Fig. 1C

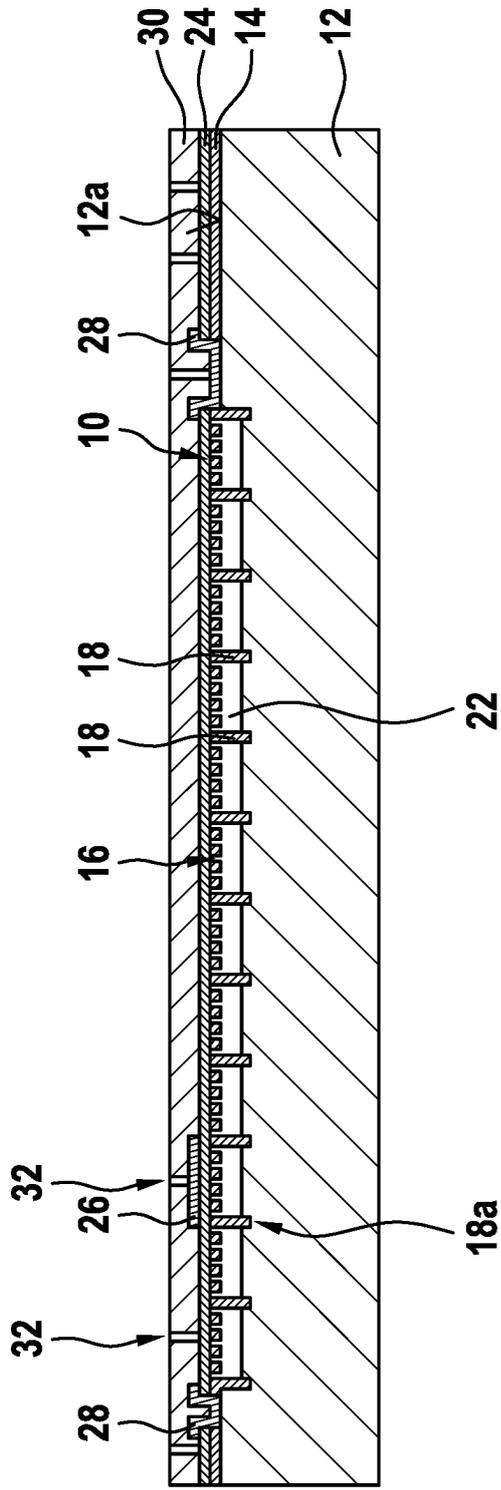


Fig. 1D

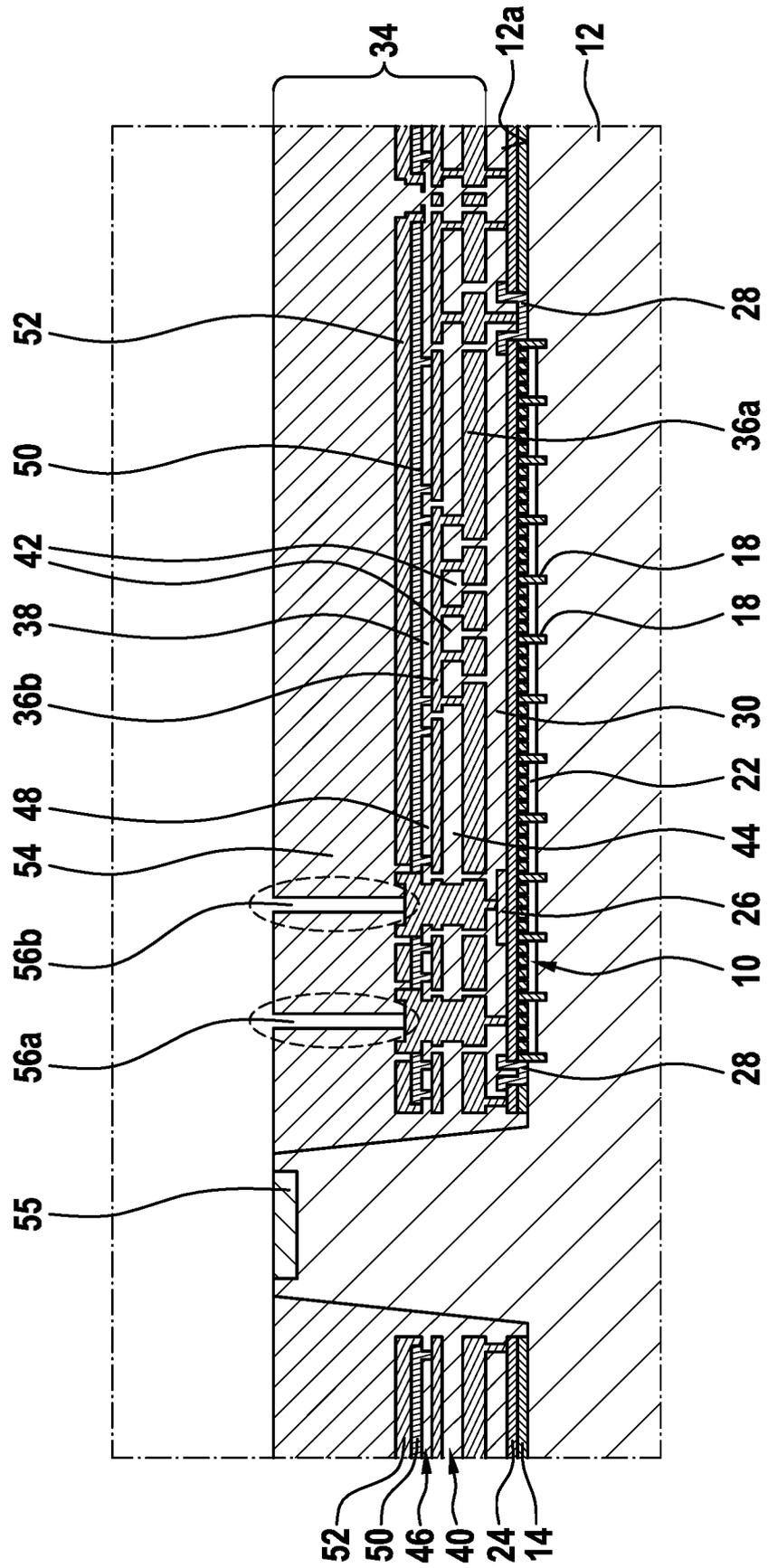


Fig. 1E

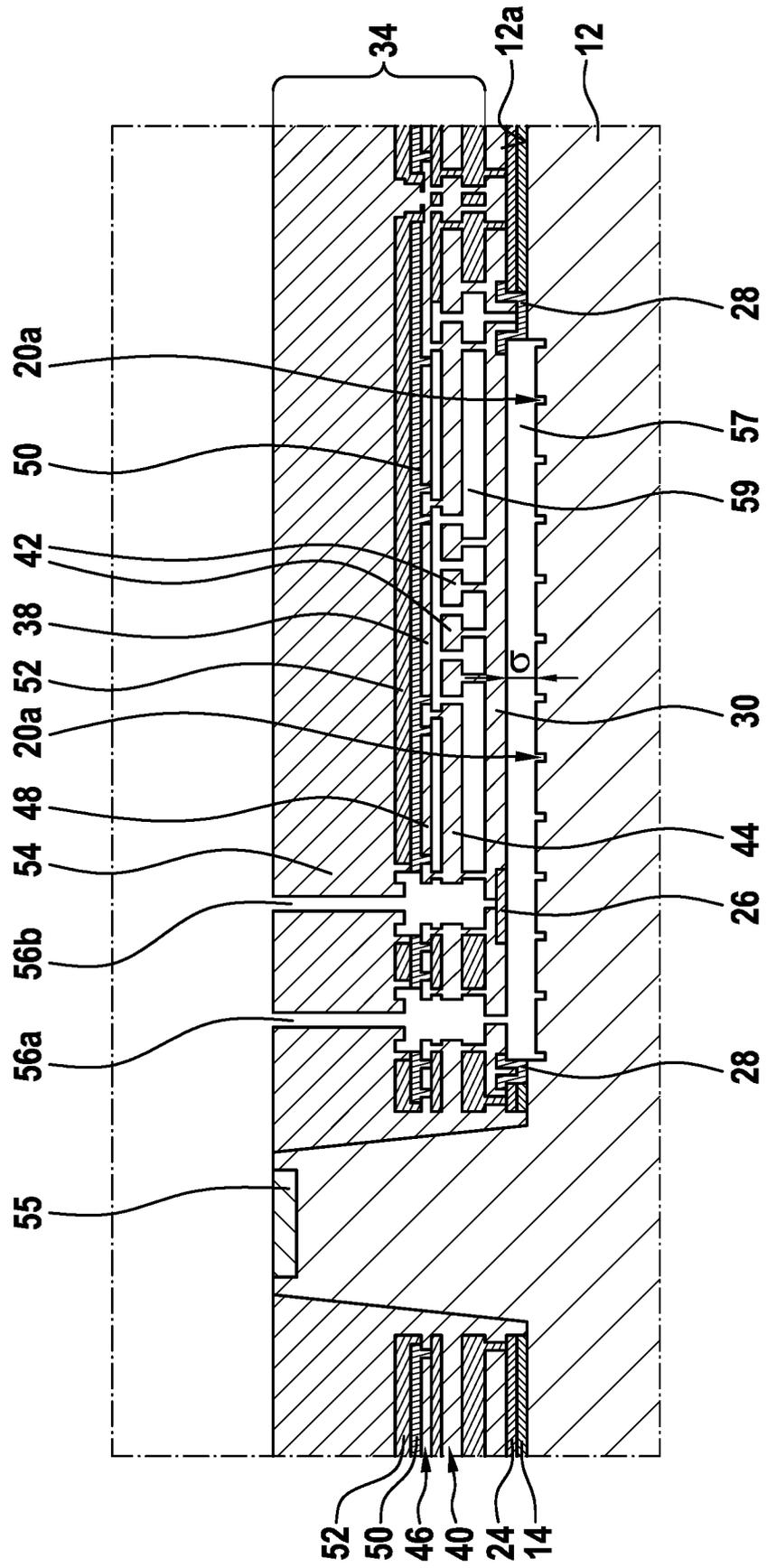


Fig. 1F

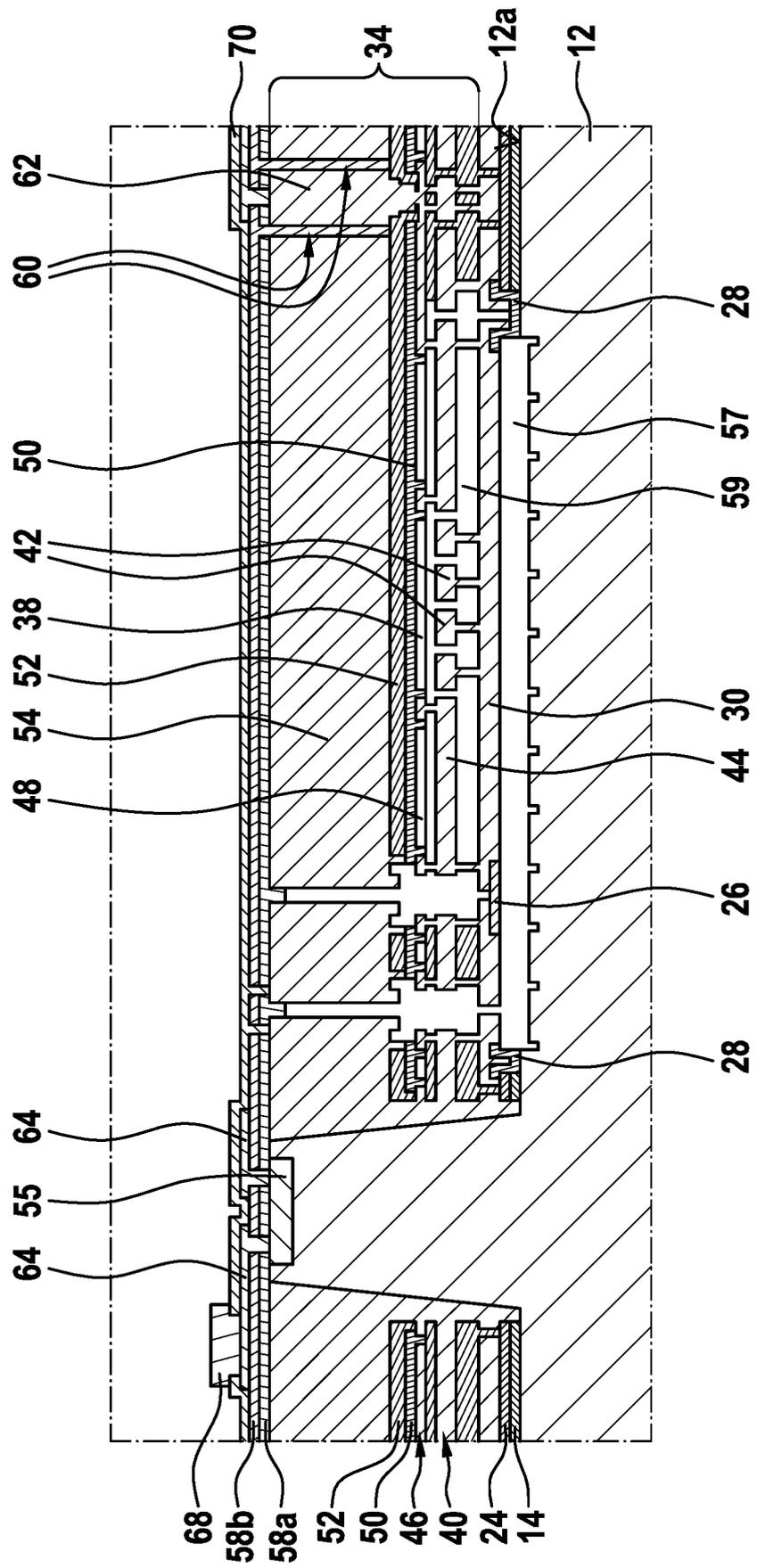


Fig. 1G

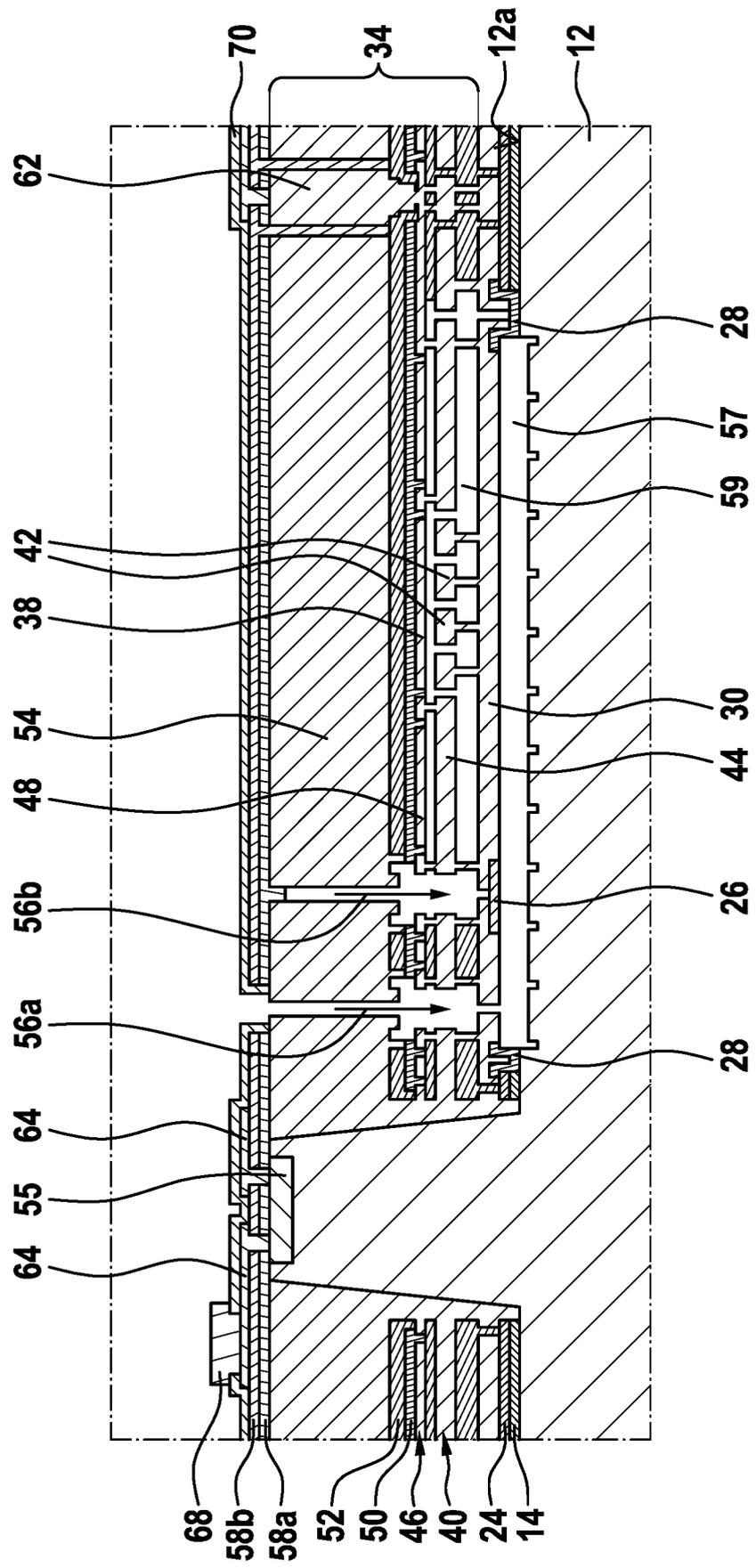


Fig. 1H

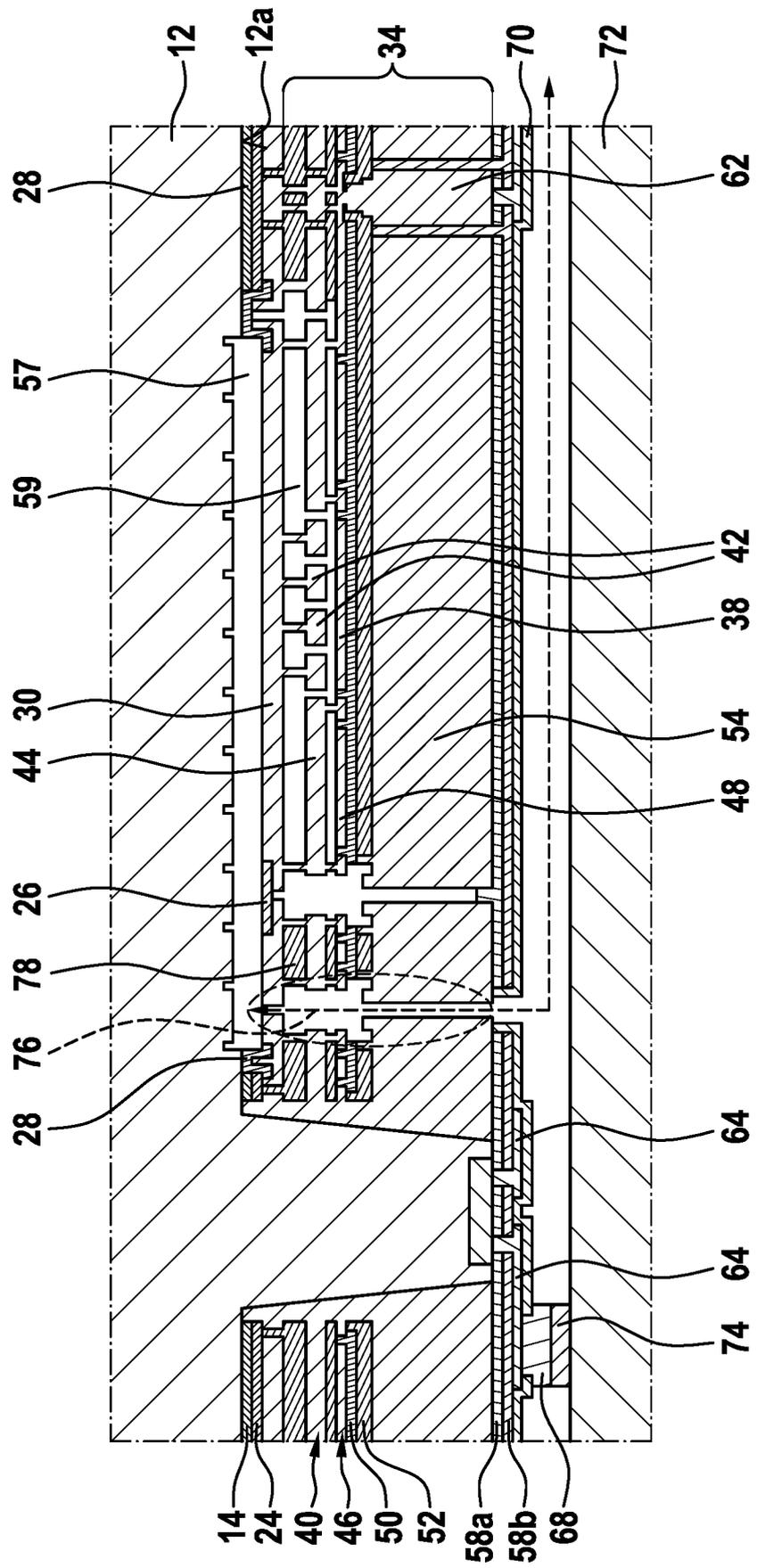


Fig. 2

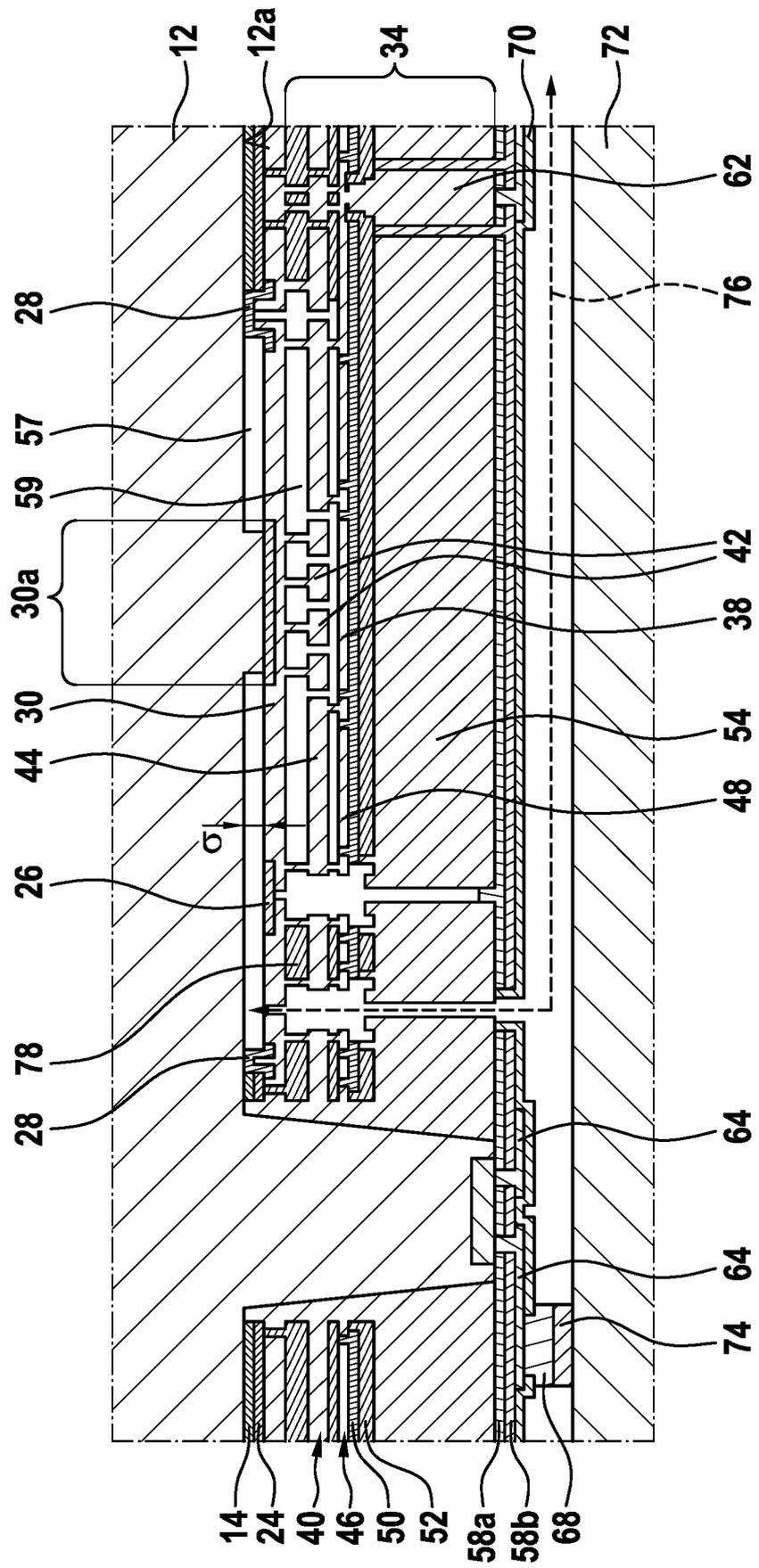


Fig. 4e

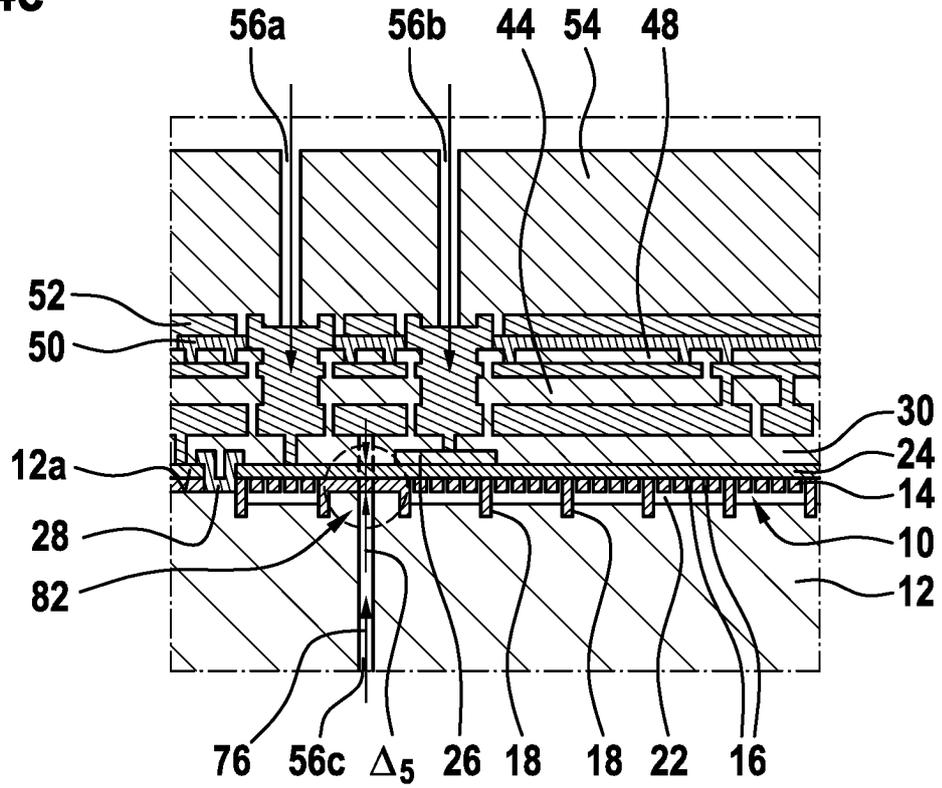


Fig. 4f

