

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
14. Juli 2011 (14.07.2011)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2011/083160 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
B81C 1/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/050211

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. Januar 2011 (10.01.2011)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10150405.8 11. Januar 2010 (11.01.2010) EP

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ELMOS SEMICONDUCTOR AG** [DE/DE];
Heinrich-Hertz-Straße 1, 44227 Dortmund (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SENF, Reinhard** [DE/DE];
c/o ELMOS Semiconductor AG, Heinrich-Hertz-Straße 1, 44227 Dortmund (DE).

(74) **Anwalt: VON KREISLER SELTING WERNER;**
Deichmannhaus am Dom, Bahnhofsvorplatz 1, 50667 Köln (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) Title: MICRO-ELECTROMECHANICAL SEMICONDUCTOR COMPONENT AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) Bezeichnung : MIKROELEKTROMECHANISCHES HALBLEITERBAUELEMENT UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG

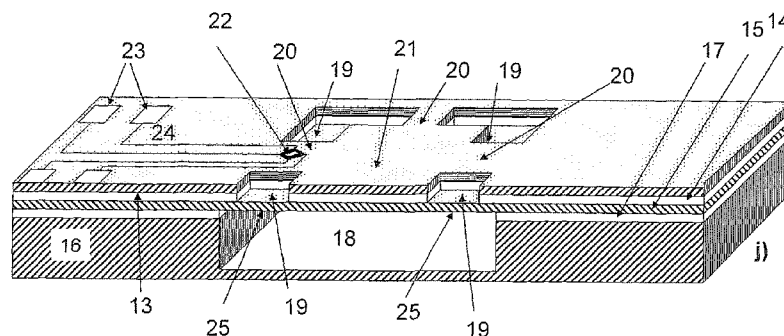


Fig. 43

(57) Abstract: The micro-electromechanical semiconductor component is provided with a first silicon semiconductor substrate (16) having an upper face, into which a cavity (18) delimited by lateral walls and a floor wall is introduced, and having a second silicon semiconductor substrate (13) comprising a silicon oxide layer (14) and a polysilicon layer (15) applied thereon having a defined thickness. The polysilicon layer (15) of the second silicon semiconductor substrate (13) faces the upper face of the first silicon semiconductor substrate (16), the two silicon semiconductor substrates are bonded, and the second silicon semiconductor substrate (13) covers the cavity (18) in the first silicon semiconductor substrate (16). Grooves (19) that extend up to the polysilicon layer (15) are arranged in the second silicon semiconductor substrate (13) in the region of the section thereof that covers the cavity (18).

(57) Zusammenfassung: Das mikroelektromechanisches Halbleiterbauelement ist mit einem ersten Silizium-Halbleitersubstrat (16) mit einer

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2011/083160 A2



Oberseite, in die eine durch Seitenwände und eine Bodenwand begrenzte Kavität (18) eingebracht ist, und mit einem zweiten Silizium-Halbleitersubstrat (13) mit einer Siliziumoxidschicht (14) und einer auf diese aufgetragenen Polysiliziumschicht (15) definierter Dicke versehen. Das zweite Silizium-Halbleitersubstrat (13) ist mit seiner Polysiliziumschicht (15) der Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats (16) zugewandt mit diesem gebondet und das zweite Silizium-Halbleitersubstrat (13) überdeckt die Kavität (18) in dem ersten Silizium-Halbleitersubstrat (16). In das zweite Silizium-Halbleitersubstrat (13) sind im Bereich von dessen die Kavität (18) überdeckenden Abschnitt Gräben (19) angeordnet, die sich bis zur Polysiliziumschicht (15) erstrecken.

**Mikroelektromechanisches Halbleiterbauelement und Verfahren zu
seiner Herstellung**

Die Erfindung betrifft ein mikroelektromechanisches Halbleiterbauelement und ein Verfahren zur dessen Herstellung. Ein derartiges Halbleiterbauelement lässt sich beispielsweise als Drucksensor oder Beschleunigungssensor einsetzen. Dabei soll das mikroelektromechanische Halbleiterbauelement zu herkömmlichen Halbleiterherstellungsverfahren kompatibel sein. Insbesondere soll es sich bei dem mikroelektromechanischen Halbleiterbauelement um ein CMOS-kompatibles mikroelektromechanisches Bauelement mit niedrigem Stromverbrauch, hoher Fertigungsgenauigkeit und hoher Präzision handeln.

10 Es ist bekannt, unter Verwendung lithografischer Verfahren Halbleiterbauelemente herzustellen, die neben elektrischen Funktionen auch mechanische Funktionen ausführen. Beispielsweise ist es möglich, mikroelektromechanische Halbleiterbauelemente mit reversibel verformbaren mechanischen Elementen herzustellen. Ein Beispiel ist ein Halbleiterbauelement mit einer Kavität, die
15 von einer flexiblen Deckwand oder Membran überdeckt ist. Zur Erzielung gleichbleibender, reproduzierbarer Eigenschaften derartiger Halbleiterbauelemente ist unter anderem wesentlich, dass die Dicke der Membran prozess-technisch exakt einstellbar und reproduzierbar ist.

20 Aufgabe der Erfindung ist es, ein mikroelektromechanisches Halbleiterbauelement zu schaffen, das ein reversibel verformbares Element aufweist, dessen mechanische Funktion präzise vorgebbar und reproduzierbar herstellbar ist. Ferner besteht eine Aufgabe der Erfindung darin, ein Herstellungsverfahren für ein derartiges mikroelektromechanisches Halbleiterbauelement anzugeben.

25

Zur Lösung dieser Aufgabe wird mit der Erfindung ein mikroelektromechanisches Halbleiterbauelement vorgeschlagen, das versehen ist mit

- 2 -

- einem ersten Silizium-Halbleitersubstrat mit einer Oberseite, in die eine durch Seitenwände und eine Bodenwand begrenzte Kavität eingebracht ist und
- einem zweiten Silizium-Halbleitersubstrat mit einer Siliziumoxidschicht und einer auf diese aufgebrachten Polysiliziumschicht definierter Dicke, 5
- wobei das zweite Silizium-Halbleitersubstrat mit seiner Polysiliziumschicht der Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats zugewandt mit diesem gebondet ist und das zweite Silizium-Halbleitersubstrat die Kavität in dem ersten Silizium-Halbleitersubstrat überdeckt und
- 10 - wobei in das zweite Silizium-Halbleitersubstrat im Bereich von dessen die Kavität überdeckenden Abschnitt Gräben angeordnet sind, die sich bis zur Polysiliziumschicht erstrecken.

Zur Lösung der zuvor genannten Aufgabe dient darüber hinaus ein Verfahren zur Herstellung eines mikroelektromechanischen Halbleiterbauelements, das die folgenden Schritte aufweist:

- Bereitstellen eines ersten Silizium-Halbleitersubstrats mit einer Oberseite,
- Einbringen einer Kavität in die Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats, wobei die Kavität durch Seitenwände und eine Bodenwand in dem ersten Silizium-Halbleitersubstrat definiert ist, 20
- Bereitstellen eines zweiten Silizium-Halbleitersubstrats mit einer Siliziumoxidschicht und einer auf diese aufgebrachten, eine Oberseite des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats bildenden Polysiliziumschicht definierter Dicke,
- 25 - Bonden der Polysiliziumschicht des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats mit der Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats und
- Einbringen von Gräben in das zweite Silizium-Halbleitersubstrat im Bereich von dessen die Kavität überdeckenden Abschnitt,
- wobei die Gräben durch Ätzen hergestellt sind und bis zur Polysiliziumschicht reichen. 30

Ein alternatives Herstellungsverfahren für ein mikroelektromechanisches Halbleiterbauelement umfasst die folgenden Schritte:

- Bereitstellen eines ersten Silizium-Halbleitersubstrats mit einer Oberseite,
- Einbringen einer Kavität in die Oberseite des ersten Silizium-Halbleiter-
5 substrats, wobei die Kavität durch Seitenwände und eine Bodenwand in dem ersten Silizium-Halbleitersubstrat definiert ist,
- Bereitstellen eines zweiten Silizium-Halbleitersubstrats mit einer Silizium-oxidschicht und einer auf diese aufgebracht, eine Oberseite des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats bildenden Polysiliziumschicht definierter
10 Dicke,
- Einbringen von Gräben in das zweite Silizium-Halbleitersubstrat im Bereich von dessen die Kavität überdeckenden Abschnitt,
- wobei die Gräben durch Ätzen hergestellt sind und bis zur Polysilizium-
schicht reichen,
- 15 - und Bonden der Polysiliziumschicht des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats mit der Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats.

Bei dem erfindungsgemäßen mikroelektromechanischen Halbleiterbauelement handelt es sich um ein Bauteil, das durch Bonden zweier Silizium-Halbleiter-
20 substrate (dem sogenannten Handle-Wafer und dem sogenannten Device-Wafer) hergestellt ist. In dem ersten Silizium-Halbleitersubstrat wird zunächst eine Kavität ausgebildet, die zur Oberseite des Halbleitersubstrats hin offen ist. Diese einseitig offene Kavität wird anschließend mit Hilfe des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats überdeckt und damit verschlossen. Der die Kavität über-
25 deckende Abschnitt des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats dient als Membran, die sich unter Einfluss mechanischer Kräfte oder auch unter dem Einfluss von externen Drücken verformt. Diese Konstruktion kann beispielsweise als Absolut-Drucksensor eingesetzt werden; die Erfindung ist aber nicht auf derartige Drucksensoren beschränkt. So ist es beispielsweise möglich, die erfindungsgemäße Struktur auch für den Einsatz bei einem Differenz-Drucksensor
30 einzusetzen. Genauso verhält es sich auch bei der Anwendung der Erfindung bei Beschleunigungssensoren.

Die Verformung der Membran ist also ein Maß für die einwirkenden Kräfte bzw. den einwirkenden Druck. Entscheidend ist nun für eine gute Reproduzierbarkeit und eine Vergleichmäßigung der Funktionsweise mehrerer konstruktiv gleicher erfindungsgemäßer Halbleiterbauelemente, dass die Membran eine
5 genaue, zuvor vorgegebene Dicke aufweist. Es ist bekannt, bei Halbleiterbauelement-Konstruktionen der zuvor genannten Art in den die Kavität überdeckenden Abschnitt des Halbleitersubstrats Gräben einzubringen, um die Flexibilität der Membran und insbesondere die Flexibilität von deren Anbindung an den Bereich des Halbleitersubstrats um die Kavität herum zu erhöhen.
10 Diese Gräben werden herkömmlicherweise durch Ätztechniken realisiert. Die Tiefe der Gräben wird dabei durch die Dauer, über die geätzt wird, eingestellt, was allerdings nur mit begrenzter Genauigkeit möglich ist.

Erfindungsgemäß wird nun eine während des Herstellungsprozesses auf dem
15 zweiten Silizium-Halbleitersubstrat erzeugte Polysiliziumschicht genutzt, um die Dicke der Membran (an deren Stellen, an denen sich die Gräben befinden) zu bestimmen. Polysiliziumschichten lassen sich beispielsweise bei CMOS-Prozessen hochgenau einstellen, was ihre Dicken betrifft. Bei einem der späteren Ätzvorgänge zur Erzeugung der Gräben wirkt die Polysiliziumschicht zudem
20 noch sozusagen als Ätzstopp und erfüllt damit zwei Funktionen. Zum einen nämlich dient sie zur Begrenzung der "Tiefenätzung" und zum anderen stellt sie die Dicke der die Kavität überdeckenden Membran dar.

Um die beiden Silizium-Halbleitersubstrate besser miteinander verbunden zu
25 können, ist es von Vorteil, wenn zumindest die Oberseite eines der beiden Silizium-Halbleitersubstrate mit einer Siliziumoxidschicht versehen ist. Zweckmäßigerweise wird diese Siliziumoxidschicht auf der Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats (dem Handle-Wafer) aufgebracht, bevor die Kavität ausgebildet wird. Aber auch auf der Polysiliziumschicht des zweiten Silizium-
30 Halbleitersubstrats könnte sich eine (gegebenenfalls extrem dünne) Siliziumoxidschicht befinden.

Zur messtechnischen Erfassung einer Verbiegung der Membran ist es zweckmäßig, nach dem Verbonden der beiden Silizium-Halbleitersubstrate mit Hilfe eines beispielsweise CMOS-Prozesses elektrische/elektronische Bauelemente auszubilden, die für mechanische Spannung sensitiv sind. Neben diesen Bauelementen können dann aber auch allgemeine schaltungstechnische Elemente realisiert werden, und zwar im zweiten Silizium-Halbleitersubstrat (dem sogenannten Device-Wafer), wie dies beispielsweise von CMOS-Prozessen her bekannt ist. Die Ausbildung dieser für mechanische Spannungen sensitiven Bauelemente (sowie der anderen schaltungstechnischen Bauelemente) im Device-Wafer ist für die Erfindung weniger relevant, da zu diesem Zeitpunkt die Polysiliziumschicht bereits aufgebracht ist und damit die Dicke der Membran feststeht.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert. Im Einzelnen zeigen dabei:

Fig. 1 Prozess zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Struktur:

- a) Roh-Wafer
- b) Oxidation und Fensteröffnung
- c) Ätzung der Kavität
- d) Aufbonden des Top-Wafers (es folgt der CMOS Prozess, der nicht extra gezeigt wird)
- e) Ätzen der Gräben (nach CMOS Prozess).

Fig. 2 Dreidimensionaler vereinfachter Schnitt durch einen Drucksensor, der nach dem Prozess aus Fig. 1 hergestellt wurde.

Fig. 3 Alternativer zweiter Prozess zur Herstellung einer erfindungsgemäßen Struktur:

- a) Roh-Wafer
- b) Oxidation und Fensteröffnung
- c) Ätzung der Kavität

- d) Aufbenden des Handle-Wafers (es folgt der CMOS Prozess auf dem Top-Wafer mit Kavität, der nicht extra gezeigt wird)
- e) Ätzen der Gräben (nach CMOS Prozess).

5 Fig. 4 Dreidimensionaler vereinfachter Schnitt durch einen Drucksensor, der nach dem Prozess aus Fig. 3 hergestellt wurde.

Fig. 5 bis 10

Alternativer dritter Prozess zur Herstellung einer erfindungsgemäßen
10 Struktur:

- a) Roh-Wafer
- b) Oxidation
- c) Aufbringen einer Polysiliziumschicht und Anoxidation
- d) 2. Roh-Wafer
- 15 e) Oxidation und Öffnung eines Fensters
- f) Ätzung der Kavität
- g) Aufbenden des Handle-Wafers
- h) Anschleifen (es folgt der CMOS Prozess auf dem Top-Wafer mit Kavität, der nicht extra gezeigt wird)
- 20 i) Ätzen der Gräben (nach CMOS Prozess)
- j) Dreidimensionaler vereinfachter Schnitt durch einen Drucksensor, der nach dem Prozess aus Fig. 5 bis 9 hergestellt wurde.

Fig. 11 Beispiel für das Layout eines Transistors.

25

Fig. 12 Verschaltung von vier Transistoren zu einer Wheatstone-Brücke (Betrieb der Transistoren als Widerstände).

Fig. 13 Beispielhafte Verschaltung von vier Transistoren und zwei weiteren zu
30 einer Wheatstone-Brücke mit Referenzspannungsquelle.

Fig. 14 Layoutbeispiel für eine Wheatstone-Brücke.

Fig. 15 Verschaltung von acht Transistoren zu einer Wheatstone-Brücke mit einer zweiten kurzgeschlossenen Wheatstone-Brücke als Referenzspannungsquelle.

5 Fig. 16 Platzierungsbeispiel von vier Wheatstone-Brücken nach Fig. 12 auf einem Sensor-Die mit Grabenstruktur.

Fig. 17 Platzierungsbeispiel von vier Wheatstone-Brücken mit vier
10 Wheatstone-Brücken als stressfreie Referenzen nach Fig. 15 auf einem Sensor-Die mit Grabenstruktur (Die Spannungsreferenzen sind zur Übersichtlichkeit nicht eingezeichnet. Es reicht hier bei jedem Wheatstone-Brücken-Paar im Prinzip eine dritte, kurzgeschlossene Wheatstone-Brücke neben der stressfreien Referenzbrücke. Somit wären 12 Wheatstone-Brücken auf dem Die zu finden).

15

Fig. 18 Layoutbeispiel für eine Differenzstufe.

Fig. 19 Schaltungsbeispiel für eine Schaltung mit einem Differenzverstärker
20 und einem Referenzdifferenzverstärker als Referenzspannungsquelle.

20

Fig. 20 Sicht auf eine beispielhafte Membran-Geometrie mit quadratischem
Grabensystem

- a) Aufsicht
- b) Ansicht von unten.

25

Fig. 21 Sicht auf eine beispielhafte Membran-Geometrie mit quadratischem
Grabensystem und rautenförmigem Zentralteil

- a) Aufsicht
- b) Ansicht von unten.

30

Fig. 22 Sicht auf eine beispielhafte Membran-Geometrie mit quadratischem Grabensystem, das in den Ecken angephast wurde, und rautenförmigem Zentralteil

- a) Aufsicht
- b) Ansicht von unten.

5

Fig. 23 Sicht auf eine beispielhafte Membran-Geometrie mit quadratischem Grabensystem und Stegen in den Ecken

- a) Aufsicht
- b) Ansicht von unten.

10

Fig. 24 Sicht auf eine beispielhafte Membran-Geometrie mit rundem Grabensystem und runder Kavität

- a) Aufsicht
- b) Ansicht von unten.

15

Fig. 25 Sicht auf eine beispielhafte Membran-Geometrie mit quadratischem Grabensystem und nicht durchgezogenen Stegen

- a) Aufsicht
- b) Ansicht von unten.

20

Fig. 26 und 27

Sensoren mit zusätzlichen Gräben.

25 Fig. 28 Boss (zentrale Membranversteifung) mit Masseverminderung durch geätztes Tragwerk 97.

Fig. 29 und 30

Beispielhafte Differenzdrucksensoren, die aus den obigen Sensoren durch Ätzung einer Öffnung 119 entstehen.

30

Fig. 31 Sicht auf eine beispielhafte Membran-Geometrie mit runder Kavität, runder Außenkante des Grabensystems und rautenförmigem Zentralteil

a) Aufsicht

5

b) Ansicht von unten.

Fig. 32 Sicht auf eine beispielhafte Membran-Geometrie mit runder Kavität, runder Außenkante des Grabensystems und rautenförmigem Zentralteil und zusätzlichen Gräben zum Schutz des Systems gegen Ausbreitung von extern eingetragendem Stress

10

a) Aufsicht

b) Ansicht von unten.

Fig. 33 Schaltbild einer Brücke nach Fig. 34 und Fig. 35 als Messbrücke mit Referenzspannungsquelle.

15

Fig. 34 Layoutbeispiel einer Messbrücke mit gemeinsamem Gate.

Fig. 35 Weiteres Layoutbeispiel einer Messbrücke mit gemeinsamem Gate.

20

Fig. 36 Ersatzschaltbild eines Transistors nach Fig. 37 als Messbrücke mit Referenzspannungsquelle.

Fig. 37 Layoutbeispiel eines besonders kleinen Messbrückentransistors mit vier Anschlüssen.

25

Fig. 38 Eine Detaildarstellung.

Fig. 39 Schematische Darstellung dreier Prozessschritte zur Erzeugung eines Silizium-Halbleitersubstrats mit einer Polysiliziumschicht auf einer Siliziumoxidschicht, wobei beide Schichten auf dem eigentlichen Silizium-Halbleitersubstrat aufgebracht sind.

30

Fig. 40 Drei Prozessschritte zur schematischen Darstellung der Ausbildung der Kavität in einem Silizium-Halbleitersubstrat mit einer Siliziumoxidschicht an seiner Oberseite.

5 Fig. 41 Die Konstruktion nach dem Verbonden der beiden Silizium-Halbleitersubstrate, hergestellt gemäß den Fign. 39 und 40.

10 Fig. 42 Weitere Herstellungsschritte (schematisch) zur Erzielung eines Drucksensors mit einer die Kavität überspannenden Membran definierter Dicke.

Fig. 43 Eine perspektivische Darstellung des gemäß den vorherigen Figuren hergestellten Drucksensors.

15 Die Erfindung wird am Beispiel eines Drucksensors für die Detektion niedriger Drücke dargestellt. Ein erster wesentlicher Punkt für die Erfindung ist die Anfertigung der Drucksensor-Kavität 4 vor der Prozessierung der CMOS Schritte. Hierdurch können beliebige Standard-CMOS-Prozesse auf der Oberfläche durchgeführt werden. Dies ermöglicht es als zweiten wesentlichen Schritt
20 CMOS Transistoren auf einer Membrane so zu platzieren, dass sie in einem Bereich optimalen mechanischen Stresses bei Auslenkung der Membrane liegen. Dieser Punkt kann durch analytische Überlegungen und/oder Finite-Elemente-Simulationen bestimmt werden.

25 Ein erster beispielhafter Prozess ist in wesentlichen Schritten in den Fign. 1 und 2 dargestellt. Abwandlungen dieses ersten Prozesses werden im weiteren Verlauf beschrieben.

30 Der grundlegende Herstellungsprozess beginnt mit einem ersten Wafer 1, der vorzugsweise aus dem gleichen Material wie ein später verwendeter zweiter Wafer 5 ist. Auf diesem Wafer wird eine Schicht 2 abgeschieden, die der späteren Verbindung dient. Bei Silizium-Wafern bildet man diese als eine SiO₂-

Schicht 2 durch Oxidation aus. In dieser Schicht wird ein Fenster geöffnet und die spätere Drucksensor-Kavität 4 geätzt. (Fig. 1c) Diese Ätzung erfolgt vorzugsweise durch einen DRIE- oder Plasma Ätzschritt, da insbesondere der erstere zu geraden Wänden 3 führt.

5

Der obere Wafer 5 wird ebenfalls mit einer Oxidschicht versehen und auf den ersten Wafer 1 gebondet und geschliffen. (Fig. 1d) Der Bondprozess wird hierbei vorzugsweise in einem Vakuum ausgeführt. Dies führt zu einer Kavität die nicht mit Gas gefüllt ist und schließt eine spätere Temperaturabhängigkeit des Binnendruckes in der Kavität aus. Durch diesen Prozess entsteht im Bereich der Kavität 4 eine Membrane deren Dicke durch den Schleifprozess bestimmt wird.

10

Als Ergebnis erhält man ein Wafer-Paket, das in einem Standard-CMOS-Prozess oder Standard-Bipolar-Prozess wie normales SOI-Material verwendet werden kann.

15

Nach der CMOS Prozessierung, die hier nicht näher beschrieben zu werden braucht, da die Prozessierung der Standard Literatur entnommen werden kann, können dann weitere mikromechanische Strukturen 6 in die Oberfläche 11 geätzt werden. (Fig. 1e).

20

Im Falle des beispielhaften Drucksensors sind diese mikromechanischen Strukturen 6 beispielsweise Grabenstrukturen, die näherungsweise geschlossene Ringe oder Vierecke bilden, die nur durch wenige Stege 8 unterbrochen (Fig. 2). Hierbei entsteht in der Mitte eine Zentralplatte 12 – Boss genannt –, die infolge der größeren Dicke eine Versteifung darstellt. Der Boden der Gräben 6 stellt eine Membrane geringerer Dicke dar 7. Diese nimmt typischerweise wesentlich weniger Kräfte auf. Wichtig ist hierbei, dass die äußere Kante des Grabens 6 ausreichend weit von der Wand der Kavität 3 entfernt ist, da ansonsten kleine Justierfehler in der Fertigung eine große Auswirkung auf den mechanischen Stress und damit auf das Messresultat hätten. Dies ist eine

30

wesentliche Neuerung. Die fertigungstechnische Reproduzierbarkeit der Sensoreigenschaften würde somit leiden, was einen erhöhten Kalibrationsaufwand und damit entsprechende Kosten zur Folge hätte.

5 Somit wird der Druck auf die Zentralplatte 12 praktisch ausschließlich über mechanische Zugspannung über die Stege 8 abgeleitet. Daher ist es sinnvoll auf diese Stege die Bauteile 9 zu platzieren, die gegen mechanischen Stress empfindlich sind und diesen Stress detektieren sollen. Diese sind dann über Leitungen mit den Anschlüssen 10 verbunden. Durch die Gräben wird also das
10 mechanische Stressfeld gegenüber den stresssensitiven elektronischen Bauteilen justiert.

Alternativ kann die Kavität auch in den oberen Wafer geätzt werden. Dies ist in den Fig. 3 und 4 entsprechend in den Schritten a bis f dargestellt.

15

Ein wesentlicher Nachteil der beiden vorangehenden Prozesse ist das Fehlen eines natürlichen Ätzstops für die Ätzung der Gräben 6. Daher ist die Dicke der Membrane am Grunde der Gräben 7 nur schwer zu kontrollieren. Der relative Fehler ist daher verhältnismäßig hoch, was zu einer Streuung der Sensorparameter führt.
20

Ein dritter beispielhafter Prozess, der diesen Nachteil nicht aufweist, ist in wesentlichen Schritten in den Fig. 5 bis 10 und Schritten a bis j dargestellt.

25 Der Herstellungsprozess beginnt mit einem ersten Wafer 13, der vorzugsweise aus dem gleichen Material wie der später verwendete zweite Wafer 16 ist. Auf diesem Wafer wird eine Verbindungsschicht, im Falle von Silizium-Wafern eine SiO₂-Schicht 14 Auf dieser SiO₂ Schicht wird eine weitere Schicht, beispielsweise eine Poly-Silizium-Schicht oder amorphe Siliziumschicht 15 abgeschieden und oberflächlich oxidiert (Fig. 5c). Die Abscheidung dieser Schicht kann
30 typischerweise sehr gut kontrolliert werden und ist in ihrem Ergebnis daher wesentlich präziser als die Ätzung der Gräben in den ersten beiden beschrie-

benen Prozessen. Der zweite Wafer 16 wird ebenfalls oxidiert, sodass sich ebenfalls eine Oxidschicht 17 bildet. In diese wird mindestens ein Fenster geöffnet und die spätere Kavität 18 geätzt. Diese Ätzung erfolgt vorzugsweise durch einen DRIE Ätzschritt, da dieser zu geraden Wänden führt (Fig. 6f). Die Ätzung der Kavität 18 in den oberen Wafer 13 wird im Folgenden nicht weiter beschrieben, ist aber selbstverständlich ebenso möglich.

Der obere erste Wafer 13 wird auf den zweiten Wafer 16 gebondet (Fig. 7) und anschließend geschliffen (Fig. 8). Der Bondprozess wird hierbei vorzugsweise wieder in einem Vakuum ausgeführt, um eine spätere Temperaturabhängigkeit des Binnendruckes in der Kavität 18 auszuschließen. Hierdurch entsteht im Bereich der Kavität eine Membrane deren Dicke durch den Schleifprozess bestimmt wird.

Als Ergebnis erhält man wieder ein Wafer-Paket, das prinzipiell wie ein Standard-Wafer in einem Standard-CMOS-Prozess oder Standard-Bipolar-Prozess verwendet werden kann.

Nach der CMOS- oder Bipolar-Prozessierung können dann wie in den voraus beschriebenen Prozessen weitere mikromechanische Strukturen z.B. Gräben 19 in die Oberfläche 24 geätzt werden (Fig. 10).

Im Falle eines Drucksensors sind diese mikromechanischen Strukturen 19 wieder beispielsweise Grabenstrukturen, die näherungsweise geschlossene Ringe oder Vierecke bilden, die nur durch wenige Stege 20 unterbrochen sind. Hierbei entsteht wieder in der Mitte eine Zentralplatte 21, die infolge der größeren Dicke eine Versteifung darstellt. Der Boden der Gräben 19 stellt eine Membrane geringerer Dicke dar 25. Diese nimmt wieder praktisch keine Kräfte auf. Im Gegensatz zum ersten Verfahren kann durch die zusätzliche Schicht 15 und dies daraus folgende zusätzliche Oxid-Schicht 14 die Ätzung der Gräben 19 präziser als bei der ersten Methode gestoppt werden. Hierdurch können die

elektromechanischen Eigenschaften präziser mit besserer Wiederholgenauigkeit gefertigt werden, was die Kalibrationskosten deutlich senkt.

Wie beim ersten Prozessergebnis wird der Druck (siehe Fig. 10) auf die Zentralplatte 21 praktisch ausschließlich über die Stege 20 abgeleitet. Daher ist es
5 wiederum sinnvoll, auf diese Stege die elektronischen Bauteile 22 zu platzieren, die gegen mechanischen Stress empfindlich sind und diesen Stress detektieren sollen. Diese sind dann über Leitungen mit den Anschlüssen 23 verbunden.

10 Natürlich ist es auch denkbar, die zusätzliche Schicht 15 statt durch Abscheidung durch Aufbonden und Schleifen eines dritten Wafers herzustellen. Des Weiteren ist es denkbar, mehr als eine vergrabene isolierte Schicht der Art der zusätzlichen Schicht 15 in ein Wafer-Paket zu integrieren.

15 Mit einem solchermaßen hergestellten Wafer-Paket können wiederum stressempfindliche Sensoren auf der Membrane nach deren Herstellung vor Fertigung der Gräben (6 oder 19) gefertigt werden.

20 Hierzu werden in einem CMOS- oder Bipolar-Prozess stress empfindliche elektronische Bauelemente auf der jeweiligen Oberfläche 11,24 gefertigt und verschaltet. Für einen CMOS Prozess wird vorzugsweise ein p-dotiertes Substrat verwendet.

25 Beispielsweise können piezoresistive Widerstände auf den Stegen 20,8 platziert werden und als Wheatstone Brücke verschaltet werden. Diese haben jedoch den Nachteil, dass sie erst auf Betriebstemperatur gebracht werden müssen und relativ viel elektrische Energie bei einer Messung verbrauchen. Sie sind daher für energieautarke Systeme ungeeignet. Die Erfindung stellt sich
30 wie oben bereits beschrieben daher auch die Aufgabe, dieses Problem auszu-schließen.

Daher ist es sinnvoll, statt solcher einfacher elektronischer Bauelemente, aktiv verstärkende Elemente wie Bipolar-Transistoren und MOS-Transistoren zu verwenden. Diese können ebenfalls als Wheatstone Brücke verschaltet werden, benötigen aber keine Aufwärmzeit und verbrauchen weniger Energie. Eine
5 beispielhafte Verschaltung zeigt Fig. 12.

Hierbei bilden vier p-Kanal-Transistoren 85,86,87,88 eine Wheatstone Brücke, die an den beiden Klemmen 89,90 abgegriffen werden kann. Hierbei werden die Transistoren 87 und 85 gleich orientiert konstruiert und das Transistorpaar
10 88,86 ebenfalls gleichorientiert, jedoch senkrecht zum Transistorpaar 87,85. Diese Schaltung ist jedoch sehr empfindlich gegenüber Fertigungsfehlern.

Um eine solche MOS-Transistorschaltung nun mit hinreichender Genauigkeit fertigen zu können, ist es notwendig, die Transistoren so zu gestalten, dass
15 der elektrisch aktive Teil selbstjustierend ist. Fig. 11 zeigt das beispielhafte Layout eines solchen selbstjustierenden Transistors. Hierbei werden die p+ Kontaktimplantationen 80 und 79 durch das Poly-Gate 81 so abgeschattet, dass auch bei Versatz stets die gleiche Transistor-Kanallänge und Transistor-Weite verbleibt. Ebenso schattet das Poly-Gate 81 die n+ Channel-Stopp-
20 Implantation ab. Das Gate wird über eine niederohmige Poly-Leitung angeschlossen.

Es ist somit sichergestellt, dass die Transistoren gleicher Entwurfsgeometrien eine sich gleichende Geometrie in ihrer physikalischen Realisierung haben.
25 Diese wird wesentlich durch die Gestaltung der Poly-Silizium-Fläche bestimmt.

Um die Transistoren in den jeweils richtigen Arbeitspunkt zu bringen, ist es zweckmäßig, eine Referenzspannungsquelle mit auf den Drucksensor zu integrieren. In dem Beispiel (Fig. 13) besteht die beispielhafte Referenzspannungsquelle aus den Transistoren 30 und 29. Die Transistoren 31,32,33,34
30 bilden wieder eine Wheatstone-Brücke, die an den Klemmen 28,36 abgegriffen werden kann. Beide sind als MOS Dioden verschaltet indem das Gate mit Drain

verbunden ist. Die Referenzspannung von Transistor 30 ist mit dem Gate von Transistor 31 und 33 verbunden. Die Referenzspannung von Transistor 29 ist mit dem Gate von Transistor 32 und 34 verbunden. Im Beispiel Fig. 13 liegt der Drain von Transistor 29 auf dem Potential der Klemme 26. Diese Klemme
5 liegt bei p-Kanal-Transistoren typischerweise auf Masse. Daher sind die Drain-Kontakte der Transistoren 32 und 34 ebenfalls mit dieser Klemme verbunden. Die Transistoren werden vorzugsweise mit gleichen geometrischen Maßen ausgeführt. Das Layout-Beispiel einer lokalen Wheatstone-MOS-Brücke ist in Fig. 14 gegeben. Sind die Transistoren wie in Fig. 14 angeordnet, so sind die Transistoren 31 und 34 gleich orientiert. Die die Transistoren 23 und 33 sind
10 ebenfalls zueinander gleichorientiert, jedoch senkrecht zu den Transistoren 31 und 34. Fig. 14 zeigt eine beispielhafte Anordnung.

Um die mechanischen Verspannungen auf der Membrane klein zu halten, ist diese nicht mit einem Feld-Oxid versehen sondern lediglich mit einem ganzflächigen äußerst dünnen Gate-Oxid von wenigen nm und einer geeigneten Passivierung. Sofern das Aufbringen eines Feldoxides unvermeidlich ist, ist eine hohe Symmetrie sinnvoll, um Parasitäre Effekte auf alle stressempfindlichen Bauteile gleich zu halten. Die Passivierung kann beispielsweise bei
20 einem Silizium-Drucksensor aus Siliziumnitrid bestehen. Dieses hat einen niedrigen Wasserstoff-Diffusionskoeffizienten und schützt daher das Bauteil gegen Ein- und Ausdiffusion von Protonen, die insbesondere bei permanent anliegender Spannung und hoher Betriebstemperatur zu einer Drift der p-Widerstände und p-Kanal Transistoren führen können. Dieser Effekt ist als NBTI bekannt. Um jede Art von mechanischer Verspannung zu vermeiden, wird kein Feldoxid oder ähnliches in der Nähe von mechanischen Bauteilen oder gar auf diesen gefertigt. Daher ist insbesondere die Membrane des beispielhaften Drucksensors nur mit dem Gate-Oxid und der Passivierungsschicht Siliziumnitrid – bedeckt. Des Weiteren werden die Zuleitungen auf dem Die
30 möglichst nicht in Metall, was einen hohen thermischen Ausdehnungskoeffizienten insbesondere gegenüber Silizium hat, sondern im Wafer-Material, im Falle von Silizium als hochdotierte Schicht oder als hochdotiertes Poly-Silizium

oder, wenn nicht anders möglich, als hochdotiertes amorphes oder polykristallines Silizium ausgeführt. Die Drain- und Source-Zuleitungen der Transistoren 26,28,35,36 sind in diesem Beispiel (Fig. 14) zum Beispiel als p+ Implantationen 36,35,26,28 ausgeführt. Die Gates und deren Zuleitungen werden beispielhaft in Poly-Silizium ausgeführt 33,39,31 und 32,34,38. In der Fläche 40, die n- dotiert wird, bildet sich aufgrund der Feldschwelle in dem Beispiel kein Kanal aus. Dies ist lediglich an der Kante der Poly-Gates möglich. Deshalb wird ein n+ Channel-Stopper 37 implantiert, der parasitäre Kanäle unterbricht. Durch diese beispielhafte Ganz-Silizium Ausführung ist es somit möglich, das gegen mechanischen Stress sensible Element sehr klein und unempfindlich gegen Fertigungstoleranzen und thermomechanischen Stress durch Fremdmaterialien zu bauen, was die Empfindlichkeit gegen inhomogene Stressverteilungen weiter verringert. Trotz dieser Bemühungen bestehen noch marginale Unterschiede zwischen den Materialien. Daher wird bei der Auslegung der elektronischen Bauteile auf dem Die und insbesondere bei denen, die sich auf der Membrane befinden, auf die Einhaltung der größten möglichen Symmetrie geachtet. Daher ist es sinnvoll Bauteile, die zu einer Differenzbildung verwendet werden - zum Beispiel solche in Wheatstone-Brücken oder Differenzverstärkern - möglichst nahe beieinander zu platzieren, um den Einfluss von Fertigungsinhomogenitäten zu minimieren.

Fig. 15 zeigt eine weitere Ausprägung der Wheatstone-Brücke. Hierbei wird die Referenzspannung, mit der die Brücke bestehend aus den Transistoren 31,32,33,34 betrieben wird, aus einer dieser gleichenden Brücke, bestehend aus den Transistoren 30,29,55,56, generiert. Zweckmäßigerweise wird hierbei das gleiche Layout-Modul verwandt. Die Referenzbrücke wird kurzgeschlossen und somit die Referenzspannung 35 erzeugt, mit der die Transistoren 31,32,33,34 der ersten Brücke angesteuert werden. Die zweite Brücke wird auf dem Substrat soweit fernab der mechanischen Spannungen wie möglich aber immer noch so nah wie möglich an der ersten Brücke platziert. Letzteres dient dazu, die Fertigungsschwankungen zwischen den beiden Brücken gering zu halten. Die erste Brücke wird in den Punkt geeigneten mechanischen Stres-

ses platziert. Dies ist der Punkt, an dem ein möglichst hoher mechanischer Stress bei Auslenkung der beispielhaften Membrane entsteht, dieser Stress aber noch so homogen ist, dass Fertigungsschwankungen sich nicht zu stark bemerkbar machen können.

5

Um Dejustage-Einflüsse weiter zu minimieren, kann es sinnvoll sein, mehrere Brücken auf einen Die zu platzieren. Dies kann beispielsweise durch eine Platzierung wie in Fig. 16 gezeigt geschehen. Hier ist die mögliche Platzierung von vier Brücken gemäß Fig. 12 gezeigt. Fig. 17 zeigt die Platzierung der Brücken und Referenzbrücken gemäß Fig.15. Bei einer Anordnung gemäß Fig. 17 entstehen drei Ebenen der Kompensation. In der ersten Ebene, der der vier Transistoren, wird die Richtung des mechanischen Stresses erfasst. Dies geschieht durch Vergleich der Werte von senkrecht zueinander liegenden Transistoren. In der nächsten Ebene werden diese vier Transistoren in ihrer Gesamtheit 43 mit vier weiteren, gleich angeordneten Transistoren 58 verglichen, die nahe bei den ersten vier 43, jedoch in einem mechanisch weniger belasteten Gebiet, idealer Weise auf der neutralen Faser liegen. Hierdurch wird der mechanisch bedingte Offset der Brücke von dem durch Justierfehler während der Fertigung unterschieden. Ist der Sensor symmetrisch, so ist es sinnvoll, entsprechend der Zähligkeit der Symmetrieachse weitere acht Transistoren einzubauen. Im Beispiel (Fig. 17) sind dies vier Paare von Sensoren 44,57;41,60;42,59;43,58, jedes Paar bestehend aus je zwei mal vier Transistoren.

Theoretisch reicht die Platzierung eines einzelnen Transistors bereits für die Stressmessung aus. In diesem Fall, wirken sich allerdings alle Fertigungsfehler bereits massiv aus.

Eine erste alternative Layout-Anordnung ist in Fig. 34 dargestellt. Fig. 33 zeigt die zugehörige Verschaltung mit einer Referenzspannungsquelle bestehen aus den Transistoren 108,109. Hier besitzen die vier zu einer Wheatstone-Brücke verschalteten Transistoren 104,105,106,107 ein gemeinsames Gate 110, was das Layout vereinfacht. Die Brücke wird über die Klemmen 103 und 102 mit

30

Spannung versorgt. Bei mechanischer Verspannung der Brücke tritt eine elektrische Spannung an den Klemmen 111,112 auf. Fig. 35 zeigt eine weitere Ausprägung dieser Brücke. Wird der Channel-Stopper 37 in der Mitte der Brücke weggelassen, so ergibt sich ein Feldplatten ähnlicher Transistor 115 mit vier Anschlüssen. (Fig. 37) Das Ersatzschaltbild des Transistors 115 zeigt Fig. 36. Es kommen dann die Transistoren 114 und 113 hinzu, die zum einen den Stromverbrauch anheben 114 und zum anderen die Signalhöhe verringern 113. Dafür kann aber die Bauform und damit der Flächenbedarf minimiert werden, was in manchen Applikationen sehr nützlich ist.

10

Eine alternative Layout-Anordnung der Transistoren eines Sensorelementes 41,42,43,44,57,58,59,60 ist in Fig. 18 dargestellt. Hier sind die vier Transistoren 44,45,46,47 sternförmig angeordnet. Sie besitzen einen gemeinsamen Drain-Kontakt 50, der über eine Zuleitung 49 mit einer Stromquelle verbunden ist, die sich nicht auf der Membrane des Drucksensors befindet. Die Gates der Transistoren 44,45,46,47 sind mit einer Poly-Leitung 48 angeschlossen. Die Source-Kontakte werden jeweils mit einer hochdotierten p+ Leitung 51,52,53,54 angeschlossen. Die vier Transistoren sind beispielsweise Teile eines Differenzverstärkers, wie ihn Fig. 19 zeigt. Alle anderen Transistoren der Fig. 19 befinden sich nicht auf der Membrane sondern dem Substrat ohne darunterliegende Kavität. Es ist offensichtlich, dass die Hälfte der vier Transistoren, also beispielsweise die Transistoren 45 und 44 bereits ausreichen würden, einen Differenzverstärker zu bilden. Aus Symmetriegründen ist jedoch die Variante mit vier Transistoren sinnvoll.

25

Die Schaltung besteht aus zwei Differenzverstärkern. Der linke (Transistoren 65 bis 73) ist im Ausgang und Eingang kurzgeschlossen und arbeitet als Referenzspannungsquelle für den Betrieb des zweiten. Diese Transistoren liegen in einem Gebiet frei von mechanischem Stress. Die zuvor besprochenen Transistoren 44,45,46,47 bilden die Differenzstufe mit den jeweils zugehörigen "Arbeitswiderständen" 61,62,63,64. Die Stromquelle 74 bestromt den so gebildeten Differenzverstärker. Der Transistor 74 ist in diesem Beispiel ein n-Kanal-

30

Transistor. Die Ausgänge des Differenzverstärkers 77,78 spiegeln im Betrieb eine Unsymmetrierung der Transistoren 44,45,46,47 infolge mechanischen Stresses wider. Da die Transistoren 46 und 44 anders als die Transistoren 45 und 47 orientiert sind, führt ein uniaxialer mechanischer Stress zu einem Ausgangssignal an 77,78. Der Differenzverstärker wird in diesem Beispiel durch
5 einen gleich aufgebauten kurzgeschlossenen Referenzdifferenzverstärker in den Arbeitspunkt gebracht. Dieser und die Transistoren 61,62,63,64,74 befinden sich zweckmäßigerweise nicht auf der Membrane sondern in einem Bereich des Die, der nahezu frei von mechanischem Stress ist. Um die Übereinstimmung der elektrischen Parameter der Bauteile in stressfreiem Zustand zu
10 gewährleisten, sollten diese trotzdem so nahe wie möglich bei den anderen Transistoren platziert werden. Zweckmäßigerweise wird daher die Ausrichtung und das Layout aller Elemente möglichst nahe beieinander in gleicher Ausrichtung und gleichem Layout durchgeführt, damit insbesondere auch die
15 Stromspiegelpaare gut aufeinander abgestimmt sind.

Die Fig. 20 bis 25 zeigen unterschiedliche Ausführungen der Gräben und Kavitäten.

20 Bei der Konstruktion des Race-Tracks 6 und der Kavität 3 müssen verschiedene Faktoren einbezogen werden:

1. Es ist ein geeigneter Abstand zwischen Race-Track-Außenwand und Kavitätswand einzuhalten.

25

2. Der Kreis, der durch die äußeren Berührungspunkte der Stege mit der Race-Track-Außenwand geht, darf durch die Race-Track-Außenwand nicht geschnitten werden, da dies eine Verzerrung des mechanischen Stressfeldes im Boss 12 zur Folge hätte.

30

3. Die Verbindungslinien zwischen den Fußpunkten der Stege 8 am Boss 12 darf nicht durch die Außenkante des Bosses geschnitten werden, da dies eine Verzerrung des mechanischen Stress-Feldes im Boss zur Folge hätte.
- 5 4. Die Konstruktion sollte möglichst keine Ecken aufweisen, da in diesen sehr starke Spannungen auftreten können, die zu nichtlinearen Effekten und Bistabilität führen können.

Dem entgegen stehen Anforderungen hinsichtlich des Berst-Druckes. Wird die
10 Race-Track-Fläche zu groß, so bricht die Race-Track-Membrane schneller.

Zur Entkoppelung der Membrane von mechanischem Stress, der durch die
Aufbau und Verbindungstechnik hervorgerufen wird, ist es daher beispiels-
weise sinnvoll, einen weiteren Graben 93 um den Sensor herum zu fertigen.
15 (Fig. 26) und so eine virtuell größere Race-Track-Membrane ohne die ange-
sprochene Bruchgefahr herzustellen.

Hierbei ist der Sensor an Stegen 94 aufgehängt. Diese stellen im Idealfall
keine Verlängerung der Stege 8 dar, an denen der Boss 12 befestigt ist. Hier-
20 durch wird mechanischer Stress nur indirekt von außen auf die Sensoren 9
übertragen.

Dieses Prinzip kann weiter durch einen weiteren Graben 95 und weitere Stege
96 fortgesetzt werden (Fig. 27).

25

Die Konstruktion unter Zuhilfenahme eines Bosses führt zu einer erhöhten
Empfindlichkeit gegen seismische Belastungen. Diese Empfindlichkeit kann
durch Reduktion der Boss-Masse gesenkt werden (Fig. 28), Hierbei wird in
dem Boss 97 ein geeignetes Tragwerk geätzt. Es bleiben Stege stehen, die bei
30 geeigneter Wahl ein ausreichendes Flächenträgheitsmoment erzeugen, um die
mechanische Stabilität zu gewährleisten. Der Sensor 22 wird dabei wie zuvor
auf einem Steg 20, der den Race-Track-Graben 19 unterbricht, platziert.

Soll statt eines Absolutdrucksensors ein Differenzdrucksensor hergestellt werden, so kann dies durch nachträgliche Ätzung einer Öffnung 119 in den unteren Wafer geschehen. Die Fign, 29 und 30 zeigen entsprechende beispielhafte Ausformungen. Der Vorteil einer solchen Konstruktion liegt in der kleinen Öffnung und damit in dem nur sehr geringen Verlust an Stabilität gegenüber einem Sensor, bei dem die Kavität von der Rückseite her geätzt wurde.

Das Bondsystem besteht in der Regel aus Metall mit einem erheblich abweichenden thermischen Ausdehnungskoeffizienten. Des Weiteren führt das Metall zu Hysterese-Effekten. Daher ist es sinnvoll die Bond-Pads 10 soweit wie möglich vom Rest der Sensoren zu entkoppeln. Dies kann durch mechanische Guard-Ringe in Form von Gräben 157 geschehen, die beispielsweise soweit wie möglich um die Pads oder zu schützende Teile herum gelegt werden (Fig. 32).

Anhand der Fign. 39 bis 43 soll nachfolgend auf das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines mikroelektromechanischen Halbleiterbauelements nach der Erfindung eingegangen werden. Hierbei wird aber auch Bezug genommen auf das zuvor Gesagte.

Gemäß Fig. 39 wird auf einem ersten Silizium-Halbleitersubstrat 13 (dem sogenannten Device-Wafer - siehe Fig. 39a) eine Siliziumoxidschicht 14 abgeschieden (siehe Fig. 39b). Auf diese Siliziumoxidschicht 14 wird nun eine Polysiliziumschicht 15 aufgebracht (siehe Fig. 39c). Die Dicke dieser Polysiliziumschicht 15 kann prozesstechnisch sehr genau kontrolliert werden.

Auf einem zweiten Silizium-Halbleitersubstrat 16 (dem sogenannten Handle-Wafer - siehe Fig. 40d) wird eine Siliziumoxidschicht 17 aufoxidiert (siehe Fig. 40e). In die Siliziumoxidschicht 17 und das Halbleitersubstrat 16 wird anschließend eine Kavität 18 geätzt (siehe Fig. 40f).

Die beiden gemäß Fig. 39 und 40 vorbereiteten Wafer werden anschließend zusammen gebondet, wie in Fig. 41 gezeigt ist. Dabei befindet sich die Polysiliziumschicht 15 des ersten Silizium-Halbleitersubstrats 13 auf der Siliziumoxidschicht 17 des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats 16. Gegebenenfalls kann
5 zuvor auf die Polysiliziumschicht 15 eine extrem dünne Siliziumoxidschicht aufgebracht worden sein.

Nach dem Verbonden wird das Silizium-Halbleitersubstrat 13 des Device-Wafer zurückgeschliffen (siehe Fig. 42h).

10

Nach dem Zurückschleifen des Device-Wafer wird ein CMOS-Prozess durchgeführt, um das Halbleiterbauelement zu strukturieren und mit den erforderlichen mechanischen und elektrischen Funktionen zu versehen. Hierzu werden in dem Device-Wafer Gräben 19 geätzt (siehe Fig. 42i). Das Siliziumoxid 14
15 des Device-Wafer dient hierbei als (erster) Ätzstopp. Anschließend erfolgt ein zweiter zweistufiger Ätzvorgang (siehe Fig. 42j), um die Gräben 19 bis zur Polysiliziumschicht 15 zu ätzen. Nach der ersten Stufe, bei der das Silizium-Material geätzt wird, folgt die zweite Stufe, bei der das Siliziumoxid geätzt wird, wobei die Polysiliziumschicht 15 wiederum als Ätzstopp für diesen
20 Siliziumoxid-Ätzschritt fungiert. Das Ergebnis des CMOS-Prozesses und der zuvor beschriebenen Prozessschritte ist in Fig. 43 gezeigt. In dem Handle-Wafer 16 befindet sich die Kavität 18. Auf der Handle-Wafer-Oberfläche befindet sich die Siliziumoxidschicht 17 und darauf die Polysiliziumschicht 15, auf der sich wiederum die Polysiliziumschicht 14 und darauf die monokristalline
25 Schicht 13 als Rest des heruntergeschliffenen Device-Wafer befindet. In diesen sind die Gräben 19 geätzt. Diese begrenzen einen Bereich auf der Membran 21. In diesem Beispiel sind die Gräben 19 durch Stege 20 unterbrochen. Auf diesen befinden sich beispielsweise stressensitive elektrische bzw. elektronische Bauelemente 22, die über Leitungen 24 mit Pads 23 verbunden
30 sind. Wesentlich ist, dass die Dicke 25 der in den Gräben 19 zurückbleibenden Polysiliziumschicht 15 genau kontrolliert werden kann. Hierdurch ist die Fertigbarkeit auf Grund der höheren Präzision erhöht.

Weitere Eigenschaften der Erfindung und einer beispielhaften Anwendung lassen sich wie folgt beschreiben:

1. Fotolithografisch gefertigter Transistor auf einem dotierten Substrat oder
5 in einer dotierten Wanne, wobei
 - i. der Transistor nur mit Materialien elektrisch verbunden ist, die einen ähnlichen mechanischen Ausdehnungskoeffizienten haben wie das Substrat oder die Wanne, in der er platziert ist, haben,
 - ii. der Transistor nicht oder nur in sehr geringer mechanischer Verbindung mit anderen Materialien insbesondere solchen Materialien mit
10 anderen mechanischen Eigenschaften als das Substrat oder die Wanne - hierbei insbesondere Feldoxiden - steht,
 - iii. der Transistor Symmetrien aufweist,
 - iv. der Transistor durch Lithografie verschiedener geometrischer, aufeinander abgestimmter Strukturen in verschiedenen Prozessschritten
15 gefertigt wird, und
 - v. diese geometrischen Strukturen, deren Überlagerung und Zusammenwirken im Fertigungsprozess den Transistor ergibt, so gewählt sind, dass Prozessschwankungen innerhalb der Prozessspezifikationsgrenzen die Änderungen der Geometrien der einzelnen
20 Lithografieschritt-Ergebnisse in Form gefertigter geometrischer Strukturen keine oder nur sehr geringe Auswirkung auf die elektrischen und / oder mechanischen Eigenschaften des Transistors haben.
- 25 2. Transistor nach Ziff. 1, bei dem es sich um einen MOS-Transistor handelt.
3. MOS Transistor zur Detektion von mechanischem Stress, der über vier Kanal-Anschlüsse verfügt.
- 30 4. MOS Transistor nach Ziff. 3, der eine vierzählige Rotationssymmetrie und eine Gate-Platte mit eben dieser Symmetrie und Kanalanschlüsse in einer

Anordnung mit eben dieser Symmetrie aufweist, ohne eine Symmetrie der Anschlüsse dieser Gate-Platte aufweisen zu müssen.

- 5 5. Transistor nach Ziff. 1, bei dem es sich um einen Bipolar Transistor handelt.
6. Transistor nach Ziff. 1 bis 4, der über einen Channel-Stopper verfügt.
- 10 7. Transistor nach Ziff. 1 bis 4, dessen Source und/oder Drain-Gebiete durch eine hochdotiertes Gebiet oder niederohmiges Poly-Silizium elektrisch angeschlossen sind.
8. Transistor nach Ziff 1 bis 7, der zur Detektion von mechanischem Stress verwendet wird.
- 15 9. Transistor nach Ziff. 1 bis 8, der wie ein elektrischer Widerstand insbesondere in einer Messbrücke genutzt wird.
10. Transistor nach Ziff. 1 bis 9, der ein pnp-Transistor ist.
- 20 11. Transistor nach Ziff. 1 bis 9, der ein npn-Transistor ist.
12. Transistor nach Ziff. 1 bis 9, der ein p-Kanal Transistor ist.
- 25 13. Transistor nach Ziff. 1 bis 9, der ein n-Kanal Transistor ist.
14. Elektronische Schaltung, die Transistoren nach einem oder mehreren der Ziff. 1 bis 13 enthält.
- 30 15. Elektronische Schaltung, die in einem funktionalen Zusammenhang mit einer mikromechanischen Vorrichtung gemäß Ziff. 41 steht.

16. Schaltung nach Ziff. 14 oder 15, die diskrete und/oder integrierte elektronische Bauelemente enthält.
17. Schaltung nach Ziff. 14 bis 16, die zumindest teilweise durch monolithische Integration gefertigt ist.
18. Schaltung nach Ziff. 14 bis 17, die mindestens zwei geometrisch gleich konstruierte Transistoren nach Ziff. 1 bis 13 enthält.
19. Schaltung nach Ziff. 18, die ein Signal erzeugt, das zur Messung eines unterschiedlichen Zustands in mindestens einem physikalischen Parameter der beiden Transistoren geeignet ist.
20. Schaltung nach Ziff. 19, bei der es sich bei dem physikalischen Parameter um mechanischen Stress und/oder Temperatur handelt.
21. Schaltung nach Ziff. 18 bis 20, bei der mindestens zwei der Transistoren nach Ziff. 1 bis 13 ohne Betrachtung der Anschlussleitungen zueinander symmetrisch angeordnet sind.
22. Schaltung nach Ziff. 18 bis 20, bei der für mindestens zwei der Transistoren nach einem oder mehreren der Ziff. 1 bis 13 gilt, dass ihre Geometrie ohne Betrachtung der Anschlussleitungen durch Rotation um 90° zueinander in Deckung gebracht werden kann.
23. Schaltung nach Ziff. 14 bis 22, die mindestens vier Transistoren nach Ziff. 1 bis 13 enthält.
24. Schaltung nach Ziff. 23, bei der die vier Transistoren zu einer Messbrücke verschaltet sind.

25. Schaltung nach Ziff. 24, bei der Gate und Source mindestens eines Transistors nach Ziff. 1 bis 13 kurzgeschlossen sind.
26. Schaltung nach Ziff. 24 oder 25, bei der das Gate mindestens eines der
5 Transistoren nach Ziff. 1 bis 13 mit einer Referenzspannungsquelle verbunden ist.
27. Schaltung nach Ziff. 26, bei der die Referenzspannungsquelle eine zweite, jedoch kurzgeschlossene Messbrücke nach Ziff. 24 bis 27 ist.
10
28. Schaltung nach Ziff. 27, bei der die zweite Messbrücke der ersten Messbrücke gleicht und zwar insbesondere in der Dimensionierung der Transistoren und/oder der Verschaltung und/oder der gefertigten Geometrie und/oder im Extremfall eine geometrische Kopie der ersten Messbrücke
15 ist.
29. Schaltung nach Ziff. 14 bis 28, bei der jeweils zwei der vier Transistoren bei gleicher Geometrie gleich ausgerichtet sind.
- 20 30. Schaltung nach Ziff. 29, bei der die Transistoren des einen Transistorpaares senkrecht zum anderen Transistorpaar orientiert sind.
31. Schaltung nach Ziff. 30, bei der die vier Transistoren in einem Viereck symmetrisch angeordnet sind.
25
32. Schaltung nach Ziff. 30, bei der die vier Transistoren in einem Kreuz symmetrisch angeordnet sind.
33. Schaltung nach Ziff. 14 bis 23 oder 29 bis 32, die mindestens eine Differenzverstärkerschaltung enthält.
30

34. Schaltung nach Ziff. 33, bei der mindestens einer der Transistoren mindestens eines Differenzverstärkers ein Transistor gemäß Ziff. 1 bis 13 ist.
35. Schaltung nach Ziff. 33 oder 34, die mindestens eine Referenzspannungsquelle enthält, die mit mindestens einem ersten Differenzverstärker gekoppelt ist.
36. Schaltung nach Ziff. 35, bei der die Referenzspannungsquelle ein zweiter, jedoch kurzgeschlossener Differenzverstärker ist, der ein Differenzverstärker nach Ziff. 33 bis 35 ist.
37. Schaltung nach Ziff. 36, bei der der zweite Differenzverstärker dem ersten Differenzverstärker gleicht und zwar insbesondere in der Dimensionierung der Transistoren und/oder der Verschaltung der Transistoren und/oder der gefertigten Geometrie der Transistoren und/oder im Extremfall eine geometrische Kopie des ersten Differenzverstärkers ist.
38. Schaltung nach Ziff. 14 bis 37, bei der zumindest ein Teil derselben gleichzeitig Teil einer mikromechanischen Vorrichtung ist.
39. Schaltung nach Ziff. 38, bei der mindestens ein Teil der Schaltung mit mindestens einem mikromechanischen Funktionselement dergestalt funktionell verbunden ist, dass mindestens ein mechanischer Parameter mindestens eines mikromechanischen Funktionselementes mit der Zustandsfunktion der Schaltung oder mit mindestens einem elektrischen Parameter der Zustandsfunktion mindestens eines Schaltungsteils verknüpft ist.
40. Schaltung nach Ziff. 39, wobei es sich bei dem Funktionselement insbesondere um einen Balken oder Steg, eine Membrane, einen Resonator, eine einseitig oder zweiseitig oder dreiseitig eingespannte Lippe, eine Blende, eine Nadel handelt.

41. Mikromechanische Vorrichtung, die durch lithographische Prozesse und Verbindung, insbesondere Bondung, mindestens zweier Wafer hergestellt wurde, wobei
- I. vor der Verbindung der mindestens zwei Wafer mindestens ein mikro-
mechanisches Funktionselement in Form von mindestens einer Ober-
flächenstruktur auf mindestens einer Oberfläche mindestens eines der
beiden Wafer aufgebracht wurden und
 - II. mindestens eines der so gefertigten mikromechanischen Funktions-
elemente bzw. Oberflächenstrukturen nach der Verbindung der Wafer
in der Nähe der Grenzfläche zwischen diesen innerhalb des sich erge-
benden Wafer-Paketes liegt und
 - III. auf mindestens einer Oberfläche des sich ergebenden Wafer-Paketes
im Anschluss an die Verbindung der Wafer mindestens ein Prozess zur
Herstellung von elektronischen Bauelementen zur Herstellung min-
destens eines elektronischen Bauelements durchgeführt wurde und
 - IV. mindestens eines der so hergestellten elektronischen Bauelemente
gegen mindestens eine nicht elektrische physikalische Größe emp-
findlich ist und diese erfassen soll und
 - V. dieses Bauelement selbstjustierend hergestellt wird.
42. Mikromechanische Vorrichtung gemäß Ziff. 41, bei der mindestens eines
der selbstjustierenden Bauelemente ein Transistor gemäß Ziff. 1 bis 10 ist
oder Teil einer Schaltung gemäß Ziff. 14 bis 40 ist.
43. Mikromechanische Vorrichtung gemäß Ziff. 41 oder 42, die aus Silizium
hergestellt ist.
44. Mikromechanische Vorrichtung gemäß Ziff. 41 bis 43, bei der es sich bei
mindestens einem mikromechanischen Funktionselement um mindestens
eine Kavität handelt.

45. Mikromechanische Vorrichtung gemäß Ziff. 44, bei der mindestens eine Kavität mit mindestens einer Oberfläche des Wafer-Paketes eine Membrane definiert.
- 5 46. Mikromechanische Vorrichtung gemäß Ziff. 44 und 45, wobei mindestens eine Kavität keine Oxide an ihren Wänden aufweist.
47. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 41 bis 46, wobei sich mindestens ein mikromechanisches Funktionselement auf der Oberfläche der
10 Vorrichtung befindet.
48. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 47, wobei es sich bei mindestens einem mikromechanischen Funktionselement um einen Steg, einen Graben, eine Membrane, einen Durchbruch und eine vergrabene Kavität
15 oder ein Sack-Loch handelt.
49. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 38, bei der mindestens ein mikromechanisches Funktionselement an der Oberfläche nach Durchführung eines Prozesses, insbesondere eines CMOS Prozesses, zur Fertigung
20 eines Transistors nach Ziff. 1 bis 13 oder einer Schaltung nach Ziff. 14 bis 40 gefertigt wurde.
50. Mikromechanische Vorrichtung gemäß Ziff. 41 bis 49, bei der mindestens ein mikromechanisches Funktionselement unter anderem durch Verwendung von DRIE- oder Plasma-Ätzprozessen hergestellt wurde.
25
51. Mikromechanische Vorrichtung gemäß Ziff. 41 bis 50, die als Drucksensor benutzt werden kann.
- 30 52. Mikromechanische Vorrichtung gemäß Ziff. 44 bis 51, bei der die geometrische Form mindestens einer Kavität bezüglich der Verbindungsebene der Wafer Symmetrien aufweist.

53. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 41 bis 52, wobei auf mindestens einer Oberfläche des Wafer-Paketes die Gräben durch DRIE- oder Plasma-Ätzung hergestellt sind.
- 5 54. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 53, bei der mindestens eine Teilmenge der Gräben eine geschlossene Struktur, beispielsweise einen Ring, eine Ellipse, ein Viereck, einen Stern oder ähnliches bilden, die nur an wenigen Stellen durch dünne Stege 8,20 unterbrochen sind.
- 10 55. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 53 und 54, bei der mindestens ein Teil der Gräben symmetrisch zueinander angeordnet ist.
56. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 52 und 55, bei der Symmetrieachsen eines Teils der Gräben und mindestens einer Kavität zusammenfallen bzw. bei idealer Anfertigung zusammenfallen.
- 15 57. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 52, 55 und 56, bei der mindestens einer der Gräben in einem mechanischen Funktionszusammenhang mit mindestens einer Kavität steht.
- 20 58. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 57, bei der der Boden mindestens einer der Gräben mit mindestens einer der Kavitäten eine Membranverdünnung oder eine Öffnung in diese Kavität hinein ergibt.
- 25 59. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 41 bis 58, bei der mikromechanische Funktionselemente der Oberseite, insbesondere die in Ziff. 47 bis 58 erwähnten Gräben, mit ihren ihre Form definierenden Kanten nicht über Form definierenden Kanten von mikromechanischen Strukturen der Unterseite und mikromechanischen Strukturen der Oberseite liegen.
- 30 60. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 59, bei der die Hebellänge 116 zwischen dem Ansatzpunkt einer unterhalb liegenden Struktur 121, ins-

besondere einer vergrabenen Kavität 4, und der Ansatzpunkt einer oberhalb liegenden Struktur 119, insbesondere eines Grabens 6, größer ist als das kleinere der vertikalen Hebelmaße 118 und 120 (siehe Fig. 38).

- 5 61. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 44 bis 60, bei der sich innerhalb des Körpers der mikromechanischen Vorrichtung, insbesondere während der Fertigung derselben innerhalb des Wafer-Paketes, mindestens eine Kavität befindet, die mit der Unterseite oder Oberseite des Wafer-Paketes durch mindestens ein mikromechanisches Funktionselement, insbesondere eine Röhre, in Verbindung steht.
- 10
62. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 61, die als Differenzdrucksensor gegen einen definierten Referenzdruck oder Umgebungsdruck eingesetzt werden kann.
- 15
63. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 61 und 62, die mindestens ein mikrofluidisches Funktionselement besitzt.
64. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 63, bei der mindestens ein mikrofluidisches Funktionselement zur Zuführung von Medien wie Flüssigkeiten und Gasen dient oder dienen kann.
- 20
65. Mikromechanische Vorrichtung, bei der mindestens ein mikrofluidisches Funktionselement nach Ziff. 63 bis 64 oder ein mikromechanische Funktionselement nach Ziff. 61 nach Durchführung eines Prozesses, insbesondere eines CMOS Prozesses, zur Fertigung eines Transistors nach Ziff. 1 bis 13 oder einer Schaltung nach Ziff. 14 bis 40 gefertigt wurde.
- 25
66. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 1 bis 65, bei der mindestens als ein Teilsubstrat oder Substrat ein p-dotiertes Halbleitermaterial verwendet wurde.
- 30

67. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 1 bis 65, bei der mindestens als ein Teilsubstrat oder Substrat ein n-dotiertes Halbleitermaterial verwendet wurde.
- 5 68. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 44 bis 67, bei der in mindestens einem Substrat eine Materialmodifikation, beispielsweise eine SiO₂-Schicht, vorliegt, die als Ätzstopp für das Ätzen mindestens einer Kavität dient.
- 10 69. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 53 bis 68, bei der in mindestens einem Substrat eine Materialmodifikation 14 vorliegt, die als Ätzstopp für das Ätzen mindestens eines Teils der Gräben dient.
- 15 70. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 69, bei der in mindestens einem Substrat mindestens eine Materialmodifikation 15 vorliegt, die als Membrane im Bereich der Gräben wirkt.
- 20 71. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 70, bei der mindestens eine Materialmodifikation 15 aus Poly-Silizium und/ oder amorphen Silizium ist und auf einem der Wafer des Wafer-Paketes vor dem Wafer-Bonden abgeschlossen wurde.
- 25 72. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 44 bis 67 und 69 bis 71, bei der mindestens eine Kavität zeitkontrolliert in mindestens ein Substrat geätzt wurde.
73. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 53 bis 68 und 70, bei der mindestens ein Teil der Gräben zeitkontrolliert in das Substrat geätzt wurden.
- 30 74. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 53 bis 73, wobei vor Ätzung der Gräben ein Halbleiterprozess zur Herstellung elektrischer Funktions-

elemente auf mindestens einer Oberfläche des Wafer-Paketes durchgeführt wurde.

- 5 75. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 74, die mindestens ein elektrisches Funktionselement aufweist, das in dem Prozess gemäß Ziff. 74 gefertigt wurde.
- 10 76. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 75, bei der mindestens ein elektrisches Funktionselement die Funktion einer elektrischen Leitung oder eines Kontaktes oder einer Durchkontaktierung oder einer elektrischen Leitungsisolation oder eines Widerstands oder eines Transistors oder einer Diode oder eines Kondensators oder einer Spule hat.
- 15 77. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 76, bei der mindestens eines der Funktionselemente mindestens einen Parameter – insbesondere elektrischen Parameter – in Abhängigkeit von mechanischen Größen, insbesondere Zug-, Druck- und Schubspannung, ändert.
- 20 78. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 77, wobei diese Parameteränderung außerhalb des Sensors gemessen werden kann.
- 25 79. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 77 und 54, bei der mindestens eines der Funktionselemente in einem mechanischen Funktionszusammenhang mit mindestens einem Steg 8,20 steht.
- 30 80. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 77 und 36, bei der mindestens ein elektronisches Funktionselement so gegenüber
- a) mindestens einem ersten mikromechanischen Funktionselement, insbesondere einer Membrane (12 oder 21),
 - b) mindestens zwei weiteren, zweiten mikromechanischen Funktionselementen, insbesondere Gräben (6 oder 19), und

- 35 -

c) mindestens einem dritten mikromechanischen Funktionselement, insbesondere einem Steg (8 oder 20),

wobei die Funktionselemente gemäß a) bis c) in einem mechanischen funktionalen Zusammenhang stehen, auf dem dritten mikromechanischen Funktionselement, insbesondere Steg, positioniert ist, dass es in oder nahe dem Punkt größter mechanischer Spannung liegt, wenn das erste mikromechanische Funktionselement, insbesondere eine Membrane oder eine Inertialmasse (12 oder 21), verformt, insbesondere ausgelenkt, wird.

10

81. Mikromechanische Vorrichtung gemäß Ziff. 80, bei der mindestens ein drittes mikromechanische Funktionselement, insbesondere ein Steg so geformt ist, dass dieses über einen Bereich hoher homogenisierter mechanischer Spannung im Fall der Verformung des ersten mikromechanischen Funktionselementes, insbesondere einer Membrane oder Inertialmasse, verfügt.

15

82. Mikromechanische Vorrichtung gemäß Ziff. 81, bei der sich mindestens ein elektronisches Funktionselements an mindestens einem besagten Platz hoher homogenisierter mechanischer Spannung befindet.

20

83. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 41 bis 82, bei der mindestens zwei Wafer unterschiedlich dick ausgeführt wurden.

25

84. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 41 bis 82, wobei es sich bei einem Wafer-Material um Silizium oder SOI Material handelt.

85. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 44 bis 79, wobei die Kavität vor dem Bonden dreier Wafer in dem untersten Wafer hergestellt wird.

30

86. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 86, wobei die drei Wafer unterschiedlich dick ausgeführt wurden.

87. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 53 bis 86, wobei es sich bei mindestens einem der zweiten mikromechanischen Funktionselemente um einen Graben (6 oder 19) handelt, dessen Breite nicht konstant ist.
- 5 88. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 54 bis 87, bei der mindestens ein Steg einen Graben (6 oder 19) nicht teilt, sondern nur in diesen hineinragt (z.B. Fig. 25).
- 10 89. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 54 bis 88, bei der zwischen den Stegen und Gräben eine Fläche auf einer Membrane entsteht, die an den Stegen hängend, viereckig (z.B. Fig. 20 oder 23), rautenförmig (z.B. Fig. 21 oder Fig. 22) oder rund (z.B. Fig. 24) ist.
- 15 90. Mikromechanische Vorrichtung nach Ziff. 89, wobei mindestens ein Graben keinen Boden hat und daher mit mindestens einer Kavität verbunden ist.
- 20 91. Mikromechanische Vorrichtung gemäß Ziff. 41 bis 90, die als Drucksensor und/oder Beschleunigungssensor verwendet werden kann.
- 25 92. Mikromechanische Vorrichtung gemäß Ziff. 41 bis 91, die symmetrisch angeordnete mechanische erste Funktionselemente, insbesondere Stege, aufweist, die mit mindestens einem weiteren zweiten mikromechanischen Funktionselement, insbesondere einer Membrane oder Inertialmasse verbunden sind und auf denen sich jeweils sich gleichende Schaltungsteile einer Schaltung gemäß Ziff. 14 bis 40 befinden.
- 30 93. Mikromechanische Vorrichtung und Schaltung gemäß Ziff. 92, wobei die auf den ersten mikromechanischen Funktionselementen befindlichen Schaltungsteile so miteinander elektrisch verbunden sind, dass Mittelwerte und/oder Differenzen gebildet werden.

94. Mikromechanische Vorrichtung gemäß Ziff. 41 bis 93, die mindestens an einer ersten Position ein erstes mechanisches Funktionselement, insbesondere einen Steg, aufweist, der mit mindestens einem weiteren zweiten mikromechanischen Funktionselement, insbesondere einer Membrane mechanisch verbunden ist und eine zweite Position aufweist, die keine mechanische Funktion hat und keinen oder nur geringem mechanischem Einfluss ausgesetzt ist, und dass sich an mindestens die beiden Positionen sich jeweils gleiche Schaltungsteile einer Schaltung gemäß Ziff. 14 bis 40 befinden.

10

95. Mikromechanische Vorrichtung und Schaltung gemäß Ziff. 94, wobei die auf den beiden Positionen befindlichen Schaltungsteile so miteinander elektrisch verbunden sind, dass Mittelwerte und/oder Differenzen gebildet werden.

15

96. Mikromechanische Vorrichtung und Schaltung gemäß Ziff. 92 bis 95, wobei die mikromechanische Vorrichtung aus mindestens zwei kompletten mikromechanischen Teilvorrichtungen, insbesondere zwei Drucksensoren, gemäß Ziff. 92 bis 95, die wieder in einem funktionalen Zusammenhang stehen.

20

97. Mikromechanische Vorrichtung und Schaltung gemäß Ziff. 96, wobei innerhalb der Schaltung mathematische Operationen, insbesondere die Bildung von Mittelwerten und Differenzen, auf die elektrischen Ausgangswerte der Teilvorrichtungen angewandt werden.

25

98. Mikromechanische Vorrichtung und Schaltung gemäß Ziff. 94 bis 97, bei der mindestens ein zweiter Schaltungsteil, der einem ersten Schaltungsteil an der ersten Position, insbesondere auf einem Steg, gleicht, als Referenz, insbesondere Spannungsreferenz, benutzt wird und sich nicht in einem funktionalen Zusammenhang mit einem mikromechanischen Funktionselement befindet.

30

99. Mikromechanische Vorrichtung und Schaltung gemäß Ziff. 92 bis 98, wobei zu jedem Schaltungsteil auf einer ersten Position mindestens ein Schaltungsteil, der dem Schaltungsteil auf dem jeweiligen Steg gleicht, als Referenz zugeordnet ist und wobei sich diese Referenz nicht in einem funktionalen Zusammenhang mit einem mikromechanischen Funktionselement befindet.
100. Mikromechanische Vorrichtung und Schaltung gemäß Ziff. 99, wobei sich die Referenz auf der neutralen Faser befindet.
101. Mikromechanische Vorrichtung und Schaltung insbesondere nach Ziff. 92 bis 100, bei der mindestens eine Verstärkerschaltung Teil derselben ist.
102. Mikromechanische Vorrichtung und Schaltung insbesondere nach Ziff. 101, wobei die Verstärkerschaltung über einen positiven und negativen Eingang verfügt.
103. Mikromechanische Vorrichtung und Schaltung nach Ziff. 1 bis 201, die in weiten Teilen mit einem Schutz gegen Feuchtigkeit und/ oder Protonen Ein- und Ausdiffusion versehen sind.
104. Mikromechanische Vorrichtung und Schaltung nach Ziff. 103, wobei der Diffusionsschutz aus einer Silizium-Nitrid Schicht besteht.
- Weitere Merkmale der Erfindung sind:
1. Verminderung der Anzahl notwendiger Wafer-Bond-Verbindungen
 2. Reduktion parasitärer Elemente
 - a) Eliminierung von Quellen mechanischen Stresses
 - b) Schutz gegen Ausbreitung unvermeidlichen mechanischen Stresses

- c) Maximierung, Homogenisierung und Linearisierung mechanischer Nutz-Stressfeldern
 - d) Verminderung der Streuung elektronischer Bauteile
 - e) Verminderung der Streuung elektronischer Schaltungen
 - 5 f) Verminderung der Streuung mikromechanischer Funktionselemente
3. Erhöhung der Toleranz der Konstruktion gegenüber mechanischen und elektrischen Fertigungsstreuungen
- 10 4. Verringerung der Auswirkungen unvermeidlicher parasitärer Elemente
5. Reduktion des Einflusses der Aufbau und Verbindungstechnik
6. Flexibilisierung des Einsatzes der Sensoren durch den Nutzer
- 15 7. Verringerung der notwendigen Die-Fläche
8. Möglichkeit der Ankoppelung an hochvolumige Standard-CMOS-Linien insbesondere solche mit p-dotierten Substraten

20

Diese Eigenschaften werden insbesondere durch die im Folgenden beschriebenen Maßnahmen realisiert, die einzeln oder in Gesamt- oder Teilkombination Anwendung finden können:

- 25 1. Verminderung der Anzahl notwendiger Wafer-Bond-Verbindungen durch
- a) Herstellung von Kavitäten vor der CMOS Prozessierung
2. Reduktion parasitärer Elemente durch
- a) Eliminierung von Quellen mechanischen Stresses insbesondere durch
- 30 i) Vermeidung unnötiger Schichten auf den mikromechanischen Funktionselementen, insbesondere auf Drucksensormembranen

- b) Schutz gegen Ausbreitung unvermeidlichen mechanischen Stresses insbesondere durch
 - i) Eindämmung des Stresses mittels mechanischer Guard-Ringe und
 - ii) Reduktion der Tiefe von Kavitäten im Material wodurch dieses ein
5 höheres Flächenträgheitsmoment aufweist
- c) Maximierung, Homogenisierung und Linearisierung von Nutz-Stress-feldern insbesondere durch
 - i) Einätzung von Gräben in Druckmembranen
 - ii) Wahl der Grabenform
 - 10 iii) Abstand zwischen Rückseitenstrukturen und vergrabene Strukturen auf der einen Seite und Vorderseitenstrukturen auf der anderen Seite zur Reduktion der Justierfehler
- d) Verminderung der Streuung elektronischer Bauteile durch
 - i) Verwendung selbstjustierender Strukturen
- 15 e) Verminderung der Streuung elektronischer Schaltungen durch
 - i) Verwendung eines kompakten, symmetrischen selbstjustierenden Spezialtransistors
 - ii) Verwendung einer kompakten, symmetrischen, selbstjustierenden Differenzverstärkerstufe
 - 20 iii) Verwendung einer kompakten selbstjustierenden, symmetrischen aktiven Wheatstone-Brücke
- f) Verminderung der Streuung mikromechanischer Funktionselemente durch
 - i) Verwendung definierter, CMOS-kompatibler Ätzstopps
 - 25 ii) Verwendung besonders miniaturisierbarer Spezialtransistoren
- 3. Erhöhung der Toleranz der Konstruktion gegenüber mechanischen und elektrischen Fertigungsstreuungen durch
 - a) Unterscheidung der Stress-Richtung
 - 30 b) Unterscheidung zwischen gestressten und ungestressten Schaltungsteilen

- c) Unterscheidung zwischen Schaltungsteilen an unterschiedlichen Symmetrie-Positionen
 - d) Geeignete kompensierende Verschaltung von Schaltungsteilen, die die Unterscheidungen i bis iii messend erfassen können.
 - 5 e) Verwendung besonders miniaturisierbarer selbstjustierender Spezialtransistoren
 - f) Minimalisierung des mechanischen Aufbaus durch gezielte Reduktion des Schichtstapels im Bereich mikromechanischer Funktionselemente
- 10 4. Verringerung der Auswirkungen unvermeidlicher parasitärer Elemente
- a) Kompensationsschaltungen
 - b) Verwendung besonders miniaturisierbarer Spezialtransistoren
5. Reduktion des Einflusses der Aufbau und Verbindungstechnik durch
- 15 a) die Reduktion der Tiefe von Kavitäten im Material, wodurch dieses ein höheres Flächenträgheitsmoment aufweist
- b) Verwendung runder Kavitäten, wodurch das vertikale Flächenträgheitsmoment vergrößert wird
- 20 6. Flexibilisierung des Einsatzes der Sensoren durch den Nutzer durch
- a) Einstellbarkeit der Verstärkung durch den Nutzer
7. Verringerung der notwendigen Die-Fläche durch
- 25 a) Reduktion der Tiefe von Kavitäten im Material, wodurch dieses ein höheres Flächenträgheitsmoment aufweist und der Sensor ohne Stabilitätsverlust verkleinert werden kann
- b) Verwendung besonders miniaturisierbarer Spezialtransistoren
 - c) Erstellung einer minimalen Zutrittsöffnung für Gase und Flüssigkeiten zu einer vergrabenen Kavität
- 30 8. Möglichkeit der Ankoppelung an hochvolumige Standard-CMOS-Linien insbesondere solche mit p-dotierten Substraten durch

- 42 -

- 5
- a) Fertigung der Kavitäten mit definiertem Ätzstopp vor dem CMOS-Prozess
 - b) Herstellung mikromechanischer Funktionselemente an der Oberfläche wie Gräben nach erfolgter CMOS Prozessierung durch Plasma- oder DRIE Ätzung
 - c) Herstellung minimalen Zutrittsöffnungen zu vergrabenen Kavitäten nach erfolgter CMOS Prozessierung

BEZUGZEICHENLISTE

- 1 Erster Wafer
- 2 Oxid-Schicht
- 3 Gerade Wand der Kavität 4
- 4 Kavität
- 5 Zweiter Wafer
- 6 Gräben im Waferpaket
- 7 Dünne Membranbereiche, die durch die Gräben 6 und die Kavität 4 definiert werden
- 8 Stege, die die Gräben 6 unterbrechen
- 9 Bauteile zur Erfassung des mechanischen Stresses
- 10 Anschlüsse mit Anschlussleitungen
- 11 Oberfläche des Waferpaketes
- 12 Zentral-Platte der Membrane
- 13 Erster Wafer
- 14 SiO₂ Schicht
- 15 Poly-Silizium Schicht
- 16 Zweiter Wafer
- 17 Zweite Oxidschicht
- 18 Kavität
- 19 Gräben
- 20 Stege, die die Gräben 19 unterbrechen

- 21 Zentral-Platte der Membrane
- 22 Bauteile zur Erfassung des mechanischen Stresses
- 23 Anschlüsse mit Anschlussleitungen
- 24 Oberfläche des Wafer-Paketes
- 25 Membrane geringerer Dicke
- 26 Negativer Anschluss der Wheatstone Brücke
- 27 Positiver Anschluss der Wheatstone Brücke
- 28 Erste Klemme zum Abgriff der Spannung an der Wheatstone Brücke
- 29 Untere p-Kanal MOS Diode der Referenzspannungsquelle für die Wheatstone Brücke
- 30 Obere p-Kanal MOS Diode der Referenzspannungsquelle für die Wheatstone Brücke
- 31 Erster p-Kanal MOS Transistor der Wheatstone Brücke
- 32 Zweiter p-Kanal MOS Transistor der Wheatstone Brücke
- 33 Dritter p-Kanal MOS Transistor der Wheatstone Brücke
- 34 Vierter p-Kanal MOS Transistor der Wheatstone Brücke
- 35 Referenzspannungsleitung
- 36 Zweite Klemme zum Abgriff der Spannung an der Wheatstone Brücke
- 37 n+ Channel-Stopp Implantation
- 38 Gate-Anschluss Transistor 32 und 34 in niederohmigem Polysilizium
- 39 Gate-Anschluss Transistor 33 und 31 in niederohmigem Polysilizium
- 40 n- dotierte Fläche (nicht leitend)

- 41 Obere gegen mechanischen Stress empfindliche Struktur, beispielsweise eine Wheatstone-Brücke nach Fig. 12
- 42 Rechte gegen mechanischen Stress empfindliche Struktur, beispielsweise eine Wheatstone-Brücke nach Fig. 12
- 43 Untere gegen mechanischen Stress empfindliche Struktur, beispielsweise eine Wheatstone-Brücke nach Fig. 12
- 44 Erster Differenzverstärker p-Kanal-Transistor
- 45 Zweiter Differenzverstärker p-Kanal-Transistor
- 46 Dritter Differenzverstärker p-Kanal-Transistor
- 47 Vierter Differenzverstärker p-Kanal-Transistor
- 48 Referenzspannung für Transistoren 44,45,46,47
- 49 Stromquellenzuleitung für p-Kanal-Transistoren 44,45,46,47
- 50 Gemeinsamer Drain Kontakt der p-Kanal-Transistoren 44,45,46,47
- 51 Anschluss Transistor 46, Negativer Ausgangsknoten des Differenzverstärkers
- 52 Anschluss Transistor 45, Positiver Ausgangsknoten des Differenzverstärkers
- 53 Anschluss Transistor 44, Negativer Ausgangsknoten des Differenzverstärkers
- 54 Anschluss Transistor 47, Positiver Ausgangsknoten des Differenzverstärkers
- 55 Dritter p-Kanal Transistor für Referenzbrückenschaltung
- 56 Vierter p-Kanal Transistor für Referenzbrückenschaltung
- 57 Obere gegen mechanischen Stress empfindliche Struktur, beispielsweise eine Wheatstone-Brücke nach Fig. 12 als Referenzstruktur für 41 im Bereich frei von mechanischem Stress
- 58 Rechte gegen mechanischen Stress empfindliche Struktur, beispielsweise eine Wheatstone-Brücke nach Fig. 12 als Referenzstruktur für 42 im Bereich frei von mechanischem Stress

- 59 Untere gegen mechanischen Stress empfindliche Struktur, beispielsweise eine Wheatstone-Brücke nach Fig. 12 als Referenzstruktur für 43 im Bereich frei von mechanischem Stress
- 60 Linke gegen mechanischen stress empfindliche Struktur, beispielsweise eine Wheatstone-Brücke nach Fig. 12 als Referenzstruktur für 44 im Bereich frei von mechanischem Stress
- 61 Differenz-Verstärker: Stromspiegeltransistor korrespondierend zu Transistor 69
- 62 Differenz-Verstärker: Stromspiegeltransistor korrespondierend zu Transistor 70
- 63 Differenz-Verstärker: Stromspiegeltransistor korrespondierend zu Transistor 71
- 64 Differenz-Verstärker: Stromspiegeltransistor korrespondierend zu Transistor 72
- 65 Referenz-Verstärker: Erster Differenzverstärker p-Kanal-Transistor
- 66 Referenz-Verstärker: Zweiter Differenzverstärker p-Kanal-Transistor
- 67 Referenz-Verstärker: Dritter Differenzverstärker p-Kanal-Transistor
- 68 Referenz-Verstärker: Vierter Differenzverstärker p-Kanal-Transistor
- 69 Referenz-Verstärker: Stromspiegeltransistor korrespondieren zu Transistor 61
- 70 Referenz-Verstärker: Stromspiegeltransistor korrespondieren zu Transistor 62
- 71 Referenz-Verstärker: Stromspiegeltransistor korrespondieren zu Transistor 63
- 72 Referenz-Verstärker: Stromspiegeltransistor korrespondieren zu Transistor 64
- 73 Referenz-Verstärker: n Kanal Stromquellentransistor (Stromspiegel)
- 74 Differenz-Verstärker: n Kanal Stromquellentransistor (Stromspiegel)
- 75 Negativer Anschluss

- 76 Positiver Anschluss
- 77 Negatives Ausgangssignal
- 78 Positives Ausgangssignal
- 79 p+ Kontaktimplantation
- 80 p+ Kontaktimplantation
- 81 Poly Gate eines selbstjustierenden p-Kanal MOS Transistors
- 82 n+ Implantationsgebiet (Channel-Stopp)
- 83 n+ Implantationsgebiet (Channel-Stopp)
- 84 Zuleitung aus hochdotiertem Poly-Silizium
- 85 Erster p-Kanal MOS Transistor der Wheatstone Brücke
- 86 Zweiter p-Kanal MOS Transistor der Wheatstone Brücke
- 87 Dritter p-Kanal MOS Transistor der Wheatstone Brücke
- 88 Vierter p-Kanal MOS Transistor der Wheatstone Brücke
- 89 Linker Abgriff
- 90 Rechter Abgriff
- 91 Negativer Pol
- 92 Positiver Pol
- 93 Zweite Gruppe von Gräben zur Entkopplung der Membrane vom Die-Körper
- 94 Stege, die die Gruppe der zweiten Gräben 93 unterbrechen
- 95 Dritte Gruppe von Gräben zur weiteren Entkopplung der Membrane vom Die-Körper
- 96 Stege, die die dritte Gruppe von Gräben 95 unterbrechen

- 97 Boss mit Gitterstruktur (Tragwerk)
- 98 Bohrung in die Kavität für Differenzdrucksensoren
- 99 Mechanischer Guard-Ring zur Verhinderung der Ausbreitung des durch das Bondsystm eingetragenen mechanischen Stresses
- 100 Linke gegen mechanischen stress empfindliche Struktur, beispielsweise eine Wheatstone-Brücke nach Fig. 12
- 101 Ein-Transistor-Element
- 102 Negativer Anschluss
- 103 Positiver Anschluss
- 104 Oberer Transistor links (p-Kanal)
- 105 Oberer Transistor rechts (p-Kanal)
- 106 Unterer Transistor links (p-Kanal)
- 107 Unterer Transistor rechts (p-Kanal)
- 108 Oberer Referenztransistor (p-Kanal)
- 109 Unterer Referenztransistor (p-Kanal)
- 110 Interne Referenzspannung
- 111 Erster Ausgang
- 112 Zweiter Ausgang
- 113 Parasitärer erster Transistor
- 114 Parasitärer zweiter Transistor
- 115 Gesamt-Transistor-Feldplatte
- 116 Hebellänge (hier das Beispiel Kavitätswand 3 zu Grabenwand)

- 117 Beispiel: Grabenwand
- 118 Höhe der oberen Struktur (hier beispielhaft Tiefe des Grabens 6)
- 119 Aufpunkt der oberen Struktur (hier beispielhaft Graben 6)
- 120 Höhe der unteren Struktur (hier beispielhaft Tiefe der Kavität 4)
- 121 Aufpunkt der unteren Struktur (hier beispielhaft Kavität 4)

ANSPRÜCHE

1. Mikroelektromechanisches Halbleiterbauelement mit
 - einem ersten Silizium-Halbleitersubstrat (16) mit einer Oberseite, in die eine durch Seitenwände und eine Bodenwand begrenzte Kavität (18) eingebracht ist und
 - einem zweiten Silizium-Halbleitersubstrat (13) mit einer Siliziumoxidschicht (14) und einer auf diese aufgetragenen Polysiliziumschicht (15) definierter Dicke,
 - wobei das zweite Silizium-Halbleitersubstrat (13) mit seiner Polysiliziumschicht (15) der Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats (16) zugewandt mit diesem gebondet ist und das zweite Silizium-Halbleitersubstrat (13) die Kavität (18) in dem ersten Silizium-Halbleitersubstrat (16) überdeckt und
 - wobei in das zweite Silizium-Halbleitersubstrat (13) im Bereich von dessen die Kavität (18) überdeckenden Abschnitt Gräben (19) angeordnet sind, die sich bis zur Polysiliziumschicht (15) erstrecken.

2. Mikroelektromechanisches Halbleiterbauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass benachbarte Gräben (19) durch Biegestege (20) voneinander getrennt sind, die sich zwischen dem von den Gräben (19) umgebenen Bereich (21) des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats (13) und dem um die Kavität (18) herum gelegenen Bereich des ersten Silizium-Halbleitersubstrats (16) erstrecken.

3. Mikroelektromechanisches Halbleiterbauelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb des die Kavität (18) des ersten Silizium-Halbleitersubstrats (16) überdeckenden Abschnitts des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats (13) mindestens ein für mechanische Spannungen sensitives elektrisches oder elektronisches Bauteil (22) ausgebildet ist.

4. Mikroelektromechanisches Halbleiterbauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats (16) eine Siliziumoxidschicht (17) angeordnet ist und dass die Polysiliziumschicht (15) mit der Siliziumoxidschicht (17) auf die Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats (16) gebondet ist.
5. Verfahren zur Herstellung eines mikroelektromechanischen Halbleiterbauelements mit den folgenden Schritten:
 - Bereitstellen eines ersten Silizium-Halbleitersubstrats (16) mit einer Oberseite,
 - Einbringen einer Kavität (18) in die Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats (16), wobei die Kavität (18) durch Seitenwände und eine Bodenwand in dem ersten Silizium-Halbleitersubstrat (16) definiert ist,
 - Bereitstellen eines zweiten Silizium-Halbleitersubstrats (13) mit einer Siliziumoxidschicht (14) und einer auf diese aufgebrachten, eine Oberseite des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats (13) bildenden Polysiliziumschicht (15) definierter Dicke,
 - Bonden der Polysiliziumschicht (15) des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats (13) mit der Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats (16) und
 - Einbringen von Gräben (19) in das zweite Silizium-Halbleitersubstrat (13) im Bereich von dessen die Kavität (18) überdeckenden Abschnitt,
 - wobei die Gräben (19) durch Ätzen hergestellt sind und bis zur Polysiliziumschicht (15) reichen.
6. Verfahren zur Herstellung eines mikroelektromechanischen Halbleiterbauelements mit den folgenden Schritten:
 - Bereitstellen eines ersten Silizium-Halbleitersubstrats (16) mit einer Oberseite,

- 52 -

- Einbringen einer Kavität (18) in die Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats (16), wobei die Kavität (18) durch Seitenwände und eine Bodenwand in dem ersten Silizium-Halbleitersubstrat (16) definiert ist,
 - Bereitstellen eines zweiten Silizium-Halbleitersubstrats (13) mit einer Siliziumoxidschicht (14) und einer auf diese aufgebracht, eine Oberseite des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats (13) bildenden Polysiliziumschicht (15) definierter Dicke,
 - Einbringen von Gräben (19) in das zweite Silizium-Halbleitersubstrat (13) im Bereich von dessen die Kavität (18) überdeckenden Abschnitt,
 - wobei die Gräben (19) durch Ätzen hergestellt sind und bis zur Polysiliziumschicht (15) reichen,
 - und Bonden der Polysiliziumschicht (15) des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats (13) mit der Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats (16).
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass auf die Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats (16) vor dem Einbringen der Kavität (19) eine Siliziumoxidschicht (17) aufgebracht wird und dass die Polysiliziumschicht (15) des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats (13) mit der Siliziumoxidschicht (17) auf der Oberseite des ersten Silizium-Halbleitersubstrats (16) gebondet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich des die Kavität (18) überdeckenden Abschnitts des zweiten Silizium-Halbleitersubstrats (13) in diesem mindestens ein für mechanische Spannungen sensitives elektrisches und/oder elektronisches Bauteil (22) ausgebildet wird.

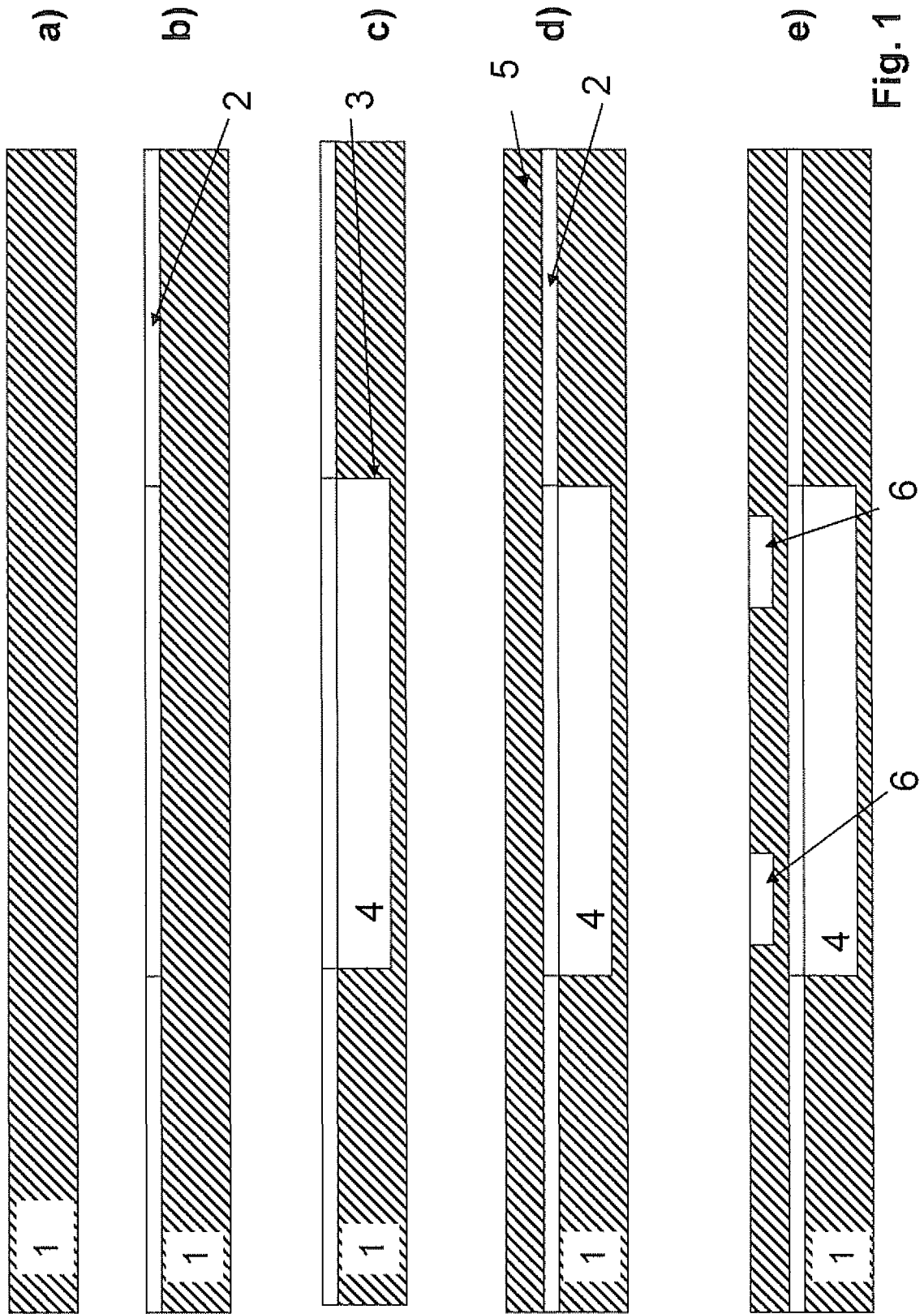


Fig. 1

-2/43-

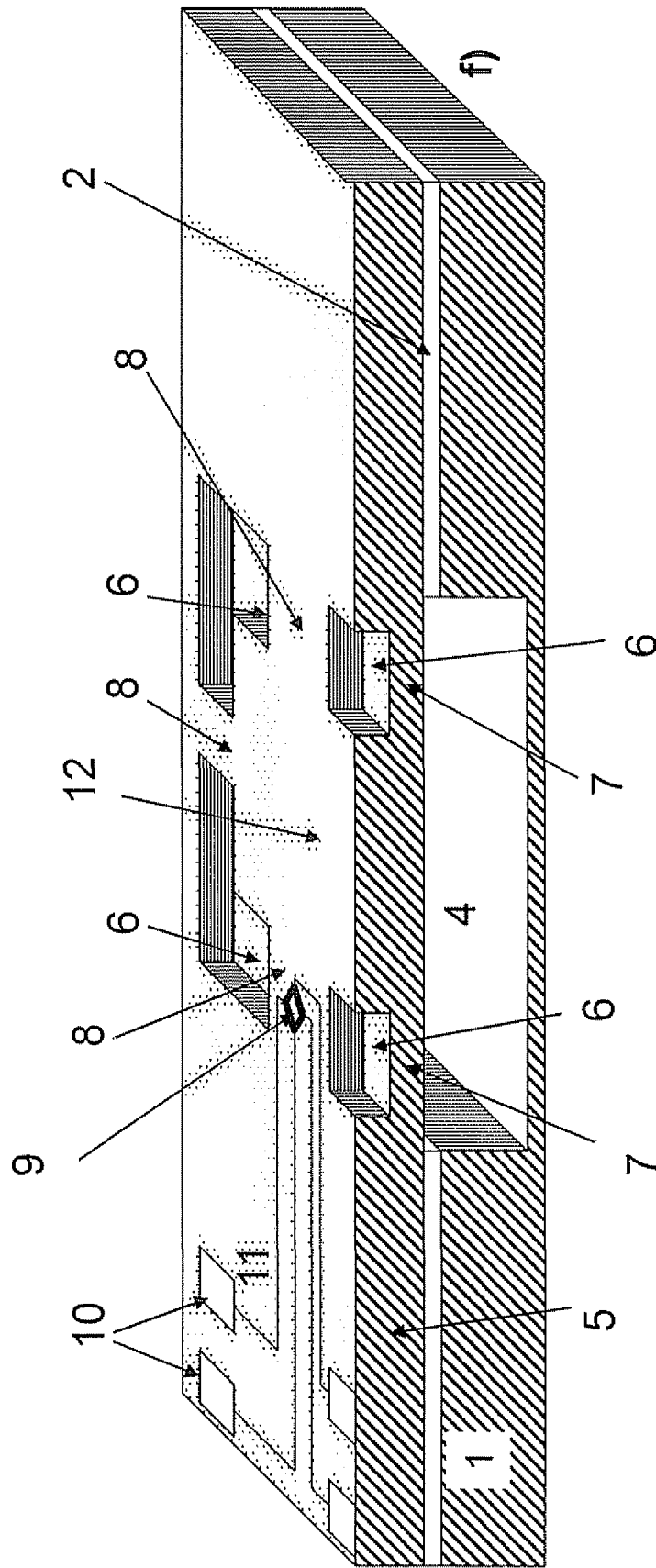
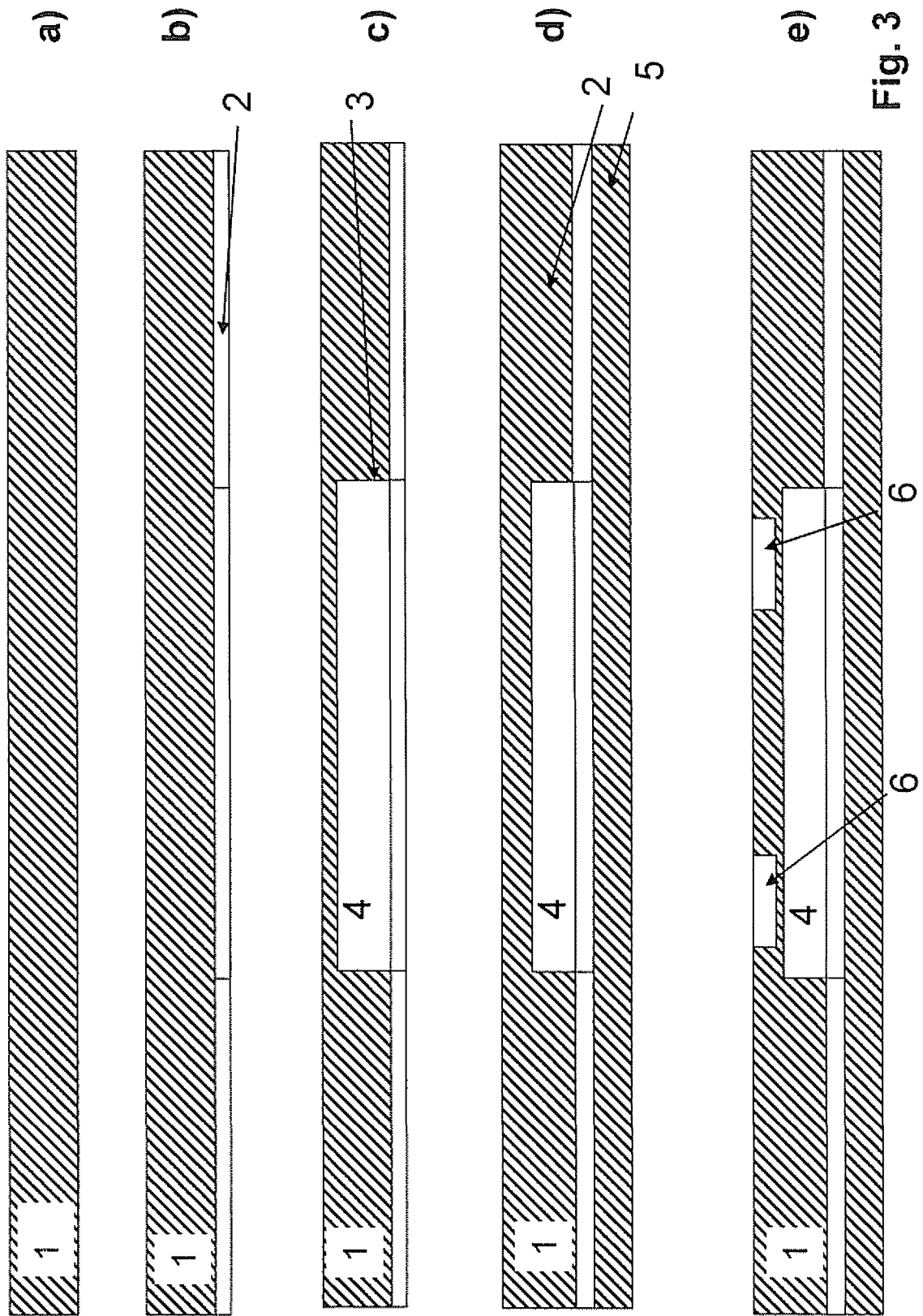


Fig. 2



-4/43-

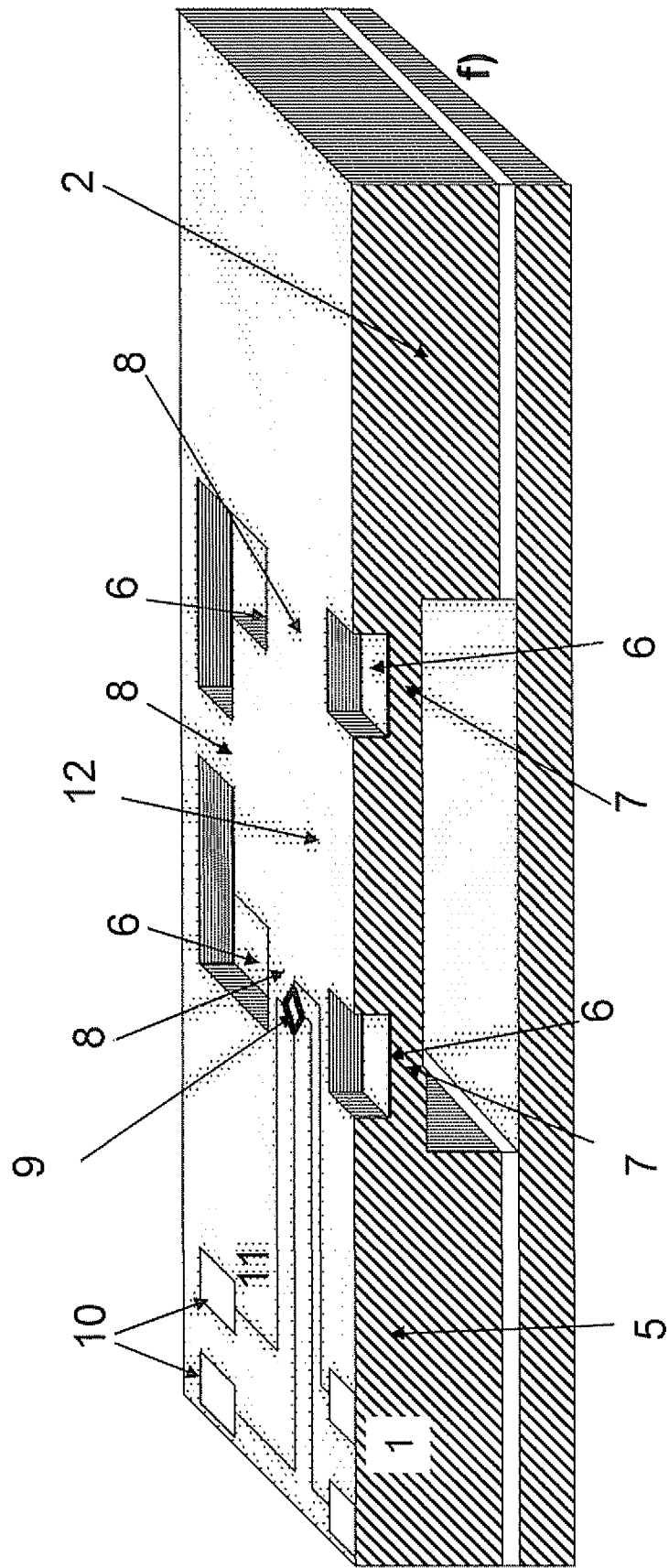


Fig. 4

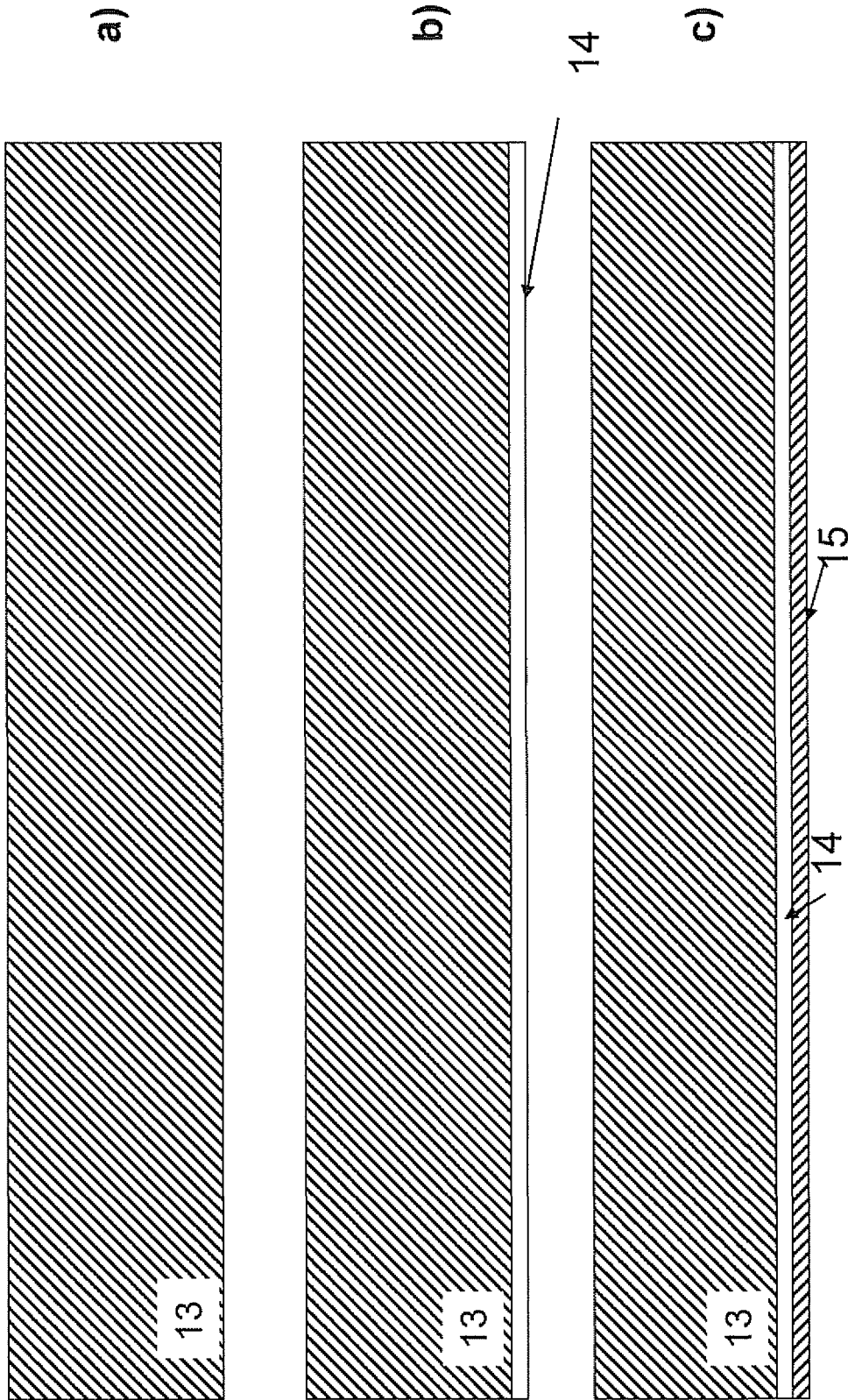


Fig. 5

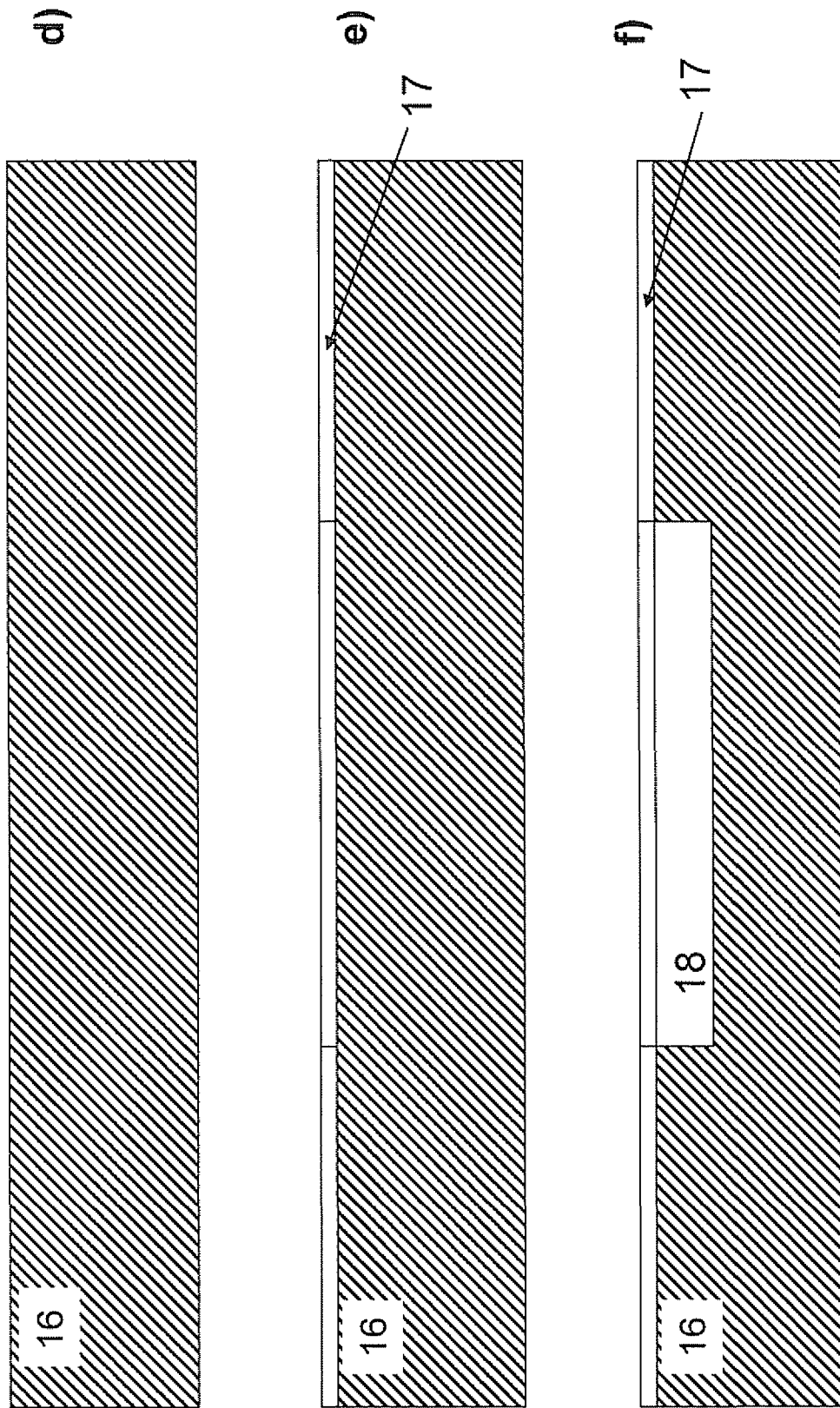


Fig. 6

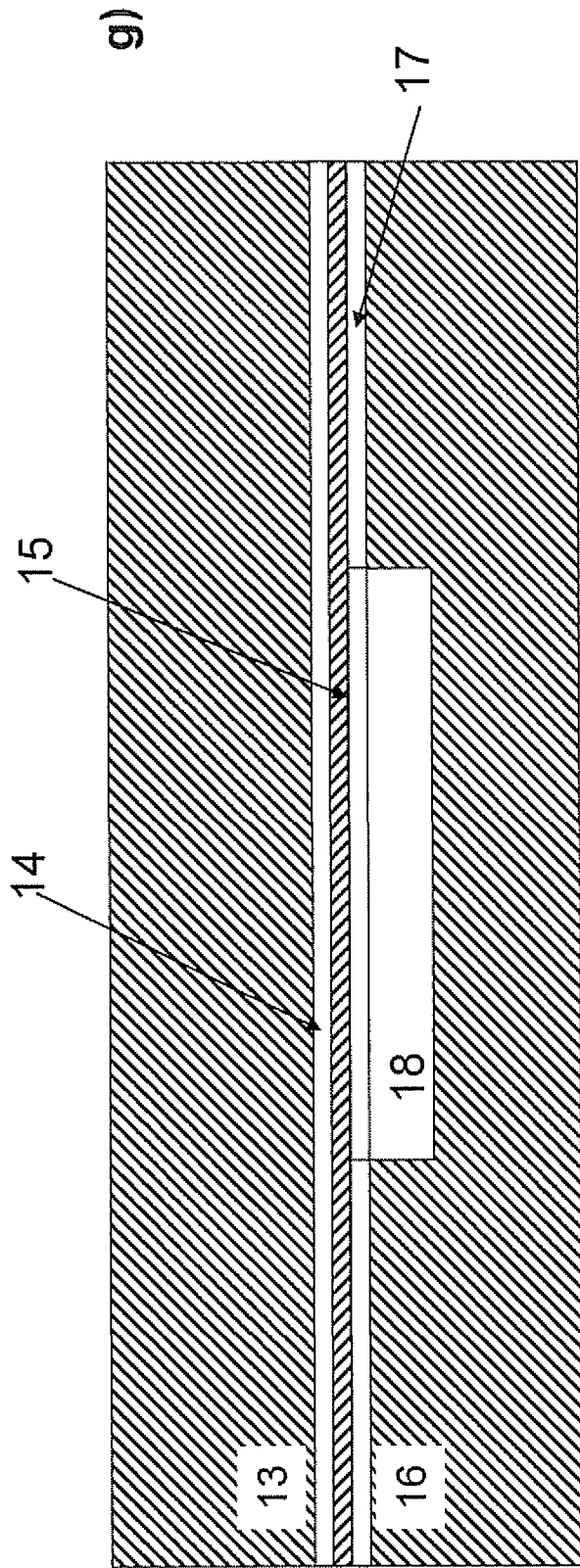


Fig. 7

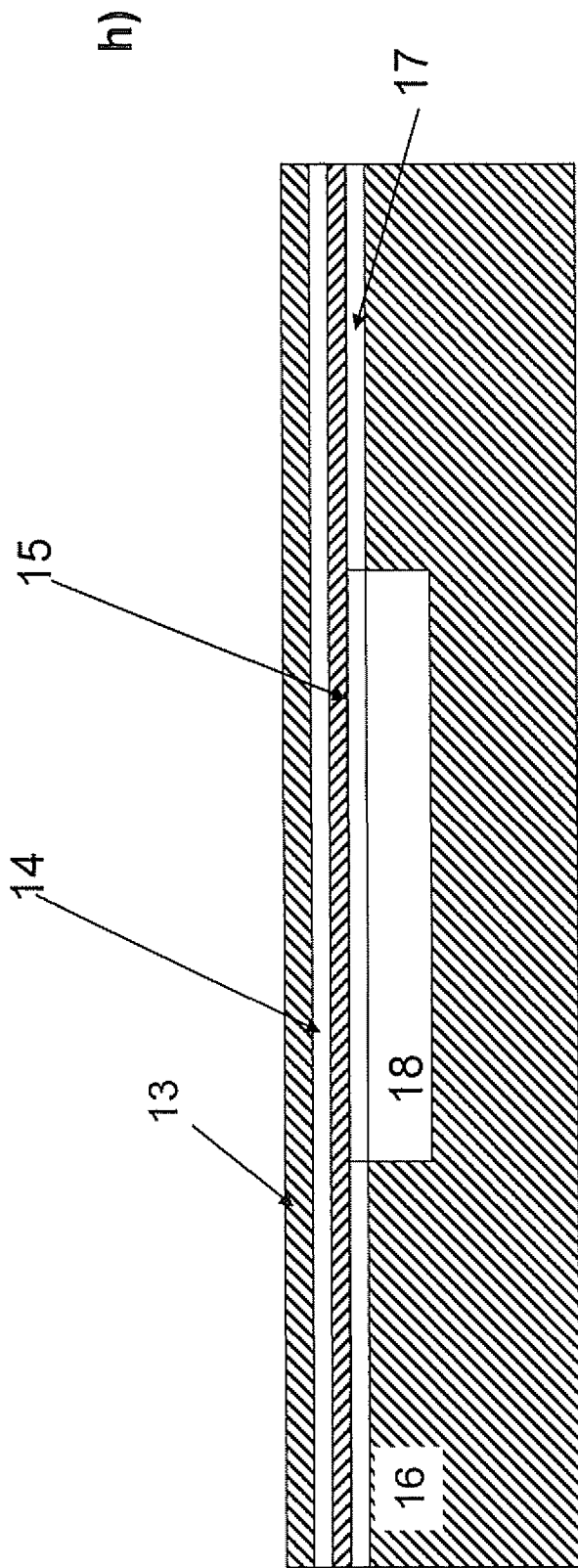


Fig. 8

-9/43-

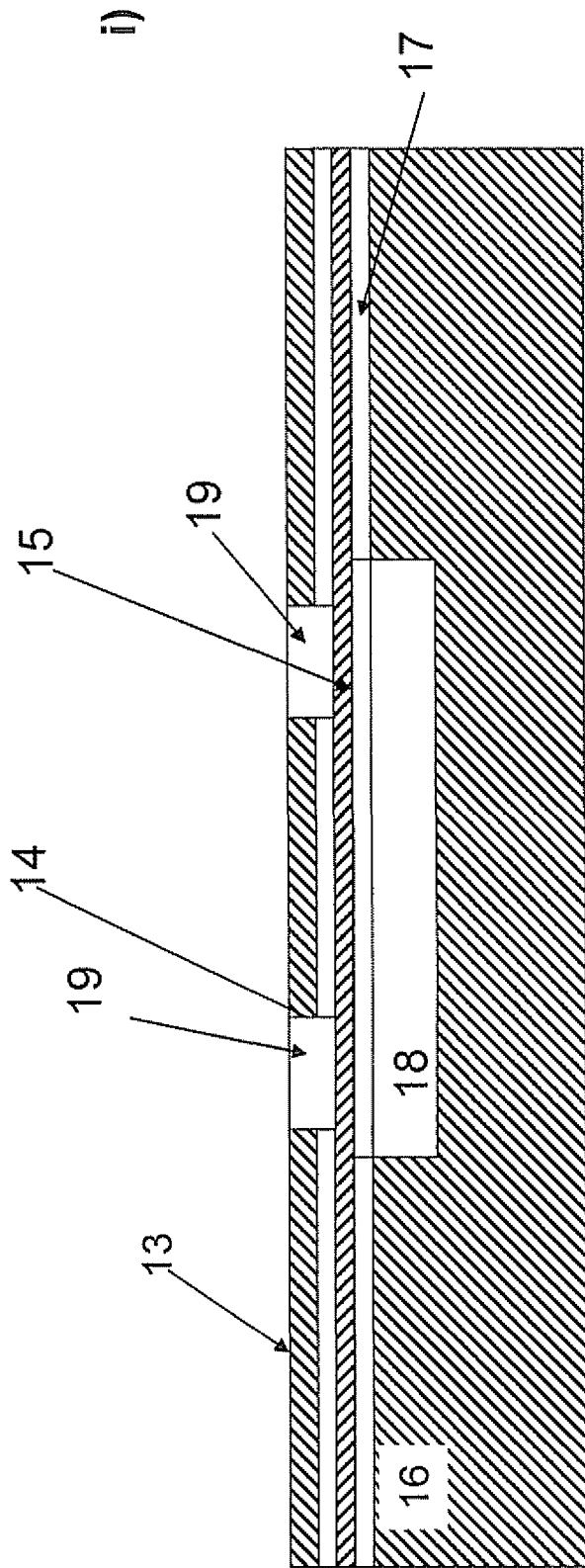


Fig. 9

-10/43-

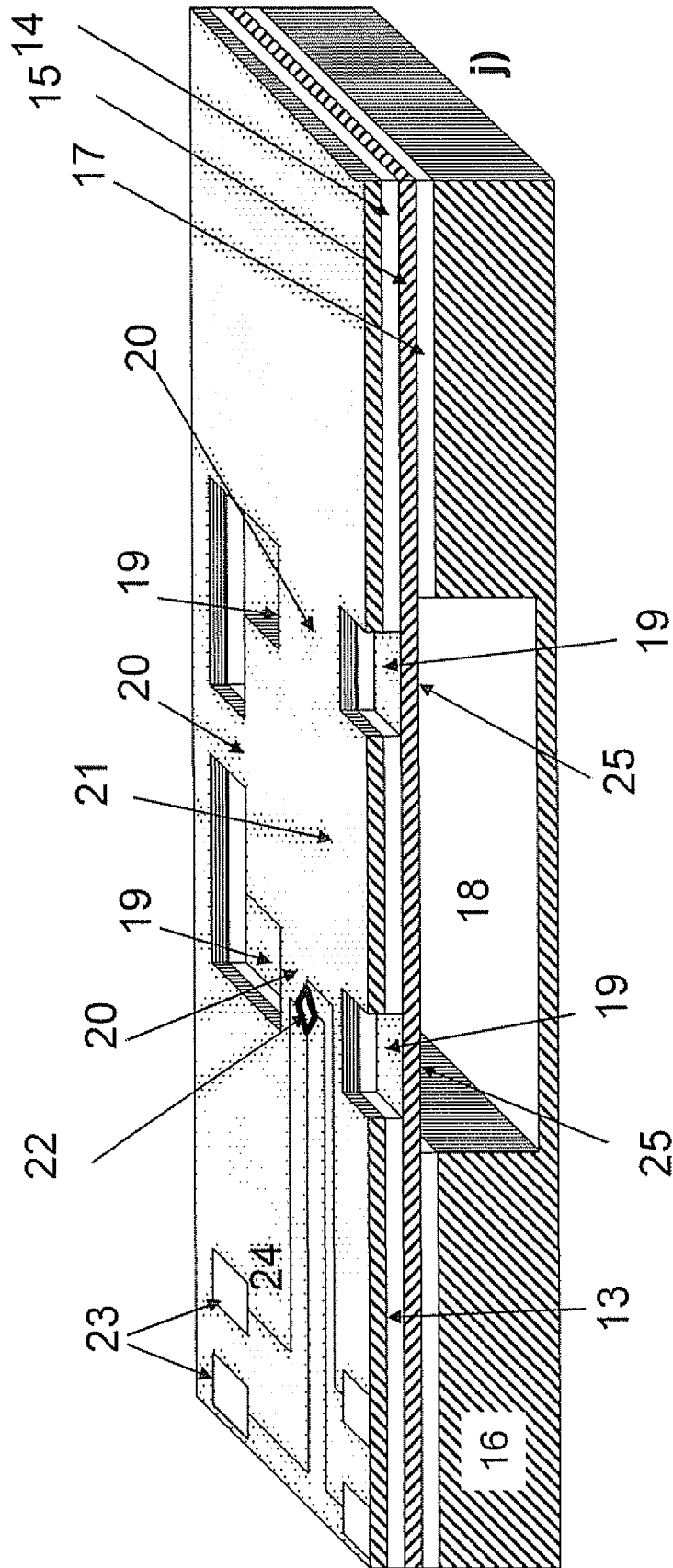


Fig. 10

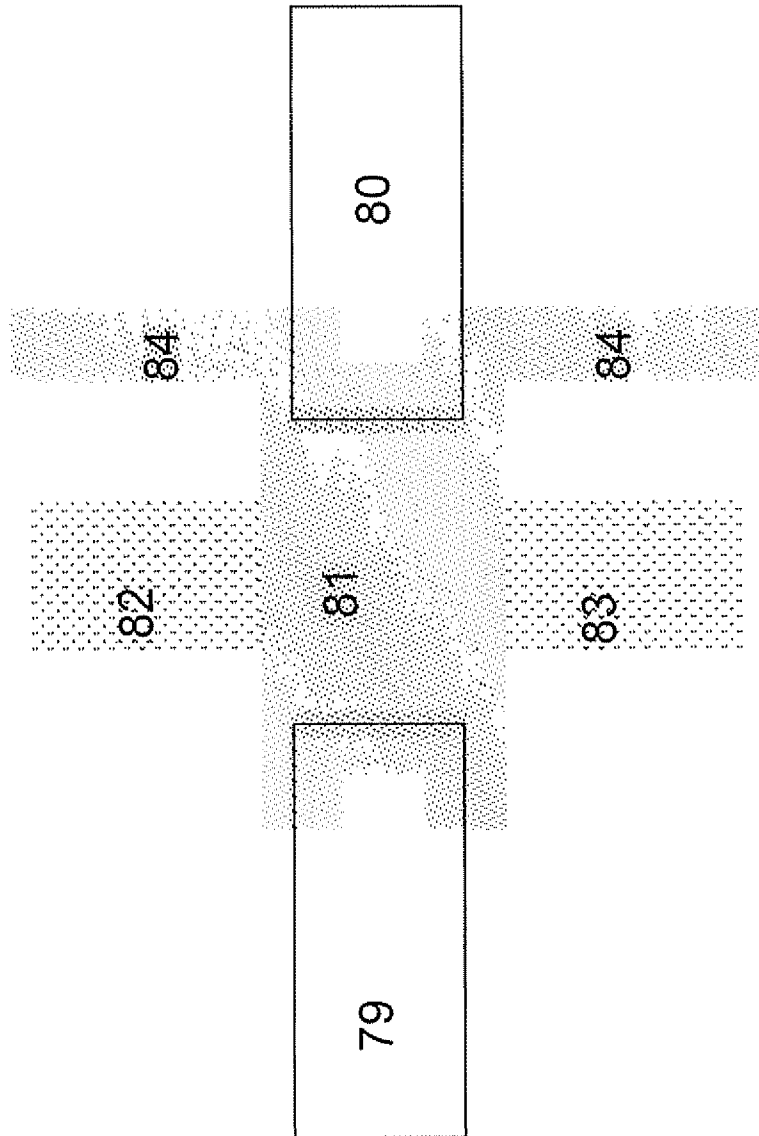


Fig. 11

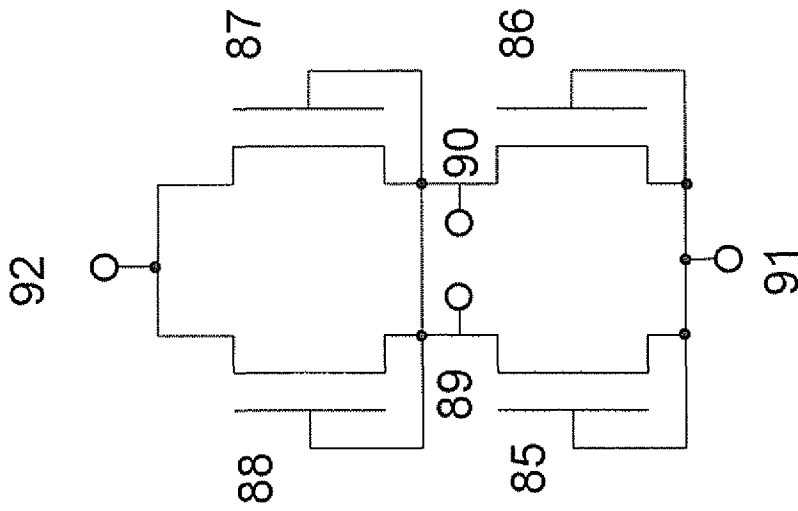


Fig. 12

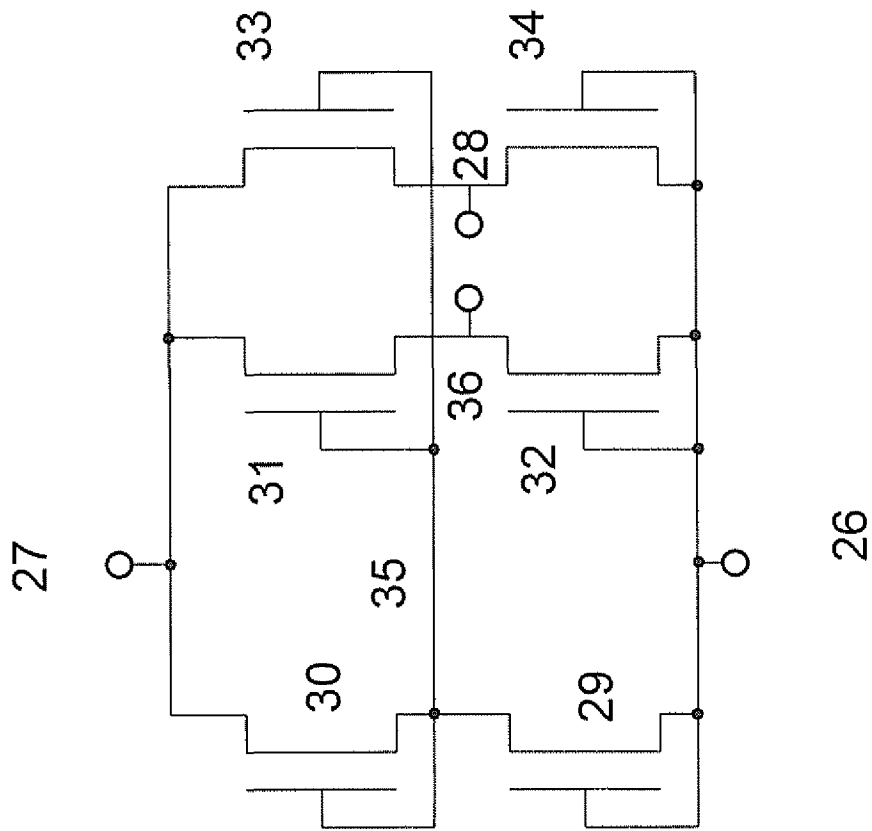


Fig. 13

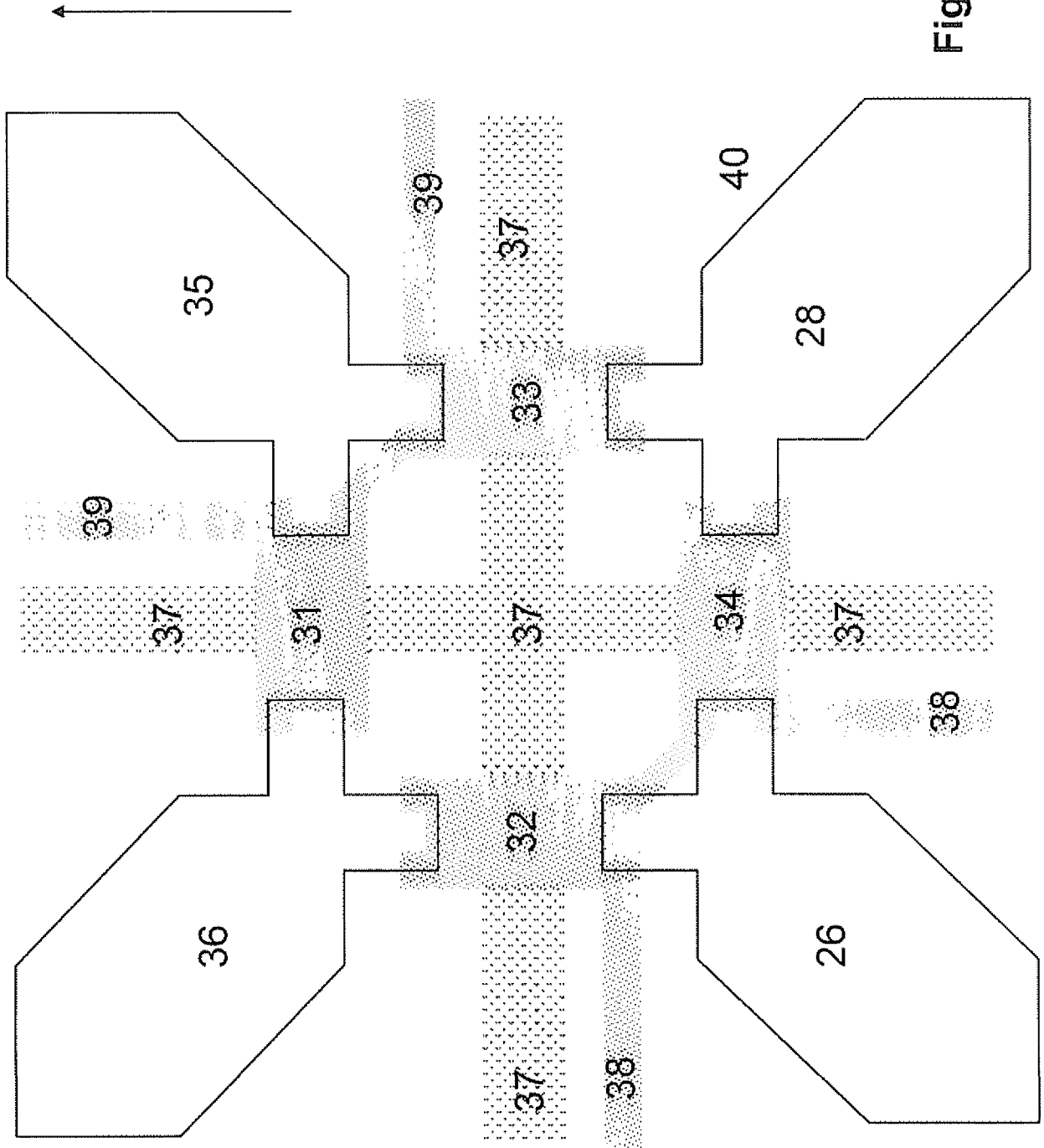


Fig. 14

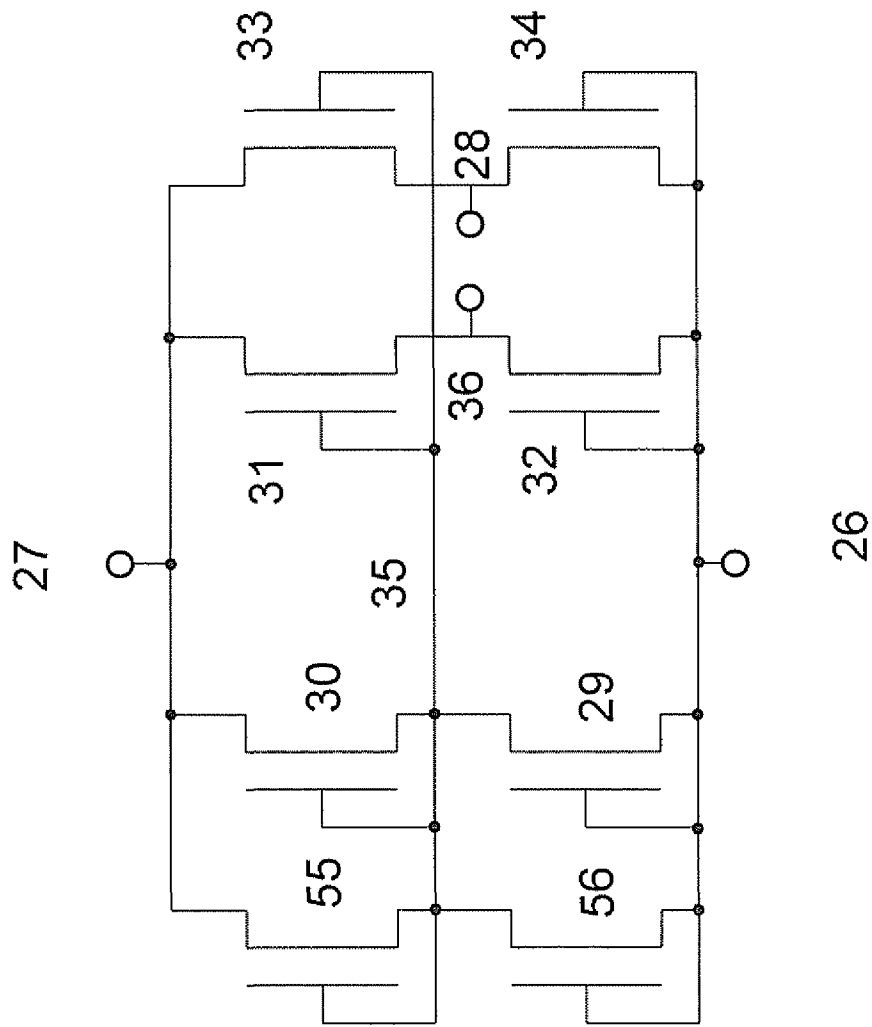


Fig. 15

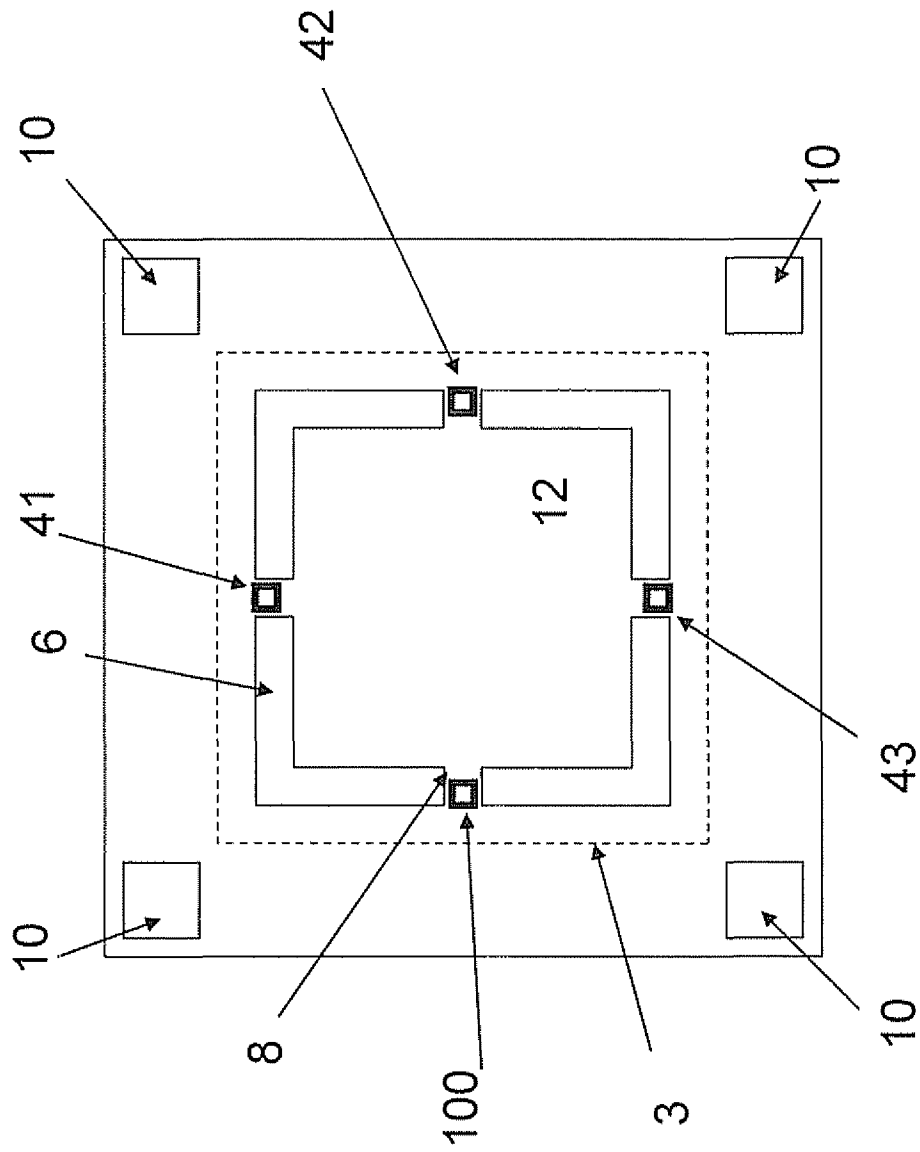


Fig. 16

-17/43-

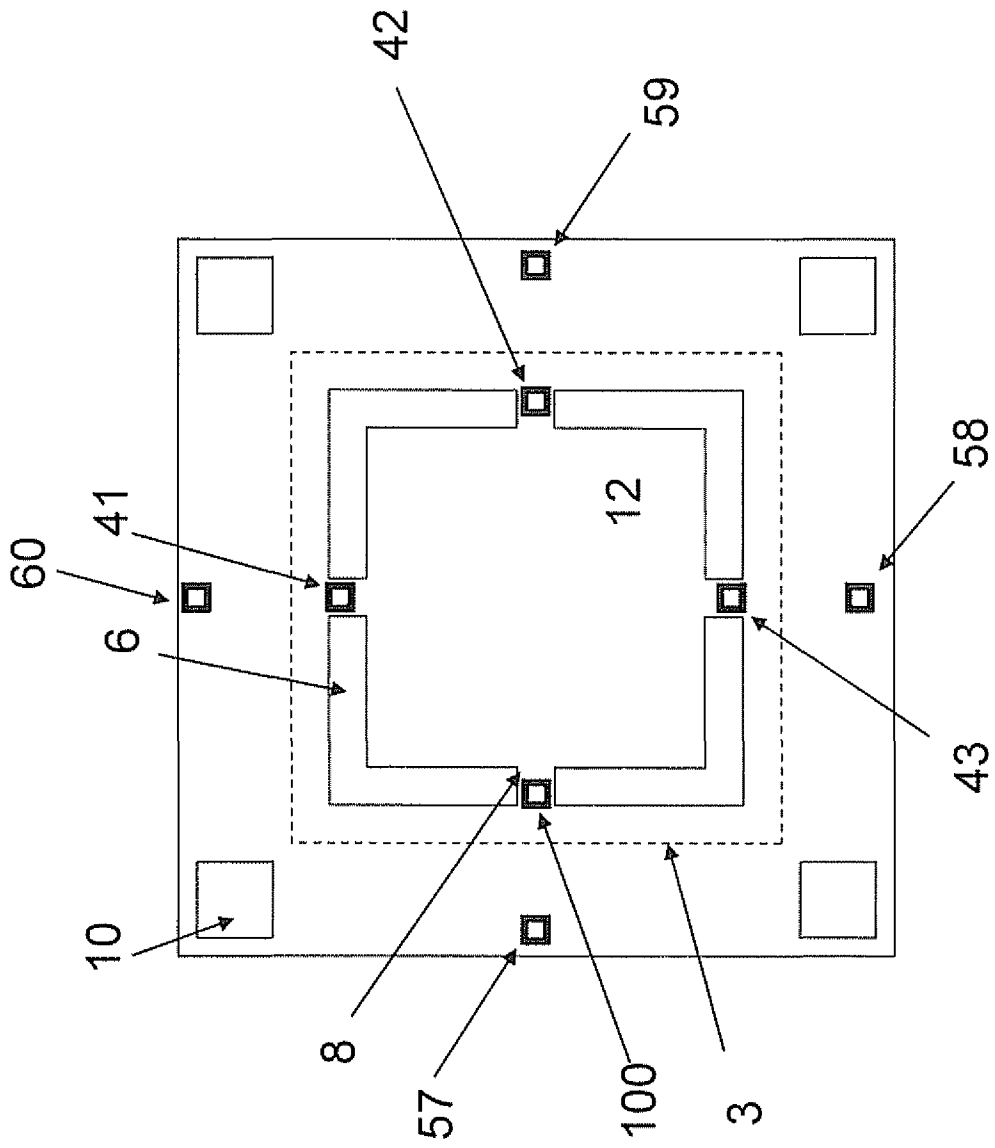


Fig. 17

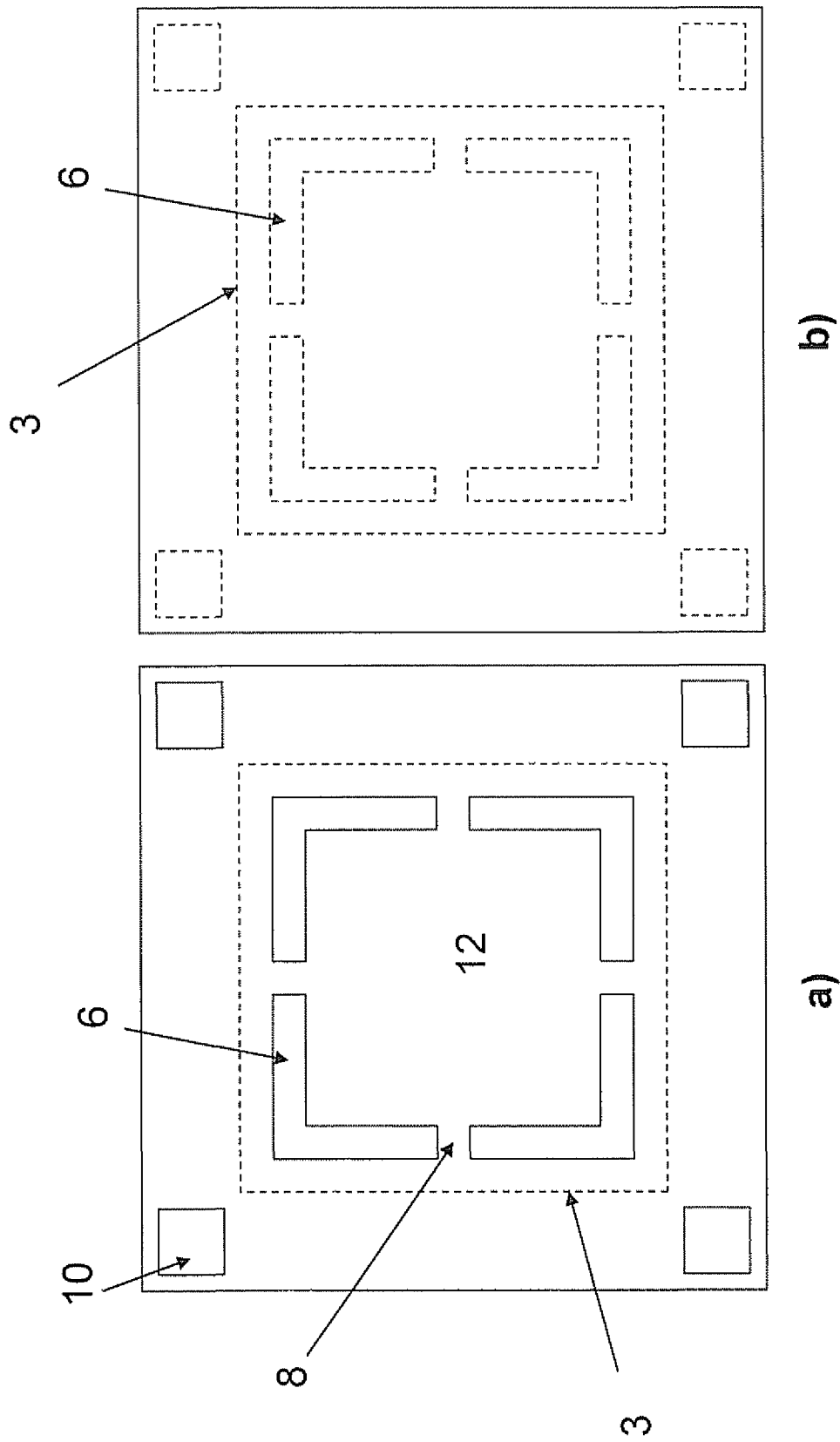


Fig. 20

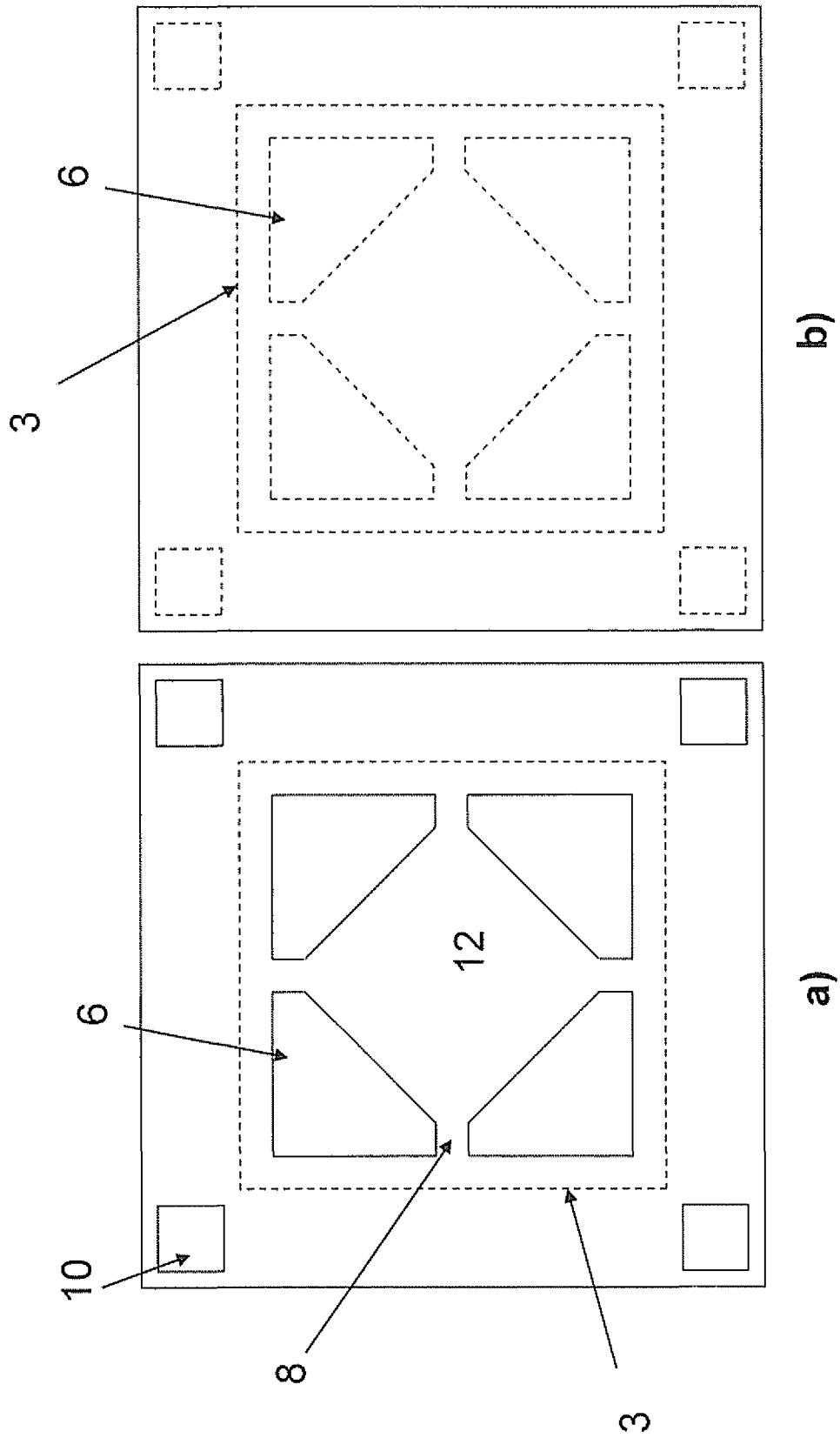


Fig. 21

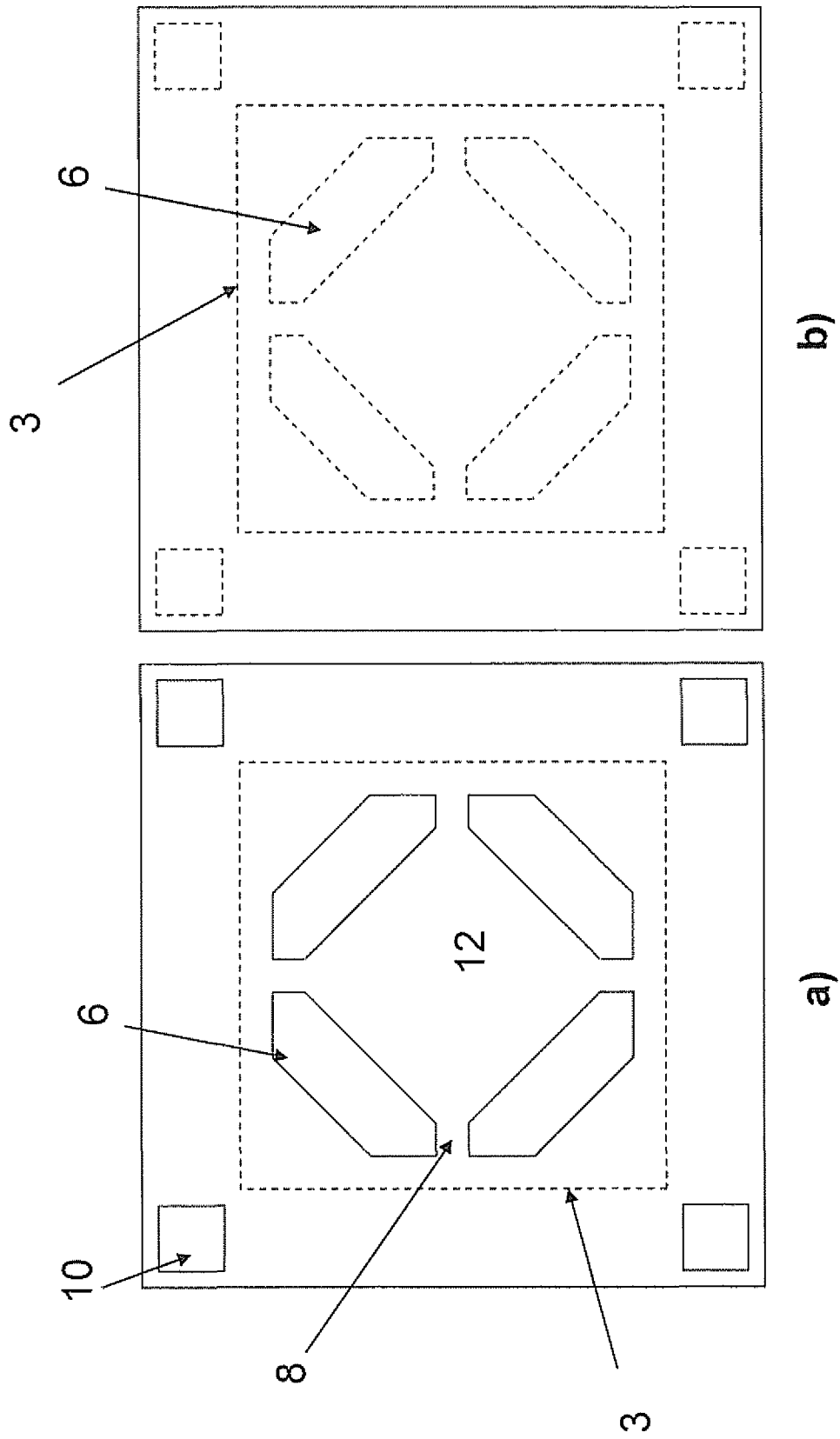


Fig. 22

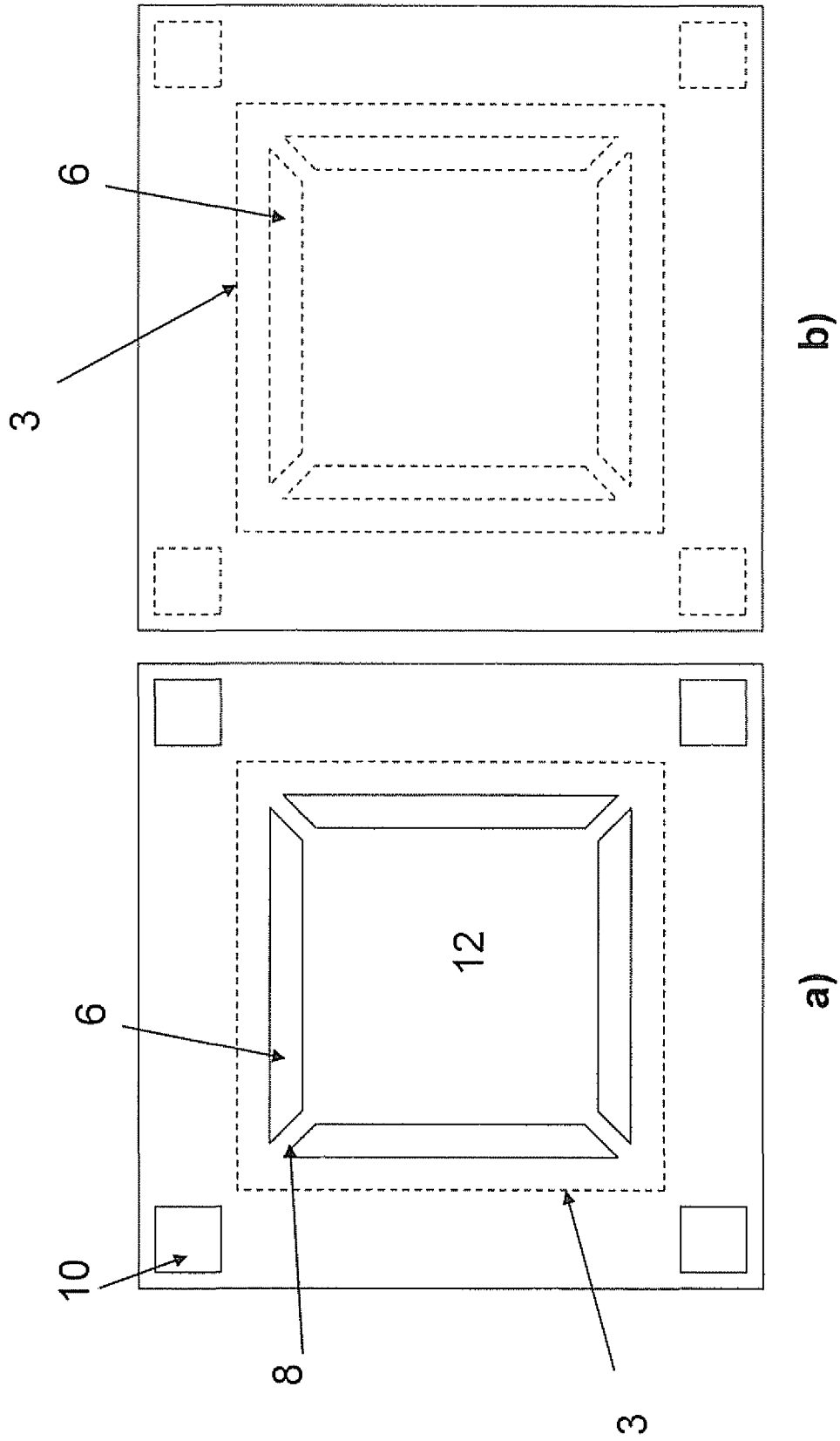


Fig. 23

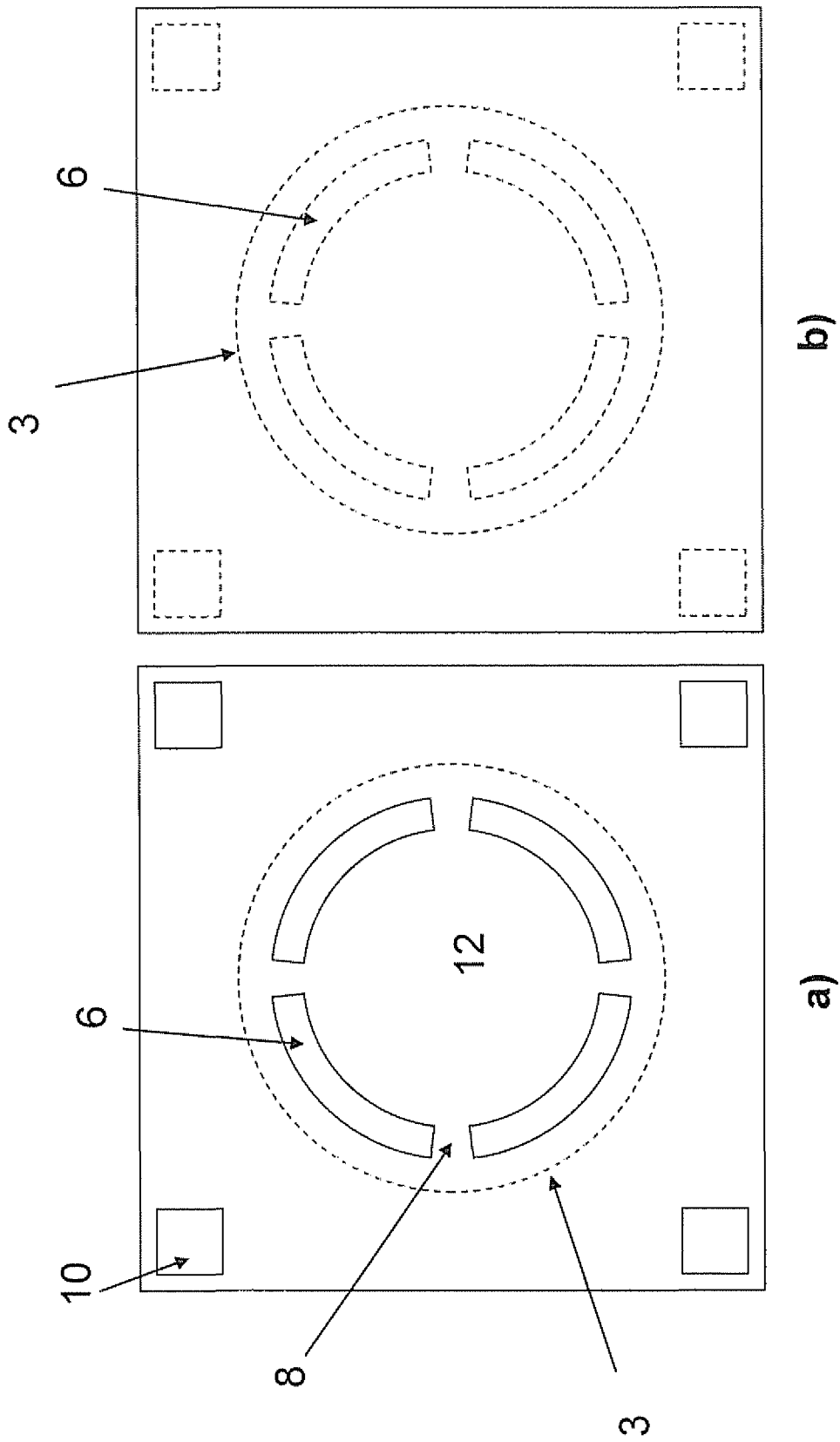


Fig. 24

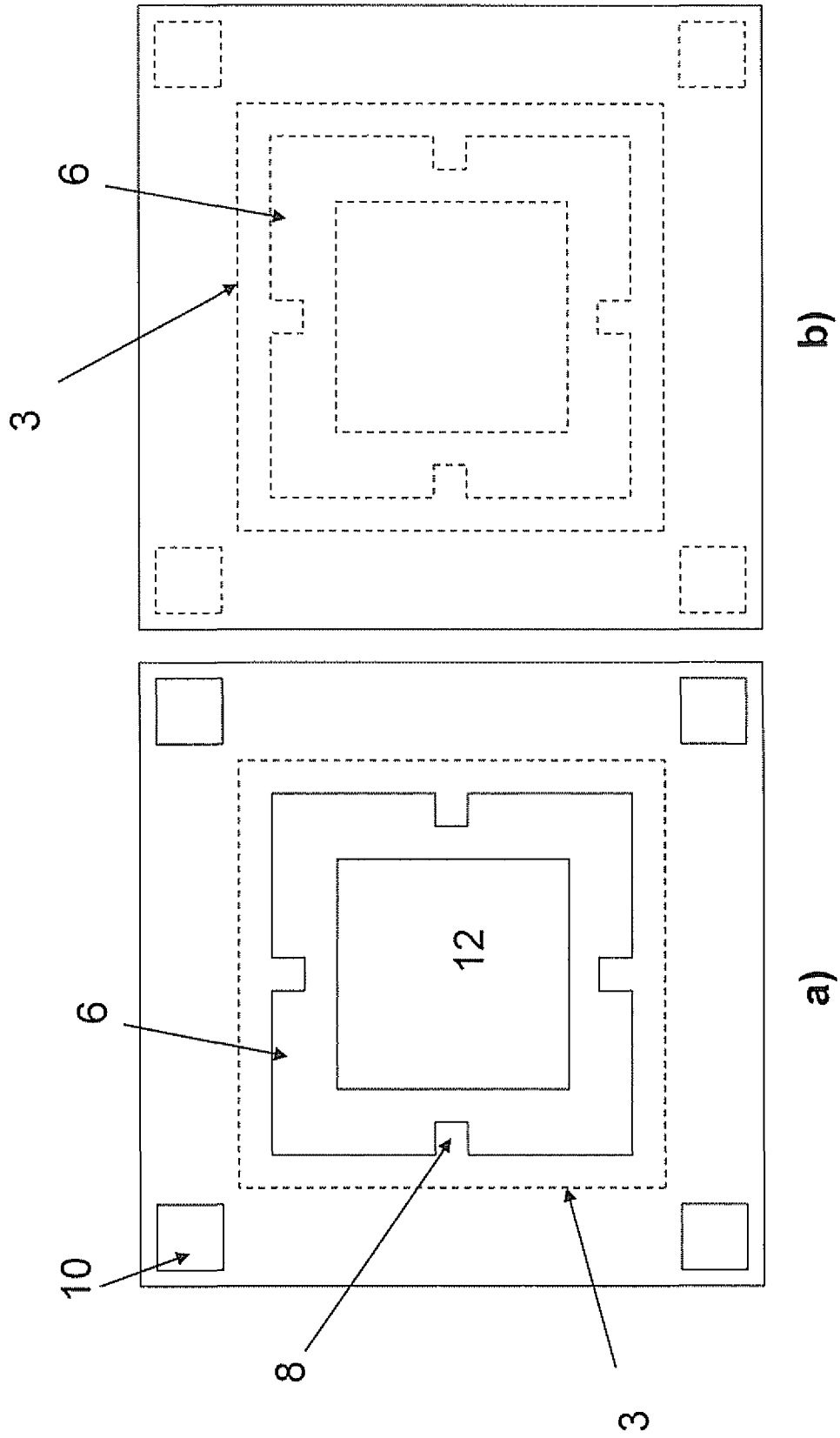


Fig. 25

-27/43-

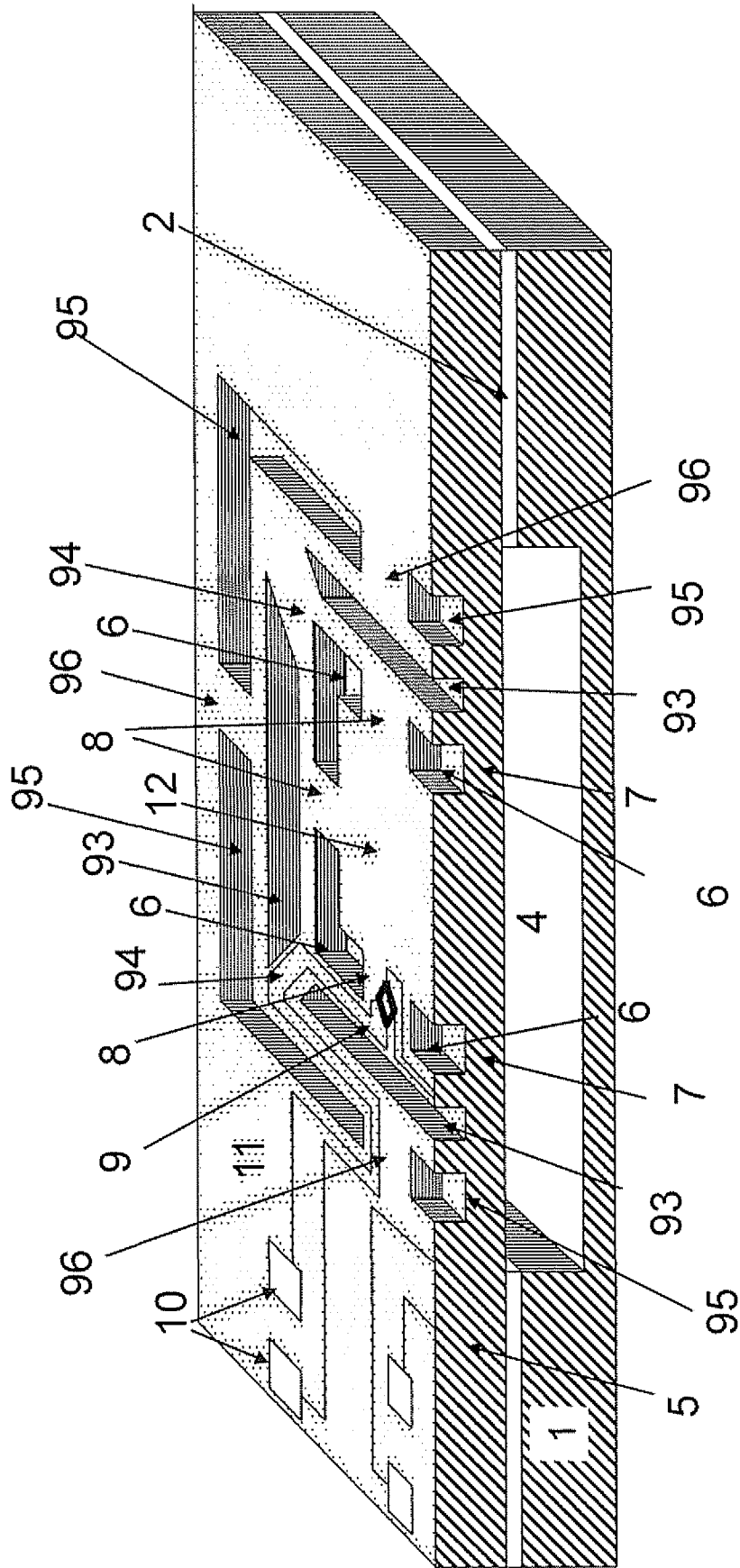


Fig. 27

-28/43-

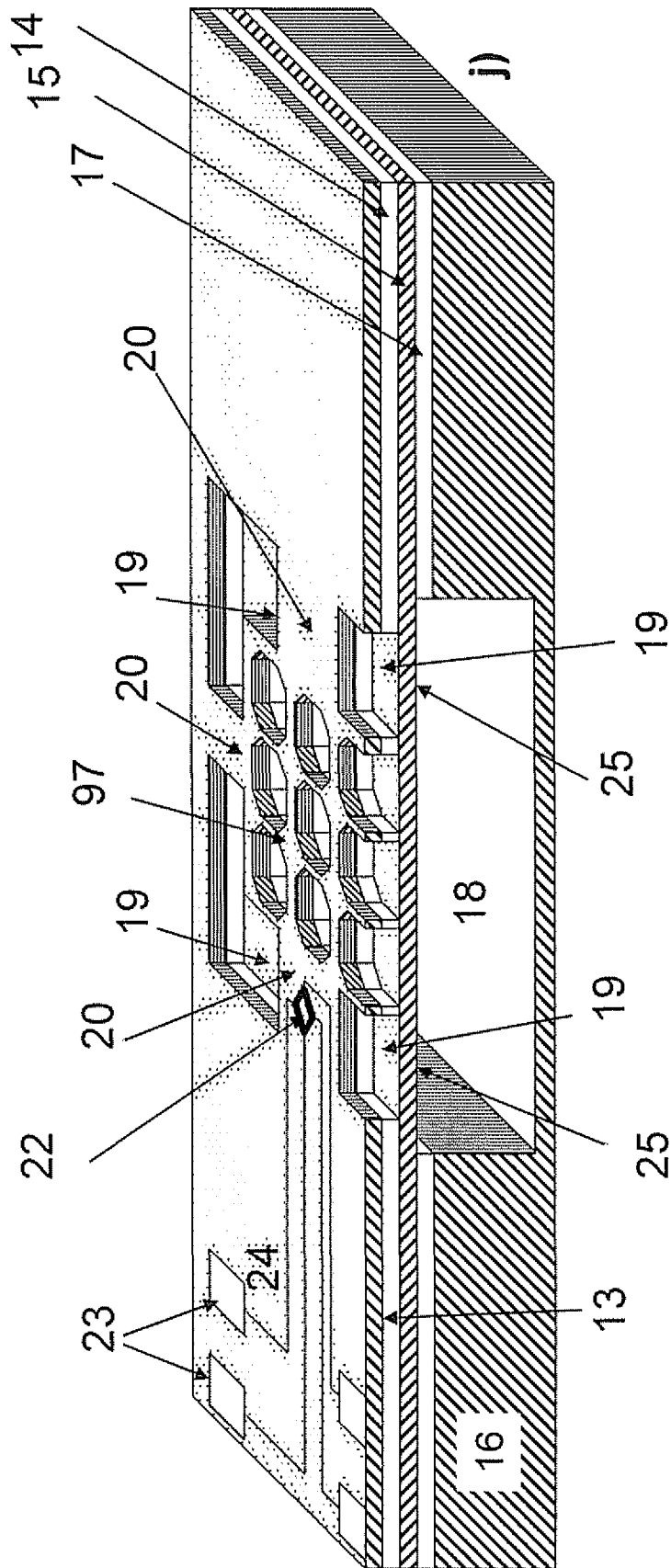


Fig. 28

-29/43-

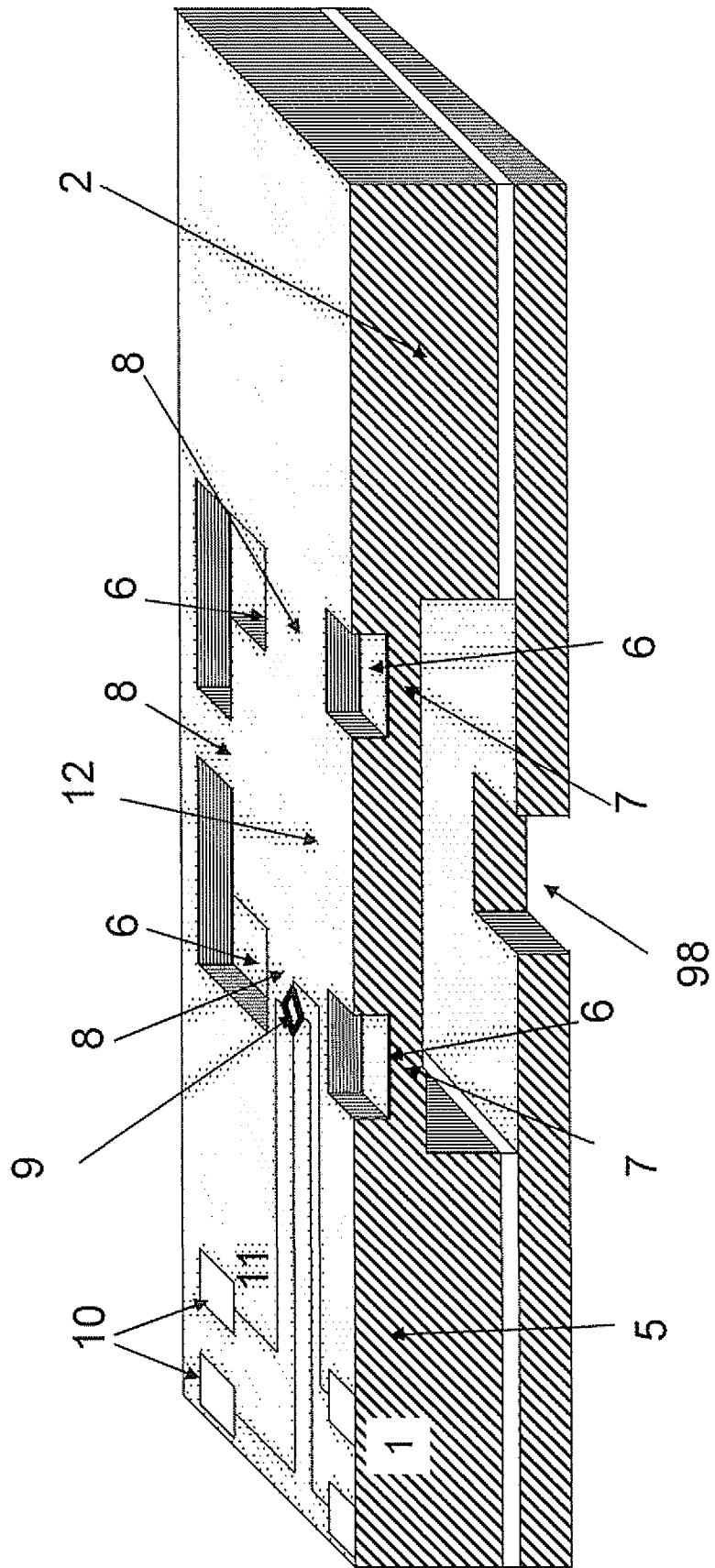


Fig. 29

-30/43-

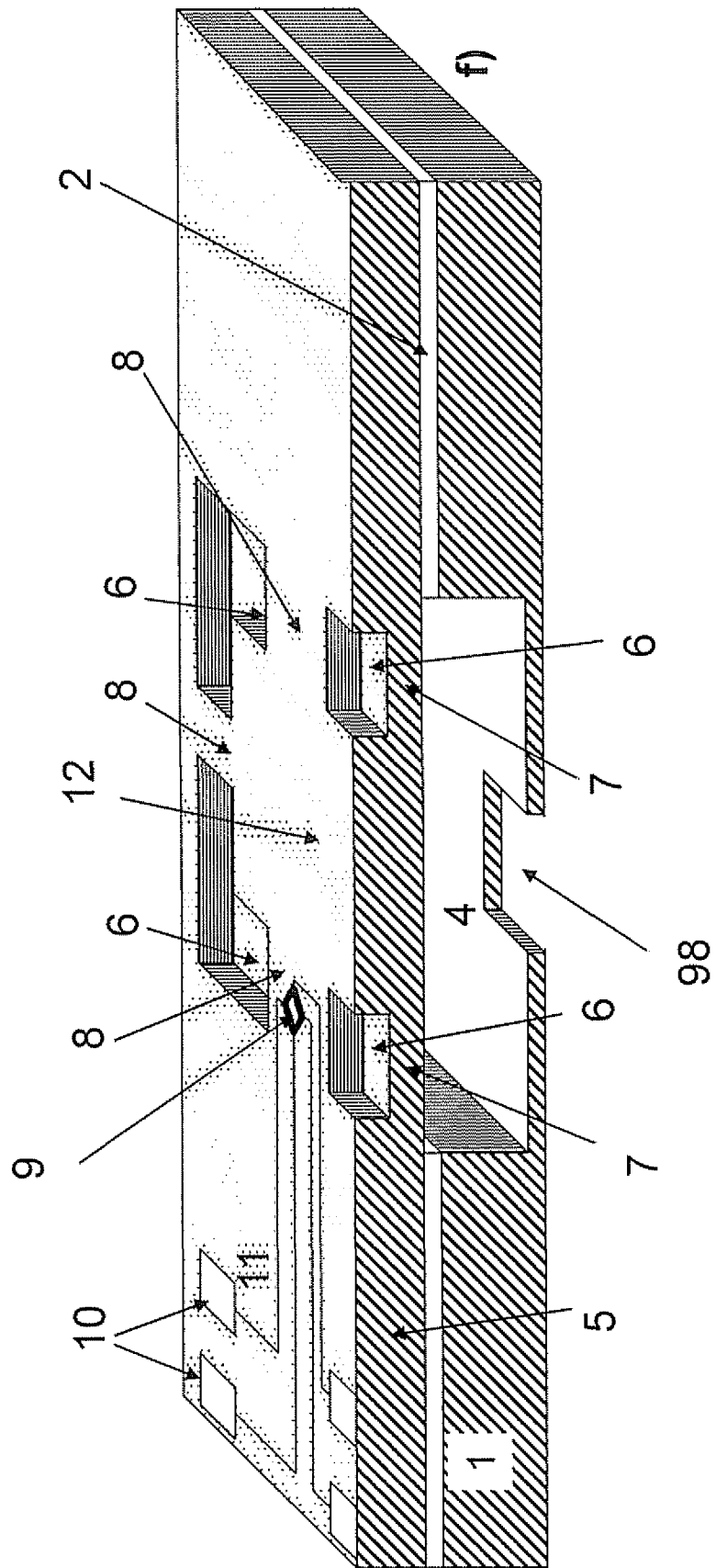


Fig. 30

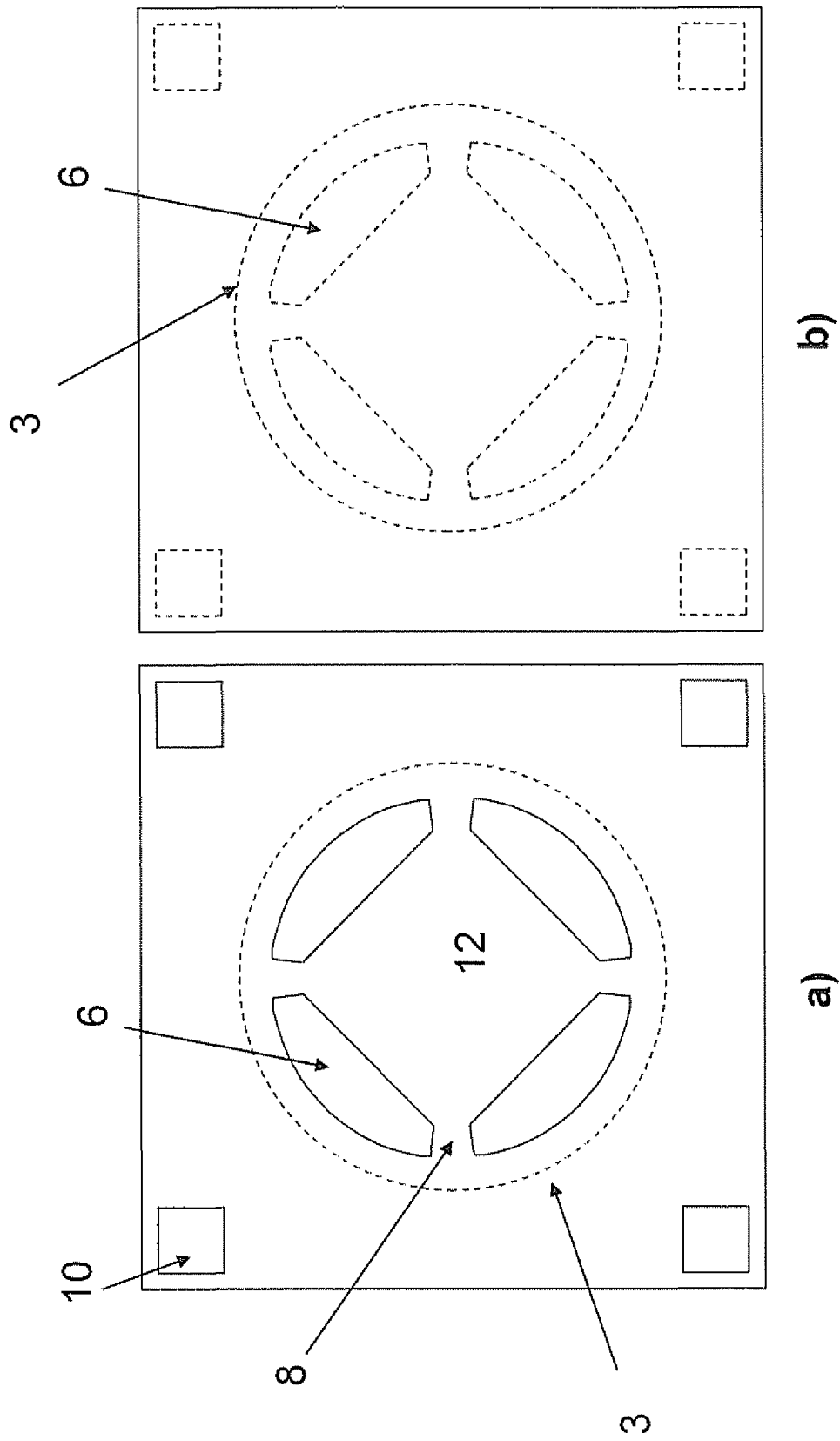


Fig. 31

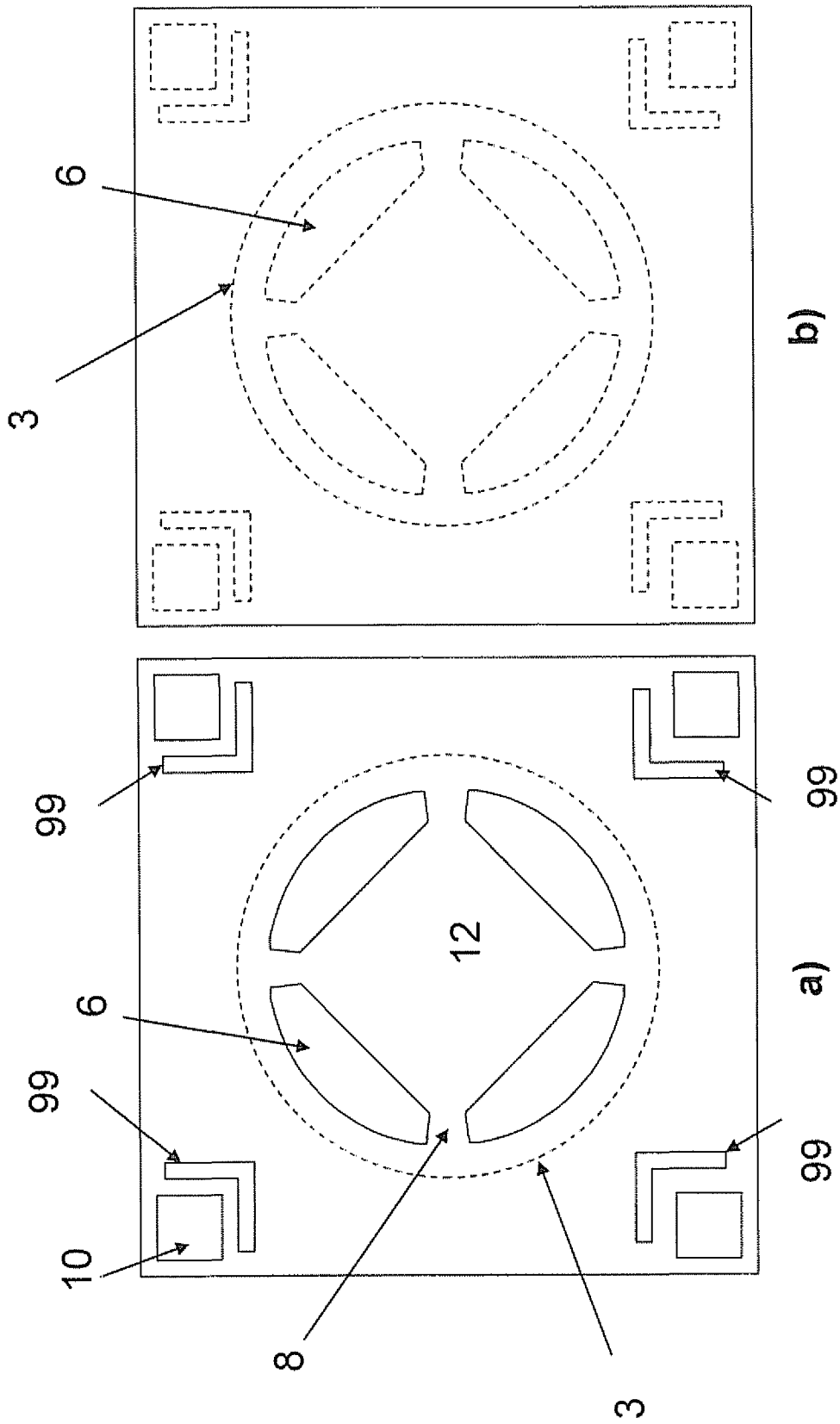


Fig. 32

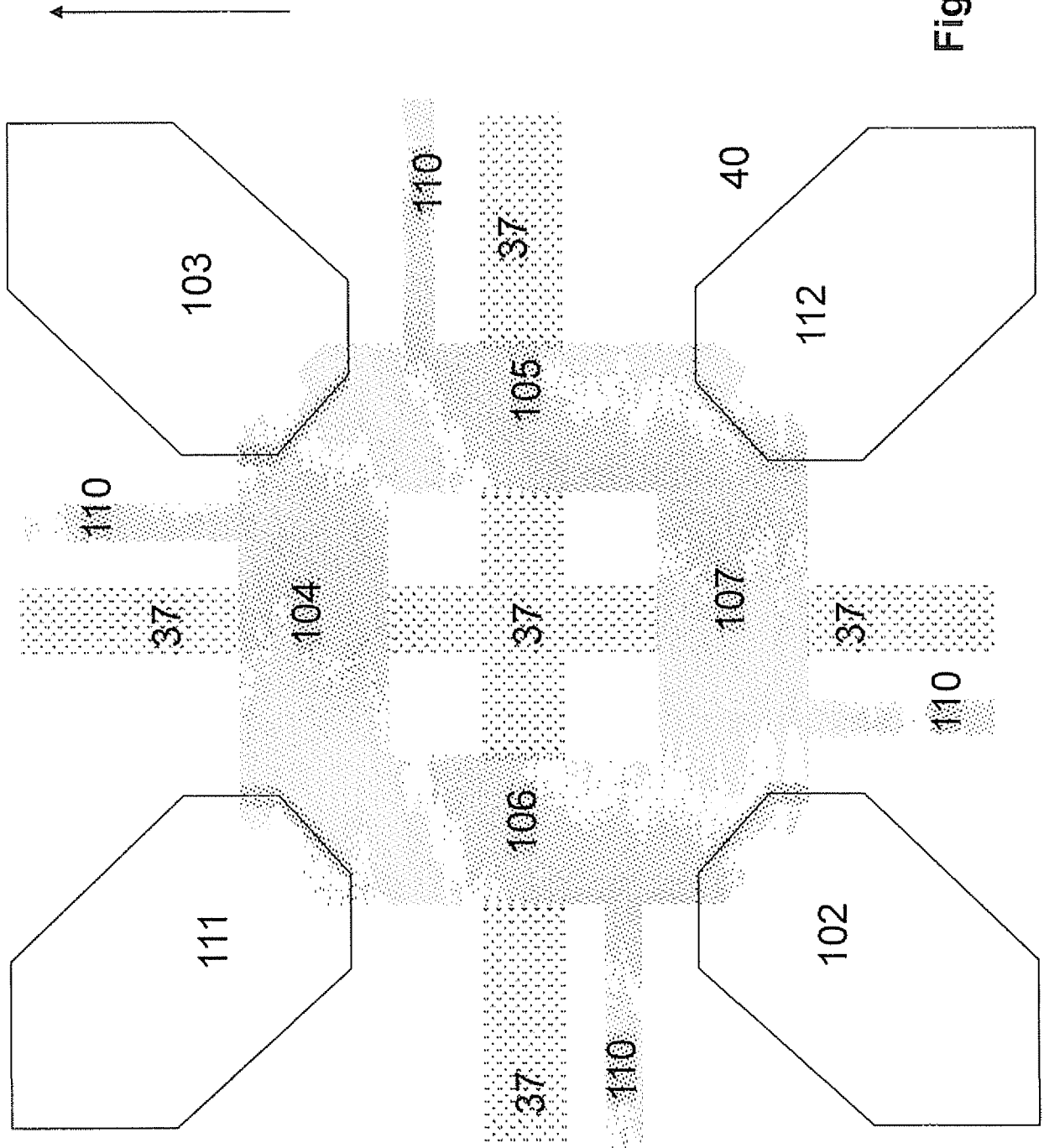


Fig. 34

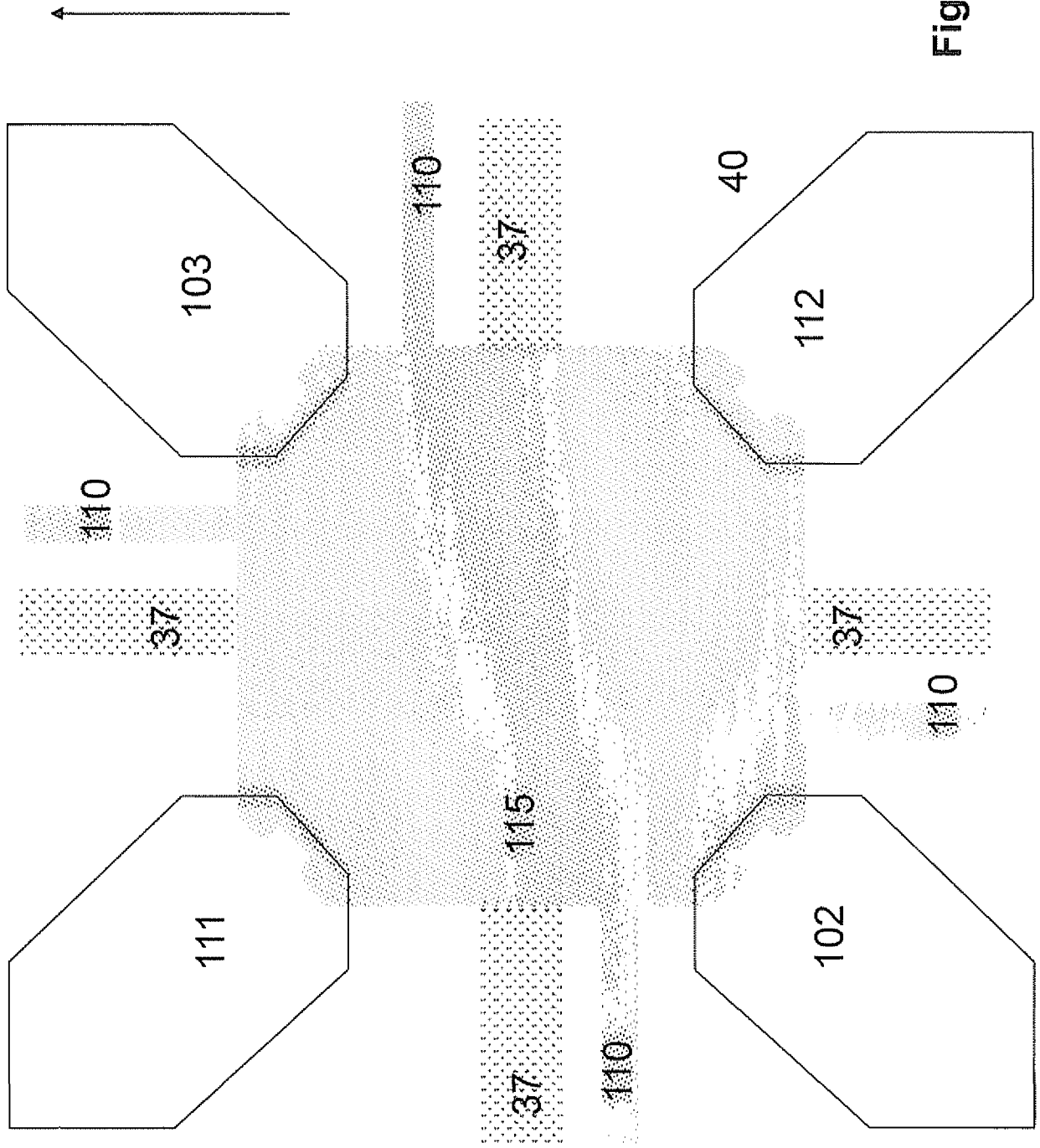


Fig. 37

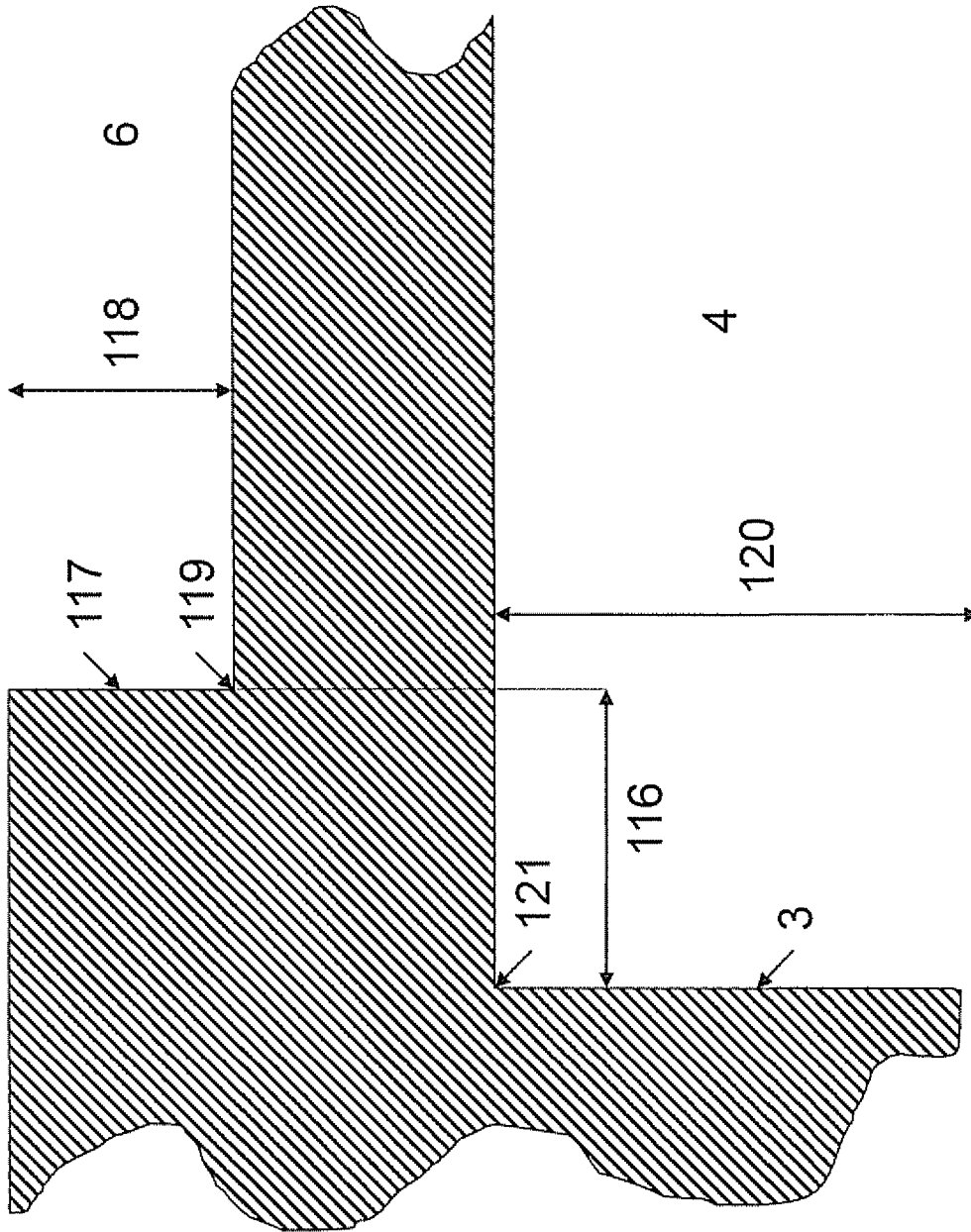


Fig. 38

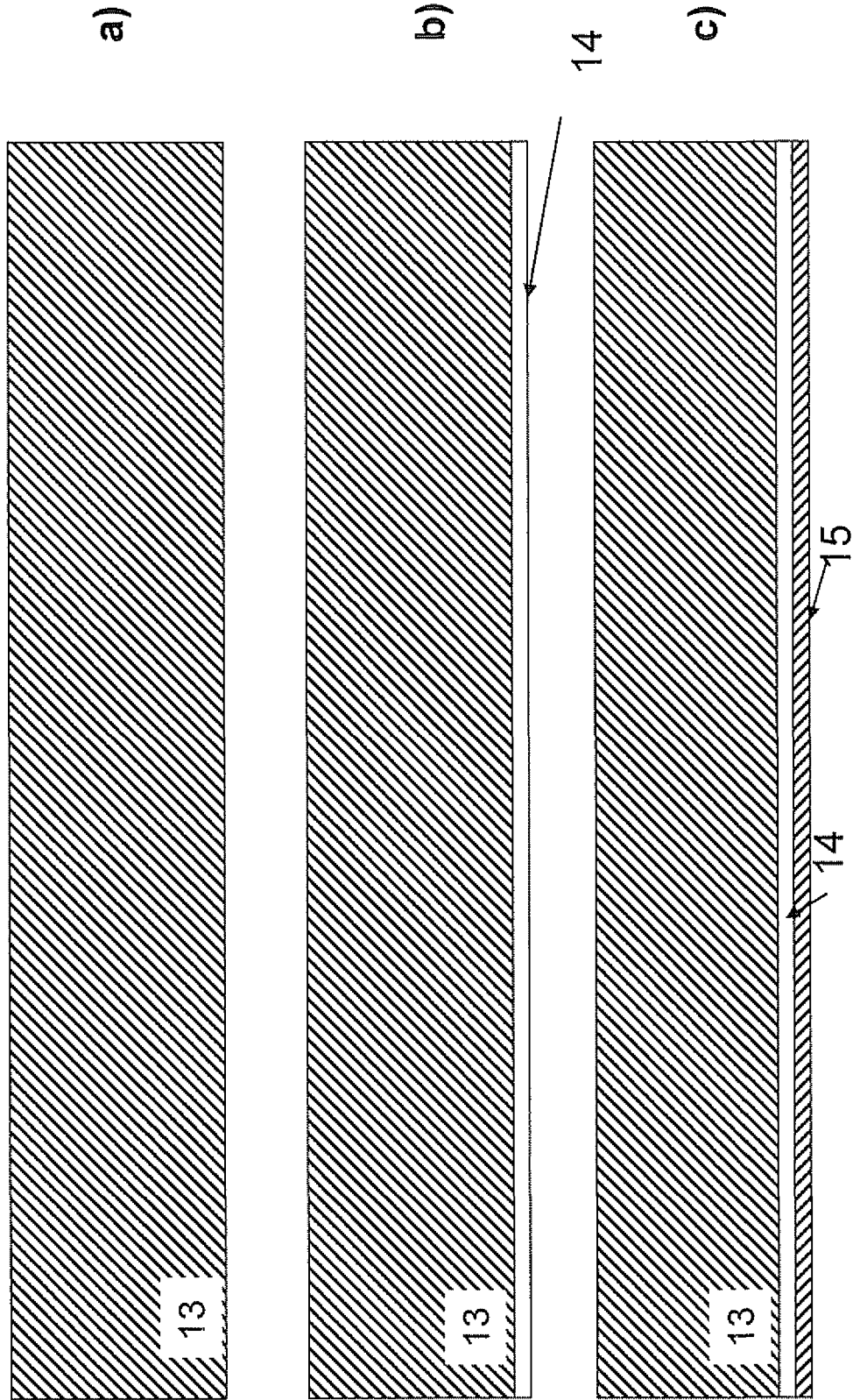


Fig. 39

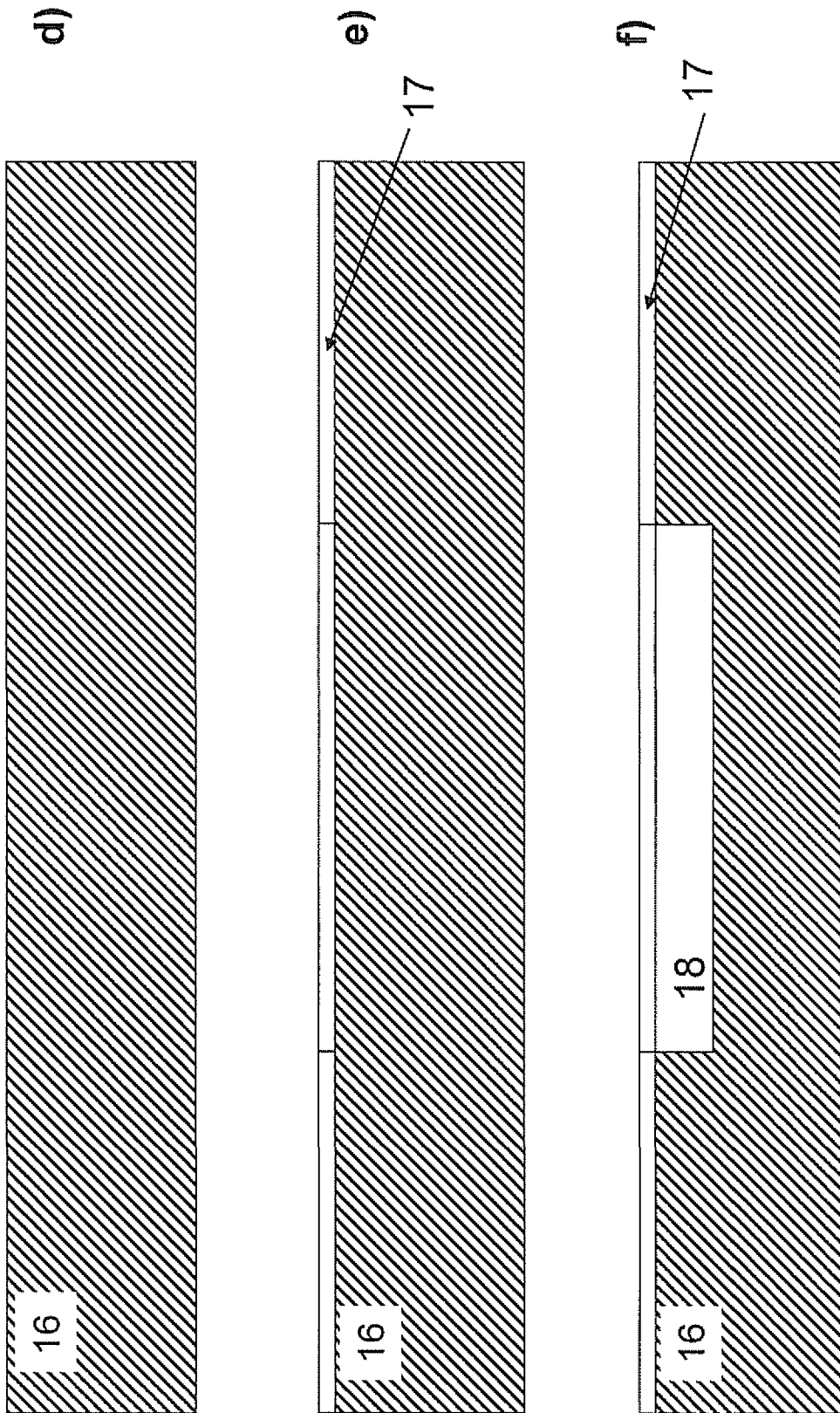


Fig. 40

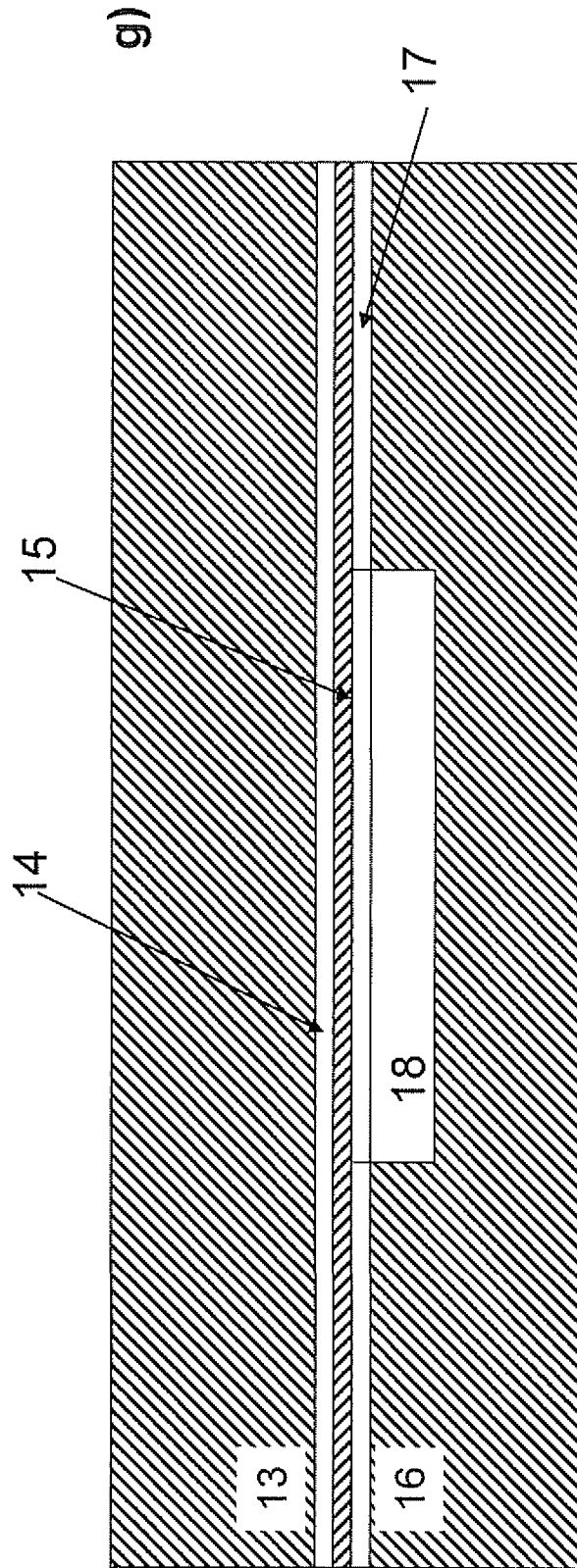


Fig. 41

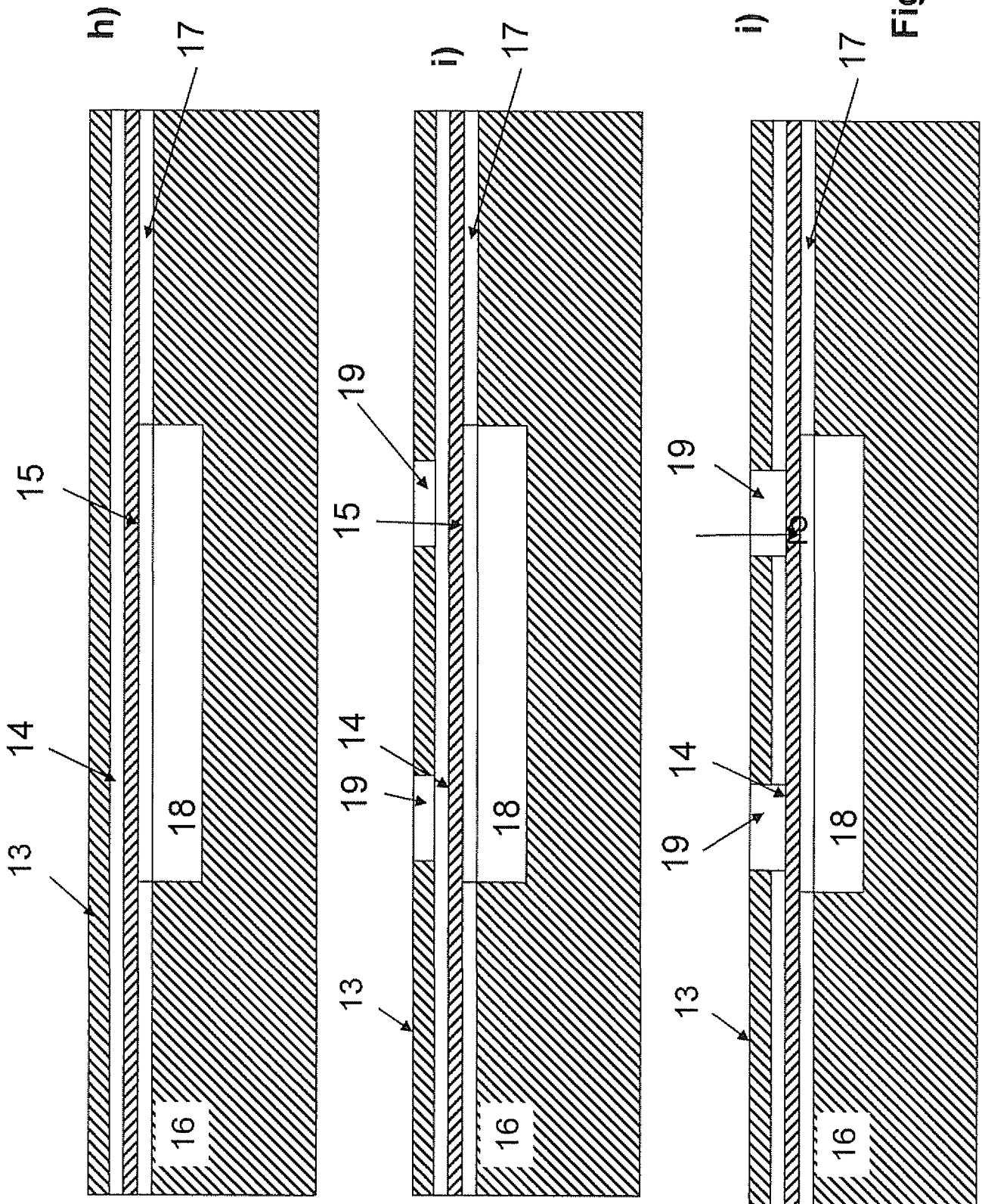


Fig. 42

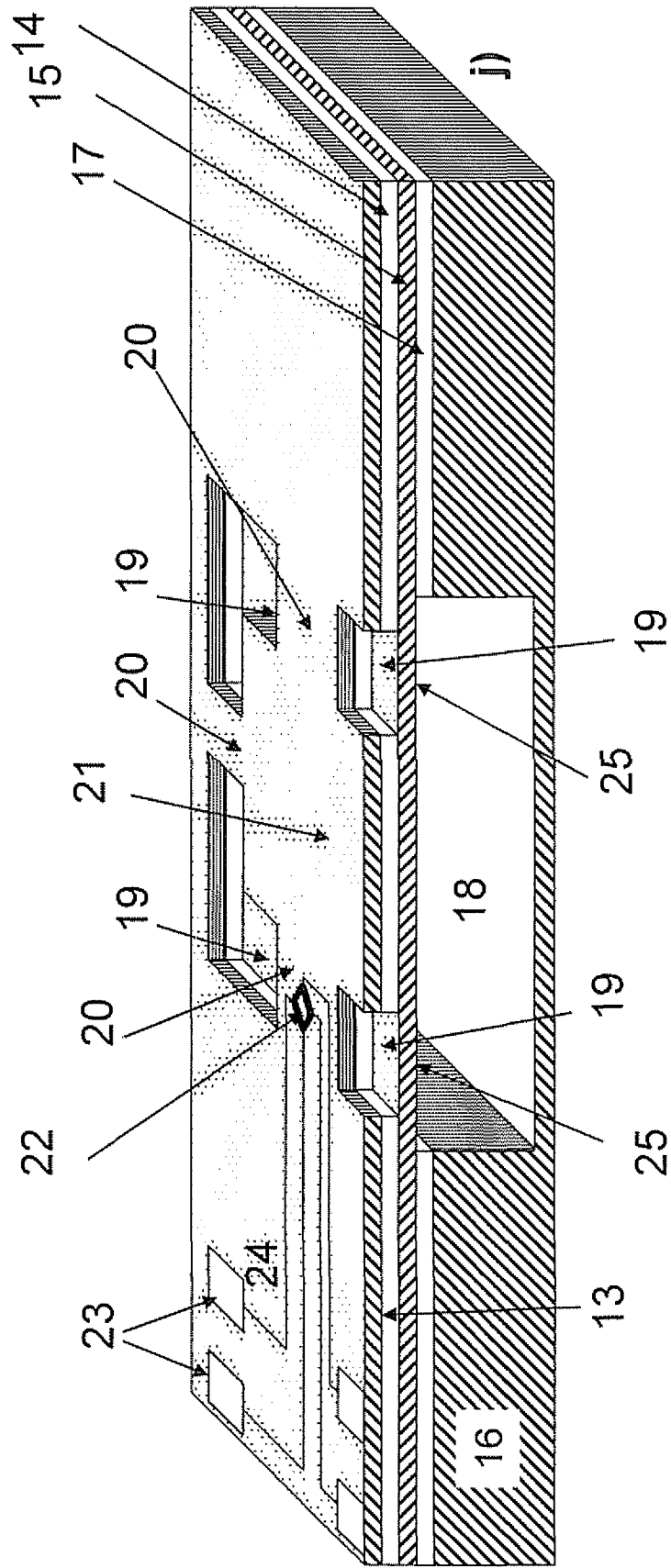


Fig. 43