



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**04.08.2010 Patentblatt 2010/31**

(51) Int Cl.:  
**H04R 19/00 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **09178802.6**

(22) Anmeldetag: **11.12.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL BA RS**

(71) Anmelder: **Robert Bosch GmbH**  
**70442 Stuttgart (DE)**

(72) Erfinder: **Reinmuth, Jochen**  
**72766 Reutlingen (DE)**

(30) Priorität: **03.02.2009 DE 102009000583**

Bemerkungen:

Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

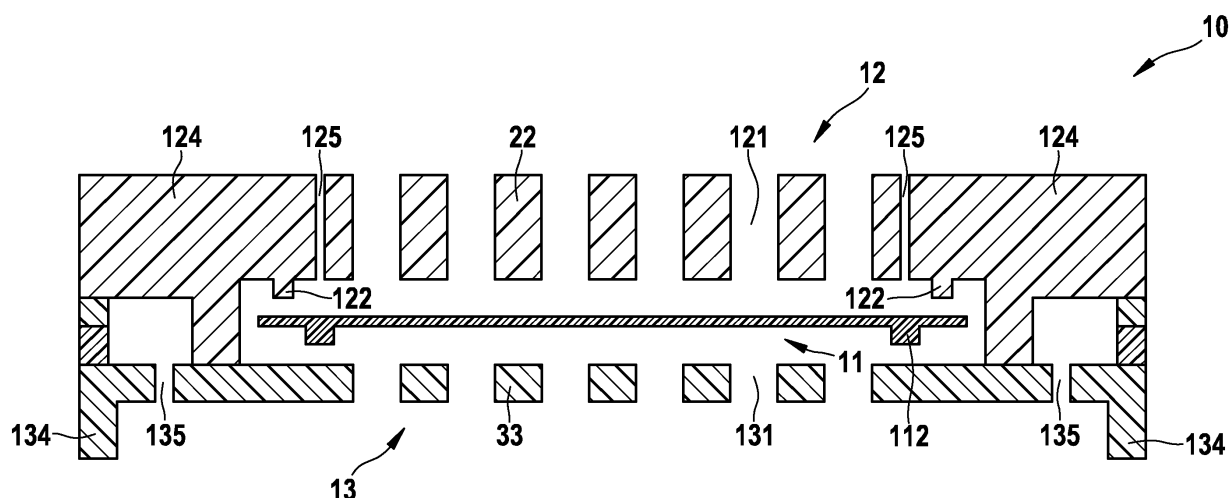
(54) **Bauelement mit einer mikromechanischen Mikrofonstruktur und Verfahren zum Betreiben eines solchen Bauelements**

(57) Mit der vorliegenden Erfindung wird ein Bauelement mit einer sehr platzsparenden und robusten mikromechanischen Mikrofonstruktur mit hoher Messempfindlichkeit vorgeschlagen, bei der bei einem vergleichsweise geringen Elektrodenabstand eine relativ hohe Ladenspannung an die Messkapazität angelegt werden kann.

Die Mikrofonstruktur umfasst eine durch den Schalldruck auslenkbare Membran (11), die als auslenkbare Elektrode fungiert, ein feststehendes akustisch durchlässiges Gegenelement (12), das mindestens eine Gegen-

elektrode (22) umfasst, und Mittel zum Anlegen einer Ladenspannung zwischen der Membran (11) und der Gegenelektrode (22).

Erfindungsgemäss, ist ein zweites feststehendes und akustisch durchlässiges Gegenelement (13) vorgesehen, das mindestens eine Kompensationselektrode (33) umfasst. Die Membran (11) ist zwischen der Gegenelektrode (22) und der Kompensationselektrode (33) angeordnet und es sind Mittel zum Anlegen einer Kompensationsspannung zwischen der Gegenelektrode (22) und der Kompensationselektrode (33) vorgesehen.



**Fig. 1**

## Beschreibung

### Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Bauelement mit einer mikromechanischen Mikrofonstruktur. Diese umfasst mindestens eine durch den Schalldruck auslenkbare Membran, die als auslenkbare Elektrode fungiert, ein feststehendes akustisch durchlässiges Gegenelement, das eine Gegenelektrode umfasst, und Mittel zum Anlegen einer Ladespannung zwischen der Membran und der Gegenelektrode.

**[0002]** Die Erfindung betrifft ferner Verfahren zum Betreiben eines solchen Bauelements und ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Bauelements.

**[0003]** Bei den aus der Praxis bekannten MEMS (Micro-Electro-Mechanical-System)-Mikrofonen wird der Schalldruck meist in Form einer Kapazitätsänderung zwischen einer akustisch aktiven Membran und einer weitgehend starren Gegenelektrode erfasst.

Wird eine relativ hohe Ladespannung, von beispielsweise 10V, zwischen Membran und Gegenelektrode angelegt und das Messsignal über einen Vorverstärker mit hoher Impedanz, beispielsweise im Bereich von 10GOhm, ausgelesen, so ändern sich die Ladungsverhältnisse zwischen Membran und Gegenelektrode deutlich langsamer als die Frequenz des zu erfassenden Schalls. Deshalb kann für diesen Fall in erster Näherung angenommen werden, dass die Ladung Q konstant bleibt und eine lineare Beziehung zwischen der Kapazität C bzw. Kapazitätsänderung und der abgreifbaren Spannung V besteht, nämlich  $Q=C \cdot V$ .

Bei Anwendung dieses Messprinzips muss also eine relativ hohe Ladespannung zwischen der Membran und der Gegenelektrode angelegt werden, um auch ein hohes Messsignal zu erhalten. Eine hohe Ladespannung führt allerdings auch zu starken anziehenden Kräften zwischen der beweglichen Membran und der starren Gegenelektrode. Um einen Kurzschluss und ein Anhaften der Membran an der Gegenelektrode zu vermeiden, wird in der Praxis entweder die Membran relativ steif aufgehängt oder der Abstand zwischen Membran und Gegenelektrode wird erhöht. Beide Maßnahmen wirken sich nachteilig auf die Empfindlichkeit des Mikrofons aus. Des Weiteren werden derartige MEMS-Mikrofone in der Regel mit Mitteln ausgestattet, durch die sich die Membran nach einem solchen Kollaps wieder in ihre Ruhestellung bringen lässt.

### Offenbarung der Erfindung

**[0004]** Mit der vorliegenden Erfindung wird eine sehr platzsparende und robuste mikromechanische Mikrofonstruktur mit hoher Messempfindlichkeit vorgeschlagen, bei der bei einem vergleichsweise geringen Elektrodenabstand eine relativ hohe Ladespannung an die Messkapazität angelegt werden kann.

**[0005]** Dazu umfasst die erfindungsgemäße Mikrofon-

struktur ein zweites feststehendes und akustisch durchlässiges Gegenelement, das eine Kompensationselektrode umfasst. Die Membran ist zwischen der Gegenelektrode und der Kompensationselektrode angeordnet. Zudem sind Mittel zum Anlegen einer Kompensationsspannung zwischen der Gegenelektrode und der Kompensationselektrode vorgesehen.

**[0006]** Mit Hilfe der Kompensationselektrode lässt sich die Mikrofonfunktion des erfindungsgemäßen Bauelements auf zwei messtechnisch unterschiedliche Arten realisieren, die beide eine hohe Messempfindlichkeit und eine geringe Störanfälligkeit gewährleisten.

**[0007]** In einer ersten Betriebsvariante wird die Kompensationsspannung zwischen der Gegenelektrode und der Kompensationselektrode in Abhängigkeit von der Ladespannung der Messkapazität gewählt, und zwar so, dass die durch die Ladespannung erzeugte elektrische Anziehung zwischen der Membran und der Gegenelektrode durch die Kompensationsspannung ausgeglichen wird. Dadurch befindet sich die bewegliche Membran in einem nahezu potentialfreien Raum, wo keine elektrostatischen Kräfte auf die Membran wirken und Membranauslenkungen allein durch den Schalldruck verursacht werden. Deshalb kann die Ladespannung für die Messkapazität hier auch bei kleinem Elektrodenabstand relativ hoch angesetzt werden, um ein hohes Messsignal in Form der Spannungsänderung zwischen Membran und Gegenelektrode zu erhalten. Ein elektrostatisch bedingter Kollaps der Mikrofonstruktur ist dabei nicht zu befürchten.

**[0008]** Im Unterschied dazu wird die Kompensationsspannung bei einer zweiten vorteilhaften Betriebsvariante, so geregelt, dass die bewegliche Membran auch bei Schalleinwirkungen möglichst in ihrer Ruhelage gehalten wird. In diesem Fall wird die Spannung zwischen der Gegenelektrode und der Membran, die sich aufgrund des Schalldrucks mit dem Elektrodenabstand ändert, als Stellgröße für die Regelung der Kompensationsspannung verwendet. Als Mikrofonsignal dient hier die Kompensationsspannung. Auch bei dieser Variante kann mit relativ hohen Ladespannungen bei vergleichsweise geringem Elektrodenabstand gearbeitet werden. Zudem erweist sie sich als besonders unempfindlich gegenüber elektromagnetischen Störsignalen.

**[0009]** Neben den voranstehend erörterten elektrisch messtechnischen Vorteilen des erfindungsgemäßen Bauelements sei an dieser Stelle noch erwähnt, dass die beiden Gegenelemente zudem einen mechanischen Schutz für die dazwischen angeordnete bewegliche und damit auch empfindliche Membran der Mikrofonstruktur bilden. Die hier vorgeschlagene Mikrofonstruktur ist also auch in mechanischer Hinsicht vorteilhaft.

**[0010]** Grundsätzlich gibt es verschiedene Möglichkeiten für die Realisierung der erfindungsgemäßen Mikrofonstruktur.

**[0011]** So kann die Mikrofonstruktur beispielsweise spiegelsymmetrisch zur Membran aufgebaut sein, in dem Sinne, dass die Membran mittig zwischen den bei-

den Gegenelementen angeordnet ist und die beiden Gegenelemente eine im wesentlichen gleiche Struktur aufweisen.

**[0012]** Bei bestimmten Anwendungen kann es sich aber auch als günstig erweisen, unterschiedliche Abstände zwischen Gegenelektrode und Membran und zwischen Kompensationselektrode und Membran vorzusehen, um eine höhere Mikrofonempfindlichkeit zu erreichen.

**[0013]** Ebenso kann es anwendungsbedingt von Vorteil sein, die Gegenelektrode und die Kompensationselektrode mit unterschiedlichen Loch- bzw. Gittergeometrien zu realisieren.

**[0014]** Wie bereits erläutert, ermöglicht die erfindungsgemäße Bauelementstruktur unterschiedliche Betriebsvarianten zur Realisierung der Mikrofonfunktion. Beide voranstehend beschriebenen Varianten beruhen auf einer geeigneten Wahl bzw. Regelung der Kompensationsspannung. Vorteilhafterweise werden dabei neben elektrischen Parametern, wie Ladespannung bzw. abgegriffenen Spannung zwischen Gegenelektrode und Membran, auch strukturbedingte Parameter, wie Abstand zur Ruhelage der Membran und Loch- bzw. Gitterstruktur, berücksichtigt. Insbesondere bei einem asymmetrischen Aufbau der Mikrofonstruktur ist es oftmals sinnvoll, die Gegenelektrode und die Kompensationselektrode auf unterschiedliche elektrische Potentiale zu legen.

**[0015]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Bauelements sind die Membranoberflächen und/oder die der Membran zugewandte Oberfläche des ersten und/oder zweiten Gegenelements mit einer dielektrischen Beschichtung versehen, um auch in Überlastsituationen einen Kurzschluss innerhalb der Mikrofonstruktur zu vermeiden.

**[0016]** Des Weiteren kann die Mikrofonstruktur auch einen Überlastschutz in Form von Anschlägen umfassen, die in den Oberflächen der Membran und/oder in der der Membran zugewandten Oberfläche des ersten und/oder zweiten Gegenelements ausgebildet sind. Von besonderem Vorteil ist es, wenn diese Anschläge in einem Bereich, wie z.B. dem Randbereich der Mikrofonstruktur, angeordnet sind, wo die Anschläge und die ihnen gegenüberliegende Oberfläche auf ein definiertes Potential gelegt werden können. In diesem Fall tritt beim Aufsetzen der Anschläge kein Kurzschluss zwischen Membran und Gegenelektrode oder Kompensationselektrode auf.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0017]** Wie bereits voranstehend erörtert, gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu wird einerseits auf die dem unabhängigen Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche verwiesen und andererseits auf die nachfolgende Beschreibung eines Ausführungsbeispiels der Erfin-

dung. Anhand der Figuren wird auch das beanspruchte Herstellungsverfahren näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine schematische Schnittdarstellung eines Bauelements 10 mit einer erfindungsgemäßen Mikrofonstruktur,

Fig. 2 veranschaulicht die Potentialverhältnisse innerhalb der Mikrofonstruktur des Bauelements 10, und

Fig. 3a bis 3h veranschaulichen die einzelnen Verfahrensschritte zur Herstellung des Bauelements 10 anhand von schematischen Schnittdarstellungen.

#### Ausführungsformen der Erfindung

**[0018]** Das in **Fig. 1** dargestellte Bauelement 10 umfasst eine mikromechanische Mikrofonstruktur, die in einem Schichtaufbau ausgebildet ist. Diese Mikrofonstruktur besteht im Wesentlichen aus einer durch den Schalldruck auslenkbaren Membran 11, die zwischen zwei feststehenden und akustisch durchlässigen Gegenelementen 12 und 13 angeordnet ist. Die Membran 11 ist über Isolationsschichten gegen beide Gegenelemente 12 und 13 elektrisch isoliert. Sowohl die Membranen 11 als auch die beiden Gegenelemente 12 und 13 bestehen zumindest bereichsweise aus einem elektrisch leitfähigen Material, wie z.B. einem entsprechend dotierten Polysilizium oder Siliziumsubstrat. Das Gegenelement 12, das im Schichtaufbau über der Membran 11 angeordnet ist, umfasst hier eine Gegenelektrode 22 für die Membran 11, die als auslenkbare Elektrode fungiert. Zusammen bilden sie eine Messkapazität, die mit Hilfe von hier nicht dargestellten Mitteln zum Anlegen einer Ladespannung aufgeladen wird. So können Auslenkungen der Membran 11 als Kapazitätsänderungen bzw. Schwankungen einer an der Messkapazität abgegriffenen Spannung erfasst werden.

**[0019]** Das zweite Gegenelement 13 ist im vorliegenden Ausführungsbeispiel im Bauelementssubstrat 1 unterhalb der Membran 11 ausgebildet und umfasst eine Kompensationselektrode 33. Dazu umfasst das Bauelement 10 Mittel zum Anlegen und Regeln einer Kompensationsspannung zwischen der Gegenelektrode 22 und der Kompensationselektrode 33. Diese Mittel sind hier ebenfalls nicht dargestellt.

In einer ersten Betriebsvariante wird die Kompensationsspannung so gewählt, dass die durch den Ladezustand der Messkapazität bedingte elektrostatische Anziehung zwischen der Membran 11 und der Gegenelektrode 22 durch eine entsprechende Potentialdifferenz zur Kompensationselektrode 33 aufgehoben wird und die Membran 11 ausschließlich aufgrund des Schalldrucks ausgelenkt wird. In einer alternativen Betriebsvariante wird die Kompensationsspannung in Abhängigkeit von der an

der Messkapazität abgegriffenen Spannung, d.h. in Abhängigkeit von der Membranauslenkung, geregelt, und zwar so, dass die Membran 11 möglichst in ihrer Ruhestellung gehalten wird. In diesem Fall wird mit Hilfe der Kompensationsspannung auch der auf die Membran 11 wirkende Schalldruck kompensiert. Als Mikrofonsignal wird hier die Kompensationsspannung genutzt.

**[0020]** Die Gegenelemente 12 und 13 sind im hier dargestellten Ausführungsbeispiel deutlich dicker als die Membran 11 und damit im Wesentlichen starr. Beide Gegenelemente 12 und 13 weisen die gleiche Gitterstruktur mit Durchgangsöffnungen 121 bzw. 131 auf, so dass die Gegenelemente 12 und 13 gleichermaßen akustisch durchlässig sind und nur die mittig zwischen den Gegenelementen 12 und 13 angeordnete Membran 11 akustisch aktiv ist.

Um zu erreichen, dass die Gegenelemente deutlich weniger auf Schallwellen reagieren als die Membran, kann ein Gegenelement aber auch in einer dünneren Polysiliziumschicht realisiert werden, die steifer als die Membran im Schichtaufbau aufgehängt ist. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, ein Gegenelement in Form eines Schichtstapels aus Polysilizium und Oxid bzw. Nitrid zu realisieren, der unter Zugstress steht.

**[0021]** Die Mikrofonstruktur des Bauelements 10 umfasst einen mechanischen Überlastschutz in Form von Anschlängen 122 und 112. Diese sollen ein Anhaften und Festbrennen der Membran 11 an der Gegenelektrode 22 einerseits oder an der Kompensationselektrode 33 andererseits verhindern. So sind die Anschlüsse 122 im Randbereich 124 des Gegenelements 12 an dessen Unterseite ausgebildet, während die Anschlüsse 112 im Randbereich der Membran 11 an deren Unterseite ausgebildet sind. Im Falle von Überlastsituationen bilden die Anschlüsse 122 und 112 die Berührungsflächen zwischen der Membran 11 und den Gegenelementen 12 und 13 der Mikrofonstruktur. Je kleiner diese Berührungsflächen sind, um so geringer ist die Haftkraft zwischen diesen Komponenten und dementsprechend auch die Kraft, die erforderlich ist, um die Membran 11 wieder in ihre Ausgangslage zu bringen. Die Anschlüsse 122 und 112 können aus einem dielektrischen Material, wie beispielsweise aus SiN oder aus siliziumreichem Nitrid, bestehen oder zumindest mit einem solchen beschichtet sein, um so in Überlastsituationen einen Kurzschluss zwischen der Membran 11 und einem der Gegenelemente 12 oder 13 zu verhindern. Dadurch wird neben der Mikrofonstruktur auch die Elektronik des Bauelements 10 geschützt.

**[0022]** Eine weitere Möglichkeit zur Verhinderung eines Kurzschlusses zwischen den einzelnen Komponenten der Mikrofonstruktur wird durch **Fig. 2** veranschaulicht, die die Potentialverhältnisse innerhalb der Mikrofonstruktur wiedergibt. Bei beiden voranstehend beschriebenen Betriebsvarianten wird die Messkapazität mit einer relativ hohen Ladespannung aufgeladen. Dementsprechend befinden sich die Gegenelektrode 12 und die Membran 11 mit den Anschlängen 112 auf unterschiedlichen elektrischen Potentialen. Die Größe der Po-

tentialdifferenz ist in **Fig. 2** durch die unterschiedliche Schraffurbreite dargestellt. **Fig. 2** verdeutlicht außerdem, dass die Randbereiche 124 und 134 der Gegenelemente 12 und 13 durch Isolationsgräben 125 und 135 von den Elektrodenbereichen der Gegenelemente 12 und 13 elektrisch abgekoppelt aber mechanisch miteinander verbunden sind. Diese Randbereiche 124 und 134 können nun entweder auf das Membranpotential gelegt werden, oder von außen auf ein Potential gelegt werden, das sehr nahe am Membranpotential liegt. Da die Anschlüsse 122 des Gegenelements 12 im Randbereich 124 ausgebildet sind und die Anschlüsse 112 der Membran 11 in Überlastsituationen lediglich mit dem Randbereich 134 des Gegenelements 13 in Berührung treten, können hier allenfalls geringe Ströme zwischen der Membran 11 und den Gegenelementen 12 bzw. 13 fließen, die weder einen Kurzschluss verursachen noch zum Anschweißen der Membran 11 ausreichen.

**[0023]** Die Herstellung des in den Figuren 1 und 2 dargestellten Bauelements 10 wird nachfolgend anhand der **Figuren 3a bis 3h** erläutert.

**[0024]** Das Herstellungsverfahren geht von einem Substrat 1 aus, wie z.B. einem Siliziumwafer, auf dem zunächst eine erste Opferschicht 2 abgeschieden und strukturiert wird. Dabei wird ein Negativabdruck der Anschlüsse 112 der Membran 11 erzeugt. Typischerweise handelt es sich bei dem Opferschichtmaterial um ein thermisches Oxid oder ein TEOS-Oxid, das im Rahmen des Bauelements 10 auch eine elektrische Isolation für einzelne Schichtbereiche bildet. **Fig. 3a** zeigt den Schichtaufbau nach dem Aufbringen einer weiteren Opferschicht 3, in die sich die Strukturierung der Opferschicht 2 übertragen hat.

**[0025]** Nun wird eine Polysiliziumschicht als Membranschicht 4 abgeschieden, dotiert und strukturiert, wie in **Fig. 3b** dargestellt. Dabei kann auch eine Federaufhängung für die Membran 11 realisiert werden, um Membranauslenkungen zu begünstigen und so die Mikrofonempfindlichkeit zu steigern.

**[0026]** Auf der strukturierten Membranschicht 4 wird eine weitere Opferschicht 5 abgeschieden und strukturiert, wobei ein Negativabdruck der Anschlüsse 122 des Gegenelements 12 erzeugt wird. **Fig. 3c** zeigt den Schichtaufbau nach dem Aufbringen einer weiteren Opferschicht 6, in die sich die Strukturierung der Opferschicht 5 übertragen hat.

**[0027]** Im hier beschriebenen Ausführungsbeispiel wird nun eine Polysilizium-Startschicht 7 abgeschieden und strukturiert, was in **Fig. 3d** dargestellt ist. Diese Startschicht 7 wird nachfolgend für die Erzeugung des Gegenelements 12 genutzt.

**[0028]** Die Definition der Randbereiche 124 und 134 der Gegenelemente 12 und 13 und die Definition der Kontakte für das Substrat 1, für die Randbereiche 124 und 134, für die Kompensationselektrode 33 und die Membran 11 erfolgt hier in einem Ätzschritt im Anschluss an die Strukturierung der Startschicht 7. Alternativ kann dies aber auch schon vorher durch eine entsprechende Struk-

turierung der Opferschichten 2, 3 und 5, 6 vorgenommen werden.

**[0029]** Im hier beschriebenen Ausführungsbeispiel wird nach diesem Ätzschritt eine dicke Epi-Polysiliziumschicht 8 auf dem Schichtaufbau abgeschieden, was in **Fig. 3e** dargestellt ist. Aus dieser Epi-Polysiliziumschicht 8 wird das feststehende Gegenelement 12 herausgebildet. Dazu wird die Epi-Polysiliziumschicht 8 dotiert und kann außerdem noch zur besseren Weiterverarbeitung in einem CMP-Schritt planarisiert werden.

Alternativ dazu kann das Gegenelement auch in einer dünneren Polysiliziumschicht realisiert werden, die steifer als die Membran aufgehängt ist, oder in einem Schichtstapel aus Polysilizium und Oxid bzw. Nitrid, der unter Zugstress steht. Auf diese Weise kann ebenfalls erreicht werden, dass das Gegenelement weniger auf Schallwellen reagiert als die Membran.

**[0030]** Zur späteren elektrischen Kontaktierung kann nun eine Metallschicht oder ein Metallschichtstapel abgeschieden und strukturiert werden. Dies kann noch vor der Strukturierung des Gegenelements 12 bzw. die Epi-Polysiliziumschicht 8 erfolgen oder auch zu einem späteren Zeitpunkt.

**[0031]** Die Epi-Polysiliziumschicht 8 wird in einem von der Vorderseite bzw. Oberseite des Schichtaufbaus ausgehenden Trenchschritt strukturiert. Dabei werden die Durchgangsöffnungen 121 sowie die Isolationsgräben 125 erzeugt, was in **Fig. 3f** dargestellt ist. Die Opferschicht 6 wirkt als Stoppschicht für diesen Trenchprozess.

**[0032]** Nachfolgend wird die Bearbeitung der Substratrückseite beschrieben, die innerhalb der Prozessfolge auch vorgezogen werden kann.

In der Regel wird das Substrat 1 zunächst abgedünnt. Dann werden die Größe und Lage des zweiten Gegenelements 13 mit Hilfe einer Rückseitenmaskierung definiert. In einem Rückseiten-Trenchprozess wird schließlich über die Trenchtiefe noch die Dicke des zweiten Gegenelements 13 bzw. der Kompensationselektrode 33 eingestellt. Das Gegenelement 13 wird dann in einem weiteren Trenchschritt strukturiert, wobei zum einen die Durchgangsöffnungen 131 erzeugt werden und zum anderen die elektrische Entkopplung des Randbereichs 134 über die Isolationsgräben 135. Bei diesem Trenchschritt dient die Opferschicht 2 als Ätzstoppschicht. Der resultierende Schichtaufbau ist in **Fig. 3g** dargestellt.

**[0033]** Schließlich wird noch die Membran 11 freigelegt, indem das Opferschichtmaterial beispielsweise mit Hilfe von HF oder in einem Gasphasenätzverfahren rund um die Membran 11 entfernt wird. Dabei werden die Durchgangsöffnungen 121, 131 und die Isolationsgräben 125 und 135 als Ätzzugänge genutzt. **Fig. 3h** zeigt die dabei entstehende Bauelementstruktur und entspricht im Wesentlichen der **Fig. 1**.

**[0034]** An dieser Stelle sei angemerkt, dass auch Abweichungen von der voranstehend beschriebenen Prozessfolge möglich sind. So kann der rückseitige Trench-

prozess auch vor dem Vorderseiten-Trenchprozess gefahren werden. Außerdem kann es sich als günstig erweisen, bereits nach dem ersten Trenchschritt einen Teil des Opferschichtmaterials zu entfernen. Die Membran wird dann nach dem zweiten Trenchschritt in einem zweiten Ätzschritt vollständig freigestellt. Eine dielektrische Beschichtung der Membran und/oder der Oberflächen der Gegenelemente, die der Membran zugewandt sind, kann durch Abscheidung eines geeigneten Materials vor bzw. nach dem Erzeugen der jeweiligen Opferschichten realisiert werden. Als Beschichtungsmaterial eignet sich beispielsweise SiN oder siliziumreiches Nitrid, da dessen Ätzrate deutlich geringer ist, als die des Opferschichtmaterials und die Haftkraft zwischen SiN bzw. siliziumreichem Nitrid und Silizium sehr gering ist.

## Patentansprüche

1. Bauelement (10) mit einer mikromechanischen Mikrofonsstruktur, mindestens umfassend

- eine durch den Schalldruck auslenkbare Membran (11), die als auslenkbare Elektrode fungiert,
- ein feststehendes akustisch durchlässiges Gegenelement (12), das mindestens eine Gegenelektrode (22) umfasst, und
- Mittel zum Anlegen einer Ladespannung zwischen der Membran (11) und der Gegenelektrode (22);

**dadurch gekennzeichnet, dass** ein zweites feststehendes und akustisch durchlässiges Gegenelement (13) vorgesehen ist, das mindestens eine Kompensationselektrode (33) umfasst, dass die Membran (11) zwischen der Gegenelektrode (22) und der Kompensationselektrode (33) angeordnet ist, und dass Mittel zum Anlegen einer Kompensationsspannung zwischen der Gegenelektrode (22) und der Kompensationselektrode (33) vorgesehen sind.

2. Bauelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrofonsstruktur im wesentlichen spiegelsymmetrisch zur Membran ist.

3. Bauelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abstand zwischen der Gegenelektrode und der Membran und der Abstand zwischen der Kompensationselektrode und der Membran unterschiedlich sind.

4. Bauelement nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gegenelektrode und die Kompensationselektrode mit unterschiedlichen Loch- bzw. Gittergeometrien realisiert sind.

5. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **da-**

- durch gekennzeichnet, dass** die Membranoberflächen und/oder die der Membran zugewandte Oberfläche des ersten und/oder zweiten Gegenelements mit einer dielektrischen Beschichtung versehen sind.
6. Bauelement (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrofonstruktur einen Überlastschutz in Form von Anschlägen (112, 122) umfasst, die in den Oberflächen der Membran (11) und/oder in der der Membran (11) zugewandten Oberfläche des ersten und/oder zweiten Gegenelements (12) ausgebildet sind.
7. Bauelement nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anschläge (122) in einem elektrischen isolierten Bereich (124) angeordnet sind, so dass sie auf ein definiertes Potential gelegt werden können, insbesondere auf das Potential der Membran (11) oder ein Potential, das sich nur wenig vom Potential der Membran (11) unterscheidet.
8. Verfahren zum Betreiben eines Bauelements mit einer mikromechanischen Mikrofonstruktur mit
- mit einer akustisch aktiven Membran (11), die zwischen zwei feststehenden und akustisch durchlässigen Gegenelementen (12, 13) angeordnet ist, wobei das eine Gegenelement (12) mindestens eine Gegenelektrode (22) umfasst und das andere Gegenelement (13) mindestens eine Kompensationselektrode (33) umfasst,
  - mit Mitteln zum Anlegen einer Ladespannung zwischen der Membran (11) und der Gegenelektrode (22) und
  - mit Mitteln zum Anlegen einer Kompensationsspannung zwischen der Gegenelektrode (22) und der Kompensationselektrode (33);
- dadurch gekennzeichnet, dass** die Kompensationsspannung so gewählt wird, dass die durch die Ladespannung bedingten elektrostatischen Anziehungskräfte zwischen der Gegenelektrode (22) und der Membran (11) aufgehoben werden, und dass die sich aufgrund der Auslenkung der Membran (11) ändernde Spannung zwischen der Gegenelektrode (22) und der Membran (11) als Mikrofonsignal abgegriffen wird.
9. Verfahren zum Betreiben eines Bauelements mit einer mikromechanischen Mikrofonstruktur mit
- mit einer akustisch aktiven Membran (11), die zwischen zwei feststehenden und akustisch durchlässigen Gegenelementen (12, 13) angeordnet ist, wobei das eine Gegenelement (12) mindestens eine Gegenelektrode (22) umfasst und das andere Gegenelement (13) mindestens
- eine Kompensationselektrode (33) umfasst,
- mit Mitteln zum Anlegen einer Ladespannung zwischen der Membran (11) und der Gegenelektrode (22) und
  - mit Mitteln zum Anlegen und Regeln einer Kompensationsspannung zwischen der Gegenelektrode (22) und der Kompensationselektrode (33);
- dadurch gekennzeichnet, dass** die sich aufgrund der Auslenkung der Membran (11) ändernde Spannung zwischen der Gegenelektrode (22) und der Membran (11) als Stellgröße für die Regelung der Kompensationsspannung abgegriffen wird und dass die Kompensationsspannung so geregelt wird, dass die Membran (11) möglichst in ihrer Ruhelage gehalten wird.
10. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abstände der Gegenelektrode (22) und der Kompensationselektrode (33) zur Ruhelage der Membran (11) und/oder deren Loch- bzw. Gittergeometrien bei der Wahl bzw. Regelung der Kompensationsspannung berücksichtigt werden.
11. Verfahren zur Herstellung eines Bauelements mit einer mikromechanischen Mikrofonstruktur, insbesondere zur Herstellung eines Bauelements (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die Membran (11) und ein erstes feststehendes akustisch durchlässiges Gegenelement (12) im Schichtaufbau über einem Substrat (1) realisiert wird, indem
- auf die Substratoberfläche mindestens eine erste elektrisch isolierende Opferschicht (2, 3) aufgebracht und strukturiert wird,
  - über der mindestens einen ersten Opferschicht (3) eine zumindest bereichsweise elektrisch leitfähige Membranschicht (4) erzeugt und strukturiert wird,
  - über der Membranschicht (4) mindestens eine zweite elektrisch isolierende Opferschicht (5, 6) aufgebracht und strukturiert wird,
  - über der mindestens einen zweiten Opferschicht (6) eine zumindest bereichsweise elektrisch leitfähige Schicht (7, 8) zur Realisierung des ersten feststehenden Gegenelements (12) erzeugt wird,
  - diese leitfähige Schicht (7, 8) in einem Vorderseiten-Trenchprozess strukturiert wird, wobei die zweite Opferschicht (6) als Stoppschicht dient,
  - das Substrat (1) zur Realisierung eines zweiten feststehenden Gegenelements (13) von der Substratrückseite ausgehend zumindest im Membranbereich abgedünnt und in einem Rückseiten-Trenchprozess strukturiert wird,

wobei die erste Opferschicht (2) als Stoppschicht dient,

- die mindestens eine erste und die mindestens eine zweite Opferschicht (2, 3; 5, 6) zumindest im Membranbereich entfernt werden, um die Membran (11) in der Membranschicht (4) zwischen dem ersten Gegenelement (12) in der leitfähigen Schicht (7, 8) und dem zweiten Gegenelement (13) im Substrat (1) freizulegen.

#### Geänderte Patentansprüche gemäss Regel 137(2) EPÜ.

1. Bauelement (10) mit einer mikromechanischen Mikrofonstruktur, mindestens umfassend

- eine durch den Schalldruck auslenkbare Membran (11), die als auslenkbare Elektrode fungiert,

- ein feststehendes akustisch durchlässiges Gegenelement (12), das mindestens eine Gegenelektrode (22) umfasst, und

- Mittel zum Anlegen einer Ladespannung zwischen der Membran (11) und der Gegenelektrode (22); und

- ein zweites feststehendes und akustisch durchlässiges Gegenelement (13), das mindestens eine Kompensationselektrode (33) umfasst, wobei die Membran (11) zwischen der Gegenelektrode (22) und der Kompensationselektrode (33) angeordnet ist; und

- Mittel zum Anlegen einer Kompensationsspannung zwischen der Gegenelektrode (22) und der Kompensationselektrode (33);

**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Kompensationsspannung (33) eine Abhängigkeit

- von der zwischen der Membran und der Gegenelektrode angelegten Ladespannung oder

- von der zwischen der Membran und der Gegenelektrode anliegenden durch die Auslenkung veränderte Spannung

aufweist.

2. Bauelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrofonstruktur im wesentlichen spiegelsymmetrisch zur Membran ist.

3. Bauelement nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abstand zwischen der Gegenelektrode und der Membran und der Abstand zwischen der Kompensationselektrode und der Membran unterschiedlich sind.

4. Bauelement nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gegenelektrode und die Kom-

pensationselektrode mit unterschiedlichen Loch- bzw. Gittergeometrien realisiert sind.

5. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Membranoberflächen und/oder die der Membran zugewandte Oberfläche des ersten und/oder zweiten Gegenelements mit einer dielektrischen Beschichtung versehen sind.

6. Bauelement (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mikrofonstruktur einen Überlastschutz in Form von Anschlägen (112, 122) umfasst, die in den Oberflächen der Membran (11) und/oder in der der Membran (11) zugewandten Oberfläche des ersten und/oder zweiten Gegenelements (12) ausgebildet sind.

7. Bauelement nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anschläge (122) in einem elektrischen isolierten Bereich (124) angeordnet sind, so dass sie auf ein definiertes Potential gelegt werden können, insbesondere auf das Potential der Membran (11) oder ein Potential, das sich nur wenig vom Potential der Membran (11) unterscheidet.

8. Verfahren zum Betreiben eines Bauelements mit einer mikromechanischen Mikrofonstruktur mit

- mit einer akustisch aktiven Membran (11), die zwischen zwei feststehenden und akustisch durchlässigen Gegenelementen (12, 13) angeordnet ist, wobei das eine Gegenelement (12) mindestens eine Gegenelektrode (22) umfasst und das andere Gegenelement (13) mindestens eine Kompensationselektrode (33) umfasst,

- mit Mitteln zum Anlegen einer Ladespannung zwischen der Membran (11) und der Gegenelektrode (22) und

- mit Mitteln zum Anlegen einer Kompensationsspannung zwischen der Gegenelektrode (22) und der Kompensationselektrode (33);

**dadurch gekennzeichnet, dass** die Kompensationsspannung so gewählt wird, dass die durch die Ladespannung bedingten elektrostatischen Anziehungskräfte zwischen der Gegenelektrode (22) und der Membran (11) aufgehoben werden, und dass die sich aufgrund der Auslenkung der Membran (11) ändernde Spannung zwischen der Gegenelektrode (22) und der Membran (11) als Mikrofonsignal abgegriffen wird.

9. Verfahren zum Betreiben eines Bauelements mit einer mikromechanischen Mikrofonstruktur mit

- mit einer akustisch aktiven Membran (11), die zwischen zwei feststehenden und akustisch

durchlässigen Gegenelementen (12, 13) angeordnet ist, wobei das eine Gegenelement (12) mindestens eine Gegenelektrode (22) umfasst und das andere Gegenelement (13) mindestens eine Kompensationselektrode (33) umfasst, 5

- mit Mitteln zum Anlegen einer Ladespannung zwischen der Membran (11) und der Gegenelektrode (22) und
- mit Mitteln zum Anlegen und Regeln einer Kompensationsspannung zwischen der Gegenelektrode (22) und der Kompensationselektrode (33); 10

**dadurch gekennzeichnet, dass** die sich aufgrund der Auslenkung der Membran (11) ändernde Spannung zwischen der Gegenelektrode (22) und der Membran (11) als Stellgröße für die Regelung der Kompensationsspannung abgegriffen wird und dass die Kompensationsspannung so geregelt wird, dass die Membran (11) möglichst in ihrer Ruhelage gehalten wird. 15 20

**10. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass** die Abstände der Gegenelektrode (22) und der Kompensationselektrode (33) zur Ruhelage der Membran (11) und/oder deren Loch- bzw. Gittergeometrien bei der Wahl bzw. Regelung der Kompensationsspannung berücksichtigt werden. 25 30

30

35

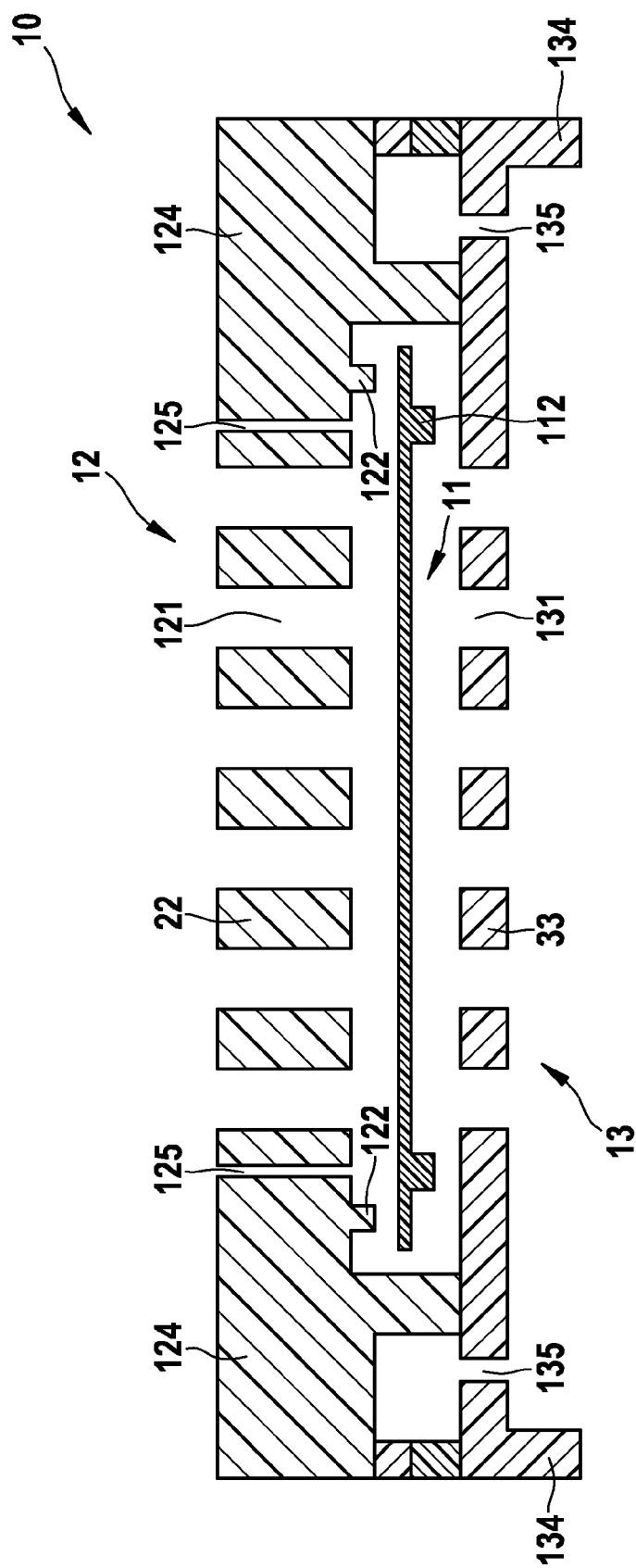
40

45

50

55





**Fig. 1**

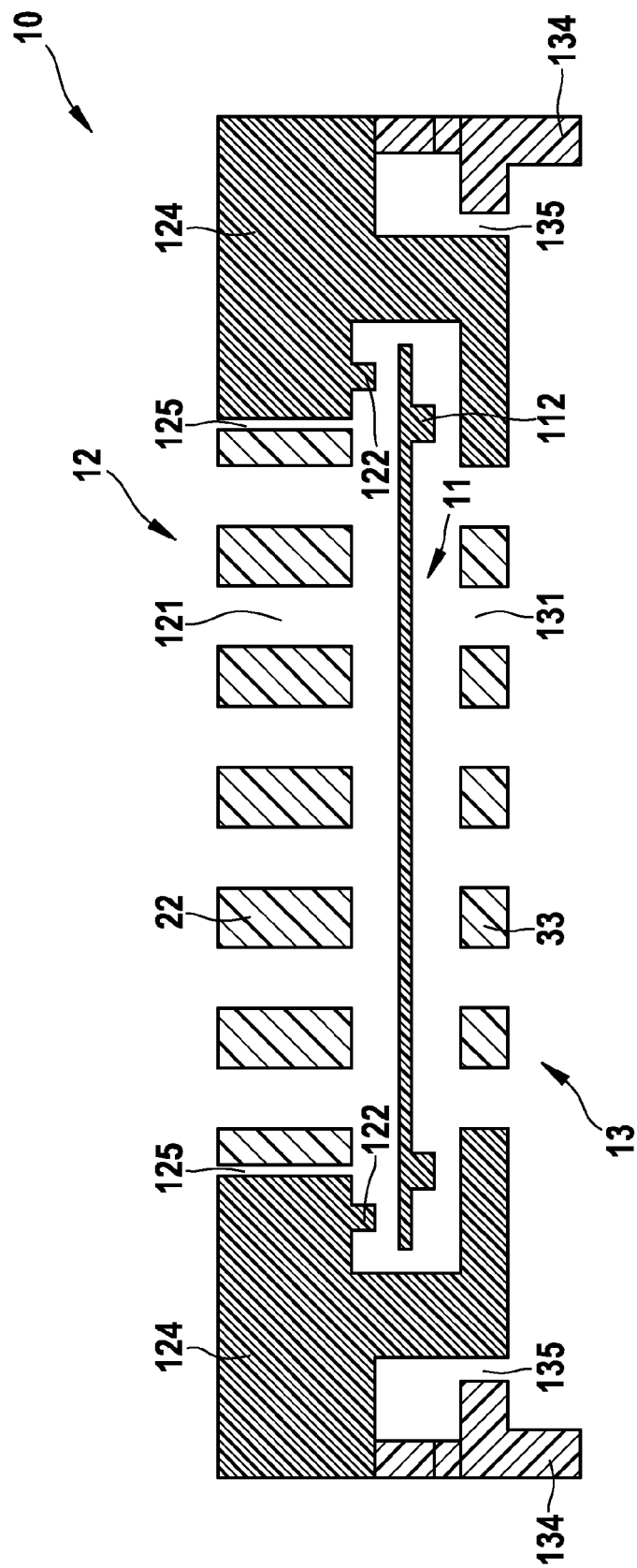
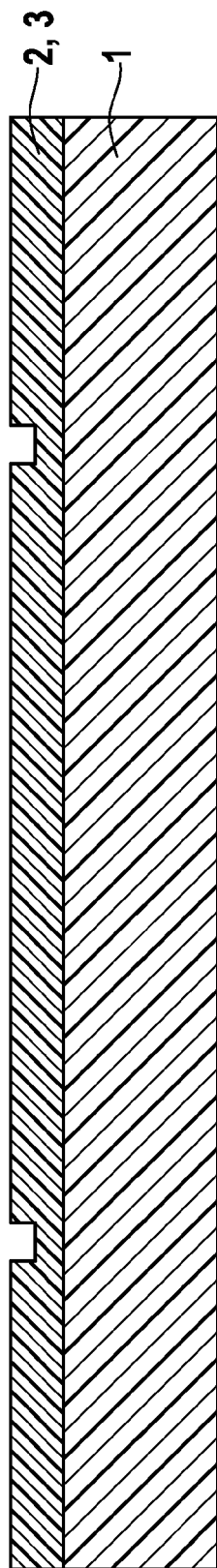


Fig. 2



**Fig. 3a**

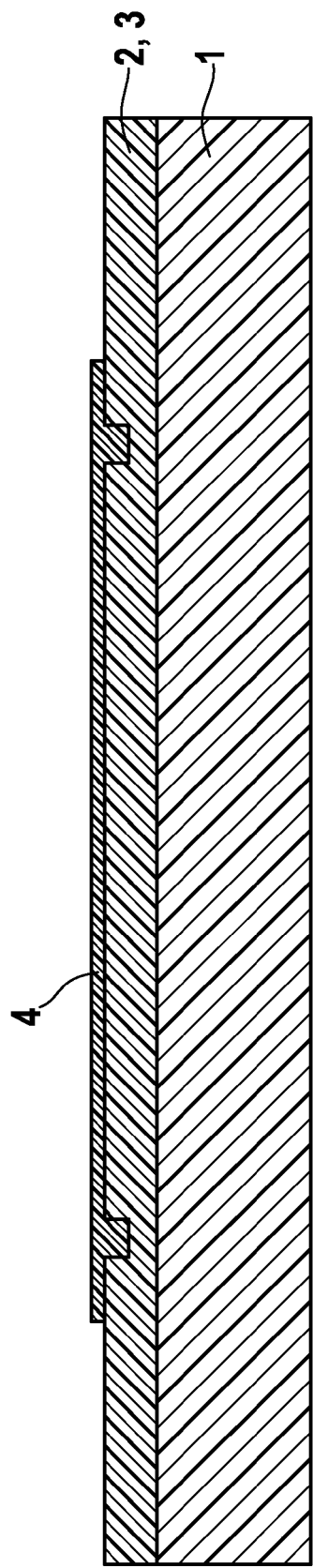


Fig. 3b

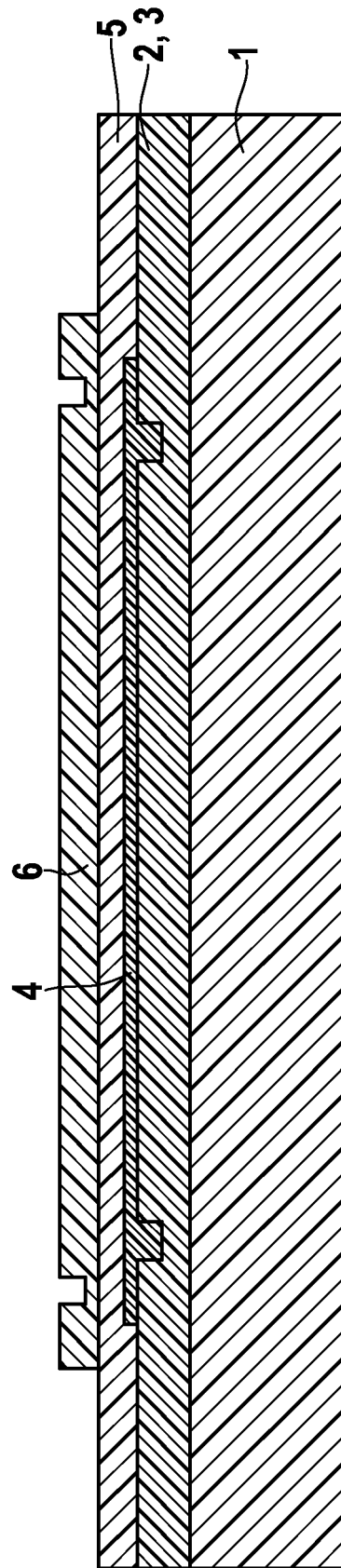


Fig. 3c

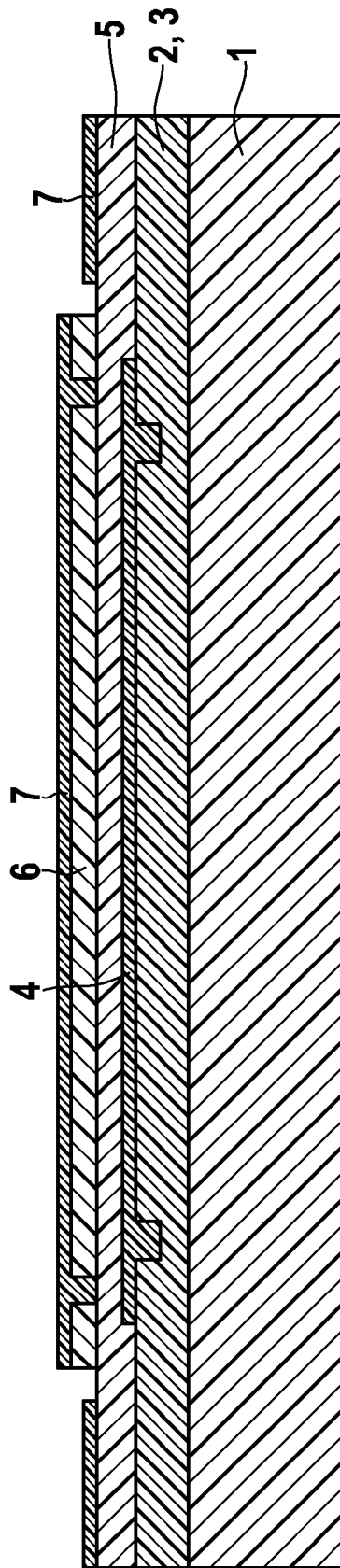


Fig. 3d

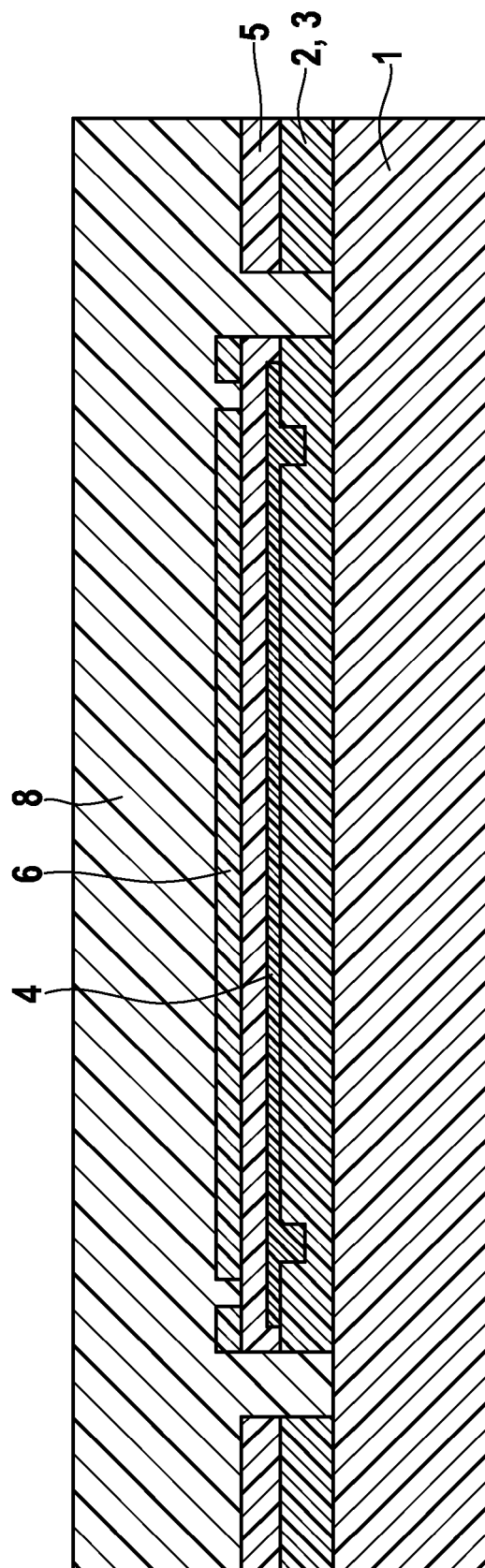


Fig. 3e

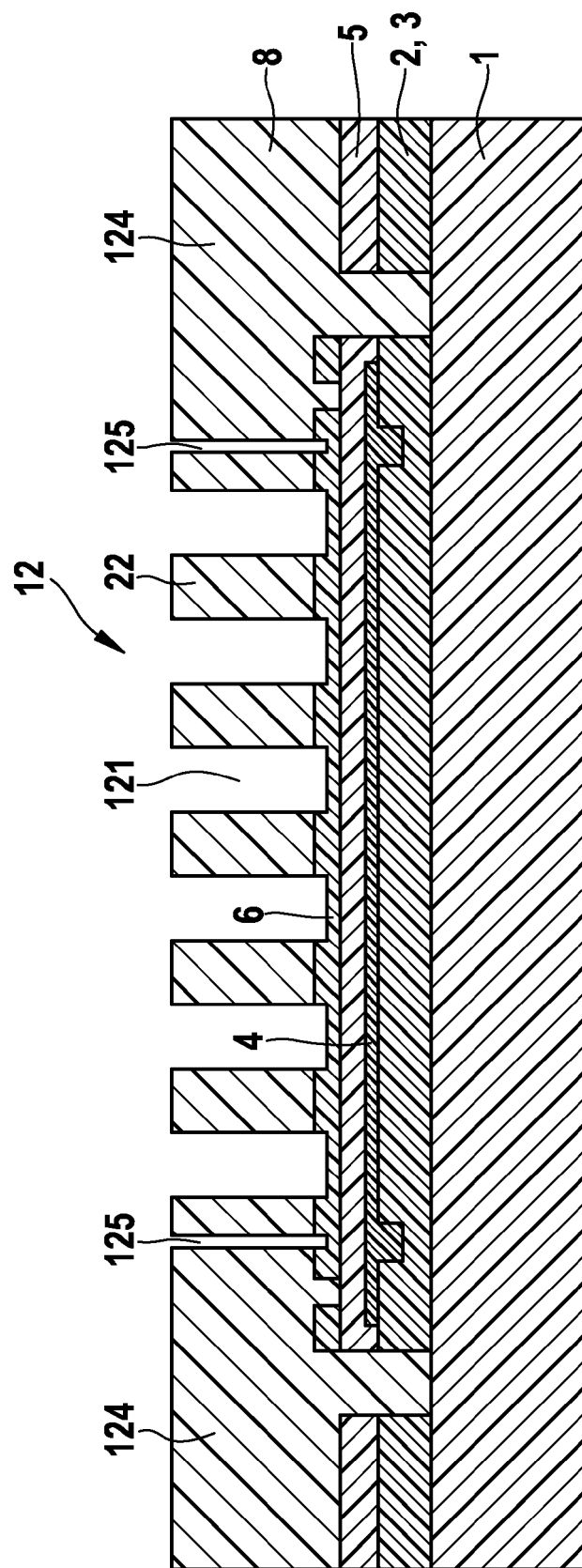
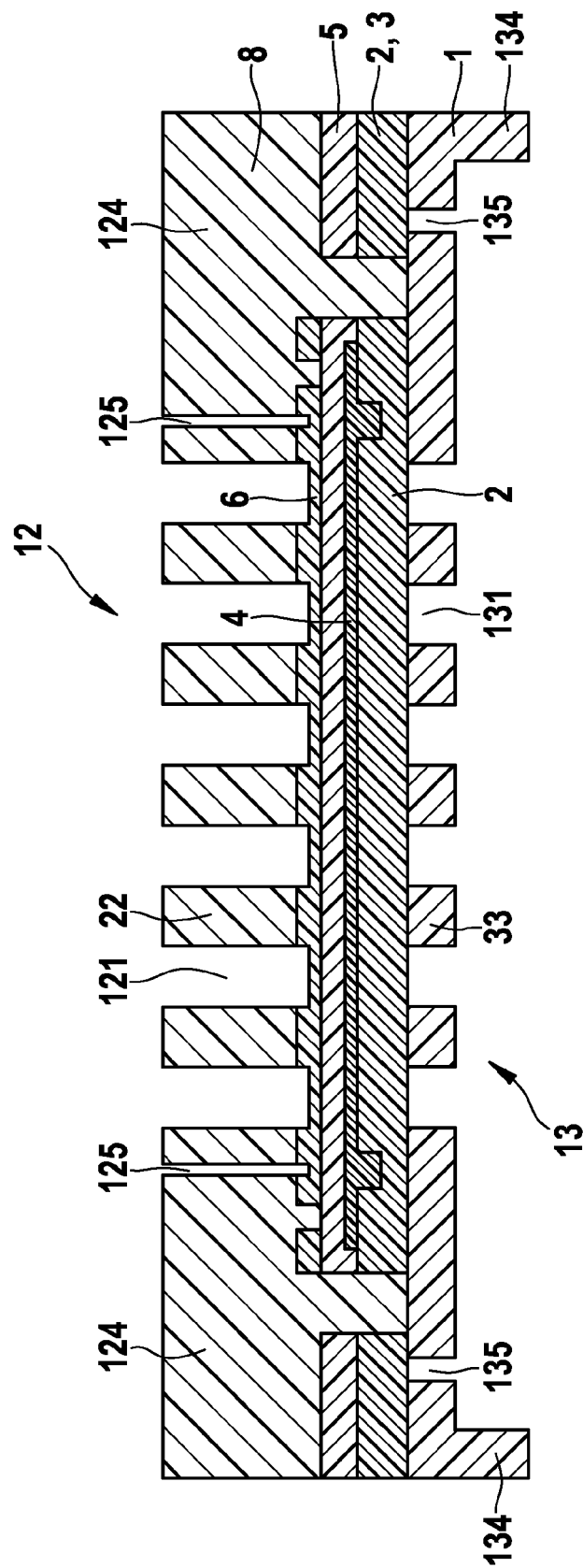
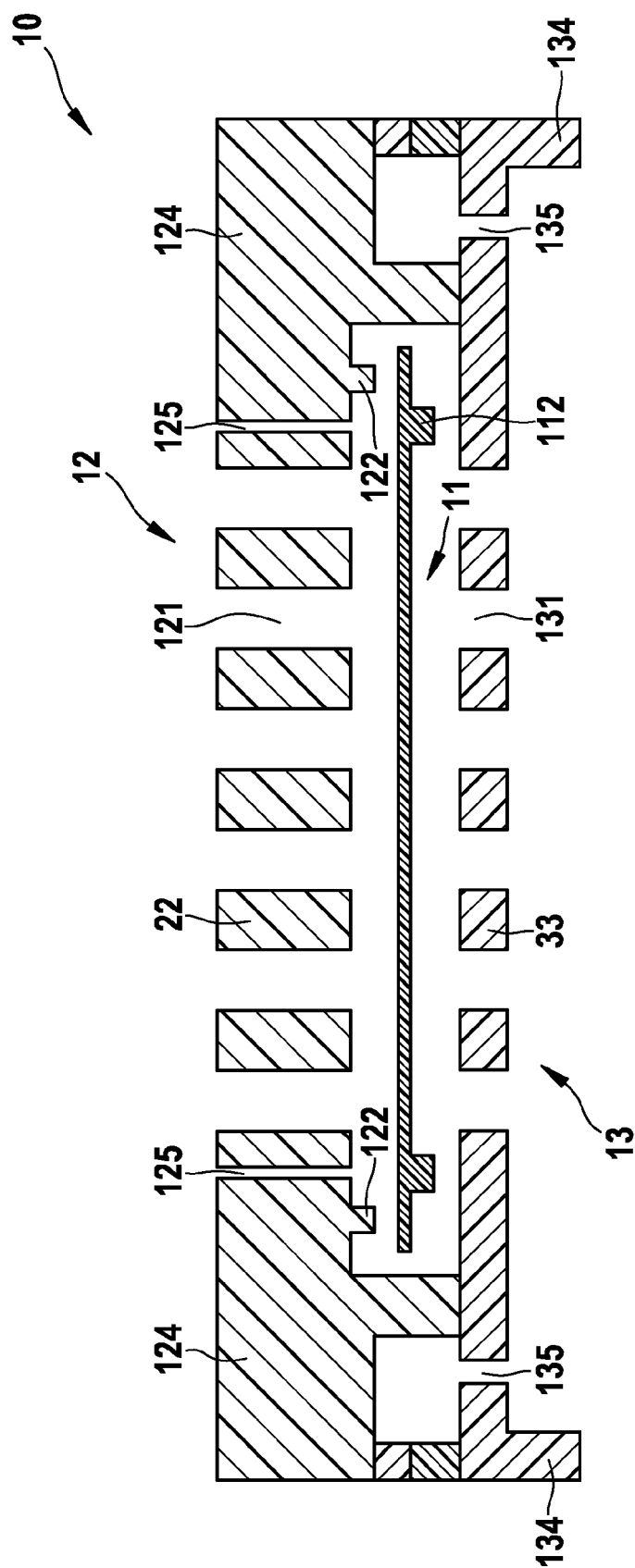


Fig. 3f







**Fig. 3h**



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 09 17 8802

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 10 2005 056759 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 31. Mai 2007 (2007-05-31)	1-5, 11	INV.
A	* Absatz [0015] - Absatz [0022]; Abbildungen 3-5 *	6-10	H04R19/00
A	DE 10 2005 008512 A1 (EPCOS AG [DE]) 31. August 2006 (2006-08-31) * Absatz [0024] *	1-11	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			H04R
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 7. Mai 2010	Prüfer Borowski, Michael
<p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument &amp; : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>			

 2  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 09 17 8802

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

07-05-2010

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102005056759 A1	31-05-2007	EP 1958480 A1	20-08-2008
		WO 2007062975 A1	07-06-2007
		JP 2009517940 T	30-04-2009
		US 2010002543 A1	07-01-2010
-----			
DE 102005008512 A1	31-08-2006	WO 2006089638 A1	31-08-2006
		JP 2008532369 T	14-08-2008
		US 2008247585 A1	09-10-2008
-----			

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82