

(19)



(11)

EP 3 087 760 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
13.03.2019 Patentblatt 2019/11

(51) Int Cl.:
H04R 7/10 (2006.01) **H04R 17/00** (2006.01)
B81B 3/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **14820823.4**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2014/078220

(22) Anmeldetag: **17.12.2014**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2015/097035 (02.07.2015 Gazette 2015/26)

(54) **MIKRO-ELEKTROMECHANISCHER SCHALLWANDLER MIT SCHALLENERGIEREFLEKTIERENDER ZWISCHENSCHICHT**

MICRO-ELECTROMECHANICAL SOUND TRANSDUCER WITH SOUND ENERGY-REFLECTING INTERLAYER

TRANSDUCTEUR ACOUSTIQUE MICROÉLECTROMÉCANIQUE AVEC COUCHE INTERMÉDIAIRE RÉFLÉCHISSANT L'ÉNERGIE ACOUSTIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL 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 RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **23.12.2013 DE 102013114826**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
02.11.2016 Patentblatt 2016/44

(73) Patentinhaber: **Usound GmbH**
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
• **RUSCONI CLERICI BELTRAMI, Andrea**
1130 Wien (AT)
• **BOTTONI, Ferruccio**
8020 Graz (AT)

(74) Vertreter: **Bergmeier, Werner**
Canzler & Bergmeier
Patentanwälte Partnerschaft mbB
Friedrich-Ebert-Straße 84
85055 Ingolstadt (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1-102005 008 512 DE-A1-102005 008 514
DE-A1-102009 002 986 US-A- 4 861 420
US-A1- 2011 120 843 US-A1- 2013 051 587
US-A1- 2013 307 375 US-A1- 2013 329 920

- **EUN SOK KIM: "Piezoelectric MEMS for audio signal transduction, microfluidic management, resonant mass sensing, and movable surface micromachined structures", ULTRASONICS SYMPOSIUM, 2008. IUS 2008. IEEE, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 2. November 2008 (2008-11-02), Seiten 924-929, XP031443488, ISBN: 978-1-4244-2428-3**
- **EUN SOK KIM ET AL: "Piezoelectric bimorph microphone built on micromachined Parylene Diaphragm", JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, IEEE SERVICE CENTER, US, Bd. 12, Nr. 6, 1. Dezember 2003 (2003-12-01), Seiten 892-898, XP011105271, ISSN: 1057-7157, DOI: 10.1109/JMEMS.2003.820288**
- **YAN-HONG ZHANG ET AL: "A Novel Pressure Microsensor With 30--Thick Diaphragm and Meander-Shaped Piezoresistors Partially Distributed on High-Stress Bulk Silicon Region", IEEE SENSORS JOURNAL, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, Bd. 7, Nr. 12, 1. Dezember 2007 (2007-12-01), Seiten 1742-1748, XP011196376, ISSN: 1530-437X, DOI: 10.1109/JSEN.2007.910298**
- **Zhaoying Zhou ET AL: "Structure Materials for Microsystems (Chapter 3.3)" In: "Microsystems and Nanotechnologie", 30 August 2012 (2012-08-30), Springer Berlin Heidelberg, XP055386766, ISBN: 978-3-642-18292-1 pages 89-105, * page 99 - page 100; table 3.9 ***

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 3 087 760 B1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen MEMS-Schallwandler zum Erzeugen und/oder Erfassen von Schallwellen im hörbaren Wellenlängenspektrum mit einem Trägersubstrat, einem in dem Trägersubstrat ausgebildeten Hohlraum, der zumindest eine Öffnung aufweist, und einer mehrschichtigen piezoelektrischen Membranstruktur, welche die Öffnung des Hohlraums überspannt und in ihrem Randbereich mit dem Trägersubstrat verbunden ist, so dass sie zur Erzeugung und/oder Erfassung von Schallenergie gegenüber dem Trägersubstrat zu schwingen vermag, wobei die Membranstruktur zumindest bereichsweise im Querschnitt eine erste und eine zweite Piezoschicht umfasst. Ferner betrifft die Erfindung einen Chip, insbesondere einen Silizium-Chip, zum Erzeugen und/oder Erfassen von Schallwellen im hörbaren Wellenlängenspektrum mit mehreren arrayartig zueinander angeordneten und/oder getrennt voneinander ansteuerbaren MEMS-Schallwandlern.

[0002] Die Bezeichnung MEMS steht für mikroelektromechanische Systeme. MEMS-Schallwandler können als Mikrofone und/oder Lautsprecher ausgebildet sein. Die Schallerzeugung bzw. Schallerfassung erfolgt über eine schwingbar gelagerte Membran des MEMS-Schallwandlers. Die Membran kann über piezoelektrische Betätigungsglieder zur Erzeugung einer Schallwelle in Schwingung versetzt werden. Ein derartiger Mikrolautsprecher muss in der Regel eine hohe Luftvolumenverschiebung erzeugen, um einen signifikanten Schalldruckpegel zu erreichen. Ein derartiger Mikrolautsprecher ist beispielsweise aus der DE 10 2012 220 819 A1 bekannt.

[0003] Alternativ kann der MEMS-Schallwandler aber auch als Mikrofon ausgebildet sein, wobei hierbei die akustische Anregung der Membran über die piezoelektrischen Elemente in elektrische Signale umgewandelt werden. Ein derartiges MEMS-Mikrofon ist beispielsweise aus der DE 10 2005 008 511 A1 bekannt.

[0004] Aus der US-Patentanmeldung mit der Veröffentlichungsnummer US 2011/0120843 A1 ist ein piezoelektrischer MEMS-Lautsprecher bekannt. Dieser Lautsprecher umfasst eine Membranstruktur mit zwei zueinander beabstandeten Piezoschichten. Zwischen den Piezoschichten befinden sich jeweilige Elektrodenschichten und eine Zwischenschicht.

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es einen MEMS-Schallwandler sowie einen Chip mit einem derartigen MEMS-Schallwandler zu schaffen, mittels dem der piezoelektrische Effekt verstärkt werden kann. Die Aufgabe wird gelöst durch einen MEMS-Schallwandler sowie einen Chip mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche.

Erfindungsgemäß wird ein MEMS-Schallwandler zum Erzeugen und/oder Erfassen von Schallwellen im hörbaren Wellenlängenspektrum vorgeschlagen. Der MEMS-Schallwandler ist somit vorzugsweise als MEMS-Lautsprecher und/oder MEMS-Mikrofon ausgebildet. Der

MEMS-Schallwandler umfasst ein Trägersubstrat mit einem Hohlraum. Der Hohlraum weist zumindest eine Öffnung auf. Vorzugsweise weist der Hohlraum zwei, insbesondere zueinander an zwei gegenüberliegenden Seiten des Trägersubstrats ausgebildete, Öffnungen auf. Das Trägersubstrat ist insbesondere als, vorzugsweise geschlossener, Rahmen ausgebildet. Der MEMS-Schallwandler umfasst ferner eine mehrschichtige piezoelektrische Membranstruktur. Hierbei weist die Membranstruktur mehrere fest miteinander verbundene Schichten auf, von denen zumindest eine Schicht piezoelektrische Eigenschaften aufweist. Die Membranstruktur überspannt die Öffnung des Hohlraums. Des Weiteren ist die Membranstruktur in ihrem Randbereich mit dem Trägersubstrat verbunden, so dass sie zur Erzeugung und/oder Erfassung von Schallenergie gegenüber dem Trägersubstrat, insbesondere dem Rahmen, zu schwingen vermag. Die Membranstruktur umfasst zumindest bereichsweise - d.h. bei einer Draufsicht nicht zwingend über ihre gesamte Fläche erstreckend - im Querschnitt eine erste und eine zu dieser, insbesondere in Hochrichtung, beabstandet angeordnete zweite Piezoschicht. Die zweite Piezoschicht ist in der Seitenansicht vorzugsweise oberhalb der ersten Piezoschicht angeordnet, so dass sich die zweite Piezoschicht gegenüber der ersten Piezoschicht vorzugsweise im Bereich der dem Trägersubstrat abgewandten Seite der ersten Piezoschicht befindet.

[0006] Im Bereich zwischen den beiden Piezoschichten ist eine Zwischenschicht angeordnet. Zumindest eine der beiden Piezoschichten kann unmittelbar an der Zwischenschicht anliegen oder alternativ auch durch weitere Schichten von der Zwischenschicht beabstandet sein. Die Zwischenschicht ist derart ausgebildet, dass mittels ihrer Schallenergie, die zuvor aufgrund der akustischen Impedanz an einer zwischen der Membranstruktur und der angrenzenden Luft ausgebildeten Grenzfläche der Membranstruktur zurückgeworfen wurde, wieder in Richtung dieser Grenzfläche reflektierbar ist. Hierdurch wird der piezoelektrische Effekt der Membranstruktur verstärkt. Die Zwischenschicht ist demnach schallenergiereflektierend und/oder den piezoelektrischen Effekt der Membranstruktur verstärkend ausgebildet.

[0007] Bei der Übertragung von Schallenergie von einem ersten Medium, insbesondere der Membranstruktur, auf ein zweites Medium, insbesondere der an die Membranstruktur angrenzenden Luft, treten insbesondere dann Impedanzprobleme auf, wenn die akustische Impedanz der beiden Medien sehr unterschiedlich ist. Dies ist bei der Membranstruktur und der angrenzenden Luft der Fall. Aufgrund dessen wird ein Teil der Schallenergie an der Grenzfläche dieser beiden Medien, das heißt an der Grenzfläche zwischen der Membranstruktur und der daran angrenzenden Luft, wieder reflektiert bzw. zurückgeworfen. Hierdurch wird die Effektivität der Membranstruktur bei der Schallerzeugung und/oder Schallerfassung reduziert. Um beispielsweise bei der Schallerzeugung die Schallenergieübertragung von der Memb-

ranstruktur auf die Luft zu verbessern, ist, wie bereits vorstehend erwähnt, zwischen den beiden Piezoschichten die Zwischenschicht angeordnet. Hierbei ist der akustische Impedanzwert der Zwischenschicht in Bezug auf zumindest eine der beiden Piezoschichten derart gewählt, dass die an der Grenzfläche zur Luft zurückgeworfene Schallenergie durch die Zwischenschicht wieder in Richtung der Grenzfläche reflektiert wird. Hierdurch kann von der Membranstruktur eine größere Schallenergie an die Luft übertragen werden. Vorteilhafterweise weist die Zwischenschicht und/oder zumindest eine der Piezoschichten zueinander einen großen Impedanzunterschied auf.

[0008] Vorteilhaft ist es, wenn die Zwischenschicht im Vergleich zu zumindest einer der beiden Piezoschichten eine geringere Dichte aufweist. Hierdurch kann vorteilhafterweise der Impedanzunterschied zwischen der Zwischenschicht und zumindest einer der beiden Piezoschichten vergrößert werden, so dass von der Zwischenschicht mehr Schallenergie reflektierbar ist.

[0009] Eine Verstärkung des piezoelektrischen Effektes der Membranstruktur kann insbesondere dann erzielt werden, wenn die Zwischenschicht aus Siliciumoxid, Siliciumnitrid und/oder Polysilicium hergestellt ist. Diese Materialien weisen im Vergleich zu den bekannten Piezomaterialien eine geringere Dichte auf, so dass die Schallenergie-Reflektionseigenschaften der Zwischenschicht erhöht werden können.

[0010] Um einen möglichst großen Impedanzunterschied zwischen der Zwischenschicht und zumindest einer der beiden Piezoschichten realisieren zu können, ist es vorteilhaft, wenn zumindest eine der beiden Piezoschichten aus Blei-Zirkonat-Titanat und/oder Aluminiumnitrid hergestellt ist.

[0011] In einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung sind die beiden Piezoschichten jeweils zwischen einer unteren und einer oberen Elektrodenschicht eingebettet. In der Querschnittsansicht weist die Membranstruktur somit vorteilhafterweise vom Trägersubstrat ausgehend eine erste untere Elektrodenschicht, eine erste Piezoschicht, eine erste obere Elektrodenschicht, eine Zwischenschicht, eine zweite untere Elektrodenschicht, eine zweite Piezoschicht und eine zweite obere Elektrodenschicht auf.

[0012] Um die beiden Piezoschichten mit ihren jeweiligen unteren und/oder oberen Elektrodenschichten voneinander elektrisch zu entkoppeln, ist es vorteilhaft, wenn die Zwischenschicht dielektrisch ausgebildet ist. Hierdurch können zusätzliche elektrische Isolierungsschichten eingespart werden.

Zum Schutz der Membranstruktur vor äußeren Einflüssen ist die Membranstruktur an ihrer dem Trägersubstrat abgewandten Seite zumindest teilweise mit einer Passivierungsschicht überzogen.

Da das Trägersubstrat vorzugsweise aus Silizium und somit elektrisch leitend ausgebildet ist, ist es vorteilhaft, wenn im Bereich zwischen dem Trägersubstrat und der untersten Elektrodenschicht der Membranstruktur eine

elektrische Isolierungsschicht, insbesondere aus Siliciumoxid, angeordnet ist.

Vorteilhafterweise umfasst die Membranstruktur eine Membranschicht, insbesondere aus Polysilicium. Die Membranschicht erstreckt sich über die gesamte Öffnung des im Trägersubstrat ausgebildeten Hohlraums. Bei einem als Mikrofon ausgebildeten MEMS-Schallwandler wird die Membranschicht durch die von außen auf sie eintreffende Schallenergie in Schwingung versetzt. Bei einem als Lautsprecher ausgebildeten MEMS-Schallwandler wird die Membranschicht zur Erzeugung von Schallwellen im hörbaren Wellenlängenspektrum mittels der entsprechend angesteuerten Piezoschichten in Schwingung versetzt. Um die Schallenergiereflektionseigenschaften der Zwischenschicht nicht negativ zu beeinflussen, ist es vorteilhaft, wenn die Membranschicht vorzugsweise im Bereich unterhalb der ersten Piezoschicht - d. h. insbesondere zwischen dem Trägersubstrat und der unteren ersten Elektrodenschicht - oder im Bereich oberhalb der zweiten Piezoschicht - d. h. insbesondere an der obersten Elektrodenschicht der zweiten Piezoschicht anliegend - angeordnet ist.

Vorteilhaft ist es, wenn die Membranstruktur auf ihrer dem Trägersubstrat abgewandten Seite mehrere und/oder zueinander unterschiedlich tief ausgebildete Kontaktvertiefungen aufweist. Vorzugsweise erstrecken sich die Kontaktvertiefungen in der Querschnittsansicht von der Oberseite der Membranstruktur bis zu jeweils unterschiedlichen Elektrodenschichten. Hierdurch können die beiden Piezoschichten über die jeweilige untere und obere Elektrodenschicht angeregt werden und/oder elektrische Signale abgegriffen werden.

[0013] Aus gleichem Grund ist es vorteilhaft, wenn in den Kontaktvertiefungen elektrische Anschlüsselemente angeordnet sind. Diese sind vorzugsweise mit der jeweiligen Elektrodenschicht, bis zu der sie sich erstrecken, elektrisch verbunden. Zusätzlich oder alternativ erstrecken sich die elektrischen Anschlüsselemente in der Querschnittsansicht vom Bereich der Oberseite der Membranstruktur über zumindest eine der beiden Seitenwände der Kontaktvertiefung bis zu deren Grund.

[0014] Auch ist es vorteilhaft, wenn das Trägersubstrat in der Draufsicht einen, insbesondere geschlossenen, Rahmen ausbildet. Der Hohlraum des Trägersubstrats weist somit an zwei gegenüberliegenden Seiten jeweils eine Öffnung auf, wodurch die Rahmenform des Trägersubstrats ausgebildet wird.

[0015] Zusätzlich oder alternativ ist es vorteilhaft, wenn die Membranstruktur, insbesondere im Innenraum des Rahmens und/oder auf ihrer dem Trägersubstrat abgewandten Seite, zumindest eine Aussparung aufweist. Im Bereich dieser Aussparung sind vorzugsweise zumindest die beiden Piezoschichten abgetragen. Die Membranstruktur weist somit in der Draufsicht zumindest einen piezoelektrischen Aktivbereich und zumindest einen, insbesondere durch die Aussparung ausgebildeten, Passivbereich auf. Nur der Aktivbereich ist somit piezoelektrisch anregbar. Der Passivbereich ist im Gegensatz da-

zu lediglich passiv mit dem damit verbundenen Aktivbereich mitbewegbar.

[0016] Vorteilhafterweise bilden der zumindest eine piezoelektrische Aktivbereich und der zumindest eine Passivbereich in der Draufsicht auf die Membranstruktur, insbesondere ein mäanderförmiges, balkenförmiges, n-balkenförmiges und/oder spiralförmiges, Muster aus. Hierdurch kann die Membranstruktur einen größeren Hub in z-Richtung des MEMS-Schallwandlers durchführen, wodurch kann ein höherer Schalldruck erzeugt werden kann.

[0017] Der piezoelektrische Aktivbereich ist vorzugsweise derart ausgebildet, dass dieser bei einem als Lautsprecher ausgebildeten MEMS-Schallwandler die Membranstruktur zum Schwingen anzuregen vermag. Der Passivbereich, der aufgrund der abgetragenen Piezoschichten nicht mehr piezoelektrisch anregbar ist, wird hingegen über den angrenzenden piezoelektrischen Aktivbereich nur mitbewegt.

[0018] Vorteilhaft ist es, wenn die Aussparung derart ausgebildet ist, dass der piezoelektrische Aktivbereich in der Draufsicht zumindest ein mit dem Rahmen verbundenes Ankerende und/oder zumindest ein gegenüber diesem in z-Richtung schwingbares freies Ende aufweist. Das freie Ende kann somit gegenüber dem Ankerende in z-Richtung des MEMS-Schallwandlers einen besonders großen Hub ausführen.

[0019] Zur Huberhöhung in z-Richtung des MEMS-Schallwandlers ist es vorteilhaft, wenn der Aktivbereich in der Draufsicht zumindest einen, insbesondere balkenförmigen, Auslenkabschnitt aufweist. Zusätzlich oder alternativ ist es vorteilhaft, wenn in der Querschnittsansicht des Auslenkbereiches im Falle zumindest einer der beiden Piezoschichten zumindest eine der beiden Elektroden-schichten gegenüber der damit korrespondierenden Piezoschicht asymmetrisch angeordnet ist. Durch diese asymmetrische Anordnung der Elektroden-schicht gegenüber der damit korrespondierenden Piezoschicht kann der Auslenkabschnitt bzw. der Aktivbereich beim Anlegen einer Spannung um seine Längsachse tordieren. Hierdurch kann vorteilhafterweise der Hub des Aktivbereiches in z-Richtung des MEMS-Schallwandlers erhöht werden.

[0020] Der z-Hub der Membranstruktur kann ferner dadurch erhöht werden, wenn der Aktivbereich in der Draufsicht zumindest einen ersten Auslenkabschnitt, einen zweiten Auslenkabschnitt und/oder einen zwischen diesen beiden ausgebildeten Umlenkabschnitt aufweist. Hierbei ist das Ankerende vorzugsweise an dem dem Umlenkabschnitt abgewandten Ende des ersten Auslenkabschnittes und das freie Ende an dem dem Umlenkabschnitt abgewandten Ende des zweiten Auslenkabschnittes ausgebildet. Aufgrund des Umlenkabschnittes kann das freie Ende des Aktivbereiches somit vorteilhafterweise um eine größere Länge in z-Richtung des MEMS-Schallwandlers ausgelenkt werden.

Um die Länge des Aktivbereiches zwischen seinem Ankerende bis zu seinem freien Ende möglichst lang aus-

bilden zu können, ist es vorteilhaft, wenn der Umlenkabschnitt die beiden Auslenkabschnitte in der Draufsicht zueinander in einem Winkelbereich von 1° bis 270° , insbesondere um 90° oder 180° , umlenkt.

[0021] Die Membranstruktur weist in der Draufsicht mehrere, getrennt voneinander ansteuerbare Wandlerbereiche auf. Diese Wandlerbereiche der einteiligen Membranstruktur weisen vorzugsweise zueinander unterschiedliche Größen und/oder unterschiedliche Muster auf. Die unterschiedlich groß ausgebildeten Wandlerbereiche können als Hoch- oder Tieftöner ausgebildet sein. Um zwei benachbarte Wandlerbereiche voneinander zumindest teilweise zu entkoppeln und/oder um die aus mehreren Wandlerbereichen bestehende einteilige Membranstruktur zu unterstützen, ist es vorteilhaft, wenn das Trägersubstrat in der Draufsicht zumindest ein im Innenraum des Rahmens ausgebildetes Stützelement aufweist. Dieses ist somit vorzugsweise zur Stützung der Membranstruktur zwischen zwei benachbarten Wandlerbereichen angeordnet. Wenn einer der beiden Wandlerbereiche zum Schwingen angeregt wird, wird der Verbindungsbereich zwischen den beiden Wandlerbereichen durch das Stützelement abgestützt, so dass der dazu benachbarte Wandlerbereich nicht oder nur teilweise mit schwingt. Des Weiteren wird ein Reißen einer sehr groß ausgebildeten Membranstruktur hierdurch vermieden.

Die beiden zueinander benachbarten Wandlerbereiche können sehr effektiv voneinander schwingungsentkoppelt werden, da das Stützelement mit seinem der Membranstruktur zugewandten Ende mit der Membranstruktur fest verbunden ist. Abweichend von der in dem unabhängigen Anspruch beanspruchten Erfindung kann es aber auch vorteilhaft sein, wenn die beiden zueinander benachbarten Wandlerbereiche nicht vollständig voneinander entkoppelt sind. Infolgedessen kann es abweichend von der beanspruchten Erfindung vorteilhaft sein, wenn das Stützelement mit seinem der Membranstruktur zugewandten Ende an der Membranstruktur lose anliegt oder in z-Richtung des MEMS-Schallwandlers von dieser beabstandet ist.

Zur akustischen Entkopplung zweier benachbarter Wandlerbereiche ist es vorteilhaft, wenn das Stützelement als Wand ausgebildet ist, die den Hohlraum vorzugsweise in zumindest zwei Hohlraumbereiche unterteilt.

Erfindungsgemäß wird ein Chip, insbesondere ein Silicium-Chip, zum Erzeugen und/oder Erfassen von Schallwellen im hörbaren Wellenlängenspektrum vorgeschlagen, der mehrere arrayartig zueinander angeordnete und/oder getrennt voneinander ansteuerbare MEMS-Schallwandler aufweist. Zumindest einer dieser MEMS-Schallwandler ist gemäß der vorangegangenen Beschreibung ausgebildet, wobei die genannten Merkmale einzeln oder in beliebiger Kombination vorhanden sein können.

Vorteilhaft ist es, wenn zumindest zwei der MEMS-Schallwandler zueinander unterschiedlich groß ausge-

bildet sind, unterschiedliche Formen und/oder unterschiedliche Muster aufweisen.

Weitere Vorteile der Erfindung sind in den nachfolgenden Ausführungsbeispielen beschrieben. Es zeigt:

Figur 1 einen Detailausschnitt eines Basisausführungsbeispiels eines MEMS-Schallwandlers im Querschnitt,

Figur 2 eine Querschnittsansicht eines nicht unter den beanspruchten Schutzzumfang fallenden Ausführungsbeispiels eines MEMS-Schallwandlers mit einer als Membranschicht wirkenden Passivierungsschicht,

Figur 3 eine Querschnittsansicht eines nicht unter den beanspruchten Schutzzumfang fallenden Ausführungsbeispiels eines MEMS-Schallwandlers mit einer Verstärkungsschicht, die aus einer unteren Isolierungsschicht ausgebildet ist und/oder sich in Vertikalrichtung nur teilweise über eine Öffnung des Trägersubstrates erstreckt,

Figur 4 eine Querschnittsansicht eines nicht unter den beanspruchten Schutzzumfang fallenden Ausführungsbeispiels eines MEMS-Schallwandlers mit einer Verstärkungsschicht, die aus einer oberen Isolierungsschicht ausgebildet ist und/oder sich in Vertikalrichtung über die gesamte Öffnung des Hohlraumes erstreckt,

Figur 5 eine Querschnittsansicht eines nicht unter den beanspruchten Schutzzumfang fallenden Ausführungsbeispiels eines MEMS-Schallwandlers mit einer Verstärkungsschicht, die aus einer oberen Isolierungsschicht ausgebildet ist und/oder sich in Vertikalrichtung nur teilweise über die Öffnung des Hohlraumes erstreckt,

Figuren 6a - 6f die einzelnen Verfahrensschritte zum Herstellen eines MEMS-Schallwandlers des in Fig. 5 dargestellten, nicht unter den beanspruchten Schutzzumfang fallenden Ausführungsbeispiels,

Figuren 7 und 8 zwei unterschiedliche Ausführungsbeispiele

eine MEMS-Schallwandlers in perspektivischer Ansicht,

Figur 9 einen Querschnitt durch einen Aktivbereich der in Figur 7 und/oder 8 dargestellten Ausführungsbeispiele,

Figur 10 eine Draufsicht auf mehrere arrayartig zueinander angeordnete MEMS-Schallwandler gemäß dem in Figur 8 dargestellten Ausführungsbeispiel und

Figur 11 eine Querschnittsansicht eines Ausführungsbeispiels, das die beanspruchte Erfindung darstellt mit Ausnahme des Merkmals wonach ein Stützelement mit der Membranstruktur verbunden ist, und welches einen MEMS-Schallwandler mit einer einteiligen Membranstruktur darstellt, die mehrere, insbesondere über das zumindest eine Stützelement in z-Richtung abgestützte Wandlerbereiche aufweist.

[0022] Um die Beziehungen zwischen den nachfolgend beschriebenen verschiedenen Elementen zu definieren, werden beziehungsweise auf die jeweils in den Figuren dargestellte Lage der Objekte relative Begriffe, wie beispielsweise oberhalb, unterhalb, oben, unten, drüber, drunter, links, rechts, vertikal und horizontal, verwendet. Es versteht sich von selbst, dass sich diese Begrifflichkeiten bei einer Abweichung von der in den Figuren dargestellten Lage der Vorrichtungen und/oder Elemente verändern können. Demnach würde beispielsweise bei einer in Bezug auf die Figuren dargestellten invertierten Orientierung der Vorrichtungen und/oder Elemente ein in der nachfolgenden Figurenbeschreibung als oberhalb spezifiziertes Merkmal nunmehr unterhalb angeordnet sein. Die verwendeten Relativbegriffe dienen somit lediglich zur einfacheren Beschreibung der relativen Beziehungen zwischen den einzelnen im nachfolgenden beschriebenen Vorrichtungen und/oder Elemente.

Figur 1 zeigt einen Detailausschnitt eines MEMS-Schallwandlers 1 im Querschnitt, insbesondere im Verbindungsbereich zwischen einer Membranstruktur 5 und einem als Rahmen ausgebildeten Trägersubstrat 2 des MEMS-Schallwandlers 1. Der MEMS-Schallwandler ist zum Erzeugen und/oder Erfassen von Schallwellen im hörbaren Wellenlängenspektrum ausgebildet.

[0023] Der MEMS-Schallwandler 1 ist somit als MEMS-Lautsprecher und/oder MEMS-Mikrofon ausgebildet.

[0024] Gemäß Figur 1 umfasst der MEMS-Schallwandler 1 ein Trägersubstrat 2, insbesondere aus Silici-

um. Das Trägersubstrat 2 ist - wie beispielsweise in dem in Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel - als, insbesondere geschlossener, Rahmen ausgebildet. Das Trägersubstrat 2 umfasst demnach einen in Figur 1 nur teilweise dargestellten Hohlraum 3 bzw. eine Kavität. Der Hohlraum 3 umfasst eine erste Öffnung 4, die von einer Membranstruktur 5 überspannt ist. Auf ihrer der Membranstruktur 5 abgewandten Seite weist der Hohlraum 3 eine zweite Öffnung 6 auf. Der Hohlraum 3 erweitert sich zumindest in einem Bereich von der ersten Öffnung 4 ausgehend in Richtung der zweiten Öffnung 6.

[0025] Die Membranstruktur 5 umfasst gemäß Figur 1 mehrere fest miteinander verbundene Schichten. In ihrem Randbereich 7 ist die Membranstruktur 5 auf ihrer dem Trägersubstrat 2 zugewandten Seite fest mit dem Trägersubstrat 2 verbunden. Die Membranstruktur 5 kann somit gegenüber dem ortsfesten Trägersubstrat 2 zur Erzeugung und/oder Erfassung von Schallenergie in z-Richtung des MEMS-Schallwandler 1, d.h. gemäß der in Figur 1 dargestellten Orientierung in Vertikalrichtung, schwingen.

[0026] Um die Membranstruktur 5 im Falle einer Lautsprecherapplikation über eine entsprechende elektrische Ansteuerung zum Schwingen anzuregen und/oder um im Falle einer Mikrofonapplikation die fremdangeregten Schwingungen der Membranstruktur 5 in elektrische Signale umzuwandeln, ist die Membranstruktur 5 als mehrschichtige piezoelektrische Membranstruktur ausgebildet. Die Membranstruktur 5 umfasst demnach gemäß der in Figur 1 dargestellten Querschnittsansicht eine erste Piezoschicht 8 und eine zweite Piezoschicht 9. Die beiden Piezoschichten 8, 9 müssen nicht zwingend über die gesamte Fläche der Membranstruktur 5 durchgängig ausgebildet sein. Alternativ können diese auch Unterbrechungen aufweisen, die in den nachfolgenden Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

[0027] Die beiden Piezoschichten 8, 9 bestehen vorzugsweise aus Blei-Zirkonat-Titanat (PZT) und/oder Aluminiumnitrid (ALN). Um bei einer Auslenkung der beiden Piezoschichten 8, 9 ein elektrisches Signal erfassen zu können und/oder um die beiden Piezoschichten 8, 9 über das Anlegen einer Spannung aktiv auslenken zu können, sind die beiden Piezoschichten 8, 9 jeweils zwischen zwei Elektrodenschichten 10, 11, 12, 13 eingebettet. Demnach weist die erste Piezoschicht 8 auf ihrer dem Trägersubstrat 2 zugewandten Seite eine erste untere Elektrodenschicht 10 und auf ihrer dem Trägersubstrat 2 abgewandten Seite eine erste obere Elektrodenschicht 11 auf. In gleicher Art und Weise ist an der zweiten Piezoschicht 9 an ihrer dem Trägersubstrat 2 zugewandten Seite eine zweite untere Elektrodenschicht 12 und auf ihrer dem Trägersubstrat 2 abgewandten Seite eine zweite obere Elektrodenschicht 13 angeordnet.

[0028] Des Weiteren kann die Membranstruktur 5 gemäß dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel eine Membranschicht 14 umfassen. Die Membranschicht 14 verleiht der Membranstruktur 5 eine höhere Steifigkeit und/oder Festigkeit. Im Falle einer Lautspre-

cherapplikation wird die Membranschicht 14 von den beiden Piezoschichten 8, 9 zum Schwingen angeregt. Die Membranschicht 14 besteht vorzugsweise aus Polysilizium und/oder ist gemäß dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel unterhalb der ersten Piezoschicht 8, insbesondere im Bereich zwischen der ersten unteren Elektrodenschicht 10 und dem Trägersubstrat 2, angeordnet. Die Membranschicht 14 befindet sich somit im Bereich zwischen dem Trägersubstrat 2 und der unteren ersten Piezoschicht 8. In einem hier nicht dargestellten alternativen Ausführungsbeispiel kann die Membranschicht 14 aber auch oberhalb der zweiten Piezoschicht 9 angeordnet sein. Neben den beiden vorstehend genannten Ausführungsbeispielen ist es aber auch ebenso denkbar, dass die Membranstruktur 5 vollständig auf eine derartige Membranschicht 14 verzichtet.

[0029] Da das in Figur 1 dargestellte Trägersubstrat 2 vorzugsweise aus Silicium hergestellt ist, und demnach elektrisch leitend ist, ist es vorteilhaft, wenn das Trägersubstrat 2 an seiner der Membranstruktur 5 zugewandten Seite eine Isolierungsschicht 15, insbesondere aus Siliciumoxid, aufweist. Hierdurch kann die erste untere Elektrodenschicht 10 vom Trägersubstrat 2 elektrisch isoliert werden.

[0030] Zum Schutz der Membranstruktur 5 vor äußeren Einflüssen weist diese an ihrer dem Trägersubstrat 2 abgewandten Seite eine, insbesondere oberste, Passivierungsschicht 16 auf.

[0031] Die vorstehend beschriebene mehrschichtige piezoelektrische Membranstruktur 5 weist eine an die umgebende Luft angrenzende erste Grenzfläche 17 auf. Diese befindet sich an der dem Trägersubstrat 2 abgewandten Seite der Membranstruktur 5. Des Weiteren umfasst die Membranstruktur 5 auf ihrer dem Trägersubstrat 2 zugewandten Seite eine zweite Grenzfläche 18. Dadurch, dass die Membranstruktur 5, insbesondere im Bereich der beiden Grenzflächen 17, 18, im Vergleich zur angrenzende Luft eine stark unterschiedliche Impedanz aufweist, wird ein großer Teil der zu übertragenden Schallenergie an der Grenzfläche 17, 18 reflektiert. Hierdurch wird der piezoelektrische Effekt des MEMS-Schallwandler 1 reduziert.

[0032] So wird beispielsweise bei einer Lautsprecherapplikation die Membranstruktur 5 zunächst über eine elektrische Anregung der beiden Piezoschichten 8, 9 in z-Richtung in Schwingung versetzt. Hierbei wird an der ersten Grenzfläche 17 eine Schallwelle im hörbaren Wellenlängenspektrum erzeugt. Die die Schallwelle erzeugende Schallenergie wird jedoch nicht vollständig auf die Luft übertragen. Stattdessen wird ein Teil der Schallenergie aufgrund des großen Impedanzunterschiedes zwischen der Membranstruktur 5 und der angrenzenden Luft an der ersten Grenzfläche 17 wieder zurück, d.h. in Richtung des Trägersubstrats 2, reflektiert. Bei aus dem Stand der Technik bekannten Membranstruktur 5 geht diese Schallenergie verloren, wodurch der piezoelektrische Effekt der Membranstruktur 5 reduziert wird.

[0033] Um dies zu vermeiden weist die Membranstruk-

tur 5 deshalb gemäß Figur 1 eine schallenergiereflektierende Zwischenschicht 19 auf. Die Zwischenschicht 19 ist gemäß der in Figur 1 dargestellten Querschnittsansicht im Bereich zwischen den beiden Piezoschichten 8, 9 angeordnet. Die Zwischenschicht 19 liegt hierbei unmittelbar an der ersten oberen Elektrodenschicht 11 und der zweiten unteren Elektrodenschicht 12 an.

[0034] Die Zwischenschicht 19 weist im Vergleich zu zumindest einer der beiden Piezoschichten 8, 9 eine geringere Dichte auf. Infolgedessen weist die Zwischenschicht 19 und zumindest eine der beiden Piezoschichten 8, 9 eine zueinander unterschiedliche Impedanz auf. Aufgrund dieses Impedanzunterschiedes wirkt die Zwischenschicht 19 schallenergiereflektierend. Aufgrund dessen wird am Beispiel der Lautsprecherapplikation die zuvor an der ersten Grenzfläche 17 teilweise zurückgeworfene Schallenergie von der Zwischenschicht 19 erneut in Richtung der ersten Grenzfläche 17 reflektiert. Hierdurch geht diese Schallenergie nicht verloren, sondern wird an der Grenzfläche 17 erneut zur Erzeugung einer Schallwelle genutzt. Hierdurch wird der piezoelektrische Effekt der Membranstruktur 5 verstärkt. Die Schallenergie reflektierenden Eigenschaften der Zwischenschicht 19 sind besonders gut ausgeprägt, wenn die Zwischenschicht 19 aus Siliciumoxid, Siliciumnitrid und/oder Polysilicium besteht. In analoger Weise wirkt die Zwischenschicht 19 bei einem als Mikrofon wirkenden MEMS-Schallwandler 1.

[0035] Die Zwischenschicht 19 ist nicht nur schallreflektierend sondern zusätzlich auch dielektrisch ausgebildet. Hierdurch sind die erste obere Elektrodenschicht 11 und die zweite untere Elektrodenschicht 12 voneinander elektrisch isoliert. Hierdurch können vorteilhafterweise zusätzliche Isolierungsschichten eingespart werden.

[0036] In den Figuren 2, 3, 4 und 5 sind jeweils unterschiedliche Ausführungsbeispiele des MEMS-Schallwandler 1 dargestellt, die nicht unter den beanspruchten Schutzbereich fallen. Jedes dieser Ausführungsbeispiele weist gemäß der in Figur 1 im Detailausschnitt dargestellten Membranstruktur 52 zwei voneinander in z-Richtung beabstandete Piezoschichten 8, 9 auf, die jeweils sandwichartig zwischen zwei Elektrodenschichten 10, 11, 12, 13 angeordnet sind. Ferner ist zwischen diesen beiden Piezoschichten 8, 9 eine zum ersten Ausführungsbeispiel identisch ausgebildete und identisch wirkende Zwischenschicht 19 angeordnet. Die vorstehend genannte Schichtkombination stellt die Basis für die nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele dar. Bei der nachfolgenden Beschreibung dieser Ausführungsbeispiele werden im Vergleich zu dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel für gleiche Merkmale gleich Bezugszeichen verwendet. Sofern diese nicht nochmals detailliert erläutert werden, entspricht deren Ausgestaltung und Wirkweise den vorstehend bereits beschriebenen Merkmalen.

[0037] Gemäß dem in Figur 2 dargestellten, nicht beanspruchten Ausführungsbeispiel weist die Membran-

struktur 5 keine separate Membranschicht 14 auf. Ihre Wirkung wird stattdessen von der Passivierungsschicht 16 übernommen, die somit als Membranschicht 14 wirkt. Die Passivierungsschicht 16 erstreckt sich in Horizontalrichtung über die gesamte erste Öffnung 4.

Um die beiden Piezoschichten 8, 9 über die jeweils diesem zugeordneten Elektrodenschichten 10, 11, 12, 13 im Falle einer Lautsprecherapplikation aktiv ansteuern zu können und/oder um im Falle einer Mikrofonapplikation die von beiden Piezoschichten 8, 9 erzeugten elektrischen Signale abgreifen zu können, weist die Membranstruktur 5 gemäß Figur 2 auf ihrer dem Trägersubstrat 2 abgewandten Seite mehrere Kontaktvertiefungen 20a, 20b, 20c, 20d auf. Die Kontaktvertiefungen 20a, 20b, 20c, 20d erstrecken sich von der dem Trägersubstrat 2 abgewandten Seite der Membranstruktur 5 bis zu jeweils einer der Elektrodenschichten 10, 11, 12, 13. In den Kontaktvertiefungen 20a, 20b, 20c, 20d ist jeweils ein elektrisches Anschlusselement 21, insbesondere ein elektrischer Kontakt, angeordnet. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit ist das Anschlusselement 21 in dem in Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel nur in einer der Kontaktvertiefungen 20a, 20b, 20c, 20d mit einem Bezugszeichen versehen.

[0038] Die Anschlusselemente 21 sind jeweils mit der ihnen zugeordneten Elektrodenschicht 10, 11, 12, 13 elektrisch verbunden. Gemäß der in Figur 2 dargestellten Querschnittsansicht erstrecken sich die Anschlusselemente 21 jeweils vom Bereich der Oberseite der Membranstruktur 5 über die Seitenwände 22 der jeweiligen Kontaktvertiefungen 20a, 20b, 20c, 20d bis zu deren Grund 23. Um sicherzustellen, dass die jeweiligen Anschlusselemente 21 ausschließlich mit einer einzigen Elektrodenschichten 10, 11, 12, 13 elektrisch verbunden ist, ist im Bereich zwischen dem Anschlusselement 21 und der Seitenwand 22 eine zusätzliche Isolierungsschicht 15b angeordnet.

[0039] Um den maximalen Hub der Membranstruktur 5 in z-Richtung zu verbessern, weist die Membranstruktur 5 mehrere Aussparungen 24a, 24b, 24c, 24d auf. Die Aussparungen 24a, 24b, 24c, 24d erstrecken sich von der Oberseite der Membranstruktur 5 in Richtung des Trägersubstrats 2. Im Bereich der Aussparungen 24a, 24b, 24c, 24d sind die beiden Piezoschichten 8, 9 abgetragen. Die Membranstruktur 5 weist somit piezoelektrische Aktivbereiche 25 - in denen noch beide Piezoschichten 8, 9 vorhanden sind - und piezoelektrische Passivbereiche - in denen die beiden Piezoschichten 8, 9 entfernt sind - auf (vgl. auch Figur 7 und 8). Zur Wahrung der Übersichtlichkeit ist in dem in Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel nur jeweils einer dieser Aktivbereiche 25 und Passivbereiche 26 mit einem Bezugszeichen versehen.

[0040] Gemäß dem in Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel sind die beiden Piezoschichten 8, 9, die Zwischenschicht 19 und alle Elektrodenschichten 10, 11, 12, 13 abgetragen. Im Bereich der jeweiligen Passivbereiche 26 weist die Membranstruktur 5 somit

ausschließlich die Passivierungsschicht 16 auf. Die Passivierungsschicht 16 wirkt demnach als Membranschicht 14.

[0041] Bei dem in Figur 3 dargestellten Ausführungsbeispiel besteht der Unterschied zu dem vorstehend beschriebenen Ausführungsbeispiel darin, dass die Membranstruktur 5 im Bereich der ersten Öffnung 4 eine Verstärkungsschicht 27 aufweist. Hierfür ist die erste Isolierungsschicht 15a im Bereich der ersten Öffnung 4 nicht vollständig entfernt. Gemäß Figur 3 erstreckt sich diese in der in Figur 3 dargestellten Querschnittsansicht horizontal über mehrere, insbesondere über alle, Aktivbereiche 25 und mehrere, insbesondere die beiden inneren, Passivbereiche 26. In ihrem trägersubstratnahen Randbereich ist die Verstärkungsschicht 27 jedoch abgetragen. Die Verstärkungsschicht 27 weist somit in Horizontalrichtung zum, insbesondere als Rahmen ausgebildeten, Trägersubstrat 2 einen Abstand auf. Der Abstand ist zumindest derart ausgebildet, dass wenigstens einer der Passivbereiche 26 im Randbereich ohne diese Verstärkungsschicht 27 ausgebildet ist. Die im Innenraum des als Rahmen ausgebildeten Trägersubstrats 2 angeordnete Isolierungsschicht 15a wirkt somit als Verstärkungsschicht 27. Im Bereich der Verstärkungsschicht 27 ist die Membranstruktur 7 stabiler und/oder steifer ausgebildet. In ihrem ohne diese Verstärkungsschicht 27 ausgebildeten Randbereich ist die Membranstruktur 5 im Gegensatz dazu weicher und/oder flexibler ausgebildet.

[0042] Alternativ kann gemäß dem in Figur 4 dargestellten Ausführungsbeispiel die Verstärkungsschicht 27 aber auch mittels der zweiten Isolierungsschicht 15b ausgebildet sein. Hierbei erstreckt sich die Verstärkungsschicht 27 bzw. die zweite Isolierungsschicht 15b in horizontaler Richtung über die gesamte Breite der ersten Öffnung 4.

[0043] In einer weiteren alternativen Ausführungsform kann die als Verstärkungsschicht 27 wirkende zweite Isolierungsschicht 15b gemäß Figur 5 aber auch im Randbereich - vergleichbar mit dem in Figur 3 dargestellten Ausführungsbeispiel - entfernt sein. Hierdurch weist die Membranstruktur 5 nur im inneren Bereich eine durch die Verstärkungsschicht 27 bewirkte höhere Steifigkeit und/oder Festigkeit auf. Der an das Trägersubstrat 2 angrenzende Randbereich ist im Vergleich dazu flexibler und/oder weicher ausgebildet, da dieser keine Verstärkungsschicht 27 bzw. zweite Isolierungsschicht 15b aufweist.

[0044] Die Figuren 6a bis 6f veranschaulichen den Herstellungsprozess des MEMS-Schallwandler 1 an dem in Figur 5 dargestellten Ausführungsbeispiel. Hierbei wird zunächst gemäß Figur 6a ein Trägersubstrat 2 aus Silizium mit einer an der Oberseite angeordneten Isolierungsschicht 15a bereitgestellt. Anschließend wird gemäß Figur 6b die Membranstruktur 5 auf der Oberseite der Isolierungsschicht 15a aufgebracht. Hierbei wird vorzugsweise nacheinander zunächst die erste untere Elektrodenschicht 10, die erste Piezoschicht 8, die erste obere Elektrodenschicht 11, die Zwischenschicht 19, die

zweite untere Elektrodenschicht 12, die zweite Piezoschicht 9 und die zweite obere Elektrodenschicht 13 aufgebracht. In einem daran anschließenden Verfahrensschritt werden gemäß Figur 6c die Kontaktvertiefungen 20b, 20c, 20d und die Aussparungen 24a, 24b, 24c, 24d von der dem Trägersubstrat 2 abgewandten Seite in die Membranstruktur 5 eingebracht. Anschließend wird gemäß Figur 6d die zweite Isolierungsschicht 15b in die Kontaktvertiefungen 20b, 20c, 20d und die beiden inneren Aussparungen 24b, 24c aufgebracht. Nachdem die Kontaktvertiefungen 20a, 20b, 20c, 20d mit den jeweiligen Anschlusselemente 21 versehen wurden, wird die gesamte Membranstruktur 5 gemäß Figur 6e mit der Passivierungsschicht 16 überzogen. In einem letzten Verfahrensschritt wird gemäß Figur 6f von der Unterseite her der Hohlraum 3 ausgebildet, so dass das Trägersubstrat 2 nunmehr eine Rahmenform aufweist, gegenüber dieser die Membranstruktur 5 in z-Richtung zu schwingen vermag.

[0045] In den Figuren 7 und 8 sind jeweils zwei unterschiedliche Ausführungsformen des MEMS-Schallwandler 1 in einer perspektivischen Ansicht dargestellt. Die Kavität bzw. der Hohlraum 3 befindet sich bei dieser in Figur 7 und 8 dargestellten perspektivischen Ansicht auf der Rückseite des MEMS-Schallwandler 1 und ist demnach nicht einsehbar.

[0046] Gemäß dem in Figur 7 dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Membranstruktur 5 und/oder der hier nicht einsehbare Hohlraum 3 in der Draufsicht kreisförmig ausgebildet. Ferner ist in der perspektivischen Ansicht zu erkennen, dass die Aussparungen 24 - von denen zur Wahrung der Übersichtlichkeit lediglich eine mit einem Bezugszeichen versehen ist - ein Muster 28 ausbilden. Das Muster 28 wird durch die piezoelektrischen Aktivbereiche 25a, 25b, 25c, 25d und die piezoelektrischen Passivbereiche 26a, 26b, 26c, 26d, 26e ausgebildet.

[0047] Im Folgenden wird einer dieser Aktivbereiche 25a näher erläutert. Gemäß Figur 7 weist der Aktivbereich 25a ein mit dem Rahmen bzw. dem Trägersubstrat 2 verbundenes, starres und/oder fest eingespanntes erstes sowie zweites Ankerende 29, 30 auf. Des Weiteren umfasst der Aktivbereich 25a ein gegenüber den beiden Ankerenden 29, 30 in z-Richtung Auslenkbereiches freies Ende 31 auf. Im Bereich zwischen dem jeweiligen Ankerende 29, 30 und dem freien Ende 31 ist der Aktivbereich 25a zumindest bereichsweise im Wesentlichen mäanderförmig ausgebildet.

[0048] Demnach weist der Aktivbereich 25a vom jeweiligen Ankerende 29, 30 ausgehend einen jeweiligen ersten Auslenkabchnitt 32, einen jeweiligen zweiten Auslenkabchnitt 33 - wobei jeweils nur einer dieser beiden mit einem Bezugszeichen versehen ist - und einen gemeinsamen dritten Auslenkabchnitt 34 auf. Die Auslenkabchnitte 32, 33, 34 sind in den beiden in Figur 7 und 8 dargestellten Ausführungsbeispielen balkenförmig ausgebildet. Jeweils zwei zueinander benachbarte Auslenkabchnitte 32, 33, 34 sind jeweils mittels eines Um-

lenkabschnittes 35a, 35b miteinander verbunden. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel lenkt jeder der Umlenkabschnitt 35a, 35b die beiden zueinander benachbarten Auslenkabschnitte 32, 33, 34 zueinander um 180° um. Durch diese umgelenkte Verbindung dieser einzelnen Auslenkabschnitte 32, 33, 34, nämlich mittels der Umlenkabschnitt 35a, 35b, kann der maximale Hub des Aktivbereichs 25a in z-Richtung des MEMS-Schallwandler 1 erhöht werden.

[0049] Gemäß dem in Figur 7 dargestellten Ausführungsbeispiel weisen die freien Enden 31 der Aktivbereiche 25a, 25b, 25c, 25d zueinander und zu einem in der Draufsicht mittig gelegenen Zentralpunkt 36 eine Abstand auf.

[0050] Figur 8 zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel des MEMS-Schallwandler 1 in perspektivische Ansicht wobei im Vergleich zu dem vorstehend in Figur 7 erläuterten Ausführungsbeispiel für gleiche Merkmale gleiche Bezeichnungen verwendet werden. Sofern diese nicht nochmals detailliert erläutert werden, entspricht deren Ausgestaltung und Wirkweise den vorstehend bereits beschriebenen Merkmalen.

[0051] Im Unterschied zu dem in Figur 7 dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Membranstruktur 5 gemäß dem in Figur 8 dargestellten Ausführungsbeispiel nicht kreisförmig sondern quadratisch ausgebildet. Des Weiteren liegen die freien Enden 31 der jeweilige Aktivbereiche 25a, 25b, 25c, 25d in dem Zentralpunkt 36 unmittelbar aneinander an. Zusätzlich oder alternativ können die freien Enden 31 aber auch miteinander verbunden und/oder einteilig miteinander ausgebildet sein.

[0052] Figur 9 zeigt einen Querschnitt durch einen Aktivbereich 25, insbesondere durch einen balkenförmigen Auslenkabschnitt 32, 33, 34 und/oder Umlenkabschnitt 35a, 35b eines des in Figur 7 und/oder 8 dargestellten Ausführungsbeispiele. Hierbei ist die zweite obere Elektroden-schicht 13 gegenüber der zweiten Piezoschicht 9 asymmetrisch angeordnet. Hierdurch tordiert der Aktivbereich 25 um seine Längsachse, wodurch die maximale Hubhöhe in z-Richtung des MEMS-Schallwandler 1 erhöht werden kann. Diese Torsion ist in Figur 9 mit einem Pfeil angedeutet. Zusätzlich oder alternativ können auch weitere oder alle Elektroden-schichten 10, 11, 12, 13 gegenüber ihrer jeweils zugeordneten Piezoschicht 8, 9 asymmetrisch angeordnet sein.

Die MEMS-Schallwandler 1 können gemäß Figur 10 in einem Array 37 angeordnet sein. Gemäß dem in Figur 10 dargestellten Ausführungsbeispiel weisen alle MEMS-Schallwandler 1 die gleiche Form und Größe auf. Ferner weist deren Aktivbereich 25 jeweils das gleiche Muster 28 auf. In einem hier nicht dargestellten alternativen Ausführungsbeispiel können diese arrayartig zueinander angeordneten MEMS-Schallwandler 1 aber auch unterschiedliche Größen zueinander aufweisen. Hierdurch können Hoch- und Tieftöner ausgebildet werden. Des Weiteren können die MEMS-Schallwandler 1 zueinander unterschiedliche Muster 28 und Membranstrukturformen aufweisen.

Gemäß dem in Figur 11 dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst der MEMS-Schallwandler 1 zumindest zwei, insbesondere getrennt voneinander ansteuerbare, Wandlerbereiche 38, 39 die Wandlerbereiche 38, 39 der einteiligen Membranstruktur 5 können zueinander unterschiedlich groß ausgebildet sein und/oder unterschiedliche Muster aufweisen. Um die Membranstruktur 5 vor Überbelastungen zu schützen, weist der MEMS-Schallwandler 1 im Innenraum des Rahmens bzw. des Trägersubstrats 2 zumindest ein Stützelement 40 auf. Das Stützelement 40 ist als Wand ausgebildet und teilt den Hohlraum 3 in einen ersten und zweiten Hohlraumbereich 41, 42. Gemäß dem vorliegenden, nicht unter den beanspruchten Schutzbereich fallenden, Ausführungsbeispiel kann das Stützelement 40 mit seinem der Membranstruktur 5 zugewandten Stützelementende 43 in z-Richtung von dieser beabstandet sein. Alternativ ist es aber auch ebenso denkbar, dass das Stützelement 40 mit seinem Stützelementende 43 unmittelbar, insbesondere lose, an der Unterseite der Membranstruktur 5 anliegt oder, so wie erfindungsgemäß beansprucht, mit dieser fest verbunden ist.

In eine hier nicht dargestellten Ausführungsbeispiel kann der in Figur 11 dargestellte MEMS-Schallwandler 1, der mehrere Wandlerbereiche 38, 39 aufweist, auch arrayartig im Sinne des in Figur 10 dargestellten Ausführungsbeispiels mit weiteren identisch oder unterschiedlich ausgebildeten MEMS-Schallwandlern 1 angeordnet sein. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die dargestellten und beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt. Abwandlungen im Rahmen der Patentansprüche sind möglich. Eine Kombination der Merkmale ist möglich, auch wenn diese in unterschiedlichen Ausführungsbeispielen dargestellt und beschrieben sind.

Bezugszeichenliste

[0053]

- | | |
|----|----------------------------------|
| 1 | MEMS-Schallwandler |
| 2 | Trägersubstrat |
| 3 | Hohlraum |
| 4 | erste Öffnung |
| 5 | Membranstruktur |
| 6 | zweite Öffnung |
| 7 | Randbereich |
| 8 | erste Piezoschicht |
| 9 | zweite Piezoschicht |
| 10 | erste untere Elektroden-schicht |
| 11 | erste obere Elektroden-schicht |
| 12 | zweite untere Elektroden-schicht |
| 13 | zweite obere Elektroden-schicht |
| 14 | Membranschicht |
| 15 | Isolierungsschicht |
| 16 | Passivierungsschicht |
| 17 | erste Grenzfläche |
| 18 | zweite Grenzfläche |
| 19 | Zwischenschicht |

20 Kontaktvertiefungen
 21 Anschlusselemente
 22 Seitenwand
 23 Grund
 24 Aussparung
 25 Aktivbereich
 26 Passivbereich
 27 Verstärkungsschicht
 28 Muster
 29 erstes Ankerende
 30 zweites Ankerende
 31 freies Ende
 32 erster Auslenkabschnitt
 33 zweiten Auslenkabschnitt
 34 gemeinsamer Auslenkabschnitt
 35 Umlenkabschnitt
 36 Zentralpunkt
 37 Array
 38 erster Wandlerbereich
 39 zweiter Wandlerbereich
 40 Stützelement
 41 erster Hohlraumbereich
 42 zweiter Hohlraumbereich
 43 Stützelementende

Patentansprüche

1. MEMS-Schallwandler zum Erzeugen und/oder Erfassen von Schallwellen im hörbaren Wellenlängenspektrum mit einem Trägersubstrat (2), einem in dem Trägersubstrat (2) ausgebildeten Hohlraum (3), der zumindest eine Öffnung (4) aufweist, und einer mehrschichtigen piezoelektrischen Membranstruktur (5), welche die Öffnung (4) des Hohlraums (3) überspannt und in ihrem Randbereich mit dem Trägersubstrat (2) verbunden ist, so dass sie zur Erzeugung und/oder Erfassung von Schallenergie gegenüber dem Trägersubstrat (2) zu schwingen vermag, wobei die Membranstruktur (5) zumindest bereichsweise im Querschnitt eine erste und eine zu dieser beabstandet angeordnete zweite Piezoschicht (8, 9) umfasst, und dass im Bereich zwischen den beiden Piezoschichten (8, 9) eine Zwischenschicht (19) angeordnet ist, die derart ausgebildet ist, dass mittels ihr Schallenergie in Richtung zumindest einer an die Luft angrenzenden Grenzfläche (17, 18) der Membranstruktur (5) reflektierbar ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Membranstruktur (5) in der Draufsicht mehrere, getrennt voneinander ansteuerbare Wandlerbereiche (38, 39) aufweist, dass das Trägersubstrat (2) in der Draufsicht zumindest ein im Innenraum des Rahmens ausgebildetes Stützelement (40) auf-

weist, das zur Stützung der Membranstruktur (5) zwischen zwei Wandlerbereichen (38, 39) angeordnet ist, und dass das Stützelement (40) mit seinem der Membranstruktur (5) zugewandten Stützelementende (43) mit der Membranstruktur (5) verbunden ist.

2. MEMS-Schallwandler nach dem vorherigen Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zwischenschicht (19) im Vergleich zu zumindest einer der beiden Piezoschichten (8, 9) eine geringere Dichte aufweist.
3. MEMS-Schallwandler nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zwischenschicht (19) aus Siliciumoxid, Siliciumnitrid und/oder Polysilicium hergestellt ist.
4. MEMS-Schallwandler nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine der beiden Piezoschichten (8, 9) aus Blei-Zirkonat-Titanat und/oder Aluminiumnitrid hergestellt ist.
5. MEMS-Schallwandler nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die beiden Piezoschichten (8, 9) jeweils zwischen einer unteren und einer oberen Elektroden-schicht (10, 12; 11, 13) eingebettet sind, dass die Zwischenschicht (19) unmittelbar an der oberen Elektroden-schicht (11) der ersten Piezoschicht (8) und an der unteren Elektroden-schicht (12) der zweiten Piezoschicht (9) anliegt und/oder dass die Zwischenschicht (19) dielektrisch ausgebildet ist.
6. MEMS-Schallwandler nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Membranstruktur (5) eine Membranschicht (14) aufweist, die im Bereich unterhalb der ersten Piezoschicht (8) oder im Bereich oberhalb der zweiten Piezoschicht (9) angeordnet ist.
7. MEMS-Schallwandler nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Membranstruktur (5) zumindest eine Aussparung (24) aufweist, in deren Bereich zumindest die beiden Piezoschichten (8, 9) abgetragen sind, so dass die Membranstruktur (5) in der Draufsicht zumindest einen piezoelektrischen Aktivbereich (25) und zumindest einen durch die Aussparung (24) ausgebildeten Passivbereich (26) aufweist.
8. MEMS-Schallwandler nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aussparung (24) derart ausgebildet ist, dass der piezoelektrische Aktivbereich (25) in der Draufsicht zumindest ein mit dem Rahmen verbundenes Ankerende (29, 30) und zu-

mindest ein gegenüber diesem in z-Richtung schwingbares freies Ende (31) aufweist.

9. MEMS-Schallwandler nach einem oder mehreren der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Aktivbereich (25) in der Draufsicht zumindest einen Auslenkabschnitt (32, 33, 34) aufweist und/oder dass in dessen Querschnittsansicht bei zumindest einer seiner beiden Piezoschichten (8, 9) zumindest eine der beiden Elektroden (10, 11, 12, 13) gegenüber der damit korrespondierenden Piezoschicht (8, 9) asymmetrisch angeordnet ist.
10. MEMS-Schallwandler nach einem oder mehreren der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Aktivbereich (25) in der Draufsicht zumindest einen ersten Auslenkabschnitt (32), einen zweiten Auslenkabschnitt (33) und/oder einen zwischen diesen beiden ausgebildeten Umlenkabschnitt (35) aufweist.
11. MEMS-Schallwandler nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wandlerbereiche (38, 39) unterschiedlich groß ausgebildet sind und/oder unterschiedliche Muster (28) aufweisen.
12. MEMS-Schallwandler nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Stützelement (40) als Wand ausgebildet ist und den Hohlraum (3) in zumindest zwei Hohlraumbereiche (41, 42) unterteilt.
13. Chip zum Erzeugen und/oder Erfassen von Schallwellen im hörbaren Wellenlängenspektrum mit mehreren arrayartig zueinander angeordneten und/oder getrennt voneinander ansteuerbaren MEMS-Schallwandlern (1), **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest einer der MEMS-Schallwandler (1) nach einem oder mehreren der vorherigen Ansprüche ausgebildet ist.

Claims

1. A MEMS sound transducer to generate and/or detect sound waves in the audible wavelength spectrum with a carrier substrate (2), a cavity (3) executed in the carrier substrate (2), which has at least one opening (4), and a multilayered piezoelectric membrane structure (5), spanning over the opening (4) of the cavity (3) and connected in its edge area with the carrier substrate (2), so that with respect to the carrier substrate (2), it is capable of vibrating to generate and/or detect sound energy,

wherein the membrane structure (5) has in cross-section at least in some areas a first and a second piezo layer (8, 9) arranged separately from it, and that an interlayer (19) is arranged in the area between the two piezo layers (8, 9), configured such that by means of it, sound energy can be reflected in the direction of at least one interface (17, 18) of the membrane structure (5) adjacent to the air, **characterized in that** the membrane structure (5) in the top view has several transducer areas (38, 39) separately controllable from one another, **that** the carrier substrate (2) in the top view has at least one supporting element (40) executed in the interior of the frame, arranged to support the membrane structure (5) between two transducer areas (38, 39) **that** the supporting element (40) is attached to the membrane structure (5) with its supporting element end (43) that faces the membrane structure (5).

2. A MEMS sound transducer according to the previous claim, **characterized in that** the interlayer (19) has lower density compared to at least one of the two piezo layers (8, 9).
3. A MEMS sound transducer according to one or several of the previous claims, **characterized in that** the interlayer (19) is made of silicon oxide, silicon nitride and/or polysilicon.
4. A MEMS sound transducer according to one or several of the previous claims, **characterized in that** at least one of the two piezo layers (8, 9) is made of lead-zirconate-titanate and/or aluminum nitride.
5. A MEMS sound transducer according to one or several of the previous claims, **characterized in that** the two piezo layers (8, 9) are in each case embedded between a lower and an upper electrode layer (10, 12; 11, 13), that the interlayer (19) sits tightly directly on the upper electrode layer (11) of the first piezo layer (8) and on the lower electrode layer (12) of the second piezo layer (9) and/or that the interlayer (19) is dielectrically executed.
6. A MEMS sound transducer according to one or several of the previous claims, **characterized in that** the membrane structure (5) has a membrane layer (14), arranged in the area below the first piezo layer (8) or in the area above the second piezo layer (9).
7. A MEMS sound transducer according to one or several of the previous claims, **characterized in that** the membrane structure (5) has at least one recess (24) in whose area at least the two piezo layers (8, 9) have been removed, so that when seen from the

top, the membrane structure (5) has at least one piezoelectrically active area (25) and at least one passive area (26) created by the recess (24).

8. A MEMS sound transducer according to claim 7, **characterized in that** the recess (24) has been executed in such a way that the piezoelectrically active area (25) has at least one anchoring end (29, 30) attached to the frame in the top view and has at least one free end (31) that can vibrate in a z-direction with respect to it.
9. A MEMS sound transducer according to one or several of the claims 7 or 8, **characterized in that** the active area (25) has in the top view at least one deflection section (32, 33, 34) and/or that in its sectional view, in at least one of its two piezo layers (8, 9), at least one of the two electrode layers (10, 11, 12, 13) is asymmetrically arranged with respect to the corresponding piezo layer (8, 9).
10. A MEMS sound transducer according to one or several of the claims 7 to 9, **characterized in that** the active area (25) in the top view has at least one first deflection section (32), one second deflection section (33) and/or one redirecting section (35) executed between these two.
11. A MEMS sound transducer according to one or several of the previous claims, **characterized in that** the transducer areas (38, 39) are executed in different sizes and/or have different patterns (28).
12. A MEMS sound transducer according to one or several of the previous claims, **characterized in that** the supporting element (40) is executed as a wall and partitions the cavity (3) into at least two cavity areas (41, 42).
13. A chip to generate and/or detect sound waves in the audible wavelength spectrum with several MEMS sound transducers (1) arranged in array-like fashion to one another and/or controllable separately from one another, **characterized in that** at least one of the MEMS sound transducers (1) is executed according to one or several of the previous claims.

Revendications

1. Transducteur acoustique MEMS pour générer et/ou détecter des ondes acoustiques dans le spectre de longueur d'onde audible, avec un substrat support (2), un espace vide (3) formé dans le substrat support (2), lequel présente au moins une ouverture (4), et une structure de membrane piézoélectrique multicouche (5) qui s'étend sur l'ouverture (4) de l'espace

creux (3) et qui est reliée dans sa zone de bordure avec le substrat support (2) de manière à pouvoir osciller par rapport au substrat support (2) pour générer et/ou détecter l'énergie acoustique, dans lequel la structure de membrane (5) comporte au moins en certaines zones de sa section transversale une première couche piézoélectrique et une seconde couche piézoélectrique (8, 9) disposée à distance de la première couche piézoélectrique (8), et dans laquelle une couche intermédiaire (19) est disposée dans la zone entre les deux couches piézoélectriques (8, 9), laquelle se présente sous une forme telle que, avec son aide, l'énergie acoustique puis être réfléchiée dans la direction d'au moins une surface interfaciale (17, 18) de la structure de membrane (5) mitoyenne à l'air,

caractérisé en ce que

la structure de membrane (5) présente, en vue de dessus, une multitude de zones de transducteurs (38, 39) pouvant être actionnées séparément les unes des autres, le substrat support (2) présente, en vue de dessus, au moins un élément de soutien (40) formé à l'intérieur du cadre, qui est disposé entre deux zones de transducteurs (38, 39) afin de supporter la structure de membrane (5), et **en ce que** l'élément de soutien (40) est relié avec la structure de membrane (5) par son extrémité (43) d'élément de soutien orientée vers la structure de membrane (5).

2. Transducteur acoustique MEMS selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** la couche intermédiaire (19) présente une densité plus faible par comparaison avec au moins l'une des deux couches piézoélectriques (8, 9).
3. Transducteur acoustique MEMS selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche intermédiaire (19) est fabriquée en oxyde de silicium, nitrure de silicium et/ou polysilicium.
4. Transducteur acoustique MEMS selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'une au moins des deux couches piézoélectriques (8, 9) est fabriquée en titano-zirconate de plomb et/ou nitrure d'aluminium.
5. Transducteur acoustique MEMS selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les deux couches piézoélectriques (8, 9) sont respectivement incorporées entre une couche d'électrode supérieure et une couche d'électrode inférieures (10, 12; 11, 13), que la couche intermédiaire (19) est en contact direct avec la couche d'électrode supérieure (11) de la pre-

mière couche piézoélectrique (8) et la couche d'électrode inférieure (12) de la seconde couche piézoélectrique (9) et/ou **en ce que** la couche intermédiaire (19) se présente sous une forme diélectrique.

6. Transducteur acoustique MEMS selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la structure de membrane (5) comporte une couche de membrane (14) qui est disposée dans la zone au-dessous de la première couche piézoélectrique (8) ou dans la zone au-dessus de la seconde couche piézoélectrique (9). 10
7. Transducteur acoustique MEMS selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la structure de membrane (5) présente au moins un évidement (24) dans la zone duquel au moins les deux couches piézoélectriques (8, 9) sont enlevées, de sorte que la structure de membrane (5) présente, en vue de dessus, au moins une zone active piézoélectrique (25) et au moins une zone passive (26) formée par l'évidement (24). 20
8. Transducteur acoustique MEMS selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** l'évidement (24) se présente sous une forme telle que la zone active piézoélectrique (25) présente, en vue de dessus, au moins une extrémité d'ancrage (29, 30) reliée au cadre et au moins une extrémité libre (31) pouvant osciller par rapport à cette dernière dans la direction z. 25 30
9. Transducteur acoustique MEMS selon l'une ou plusieurs des revendications 7 ou 8, **caractérisé en ce que** la zone active (25) présente en vue de dessus au moins une section de déviation (32, 33, 34) et/ou que, dans sa vue en coupe transversale, et dans au moins l'une de ses deux couches piézoélectriques (8, 9), au moins une des deux couches d'électrode (10, 11, 12, 13) est disposée asymétriquement par rapport à la couche piézoélectrique (8, 9) qui lui correspond. 35 40
10. Transducteur acoustique MEMS selon l'une ou plusieurs des revendications 7 à 9, **caractérisé en ce que** la zone active (25) présente en vue de dessus au moins une première section de déviation (32), une seconde section de déviation (33) et/ou une section de renvoi (35) formée entre les deux sections citées. 45 50
11. Transducteur acoustique MEMS selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les zones de transducteurs (38, 39) présentent des tailles différentes et/ou des motifs différents (28). 55
12. Transducteur acoustique MEMS selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes, **caractérisé**

en ce que l'élément de soutien (40) se présente sous la forme d'une paroi et subdivise l'espace creux (3) en au moins deux zones (41, 42) d'espace creux.

- 5 13. Puce pour générer et/ou détecter des ondes acoustiques dans le spectre de longueur d'onde audible, avec plusieurs transducteurs acoustiques MEMS (1) disposés en réseau les uns par rapport aux autres et/ou pouvant être actionnés séparément les uns des autres, **caractérisée en ce que** l'un au moins des transducteurs acoustiques MEMS (1) se présente sous une forme selon l'une ou plusieurs des revendications précédentes.

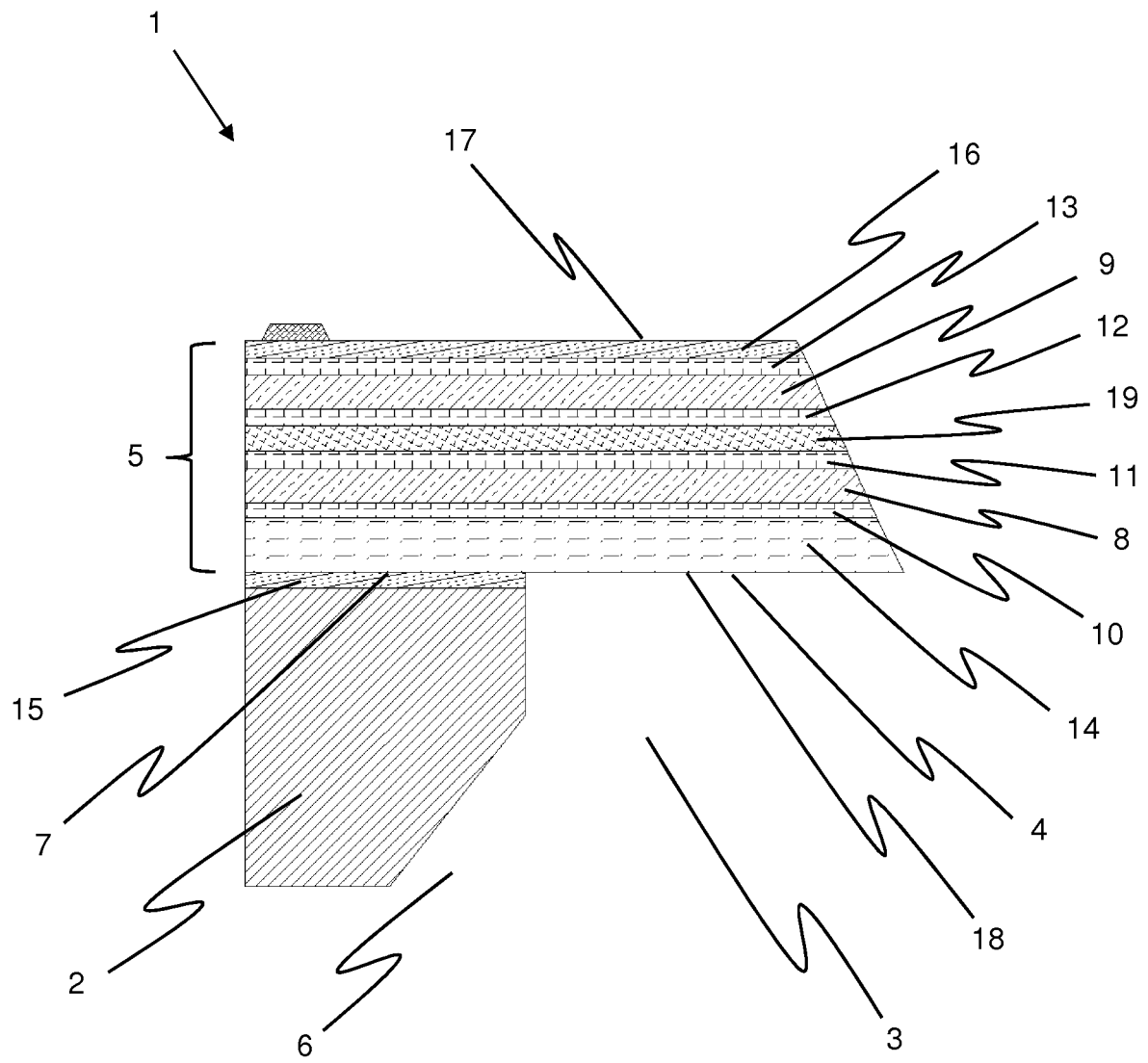


Fig. 1

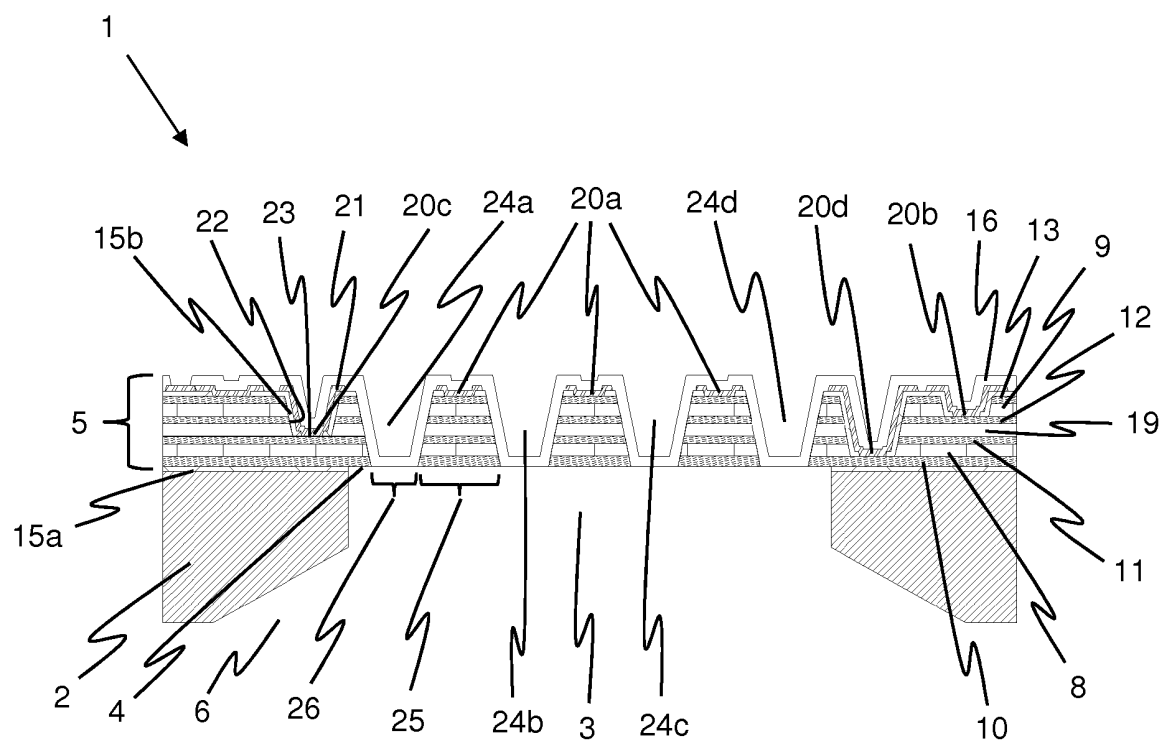


Fig. 2

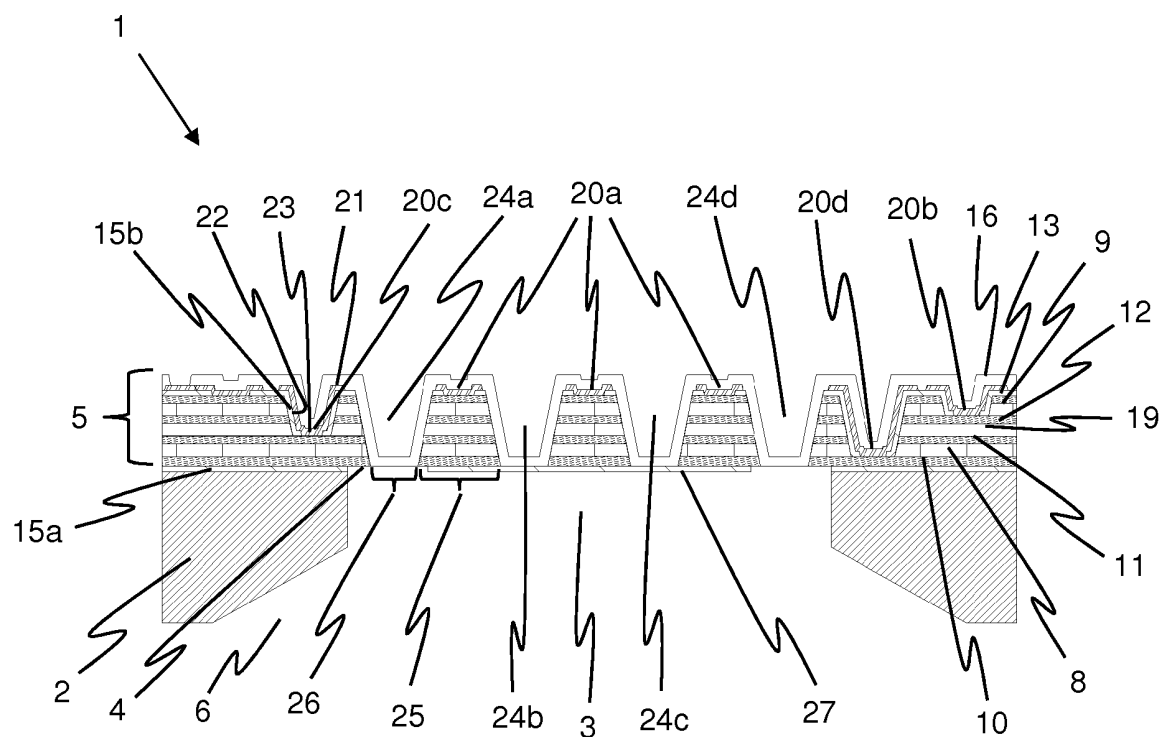


Fig. 3

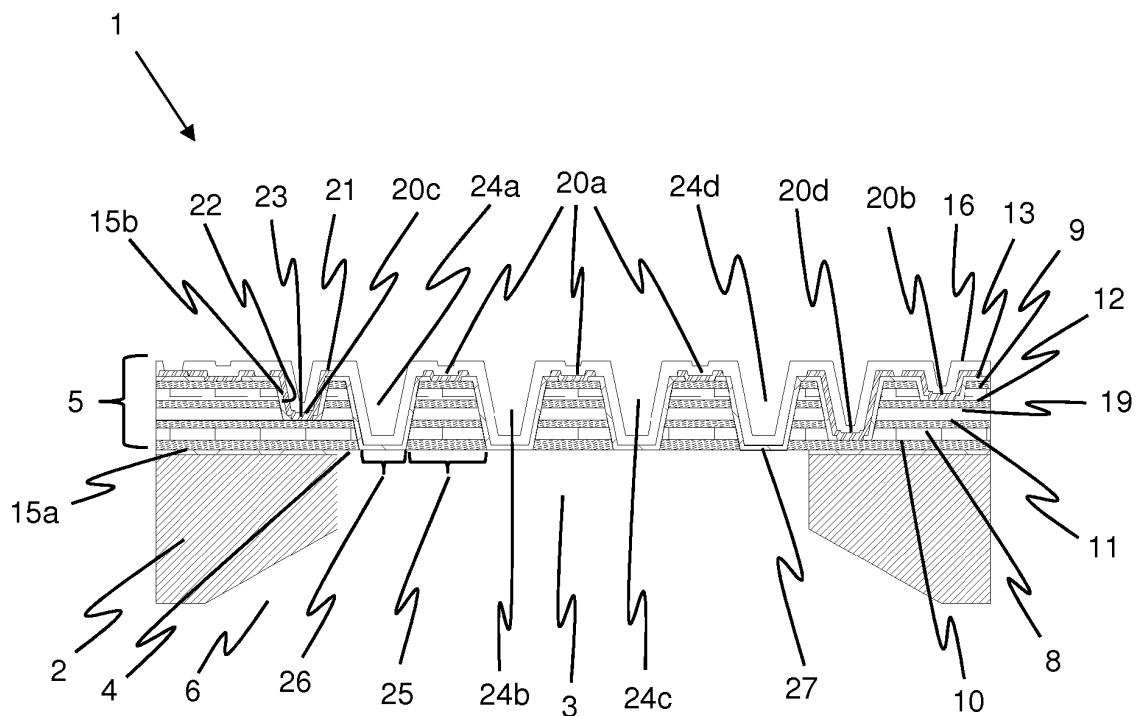


Fig. 4

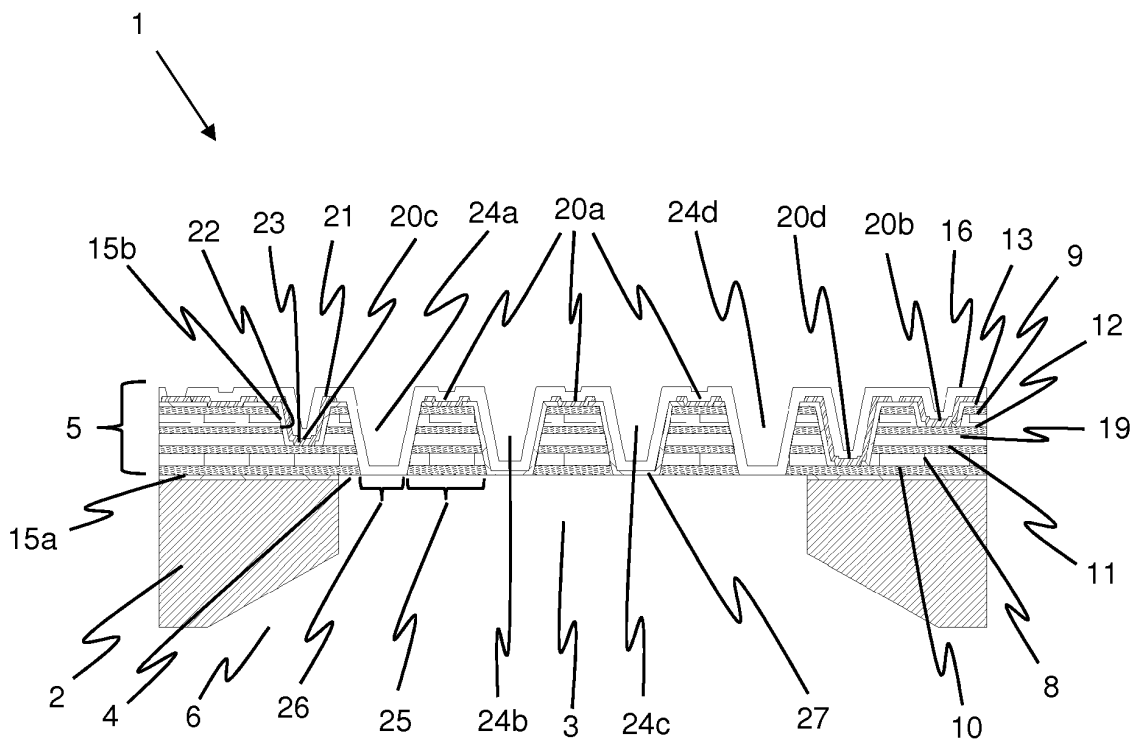


Fig. 5



Fig. 6a

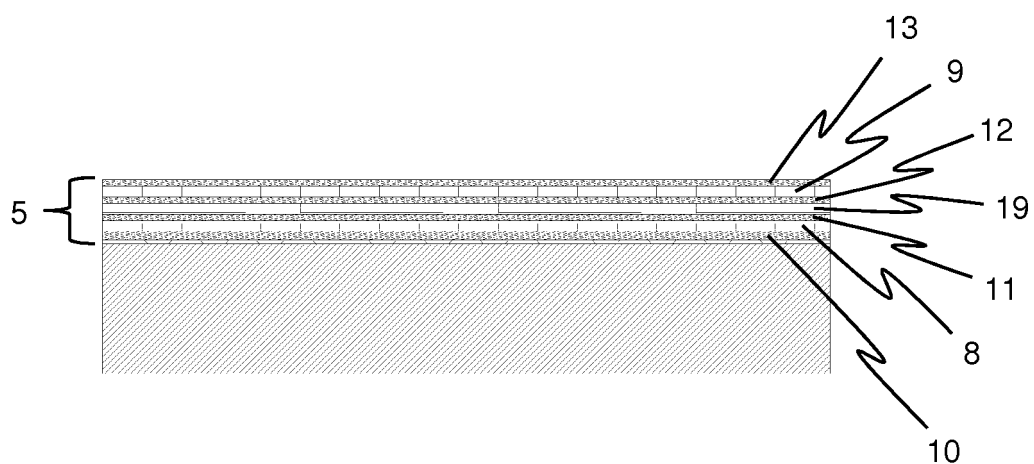


Fig. 6b

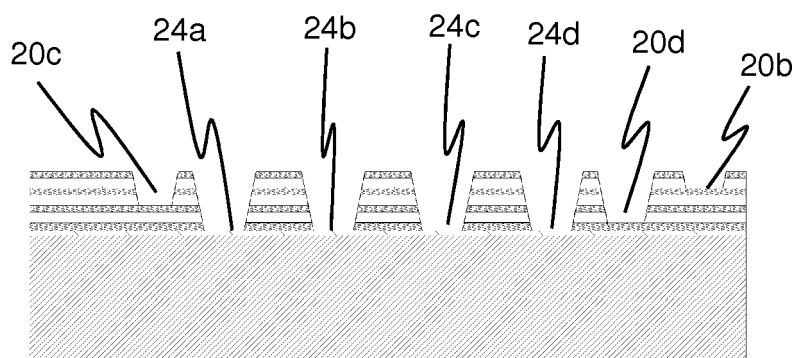


Fig. 6c

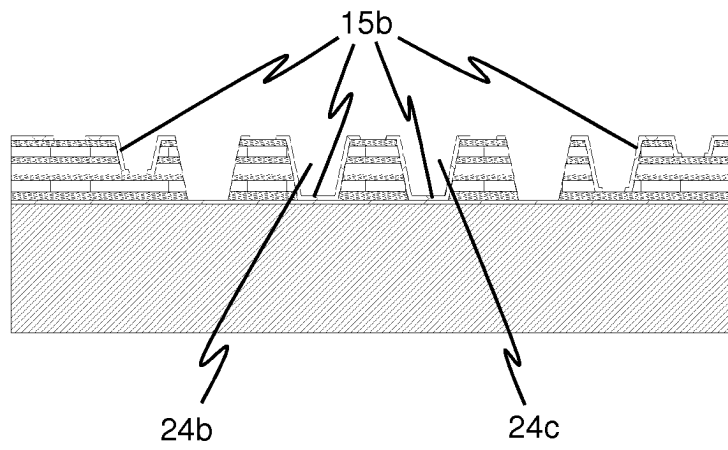


Fig. 6d

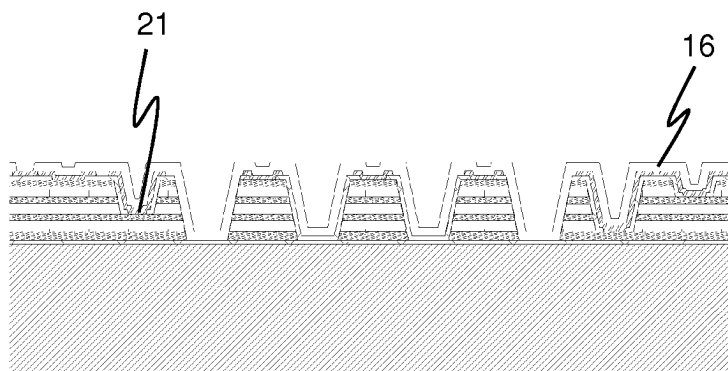


Fig. 6e

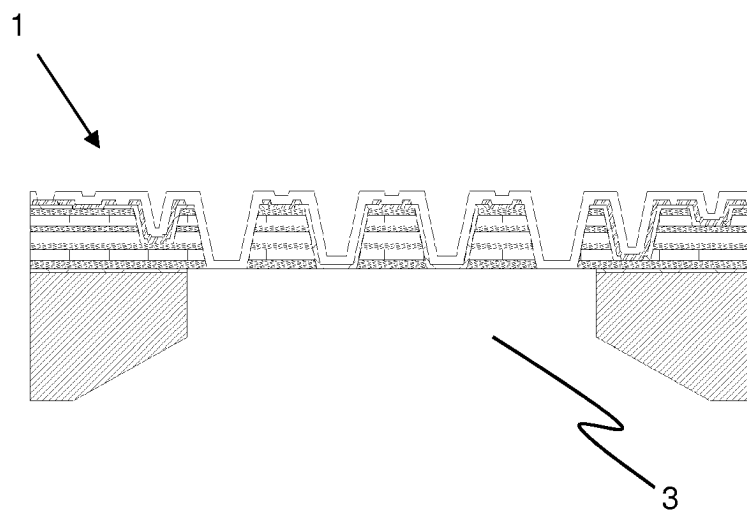


Fig. 6f

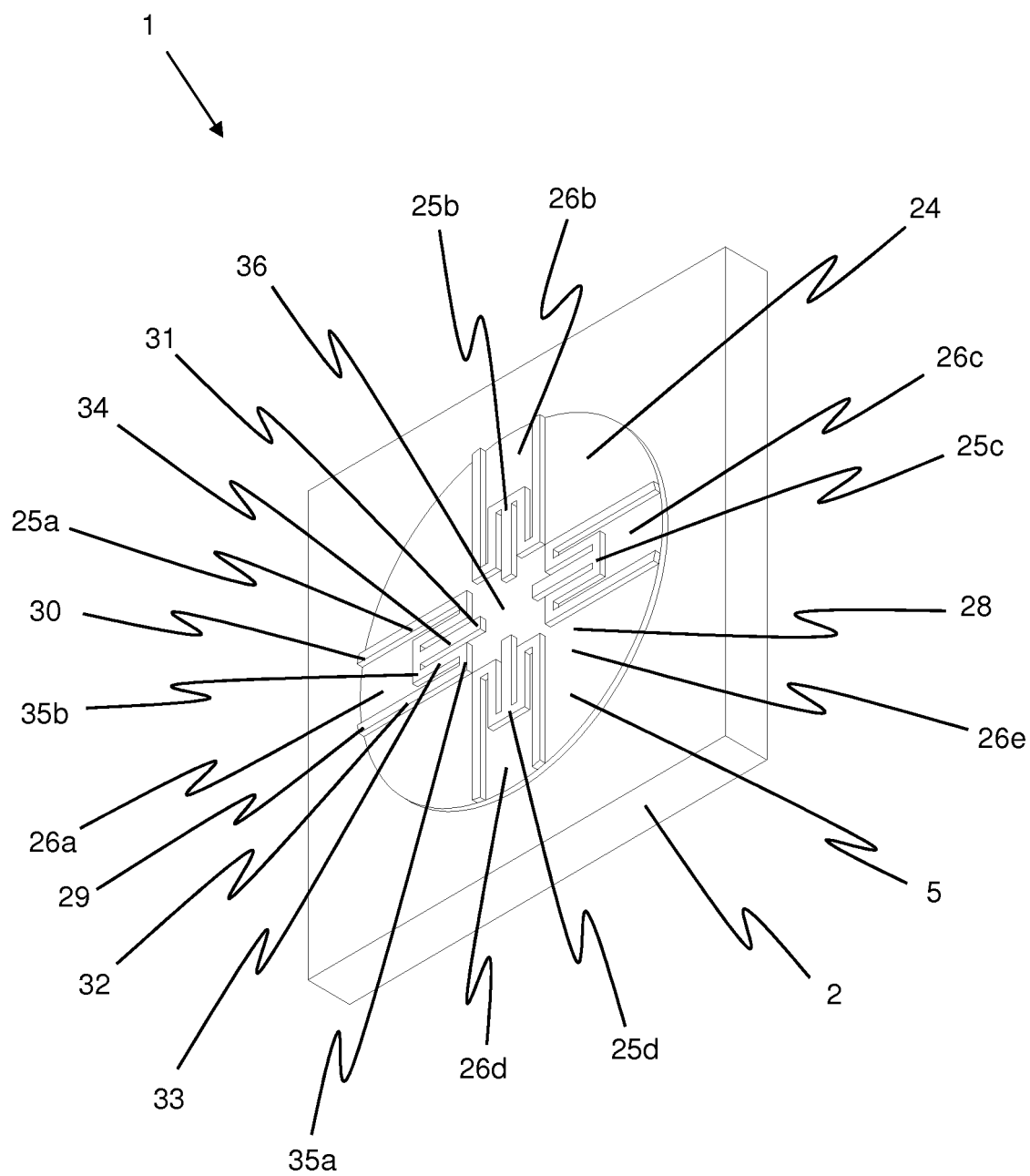


Fig. 7

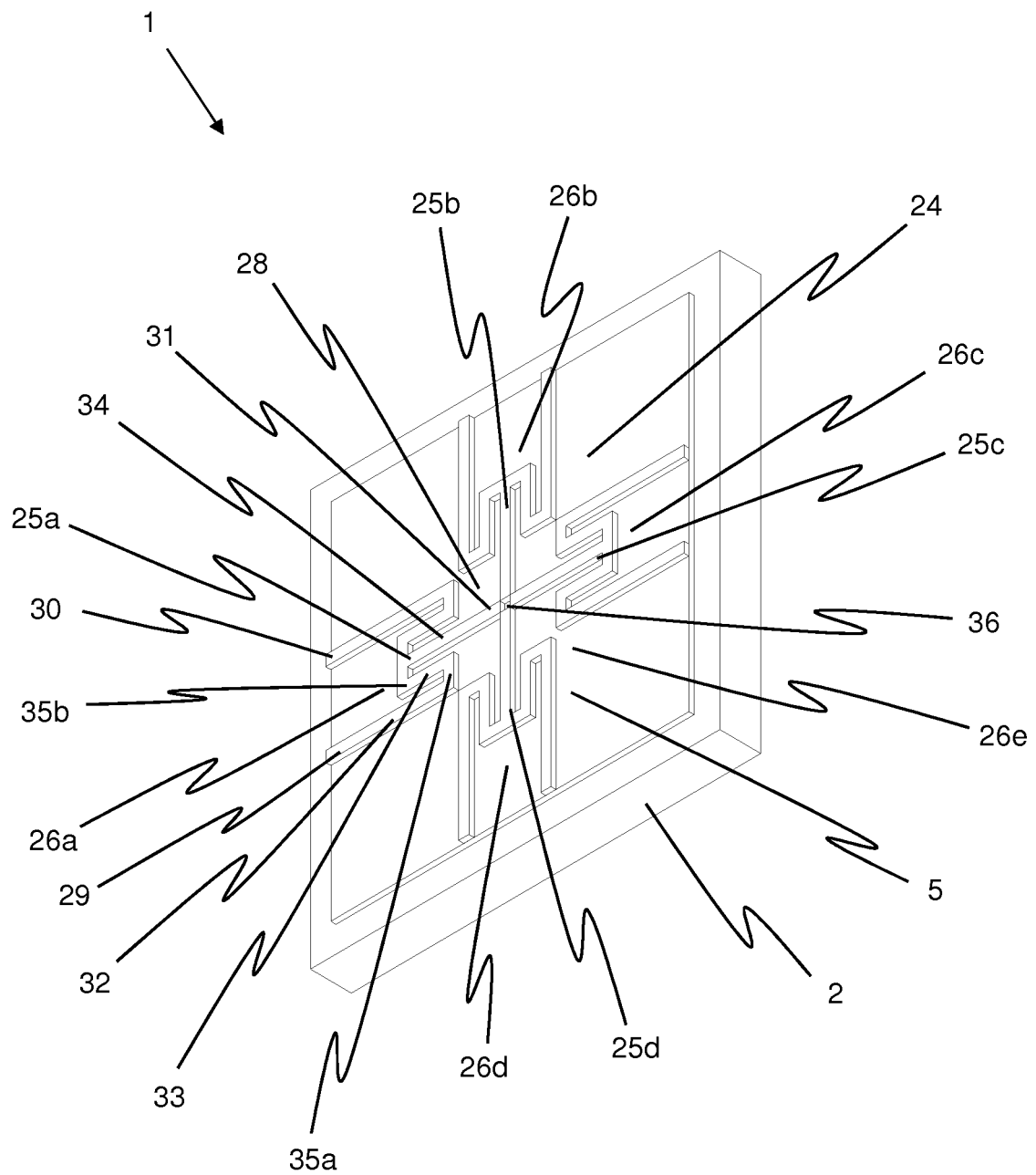


Fig. 8

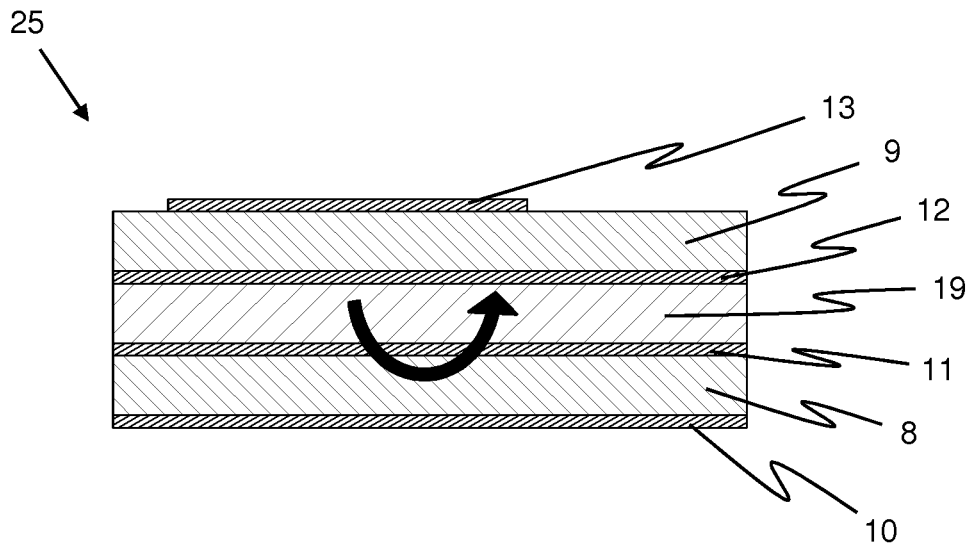


Fig. 9

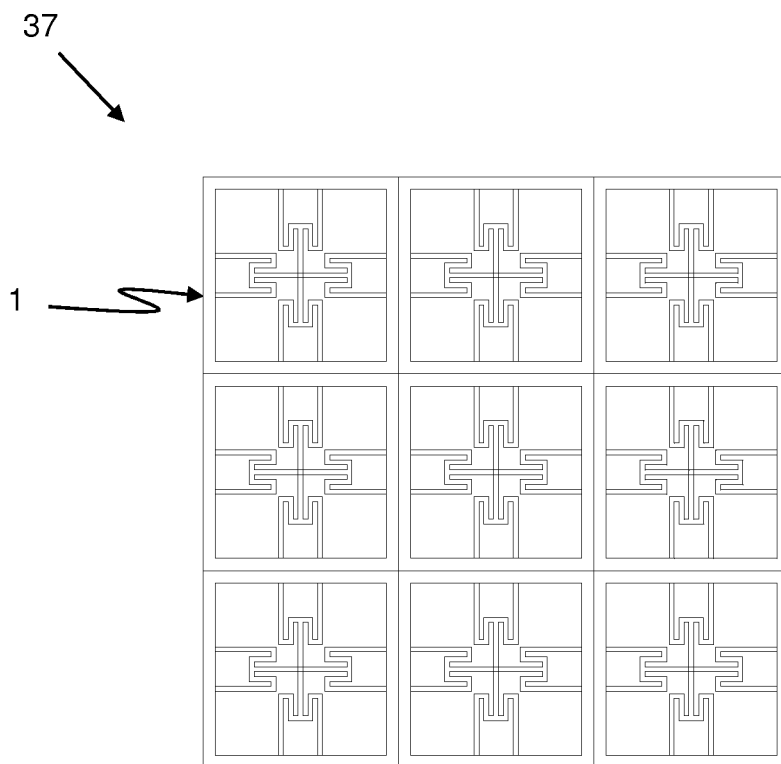


Fig. 10

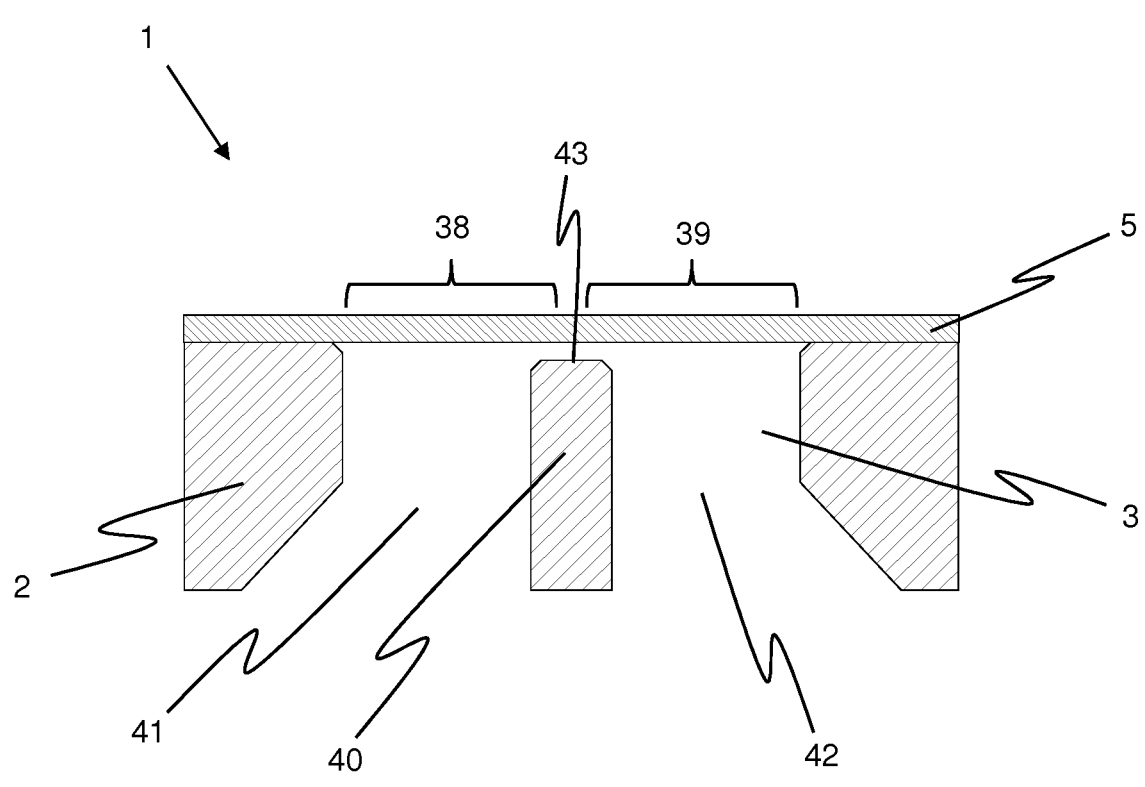


Fig. 11

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 102012220819 A1 [0002]
- DE 102005008511 A1 [0003]
- US 20110120843 A1 [0004]