

(19)



(11)

EP 2 362 686 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:

31.08.2011 Patentblatt 2011/35

(51) Int Cl.:

H04R 25/00 (2006.01)

H04R 17/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11001587.2**

(22) Anmeldetag: **25.02.2011**

(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**

Benannte Erstreckungsstaaten:

BA ME

(30) Priorität: **26.02.2010 DE 102010009453**

(71) Anmelder: **Fraunhofer-Gesellschaft zur
Förderung der
angewandten Forschung
80686 München (DE)**

(72) Erfinder:

- **Kaltenbacher, Dominik
70469 Stuttgart (DE)**
- **Schäfer, Armin
75196 Remchingen (DE)**

• **Schächtele, Jonathan
70569 Stuttgart (DE)**

• **Zenner, Hans-Peter
72070 Tübingen (DE)**

• **Goll, Erich
71032 Böblingen (DE)**

• **Dalhoff, Ernst
72108 Rottenburg (DE)**

• **Muralt, Paul
1315 La Sarrat (CH)**

• **Conde, Janine
1400 Yverdon-les-Bains (CH)**

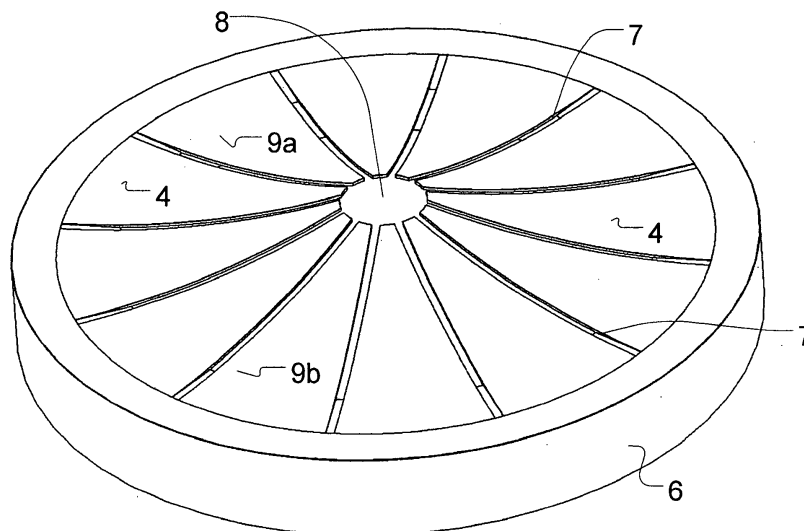
(74) Vertreter: **Pfenning, Meinig & Partner GbR
Patent- und Rechtsanwälte
Theresienhöhe 13
80339 München (DE)**

(54) **Schallwandler zum Einsetzen in ein Ohr**

(57) Die Erfindung betrifft einen Schallwandler zur Erzeugung von Schallschwingungen, der in ein Ohr einsetzbar ist und insbesondere für ein implantierbares Hörgerät einsetzbar sein kann. Der Schallwandler weist zu-

mindest eine Trägerschicht und zumindest eine piezoelektrische Schicht auf, wodurch eine Auslenkung über ein Bimorph-Prinzip erreicht wird, oder eine Auslenkung durch Abgreifen einer Spannung detektierbar ist.

Fig. 2C



EP 2 362 686 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Schallwandler zur Erzeugung von Schallschwingungen, der in ein Ohr einsetzbar ist und insbesondere für ein implantierbares Hörgerät einsetzbar sein kann. Der Schallwandler weist zumindest eine Trägerschicht und zumindest eine piezoelektrische Schicht auf, wodurch eine Auslenkung über ein Bimorph-Prinzip erreicht wird, oder eine Auslenkung durch Abgreifen einer Spannung detektierbar ist.

[0002] In den wohlhabenden Industrieländern leiden zwischen 10 und 20 % der Bevölkerung an einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Schwerhörigkeit - aufgrund der demographischen Entwicklung mit steigender Tendenz. Die Mehrzahl der Patienten kann mit konventionellen Hörgeräten versorgt werden, doch vor allem bei hochgradiger Schwerhörigkeit stoßen diese Systeme an ihre Grenzen.

[0003] Implantierbare Hörgeräte (auch aktive Mittelohrimplantate genannt) zeichnen sich demgegenüber durch ein größeres Schallverstärkungspotential und eine bessere Tonqualität aus. Sie kommen jedoch aufgrund der aufwändigen Implantation, dem damit verbundenen Risiko und den hohen Kosten bisher meist nur bei jüngeren oder hochgradig schwerhörigen Patienten zur Anwendung, erzielen dort jedoch eine hohe Zufriedenheit.

[0004] Das technische Problem bei Hörgerätimplantaten ist die Ankopplung des implantierten Schallwandlers an das auditorische System von Mittel- und Innenohr. Derzeitige Implantate stellen dabei eine mechanische Verbindung zu den Gehörknöchelchen her. Dies setzt bei der Implantation ein gesundes Mittelohr voraus, was Patienten mit chronischer Mittelohrentzündung und inoperablen Schäden der Knöchelchenkette von der Behandlung ausschließt.

[0005] Derzeit regt die überwiegende Anzahl der im Mittelohr implantierten Hörgeräte die Gehörknöchelchen an. Für einige solche Lösungen wird ein Bauteil direkt an die Gehörknöchelchen angebracht, das schwingt und über die direkte mechanische Kopplung die Gehörknöchelchenbewegung verstärkt. Das Schwingen des an den Gehörknöchelchen angebrachten Bauteils wird beispielsweise elektromagnetisch durch einen zwischen zwei Spulen bewegten Eisenkern (z.B. AU 2009202560 A2) oder durch einen Permanentmagnet, der in einem außerhalb des Mittelohrs erzeugten Magnetfeld schwingt (z.B. WO 0047138 A1) generiert.

[0006] Andere Lösungen regen die Gehörknöchelchen über einen mechanisch direkt angekoppelten elektromagnetischen Wandler an. Das Eingangssignal für die Anregung der Gehörknöchelchen wird hierbei entweder vor einer defekten Verbindungsstelle durch einen mechanisch angebundenen Sensor erfasst oder mit einem implantierbaren oder außerhalb des Körpers liegenden Mikrofon aufgenommen.

[0007] Problematisch bei vielen Lösungen des Standes der Technik ist, dass sie eine Mastoidektomie erfordern, insbesondere um den Schallwandler mit elektri-

scher Energie zu versorgen. Solche Eingriffe sind relativ aufwändig und lassen sich normalerweise nicht ambulant durchführen. Erschwerend kommt hinzu, dass die anatomischen Räume, die für die Implantation zur Verfügung stehen, außerordentlich klein sind und der Schallwandler daher eine außerordentlich hohe Energiedichte aufbringen muss. Bei vielen Lösungen des Standes der Technik treten außerdem Ankopplungsverluste auf und die Ankopplungsgüte ist schlecht reproduzierbar. Gerade hierdurch bleibt jedoch der Eingriff zum Einsetzen eines Hörgeräts nur wenigen Spezialisten mit kostspieliger Ausrüstung vorbehalten, weshalb diese Lösungen teuer und wenig verbreitet sind. Zudem weisen bestehende Aktoren eine Baugröße auf, die nur in einem Teil der Patienten geeignet ist, optimal an die gewünschten anatomischen Strukturen wie beispielsweise die Rundfenstermembran anzukoppeln, während eine Verkleinerung der bestehenden Schallwandler zu einer ungenügenden Leistung führen würde.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Schallwandler anzugeben, der mit geringem Aufwand, insbesondere ohne Mastoidektomie, implantierbar ist und gleichzeitig eine hohe audiologische Qualität erzielt. Bevorzugt wird eine geringe Variabilität der audiologischen Qualität angestrebt.

[0009] Diese Aufgabe wird gelöst durch den Schallwandler zum Einsetzen in ein Ohr nach Anspruch 1 sowie das Verfahren zum Herstellen eines Schallwandlers nach Anspruch 18. Die abhängigen Ansprüche geben vorteilhafte Weiterbildungen des erfindungsgemäßen Schallwandlers an.

[0010] Der erfindungsgemäße implantierbare Schallwandler ist zur Erzeugung und/oder Detektion von Schallschwingungen eingerichtet und geeignet und weist zumindest eine Membranstruktur auf.

[0011] Die Membranstruktur des erfindungsgemäßen Schallwandlers ist durch zumindest eine Schnittlinie in ihrer flächigen Ausdehnung in zumindest ein, zwei oder mehrere Segmente unterteilt. Unterteilung der Membranfläche bedeutet, dass die gesamte Membran, also sowohl die Trägerschicht als auch die Piezoschichten, und gegebenenfalls Elektrodenschichten, durch gemeinsame Schnittlinien unterteilt sind, so dass die Membran an der oder den Schnittlinien mechanisch entkoppelt ist, was bedeutet, dass zwei durch eine Schnittlinie getrennte Bereiche der Membranstruktur unabhängig voneinander bewegbar sind. Die Unterteilung bzw. Segmentierung der Membranfläche bedeutet also entsprechende Segmentierung der Trägerschicht und entsprechende Segmentierung der Piezoschichten und gegebenenfalls Elektrodenschichten.

[0012] Die Segmentierung ermöglicht eine hohe Amplitude einer Schwingung bei sehr kleiner Baugröße, ohne dass durch diese Maßnahme die Kraft zu niedrig wird.

[0013] Eine möglichst nahe Ankopplung eines Schallwandlers am runden Fenster (fenestra cochleae) oder ovalen Fenster (fenestra ovalis oder vestibularis) ist für

die audiologische Qualität eines mit dem Schallwandler ausgestatteten Hörgerätes, insbesondere als Schallerzeuger, vorteilhaft. Ein vor dem runden oder ovalen Fenster angeordneter Schallwandler ist außerdem von einem implantierenden Chirurgen über den Zugang über äußeren Gehörgang und Trommelfell in relativ kurzer Zeit, eventuell sogar rein ambulant, implantierbar.

[0014] Bevorzugt ist daher die Membranstruktur so ausgestaltet, dass der Schallwandler auf, in oder vor einem runden Fenster oder einem ovalen Fenster eines Ohres bzw. eines Gehörs so anordenbar ist, dass er dieses Fenster zumindest teilweise oder vollständig abdeckt. Der Schallwandler ist im Falle eines Schallerzeugers mit der Membranstruktur dabei so anordenbar, dass Schwingungen der Membranstruktur Schallschwingungen durch das runde bzw. das ovale Fenster bewirken. Bevorzugt steht die Membranstruktur dabei mit der Membran des entsprechenden Fensters in unmittelbarem Kontakt.

[0015] Besonders bevorzugt ist der Schallwandler und die Membranstruktur so ausgestaltet, dass der Schallwandler in einer Nische vor dem ovalen oder runden Fenster eines Ohres, d.h. der Rundfensternische, gemessen am Durchschnitt der Bevölkerung oder der Mehrheit der Bevölkerung, einbringbar ist. Dabei kann eine akustische Kopplung zwischen der Membranstruktur und der entsprechenden Fenstermembran einerseits durch Einbringen von Material zwischen die Membranstruktur und die Fenstermembran, beide berührend, hergestellt werden. Bevorzugt ist jedoch, wenn die Membranstruktur so an dem runden oder ovalen Fenster angeordnet wird, dass sie die Membran des entsprechenden Fensters unmittelbar kontaktiert, wobei jedoch erlaubt ist, dass zwischen der eigentlichen Membranstruktur und der entsprechenden Fenstermembran Schichten zur Passivierung bzw. Abdichtung der Membranstruktur angeordnet sind.

[0016] Unter Schallschwingungen werden im Sinne der Anmeldung Schwingungen mit Frequenzen verstanden, die vom menschlichen Gehör wahrnehmbar sind, d.h. Schwingungen zwischen ca. 2 Hz und 20.000 bis 30.000 Hz. Die Schallschwingungen sind außerdem geeignet, in einem Medium, insbesondere Luft oder Perilymphe, Schallwellen anzuregen.

[0017] Vorteilhaft sind Schallschwingungen durch das runde oder ovale Fenster erzeugbar. Das bedeutet, dass durch den Schallwandler im Innenohr Schallwellen anregbar sind, die vom entsprechenden runden bzw. ovalen Fenster ausgehen. Es können vorteilhaft also vom runden oder ovalen Fenster ausgehende Schallwellen erzeugt werden, indem die Membranstruktur in, auf oder vor dem entsprechenden Fenster in Schwingung versetzt wird und dadurch die Perilymphe, also ein flüssiges Medium im Innenohr, unmittelbar zur Schwingung anregt oder eine Fenstermembran zur Schwingung anregt, welche dann ihrerseits die Perilymphe anregt.

[0018] Erfindungsgemäß weist die Membranstruktur zumindest eine Trägerschicht und zumindest eine, auf

der Trägerschicht angeordnete Piezoschicht auf, welche zumindest ein piezoelektrisches Material aufweist. Die Trägerschicht und die Piezoschicht bilden eine Bimorph-Struktur und sind daher so angeordnet und ausgebildet, dass die Membranstruktur durch Anlegen einer Spannung, insbesondere einer Wechsellspannung, an die Piezoschicht in Schwingung versetzbar ist und/oder dass durch Schwingung der Membran erzeugte Spannungen in der Piezoschicht detektierbar sind. Die Trägerschicht und die Piezoschicht können hierzu mit parallelen Schichtebenen aufeinander oder aneinander angeordnet sein und sollten direkt oder mittelbar miteinander verbunden sein. Die genannten Schnittlinien durchtrennen vorzugsweise alle Schichten der Membranstruktur.

[0019] Vorteilhafterweise wird, um eine gute audiologische Qualität zu gewährleisten, die Membranstruktur so ausgebildet, dass sie eine maximale Auslenkung von 1 bis 5 μm ermöglicht, vorzugsweise von 5 μm . Hierzu ist z.B. bei einer Frequenz ν von 4 kHz, einer akustischen Flussimpedanz Z_F des runden Fensters von 32 G Ω und einer Fläche A der Membran des runden Fensters von ungefähr 2 mm², eine treibende Kraft von $2 \pi \nu Z_F A^2 x = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ N}$, nötig. Die durchschnittliche Energie entspricht der Hälfte des Produkts von maximaler Kraft und maximaler Auslenkung, also in diesem Beispiel $4 \cdot 10^{-8} \text{ J}$, um die Leistung zu erhalten. Umgerechnet auf einen Bau-raum von z.B. 2 mm³ benötigt man in diesem Beispiel demnach eine Energiedichte von 20 J/m³.

[0020] Die Segmente können so gestaltet werden, insbesondere bezüglich ihrer Länge, dass die Impedanz optimal ist.

[0021] Besonders bevorzugt ist hierzu die Membranstruktur in Dünnschichttechnik ausgeführt. Dünne Schichten sind vorteilhaft, da hohe Felder erforderlich sind, um hohe Energiedichten zu erzeugen, während aber die anlegbaren Spannungen wegen der biologischen Umgebung möglichst niedrig sein sollten. In einer Dünnschichtmembran sind die erforderlichen Energiedichten erzielbar.

[0022] Dabei können insbesondere die Piezoschichten erfindungsgemäß in Dünnschichttechnik hergestellt werden. Hierzu wird für eine herzustellende Piezoschicht der Membranstruktur Piezomaterial in der Dicke der Piezoschicht aufgetragen. Das Auftragen kann über Abscheidetechniken wie Physical Vapor Deposition-, Chemical Vapor Deposition-Sputtern und andere erfolgen. Durch die Herstellung der Piezoschichten durch Abscheiden von Piezomaterial in der gewünschten Dicke lassen sich deutlich dünnere Piezoschichten realisieren als nach dem Stand der Technik, wo fertig gewachsene Piezokristalle auf die Dicke der Piezoschicht abgeschliffen wurden.

[0023] Vorzugsweise haben die Piezoschichten eine Dicke von $\leq 20 \mu\text{m}$, bevorzugt $\leq 10 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt $\leq 5 \mu\text{m}$ und/oder $\geq 0,2 \mu\text{m}$, vorzugsweisen $\geq 1 \mu\text{m}$, bevorzugt $\geq 1,5 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt $= 2 \mu\text{m}$. Die Elektroden-schichten haben vorzugsweise eine Dicke von $\leq 0,5 \mu\text{m}$, vorzugsweise $\leq 0,2 \mu\text{m}$, besonders bevor-

zugt $\leq 0,1 \mu\text{m}$ und/oder $\geq 0,02 \mu\text{m}$, vorzugsweise $\geq 0,05 \mu\text{m}$ und besonders bevorzugt $\geq 0,08 \mu\text{m}$.

[0024] Dünne Schichten des Schallwandlers - sowohl die der Silizium-Balkenstruktur als auch die der Piezoschicht(en) - sorgen dafür, dass bei Auslenkung der Balken nur eine kleine Masse in Bewegung versetzt wird. Die Resonanzfrequenz des Schwingungssystems befindet sich für die beschriebenen Aktorvarianten im oberen Bereich der Frequenzbandbreite des menschlichen Gehörs. Es ist also eine gleichmäßige Anregung des runden Fensters über den gesamten menschlichen Frequenzbereich möglich.

[0025] Die Erzeugung der mechanischen Schwingungen des erfindungsgemäßen Schallwandlers beruht dabei auf dem Prinzip der elastischen Verformung eines Biegebalkens, wobei die Membran oder Segmente der Membran als Biegebalken betrachtet werden können. Die piezoelektrische Schicht (Piezoschicht) ist dabei durch Anlegen der Spannung und des hierdurch erzeugbaren elektrischen Feldes verkürzbar und/oder verlängernbar. Im Materialverbund aus Trägerschicht und Piezoschicht werden hierbei mechanische Spannungen erzeugt, die zu einer Aufwärtsbiegung des Balkens bzw. der Membranstruktur bei sich verkürzender Piezoschicht führen und zu einer entsprechenden Abwärtsbewegung bei sich verlängernder Piezoschicht. Ob die Piezoschicht sich verlängert oder verkürzt hängt dabei von der Polarisationsrichtung der Piezoschicht und der Richtung der anliegenden Spannung bzw. des anliegenden elektrischen Feldes ab.

[0026] Bei einem einschichtigen Schallwandler kann die beschriebene Trägerschicht eine einzelne Schicht piezoelektrischen Materials tragen. Zusätzlich dazu bilden die Elektroden weitere Komponenten des Schichtaufbaus. Eine Bottom-Elektrode kann dabei direkt oder über einer Barrierschicht auf dem Siliziumsubstrat aufgebracht sein, wohingegen sich eine Top-Elektrode auf der piezoelektrischen Schicht befinden kann. Die Polungsrichtung des piezoelektrischen Materials ist vorzugsweise senkrecht zur Oberfläche der Siliziumstruktur. Wenn nun zwischen Top- und Bottom-Elektrode eine elektrische Spannung angelegt wird und sich ein elektrisches Feld ausbildet, verkürzt oder verlängert sich (je nach Vorzeichen der Spannung) das Piezomaterial in Balkenlängsrichtung durch den transversalen piezoelektrischen Effekt, mechanische Spannungen im Schichtverbund werden erzeugt und die Balkenstruktur erfährt eine Biegung.

[0027] Es ist bevorzugt, wenn die Membranstruktur einen kreisförmigen oder ovalen Umfang hat. Insbesondere ist es hierbei günstig, wenn der Umfang der Membranstruktur dem Umfang des runden oder ovalen Fensters eines Ohres entspricht, so dass die Umfangsline der Membranstruktur parallel zum Umfang des runden oder ovalen Fensters läuft, wenn der Schallwandler implantiert wird.

[0028] Durch eine runde oder leicht ovale Form kann der Schallwandler direkt auf die Membran des runden

Fensters aufgesetzt werden. Da die Rundfenstermembran an seiner knöchernen Umrandung als fest eingespannt betrachtet werden kann und dort keine Schwingungsauslenkung zeigt, treten die maximalen Schwingungsauslenkungen im geometrischen Zentrum der Membran auf. Wird der Schallwandler nun mittig auf der Rundfenstermembran platziert, überlagern sich die maximalen Auslenkungen von Schallwandler und Membran, so dass eine gute audiologische Ankopplung und ein großes Schallverstärkungspotential durch den Wandler erreicht wird. Auch ein n-eckiger Umfang der Membranstruktur mit n vorzugsweise ≥ 8 ist möglich.

[0029] Insbesondere im Falle eines kreisförmigen Umfangs, aber auch bei anderen Formen, der Membranstruktur ist es weiter bevorzugt, wenn die Schnittlinien, welche die Membranfläche in Segmente unterteilen, radial von einem Rand der Membranstruktur in Richtung eines Mittelpunktes der Membran verlaufen. Hierbei müssen die Schnittlinien nicht unmittelbar am Rand starten und nicht bis zum Mittelpunkt reichen, es ist auch hinreichend, wenn die Schnittlinien von der Nähe des Randes bis in die Nähe des Mittelpunktes verlaufen. Sofern allerdings die Schnittlinien den Mittelpunkt nicht erreichen, sollte im Mittelpunkt ein freier Bereich vorliegen, in welchem die Schnittlinien enden, so dass die mechanische Entkopplung der Segmente an jenem dem Mittelpunkt zugewandten Ende gewährleistet ist.

[0030] Die Segmente können hierbei so ausgestaltet sein, dass sie kuchenstückförmig sind, also zwei in einem Winkel zueinander verlaufende Ränder als Seitenränder sowie einen Außenrand aufweisen, der am Umfang der Membranstruktur parallel zu diesem Umfang verläuft. Am anderen Ende der Seitenränder, dem Außenrand gegenüber, können die Segmente spitz zulaufen oder so abgeschnitten sein, dass sich um den Mittelpunkt ein freier Bereich ergibt. Die Segmente können dann am äußeren Rand am Rand der Membranstruktur fest angeordnet sein und an den Seitenrändern und gegebenenfalls jenem dem Mittelpunkt zugewandten Rand voneinander unabhängig sein, so dass sie um den äußeren Rand frei schwingen können. Die größte Auslenkung wird hierbei normalerweise an jenem dem Mittelpunkt zugewandten Ende des Segmentes auftreten. Vorzugsweise ist die Zahl der Segmente ≥ 8 .

[0031] Die Schnittlinien können hierbei radial gerade verlaufen, so dass die Segmente gerade radiale Kanten haben.

[0032] Es ist jedoch auch möglich, dass die radial verlaufenden Schnittlinien gekrümmt verlaufen, so dass sich Segmente mit nicht geraden radial verlaufenden Kanten ergeben. Insbesondere können hierdurch Segmente gebildet werden, die in radialer Richtung bogenförmig, wellenförmig oder entlang einer Zickzacklinie verlaufen. Zahlreiche andere Geometrien sind denkbar.

[0033] In einer alternativen Ausführungsform der Erfindung kann die Membranstruktur durch zumindest eine Schnittlinie spiralförmig strukturiert sein. Die zumindest eine Schnittlinie verläuft dabei so, dass sich zumindest

ein spiralförmiges Segment ergibt, das sich vorzugsweise um einen Mittelpunkt der Membranstruktur windet. Möglich ist es auch, mehrere Schnittlinien vorzusehen, welche die Membranstruktur so unterteilen, dass sich zwei oder mehr spiralförmige Segmente ergeben, die sich vorteilhaft jeweils um den Mittelpunkt der Membranstruktur winden und besonders bevorzugt ineinander verlaufen.

[0034] Um die Membranstruktur in Schwingung zu versetzen und/oder um eine Spannung an der Piezoschicht abzugreifen, können zumindest eine erste und zumindest eine zweite Elektrodenschicht an der Membranstruktur angeordnet sein, wobei die zumindest eine Piezoschicht zwischen der ersten und der zweiten Elektrodenschicht angeordnet ist. Die Elektrodenschichten überdecken hierbei vorzugsweise die Piezoschicht und sind mit parallelen Schichtebenen an oder auf der Piezoschicht angeordnet. Vorzugsweise ist die erste oder zweite Elektrodenschicht zwischen der Trägerschicht und der Piezoschicht angeordnet, so dass die Piezoschicht über eine der Elektrodenschichten auf der Trägerschicht angeordnet ist. Besonders bevorzugt bedecken die Piezoschicht und die Elektrodenschichten einander vollständig.

[0035] Die Verwendung von Segmentstrukturen erlaubt gegenüber einer unstrukturierten Membran eine höhere Auslenkung, da sich die Balkenelemente dort, wo sie durch die Schnittlinien separiert sind, z.B. im Zentrum der Scheibe, frei verformen können und somit eine konstante Biegung in nur eine Richtung erfahren. Die Verformung einer zusammenhängenden Membran ist hingegen durch eine Richtungsänderung der Krümmung charakterisiert, was zu niedrigeren Auslenkungen führt.

[0036] In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Membranstruktur eine Mehrzahl von mit parallelen Flächen aufeinander angeordneten Piezoschichten auf, wobei zwischen je zwei benachbarten Piezoschichten eine Elektrodenschicht angeordnet ist. Es ist also auf der Trägerschicht abwechselnd jeweils eine Elektrodenschicht und eine Piezoschicht angeordnet. Elektrodenschichten und Piezoschichten können unmittelbar aufeinander, miteinander verbunden, angeordnet sein oder über ein oder mehrere Zwischenschichten aufeinander angeordnet sein. Mit dieser Ausführungsform lassen sich Schwingungen mit besonders großer Kraft bzw. Leistung erzeugen und Schwingungen besonders genau detektieren.

[0037] Bei dieser Wandlermodifikation wechseln sich also im Schichtaufbau Elektroden mit unterschiedlichem elektrischem Potential mit Piezoschichten ab. Auf die Siliziumstruktur folgt zunächst eine Bottom-Elektrode, darauf eine erste Piezoschicht, eine Elektrode mit entgegen gesetztem Potential, eine zweite Piezoschicht, eine Elektrode mit dem Potential der Bottom-Elektrode, usw.

[0038] Die Polungsrichtung der einzelnen Piezoschichten kann wie beim Einschichtwandler senkrecht zur Oberfläche der Membranstruktur liegen, allerdings zeigt sie für abwechselnde Piezoschichten in entgegen

gesetzte Richtung. Das sich zwischen den Elektroden entgegen gesetzten Potentials aufbauende elektrische Feld und die für die einzelnen Piezoschichten abwechselnde Polarisierungsrichtung sorgt für eine gemeinsame Längenänderung des gesamten Schichtaufbaus, was wiederum eine Biegung der Siliziumstruktur hervorruft.

[0039] Vorteilhafterweise sind die Elektrodenschichten so ausgestaltet bzw. so kontaktiert, dass je zwei benachbarte Elektrodenschichten mit Ladung unterschiedlicher Polarität beaufschlagbar sind. Es ist hierdurch ein elektrisches Feld in den Piezoschichten erzeugbar, das jeweils von einer Elektrodenschicht zur benachbarten Elektrodenschicht verläuft. Auf diese Weise können die Piezoschichten besonders gleichmäßig mit elektrischen Feldern durchsetzt werden. Im Falle einer Schwingungsdetektion können vorzugsweise unterschiedliche Vorzeichen einer an der Piezoschicht entstehenden Spannung jeweils durch benachbarte Elektrodenschichten abgegriffen werden.

[0040] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung können zumindest zwei bandförmige, also längliche, Elektroden, die ein Elektrodenpaar bilden, auf der Oberfläche der zumindest einen Piezoschicht oder auf der Oberfläche der Trägerschicht so angeordnet sein, dass sie parallel zur entsprechenden Oberfläche verlaufen und vorzugsweise auch parallel zueinander verlaufen. Die beiden Elektroden eines Elektrodenpaares sind jeweils mit Ladung unterschiedlicher Polarität beaufschlagbar, so dass sich zwischen den Elektroden eines Elektrodenpaares ein elektrisches Feld ausbildet, welches zumindest bereichsweise die Piezoschicht durchsetzt. Sind mehrere Elektrodenpaare vorgesehen, so kann sich auch zwischen Elektroden unterschiedlicher Polarität benachbarter Elektrodenpaare ein elektrisches Feld ausbilden, das die Piezoschicht durchsetzt. Im Fall einer Schwingungsdetektion sind entsprechend durch je eine Elektrode des Elektrodenpaares unterschiedliche Vorzeichen der unten stehenden Spannung kontaktierbar.

[0041] Die Leiterbahnstrukturen der bandförmigen Elektroden können vorzugsweise einen rechteckigen Querschnitt haben.

[0042] Besonders vorteilhaft ist es, wenn eine Vielzahl von Elektrodenpaaren mit jeweils zwei Elektroden, die mit unterschiedlicher Polarität beaufschlagbar sind, so angeordnet sind, dass die Elektroden der Vielzahl von Elektrodenpaaren parallel zueinander verlaufen. Dabei sollten die Elektrodenpaare außerdem so angeordnet sein, dass jeweils zwei benachbart verlaufende Elektroden mit Ladung unterschiedlicher Polarität beaufschlagbar sind. Auf diese Weise bildet sich zwischen je zwei benachbarten Elektroden ein die Piezoschicht durchsetzendes elektrisches Feld. Für den Fall, dass, wie hier beschrieben, eine Vielzahl von Elektrodenpaaren vorgesehen sind, liegen also eine Vielzahl von Elektroden auf einer Oberfläche der Piezoschicht oder der Trägerschicht vor, die parallel zueinander verlaufen können und

mit abwechselnder Polarität nebeneinander angeordnet sein können.

[0043] Die Polung des Piezomaterials ist in diesem Fall nicht homogen über die gesamte Piezoschicht verteilt, vielmehr verläuft die Polarisationsrichtung feldlinienförmig von der negativen zur positiven Elektrode. Wenn im Betrieb des Wandlers die kammförmigen Elektroden mit wechselndem elektrischem Potential beaufschlagt werden, bildet sich entlang der Polarisierungsrichtung des Piezomaterials ein elektrisches Feld aus, entlang dessen sich das Piezomaterial ausdehnt bzw. verkürzt. Dadurch verlängert bzw. verkürzt sich die gesamte Piezoschicht in Balkenlängsrichtung, was zu einer Abwärtsbiegung bzw. Aufwärtsbiegung der Siliziumstruktur führt.

[0044] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Elektroden hierbei außerdem parallel zu dem Rand der Membranstruktur verlaufen. Ist also die Membranstruktur kreisförmig, so bilden die Elektroden bevorzugt konzentrische Kreise um den Mittelpunkt der Membranstruktur. Entsprechend sind bei einer ovalen Membranstruktur auch die Elektroden bevorzugt oval ausgestaltet. Die Elektroden können jeweils entlang des gesamten Umfangs parallel zum Umfang der Membranstruktur verlaufen oder nur auf einem Teil des Umfangs, so dass sie beispielsweise die Form von Kreisumfangsabschnitten haben.

[0045] Bandförmige Elektroden lassen sich besonders vorteilhaft über gemeinsame Leiter kontaktieren, wobei eine Mehrzahl der Elektroden durch einen gemeinsamen Leiter kontaktiert wird. So können eine Mehrzahl der Elektroden einer Polarität mit zumindest einem ersten Leiter verbunden sein und Elektroden der anderen Polarität mit zumindest einem zweiten Leiter. Damit die Elektroden unterschiedlicher Polarität abwechselnd angeordnet sind, können die den unterschiedlichen Leitern zugeordneten Elektroden unterschiedlicher Polarität kammförmig ineinander greifen. Die gemeinsamen Leiter können hierbei die Elektroden der ihnen entsprechenden Polarität schneiden und verlaufen z.B. bei kreisförmigen Elektroden besonders bevorzugt radial.

[0046] Auch im Falle einer bandförmigen Ausgestaltung der Elektroden kann die Membranstruktur mehrschichtig ausgestaltet sein. Hierbei ist es zum einen wiederum möglich, dass mehrere Piezoschichten aufeinander angeordnet sind, wobei dann bandförmige Elektroden zwischen jeweils zwei benachbarten Piezoschichten verlaufen können. Die Anordnung der Elektroden entspricht hierbei der oben beschriebenen Anordnung auf der Oberfläche einer Piezoschicht. Möglich ist es aber auch, dass die Membranstruktur zumindest eine Piezoschicht aufweist, die von bandförmigen Elektroden bzw. Elektrodenpaaren in einer oder mehreren Ebenen durchsetzt ist. In diesem Fall verlaufen die Elektroden der Elektrodenpaare im Inneren der entsprechenden Piezoschicht. Die verschiedenen Möglichkeiten der Anordnung entsprechen auch hier jenen der oben genannten Anordnung auf der Oberfläche der Piezoschicht.

[0047] Diese Variante des Schallwandlers weist ge-

genüber der vorigen Lösung eine dickere Piezoschicht auf, die von mehreren Lagen kammförmiger Elektroden durchzogen werden kann. Die Polarisierung im Piezomaterial verläuft wiederum feldlinienförmig von den negativen zu den positiven Leiterbahnelektroden. Bei anliegender Spannung bildet sich entlang der Polarisierungsrichtung ein elektrisches Feld aus, das zu einer Ausdehnung bzw. Verkürzung des Piezomaterials entlang der Feldlinien und zu einer Abwärtsbiegung bzw. Aufwärtsbiegung der Balkenstruktur führt.

[0048] Im Falle spiralförmiger Segmente können bandförmige Elektroden entlang der Längsrichtung der Segmente angeordnet sein. Vorzugsweise reicht hier ein Elektrodenpaar aus.

[0049] Da der Schallwandler in einer biologischen Umgebung zum Einsatz kommt, ist es vorteilhaft, wenn die Spannung, mit welcher die Elektroden beaufschlagt werden, kleiner ist als 3 Volt, bevorzugt kleiner als 2 Volt, besonders bevorzugt kleiner als 1,3 Volt. Alternativ oder zusätzlich ist es auch möglich, die Elektroden flüssigkeitsdicht und/oder elektrisch isolierend zu kapseln, so dass sie mit einer den Schallwandler gegebenenfalls umgebenden Flüssigkeit nicht in Kontakt kommen.

[0050] Eine so dichte Kapselung wird jedoch eine derart hohe akustische Impedanz aufweisen, dass mit beträchtlichen audiologischen Verlusten zu rechnen ist.

[0051] Da der piezoelektrische Effekt im betrachteten Bereich proportional zur Stärke des elektrischen Feldes ist, welches das Material durchdringt, können durch Verwendung sehr dünner piezoelektrischer Schichten bei sehr kleinem Abstand der Elektroden so hohe Felder erzeugt werden (das elektrische Feld berechnet sich im homogenen Fall als Quotient aus anliegender Spannung und Abstand der Elektroden), dass der Piezoeffekt ausreicht, um die für die Anregung des runden Fensters notwendigen Schwingungsauslenkungen und Kräfte zu erreichen.

[0052] Die Trägerschicht kann Silizium aufweisen oder daraus bestehen. Als Piezomaterialien kommen u.a. $\text{PbZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ mit vorzugsweise $0.45 < x < 0.59$, besonders bevorzugt mit Dotierungen von beispielsweise La, Mg, Nb, Ta, Sr und dergleichen, vorzugsweise mit Konzentrationen zwischen 0,1 und 10 %, in Frage. Auch weitere feste Lösungen mit PbTiO_3 , wie beispielsweise $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}, \text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$, $\text{Pb}(\text{Sn}_{1/3}, \text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ kommen in Frage. Mögliche Materialien sind auch bleifreie Materialien, die KNbO_3 , NaNbO_3 enthalten, Dotierungen mit Li, Ta, etc., Bi-haltige Piezoschichten, Aurivilliusphasen mit Ti, Ta, Nb, ferner auch Perovskitphasen, wie BiFeO_3 . Auch klassische Dünnschichtmaterialien, wie AlN und ZnO sind möglich.

[0053] Silizium als Trägermaterial für die Piezoschichten ermöglicht das Herstellen der scheibenförmigen Struktur und der kuchenstückförmigen Biegebalken mit den Strukturierungstechniken der Mikrosystemtechnik. Es können bekannte und erprobte Beschichtungs- und Ätzverfahren zur Herstellung von Balken, Elektroden und Piezoschicht verwendet werden, z.B. Sol-Gel-Techni-

ken, Sputter-Verfahren, chem. Ätzen, Ionenätzen, etc. Weiterhin erlauben die Verfahren der Mikrosystemtechnik ein Parallelisieren des Fertigungsprozesses; aus einem Silizium-Wafer lässt sich in einem Fertigungsdurchgang eine Vielzahl von Schallwandlern herstellen. Dies ermöglicht eine kostengünstige Produktion.

[0054] Die zumindest eine Piezoschicht hat vorzugsweise eine Dicke von $\leq 20 \mu\text{m}$, vorzugsweise $\leq 10 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt $\leq 5 \mu\text{m}$ und/oder $\geq 0,2 \mu\text{m}$, vorzugsweise $\geq 1 \mu\text{m}$, bevorzugt $\geq 1,5 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt $= 2 \mu\text{m}$. Die Elektrodenschichten haben jeweils vorzugsweise eine Dicke von $\leq 0,5 \mu\text{m}$, vorzugsweise $\leq 0,2 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt $\leq 0,1 \mu\text{m}$ und/oder $\geq 0,02 \mu\text{m}$, vorzugsweise $\geq 0,05 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt $\geq 0,08 \mu\text{m}$. Ein Durchmesser der Membranstruktur ist vorzugsweise $\leq 4 \text{ mm}$, bevorzugt $\leq 3 \text{ mm}$, besonders bevorzugt $\leq 2 \text{ mm}$ und/oder $\geq 0,2 \text{ mm}$, vorzugsweise $\geq 0,5 \text{ mm}$, bevorzugt $\geq 1 \text{ mm}$, besonders bevorzugt $= 1,5 \text{ mm}$, und besonders bevorzugt so gewählt, dass der Schallwandler in geeigneter Weise vor dem runden oder ovalen Fenster eines Ohres anordenbar ist. Bevorzugt ist der Schallwandler in der Rundfensternische eines Ohres anordenbar, wobei deren Abmessungen als jene der Mehrheit oder des Durchschnitts der Bevölkerung im Geltungsbereich der vorliegenden Schrift verstanden werden können.

[0055] Der erfindungsgemäße Schallwandler kann durch unmittelbares Auflegen der Membranfläche auf einer Membran des runden oder ovalen Fensters direkt angekoppelt werden. Da sich die maximale Schwingungsauslenkung des Wandlers in der geometrischen Mitte der Scheibe mit der maximalen Schwingung der Membran im Zentrum des runden Fensters überlagert, ist eine gute audiologische Ankopplung mit hohem Schallverstärkungspotential möglich.

[0056] Erfindungsgemäß kann der Schallwandler auch mehrere wie oben beschriebene Membranstrukturen aufweisen. Diese Membranstrukturen sind dabei gleich strukturiert und parallel zueinander so übereinander angeordnet, dass gleiche Segmente der Struktur bzw. die Schnittlinien der Membranstrukturen übereinander liegen. Gleiche Segmente sind dann so miteinander gekoppelt, dass sich eine Auslenkung und/oder Kraftausübung eines der Segmente auf die benachbarten Segmente überträgt. Die Membranstrukturen können dabei so übereinander angeordnet sein, dass bei Anlegen einer Spannung einer gegebenen Polung an den Schallwandler alle Segmente in die gleiche Richtung ausgelenkt werden. Die Membranstrukturen sind hierbei gleich orientiert. In diesem Fall kann eine Gesamtkraft realisiert werden, die höher ist als die einer einzelnen Membranstruktur. Es ist auch möglich, die Membranstrukturen so aufeinander anzuordnen, dass benachbarte Membranstrukturen jeweils umgekehrt orientiert sind, so dass sich bei Anlegen einer Spannung einer gegebenen Polung benachbarte Membranstrukturen jeweils in unterschiedliche Richtung auslenken. In diesem Fall lässt sich eine Gesamtauslenkung realisieren, die größer ist als die ei-

ner einzelnen Membranstruktur.

[0057] Die Ausführungsformen der Erfindung können speziell an die Anforderungen eines implantierbaren Hörgerätes mit einer audiologischen Anregung des runden oder ovalen Fensters im Mittelohr angepasst sein. Bevorzugt ist der Schallwandler ein Schallerzeuger. Es ist auch möglich, klassische Hörgeräte, Hörgeräte, die direkt auf dem Trommelfell aufsitzen oder sonstige Miniaturlautsprecher, wie beispielsweise in Kopfhörern, mit dem erfindungsgemäßen Schallwandler auszustatten. Der Schallwandler ist außerdem als Sensor einsetzbar und ermöglicht, aus einem Schallsignal ein elektrisches Signal zu generieren. Der Schallwandler kann also auch als Mikrofon zum Einsatz kommen.

[0058] Im Folgenden soll die Erfindung anhand einiger Figuren beispielhaft erläutert werden. Gleiche Bezugszeichen entsprechen dabei gleichen oder entsprechenden Merkmalen. Die in den Beispielen gezeigten Merkmale können auch unabhängig vom konkreten Beispiel und in beliebiger Kombination mit anderen beschriebenen Merkmalen erfindungsgemäß verwirklicht sein.

[0059] Es zeigt

Figur 1 das Prinzip der Auslenkung einer erfindungsgemäßen Membranstruktur,

Figur 2 eine erfindungsgemäße Membranstruktur, die kreisförmig ist und in kuchenstückförmige Segmente unterteilt ist,

Figur 3 einen Schnitt durch erfindungsgemäße Membranstrukturen,

Figur 4 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Schallwandler mit einer zwischen zwei Elektrodenschichten angeordneten Piezoschicht,

Figur 5 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Schallwandler mit mehreren piezoelektrischen Schichten,

Figur 6 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Schallwandler mit auf der Piezoschicht angeordneten bandförmigen Elektroden,

Figur 7 einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Schallwandler mit einer Piezoschicht durchsetzenden bandförmigen Elektroden,

Figur 8 eine Aufsicht auf einen erfindungsgemäßen Schallwandler mit bandförmigen Elektroden,

Figur 9 eine beispielhafte Anordnung eines erfindungsgemäßen Schallwandlers in einem Ohr,

Figur 10 einen erfindungsgemäßen Schallwandler

mit mehreren übereinander angeordneten Membranstrukturen, die eine hohe Amplitude ermöglichen, und

Figur 11 einen erfindungsgemäßen Schallwandler mit mehreren aufeinander angeordneten Membranstrukturen, der eine Auslenkung mit hoher Kraft ermöglicht.

[0060] Figur 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines erfindungsgemäßen Schallwandlers zur Erzeugung und/oder Detektion von Schallschwingungen, der in ein Ohr einsetzbar ist. Im gezeigten Beispiel ist auf einer Trägerschicht 1, beispielsweise einer Siliziumschicht 1, eine Membranstruktur angeordnet, die eine Piezoschicht 2 sowie zwei Elektrodenschichten 3 und 4 aufweist. Die Trägerschicht 1 (elastische Schicht 1) kann dabei z.B. etwa ein- bis zweimal so dick sein wie die piezoelektrische Schicht. Zwischen den Elektrodenschichten 3 und 4 ist mittels einer Spannungsquelle 5 eine Spannung anlegbar oder mittels eines geeigneten Detektors eine Spannung detektierbar. Im gezeigten Beispiel ist auf der Trägerschicht 1 zunächst die eine der Elektrodenschichten 3 angeordnet, auf welcher dann die Piezoschicht 2 angeordnet ist. Auf jener der die Elektrodenschicht 3 kontaktierenden Seite gegenüber liegenden Seite der Piezoschicht 2 ist die zweite Elektrodenschicht 4 angeordnet. Durch Anlegen einer Spannung mittels der Spannungsquelle 5 sind die Elektrodenschichten 3 und 4 mit entgegen gesetzter Polarität aufladbar, so dass zwischen den Elektrodenschichten 3 und 4 ein elektrisches Feld entsteht, welches die Piezoschicht 2 durchsetzt.

[0061] Figur 1A zeigt den Zustand des Schallwandlers für den Fall, dass keine Spannung angelegt ist. Die Trägerschicht 1, die Piezoschicht 2 und die Elektrodenschichten 3 und 4 erstrecken sich hierbei in einer Ebene, sind also flach. Wird nun, wie in Figur 1B gezeigt, eine Spannung mittels der Spannungsquelle 5 zwischen den Elektrodenschichten 3 und 4 angelegt, so durchsetzt ein elektrisches Feld die Piezoschicht 2. Die Piezoschicht 2 verkürzt sich hierdurch, wodurch sich die gesamte Membranstruktur der Trägerschicht 1, der Elektrodenschichten 3 und 4 sowie der Piezoschicht in Richtung der Piezoschicht nach oben biegt. Wird die Spannung 5 umgepolt, dehnt sich die Piezoschicht 2 aus und die Membranstruktur biegt sich von der Piezoschicht 2 weg. Wird an der Spannungsquelle 5 eine Wechselspannung angelegt, so kann die Membranstruktur in Schwingung versetzt werden.

[0062] Figur 2 zeigt einen erfindungsgemäßen Schallwandler, der kreisförmig ausgestaltet ist, so dass er besonders günstig vor dem runden Fenster eines Ohres platzierbar ist. Dabei zeigt Figur 2A eine Aufsicht auf den Schallwandler, so dass eine der Elektrodenschichten 4 zu sehen ist, Figur 2B zeigt eine Aufsicht auf eine der in Figur 2A gezeigten Seite gegenüber liegenden Seite, so dass die Trägerschicht 1 zu sehen ist, und Figur 2C zeigt eine Aufsicht, die der in Figur 2A gezeigten Aufsicht ent-

spricht, wobei sich hier jedoch die Membranstruktur im ausgelenkten Zustand befindet.

[0063] Figuren 2A und 2B zeigen einen erfindungsgemäßen Schallwandler mit kreisförmiger Membranstruktur im unausgelenkten Zustand, in welchem keine Spannung an die Piezoschichten 3 und 4 angelegt ist. Die Membranstruktur ist im gezeigten Beispiel durch Schnitlinien 7 in acht Segmente 9a, 9b unterteilt. Die Segmente 9a, 9b sind hierbei kuchenstückförmig ausgebildet und mit einem Rand 6 des Schallwandlers fest verbunden. Die Segmente 9a, 9b werden an den Schnitlinien 7 mechanisch voneinander getrennt, so dass sie hier gegeneinander beweglich sind. In einem Mittelpunkt 8 der erfindungsgemäßen Membranstruktur kann eine kleine Öffnung 8 vorgesehen sein, in welcher die Schnitlinien 7 enden. Die Schnitlinien 7 verlaufen im gezeigten Beispiel radial vom Rand 6 aus in Richtung des Mittelpunktes 8.

[0064] Figur 2C zeigt die in Figuren 2A und 2B gezeigte Membranstruktur in einem Zustand, der sich einstellt, wenn, wie in Figur 1B, eine Spannung zwischen die Elektrodenschichten 3 und 4 angelegt wird. Die Segmente 9a, 9b der Membranstruktur biegen sich hier als bimorphe Balken in Richtung der Elektrodenschicht 4, im gezeigten Beispiel also nach oben. Der Abstand der ausgelenkten Segmente von jener Ebene, in welcher die Segmente im unausgelenkten Zustand ruhen, nimmt in Richtung des Mittelpunktes 8 zu und erreicht an jenen dem Mittelpunkt zugewandten Enden der Segmente 9a, 9b seinen größten Wert. Die Krümmung der Segmente 9a, 9b behält dabei ihr Vorzeichen zwischen Rand 6 und Mitte 8 bei. Wird die an die Elektroden 3 und 4 angelegte Spannung umgepolt, so biegen sich die Segmente 9a, 9b in Richtung der Trägerschicht 1, also im in Figur 2C gezeigten Beispiel nach unten. Durch Anlegen einer Wechselspannung können die Segmente 9a, 9b in Schwingung versetzt werden. In Figur 2 ist die Membranstruktur in Segmente 9a, 9b segmentiert. Das bedeutet, dass sowohl die Trägerschicht 1 als auch die Piezoschicht 2 und die Elektrodenschichten 3 und 4 in Segmente 9a, 9b segmentiert ist, dergestalt, dass sich die Trägerschicht 1, die Elektrodenschichten 3 und 4 und die Piezoschicht 2 eines Segmentes jeweils gegenseitig vollständig überdecken.

[0065] Figur 3 zeigt zwei mögliche Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Schallwandlers im Vergleich. Die in Figur 3A gezeigte Ausführungsform entspricht jener in Figur 1 und 2 gezeigten, wo die Membranstruktur in Segmente 9a, 9b unterteilt ist. In jener in Figur 3B gezeigten Ausführungsform liegt hingegen eine unsegmentierte Membranstruktur vor. Die in Figur 3A gezeigte segmentierte Ausführungsform erlaubt hierbei gegenüber der unstrukturierten in Figur 3B gezeigten Membran eine höhere Auslenkung, da sich die beiden Elemente 9a, 9b im Zentrum 8 der kreisförmigen Membran frei verformen können und daher in Richtung vom Rand 6 zur Mitte 8 eine konstante Krümmung in nur eine Richtung erfahren. Bei der in Figur 3B gezeigten unsegmentierten

Membran ist die Auslenkung in der Mitte 8 geringer. Darüberhinaus ändert sich die Krümmung der Membran vom Rand 6 in Richtung der Mitte 8 und ändert ihr Vorzeichen. Andererseits erleichtert hingegen die Figur 3B einen gas- und flüssigkeitsdichten Abschluss einer Öffnung durch den erfindungsgemäßen Schallwandler.

[0066] Figur 4 zeigt einen Schnitt durch einen erfindungsgemäßen Schallwandler, bei welchem eine piezoelektrische Schicht 2 zwischen einer Elektroden-schicht 3 und einer Elektroden-schicht 4 angeordnet ist. Die Ausführungsform entspricht im Wesentlichen jener in Figur 1 gezeigten. Mittels einer Spannungsquelle 5 ist eine Spannung zwischen den Elektroden-schichten 3 und 4 anlegbar, welche ein die piezoelektrische Schicht 2 durchsetzendes elektrisches Feld 10 verursacht, wie dies in der Vergrößerung zu erkennen ist. Das elektrische Feld 10 bewirkt, dass sich die Piezoschicht 2 ausdehnt oder zusammenzieht, wodurch sich die Membranstruktur mit der Trägerschicht 1, den Elektroden-schichten 3 und 4 und der Piezoschicht 2 biegt. Wird eine Wechselspannung an der Spannungsquelle 5 angelegt, so kann die Membranstruktur in Schwingung versetzt werden.

[0067] Figur 5 zeigt eine weitere Ausgestaltungsform der vorliegenden Erfindung, bei welcher auf einer Trägerschicht 1 nun eine Vielzahl von Piezoschichten 2a, 2b, 2c, 2d mit zwischen ihnen angeordneten Elektroden-schichten 3, 4 angeordnet ist. Dabei ist auf der Trägerschicht 1 zunächst eine Elektroden-schicht 4 angeordnet, auf welcher dann eine Piezoschicht 2a angeordnet ist. Auf der Piezoschicht 2a ist dann eine Elektroden-schicht mit zur Polarität der vorgenannten Elektroden-schicht negativer Polarität 3 angeordnet. Auf dieser Elektroden-schicht 3 ist nun eine weitere Piezoschicht 2b angeordnet, auf der wiederum eine Elektroden-schicht mit entgegengesetzter Polarität zur Elektroden-schicht 3 angeordnet ist. Im gezeigten Beispiel wechseln sich insgesamt vier Piezoschichten und drei Elektroden-schichten 4 der einen Polarität sowie zwei Elektroden-schichten 3 der entgegengesetzten Polarität ab. Zwischen je zwei benachbarten Elektroden-schichten 3, 4 bildet sich ein elektrisches Feld 10 aus, welches zwischen die zwischen den Elektroden-schichten 3, 4 befindliche piezoelektrische Schicht 2a, 2b, 2c, 2d durchsetzt, so dass diese sich ausdehnt oder zusammenzieht. Die Richtung des elektrischen Feldes wechselt sich dabei entsprechend der wechselnden Polarität der Elektroden-schichten für die nebeneinander liegenden Piezoschichten 2a, 2b, 2c, 2d ab. Wiederum ist durch Anlegen einer Wechselspannung an der Spannungsquelle 5 zwischen den Elektroden-schichten 3 und den Elektroden-schichten 4 das gesamte Membransystem mit Trägerschicht 1 sowie allen Piezoschichten 2 und Elektroden-schichten 3 und 4 in Schwingung versetzbar.

[0068] Figur 6 zeigt eine weitere Ausgestaltungsform der vorliegenden Erfindung. Hierbei ist auf einer Trägerschicht 1 eine Piezoschicht 2 angeordnet, die im gezeigten Beispiel die Trägerschicht 1 unmittelbar berührt. Auf jener der Trägerschicht 1 abgewandten Seite der Piezo-

schicht 2 sind nun bandförmige Elektroden 3, 4 mit abwechselnder Polarität nebeneinander und parallel zueinander angeordnet. Auf der der Trägerschicht 1 abgewandten Oberfläche der Piezoschicht 2 wechseln sich also im Schnittbild Elektroden der einen Polarität 3 mit den Elektroden der anderen Polarität 4 ab. Im Schnittbild in Figur 6 sind auch die bandförmigen Elektroden 3 und 4 im Schnitt gezeigt und haben hier einen wesentlichen rechteckigen Querschnitt. Die Elektroden 3 und 4 liegen äquidistant zueinander.

[0069] Zwischen je zwei benachbarten Elektroden 3 und 4 bildet sich nun ein elektrisches Feld 10 aus, das von einer der Elektroden 3 durch die Piezoschicht 2 zur benachbarten Elektrode entgegengesetzter Polarität 4 verläuft. Das elektrische Feld 10, das durch Anlegen einer Spannung an der Spannungsquelle 5 zwischen den Elektroden 3 und 4 entsteht, durchsetzt also die Piezoschicht 2. Diese ändert dadurch ihre Länge, so dass sich die Membranstruktur mit der Trägerschicht 1 und der Piezoschicht 2 nach oben oder unten biegt. Wie auch in den vorhergehenden Beispielen kann die Membranstruktur durch einen Rahmen 6 getragen werden und segmentiert oder zusammenhängend sein.

[0070] Figur 7 zeigt eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, in welcher wiederum eine Piezoschicht 2 auf einer Trägerschicht 1 angeordnet ist. Die Piezoschicht 2 ist wiederum unmittelbar auf der Trägerschicht 1 angeordnet. Auch in dieser Ausführungsform sind Elektroden 3 und 4 vorgesehen, die mit unterschiedlicher Polarität bei Anlegen einer Spannung beaufschlagt werden können. Auch hier sind die Elektroden bandförmig ausgestaltet und verlaufen in Längsrichtung parallel zueinander und parallel zur Oberfläche der Trägerschicht 1 auf der Piezoschicht 2. Im in Figur 7 gezeigten Beispiel verlaufen jedoch die Elektroden 3 und 4 nicht auf der Oberfläche der Piezoschicht 2, wie in Figur 6 gezeigt, sondern durchsetzen die Piezoschicht 2 in zwei Ebenen. In jeder der Ebenen verlaufen, analog wie auf der Oberfläche in Figur 6, Elektroden 3 und 4 mit abwechselnder Polarität parallel zueinander nebeneinander her. Es wechseln sich also in einer Ebene jeweils eine Elektrode 3 der einen Polarität mit einer Elektrode 4 der anderen Polarität ab. Hierdurch entstehen bei Anlegen einer Spannung an der Spannungsquelle 5 elektrische Felder 10, welche zwischen den Elektroden 3 und 4 verlaufen und die Piezoschicht 2 durchsetzen. Im gezeigten Beispiel verlaufen die Elektroden der beiden gezeigten Ebenen übereinander, so dass über einer Elektrode der unteren Ebene stets eine Elektrode der oberen Ebene verläuft. Es haben hier die übereinander verlaufenden Elektroden die gleiche Polarität, so dass sich die elektrischen Felder vornehmlich zwischen den Elektroden einer Ebene ausbilden. Denkbar wäre es aber auch, dass die bandförmigen Elektroden 3 und 4 so angeordnet sind, dass übereinander verlaufende Elektroden stets eine unterschiedliche Polarität haben. Innerhalb einer Ebene können sich die Polaritäten dennoch abwechseln.

[0071] Durch Anlegen einer Spannungsquelle 5 ist al-

so die Piezoschicht 2 mit einem elektrischen Feld 10 durchsetzbar, was zu einer Ausdehnung oder Zusammenschrumpfung der Piezoschicht 2 führt. Dies hat wiederum zur Folge, dass sich das Membransystem mit der Trägerschicht 1 und der piezoelektrischen Schicht 2 verbiegt. Auch hier erzeugt Anlegen einer Wechselspannung eine Schwingung des Membransystems.

[0072] Figur 8 zeigt eine Aufsicht auf einen erfindungsgemäßen Schallwandler, in welchem die Elektroden wie in Figur 6 oder Figur 7 angeordnet sind. In der Ausführungsform der Figur 6 verlaufen die Elektroden auf der gezeigten Oberfläche. Sofern die Ausführungsform jene der Figur 7 ist, sind innerhalb der piezoelektrischen Schicht unterhalb der gezeigten Elektroden 3 und 4 weitere Elektroden 3 und 4 angeordnet. Die Elektroden 3 und 4 durchsetzen dann die piezoelektrische Schicht 2 in einer oder mehreren Ebenen.

[0073] Die in Figur 8 gezeigte Membran ist wiederum kreisförmig und die Elektroden sind als konzentrische Kreisabschnitte ausgeführt. Hierbei verlaufen eine Vielzahl von Elektroden 3 und 4 kreisförmig um den Mittelpunkt 8 der Membran, wobei sich die Polarität der Elektroden 3 und 4 vom Rand 6 in Richtung zum Mittelpunkt 8 abwechselt. Die in Figur 8A gezeigte Membran ist in acht Segmente 9a, 9b segmentiert, die an einem gemeinsamen Rand 6 fest angeordnet sind und gegeneinander mechanisch entkoppelt sind.

[0074] Die Vielzahl der Elektroden 3 und 4 sind im in Figur 8A gezeigten Beispiel durch Leiter 11 und 12 kontaktiert, die radial vom Rand 6 in Richtung der Mitte 8 verlaufen. Dabei sind stets Elektroden einer Polarität 3 von einem Leiter 11 und Elektroden der anderen Polarität 4 von einem anderen Leiter 12 kontaktiert. Es sind also stets eine Vielzahl von Elektroden 3 gleicher Polarität durch einen gemeinsamen Leiter 11 kontaktierbar.

[0075] Figur 8B zeigt ein Segment 9a im Detail. Zu erkennen ist, dass die Elektroden der einen Polarität 4 und jene der anderen Polarität 3 kammförmig ineinander greifen und an ihrem einen Ende durch einen gemeinsamen Leiter 11 bzw. 12 gemeinsam kontaktiert werden. Die Elektroden einer Polarität 4 verlaufen hierbei von ihrem gemeinsamen Leiter 12 in Richtung des Leiters 11 der anderen Polarität, enden jedoch, bevor sie diesen erreichen, so dass kein elektrischer Kontakt zwischen Elektroden 4 einer Polarität und einem Leiter 11 der anderen Polarität zustande kommt. Im Großteil des Bereiches zwischen zwei Leitern 11 und 12 unterschiedlicher Polarität verlaufen stets Elektroden 3 und 4 in radialer Richtung abwechselnd, so dass sich zwischen den Elektroden wie vorstehend gezeigt elektrische Felder ausbilden können, die die Piezoschicht durchsetzen und hierdurch eine Ausdehnung oder Zusammenziehung der Piezoschicht 2 bewirken können.

[0076] Figur 9 zeigt eine mögliche Anordnung eines erfindungsgemäßen Schallwandlers 91 in einem Ohr. Der Schallwandler 91 weist einen Grundkörper 92 auf, auf dem über einen Rand 6 das Membransystem angeordnet ist, von welchem hier nur die Trägerschicht 1 ge-

zeigt ist. Durch ein Kabel 93 kann der Schallwandler 91 von außerhalb des Ohres oder vom Mittelohr aus mit elektrischer Energie versorgt werden. Im gezeigten Beispiel ist der Schallwandler 91 im runden Fenster 94 angeordnet, und zwar unmittelbar an der Rundfenstermembran 95. Denkbar wäre es auch, den Schallwandler vor dem ovalen Fenster anzuordnen, vor welchem hier der Steigbügel 91 zu sehen ist. Die gezeigte Anordnung vor dem runden Fenster ist besonders günstig, da hier der Schallwandler 91 von einem Arzt auf verhältnismäßig einfache Weise durch das Außenohr und das Trommelfell eingesetzt werden kann.

[0077] Wird im gezeigten Beispiel das Membransystem in Schwingung versetzt, so überträgt sich die Schwingung direkt auf die Rundfenstermembran 95, wodurch Schallwellen im Innenohr 96 erzeugbar sind. Andere Möglichkeiten der Anordnung eines Schallwandlers 91 bestünden in anderen Orten im Ohr, beispielsweise vor dem Trommelfell, ähnlich wie vor der Rundfenstermembran im gezeigten Beispiel, oder als Ohrhörer vor dem äußeren Gehörgang. Insbesondere im äußeren Gehörgang könnte der Schallwandler 91 auch als Mikrofon dienen. Der gezeigte Schallwandler 91 kann aber auch mit beliebigen anderen Schallsensoren gekoppelt werden, die eine Ansteuerung seiner Membranstruktur ermöglichen. Der Schallwandler kann auch im äußeren Gehörgang als Ohrhörer verwendet werden. Die äußere Form von Schallwandler 91 und Membranstruktur sind hierbei an die anatomische Umgebung anzupassen.

[0078] Figur 10 zeigt einen Schallwandler mit sechs zur Erzielung einer großen Amplitude übereinander angeordneten Schallwandlern 102a, 102b, 102c, 102d, 102e, 102f, welche jeweils jenen in Figur 3A gezeigten Schallwandlern entsprechen. Gleiche Bezugszeichen entsprechen hierbei den in Figur 3A verwendeten Bezugszeichen. Hierbei sind jeweils zwei benachbarte Membranstrukturen, z.B. 102a und 102b oder 102b und 102c, gegeneinander umgekehrt angeordnet, so dass sich die Membranstrukturen bei Anlegen einer gleichen Polarität für benachbarte Membranstrukturen in entgegengesetzte Richtung auslenken. Ist also eine Elektrode 3 gegebener Polung bei einem Schallwandler 102c nach unten orientiert, so ist sie bei den benachbarten Schallwandlern 102b und 102d nach oben orientiert. Entsprechend ist auch die Elektrode 4 anderer Polung, die bei einem Schallwandler 102c nach oben orientiert ist, bei den benachbarten Schallwandlern 102b und 102d nach unten orientiert. Die einzelnen Segmente benachbarter Schallwandler sind jeweils über Verbindungsmittel 101 miteinander verbunden, so dass eine Bewegung eines Segmentes eines Schallwandlers eine Bewegung des gleichen Segmentes eines benachbarten Schallwandlers bewirkt. Es sind hierbei die Segmente eines Schallwandlers nur mit den Segmenten eines weiteren benachbarten Schallwandlers verbunden, nämlich jenes Schallwandlers, dem die Membranstruktur zugewandt ist. Nur eine der Membranstrukturen, vorzugsweise eine äußere Membranstruktur 102a oder 102f, ist fest bezüglich eines

Ohres in den Schallwandler implantiert. Die anderen Membranstrukturen 102b, 102c, 102d, 102e sind beweglich und werden bewegt, wenn sich die Segmente biegen. Mit dem in Figur 10 gezeigten Aufbau lassen sich Auslenkungen des Schallwandlers mit besonders hoher Amplitude verwirklichen.

[0079] Figur 11 zeigt einen weiteren Aufbau eines Schallwandlers mit mehreren, hier vier, Membranstrukturen 202a, 202b, 202c und 202d, wie sie in Figur 3A gezeigt sind. Die Membranstrukturen sind hierbei wieder parallel zueinander übereinander angeordnet und in diesem Beispiel gleich orientiert. Das bedeutet, dass alle Elektroden einer Polarität auf einer Seite, beispielsweise der Oberseite des entsprechenden Schallwandlers angeordnet sind und alle Elektroden der anderen Polarität 3 auf der entgegen gesetzten Seite, beispielsweise der Unterseite der Trägerschicht 1. Wird daher eine Spannung einer bestimmten Polarität an alle Membranstrukturen angelegt, so lenken die Membranstrukturen alle in die gleiche Richtung aus. Im gezeigten Beispiel sind die Membranstrukturen temporär nach oben ausgelenkt. Benachbarte Membranstrukturen sind über Verbindungsmittel 201 miteinander verbunden, wobei hier alle Membranstrukturen miteinander verbunden sind. Eine Membranstruktur 202b ist also mit beiden benachbarten Membranstrukturen 202a und 202c verbunden. Die Verbindung bewirkt hierbei, dass eine Kraftwirkung einer Auslenkung einer Membranstruktur sich auf die benachbarten Membranstrukturen überträgt. Hier sind bevorzugt alle Membranstrukturen 202a, 202b, 202c, 202d fest gegenüber einem Ohr, in dem sie eingebaut sind, so dass sich die Segmente relativ zum Ohr bewegen. Durch die gezeigte Ausführungsform lässt sich eine Schwingung mit besonders großer Kraftwirkung realisieren.

Patentansprüche

1. Schallwandler zum Einsetzen in ein Ohr, mit welchem Schallschwingungen erzeugbar sind, aufweisend:

zumindest eine Membranstruktur, wobei die Membranstruktur zumindest eine Trägerschicht und zumindest eine auf der Trägerschicht angeordnete, zumindest ein piezoelektrisches Material aufweisende, Piezoschicht aufweist, so dass durch Anlegen einer Spannung an die Piezoschicht Schwingungen der Membranstruktur erzeugbar sind, wobei die Membranstruktur in einer Fläche der Membranstruktur durch zumindest eine, alle Schichten der Membranstruktur durchtrennende, Schnitlinie in zumindest ein, zwei oder mehr Segmente unterteilt ist, so dass die Membran an der Schnitlinie mechanisch entkoppelt ist.

2. Schallwandler nach dem vorhergehenden An-

spruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schallwandler ein implantierbarer Schallerzeuger für ein Hörgerät ist, mit dem mittels der Schwingungen der Membranstruktur Schallschwingungen erzeugbar sind, wobei die zumindest eine Membranstruktur so ausgestaltet ist, dass sie in, auf und/oder vor

einem runden Fenster oder einem ovalen Fenster eines Ohres und/oder in einer Rundfesternische eines Ohres, das entsprechende Fenster zumindest teilweise oder vollständig abdeckend, vorzugsweise mit einer Membran des entsprechenden Fensters in unmittelbarem Kontakt oder über Bindegewebe in Kontakt, so anordenbar ist, dass Schwingungen der Membranstruktur Schallschwingungen durch das runde oder ovale Fenster bewirken.

3. Schallwandler nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Membranstruktur kreisförmig, elliptisch oder n-eckig, mit n vorzugsweise ≥ 8 , ist und die Schnitlinien radial von einem Rand der Membranstruktur in Richtung eines Mittelpunktes der Membranstruktur verlaufen, so dass zumindest zwei Segmente gebildet werden, die jeweils mit einer breiten Kante am Rand der Membranstruktur fest angeordnet sind und mit einer dem Mittelpunkt zugewandten Seite, die der breiten Kante gegenüber liegt, beweglich sind.

4. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Membranstruktur kreisförmig, elliptisch oder n-eckig, mit n vorzugsweise ≥ 8 , ist, und zumindest eine der Schnitlinien die Membranstruktur in zumindest ein spiralförmig um einen Mittelpunkt der Membranstruktur verlaufendes Segment strukturiert.

5. Schallwandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Membranstruktur zumindest eine erste und zumindest eine zweite Elektrodenschicht aufweist, wobei die zumindest eine Piezoschicht zwischen der ersten und der zweiten Elektrodenschicht angeordnet ist und wobei vorzugsweise die erste oder die zweite Elektrodenschicht zwischen der Trägerschicht und der Piezoschicht angeordnet ist.

6. Schallwandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Membranstruktur eine Mehrzahl von mit parallelen Flächen aufeinander angeordneten Piezoschichten aufweist, wobei zwischen je zwei benachbarten Piezoschichten eine Elektrodenschicht angeordnet ist, wobei je zwei benachbarte Elektrodenschichten mit Ladung unterschiedlicher Polarität beaufschlagbar sind, so dass sich zwischen je zwei benachbarten Elektro-

denschichten ein elektrisches Feld von der einen zur anderen Elektroden-schicht ausbildet und wobei vorzugsweise die Piezoschichten die entsprechenden Elektroden-schichten berühren.

7. Schallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **gekennzeichnet durch** ein oder mehrere Elektrodenpaare mit jeweils zumindest zwei bandförmigen Elektroden, wobei die bandförmigen Elektroden der Elektrodenpaare jeweils parallel zueinander und parallel zu einer Oberfläche der zumindest einen Piezoschicht so angeordnet sind, dass jeweils zwei benachbart zueinander verlaufende Elektroden mit Ladung unterschiedlicher Polarität beaufschlagbar sind, so dass sich zwischen je zwei benachbart zueinander verlaufenden Elektroden ein die Piezoschicht durchsetzendes elektrisches Feld ausbildet, wobei vorzugsweise die Elektroden mehrerer oder aller Elektrodenpaare parallel zueinander verlaufen.
8. Schallwandler nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Membranstruktur einen kreisförmigen, elliptischen oder n-eckigen Umfang, mit n vorzugsweise ≥ 8 , hat und die bandförmigen Elektroden als konzentrische Kreisabschnitte um einen Mittelpunkt der Membranstruktur ausgebildet sind oder zwischen jeweils zwei benachbarten radialen Schnittlinien gerade und tangential zu einem Kreis um den Mittelpunkt der Membranstruktur ausgebildet sind.
9. Schallwandler nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** Elektroden gleicher Polarität mit je zumindest einem gemeinsamen Leiter in Kontakt stehen, der parallel zur Oberfläche der Piezoschicht verläuft, wobei vorzugsweise der Leiter in radialer Richtung verläuft.
10. Schallwandler nach Anspruch 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektroden, vorzugsweise unmittelbar, auf einer der Trägerschicht abgewandten Oberseite der Piezoschicht angeordnet sind.
11. Schallwandler nach Anspruch 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Membranstruktur eine Mehrzahl von aufeinander angeordneten Piezoschichten aufweist, wobei die Elektrodenpaare in einer oder mehreren Ebenen zwischen jeweils zwei benachbarten Piezoschichten angeordnet sind, wobei die Elektrodenpaare die Piezoschicht in einer oder in zumindest zwei zur Piezoschicht parallelen Ebenen durchsetzen und wobei vorzugsweise Elektroden des gleichen Elektrodenpaares in der gleichen Ebene angeordnet sind.
12. Schallwandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass die Elektroden und/oder die Membranstruktur flüssigkeitsdicht und/oder elektrisch isoliert gekapselt sind, so dass sie mit einer den Schallwandler umgebenden Flüssigkeit nicht in Kontakt kommen.

13. Schallwandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Piezoschicht eine Dicke von $\leq 20 \mu\text{m}$, vorzugsweise $\leq 10 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt $\leq 5 \mu\text{m}$ und/oder $\geq 0,2 \mu\text{m}$, vorzugsweise $\geq 1 \mu\text{m}$, bevorzugt $\geq 1,5 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt $= 2 \mu\text{m}$ hat und/oder dass die zumindest eine Elektroden-schicht eine Dicke von $\leq 0,5 \mu\text{m}$, vorzugsweise $\leq 0,2 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt $\leq 0,1 \mu\text{m}$ und/oder $\geq 0,02 \mu\text{m}$, vorzugsweise $\geq 0,05 \mu\text{m}$, besonders bevorzugt $\geq 0,08 \mu\text{m}$ hat und/oder dass ein Durchmesser der Membranstruktur $\leq 4 \text{ mm}$, vorzugsweise $\leq 3 \text{ mm}$, besonders bevorzugt $\leq 2 \text{ mm}$ und/oder $\geq 0,2 \text{ mm}$, vorzugsweise $\geq 0,5 \text{ mm}$, bevorzugt $\geq 1 \text{ mm}$ ist, besonders bevorzugt $1,5 \text{ mm}$ ist.
14. Schallwandler nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit zumindest zwei der Membranstrukturen, die gleich strukturiert sind und die parallel zueinander so übereinander angeordnet sind, dass gleiche Segmente übereinander liegen, wobei gleiche Segmente aller oder jeweils zweier benachbarter Membranstrukturen jeweils so miteinander verbunden sind, dass sich eine Auslenkung oder Kraftausübung des einen Segmentes auf das benachbarte Segment überträgt, wobei vorzugsweise gleiche Segmente benachbarter Membranstrukturen bei Anlegen einer Spannung mit gegebener Polarität an den Schallwandler in die gleiche Richtung oder in entgegengesetzte Richtungen ausgelenkt werden.
15. Verfahren zur Herstellung eines Schallwandlers nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zumindest eine Piezoschicht durch Abscheiden von Piezomaterial in der Dicke der Piezoschicht hergestellt wird.

Fig. 1

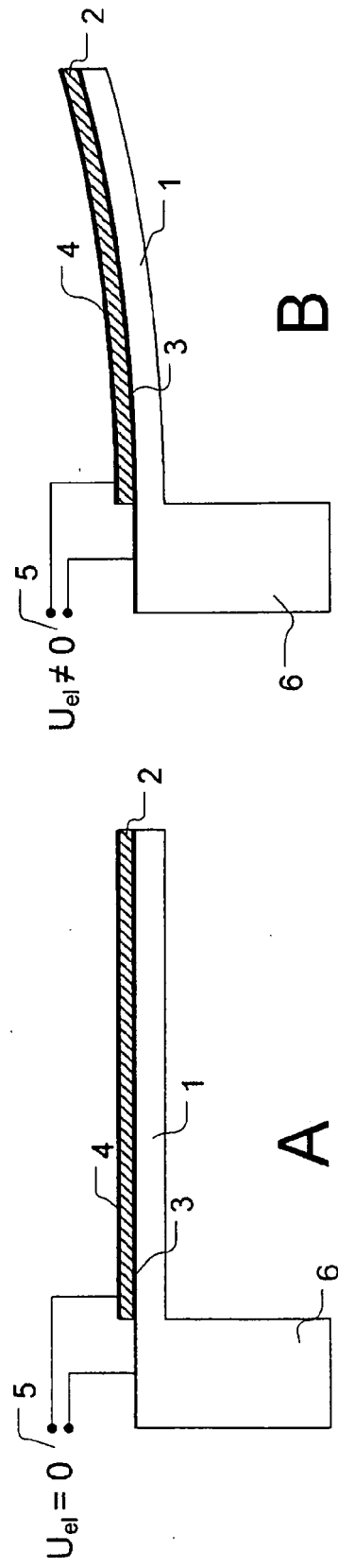


Fig. 2A

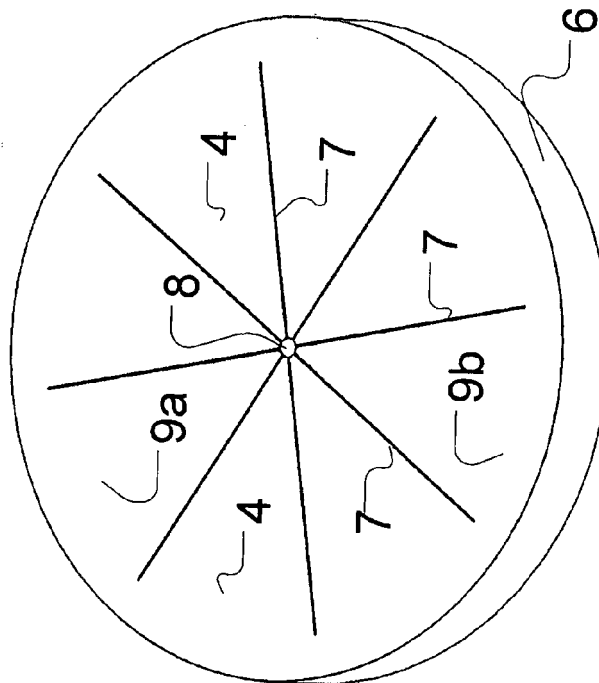
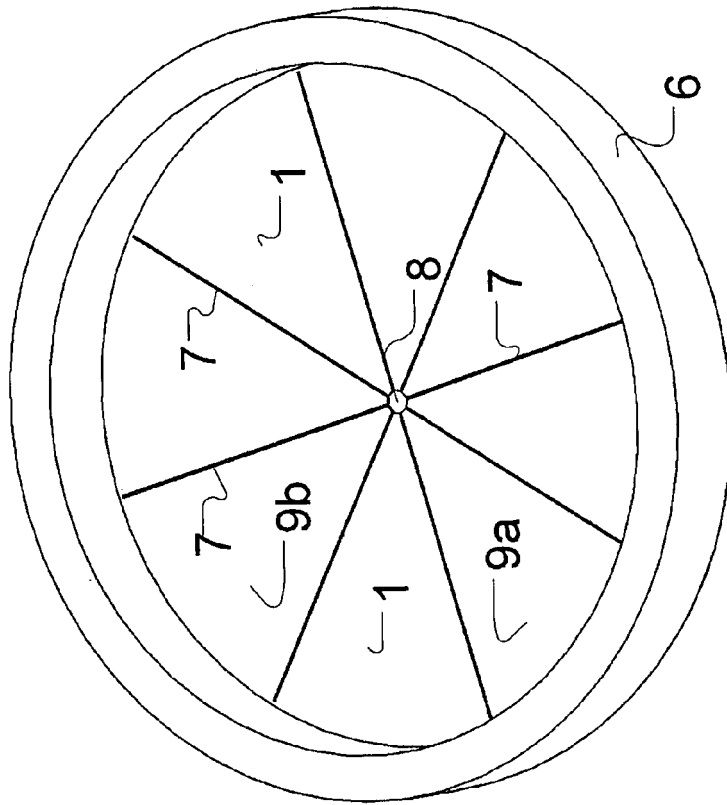


Fig. 2B



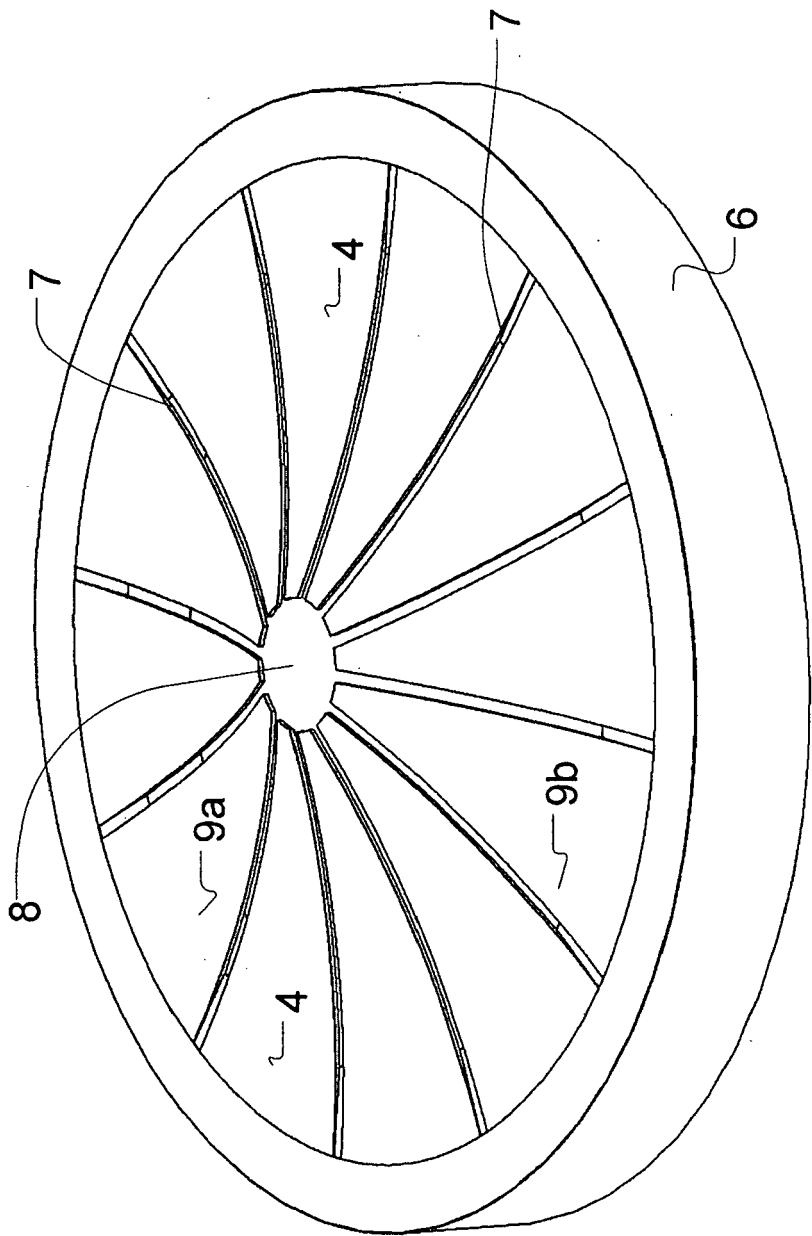


Fig. 2C

Fig. 3

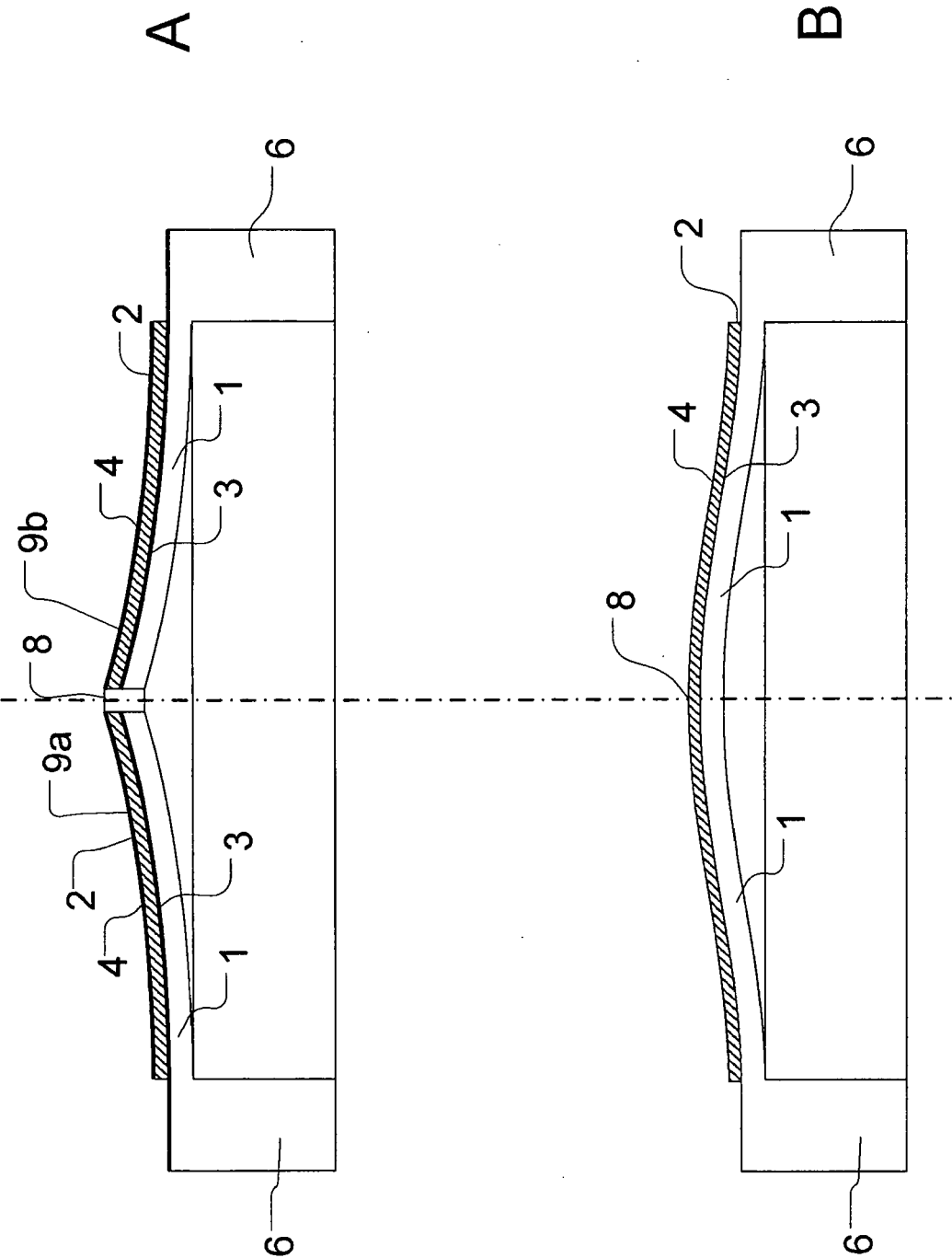


Fig. 4

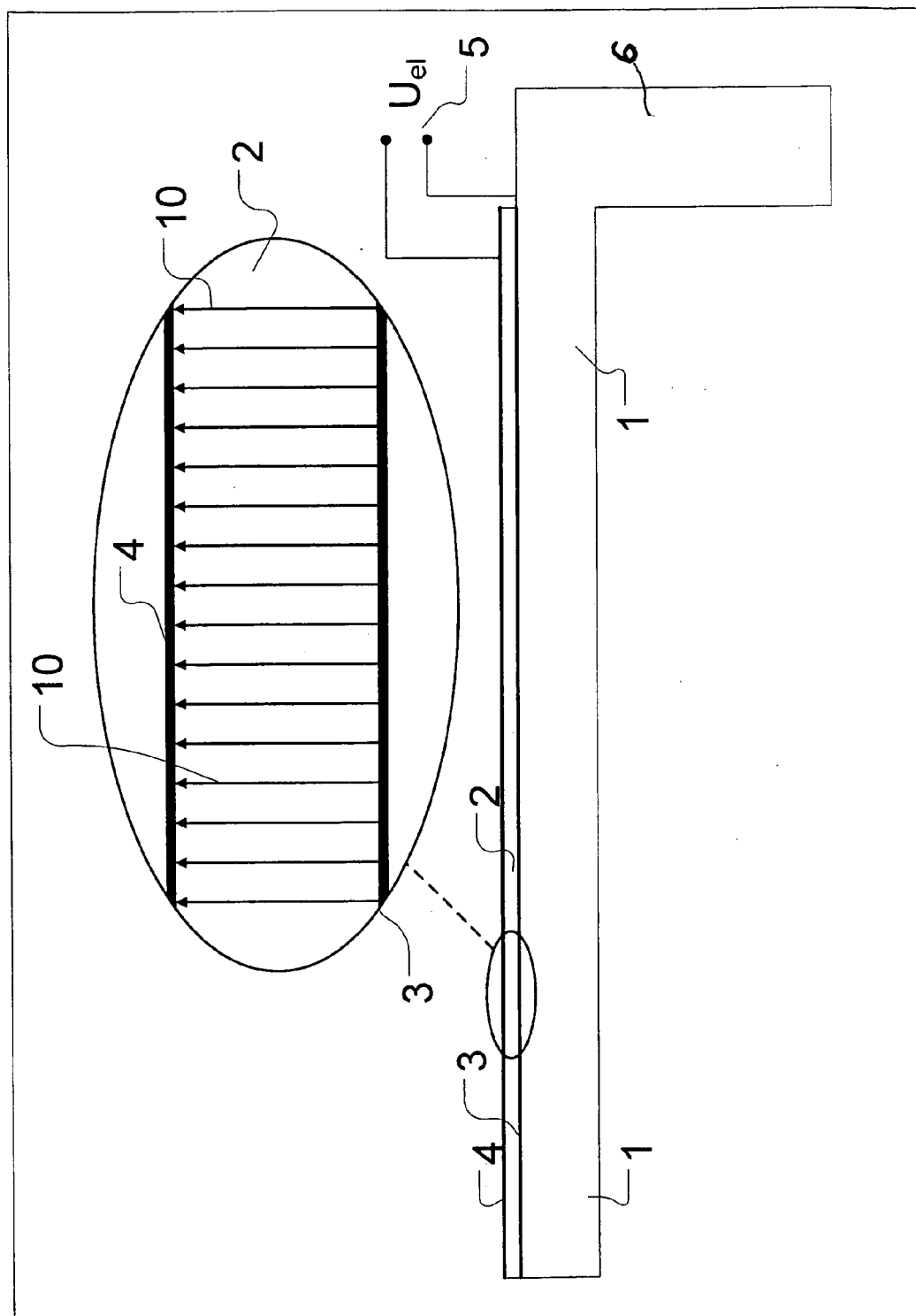


Fig. 5

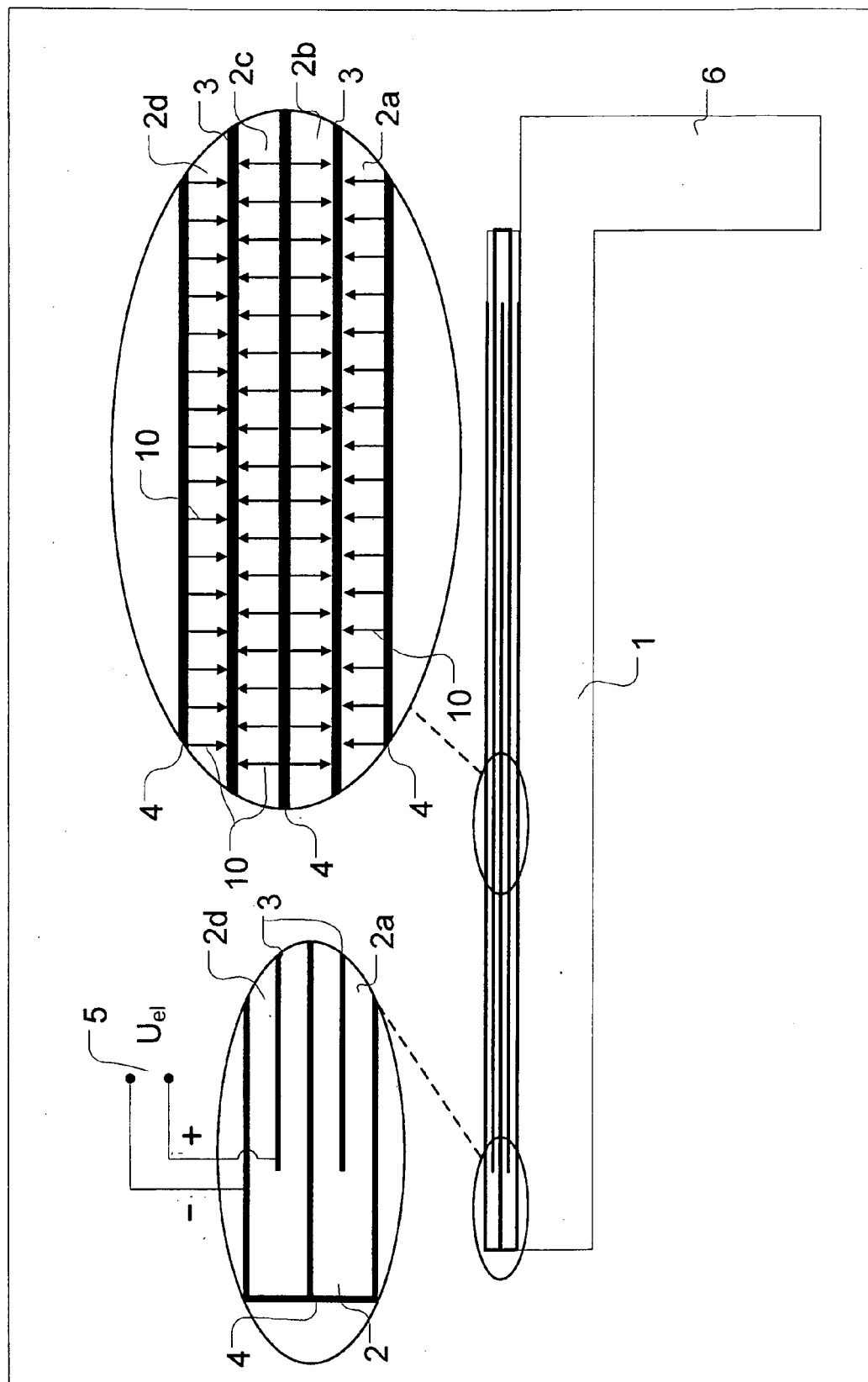


Fig. 6

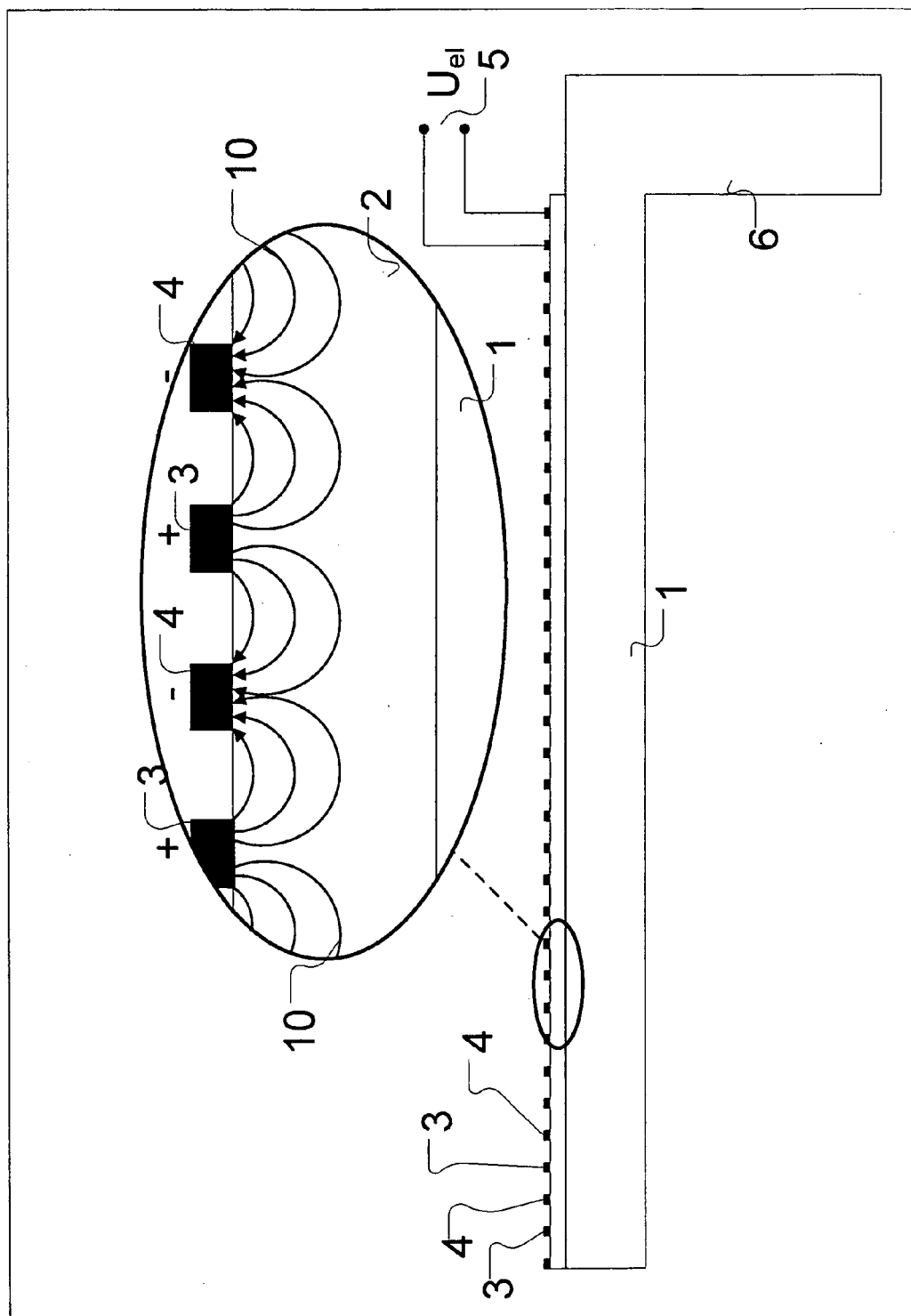


Fig. 7

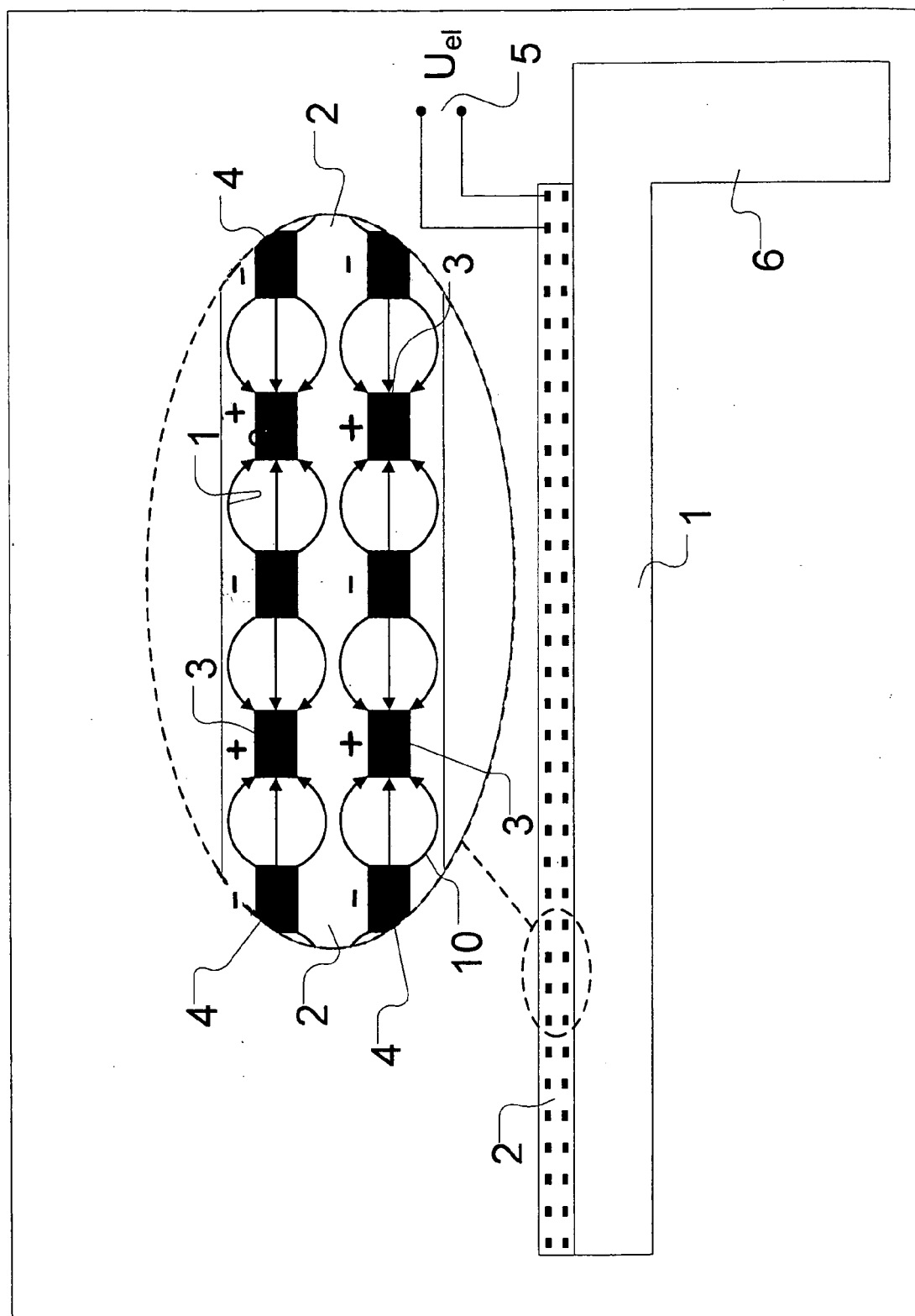


Fig. 8A

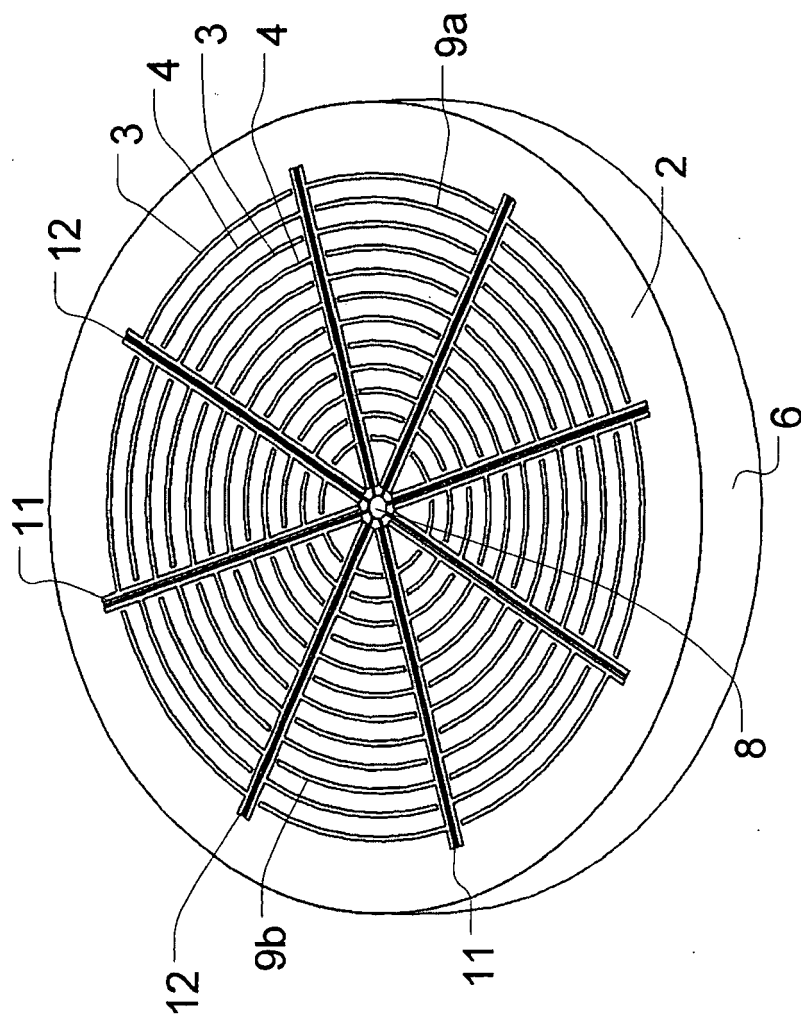
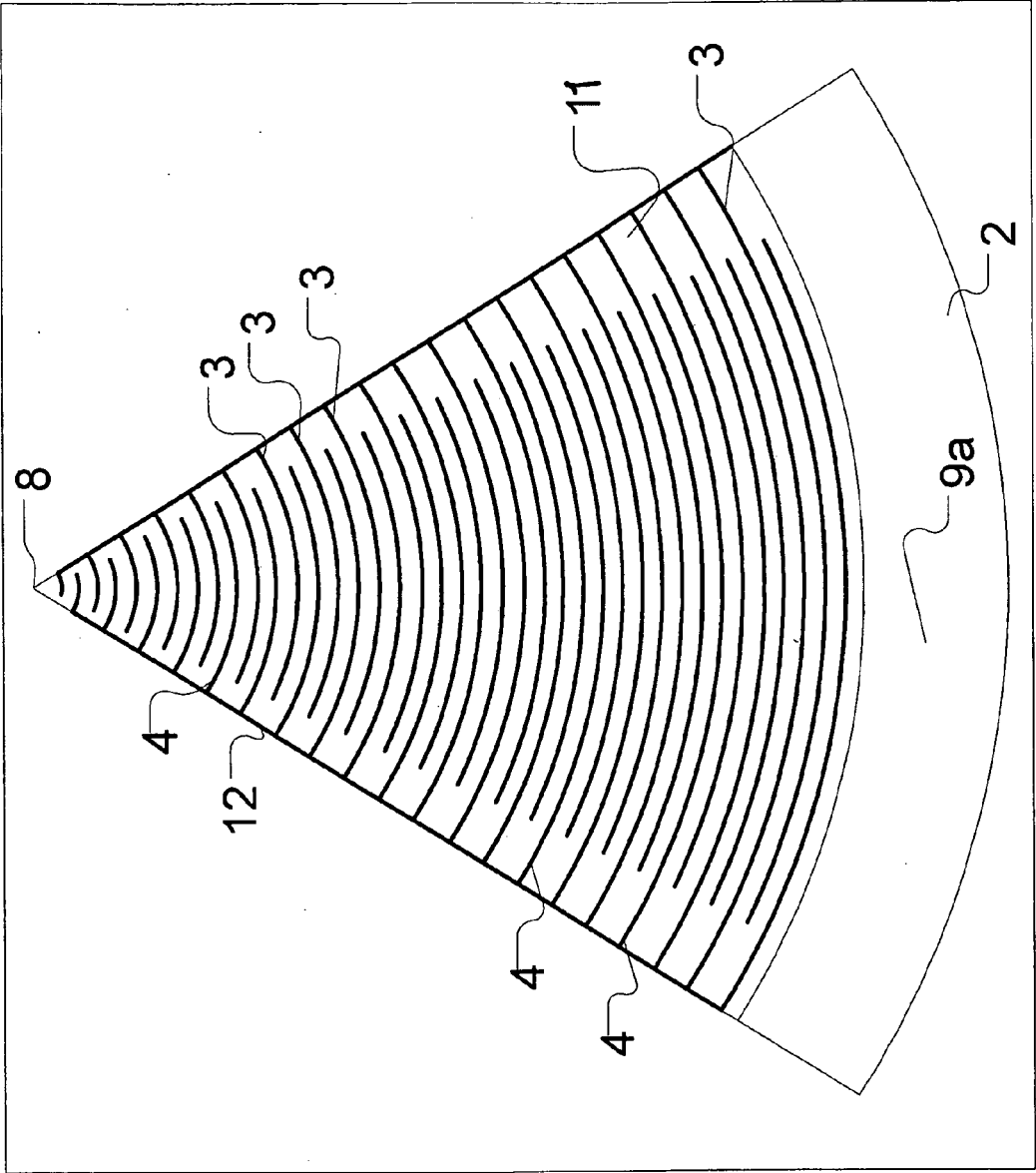


Fig. 8B



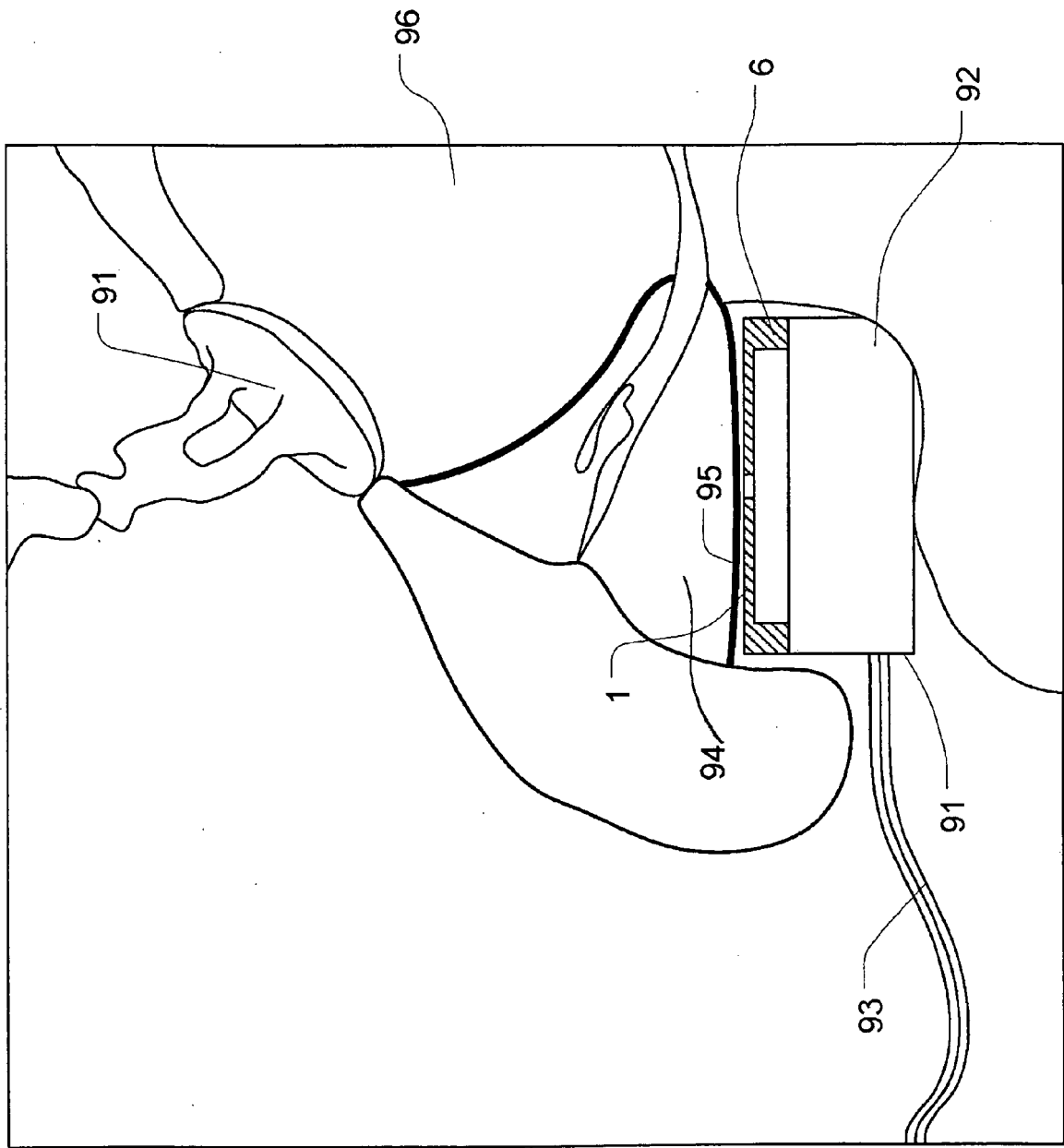


Fig. 9

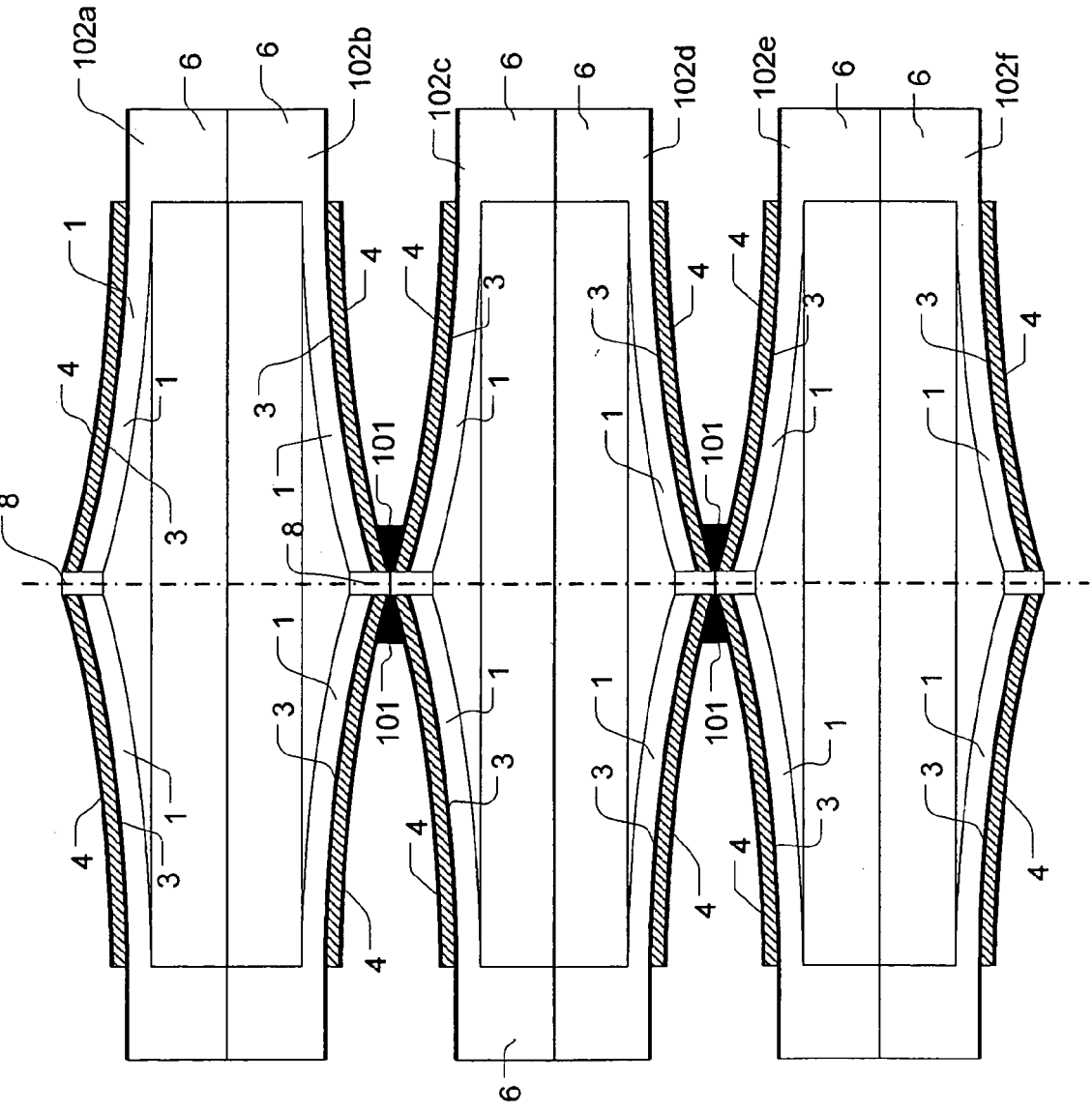
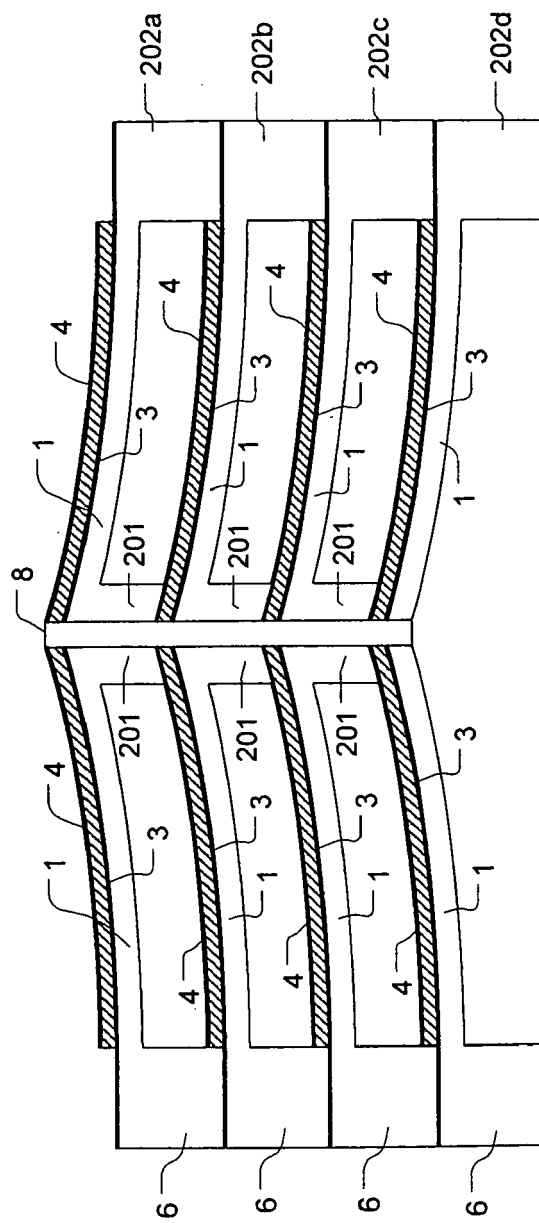


Fig. 10

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

- AU 2009202560 A2 [0005]
- WO 0047138 A1 [0005]