



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2005 008 514 A1 2006.08.31

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2005 008 514.8

(22) Anmeldetag: 24.02.2005

(43) Offenlegungstag: 31.08.2006

(51) Int Cl.⁸: **H04R 17/02** (2006.01)
B61B 7/02 (2006.01)

(71) Anmelder:
EPCOS AG, 81669 München, DE

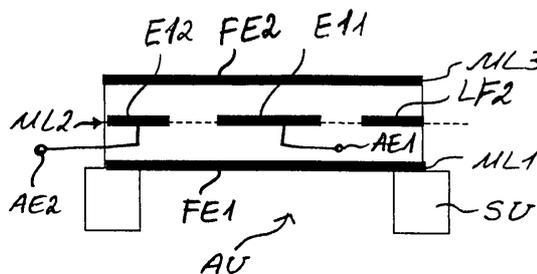
(74) Vertreter:
**Epping Hermann Fischer,
Patentanwaltsgesellschaft mbH, 80339 München**

(72) Erfinder:
**Leidl, Anton, Dr., 85662 Hohenbrunn, DE; Wolff,
Ulrich, Dr., 81479 München, DE; Pahl, Wolfgang,
80336 München, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Mikrofonmembran und Mikrofon mit der Mikrofonmembran**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Mikrofonmembran (M1), die zwei piezoelektrische Schichten (PS1, PS2) mit gleichsinnig gerichteten c-Achsen aufweist. In der mittleren Metallschicht ist eine erste elektrisch leitende Fläche (E11) ausgebildet, die mit einem ersten elektrischen Potential beaufschlagt ist. Die piezoelektrischen Schichten (PS1, PS2) sind jeweils zwischen der mittleren Metallschicht (ML2) und einer außenliegenden Metallschicht (ML1, ML3) angeordnet. In einer bevorzugten Variante weist die Membran (M1) bezüglich der Schichtenfolge und der Schichtdicke einen weitgehend symmetrischen Aufbau auf.



Beschreibung

[0001] Angegeben wird eine Mikrofonmembran, die mindestens eine piezoelektrische Schicht umfasst.

Stand der Technik

[0002] Aus der Druckschrift US 4816125 ist eine Mikrofonmembran mit einer piezoelektrischen Schicht aus ZnO und mehreren konzentrisch angeordneten Elektroden bekannt.

[0003] In der Druckschrift Mang-Nian Niu and Eun Sok Kim „Piezoelectric Bimorph Microphone Built on Micromachined Parylene Diaphragm“, Journal of Microelectromechanical Systems, Band 12, 2003 IEEE, Seiten 892 bis 898, ist ein piezoelektrisches Mikrofon beschrieben.

Aufgabenstellung

[0004] Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, eine hochempfindliche piezoelektrische Mikrofonmembran mit einem hohen Signal-Rausch-Verhältnis anzugeben.

[0005] Es wird eine Mikrofonmembran angegeben, die zwei übereinander angeordnete piezoelektrische Schichten mit einer dazwischen liegenden mittleren Metallschicht umfasst, wobei die c-Achsen der beiden piezoelektrischen Schichten gleichsinnig gerichtet sind.

[0006] Die Membran weist vorzugsweise einen weitgehend symmetrischen Aufbau bezüglich der Schichtenfolge und der Schichtdicke auf. Dabei kompensieren sich auch bei erheblichen Temperatursprüngen insbesondere Biegemomente, die aufgrund unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten aufeinander folgender Schichten entstehen. Damit können Verwölbungen der Membran in einem breiten Temperaturbereich vermieden werden. Die mittlere Metallschicht ist vorzugsweise in der Symmetrieebene angeordnet.

[0007] Die Mikrofonmembran wird vorzugsweise in einem Mikrofon eingesetzt. Das Mikrofon ist vorzugsweise als ein Mikrofonchip mit einem Trägersubstrat vorhanden, welches eine Ausnehmung aufweist, über der die Membran aufgespannt ist und schwingen kann. Der Mikrofonchip weist auf seiner Oberfläche von außen zugängliche Außenkontakte auf. Der Mikrofonchip kann in einem Gehäuse mit einem akustischen Rückvolumen (auf Englisch back volume) angeordnet sein.

[0008] Als Material für das Trägersubstrat ist z. B. Silizium geeignet. Für die piezoelektrische Schicht sind ZnO, Bleizirkonattitanat (PZT), Aluminiumnitrid besonders gut geeignet.

[0009] Die piezoelektrischen Schichten sind jeweils zwischen der mittleren Metallschicht und jeweils einer außenliegenden Metallschicht angeordnet. In der mittleren Metallschicht ist eine erste elektrisch leitende Fläche ausgebildet, die mit einem ersten elektrischen Potential beaufschlagt ist und eine erste Innenelektrode des Mikrofons bildet.

[0010] Eine mit einem zweiten elektrischen Potential beaufschlagte zweite elektrisch leitende Fläche, die eine zweite Innenelektrode des Mikrofons bildet, kann in einer Variante in derselben Metallschicht wie die erste Innenelektrode angeordnet sein. Dabei ist in den nach außen gewandten Metallschichten vorzugsweise jeweils mindestens eine floatende Struktur ausgebildet, die der ersten und der zweiten elektrisch leitenden Fläche gegenüber liegt. Die zweite Innenelektrode kann aber auch durch in den außenliegenden Metallschichten angeordnete leitende Flächen gebildet sein.

[0011] Als Innenelektroden bzw. Elektroden werden mit elektrischem Potential beaufschlagte Metallstrukturen bezeichnet. Die Innenelektroden sind über Leiterbahnen und ggf. vertikale elektrische Verbindungen an die Außenelektroden des Mikrofonchips angeschlossen. Die Außenelektroden können z. B. in einer der außenliegenden Schichten ausgebildet sein, wobei die Innenelektroden mittels Zuleitungen und vertikaler elektrischer Verbindungen (d. h. in der jeweiligen piezoelektrischen Schicht angeordneter Durchkontaktierungen) mit den Außenelektroden leitend verbunden sind.

[0012] Bei einem bimorphen Membranaufbau sind durch drei Metallschichten und die dazwischen angeordneten piezoelektrischen Schichten zwei übereinander angeordnete Kapazitäten mit einer gemeinsamen Elektrode gebildet. Bei Durchbiegung erfährt die erste piezoelektrische Schicht Dehnung und die zweite piezoelektrische Schicht Stauchung, oder umgekehrt. Dabei entstehen in den beiden piezoelektrischen Schichten, mit gleicher Orientierung der c-Achse gegensinnige Piezopotentiale, die sich aber addieren, wenn die übereinander angeordneten Kapazitäten parallel verschaltet werden, wobei insbesondere ihre gemeinsame Elektrode in der zwischen den beiden piezoelektrischen Schichten angeordneten Ebene ausgebildet ist. Die gemeinsame Elektrode, die im Sinne der Erfindung der ersten oder der zweiten Innenelektrode entspricht, ist also mit einem elektrischen Potential beaufschlagt und vorzugsweise an einen Außenkontakt des Mikrofonchips angeschlossen. Die in den außenliegenden Metallschichten ausgebildeten, der gemeinsamen Elektrode gegenüber liegenden Metallstrukturen sind in einer Variante – beispielsweise über Zuleitungen und Durchkontaktierungen – leitend miteinander und mit einem weiteren Außenkontakt des Mikrofonchips verbunden.

[0013] Mit einem bimorphen Membranaufbau gelingt es, bei der gleichen Membranauslenkung wie bei einer Membran mit nur einer piezoelektrischen Schicht ein doppelt so großes elektrisches Signal zu gewinnen, da sich bei der entsprechenden Beschaltung Piezopotentiale der beiden piezoelektrischen Schichten aufsummieren.

[0014] Bei der Auslenkung einer fest am Rand eingespannten Membran ist vor allem ihr Randbereich sowie ihr mittlerer Bereich den größten mechanischen Spannungen ausgesetzt. Dabei wird bei Stauchung des mittleren Bereichs der Randbereich gedehnt, und umgekehrt. Im (ringförmigen) Randbereich und im (kreisförmigen) Mittelbereich entstehen daher betragsmäßig im Wesentlichen gleiche entgegengesetzte hohe elektrische Potentiale. Als Bereich des hohen Potentials wird ein Bereich der piezoelektrischen Schicht bezeichnet, der unterhalb der Potentialgrenze von 70% des maximalen Potentials liegt. Im weiteren wird der mittig angeordnete Bereich des hohen Potentials als erster Bereich des hohen Potentials und der mit diesem konzentrische im Randbereich angeordnete Bereich des hohen Potentials als zweiter Bereich des hohen Potentials bezeichnet. Die in verschiedenen Bereichen eines hohen Potentials in derselben Metallschicht angeordneten, mit entgegengesetzt gepolten Außenelektroden verbundenen Elektroden sind vorzugsweise voneinander isoliert, da sonst der Potentialausgleich stattfinden würde.

[0015] Es ist möglich, eine Innenelektrode durch in verschiedenen Metallschichten ausgebildete, elektrisch z. B. durch vertikale elektrische Verbindungen miteinander verbundene leitende Flächen zu realisieren. In einer Variante ist in der mittleren Metallschicht eine erste leitende Fläche und eine zweite leitende Fläche angeordnet, wobei die erste leitende Fläche in außenliegenden Metallschichten angeordneten dritten leitenden Flächen gegenüber liegt, und wobei die zweite leitende Fläche in außenliegenden Metallschichten angeordneten vierten leitenden Flächen gegenüber liegt. Die erste leitende Fläche ist dabei an die erste Außenelektrode und die vierten leitenden Flächen an die zweite Außenelektrode angeschlossen. Die zweite leitende Fläche ist mittels in der angrenzenden piezoelektrischen Schicht angeordneter Durchkontaktierungen mit den dritten leitenden Flächen elektrisch leitend verbunden.

[0016] Die erste leitende Fläche kann einem ersten Bereich eines hohen Potentials und die zweite leitende Fläche einem zweiten Bereich eines hohen Potentials zugewiesen sein, oder umgekehrt.

[0017] Die entgegengesetzt gepolten Elektroden sind vorzugsweise in derselben (mittleren) Metallschicht angeordnet. In der zweiten Metallschicht ist dann mindestens eine floatende leitende Struktur bzw. Fläche ausgebildet, die mit der jeweiligen Elek-

trode über die dazwischen liegende piezoelektrische Schicht kapazitiv gekoppelt ist. Dabei werden zwei hintereinander geschaltete Kapazitäten gebildet, deren galvanisch miteinander verbundene Elektroden durch die floatende leitende Struktur gebildet sind. Die floatende leitende Fläche kann zur Verringerung der Streukapazität so strukturiert werden, dass sie z. B. zwei vergleichsweise breite, vorzugsweise durch eine schmale Leiterbahn miteinander verbundene Bereiche bildet, die im Wesentlichen die Form der gegenüberliegenden Elektrode der jeweiligen Kapazität wiederholen.

[0018] Es ist vorteilhaft, die Metallschicht zur Bildung von Elektroden so zu strukturieren, dass der zwischen dem mittleren Bereich und dem Randbereich angeordnete Zwischenbereich – Bereich eines niedrigen Potentials – im Wesentlichen frei von der Metallisierung bleibt.

[0019] Ein (der ersten Metallschicht zugeordneter) Bereich des hohen Potentials kann in mindestens zwei Unterbereiche aufgeteilt werden, wobei in einem ersten Unterbereich eine erste Elektrode angeordnet ist, die von einer einem zweiten Unterbereich zugeordneten zweiten Elektrode elektrisch isoliert ist. Beide Elektroden liegen einer – ggf. in zwei galvanisch miteinander verbundene, den Elektroden gegenüberliegende Teile unterteilten – floatenden leitenden Fläche gegenüber. Beide Elektroden weisen vorzugsweise die gleiche Fläche auf. Dabei werden zwei Kapazitäten gebildet, die über die floatende leitende Fläche in Serie miteinander verbunden sind. Mit einer solchen Elektrodenteilung gelingt es, gegenüber einer Ausführung mit ungeteilten Elektroden bei den gleichen Membranabmessungen die Signalspannung um Faktor zwei zu erhöhen. Möglich ist auch, mehr als nur zwei wie oben gebildete Kapazitäten in Serie miteinander zu verschalten. Diese Kapazitäten sind vorzugsweise gleich.

[0020] Die galvanische Verbindung der seriell verschalteten Kapazitäten erfolgt in einer Variante über eine floatende leitende Fläche, wobei diese Flächen bei mehr als zwei hintereinander geschalteten Kapazitäten in der ersten und der zweiten Metallschicht angeordnet sind.

[0021] Eine Serienschaltung der Kapazitäten ist in einer weiteren Variante über vertikale elektrische Verbindungen, z. B. über die in der piezoelektrischen Schicht angeordneten Durchkontaktierungen möglich.

[0022] Es können auch beide entgegengesetzt gepolten Bereiche des hohen Potentials wie oben beschrieben zur Bildung von mehreren hintereinander geschalteten Kapazitäten in Unterbereiche mit zugeordneten Elektroden aufgeteilt werden.

[0023] Gemäß einer weiteren Ausführung wird ein piezoelektrisches Mikrofon mit einem Trägersubstrat und einer über einer darin ausgebildeten Ausnehmung aufgespannten Membran angegeben, wobei die Membran auf dem Trägersubstrat nur einseitig eingespannt ist, wobei ihr dem eingespannten Ende gegenüberliegendes Ende beim Anlegen eines akustischen Signals frei schwingen kann. Die Membran weist vorzugsweise einen bimorphen Aufbau auf.

[0024] In einer Variante kann die Membran auf dem Trägersubstrat brückenartig eingespannt sein, wobei ihre zwei gegenüberliegenden Enden auf dem Trägersubstrat befestigt und ihre zwei weiteren gegenüberliegenden Enden nicht befestigt (ind.

[0025] Das Mikrofon kann einen schwingfähigen Träger – z. B. eine elastische Folie (z.B. aus Metall oder Polymer) oder eine dünne SiO_2 -Schicht – umfassen, auf dem die Membran angeordnet ist. Der schwingfähige Träger geht über das freie Ende der Membran hinaus und verbindet dabei die gegenüberliegenden Wände der Ausnehmung miteinander.

Ausführungsbeispiel

[0026] Im folgenden werden Mikrofonmembranen anhand von Ausführungsbeispielen und der dazugehörigen Figuren näher erläutert. Die Figuren zeigen anhand schematischer und nicht maßstabsgetreuer Darstellungen verschiedene Ausführungsbeispiele. Gleiche oder gleich wirkende Teile sind mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Es zeigen schematisch

[0027] [Fig. 1A](#) ein Mikrofon mit einer Membran, die eine bimorphe Struktur aufweist;

[0028] [Fig. 1B](#) Ersatzschaltbild des Mikrofons gemäß [Fig. 1A](#);

[0029] [Fig. 2A](#) eine Variante des in [Fig. 1A](#) gezeigten Mikrofons mit einer strukturierten mittleren Metalllage;

[0030] [Fig. 2B](#) Ersatzschaltbild des Mikrofons gemäß [Fig. 2A](#);

[0031] [Fig. 3](#) eine Variante des in [Fig. 1A](#) gezeigten Mikrofons mit zu Elektroden strukturierten Metalllagen;

[0032] [Fig. 4A](#) ausschnittsweise die Zusammenschaltung der Elektroden bei einem Mikrofon gemäß [Fig. 2](#);

[0033] [Fig. 4B](#) Ersatzschaltbild des Mikrofons gemäß [Fig. 4A](#);

[0034] [Fig. 5](#), [Fig. 6A](#), [Fig. 7A](#), [Fig. 7B](#) eine erste Metalllage (links), eine zweite Metalllage (in der Mit-

te) und eine dritte Metalllage (rechts) eines Mikrofons mit einer bimorphen Membran;

[0035] [Fig. 6B](#) eine Membran mit gemäß [Fig. 6A](#) strukturierten Metallschichten in einem schematischen Querschnitt;

[0036] [Fig. 8A](#), [Fig. 8B](#), [Fig. 8C](#) jeweils ein Mikrofon mit einer einseitig eingespannten Membran, die eine piezoelektrische Schicht umfasst;

[0037] [Fig. 9](#) bis [Fig. 14](#) jeweils ein Mikrofon mit einer einseitig eingespannten Membran, die zwei piezoelektrische Schichten umfasst.

[0038] [Fig. 1A](#) zeigt in einem schematischen Querschnitt ausschnittsweise einen Mikrofonchip mit einem Trägersubstrat SU und einer darauf aufgespannten Membran M1 mit einer bimorphen Struktur. Die Membran M1 kann über einer im Trägersubstrat ausgebildeten Ausnehmung AU schwingen.

[0039] Die Membran M1 weist eine erste piezoelektrische Schicht PS1 auf, die zwischen einer äußeren Metallschicht ML3 und einer mittleren Metallschicht ML2 angeordnet ist, sowie eine zweite piezoelektrische Schicht PS2, die zwischen einer äußeren Metallschicht ML1 und der mittleren Metallschicht ML2 angeordnet ist. Mit Pfeilen ist die Richtung der c-Achse in den beiden piezoelektrischen Schichten PS1, PS2 gekennzeichnet.

[0040] [Fig. 1B](#) zeigt, dass zwischen den einander gegenüberliegenden, in den Metallschichten ML2, ML3 ausgebildeten leitenden Flächen E11, E31 eine erste Kapazität C_1 gebildet ist. Zwischen den in den Metallschichten ML1 und ML2 ausgebildeten leitenden Flächen E11, E21 ist eine zweite Kapazität C_2 gebildet. Diese Kapazitäten weisen eine gemeinsame an einen ersten Außenkontakt AE1 angeschlossene erste Elektrode auf. Die zweiten Elektroden dieser Kapazitäten sind an einen zweiten Außenkontakt AE2 angeschlossen. Die Kapazitäten C_1 , C_2 sind zwischen den Außenkontakten AE1, AE2 parallel geschaltet.

[0041] Die Schichtdicken der die Membran M1 bildenden Schichten sind bezogen auf eine Symmetrieebene, die der Metalllage ML2 entspricht, vorzugsweise symmetrisch ausgewählt. Dabei weisen die piezoelektrischen Schichten die gleiche Dicke und die gleichsinnige Orientierung der c-Achsen auf. Die beiden äußeren Metalllagen ML1, ML3 sind auch gleich dick ausgebildet.

[0042] In [Fig. 1A](#) sind die entgegengesetzt gepolten, mit verschiedenen Außenkontakten des Mikrofons verbundene Elektroden übereinander angeordnet. Die Anordnung beider Elektroden in einer Ebene ist in [Fig. 2A](#) gezeigt.

[0043] In [Fig. 2A](#) ist eine Variante einer bimorphen Membran vorgestellt, bei der in den beiden äußeren Metallschichten ML1, ML3 floatende leitende Flächen FE1 bzw. FE2 ausgebildet sind, welche den an die Außenkontakte angeschlossenen leitenden Flächen E11, E12 gegenüberliegen. Die im mittleren Bereich des hohen Potentials angeordnete, vorzugsweise runde oder quadratische erste leitende Fläche E11 ist an den Außenkontakt AE1 angeschlossen. Die im zweiten Bereich des hohen Potentials angeordnete, ringförmige zweite leitende Fläche E12 ist an den Außenkontakt AE2 angeschlossen.

[0044] Das Ersatzschaltbild ist in [Fig. 2B](#) gezeigt. Zwischen der leitenden Fläche E11 und der floatenden Fläche E12 ist eine erste Kapazität C_1 gebildet. Zwischen der leitenden Fläche E11 und der floatenden Fläche FE1 ist eine zweite Kapazität C_2 gebildet. Ähnlich ist die dritte bzw. vierte Kapazität C_3 , C_4 zwischen der leitenden Fläche E12 und den floatenden Flächen FE1, FE2 gebildet. Die Serienschaltung der Kapazitäten C_1 und C_3 ist parallel zu der Serienschaltung der Kapazitäten C_2 und C_4 geschaltet.

[0045] Die Draufsicht auf die Metallschichten der Membran gemäß [Fig. 2A](#) ist in [Fig. 5](#) gezeigt.

[0046] In [Fig. 3](#) ist angedeutet, dass alle drei Metallschichten ML1 bis ML3 zur Bildung von leitenden Flächen E11, E12, E21, E22, E31, E32 strukturiert sein können. Die mittig angeordneten, vorzugsweise runden oder quadratischen leitenden Flächen E11, E21, E31 und/oder die im Randbereich angeordneten, vorzugsweise ringförmigen leitenden Flächen E12, E22 und E32 können in einer Variante zu Teilflächen strukturiert werden, siehe z. B. [Fig. 7B](#).

[0047] [Fig. 4A](#), [Fig. 4B](#) zeigen eine Variante mit einer vorteilhaften Verschaltung von in drei verschiedenen Metallschichten ausgebildeten leitenden Flächen zur Bildung von mehreren Kapazitäten, die miteinander in Serie und parallel verschaltet sind, im Querschnitt sowie das entsprechende Ersatzschaltbild. [Fig. 4A](#) zeigt den Mikrofonchip nur ausschnittsweise, wobei die leitenden Flächen im Querschnitt vorzugsweise wie in [Fig. 3](#), also im Wesentlichen konzentrisch ausgebildet sind.

[0048] In der mittleren Metalllage ist eine erste leitende Fläche E11 und eine zweite leitende Fläche E12 ausgebildet. In den beiden äußeren Metalllagen sind jeweils eine dritte leitende Fläche E21, E31 und eine vierte leitende Fläche E22, E32 ausgebildet.

[0049] Die erste leitende Fläche E11 ist an einen Außenkontakt ersten AE1 angeschlossen und zwischen den dritten leitenden Flächen E21, E31 angeordnet. Dadurch sind zwei hintereinander geschaltete Kapazitäten C_1 und C_2 gebildet. Die erste leitende Fläche E11 bildet dabei eine gemeinsame Elektrode

dieser Kapazitäten.

[0050] Die zweite leitende Fläche E12 ist zwischen den vierten leitenden Flächen E22, E32 angeordnet. Dadurch sind zwei hintereinander geschaltete Kapazitäten C_3 und C_4 gebildet. Die zweite leitende Fläche E12 bildet dabei eine gemeinsame Elektrode dieser Kapazitäten. Die zweite leitende Fläche E12 ist über Durchkontaktierungen DK mit den beiden dritten leitenden Flächen E21, E31 elektrisch verbunden, mit denen sie eine floatende leitende Struktur bildet. Die vierten leitenden Flächen E22, E32 sind an einen zweiten Außenkontakt AE2 angeschlossen.

[0051] Die erste leitende Fläche E11 ist z. B. im mittig angeordneten ersten Bereich des hohen Potentials und die zweite leitende Fläche E12 im Randbereich der Membran, also im zweiten Bereich des hohen Potentials angeordnet.

[0052] In [Fig. 4A](#), [Fig. 4B](#) ist die Verschaltung von leitenden Flächen vorgestellt, bei der die Parallelschaltung von Kapazitäten C_1 , C_2 in Serie mit der Parallelschaltung von weiteren Kapazitäten C_3 , C_4 geschaltet ist. Es ist möglich, auch mehr als nur zwei Parallelschaltungen von Kapazitäten hintereinander anzuordnen und zwischen den Außenkontakten AE1, AE2 zu schalten. Dabei können z. B. die vierten leitenden Flächen E22; E32 anstatt an den Außenkontakt AE2 über vertikale elektrische Verbindungen an eine in der mittleren Metalllage angeordnete weitere leitende Fläche angeschlossen sein und eine floatende Struktur bilden. Die Anordnung der weiteren leitenden Fläche zwischen zwei hier nicht dargestellten leitenden Flächen bzw. deren Anbindung entspricht vorzugsweise der Anordnung der zweiten leitenden Fläche E12.

[0053] Auch ist es möglich, anstatt die erste leitende Fläche E11 an den Kontakt AE1 anzuschließen diese leitende Fläche einer weiteren floatenden Struktur zuzuordnen. Die Anordnung der ersten leitenden Fläche E11 zwischen zwei hier nicht dargestellten leitenden Flächen bzw. deren Anbindung entspricht vorzugsweise der Anordnung der zweiten leitenden Fläche E12.

[0054] Mit vertikalen elektrischen Verbindungen gelingt es also, die Anzahl der Kapazitäten pro Membran und somit auch die Signalspannung zu erhöhen.

[0055] In [Fig. 5](#), [Fig. 6A](#), [Fig. 6B](#), [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) sind verschiedene Varianten zur Ausbildung von Elektrodenstrukturen in drei Metalllagen ML1, ML2 und ML3 bei einer Membran mit einem bimorphen Aufbau gezeigt. In den [Fig. 5](#), [Fig. 6A](#), [Fig. 7A](#), [Fig. 7B](#) in der Mitte ist die mittlere Metalllage ML2 der Membran mit darin ausgebildeten Metallstrukturen gezeigt.

[0056] In [Fig. 5](#) ist eine runde erste leitende Fläche E11 im ersten Bereich eines hohen Potentials und eine ringförmige zweite leitende Fläche E12 im zweiten Bereich des hohen Potentials angeordnet. Die leitenden Flächen E11, E12 bilden jeweils eine Innenelektrode und sind über horizontal verlaufende Leiterbahnen und vertikale elektrische Verbindungen – Durchkontaktierungen DK1, DK2 – jeweils an einen in der außenliegenden – hier oberen – Metallschicht ML3 angeordneten Außenkontakt AE1 bzw. AE2 angeschlossen. Die Außenkontakte AE1, AE2 des Mikrofonchips können in einer Variante in derselben Metallschicht wie die leitenden Flächen E11, E12 angeordnet und an die leitenden Flächen E11, E12 über horizontale elektrische Verbindungen (Zuleitungen) angeschlossen sein.

[0057] In den beiden äußeren Metallschichten ML1 und ML3 ist jeweils eine durchgehende floatende leitende Fläche FE1, FE2 ausgebildet, die einerseits der ersten leitenden Fläche E11 und andererseits der zweiten leitenden Fläche E12 gegenüber liegt.

[0058] Zu einem langsamen Druckausgleich ist eine durch die Membran hindurchgehende Ventilationsöffnung VE vorgesehen, deren Querschnittsgröße deutlich kleiner als die Querschnittsgröße der Membran ist.

[0059] Eine Abwandlung der Membran gemäß [Fig. 5](#) ist in [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) vorgestellt. Hier sind anstatt durchgehender floatender leitender Flächen FE1, FE2 strukturierte floatende Flächen vorgesehen. Die kreisförmige erste leitende Fläche E11 ist zwischen zwei im wesentlichen die gleiche Form aufweisenden Flächen FE11 und FE21 angeordnet. Die ringförmige zweite leitende Fläche E12 ist zwischen zwei im wesentlichen die gleiche Form aufweisenden Flächen FE12, FE22 angeordnet. Die im Mittenbereich und im Randbereich angeordneten Flächen FE11, FE12 sind mittels schmaler Leiterbahnen miteinander verbunden. Die im Mittenbereich und im Randbereich angeordneten Flächen FE21, FE22 sind auch mittels schmaler Leiterbahnen miteinander verbunden. Diese Variante zeichnet sich durch geringe parasitäre Kapazitäten aus.

[0060] In [Fig. 6B](#) ist die Membran mit gemäß [Fig. 6A](#) ausgebildeten Metallschichten ML1, ML2, ML3 in einem schematischen Querschnitt gezeigt.

[0061] In [Fig. 7A](#) ist eine weitere Variante zur Ausbildung von Metallschichten einer bimorphen Membran gezeigt.

[0062] In der mittleren Metallschicht ML2 ist eine erste floatende Struktur ausgebildet, die eine erste Teilfläche E12b und eine mittels einer schmalen Leiterbahn mit dieser verbundene zweite Teilfläche E11a aufweist.

[0063] In der ersten äußeren Metallschicht ML1 ist eine zweite floatende Struktur FE1a und eine von ihr elektrisch isolierte dritte floatende Struktur FE1b angeordnet. In der zweiten äußeren Metallschicht ML2 sind eine zweite floatende Struktur FE2a, eine von ihr isolierte dritte floatende Struktur FE2b und Außenkontakte AE1, AE2 angeordnet.

[0064] Die zweiten floatenden Strukturen FE1b, FE2b liegen der ersten leitenden Fläche E11b und einer ersten Teilfläche E12b der ersten floatenden Struktur gegenüber. Die dritten floatenden Strukturen FE1a, FE2a liegen der zweiten leitenden Fläche E12a und einer zweiten Teilfläche E11a der ersten floatenden Struktur gegenüber. In diesem Ausführungsbeispiel, da die einander gegenüberliegenden Metallstrukturen kapazitiv gekoppelt sind, sind insgesamt acht miteinander verschaltete Kapazitäten realisiert. Das Ersatzschaltbild entspricht der Hintereinanderschaltung von zwei Kapazitätsschaltungen gemäß [Fig. 2B](#).

[0065] Die erste leitende Fläche E11b und die zweite Teilfläche E11a der ersten floatenden Struktur sind im ersten Bereich des hohen Potentials angeordnet. Die zweite leitende Fläche E12a und die erste Teilfläche E12b der ersten floatenden Struktur sind in einem zweiten Bereich des hohen Potentials angeordnet.

[0066] In [Fig. 7B](#) ist eine Abwandlung der Variante gemäß [Fig. 7A](#) gezeigt. Die in den außenliegenden Metallschichten ML1, ML2 ausgebildeten floatenden Strukturen FE1a, FE1b, FE2a, FE2b sind jeweils so strukturiert, dass sie mittels schmaler Leiterbahnen leitend miteinander verbundene Teilflächen aufweisen, deren Form im Wesentlichen der Form der ihnen gegenüberliegenden Strukturen E11a, E11b, E12a, E12b entspricht.

[0067] Die in denselben Metallschichten angeordneten, leitend miteinander verbundenen Strukturen können grundsätzlich durch eine durchgehende leitende Fläche (ohne Aussparungen) ersetzt werden. Eine durchgehende leitende Fläche kann durch leitend miteinander verbundene leitende Teilflächen, deren Form an die Form gegenüberliegender Metallstrukturen angepasst ist, ersetzt werden.

[0068] In [Fig. 8A](#) bis [Fig. 8C](#) ist die Ausführung eines Mikrofonchips mit einer einseitig eingespannten Membran M1 vorgestellt, deren freies Ende quasielastisch mit dem Trägersubstrat TS verbunden ist. Die Membran M1 weist eine zwischen strukturierten Metallschichten ML1, ML2 angeordnete piezoelektrische Schicht PS auf. In der Metallschicht ML1 sind erste leitende Flächen E11, E12 und in der Metallschicht ML2 zweite leitende Flächen E21, E22 ausgebildet. Die Membran M1 ist über einer im Substrat TS ausgebildeten Ausnehmung AU und nur auf einer Seite über

dem Trägersubstrat SU angeordnet, so dass ein Ende der Membran frei schwingen kann. Die Ausnehmung AU stellt vorzugsweise eine durchgehende Öffnung im Trägersubstrat dar.

[0069] In der in [Fig. 8A](#) gezeigten Variante ist das freie Ende der Membran über eine in der unteren Metalllage ML1 ausgebildete leitende Fläche E11 mit dem Trägersubstrat SU quasielastisch verbunden.

[0070] In [Fig. 8B](#) ist über der Ausnehmung AU ein schwingfähiger Träger TD mit der darauf angeordneten und fest damit verbundenen Membran M1 aufgespannt. Der schwingfähige Träger TD ist vorzugsweise hochelastisch und erlaubt dem freien Ende der Membran eine große Auslenkungsamplitude und daher einen großen Membranhub.

[0071] In [Fig. 8C](#) umfasst die Membran M1 zusätzlich eine Schicht S11 z. B. aus Siliziumdioxid. Auf der Oberseite der Membran ist ein schwingfähiger Träger TD, z. B. eine elastische Folie, vorzugsweise eine Kunststoffolie aufgetragen bzw. auflaminiert, welche das freie Ende der Membran mit dem Trägersubstrat verbindet. Die Folie ist hier bis zur untersten Membranschicht heruntergezogen.

[0072] In [Fig. 9](#) bis [Fig. 14](#) sind verschiedene Varianten einer einseitig eingespannten Membran mit einem bimorphen Aufbau gezeigt.

[0073] Die quasielastische Anbindung des freien Endes der Membran kann wie in [Fig. 3](#) über eine in der untersten Metalllage ausgebildete Metallstruktur E erfolgen ([Fig. 9](#)). Die Metallstruktur E kann auch in der oberen oder mittleren Metalllage ausgebildet und bis zur der untersten Membranschicht entsprechenden Ebene heruntergezogen sein ([Fig. 10](#), [Fig. 11](#)).

[0074] In der Variante gemäß [Fig. 12](#) ist eine einseitig (links) eingespannte bimorphe Membran gezeigt, deren freies Ende mittels eines schwingfähigen Trägers TD mit dem Trägersubstrat SU verbunden ist. Der schwingfähige Träger TD bedeckt hier nur einen Teil der Oberseite der Membran, kann aber wie in [Fig. 4](#) die Oberseite der Membran komplett bedecken.

[0075] In [Fig. 13](#) ist eine Variante der Anbindung des freien Endes der auf einem schwingfähigen Träger TD angeordneten Membran mittels des schwingfähigen Trägers TD und einer weiteren darüber angeordneten Metallstruktur E gezeigt, welche in der [Fig. 14](#) fehlt.

[0076] In [Fig. 9](#) bis [Fig. 13](#) ist eine zusätzliche Metallstruktur angeordnet, welche die Oberseite der Membran an ihrem eingespannten Ende mit der Oberseite der Trägersubstrats verbindet.

[0077] Die Mikrofonmembranen können auch in weiteren piezoelektrischen akustischen Sensoren, z. B. mit Ultraschall arbeitende Abstandssensoren, eingesetzt werden. Ein Mikrofonchip mit einer Mikrofonmembran kann in beliebigen Signalverarbeitungsmodulen eingesetzt werden. Verschiedene Varianten können miteinander kombiniert werden.

Bezugszeichenliste

AE1, AE2	Außenkontakte
AU	Öffnung im Trägersubstrat SU
C₁, C₂	Kapazitäten
DK1, DK2	Durchkontaktierung
E1, E2	erste und zweite Elektrode
E11, E11b	erste leitende Fläche
E11a, E12b	leitende Teilfläche
E12, E12a	zweite leitende Fläche
E21, E31	dritte leitende Fläche
E22, E32	vierte leitende Fläche
FE1, FE2	floatende Fläche
FE1a, FE2a	zweite floatende Struktur
FE1b, FE2b	dritte floatende Struktur
M1	Membran
ML1, ML2, ML3	Metallschichten
PS, PS1, PS2	piezoelektrische Schicht
TD	schwingfähiger Träger
SU	Trägersubstrat
U₁, U₂	Spannung
VE	Ventilationsöffnung

Patentansprüche

1. Mikrofonmembran (M1), umfassend zwei übereinander angeordnete piezoelektrische Schichten (PS1, PS2) mit einer dazwischen liegenden mittleren Metallschicht (ML2), wobei die c-Achsen der beiden piezoelektrischen Schichten (PS1, PS2) gleichsinnig gerichtet sind.

2. Mikrofonmembran nach Anspruch 1, wobei die piezoelektrischen Schichten (PS1, PS2) jeweils zwischen der mittleren Metallschicht (ML2) und einer außenliegenden Metallschicht (ML1, ML3) angeordnet sind.

3. Mikrofonmembran nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Membran (M1) bezüglich der Schichtenfolge und der Schichtendicke einen im wesentlichen symmetrischen Aufbau aufweist, wobei die mittlere Metallschicht (ML2) in einer Symmetrieebene angeordnet ist.

4. Mikrofonmembran nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei in der mittleren Metallschicht (ML2) eine erste elektrisch leitende Fläche (E11, E11b) ausgebildet ist, die mit einem ersten elektrischen Potential beaufschlagt ist.

5. Mikrofonmembran nach Anspruch 4,

wobei in den außenliegenden Metallschichten (ML1, ML2) jeweils eine zweite leitende Fläche (E21, E31) ausgebildet ist, die der ersten leitenden Fläche (E11, E11b) gegenüber liegt, wobei die zweiten leitenden Flächen (E21, E31) mit einem zweiten elektrischen Potential beaufschlagt sind.

6. Mikrofonmembran nach Anspruch 4, wobei in der mittleren Metallschicht (ML2) eine zweite elektrisch leitende Fläche (E12, E12a) ausgebildet ist, die mit einem zweiten elektrischen Potential beaufschlagt ist.

7. Mikrofonmembran nach Anspruch 6, wobei in mindestens einer der nach außen gewandten Metallschichten (ML1, ML3) eine leitende Struktur (FE1, FE2) ausgebildet ist, die der ersten und der zweiten elektrisch leitenden Fläche (E11, E12) gegenüber liegt.

8. Mikrofonmembran nach Anspruch 7, wobei die leitende Struktur eine floatende Struktur (FE1, FE2) ist.

9. Mikrofonmembran nach Anspruch 7 oder 8, wobei die erste leitende Fläche (E11) in einem mittig angeordneten Bereich eines hohen Potentials und die zweite leitende Fläche (E12) in einem im Randbereich angeordneten Bereich eines hohen Potentials liegt, oder umgekehrt.

10. Mikrofonmembran nach einem der Ansprüche 7 bis 9, wobei die elektrisch leitenden Flächen (E11, E12) jeweils über eine vertikale elektrische Verbindung (DK1, DK2) mit einer in einer der außenliegenden Metallschichten (ML1, ML3) ausgebildeten Außenelektrode (AE1, AE2) leitend verbunden ist.

11. Mikrofonmembran nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei in der mittleren Metallschicht (ML2) eine zweite elektrisch leitende Fläche (E12) ausgebildet ist, wobei die erste leitende Fläche (E11) in außenliegenden Metallschichten (ML1, ML3) angeordneten dritten leitenden Flächen (E21, E31) gegenüber liegt, wobei die zweite leitende Fläche (E12) in außenliegenden Metallschichten (ML1, ML3) angeordneten vierten leitenden Flächen (E22, E32) gegenüber liegt.

12. Mikrofonmembran nach Anspruch 11, wobei die erste leitende Fläche (E11) mit einem ersten elektrischen Potential beaufschlagt ist, wobei die vierten leitenden Flächen (E22, E32) mit einem zweiten elektrischen Potential beaufschlagt sind, wobei die zweite leitende Fläche (E12) mittels in der angrenzenden piezoelektrischen Schicht (PS1, PS2) angeordneter Durchkontaktierungen (DK) mit den dritten leitenden Flächen (E21, E31) elektrisch leitend verbunden ist.

13. Mikrofonmembran nach einem der Ansprüche 6 bis 9, wobei in der mittleren Metallschicht (ML2) eine erste floatende Struktur (E11a, E12b) ausgebildet ist, wobei in mindestens einer der außenliegenden Metallschichten eine zweite floatende Struktur (FE1a, FE2a) und eine elektrisch von dieser isolierte dritte floatende Struktur (FE1b, FE2b) angeordnet ist, wobei die zweite floatende Struktur (FE1b, FE2b) der ersten leitenden Fläche (E11b) und einem ersten Teil der ersten floatenden Struktur (E12b) gegenüber liegt, wobei die dritte floatende Struktur (FE1a, FE2a) der zweiten leitenden Fläche (E12a) und einem zweiten Teil der ersten floatenden Struktur (E11a) gegenüber liegt.

14. Mikrofonmembran nach Anspruch 13, wobei die erste leitende Fläche (E11b) und der zweite Teil der ersten floatenden Struktur (E11a) in einem ersten Bereich des hohen Potentials angeordnet sind, wobei die zweite leitende Fläche (E12a) und der erste Teil der ersten floatenden Struktur (E12b) in einem zweiten Bereich des hohen Potentials angeordnet sind.

15. Mikrofon mit einer Membran (M1) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei die Membran (M1) über einer in einem Trägersubstrat (SU) vorgesehene Ausnehmung (AU) aufgespannt ist.

16. Mikrofon nach Anspruch 15, wobei die Membran (M1) auf dem Trägersubstrat (SU) nur einseitig eingespannt ist, wobei ihr gegenüberliegendes Ende beim Anlegen eines akustischen Signals frei schwingen kann.

17. Mikrofon nach Anspruch 15, wobei zwei gegenüberliegende Enden der Membran (M1) auf dem Trägersubstrat (SU) befestigt sind, wobei ihre zwei weiteren gegenüberliegenden Enden nicht befestigt sind und frei schwingen können.

18. Mikrofon, umfassend ein Trägersubstrat (SU), eine über eine im Trägersubstrat (SU) vorgesehene Ausnehmung (AU) aufgespannte Membran (M1), die auf dem Trägersubstrat (SU) nur einseitig eingespannt ist, wobei ihr gegenüberliegendes Ende beim Anlegen eines akustischen Signals frei schwingen kann.

19. Mikrofon, umfassend ein Trägersubstrat (SU), eine über eine im Trägersubstrat (SU) vorgesehene Ausnehmung (AU) aufgespannte Membran (M1), deren zwei gegenüberliegenden Enden auf dem Trägersubstrat (SU) befestigt sind, wobei ihre zwei weiteren gegenüberliegenden Enden nicht befestigt sind und frei schwingen können.

20. Mikrofon nach Anspruch 18 oder 19, wobei die Membran (M1) mindestens eine piezoelektrische Schicht (PS, PS1, PS2) aufweist.

21. Mikrofon nach einem der Ansprüche 15 bis 20, ferner umfassend einen elastischen schwingfähigen Träger (TD), mit dem die Membran (M1) fest verbunden ist, wobei der schwingfähige Träger (TD) über das freie Ende der Membran (M1) hinausgeht und die gegenüber liegende Wände der Ausnehmung (AU) miteinander verbindet.

22. Mikrofon nach Anspruch 21, wobei die Membran (M1) auf dem schwingfähigen Träger (TD) angeordnet ist.

23. Mikrofon nach Anspruch 21, wobei der schwingfähige Träger (TD) entlang der Oberseite und der Seitenfläche des freien Endes der Membran (M1) verläuft.

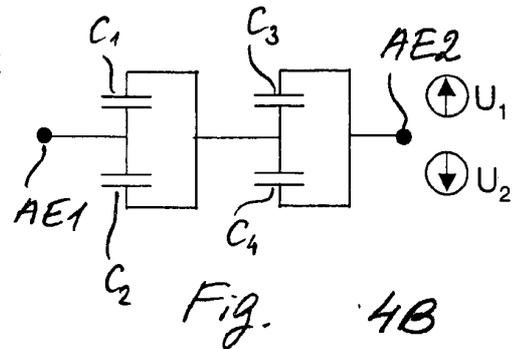
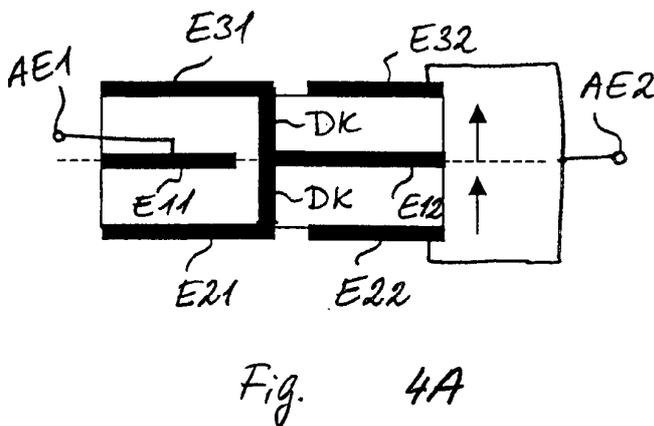
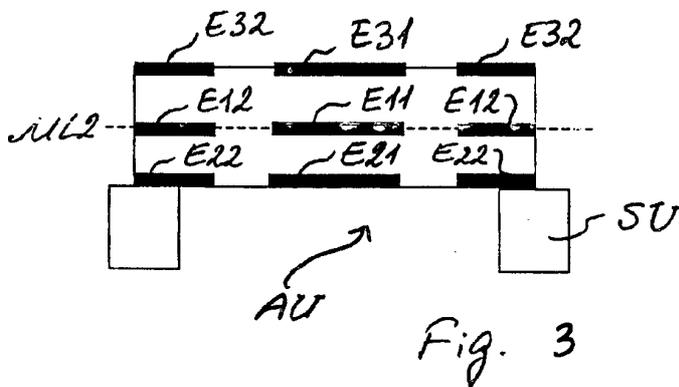
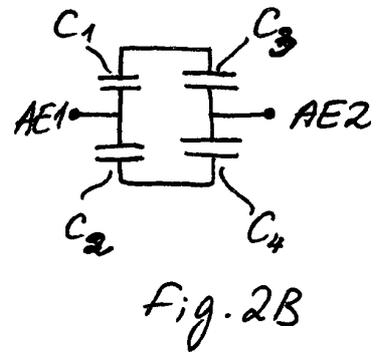
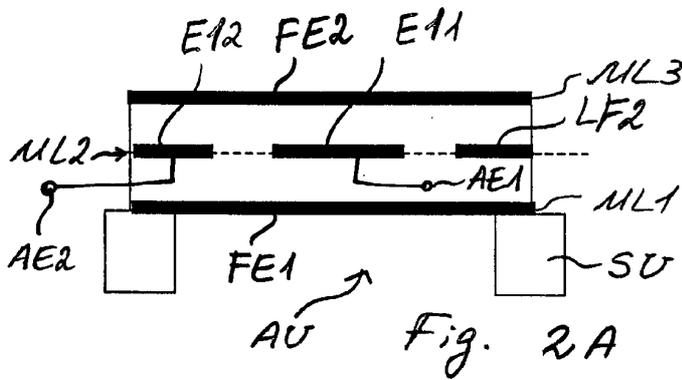
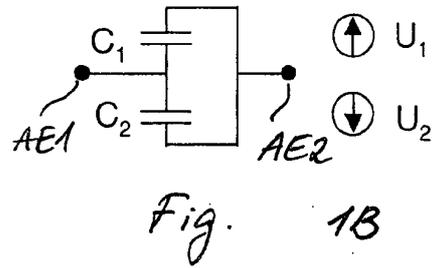
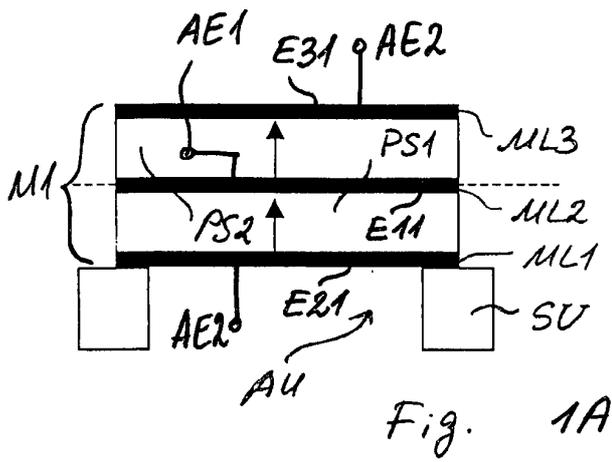
24. Mikrofon nach einem der Ansprüche 15 bis 23, wobei eine fest mit der Membran (M1) verbundene Metallstruktur vorgesehen ist, die über das freie Ende der Membran (M1) hinausgeht und dieses Ende mit der ihm gegenüber liegenden Wand der Ausnehmung (AU) miteinander verbindet.

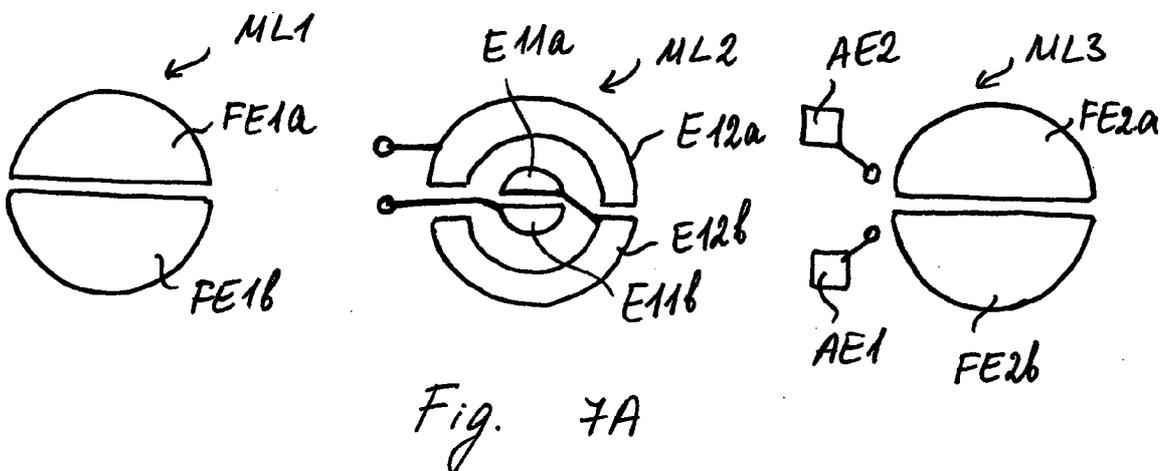
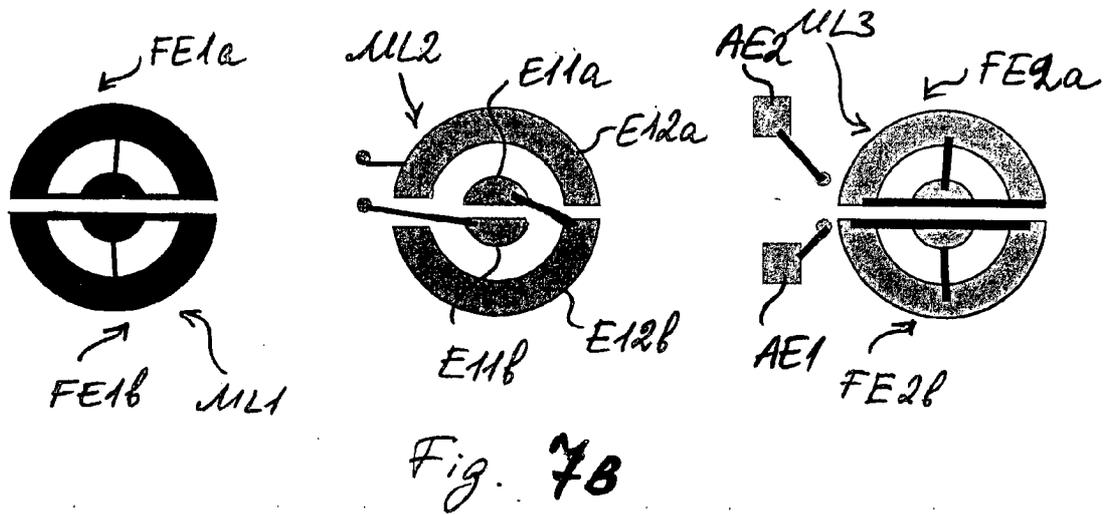
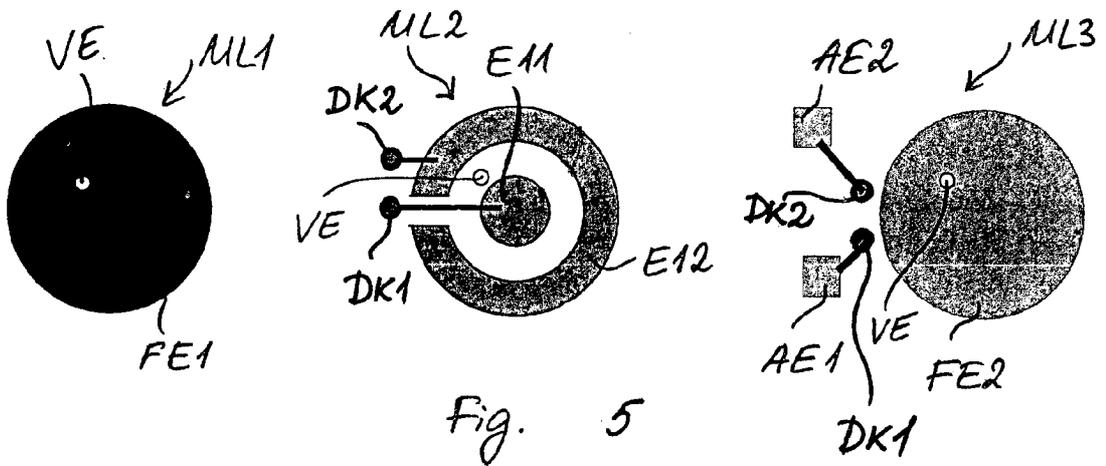
25. Mikrofon nach Anspruch 24, wobei die Metallstruktur in der untersten Metallschicht der Membran (M1) ausgebildet ist.

26. Mikrofon nach Anspruch 24, wobei die Metallstruktur teilweise in der mittleren oder obersten Metallschicht der Membran (M1) und entlang der Seitenfläche des freien Endes der Membran verläuft.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





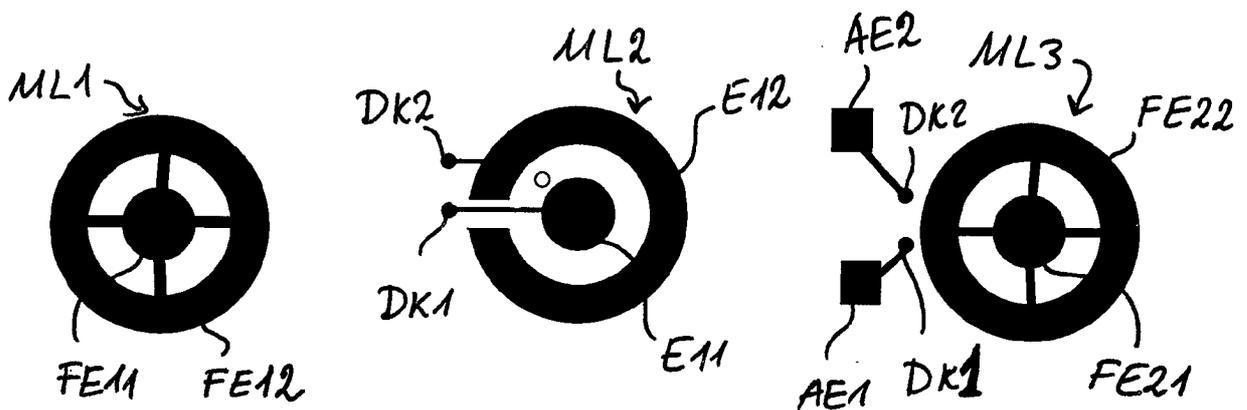


Fig. 6A

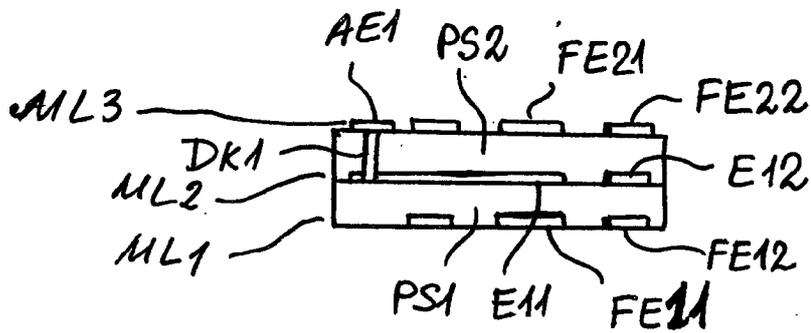


Fig. 6B

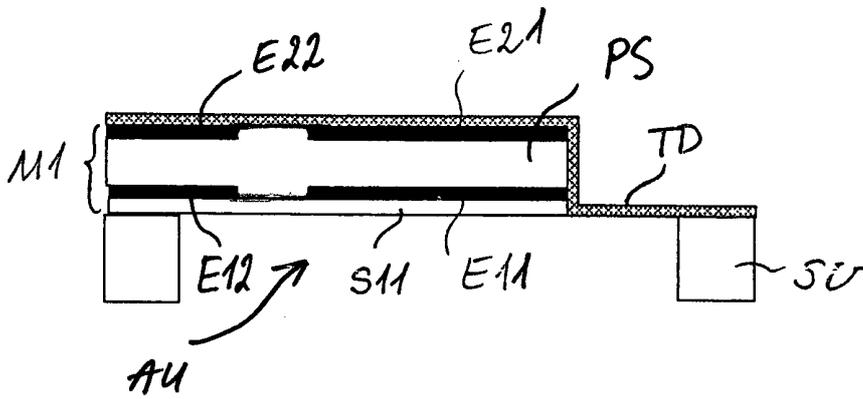
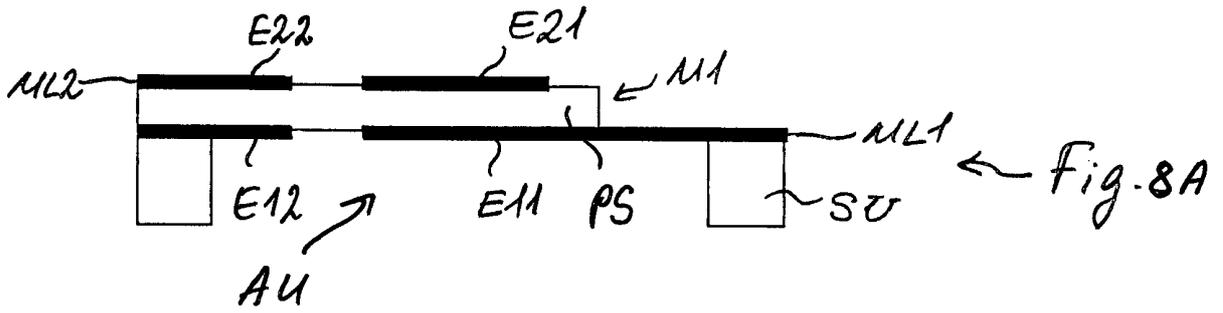
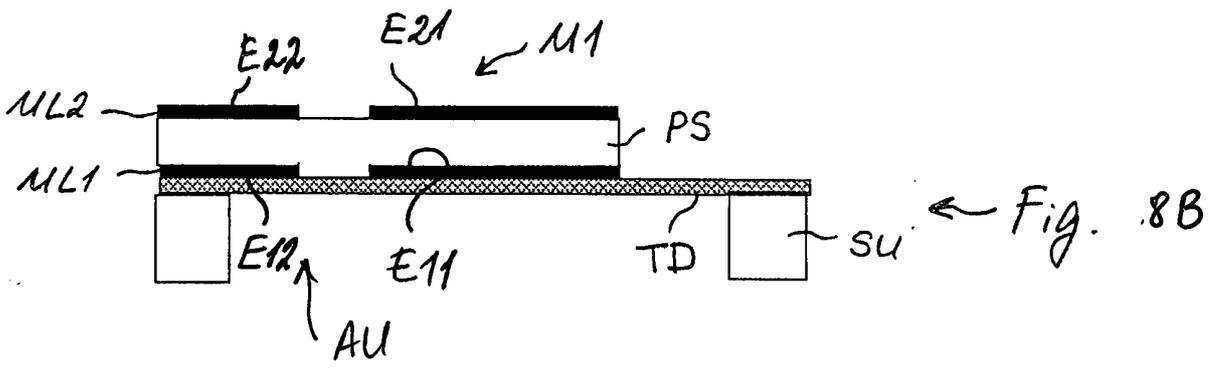


Fig. 8C

