

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
31. August 2006 (31.08.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2006/089641 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation:

**H04R 17/02** (2006.01) **H04R 19/04** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/001121

(22) Internationales Anmeldedatum:

8. Februar 2006 (08.02.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

10 2005 008 511.3

24. Februar 2005 (24.02.2005) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **EPCOS AG** [DE/DE]; St.-Martin-Str. 53, 81669  
München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **LEIDL, Anton**  
[DE/DE]; Brennereistr. 16, 85662 Hohenbrunn (DE).  
**PAHL, Wolfgang** [DE/DE]; Bavariaring 41, 80336

München (DE). **WOLFF, Ulrich** [DE/DE]; Sollner Str. 6,  
81479 München (DE).

(74) Anwalt: **EPPING HERMANN FISCHER PATENTAN-  
WALTSGESELLSCHAFT MBH**; Ridlerstr. 55, 80339  
München (DE).

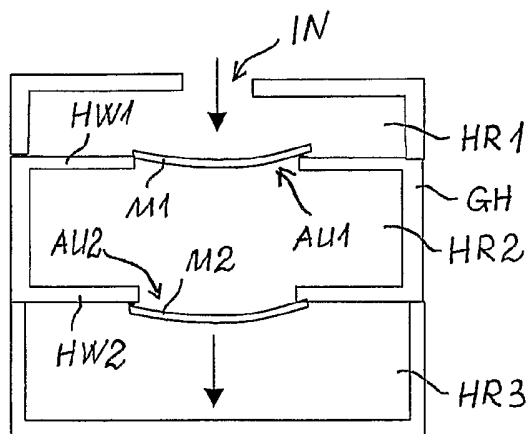
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,  
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV,  
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI,  
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,  
SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,  
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,  
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,  
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,  
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

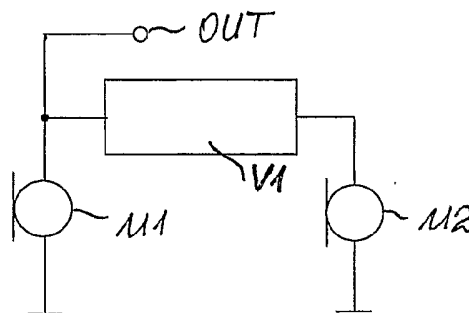
[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: MEMS MICROPHONE

(54) Bezeichnung: MEMS-MIKROFON



A



B

(57) Abstract: The invention relates to a highly-sensitive MEMS microphone with an improved signal-to-noise ratio. In one form of embodiment, a piezoelectric microphone is provided with an auxiliary membrane (M2) which is preferably electrically coupled to a membrane (M1). In another form of embodiment, the inventive microphone is provided with a membrane with an electrical control loop for compensating a membrane lift.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein hochempfindliches MEMS-Mikrofon mit verbessertem Signalrauschverhältnis. Die Erfindung gibt in einer Ausführung ein piezoelektrisches Mikrofon mit einer vorzugsweise elektrisch an eine Membran (M1) gekoppelten Hilfsmembran (M2) an. In einer weiteren Ausführung ist eine Membran mit einem elektrischen Regelkreis zu Kompensation eines Membranhubs versehen.

WO 2006/089641 A1



NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

## Beschreibung

### MEMS-Mikrofon

Beschrieben wird ein MEMS-Mikrofon (MEMS = Micro Electromechanical System).

Aus der Druckschrift US 4816125 ist ein MEMS-Mikrofon mit einer piezoelektrischen Schicht aus ZnO und mehreren mit dieser Schicht verbundenen, konzentrisch angeordneten Elektroden bekannt.

Aus der Druckschrift J. J. Neumann, Jr., and K. J. Gabriel, „A fully-integrated CMOS-MEMS audio microphone“, the 12<sup>th</sup> International Conference on Solid State Sensors, Actuators and Microsystems, 2003 IEEE, Seiten 230 bis 233 ist ein Mikrofonmodul mit einem gehäustem MEMS-Mikrofon bekannt, wobei im Gehäuse unterhalb der Mikrofonmembran ein eingeschlossenes Luftvolumen (back volume) vorgesehen ist.

Aus der Druckschrift D. P. Arnold et al. „A directional acoustic array using silicon micromachined piezoresistive microphones“, J. Acoust. Soc. Am., Band 113 (1), 2003, Seiten 289 bis 298 ist ein elektrisches Modul mit einem eingebauten MEMS piezoresistiven Mikrofon bekannt.

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, das zwei piezoelektrische Schichten aus ZnO und eine dazwischen angeordnete floatende Elektrode aufweist.

Eine zu lösende Aufgabe besteht darin, ein hochempfindliches Mikrofon mit einem hohen Signal-Rausch-Verhältnis anzugeben.

Es wurde gefunden, dass Mikrofone, die Schalldruck mittels Membranen detektieren, in der Regel auf einen großen Membranhub als Reaktion auf die Schallintensität angewiesen sind, um die gewünschten Eigenschaften hinsichtlich Empfindlichkeit und Rauschverhalten zu erhalten. Bei kleinen Bauteilen mit eingebauten Mikrofonen ist der erzielbare Hub durch die kleine Membranfläche eingeschränkt. Bei Wandlung des Membranhubs in eine elektrische Größe können nur schwache elektrische Signale gewonnen werden. Die Nachgiebigkeit einer in einem Abscheideverfahren hergestellten Membran kann durch eine durch einen hohen inneren mechanischen Stress verursachte Vorspannung der Membran verschlechtert werden.

Hier beschriebene MEMS-Mikrofone weisen eine mit einer Schalleintrittsöffnung verbundene Luftkammer sowie ein Rückvolumen auf. Als Rückvolumen (back volume) wird ein eingeschlossenes Luftvolumen bezeichnet, mit dem ein akustischer Kurzschluss - ein ungewollter Druckausgleich zwischen Vorderseite und Rückseite der schwingenden Membran - verhindert wird. Dieses Luftvolumen bewirkt bei jeder Membranauslenkung eine Rückstellkraft zusätzlich zu der durch die elastischen Membraneigenschaften verursachten Rückstellkraft. Bei kleinen Bauteilen ist das Rückvolumen so klein, dass selbst die geringen Membranhübe zu einem erheblichen Druckanstieg im Rückvolumen führen, die in der Größenordnung des zu detektierenden Schallpegels liegen können. Die zusätzliche Rückstellkraft verringert die Nachgiebigkeit und den Hub der Membran.

Es wird ein Mikrofon mit einer ersten und einer zweiten Membran angegeben, die jeweils mit einem und demselben geschlossenen Luftvolumen verbunden und so miteinander gekoppelt sind, dass bei einer Auslenkung der ersten Membran eine zeitgleiche Auslenkung der zweiten Membran bewirkt wird.

Die erste Membran ist eine Mikrofonmembran, d. h. eine „passive“ Membran, die den Schalldruck detektiert bzw. ein akustisches Signal in ein elektrisches Signal umwandelt. Die zweite Membran ist eine Hilfsmembran bzw. eine „aktive“ Membran, deren durch elektrische Ansteuerung bewirkter Hub über das geschlossene Luftvolumen mit der „passiven“ Membran in Wechselwirkung tritt.

Mit dieser Anordnung kann die gestellte Aufgabe unter Ausnutzung von zwei verschiedenen Strategien für die elektrische Ansteuerung der aktiven Membran gelöst werden:

1) "Konstanthalten des eingeschlossenen Luftvolumens": Dazu wird ein von der passiven Membran abgeleitetes und verstärktes Signal der aktiven Membran in der Weise zugeführt, dass letztere eine gegensinnige, aber betragsmäßig ähnliche oder gleiche Bewegung ausführt wie die passive Membran. Wird beispielsweise die passive Membran durch den externen Schalldruck zu einem bestimmten Volumenhub zum Inneren des Hohlraums veranlasst, erfolgt eine elektrische Ansteuerung der aktiven Membran um den annähernd gleichen Volumenhub vom Inneren des Hohlraums hinweg. Als Ergebnis wird die Schwankung des Kammervolumens reduziert oder aufgehoben. Auf diese Weise gelingt es, durch den Schalldruck hervorgerufene Druckschwankungen im geschlossenen Luftvolumen erheblich, z. B. um mindestens den Faktor zwei, in einer Variante um mindestens den Faktor fünf zu reduzieren. Diese Verminderung der Innendruck-

schwankungen bedeutet aber auch eine entsprechende Verminderung der Membran-Rückstellkraft. Das effektive Rückvolumen erscheint damit wesentlich vergrößert, im Grenzfall als unendlich.

2) "Kompensation der Passiv-Membran-Auslenkung": Hierbei ist die elektrische Ansteuerung der aktiven Membran Teil eines Regelkreises, der die Auslenkung der passiven Membran trotz Einwirkung des externen Schallfeldes auf die passive Membran reduziert oder sogar aufhebt. Maß für diese Auslenkung ist das elektrische Ausgangssignal der passiven Membran, das durch die Regelung nahe Null gehalten wird. In jedem Augenblick baut die aktive Membran zu diesem Zweck einen Innendruck in der Kammer auf, der dem Außendruck (Schalldruck) nahe oder gleich kommt. Der resultierende Differenzdruck für die passive Membran wird so verringert oder verschwindet ganz, was damit auch für ihre Auslenkung gilt. Ohne nennenswerte Membran-Auslenkung der passiven Membran jedoch bewirkt das Rückvolumen wiederum keine relevanten Rückstellkräfte auf diese Membran. Das Ausgangssignal der Anordnung ist in diesem Fall nicht das der passiven Membran (das ja in der beschriebenen Weise gegen Null geregelt wird), sondern das im Regelkreis gebildete Ansteuersignal der aktiven Membran.

In beiden Fällen wird ein virtuelles Rückvolumen erzielt, das um ein Mehrfaches (in einer Ausführung mindestens zweifach, in einer bevorzugten Ausführung mindestens fünffach) größer ist als das reale Rückvolumen.

Die beiden schaltungstechnischen Strategien zur Verminderung der effektiven Rückstellkraft bergen das Risiko sich aufschaukelnder Rückkopplungsschwingungen des Gesamtsystems in sich. In einer bevorzugten Variante sind daher schaltungs-

technische Maßnahmen zur Erkennung und Vermeidung solcher Zustände vorgesehen.

In einer ersten bevorzugten Ausführung wird ein Mikrofon mit einem Grundkörper angegeben, in dem zwei Öffnungen vorgesehen sind, die in einen im Grundkörper ausgebildeten Hohlraum münden. Über einer ersten Öffnung ist eine erste Membran und über einer zweiten Öffnung eine zweite Membran (Hilfsmembran) angeordnet, so dass im Hohlraum ein Luftvolumen eingeschlossen ist. Die zweite Membran ist vorzugsweise vom Außenraum durch einen weiteren Hohlraum akustisch entkoppelt. Als Außenraum wird ein Raum bezeichnet, in dem sich die Quelle eines akustischen Eingangssignals befindet.

Über der ersten Membran ist vorzugsweise eine mit Außenraum verbundene Kammer angeordnet, die vom Hohlraum isoliert ist. Der Hohlraum wird im Folgenden als Rückvolumen bezeichnet.

Die erste Membran ist in einer ersten Hohlraumwand über einer in dieser Wand ausgebildeten Öffnung angeordnet. In einer Variante ist die zweite Membran in einer zweiten Hohlraumwand angeordnet. Die Membranen sind vorzugsweise in einander gegenüberliegenden Hohlraumwänden angeordnet. Da die akustische Druckänderung bei Membranauslenkung in alle Richtungen gleichermaßen übertragen wird, ist es auch möglich, beide Membranen in senkrecht zueinander stehenden Wänden anzuordnen. Beide Membranen können in derselben Hohlraumwand angeordnet sein.

Die beiden Membranen weisen vorzugsweise im Wesentlichen die gleiche Masse auf und können gleichartig ausgebildet sein. Die (passive) erste Membran wirkt als eine Mikrofonmembran, wohingegen die (gesteuerte) zweite Membran als eine Lautspre-

chermembran funktioniert. Die Auslenkung der ersten Membran wird beispielsweise bei einem piezoelektrischen MEMS-Mikrofon basierend auf dem direkten piezoelektrischen Effekt in ein elektrisches Signal umgewandelt. Bei einem kapazitiven MEMS-Mikrofon ändert sich die Relativlage der Elektroden des Mikrofons. Die damit verbundene Kapazitätsänderung wird in ein elektrisches Signal umgewandelt. Die jeweilige Membran kann grundsätzlich ein mit elektrischem Feld oder Magnetfeld arbeitender elektromechanischer Wandler sein.

Die Auslenkung der zweiten Membran kann wie bei einem Lautsprecher z. B. mittels eines sich ändernden elektrischen oder magnetischen Feldes bewirkt werden. Die Auslenkung der zweiten Membran mit piezoelektrischen Eigenschaften kann auf der Basis des inversen piezoelektrischen Effekts bewirkt werden.

In einer bevorzugten Ausführung umfassen beide Membranen jeweils mindestens eine piezoelektrische Schicht, wobei beide Membranen vorzugsweise gleich aufgebaut sind. Alternativ ist es möglich, dass die elektromechanische Wandlung bei Membranen auf voneinander unterschiedlichen elektromechanischen Effekten basiert. Beispielsweise kann die erste Membran als ein kapazitives MEMS-Mikrofon und die zweite Membran als ein piezoelektrischer Wandler funktionieren.

In einer Variante kann eine das eingeschlossene Luftvolumen (Rückvolumen des Mikrofons) und den Außenraum verbindende, gegenüber der Querschnittsgröße der Membran kleine Ventilationsöffnung vorgesehen sein, die zu einem langsamen Druckausgleich z. B. im Bereich von  $\geq 100$  ms dient. Der Druckausgleich erfolgt langsam gegenüber der Periodendauer eines akustischen Signals mit der größten Wellenlänge im Arbeitsbereich des Mikrofons. Diese Öffnung kann in der Membran oder

in einer Wand des Behälters angeordnet sein, der das akustische Rückvolumen einschließt.

Durch die beschriebenen Kompensationsmaßnahmen gemäß der ersten und der zweiten Ausführungsform ist es möglich, das reale akustische Rückvolumen (d. h. das geschlossene Luftvolumen) gegenüber bekannten Mikrofonen ohne eine Hilfsmembran wesentlich zu verringern, so dass insgesamt eine erhebliche Raumerparnis erzielt werden kann. Da das virtuelle Rückvolumen dennoch ausreichend groß gehalten werden kann, treten durch die verkleinerte Konstruktion keine nachteiligen Folgen (Empfindlichkeitseinbußen) ein.

Um einen akustischen Kurzschluss einer angesteuerten Hilfsmembran zum Außenraum oder zur Schalleintrittsöffnung zu vermeiden, kann in einer vorteilhaften Variante als akustisches Rückvolumen für die Hilfsmembran ein zusätzlicher, vom Außenraum isolierter Hohlraum vorgesehen sein. Der zusätzliche Hohlraum ist durch die Hilfsmembran vom geschlossenen Luftvolumen getrennt. Der zusätzliche Hohlraum kann deutlich kleiner als das geschlossene Luftvolumen sein, da die Hilfsmembran aktiv angesteuert und somit ihre Auslenkung eingestellt wird. Somit kann der Platzbedarf der Mikrofonanordnung insgesamt gering gehalten werden.

Im folgenden wird ein Mikrofon anhand von Ausführungsbeispielen und der dazugehörigen Figuren näher erläutert. Die Figuren zeigen anhand schematischer und nicht maßstabsgetreuer Darstellungen verschiedene Ausführungsbeispiele des Mikrofons. Gleiche oder gleich wirkende Teile sind mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Es zeigen schematisch

Figur 1A ausschnittsweise ein Mikrofon gemäß der ersten bevorzugten Variante, aufweisend zwei elektrisch miteinander gekoppelte Membranen in einem schematischen Querschnitt;

Figur 1B Ersatzschaltbild des Mikrofons gemäß Figur 1A;

Figuren 2, 3 jeweils eine Variante der in Figur 1 gezeigten Ausführungsform;

Figur 4A ausschnittsweise ein Mikrofon gemäß der zweiten bevorzugten Variante;

Figur 4B Ersatzschaltbild des Mikrofons gemäß Figur 4A;

Figur 5 eine beispielhafte Mikrofonmembran in einem schematischen Querschnitt;

Figur 6 eine Metalllage, in der zwei elektrisch mit Außenkontakten verbundene Elektroden ausgebildet sind.

Figur 1A zeigt ein Mikrofon mit einem Grundkörper GH, das auf seinen einander gegenüberliegenden Wänden HW1, HW2 jeweils eine Öffnung AU1, AU2 aufweist, die in einen Hohlraum HR2 mündet. Über der ersten Öffnung AU1 ist eine erste Membran M1 (Mikrofonmembran, passive Membran) und über der zweiten Öffnung AU2 eine zweite Membran M2 (Hilfsmembran, angesteuerte Membran) angeordnet.

Die Membran M1, M2 kann auf den Wänden des Grundkörpers GH aufgespannt sein. Die Membran M1, M2 kann alternativ durch einen Mikrofonchip mit einem Trägersubstrat und einer darauf aufgespannten Membran ersetzt werden. Der Mikrofonchip kann

mit dem Grundkörper GH z. B. mittels einer Klebeschicht fest verbunden sein.

Die erste Membran M1 trennt den Hohlraum HR2 von einer Kammer HR1, die über eine Schalleintrittsöffnung IN mit dem Außenraum verbunden ist. Die erste Membran M1 fängt an zu schwingen, sobald auf sie ein akustischer Druck  $p$  ausgeübt wird. Die Druckänderung in der Kammer HR1 und das Schwingen der Membran M1 würde (ohne die Hilfsmembran M2) zu einer Volumen- bzw. Druckänderung im Hohlraum HR2 und einer damit verbundenen Rückstellkraft führen, die auf die erste Membran M1 wirkt und die Schwingungsamplitude verringert. Durch eine elektrische Kopplung der beiden Membranen M1, M2 erfolgen ihre Schwingungen so, dass die Auslenkung der ersten Membran M1 zum Inneren des Hohlraumes HR2 hin und die Auslenkung der zweiten Membran M2 mit der gleichen Amplitude nach außen hin erfolgt. Die aktive zweite Membran M2 wird hierbei im Gegen-takt mit der passiven ersten Membran M1 angesteuert. Dabei tritt eine verringerte oder gar keine Änderung des Volumens des Hohlraumes HR2 auf.

Die zweite Membran M2 trennt den Hohlraum HR2 von einem zusätzlichen geschlossenen Hohlraum HR3, der von einem mit einer Schallquelle verbundenen Raum, d. h. dem Außenraum und der Kammer HR1 isoliert ist. Der zusätzliche Hohlraum HR3 verhindert eine Rückwirkung der aktiven Membran auf die passive Membran auf dem äußeren Pfad.

Der zusätzliche Hohlraum HR3 und/oder die Kammer HR1 kann z. B. mittels einer kappenförmigen, vorzugsweise formstabilen Abdeckung geschaffen werden.

In Figur 1B ist ein vereinfachtes Ersatzschaltbild von mittels einer Ansteuerschaltung V1 gekoppelten Membranen M1, M2 gezeigt. Bei einer durch den Schalldruck hervorgerufenen Auslenkung der passiven Membran M1 wird ein elektrisches Signal erzeugt, das am Ausgang OUT als Nutzsignal zur Weiterverarbeitung abgegriffen werden kann. Ein Teil des elektrischen Signals wird zur Erzeugung eines Steuersignals am Ausgang der Ansteuerschaltung V1 genutzt, mit dem die Hilfsmembran M2 im Gegentakt (bezüglich des im Hohlraum HR2 aufgebauten Innendrucks) mit der passiven Membran angesteuert wird.

Die Ansteuerschaltung V1 enthält vorzugsweise einen Verstärker zur Verstärkung des an der Membran M1 abgegriffenen Signals.

In Figur 2 ist eine Variante des in Figur 1 vorgestellten Mikrofons gezeigt, in der beide Membranen M1, M2 in derselben Hohlraumwand HW1 angeordnet sind. In einer Hohlraumwand des Hohlraums HR2 ist eine diesen Hohlraum und den Außenraum verbindende kleine Ventilationsöffnung VE vorgesehen, deren Querschnittsgröße deutlich (z. B. um mindestens Faktor 100) kleiner als die Querschnittsgröße der Membran oder der Öffnungen AU1 oder AU2 ist und die zu einem langsamen Druckausgleich z. B. im Bereich von  $\geq 100$  ms dient. In einer Hohlraumwand des Hohlraums HR3 ist auch eine diesen Hohlraum und den Außenraum verbindende kleine Ventilationsöffnung VE' vorgesehen.

In Figur 3 sind die Öffnungen AU1, AU2 in den senkrecht aufeinander stehenden Wänden vorgesehen. Die Ventilationsöffnung VE ist hier in der Membran M1 ausgebildet.

Mit Pfeilen ist in Fig. 1 bis 4A, B die Richtung der Membranauslenkung angedeutet.

In einer in Figur 4A vorgestellten Variante gemäß der zweiten bevorzugten Ausführungsform wird die aktive zweite Membran M2 im Unterschied zur Figur 1A im Gleichtakt (bezüglich des Innendrucks) mit der passiven ersten Membran M1 angesteuert. Dabei sind die Auslenkungen der beiden Membranen zum Inneren des im Hohlraum HR2 eingeschlossenen Luftvolumens gerichtet. In Figur 4A ist mit einer gestrichelten Linie dargestellt, wie sich die passive Membran M1 aufgrund des externen Schalldrucks verformen würde. Mit einer durchgezogenen Linie ist die aufgrund der kompensierenden Wirkung der aktiven Membran M2 erzielte tatsächliche Lage der Membran M1 dargestellt, wobei die Membran M1 praktisch in ihrer Ruhelage bleibt oder mit einer gegenüber der Auslenkung der aktiven Membran M2 sehr kleinen Amplitude schwingt.

In Figur 4B ist ein Ersatzschaltbild zum Ausführungsbeispiel gemäß Figur 4A gezeigt. Das an der Membran M1 abgegriffene elektrische Signal wird durch den Regelkreis RK verarbeitet. Es wird dabei einerseits ein Steuersignal zur Ansteuerung der Membran M2 und andererseits ein weiteres Steuersignal ausgegeben, das sich mit dem an der Membran M1 abgegriffenen Signal überlagert und die Schwingungsamplitude der Membran M1 dämpft. Ein Ausgangssignal am Ausgang OUT kann zweckgemäß ausgewertet werden. Der Ausgang OUT ist hier an die Membran M2 angeschlossen.

Auch in den in Figuren 2 und 3 vorgestellten Varianten ist es möglich, die aktive Membran M2 im Gleichtakt zur passiven Membran M1 anzusteuern, um die Auslenkungsamplitude der pas-

siven Membran M1 zusätzlich zu der auf diese wirkenden Rückstellkraft zu dämpfen.

In Figur 4B ist das Ersatzschaltbild eines Mikrofons gezeigt, das einen Regelkreis RK zur Kompensation der Auslenkung der Membran M1 umfasst. Das Ausgangssignal OUT2 wird dabei dem Regelkreis entnommen, während das Signal des Wandlers M1 durch die Wirkung der Regelung nahe Null gehalten wird. Eine beispielhafte Membran mit einer zwischen zwei Metallschichten ML1, ML2 angeordneten piezoelektrischen Schicht PS ist in Figuren 5 und 6 gezeigt. In der ersten Metallschicht ML1 sind an die Außenkontakte AE1, AE2 angeschlossene Elektroden E11 und E12 angeordnet. In der zweiten Metallschicht ML2 ist eine floatende leitende Fläche ausgebildet, die den beiden Elektroden E11, E12 gegenüber liegt. Dabei werden zwei in Serie miteinander geschaltete Kapazitäten gebildet.

In Figur 6 ist eine erste Metalllage ML1 der in Figur 5 vorgestellten Membran gezeigt. Die runde Elektrode E11 ist im ersten Bereich eines hohen Potentials und die ringförmige Elektrode E12 im zweiten Bereich eines hohen Potentials angeordnet. Die beiden Bereiche des hohen Potentials weisen entgegengesetzte Polarität auf. Die Elektroden E11, E12 sind jeweils an einen Außenkontakt AE1 bzw. AE2 angeschlossen. In einer darunter oder darüber angeordneten, in Figur 5 gezeigten Metalllage ML2 ist eine vorzugsweise durchgehende floatende leitende Fläche angeordnet, welche den beiden Elektroden E11, E12 gegenüber liegt.

Das Mikrofon ist nicht auf die Anzahl der in Figuren dargestellten Elemente oder auf den akustischen Hörbereich von 20 Hz bis 20 kHz beschränkt. Das Mikrofon kann auch in weiteren piezoelektrischen akustischen Sensoren, z. B. mit Ultraschall

arbeitende Abstandssensoren, eingesetzt werden. Ein Mikrofonchip mit einem beschriebenen Mikrofon kann in beliebigen Signalverarbeitungsmodulen eingesetzt werden. Verschiedene Varianten können miteinander kombiniert werden.

Bezugszeichenliste

AE1, AE2    Außenkontakte  
AU1, AU2    Öffnungen im Behälter GH  
AU    Öffnung im Substrat SU  
E11    erste Teilelektrode  
E12    zweite Teilelektrode  
GH    Gehäuse  
HR1    erster Hohlraum  
HR2    zweiter Hohlraum  
HW1, HW2    erste und zweite Hohlraumwand  
IN    Schalleintrittsöffnung  
KS    Klebeschicht  
M1    erste Membran  
M2    zweite Membran  
ML1, ML2    Metallschichten  
PS    piezoelektrische Schicht  
RK    Regelkreis  
V1    Verstärker  
VE    Ventilationsöffnung

## Patentansprüche

### 1. Mikrofon, umfassend

eine erste Membran (M1) und eine zweite Membran (M2), die mit einem geschlossenen Luftvolumen verbunden sind, wobei die Membranen (M1, M2) elektrisch so miteinander gekoppelt sind, dass bei einer Auslenkung der ersten Membran eine zeitgleiche Auslenkung der zweiten Membran bewirkt wird.

### 2. Mikrofon nach Anspruch 1,

umfassend einen Grundkörper mit zwei Öffnungen (AU1, AU2), die in einen im Grundkörper ausgebildeten Hohlraum (HR2) münden, wobei die erste Membran (M1) über einer ersten Öffnung (AU1) und die zweite Membran (M2) über einer zweiten Öffnung (AU2) angeordnet ist, so dass im Hohlraum (HR2) ein Luftvolumen eingeschlossen ist, wobei bei der Auslenkung der ersten Membran (M1) zum Inneren des Hohlraums (HR2) hin die zweite Membran (M2) durch elektrische Ansteuerung eine Auslenkung in die vom Inneren des Hohlraums (HR2) abgewandte Richtung erfährt und der Volumenhub der zweiten Membran dabei zwischen 50 und 100% des Volumenhubes der ersten Membran beträgt.

### 3. Mikrofon, umfassend

eine mit einem geschlossenen Luftvolumen verbundene erste Membran (M1), die bei Einwirkung eines äußeren Schalldrucks mittels einer Vorrichtung zur Ansteuerung elektrisch derart angesteuert wird, dass dem Schalldruck entgegenwirkt und die Schwingungsamplitude der Membran gedämpft wird.

4. Mikrofon nach Anspruch 3,  
wobei durch die elektrische Ansteuerung erreicht wird,  
dass Druckänderungen auf beiden Seiten der ersten Membran  
(M1) betragsmäßig im Wesentlichen gleich sind.
5. Mikrofon nach Anspruch 3 oder 4,  
mit einer zweiten Membran (M2), die mit einem geschlossenen Luftvolumen verbunden ist,  
wobei die Membranen (M1, M2) mittels der Vorrichtung zur Ansteuerung elektrisch miteinander gekoppelt sind, wobei bei einer Auslenkung der ersten Membran eine solche Auslenkung der zweiten Membran bewirkt wird, dass im geschlossenen Luftvolumen eine Druckänderung entsteht, die dem Schalldruck entgegenwirkt und so die Auslenkung der ersten Membran um 50 bis 100% reduziert.
6. Mikrofon nach Anspruch 2 oder 5,  
wobei die erste Membran (M1) in einer ersten Hohlraumwand (HW1) angeordnet ist,  
wobei die zweite Membran (M2) in einer zweiten Hohlraumwand (HW2) angeordnet ist.
7. Mikrofon nach Anspruch 6,  
wobei die erste und die zweite Hohlraumwand (HW1, HW2) einander gegenüberliegende Hohlraumwände sind.
8. Mikrofon nach Anspruch 6,  
wobei die erste und die zweite Hohlraumwand (HW1, HW2) senkrecht aufeinander stehen.
9. Mikrofon nach Anspruch 2 oder 5,  
wobei beide Membranen (M1, M2) in derselben Hohlraumwand

(HW1) angeordnet sind.

10. Mikrofon nach einem der Ansprüche 2 oder 5,  
wobei die erste und die zweite Membran (M1, M2) im Wesentlichen die gleiche Masse aufweisen.
11. Mikrofon nach einem der Ansprüche 2 oder 5,  
wobei die erste und die zweite Membran (M1, M2) im Wesentlichen gleich ausgebildet sind.
12. Mikrofon nach einem der Ansprüche 1 bis 11,  
mit einer über eine Schalleintrittsöffnung (IN) mit einem Außenraum verbundenen Kammer (HR1), die über der ersten Membran (M1) angeordnet und vom Hohlraum (HR2) isoliert ist.
13. Mikrofon nach einem der Ansprüche 2 oder 5,  
wobei die erste und die zweite Membran (M1, M2) mittels eines elektrischen Regelkreises gekoppelt sind, der ein elektrisches Signal von der ersten Membran abgreift und an die zweite Membran ein Steuersignal herausgibt, das sie zu einem Hub veranlasst, der den Innendruck im Hohlraum (HR2) beeinflusst und so die Auslenkung der ersten Membran vermindert.
14. Mikrofon nach Anspruch 13,  
wobei der Regelkreis einen Verstärker (V1) umfasst.
15. Mikrofon nach einem der Ansprüche 1 bis 14,  
wobei mindestens eine gegenüber der Querschnittsgröße der Membranen (M1, M2) kleine Ventilationsöffnung (VE) vorgesehen ist, die zum langsamen Druckausgleich im geschlos-

senen Luftvolumen geeignet ist.

16. Mikrofon nach Anspruch 15,  
wobei die Ventilationsöffnung (VE) in der ersten Membran (M1) oder in einer Wand eines das Luftvolumen einschließenden Hohlraums ausgebildet ist.
17. Mikrofon nach einem der Ansprüche 1 bis 16,  
wobei die zweite Membran (M2) rückseitig mit einem abgeschlossenen Volumen (HR3) versehen ist.
18. Mikrofon nach einem der Ansprüche 1 bis 17,  
bei dem eine an die erste Membran (M1) und/oder die zweite Membran (M2) angeschlossene elektrische Schaltung gegen das Einsetzen von Rückkopplungsschwingungen vorgesehen ist.

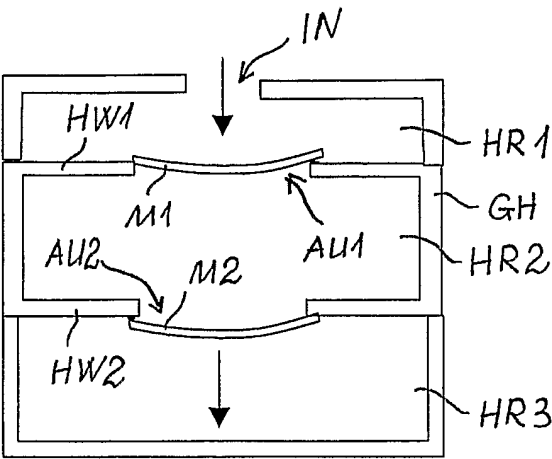


Fig. 1A

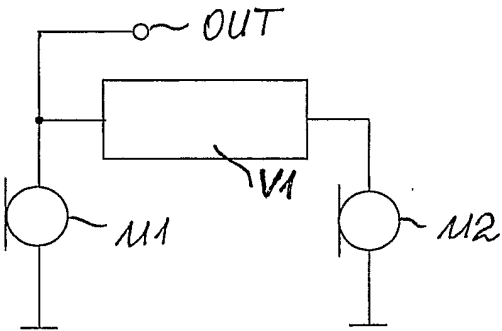


Fig. 1B

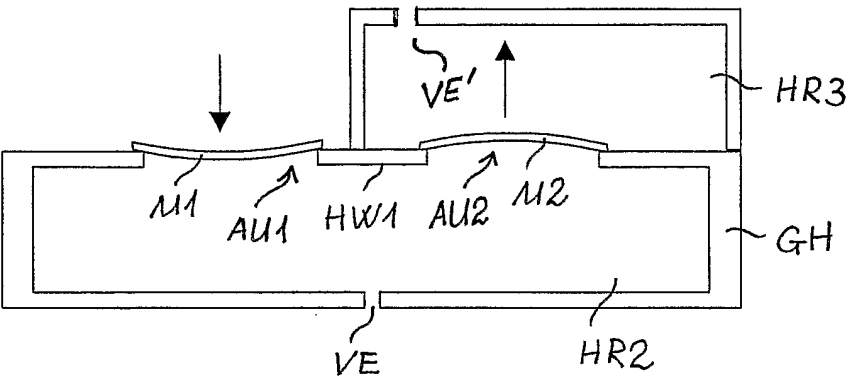


Fig. 2

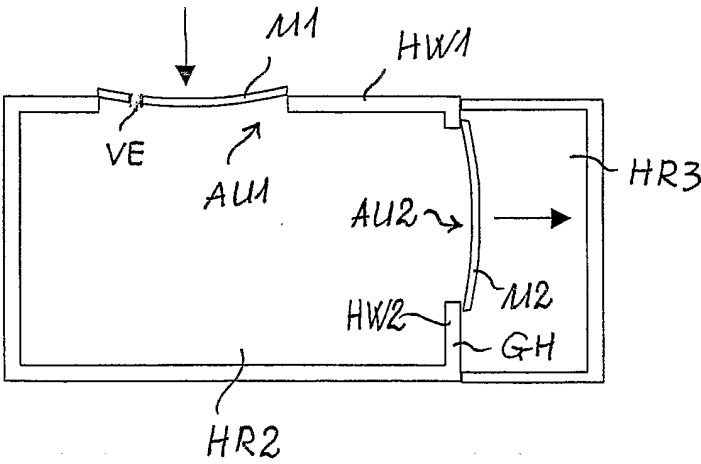
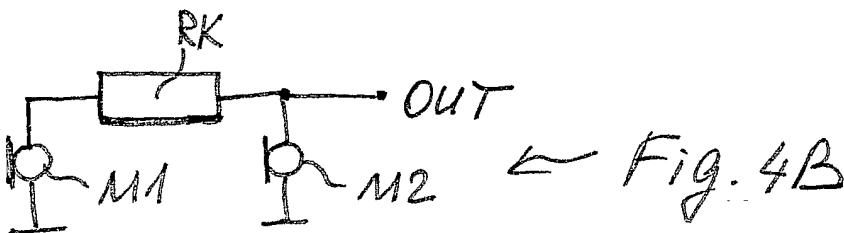
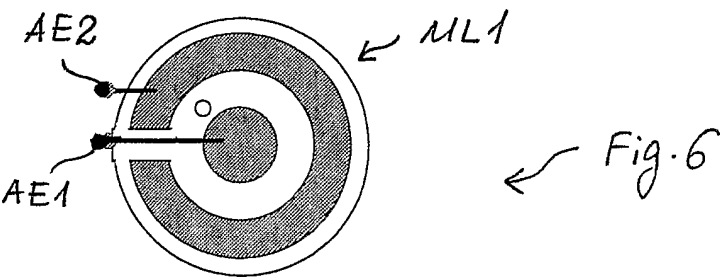
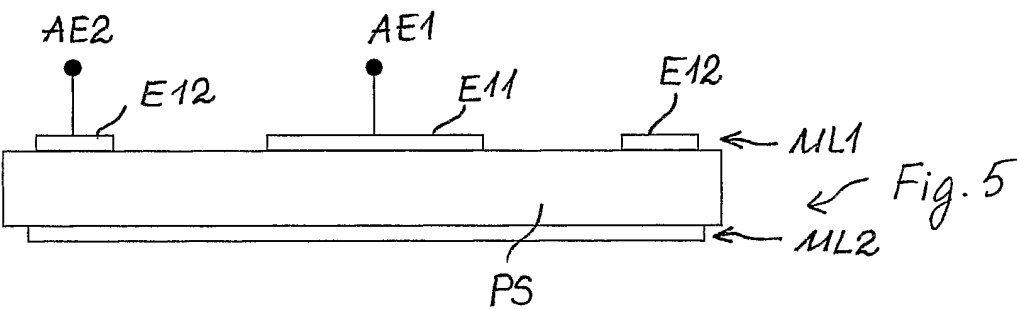
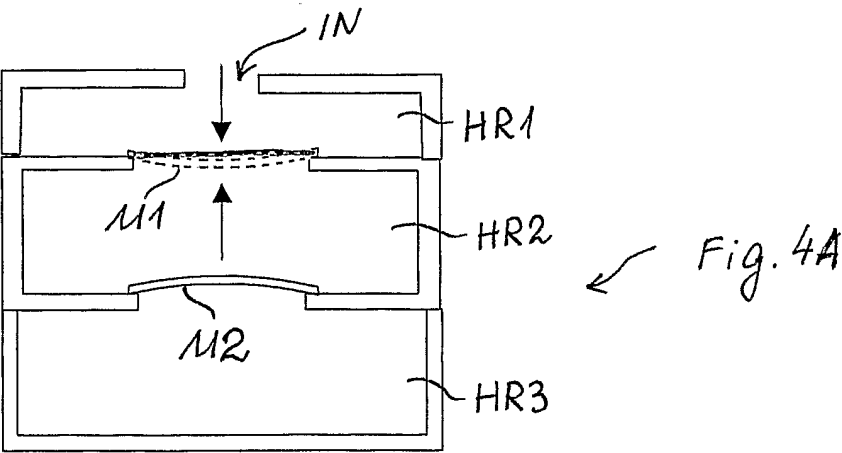


Fig. 3



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2006/001121

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 INV. H04R17/02 H04R19/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 H04R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                       | Relevant to claim No.   |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| X         | BAY J ET AL: "Design Of A Silicon Microphone With Differential Read-out Of A Sealed Double Parallel-plate Capacitor"<br>INT. CONF. EUROSENSORS,<br>vol. 2, 25 June 1995 (1995-06-25), pages<br>700-703, XP010305041<br>STOCKHOLM, SWEDEN | 1-5,<br>10-13,<br>15,16 |
| X         | page 700, left-hand column, lines 5-7<br>page 701, left-hand column, lines<br>1-5,15-19<br>page 702, left-hand column, lines 17-21<br>page 702, right-hand column, line 33 -<br>page 703, left-hand column, line 27<br>figures 1,2,5     | 6,7,14,<br>17,18        |
| A         | the whole document<br>-----<br>-/--                                                                                                                                                                                                      | 8,9                     |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 June 2006

Date of mailing of the international search report

07/07/2006

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Fachado Romano, A

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2006/001121

## C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Relevant to claim No. |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | <p>VAN DER DONK A G H ET AL:<br/>"Amplitude-modulated electro-mechanical<br/>feedback system for silicon condenser<br/>microphones"<br/>JOURNAL OF MICROMECHANICS &amp;<br/>MICROENGINEERING, INSTITUTE OF PHYSICS<br/>PUBLISHING, BRISTOL, GB,<br/>vol. 2, no. 3,<br/>1 September 1992 (1992-09-01), pages<br/>211-214, XP020069302<br/>ISSN: 0960-1317<br/>figures 1,2</p> | 1,3                   |
| A         | <p>US 6 075 867 A (BAY ET AL)<br/>13 June 2000 (2000-06-13)<br/>column 6, lines 6-56<br/>figures 6-9</p>                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1,3                   |

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2006/001121

| Patent document<br>cited in search report |   | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date |
|-------------------------------------------|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| US 6075867                                | A | 13-06-2000          | AT 205355 T                | 15-09-2001          |
|                                           |   |                     | DE 69615056 D1             | 11-10-2001          |
|                                           |   |                     | DE 69615056 T2             | 25-04-2002          |
|                                           |   |                     | DK 72695 A                 | 24-12-1996          |
|                                           |   |                     | WO 9701258 A1              | 09-01-1997          |
|                                           |   |                     | DK 872153 T3               | 19-11-2001          |
|                                           |   |                     | EP 0872153 A1              | 21-10-1998          |
|                                           |   |                     | ES 2159747 T3              | 16-10-2001          |
|                                           |   |                     | JP 11508101 T              | 13-07-1999          |
| <hr/>                                     |   |                     |                            |                     |

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/001121

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
INV. H04R17/02 H04R19/04

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
H04R

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                                                                                                                                     | Betr. Anspruch Nr.      |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| X          | BAY J ET AL: "Design Of A Silicon Microphone With Differential Read-out Of A Sealed Double Parallel-plate Capacitor"<br>INT. CONF. EUROSENSORS,<br>Bd. 2, 25. Juni 1995 (1995-06-25), Seiten 700-703, XP010305041<br>STOCKHOLM, SWEDEN | 1-5,<br>10-13,<br>15,16 |
| X          | Seite 700, linke Spalte, Zeilen 5-7<br>Seite 701, linke Spalte, Zeilen 1-5,15-19<br>Seite 702, linke Spalte, Zeilen 17-21<br>Seite 702, rechte Spalte, Zeile 33 - Seite 703, linke Spalte, Zeile 27<br>Abbildungen 1,2,5               | 6,7,14,<br>17,18        |
| A          | das ganze Dokument<br>-----<br>-/-                                                                                                                                                                                                     | 8,9                     |



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

23. Juni 2006

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

07/07/2006

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Fachado Romano, A

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/001121

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

| Kategorie* | Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Betr. Anspruch Nr. |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| A          | <p>VAN DER DONK A G H ET AL:<br/>           "Amplitude-modulated electro-mechanical<br/>           feedback system for silicon condenser<br/>           microphones"<br/>           JOURNAL OF MICROMECHANICS &amp;<br/>           MICROENGINEERING, INSTITUTE OF PHYSICS<br/>           PUBLISHING, BRISTOL, GB,<br/>           Bd. 2, Nr. 3,<br/>           1. September 1992 (1992-09-01), Seiten<br/>           211-214, XP020069302<br/>           ISSN: 0960-1317<br/>           Abbildungen 1,2</p> | 1,3                |
| A          | <p>US 6 075 867 A (BAY ET AL)<br/>           13. Juni 2000 (2000-06-13)<br/>           Spalte 6, Zeilen 6-56<br/>           Abbildungen 6-9</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1,3                |

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/001121

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument |   | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie |             | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------------|-------------|-------------------------------|
| US 6075867                                         | A | 13-06-2000                    | AT                                | 205355 T    | 15-09-2001                    |
|                                                    |   |                               | DE                                | 69615056 D1 | 11-10-2001                    |
|                                                    |   |                               | DE                                | 69615056 T2 | 25-04-2002                    |
|                                                    |   |                               | DK                                | 72695 A     | 24-12-1996                    |
|                                                    |   |                               | WO                                | 9701258 A1  | 09-01-1997                    |
|                                                    |   |                               | DK                                | 872153 T3   | 19-11-2001                    |
|                                                    |   |                               | EP                                | 0872153 A1  | 21-10-1998                    |
|                                                    |   |                               | ES                                | 2159747 T3  | 16-10-2001                    |
|                                                    |   |                               | JP                                | 11508101 T  | 13-07-1999                    |
|                                                    |   |                               |                                   |             |                               |