

(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
30. Dezember 2015 (30.12.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/197382 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

H04R 7/18 (2006.01) H04R 31/00 (2006.01)
H04R 19/00 (2006.01) H04R 19/04 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2015/063206

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. Juni 2015 (12.06.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102014108984.7 26. Juni 2014 (26.06.2014) DE

(71) Anmelder: EPCOS AG [DE/DE]; St.-Martin-Straße 53,
81669 München (DE).

(72) Erfinder: ROMBACH, Pirmin Hermann Otto; Christian
X's Allé 72, 2800 Kongens Lyngby (DK).

(74) Anwalt: EPPING HERMANN FISCHER
PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH;
Schloßschmidstr. 5, 80639 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,

AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,
MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST,
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG,
KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,
CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM,
GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

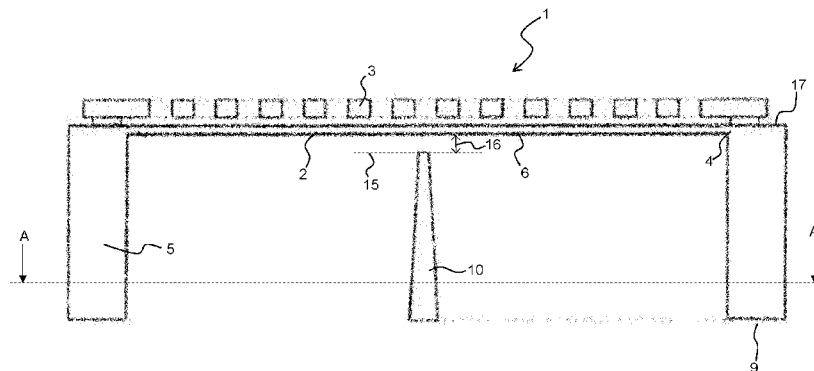
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: TRANSDUCER ELEMENT AND MEMS MICROPHONE

(54) Bezeichnung : WANDLERELEMENT UND MEMS-MIKROFON

Fig. 1



(57) Abstract: The present application relates to a transducer element (1) comprising: a movable membrane (2, 2a, 2b) that has a border (4); a frame (5), to which the border (4) of the membrane (2, 2a, 2b) is fastened; and a reinforcement element (10) which interconnects a first sub-section of the frame (5) and a second sub-section of the frame (5) lying opposite the first sub-section.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Anmeldung betrifft ein Wandlerelement (1), das eine beweglichen Membran (2, 2a, 2b), die einen Rand (4) aufweist, einen Rahmen (5), an dem der Rand (4) der Membran (2, 2a, 2b) befestigt ist, und ein Versteifungselement (10), das einen ersten Teilabschnitt des Rahmens (5) und einen zweiten Teilabschnitt des Rahmens (5), der dem ersten Teilabschnitt gegenüberliegt, miteinander verbindet, aufweist.

WO 2015/197382 A1

Beschreibung

WANDLERELEMENT UND MEMS-MIKROFON

5 Die vorliegende Erfindung betrifft ein Wandlerelement. Dabei kann es sich insbesondere um ein Wandlerelement handeln, das dazu ausgestaltet ist, akustische Signale oder andere Druckschwankungen in elektrische Signale umzuwandeln. Ein solches Wandlerelement wird insbesondere in
10 Kondensatormikrofonen eingesetzt.

Für ein Kondensatormikrofon ist es entscheidend, dass das Wandlerelement möglichst gut miniaturisiert ist und dabei gleichzeitig eine hohe Aufnahmequalität gewährleisten kann.
15 Typischerweise weisen Mikrofone mit großen Membranen einen besseren Signal-zu-Rauschen Abstand auf und ermöglichen damit eine bessere Aufnahmequalität. Da also die Membranfläche nicht beliebig stark reduziert werden kann, ist eine weitere Miniaturisierung nur möglich, falls die von einem Rahmen, an
20 dem die Membran befestigt ist, belegte Fläche reduziert werden kann.

Wird der Rahmen jedoch zunehmend dünner ausgestaltet, so ergeben sich mechanische Stabilitätsprobleme. Insbesondere
25 kann eine feste Rückplatte, die auf dem Rahmen aufgebracht ist, auf den Rahmen Kräfte ausüben, die bei einem zu dünnen Rahmen zu einer Verbiegung des Rahmens führen. Ferner überträgt der Rahmen diese Kräfte auf die Membran, so dass die Messgenauigkeit der Membran durch die auftretenden Kräfte
30 gestört wird. Insbesondere bei unsymmetrischen Membranen, beispielsweise bei elliptischen, nicht-kreisförmigen und bei rechteckigen, nicht-quadratischen Membranen führen die so erzeugten mechanischen Spannungen zu einer starken

Verschlechterung der Messgenauigkeit der Membran, z.B. bei einer starken Temperaturänderung.

Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine
5 Miniaturisierung des Wandlerelementes ohne Verschlechterung der Messeigenschaften der Membran zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch ein Wandlerelement gemäß dem vorliegenden Anspruch 1 gelöst.

10

Es wird ein Wandlerelement vorgeschlagen, das eine bewegliche Membran, die einen Rand aufweist, einen Rahmen, an dem der Rand der Membran befestigt ist und ein Versteifungselement, das einen ersten Teilabschnitt des Rahmens und einen zweiten
15 Teilabschnitt des Rahmens, der dem ersten Teilabschnitt gegenüberliegt, miteinander verbindet, aufweist.

Das Versteifungselement kann insbesondere unmittelbar mit dem ersten Teilabschnitt des Rahmens und unmittelbar mit dem
20 zweiten Teilabschnitt des Rahmens mechanisch verbunden sein. Das Versteifungselement kann insbesondere dazu ausgestaltet sein, den ersten Teilabschnitt des Rahmens und den zweiten Teilabschnitt des Rahmens in einem festen Abstand zueinander zu halten. Dementsprechend verhindert das
25 Versteifungselement, dass auf den Rahmen wirkende Kräfte, den ersten Teilabschnitt des Rahmens relativ zu dem zweiten Teilabschnitt des Rahmens zu stark bewegen können.

Das Versteifungselement kann eine Höhe aufweisen, die der
30 Höhe des Rahmens abzüglich eines Mindestabstandes zwischen dem Versteifungselement und der beweglichen Membran entspricht. Dementsprechend kann das Versteifungselement dafür sorgen, dass der erste Teilabschnitt und der zweiten

Teilabschnitt des Rahmens entlang der gesamten Höhe des Versteifungselementes den gleichen Abstand zueinander aufweisen. Dadurch kann insbesondere verhindert werden, dass der erste und der zweite Teilabschnitt sich entlang ihrer
5 jeweiligen Höhe verformen und beispielsweise an der Unterkante des Rahmens, die sich auf der von der Membran wegweisenden Seite befindet, einen größeren Abstand aufweisen als nahe der Oberkante des Rahmens, an der die Membran befestigt ist.

10

Das Versteifungselement kann auf diese Weise dafür sorgen, dass von dem Rahmen weniger Kräfte auf die bewegliche Membran ausgeübt werden. Insbesondere kann das Versteifungselement den Anteil der unsymmetrischen Kräfte, die der Rahmen auf die
15 bewegliche Membran ausübt, verringern.

Dieses ist insbesondere bei einer unsymmetrischen Stressverteilung wichtig, die insbesondere bei einer nicht-quadratischen oder einer nicht-kreisförmigen Membran
20 auftreten kann. Insbesondere bei dieser Art von Membranen führt das Versteifungselement somit zu entscheidenden Verbesserungen der Aufnahmequalität, die ansonsten nur möglich wären, wenn der Rahmen deutlich dicker ausgestaltet würde. Doch auch bei symmetrischen Membranen, etwa
25 kreisförmigen oder quadratischen Membranen, kann das Versteifungselement zu Verbesserungen führen, die eine weitere Reduzierung der Wandstärke des Rahmens ermöglichen.

Insgesamt ermöglicht es das Versteifungselement die
30 Wandstärke des Rahmens zu reduzieren und so das Wandlerelement weiter zu miniaturisieren, ohne dass dabei die Messgenauigkeit des Wandlerelementes verschlechtert wird.

Der Rahmen kann beispielsweise aus Silizium bestehen. An einer Oberkante des Rahmens kann sowohl die bewegliche Membran als auch eine feste Rückplatte angeordnet sein, wobei die feste Rückplatte in einem geringen Abstand zu der Membran befestigt ist. Der Rand der Membran kann insbesondere so an dem Rahmen befestigt sein, dass der Rand der Membran sich nicht in Richtung einer Flächennormale der Membran bewegen kann.

Der erste und der zweite Teilabschnitt des Rahmens erstrecken sich im Wesentlichen von einer Unterkante des Rahmens, die auf der von der Membran wegweisenden Seite angeordnet ist, bis zu einer Höhe, die der Höhe des Rahmens abzüglich eines Mindestabstandes zwischen dem Versteifungselement und der Membran entspricht. Die Teilabschnitte können beispielsweise keilförmig oder streifenförmig ausgebildet sein. Der erste und der zweite Teilabschnitt sind nicht unmittelbar zueinander benachbart. Es liegen vielmehr weitere Teilabschnitte zwischen dem ersten und dem zweiten Teilabschnitt.

Der Begriff „gegenüberliegt“ ist hier so zu verstehen, dass der erste und der zweite Teilabschnitt nicht unmittelbar zueinander benachbart sind. Eine Verbindungslinie, die einen beliebigen Punkt des ersten Teilabschnitts mit einem beliebigen Punkt des zweiten Teilabschnitts verbindet, verläuft durch das Innere des Wandlerelements, ohne dabei den Rahmen zu schneiden.

Das Wandlerelement kann dazu ausgestaltet sein, akustische Signale oder andere Druckschwankungen in elektrische Signale umzuwandeln. Insbesondere kann das Wandlerelement dazu ausgestaltet sein, Schallsignale in elektrische Signale

umzuwandeln. Das Wandlerelement kann ein MEMS Element sein (MEMS = Mikroelektromechanisches System).

Das Versteifungselement kann eine Höhe aufweisen, die
5 geringer ist als eine Höhe des Rahmens. Dementsprechend kann das Versteifungselement um einen Mindestabstand von der beweglichen Membran beabstandet sein. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Membran nicht auf dem
Versteifungselement aufliegt, so dass dieses die Bewegungen
10 der Membran nicht stören kann. Der Mindestabstand wird insbesondere so gewählt, dass auch bei Auslenkungen der Membran diese nicht unmittelbar mit dem Versteifungselement in mechanischen Kontakt tritt.

15 Das Versteifungselement und der Rahmen können aus dem gleichen Material bestehen. Bei diesem Material kann es sich insbesondere um Silizium handeln. Insbesondere können das Versteifungselement und der Rahmen in einem gemeinsamen Verfahrensschritt, beispielsweise in einem Ätzprozess,
20 hergestellt werden. Dementsprechend ist für die Fertigung des Versteifungselementes kein zusätzlicher Verfahrensschritt notwendig. Lediglich eine Ätzmaske, die für die Fertigung des Rahmens verwendet wird, ist entsprechend anzupassen, so dass diese das Versteifungselement mitausbildet. Das
25 Versteifungselement kann somit mit minimalem Aufwand gefertigt werden.

Ferner kann das Versteifungselement einen dritten Teilabschnitt des Rahmens und einen vierten Teilabschnitt des
30 Rahmens, der dem dritten Teilabschnitt gegenüberliegt, miteinander verbinden. Das Versteifungselement kann den dritten und den vierten Abschnitt in einem festen Abstand zueinander halten. Insbesondere werden der dritte und der

vierte Abschnitt entlang der gesamten Höhe des Versteifungselementes in einem festen Abstand zueinander gehalten. Auch bezüglich des ersten und des zweiten Teilabschnittes sind der dritte und der vierte Teilabschnitt
5 in einer fest definierten Position durch das Versteifungselement festgehalten.

Ein so ausgestaltetes Versteifungselement kann die auftretenden Kräfte, die auf die Membran wirken noch weiter
10 reduzieren. Abhängig von der gewählten Form der Membran, kann der Rahmen mehr als eine mechanische Schwachstelle aufweisen. Durch die Verbindung des dritten und vierten Teilabschnittes könnte eine zweite mechanische Schwachstelle des Rahmens beseitigt werden. Insbesondere kann keiner des ersten bis
15 vierten Teilabschnittes des Rahmens unmittelbar zu einem der anderen des ersten bis vierten Teilabschnittes des Rahmens benachbart sein.

Das Versteifungselement kann streifenförmig sein.
20 Insbesondere kann das Versteifungselement in einem Querschnitt durch das Wandlerelement in einer Ebene parallel zu der Membran streifenförmig ausgebildet sein. Das Versteifungselement kann über seine gesamte Höhe streifenförmig sein.

25

In alternativen Ausgestaltungen kann das Versteifungselement kreuzförmig oder sternförmig sein. Auch diese Angaben beziehen sich auf einen Querschnitt durch das Wandlerelement in einer Ebene parallel zu der Membran. Abhängig von der Form
30 der Membran und des zugehörigen Rahmens kann ein streifenförmiges, kreuzförmiges oder sternförmiges Versteifungselement vorteilhaft sein. Das Versteifungselement

sollte stets so gewählt werden, dass es mechanische Schwachstellen des Rahmens ausgleichen kann.

Die Membran kann elliptisch oder rechteckig sein.

- 5 Insbesondere kann die Membran einen asymmetrischen Aufbau aufweisen und beispielsweise die Form einer nicht-kreisförmigen Ellipse oder eines nicht-quadratischen Rechtecks aufweisen. Insbesondere bei solchen Membranen, die einen gewissen Grad an Asymmetrie aufweisen, ist die
- 10 Verwendung des Versteifungselementes besonders vorteilhaft, da hier auf den Rahmen asymmetrische Kräfte wirken, die ohne das Versteifungselement die Membran stark beeinflussen würden und die Messgenauigkeit der Membran verschlechtern würden. Das Versteifungselement kann dieses jedoch verhindern.

15

- Das Versteifungselement kann eine Höhe in einem Bereich zwischen 150 und 700 μm aufweisen. Die Höhe des Versteifungselementes sollte dabei an die Höhe des Rahmens angepasst sein. Das Versteifungselement sollte möglichst hoch
- 20 ausgestaltet sein, um den Rahmen über eine große Höhe zu stabilisieren, ohne dabei mit der Membran unmittelbar in Kontakt zu treten. Dementsprechend muss zwischen Membran und Versteifungselement ein Mindestabstand frei von dem Versteifungselement bleiben.

25

Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein MEMS (Mikroelektromechanisches System) Mikrofon, das das oben beschriebene Wandlerelement aufweist.

- 30 Im Folgenden werden das Wandlerelement und bevorzugte Ausführungsbeispiele anhand der Figuren näher erläutert.

Es zeigen:

- Figur 1 einen Querschnitt durch ein Wandlerelement mit einem Versteifungselement gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel,
- Figur 2 einen Querschnitt durch das in Figur 1 gezeigte Wandlerelement,
- Figur 3 eine Simulation der auftretenden mechanischen Spannung in einer ovalen Membran in einem Wandlerelement, das kein Versteifungselement aufweist,
- Figur 4 einen Querschnitt durch ein Wandlerelement mit einem Versteifungselement gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel,
- Figur 5 eine Simulation der in einer ovalen Membran auftretenden mechanischen Spannung in einem Wandlerelement, das ein Versteifungselement gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel aufweist,
- Figur 6 eine Simulation der in einer ovalen Membran auftretenden mechanischen Spannung in einem Wandlerelement, das ein Versteifungselement gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel aufweist,
- Figur 7 ein weiteres Ausführungsbeispiel des Wandlerelements mit einem Versteifungselement gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel,

Figur 8 ein weiteres Ausführungsbeispiel des
Wandlerelements mit einem Versteifungselement gemäß
dem zweiten Ausführungsbeispiel,

Figur 9 einen Ausschnitt eines Wandlerelementes.

5

Figur 1 zeigt einen Querschnitt durch ein Wandlerelement 1.
Das Wandlerelement 1 weist eine bewegliche Membran 2 und eine
feste Rückplatte 3 auf. Zwischen der Membran 2 und der
Rückplatte 3 kann eine Spannung angelegt werden, so dass die
10 Membran 2 und die Rückplatte 3 einen Kondensator bilden. Wird
die Membran 2 infolge einer Druckschwankung relativ zu der
Rückplatte 3 bewegt, so wird die Kapazität dieses
Kondensators verändert. Insbesondere können Schallwellen zu
Druckschwankungen führen, die die Kapazität des Kondensators
15 verändern. Das Wandlerelement 1 ist dazu ausgestaltet,
Druckschwankungen in ein elektrisches Signal umzuwandeln.
Insbesondere kann das Wandlerelement 1 ein akustisches Signal
in ein elektrisches Signal umwandeln.

20 Das Wandlerelement 1 bildet ein Vordervolumen und ein
Rückvolumen aus. Das Vordervolumen ist dazu geeignet mit
einer Umgebung des Wandlerelementes 1 druckmäßig zu
kommunizieren. Das Wandlerelement 1 weist dementsprechend
eine Schalleintrittsöffnung (nicht gezeigt) auf, über die das
25 Vordervolumen mit der Umgebung druckmäßig kommunizieren kann
und über die Schall- oder andere Druckwellen zur Membran 2
gelangen können. Das Rückvolumen des Wandlerelementes 1 ist
ein Referenzvolumen, das akustisch von dem Vordervolumen
getrennt ist. Das Wandlerelement 1 ist dazu geeignet, eine
30 zeitlich variierende Differenz zwischen dem Schalldruck im
Vordervolumen und dem Druck im Rückvolumen zu messen.

Ferner weist das Wandlerelement 1 eine Ventilationsöffnung für statischen Druckausgleich zwischen Vordervolumen und Rückvolumen auf. Daher ist kein konstanter unveränderlicher Druck im Rückvolumen. Vielmehr wird der Druck im Rückvolumen
5 über die Ventilationsöffnung langsam an einen Umgebungsdruck angepasst.

Die Ventilationsöffnung weist eine hohe akustische Impedanz auf. Dementsprechend können Schallwellen nicht durch die
10 Ventilationsöffnung in das Rückvolumen eindringen.

Ferner weist die bewegliche Membran 2 einen Rand 4 auf, der an einem Rahmen 5 des Wandlerelementes 1 befestigt ist. Der Rand 4 der Membran 2 ist derart befestigt, dass er sich nicht
15 in einer Richtung zu der Rückplatte 3 hin oder von der Rückplatte 3 weg bewegen kann. Lediglich ein Innenbereich 6 der Membran 2, der nicht unmittelbar an dem Rahmen 5 befestigt ist, ist in der Richtung zu der Rückplatte 3 hin und von der Rückplatte 3 weg beweglich. Der Rahmen 5 des
20 Wandlerelementes 1 besteht aus Silizium.

Figur 2 zeigt einen Querschnitts durch das Wandlerelement entlang der in Figur 1 eingezeichneten Linie AA'.

25 Die Form des Rahmens 5 ist an die Form der Membran 2 angepasst. Der Rahmen 5 kann in zahlreiche Teilabschnitte unterteilt werden. Insbesondere weist der Rahmen 5 einen ersten Teilabschnitt 7 und einen zweiten Teilabschnitt 8 auf, wobei der erste und der zweite Teilabschnitt 7, 8 des Rahmens
30 5 einander gegenüberliegen.

Ferner weist das Wandlerelement 1 ein Versteifungselement 10 auf. Das Versteifungselement 10 verbindet den ersten

Teilabschnitt 7 des Rahmens 5 mit dem zweiten Teilabschnitt 8 des Rahmens 5. Das Versteifungselement 10 hat eine Höhe, die etwas geringer ist als die Höhe des Rahmens 5. Beispielsweise kann die Höhe des Versteifungselementes 10 um 5 bis 25 µm geringer sein als die Höhe des Rahmens 5. Dementsprechend verbleibt der Mindestabstand 16 zwischen der Membran 2 und dem Versteifungselement 10, so dass die Membran 2 nicht unmittelbar auf dem Versteifungselement 10 aufliegt. Das Versteifungselement 10 erstreckt sich von einer Unterkante 9 des Rahmens 5, die sich auf der der Membran 2 gegenüberliegenden Seite des Rahmens 5 befindet, bis zu einer oberen Grenze 15, die von der Membran 2 um einen Mindestabstand 16 beabstandet ist.

15 Gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel ist das Versteifungselement 10 streifenförmig. Die Wirkungsweise des Versteifungselementes 10 wird anhand des in Figur 2 gezeigten Querschnitts deutlicher.

20 Das Versteifungselement 10 verbindet den ersten Teilabschnitt 7 des Rahmens 5 und den zweiten Teilabschnitt 8 des Rahmens 5. Das Versteifungselement 10 bewirkt, dass auf die Membran 2 geringere Kräfte ausgeübt werden und dass insbesondere keine asymmetrischen Kräfte auf die Membran 2 wirken oder zumindest der Anteil der asymmetrisch auf die Membran 2 wirkenden Kräfte erheblich reduziert wird.

Asymmetrisch wirkende Kräfte können insbesondere auf die im Folgenden beschriebene Weise entstehen: Die feste Rückplatte 3 weist eine hohe Spannung auf. Dementsprechend übt die feste Rückplatte 3 auf den Rahmen 5 eine Kraft aus, die den Rahmen 5 an seiner Oberkante 17, an der die feste Rückplatte angeordnet ist, zusammenzieht. Gleichzeitig bewirkt diese

Kraft, dass der Rahmen 5 an seiner Unterkante 9 auseinander gedrückt wird. Durch das Zusammenziehen des Rahmens 5 an der Oberkante 17 wird auch die Membran 2, deren Rand 4 an der Oberkante 17 des Rahmens 5 befestigt ist, verzogen.

- 5 Bei dem in Figur 2 gezeigten ersten Ausführungsbeispiel ist die Membran 2 ellipsenförmig. Die Ellipsenform definiert eine Hauptachse 11 und eine Nebenachse 12, die rechtwinklig zu der Hauptachse 11 steht und die kürzer ist als die Hauptachse 11.
- 10 Figur 3 zeigt eine Simulation der mechanischen Spannung, die auf eine ovale Membran 2a ohne Versteifungselemente 10 wirkt. Die ovale Membran 2a ist der in Figur 2 gezeigten ellipsenförmigen Membran 2 sehr ähnlich. Die linke Abbildung zeigt die in x-Richtung wirkende mechanische Spannung und die
- 15 rechte Abbildung zeigt die in y-Richtung wirkende mechanische Spannung. Hierbei wird die x-Richtung durch die Verbindungslinie der zwei am weitesten voneinander entfernten Punkte der Membran 2a definiert und die y-Richtung ist senkrecht zu der x-Richtung. Bei der elliptischen Membran 2
- 20 erstrecken sich die Hauptachse 11 in x-Richtung und die Nebenachse 12 in y-Richtung.

- Es ist in Figur 3 deutlich zu erkennen, dass entlang der x-Richtung der Membran 2a eine deutlich höhere mechanische
- 25 Spannung auftritt. Entlang der x-Richtung beträgt die durchschnittliche mechanische Spannung 49,6 MPa. Entlang der y-Richtung beträgt die durchschnittliche mechanische Spannung 38,7 MPa. Insgesamt beträgt die Differenz der durchschnittlichen mechanischen Spannungen in x- und y-
- 30 Richtung in der ovalen Membran 2a ohne Versteifungselement 10 10,9 MPa.

Der Grund für die ungleichmäßige Verteilung der mechanischen Spannung in x- und y-Richtung liegt darin, dass der Rahmen 5 in x-Richtung auf Grund der größeren Ausdehnung der Membran 2 schwächer ist als in y-Richtung. Dementsprechend verzieht sich die Membran 2 unter der von der festen Rückplatte 3 auf den Rahmen 5 ausgeübten Kraft in x-Richtung stärker als in y-Richtung.

Das Versteifungselement 10 sorgt dafür, dass der erste und der zweite Teilabschnitt 7, 8 des Rahmens 5 in einem festen Abstand zueinander gehalten werden. Der Rahmen 5 wird also von seiner Unterkante 9 bis zu der Höhe, die dem Mindestabstand zwischen Membran 2 und Versteifungselement 10 entspricht, derart festgehalten, dass die Teilabschnitte 7, 8 hier in festem Abstand zueinander sind. Dieser feste Abstand ist durch die Länge des Versteifungselements 10 vorgegeben. Dadurch wird verhindert, dass der Rahmen 5 sich an seiner Oberkante stark bewegen kann. Es werden daher weniger Kräfte auf die Membran 2, 2a ausgeübt. Durch die hier beschriebene Anordnung des Versteifungselementes 10 an einer mechanischen Schwachstelle des Rahmens 5 können insbesondere die unsymmetrischen Anteile der auf die Membran 2, 2a wirkenden Kraft reduziert werden.

Figur 4 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel des Versteifungselementes 10a. Hier ist das Versteifungselement 10a kreuzförmig ausgestaltet. Das Versteifungselement 10a verbindet dementsprechend neben dem ersten und dem zweiten Teilabschnitt 7, 8 des Rahmens 5 nun auch einen dritten Teilabschnitt 13 des Rahmens 5 mit einem vierten Teilabschnitt 14 des Rahmens 5, der dem dritten Teilabschnitt 13 gegenüberliegt. Auch der dritte und der vierte Teilabschnitt 13, 14 werden in einem festen Abstand

zueinander gehalten. Ferner werden der dritte und der vierte Teilabschnitt 13, 14 durch das Versteifungselement 10a nunmehr auch in einer definierten Position relativ zu dem ersten und dem zweiten Teilabschnitt 7, 8 gehalten. Auch der dritte und der vierte Teilabschnitt 13, 14 des Rahmens 5 erstrecken sich jeweils von der Unterkante 9 des Rahmens 5 bis zu der oberen Grenze 15, so dass der Mindestabstand 16 zwischen dem Versteifungselement 10a und der Membran 2 frei bleibt.

10

Die Figuren 5 und 6 zeigen jeweils Simulationen für die auftretenden mechanischen Kräfte, die auf die ovale Membran 2a wirken, wobei in Figur 5 ein streifenförmiges Versteifungselement 10 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel und in Figur 6 ein kreuzförmiges Versteifungselement 10a gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel vorgesehen ist. In Figur 5 und Figur 6 sind jeweils in einer linken Abbildung die in x-Richtung wirkenden mechanischen Spannungen dargestellt und in einer rechten Abbildung die in y-Richtung wirkenden mechanischen Spannungen.

20

Es ist zu erkennen, dass die auftretenden mechanischen Spannungen, die auf die Membran 2a wirken, gegenüber einem Ausführungsbeispiel ohne Versteifungselement 10 deutlich reduziert werden können. Bei der in Figur 5 gezeigten Ausführungsform mit dem streifenförmigen Versteifungselement 10 beträgt die durchschnittliche mechanische Spannung entlang der x-Richtung 47,4 MPa. Entlang der y-Richtung beträgt die durchschnittliche mechanische Spannung 42,4 MPa. Insgesamt beträgt die Differenz der durchschnittlichen mechanischen Spannungen in x- und y-Richtung in der ovalen Membran 2a mit dem streifenförmigen Versteifungselement 10 5,0 MPa.

25

30

Bei der in Figur 6 gezeigten Ausführungsform mit dem kreuzförmigen Versteifungselement 10a beträgt die durchschnittliche mechanische Spannung entlang der x-Richtung 47,3 MPa. Entlang der y-Richtung beträgt die durchschnittliche mechanische Spannung 42,2 MPa. Insgesamt beträgt die Differenz der durchschnittlichen mechanischen Spannungen in x- und y-Richtung in der ovalen Membran 2a mit dem kreuzförmigen Versteifungselement 10a 5,1 MPa.

10 Sowohl das streifenförmige als auch das kreuzförmige Versteifungselement 10, 10a führen also zu einer deutlichen Reduzierung der Differenz der durchschnittlichen mechanischen Spannung in x- und y-Richtung von 10,9 MPa auf 5,0 MPa bzw. 5,1 MPa. Dementsprechend sorgt das streifenförmige
15 Versteifungselement 10 bzw. das kreuzförmige Versteifungselement 10a dafür, dass die mechanische Spannung gleichmäßiger in der Membran 2a verteilt wird. Es ist hier zwischen dem ersten und dem zweiten Ausführungsbeispiel des Versteifungselementes 10, 10a keine
20 wesentliche Verbesserung zu erkennen. Dieses ist auf die besondere Form des Rahmens 5 zurückzuführen, der in eine Richtung deutlich weniger stabil ist als in die andere Richtung. Entlang der x-Achse weist der Rahmen 5 ein nahezu gerades Teilstück auf, das sich vergleichsweise leicht
25 verformt. Entlang der y-Achse ist der Rahmen 5 halbkreisförmig und somit vergleichsweise schwer zu verformen. Bei andersartig geformten Rahmen 5 bzw. Membranen 2 kann eine kreuzförmige Ausgestaltung des Versteifungselementes 10a gegenüber einer streifenförmigen
30 Ausgestaltung dagegen die mechanische Stabilität deutlich erhöhen.

Figur 7 und Figur 8 zeigen weitere Ausführungsbeispiele des Wandlerelementes 1. In Figur 7 und in Figur 8 ist die Membran 2b jeweils rechteckig ausgestaltet. In Figur 7 ist das Versteifungselement 10 streifenförmig und in Figur 8 ist das Versteifungselement 10a kreuzförmig.

Ferner sind auch andere Formen des Versteifungselements möglich, beispielsweise kann diese sternförmig sein. Die gewählte Form des Versteifungselements sollte stets an die Form der Membran angepasst werden.

Figur 9 zeigt einen Ausschnitt des Wandlerelementes 1, anhand dessen das Herstellungsverfahren des Wandlerelementes 1 skizziert wird.

Der Rahmen 5 und das Versteifungselement 10 werden in einem gemeinsamen Ätzschritt hergestellt, bei dem auf einem Siliziumwafer eine Maske aufgebracht wird und anschließend ein Teil des Siliziumwafers weggeätzt wird, so dass das Vordervolumen des Wandlerelementes 1 ausgebildet wird. Der Rahmen 5 und das Versteifungselement 10 werden somit aus dem Siliziumwafer photolithografisch gefertigt.

Das Versteifungselement 10 wird somit bei dem Ätzschritt, der einen Hohlraum in einem Siliziumblock erzeugt, hergestellt. Dieses Verfahren wird als Deep Reactive Ion Etching (DRIE) bezeichnet. Es kann abhängig von der Wahl der Prozessparameter zu einem negativen Neigungswinkel α an den Seitenwänden des Hohlraums führen, der sich auch an den Seiten des Versteifungselementes 10 wiederfindet. Die Höhe H des Versteifungselementes 10 wird über den Ätzwinkel α und die Breite W der verwendeten Maske eingestellt.

In Figur 9 sind verschiedene Ausgestaltungen des Versteifungselementes 10 eingezeichnet. Bei einer Breite W1, W2 und W3 weist das Versteifungselement 10 jeweils die Höhe H auf. Bei einer Breite W4 bzw. W5 des Versteifungselements 10
5 ergibt sich eine Höhe von H4 bzw. H5.

Abhängig von der verwendeten Maske und abhängig von dem Ätzwinkel α kann das Versteifungselement 10 keilförmig mit einer stumpfen Spitze oder zur Membran 2 hin spitz zulaufend
10 sein. Das Verfahren wird so eingestellt, dass das Versteifungselement 10 um den Mindestabstand von der Membran 2 beabstandet ist. Der Ätzprozess kann ferner derart modifiziert werden, dass der Ätzwinkel α verändert werden kann, um unterschiedliche breite Versteifungselemente 10 mit
15 der gleichen Höhe zu fertigen.

Bezugszeichenliste

	1	Wandlerelement
	2, 2a, 2b	Membran
5	3	Rückplatte
	4	Rand der Membran
	5	Rahmen
	6	Innenbereich der Membran
	7	erste Teilabschnitt
10	8	zweite Teilabschnitt
	9	Unterkante des Rahmens
	10, 10a	Versteifungselement
	11	Hauptachse
	12	Nebenachse
15	13	dritte Teilabschnitt
	14	vierte Teilabschnitt
	15	obere Grenze
	16	Mindestabstand
	17	Oberkante des Rahmens
20		

Patentansprüche

1. Wandlerelement (1), aufweisend
eine beweglichen Membran (2, 2a, 2b), die einen Rand (4)
5 aufweist,
einen Rahmen (5), an dem der Rand (4) der Membran (2,
2a, 2b) befestigt ist, und
ein Versteifungselement (10), das einen ersten
Teilabschnitt (7) des Rahmens (5) und einen zweiten
10 Teilabschnitt (8) des Rahmens (5), der dem ersten
Teilabschnitt (7) gegenüberliegt, miteinander verbindet.
2. Wandlerelement (1) gemäß Anspruch 1,
wobei das Versteifungselement (10) eine Höhe aufweist,
15 die geringer ist als eine Höhe des Rahmens (5).
3. Wandlerelement (1) gemäß einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Versteifungselement (10) und der Rahmen (5)
aus dem gleichen Material bestehen.
20
4. Wandlerelement (1) gemäß einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Versteifungselement (10) einen dritten
Teilabschnitt (13) des Rahmens (5) und einen vierten
Teilabschnitt (14) des Rahmens (5), der dem dritten
25 Teilabschnitt (13) gegenüberliegt, miteinander
verbindet.
5. Wandlerelement (1) gemäß einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Versteifungselement (10) streifenförmig ist.
30
6. Wandlerelement (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4,
wobei das Versteifungselement (10) kreuzförmig ist.

7. Wandlerelement (1) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4,
wobei das Versteifungselement (10) sternförmig ist.
8. Wandlerelement (1) gemäß einem der vorherigen Ansprüche,
5 wobei die Membran (2, 2b) elliptisch oder rechteckig
ist.
9. Wandlerelement (1) gemäß einem der vorherigen Ansprüche,
wobei das Versteifungselement (10) eine Höhe zwischen
10 150 und 700 μm aufweist.
10. MEMS Mikrofon aufweisend ein Wandlerelement (1) gemäß
einem der vorherigen Ansprüche.

Fig. 1

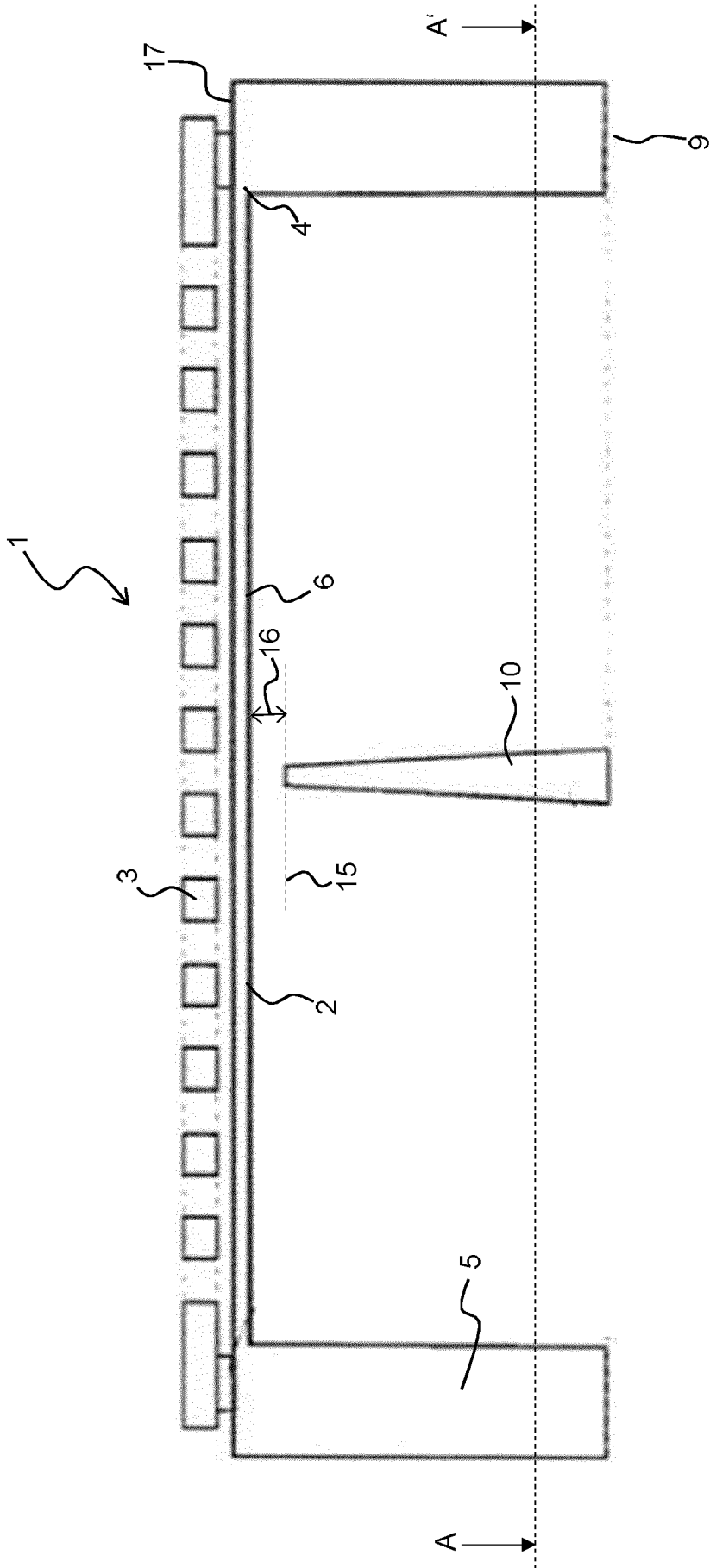


Fig. 2

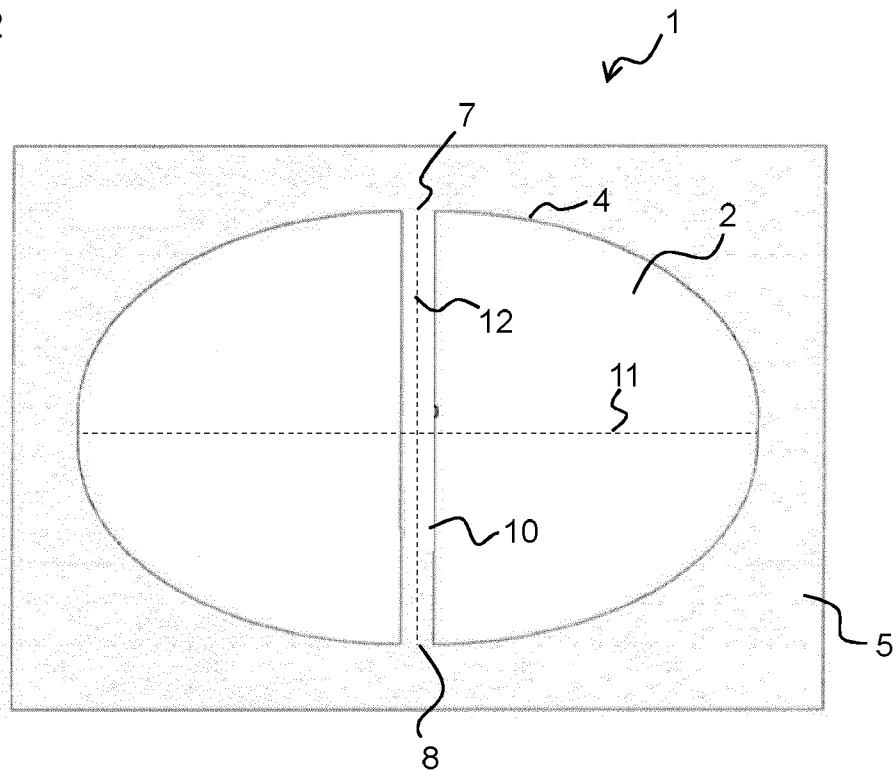


Fig. 3

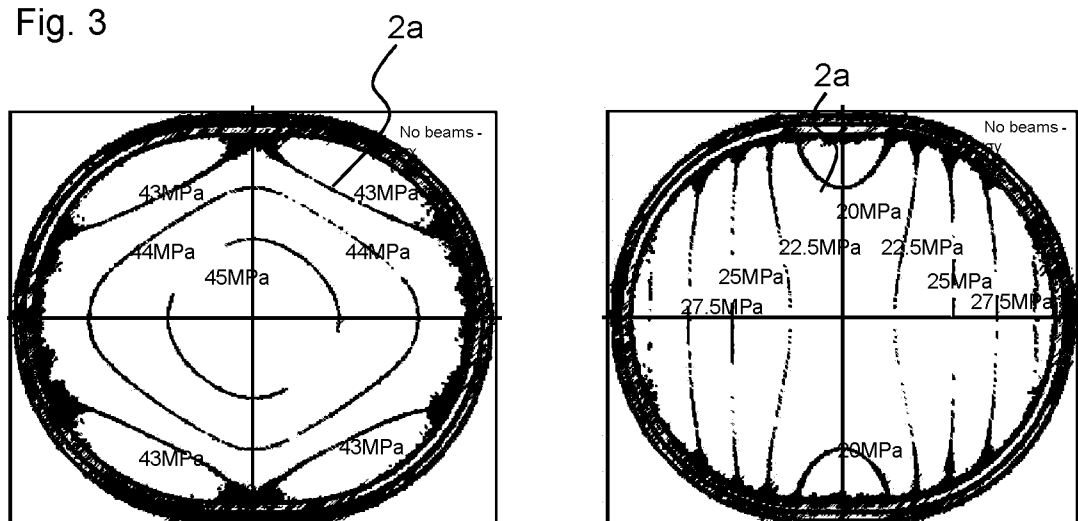


Fig. 4

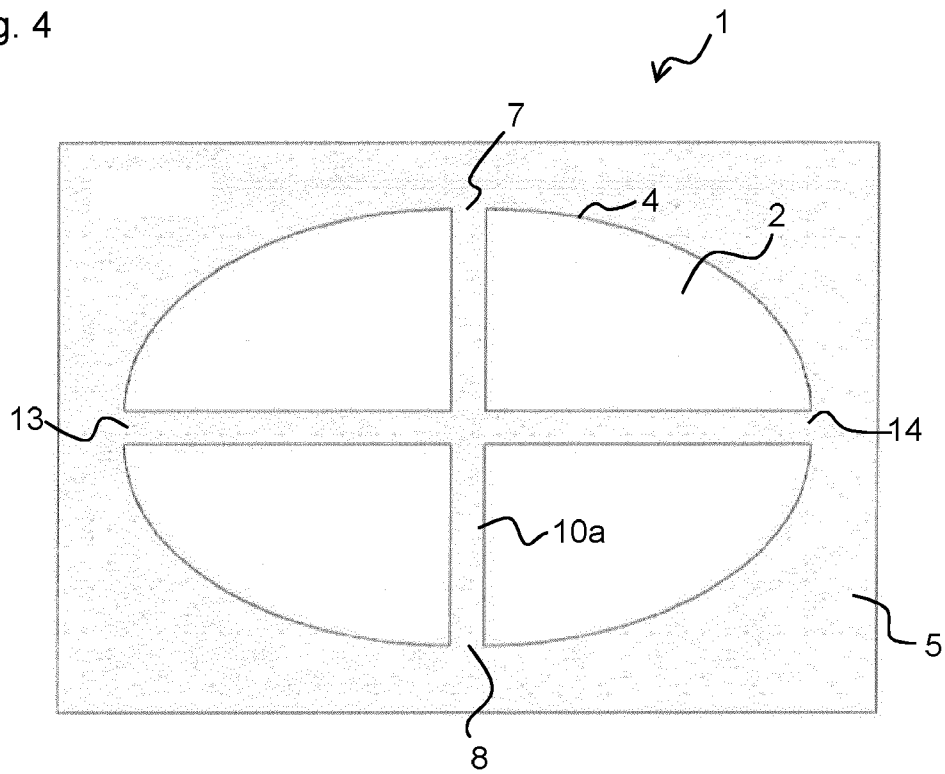


Fig. 5

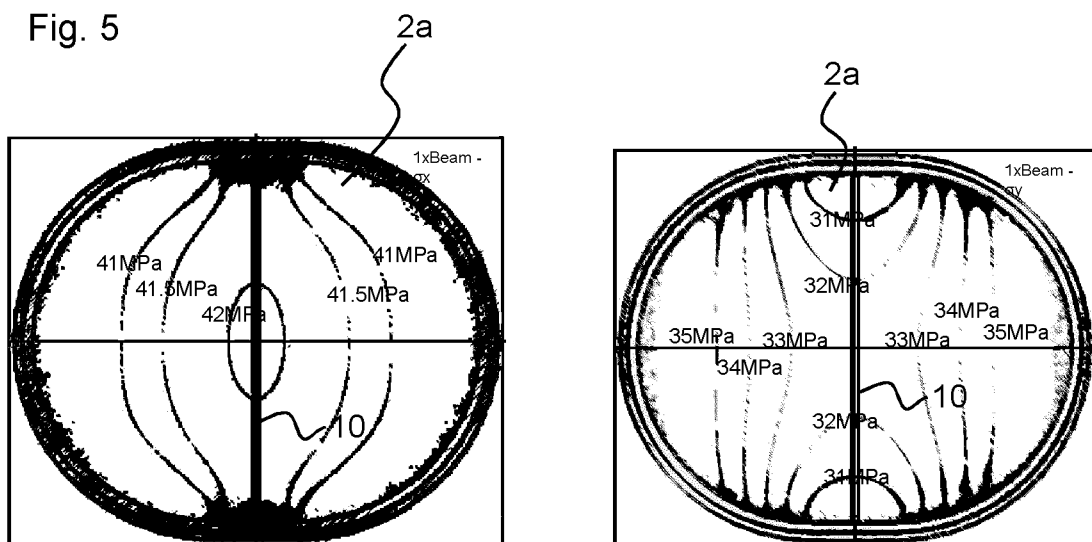


Fig. 6

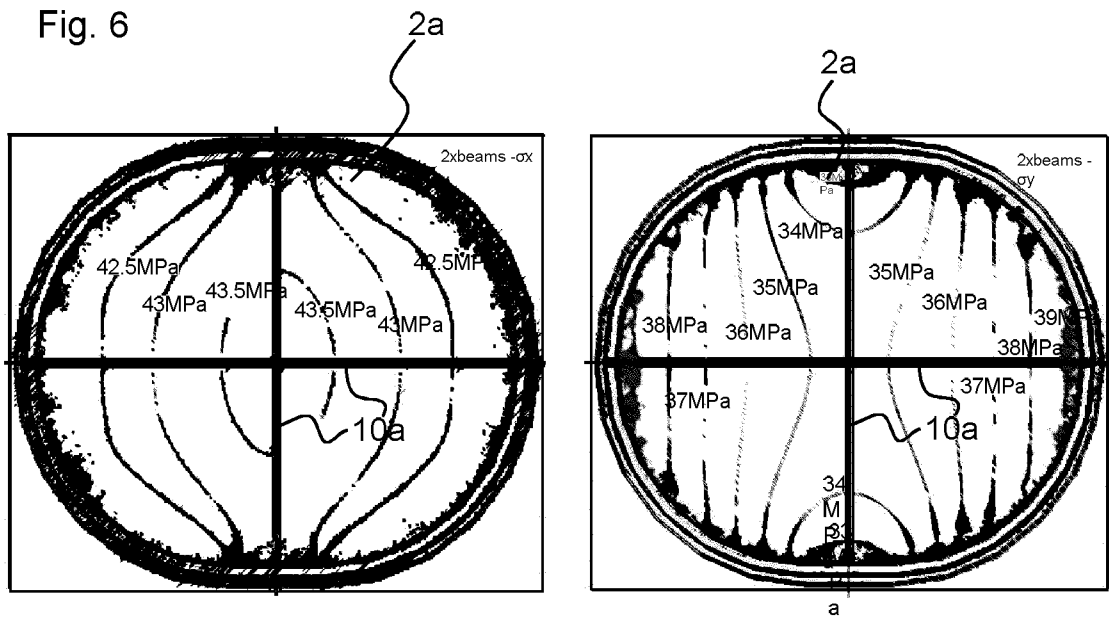


Fig. 7

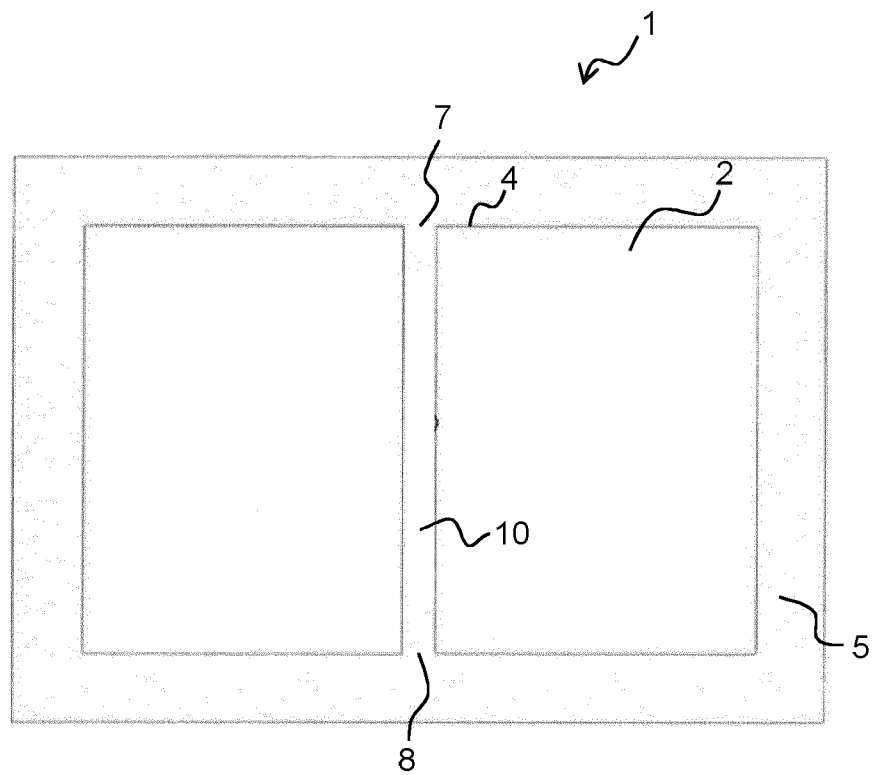


Fig. 8

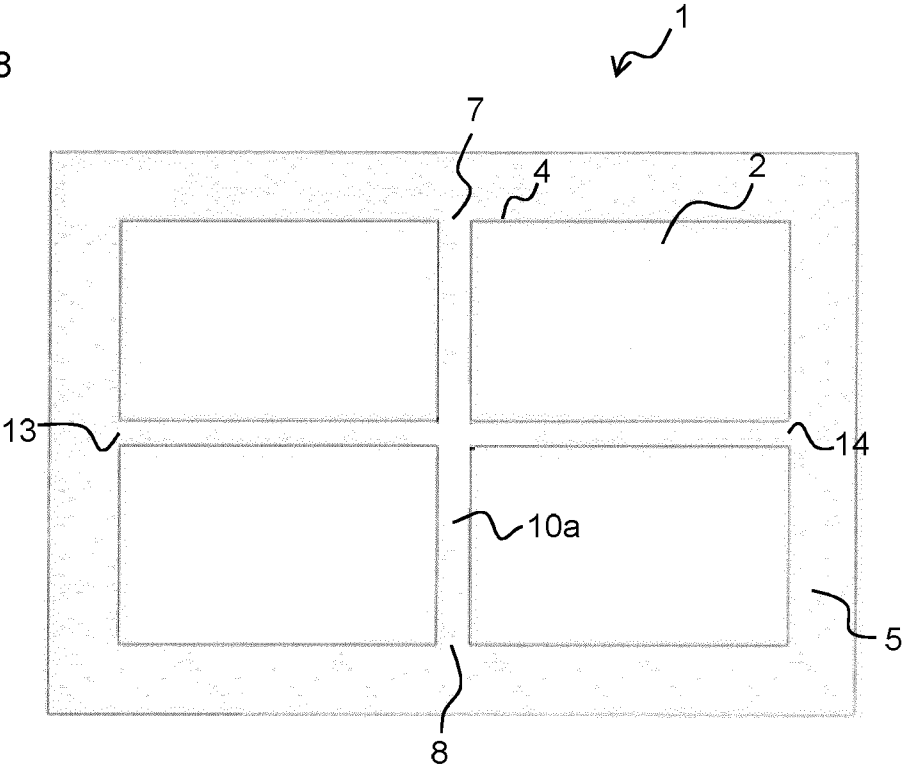
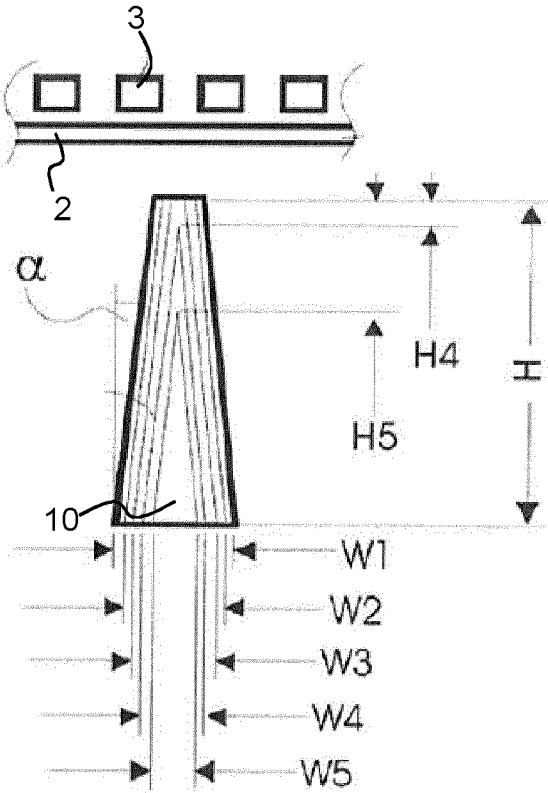


Fig. 9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/063206

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H04R7/18 H04R19/00
ADD. H04R31/00 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 practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2011/261979 A1 (YANG BIN [CN] ET AL) 27 October 2011 (2011-10-27) the whole document	1-10
X,P	----- EP 2 860 990 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 15 April 2015 (2015-04-15) paragraph [0012] - paragraph [0015] paragraph [0020] - paragraph [0021] figures 3A,3B,4A,4B,6A,6B	1-5,8,10
A	----- US 2009/208037 A1 (ZHE WANG [SG]) 20 August 2009 (2009-08-20) figure 7	1-10
A	----- GB 2 086 694 A (TIBBETTS INDUSTRIES) 12 May 1982 (1982-05-12) the whole document	1-10



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 application or patent 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

31 August 2015

Date of mailing of the international search report

08/09/2015

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Streckfuss, Martin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2015/063206

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2011261979 A1	27-10-2011	CN 101883306 A	10-11-2010
		US 2011261979 A1	27-10-2011
EP 2860990 A1	15-04-2015	EP 2860990 A1	15-04-2015
		US 8921957 B1	30-12-2014
US 2009208037 A1	20-08-2009	TW 200937993 A	01-09-2009
		US 2009208037 A1	20-08-2009
		WO 2009105035 A1	27-08-2009
GB 2086694 A	12-05-1982	AU 545299 B2	11-07-1985
		AU 7399781 A	06-05-1982
		CA 1175136 A1	25-09-1984
		CH 657490 A5	29-08-1986
		DE 3142039 A1	09-06-1982
		DK 436481 A	30-04-1982
		GB 2086694 A	12-05-1982
		JP S57104398 A	29-06-1982
		NL 8103771 A	17-05-1982
		US 4418246 A	29-11-1983

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. H04R7/18 H04R19/00
ADD. H04R31/00 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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2011/261979 A1 (YANG BIN [CN] ET AL) 27. Oktober 2011 (2011-10-27) das ganze Dokument	1-10
X,P	EP 2 860 990 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 15. April 2015 (2015-04-15) Absatz [0012] - Absatz [0015] Absatz [0020] - Absatz [0021] Abbildungen 3A,3B,4A,4B,6A,6B	1-5,8,10
A	US 2009/208037 A1 (ZHE WANG [SG]) 20. August 2009 (2009-08-20) Abbildung 7	1-10
A	GB 2 086 694 A (TIBBETTS INDUSTRIES) 12. Mai 1982 (1982-05-12) das ganze Dokument	1-10



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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

31. August 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

08/09/2015

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Streckfuss, Martin

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2015/063206

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2011261979	A1	27-10-2011	CN	101883306 A		10-11-2010
			US	2011261979 A1		27-10-2011

EP 2860990	A1	15-04-2015	EP	2860990 A1		15-04-2015
			US	8921957 B1		30-12-2014

US 2009208037	A1	20-08-2009	TW	200937993 A		01-09-2009
			US	2009208037 A1		20-08-2009
			WO	2009105035 A1		27-08-2009

GB 2086694	A	12-05-1982	AU	545299 B2		11-07-1985
			AU	7399781 A		06-05-1982
			CA	1175136 A1		25-09-1984
			CH	657490 A5		29-08-1986
			DE	3142039 A1		09-06-1982
			DK	436481 A		30-04-1982
			GB	2086694 A		12-05-1982
			JP	S57104398 A		29-06-1982
			NL	8103771 A		17-05-1982
			US	4418246 A		29-11-1983
