

(19)



(11)

EP 4 075 422 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
19.10.2022 Bulletin 2022/42

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
G10K 9/125 (2006.01) **H04R 17/00** (2006.01)
B06B 1/06 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **22168299.0**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
G10K 9/125; B06B 1/0629; H04R 17/00;
B06B 2201/55; H04R 2201/003; H04R 2400/00

(22) Date de dépôt: **14.04.2022**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

• **Université du Mans**
72000 Le Mans (FR)

(72) Inventeurs:
• **LIECHTI, Romain**
38054 GRENOBLE Cedex 09 (FR)
• **CASSET, Fabrice**
38054 GRENOBLE Cedex 09 (FR)
• **HILT, Thierry**
38054 GRENOBLE Cedex 09 (FR)
• **DURAND, Stephane**
72700 PRUILLE LE CHETIF (FR)

(30) Priorité: **15.04.2021 FR 2103908**

(71) Demandeurs:
• **Commissariat à l'énergie atomique**
et aux énergies alternatives
75015 Paris (FR)
• **Centre national de la recherche scientifique**
75016 Paris (FR)

(74) Mandataire: **Hautier IP - MC/EP**
20, rue de la Liberté
06000 Nice (FR)

(54) HAUT-PARLEUR MICROMÉTRIQUE**(57) Haut-parleur micrométrique**

L'invention concerne un haut-parleur micrométrique

(1) comprenant :

- Un cadre (11),
- Un transducteur électromécanique, et
- Un transducteur mécano-acoustique comprenant une plaque rigide (131) montée mobile dans le cadre,

le transducteur électromécanique comprend deux actionneurs piézoélectriques (121a, 121b) et deux lames élastiques (122a, 122b),

le cadre comprend une traverse centrale (111) depuis laquelle s'étendent les deux lames jusqu'à mettre en pri-

se deux rebords latéraux de couplage (132a, 132b) du transducteur mécano-acoustique, le transducteur mécano-acoustique comprend deux ressorts de linéarisation (133a, 133b) s'étendant chacun depuis un des rebords latéraux jusqu'à la plaque rigide, pour permettre, lors d'une déformation des lames, un déplacement des deux rebords latéraux vers la traverse centrale et réduire les contraintes longitudinales appliquées aux lames lors de leur déformation du fait de leur configuration de flexion « encastréeguidée ».

Le haut-parleur présente des performances satisfaisantes, notamment en termes de largeur de bande passante et/ou de niveau de pression produit.

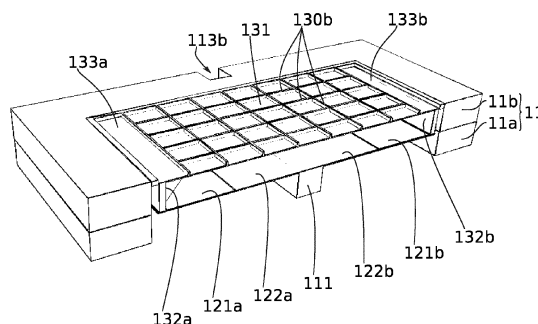


FIG. 6

EP 4 075 422 A1

Description

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] La présente invention concerne le domaine des haut-parleurs micrométriques. Elle trouve pour application particulièrement avantageuse l'intégration d'au moins un haut-parleur dans les ordinateurs, les téléphones portables et autres écouteurs, notamment sans fil.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0002] Le haut-parleur est utilisé pour transformer un signal électrique en pression acoustique.

[0003] Depuis de nombreuses années, les haut-parleurs sont miniaturisés pour être intégrés notamment dans les ordinateurs, les téléphones portables, les enceintes connectées et autres écouteurs par exemple sans fil.

[0004] Le haut-parleur est un transducteur électro-mécano-acoustique. Dans son principe linéaire, le fonctionnement du haut-parleur passe par l'actionnement d'une membrane ou d'une plaque rigide, couplée à l'air ambiant.

[0005] Le signal électrique passe par un transducteur électromécanique qui convertit la tension d'alimentation du haut-parleur en déplacement. Un transducteur mécano-acoustique, très souvent une membrane, convertit ce déplacement en pression acoustique.

[0006] Un bon haut-parleur est un haut-parleur reproduisant toutes les fréquences sonores perceptibles (typiquement de 20 Hz à 20 kHz) à la même amplitude, avec un taux de distorsion faible. Dans la pratique, la fréquence la plus basse à laquelle un haut-parleur produit efficacement du son est déterminée par la fréquence de résonance du transducteur mécano-acoustique.

[0007] Dans le contexte de miniaturisation, le système de guidage de la membrane est plus rigide et la masse du transducteur mécano-acoustique est plus faible, ce qui augmente la fréquence de résonance du système et réduit donc la bande passante.

[0008] En outre, le niveau de pression acoustique rayonné par un haut-parleur dépend du volume d'air accéléré par le transducteur mécano-acoustique. Le volume d'air accéléré par un haut-parleur dépend du produit de la surface du transducteur mécano-acoustique et du déplacement maximum du transducteur mécano-acoustique.

[0009] Dans le contexte de miniaturisation, la surface du transducteur mécano-acoustique est grandement réduite, et un déplacement important est nécessaire pour obtenir un niveau de pression acoustique satisfaisant. Les haut-parleurs micrométriques (dits aussi « haut-parleurs MEMS » ou micro-haut-parleurs) sont principalement basés sur l'exploitation de la compliance de membranes flexibles. Toutefois, celles-ci se rigidifient sous l'effet de leurs déformations, ce qui explique que les haut-parleurs micrométriques à membrane flexible souffrent

de non-linéarités géométriques élevées.

[0010] Les haut-parleurs micrométriques à membrane flexible équipant les téléphones portables montrent des dimensions, typiquement de $11 \times 15 \times 3 \text{ mm}^3$, avantageuses pour leur intégration, et permettent de générer une pression rayonnée satisfaisante, typiquement de 85 dB, sur une large plage de fréquences relativement à l'étendue de la gamme de fréquences sonores perceptibles. Pour autant, l'encombrement de ce type de haut-parleurs est de moins en moins compatible avec l'épaisseur des appareils portables qui ne cesse d'être réduite.

[0011] Par ailleurs, pour atteindre de grands déplacements et obtenir un niveau de pression acoustique satisfaisant, la transduction électromagnétique, pour convertir la tension d'alimentation du haut-parleur en déplacement de sa membrane ou de sa plaque rigide, reste une solution de choix, et c'est celle-ci qui équipe la grande majorité des haut-parleurs actuels. Toutefois, les dimensions de ce type de haut-parleurs ne permettent pas une intégration dans des systèmes portables et le recours à un aimant la rend incompatible avec les procédés de microfabrication.

[0012] Un autre moyen de conversion de la tension d'alimentation du haut-parleur en déplacement de sa membrane (ou de sa plaque rigide), qui montre des performances notables, est la transduction piézoélectrique. Bien que ne conférant pas nécessairement de grands déplacements à la membrane ou à la plaque rigide, la transduction piézoélectrique présente l'avantage d'être compatible avec les procédés de microfabrication. Plus particulièrement, en utilisant l'effet bilame d'un transducteur piézoélectrique positionné sur la membrane à déplacer, comme par exemple dans le document de brevet US 2012/057730 A1, des performances comparables à celles des transducteurs électromagnétiques sont atteignables. Dans d'autres cas, comme par exemple dans le haut-parleur MEMS décrit par les demandes de brevet référencées US 20170094418 A1 et CN 111 918 179 A, les transducteurs piézoélectriques sont déportés de la membrane, et cette solution permet un mouvement pistonique de celle-ci. Cette dernière solution, avec actionneurs déportés, permet de s'affranchir des problèmes de la solution précédente. Cette solution avantageuse requiert en outre une surface de silicium moindre et l'empreinte du haut-parleur peut ainsi être avantageusement réduite. Malgré ces avantages, cette solution ne permet pas de grands déplacements, et la bande passante que de tels haut-parleurs MEMS permettent d'atteindre reste réduite. De plus, en agrandissant le haut-parleur pour obtenir une fréquence de résonance plus faible, et donc une bande passante plus large, les actionneurs piézoélectriques ont tendance à adopter des comportements non-linéaires qui se répercutent directement, de façon négative, sur les performances du haut-parleur. Aussi, lorsque le haut-parleur est constitué d'un « moteur MEMS » et d'une membrane, par exemple en polymère, assemblée de manière hétérogène, des non-linéarités liées à la déformation de la membrane polymère appa-

raissent qui affectent là encore, de façon négative, les performances du haut-parleur.

[0013] Un objet de la présente invention est donc de proposer un haut-parleur micrométrique qui permette de pallier au moins un des inconvénients de l'état de l'art.

[0014] Un objet de la présente invention est plus particulièrement de proposer un haut-parleur micrométrique qui présente des performances satisfaisantes, notamment en termes de largeur de bande passante et/ou de niveau de pression produit et/ou qui présente des performances améliorées, notamment en évitant que les actionneurs piézoélectriques adoptent des comportements non-linéaires. Les autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à l'examen de la description suivante et des dessins d'accompagnement. Il est entendu que d'autres avantages peuvent être incorporés.

RESUME

[0015] Pour atteindre cet objectif, selon un mode de réalisation on prévoit un haut-parleur micrométrique comprenant :

- Un cadre,
- Un transducteur électromécanique, et
- Un transducteur mécano-acoustique comprenant une plaque rigide, montée mobile dans le cadre,

le transducteur électromécanique et le transducteur mécano-acoustique étant couplés entre eux de sorte qu'une sollicitation du transducteur électromécanique déplace le transducteur mécano-acoustique relativement au cadre et qu'un déplacement correspondant du transducteur mécano-acoustique soit converti en pression acoustique.

[0016] Le haut-parleur micrométrique est essentiellement tel que :

- le transducteur électromécanique comprend deux actionneurs piézoélectriques et deux lames élastiques, chaque actionneur piézoélectrique étant associé à une lame élastique pour induire, lorsqu'il est alimenté électriquement, une déformation de la lame élastique par effet bilame,
- le cadre comprend une traverse centrale depuis laquelle s'étendent, solidairement et à l'opposé l'une de l'autre, les deux lames élastiques,
- les deux lames élastiques s'étendent depuis la traverse centrale du cadre jusqu'à mettre en prise deux rebords latéraux dits de couplage du transducteur mécano-acoustique.

[0017] De la sorte, chaque lame élastique est dans une configuration de flexion dite « encastrée-guidée » selon laquelle, lorsque les actionneurs piézoélectriques sont alimentés électriquement, les lames élastiques se déforment et entraînent avec elles un mouvement de la plaque

rigide du transducteur mécano-acoustique selon une direction sensiblement perpendiculaire à un plan d'extension principal du cadre.

[0018] Le transducteur mécano-acoustique comprend en outre au moins deux ressorts de linéarisation s'étendant chacun depuis un des rebords latéraux de couplage jusqu'à un bord latéral de la plaque rigide qui est situé en vis-à-vis, les ressorts de linéarisation étant configurés de sorte à permettre, lors d'une déformation des lames élastiques, un déplacement d'une partie au moins des deux rebords latéraux de couplage vers la traverse centrale du cadre.

[0019] L'on réduit ainsi des contraintes longitudinales subies par les lames élastiques lors de leur déformation du fait de leur configuration de flexion.

[0020] Ainsi, pour parer à la rigidification des lames élastiques du fait de leur déformation dans leur configuration encastrée-guidée, un degré de liberté est ajouté par le biais des ressorts de linéarisation. Ces derniers sont ainsi nommés car, en autorisant un déplacement d'une partie au moins des deux rebords latéraux de couplage vers la traverse centrale du cadre lors des déformations des lames élastiques, ils permettent de réduire les contraintes subies par les lames élastiques et par voie de conséquence de diminuer, voire d'éviter, leur rigidification lors de leur déformation. Une telle rigidification aurait pour conséquence d'induire un comportement non-linéaire de la plaque rigide lors de ses déplacements. Les ressorts de linéarisation affectent avantageusement le niveau de pression produit, en permettant une souplesse optimale sur toute la course de la plaque rigide, et réduisent, voire annulent, ainsi les non-linéarités géométriques qui seraient notamment liées au phénomène de rigidification susmentionné s'il était observé.

[0021] Un autre aspect concerne un procédé de fabrication d'un haut-parleur micrométrique tel qu'introduit ci-dessus, comprenant voire étant limité à, des étapes de dépôt et de gravure relevant de la microélectronique. Le haut-parleur micrométrique 1 selon le premier aspect de l'invention peut donc avantageusement être microfabriqué.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0022] Les buts, objets, ainsi que les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description détaillée d'un mode de réalisation de cette dernière qui est illustré par les dessins d'accompagnement suivants dans lesquels :

La figure 1 représente une vue en perspective d'un mode de réalisation du haut-parleur micrométrique selon l'invention.

La figure 2 représente une vue éclatée du mode de réalisation illustré sur la figure 1.

La figure 3 représente une vue en perspective du transducteur mécano-acoustique selon un mode de réalisation du haut-parleur micrométrique selon l'in-

vention.

La figure 4 représente une vue en perspective d'une partie du cadre d'un mode de réalisation du haut-parleur micrométrique selon l'invention.

Les figures 5 et 6 représentent chacune une vue en perspective d'une coupe transversale d'un mode de réalisation du haut-parleur micrométrique selon l'invention, selon des angles de vue différent entre eux. La figure 7 est une représentation schématique en coupe transversale de l'assemblage formé par le transducteur électromécanique et le transducteur mécano-acoustique, dans deux positions différentes entre elles, relativement à la traverse centrale du cadre selon un mode de réalisation du haut-parleur micrométrique selon l'invention.

La figure 8 est un schéma de fonctionnement en demi-coupe d'un mode de réalisation du haut-parleur micrométrique selon l'invention, lorsque le transducteur électromécanique est alimenté électriquement. La figure 9 est un schéma d'un système équivalent à celui représenté en figure 8.

La figure 10 est une vue schématique en demi-coupe d'un mode de réalisation du haut-parleur micrométrique selon l'invention, générant des ondes acoustiques.

La figure 11 est une vue schématique en demi-coupe de l'interstice entre les bords extérieurs du transducteur mécano-acoustique et le pourtour intérieur du cadre selon un mode de réalisation du haut-parleur micrométrique selon l'invention.

La figure 12 est un graphique montrant la réponse en niveau de pression acoustique d'un haut-parleur micrométrique selon un mode de réalisation de l'invention sur une gamme de fréquences d'excitation dudit haut-parleur.

Les figures 13 à 16 illustrent chacune une vue en coupe d'une étape du procédé de fabrication d'un haut-parleur micrométrique selon un mode de réalisation de l'invention.

[0023] Les dessins sont donnés à titre d'exemples et ne sont pas limitatifs de l'invention. Ils constituent des représentations schématiques de principe destinées à faciliter la compréhension de l'invention et ne sont pas nécessairement à l'échelle des applications pratiques. En particulier, les épaisseurs des différentes couches ou autres éléments s'étendant principalement selon deux directions d'extension principale ne sont pas nécessairement représentatives de la réalité, notamment lorsque l'on compare ces épaisseurs aux dimensions, selon leurs directions d'extension principale, desdites couches ou desdits autres éléments, respectivement.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

[0024] Avant d'entamer une revue détaillée de modes de réalisation de l'invention, sont énoncées ci-après des caractéristiques optionnelles du haut-parleur micromé-

trique selon le premier aspect de l'invention qui peuvent éventuellement être utilisées en association ou alternativement :

Selon un exemple, chacun des deux actionneurs piézoélectriques s'étend au plus sur une moitié de la lame élastique qui lui est associée depuis le rebord latéral de couplage du transducteur mécano-acoustique qui est mis en prise par ladite lame élastique. En complément optionnel à cet exemple, chacun des deux actionneurs piézoélectriques s'étend au moins sur un quart de la lame élastique qui lui est associée depuis le rebord latéral de couplage du transducteur mécano-acoustique qui est mis en prise par ladite lame élastique.

[0025] Selon un autre exemple, le haut-parleur micrométrique est de préférence sensiblement symétrique par rapport à un plan de coupe longitudinale de la traverse centrale du cadre qui est perpendiculaire au plan d'extension principale du cadre.

[0026] Selon un autre exemple, le haut-parleur micrométrique est exempt d'un actionneur, en particulier d'un actionneur piézoélectrique, recouvrant directement tout ou partie de la plaque rigide. Selon un autre exemple, les actionneurs piézoélectriques du transducteur électromécanique sont déportés relativement à la plaque rigide ; autrement dit, les actionneurs piézoélectriques du transducteur électromécanique sont à distance de la plaque rigide. Selon un autre exemple, le transducteur mécano-acoustique est exempt d'un transducteur électromécanique et/ou le transducteur électromécanique est exempt d'un transducteur mécano-acoustique. Plus particulièrement, la plaque rigide est exempte, ou n'est pas directement recouverte, de préférence même partiellement, d'un transducteur électromécanique. De préférence, la plaque rigide est exempte d'une membrane flexible. Selon un autre exemple, le transducteur électromécanique et le transducteur mécano-acoustique sont couplés mécaniquement entre eux, de préférence uniquement par l'intermédiaire des deux rebords latéraux de couplage du transducteur mécano-acoustique. Selon un exemple, le transducteur mécano-acoustique ne comprend que deux rebords latéraux de couplage. De préférence, les deux rebords latéraux de couplage s'étendent depuis des bords latéraux de la plaque rigide qui sont opposés entre eux et/ou s'étendent depuis des bords latéraux de la plaque rigide sensiblement perpendiculairement à un plan dans lequel s'inscrit la plaque rigide. Selon un exemple, les autres bords latéraux de la plaque rigide que ceux par lesquels la plaque rigide s'étend pour former les deux rebords latéraux de couplage ne s'étendent pas au-delà de la plaque rigide. De préférence, chacun des deux rebords latéraux de couplage est lié uniquement à un bord d'un des deux ressorts de linéarisation et à un bord d'une des deux lames élastiques. Selon un exemple, le transducteur mécano-acoustique est exempt d'un rebord latéral autres que lesdits deux rebords latéraux de couplage. Selon un exemple, le transducteur mécano-acoustique est exempt d'un rebord latéral liant entre eux les deux rebords latéraux

de couplage du transducteur mécano-acoustique. De préférence, la plaque rigide ne s'étend hors du plan dans lequel il s'inscrit que par les deux rebords latéraux de couplage du transducteur mécano-acoustique. Selon un exemple, les lames élastiques sont chacune uniforme sur leur étendue. Selon un exemple, le transducteur mécano-acoustique ne s'étend pas au-delà d'une zone délimitée par le pourtour intérieur de bords extérieurs du cadre. Selon un autre exemple, le transducteur mécano-acoustique ne recouvre pas, ni n'intersecte, les bords extérieurs du cadre.

[0027] Selon un autre exemple, chaque ressort de linéarisation présente une raideur au moins dix fois, de préférence au moins cent fois, supérieure à une raideur des lames élastiques. De la sorte, l'on s'assure de ne pas altérer le comportement linéaire du haut-parleur micrométrique, et ce sur toute la gamme de fréquences sonores perceptibles.

[0028] Selon un autre exemple, la traverse centrale du cadre s'étend au plus sur une première moitié d'une épaisseur du cadre et les deux lames élastiques comprennent une même couche solidaire d'une face de la traverse centrale qui est orientée vers un centre du cadre. Il est ainsi structurellement aisé de prévoir que l'assemblage formé du transducteur électromécanique et du transducteur mécano-acoustique se déplace au sein du cadre, de sorte à être protégé par celui-ci. Ladite couche est par exemple constituée à base de silicium. Selon l'exemple précédent, aucune lame élastique ne s'étend depuis une face de la traverse centrale qui est différente de la face de la traverse centrale orientée vers le centre du cadre.

[0029] Selon un autre exemple, la plaque rigide et les ressorts de linéarisation comprennent une même couche, une plus grande raideur de la plaque rigide relativement à une raideur des ressorts de linéarisation étant due à des motifs de structuration que comporte la plaque rigide et qui s'étendent, depuis ladite couche, sur une surface de cette dernière définissant une étendue de la plaque rigide, les ressorts de linéarisation étant quant à eux constitués de portions de ladite couche qui s'étendent de part et d'autre de ladite surface. Ladite couche est par exemple constituée à base de silicium. De préférence, lesdites portions qui s'étendent de part et d'autre de la surface depuis laquelle les motifs de structuration s'étendent sont elles-mêmes exemptes de motifs de structuration.

[0030] Selon un autre exemple, le cadre est configuré de sorte que le transducteur mécano-acoustique se situe, de toute part, à une distance du pourtour intérieur du cadre comprise entre 1 et 100 μm , de préférence entre 2 et 80 μm , par exemple sensiblement égale à 9 μm . L'interstice entre le cadre et le transducteur mécano-acoustique est ainsi tel que, au niveau de cet interstice, la propagation des ondes acoustiques est principalement dominée par un comportement thermo-visqueux. L'on évite ainsi tout phénomène de court-circuit acoustique.

[0031] Selon un autre exemple, le cadre présente,

dans son plan d'extension principal, des dimensions comprises chacune entre 1 et 10 mm, de préférence entre 3 et 8 mm. Un compromis avantageux est ainsi proposé entre le niveau de pression acoustique maximum atteignable par le haut-parleur micrométrique et l'encombrement de ce dernier.

[0032] Selon un autre exemple, les rebords latéraux de couplage du transducteur mécano-acoustique s'étendent depuis un des deux ressorts de linéarisation sur une distance supérieure à 750 μm , de préférence supérieure à 500 μm . Les pertes thermo-visqueuses dues à la compression de l'air en dessous de la plaque rigide sont ainsi avantageusement minimisées.

[0033] Selon un autre exemple, les lames élastiques présentent une épaisseur comprise entre 1 et 100 μm , de préférence comprise entre 5 et 20 μm . Un compromis avantageux est ainsi proposé entre le choix d'une fréquence de résonance basse et le choix d'un niveau de pression rayonnée élevé.

[0034] Selon un autre exemple, les deux actionneurs piézoélectriques sont à base, voire constitués, de PZT et s'étendent chacun sur une face d'une des deux lames élastiques qui est opposée à la plaque rigide du transducteur mécano acoustique.

[0035] Selon un autre exemple, les lames élastiques du transducteur électromécanique présente une première fréquence de résonance et les ressorts de linéarisation du transducteur mécano-acoustique présentent une deuxième fréquence de résonance, la deuxième fréquence de résonance étant au moins cent fois de préférence au moins mille fois, supérieure à la première fréquence de résonance. L'on confère ainsi, au haut-parleur micrométrique, une large bande passante.

[0036] Selon un autre exemple, le cadre comprend des première et deuxième parties superposées et concentriques entre elles, une deuxième partie du cadre supporte la traverse centrale et comprend deux plots de connexion électrique aux actionneurs piézoélectriques, les plots de connexion électrique étant de préférence situés dans le prolongement de la traverse centrale, et la deuxième partie du cadre comprenant deux encoches configurées pour se situer chacune en vis-à-vis d'un des deux plots de connexion électrique. La reprise de contact des actionneurs piézoélectriques est ainsi telle qu'elle n'augmente pas l'encombrement du haut-parleur micrométrique.

[0037] On entend par « micrométrique » la qualité d'un dispositif ou élément présentant un volume, ou inclus dans une enveloppe, de moins de 1 cm^3 , de préférence de moins de 0,5 cm^3 .

[0038] Il est précisé que, dans le cadre de la présente invention, le terme « rigide » qualifie une partie ou un élément du haut-parleur qui ne se déforme pas ou peu sous l'effet des contraintes généralement appliquées à celui-ci dans un fonctionnement normal. Plus particulièrement, il peut être considéré que la rigidité de la plaque du transducteur mécano-acoustique est dix fois, voire cent fois, supérieure à la rigidité des actionneurs.

[0039] Il est précisé que, dans le cadre de la présente invention, le terme « élastique » qualifie une partie ou un élément du haut-parleur qui se déforme sous l'effet des contraintes généralement appliquées à celui-ci dans un fonctionnement normal. Plus particulièrement, il peut être considéré que la rigidité des lames élastiques est dix fois, voire cent fois, inférieure à la rigidité de la plaque dite rigide du transducteur mécano-acoustique. Par exemple, les termes « lames élastiques » pourraient être reformulées de façon plus spécifique par les termes « lames déformables en flexion ».

[0040] On entend par un film à base d'un matériau A, un film comprenant ce matériau A et éventuellement d'autres matériaux.

[0041] On entend par un paramètre « sensiblement égal/supérieur/inférieur à » une valeur donnée que ce paramètre est égal/supérieur/inférieur à la valeur donnée, à plus ou moins 20 %, voire 10 %, près de cette valeur. On entend par un paramètre « sensiblement compris entre » deux valeurs données que ce paramètre est au minimum égal à la plus petite valeur donnée, à plus ou moins 20 %, voire 10 %, près de cette valeur, et au maximum égal à la plus grande valeur donnée, à plus ou moins 20 %, voire 10 %, près de cette valeur.

[0042] Selon son premier aspect, dont une description structurelle est donnée ci-dessous en référence aux figures 1 à 9, l'invention concerne un haut-parleur micrométrique comprenant :

- Un cadre 11,
- Un transducteur électromécanique 12, et
- Un transducteur mécano-acoustique 13.

[0043] Le transducteur mécano-acoustique 13 comprend une plaque rigide 131 montée mobile dans le cadre 11. En cela, le haut-parleur micrométrique selon le premier aspect de l'invention se distingue des haut-parleurs micrométriques à membrane flexible.

[0044] Le transducteur électromécanique 12 et le transducteur mécano-acoustique 13 sont couplés entre eux de sorte qu'une sollicitation du transducteur électromécanique 12 déplace le transducteur mécano-acoustique 13 relativement au cadre 11 et qu'un déplacement correspondant du transducteur mécano-acoustique 13 soit converti en pression acoustique.

[0045] Plus particulièrement, et notamment en référence à la figure 2, le transducteur électromécanique 12 comprend deux actionneurs piézoélectriques 121a, 121b et deux lames élastiques 122a, 122b. Chaque actionneur piézoélectrique est associé à une lame élastique pour induire, lorsqu'il est alimenté électriquement, une déformation de la lame élastique par effet bilame. Autrement dit, chaque actionneur piézoélectrique est associé à une lame élastique de sorte que, lorsqu'une tension électrique est appliquée à l'actionneur piézoélectrique, la lame se déforme en flexion.

[0046] En référence aux figures 5 et 6, le cadre 11 comprend quant à lui une traverse centrale 111 depuis la-

quelle s'étendent, solidairement et à l'opposé l'une de l'autre, les deux lames élastiques 122a, 122b. Les deux lames élastiques 122a, 122b s'étendent depuis la traverse centrale 111 du cadre 11 jusqu'à mettre en prise deux rebords latéraux dits de couplage 132a, 132b du transducteur mécano-acoustique 13.

[0047] De la sorte, chaque lame élastique 122a, 122b est dans une configuration de flexion dite « encastrée-guidée ». Dans cette configuration, lorsque les actionneurs piézoélectriques 121a, 121b sont alimentés électriquement, les lames élastiques 122a, 122b se déforment en flexion et entraînent avec elles un mouvement de la plaque rigide 131 du transducteur mécano-acoustique 13 selon une direction sensiblement perpendiculaire à un plan d'extension principal du cadre 11. Il apparaît ainsi que le transducteur mécano-acoustique 13 est plus particulièrement monté mobile dans le cadre 11 par l'intermédiaire du transducteur électromécanique 12.

[0048] Le transducteur mécano-acoustique 13 comprend en outre au moins deux ressorts de linéarisation 133a, 133b. Les deux ressorts de linéarisation 133a, 133b s'étendent chacun depuis un des rebords latéraux de couplage 132a, 132b du transducteur mécano-acoustique 13 jusqu'à un bord latéral de sa plaque rigide 131 qui est situé en vis-à-vis. Les ressorts de linéarisation 133a, 133b sont ainsi configurés de sorte à permettre, lors d'une déformation des lames élastiques 122a, 122b, un déplacement d'une partie au moins des deux rebords latéraux de couplage 132a, 132b vers la traverse centrale 111 du cadre 11.

[0049] Lorsque les actionneurs piézoélectriques 121a, 121b sont alimentés électriquement, les lames élastiques adoptent chacune une déformation avec un point d'inflexion sensiblement central et subissent des contraintes longitudinales, du fait de leur configuration de flexion encastrée-guidée. Les ressorts de linéarisation 133a, 133b permettent alors d'absorber au moins une partie de ces contraintes longitudinales. A cette fin, notamment lorsque les actionneurs piézoélectriques 121a, 121b sont constitués à base de PZT, ne pouvant que se contracter dans la direction x telle qu'illustrée sur la figure 7, les actionneurs piézoélectriques 121a, 121b sont de préférence disposés uniquement sur la moitié de la surface des lames élastiques 122a, 122b. Plus particulièrement, les actionneurs piézoélectriques 121a, 121b s'étendent chacun de façon continue depuis le bord de la lame élastique 122a, 122b à laquelle il est associé, comme cela est représenté sur la figure 10, de préférence sur au moins un quart de la surface de ladite lame élastique, et de préférence au plus sur la moitié de cette surface.

[0050] Les ressorts de linéarisation 133a, 133b ajoutent, au haut-parleur micrométrique 1, un degré de liberté en autorisant un déplacement d'une partie au moins des deux rebords latéraux de couplage 132a, 132b du transducteur mécano-acoustique 13 vers la traverse centrale 111 du cadre 11, lors des déformations des lames élastiques 122a, 122b. Ils permettent ainsi de réduire les con-

traintes en particulier longitudinales subies par les lames élastiques 122a, 122b ; or, de telles contraintes pourraient être à l'origine d'une rigidification des lames élastiques 122a, 122b, ce qui aurait pour conséquence d'induire un comportement non-linéaire de la plaque rigide 131 lors de ses déplacements, ou du moins pour certaines grandes amplitudes de ses déplacements. Dès lors que les contraintes longitudinales subies par les lames élastiques 122a, 122b sont réduites, voire rendues négligeables, l'on comprend que les performances du haut-parleur micrométrique 1 sont accrues.

[0051] Comme illustré sur les figures 5 et 6 notamment, le haut-parleur micrométrique 1 est de préférence sensiblement symétrique par rapport à un plan de coupe longitudinale de la traverse centrale 111 du cadre 11 qui est perpendiculaire au plan d'extension principale du cadre 11.

[0052] En référence aux figures 1 à 4, le haut-parleur micrométrique 1 selon le mode de réalisation illustré peut également être considéré comme comprenant deux parties superposées entre elles de façon concentrique. En particulier, le cadre 11 peut être vu comme constitué de deux parties 11a et 11b, dont une première partie 11a supporte, de préférence à elle seule, la traverse centrale 111 du cadre 11 et une deuxième partie 11b configurée pour y loger étroitement le transducteur mécano-acoustique 13. Nous verrons, lorsque nous décrirons plus bas un exemple de procédé de fabrication, par des moyens de la micro-électronique, du haut-parleur micrométrique 1 tel qu'illustré sur les figures 1 à 9, que cette vision en deux parties dudit haut-parleur micrométrique 1 est liée au fait que deux tranches de silicium ou wafers sont, selon ledit procédé, traitées individuellement avant d'être assemblées pour former le haut-parleur micrométrique 1 compact tel qu'illustré sur la figure 1. Notamment, il apparaîtra que chacune des parties 11a et 11b du cadre 11 est issue d'une des deux tranches de silicium.

[0053] La figure 7 montre une vue d'une coupe du haut-parleur en fonctionnement. Elle montre plus particulièrement deux vues superposées entre elles du transducteur électromécanique 12 et du transducteur mécano-acoustique 13, d'une part dans une configuration de non déformation des lames élastiques 122a, 122b (où les actionneurs piézoélectriques ne sont pas alimentés électriquement), d'autre part dans une configuration de déformation des lames élastiques 122a, 122b (où les actionneurs piézoélectriques sont alimentés électriquement), relativement à la traverse centrale 111 du cadre 11, cette dernière restant fixe du fait de la fixation du cadre 11 lui-même, par exemple sur un support (non représenté). Ainsi, lorsqu'une tension électrique est appliquée entre le dessus et le dessous des couches en matériau piézoélectrique constituant les actionneurs piézoélectriques 121a, 121b, celles-ci se contractent selon la direction x. Sous l'effet de la contraction, et du fait que chacun des deux bilames que constitue l'association d'une lame élastique avec un actionneur piézoélectrique est solidaire de la plaque rigide 131, les lames élastiques

122a, 122b adoptent une déformation avec un point d'inflexion et leurs extrémités se déplacent selon la direction z et plus particulièrement dans le sens -z, entraînant le tout formé du transducteur électromécanique 12 et du transducteur mécano-acoustique 13 selon la même direction et dans le même sens. Lorsque les actionneurs piézoélectriques 121a, 121b ne sont ensuite plus alimentés électriquement, l'élasticité des lames élastiques 122a, 122b permet de ramener le tout formé du transducteur électromécanique 12 et du transducteur mécano-acoustique 13 dans sa position de départ. Dans cette position dite de départ, ou équivalamment de non-alimentation des actionneurs piézoélectriques 121a, 121b, la plaque rigide 131 peut venir affleurer le pourtour de la face du cadre 11 qui est orienté sur les figures vers le haut.

[0054] Lorsque le haut-parleur micrométrique 1 ne permet de déplacements de la plaque rigide 131 que dans la direction -z par alimentation électrique des actionneurs piézoélectriques 121a, 121b, notamment du fait que ceux-ci sont constitués à base de PZT, il est nécessaire d'ajouter une tension continue aux bornes de chaque actionneur piézoélectrique 121a, 121b pour obtenir un point de repos au milieu de la dynamique du haut-parleur 1, pour obtenir un déplacement alternatif autour de ce point de fonctionnement. Par exemple, les actionneurs piézoélectriques fonctionnent avec une plage de tension d'alimentation électrique sensiblement comprise entre 0 et 30 V, et la tension continue ajoutée aux bornes de chaque actionneur piézoélectrique 121a, 121b est sensiblement égale à 15 V.

[0055] La figure 8 montre schématiquement le principe de fonctionnement du haut-parleur micrométrique 1 selon le premier aspect de l'invention comprenant un degré de liberté supplémentaire qui lui est conféré par les ressorts de linéarisation 133a, 133b. Comme illustré sur cette figure, lorsqu'une tension électrique est appliquée aux bornes des actionneurs piézoélectriques 121a, 121b, les lames élastiques 122a, 122b se déforment et déplacent la plaque rigide 131 d'une distance δ_0 selon -z. Pour un fonctionnement linéaire idéal, la longueur de la courbe de chaque lame élastique 122a, 122b déformée doit être identique à la longueur de la lame élastique 122a, 122b non déformée. Sur la figure 8, la différence entre la position de l'extrémité distale de la lame élastique 122a, avant et après déformation, et selon la direction y, est notée Δ_0 . Cette différence est autorisée par le ressort de linéarisation 133a solidaire de la plaque rigide 131 par son extrémité opposée à celle par laquelle le ressort de linéarisation 133a est solidaire de l'extrémité distale de la lame élastique 122a. L'idée est que le déplacement Δ_0 déforme le ressort de linéarisation 133a en utilisant la hauteur h_0 du rebord latéral de couplage 132a du transducteur mécano-acoustique 13 comme bras de levier.

[0056] Pour réduire significativement les non-linéarités géométriques, il est préférable que la raideur de chaque ressort de linéarisation, actionné via le rebord latéral de couplage, de hauteur h_0 , qui lui est associé et servant

de levier, soit 10 fois, de préférence 100 fois, inférieure à la raideur apparente des actionneurs selon l'axe hors plan d'extension principal du cadre.

[0057] Notamment si la raideur du ressort de linéarisation 133a est bien supérieure à la raideur de la lame élastique 122a, le haut-parleur micrométrique 1 tel que décrit ci-dessus permet un guidage du transducteur mécano-acoustique 13 similaire à celui qu'autoriserait le système équivalent représenté sur la figure 9. Le schéma de cette figure montre un actionneur piézoélectrique 121a et la lame élastique 122a qui lui est associée dans un état déformé, la lame élastique 122a étant liée à la plaque rigide 131 par un ressort représentant la raideur du ressort de linéarisation 133a selon l'axe z. Considérant l'actionneur piézoélectrique 121a et la lame élastique 122a comme un actionneur mécanique, et sachant que, selon le schéma de principe de la figure 9, la caractéristique de l'actionneur mécanique ainsi défini est la droite reliant sa force bloquée (force générée par l'actionneur lorsque la translation de son extrémité est bloquée selon z) et son déplacement libre (déplacement maximum de l'extrémité de l'actionneur sans charge à son extrémité), la raideur du ressort illustré sur la figure 9 coupe la caractéristique de l'actionneur mécanique à son point de fonctionnement. Pour un ressort tel qu'illustré sur la figure 9 qui est assez raide, la force correspondant au point de fonctionnement diffère peu de la force bloquée de l'actionneur mécanique, ce qui permet avantageusement de conférer à l'actionneur mécanique un comportement linéaire sur sa plage de fonctionnement.

[0058] Le schéma de principe illustré sur la figure 9 permet donc d'illustrer pourquoi il est préféré que chaque ressort de linéarisation 133a, 133b présente une raideur au moins dix fois, de préférence au moins cent fois, supérieure à une raideur des lames élastiques 122a, 122b. Le degré de liberté supplémentaire conféré par les ressorts de linéarisation permet de réduire les non-linéarités. Le fait que les ressorts de linéarisation soient plus rigides que les actionneurs permet de ne pas altérer la réponse en fréquence du haut-parleur micrométrique.

[0059] Une autre caractéristique traduisant de façon différente cette même préférence consiste à spécifier que les lames élastiques du transducteur électromécanique 12 présente une première fréquence de résonance et les ressorts de linéarisation 133a, 133b du transducteur mécano-acoustique 13 présentent une deuxième fréquence de résonance, la deuxième fréquence de résonance étant au moins cent fois de préférence au moins mille fois, supérieure à la première fréquence de résonance. L'on s'assure ainsi que la deuxième fréquence de résonance soit en dehors de la bande passante souhaitée atteinte par le haut-parleur micrométrique 1, et l'on confère ainsi, au haut-parleur micrométrique 1, une large bande passante pour une gamme de fréquences sonores perceptibles optimisée.

[0060] En alimentant les actionneurs piézoélectriques 121a, 121b avec une tension alternative, autour d'une tension positive continue, la plaque rigide 131 bouge de

haut en bas et génère des ondes acoustiques, comme illustré sur la figure 10.

[0061] Dans les haut-parleurs classiques, le court-circuit acoustique, résultant de l'interférence entre les ondes positives (ou négatives) créées par l'avant de la plaque rigide en vibration, et les ondes négatives (ou positives) créées par l'arrière de cette même plaque, peut être empêché par une suspension déformable. Pour le haut-parleur micrométrique 1 selon le premier aspect de l'invention, le court-circuit acoustique est empêché en utilisant une dimension d d'interstice 2 entre le cadre 11 et la plaque rigide 131, et plus particulièrement entre le pourtour intérieur du cadre 11 et les rebords latéraux de couplage 132a, 132b du transducteur mécano-acoustique 13, telle que le comportement thermo-visqueux domine dans cet interstice 2. La figure 11 montre une représentation schématique d'une partie du transducteur mécano-acoustique 13, du cadre 11 et de l'interstice 2 en question, sur laquelle est représentée la dimension d de l'interstice 2.

[0062] Plus particulièrement, le cadre 11 est configuré de sorte que le transducteur mécano-acoustique 13 se situe, de toute part, à une distance interstitielle du pourtour intérieur du cadre 11 comprise entre 1 et 100 μm , de préférence entre 2 et 80 μm . Une simulation en éléments finis peut permettre de déterminer, pour chaque dimensionnement du haut-parleur micrométrique 1 selon le premier aspect de l'invention, la distance interstitielle permettant d'optimiser le comportement thermo-visqueux de l'air dans l'interstice 2. Pour les dimensions spécifiques données ci-dessous à titre purement exemplatif, cette simulation en éléments finis montre que la dimension optimale de l'interstice 2 est sensiblement égale à 9 μm . L'interstice 2 entre le cadre 11 et le transducteur mécano-acoustique 13 est ainsi tel que, au niveau de cet interstice 2, la propagation des ondes acoustiques est principalement dominée par un comportement thermo-visqueux. L'on évite ainsi tout phénomène de court-circuit acoustique.

[0063] Les dimensions du haut-parleur micrométrique 1 sont évidemment importantes car elles influent sur les dimensions de la plaque rigide 131 et sur les dimensions des lames élastiques 122a, 122b, et par voie de conséquence sur celles des actionneurs piézoélectriques 121a, 121b. Un haut-parleur plus grand aura une plaque rigide 131 plus grande, plus lourde, des lames élastiques 122a, 122b plus souples et générera plus de force. Il aura donc une fréquence de résonance plus basse, et donc une bande passante plus large dans les basses fréquences. La figure 12 montre la réponse en fréquence d'un haut-parleur micrométrique 1 selon le premier aspect de l'invention dont la plaque rigide 131 présente des dimensions de 8x8 mm². On n'y observe que la fréquence de résonance d'un tel haut-parleur micrométrique 1 est sensiblement égale à 1 kHz. Des dimensions plus petites donneront une fréquence de résonance plus élevée, et donc une bande passante moins large. Pour autant, des dimensions allant de 1x1 mm² à 10x10 mm² du haut-

parleur micrométrique 1 selon le premier aspect de l'invention sont envisagées. Les dimensions allant de $3 \times 3 \text{ mm}^2$ à $8 \times 8 \text{ mm}^2$ seront par exemple privilégiées pour des raisons de compromis entre performance et encombrement.

[0064] La hauteur h_0 des rebords latéraux de couplage 132a, 132b représentée sur la figure 8 est optimisée pour que les pertes thermo-visqueuses dues à l'air compressé en dessous de la plaque rigide 131 soit minimisées. Pour une hauteur h_0 supérieure à $500 \text{ }\mu\text{m}$, les pertes thermo-visqueuses ne modifient pas significativement la réponse en fréquence du haut-parleur micrométrique 1. Cette hauteur dépend toutefois des autres dimensions du haut-parleur micrométrique 1. C'est pourquoi, plus généralement, les rebords latéraux de couplage 132a, 132b du transducteur mécano-acoustique 13 s'étendent depuis un des deux ressorts de linéarisation 133a, 133b sur une distance supérieure à $750 \text{ }\mu\text{m}$, de préférence supérieure à $500 \text{ }\mu\text{m}$.

[0065] La réponse en fréquence du haut-parleur micrométrique 1 peut également être grandement affectée par l'épaisseur des lames élastiques 122a, 122b supportant les actionneurs piézoélectriques 121a, 121b. Des lames élastiques 122a, 122b plus fines donneront une fréquence de résonance plus basse et des lames élastiques 122a, 122b plus épaisses donneront plus de force au haut-parleur micrométrique 1 et donc un plus haut niveau de pression rayonnée. Un compromis est donc de préférence à déterminer pour avoir une fréquence de résonance basse et un niveau de pression satisfaisant. Cette dimension dépend là encore des autres dimensions du haut-parleur micrométrique 1. Typiquement, les lames élastiques 122a, 122b peuvent présenter une épaisseur comprise entre 1 et $100 \text{ }\mu\text{m}$, de préférence comprise entre 5 et $20 \text{ }\mu\text{m}$, et par exemple sensiblement égale à $12 \text{ }\mu\text{m}$.

[0066] Les figures 13 à 16 donnent un exemple de procédé de fabrication d'un haut-parleur micrométrique 1 selon un mode de réalisation du premier aspect de l'invention. Ce procédé met avantageusement en œuvre des étapes technologiques, notamment de dépôt et de gravure, ordinaires en microélectronique. Ces étapes technologiques sont par exemple réalisées à partir de deux tranches de silicium (ou « wafer » selon la terminologie anglo-saxonne). Plus particulièrement, comme déjà introduits plus haut et selon l'exemple illustré, deux tranches de silicium peuvent être traitées individuellement, assemblées ensemble, puis l'assemblage peut être traité à son tour pour obtenir le haut-parleur micrométrique 1 selon un mode de réalisation du premier aspect de l'invention. Néanmoins, tout autre procédé d'assemblage mécanique classique, que celui illustré sur les figures, peut être utilisé.

[0067] Selon l'exemple illustré, la fabrication commence avec un wafer BESOI, composé de deux couches de silicium séparées par une couche d'oxyde de silicium 201. Sur la couche la plus fine, située en face avant FAV1 du wafer BESOI et destinée à constituer les lames élas-

tiques 122a, 122b, un empilement comprenant une première couche d'électrode, une couche d'un matériau piézoélectrique, puis une seconde couche d'électrode, est déposé. Comme illustré sur la figure 13, un masque dur 202 est gravé sur la face arrière FAR1 en vue de réaliser ultérieurement une étape de gravure profonde par cette face arrière. Les transducteurs piézoélectriques 121a, 121b sont ensuite gravés et protégés par une passivation 203. Des contacts électriques 204 permettant l'alimentation électrique des électrodes supérieures 205a, 206a et inférieures 205b, 206b des actionneurs piézoélectriques 121a, 121b et un matériau 207 destiné à permettre le collage du wafer BESOI traité au second wafer traité sont ensuite déposés par la face avant FAV1 du wafer BESOI.

[0068] En référence à la figure 14, le second wafer, composé de deux couches de silicium séparées d'une couche d'oxyde 208 est destiné à constituer une deuxième partie du haut-parleur 1, et notamment la plaque rigide 131 et la deuxième partie 11b du cadre 11. Un masque dur 209 est gravé sur la face avant FAR2 pour permettre la gravure profonde d'une cavité arrière 210. Un masque dur 211 est gravé en face arrière FAR2 pour permettre la gravure ultérieure de motifs de structuration 130b, prenant par exemple la forme de barres de renfort, de la plaque rigide 131.

[0069] Une fois les deux wafers ainsi traités, ils sont assemblés entre eux par leurs faces avant FAV1 et FAV2 respectives, de la façon illustrée sur la figure 15. Les motifs de structuration 130b de la plaque rigide 131, ainsi que l'interstice d entre la plaque rigide 131 et le cadre 11 sont ensuite gravés par la face arrière FAR2 de la deuxième tranche de silicium. La face arrière FAR1 du wafer BESOI est ensuite gravée pour parvenir au haut-parleur 1 tel qu'illustré sur la figure 16.

[0070] L'on remarque qu'ainsi les deux lames élastiques 122a, 122b comprennent une même couche 120a solidaire d'une face de la traverse centrale 111 qui est orientée vers un centre du cadre 11. Ladite couche 120a est constituée à base de silicium.

[0071] De même, l'on remarque que la plaque rigide 131 et les ressorts de linéarisation 133a, 133b comprennent une même couche 130a. Une plus grande raideur de la plaque rigide 131 relativement à une raideur des ressorts de linéarisation 133a, 133b est due aux motifs de structuration 130b que comporte la plaque rigide (131). Plus particulièrement, ces motifs de structuration 130b s'étendent, depuis ladite couche 130a, sur une surface de cette dernière définissant l'étendue de la plaque rigide 131. Les ressorts de linéarisation 133a, 133b sont quant à eux constitués de portions 130c, 130d de ladite couche 130a qui s'étendent de part et d'autre de ladite surface. Par ailleurs, il apparaît que ladite couche 130a est constituée à base de silicium.

[0072] L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisations précédemment décrits et s'étend à tous les modes de réalisation couverts par les revendications.

[0073] Notamment, le cadre 11 comprend un pourtour,

de préférence fermé. De préférence, mais de façon non limitative, la traverse 111 du cadre 11 est solidaire du pourtour intérieur du cadre 11 par ses deux extrémités.

[0074] Bien que le cadre 11 soit représenté comme ayant une géométrie parallélépipédique, d'autres formes du cadre 11 sont envisageables, que ce soit pour son pourtour intérieur ou son pourtour extérieur. Ainsi, un cadre 11 de forme annulaire ou oblongue peut être envisagé. Le cas échéant, le haut-parleur micrométrique 1 comprendra plus de deux actionneurs piézoélectriques associés chacun à chacune parmi une pluralité correspondante de lames élastiques.

Revendications

1. Haut-parleur micrométrique (1) comprenant :

- Un cadre (11),
- Un transducteur électromécanique (12), et
- Un transducteur mécano-acoustique (13) comprenant une plaque rigide (131), montée mobile dans le cadre (11),

le transducteur électromécanique (12) et le transducteur mécano-acoustique (13) étant couplés entre eux de sorte qu'une sollicitation du transducteur électromécanique (12) déplace le transducteur mécano-acoustique (13) relativement au cadre (11) et qu'un déplacement correspondant du transducteur mécano-acoustique (13) soit converti en pression acoustique :

- le transducteur électromécanique (12) comprend au moins deux actionneurs piézoélectriques (121a, 121b) et au moins deux lames élastiques (122a, 122b), chaque actionneur piézoélectrique étant associé à une lame élastique pour induire, lorsqu'il est alimenté électriquement, une déformation de la lame élastique par effet bilame,
- le cadre (11) comprend une traverse centrale (111) depuis laquelle s'étendent, solidairement et à l'opposé l'une de l'autre, les deux lames élastiques (122a, 122b),
- les deux lames élastiques (122a, 122b) s'étendent depuis la traverse centrale (111) du cadre (11) jusqu'à mettre en prise deux rebords latéraux dits de couplage (132a, 132b) du transducteur mécano-acoustique (13),

de la sorte chaque lame élastique (122a, 122b) est dans une configuration de flexion dite « encastrée-guidée » selon laquelle, lorsque les actionneurs piézoélectriques (121a, 121b) sont alimentés électriquement, les lames élastiques (122a, 122b) se déforment et entraînent avec

elles un mouvement de la plaque rigide (131) du transducteur mécano-acoustique (13) selon une direction sensiblement perpendiculaire à un plan d'extension principal du cadre (11),

Caractérisé en ce que :

- le transducteur mécano-acoustique (13) comprend en outre au moins deux ressorts de linéarisation (133a, 133b) s'étendant chacun depuis un des rebords latéraux de couplage (132a, 132b) jusqu'à un bord latéral de la plaque rigide (131) qui est situé en vis-à-vis, les ressorts de linéarisation (133a, 133b) étant configurés de sorte à permettre, lors d'une déformation des lames élastiques (122a, 122b), un déplacement d'une partie au moins des deux rebords latéraux de couplage (132a, 132b) vers la traverse centrale (111) du cadre (11).

2. Haut-parleur micrométrique (1) selon la revendication précédente, dans lequel chacun des deux actionneurs piézoélectriques (121a, 121b) s'étend au plus sur une moitié de la lame élastique (122a, 122b) qui lui est associée depuis le rebord latéral de couplage (132a, 132b) du transducteur mécano-acoustique (13) qui est mis en prise par ladite lame élastique (122a, 122b).

3. Haut-parleur micrométrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque ressort de linéarisation (133a, 133b) présente une raideur au moins dix fois, de préférence au moins cent fois, supérieure à une raideur des lames élastiques (122a, 122b).

4. Haut-parleur micrométrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la traverse centrale (111) du cadre (11) s'étend au plus sur une première moitié d'une épaisseur du cadre (11) et les deux lames élastiques (122a, 122b) comprennent une même couche (120a) solidaire d'une face de la traverse centrale (111) qui est orientée vers un centre du cadre (11).

5. Haut-parleur micrométrique (1) selon la revendication précédente, dans lequel ladite couche (120a) est constituée à base de silicium.

6. Haut-parleur micrométrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la plaque rigide (131) et les ressorts de linéarisation (133a, 133b) comprennent une même couche (130a), une plus grande raideur de la plaque rigide (131) relativement à une raideur des ressorts de linéarisation (133a, 133b) étant due à des motifs de structuration (130b) que comporte la plaque rigide

- (131) et qui s'étendent, depuis ladite couche (130a), sur une surface de cette dernière définissant une étendue de la plaque rigide (131), les ressorts de linéarisation (133a, 133b) étant quant à eux constitués de portions (130c, 130d) de ladite couche (130a) qui s'étendent de part et d'autre de ladite surface.
7. Haut-parleur micrométrique (1) selon la revendication précédente, dans lequel ladite couche (130a) est constituée à base de silicium. 5
 8. Haut-parleur micrométrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le cadre (11) est configuré de sorte que le transducteur mécano-acoustique (13) se situe, de toute part, à une distance du pourtour intérieur du cadre (11) comprise entre 1 et 100 μm , de préférence entre 2 et 80 μm , par exemple sensiblement égale à 9 μm . 10
 9. Haut-parleur micrométrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le cadre (11) présente, dans son plan d'extension principal, des dimensions comprises chacune entre 1 et 10 mm, de préférence entre 3 et 8 mm. 15
 10. Haut-parleur micrométrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les rebords latéraux de couplage (132a, 132b) du transducteur mécano-acoustique (13) s'étendent depuis un des deux ressorts de linéarisation (133a, 133b) sur une distance supérieure à 750 μm , de préférence supérieure à 500 μm . 20
 11. Haut-parleur micrométrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les lames élastiques (122a, 122b) présentent une épaisseur comprise entre 1 et 100 μm , de préférence comprise entre 5 et 20 μm . 25
 12. Haut-parleur micrométrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les deux actionneurs piézoélectriques (121a, 121b) sont à base, voire constitués, de PZT et s'étendent chacun sur une face d'une des deux lames élastiques (122a, 122b) qui est opposée à la plaque rigide (131) du transducteur mécano acoustique (13). 30
 13. Haut-parleur micrométrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les lames élastiques (122a, 122b) du transducteur électromécanique (12) présentant une première fréquence de résonance et les ressorts de linéarisation (133a, 133b) du transducteur mécano-acoustique (13) présentant une deuxième fréquence de résonance, la deuxième fréquence de résonance est au moins cent fois de préférence au moins mille fois, supérieure à la première fréquence de résonance. 35
 14. Haut-parleur micrométrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le cadre (11) comprend des première et deuxième parties (11a, 11b) superposées et concentriques entre elles, une deuxième partie (11a) du cadre (11) supporte la traverse centrale (111) et comprend deux plots de connexion électrique (112a, 112b) aux actionneurs piézoélectriques (121a, 121b), les plots de connexion électrique (112a, 112b) étant de préférence situés dans le prolongement de la traverse centrale (111), et la deuxième partie (11b) du cadre (11) comprend deux encoches (113a, 113b) configurées pour se situer chacune en vis-à-vis d'un des deux plots de connexion électrique (112a, 112b). 40
 15. Procédé de fabrication d'un haut-parleur micrométrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant voire étant limité à, des étapes de dépôt et de gravure relevant de la microélectronique. 45
 16. Haut-parleur micrométrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le cadre (11) est configuré de sorte que le transducteur mécano-acoustique (13) se situe, de toute part, à une distance du pourtour intérieur du cadre (11) comprise entre 1 et 100 μm , de préférence entre 2 et 80 μm , par exemple sensiblement égale à 9 μm . 50
 17. Haut-parleur micrométrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les rebords latéraux de couplage (132a, 132b) du transducteur mécano-acoustique (13) s'étendent depuis un des deux ressorts de linéarisation (133a, 133b) sur une distance supérieure à 750 μm , de préférence supérieure à 500 μm . 55

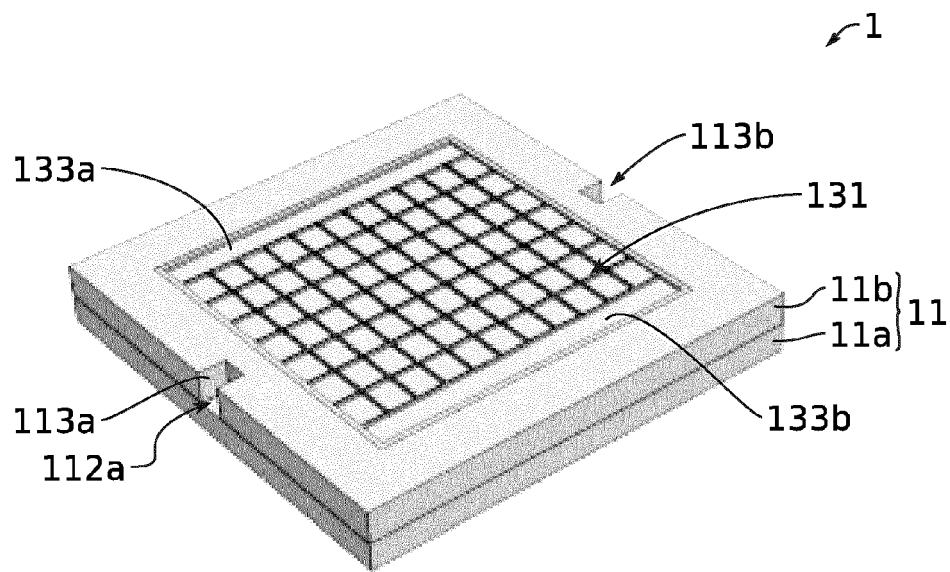


FIG. 1

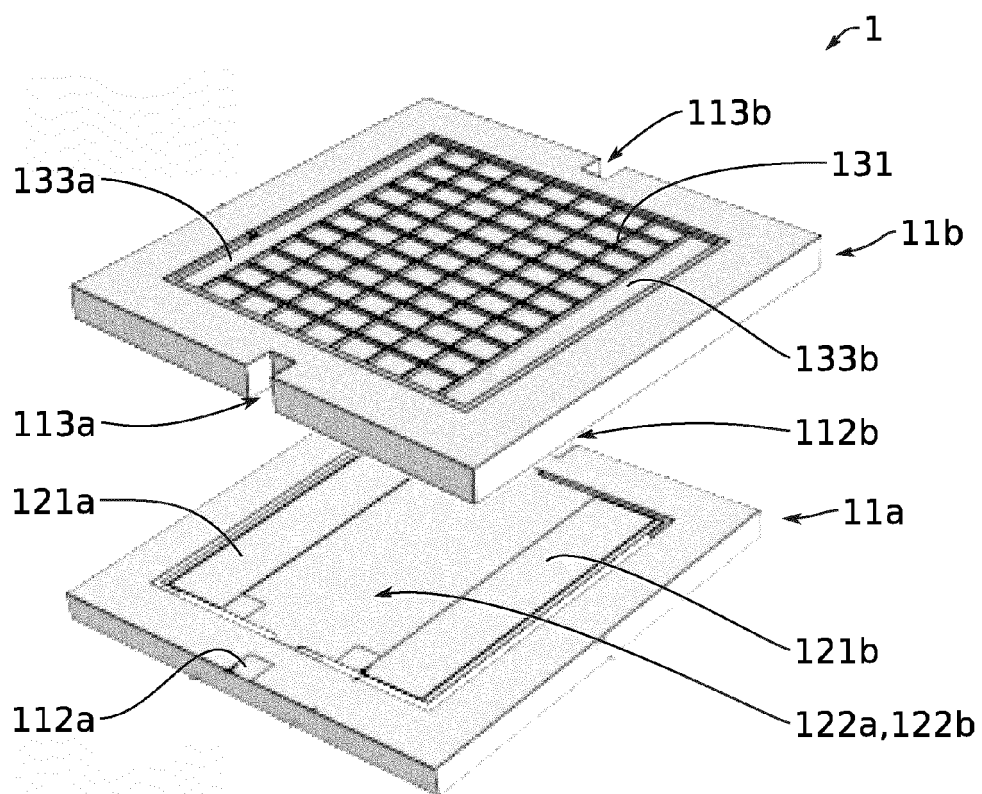


FIG. 2

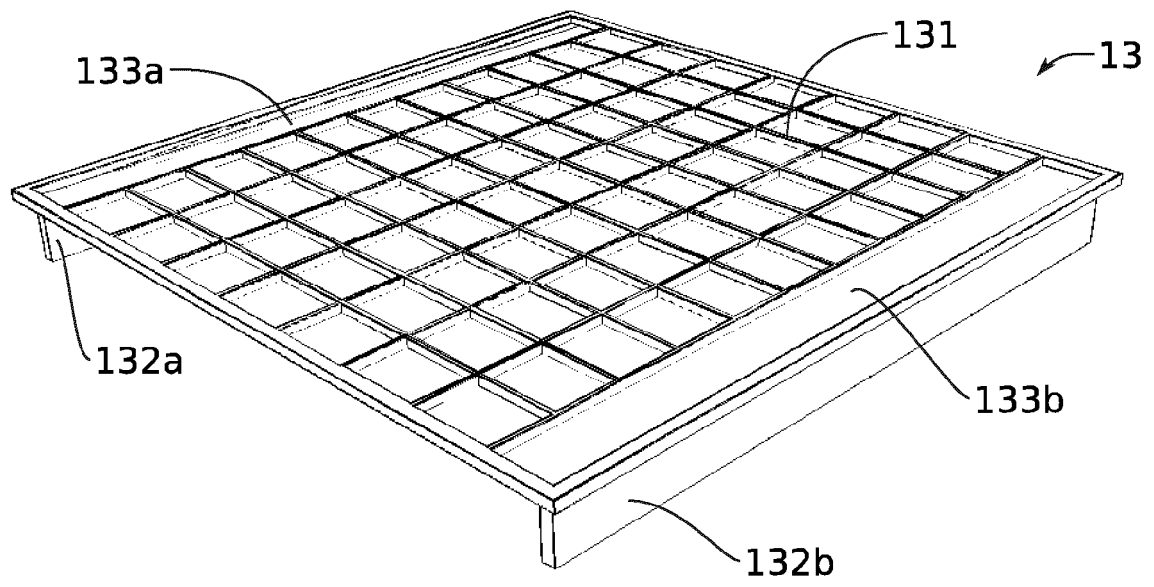


FIG. 3

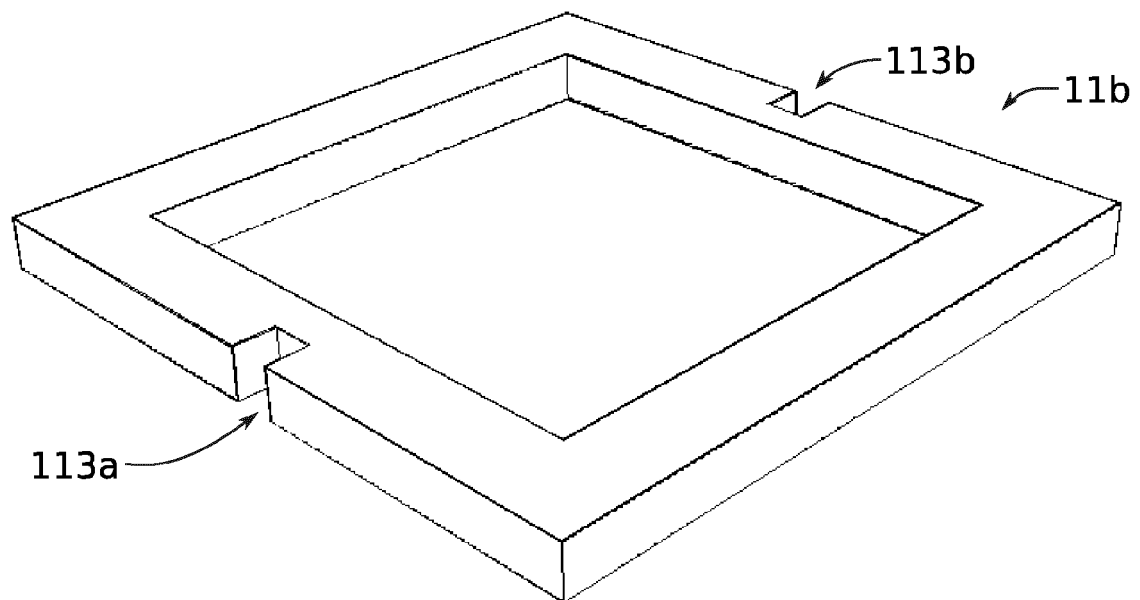


FIG. 4

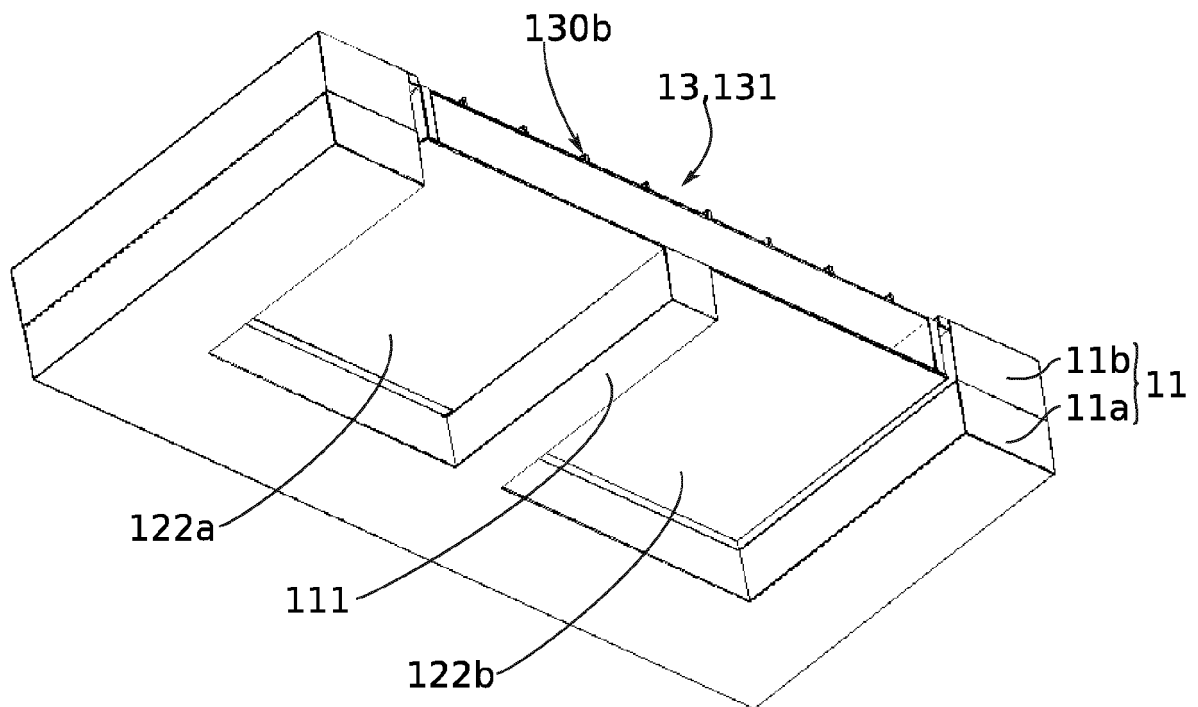


FIG. 5

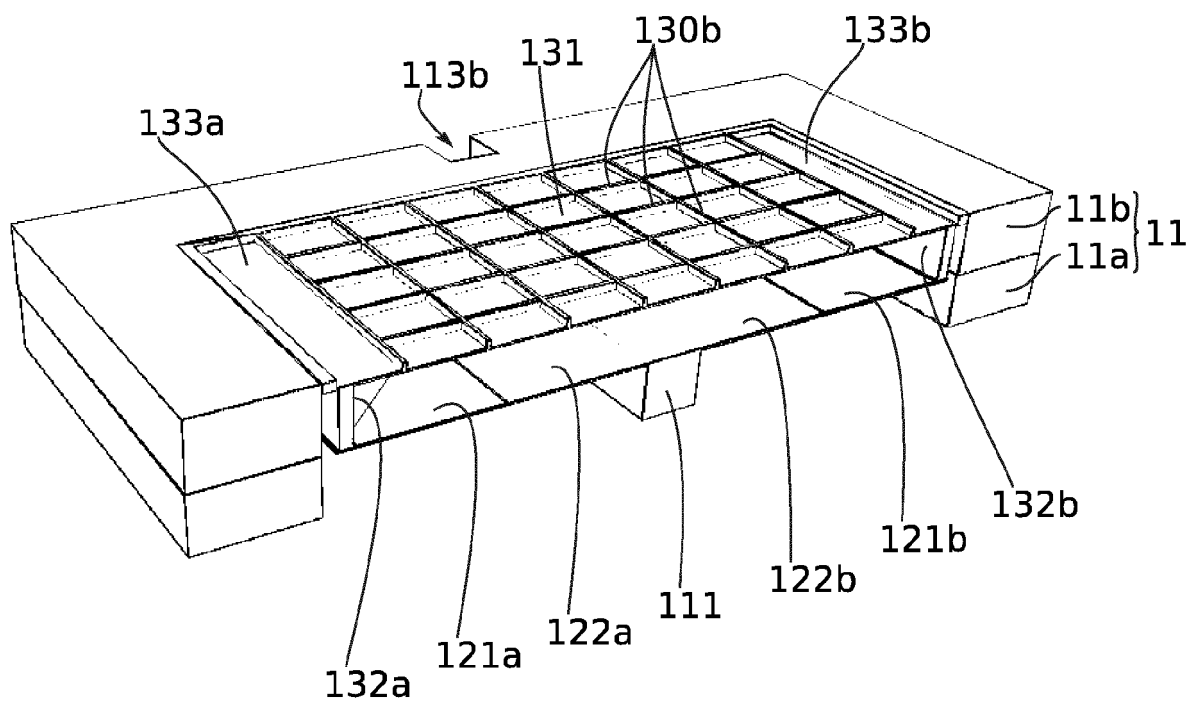


FIG. 6

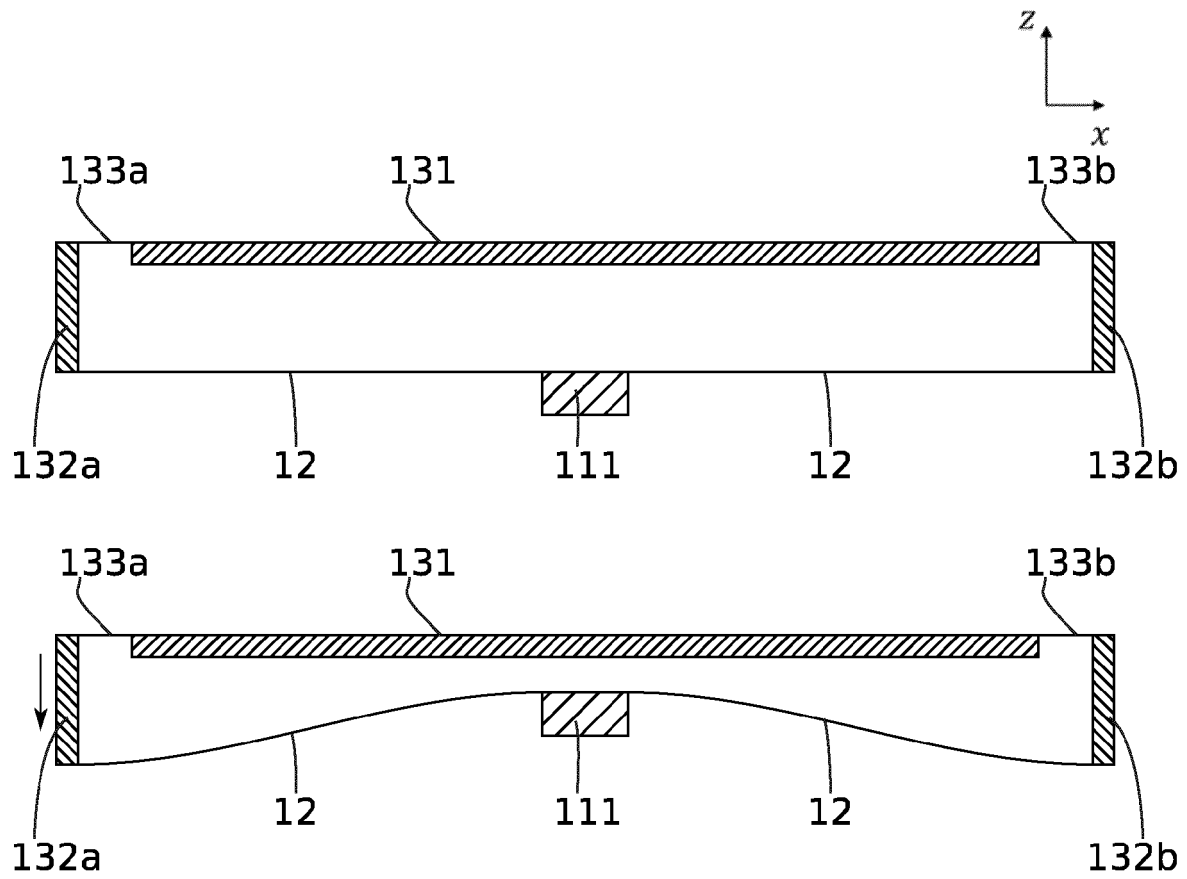


FIG. 7

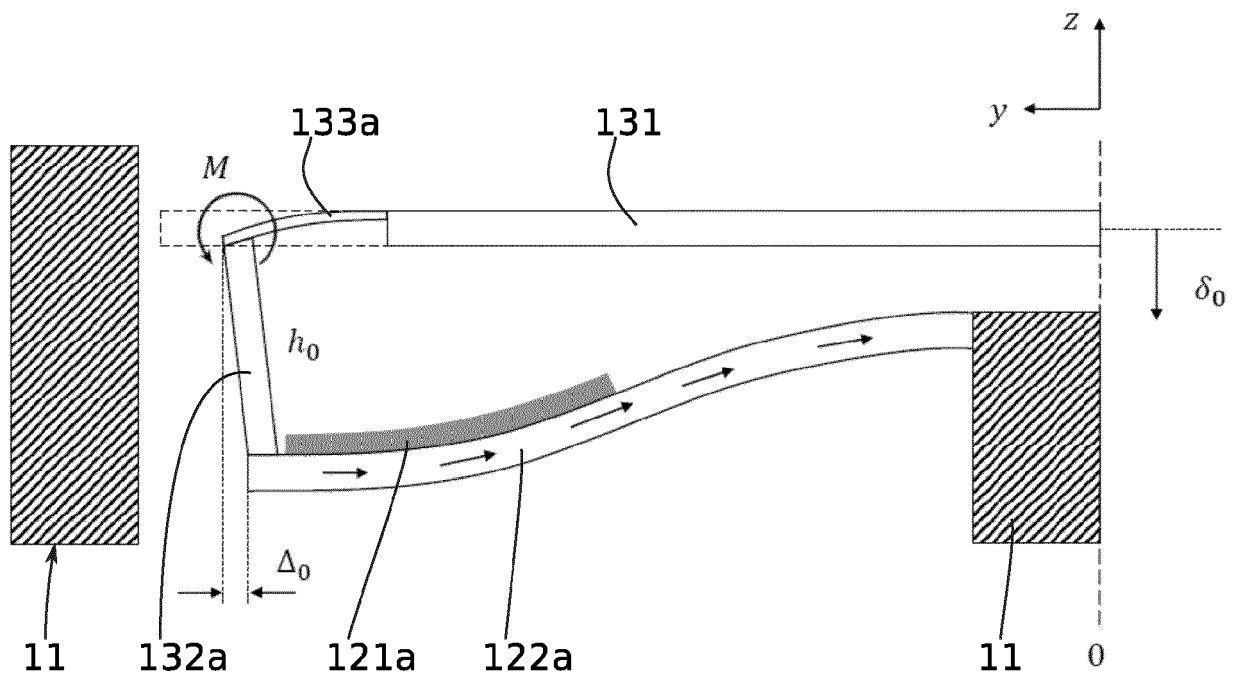


FIG. 8

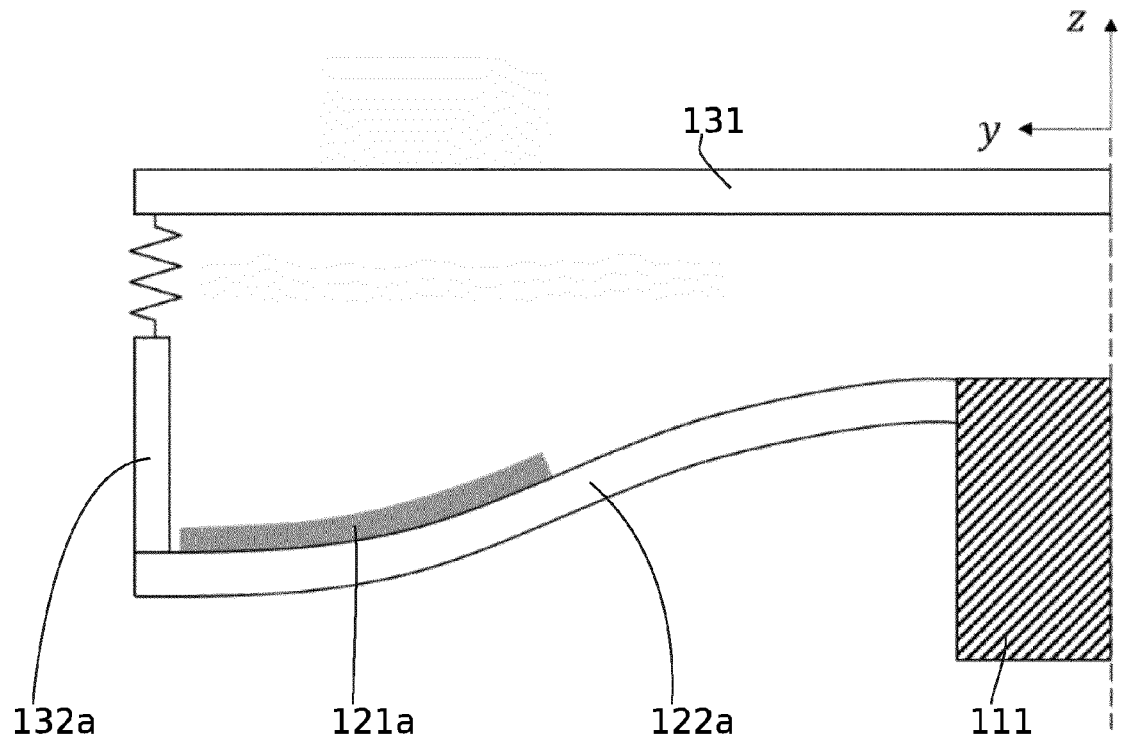


FIG. 9

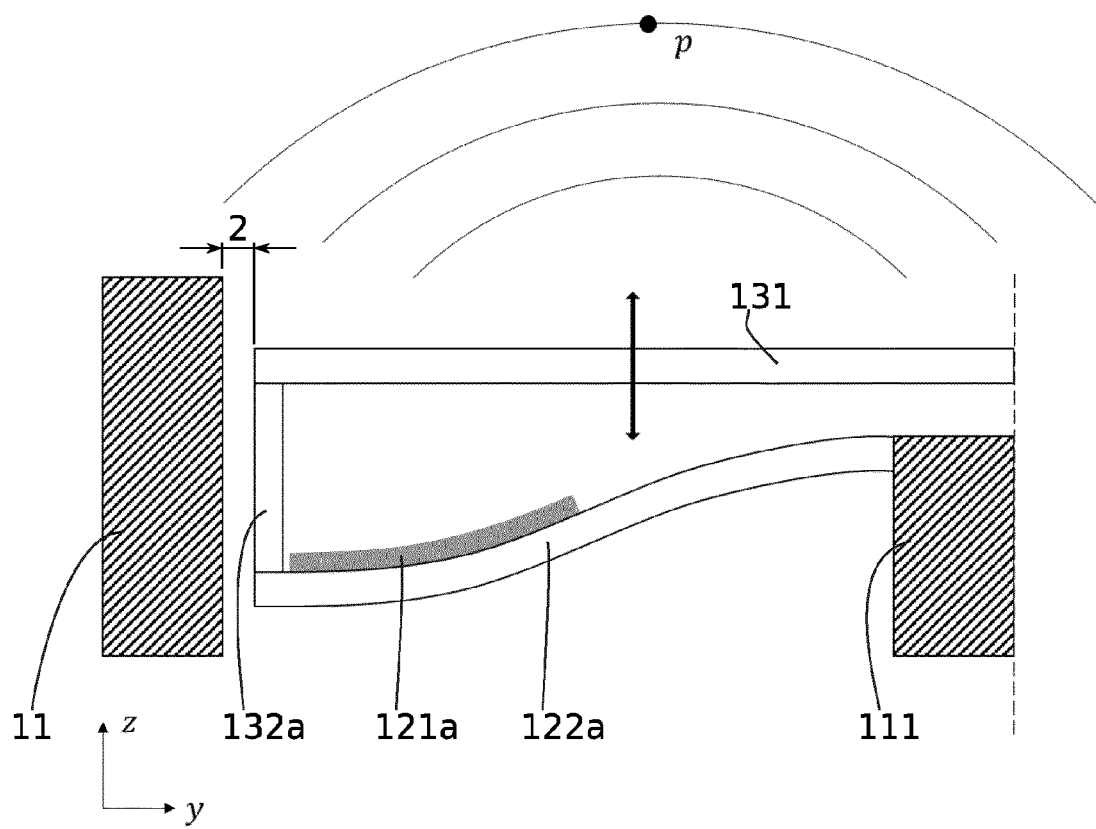


FIG. 10

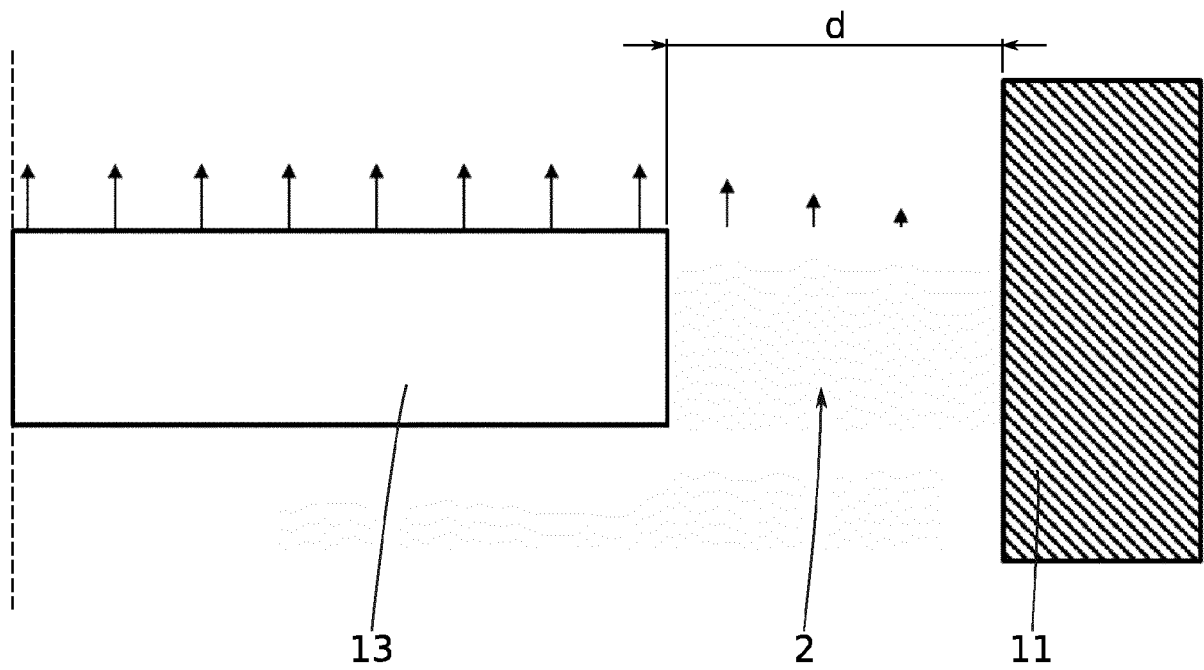


FIG. 11

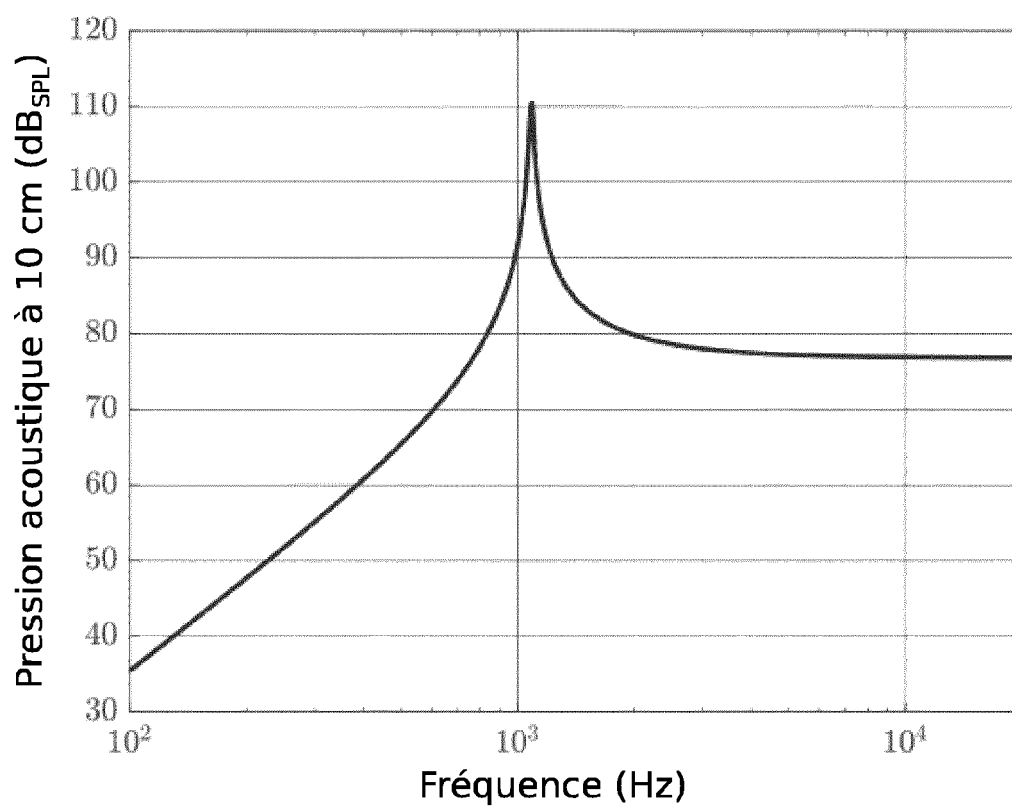


FIG. 12

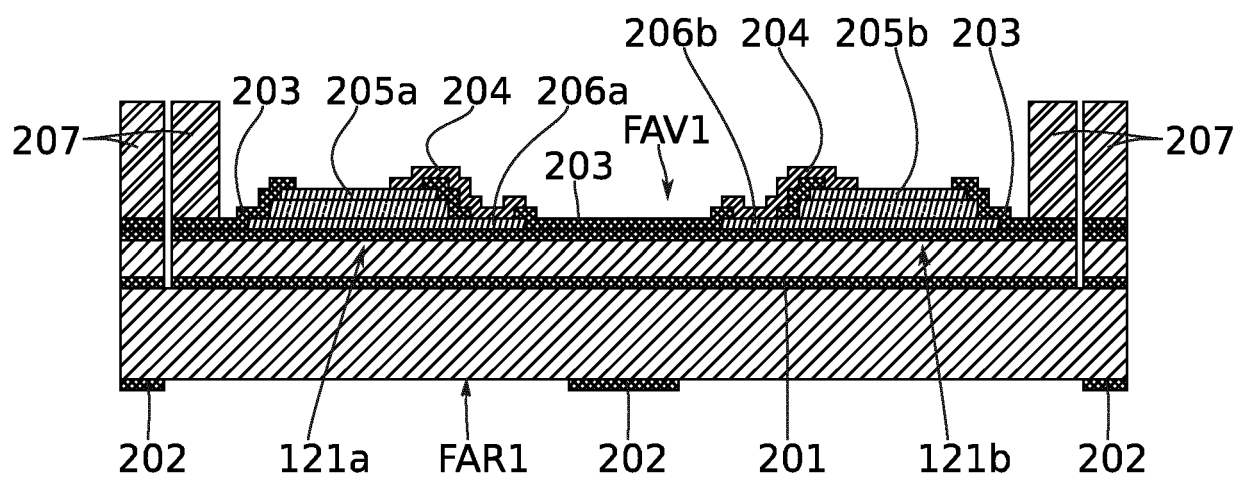


FIG. 13

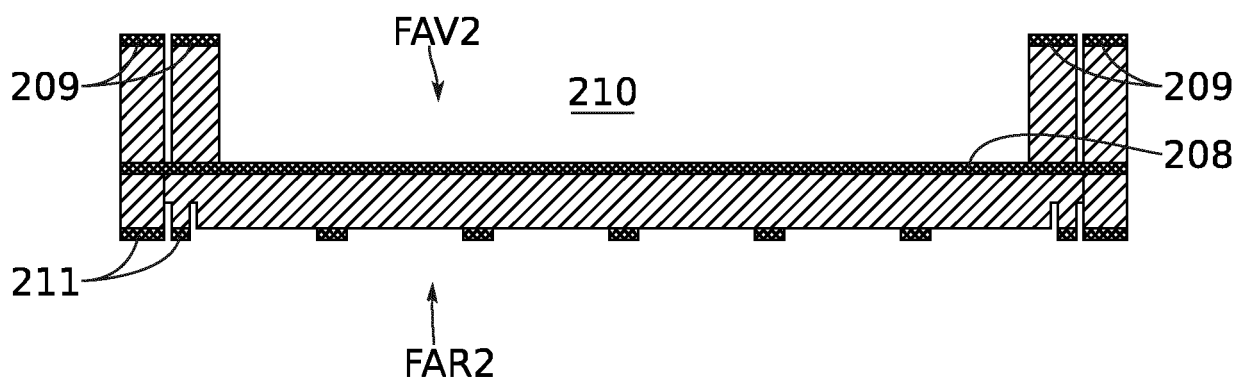


FIG. 14

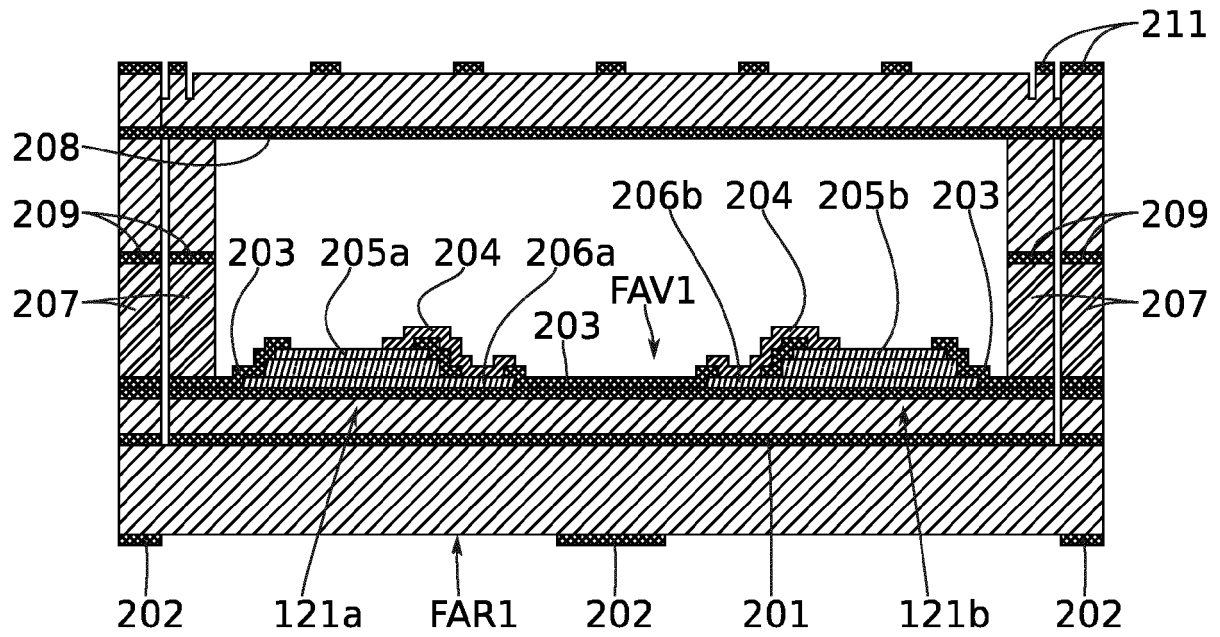


FIG. 15

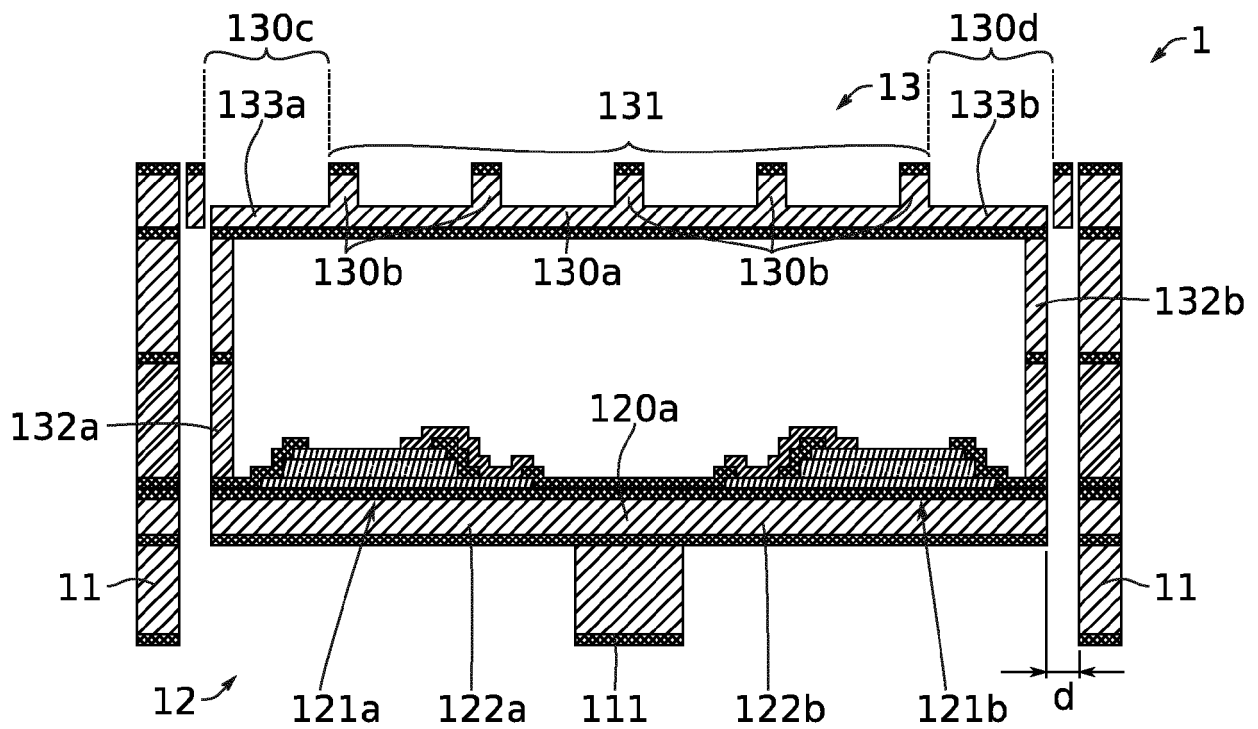


FIG. 16



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 22 16 8299

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	CN 111 918 179 A (AAC TECH NANJING CO LTD) 10 novembre 2020 (2020-11-10) * alinéas [0004], [0046], [0065] - [0069]; figures 8,9,10,11 *	1-15	INV. G10K9/125 H04R17/00 B06B1/06
X	US 2012/057730 A1 (FUJISE AKIKO [JP] ET AL) 8 mars 2012 (2012-03-08) * alinéas [0002], [0040] - [0056]; figures 1-4 *	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			B06B G10K H04R H01L
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		12 août 2022	Haenssler, Thedda
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 22 16 8299

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

12-08-2022

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CN 111918179 A	10-11-2020	CN 111918179 A	10-11-2020
		WO 2022007050 A1	13-01-2022
US 2012057730 A1	08-03-2012	CN 102106160 A	22-06-2011
		JP 5579627 B2	27-08-2014
		JP WO2010137242 A1	12-11-2012
		KR 20120017384 A	28-02-2012
		US 2012057730 A1	08-03-2012
		WO 2010137242 A1	02-12-2010

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 2012057730 A1 [0012]
- US 20170094418 A1 [0012]
- CN 111918179 A [0012]