



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
25.01.2012 Bulletin 2012/04

(51) Int Cl.:
H04R 19/00 (2006.01) **H04R 23/00 (2006.01)**
H04R 17/00 (2006.01) **B06B 1/02 (2006.01)**
H04R 31/00 (2006.01) **H04R 1/00 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **11174599.8**

(22) Date de dépôt: **20.07.2011**

(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

(71) Demandeur: **Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives**
75015 Paris (FR)

(72) Inventeur: **ROBERT, Philippe**
38000 Grenoble (FR)

(30) Priorité: **22.07.2010 FR 1056001**

(74) Mandataire: **Ilgart, Jean-Christophe**
BREVALEX
95 rue d'Amsterdam
75378 Paris Cedex 8 (FR)

(54) **Générateur d'impulsions de pression acoustique de type MEMS**

(57) L'invention concerne un dispositif de génération ou de récupération d'énergie acoustique, comportant :
 - au moins une première cavité déformable (20) pour recevoir une atmosphère ambiante, réalisée dans un premier substrat, délimitée par au moins une paroi dont au moins une paroi mobile ou déformable (25), et des moyens, pour faire communiquer la cavité avec une at-

mosphère ambiante,
 - des moyens (24, 24', 24₁, 24'₁) pour actionner un déplacement ou une déformation, dans le plan du capteur, de ladite paroi mobile ou déformable, ou pour récupérer une énergie résultant d'un déplacement ou d'une déformation, dans le plan du capteur, de ladite paroi mobile ou déformable.

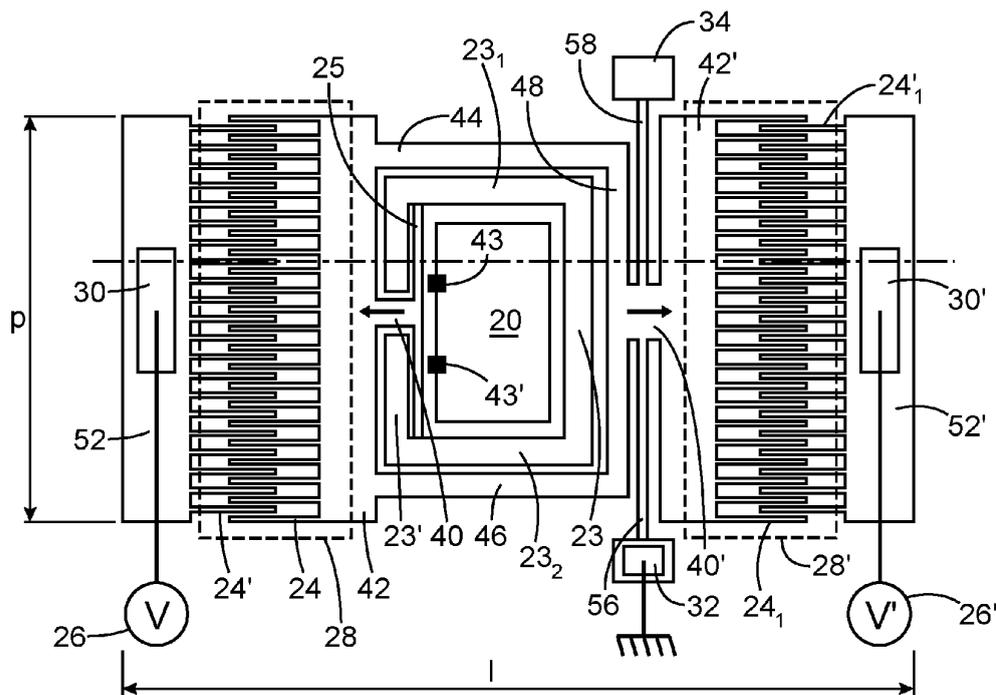


FIG. 2B

Description

DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTÉRIEUR

[0001] L'invention concerne un générateur d'impulsions de pression de type MEMS et/ou NEMS.

[0002] Elle permet la réalisation de haut-parleur MEMS, de haut-parleur MEMS digitaux, et de cMUT (pour « capacitive Micromachined Ultrasonic Transducer »). En effet, la génération d'impulsions de pression intéresse principalement deux applications: les haut-parleurs et les cMUT.

[0003] On trouve deux approches pour réaliser des haut-parleurs MEMS : une approche conventionnelle, de type haut-parleur analogique, et une autre approche, de type haut-parleur digital.

[0004] Les haut-parleurs analogiques sont constitués d'une membrane actionnée par des moyens électromagnétiques, électrostatiques, ou piézoélectriques, à la fréquence du son que l'on souhaite restituer. Le volume sonore restitué sera quant à lui proportionnel à l'amplitude de déplacement de la membrane.

[0005] Certains sont réalisés sous forme de MEMS, comme décrit par exemple dans l'article de Neumann J J et al, 2001, CMOS-MEMS membrane for audio frequency actuation IEEE Int. Proc. MEMS 2001- pp 236-9.

[0006] En figure 1A est représentée la structure d'un générateur, comme expliqué par J.Rehder et al. dans « Balance membrane micromachined loudspeaker for hearing instrument application » - J. Micromech. Microeng. 11, 2001, 334-338. Ce générateur comporte des moyens formant substrat 1 en matériau magnétique doux, des noyaux électrodéposés, des moyens 3 formant contacts électriques, des bobines 4 et des aimants permanents 5. Le son produit sort par une sortie 6. La référence 7 désigne une membrane en matériau amagnétique doux, et la référence 8 des moyens formant espaceur.

[0007] Mais l'amplitude d'actionnement de ces membranes MEMS est très limitée. Le volume sonore est par conséquent globalement très réduit.

[0008] En outre, compte tenu des dimensions de ces composants MEMS, la restitution des graves (qui nécessite une plus grande amplitude de déplacement pour compenser la baisse de niveau sonore induite par la baisse de fréquence, le niveau sonore étant directement proportionnel à la fréquence) est quasiment impossible avec des niveaux acceptables.

[0009] Enfin, la forte non-linéarité de réponse des membranes MEMS (encastrée sur leur pourtour) est très importante, dès que l'on dépasse des amplitudes de vibration de l'ordre de l'épaisseur de la membrane. Il en résulte une distorsion importante même pour de faibles niveaux sonores.

[0010] Une seconde approche, beaucoup moins conventionnelle, appelée « haut-parleur digital » utilise, comme représenté en figure 1B, un réseau 10 de membranes 10₁, 10₂, 10₃, ...10_n, adressées individuellement

et générant chacune une impulsion de pression acoustique. Le son est alors reconstruit par l'ajout de ces « bits » de pression. L'amplitude de la vibration est alors déterminée par le nombre de membranes adressées en même temps, et la fréquence restituée est déterminée par la variation de cette amplitude en fonction du temps.

[0011] Très peu d'articles traitent de ce type de haut-parleur. Le seul exemple de réalisation MEMS est décrit par Brett M. Diamond et al. dans « Digital Sound Reconstruction Using Arrays Of Cmos-Mems Microspeakers », TRANSDUCERS '03 - The 12th International Conference on Solid State Sensors, Actuators and Microsystems. Boston, June 8-12, 2003. Il utilise un actionnement de type électrostatique.

[0012] Dans le cas d'un haut-parleur digital, pour restituer un son de bonne qualité, il convient de pouvoir :

- générer des impulsions en pression et en dépression, avec des amplitudes suffisantes et si possible de même intensité et de même forme (temps de montée et temps de descente de la membrane),
- contrôler le front de montée et le front de descente de la membrane, aussi bien pour les pulses en pression que pour les pulses en dépression.

[0013] Or, dans le cas du dispositif proposé dans le document cité ci-dessus, la membrane suspendue est actionnée par des moyens électrostatiques de type variation d'entrefer.

[0014] Cette membrane ne peut être actionnée électrostatiquement que suivant une seule direction pour générer une impulsion en pression (ou dépression). En outre on utilise la simple relaxation mécanique de la membrane pour générer une impulsion inverse en dépression (ou en pression). Cette configuration rend quasiment impossible la génération d'impulsions identiques en pression et en dépression.

[0015] Autre problème, l'utilisation d'un actionnement électrostatique à variation d'entrefer implique une amplitude de déformation de la membrane non linéaire en fonction de la tension appliquée. Cela rend le contrôle du front de montée et de descente très difficile. Dans le cas d'une impulsion générée par la relaxation de mécanique de la membrane, le retour à l'équilibre de la membrane dépend uniquement de ses propriétés mécaniques. La déformée en fonction du temps ne peut donc pas être contrôlée électriquement. Cela rend également impossible l'atténuation des rebonds de vibration qui impactent de manière importante les caractéristiques sonores du dispositif.

[0016] Enfin, l'utilisation d'un actionnement électrostatique à variation d'entrefer suppose de ne pas dépasser une amplitude de déformation supérieure au 1/3 de l'entrefer, pour éviter le « pull-in ». La tension de « pull-in » est la tension à partir de laquelle la force électrostatique devient tellement importante que le système devient instable. On a alors un risque de collage des deux armatures de la capacité de l'actionneur électrostatique. Ceci limite

par conséquent fortement l'amplitude de déformation accessible pour une tension maximum donnée (compromis amplitude / gap et gap / tension max).

[0017] Les cMUT sont décrits par exemple dans l'article « Capacitive micromachined ultrasonic transducers (CMUTs) with isolation posts » de Yongli Huang et al., paru dans Ultrasonics, Volume 48, Issue 1, March 2008, Pages 74-81.

[0018] Les cMUT présentent en particulier des niveaux de pression très limités. Cette limitation est due, en particulier, aux faibles amplitudes de vibration accessibles pour chacune des membranes du cMUT. Cette amplitude de vibration maximale provient d'un compromis entre la valeur du gap entre la membrane et l'électrode d'excitation (donc le « pull-in »), la tension maximale autorisée (moins de 100V pour des questions de sécurité) et la tension de claquage dans l'oxyde d'isolation.

[0019] Des problèmes de fiabilité de ce type d'appareil sont dus au chargement des diélectriques, déjà mentionnés dans l'article cité ci-dessus. On peut mentionner également des difficultés à générer des pressions de différentes fréquences sur le même composant dans le cas d'une utilisation couplée de ces cMUT en imagerie (>10MHz) et thérapie (<5MHz). Cela suppose, en effet, d'avoir 2 épaisseurs de gap très différentes pour pouvoir maintenir une tension d'alimentation comparable pour les 2 fréquences. Cet aspect rend la technologie actuelle très compliquée.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0020] L'invention concerne d'abord un dispositif, par exemple de type MEMS et/ou NEMS, de génération d'énergie acoustique, ou de type cMUT, comportant :

- au moins une première cavité déformable réalisée dans un premier substrat, dit plan du capteur, cette cavité étant délimitée par au moins une paroi ou membrane mobile ou déformable, et des moyens, pour transmettre au moins une impulsion de pression ou de dépression, produite dans la première cavité, à une atmosphère ambiante, ou des moyens pour faire communiquer la première cavité avec une atmosphère ambiante,
- des moyens pour actionner un déplacement ou une déformation, dans le plan du capteur, de ladite paroi ou membrane mobile ou déformable.

[0021] L'invention concerne donc une structure de générateur, par exemple de type MEMS et/ou NEMS, où une paroi ou une membrane mobile ou déformable se déplace dans le plan d'un substrat, et non hors plan comme c'est le cas dans les structures connues de l'art antérieur.

[0022] Selon l'invention, on décorrèle ainsi la partie d'actionnement ou d'excitation, par exemple de type capacitif ou de type à excitation thermique, de la paroi ou de la membrane mobile ou déformable. On peut donc

optimiser séparément ces deux parties. On peut donc mettre en oeuvre deux ou plusieurs structures de dispositif selon l'invention, chacun ayant un actionneur adapté à la raideur de sa paroi mobile ou déformable.

[0023] Les moyens d'actionnement peuvent être utilisés pour actionner un déplacement ou une déformation de la paroi ou la membrane mobile ou déformable dans les deux sens (en pression et dépression).

[0024] Un dispositif selon l'invention peut comporter en outre au moins une cavité secondaire, ou cavité tampon, en partie en communication avec la première cavité.

[0025] Quelle que soit la pression dans la première cavité et la position de la paroi mobile ou déformable, la première cavité n'est pas en communication « directe » avec la seconde cavité, mais une communication « indirecte » existe néanmoins, par exemple via un ou des espaces (« gap », appelé encore « entrefer ») entre le premier et le second substrat et/ou entre le premier substrat et un troisième substrat, par exemple encore à certains bords de la paroi ou de la membrane déformable. Cette deuxième cavité permet d'éviter un amortissement trop important d'un mouvement ou d'un déplacement des moyens de génération de pression dans le plan du capteur, lors de l'actionnement de la paroi (ou de la membrane). Plus particulièrement, le « gap » peut être un espace fin entre la partie mobile et la partie fixe. Il se situe par exemple entre le substrat et la partie mobile ou déformable ou entre la partie mobile ou déformable et le substrat supérieur. Outre sa fonction de perte de charge, cet espace permet à la partie mobile ou déformable de se déplacer dans le plan.

[0026] Là encore, cette seconde cavité, formant ce qu'on appelle un « back-volume », peut être optimisée séparément de la partie formant moyens d'activation ou d'excitation. Cette deuxième cavité permet de limiter l'amortissement de la paroi ou de la membrane mobile ou déformable en limitant l'effet de compression de gaz dans ce « back-volume », compression qui limiterait l'efficacité du générateur de pression. On cherche en effet à créer une surpression (ou une dépression) dans la première cavité, mais pas en dehors de cette cavité (notamment pas dans le « back-volume »).

[0027] Au moins une cavité secondaire peut être réalisée dans le plan d'un deuxième substrat différent du premier substrat, ou être réalisée dans le plan du premier substrat.

[0028] Si la cavité secondaire est réalisée dans le plan d'un deuxième substrat, différent du premier substrat, alors :

- le deuxième substrat peut comporter en outre les moyens pour transmettre au moins une impulsion de pression ou de dépression, et/ou les moyens pour faire communiquer la première cavité avec une atmosphère ambiante ; autrement dit, la deuxième cavité et les moyens pour faire transmettre au moins une impulsion de pression ou de dépression à une atmosphère ambiante, ou pour faire communiquer

la première cavité avec une atmosphère ambiante, peuvent être réalisés dans un même deuxième substrat, qui peut être assemblé avec le premier ; dans ce cas, elle est de préférence fermée, sa fermeture pouvant être assurée par une membrane,

- ou bien le deuxième substrat peut être disposé d'un côté du premier substrat, un troisième substrat étant disposé d'un autre côté du premier substrat, ce troisième substrat comportant les moyens pour faire communiquer la première cavité avec une atmosphère ambiante et/ou les moyens pour transmettre au moins une impulsion de pression ou de dépression, produite dans la première cavité, à une atmosphère ambiante. Autrement dit, en variante, le deuxième substrat est disposé d'un côté du premier substrat, un troisième substrat étant disposé d'un autre côté du premier substrat, ce troisième substrat comportant les moyens pour transmettre au moins une impulsion de pression ou de dépression ou pour faire communiquer la première cavité avec une atmosphère ambiante. Le premier substrat peut alors être disposé entre le deuxième substrat et le troisième substrat.

[0029] La au moins deuxième cavité peut être ouverte ou fermée, elle peut être réalisée sur le dessus ou le dessous du dispositif, mais elle n'est pas ouverte, ou ne communique pas avec l'atmosphère ambiante du même côté que la première cavité. Si elle est fermée, sa fermeture peut être assurée par une membrane souple. Dans le cas où cette deuxième cavité est fermée, son volume est de préférence suffisamment important pour jouer pleinement le rôle de « back-volume » (typiquement son volume est alors 10 fois supérieur au volume de la première cavité). Dans ce cas, cette deuxième cavité (fermée) peut se situer d'un côté ou de l'autre de la première cavité ou du premier substrat dans lequel cette première cavité est réalisée.

[0030] L'invention permet de contrôler le front de montée et le front de descente de la paroi ou membrane mobile ou déformable, aussi bien pour les impulsions en pression que pour les impulsions en dépression.

[0031] Les moyens d'actionnement peuvent comporter des moyens de type capacitif ou de type à excitation thermique, par exemple par effet bimorph ou asymétrique.

[0032] Lorsque l'actionnement est réalisé de manière électrostatique, par variation de surface, ou dans le cas d'un actionnement par effet thermique, l'invention résout le problème de l'amplitude de déformation de la membrane non linéaire en fonction de la tension appliquée. Cela aussi contribue à un contrôle efficace du front de montée et de descente de chaque impulsion de pression ou de dépression.

[0033] Des moyens de type capacitif en tant que moyens d'actionnement permettent d'avoir une bonne linéarité de réponse (mesurée par exemple par le rapport entre la tension appliquée aux moyens d'actionnement

et l'amplitude de déplacement de la membrane) et donc de pouvoir contrôler facilement la forme d'une impulsion de pression induite dans la cavité.

[0034] Des moyens de type capacitif peuvent être munis d'au moins un premier ensemble de peignes électrostatiques, comportant lui-même un premier peigne, mobile dans le plan du capteur et un deuxième peigne, fixe, les dents du premier peigne et celles du deuxième peigne étant alternées, et des moyens pour appliquer une tension d'activation pour déplacer le peigne mobile par rapport au peigne fixe.

[0035] Un dispositif selon l'invention peut comporter des premiers moyens d'activation, et des deuxième moyens d'activation, disposés de part et d'autre de la première cavité déformable dans le plan du premier substrat. Ces deux ensembles de moyens permettent d'actionner la paroi mobile ou déformable suivant deux directions opposées.

[0036] Dans un autre mode de réalisation de l'invention, les moyens pour actionner un déplacement ou une déformation de la paroi mobile ou déformable, comportent :

- des moyens pour engendrer au moins une première force suivant une première direction sensiblement perpendiculaire à ladite paroi,
- des moyens pour engendrer au moins une deuxième force suivant une deuxième direction sensiblement perpendiculaire à la première direction,
- et des moyens pour convertir ladite deuxième force en une force suivant ladite première direction.

[0037] Autrement dit, un dispositif selon l'invention peut comporter plusieurs ensembles d'actionnement disposés dans le plan du dispositif autour de la cavité déformable. On peut ainsi réaliser des activations de la ou des parois mobiles ou déformables suivant des schémas plus complexes, par exemple un ensemble d'actionnement fonctionnant en compression de la cavité déformable, tandis qu'un autre ensemble d'actionnement fonctionne en dépression de la cavité déformable.

[0038] Ainsi, dans le cas d'un actionnement capacitif, un dispositif selon l'invention peut comporter :

- un deuxième ensemble de peignes capacitifs, le premier ensemble de peignes capacitifs et le deuxième ensemble de peignes capacitifs étant disposés de part et d'autre de la première cavité déformable dans le plan du premier substrat (100), et comportant chacun un peigne mobile suivant une première direction,
- et au moins un troisième ensemble de peignes capacitifs, lui aussi dans le plan du premier substrat, dont un peigne mobile est mobile suivant une direction perpendiculaire à la première direction.

[0039] Un dispositif selon l'invention peut comporter plusieurs premières cavités déformables, au moins deux de ces cavités ayant des moyens d'activation communs.

[0040] Les moyens pour transmettre au moins une impulsion de pression ou de dépression, produite dans la première cavité, à l'atmosphère ambiante, ou pour faire communiquer la première cavité avec une atmosphère ambiante, peuvent comporter une ouverture unique pour chaque cavité déformable, par exemple disposée en regard de chaque cavité déformable, ou bien une membrane disposée sur, ou en regard de, ladite cavité déformable.

[0041] Selon un mode de réalisation préférée, au moins une paroi mobile ou déformable comporte deux extrémités latérales, et est encastrée ou fixée à ses deux extrémités latérales. En variante, elle est rigide, et maintenue à ses deux extrémités latérales par des éléments déformables.

[0042] Un dispositif selon l'invention peut en outre comporter des moyens formant contact électrique, sur une première face (dite face avant) ou sur une deuxième face (dite face arrière).

[0043] L'invention concerne en outre un procédé pour réaliser un dispositif, par exemple de type MEMS et/ou NEMS, de génération d'énergie acoustique, comportant :

- la réalisation, dans un premier substrat définissant un plan, dit plan du dispositif, d'au moins une première cavité déformable pour recevoir une atmosphère ambiante, délimitée par au moins une paroi mobile ou déformable,
- la réalisation de moyens d'activation d'un déplacement ou d'une déformation de ladite paroi mobile ou déformable dans le plan du dispositif,
- la réalisation de moyens pour transmettre au moins une impulsion de pression ou de dépression, produite dans la première cavité, à une atmosphère ambiante ou pour faire communiquer la première cavité avec une atmosphère ambiante.

[0044] Un procédé selon l'invention peut en outre comporter la réalisation, au moins en partie dans un deuxième substrat, d'au moins une cavité secondaire, dite « back volume » ou cavité tampon, en partie en communication avec la première cavité.

[0045] Au moins une cavité secondaire peut être réalisée dans le plan d'un deuxième substrat, différent du premier substrat, ou être réalisée dans le plan du premier substrat, comme déjà expliqué ci dessus.

[0046] Le premier substrat et le deuxième substrat peuvent être assemblés par l'intermédiaire d'une couche diélectrique pour former un substrat de type SOI.

[0047] Un procédé selon l'invention peut comporter un assemblage du premier substrat avec un troisième substrat. Dans celui-ci peuvent être réalisés les moyens pour transmettre au moins une impulsion de pression ou de dépression, produite dans la première cavité, à une atmosphère ambiante ou pour faire communiquer la première cavité avec une atmosphère ambiante.

[0048] De préférence, les moyens d'excitation (ou de

détection sont réalisés au moins en partie dans le premier substrat.

[0049] L'invention permet de réaliser une structure originale de haut-parleur, ou de haut-parleur digital ou de cMUT, où les moyens actionneurs qui génèrent les impulsions de pression (ou « speaklet ») ne se déplacent plus hors du plan du substrat, mais dans le plan. Cette configuration présente de nombreux avantages, dont les plus importants sont la possibilité de générer aussi bien des impulsions en pression qu'en dépression (cas du haut-parleur), et ce avec des moyens d'actionnement similaires pour générer une pression ou une dépression, ce qui permet d'avoir un même niveau de pression ou de dépression, ou de pouvoir générer de forts niveaux de pression (cas des cMUT).

[0050] L'invention offre plusieurs autres avantages particuliers :

- la pression induite dans la cavité permet un déplacement de toute la structure (ce qui n'est pas le cas dans une membrane encastrée). En effet, dans l'état de l'art, la pression est générée par une membrane encastrée sur toute sa circonférence. Au voisinage de cet encastrement la membrane ne se déforme pratiquement pas et par conséquent ne participe pas vraiment à la génération de pression. Dans la présente invention, la poutre ou la paroi n'est encastrée qu'à ses 2 extrémités. Une plus grande fraction de cet élément déformable contribue par conséquent à la génération de pression. On gagne donc en efficacité, à surface de membrane équivalente. L'invention permet donc d'augmenter l'efficacité de génération d'impulsions de pression,
- la présente invention évite le risque « de pull-in ». Dans le cas d'une excitation électrostatique à variation de surface, le déplacement de la paroi est proportionnel à la tension entre les armatures des peignes capacitifs. Un tel effet non linéaire, rendant le système instable et pouvant induire un collage de la structure et/ou un court-circuit de l'actionneur électrostatique, est évité par la présente invention.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0051]

- Les figures 1A et 1B représentent des aspects de dispositifs de l'art antérieur,
- les figures 2A - 4B représentent divers exemples de réalisation d'un dispositif selon l'invention, avec moyens d'actionnement de type capacitif,
- la figure 5 représente, en vue de dessus, un autre exemple d'un dispositif selon l'invention, avec plusieurs moyens d'actionnement autour de la cavité déformable,
- la figure 6 représente, en vue de dessus, un autre exemple d'un dispositif selon l'invention, avec moyens d'actionnement par excitation thermique,

- les figures 7A et 7B représentent, en vue de côté, en coupe, et en vue de dessus, un autre exemple d'un dispositif selon l'invention, avec plusieurs cavités en parallèle,
- les figures 8A - 8G représentent un exemple d'un procédé de réalisation d'un dispositif selon l'invention.
- les figures 9A - 9C représentent des étapes d'une variante d'un autre procédé de réalisation d'un dispositif selon l'invention,
- les figures 10 et 11 représentent, en vue de dessus, d'autres modes de réalisation d'un dispositif selon l'invention.
- les figures 12A et 12B représentent une variante d'une cavité secondaire (ou « back volume ») d'un dispositif selon l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION DE L'INVENTION

[0052] Un premier exemple de structure selon l'invention est illustré en figure 2A, qui est une vue en coupe le long d'un plan dont on voit la trace AA' en figure 2B (vue de dessus). Cette structure permet de générer des impulsions de pression ou de dépression.

[0053] Dans la suite, lorsqu'on parle de « substrat » 100, 101, 102, on peut également comprendre une « couche ». Par conséquent, pour ces trois éléments, on utilise indifféremment l'un ou l'autre de ces termes.

[0054] Une structure selon l'invention peut être réalisée dans 2 ou 3 substrats 100, 101, 102 (le cas de la figure 2A est avec 3 substrats) superposés et assemblés entre eux, le substrat 100 étant disposé entre le substrat 101 et le substrat 102. Chacun des substrats 100, 102 a une épaisseur par exemple comprise entre quelques μm et quelques dizaines de μm , par exemple entre 1 μm ou 5 μm et 10 μm ou 50 μm . Le substrat 101 a une épaisseur par exemple comprise entre quelques dizaines de μm et quelques centaines de μm , par exemple comprise entre 100 μm ou 500 μm et 1000 μm , par exemple sensiblement voisine de 750 μm . Ces dimensions peuvent valoir pour tous les dispositifs décrits dans la suite.

[0055] Chacun de ces substrats s'étend dans un plan xy, l'axe z étant perpendiculaire à chacun d'entre eux. L'épaisseur de chaque substrat, mesurée suivant cet axe z, peut, dans certains cas, être petite ou très petite devant les extensions latérales du dispositif, c'est-à-dire devant les dimensions p et 1 de dispositif mesurées dans le plan xy ; p (mesurée selon l'axe x) est par exemple comprise entre 100 μm et 1 mm et 1 (mesurée selon l'axe y) est par exemple de l'ordre de quelques centaines de micromètres, par exemple comprise entre 100 μm et 500 μm ou 1 mm. Les substrats peuvent être chacun en un matériau semi-conducteur (par exemple en Silicium ou en SiGe). Ils sont liés entre eux par des zones de collage, par exemple via une ou plusieurs couches favorisant l'adhérence, comme une couche d'oxyde de silicium, à l'interface de deux substrats, sauf dans les zones présen-

tant un caractère mobile comme expliqué ci-dessous. Dans la suite, on appellera plan du dispositif le plan xy. On retrouve cette structure dans les autres exemples de réalisation présentés ci-dessous. Ces aspects de l'invention peuvent valoir pour tous les dispositifs décrits dans la suite.

[0056] On appelle, dans la suite, partie ou côté inférieur du dispositif la partie tournée vers le substrat 101 et partie ou côté supérieur du dispositif la partie tournée du côté opposé, vers le substrat 102.

[0057] Le dispositif comporte d'abord une cavité 20, réalisée dans le substrat 100 (ou dans au moins un substrat 100 ; ce substrat peut comporter plusieurs substrats ou couches superposés), comportant une ouverture dans sa partie supérieure.

[0058] Une ouverture 21, qui communique avec celle du substrat 100, est également réalisée dans le substrat 102. Elle permet de transmettre, à l'atmosphère environnante, sensiblement perpendiculairement au plan du dispositif, des impulsions de pression ou de dépression créées dans la cavité 20. En variante (dont on verra des exemples ci-dessous) cette ouverture comporte une pluralité d'orifices formant une grille, par exemple pour limiter l'introduction d'éléments étrangers, tels que des poussières, dans la cavité 20. Elle peut donc alors assurer en outre la fonction de filtre. En variante encore, la cavité est fermée par une membrane souple, comme la membrane 281 représentée en figure 7A.

[0059] Dans le plan du substrat 100, la cavité 20 est délimitée par des parois latérales 23, 23₁, 23₂, 25 dont certaines (les parois 23, 23₁, 23₂) sont fixes et au moins une autre (ici la paroi ou membrane 25) est mobile ou déformable dans le plan xy du dispositif. Dans l'exemple qui est représenté sur les figures 2A et 2B, la cavité 20 a une forme rectangulaire dans le plan du dispositif, mais une autre forme peut être réalisée. Une structure sans la paroi 23' de la figure 2B, que traverse le bras 40, peut aussi être réalisée dans le cadre de la présente invention. Sous l'effet de moyens 24 d'actionnement dont des exemples de réalisation vont être décrits ci-dessous, la paroi ou membrane 25 mobile va être déplacée ou déformée dans le plan xy. Dans l'exemple représenté, les extrémités de la paroi mobile 25 sont fixées à deux parois fixes 23₁, 23₂, et c'est donc ici une déformation de la paroi mobile qui aura lieu, sous l'action de moyens d'actionnement, par l'intermédiaire d'un bras 40 qui traverse l'une des parois fixes 23'.

[0060] La paroi est donc ici de type « encastré - encastré », c'est-à-dire que ses deux extrémités latérales sont encastrées dans une partie fixe du dispositif. Cette paroi peut avoir approximativement les caractéristiques géométriques suivantes :

- hauteur (mesurée selon l'axe z): sensiblement égale à l'épaisseur du substrat 100, donc comprise entre quelque dizaines de μm et quelques centaines de μm ; mais, dans certains modes de réalisation, elle peut être comprise entre quelques μm et quelques

dizaines de μm (par exemple entre 5 μm et 50 μm),

- largeur (mesurée suivant l'axe y): par exemple comprise entre 0,5 μm et 10 μm ; cette largeur est suffisamment faible pour que la paroi 25 présente la sensibilité voulue à l'actionnement sous l'effet des moyens 24 d'actionnement,
- longueur (mesurée suivant l'axe x) : par exemple comprise entre 100 μm et 1 mm.

[0061] La paroi mobile, en variante, peut être du type présenté plus loin, en liaison avec les figures 4A et 4B: elle comporte alors une partie principale, rigide, qui se déplace sous l'action de la pression, et au moins une ou deux partie(s) latérale(s) 253, 255 formant chacune « ressort », reliée à la partie fixe et déformable.

[0062] Dans le présent mode de réalisation, comme dans les exemples de réalisation suivants, on peut utiliser l'un ou l'autre des différents types de paroi ou membrane déformable qui vient d'être présentés ou qui seront présentées dans la suite de ce texte.

[0063] En variante, plusieurs cavités peuvent être réalisées dans le substrat 100, on en verra des exemples plus loin.

[0064] Les moyens 24 d'actionnement sont donc fixés ou reliés ou, plus généralement, associés à cette parois mobile, ces moyens ayant ici la forme de moyens à excitation électrostatique, plus spécifiquement de peignes capacitifs.

[0065] Ces peignes capacitifs sont disposés selon une configuration particulière, qui sera expliquée ci-dessous, avec un déplacement de la partie mobile des peignes selon l'axe y et selon la direction d'extension des dents du peigne. Mais d'autres configurations sont possibles, telle que celle de la figure 10, avec une direction d'extension des dents du peigne selon l'axe x (et un mouvement de la partie du peigne selon l'axe y).

[0066] On a ici une excitation électrostatique à variation de surface, mais on peut réaliser, en variante une excitation électrostatique à variation d'entrefer. Un exemple de cette variante est donné en figure 11, où la répartition des gaps se fait par exemple à 1/3-2/3 : l'écart entre deux dents du peigne fixe est de d, et, au repos, une dent d'un peigne mobile est comprise entre deux dents du peigne fixe, la distance entre une dent du peigne mobile et l'une de ces deux dents du peigne fixe est de d_1 (égale à environ 1/3 de la distance d) tandis que la distance entre la même dent du peigne mobile et l'autre de ces deux dents du peigne fixe est de d_2 (égale à environ 2/3 de la distance d). Les dents du peigne sont dans ce cas perpendiculaires à la direction de déplacement de la membrane déformable ou du piston. En variante encore, ces moyens peuvent comporter des moyens fonctionnant par effet thermique, moyens dont on verra là encore des exemples ci-dessous.

[0067] Quelle que soit la nature des moyens d'actionnement, un actionnement peut être réalisé par au moins deux ensembles de moyens d'actionnement, disposés

de part et d'autre de la cavité, comme expliqué plus loin. C'est notamment le cas lorsque la cavité 20 comportent 2 parois mobiles ou déformables ou si l'on souhaite actionner la parois mobile dans un sens ou dans l'autre (c'est-à-dire pour pouvoir générer une onde de pression ou de dépression). Les moyens 24 sont activés par une variation d'un paramètre physique, qui va permettre d'induire une variation du volume de la cavité 20. Ils peuvent donc être associés à des moyens 26 qui permettent d'induire une variation de ce paramètre physique, ici une variation de tension qui résulte en une variation de capacité et donc en un mouvement relatif des deux peignes. Il en résulte un déplacement ou une déformation correspondante de la paroi 25 ou la variation correspondante du volume 20.

[0068] Dans cet exemple, comme dans les exemples ci-dessous, la cavité 20 et les moyens 24 sont réalisés dans le substrat 100 intermédiaire.

[0069] Un dispositif selon l'invention comporte une partie fixe, c'est-à-dire dont la position n'évolue pas sous l'action des moyens d'actionnement, et une partie mobile, dont la position évolue ou est modifiée sous l'action des moyens d'actionnement. La partie mobile est reliée à la partie fixe. Des moyens (par exemple un ou plusieurs bras tels que les bras 56, 58) ou l'élasticité de la paroi 25 mobile ou déformable elle-même ou les parties d'extrémité 253, 255 de la paroi (dans le cas de la figure 4B) peuvent permettre de la ramener à sa position initiale par rapport à cette dernière lorsque les moyens d'actionnement reviennent à leur état initial (ou ne sont plus alimentés).

[0070] La cavité 20 reçoit les déplacements imposés par les moyens d'actionnement. Un côté de la membrane ou de la paroi 25 est en contact avec la pression ambiante « moyenne », par exemple la pression atmosphérique. À cette fin, le dispositif peut comporter au moins une cavité secondaire inférieure 28, 28', réalisée dans le substrat inférieur 101. Cette cavité est ouverte sous le dispositif. En variante, expliquée plus précisément plus loin, on peut réaliser une cavité secondaire fermée au-dessus ou au-dessous du dispositif, mais alors de préférence suffisamment volumineuse (son volume peut être alors d'au moins plusieurs fois le volume de la cavité 20, par exemple au moins 5 fois le volume de cette dernière, par exemple 10 fois le volume de cette cavité 20) pour permettre à la paroi ou membrane mobile ou déformable de se déplacer sous l'effet des moyens d'actionnement sans amortissement excessif.

[0071] Encore selon une autre variante, une ou plusieurs cavités secondaires 28, 28' peuvent être ouverte(s) (ou éventuellement fermée(s)) sur le côté, par exemple au moins une cavité de ce type est réalisée dans le substrat intermédiaire 100. Des exemples des cavités latérales sont illustrés en figures 2C, 12A- 12B.

[0072] Quelle que soit sa forme et sa position dans le dispositif, cette cavité secondaire (ou de référence) est aussi désignée par l'expression « back volume ». Elle est située, en figures 2A et 2B, et dans la plupart des

autres modes de réalisation illustrés, dans un plan ou substrat 101 (ou 102) différent de celui de la cavité 20 et des moyens 24. Par contre, dans le cas des figures 2C, 16A- 16B, elle est réalisée dans le même substrat que celui de la cavité principale 20.

[0073] Dans le présent exemple, cette cavité secondaire est décalée, dans son propre plan par rapport à la cavité 20. En d'autres termes, il n'y a pas d'intersection entre la projection, dans le plan du substrat 101, de la cavité principale 20, et le contour de la cavité secondaire 28.

[0074] Mais il existe aussi une communication entre ces deux cavités, ou, plus généralement, entre les cavités principales et au moins une des cavités secondaires, car un espace, qui peut être assez faible, est maintenu entre, d'une part, la partie supérieure 25₀ et/ou la partie inférieure 25'₀ de la paroi 25 et la surface supérieure 101' du substrat 101 et la surface inférieure 102' du substrat 102. On assure ainsi une fuite entre les deux cavités 20 et 28. Ainsi, quel que soit l'état ou la position des moyens d'activation et la position de la paroi mobile, la cavité 20, qui est en communication avec l'atmosphère extérieure par l'ouverture 21, est également en communication avec l'une quelconque des cavités secondaires 28, 28'. Une ou plusieurs de ces cavités secondaires permet de réduire les effets de compression du gaz lors d'un déplacement de la membrane, ce qui est avantageux puisqu'une telle compression tend à diminuer la sensibilité du dispositif. Ces cavités peuvent aussi être dénommées cavités d'amortissement.

[0075] La cavité déformable 20, et la ou les cavités 28, 28' secondaires ou d'amortissement sont donc partiellement en communication et partiellement séparées au moins par la paroi ou membrane 25, qui est elle-même susceptible de se déplacer (ou se déformer) dans le plan du substrat sous l'effet des moyens d'actionnement.

[0076] Le dispositif comporte en outre des zones de contact 30, 30', 32. Ces zones de contact permettent de relier des moyens 26, 26' pour activer les moyens d'actionnement, et donc pour appliquer une variation de tension appropriée, adaptée pour induire une dépression ou une pression dans la cavité 20. Ici, dans l'exemple de moyens d'actionnement sous forme de peignes électrostatiques, une variation de tension par les moyens 26, 26' va induire un déplacement du peigne.

[0077] Dans l'exemple représenté, les contacts sont disposés en face avant du dispositif, c'est-à-dire qu'on peut y avoir accès par, ou ils peuvent être réalisés dans, des ouvertures formées dans le substrat 102. Mais, en variante, il est également possible de réaliser des contacts en face arrière, comme on le verra dans des exemples ci-dessous.

[0078] On décrit maintenant de manière un peu plus détaillée la structure des peignes capacitifs 24 utilisés en tant que moyens d'actionnement pour le mode de réalisation qui a été présenté ci-dessus.

[0079] Un premier peigne est lié à la paroi mobile 25 par l'intermédiaire d'un bras 40 qui s'étend sensiblement

suivant l'axe y. Lorsque le peigne mobile 24 est déplacé suivant la direction indiquée sur la figure 2B (en fait elle aussi selon la direction y), du fait d'une variation de la tension V appliquée par les moyens 26, la paroi 25 est tirée par le bras 40 lui-même tiré par le peigne. On peut noter ici que le composant est utilisé comme actionneur et non comme capteur. Le tension d'alimentation de l'actionneur est donc adaptée pour éviter des déplacements trop importants de la paroi ou la membrane 25. On peut néanmoins disposer des butées 43, 43' pour limiter le déplacement de cette paroi ou membrane 25 ou pour parer à des chocs sur le dispositif; en variante on peut, pour assurer les mêmes fonctions, utiliser la paroi 23' comme butée.

[0080] Le peigne 24 présente des dents parallèles entre elles, chaque dent s'étendant dans le plan zy. Ces dents sont réalisées dans le substrat 100. Elles sont toutes fixées à un bras 42, disposé de manière sensiblement perpendiculaire au plan zy, donc plutôt selon l'axe x et perpendiculairement au bras 40. Une variante avec actionnement capacitif à variation d'entrefer est décrite plus loin. À une partie fixe 52 du dispositif, également réalisée sous forme d'un bras sensiblement parallèle au bras 42, est également fixé ou relié un peigne 24' qui présente lui aussi une rangée de dents parallèles entre elles, chacune elle aussi disposée dans un plan de direction zy. Ces dents de la partie fixe sont également réalisées dans le substrat 100.

[0081] Les dents des deux rangées de dents des peignes 24, 24' sont alternées, en ce sens qu'une partie de chaque dent (sauf éventuellement les dents situées à l'extrémité d'une rangée de dents) du peigne 24 est disposée entre deux dents voisines du peigne 24'. Et une partie de chaque dent (sauf éventuellement les dents situées à l'extrémité de la rangée de dents) du peigne 24' est disposée entre deux dents voisines du peigne 24.

[0082] Chaque dent peut avoir une épaisseur, mesurée suivant l'axe x, comprise entre 2 μm ou 5 μm et 10 μm ou 100 μm. Deux dents voisines d'un même peigne sont séparées par une distance pouvant être comprise entre 0,5 μm ou 1 μm et 3 μm ou 10 μm.

[0083] Les dents des 2 peignes sont conductrices du point de vue électrique.

[0084] Lorsque le dispositif est au repos et lorsqu'une différence de tension appropriée est établie entre les deux rangées de dents, un ensemble de capacités en parallèle est réalisé. Une variation de la tension V entraîne un déplacement des dents du peigne mobile 24 par rapport aux dents du peigne fixe 24', par exemple dans le sens indiqué par la flèche en figure 2B, donc un déplacement du bras 40, ce qui entraîne un déplacement ou une déformation de la paroi 25.

[0085] Dans le mode de réalisation de la figure 2B, on voit que le bras 42 constitue en fait l'un des côtés d'un cadre comportant trois autres bras ou côtés 44, 46, 48 qui entourent les parois 23, 23₁, 23₂, 25 délimitant la cavité 20. C'est donc l'ensemble de ce cadre qui est entraîné en mouvement lorsque le peigne mobile 24 vient

à se déplacer du fait d'une variation de tension V . Le côté ou le bras 48, opposé au bras 42 peut lui aussi être relié, par un bras 40', dirigé suivant l'axe y , à un peigne mobile 24₁, qui peut donc lui aussi être entraîné en déplacement, par exemple suivant la direction opposée à celle du bras 40, lors d'une variation de tension V' permettant de l'activer. Le peigne 24₁ est lui aussi réalisé dans le substrat 100. Ses dents sont toutes fixées à un bras 42', disposé de manière sensiblement perpendiculaire au plan zy , donc plutôt selon l'axe x et perpendiculairement au bras 40'.

[0086] Enfin, à ce peigne 24₁ est associé un peigne fixe 24'₁, dont les dents sont fixées à une partie fixe 52' du dispositif et avec lequel il coopère de la même manière que le peigne mobile 24 coopère avec le peigne fixe 24'. L'arrangement relatif, alterné, des dents de ces deux peignes 24₁, 24'₁ est similaire ou identique à ce qui a déjà été décrit ci-dessus pour les deux peignes 24, 24'. La partie fixe 52' est également réalisée sous forme d'un bras sensiblement parallèle au bras 42'. A cette partie fixe 52' sont fixées ou reliées les dents du peigne 24', disposées sous forme d'une rangée de dents parallèles entre elles, chacune elle aussi disposée dans un plan de direction zy . Le bras 52' et les dents du peigne fixe 24'₁ sont également réalisés dans le substrat 100.

[0087] Chaque dent de chaque peignes 24₁, 24'₁ peut avoir une épaisseur, mesurée suivant l'axe x , comprise entre 2 μ m ou 5 μ m et 10 μ m ou 100 μ m. Deux dents voisines d'un même peigne sont séparées par une distance pouvant être comprise entre 0,5 μ m ou 1 μ m et 3 μ m ou 10 μ m.

[0088] Les dents des 2 peignes 24₁, 24'₁ sont conductrices du point de vue électrique.

[0089] Lorsque le dispositif est au repos et lorsqu'une différence non nulle de tension V' appropriée est établie entre les deux rangées de dents des deux peignes 24₁, 24'₁, un ensemble de capacités en parallèle est réalisé, les deux peignes prenant une position d'équilibre l'un par rapport à l'autre en fonction de la valeur de la tension V' .

[0090] Une variation de la tension V' entraîne un déplacement des dents du peigne mobile 24₁ par rapport aux dents du peigne fixe 24'₁, par exemple dans le sens indiqué par la flèche en figure 2B, donc un déplacement du bras 40', ce qui entraîne, par l'intermédiaire des bras 40, 42, 44, 46, 48, 40', un déplacement ou une déformation de la paroi 25.

[0091] Ce dispositif peut également comporter des moyens 56, 58 de guidage, dans le plan xy dans lequel se déplacent la membrane la paroi mobile ou déformable ainsi que les moyens de détection.

[0092] Ces moyens ont ici la forme d'au moins un bras 56, 58, par exemple de deux bras, chacun disposé sensiblement suivant la direction x , dans le plan xz , mais d'une largeur (pouvant être comprise entre 1 μ m et 10 μ m), suivant la direction y , suffisamment faible pour permettre, à chacun de ces bras, d'avoir, suivant cette même direction x , une flexibilité suffisante lors d'un mouvement qui résulte d'un déplacement de la paroi 25.

[0093] Le bras 56 peut être disposé, comme illustré en figure 2A, entre le côté 48 du cadre mobile formé autour de la cavité 20, et le bras 42' du deuxième peigne mobile 24₁. Etant mécaniquement relié à la partie fixe du dispositif il permet de guider le déplacement de la partie mobile dans le plan du substrat 100 et de ramener cette partie mobile à sa position de départ après retour des moyens d'activation à leur état initial, avant excitation. Un deuxième bras 58, qui peut être symétrique du bras 56 par rapport à un axe parallèle à l'axe y , et relié lui aussi à une partie fixe 34 du dispositif, permet lui aussi d'assurer cette fonction de guidage de la partie mobile. Le bras 58 peut présenter les mêmes caractéristiques géométriques et d'élasticité que le bras 56.

[0094] En outre, des moyens permettent d'appliquer à la partie mobile du dispositif la tension appropriée pour permettre à chacun des peignes électrostatiques de jouer son rôle.

[0095] Ces moyens pour appliquer une tension peuvent utiliser, ou être combiné avec, au moins l'un des bras 56, 58. Par exemple, le bras 56 est lui-même relié, mécaniquement et électriquement, à l'un des plots de contact 32 auquel la tension souhaitée peut être appliquée. Des plots 30, 30' sont également prévus dans d'autres parties fixes du dispositif, par exemple dans les parties 52, 52'.

[0096] Lorsque le dispositif comporte, comme décrit ci-dessus, deux systèmes de peignes de chaque côté du dispositif, l'un des peignes mobiles peut être utilisé pour induire une impulsion de pression dans la cavité 20 tandis que l'autre peigne mobile peut être utilisé pour induire une impulsion de dépression dans cette même cavité 20. Sous l'effet de l'une et/ou de l'autre des tensions d'alimentation V , V' , l'un et/ou l'autre des actionneurs génère une force dans le plan du substrat. La force résultante vient pousser ou tirer la membrane 25. Le déplacement de cette membrane génère une impulsion de pression (ou de dépression) dans la cavité supérieure 20 qui s'évacue via l'évent supérieur 21.

[0097] Les moyens formant peigne, les bras 42, 44, 46, 48 formant le cadre autour des parois de la cavité 20, les bras 40, 40', sont formés dans le même substrat 100.

[0098] L'exemple décrit ci-dessus peut aussi ne comporter qu'un seul système de peignes.

[0099] D'autres exemples de dispositif selon l'invention vont être présentées ci-dessous.

[0100] Selon un deuxième exemple présenté en figure 3, la paroi 25 est remplacée par une paroi 250 non déformable mais déplaçable en translation suivant l'axe y . Cette paroi peut en outre comporter une avancée 251 formant un piston coopérant avec les parois fixes 23, 23₁, 23₂ pour générer la variation de pression souhaitée. Plus précisément, cette avancée 251 peut pénétrer dans le volume 20, générant ainsi une compression de l'atmosphère présente dans ce dernier.

[0101] Les contacts sont, là encore, sur le dessus, sur ou dans le substrat 102.

[0102] Les moyens d'actionnement sont les mêmes que dans l'exemple précédent. Le dispositif fonctionne donc de la même manière que ce qui a déjà été décrit ci-dessus. Un actionnement du deuxième système de peignes agit également sur le cadre mobile par l'intermédiaire du côté 48 et des côtés 44, 46, et donc sur la paroi 250 et le piston 251. Ce mode de réalisation peut lui aussi fonctionner avec un seul système de peignes.

[0103] Un troisième exemple est représenté en vue de côté et de dessus en figures 4A et 4B. La figure 4A est une vue en coupe le long d'un plan dont on voit la trace $A_1A'_1$ en figure 4B (vue de dessus).

[0104] Une différence par rapport à l'exemple des figures 2A - 2B réside dans les contacts 30_1 , $30'_1$, 32_1 qui sont ici en face arrière, c'est-à-dire sur ou dans le substrat 101. Une autre différence réside dans la structure de la paroi 25.

[0105] La structure de la paroi 25 est du type comportant une partie centrale rigide encadrée par deux parties 253, 255 formant « ressort », et qui sont déformables. Sous l'action des moyens d'actionnement, la partie rigide se déplace, les parties 253, 255 étant déformées. Ces parties ramènent également la partie rigide en position initiale lorsque les moyens d'actionnement reviennent à leur état initial, après une excitation. Ces parties 253, 255 forment des liaisons ressort aux extrémités de la partie rigide. On a ici un effet ou un mouvement dit de « piston » de la partie mobile. Mais, on pourrait aussi utiliser, dans le présent mode de réalisation, la forme de membrane, ou de paroi, déformable qui a été présentée ci-dessus en liaison avec les figures précédentes.

[0106] L'avantage d'une structure de type « piston » (comme représenté en figure 3 ou en figures 4A - 4B) par rapport à une « paroi déformable » (comme représenté en figures 2A - 2C) est que le volume d'air que la structure « piston » permet de déplacer est plus important pour une même amplitude de déplacement de la paroi. Par contre, dans la cas de la figure 3, on a une perte de charge aux extrémités du piston 251 que l'on a pas sur le piston 25 de la figure 4, du fait des portions 253, 255 formant ressort sur cette figure.

[0107] Les moyens d'actionnement sont les mêmes que dans l'exemple précédent. Des bras du guidage 56, 58 sont disposés ici dans le cadre mobile apporte ce qui permet de guider le mouvement de l'ensemble constitué par la paroi mobile, le cadre et les peignes, tout comme les bras 56 et 58 de la figure 2B. Le fait de les mettre à l'intérieur du cadre permet de gagner en compacité. Cette variante est permise ici du fait d'une reprise des contacts électriques en face arrière (notamment le contact 32_1). Ce n'était pas le cas des figures 2A - 2C.

[0108] Un quatrième exemple (figure 5, vue de dessus) met en oeuvre une excitation capacitive appliquée à deux membranes déformables 25, 25'.

[0109] La structure de la cavité 20 est différente de celle qui a été présentée ci-dessus, car elle comporte 2 parois mobiles ou déformables 25, 25', toutes deux disposées de manière à se déplacer ou se déformer selon

l'axe y.

[0110] Les extrémités de chacune des parois mobiles 25, 25' sont fixées à deux parois fixes 23_1 , 23_2 parallèles entre elles et c'est donc une déformation des parois mobiles qui aura lieu. Chacune de ces parois mobiles est d'une épaisseur, mesurée suivant l'axe y, suffisamment faible pour présenter la sensibilité voulue aux mouvements induits par les moyens d'actionnement dans le plan du dispositif.

[0111] La cavité comporte donc une paroi fixe 23" parallèle à la paroi 23' et perpendiculaire aux parois 23_1 , 23_2 , cette paroi 23" étant elle aussi percée d'un orifice permettant le passage d'un bras 40' reliant la deuxième paroi mobile 25 et au moins un deuxième ensemble de peignes 24_1 , $24'_1$, dont l'un est mobile et l'autre fixe. Un dispositif sans les parois 23', 23" est généralement réalisable dans le cadre de l'invention, la cavité étant en fait fermée par les parois 23, 25' et les parois fixes 23_1 , 23_2 . Ainsi, les deux bras 40, 40' se déplacent selon le même axe y, en fonction des tensions appliquées à leurs ensembles de peignes respectifs.

[0112] Si les moyens d'alimentation en tension 26, 26' appliquent la même tension aux deux systèmes de peignes, alors les deux parois 25, 25' s'éloignent l'une de l'autre.

[0113] Un tel dispositif peut aussi être réalisé et fonctionner avec seulement un des deux ensembles de peignes 24, 24' ou 24_1 , $24'_1$ (et une seule paroi déformable) mais moins efficacement qu'avec les deux ensembles de peignes 24, 24' et 24_1 , $24'_1$ de la figure 5. Dans cet exemple, le dispositif comporte en outre deux ensembles de peignes supplémentaires, chacun ayant des déplacements selon l'axe x. Chacun comporte, comme les ensembles de peignes déjà décrits ci-dessus, un peigne fixe $24'_a$, 24_a et un peigne mobile $24'_1a$, 24_a , les dents de l'un alternant avec les dents de l'autre. Chaque peigne fixe et relié à une partie fixe 52a, 52'a du dispositif, comportant des moyens 30a, 30'a formant moyens de connexion pour des moyens d'alimentation en tension 26a, 26'a.

[0114] Un tel dispositif peut aussi être réalisé et fonctionner avec seulement un des deux ensembles de peignes supplémentaires 24a, 24'a ou 24_1a , $24'_1a$ mais moins efficacement qu'avec les deux ensembles de peignes supplémentaires 24a, 24'a ou 24_1a , $24'_1a$ de la figure 5.

[0115] Chacun de ces deux ensembles supplémentaires de peignes est disposé de manière à ce que ses dents soient alignées dans le plan zx, et à ce qu'un mouvement du peigne mobile ait lieu suivant l'axe x.

[0116] Les deux ensembles de peignes supplémentaires peuvent donc être obtenus par rotation de 90° autour de l'axe z des 2 ensembles de peignes 24, 24', 24_1 , $24'_1$.

[0117] Le dispositif comporte encore un plot de connexion 32 lié à sa partie fixe, ici à proximité des parois 23 fixes qui délimitent la cavité 20.

[0118] Des moyens de couplage spécifiques 41a, 41b, 41c, 41d sont en outre prévus pour relier les deux en-

sembles de peignes supplémentaires et les parois mobiles 25, 25'.

[0119] Plus précisément, pour chaque peigne mobile supplémentaire 24a, 24'₁a est prévu un ensemble de 2 bras, les bras 41a, 41b pour le peigne mobile 24a et les bras 41c, 41d pour le peigne mobile 24'₁a.

[0120] Chacun des bras 41a, 41b relie le peigne mobile 24a, par exemple le point milieu D du bras 42a, et une zone de l'un des bras 40, 40', par exemple :

- l'extrémité du bras 40, opposée à la paroi 25 et disposée à proximité du, ou sur le, bras 42 du peigne mobile 24, au point milieu C du bras 42 ou au voisinage de ce point,
- et l'extrémité du bras 40', opposée à la paroi 25' et disposée à proximité du, ou sur le, bras 42' du peigne mobile 24'₁ au point milieu C' du bras 42' ou au voisinage de ce point.

[0121] Chacun des bras 41c, 41d relie le peigne mobile 24'₁a, par exemple le point milieu D' du bras 42'a, et une zone de l'un des bras 40, 40', par exemple là encore :

- l'extrémité du bras 40, opposée à la paroi 25 et disposée à proximité du, ou sur le, bras 42 du peigne mobile 24, au point milieu C du bras 42 ou au voisinage de ce point,
- et l'extrémité du bras 40', opposée à la paroi 25' et disposée à proximité du, ou sur le, bras 42' du peigne mobile 24'₁, au point milieu C' du bras 42' ou au voisinage de ce point.

[0122] En d'autres termes, les quatre bras de transmission 41a, 41b, 41c, 41d sont orientés en biais par rapport aux axes x et y (par exemple à 45° par rapport à ces axes), et relient les points C et C', respectivement situés aux bords des bras 42, 42', aux points D et D', respectivement situés au bord des bras 4a2, 42'a.

[0123] Ces 4 bras de transmission forment sensiblement un losange. Avantagement, au repos, la distance entre les points D et D' est identique à la distance entre les points C et C', les bras de transmission formant ainsi un carré.

[0124] Lorsqu'on applique, par l'intermédiaire des moyens 26a, 26'a des tensions qui permettent d'appliquer aux peignes mobiles 24a, 24'₁a un mouvement dans le plan du dispositif, selon l'axe x, tendant à écarter ces peignes de la cavité 20, alors l'action combinée des bras 41a, 41b, 41c, 41d et des bras 40, 40' tend à ramener les parois 25, 25' vers le centre de la cavité 20, selon l'axe y (car la longueur des bras 41d, 41b reste constante).

[0125] De préférence, on applique, par l'intermédiaire des moyens 26a, 26'a une tension tendant à créer une impulsion de pression dans la cavité 20, tandis qu'on applique aux moyens 26, 26' une tension tendant à appliquer une impulsion en dépression dans la cavité 20.

[0126] Dans ce mode de réalisation, comme dans les

précédents, tant la cavité 20, ses parois, que les moyens d'actionnement, ici comportant un ensemble de quatre paires de peignes, sont réalisés dans le substrat intermédiaire 100.

[0127] La structure de 2 membranes déformables 25, 25' peut être mise en oeuvre dans la cadre d'une variante de réalisation de la figure 2B, c'est-à-dire avec seulement deux ensembles de peignes comme illustré sur cette figure. Mais, dans ce cas on ne peut actionner les membranes que pour générer des impulsions en dépression.

[0128] Un cinquième exemple de réalisation, illustré en figure 6 en vue de dessus, comporte des moyens pour réaliser une excitation thermique (par effet bimorphe ou asymétrique) appliquée à une membrane déformable. Ces moyens sont par exemple de type actionneur thermique ou piézoélectrique. La structure de ces moyens et leur mode de fonctionnement est par exemple décrite dans l'article « Time and frequency response of two-arm micromachined thermal actuators - R Hickey et al- 2003 J. Micromech. Microeng. 13-40 ». Des informations concernant le fonctionnement de l'actionneur bimorphe sont disponibles à l'adresse : <http://www.pi-france.fr/PI%20Universite/Page20%20.htm>. De manière résumée, une contrainte dans le plan dans une des couches d'un empilement multi-couches (si il y en a deux, on parle d'un bimorphe) induit un déplacement de cet empilement dans la direction perpendiculaire au plan des couches.

[0129] Deux ensembles de moyens pour réaliser une excitation thermique sont représentés en figure 6, mais il peut y en avoir un seul, auquel cas on n'aura un actionnement que dans un sens (soit en pression soit en dépression).

[0130] Un sixième exemple de réalisation est représenté en figures 7A (vue en coupe, de côté) et 7B (vue de dessus).

[0131] Il comporte des moyens pour réaliser un actionnement électrostatique, de type piston plat, sur plusieurs cavités 20, 20', 20'', 20''' en parallèles (notamment pour cMUT). Ces cavités, ou leurs ouvertures 21 correspondantes, peuvent être fermées par une membrane souple 281, qui permet par exemple d'éviter l'entrée de poussières ou d'humidité dans le dispositif dans le cas d'un fonctionnement de type haut-parleur. Dans le cas d'un fonctionnement en cMUT, cette membrane permet également de sceller le dispositif sous vide (un cMUT travaillant à la résonance). On peut noter que cette membrane 281 peut également être disposée sur l'autre face du substrat 102 comme illustré par la membrane 281' en traits interrompus de la figure 7A. Ce système de fermeture de la cavité 21 peut aussi être mis en oeuvre dans le cadre des modes de réalisation précédents.

[0132] Ce dispositif comporte en outre deux cavités 280, 280', formant chacune un « Back volume », fermées et placées sur le dessus du composant, dans le substrat 102. Ces deux aspects, membrane souple fermant une ou plusieurs cavités ou les ouvertures 21 correspondantes, et cavité formant « Back volume », fermée et placée

sur le dessus du composant, peuvent être appliqués aux autres exemples de réalisation de la présente invention.

[0133] Dans ce mode de réalisation, on retrouve la structure de la figure 3, avec son piston 251 mais, cette fois, non pas une cavité 20, mais 4 cavités 20', 20'', 20''' disposées en parallèle, l'une à côté de l'autre, selon la direction x, c'est-à-dire perpendiculairement au mouvement des peignes mobiles 24, 24₁. Deux cavités voisines peuvent avoir une paroi latérale en commun. Ainsi les cavités 20 et 20' ont la paroi 23' en commun, les cavités 20' et 20'' ont la paroi 23'' en commun, les cavités 20'' et 20''' ont la paroi 23''' en commun. Chaque cavité a une ouverture tournée vers le piston 251, ce dernier venant fermer ou ouvrir progressivement toutes les cavités simultanément. Une seule paroi 23 délimite les cavités sur le côté opposé à leurs ouvertures et au piston 250.

[0134] On a ajouté dans cet exemple une deuxième paire de bras 56', 58', aux fins de guidage du mouvement du cadre.

[0135] Dans le cas d'une utilisation de ce type de composant pour des applications cMUT, les peignes interdigués servent à la fois pour la génération des ondes ultrasonores (fonctionnement en émission, comme décrit précédemment), mais également pour la détection des ondes ultrasonores réfléchies (fonctionnement en réception) servant à l'analyse. Dans le cas d'un cMUT, à la fréquence de résonance de la structure est d'environ quelques MHz, par exemple comprise entre 1MHz et 10 MHz. Pour des applications cMUT les cavités 20, 280 sont scellées sous vide (via la membrane 281)

[0136] En figure 10 est représenté encore un autre mode de réalisation, dans lequel les moyens d'activation, encore de type capacitif, sont réalisés par un système de peignes, dont les dents sont, cette fois, dirigées suivant l'axe x, non pas suivant l'axe y comme en figures 2A - 2B. Un bras 40, sensiblement perpendiculaire à la paroi 25, supporte les dents de la partie mobile du peigne 27, deux parties fixes 27', 27'' du peigne étant disposées, par rapport à chaque rangée de dents, comme déjà expliqué ci-dessus en liaison avec la figure 2B.

[0137] Selon une variante de ce mode de réalisation, les parties fixes sont dédoublées, avec des parties fixes 27', 27'' et 27'₁, 27''₁, destinées à recevoir des tensions V₁ et V₂ différentes l'une de l'autre. Les bras 56, 58 de guidage peuvent être prévus, par exemple entre les moyens auxquels on peut appliquer une tension V₁ et ceux auxquels on peut appliquer une tension V₂. Le fait de pouvoir appliquer 2 tensions différentes va permettre d'actionner, avec l'une d'entre elles, la membrane suivant une direction, par exemple vers la droite, en compression de la cavité 20, et d'actionner, avec l'autre tension, la membrane suivant une autre direction, par exemple vers la gauche, en dépression de la cavité 20.

[0138] De préférence, comme illustré sur la figure 11, on réalise des écarts dissymétriques, au repos, entre chaque électrode mobile et les électrodes fixes qui l'encadrent. Par exemple, l'écart entre une électrode mobile 240' et la première électrode fixe 240₁ voisine, (respec-

tivement la première électrode fixe 240₂ voisine) est de l'ordre de 1/3 (respectivement 2/3) de la distance entre ces deux électrodes voisines.

[0139] Les figures 8A-8G illustrent un exemple d'un procédé pour réaliser un dispositif selon l'invention. Dans cet exemple, les contacts sont en face avant et la cavité 28 est en face arrière.

[0140] Il s'agit d'un procédé avec report d'un second substrat.

[0141] On part (figure 8A) d'un substrat SOI (avec un oxyde enterré (BOX) 103, par exemple d'épaisseur 0.5 μm). En variante, on part d'un substrat standard 101, sur lequel on réalise un dépôt 103 d'une couche sacrificielle (oxyde) et un dépôt 100 en matériau semi-conducteur, par exemple en silicium ou en SiGe poly-cristallin.

[0142] Puis un dépôt de métal (eux : Ti/Au ou AlSi,...) est réalisé, ainsi qu'une lithographie et une gravure des contacts 30, 30'. On peut réaliser les contacts en face arrière par la même technique.

[0143] On réalise ensuite (figure 8B) une lithographie et une gravure de la couche de silicium superficielle pour définir la cavité acoustique 20 et la structure mécanique d'activation, comportant notamment la paroi mobile ou déformable 25 et les éléments d'actionnement (peignes capacitifs ou moyens d'excitation thermique) dont les détails ne sont pas représentés ici : les masques de gravure utilisés sont adaptés pour réaliser les moyens adéquats en fonction du type d'actionnement mis en oeuvre.

[0144] Par ailleurs, sur la base d'un substrat Si classique 102, on réalise un dépôt 104 d'oxyde de Silicium (SiO₂) d'épaisseur environ 0.8 μm (figure 8C).

[0145] On réalise ensuite une lithographie et une gravure (partielle ou complète) de l'oxyde 104 et du silicium 102 en vue de former des ouvertures 106, 106', 106'' pour l'entrée de la pression et l'ouverture des contacts.

[0146] Les 2 substrats sont ensuite alignés (figure 8D) et scellés (par scellement direct, ou eutectique, ou polymère, ou anodique,...).

[0147] On réalise ensuite (figure 8E) une lithographie et une gravure des ouvertures des cavités 28, 28' en face arrière (« back volume »).

[0148] Par amincissement de la face avant (« back-grinding ») on forme une ouverture des cavités 21 et des contacts 30, 30' (figure 8F).

[0149] Enfin on libère (figure 8G) la structure mobile par retrait de parties des couches sacrificielles d'oxyde 103, 104 par gravure HF (vapeur par exemple).

[0150] Suivant le même déroulement, le procédé commence avec un substrat 300 standard (figure 9A), par exemple en matériau semi-conducteur tel que du silicium.

[0151] Sur ce substrat, on réalise un dépôt d'une couche sacrificielle 301 (figure 9B), une couche d'oxyde par exemple, qui, là encore dans un exemple, peut-être d'épaisseur égale à environ 0,5 μm.

[0152] Puis on dépose, sur la couche sacrificielle 301, une couche active 302 de Si-poly ou SiGe-Poly (figure 9C) dont l'épaisseur peut être, à titre d'exemple, d'envi-

ron 10 μm . On reprend ensuite le procédé précédent à partir de la figure 8A.

[0153] D'une manière générale, les couches sacrificielles 103, 104 sont par exemple comprises entre quelques dizaines de nm et quelques microns, par exemple entre 100 nm ou 500 nm et 1 μm ou 2 μm . Les couches actives 100, 101, 102 (chacune est par exemple en Si, ou en SiGe, ...) sont comprises entre quelques μm et quelques dizaines de μm , voire quelques centaines de μm , par exemple entre 5 μm et 10 μm ou 50 μm ou 200 μm .

[0154] Dans le cas d'une cavité fermée réalisé sur le substrat 102 (structure de la figure 7A), on peut bénéficier de l'étape de gravure de l'ouverture 21: les cavités 280, 280' peuvent être gravé en même temps que cette ouverture 21.

[0155] Dans la cas d'une cavité ouverte dans le substrat 101 (structure de la figure 4 par exemple), on est obligé de graver l'ouverture 28 toute l'épaisseur du substrat 101. Cela complique le procédé de réalisation, mais le « back-volume » est dans ce cas plus efficace que dans le cas de la figure 7A.

[0156] L'invention s'applique à la réalisation de générateurs d'impulsions de pression pour haut-parleur digital, notamment pour des applications grand public (téléphonie mobile, jeux, lecteur MP3, téléviseur,...).

[0157] Elle s'applique aussi à des générateurs de pulses ultrasoniques pour cMUT, notamment pour des applications médicales ou industrielles (sonde ultrasonore, échographie, contrôle non destructif,...).

[0158] Elle peut aussi être mise en oeuvre en tant qu'actionneur pneumatique (par exemple comme pompe,...).

Revendications

1. Dispositif de génération d'énergie acoustique, de type MEMS et/ou NEMS ou cMUT, comportant :

- au moins une première cavité déformable (20, 20', 20", 20'''), réalisée dans au moins une première couche ou au moins un premier substrat (100), s'étendant suivant un plan xy, dit plan du dispositif, et délimitée par au moins une paroi latérale, mobile ou déformable (25, 25', 25", 25'''), et des moyens (21, 210), pour transmettre au moins une impulsion de pression ou de dépression, produite dans la première cavité, à une atmosphère ambiante,
- des moyens (24, 24', 24₁, 24'₁, 24a, 24'a, 24_{1a}, 24'_{1a}, 66, 66') pour actionner un déplacement ou une déformation, dans le plan du dispositif, de ladite paroi latérale, mobile ou déformable.

2. Dispositif selon la revendication 1, comportant en outre au moins une cavité secondaire, ou cavité tampon (28, 28', 28''), en partie en communication avec

la première cavité, au moins une cavité secondaire pouvant notamment être réalisée dans le plan d'un deuxième substrat (101, 102), s'étendant suivant un plan parallèle au plan du dispositif, et différent du premier substrat, ou étant réalisée dans le plan du premier substrat.

3. Dispositif selon la revendication 2, ladite cavité secondaire étant réalisée dans le plan d'un deuxième substrat (101, 102), s'étendant suivant un plan parallèle au plan du dispositif, et différent du premier substrat :

- le deuxième substrat (102) comportant en outre les moyens (21, 210) pour faire communiquer la première cavité avec une atmosphère ambiante,
- ou bien le deuxième substrat (101) étant disposé d'un côté, parallèle au plan du dispositif, du premier substrat, un troisième substrat (102) étant disposé d'un autre côté, parallèle au plan du dispositif, du premier substrat, ce troisième substrat comportant les moyens (21, 210) pour faire transmettre au moins une impulsion de pression ou de dépression, produite dans la première cavité, à une atmosphère ambiante.

4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, les moyens d'actionnement comportant :

- des moyens de type capacitif, par exemple comportant au moins un premier ensemble de peignes électrostatiques, comportant lui-même un premier peigne, mobile dans le plan du capteur et un deuxième peigne, fixe, les dents du premier peigne et celles du deuxième peigne étant alternées, et des moyens (26, 26', 30, 30', 32) pour appliquer une tension d'activation pour déplacer le peigne mobile par rapport au peigne fixe,
- ou de type à excitation thermique, par exemple par effet bimorph ou asymétrique.

5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, comportant des premiers moyens d'activation (24, 24'), et des deuxièmes moyens d'activation (24₁, 24'₁), disposés de part et d'autre de la première cavité déformable dans le plan du premier substrat (100) et permettant d'actionner ladite paroi mobile ou déformable suivant deux directions opposées.

6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, les moyens (24, 24', 24₁, 24'₁, 24a, 24'a, 24_{1a}, 24'_{1a}) pour actionner un déplacement ou une déformation de la paroi mobile ou déformable, comportant :

- des moyens (24, 24', 24₁, 24'₁) pour engendrer au moins une première force suivant une pre-

- mière direction sensiblement perpendiculaire à ladite paroi,
- des moyens (24a, 24'a, 24₁a, 24'₁a) pour engendrer au moins une deuxième force suivant une deuxième direction sensiblement perpendiculaire à la première direction,
 - et des moyens (41a, 41b, 41c, 41d) pour convertir ladite deuxième force en une force suivant ladite première direction.
7. Dispositif selon la revendication 4, comportant en outre :
- un deuxième ensemble de peignes capacitifs, le premier ensemble de peignes capacitifs et le deuxième ensemble de peignes capacitifs étant disposés de part et d'autre de la première cavité déformable dans le plan du premier substrat (100), et comportant chacun un peigne mobile suivant une première direction,
 - et au moins un troisième ensemble de peignes capacitifs, lui aussi dans le plan du premier substrat (100), dont un peigne mobile est mobile suivant une direction perpendiculaire à la première direction.
8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7, comportant plusieurs premières cavités déformables (20, 20', 20", 20''') disposées en parallèle, au moins deux de ces cavités ayant des moyens d'activation communs.
9. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 8, les moyens (21) pour transmettre au moins une impulsion de pression ou de dépression, produite dans la première cavité, à une atmosphère ambiante, comportant une ouverture unique (21) disposée en regard de chaque cavité déformable (20, 20', 20", 20''') ou bien une membrane (281) disposée sur, ou en regard de, ladite cavité déformable.
10. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, au moins une paroi mobile ou déformable comportant deux extrémités latérales, et :
- étant encastrée ou fixée à ses deux extrémités latérales,
 - ou étant rigide, et maintenue à ses deux extrémités latérales par des éléments déformables (253, 255),
 - ou étant rigide, et déplaçable en translation.
11. Procédé pour réaliser un dispositif MEMS et/ou NEMS ou cMUT de génération d'énergie acoustique, comportant, dans cet ordre ou dans un autre ordre :
- la réalisation, dans au moins une première couche ou dans au moins un premier substrat (100), s'étendant suivant un plan xy, dit plan du dispositif, d'au moins une première cavité déformable (20, 20', 20", 20''') pour recevoir une atmosphère ambiante, délimitée par une au moins une paroi latérale, mobile ou déformable (25, 25', 25", 25'''),
 - la réalisation de moyens (24, 24', 24₁, 24'₁, 24a, 24'a, 24₁a, 24'₁a, 66, 66') d'activation d'un déplacement ou d'une déformation de ladite paroi latérale, mobile ou déformable dans le plan du dispositif,
 - la réalisation de moyens (21), pour faire communiquer la cavité avec une atmosphère ambiante.
12. Procédé selon la revendication 11, comportant en outre la réalisation d'au moins une cavité secondaire (28, 28', 28", 28'''), ou cavité tampon, en partie en communication avec la première cavité, au moins une cavité secondaire pouvant être réalisée dans le plan d'un deuxième substrat, s'étendant suivant un plan parallèle au plan du dispositif, et différent du premier substrat, ou étant réalisée dans le plan du premier substrat.
13. Procédé selon la revendication 12, le premier substrat et le deuxième substrat étant assemblés par l'intermédiaire d'une couche diélectrique (103) pour former un substrat de type SOI.
14. Procédé selon la revendication 13, comportant un assemblage du premier substrat avec un troisième substrat, s'étendant suivant un plan parallèle au plan du dispositif, pour former lesdits moyens (21), pour faire communiquer la première cavité avec une atmosphère ambiante.
15. Procédé selon l'une des revendications 11 à 14, les moyens (24, 24', 24₁, 24'₁, 24a, 24'a, 24₁a, 24'₁a, 66, 66') d'activation d'un déplacement ou d'une déformation de ladite paroi mobile ou déformable étant réalisés au moins en partie dans le premier substrat.

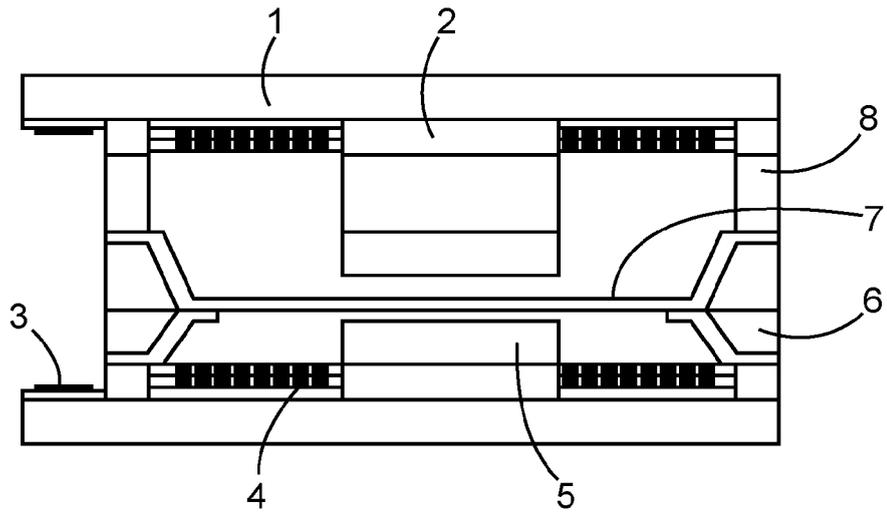


FIG.1A

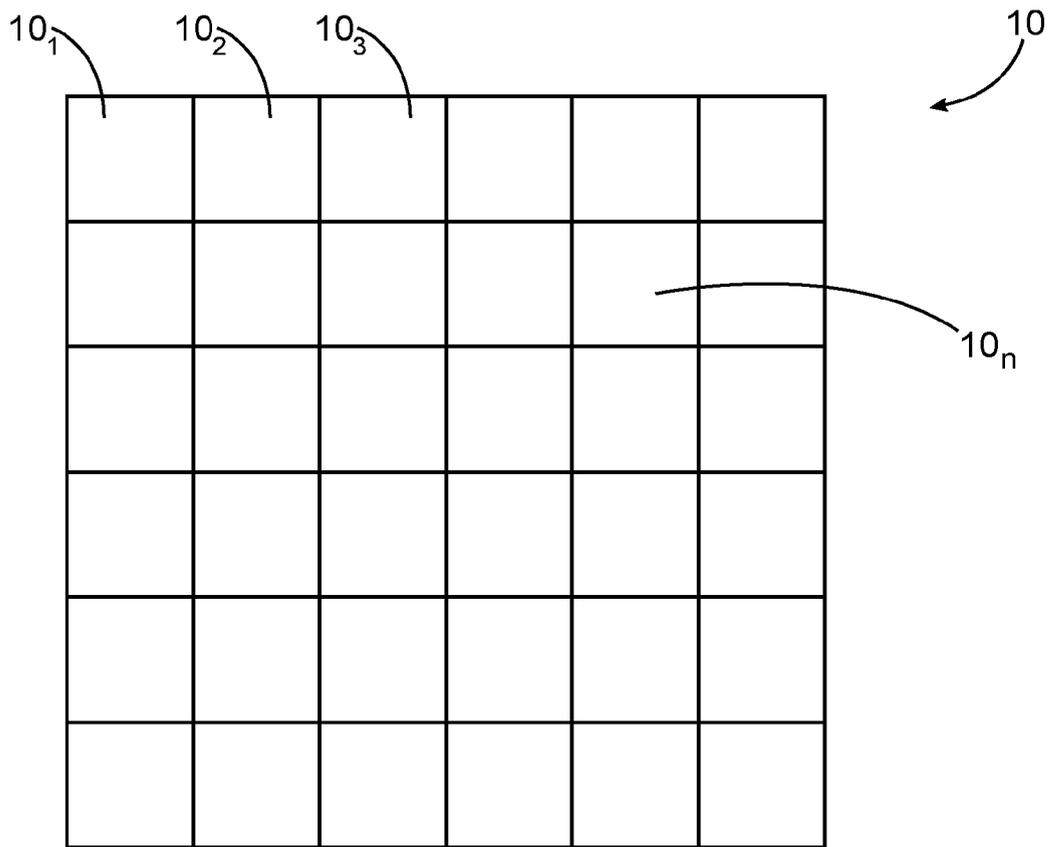


FIG.1B

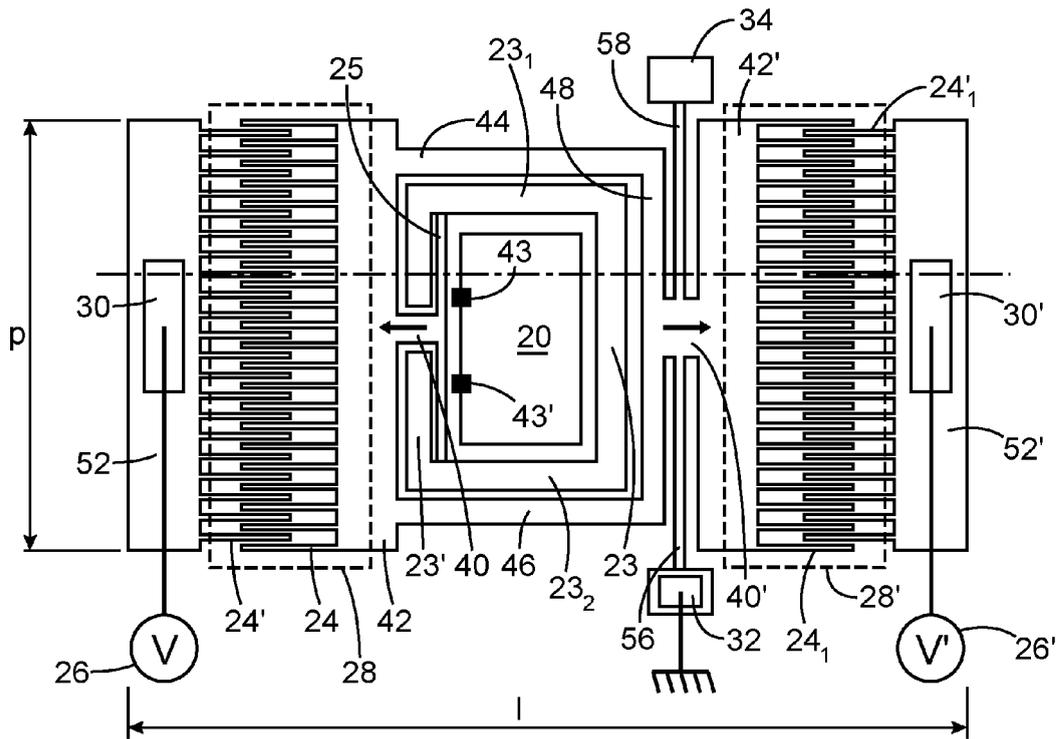
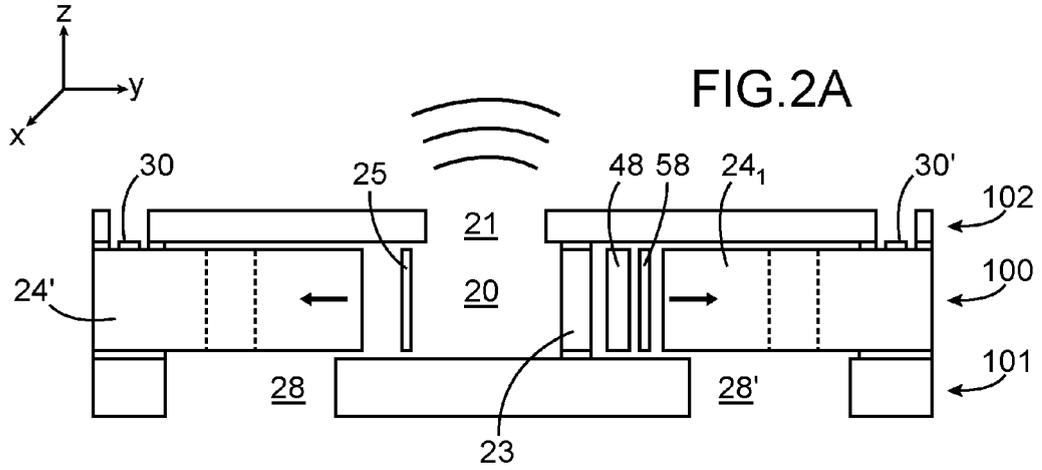


FIG. 2B

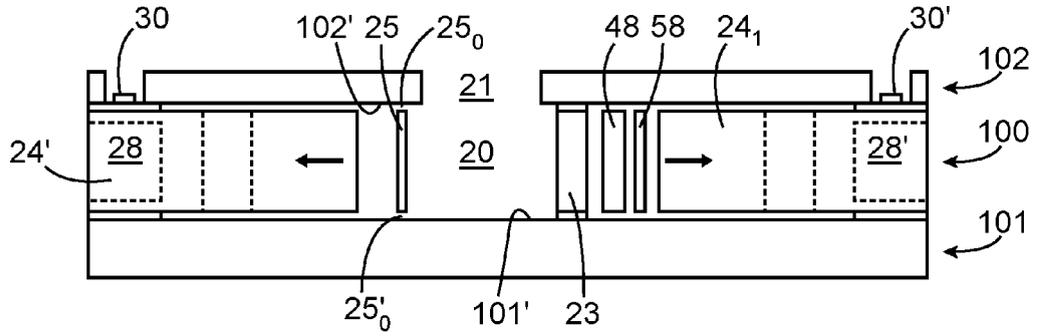


FIG. 2C

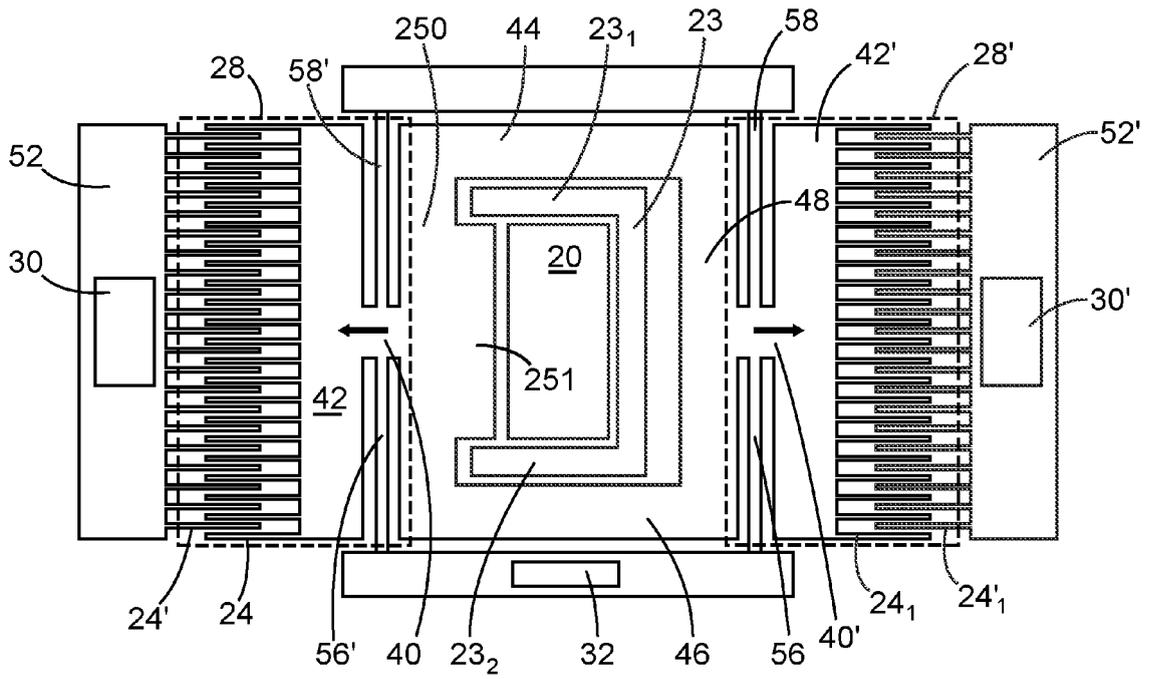


FIG. 3

FIG.4A

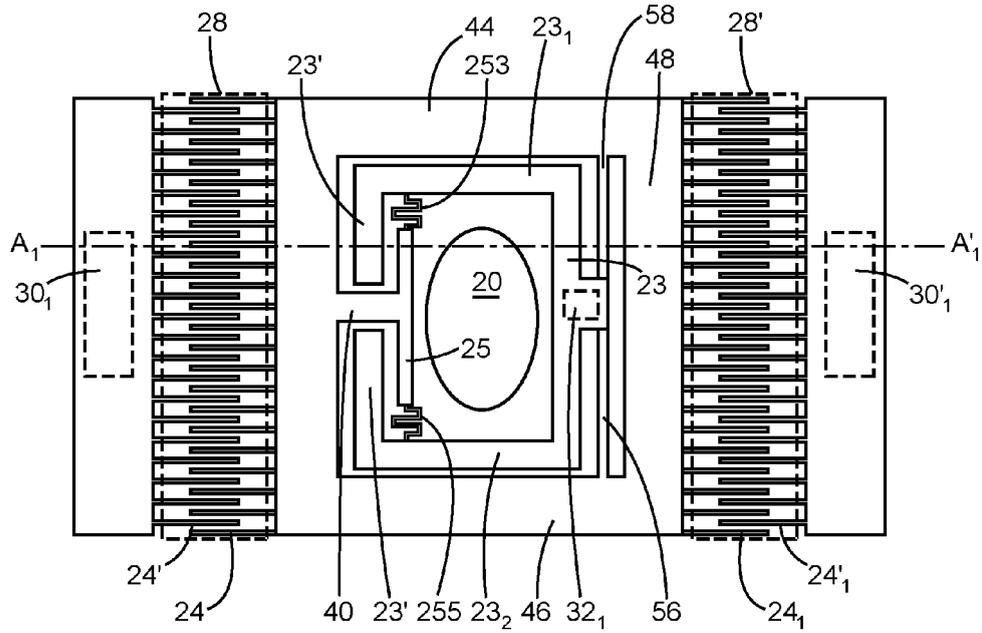
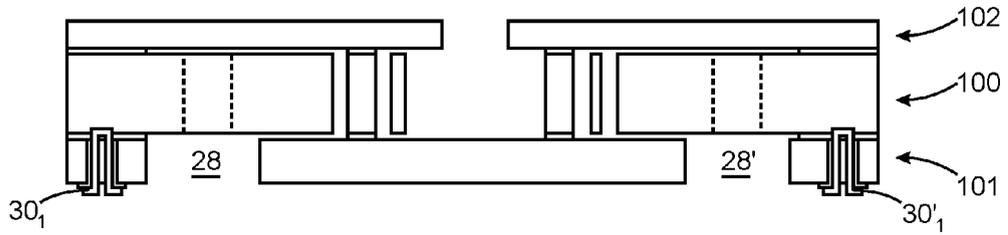


FIG.4B

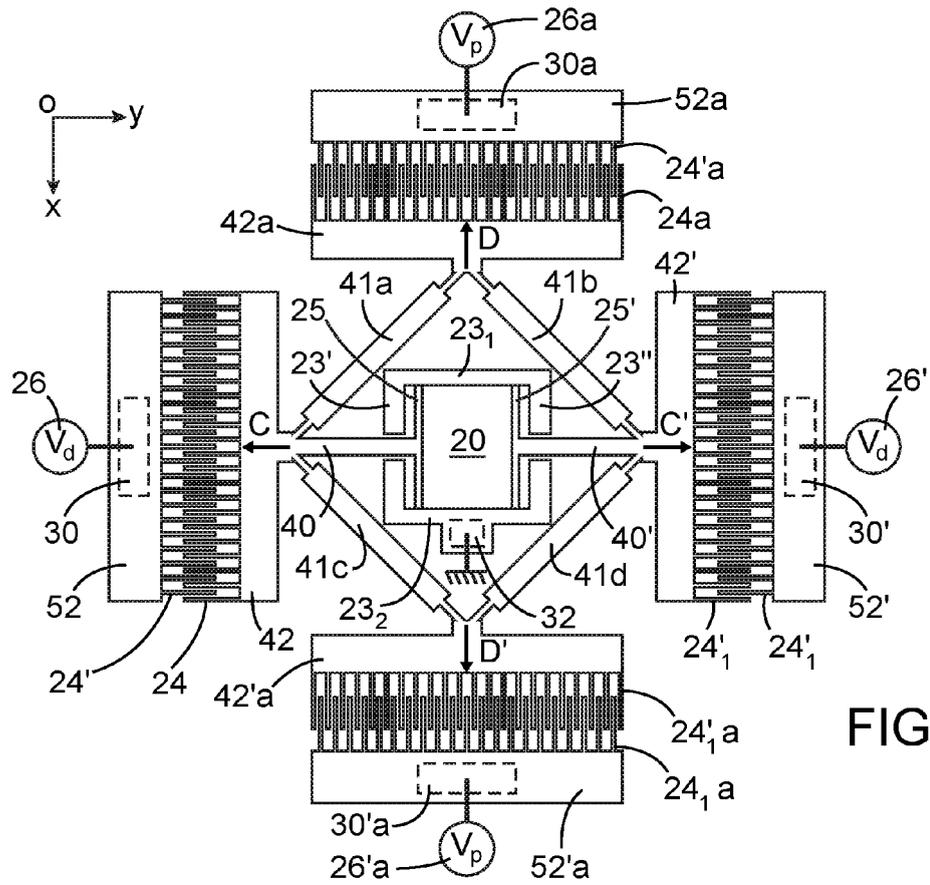


FIG. 5

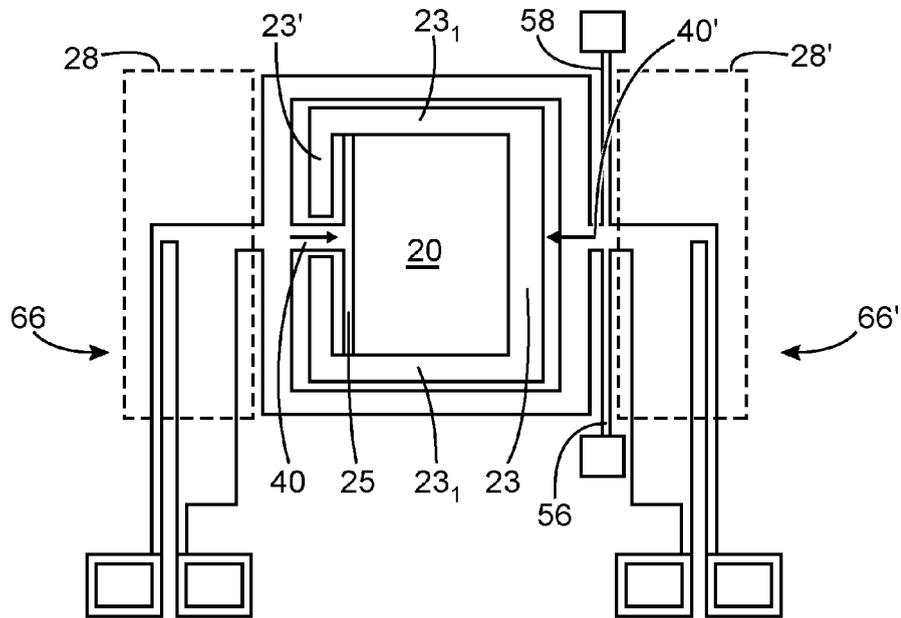


FIG. 6

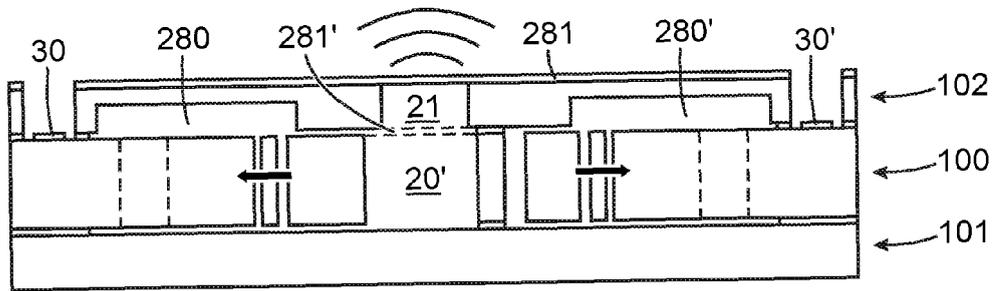


FIG. 7A

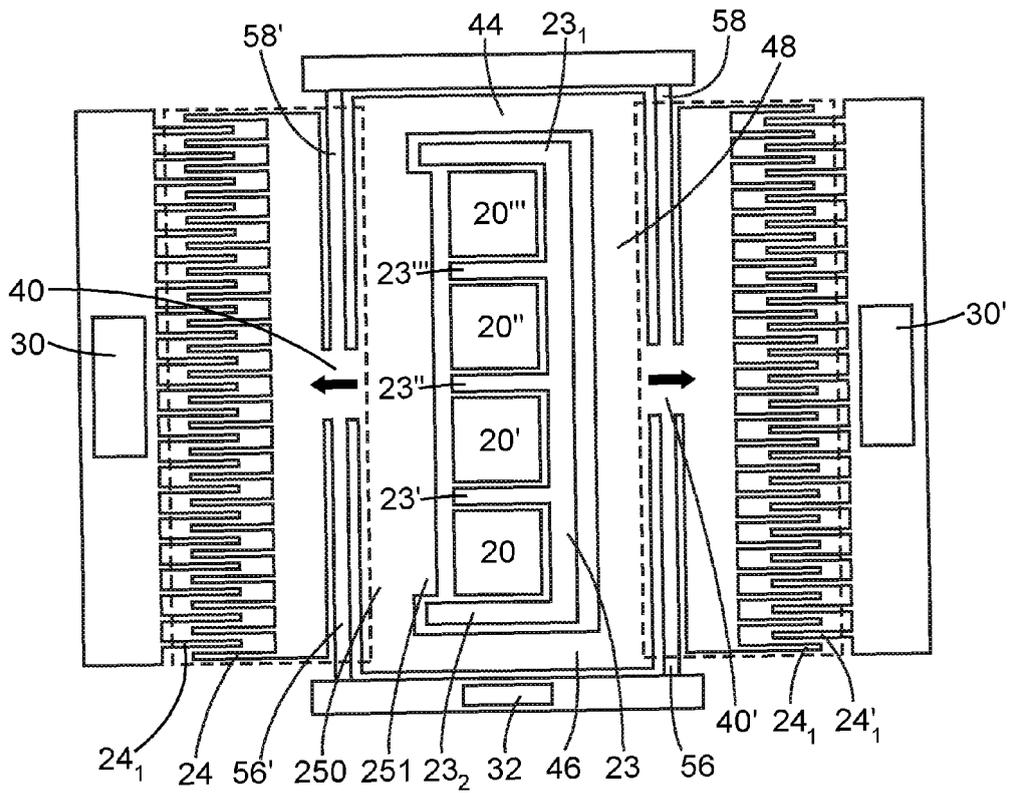


FIG. 7B



Fig. 8A

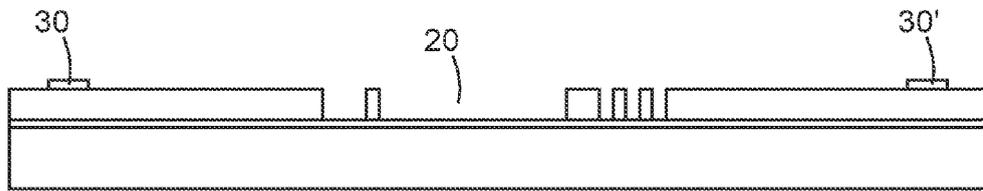


Fig. 8B

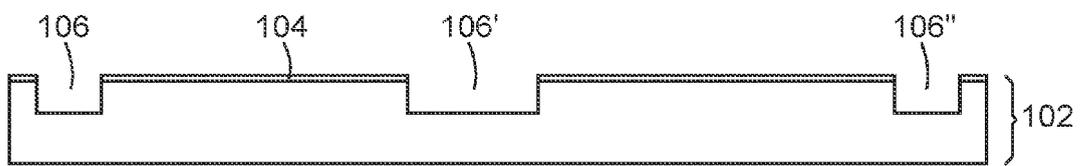


Fig. 8C

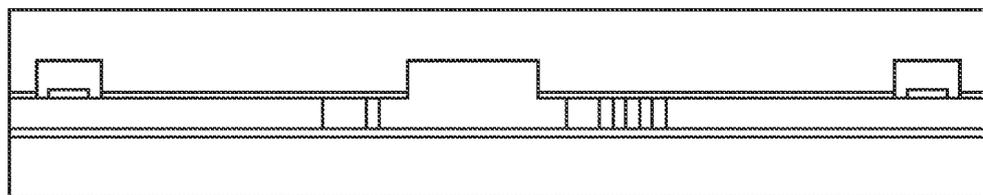


Fig. 8D

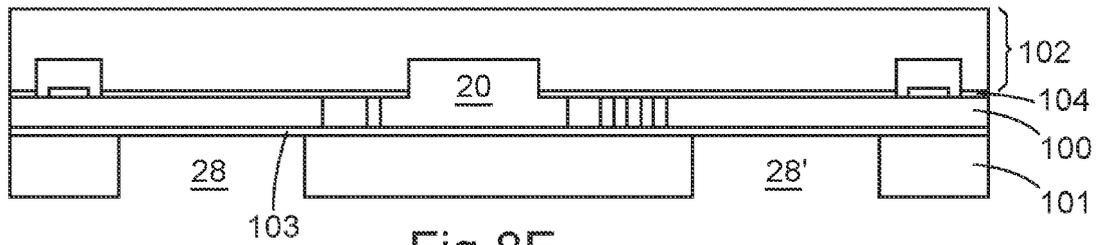


Fig.8E

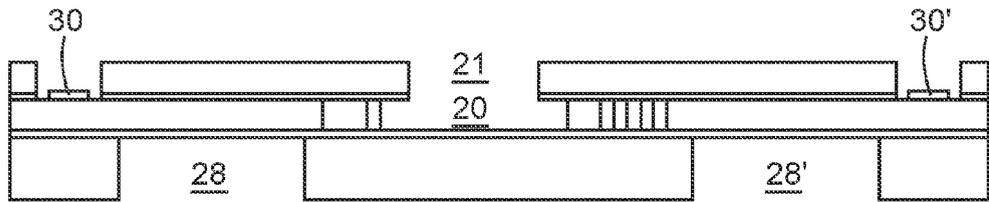


Fig.8F

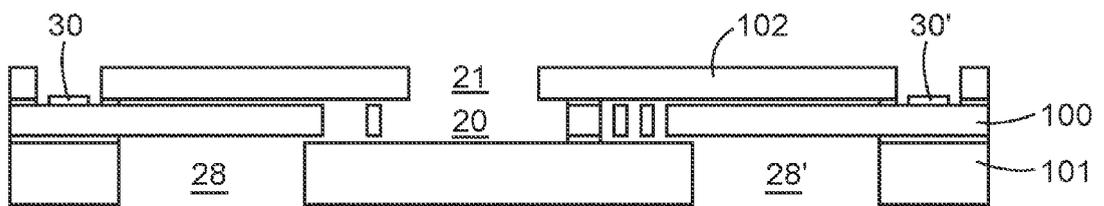


Fig.8G



Fig.9A

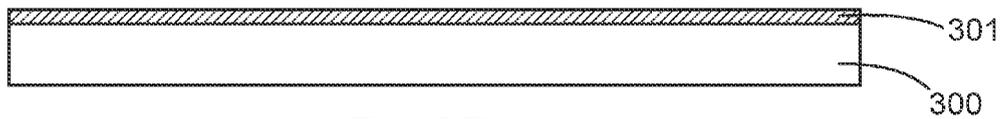


Fig.9B

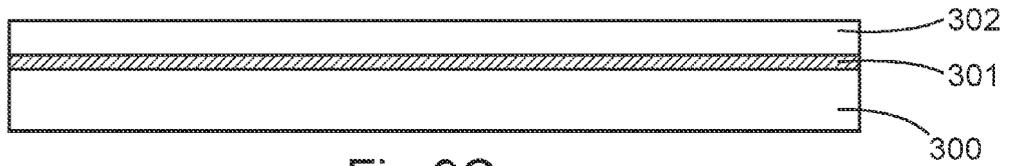


Fig. 9C

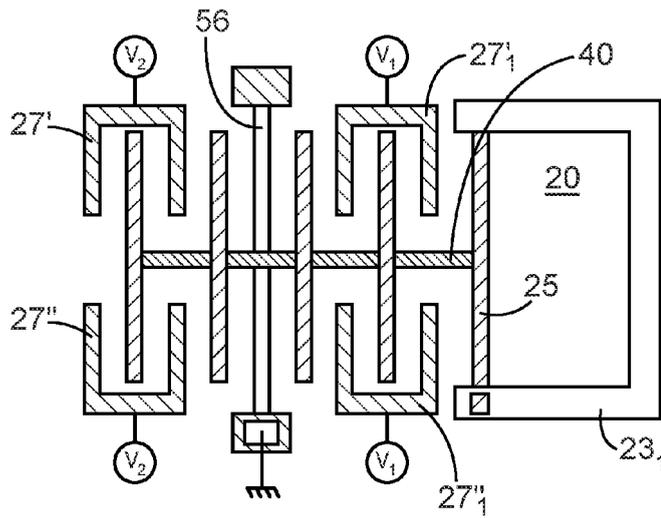


Fig. 10

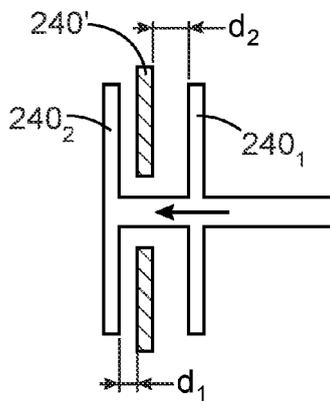


Fig. 11

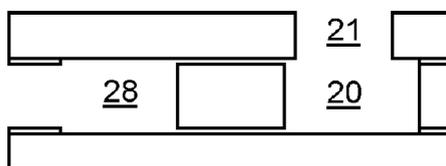


Fig. 12A

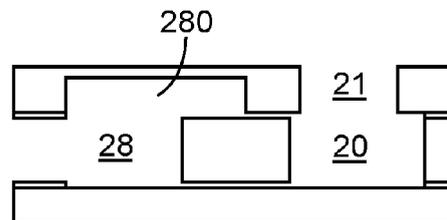


Fig. 12B



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

 Numéro de la demande
EP 11 17 4599

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	WO 01/19133 A1 (MICROTRONIC AS [DK]; MUELLENBORN MATTHIAS [DK]; SCHEEL PETER U [DK]) 15 mars 2001 (2001-03-15) * figure 1 * * page 6, ligne 6 - page 7, ligne 19 * -----	1-15	INV. H04R19/00 H04R23/00 H04R17/00 B06B1/02 H04R31/00
A	US 2008/123242 A1 (ZHOU TIANSHENG [CA]) 29 mai 2008 (2008-05-29) * alinéa [0046] - alinéa [0047]; figures 14-16 * -----	1-15	ADD. H04R1/00
A	WO 2010/038229 A2 (AUDIO PIXELS LTD [IL]; COHEN YUVAL [IL]; KAPLAN SHAY [IL]; LEWIN DANIE) 8 avril 2010 (2010-04-08) * page 15, ligne 4 - page 17, ligne 18; figures 1a-1b,2,3a-3d * -----	1-15	
A	US 2010/002543 A1 (SCHLOSSER ROMAN [DE] ET AL) 7 janvier 2010 (2010-01-07) * figure 3 * * alinéa [0004] * * alinéa [0015] - alinéa [0018] * -----	1-15	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
A	JP 58 050895 A (NIPPON ELECTRIC CO) 25 mars 1983 (1983-03-25) * abrégé * -----	1-15	H04R B06B
1 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 24 octobre 2011	Examineur Guillaume, Mathieu
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 03.02 (P04C02)

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

EP 11 17 4599

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.

24-10-2011

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0119133	A1	15-03-2001	AT 243406 T	15-07-2003
			AU 6984000 A	10-04-2001
			CA 2383901 A1	15-03-2001
			CN 1387740 A	25-12-2002
			DE 60003441 D1	24-07-2003
			DE 60003441 T2	29-04-2004
			DK 1219136 T3	25-08-2003
			EP 1219136 A1	03-07-2002
			JP 2003508997 A	04-03-2003
			PL 354000 A1	15-12-2003

US 2008123242	A1	29-05-2008	AUCUN	

WO 2010038229	A2	08-04-2010	EP 2351381 A2	03-08-2011
			US 2011182150 A1	28-07-2011

US 2010002543	A1	07-01-2010	DE 102005056759 A1	31-05-2007
			EP 1958480 A1	20-08-2008
			WO 2007062975 A1	07-06-2007
			JP 2009517940 A	30-04-2009

JP 58050895	A	25-03-1983	AUCUN	

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.

Littérature non-brevet citée dans la description

- **DE NEUMANN J J et al.** CMOS-MEMS membrane for audio frequency actuation. *IEEE Int. Proc. MEMS 2001*, 2001, 236-9 **[0005]**
- **J.REHDER et al.** Balance membrane micromachined loudspeaker for hearing instrument application. *J. Micromech. Microeng.*, 2001, vol. 11, 334-338 **[0006]**
- Digital Sound Reconstruction Using Arrays Of Cmos-Mems Microspeakers. *TRANSDUCERS '03 - The 12th International Conference on Solid State Sensors, Actuators and Microsystems*, 08 Juin 2003 **[0011]**
- **YONGLI HUANGA et al.** Capacitive micromachined ultrasonic transducers (CMUTs) with isolation posts. *Ultrasonics*, Mars 2008, vol. 48 (1), 74-81 **[0017]**