

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 123 341

②1 N° d'enregistrement national : 21 05646

⑤1 Int Cl⁸ : B 81 B 3/00 (2020.12)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 31.05.21.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 02.12.22 Bulletin 22/48.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR.

⑦2 Inventeur(s) : MOLLARD Laurent, NICOLAS Stéphane et SAINT-PATRICE Damien.

⑦3 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public à caractère industriel et commercial.

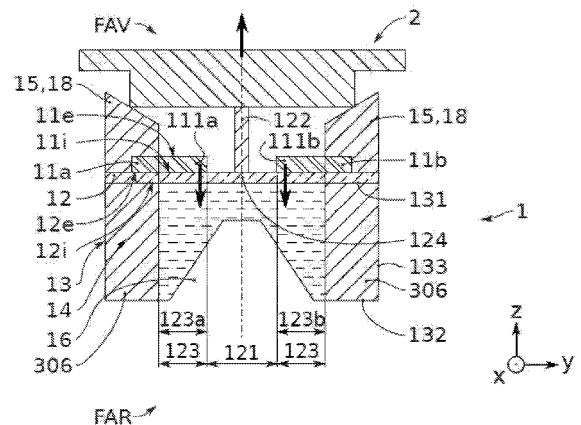
⑦4 Mandataire(s) : CABINET HAUTIER.

⑤4 Microsystème électromécanique.

⑤7 Titre : Microsystème électromécanique

L'invention concerne un microsystème électromécanique 1 comprenant deux transducteurs électromécaniques 11a et 11b, une membrane déformable 12 et une cavité 13 contenant hermétiquement un milieu déformable 14 conservant un volume constant sous l'action d'un changement de pression externe. La membrane forme une paroi de la cavité et présente au moins une zone libre 121 de se déformer. Chaque transducteur est configuré de sorte que son mouvement soit fonction dudit changement de pression externe, et inversement. Chaque transducteur s'inscrit dans une zone périphérique 123 entourant la zone libre et en forme une portion 123a, 123b de secteur angulaire. La zone libre étant destinée à coopérer avec un organe externe 2 de sorte que sa déformation induise, ou soit induite par, un mouvement de l'organe externe, le microsystème électromécanique 1 est ainsi apte à déplacer l'organe externe ou à capter un mouvement de cet organe.

Figure pour l'abrégié : Fig. 1A



FR 3 123 341 - A1



Description

Titre de l'invention : Microsystème électromécanique

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine des microsystèmes électromécaniques. Elle trouve par exemple pour application particulièrement avantageuse l'actionnement ou le déplacement d'objets, y compris sur des distances relativement grandes. Elle trouve également pour application des dispositifs de préhension qui permettent la capture ou l'expulsion d'objets de petites tailles. L'invention trouve également pour application le domaine de la détection par contact. Elle pourra ainsi être mise en œuvre pour réaliser des capteurs.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE

[0002] Dans des applications variées, on peut avoir besoin de déplacer, capturer ou expulser des objets microscopiques, voire nanoscopiques, et/ou avoir besoin de capter des mouvements de tels objets. Il existe des microsystèmes qui permettent cela.

[0003] Lorsque ces microsystèmes sont des actionneurs ou des dispositifs de préhension, leurs performances sont évaluées notamment sur les paramètres suivants: l'amplitude du déplacement, la force déployée, la précision du déplacement généré ou encore la précision de la capture et/ou de l'expulsion d'un objet. Lorsque ces microsystèmes sont des capteurs, leurs performances sont évaluées notamment sur les paramètres suivants: la capacité à capter un mouvement.

[0004] Par ailleurs, que les microsystèmes soient des actionneurs, des dispositifs de préhension ou des capteurs, on recherche à ce qu'ils offrent de bonnes performances en termes d'encombrement, de consommation énergétique et de capacité à travailler en fréquence.

[0005] Toutes les solutions connues présentent des performances faibles pour l'un au moins de ces paramètres. Généralement, les microsystèmes existants présentent des performances trop peu satisfaisantes pour une combinaison de ces paramètres.

[0006] Un objet de la présente invention est de proposer un microsystème électromécanique qui présente des performances améliorées par rapport aux solutions existantes, au moins pour l'un des paramètres mentionnés ci-dessus, ou qui présente un meilleur compromis concernant au moins deux des paramètres susmentionnés.

[0007] 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.

RÉSUMÉ

[0008] Pour atteindre cet objectif, selon un mode de réalisation, on prévoit un microsystème

électromécanique comprenant:

- au moins des premier et deuxième transducteurs électromécaniques comprenant chacun une partie mobile entre une position d'équilibre, hors sollicitation, et une position hors équilibre, sous sollicitation,
- au moins une membrane déformable,
- une cavité déformable, délimitée par des parois, au moins une partie de la membrane déformable formant au moins une partie d'une première paroi prises parmi lesdites parois de la cavité.

- [0009] La cavité est configurée pour contenir hermétiquement un milieu déformable propre à conserver un volume sensiblement constant sous l'action d'un changement de pression externe exercée sur le milieu déformable à travers l'une des parois de la cavité.
- [0010] La partie mobile de chaque transducteur électromécanique est configurée de sorte que son mouvement soit fonction dudit changement de pression externe, ou inversement que son mouvement induise un changement de pression externe.
- [0011] Ladite au moins une partie de la membrane déformable présente au moins une zone libre de se déformer, de préférence de façon élastique, en fonction dudit changement de pression externe.
- [0012] La partie mobile de chaque transducteur électromécanique s'inscrit dans une portion de secteur angulaire centré en un point de la zone libre de la membrane déformable, ladite portion de secteur angulaire étant délimitée par un pourtour extérieur de la zone libre de la membrane déformable et par un pourtour extérieur d'une zone périphérique entourant la zone libre de la membrane déformable.
- [0013] La portion de secteur angulaire dans laquelle s'inscrit la partie mobile d'un transducteur électromécanique est distincte de la portion de secteur angulaire dans laquelle s'inscrit la partie mobile de tout autre transducteur électromécanique.
- [0014] Ainsi, les parties mobiles des transducteurs électromécaniques entourent une partie au moins de la zone libre de la membrane déformable.
- [0015] Le microsystème électromécanique tel qu'introduit ci-dessus forme tout ou partie d'un actionneur ou d'un capteur ou d'un dispositif de préhension permettant de déformer la zone libre de la membrane de façon dissymétrique par rapport au barycentre de la zone libre. Il permet ainsi d'obtenir une gamme de déformations variée. Par conséquent, l'invention permet d'envisager de nombreuses applications.
- [0016] Plus particulièrement, la partie mobile de chaque transducteur électromécanique recouvre une portion de la membrane déformable qui lui est propre.
- [0017] En complément, la partie mobile de chaque transducteur électromécanique peut être solidaire de la portion de la membrane déformable qu'elle recouvre.
- [0018] Par exemple, la partie mobile du premier transducteur électromécanique recouvre une

première portion de la membrane déformable et la partie mobile du deuxième transducteur électromécanique recouvre une deuxième portion de la membrane déformable. La première portion de la membrane est disjointe de la deuxième portion de la membrane.

- [0019] Les portions de secteur angulaire dans laquelle les transducteurs électromécaniques s'inscrivent sont adjacentes ou distantes entre elles.
- [0020] La partie mobile d'un des transducteurs est distincte et distante de la partie mobile de tout autre transducteur.
- [0021] Chaque transducteur électromécanique s'étend, à l'opposé de la zone libre de la membrane et au-delà de ladite portion de secteur angulaire, par une partie non mobile. La partie non mobile de chaque transducteur s'inscrit de préférence dans le même secteur angulaire que la partie mobile de ce transducteur.
- [0022] Le microsystème électromécanique tel qu'introduit ci-dessus est ainsi apte à permettre d'actionner un organe externe, de capter un mouvement imposé à ce dernier, ou de saisir et/ou relâcher un objet, et ce en présentant, de façon aisément modulable en fonction des applications visées, une capacité suffisante en termes d'amplitude de déplacement et/ou une capacité suffisante en termes de force déployée et/ou une capacité de captation de mouvement sur une amplitude et/ou avec une précision suffisantes en termes de déplacement ou de capture de l'objet et/ou une capacité suffisante à travailler en fréquence et/ou une taille compatible avec les applications visées, et/ou une consommation en énergie réduite.
- [0023] Un autre aspect de l'invention concerne un système ou un microsystème opto-électro-mécanique comprenant au moins un microsystème électromécanique tel qu'introduit ci-dessus et au moins un microsystème optique.
- [0024] De préférence, le microsystème optique comprend au moins un miroir, de préférence à base de silicium. Le système opto-électro-mécanique est configuré de sorte à ce que le mouvement de la partie mobile du transducteur électromécanique provoque un déplacement, de préférence une inclinaison, de l'au moins un miroir.
- [0025] Un autre aspect de l'invention concerne un procédé de fabrication d'un microsystème électromécanique tel qu'introduit ci-dessus, comprenant, voire étant limité à, des étapes de dépôt et de gravure ordinaires en microélectronique. Le microsystème électromécanique peut en effet être fabriqué par des moyens ordinaires de la microélectronique, ce qui confère à son fabricant tous les avantages découlant de l'utilisation de ces moyens, dont une grande latitude en termes de dimensionnement, d'énergie d'adhésion entre les différents dépôts, d'épaisseur des différents dépôts, d'étendue de gravure, etc.
- [0026] Selon un exemple le procédé de fabrication du microsystème électromécanique comprend les étapes suivantes :

- une étape de formation, sur un substrat, d'une portion au moins de chacun parmi au moins deux transducteurs électromécaniques, puis
- une étape de dépôt de la membrane déformable, puis
- une étape de formation d'une cavité ouverte sur la membrane déformable, puis
- une étape de remplissage avec le milieu déformable et de fermeture de la cavité, et
- une étape de gravure du substrat pour former une face avant (FAV) du micro-système électromécanique.

BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

- [0027] Les buts, objets, ainsi que les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description détaillée de modes de réalisation de cette dernière qui est illustré par les dessins d'accompagnement suivants dans lesquels :
- [0028] [Fig.1A] La [Fig.1A] est un schéma de principe d'une vue en coupe d'un micro-système électromécanique selon un premier mode de réalisation de l'invention, la coupe étant prise selon l'axe A-A illustré sur la [Fig.1D].
- [0029] [Fig.1B] La [Fig.1B] est un schéma de principe d'une vue en coupe d'un micro-système électromécanique selon un deuxième mode de réalisation de l'invention, la coupe étant prise selon l'axe A-A illustré sur la [Fig.1D].
- [0030] [Fig.1C] La [Fig.1C] est un schéma de principe d'une vue en coupe d'un micro-système électromécanique selon l'un quelconque des premier et deuxième modes de réalisation de l'invention, la coupe étant prise selon l'axe B-B illustré sur la [Fig.1D].
- [0031] [Fig.1D] La [Fig.1D] représente une vue de haut de la partie mobile de chaque transducteur et de la zone libre de la membrane selon les premier et deuxième modes de réalisation de l'invention illustrés sur les figures 1A, 1B et 1C.
- [0032] [Fig.1E] Les figures 1E à 1H représentent chacune une vue de haut de la partie mobile de chaque transducteur et de la zone libre de la membrane, ces vues étant autant de variantes de l'exemple illustré sur la [Fig.1D].
- [0033] [Fig.1F]
- [0034] [Fig.1G]
- [0035] [Fig.1H]
- [0036] [Fig.2A] La [Fig.2A] représente le micro-système illustré en [Fig.1A], mais avec un pion décentré relativement à la zone libre de se déformer de la membrane, dans une première configuration de déformation de la membrane.
- [0037] [Fig.2B] La [Fig.2B] représente le micro-système illustré en [Fig.1B], dans une deuxième configuration de déformation de la membrane.
- [0038] [Fig.2C] La [Fig.2C] représente le micro-système illustré en [Fig.1A], mais avec un

pion centré relativement à la zone libre de se déformer de la membrane et dans une troisième configuration de déformation de la membrane.

[0039] [Fig.3A] Les figures 3A, 3B et 3C sont des schémas, plus détaillés que ceux des figures 1A, 1B et 1C, respectivement, mais avec un pion décentré relativement à la zone libre de se déformer de la membrane.

[0040] [Fig.3B]

[0041] [Fig.3C]

[0042] [Fig.4] La [Fig.4] représente schématiquement un exemple de microsysteme opto-électro-mécanique comprenant un microsysteme électromécanique.

[0043] 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, parois et organes illustrés ne sont pas nécessairement représentatives de la réalité.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

[0044] Selon un exemple, entre deux portions premières voisines entre elles de la membrane déformable qui sont chacune recouverte par la partie mobile d'un transducteur électromécanique, la membrane déformable présente au moins une portion s'étendant depuis la zone libre et configurée pour se déformer lorsque l'une au moins parmi les parties mobiles des deux transducteurs recouvrant lesdites deux portions sont sollicités. De la sorte, les mouvements des parties mobiles des deux transducteurs peuvent être sensiblement indépendants entre eux.

[0045] Selon un exemple, un espace est ménagé entre les parties mobiles de deux transducteurs s'inscrivant dans des secteurs angulaires consécutifs entre eux, chaque espace étant vide ou rempli d'un matériau, tel que le matériau constituant la membrane déformable, propre à se déformer pour accommoder tous mouvements desdites parties mobiles.

[0046] Selon un exemple, chaque transducteur électromécanique et/ou la partie mobile de chaque transducteur électromécanique prend sensiblement la forme de la portion de secteur angulaire dans laquelle il s'inscrit.

[0047] Selon un exemple, la zone libre forme un disque, une ellipse ou un polygone et/ou la zone périphérique dans laquelle s'inscrivent les parties mobiles des transducteurs électromécaniques présente un pourtour extérieur prenant la forme de la zone libre. Par exemple, ladite zone périphérique forme un anneau dont le centre définit l'étendue circulaire de la zone libre de la membrane déformable.

[0048] Selon un exemple, les transducteurs électromécaniques sont disposés selon une symétrie de rotation discrète. Par exemple, le microsysteme comprend :

- deux transducteurs électromécaniques disposés selon une symétrie de rotation d'ordre 2, ou
- trois transducteurs électromécaniques disposés selon une symétrie de rotation d'ordre 3, ou
- quatre transducteurs électromécaniques disposés selon une symétrie de rotation d'ordre 4, ou
- etc.

- [0049] Selon un exemple, le microsysteme comprend en outre au moins un pion. Le pion peut s'étendre principalement selon une direction longitudinale. Lorsque la membrane n'est pas déformée, la direction longitudinale du pion est sensiblement perpendiculaire à un plan (xy) dans lequel s'étend principalement une face externe de la membrane lorsque la membrane n'est pas déformée. Le pion peut présenter une forme cylindrique. Selon un mode de réalisation alternatif, le pion ne présente pas une forme cylindrique. Il peut présenter une forme courbe par exemple.
- [0050] Selon un exemple, le pion présente une première extrémité par laquelle il prend appui sur la zone libre de la membrane et une deuxième extrémité opposée à la première extrémité.
- [0051] Ladite au moins une zone libre peut être configurée pour coopérer, via le pion, avec un organe externe de sorte que sa déformation induise, ou soit induite par, un mouvement de l'organe externe.
- [0052] Le pion peut être configuré pour prendre appui sur un barycentre de la zone libre de sorte qu'une déformation de la zone libre de la membrane entraîne un déplacement du pion vers le centre de la cavité ou à l'opposé du centre de la cavité. La solution proposée permet ainsi au microsysteme électromécanique de former un actionneur apte à déplacer l'organe externe et/ou un capteur apte à capter un mouvement de cet organe. En outre, lorsque les parties mobiles des transducteurs sont sollicitées de façon dissymétrique de sorte à déformer la zone libre de façon asymétrique, le microsysteme électromécanique proposé permet d'obtenir une inclinaison du pion selon un angle présentant une amplitude comparable relativement à l'amplitude de déformation de la membrane.
- [0053] En alternative ou en complément à l'alinéa précédent, la zone libre présentant un pourtour externe et une portion périphérique qui s'étend depuis le pourtour externe et jusqu'à une portion centrale de la zone libre, au moins un pion est configuré pour prendre appui sur la portion périphérique de la zone libre de sorte qu'une déformation de la zone libre de la membrane entraîne une inclinaison du pion. Ainsi, le microsysteme électromécanique proposé permet d'obtenir une inclinaison du pion selon un angle présentant une amplitude élevée relativement à la déformation de la membrane. Il est alors possible, même avec un microsysteme électromécanique de

petites dimensions d'obtenir de grands débattements. En particulier, la deuxième extrémité du pion, c'est-à-dire l'extrémité du pion opposée à son extrémité en appui sur la membrane, se déplace selon une grande course.

- [0054] Selon un exemple, en l'absence de déformation, la zone libre de la membrane s'étend principalement dans un plan (xy), dit plan hors déformation ou plan au repos, et la perpendiculaire à la tangente en un point donné de la zone libre s'étend selon une direction T1 perpendiculaire au plan hors déformation.
- [0055] Selon un exemple, lorsque la membrane se déforme, la perpendiculaire à la tangente en un point donné de la portion périphérique de la zone libre s'étend selon une direction T_i , inclinée par rapport à la direction T1, d'un angle α_i (l'angle α_i étant mesuré dans un plan perpendiculaire au plan hors déformation).
- [0056] Selon un exemple, l'angle α_i augmente au fur à mesure que l'on s'éloigne de la portion centrale et que l'on se rapproche du pourtour externe de la zone libre.
- [0057] Selon un exemple, le microsystème électromécanique est configuré de sorte qu'une déformation de la zone libre de la membrane entraîne une inclinaison du pion dans un plan perpendiculaire à un plan (xy) dans lequel s'étend principalement une face externe de la membrane lorsque la membrane n'est pas déformée.
- [0058] Typiquement, le déplacement de la deuxième extrémité du pion peut s'effectuer sur une longueur de course d'au moins $30\mu\text{m}$, voire de $100\mu\text{m}$ (10^{-6} mètre), notamment lorsque le pion est centré sur la zone libre de la membrane déformable. Cette course forme une courbe lorsque le pion s'incline. Cette longueur de course peut également s'exprimer sous forme angulaire. Typiquement, la deuxième extrémité du pion se déplace d'un angle d'au moins 45° et de préférence comprise entre 0° et 90° .
- [0059] Le microsystème électromécanique proposé présente donc une solution particulièrement efficace pour réaliser :
- [0060] – un actionneur à grand débattement. Un tel actionneur autorise le déplacement d'un objet ou d'un organe externe déplacé par le ou les pions ;
- [0061] – un dispositif de préhension. En prévoyant plusieurs pions sur la zone libre de la membrane, en particulier sur sa portion périphérique, on parvient à ce que les extrémités des différents pions se rapprochent pour permettre de saisir, capturer ou retenir un objet entre les pions. Inversement, on peut commander l'éloignement des pions pour permettre de libérer ou expulser un objet ;
- [0062] – un capteur, autorisant typiquement à capter un déplacement imposé à au moins un pion. Ce déplacement peut être un déplacement selon une trajectoire courbe.
- [0063] Selon un exemple, l'inclinaison peut être mesurée par un angle α contenu dans un plan perpendiculaire au plan xy.
- [0064] Selon un exemple, le microsystème électromécanique est configuré de sorte qu'une déformation de la zone libre de la membrane entraîne une inclinaison de la première

extrémité en direction de la portion centrale de la zone libre.

- [0065] Selon un exemple, le pion s'étend entre la première extrémité et la deuxième extrémité principalement selon une direction longitudinale. Alternativement, le pion présente une forme courbe ou s'étend selon plusieurs directions différentes.
- [0066] Selon un exemple, la zone libre présente une portion centrale s'étendant depuis un centre de la zone libre et une portion périphérique disposée autour de la portion centrale.
- [0067] Selon un exemple, la portion périphérique de la zone libre est continue. Elle présente un contour plein.
- [0068] Selon un exemple, la portion centrale comprend un centre de la zone libre, le centre correspond par exemple au barycentre de la zone libre.
- [0069] Selon un exemple, la zone libre forme un disque, une ellipse ou un polygone et ledit centre correspond au barycentre de la zone libre.
- [0070] Selon un exemple, la zone libre est délimitée par un pourtour externe, le pion étant situé à une distance minimale D_{122} du pourtour externe, telle que D_{122} est inférieure à k fois une distance D_{124} ,
- [0071] D_{122} étant mesurée entre le pion et le point du pourtour externe le plus proche du pion, et
- [0072] la distance D_{124} étant mesurée entre ce même point et le centre de la zone libre,
- [0073] k étant inférieur à 0,7, de préférence k étant inférieur à 0,5, de préférence k étant inférieur à 0,3.
- [0074] Selon un exemple, le microsystème électromécanique comprend une pluralité de pions. Chaque pion peut prendre appui sur la portion périphérique de la zone libre de sorte qu'une déformation de la zone libre de la membrane entraîne une inclinaison de chaque pion. Par exemple, les pions sont disposés selon une symétrie de rotation discrète.
- [0075] Selon un exemple, le microsystème comprend autant de pions que de transducteurs électromécaniques, chaque pion prend appui sur une portion de la zone libre délimitée par l'intersection de la portion périphérique de la zone libre avec un secteur angulaire, ce dernier étant celui dans lequel un des transducteurs électromécaniques s'inscrit.
- [0076] Selon un exemple, les pions présentent une extrémité libre, opposée à l'extrémité par laquelle ils prennent appui sur la portion périphérique de la zone libre, les pions étant conformés de sorte qu'une déformation de la zone libre de la membrane entraîne sélectivement un rapprochement ou un éloignement, de leurs extrémités libres.
- [0077] Selon un exemple, les pions sont conformés de sorte qu'une déformation de la zone libre de la membrane entraîne sélectivement une mise en contact ou un éloignement des extrémités libres des pions.
- [0078] Selon un exemple, les pions sont répartis sur la portion périphérique de sorte que le

rapprochement de leurs extrémités libres permette de saisir entre les extrémités libres et/ou de retenir entre la membrane et les pions un objet externe au microsysteme électromécanique. Le rapprochement de leurs extrémités libres permet de former une cage au-dessus de la zone libre de la membrane.

[0079] Ce mode de réalisation permet d'obtenir un dispositif de préhension particulièrement fiable et précis. En outre, le grand débattement angulaire des pions, permet de capturer et de relâcher des objets de tailles relativement grandes par rapport à la taille des pions et à la taille du microsysteme électromécanique.

Dans ce mode de réalisation, l'objet n'est pas fixé au microsysteme électromécanique. A fortiori, il n'est pas fixé aux pions.

[0080] Selon un exemple, le pion est fixé sur ladite zone libre, de préférence au contact direct de ladite zone libre.

[0081] Selon un autre mode de réalisation, l'objet est un organe externe.

[0082] Selon un exemple, le pion est configuré pour coopérer avec un objet formant un organe externe de sorte que le mouvement de la partie mobile de chaque transducteur électromécanique soit fonction d'un déplacement du pion entraîné par l'organe externe ou inversement que le mouvement de la partie mobile de chaque transducteur électromécanique induise un déplacement, en particulier une inclinaison, de l'organe externe par l'intermédiaire du pion.

[0083] Ce mode de réalisation permet d'obtenir un actionneur ou un capteur particulièrement fiable et précis. Le grand débattement angulaire du ou des pions, permet un déplacement de l'organe externe sur une course relativement grande par rapport à la taille du ou des pions et à la taille du microsysteme électromécanique.

[0084] Le pion peut être configuré pour coopérer avec l'organe externe par l'intermédiaire d'un guide solidaire de l'organe externe, de sorte à permettre un positionnement automatique de l'organe externe sur le pion.

[0085] Le pion peut être configuré pour pouvoir être solidarisé avec l'organe externe par collage ou magnétisme, l'énergie d'adhérence du pion sur la zone libre de la membrane déformable étant de préférence supérieure à celle du pion sur l'organe externe. Une solidarisation, éventuellement amovible, du pion et de l'organe externe est ainsi prévue qui est largement modulable en termes de force de retenue.

[0086] Selon un exemple, le microsysteme électromécanique comprend en outre au moins une butée latérale, de préférence supportée par ladite première paroi de la cavité, configurée pour guider le mouvement de l'organe externe.

[0087] Selon un exemple, le pion s'étend depuis la zone libre de la membrane déformable au-delà de ladite au moins une butée latérale. Selon un exemple alternatif, le pion s'étend depuis la zone libre de la membrane déformable en-deçà de ladite butée latérale.

- [0088] Selon un exemple, au moins certains des transducteurs électromécaniques de ladite pluralité sont configurés pour que, sous sollicitation, leurs parties mobiles, induisent des déformations de la zone libre de la membrane entraînant une inclinaison de l'au moins un pion dans un même sens et/ou une même direction.
- [0089] Les transducteurs électromécaniques peuvent être sollicités simultanément ou successivement. Plus particulièrement, en mode « actionneur » du microsysteme, les transducteurs peuvent être sollicités sélectivement et indépendamment les uns des autres ; l'amplitude de déplacement du pion induite par chaque transducteur électromécanique peut être identique ou différente, notamment en fonction de la sollicitation de chaque transducteur. En mode « capteur », les transducteurs peuvent être tous plus ou moins déplacés en fonction du déplacement du pion.
- [0090] Selon un exemple, au moins certains des transducteurs électromécaniques de ladite pluralité sont configurés pour que, sous sollicitation, leurs parties mobiles, induisent des déformations de la zone libre de la membrane entraînant une inclinaison de l'au moins un pion dans deux sens opposés et/ou des directions différentes.
- [0091] Selon un exemple, le microsysteme électromécanique comprend plusieurs zones libres, séparées les unes des autres d'une distance non nulle.
Ces zones libres peuvent être formées par une même membrane. Alternativement, ces zones libres peuvent être formées par des membranes distinctes.
- [0092] Selon un exemple, la zone libre est libre de se déformer, de préférence de façon élastique, en fonction dudit changement de pression externe.
- [0093] Le microsysteme électromécanique tel qu'introduit ci-dessus est de préférence exempt d'élément optique, telle qu'une lentille, notamment à focale variable.
- [0094] Au moins une partie de chaque transducteur électromécanique forme une partie de la paroi de la cavité qui est en partie formée par la membrane déformable. Le microsysteme électromécanique selon cette caractéristique présente une structure non-traversante, laissant libre les autres parois de la cavité de sorte à pouvoir y réaliser d'autres fonctions ou de sorte à leur permettre de rester inertes, pour une capacité d'intégration accrue notamment dans un microsysteme opto-électro-mécanique.
- [0095] Chaque transducteur électromécanique peut s'étendre, directement ou indirectement, sur la membrane déformable, et autour de la zone libre de la membrane déformable.
- [0096] La partie mobile de chaque transducteur électromécanique peut présenter une surface au moins deux fois supérieure et de préférence au moins quatre fois supérieure à une surface de la zone libre de la membrane déformable.
- [0097] La membrane déformable est de préférence configurée de sorte que sa zone libre soit capable de se déformer avec une amplitude d'au moins 50 μm , voire d'au moins 100 μm , voire d'au moins 1000 μm selon une direction perpendiculaire au plan dans lequel elle s'étend principalement lorsqu'elle est dans un état de moindre étirement.

Sans se déchirer et/ou sans usure significative, le microsysteme électromécanique offre ainsi la capacité à satisfaire de nombreuses et diverses applications nécessitant un grand débattement, ce dernier étant défini le cas échéant par domaine technique concerné.

- [0098] Le microsysteme électromécanique peut comprendre en outre au moins une butée latérale configurée pour guider le mouvement du pion ou de l'organe externe s'il est présent. Selon un exemple optionnel, la butée latérale est supportée par la paroi de la cavité qui est en partie formée par la membrane déformable. Selon un exemple optionnel, ladite au moins une butée latérale s'étend à l'opposé de la cavité.
- [0099] Il est ainsi possible de :
- limiter, de manière contrôlée, fiable et reproductible, l'inclinaison du pion lors du mouvement de la partie mobile d'un des transducteurs électromécaniques, et/ou
 - permettre un auto-positionnement de l'organe externe relativement à la zone libre de la membrane déformable, et/ou
 - protéger la membrane déformable, et plus particulièrement sa zone libre, notamment d'un éventuel arrachement, lors d'un report ou d'un collage de l'organe externe.
- [0100] Selon un exemple, la zone libre de la membrane déformable est configurée pour coopérer avec l'organe externe via le pion fixé sur ladite zone libre.
- [0101] Le pion peut s'étendre depuis la zone libre de la membrane déformable au-delà de ladite au moins une butée latérale. En alternative, le pion peut s'étendre depuis la zone libre de la membrane déformable en-deçà de ladite au moins une butée latérale. Le microsysteme électromécanique selon l'une ou l'autre de ces deux caractéristiques offre une capacité d'adaptation satisfaisante à une large variété d'organes externes et d'applications.
- [0102] Le microsysteme électromécanique peut comprendre en outre une butée dite basse supportée par la paroi de la cavité opposée à la zone libre de la membrane déformable, ladite butée basse s'étendant dans la cavité vers la zone libre. Elle présente une forme et des dimensions configurées pour limiter la déformation de la zone libre de la membrane déformable de sorte à protéger la membrane déformable, et plus particulièrement sa zone libre, notamment d'un éventuel arrachement, lors d'un report ou d'un collage de l'organe externe. Par ailleurs, la butée dite basse est conformée pour limiter la surface de contact entre la membrane et la paroi de la cavité opposée à la zone libre de la membrane déformable. De manière alternative ou cumulée, la butée basse est conformée de sorte à limiter la surface de contact entre la membrane et la paroi de la cavité opposée à la zone libre de la membrane déformable. Cela permet d'éviter que la membrane n'adhère à cette paroi.

- [0103] Chaque transducteur électromécanique peut être un transducteur piézoélectrique, de préférence comprenant un matériau piézoélectrique à base de PZT.
- [0104] Chaque transducteur électromécanique peut être un transducteur à fonctionnement statique. En alternative ou en complément, chaque transducteur électromécanique peut être un transducteur à fonctionnement vibratoire à au moins une fréquence de résonance, ladite au moins une fréquence résonance étant de préférence inférieure à 100 kHz, et encore plus préférentiellement inférieure à 1 kHz. La fréquence de fonctionnement d'un transducteur ou de transducteurs situés en vis-à-vis relativement à la zone libre peut être différente de la fréquence de résonance d'un ou plusieurs autres transducteurs.
- [0105] Le milieu déformable contenu hermétiquement dans la cavité peut comprendre au moins un fluide, gaz et/ou liquide, ledit au moins un fluide présentant de préférence une viscosité de l'ordre de 100 cSt à température et pression ambiantes.
- [0106] Selon un exemple de réalisation non limitatif, le fluide présente une compressibilité comprise entre 10^{-9} et 10^{-10} Pa⁻¹ à 20°C, par exemple de l'ordre de 10^{-10} Pa⁻¹ à 20°C, sans que ces valeurs soient limitatives.
- [0107] Le microsystème électromécanique tel qu'introduit ci-dessus peut comprendre en outre une pluralité de membranes déformables et/ou une pluralité de zones libres par membrane déformable.
- [0108] Ledit au moins un microsystème optique du système opto-électro-mécanique tel qu'introduit ci-dessus peut comprendre au moins un miroir également désigné micro-miroir, de préférence à base de silicium.
- [0109] Selon un exemple, le système opto-électro-mécanique est configuré de sorte à ce que le mouvement de la partie mobile du transducteur électromécanique provoque un déplacement de l'au moins un miroir.
- [0110] Le milieu déformable contenu hermétiquement dans la cavité comprend au moins un fluide et/ou liquide.
- [0111] On entend, par « microsystème électromécanique », un système comprenant au moins un élément mécanique et au moins un transducteur électromécanique réalisés à l'échelle micrométrique avec des moyens de la microélectronique. Le transducteur électromécanique peut capter un mouvement de l'élément mécanique ; le microsystème électromécanique joue alors le rôle de capteur. En alternative ou en complément, l'élément mécanique peut être mis en mouvement (actionné) grâce à une force générée par le transducteur électromécanique. Le microsystème électro-mécanique joue alors le rôle d'actionneur ou de dispositif de préhension.
- [0112] Chaque transducteur électromécanique peut être alimenté par des tensions électriques produites avec des circuits électroniques avoisinants.
- [0113] Un « microsystème » est un système dont les dimensions externes sont inférieures à 1

centimètre (10^{-2} mètres) et de préférence à 1 millimètre (10^{-3} mètres).

- [0114] Le plus souvent, un transducteur électromécanique joue un rôle d'interface entre les domaines mécanique et électrique. Toutefois, on entend ici, par « transducteur électromécanique », aussi bien un transducteur piézoélectrique, qu'un transducteur thermique, ce dernier jouant un rôle d'interface entre les domaines mécanique et thermique. Un transducteur électromécanique peut comprendre une partie mobile entre une position d'équilibre, hors sollicitation, et une position hors équilibre, sous sollicitation. Lorsque le transducteur est piézoélectrique, la sollicitation est de nature électrique. Lorsque le transducteur est thermique, la sollicitation est de nature thermique.
- [0115] On entend par « secteur angulaire » une partie illimitée de plan définie par deux demi-droites issues d'un même point.
- [0116] Lorsqu'un élément « s'inscrit dans » une zone, il est compris dans cette zone et n'en dépasse pas ; pour autant, l'élément peut ne pas couvrir toute la zone et n'en couvre de préférence qu'une partie.
- [0117] Lorsqu'il est fait mention du centre de la cavité, ce centre est défini géométriquement en considérant comme le centre d'une cavité présentant une zone libre non déformée de la membrane déformable.
- [0118] On entend par « inférieur » et « supérieur », « inférieur ou égal » et supérieur ou égal », respectivement. L'égalité est exclue par l'usage des termes « strictement inférieur » et « strictement supérieur ».
- [0119] 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.
- [0120] Comme cela sera décrit plus en détail par la suite le microsystème électromécanique 1 selon l'invention peut, selon sa configuration et son utilisation, assurer plusieurs fonctions :
- En tant qu'actionneur, il peut permettre de déplacer un objet tel qu'un organe externe 2 en le déplaçant vers le bas et/ou vers le haut (notamment lorsque le pion 122 décrit plus bas est décentré sur la zone libre 121 de la membrane déformable) en l'inclinant dans un premier sens, (par exemple vers la gauche) comme illustré sur la [Fig.2A], ou dans un deuxième sens (par exemple vers la droite), comme illustré sur la [Fig.2B]. Il peut également permettre de déplacer un objet tel qu'un organe externe 2, avec potentiellement plusieurs degrés de liberté, et notamment en l'inclinant (même lorsque le pion 122

décrit plus bas est centré sur la zone libre 121 de la membrane déformable, comme illustré sur la [Fig.2C]) dans différents sens.

- En tant que dispositif de préhension, il peut permettre de capturer ou expulser un objet, de saisir un objet, ou encore de retenir un objet déjà capturé (notamment lorsqu'il comprend une pluralité de pions comme illustré sur la [Fig.1H]).
- En tant que capteur, il peut permettre de capter un déplacement, en particulier une translation vers le haut et/ou vers le bas et/ou une inclinaison d'un organe externe 2.

[0121] Les caractéristiques permettant d'assurer ces différentes fonctions vont maintenant être décrites en détail en référence aux figures.

[0122] Les figures 1A et 1B sont des schémas de principe, respectivement d'une vue en coupe, de deux exemples de microsysteme électromécanique 1 selon l'invention. Les figures 2A et 2B illustrent le microsysteme électromécanique des figures 1A et 1B, en cours d'utilisation, mais dans une configuration du pion 122 selon laquelle ce dernier est décentré relativement à l'étendue de la zone libre 121 de la membrane déformable 12.

[0123] En [Fig.1A] et 1B sont illustrés deux transducteurs électromécaniques 11a et 11b, une membrane déformable 12 et une cavité 13 configurée pour contenir hermétiquement un milieu déformable 14.

[0124] Avant de décrire plus en détail les différents modes de réalisation de l'invention illustrés sur les figures, notons que chacune de ces illustrations représente schématiquement un mode de réalisation du microsysteme électromécanique qui présente une structure non traversante. Plus particulièrement, dans les différents modes illustrés, les transducteurs électromécaniques 11a et 11b et la membrane déformable 12 se situent tous deux en face avant FAV du microsysteme électromécanique 1. Ce type de structure est particulièrement avantageux dans la mesure où la face arrière FAR du microsysteme électromécanique 1 peut participer uniquement de façon passive, et en particulier sans se déformer, à la fonction d'actionneur et/ou de dispositif préhension et/ou de capteur du microsysteme électromécanique 1. Plus particulièrement, la face arrière FAR d'un microsysteme électromécanique 1 à structure non traversante selon l'invention peut notamment constituer une face par laquelle le microsysteme électromécanique 1 peut être aisément monté sur un support et/ou peut constituer une face par laquelle le microsysteme électromécanique peut aisément être davantage fonctionnalisé.

[0125] Toutefois, l'invention n'est pas limitée aux microsystemes électromécaniques à structure non traversante. L'invention concerne également des microsystemes électromécaniques 1 dits à structure traversante, par exemple dans lesquels un troisième

transducteur électromécanique et la membrane déformable 12 seraient agencés sur des parois distinctes entre elles de la cavité 13, que ces parois soient adjacentes ou opposées entre elles.

[0126] Transducteurs électromécaniques 11a et 11b

[0127] Les transducteurs électromécaniques 11a et 11b comprennent chacun au moins une partie mobile 111a, 111b. Cette dernière est configurée pour se mouvoir ou être mue entre au moins deux positions. Une première de ces positions est une position d'équilibre atteinte et conservée lorsque chaque transducteur électromécanique 11a, 11b n'est pas sollicité, que ce soit par exemple par un courant électrique l'alimentant ou par une force le contraignant hors de sa position d'équilibre. Une deuxième position de la partie mobile 111a, 111b de chaque transducteur électromécanique 11a, 11b est atteinte lorsque le transducteur électromécanique 11a, 11b est sollicité, que ce soit par exemple par un courant électrique l'alimentant ou par une force le contraignant hors de sa position d'équilibre. Chaque transducteur électromécanique 11a, 11b peut être maintenu dans l'une ou l'autre des première et deuxième positions décrites ci-dessus, et présenter ainsi un comportement binaire, ou peut être en outre maintenu dans n'importe quelle position intermédiaire entre sa position d'équilibre et sa position de plus grand éloignement, ou de plus grande déformation de la membrane, par rapport à l'équilibre.

[0128] Dans l'exemple illustré sur les figures 1A et 1B, lorsqu'un transducteur électromécanique 11a, 11b n'est pas sollicité, sa partie mobile 111a, 111b s'étend principalement dans un plan parallèle au plan xy du repère orthogonal xyz.

[0129] Chaque transducteur électromécanique 11a, 11b est de préférence un transducteur piézoélectrique. Chaque transducteur électromécanique 11a, 11b comprend au moins un matériau piézoélectrique mécaniquement couplé à un autre élément, qualifié de support ou de poutre. Le terme de poutre ne limite aucunement la forme de cet élément.

[0130] De façon connue, un matériau piézoélectrique présente comme propriété de se contracter lorsqu'on lui applique un champ électrique. En se contractant, il se déforme. Mécaniquement associé au support, le matériau piézoélectrique entraîne le support avec lui et déplace alors ce dernier. La zone du support susceptible de se déplacer correspond à la partie mobile 111a, 111b du transducteur électromécanique 11a, 11b. C'est cette propriété de déplacement qui est utilisée pour former un actionneur.

[0131] De même, sous l'action d'une contrainte mécanique, un matériau piézoélectrique se polarise électriquement. Ainsi, lorsque le support est déplacé, il déforme le matériau piézoélectrique qui induit un courant électrique. C'est cette propriété qui est utilisée pour former un capteur.

- [0132] Il ressort donc de cet exemple, mais cela reste potentiellement vrai pour chacun des autres modes de réalisation envisagés du transducteur électromécanique 11a, 11b, que le microsysteme électromécanique 1 selon l'invention peut fonctionner comme actionneur et/ou comme dispositif de préhension et/ou comme capteur.
- [0133] Chaque transducteur électromécanique 11a, 11b est encore plus préférentiellement un transducteur piézoélectrique comprenant un matériau piézoélectrique à base de PZT (Titano-Zirconate de Plomb). Dans ce cas, sa partie mobile 111a, 111b est capable sous sollicitation de se mouvoir avec une force plus significative et/ou de générer un courant électrique plus significatif qu'avec bon nombre d'autres matériaux piézoélectriques. Toutefois, un tel transducteur piézoélectrique (ferroélectrique) permet un mouvement dans un unique sens de sa partie mobile 111a, 111b ; plus particulièrement, le sens du mouvement reste le même quelle que soit la polarité de son alimentation électrique. En alternative ou en complément, chaque transducteur électromécanique 11a, 11b peut être un transducteur piézoélectrique (non ferroélectrique) à base d'un matériau propre à permettre à sa partie mobile 111a, 111b de se mouvoir dans des sens opposés relativement à sa position d'équilibre en fonction de la polarité de son alimentation électrique. Un tel matériau est par exemple un matériau à base de nitrure d'aluminium (AlN).
- [0134] Membrane déformable 12
- [0135] La membrane déformable 12 peut être à base d'un polymère, et est de préférence à base de PDMS. Les propriétés de la membrane déformable 12 en particulier son épaisseur, sa surface et sa forme peuvent être configurées pour conférer à la membrane déformable 12, et plus particulièrement à une zone 121 de cette membrane qui est libre de se déformer, une capacité d'étirement escomptée, notamment en fonction de l'application visée.
- [0136] Cavité 13
- [0137] La cavité 13 peut présenter une symétrie de rotation ou de révolution autour d'un axe z perpendiculaire au plan xy, comme cela est illustré en [Fig.1A]. Alternativement ou en complément, la cavité peut présenter, vue du dessus, une forme polygonale.
- [0138] La cavité 13 telle qu'illustrée notamment sur les figures 1A, 1B, 2A et 2B présente plus particulièrement des parois 131, 132, 133 contenant hermétiquement le milieu déformable 14. Dans les exemples illustrés, la paroi 132 de la cavité 13 constitue la face arrière FAR du microsysteme électromécanique 1. La paroi 131 opposée à la paroi 132 est formée au moins en partie par au moins une partie de la membrane déformable 12. Ainsi, la paroi 131 est déformable. La paroi 131 peut être désignée par la suite 'première paroi'. Elle se situe au niveau de la face avant FAV du microsysteme électromécanique 1. Au moins une paroi 133 latérale joint entre elles les parois 131 et 132. On notera que l'herméticité de la cavité 13 nécessite que la membrane déformable 12

soit elle-même imperméable, ou rendue imperméable, notamment au niveau de sa zone libre 121. De préférence, les parois 132, 133 restent fixes lorsque la membrane se déforme.

- [0139] Le milieu déformable 14 est quant à lui propre à conserver un volume sensiblement constant sous l'action d'un changement de pression externe. Autrement dit, il peut s'agir d'un milieu incompressible ou faiblement compressible dont la déformation nécessite de préférence peu d'énergie. Il s'agit par exemple d'un liquide.
- [0140] Du fait qu'une partie au moins de la première paroi 131 de la cavité 13 est formée par une partie au moins de la membrane déformable 12, l'on comprend que tout changement de pression externe exercée sur le milieu déformable 14 peut être compensé par une déformation, sensiblement proportionnelle, de la membrane déformable 12, et plus particulièrement de sa zone libre 121 (fonctionnement en tant qu'actionneur ou en tant que dispositif de préhension) et/ou par un déplacement de la partie mobile 111a, 111b d'au moins un des transducteurs électromécaniques 11a, 11b (fonctionnement en tant que capteur). Lorsqu'un transducteur est sollicité, cette compensation est plus particulièrement liée à une conversion du changement de pression externe exercée sur le milieu déformable 14 en un étirement de la membrane déformable 12 ou une relaxation de la membrane déformable 12 déjà étirée. On rappelle que le milieu déformable 14 est incompressible et que ces contraintes s'effectuent donc avec une conservation du volume de la cavité 13. L'on comprend que, dans un souci de reproductibilité de l'actionnement ou de la captation de mouvement qu'offre le micro-système électromécanique 1 selon l'invention, il est préférable que toute déformation de la membrane déformable 12 soit élastique, et non plastique, pour garantir le retour dans un même état de moindre étirement, ou de relaxation maximale, de la membrane déformable 12 chaque fois qu'elle n'est plus contrainte.
- [0141] Comme illustré sur chacune des figures 1A, 1B, 2A et 2B, chaque transducteur électromécanique 11a, 11b peut former une partie de la première paroi 131 de la cavité 13. Les transducteurs électromécaniques 11a et 11b et la membrane déformable 12 sont ainsi placés d'un même côté de la cavité 13. Les structures présentant cette caractéristique sont avantageusement non traversantes, comme évoqué plus haut.
- [0142] Sur cet exemple non limitatif, la membrane 12 présente une face interne 12i configurée pour être au contact du milieu déformable 14 et une face externe 12e. La face interne 12i forme une partie de la première paroi 131 de la cavité 13. Chaque transducteur électromécanique 11a, 11b, plus précisément sa partie mobile 111a, 111b, présente une face interne 11i tournée au regard, et de préférence au contact, de la face externe 12e de la membrane 12. Chaque transducteur électromécanique 11a, 11b présente également une face externe 11e, opposée à la face interne 11i, et tournée vers l'extérieur du micro-système électromécanique 1. Alternativement, on peut prévoir

qu'une ou des couches intermédiaires soient disposées entre la face externe 12e de la membrane 12 et la face interne 11i de chaque transducteur électromécanique. Le microsystème électromécanique 1 est configuré de sorte que le mouvement de la partie mobile 111a, 111b de chaque transducteur électromécanique 11a, 11b provoque un déplacement de la membrane 12 et donc de la paroi 131 qui enferme le milieu 14.

[0143] On remarquera que, sur chacune des figures 1A, 1B, 2A et 2B :

- les transducteurs électromécaniques 11a et 11b s'étendent sur la membrane déformable 12 en définissant la zone libre 121 de la membrane déformable 12, et plus particulièrement une portion du pourtour de la zone libre 121, et
- la membrane déformable 12 sépare chaque transducteur électromécanique 11a, 11b du milieu déformable 14.

[0144] En outre, chaque transducteur électromécanique 11a, 11b peut avantageusement être solidaire de la membrane déformable 12 sur une zone 123a, 123b (respectivement) située hors de la zone libre 121, et plus particulièrement sur une zone 123a, 123b adjacente à la zone libre 121, de sorte que tout mouvement de la partie mobile 111a, 111b d'un transducteur électromécanique 11a, 11b induise, notamment sur cette zone 123a, 123b, un étirement ou une relaxation de la membrane déformable 12. Ainsi dans l'exemple illustré sur la [Fig.2B], lorsque les transducteurs électromécaniques 11a et 11b sont sollicités de sorte à se déplacer vers le haut (comme illustré par les flèches s'étendant depuis la partie mobile 111a, 111b de chaque transducteur électromécanique 11a, 11b), une diminution de la pression externe exercée sur le milieu déformable 14 est observée, qui induit l'étirement de la membrane déformable 12 vers le bas, i.e. vers le centre de la cavité 13.

[0145] Milieu déformable 14

[0146] Le milieu déformable 14 peut plus particulièrement comprendre au moins l'un parmi un fluide et un liquide. Les paramètres du milieu déformable 14 seront adaptés en fonction des applications visés. L'on s'assure ainsi que tout changement de pression externe exercée sur le milieu déformable 14 induise une déformation sensiblement proportionnelle de la zone libre 121 de la membrane déformable 12. Le milieu déformable 14 peut être constitué ou à base d'un liquide, tel que de l'huile ou peut être constitué ou à base d'un polymère. Selon un exemple, le fluide est à base ou est constituée de glycérine. L'on s'assure ainsi, en plus d'une déformation sensiblement proportionnelle de la membrane 12, de la capacité du milieu déformable 14 à occuper notamment le volume créé par étirement de la zone libre 121 de la membrane déformable 12 à l'opposé du centre de la cavité 13.

[0147] Lorsque le microsystème électromécanique 1 joue le rôle d'actionneur ou de dispositif de préhension, au moins un transducteur électromécanique 11a, 11b est sollicité de sorte à exercer un changement de pression externe sur le milieu déformable

14 et induire par-là la déformation de la membrane déformable 12. Inversement, lorsque le microsysteme électromécanique 1 joue le rôle de capteur, la déformation de la membrane 12 exerce un changement de pression externe sur le milieu déformable 14 qui induit un déplacement de la partie mobile 111a, 111b d'au moins un des transducteurs électromécaniques 11a et 11b et génère par voie de conséquence un signal électrique.

[0148] Pion 122 relativement à la zone libre 121

[0149] Comme illustré sur les figures 1A à 1H et 2A à 2B, le microsysteme électromécanique 1 est tel que la zone libre 121 de la membrane déformable 12 est configurée pour coopérer avec au moins un doigt, généralement désignée pion 122. Les termes « doigt » et « pion » peuvent être intervertis. Le terme « pion » ne se limite pas aux pièces de section constante et a fortiori aux pièces cylindriques.

[0150] Plus précisément, le pion 122 prend appui sur une face externe 12e de la zone libre 121. De la sorte, la déformation de la zone libre 121 induit, ou est induite par, un mouvement du pion 122. C'est donc par l'intermédiaire de la zone libre 121 de la membrane déformable 12 que le microsysteme électromécanique 1 déplace le pion 122 ou capte un mouvement du pion 122. Ainsi, lorsque le microsysteme électromécanique 1 joue le rôle d'actionneur ou de dispositif de préhension, l'activation d'un des transducteurs électromécaniques 11a et 11b déforme la membrane 12 ce qui déplace le pion 122 et par voie de conséquence l'organe externe 2. Inversement, lorsque le microsysteme électromécanique 1 joue le rôle de capteur, un appui ou une traction imposée au pion 122, par exemple via un organe externe 2, génère sur la membrane 12 une déformation (compression ou traction), ce qui déplace au moins l'un des transducteurs électromécaniques 11a, 11b puis génère *in fine* un signal qui est fonction de ce déplacement.

[0151] Dans le cas d'un actionneur ou d'un capteur, le déplacement d'un objet ou la captation du déplacement d'un objet peuvent s'effectuer par l'intermédiaire de l'organe externe 2 qui coopère avec le pion 122.

[0152] Les pions 122 d'un même microsysteme électromécanique 1, voire les pions 122 d'une même zone libre 121 peuvent présenter des formes et/ou des dimensions différentes. En particulier, les pions peuvent présenter des hauteurs différentes. Cela permet par exemple de s'adapter aux objets que l'on souhaite déplacer, capturer ou dont on souhaite mesurer le déplacement.

[0153] Positionnement des transducteurs électromécaniques relativement à la zone libre 121

[0154] En référence aux [Fig.1D] et 1E à 1H, la partie mobile 111a à 111d de chaque transducteur électromécanique 11a à 11d s'inscrit dans une portion de secteur angulaire centré en un point de la zone libre 121 de la membrane déformable, cette portion étant délimitée par un pourtour extérieur 129 de la zone libre 121 de la

membrane déformable 12 et par un pourtour extérieur 130 d'une zone périphérique 123 (Cf. [Fig.1A] et 1B) entourant la zone libre 121 de la membrane déformable 12. La zone 123 n'est référencée que sur les figures 1A et 1B ; toutefois, en référence aux figures 1D à 1H, elle s'étend depuis le pourtour extérieur 129 de la zone libre 121 jusqu'au pourtour extérieur 130 tel qu'illustré. Comme cela apparaîtra clairement plus bas, les parties non-mobiles des transducteurs électromécaniques 11a, 11b s'étendent au-delà du pourtour 130 tel qu'illustré et donc au-delà de la zone périphérique 123.

[0155] En outre, la portion de secteur angulaire dans laquelle s'inscrit la partie mobile 111a d'un transducteur électromécanique 11a est distincte de la portion de secteur angulaire dans laquelle s'inscrit la partie mobile 111b à 111d de tout autre transducteur électromécanique 11b à 11d.

[0156] Chaque transducteur électromécanique 11a à 11d comprend :

- une extrémité distale définissant une portion du pourtour 129 de la zone libre 121, et
- une extrémité proximale opposée à l'extrémité distale et comprenant une portion du pourtour 130 de la zone périphérique 123.

[0157] Comme illustré sur la [Fig.1D], la partie mobile 111a, 111b de chaque transducteur électromécanique 11a, 11b est directement ou indirectement en contact avec une portion 123a, 123b de la membrane déformable 12 qui lui est propre. Il en va de même des transducteurs électromécaniques 11c et 11d ; des portions 123c et 123d pourraient pareillement être illustrées qui ne le sont pas par souci de ne pas surcharger davantage la [Fig.1D].

[0158] Les portions de secteur angulaire dans lesquelles les parties mobiles 111a à 111d des transducteurs électromécaniques 11a à 11d s'inscrivent sont adjacentes ou distantes entre elles. L'ensemble des portions de secteur angulaire définit de préférence entièrement le plan xy.

[0159] La partie mobile 111a d'un transducteur 11a est distincte et distante de la partie mobile 111b à 111d de tout autre transducteur 11b à 11d. Ainsi l'on comprend que la partie mobile de chaque transducteur ne couvre pas entièrement le secteur angulaire dans lequel cette partie s'inscrit. Pour autant, chaque transducteur électromécanique 11a à 11d et/ou la partie mobile 111a à 111d de chaque transducteur électromécanique 11a à 11d peut avantageusement prendre sensiblement la forme de la portion de secteur angulaire dans laquelle il et/ou elle s'inscrit. Ainsi, chaque partie mobile 111a à 111d de chaque transducteur électromécanique 11a à 11d peut prendre la forme d'une section angulaire d'un anneau. De préférence, chaque section angulaire d'anneau formée par une partie mobile 111a à 111d s'étend radialement sur toute l'étendue radiale de la zone périphérique 123.

[0160] Chaque partie mobile 111a à 111d de chaque transducteur électromécanique 11a, 11b

peut en outre avantageusement couvrir plus de 70 %, voire plus de 90 % de la portion de secteur angulaire dans laquelle il s'inscrit.

- [0161] Ainsi, sur la zone périphérique 123, sont ménagés des espaces 123ad, 123ac, 123bc et 123bd qui séparent entre eux les parties mobiles 111a à 111d des transducteurs électromécaniques 11a à 11d qui sont premières voisines entre elles. En outre, la surface occupée par ces espaces est inférieure, et par exemple d'au moins un ordre de grandeur inférieure, à la surface de chaque partie mobile 111a à 111d. Les espaces 123ad, 123ac, 123bc et 123bd s'étendent depuis la zone libre 121 dont le pourtour extérieur 129 n'est qu'en partie formée par les extrémités distales des parties mobiles 111a à 111d des transducteurs 11a à 11d.
- [0162] Ainsi, entre deux portions 123a, 123b, 123c, 123d premières voisines entre elles de la membrane déformable 12 qui sont chacune en contact avec la partie mobile 111a, 111b, 111c, 111d d'un transducteur électromécanique 11a, 11b, 11c, 11d, la membrane déformable 12 présente au moins une portion, couverte par un des espaces 123ad, 123ac, 123bc et 123bd correspondant, s'étendant depuis la zone libre 121 et configurée pour se déformer lorsque l'une au moins parmi les parties mobiles 111a, 111b des transducteurs en contact avec lesdites deux portions sont sollicités. De la sorte, les mouvements des parties mobiles des deux transducteurs peuvent être sensiblement indépendants entre eux.
- [0163] On notera que, en référence aux figures 1E et 1F, des espaces 123ab entre les parties mobiles 111a et 111b des transducteurs électromécaniques 11a et 11b peuvent de la même façon être définis.
- [0164] L'espace 123ad, 123ac, 123bc et 123bd, ainsi ménagé entre les parties mobiles 111a à 111d de deux transducteurs s'inscrivant dans des secteurs angulaires premiers voisins entre eux, peut être laissé vide ou être rempli d'un matériau, tel que le matériau constituant la membrane déformable 12, propre à se déformer pour accommoder tous mouvements desdites parties mobiles 111a à 111d.
- [0165] Chaque transducteur électromécanique 11a à 11d s'étend, à l'opposé de la zone libre de la membrane 12, par une partie non mobile au-delà de ladite portion de secteur angulaire. La partie non mobile de chaque transducteur 11a à 11d s'inscrit de préférence dans le même secteur angulaire que la partie mobile de ce transducteur.
- [0166] Depuis le pourtour externe 130 de la zone périphérique 123 s'étend par exemple un capot 18 (référéncé notamment sur les figures 1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 2C, 3A et 3B) qui maintient la membrane 12 au moins autour de sa zone libre 121 et/ou autour de la zone 123 sur laquelle s'étendent les parties mobiles des transducteurs 11a à 11d. La membrane 12 est ainsi située entre le capot 18 et le milieu déformable 14. Ce capot 18 s'étend par exemple dans le plan xy. Il présente au moins une ouverture qui définit la zone libre 121 et/ou au moins une ouverture qui définit la zone 123. Le capot 18 peut

s'étendre sur toute la première face 131 de la cavité 13, en projection sur le plan xy, à l'exception d'une ouverture définissant la zone libre 121 de la membrane 12 et/ou d'une autre ouverture 123 dans laquelle sont logés les parties mobiles 111a à 111d des transducteurs électromécaniques 11a à 11d. Le capot 18 peut présenter une zone qui sépare ces deux ouvertures.

- [0167] Le capot 18 participe au maintien en position de la partie non mobile de chacun des transducteurs électromécaniques 11a à 11d, ladite partie non mobile étant complémentaire de la partie mobile 111a à 111d pour chacun des transducteurs électromécaniques 11a à 11d. Par exemple, comme illustré sur les figures 3A et 3B qui seront ultérieurement décrites plus en détails, l'action de maintien de la partie non mobile de chacun des transducteurs électromécaniques 11a et 11b peut plus particulièrement être assurée par sa mise en prise entre le capot 18, et notamment sa partie située vers une partie centrale du microsystème 1, et l'espaceur 306, décrit plus bas, qui matérialise la paroi 133 latérale de la cavité 13 ; en ce sens, l'espaceur 306 s'étend de préférence vers la partie centrale du microsystème 1 au moins jusqu'au droit de la partie du capot 18 la plus proche de la partie centrale du microsystème 1.
- [0168] Comme illustré sur la [Fig.1D], la zone périphérique 123 peut former un anneau dont le centre définit l'étendue circulaire de la zone libre 121 de la membrane déformable 12. Par exemple, la zone libre 121 présente un diamètre sensiblement égal à 400 μm et le disque dans lequel s'inscrit la zone périphérique 123 présente un diamètre sensiblement égal à 1600 μm .
- [0169] En référence aux figures 1E à 1G, le nombre de transducteurs électromécaniques peut notamment être égal à deux, trois ou quatre. Quoiqu'il en soit, les transducteurs électromécaniques peuvent être disposés selon une symétrie de rotation discrète.
- [0170] Par exemple, le microsystème comprend :
- deux transducteurs électromécaniques disposés selon une symétrie de rotation d'ordre 2 et s'inscrivant chacun dans un des secteurs angulaires $\hat{M\hat{O}N}$ et $\hat{N\hat{O}M}$, comme illustré sur la [Fig.1F], ou
 - trois transducteurs électromécaniques disposés selon une symétrie de rotation d'ordre 3 et s'inscrivant chacun dans un des secteurs angulaires $\hat{M\hat{O}N}$, $\hat{N\hat{O}P}$ et $\hat{P\hat{O}M}$, comme illustré sur la [Fig.1E], ou
 - quatre transducteurs électromécaniques disposés selon une symétrie de rotation d'ordre 4 et s'inscrivant chacun dans un des secteurs angulaires $\hat{M\hat{O}N}$, $\hat{N\hat{O}P}$, $\hat{P\hat{O}Q}$ et $\hat{Q\hat{O}M}$ comme illustré sur la [Fig.1G].
- [0171] Le nombre de transducteurs peut être supérieur à quatre, sans préjudice de la capacité à les disposer selon une symétrie de rotation discrète.
- [0172] Considérant de nouveau les figures 1A à 1C, notons que les figures 1A et 1B cor-

respondent chacune à une vue en coupe du microsysteme 1 prise selon l'axe A-A illustré sur la [Fig.1D], tandis que la [Fig.1C] correspond à une vue en coupe du microsysteme 1 prise selon l'axe B-B illustré sur la [Fig.1D], où l'axe B-B passe par des espaces 123ac et 123bd tel que décrits ci-dessus opposés l'un à l'autre relativement à la zone libre 121, et plus particulièrement au centre 124 de la zone libre 121. Ainsi, on s'aperçoit que la [Fig.1C] n'illustre aucune partie mobile d'un quelconque transducteur électromécanique. Plus particulièrement, la membrane 12 s'y étend depuis la zone libre 121 jusqu'au capot 18 sans être au contact d'une partie mobile d'un transducteur électromécanique.

[0173] Positionnement du pion 122 sur la membrane 12

[0174] Comme illustré sur les figures 1A, 1B et 1C, mais aussi sur les figures 1D à 1F, le pion 122 peut être fixé au centre de la zone libre 121 de la membrane déformable 12. Le pion 122 est positionné de manière centrée sur la zone libre 121.

[0175] En alternative ou en complément (notamment lorsque plusieurs pions sont prévus), et comme illustré sur les figures 1G et 1H, et sur les figures 2A, 2B et 3A à 3C, le pion 122 peut ne pas être fixé au centre de la zone libre 121 de la membrane déformable 12. Le pion 122 est positionné de manière décentrée sur la zone libre 121.

[0176] Plus en détail et en référence à la [Fig.1D], la zone libre 121 de la membrane 12 présente une portion centrale 125 et une portion périphérique 126 qui s'étend depuis la portion centrale 125 et jusqu'à une bordure, également désignée pourtour externe 129 de la zone libre 121. Sur l'exemple illustré en [Fig.1D], la membrane 12 forme un disque. La portion centrale 125 forme également un disque centré sur un centre 124 de la zone libre 121. La portion périphérique 126 forme un anneau entourant la portion centrale 125.

[0177] Le pourtour externe 129 est par exemple défini au moins en partie par l'extrémité distale des parties mobiles 111a à 111d des transducteurs électromécaniques 11a à 11d.

[0178] Le pion 122 est configuré pour prendre appui sur la portion périphérique 126 de la zone libre 121 de sorte qu'une déformation de la zone libre 121 de la membrane 12 entraîne une inclinaison du pion 122.

[0179] Selon un exemple, le pion 122 présente une première extrémité 122a en appui, direct ou indirect, sur la face externe 12e de la zone libre 121. Il présente également une deuxième extrémité 122b. Selon un mode de réalisation non limitatif, le pion 122 s'étend, entre sa première extrémité 122a et sa deuxième extrémité 122b, principalement selon une unique direction, qualifiée de direction longitudinale 122c. Par exemple, le pion 122 présente une forme cylindrique ou tubulaire, de section circulaire, ovoïdale ou polygonale. Lorsque la zone libre 121 se déforme, sa direction longitudinale 122c s'incline dans un plan perpendiculaire au plan xy.

[0180] Selon un mode de réalisation alternatif, le pion ne présente pas une forme longiligne.

Il peut présenter une forme courbe par exemple. Les caractéristiques et avantages techniques mentionnés ci-dessous restent valables si le pion 122 présente une forme courbe ou autre.

[0181] Inclinaison du pion 122 et dispositif de préhension

[0182] L'inclinaison du pion 122 va maintenant être décrite en détail en référence aux figures 2A et 2B.

[0183] Selon un exemple non limitatif, en l'absence de déformation :

- la zone libre 121 de la membrane 12 s'étend principalement dans le plan xy, dit plan hors déformation, et
- la perpendiculaire à la tangente de la membrane 12, en un point donné de la zone libre 121, s'étend selon une direction T1 perpendiculaire au plan hors déformation.

[0184] Lorsque la membrane 12 se déforme, la perpendiculaire à la tangente en un point donné de la portion périphérique 126 de la zone libre 121 s'étend selon une direction, inclinée par rapport à la direction z, d'un certain angle α_i . L'angle α_i est ici mesuré dans un plan perpendiculaire au plan hors déformation xy. En se déformant, la zone libre 121 de la membrane 12 présente une forme de portion de sphère, de dôme ou de cloche à partir de son pourtour externe 129, lorsque tous les transducteurs électromécaniques sont sollicités, comme illustrés sur les figures 2A et 2B. Ainsi, l'angle α_i augmente au fur à mesure que l'on s'éloigne de la portion centrale 125 et que l'on se rapproche du pourtour externe 129.

[0185] La direction d'extension principale du pion 122 s'étend selon la direction z perpendiculaire à la tangente de la membrane au niveau de la prise d'appui de l'extrémité 122a du pion 122 sur la zone libre 121 non déformée. Ainsi, lorsque la zone libre 121 se déforme, la direction longitudinale du pion 122 s'incline. Sur la [Fig.2A], la direction d'extension principale du pion 122, lorsque la membrane 12 est déformée, forme un certain angle α_2 avec la direction z hors déformation.

[0186] On s'aperçoit clairement avec cet exemple schématique, que le microsystème électromécanique 1 proposé permet un débattement angulaire particulièrement élevé pour une déformation donnée de la zone libre 121 de la membrane 12. La solution proposée permet ainsi d'amplifier considérablement le mouvement de l'extrémité 122b du pion 122.

[0187] Sur la [Fig.2C], un mode de fonctionnement du microsystème est illustré selon lequel un seul transducteur, ou plus généralement un certain nombre de transducteurs, est sollicité, de sorte que la déformation de la zone libre de la membrane ne soit pas symétrique. L'on peut ainsi incliner un pion 122, même si celui-ci est centré relativement à la zone libre 121 de la membrane déformable 12.

[0188] Lorsque le pion 122 est lié à un organe externe 2, et que :

- le microsystème électromécanique 1 fait office d'actionneur, cela permet d'amplifier le débattement angulaire imposé à cet organe externe,
- le microsystème électromécanique 1 fait office de capteur, cela permet de capter un déplacement par exemple angulaire de l'organe externe.

[0189] Le microsystème électromécanique 1 proposé procure également de nombreux avantages lorsqu'il fait office de dispositif de préhension.

[0190] Plus particulièrement, en considérant l'exemple illustré sur la [Fig.1H], l'on comprend qu'un déplacement des parties mobiles 11a à 11d des transducteurs électromécaniques 11a à 11d dans un premier sens provoque une déformation de la zone libre 121 de la membrane 12 dans un deuxième sens opposé au premier sens, et induit une inclinaison des pions 122 dans un même sens relativement au centre de la zone libre 121. Ainsi, le déplacement vers le bas de la partie mobile de chaque transducteur électromécanique 11a à 11d peut provoquer une déformation vers le haut de la zone libre 121 de la membrane 12, et une inclinaison des pions 122 de sorte à éloigner leurs extrémités distales 122b les unes des autres. Le microsystème est alors dans une configuration propre à permettre la venue d'un objet à saisir ou à permettre la libération d'un objet jusque-là maintenu entre les pions 122. Inversement, un déplacement de la partie mobile de chaque transducteur électromécanique 11a à 11d vers le haut provoque une déformation de la zone libre 121 de la membrane 12 vers le bas, et induit une inclinaison des pions 122 de sorte à rapprocher leurs extrémités distales 122b les unes des autres. Le microsystème est alors dans une configuration propre à permettre le maintien d'un objet sur lesquels les pions 122 se seraient refermés.

[0191] Selon l'exemple illustré sur les figures 3A et 3C, le pion 122, plus précisément sa première extrémité 122a, est située à une distance minimale D122 d'un point du pourtour externe 129, telle que D122 est inférieure à k fois la distance D124 mesurée entre ce même point et le centre 124 de la zone libre 121.

[0192] Le point du pourtour externe 129 situé à une distance minimale D122 de la première extrémité 122a du pion 122 est le point du pourtour externe 129 le plus proche du pion 122. De préférence, k est inférieur à 0.7, de préférence k est inférieur à 0.5 et de préférence k est inférieur à 0.3. De manière plus générale, plus le pion 122 sera positionné à proximité de la bordure de la zone libre 121, plus l'inclinaison du pion 122 sera importante pour une même déformation de la membrane 12. On augmente ainsi l'amplitude du débattement obtenu.

[0193] Solidarisation du pion 122 et de l'organe externe 2

[0194] De façon non limitative, un collage ou une aimantation du pion 122 sur l'organe externe 2 peut permettre de solidariser entre eux le pion 122 et l'organe externe 2. L'énergie d'adhérence du pion 122 sur la zone libre 121 de la membrane déformable 12 est de préférence supérieure à celle du pion 122 sur l'organe externe 2. L'énergie

d'adhérence du pion 122 sur la zone libre 121 peut être une résultante d'étapes technologiques ordinaires dans le domaine de la micro-électronique. Cette énergie d'adhérence pouvant ainsi être estimée ou mesurée, il est aisé d'obtenir par collage, par exemple à l'aide d'une résine *ad hoc*, ou par aimantation, par exemple une solidarisation qui soit d'une énergie plus faible que l'énergie avec laquelle le pion 122 est solidarisé avec la membrane déformable 12. On comprend donc que la solidarisation entre le pion 122 et l'organe externe 2 est ainsi largement modulable en termes de force de retenue. Cette modularité peut permettre notamment de rendre amovible la solidarisation entre le pion 122 et l'organe externe 2, par exemple pour permettre à un même microsystème électromécanique 1 selon l'invention d'être agencé successivement avec plusieurs organes externes 2 avec chacun desquels il serait solidarisé, puis désolidarisé.

[0195] L'invention n'est toutefois pas limitée aux différentes valeurs spécifiques ou aux différentes proportions spécifiques données ci-dessus qui peuvent être largement adaptées, en fonction de l'application visée, notamment pour trouver un compromis entre facteur d'étirement et amplitude de déformation attendue de la zone libre 121 de la membrane déformable 12.

[0196] Notons que, notamment lorsque chaque transducteur électromécanique 11a à 11d est un transducteur piézoélectrique, le transducteur électromécanique 11 peut avantageusement être un transducteur à fonctionnement vibratoire. Sa fréquence de résonance est alors de préférence inférieure à 100 kHz, et encore plus préférentiellement inférieures à 1 kHz. La dynamique vibratoire ainsi obtenue peut permettre d'atteindre des débattements plus grands qu'en fonctionnement statique, notamment en exploitant le phénomène de résonance afférent ou de diminuer la consommation du microsystème électromécanique pour un débattement donné.

[0197] La fréquence de fonctionnement d'un transducteur ou de deux transducteurs situés en vis-à-vis relativement à la zone libre peut être différente de la fréquence de résonance d'un ou plusieurs autres transducteurs. Par exemple, les transducteurs présentant les parties mobiles 111a et 111b illustrées sur la [Fig.1H] peuvent fonctionner à une première fréquence différente d'une fréquence à laquelle fonctionnent les transducteurs présentant les parties mobiles 111c et 111d illustrées sur la [Fig.1H].

[0198] Butées latérales

[0199] Le microsystème électromécanique 1 peut comprendre en outre une ou plusieurs butées latérales 15 formant une butée de fin de course pour le pion 122 ou pour l'éventuel organe externe 2 que le pion 122 supporte. La ou les butées latérales 15 sont supportées par la première paroi 131 de la cavité 13. Chaque butée latérale 15 s'étend plus particulièrement à l'opposé de la cavité 13. Par exemple, chaque butée latérale 15 s'étend depuis au moins une partie non mobile des transducteurs électromécaniques

11a à 11d.

- [0200] Chaque butée latérale 15 peut en outre participer à l'action de maintien en position d'une partie non mobile d'au moins un des transducteurs électromécaniques 11a à 11d, ladite partie non mobile étant complémentaire de la partie mobile 111a à 111d pour chacun des transducteurs électromécaniques 11a à 11d. En ce sens, les butées latérales peuvent être confondues avec au moins une partie du capot 18.
- [0201] Relativement à cette ou ces butées latérales 15, le pion 122 peut s'étendre, à l'opposé de la cavité 13. La ou les butées latérales 15 contribuent à limiter le débattement angulaire du pion 122, et de l'éventuel organe externe 2 associé au pion 122, comme illustré sur les figures 2A et 2B.
- [0202] Cela permet également de réduire le risque d'arrachement de la membrane déformable 12 lors du report de l'organe externe 2 sur le microsystème électromécanique 1. Naturellement, pour cela il faut que les dimensions de l'organe externe 2 soient configurées pour que ce dernier vienne en butée sur les butées latérales 15 lors de sa fixation sur le pion 122. Naturellement, il conviendrait d'adapter les dimensions et les formes des butées 15 et de l'organe externe 2 pour que ce dernier viennent en butée sur la butée latérale 15 située à droite du microsystème électromécanique.
- [0203] Notons ici que, dépendant de l'étendue de l'organe externe 2, les butées latérales 15 peuvent également jouer le rôle de butée haute limitant le rapprochement de l'organe externe 2 vers le microsystème électromécanique 1. Cette particularité peut également permettre d'induire une désolidarisation du pion 122 et de l'organe externe 2 entre eux en tirant le pion 122 dans une position plus basse que celle possiblement atteinte par l'organe externe 2 du fait que ce dernier bute sur le haut des butées latérales 15. Plus précisément, les butées latérales 15 présentent une surface de butée configurée pour stopper le déplacement de l'organe 2. Le microsystème électromécanique 1 est configuré de sorte à ce que, lorsque le déplacement de l'organe 2 est stoppé dans son déplacement de translation, selon un sens amenant l'organe vers la cavité 13, par les butées latérales 15, le pion 122 peut poursuivre son déplacement, dans ce même sens. Le pion 122 se désolidarise ainsi de l'organe 2.
- [0204] Butée basse
- [0205] Comme illustré sur chacune des figures 2A et 2B, le microsystème électromécanique 1 peut comprendre en outre une ou plusieurs butées de fin de course, dites butées basses 16. Cette ou ces butées basses 16 sont supportées par la paroi 132 de la cavité 13 qui est opposée à la paroi 131 formée au moins en partie par la membrane déformable 12. Elle s'étend dans la cavité 13 vers la zone libre 121 de la membrane déformable 12. Cette butée basse 16 présente de préférence une forme et des dimensions configurées pour limiter la déformation de la zone libre 121 de la membrane déformable 12 de sorte à protéger la membrane déformable 12, et plus particulièrement

sa zone libre 121, d'un éventuel arrachement, notamment lors du report du pion 122 ou de l'organe externe 2 sur le microsystème électromécanique 1. De manière alternative ou cumulée, la butée basse 16 est conformée de sorte à limiter la surface de contact entre la membrane 12 et la paroi 132 de la cavité 13 opposée à la zone libre 121 de la membrane 12 déformable. Cela permet d'éviter que la membrane 12 n'adhère et ne se colle à cette paroi 132.

- [0206] Les transducteurs électromécaniques 11a à 11d peuvent être sollicités simultanément ou successivement. L'amplitude de déplacement et/ou d'inclinaison du pion 122 induite par chaque transducteur électromécanique 11a à 11d peut être identique ou différente, notamment en fonction de la sollicitation de chaque transducteur 11a à 11d.
- [0207] Selon un premier mode de réalisation, les transducteurs électromécaniques 11a à 11d sont configurés pour que, sous sollicitation, leurs parties mobiles 111a à 111d induisent des déformations de la zone libre 121 entraînant une inclinaison du ou des pions 122 selon une même direction et/ou dans un même sens. L'inclinaison totale du ou des pions résulte alors du cumul du déplacement des parties mobiles de ces transducteurs électromécaniques 11a à 11d. L'inclinaison du pion résultant du déplacement de la partie mobile d'un premier transducteur dans une direction peut être :
- augmentée en sollicitant un transducteur antagoniste au premier et situé à l'opposé relativement à la zone libre, et/ou
 - modulée dans d'autres directions d'inclinaison en sollicitant certains des autres transducteurs.
- [0208] Le microsystème électromécanique 1 peut en outre présenter ainsi un fonctionnement pas à pas, notamment en permettant des mouvements du pion 122 combinant au moins une inclinaison et au moins une translation. La translation du pion est alors notamment perpendiculaire à la paroi de la cavité 13 qui est en partie formée par la membrane déformable 12. Cela permet d'envisager diverses cinématiques pour déplacer le pion 122, chaque cinématique pouvant répondre à une application différente.
- [0209] Selon un deuxième mode de réalisation, éventuellement combinable avec le mode de réalisation pas à pas, au moins certains des transducteurs électromécaniques 11a à 11d sont configurés pour que, sous sollicitation, ils induisent une inclinaison du ou des pions 122 dans deux sens opposés et/ou dans des directions différentes. Ainsi, au moins l'un 11a de ces transducteurs électromécaniques peut permettre d'incliner le pion 122 selon un premier sens et au moins un autre 11b de ces transducteurs électromécaniques 11a à 11d peut permettre d'incliner le pion 122 selon un deuxième sens opposé au premier sens. Deux autres 11c et 11d de ces transducteurs permettent la même chose, mais dans une direction différente, par exemple une direction perpendiculaire.
- [0210] Des modes de réalisation de l'invention plus spécifiques que ceux décrits ci-dessus

sont illustrés sur les figures 3A à 3C sur lesquelles les mêmes références que sur les figures 1A à 1C référencient les mêmes objets.

- [0211] On y observe tout d'abord que chaque transducteur électromécanique 11a, 11b illustré comprend un support 305 également désigné poutre et un matériau piézoélectrique 302 configuré pour déformer le support 305 lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Le terme 'poutre' ne limite pas la forme de ce support. Dans cet exemple, la poutre 305 forme un secteur annulaire.
- [0212] Une comparaison entre les figures 3A et 3B montre que le matériau piézoélectrique 302 peut être situé d'un côté ou de l'autre de la fibre neutre de chaque ensemble formant un transducteur. C'est grâce à cette alternative qu'un matériau piézoélectrique dont la déformation est insensible à la polarisation du courant électrique le parcourant permet tout de même de déformer la poutre 305 dans un sens ou dans l'autre.
- [0213] Plus particulièrement, sur la [Fig.3A], le matériau piézoélectrique 302 est situé sous la poutre 305, et donc sous la fibre neutre de l'ensemble, c'est-à-dire qu'il est situé entre la poutre 305 et la membrane 12. Lorsqu'un courant électrique parcourt le matériau piézoélectrique 302, il se rétracte et entraîne avec lui la poutre 305. Une extrémité libre 305a de la poutre se courbe vers le bas, entraînant avec elle la zone périphérique 123 de la membrane 12 liée à la poutre 305. Par conservation de volume, la zone libre 121 de la membrane se déplace quant à elle vers le haut, entraînant alors avec elle le déplacement vers le haut du pion 122 et son inclinaison, ici vers la gauche. Ce cas de figure correspond à celui illustré en [Fig.2A]. Une autre extrémité 305b de la poutre 302 reste de préférence fixe. Cette autre extrémité 305b, est par exemple solidaire d'une paroi fixe 306 de la cavité 13 et des éventuelles butées latérales 15. Selon un autre mode de réalisation, on peut prévoir que l'extrémité 305b soit fixée à un capot 18 du microsystème électromécanique 1 ou constitue une partie de ce capot 18. Le capot ou la cavité du microsystème électromécanique 1 est destiné à être fixé sur un support ou un bâti.
- [0214] Sur la [Fig.3B], le matériau piézoélectrique 302 est situé au-dessus de la poutre 305, c'est-à-dire que la poutre 305 est située entre le matériau piézoélectrique 302 et la membrane 12. Lorsqu'un courant électrique parcourt le matériau piézoélectrique 302, il se rétracte et entraîne avec lui la poutre 305. Une extrémité libre 305a de la poutre fléchit alors vers le haut, tirant avec elle la zone périphérique 123 de la membrane 12 liée à la poutre 305. Par conservation de volume, la zone libre 121 de la membrane se déplace quant à elle vers le bas, entraînant alors avec elle le déplacement vers le bas du pion 122 et son inclinaison, ici vers la droite. Ce cas de figure correspond à celui illustré en [Fig.2B].
- [0215] On observe également sur les figures 3A et 3B, les différentes hauteurs que peuvent présenter le pion 122 relativement à la hauteur des butées latérales 15. On n'y observe

encore que les butées latérales 15 et les butées basses 16 peuvent prendre différentes formes, et notamment une forme parallélépipédique, une forme tronconique, une forme sensiblement pyramidale, etc.

[0216] On observe en outre, sur les figures 3A et 3B, que la partie mobile 11a, 11b de chaque transducteur électromécanique 11a, 11b peut être définie par l'étendue du matériau piézoélectrique 302 relativement à l'étendue de la poutre 305.

[0217] Sur les figures 3A et 3B, des ouvertures d'accès pour une connexion électrique des électrodes sont représentées. Ces ouvertures forment dans ces exemples des via 17. Dans cet exemple, les vias 17 traversent toute l'épaisseur de la poutre 305. L'épaisseur e_{305} de la poutre 302 est mesurée selon une direction perpendiculaire au plan dans lequel s'étend principalement les faces 12e et 12i de la membrane 12. L'épaisseur e_{305} est référencée en figures 3A et 3B.

[0218] La [Fig.3C] correspond à une version plus détaillée de la [Fig.1C]. Autrement dit, la [Fig.3C] est une vue en coupe du microsystème 1 prise selon l'axe B-B illustrés sur la [Fig.1D]. On n'y observe aucune illustration d'un quelconque matériau piézoélectrique 302. On n'y observe par contre que des parties des couches 201, 202 et 203 constituant en partie les transducteurs électromécaniques 11a et 11b y sont représentés. Ces parties des couches 201, 202 et 203 peuvent constituer une partie des parties non mobiles des transducteurs électromécaniques 11a et 11b. Elles peuvent former une partie du capot 18.

[0219] Les figures 3A à 3C illustrent plus particulièrement des modes de réalisation de l'invention qui ont été obtenus par des étapes de dépôt et de gravure pouvant être qualifiées comme ordinaires dans le domaine de la microélectronique.

[0220] Les procédés de fabrication correspondants ont au moins en commun de comprendre :

- une étape de formation de ce qui est destiné à constituer une portion au moins des deux transducteurs électromécaniques 11a et 11b sur un substrat 200, puis
- une étape de dépôt de la membrane déformable 12, puis
- une étape de formation d'une cavité 13 ouverte sur la membrane déformable 13, puis
- une étape de remplissage avec le milieu déformable et de fermeture de la cavité 13, et
- une étape de gravure du substrat 200 pour former la face avant des micro-systèmes électromécaniques illustrés sur les figures 3A à 3C.

[0221] Autres modes de réalisation

[0222] En reprenant les principes, les caractéristiques et les effets techniques mentionnés en référence aux modes de réalisation décrits ci-dessus, de nombreuses variantes peuvent être envisagées. Quelques-unes de ses variantes sont brièvement exposées ci-dessous.

Toutes les caractéristiques et tous les effets techniques mentionnés dans les exemples qui vont suivre et dans les exemples décrits ci-dessus sont combinables.

[0223] Forme de la zone libre 121

[0224] Les formes de la zone libre 121 de la membrane 12 peuvent être adaptées avec une forte liberté en fonction des objectifs que l'on cherche à atteindre. Ces objectifs concernent par exemple l'amplitude du déplacement et/ou de l'inclinaison des pions 122 ou la forme que l'on souhaite donner à une zone de préhension assurée par les pions 122.

[0225] Sur la [Fig.1D], la zone libre 121 présente une forme de disque. Sa portion centrale 125, sa portion périphérique 126 et son pourtour externe 129 présentent alors également une forme de disque ou de cercle.

[0226] Toutefois, la zone libre 121 peut en alternative présenter une forme d'oblong ou d'ellipsoïde. Sa portion centrale 125, sa portion périphérique 126 et son pourtour externe 129 présentent alors également une forme d'oblong ou d'ellipsoïde. En variante, la zone libre 121 peut présenter une forme polygonale, tel qu'un carré ; sa portion centrale 125, sa portion périphérique 126 et son pourtour externe 129 présenteraient alors également une polygonale.

[0227] Nombre de transducteurs

[0228] Naturellement, le nombre de transducteurs électromécaniques 11a, 11b peut être supérieur à deux.

[0229] Les transducteurs électromécaniques 11a à 11d peuvent être sollicités simultanément ou successivement. L'amplitude de déplacement du pion 122 induite par chaque transducteur électromécanique 11a à 11d peut être identique ou différente.

[0230] La présence de plus de deux transducteurs électromécaniques 11a à 11d dans un même microsysteme électromécanique 1 permet des modes de fonctionnement variés.

[0231] Forme et dimensions des transducteurs

[0232] Les transducteurs peuvent présenter des formes et/ou des dimensions différentes. L'on peut ainsi obtenir différentes amplitudes de déplacement dans différentes directions.

[0233] Système opto-électro-mécanique 3

[0234] Un autre aspect de l'invention concerne un système opto-électro-mécanique 3. Un exemple non limitatif d'un tel système est illustré sur la [Fig.4]. Il comprend au moins un microsysteme électromécanique 1 tel que décrit ci-dessus et au moins un microsysteme optique 31. Le microsysteme électromécanique 1 est de préférence monté sur un support (non illustré) du microsysteme opto-électro-mécanique 3.

[0235] Le microsysteme optique 31 peut comprendre un micro-miroir à base de silicium. De préférence, le pion 122 est disposé au centre du miroir, comme illustré sur la [Fig.4]. Cela permet notamment de bénéficier pleinement de l'amplitude de l'inclinaison du

pion pour incliner le miroir.

- [0236] Le microsysteme optique 31 peut être monté directement sur l'au moins un microsysteme électromécanique 1 ou y être monté par l'intermédiaire d'un cadre (non illustré). Il peut présenter des dimensions sensiblement égales à 2 mm x 5 mm et/ou, au maximum, une épaisseur d'environ 700 μm .
- [0237] On obtient ainsi un microsysteme opto-électro-mécanique 3 bénéficiant d'une large capacité d'adaptation de son orientation optique.
- [0238] Au vu de la description qui précède, il apparaît clairement que l'invention permet d'obtenir une inclinaison d'un ou de plusieurs pions 122 avec un débattement angulaire dont l'amplitude est importante et parfaitement maîtrisée. Cela permet d'obtenir des actionneurs, des dispositifs de préhension ou des capteurs à grand débattement et de grande précision.
- [0239] L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation précédemment décrits.
- [0240] Notamment, d'autres applications que celles décrites ci-dessus sont envisageables. Par exemple, le microsysteme électromécanique 1 peut être agencé dans un système d'auto-assemblage de composants microélectroniques.

Revendications

[Revendication 1]

Microsystème électromécanique (1) comprenant :

- au moins des premier et deuxième transducteurs électromécaniques (11a, 11b) comprenant chacun une partie mobile (111a, 111b) entre une position d'équilibre, hors sollicitation, et une position hors équilibre, sous sollicitation,
- au moins une membrane déformable (12),
- une cavité (13) déformable, délimitée par des parois (131, 132, 133), au moins une partie de la membrane déformable (12) formant au moins une partie d'une première paroi (131) prises parmi lesdites parois (131, 132, 133) de la cavité (13), la cavité (13) étant configurée pour contenir hermétiquement un milieu déformable (14) propre à conserver un volume sensiblement constant sous l'action d'un changement de pression externe exercée sur le milieu déformable (14) à travers l'une paroi des parois (131, 132, 133) de la cavité (13),

dans lequel la partie mobile (111a, 111b) de chaque transducteur électromécanique (11a, 11b) est configurée de sorte que son mouvement soit fonction dudit changement de pression externe, ou inversement que son mouvement induise un changement de pression externe, et dans lequel ladite au moins une partie de la membrane déformable (12) présente au moins une zone libre (121) de se déformer, de préférence de façon élastique, en fonction dudit changement de pression externe,

dans lequel la partie mobile (111a, 111b) de chaque transducteur électromécanique (11a, 11b) s'inscrit dans une portion de secteur angulaire centré en un point de la zone libre (121) de la membrane déformable, ladite portion de secteur angulaire étant délimitée par un pourtour extérieur (129) de la zone libre (121) de la membrane déformable (12) et par un pourtour extérieur (130) d'une zone périphérique (123) entourant la zone libre (121) de la membrane déformable (12), et

dans lequel la portion de secteur angulaire dans laquelle s'inscrit la partie mobile (111a) d'un transducteur électromécanique (11a) est distincte de la portion de secteur angulaire dans laquelle s'inscrit la partie mobile (111b) de tout autre transducteur électromécanique (11b).

[Revendication 2]

Microsystème électromécanique (1) selon la revendication précédente,

dans lequel la partie mobile (111a, 111b) de chaque transducteur électromécanique (11a, 11b) recouvre une portion (123a, 123b) de la membrane déformable (12) qui lui est propre.

- [Revendication 3] Microsystème électromécanique (1) selon la revendication précédente, dans lequel, entre deux portions (123a, 123b) premières voisines entre elles de la membrane déformable recouverte chacune de la partie mobile (111a, 111b) d'un transducteur électromécanique (11a, 11b), la membrane déformable présente au moins une portion (123ab) s'étendant depuis la zone libre (121) et configurée pour se déformer lorsque l'une au moins parmi les parties mobiles (111a, 111b) des deux transducteurs (11a, 11b) recouvrant lesdites deux portions (123a, 123b) sont sollicités.
- [Revendication 4] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un espace est ménagé entre les parties mobiles (111a, 111b) de deux transducteurs (11a, 11b) s'inscrivant dans des secteurs angulaires consécutifs, chaque espace étant vide propre à se déformer pour accommoder tous mouvements desdites parties mobiles (111a, 111b).
- [Revendication 5] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque transducteur électromécanique (11a, 11b) et/ou la partie mobile (111a, 111b) de chaque transducteur électromécanique (11a, 11b) prend sensiblement la forme de la portion de secteur angulaire dans laquelle il s'inscrit.
- [Revendication 6] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la zone libre (121) forme un disque, une ellipse ou un polygone et/ou dans lequel la zone périphérique (123) présente un pourtour extérieur (130) prenant la forme de la zone libre (121).
- [Revendication 7] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les transducteurs électromécaniques (11a, 11b) sont disposés selon une symétrie de rotation discrète.
- [Revendication 8] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant au moins un pion (122), configuré pour prendre appui sur un barycentre (124) de la zone libre (121) de la membrane (12) de sorte qu'une déformation de la zone libre (121) entraîne un déplacement du pion (122) vers le centre de la cavité (13) ou à l'opposé du centre de la cavité (13).
- [Revendication 9] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel, la zone libre (121) présentant un pourtour

externe (129) et une portion périphérique (126) qui s'étend depuis le pourtour externe (129) et jusqu'à une portion centrale (125) de la zone libre (121), le microsystème électromécanique (1) comprend en outre au moins un pion (122) configuré pour prendre appui sur la portion périphérique (126) de la zone libre (121) de sorte qu'une déformation de la zone libre (121) de la membrane (12) entraîne une inclinaison du pion (122).

[Revendication 10] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, en l'absence de déformation, la zone libre (121) de la membrane (12) s'étend principalement dans un plan (xy), dit plan hors déformation, et la perpendiculaire à la tangente en un point donné de la zone libre (121) s'étend selon une direction T1 perpendiculaire au plan hors déformation, et lorsque la membrane (12) se déforme, la perpendiculaire à la tangente en un point donné de la portion périphérique (126) de la zone libre (121) s'étend selon une direction Ti inclinée d'un angle α_i par rapport à la direction T1, l'angle α_i augmentant au fur à mesure que l'on s'éloigne de la portion centrale (125) et que l'on se rapproche du pourtour externe (129) de la zone libre (121).

[Revendication 11] Microsystème électromécanique (1) selon les deux revendications précédentes dans lequel le pion (122) s'étend principalement selon une direction longitudinale (122c) et dans lequel lorsque la membrane (12) n'est pas déformée, la direction longitudinale (122c) du pion (122) est sensiblement perpendiculaire à un plan (xy) dans lequel s'étend principalement une face externe (12e) de la membrane (12) lorsque la membrane (12) n'est pas déformée, le microsystème électromécanique étant configuré de sorte qu'une déformation de la zone libre (121) de la membrane (12) entraîne une inclinaison de la première extrémité (122a) en direction de la portion centrale (124) de la zone libre (121).

[Revendication 12] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des trois revendications précédentes, dans lequel la zone libre (121) est délimitée par un pourtour externe (129), le pion (122) étant situé à une distance minimale D122 du pourtour externe (129), telle que D122 est inférieure à k fois une distance D124,

- D122 étant mesurée entre le pion (122) et le point (128) du pourtour externe (129) le plus proche du pion (122), et
- la distance D124 étant mesurée entre ce même point (128) et le centre (124) de la zone libre (121),

- k étant inférieur à 0.7, de préférence k étant inférieur à 0.5, de préférence k étant inférieur à 0.3
- [Revendication 13] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des quatre revendications précédentes, comprenant une pluralité de pions (122), prenant chacun appui sur la portion périphérique (126) de la zone libre (121) de sorte qu'une déformation de la zone libre (121) de la membrane (12) entraîne une inclinaison des pions (122).
- [Revendication 14] Microsystème électromécanique (1) selon la revendication précédente, dans lequel les pions (122) présentent une extrémité libre (122b), opposée à l'extrémité (122a) par laquelle ils prennent appui sur la portion périphérique (126) de la zone libre (121), les pions (122) étant conformés de sorte qu'une déformation de la zone libre (121) de la membrane (12) entraîne sélectivement un rapprochement ou un éloignement des extrémités libres (122b) des pions (122).
- [Revendication 15] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des deux revendications précédentes, dans lequel les pions (122) sont conformés de sorte qu'une déformation de la zone libre (121) de la membrane (12) entraîne sélectivement une mise en contact ou un éloignement des extrémités libres (122b) des pions (122).
- [Revendication 16] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des trois revendications précédentes, dans lequel les pions (122) sont répartis sur la portion périphérique (126) de sorte que le rapprochement de leurs extrémités libres (122b) permette de former une cage au-dessus de la zone libre (121).
- [Revendication 17] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des quatre revendications précédentes, dans lequel les pions (122) sont disposés selon une symétrie de rotation discrète.
- [Revendication 18] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des cinq revendications précédentes, dans lequel, le microsystème comprenant autant de pions (122) que de transducteurs électromécaniques, chaque pion (122) prend appui sur une portion de la zone libre (121) délimitée par l'intersection de la portion périphérique (126) de la zone libre (121) avec un secteur angulaire, ce dernier étant celui dans lequel un des transducteurs électromécaniques s'inscrit.
- [Revendication 19] Microsystème électromécanique (1) selon la revendication 8 ou l'une quelconque des revendications 9 à 18, dans lequel le ou les pions (122)

sont fixés sur ladite zone libre (121), de préférence au contact directe de ladite zone libre (121).

- [Revendication 20] Microsystème électromécanique (1) la revendication 8 ou l'une quelconque des revendications 9 à 18, dans lequel le ou les pions (122) sont configurés pour coopérer avec un ou plusieurs objets formant un organe externe (2) de sorte que le mouvement de la partie mobile (111a, 111b) de chaque transducteur électromécanique (11a, 11b) soit fonction d'un déplacement du ou des pions (122) entraînés par l'organe externe (2) ou inversement que le mouvement de la partie mobile (111a, 111b) de chaque transducteur électromécanique (11a, 11b) induise un déplacement, en particulier une inclinaison, de l'organe externe (2) par l'intermédiaire du ou des pions (122).
- [Revendication 21] Microsystème électromécanique (1) selon la revendication précédente, dans lequel le ou les pions (122) sont configurés pour pouvoir être solidarisés avec l'organe externe (2) par collage ou magnétisme.
- [Revendication 22] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des deux revendications précédentes, comprenant en outre au moins une butée latérale (15), de préférence supportée par ladite première paroi (131) de la cavité (13), configurée pour guider le mouvement de l'organe externe (2).
- [Revendication 23] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des revendications 9 à 18, dans lequel au moins certains des transducteurs électromécaniques (11a, 11b) sont configurés pour que, sous sollicitation, leurs parties mobiles (111a, 111b), induisent des déformations de la zone libre (121) de la membrane (12) entraînant une inclinaison de l'au moins un pion (122) selon une même direction et/ou dans un même sens.
- [Revendication 24] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des revendications 9 à 18, dans lequel au moins certains des transducteurs électromécaniques (11a, 11b) sont configurés pour que, sous sollicitation, leurs parties mobiles (111a, 111b), induisent des déformations de la zone libre (121) de la membrane (12) entraînant une inclinaison de l'au moins un pion (122) selon des directions différentes et/ou dans deux sens opposés.
- [Revendication 25] Microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la membrane déformable (12) est configurée de sorte que sa zone libre (121) est capable de se déformer avec une amplitude d'au moins 50 μm , voire d'environ 100 μm .
- [Revendication 26] Système opto-électro-mécanique (3) comprenant au moins un microsystème électromécanique (1) selon l'une quelconque des reven-

dications précédentes et au moins un microsysteme optique (31), le microsysteme optique (31) comprenant au moins un miroir, de préférence à base de silicium, le systeme opto-électro-mécanique (3) étant configuré de sorte à ce que le mouvement de la partie mobile (111a, 111b) de chaque transducteur électromécanique (11a, 11b) provoque un déplacement de l'au moins un miroir.

[Fig. 1A]

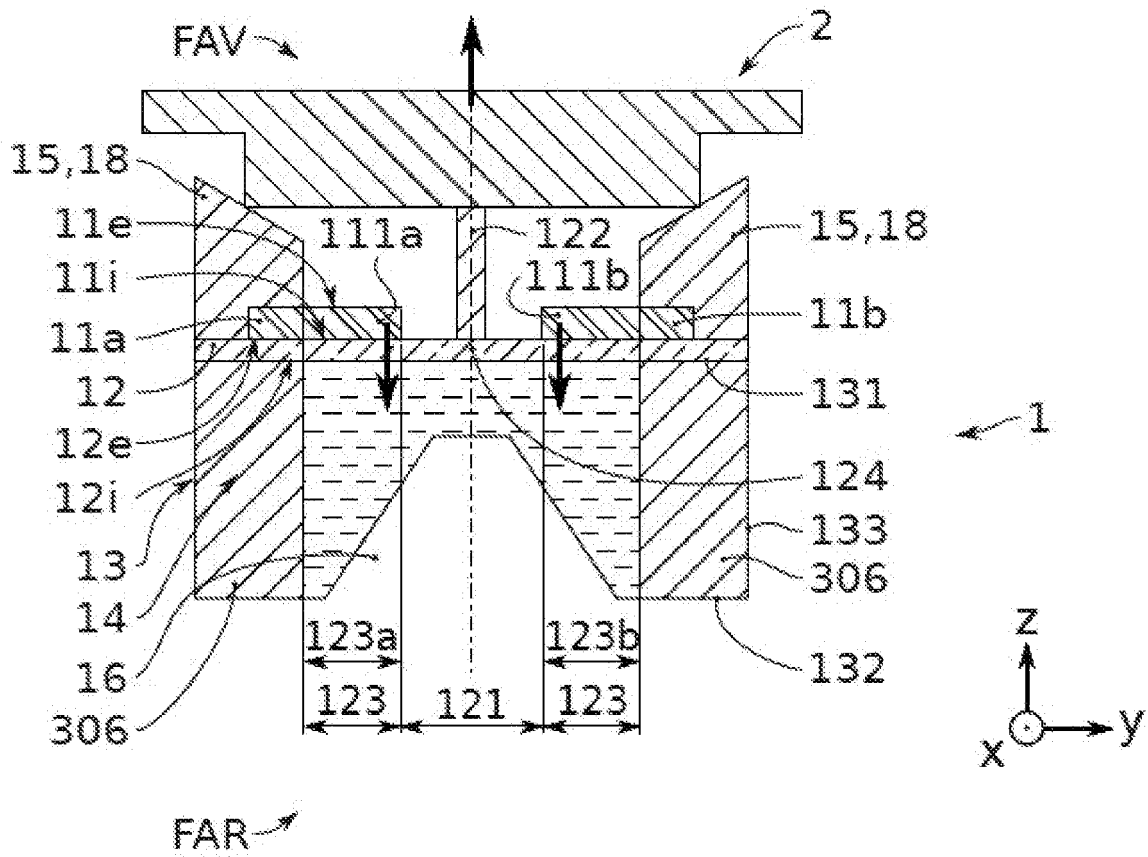


FIG. 1A

[Fig. 1B]

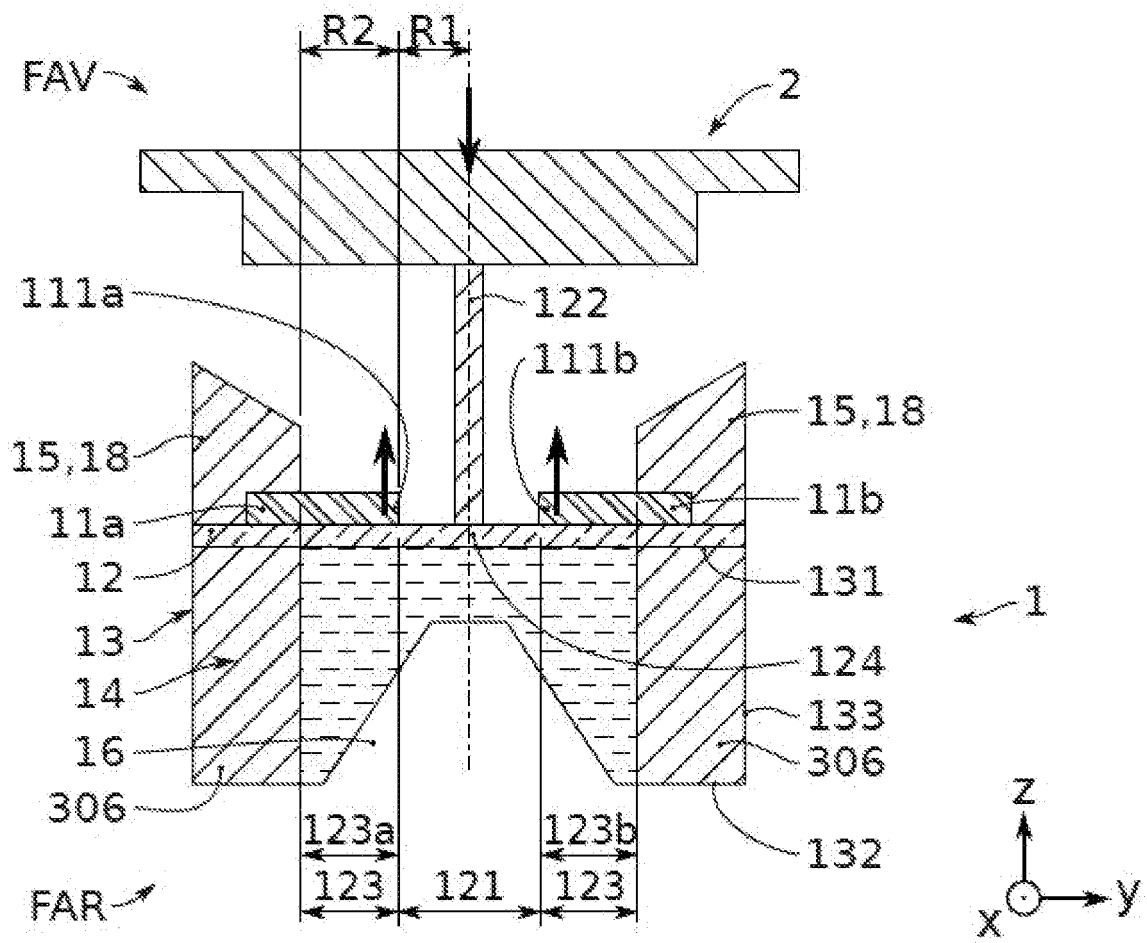


FIG. 1B

[Fig. 1C]

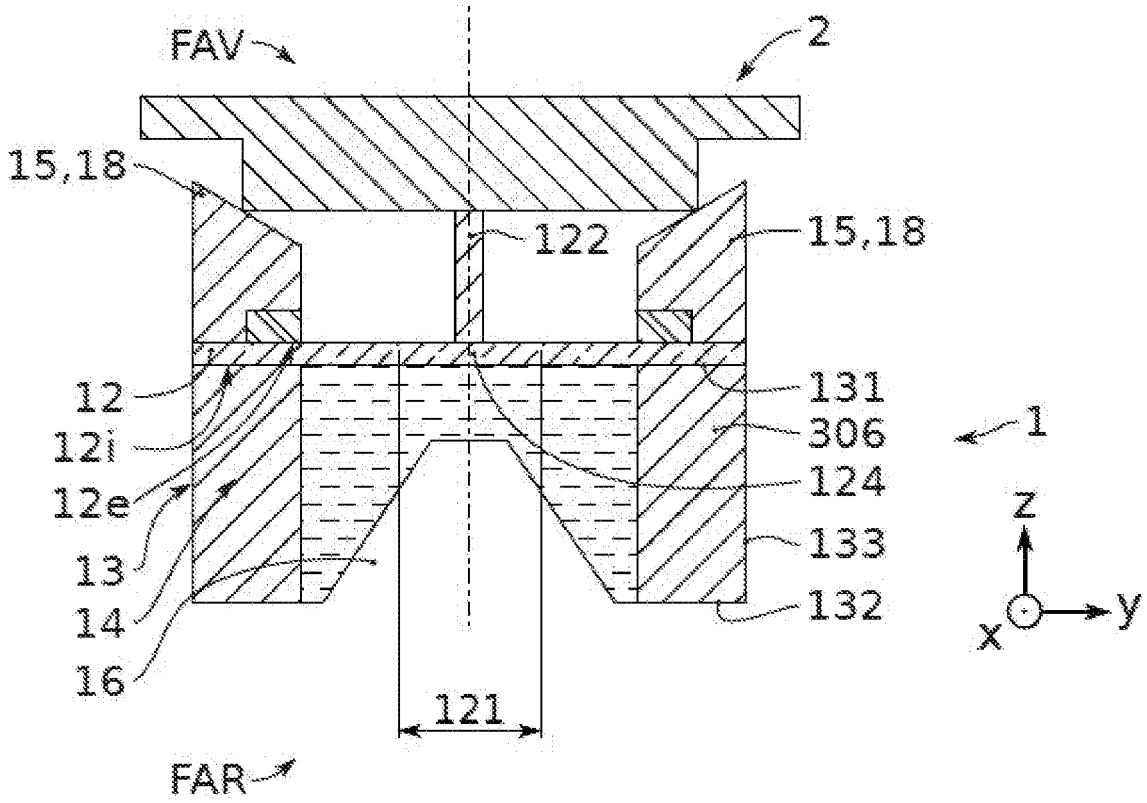


FIG. 1C

[Fig. 1D]

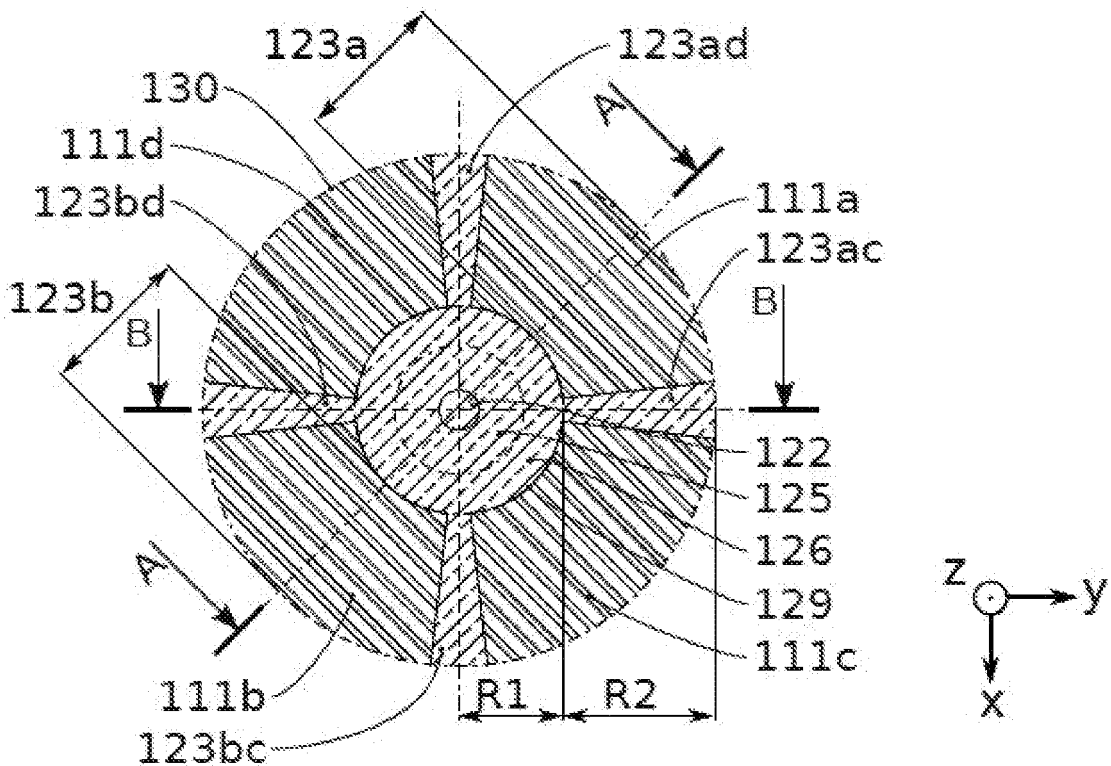


FIG. 1D

[Fig. 1E]

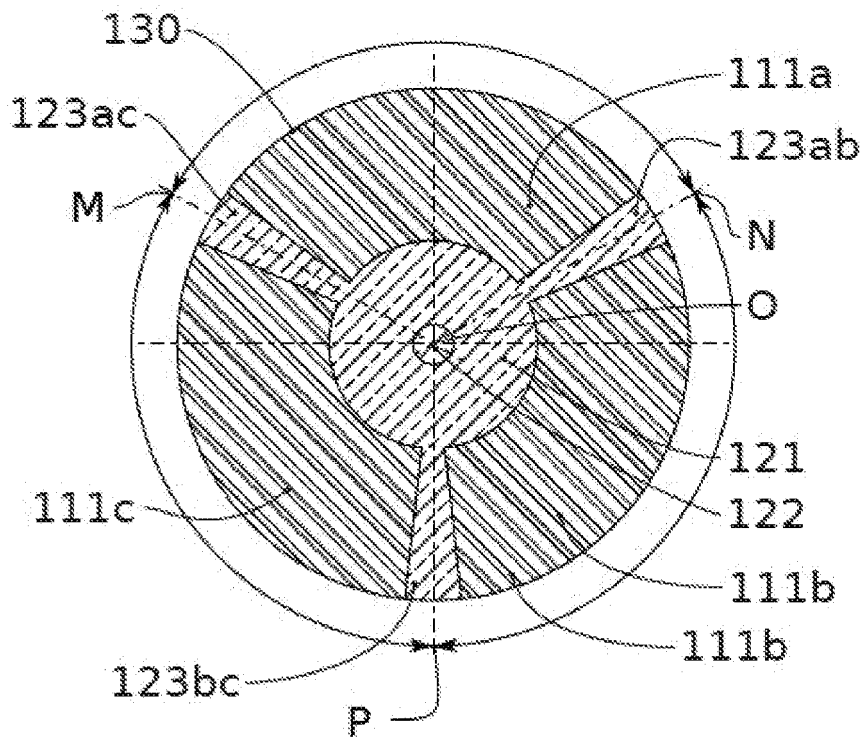


FIG. 1E

[Fig. 1F]

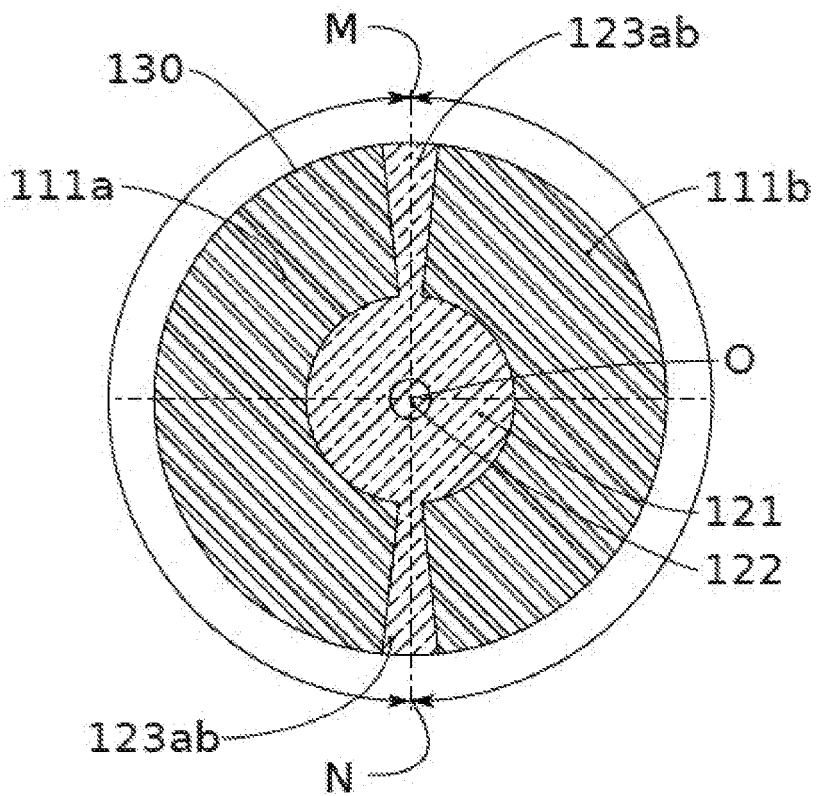


FIG. 1F

[Fig. 1G]

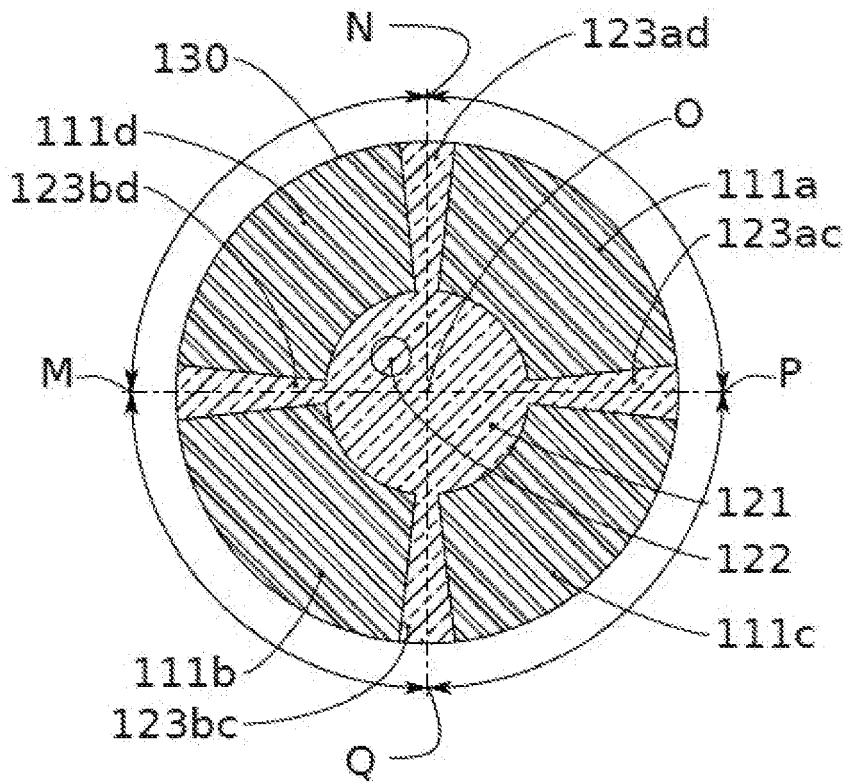


FIG. 1G

[Fig. 1H]

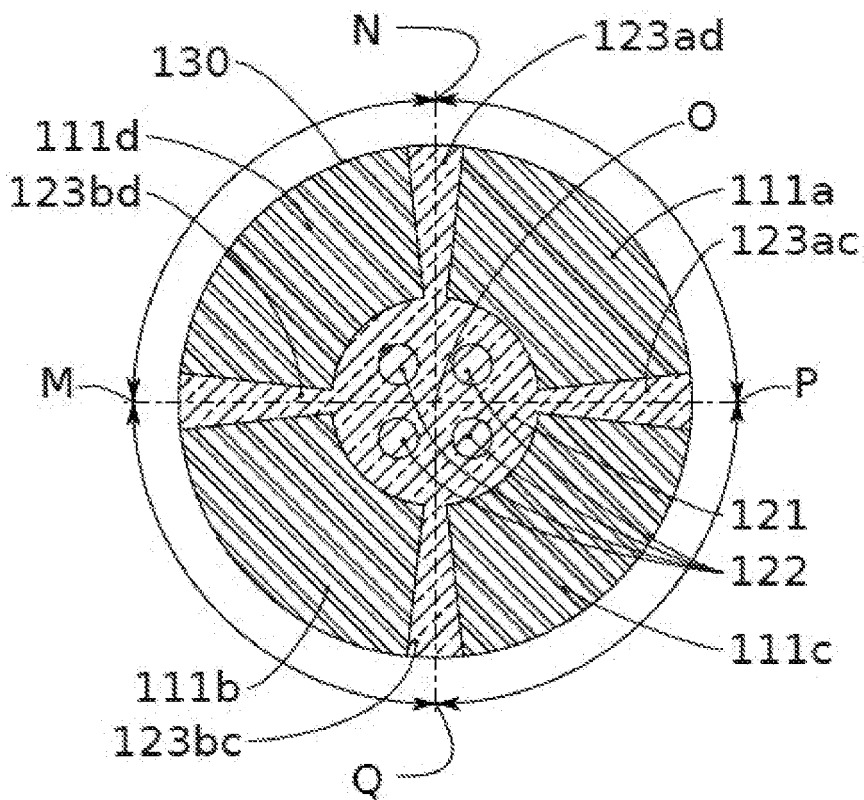


FIG. 1H

[Fig. 2A]

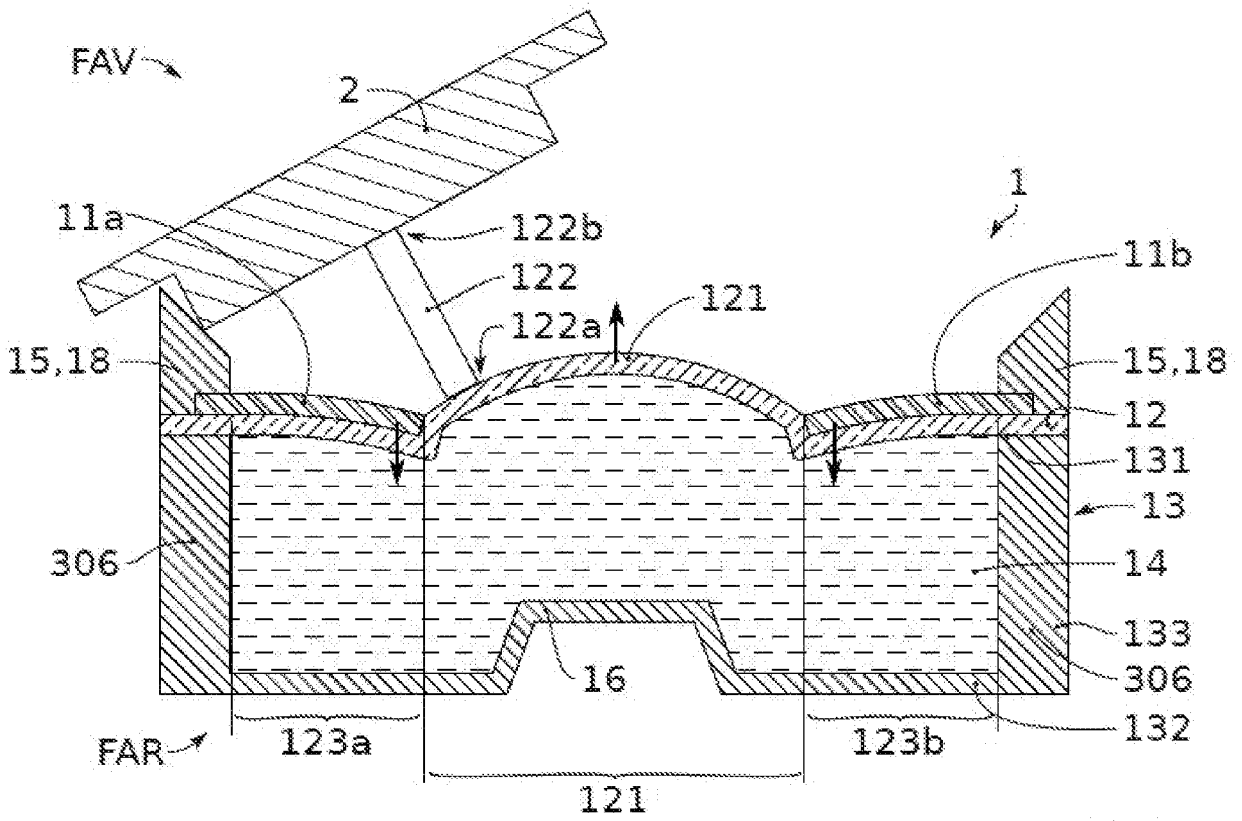


FIG. 2A

[Fig. 2B]

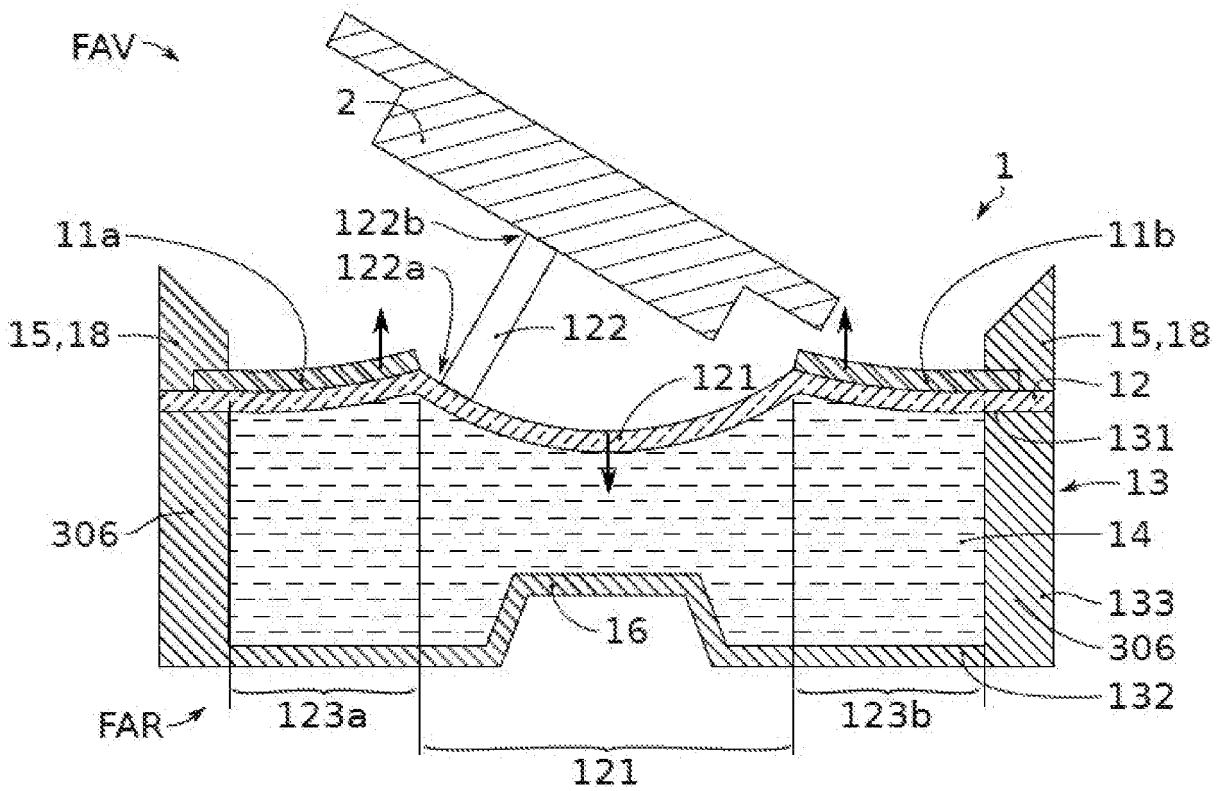


FIG. 2B

[Fig. 2C]

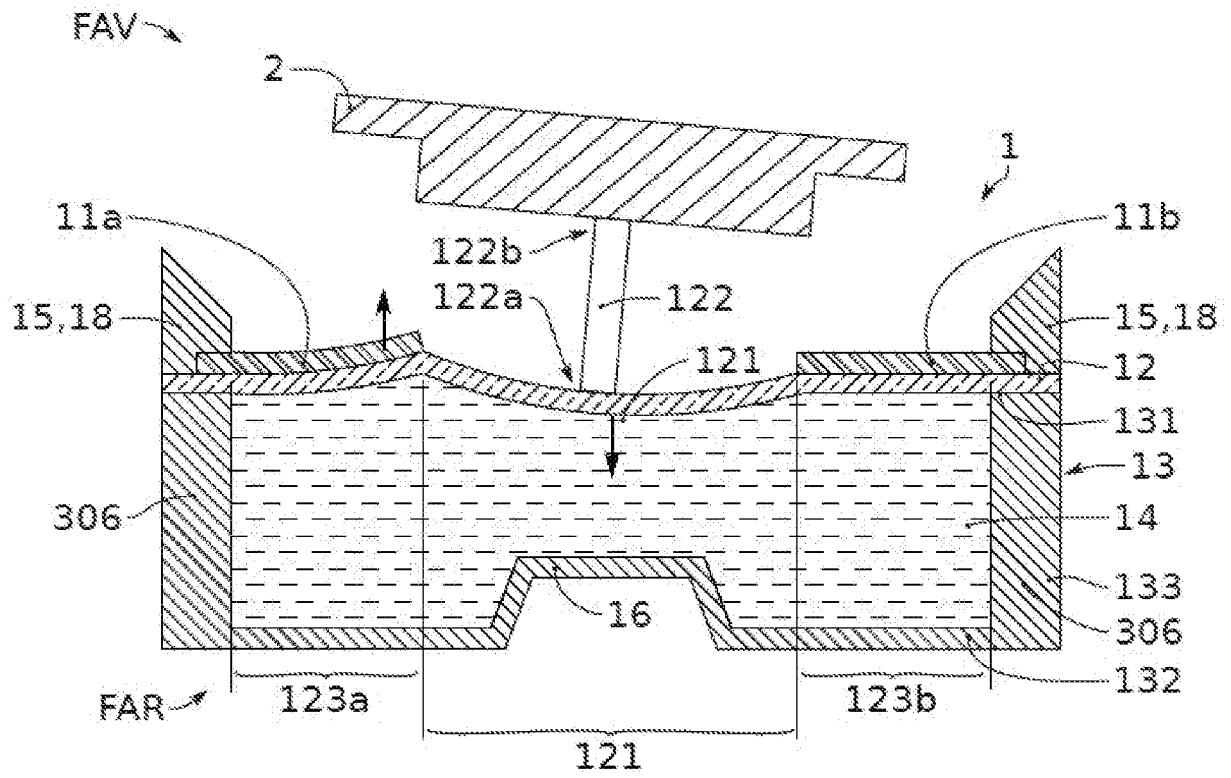


FIG. 2C

[Fig. 3A]

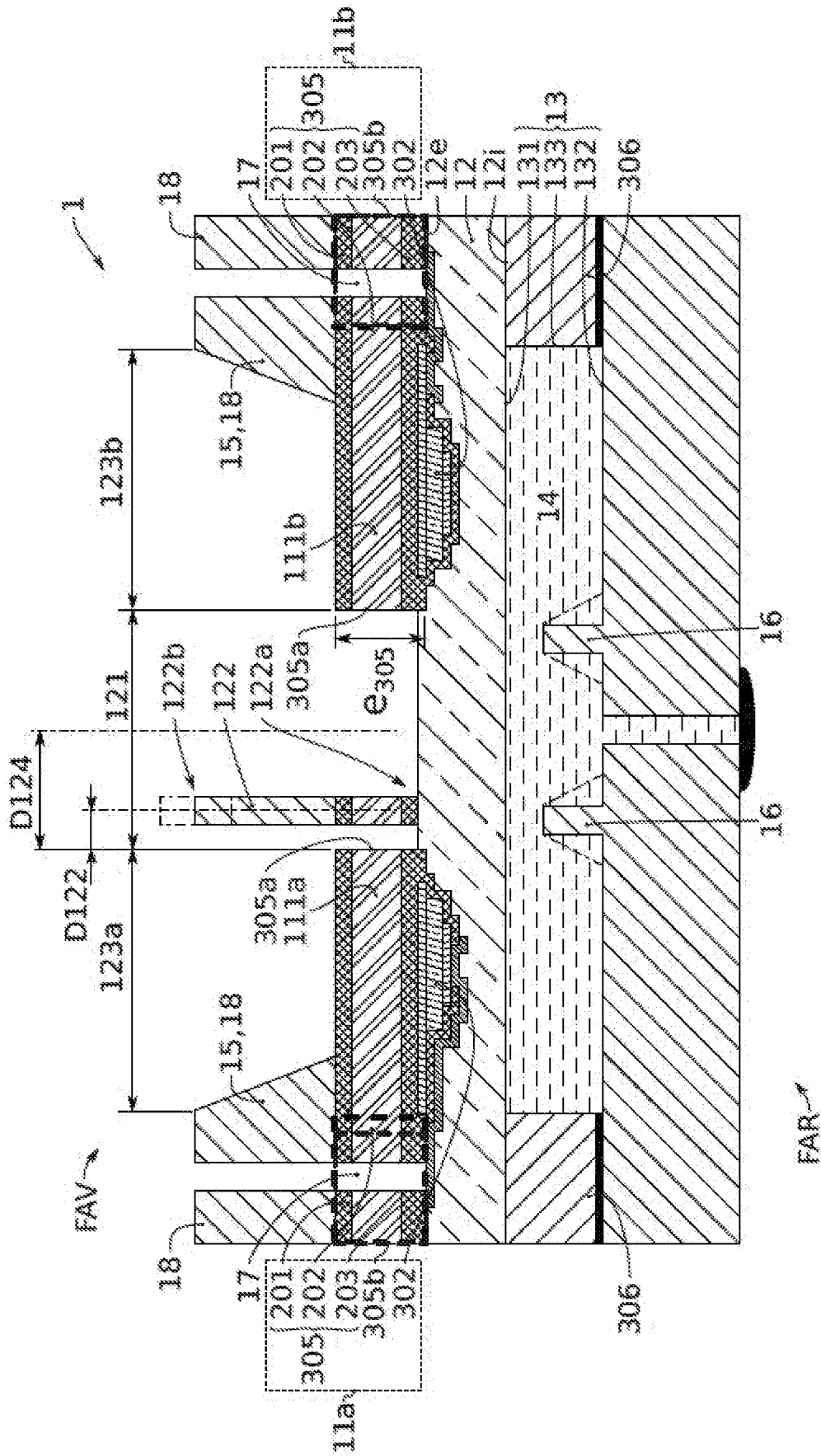


FIG. 3A

[Fig. 3B]

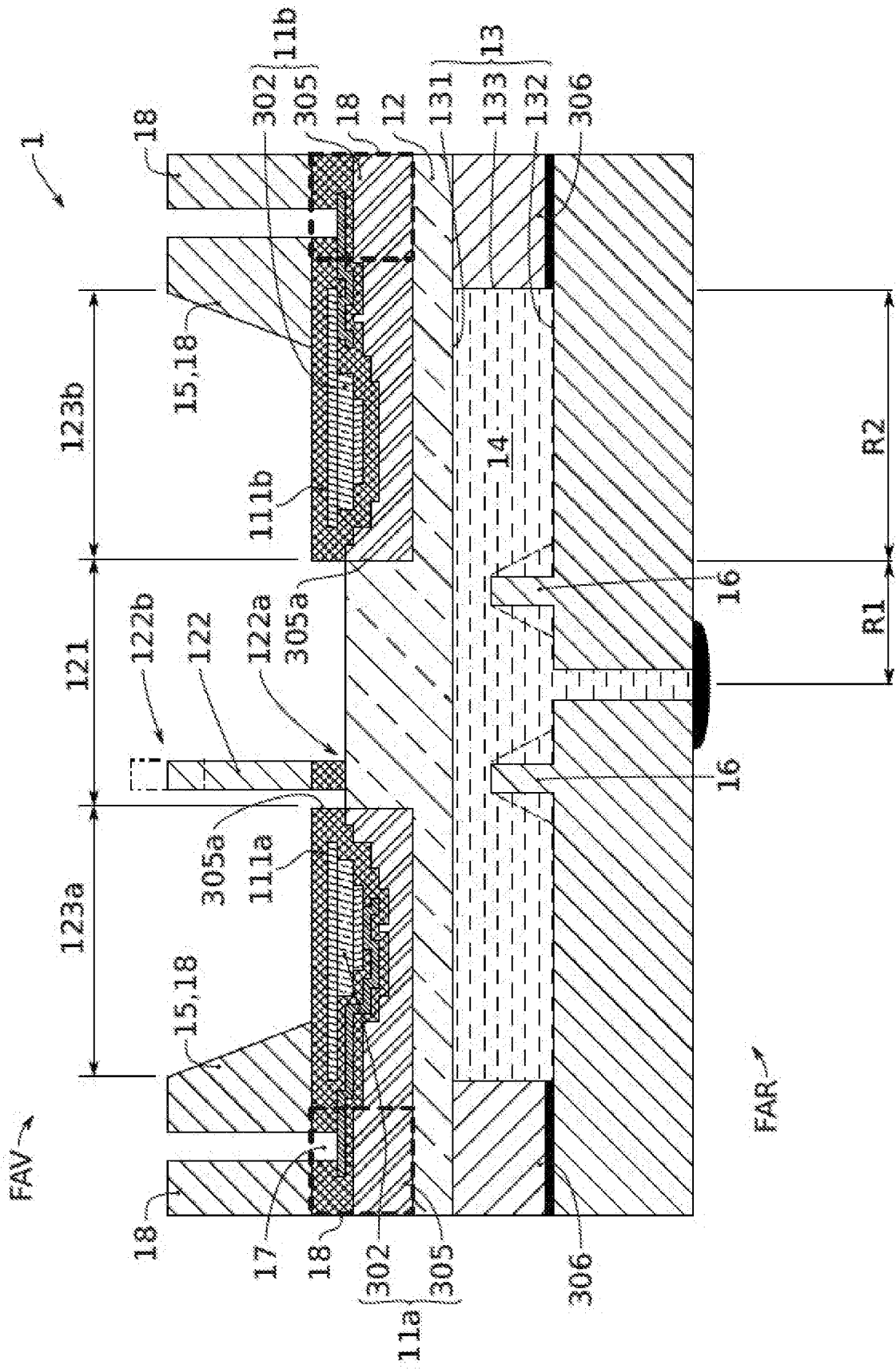


FIG. 3B

[Fig. 3C]

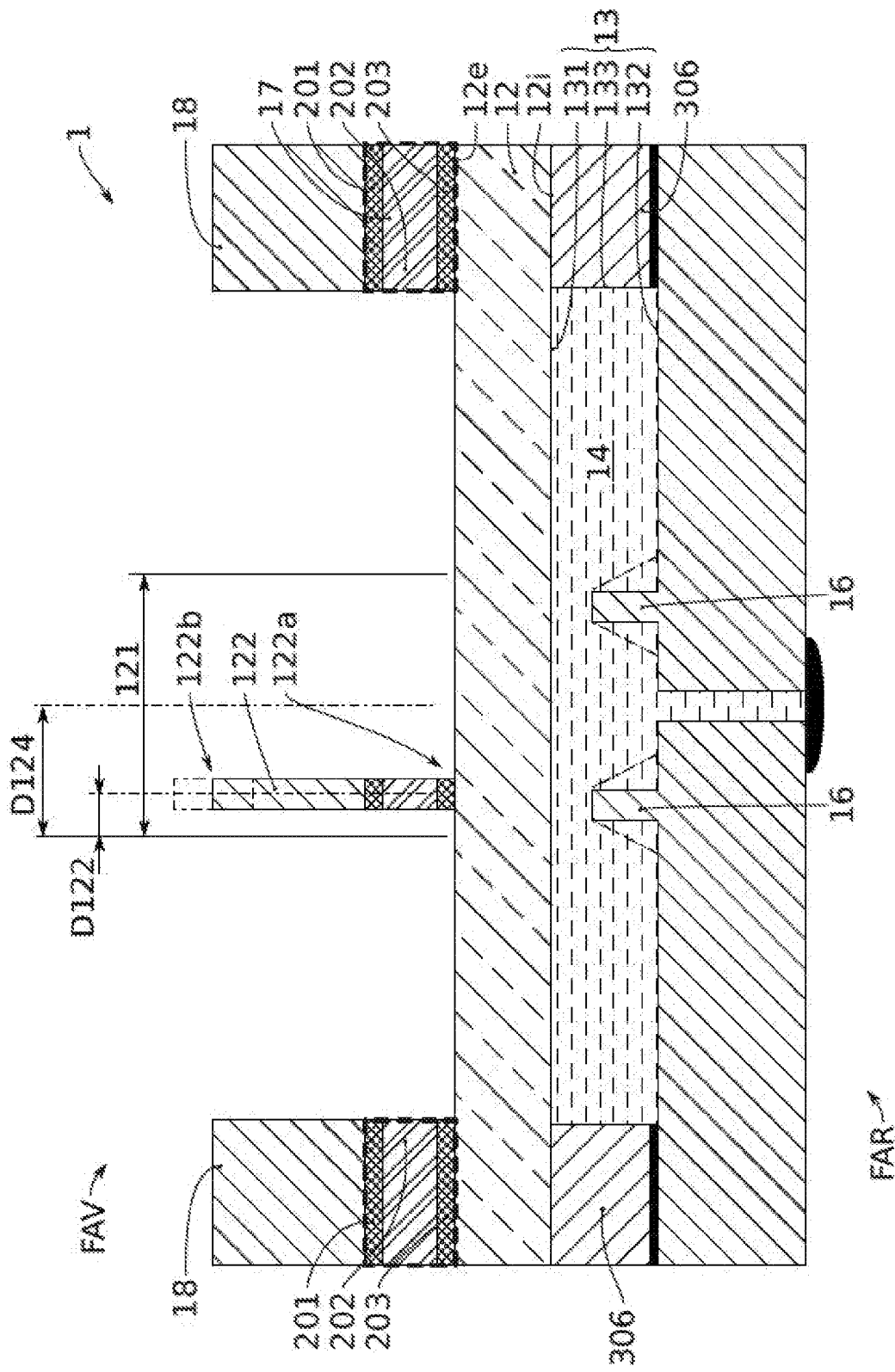


FIG. 3C

[Fig. 4]

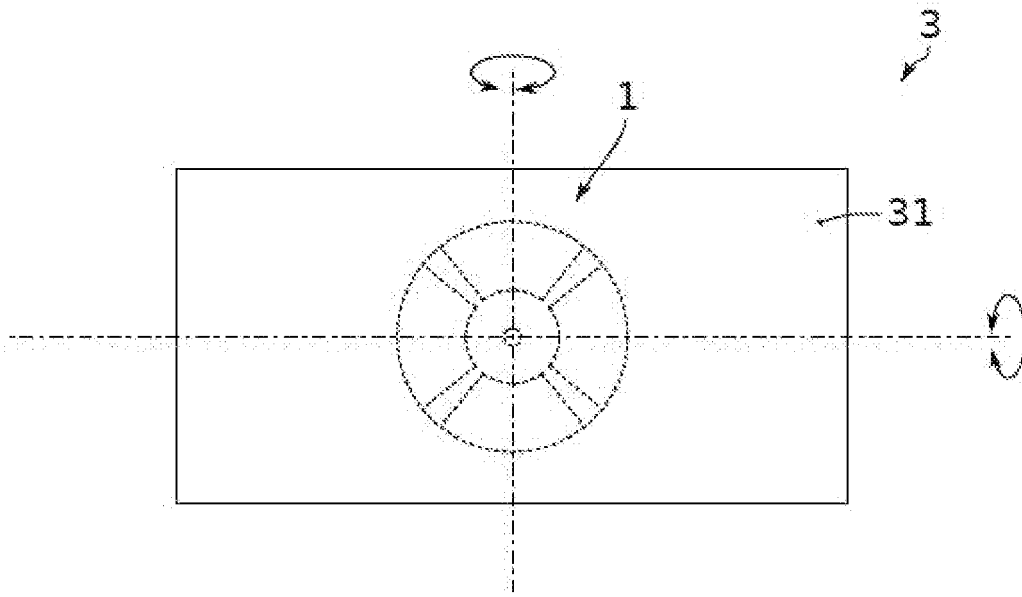


FIG. 4

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 893846
FR 2105646

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	DE 10 2008 004639 A1 (BOSCH GMBH ROBERT [DE]) 23 juillet 2009 (2009-07-23) * alinéas [0031], [0032], [0034], [0035], [0036], [0038], [0039], [0054] - [0057] * * figures 2, 5, 6 *	1-26	B81B3/00
A	EP 2 184 625 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 12 mai 2010 (2010-05-12) * alinéas [0047], [0053], [0059] *	1-26	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B81B H02N
		Date d'achèvement de la recherche 16 février 2022	Examineur Foussier, Philippe
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
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			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2105646 FA 893846**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **16-02-2022**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 102008004639 A1	23-07-2009	DE 102008004639 A1	23-07-2009
		WO 2009089946 A2	23-07-2009

EP 2184625 A1	12-05-2010	EP 2184625 A1	12-05-2010
		FR 2938349 A1	14-05-2010
		JP 5650392 B2	07-01-2015
		JP 2010113358 A	20-05-2010
		US 2010118414 A1	13-05-2010
