

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
15 février 2024 (15.02.2024)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2024/033770 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H01H 59/00 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/IB2023/057909

(22) Date de dépôt international :
04 août 2023 (04.08.2023)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2208173 08 août 2022 (08.08.2022) FR

(71) Déposants : AIRMEMS [FR/FR] ; 2 rue Edouard Michaud, 87000 Limoges (FR). UNIVERSITE DE LIMOGES [FR/FR] ; 33 rue François Mitterrand, 87000 Limoges (FR). CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) [FR/FR] ; 3 rue Michel-Ange, 75794 PARIS CEDEX 16 (FR).

(72) Inventeurs : STEFANINI, Romain ; C/O AIRMEMS, 2 rue Edouard Michaud, 87000 Limoges (FR). BLONDY, Pierre ; C/O AIRMEMS, 2 rue Edouard Michaud, 87000 Limoges (FR).

(74) Mandataire : CABINET CHAILLOT ; 16/20 avenue de l'Agent Sarre, B.P. 74, 92703 Colombes CEDEX (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: MEMS SWITCH WITH MULTIPLE DEFORMATIONS AND SWITCH COMPRISING ONE OR MORE MEMS SWITCHES

(54) Titre : COMMUTATEUR MEMS À MULTIPLES DÉFORMATIONS ET COMMUTATEUR COMPRENANT UN OU PLUSIEURS COMMUTATEURS MEMS

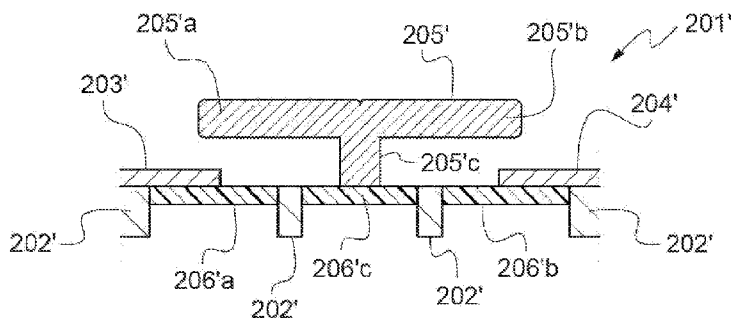


Fig. 14A

(57) Abstract: The invention relates to a microelectromechanical systems (MEMS) switch (201'), comprising a substrate (202'), at least one signal input line (203'), at least one signal output line (204'), at least one contact zone formed on a contact zone base (206'a, 206'b) integral with the substrate, and a contact membrane (205') held by at least one anchoring base (206'c) integral with the substrate, wherein, for each contact zone, the contact membrane (205') constitutes a first entity, the contact base (206'a, 206'b) constitutes a second entity and the at least one anchoring base (206'c) constitutes a third entity, and at least two entities from among the first entity, the second entity and the third entity are deformable, each by an independent actuating means, in order to move the contact membrane towards or away from the contact zone.

(57) Abrégé : Commutateur MEMS à multiples déformations et commutateur comprenant un ou plusieurs commutateurs MEMS L'invention a pour objet un commutateur à systèmes microélectromécaniques (MEMS) (201'), comprenant un substrat (202'), au moins une ligne d'entrée de signal (203'), au moins une ligne de sortie de signal (204'), au moins une zone de contact formée sur un socle de zone de contact (206'a, 206'b) solidaire du substrat, une membrane de contact (205') maintenue par au moins un socle d'ancrage (206'c) solidaire du substrat, dans lequel pour chaque zone de contact, la membrane de contact (205') constituant une première entité, le socle de contact (206'a, 206'b) constituant une deuxième entité et l'au moins un socle d'ancrage (206'c) constituant une troisième entité, au moins deux entités parmi la première entité, la deuxième entité et la troisième entité sont déformables, chacune par un moyen d'actionnement indépendant, pour rapprocher ou éloigner la membrane de contact de la zone de contact.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17(iv))*

Publiée:

— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*
— *en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.*

Commutateur MEMS à multiples dé- formations et commutateur comprenant un ou plusieurs com- mutateurs MEMS

- [0001] La présente invention concerne le domaine des systèmes microélectromécaniques, désignés par l'acronyme MEMS, et porte plus particulièrement sur un commutateur MEMS ayant au moins deux éléments déformables et sur un commutateur comprenant un ou plusieurs commutateurs MEMS selon l'invention.
- [0002] Le commutateur MEMS selon la présente invention peut être tout type de commutateur permettant, selon son état, de bloquer ou véhiculer un signal électrique ou électronique, quels que soient sa forme d'onde, sa fréquence, son niveau de puissance. Ceci peut être par exemple, sans limitations :
- [0003] - un commutateur électrique (aussi appelé télérupteur ou contacteur électrique) permettant le routage de signaux continus (CC) ou alternatifs (CA) d'un appareil ou d'un réseau électrique (12V-5000 V, 1-200 A, DC-50 Hz) ;
- [0004] - un disjoncteur permettant de couper l'alimentation d'une installation au moment d'une surcharge ou d'un court-circuit électrique ;
- [0005] - un commutateur électronique permettant le contrôle de signaux digitaux de faible puissance (5 V, 0,5 A) ;
- [0006] - un commutateur radiofréquences (RF) de type ohmique ou capacitif permettant de réaliser des opérations de commutation sur une impédance 50 Ohms ou 75 Ohms sur des signaux pouvant atteindre jusqu'à 200 GHz.
- [0007] Les systèmes électriques ou radiofréquences actuels évoluent vers des architectures plus sobres énergétiquement, plus complexes et plus denses. Ainsi, les composants réalisant des fonctions électroniques essentielles comme les commutateurs se retrouvent démultipliés et doivent satisfaire de nouvelles contraintes :
- [0008] - de coût (taille, matière, procédés de fabrication...) ;
- [0009] - de performance (tenue en puissance, fréquence de fonctionnement, consommation d'énergie...) ;
- [0010] - de fiabilité (nombre de commutations, tenue en température, tenue aux vibrations...).
- [0011] La technologie de commutateur MEMS dispose naturellement d'atouts intéressants pour répondre à la demande, à savoir une isolation galvanique, un contact purement métallique et une taille suffisamment réduite pour pouvoir être produite en volume à moindre coût.
- [0012] La structure d'un commutateur MEMS comprend généralement un élément dé-

formable (en tout ou partie métallique ou semi-conducteur) suspendu en vis-à-vis d'un substrat (en tout ou partie isolant ou semi-conducteur) et solidaire du substrat au moyen d'au moins un ancrage. Il peut s'agir par exemple d'une poutre (en anglais cantilever beam ou plus simplement beam ou parfois par raccourci cantilever) ou d'une membrane, qui doit pouvoir être déformable entre deux états : un premier état dans lequel un contact électrique est réalisé par l'élément déformable entre une ligne d'entrée de signal et une ligne de sortie de signal du commutateur MEMS, et un second état dans lequel une isolation électrique est réalisée par l'élément déformable entre la ligne d'entrée de signal et la ligne de sortie de signal du commutateur MEMS.

- [0013] Un commutateur MEMS idéal doit à la fois garantir une isolation électrique infinie à l'état ouvert et permettre un contact électrique parfait à l'état fermé. Pour s'en rapprocher, les ingénieurs doivent soit faire des compromis sur les performances, soit concevoir des membranes plus volumineuses et utiliser des matériaux spécifiques qui impactent directement les coûts de fabrication.
- [0014] Les documents FR3090615B1, WO9963562A1, EP1535296A1, EP1535297A1, WO200778589A1, EP1840924A2, EP1850360A1, EP3378087A1, US20200102213A1, US6701779B2 décrivent l'état de la technique dans le domaine.
- [0015] Les Demandeurs ont donc cherché à résoudre ce problème, en proposant un commutateur MEMS permettant d'accentuer la force sur le contact électrique à l'état fermé et/ou d'augmenter l'isolation électrique à l'état ouvert, en introduisant au moins deux éléments déformables supplémentaires solidaires du substrat, notamment formés dans le substrat ou sur le substrat utilisé pour la fabrication du commutateur MEMS.
- [0016] La présente invention a donc pour objet un commutateur à systèmes microélectromécaniques (MEMS), comprenant :
- [0017] - un substrat,
- [0018] - au moins une ligne d'entrée de signal,
- [0019] - au moins une ligne de sortie de signal,
- [0020] - au moins une zone de contact formée sur un socle de zone de contact solidaire du substrat, chaque zone de contact étant électriquement connectée à l'au moins une ligne d'entrée ou à l'au moins une ligne de sortie,
- [0021] - une membrane de contact maintenue en regard de chaque zone de contact par l'un parmi un ancrage formé sur un socle d'ancrage solidaire du substrat et plusieurs ancres formés sur au moins un socle d'ancrage solidaire du substrat,
- [0022] le commutateur MEMS étant configuré pour ouvrir ou fermer un chemin électrique entre l'au moins une ligne d'entrée et l'au moins une ligne de sortie par au moins une zone de contact,
- [0023] le commutateur étant en position fermée lorsqu'un courant électrique circule d'au moins une ligne d'entrée vers au moins une ligne de sortie par contact de la membrane

- de contact sur au moins une zone de contact et en position ouverte lorsque l'ensemble des lignes d'entrées sont électriquement isolées de l'ensemble des lignes de sortie par absence de contact de la membrane de contact avec l'ensemble des zones de contact,
- [0024] caractérisé par le fait que pour chaque zone de contact, la membrane de contact constituant une première entité, le socle de contact constituant une deuxième entité et l'au moins un socle d'ancrage constituant une troisième entité, au moins deux entités parmi la première entité, la deuxième entité et la troisième entité sont déformables, chacune par un moyen d'actionnement indépendant, pour rapprocher ou éloigner la membrane de contact de la zone de contact, pour faire passer la membrane de contact d'une position initiale ouverte à une position fermée ou d'une position initiale fermée à une position ouverte et accentuer au moins l'une parmi l'isolation dans la position ouverte et la force de contact dans la position fermée.
- [0025] La membrane de contact est donc au moins partiellement conductrice pour permettre de former un chemin électrique entre l'au moins une ligne d'entrée et l'au moins une ligne de sortie lorsque la membrane de contact est en position fermée.
- [0026] Le socle d'ancrage est défini comme la surface d'un matériau sur laquelle s'appuie un ancrage ou s'appuient plusieurs ancres afin de le(s) soutenir, le socle d'ancrage pouvant être déformable ou non. Lorsque le socle d'ancrage n'est pas déformable, il peut notamment mais non exclusivement être constitué par la surface du substrat située sous l'ancrage considéré ou par une surface solidaire du substrat.
- [0027] Le socle de zone de contact est défini comme la surface d'un matériau sur laquelle s'appuie la zone de contact afin de la soutenir, le socle de zone de contact pouvant être déformable ou non. Lorsque le socle de zone de contact n'est pas déformable, il peut notamment mais non exclusivement être constitué par la surface du substrat située sous la zone de contact considérée ou par une surface solidaire du substrat.
- [0028] Ainsi, pour chaque zone de contact d'un commutateur MEMS selon l'invention, au moins deux entités parmi la membrane de contact, le socle de zone de contact et l'au moins un socle d'ancrage sont déformables. Au sein d'un même commutateur ayant plusieurs zones de contact, chaque zone de contact peut avoir des éléments déformables différents, en fonction de l'application envisagée.
- [0029] Les moyens d'actionnement de chaque entité déformable sont physiquement indépendants mais peuvent être électriquement connectés entre eux lorsqu'ils permettent d'améliorer ensemble un état du commutateur et présentent le même signal électrique de commande. Les moyens d'actionnement peuvent être de nature électrostatique et/ou thermique et/ou piézoélectrique et/ou magnétique.
- [0030] De ce fait, lorsque l'état de la technique représenté sur les Figures A1 et A2 présente un commutateur MEMS 1 formé sur un substrat 2 avec une poutre MEMS 5, qui prolonge une ligne d'entrée de signal 3, et une ligne de sortie de signal 4, le contact de

la poutre MEMS 5 avec la ligne de sortie de signal 4 étant fermé par un actionnement électrostatique par une électrode (non représentée), et la distance (gap en anglais) au repos entre la poutre MEMS 5 et la ligne de sortie de signal 4 étant g_0 , la force de contact F_c est définie par :

[0031] $F_c = a.F_e - k. \Delta x$,

[0032] avec a un coefficient pondérateur lié au design de l'électrode, F_e la force électrostatique générée sur la poutre MEMS 1 par l'électrode, k la constante de raideur de la poutre MEMS 5 et $\Delta x = g_0$ la course réalisée par le contact entre l'état ouvert et l'état fermé.

[0033] Dans le cadre de l'invention dont le principe général est représenté sur les Figures B1 et B2, les éléments identiques à ceux des Figures A1 et A2 portant le même chiffre de référence, un socle d'ancrage 6a placé sous l'ancrage 5c d'une poutre MEMS 5 strictement identique à celle décrite en liaison avec les Figures A1 et A2 peut réduire la course entre la membrane de contact 5 et la ligne de sortie de signal 4 à $\Delta x = 0$ et permettre à la force de contact de bénéficier pleinement de la force électrostatique de telle sorte que :

[0034] $F_c = a.F_e$

[0035] Cet avantage a pour conséquence une diminution de la résistance de contact et donc une amélioration de la tenue en courant de passage du commutateur.

[0036] De la même manière, lorsque l'état de la technique présente une poutre MEMS dont le contact est ouvert par un espace (gap en anglais) « g_0 » compris entre 0,1 et 5 μm , la tenue diélectrique V_b du commutateur peut être approchée (voir par exemple « The Transition to Paschen's Law for Microscale Gas Breakdown at Subatmospheric Pressure » - La transition vers la loi de Paschen pour la décomposition des gaz à l'échelle microscopique à une pression subatmosphérique, Loveless, A.M., Meng, G., Ying, Q. et al., Sci Rep 9, 5669 (2019)) par :

[0037] $V_b \sim 375 + 25.g_0$

[0038] avec V_b la tension de claquage en Volts et g_0 le gap initial en μm .

[0039] Dans le cadre de l'invention, un socle de zone de contact 6b placé sous la zone de contact d'une poutre MEMS 5 avec la ligne de sortie 4 peut accentuer la distance entre les contacts en apportant un espace additionnel Δg entre la membrane de contact 5 et la ligne de sortie de signal 4 lorsque le socle de zone de contact 6b est déformé comme en Figure B1 de telle sorte que :

[0040] $V_b \sim 375 + 25.(g_0 + \Delta g)$, la tenue diélectrique s'en retrouvant améliorée.

[0041] Ainsi, l'invention permet de concevoir des commutateurs MEMS plus performants à dimensions égales à ceux de l'état de la technique, ou aussi performants à dimensions réduites.

[0042] Le commutateur de la présente invention peut être normalement ouvert ou nor-

malement fermé.

- [0043] Dans cette invention, la membrane de contact réalise généralement dans sa position fermée la liaison électrique entre l'au moins une ligne d'entrée et l'au moins une ligne de sortie en au moins une zone de contact et permet de véhiculer un signal électrique, électronique ou radiofréquence sur un chemin électrique ainsi créé par la membrane de contact entre l'au moins une ligne d'entrée et l'au moins une ligne de sortie. Dans le cas particulier d'un commutateur RF, il est également possible que la membrane de contact vienne toucher une zone de contact en diélectrique et former une capacité MIM (Métal Isolant Métal ou Metal Insulator Metal en anglais) avec la ligne de sortie pour permettre aux signaux RF de mieux circuler de l'entrée vers la sortie.
- [0044] Par membrane de contact déformable, on entend une membrane conçue pour être apte à fléchir lors d'un actionnement de type électrostatique, thermique, piézo-électrique ou magnétique.
- [0045] La membrane de contact peut prendre n'importe quelle forme : ligne droite, ligne brisée (angle formé entre le côté entrée et le côté sortie de la membrane de contact), avoir plus de deux branches, etc., et peut disposer d'un ou plusieurs pions de contact (appelés « dimple » en anglais). La membrane de contact peut également être constituée de plusieurs couches de matériaux dont au moins un est conducteur. La membrane peut aussi intégrer un guide d'ondes entre l'au moins une ligne d'entrée et l'au moins une ligne de sortie, comme décrit dans la demande de brevet européen EP 3465724, incorporée par référence dans la présente demande.
- [0046] Avantagusement, le moyen d'actionnement de la membrane de contact permet d'exercer une pression supplémentaire sur la zone de contact, la déformation du socle d'ancrage lorsqu'il est déformable permettant de fermer le contact sans pour autant créer de déflexion sur la membrane de contact (Figure B2).
- [0047] Ainsi l'invention permet également de limiter les efforts mécaniques sur la membrane de contact qui de fait pourra être réalisée à partir de matériaux conducteurs d'électricité conventionnels moins chers (Al, Cu, AlCu).
- [0048] Toujours dans cette invention, les socles d'ancrage et les socles de zone de contact permettent lorsqu'ils sont déformables d'éloigner ou de rapprocher jusqu'à provoquer un contact entre la membrane de contact et l'au moins une zone de contact en vis-à-vis.
- [0049] Le socle d'ancrage ou de zone de contact est solidaire du substrat. Il peut être situé :
- [0050] - directement à la surface du substrat de base (Bulk en anglais),
- [0051] - à la surface d'une couche ou d'un ensemble de couches de matériaux recouvrant le substrat de base, ou
- [0052] - à la surface d'une couche ou d'un ensemble de couches de matériaux ancré sur le substrat et suspendu en regard du substrat de base.
- [0053] Par socle déformable, on entend la surface d'une couche de matériau solidaire du

substrat, capable d'être déformée (une membrane par exemple) par un moyen d'actionnement de type électrostatique, thermique, piézoélectrique ou magnétique existant.

- [0054] Par socle non déformable, on entend la surface d'une couche de matériau conçu pour rester immobile et ne disposant pas de moyen d'actionnement propre.
- [0055] Un commutateur peut être constitué de plusieurs socles d'ancrage déformables et/ou de plusieurs socles de zone de contact déformables pour une même membrane de contact du moment que la déformation des socles permet d'éloigner ou de rapprocher la membrane de contact avec au moins une zone de contact en vis-à-vis.
- [0056] Le socle d'ancrage déformable ou de zone de contact déformable peut être à la surface d'une membrane solidaire du substrat et peut prendre n'importe quelle forme (rectangulaire, circulaire...).
- [0057] Lorsqu'il est déformable, le socle d'ancrage ou de zone de contact peut être situé à la surface d'une membrane recouvrant une cavité définie en surface ou au sein du substrat de base (Bulk en anglais).
- [0058] Le socle d'ancrage ou de zone de contact est avantageusement constitué d'un matériau stable thermiquement et mécaniquement, peu sensible au fluage et à la fatigue. Le socle n'est pas nécessairement un bon conducteur.
- [0059] Par exemple, pour un substrat de structure Silicium sur Isolant (SOI), le socle d'ancrage ou de zone de contact lorsqu'il est déformable est constitué à la surface d'une fine couche de silicium suspendue au-dessus d'une cavité définie au sein de l'isolant, la base de silicium (Bulk) constituant le fond de la cavité. Dans cette configuration, une différence de potentiel entre le fond de la cavité et le socle crée une force électrostatique qui déforme le socle. La fine couche de silicium est avantageusement du silicium monocristallin connu pour sa stabilité en température et sa robustesse mécanique.
- [0060] Dans d'autres configurations, lorsque le socle d'ancrage ou de zone de contact est déformable, il est constitué par une couche isolante, des électrodes pouvant être formées sur la surface inférieure du socle, en regard du fond de la cavité, pour former comme dans le cas précédent une différence de potentiel entre les électrodes et le fond de la cavité permettant de défléchir le socle par actionnement électrostatique.
- [0061] Dans les deux cas, le moyen d'actionnement électrostatique, le socle ou des électrodes formées sur la face inférieure du socle, est parallèle à la surface formant le fond de la cavité.
- [0062] Le fait que la cavité soit fermée hermétiquement permet de la remplir de gaz ou de faire le vide, pour rendre l'actionnement des socles plus robuste, notamment aux phénomènes de claquage.
- [0063] La surface de chaque socle déformable est avantageusement parallèle à la surface de

la membrane de contact, par simplicité de réalisation.

[0064] Ainsi, par rapport à l'état de la technique indiqué ci-avant, le commutateur MEMS de la présente invention confère au moins l'un des avantages suivants :

[0065] - la possibilité d'utiliser des matériaux communs sans dégradation de la fiabilité et des performances,

[0066] - une plus grande force de contact lorsque le commutateur est fermé,

[0067] - une distance d'isolation entre les contacts plus importante lorsque le commutateur est ouvert.

[0068] Par la plus grande force de contact à l'état fermé, le commutateur MEMS selon la présente invention est capable de véhiculer plus de courant électrique qu'un commutateur MEMS selon l'état de la technique.

[0069] Par ailleurs, par la plus grande capacité d'isolation à l'état complètement ouvert, le commutateur MEMS selon la présente invention est capable d'isoler plus de tension électrique qu'un commutateur MEMS selon l'état de la technique.

[0070] Par sa capacité à intégrer des matériaux conventionnels, le commutateur MEMS de la présente invention est potentiellement moins cher à fabriquer que des commutateurs MEMS de l'état de la technique ayant les mêmes performances.

[0071] Selon un mode de réalisation, la membrane de contact est reliée à l'une parmi l'au moins une ligne d'entrée et l'au moins une ligne de sortie. Le contact ne se fait ainsi qu'entre la membrane de contact et l'au moins une ligne parmi l'au moins une ligne d'entrée et l'au moins une ligne de sortie avec laquelle la membrane de contact n'est pas reliée. Ce contact est réalisé au niveau de la zone de contact. La ligne peut être réalisée, sans limitations, en or, en cuivre, en aluminium ou par un alliage conducteur. La zone de contact peut être sur la ligne d'entrée ou de sortie correspondante, donc comme elle en or en cuivre, en aluminium ou par un alliage conducteur, ou de préférence mais sans limitations, être réalisée distincte de la ligne d'entrée ou de sortie correspondante mais formée sur celle-ci, la zone de contact étant alors en ruthénium, tungstène, platine. Lorsque le substrat est semi-conducteur, les lignes d'entrée et de sortie peuvent être isolées du substrat par une couche diélectrique, par exemple, de type oxyde (SiO₂) ou nitrure (SiN, AlN).

[0072] Selon un mode de réalisation, la membrane de contact est isolée de l'au moins une ligne d'entrée et de l'au moins une ligne de sortie dans la position ouverte, de préférence complètement ouverte. Ainsi, la membrane de contact doit venir en contact avec à la fois l'au moins une ligne d'entrée et l'au moins une ligne de sortie pour obtenir une liaison électrique dans la position fermée, au niveau d'au moins une zone de contact membrane de contact/ligne d'entrée et d'au moins une zone de contact membrane de contact/ligne de sortie.

[0073] Selon un mode de réalisation, l'au moins une ligne d'entrée et l'au moins une ligne

de sortie sont formées sur le substrat.

- [0074] Selon un mode de réalisation, l'au moins une ligne d'entrée et l'au moins une ligne de sortie sont formées parallèlement au substrat, sur l'un parmi un substrat secondaire collé en regard du substrat et un ancrage solidaire du substrat. Le substrat secondaire peut être isolant ou semi-conducteur. Le collage est par collage de tranche et peut s'effectuer sans limitations par un scellement anodique, eutectique, direct, ou par verre fritté.
- [0075] Selon un mode de réalisation, chaque socle déformable, que ce soit un socle d'ancrage ou un socle de zone de contact, est constitué par une membrane de cavité recouvrant au moins partiellement un trou formé dans le substrat pour constituer une cavité recouverte au moins partiellement par le socle. Le socle peut ainsi recouvrir tout ou partie de la cavité.
- [0076] Selon un mode de réalisation, le substrat est de type silicium sur isolant, la membrane de cavité étant en silicium, la cavité étant formée entre une première couche de silicium constituée par le substrat et une deuxième couche de silicium constituée par la membrane de cavité, le moyen d'actionnement de la membrane de cavité étant configuré pour appliquer une différence de potentiel entre le substrat et la membrane de cavité pour un actionnement électrostatique de la membrane de cavité, la différence de potentiel appliquée déformant la membrane de cavité.
- [0077] Sans limitations, d'autres type de substrats peuvent intégrer des cavités et être utilisés dans le cadre de la présente invention :
- [0078] - POI (piézoélectrique sur isolant – piezo on insulator), ce qui nécessite des électrodes sur le matériau piézoélectrique et un dispositif d'application de tension sur les électrodes en tant que moyen d'actionnement,
- [0079] - GeOI (Germanium sur isolant - Germanium on Insulator), le moyen d'actionnement étant encore un dispositif d'application de différence de potentiel,
- [0080] - GOI (GaAs sur isolant - GaAs on insulator), le moyen d'actionnement étant encore un dispositif d'application de différence de potentiel,
- [0081] - SoG (silicium sur verre - Silicon on Glass), ce qui nécessite des électrodes sur le verre (la base du substrat étant isolante), le moyen d'actionnement étant encore un dispositif d'application de différence de potentiel.
- [0082] L'actionnement électrostatique a l'avantage d'être compact, de consommer peu d'énergie, d'être rapide et de présenter une bonne stabilité en température par rapport aux autres moyens d'actionnement (thermiques, magnétiques, piézoélectriques...). On pourra voir par exemple A Review of Actuation and Sensing Mechanisms in MEMS-Based Sensor Devices (Etude des mécanismes d'actionnement et de détection dans les dispositifs de détection à base de MEMS), Algarni, A.S., Khir, M.H.M., Dennis, J.O. et al., Nanoscale Res Lett 16, 16 (2021).

- [0083] Selon un mode de réalisation, chaque socle est constitué par une membrane de cavité portée par des ancrages de membrane de cavité solidaires du substrat pour être suspendue en regard du substrat et former une cavité au moins partiellement fermée entre le substrat, la membrane de cavité et ses ancrages, le moyen d'actionnement de la membrane de cavité étant configuré pour appliquer une différence de potentiel entre la membrane de cavité et la surface du substrat pour un actionnement électrostatique de la membrane de cavité, la différence de potentiel appliquée déformant la membrane de cavité. La membrane de cavité peut être réalisée sans limitations en diélectrique (SiN, SiO₂, Ta₂O₅), en métal, en semiconducteur ou par un ensemble de couches de matériaux, tant que l'actionnement électrostatique est rendu possible.
- [0084] Selon un mode de réalisation, le moyen d'actionnement de la membrane de contact est configuré pour appliquer une différence de potentiel entre la membrane de contact et la surface située sous la membrane de contact pour un actionnement électrostatique de la membrane de contact, la différence de potentiel appliquée déformant la membrane de contact.
- [0085] Selon un mode de réalisation, le moyen d'actionnement de la membrane de contact est électrostatique et il est mis en œuvre par une électrode disposée en regard de la membrane de contact. L'électrode peut être, sans limitations, réalisée à partir d'un semi-conducteur, d'un métal ou d'un matériau résistif.
- [0086] Ainsi, lorsque le socle est déformable, que ce soit un socle d'ancrage ou de zone de contact, une tension appliquée entre le socle et le substrat crée une force d'attraction entre le socle et le substrat qui fléchit le socle, entraînant l'ancrage de la membrane de contact pour un socle d'ancrage ou la zone de contact pour un socle de zone de contact, une force d'attraction supplémentaire étant en outre créée entre la membrane de contact et la surface supérieure du socle, pour garantir un contact optimisé et maximal de la membrane de contact sur l'au moins une ligne d'entrée et/ou l'au moins une ligne de sortie.
- [0087] A taille de membrane équivalente, la présente invention s'appuie sur une surface d'actionnement électrostatique plus grande par rapport à un commutateur MEMS de l'état de la technique, ce qui induit une plus grande force de contact et une résistance (Ron) plus faible lors du contact de la membrane de contact avec l'au moins une ligne d'entrée et/ou l'au moins une ligne de sortie, l'actionnement électrostatique pouvant se faire à la fois par la membrane de contact et par un ou plusieurs socles.
- [0088] D'autres moyens d'actionnement sont toutefois également envisagés dans le cadre de la présente invention qui n'est pas limitée à cet égard : actionnement par déplacement de la membrane de contact par effet piézoélectrique, par voie thermique, par voie magnétique. Ces alternatives d'actionnement sont bien connues de l'homme du métier.
- [0089] Selon un mode de réalisation, la membrane de contact est encapsulée dans un espace

d'encapsulation, de préférence hermétique, formé par l'un parmi un collage de tranche et un film mince. Le substrat utilisé pour l'encapsulation par collage de tranche peut être, sans que cela soit limitatif, semiconducteur (silicium) ou isolant (verre). Le collage de tranche peut s'effectuer par un scellement anodique, eutectique, direct, ou par verre fritté. L'encapsulation par film mince peut notamment mais non exclusivement être réalisée par un oxyde (SiO_2) ou un nitrure (SiN).

- [0090] Selon un mode de réalisation, l'espace d'encapsulation de la membrane de contact contient l'un parmi un gaz et du vide. Le gaz peut notamment, mais non exclusivement, être constitué d'Argon, d'Azote, d'Oxygène, de SF_6 ou leurs mélanges, sous différents niveaux de pression.
- [0091] Selon un mode de réalisation, chaque cavité est fermée, de préférence hermétiquement, et contient l'un parmi un gaz et du vide. Le gaz peut notamment, mais non exclusivement, être constitué d'Argon, d'Azote, d'Oxygène, de SF_6 ou leurs mélanges, sous différents niveaux de pression.
- [0092] Selon un mode de réalisation, chaque ancrage de la membrane de contact est formé sur ou au voisinage du point de flexion maximal du socle d'ancrage lorsque le socle d'ancrage est déformable et chaque zone de contact est formée sur ou au voisinage du point de flexion maximal du socle de zone de contact lorsque le socle de zone de contact est déformable. Une déformation maximale dans la position socle déformé est ainsi obtenue. Les ancrages et les zones de contact peuvent également toutefois être en d'autres points du socle associé, pour autant que la position de déformation maximale en ce point permette un éloignement ou un rapprochement significatif, notamment d'au moins un dixième de la distance initiale (gap en anglais) séparant la zone de contact et la membrane de contact.
- [0093] Selon un mode de réalisation, le moyen d'actionnement de la membrane de contact est formé sous la membrane de contact à la surface du substrat sur le socle ou en dehors du socle. Lorsque le moyen d'actionnement de la membrane de contact est formé en dehors du socle, la membrane de contact conserve son parallélisme avec l'électrode en cas de déflexion du socle lors de son déplacement vers la zone de contact, avec ou sans fléchissement de la membrane de contact par actionnement de celle-ci, permettant d'obtenir une plus grande force de contact à l'état fermé.
- [0094] Il est à noter que, selon la présente invention, il est également possible d'envisager une membrane de contact entrant en contact avec plusieurs lignes d'entrée et/ou plusieurs lignes de sortie définissant plusieurs chemins électriques entre l'entrée et la sortie du commutateur MEMS, situées à différents niveaux de hauteurs dans la course de la membrane de contact entre sa position fermée et sa position complètement ouverte, les différentes positions de la membrane de contact entre ses deux positions extrémales permettant d'activer tout ou partie des chemins électriques en fonction de la

position de la membrane.

[0095] La présente invention a également pour objet un commutateur, caractérisé par le fait qu'il comprend un ou plusieurs commutateurs MEMS tels que décrits ci-dessus, agencés entre eux selon une configuration parmi en parallèle, en série et à la fois en parallèle et en série. Un commutateur formé de plusieurs commutateurs MEMS élémentaires tels que décrits ci-dessus est ainsi formé, permettant de répartir les courants sur plusieurs commutateurs élémentaires pour obtenir un commutateur supportant un plus fort courant, mais aussi de répartir les tensions sur les commutateurs disposés en série pour améliorer la tenue diélectrique du composant.

[0096] Selon un mode de réalisation, le commutateur comprend en outre un circuit de commande intégré au substrat, de préférence sous la forme d'un circuit intégré à application spécifique (ASIC). Le circuit de commande permet ainsi de commander, pour chaque commutateur élémentaire, les au moins deux moyens d'actionnement, et peut avoir d'autres fonctions, comme par exemple, sans que la liste ne soit exhaustive, une protection contre les décharges électrostatiques (ESD), une conversion CC/CC, une pompe de charge, une protection lors de la commutation ou encore l'intégration de capteurs.

[0097] Pour mieux illustrer l'objet de la présente invention, plusieurs modes de réalisation, donnés à titre indicatif et non limitatif, vont maintenant être décrits, en liaison avec les dessins annexés.

[0098] Sur ces dessins :

[0099] [Fig.A1] représente un schéma de principe d'un commutateur MEMS selon l'état de la technique, dans la position ouverte.

[0100] [Fig.A2] représente un commutateur selon la Figure A1 dans la position fermée.

[0101] [Fig.B1] représente un schéma de principe d'un commutateur MEMS selon l'invention, dans la position ouverte.

[0102] [Fig.B2] représente un commutateur selon la Figure B1 dans la position fermée.

[0103] [Fig.1] représente un commutateur MEMS selon un premier mode de réalisation de l'invention, en vue de côté en position ouverte.

[0104] [Fig.2] représente le commutateur MEMS de la [Fig.1] vu selon la coupe AA de la [Fig.1].

[0105] [Fig.3] représente le commutateur MEMS de la [Fig.1] vu de dessus.

[0106] [Fig.4] représente le commutateur MEMS de la [Fig.1] en vue de côté en position fermée.

[0107] [Fig.5A] représente le commutateur MEMS de la [Fig.1] en vue de côté en position plus ouverte que sur la [Fig.1].

[0108] [Fig.5B] représente le commutateur MEMS de la [Fig.1] en vue de côté dans encore une autre position ouverte.

- [0109] [Fig.6] représente le commutateur MEMS de la [Fig.1] dans une autre position fermée.
- [0110] [Fig.7] est une figure analogue à la [Fig.2] d'une variante du commutateur MEMS selon le premier mode de réalisation, avec une cavité partiellement ouverte.
- [0111] [Fig.8] est une figure analogue à la [Fig.3] de la variante du commutateur MEMS selon le premier mode de réalisation, avec une cavité partiellement ouverte.
- [0112] [Fig.9] est une vue analogue à la [Fig.1] d'un commutateur MEMS selon un second mode de réalisation de la présente invention.
- [0113] [Fig.10] est une vue analogue à la [Fig.2] du commutateur MEMS selon le second mode de réalisation.
- [0114] [Fig.11] est une vue analogue à la [Fig.3] du commutateur MEMS selon le second mode de réalisation.
- [0115] [Fig.12] est une vue analogue à la [Fig.4] du commutateur MEMS selon le second mode de réalisation.
- [0116] [Fig.13A] est une vue analogue à la [Fig.1] d'un commutateur MEMS selon un troisième mode de réalisation de la présente invention en position de repos.
- [0117] [Fig.13B] est une vue du commutateur de la [Fig.13A] en position complètement ouverte.
- [0118] [Fig.13C] est une vue du commutateur de la [Fig.13A] en position fermée.
- [0119] [Fig.14A] est une vue d'une variante du commutateur de la [Fig.13A] en position de repos.
- [0120] [Fig.14B] est une vue du commutateur de la [Fig.14A] en position complètement ouverte.
- [0121] [Fig.14C] est une vue du commutateur de la [Fig.14A] en position fermée.
- [0122] [Fig.15] est une vue analogue à la [Fig.1] d'un commutateur MEMS selon un quatrième mode de réalisation de la présente invention en position fermée.
- [0123] [Fig.16] est une vue analogue à la [Fig.1] d'un commutateur MEMS selon le quatrième mode de réalisation de la présente invention en position ouverte.
- [0124] [Fig.17] est une vue analogue à la [Fig.1] d'un commutateur MEMS selon un cinquième mode de réalisation de la présente invention en position fermée.
- [0125] [Fig.18] est une vue analogue à la [Fig.1] d'un commutateur MEMS selon le cinquième mode de réalisation de la présente invention en position ouverte.
- [0126] [Fig.19] est une vue analogue à la [Fig.1] d'un commutateur MEMS selon un sixième mode de réalisation de la présente invention en position ouverte.
- [0127] [Fig.20] est une vue analogue à la [Fig.1] d'un commutateur MEMS selon le sixième mode de réalisation de la présente invention dans une position fermée.
- [0128] [Fig.21] est une vue analogue à la [Fig.20] d'un commutateur MEMS selon une variante du sixième mode de réalisation de la présente invention, dans la position

fermée.

[0129] [Fig.22] est une vue schématique représentant un premier circuit de commande d'un commutateur MEMS selon la variante du sixième mode de réalisation.

[0130] [Fig.23] est une vue schématique représentant un second circuit de commande d'un commutateur MEMS selon la variante du sixième mode de réalisation.

[0131] [Fig.24A] est une vue analogue à la [Fig.1] d'un commutateur MEMS selon un septième mode de réalisation de la présente invention dans la position de repos.

[0132] [Fig.24B] est une vue du commutateur MEMS de la [Fig.24A] dans la position complètement ouverte.

[0133] [Fig.24C] est une vue du commutateur MEMS de la [Fig.24A] dans la position complètement fermée.

[0134] [Fig.25] est une vue analogue à la [Fig.1] d'un commutateur MEMS selon un huitième mode de réalisation de la présente invention en position ouverte.

[0135] [Fig.26] est une représentation schématique d'un commutateur MEMS selon un neuvième mode de réalisation, en position fermée.

[0136] [Fig.27] est une représentation schématique d'un commutateur MEMS selon le neuvième mode de réalisation en position ouverte.

[0137] [Fig.28] est une représentation schématique d'un commutateur MEMS selon un dixième mode de réalisation dans une première position ouverte.

[0138] [Fig.29] est une représentation schématique d'un commutateur MEMS selon le dixième mode de réalisation dans la position fermée.

[0139] [Fig.30] est une représentation schématique d'un commutateur MEMS selon le dixième mode de réalisation dans une seconde position ouverte.

[0140] [Fig.31] est une vue de côté d'un commutateur selon la présente invention, à base de commutateurs MEMS.

[0141] [Fig.32] est une vue de dessus du commutateur de la [Fig.31].

[0142] [Fig.33] est un schéma électrique équivalent du commutateur de la [Fig.32].

[0143] [Fig.34] est une représentation schématique d'un composant intégrant un commutateur de la [Fig.32].

[0144] Les Figures A1, A2, B1 et B2 ayant déjà été décrites en préambule ne seront donc pas décrites à nouveau.

[0145] Si l'on se réfère aux Figures 1 à 6, un commutateur MEMS 11 selon un premier mode de réalisation de l'invention en vue de côté dans plusieurs positions, en vue de face selon la ligne AA de la [Fig.1] et en vue de dessus est représenté.

[0146] Le commutateur MEMS 11 est formé sur un substrat 12. Une ligne d'entrée de signal 13 et une ligne de sortie de signal 14 sont formées à la surface du substrat 12. Bien qu'une seule ligne d'entrée de signal 13 et une seule ligne de sortie de signal 14 aient été représentées, l'invention n'est pas limitée à cet égard et peut trouver à s'appliquer à

plusieurs lignes d'entrée de signal et/ou plusieurs lignes de sortie de signal, l'homme du métier sachant concevoir l'architecture du commutateur MEMS en correspondance.

[0147] Une membrane de contact 15, ayant ici la forme d'un T avec deux éléments en porte-à-faux 15a et 15b, est formée sur un socle d'ancrage 16 recouvrant une cavité 17 formée dans le substrat 12.

[0148] La membrane de contact 15 est ancrée sur le socle d'ancrage 16 au moyen d'un ancrage 15c, constituant le tronc du T, formé sur la surface supérieure du socle d'ancrage 16.

[0149] Dans ce mode de réalisation, le socle d'ancrage 16 est déformable par un premier moyen d'actionnement, décrit plus en détail ci-après, soit en fléchissement vers le bas comme sur les Figures 4, 5B et 6, soit en fléchissement vers le haut comme sur la [Fig.5A]. Il est bien entendu que la membrane de contact 15 et le socle d'ancrage 16 peuvent être indépendamment l'un de l'autre pré-contraints et donc être initialement défléchis vers le haut, vers le bas, ou non défléchis. L'homme du métier saura choisir en fonction de l'application la position initiale du socle d'ancrage 16, et le moyen d'actionnement permettant de déformer le socle d'ancrage 16 dans toutes les positions illustrées.

[0150] La membrane de contact 15 réalise la connexion électrique entre la ligne d'entrée de signal 13 (également appelée par raccourci dans la présente demande ligne d'entrée) et la ligne de sortie de signal 14 (également appelée par raccourci dans la présente demande ligne de sortie).

[0151] Ainsi, sur les Figures 1, 2 et 5A-5B, la membrane de contact 15 n'est en contact ni avec la ligne d'entrée 13, ni avec la ligne de sortie 14 : aucun courant ne peut circuler entre la ligne d'entrée 13 et la ligne de sortie 14 et le commutateur MEMS 11 est donc ouvert, aucun chemin électrique n'existant entre la ligne d'entrée 13 et la ligne de sortie 14. Dans ces figures, le déplacement de la membrane de contact 15 est obtenue par un actionnement électrostatique, thermique, piézoélectrique ou magnétique (non représenté).

[0152] Sur la [Fig.5A], le commutateur MEMS 11 est dans la position complètement ouverte, la membrane de contact 15 étant dans sa position la plus éloignée de la ligne d'entrée 13 et de la ligne de sortie 14.

[0153] Sur la [Fig.5B], le commutateur MEMS 11 est dans une autre position ouverte, la membrane de contact 15 n'étant pas en contact avec la ligne d'entrée 13 et avec la ligne de sortie 14, mais étant dans une position moins éloignée que sur la [Fig.5A].

[0154] Sur les Figures 4 et 6, le commutateur MEMS 11 est fermé, la membrane de contact 15 étant en contact, par sa branche 15a avec la ligne d'entrée 13 et par sa branche 15b avec la ligne de sortie 14.

[0155] Sur la [Fig.4], le simple fléchissement du socle d'ancrage 16 suffit à réaliser le

contact par la membrane de contact 15, autrement dit un seul moyen d'actionnement, celui du socle d'ancrage 16, est nécessaire pour fermer le commutateur MEMS 11. L'autre moyen d'actionnement disposé au niveau de la membrane de contact 15 apporte dans ce cas plus de force de contact.

[0156] Sur la [Fig.6], le simple fléchissement du socle d'ancrage 16 ne suffit pas à réaliser le contact. Dans ce cas, la déformation des deux branches 15a et 15b de la membrane de contact 15, par un second moyen d'actionnement décrit plus en détail ci-après, permet en plus du rapprochement de la membrane de contact 15 engendré par la déformation du socle d'ancrage 16, de réaliser le contact avec la ligne d'entrée 13 et la ligne de sortie 14, si la course de la membrane de contact 15 lors du fléchissement maximal du socle d'ancrage 16 ne permet pas aux branches 15a et 15b d'entrer en contact avec la ligne d'entrée 13 et la ligne de sortie 14. Le contact des branches 15a et 15b de la membrane de contact 15 avec la ligne d'entrée 13 et la ligne de sortie 14 se fait au niveau de zones de contact, respectivement A1 et A2 (identifiées en [Fig.4]), plus ou moins étendues en fonction du porte-à-faux des branches 15a et 15b de la membrane de contact 15 au-dessus des lignes d'entrée 13 et de sortie 14 et de la hauteur de la membrane de contact 15 au-dessus de la surface du substrat 12. La membrane de contact 15 peut également disposer d'un pion de contact (appelé « dimple » en anglais, non représenté) s'il apporte une meilleure stabilité mécanique au contact et une meilleure isolation.

[0157] Si l'on se réfère maintenant aux Figures 7 et 8, on peut voir que l'on y a représenté une variante 11' du commutateur MEMS selon le premier mode de réalisation.

[0158] Dans cette variante, le socle d'ancrage 16' recouvre uniquement partiellement la cavité 17', deux trous traversants allongés 18' étant formés de chaque côté entre le socle d'ancrage 16' et le substrat 12', la structure de la membrane de contact 15', avec ses deux branches 15'a et 15'b et son ancrage 15'c sur le socle d'ancrage 16', la ligne d'entrée 13' et la ligne de sortie 14' étant identiques à la structure décrite pour le commutateur MEMS des Figures 1-6 et n'étant donc pas décrite plus en détail (les éléments communs portant le même chiffre de référence avec un caractère « ' » après le chiffre de référence associé).

[0159] Dans ces deux variantes du premier mode de réalisation (avec socle d'ancrage fermé ou semi-ouvert), le socle d'ancrage 16, 16' et la membrane de contact 15, 15' peuvent être déformés par tout moyen (électrostatique, piézoélectrique, magnétique, thermique). La surface sous la ligne d'entrée 13, 13' et sous la ligne de sortie 14, 14' au niveau des zones de contact A1 et A2 dans les deux variantes du premier mode de réalisation est constituée par le substrat. Cette surface, désignée par socle de zone de contact, est donc non déformable dans ce premier mode de réalisation.

[0160] Si l'on se réfère maintenant aux Figures 9 à 12, on peut voir que l'on y a représenté

un commutateur MEMS 101 selon un second mode de réalisation.

[0161] Le commutateur MEMS 101 est formé sur un substrat 102, avec une ligne d'entrée de signal 103 formée d'un seul tenant avec la membrane de contact 105, formant un pont au-dessus de la ligne de sortie de signal 104, formée transversalement sur le substrat 102 à la direction de la ligne d'entrée 103. La ligne de sortie 104 est donc formée dans l'espace 107 sous la membrane de contact 105.

[0162] Dans ce deuxième mode de réalisation, la membrane de contact 105 comprend deux ancrages 105c, pour encadrer la ligne de sortie de signal 104.

[0163] Les deux ancrages 105c sont formés chacun sur un socle d'ancrage, respectivement 106a, 106b, déformables comme dans le premier mode de réalisation. Comme pour le premier mode de réalisation, la surface sous les zones de contact entre la membrane de contact et les lignes d'entrée 103 et de sortie 104 est constituée par le substrat. Cette surface, désignée par socle de zone de contact, est donc non déformable dans ce deuxième mode de réalisation.

[0164] Ainsi, dans la configuration ouverte représentée [Fig.9], les socles d'ancrage 106a, 106b sont non déformés, et la membrane de contact 105 ne relie pas électriquement la ligne d'entrée de signal 103 avec la ligne de sortie de signal 104, aucun chemin électrique n'étant créé entre elles.

[0165] Dans la configuration fermée représentée [Fig.12], les deux socles d'ancrage 106a, 106b sont déformés, avec un fléchissement vers le bas sur la [Fig.12] provoquant un déplacement de la membrane de contact 105 vers la ligne de sortie de signal 104, par descente des ancrages 105c vers le bas. Le moyen d'actionnement présent au niveau de la membrane de contact 105 (non représenté) apporte dans ce cas également plus de force de contact.

[0166] Si l'on se réfère maintenant aux Figures 13A-13C, on peut voir que l'on y a représenté un commutateur MEMS 201 selon un troisième mode de réalisation. L'actionnement n'est pas représenté pour ne pas surcharger les Figures.

[0167] Le commutateur MEMS 201 comprend une membrane de contact 205 en T, comportant un ancrage 205c formant le tronc du T et deux branches 205a, 205b formant le chapeau du T. L'ancrage 205c est formé directement sur le substrat 202, le socle d'ancrage, désignant la surface sur laquelle s'appuie l'ancrage 205c, étant donc dans ce mode de réalisation non déformable.

[0168] La ligne d'entrée 203 est formée partiellement sur le substrat 202 et partiellement sur un premier socle de zone de contact 206a formé partiellement au droit de la branche 205a de la membrane de contact 205, et la ligne de sortie 204 est formée partiellement sur le substrat 202 et partiellement sur un deuxième socle de zone de contact 206b formé partiellement au droit de la branche 205b de la membrane de contact 205.

[0169] Ainsi, pour ce commutateur 201 selon ce troisième mode de réalisation, un premier

moyen d'actionnement (non représenté) permet le fléchissement des branches 205a, 205b de la membrane de contact 205, respectivement vers la ligne d'entrée 203 et vers la ligne de sortie 204, un second moyen d'actionnement (non représenté) étant configuré pour faire fléchir les socles de zone de contact 206a et 206b, qui permettent par leur actionnement, de rapprocher ou d'éloigner la ligne d'entrée de signal 203 et la ligne de sortie de signal 204 des branches 205a et 205b de la membrane de contact 205.

[0170] Ainsi, la [Fig.13A] représente la position de repos du commutateur MEMS 201. La distance de la membrane de contact 205 par rapport à la ligne d'entrée de signal 203 et à la ligne de sortie de signal 204 n'est pas maximale, il n'y a pour autant pas de connexion et le commutateur MEMS 201 est donc ouvert.

[0171] La [Fig.13B] représente une position dans laquelle les socles de zone de contact déformables 206a et 206b sont activés pour fléchir vers le bas et éloigner la ligne d'entrée 203 et la ligne de sortie 204 de la membrane de contact 205. La distance entre la membrane de contact 205 et la ligne d'entrée 203 et la ligne de sortie 204 est donc plus importante que sur la [Fig.13A], la position de la [Fig.13B] représente donc la position complètement ouverte du commutateur 201.

[0172] La [Fig.13C] représente la position fermée du commutateur 201 : les socles de zone de contact 206a et 206b ne sont pas activés pour fléchir mais les deux branches 205a, 205b de la membrane de contact 205 sont activés pour fléchir vers la ligne d'entrée 203 et la ligne de sortie 204.

[0173] Si l'on se réfère maintenant aux Figures 14A-14C, on peut voir que l'on y a représenté un commutateur MEMS 201' selon une variante du troisième mode de réalisation.

[0174] Les éléments communs avec les Figures 13A-13C porteront le même chiffre de référence avec un caractère « ' » après le chiffre de référence associé et ne seront pas décrits plus en détail.

[0175] La différence dans cette variante, par rapport au commutateur MEMS 201 des Figures 13A-13C, réside dans la présence d'un socle d'ancrage déformable 206'c formé dans le substrat 202' sous l'ancrage 205'c de la membrane de contact 205'.

[0176] Sur la [Fig.14A], le commutateur MEMS 201' est dans la position ouverte : les branches 205'a et 205'b de la membrane de contact 205 ne sont pas en contact avec la ligne d'entrée 203' et avec la ligne de sortie 204'.

[0177] Sur la [Fig.14B], le commutateur MEMS 201' est dans la position complètement ouverte : de manière analogue à la [Fig.13B], les socles de zone de contact 206'a et 206'b déformables sont activés pour éloigner la ligne d'entrée 203' et la ligne de sortie 204' de la membrane de contact 205'.

[0178] Sur la [Fig.14C], on voit que le commutateur 201' est fermé non pas par flé-

chissement des branches 205'a et 205'b comme sur la [Fig.13C], mais par actionnement du socle d'ancrage 206'c, les socles de zone de contact 206'a et 206'b restant non actionnés.

- [0179] Il est à noter que ce mode de réalisation n'exclut pas un actionnement des branches 205'a et 205'b pour renforcer leur contact avec respectivement la ligne d'entrée 203' et la ligne de sortie 204'.
- [0180] Si l'on se réfère maintenant aux Figures 15 et 16, on peut voir que l'on y a représenté un commutateur MEMS selon un quatrième mode de réalisation.
- [0181] Dans ce quatrième mode de réalisation, le commutateur MEMS 301 est formé sur un substrat 302.
- [0182] Une ligne d'entrée de signal 303 est formée avec une partie sur le substrat 302, une partie verticale 303a et une partie en porte-à-faux 303b au-dessus du substrat 302.
- [0183] De la même manière, une ligne de sortie de signal 304 est formée avec une partie sur le substrat 302, une partie verticale 304a et une partie en porte-à-faux 304b au-dessus du substrat 302.
- [0184] La membrane de contact 305 est formée dans l'espace 308 sous les parties en porte-à-faux 303b et 304b de la ligne d'entrée 303 et de la ligne de sortie 304 et a sensiblement la même forme de T que dans le premier mode de réalisation, avec deux branches 305a et 305b portées par un ancrage 305c, correspondant au tronc du T, formé sur un socle d'ancrage déformable 306 fermant une cavité 307 (représentée seulement en partie sur les Figures) formée dans le substrat 302.
- [0185] Dans ce quatrième mode de réalisation, lorsque le commutateur MEMS 301 est dans l'état où le socle d'ancrage 306 n'est pas déformé, les branches 305a, 305b de la membrane de contact sont en contact respectivement avec la partie inférieure des parties en porte-à-faux 303b et 304b de la ligne d'entrée 303 et de la ligne de sortie 304, formant un contact électrique entre l'entrée et la sortie du commutateur MEMS 301, qui est donc normalement fermé, contrairement aux autres modes de réalisation décrits jusqu'ici.
- [0186] Comme pour les autres modes de réalisation, le commutateur MEMS 301 a deux éléments déformables, la membrane de contact 305 et le socle d'ancrage 306, un actionnement du socle d'ancrage 306 le fléchissant vers l'intérieur du substrat 302, faisant descendre l'ancrage 305c et donc l'intégralité de la membrane de contact 305, et un actionnement de la membrane de contact permettant la déformation vers le substrat 302 des branches 305a, 305b de la membrane de contact 305.
- [0187] Ces deux niveaux d'actionnement permettent une meilleure isolation électrique entre l'entrée et la sortie du commutateur MEMS 301 dans son état ouvert représenté en [Fig.16]. Le socle de zone de contact, non déformable dans ce mode de réalisation, est constitué par la surface du substrat 302 sous les parties verticales 303a et 304a.

- [0188] Si l'on se réfère maintenant aux Figures 17 et 18, on peut voir que l'on y a représenté un commutateur MEMS 401 selon un cinquième mode de réalisation.
- [0189] Ce cinquième mode de réalisation est semblable au quatrième mode de réalisation en ce que le commutateur MEMS 401 est normalement fermé.
- [0190] Le commutateur MEMS 401 est donc formé sur un substrat 402.
- [0191] Un autre substrat 408 est collé au substrat 402 par une ligne de liaison 409.
- [0192] Les lignes d'entrée 403 et de sortie 404 sont formées sur la surface supérieure du substrat 408, et traversent le substrat 408 par des vias, respectivement 403a et 404a, pour former dans le plafond d'un espace 410 entre les deux substrats 402 et 408 deux plages de contact, respectivement 403b et 404b.
- [0193] La membrane de contact 405 est, comme dans le précédent mode de réalisation, en forme de T avec deux branches en porte-à-faux 405a et 405b au-dessus de la surface supérieure du substrat 402, portées par un ancrage 405c supporté par un socle d'ancrage 406 déformable fermant une cavité 407.
- [0194] Dans l'état normalement fermé en [Fig.17], les branches de la membrane de contact 405, respectivement 405a, 405b, sont en contact avec les plages de contact des lignes d'entrée 403 et 404, respectivement 403b et 404b, pour former un chemin électrique entre l'entrée et la sortie du commutateur MEMS 401.
- [0195] Comme pour les autres modes de réalisation, le commutateur MEMS 401 a deux moyens d'actionnement, un premier moyen d'actionnement permettant une déformation du socle d'ancrage 406 vers la direction de profondeur de la cavité 407, faisant descendre l'ancrage 405c et donc l'intégralité de la membrane de contact 405, et un second moyen d'actionnement permettant la déformation vers le substrat 402 des branches 405a, 405b de la membrane de contact 405.
- [0196] Ces deux moyens d'actionnement permettent une meilleure isolation électrique entre l'entrée et la sortie du commutateur MEMS 401 dans son état ouvert représenté en [Fig.18]. Le socle de zone de contact, non déformable dans ce mode de réalisation, est constitué par la surface du substrat 402 sous les lignes de liaison 409.
- [0197] Si l'on se réfère aux Figures 19 à 23, on peut voir que l'on a représenté un commutateur MEMS 501 selon un sixième mode de réalisation.
- [0198] Dans ce sixième mode de réalisation, une structure de substrat silicium sur isolant (SOI) est adoptée, le substrat 508 étant en silicium.
- [0199] Une couche d'isolant, à titre d'exemple non limitatif, du SiO_2 502 est formée sur le substrat 508, avec une cavité 507 formée dans la couche de SiO_2 502, la cavité 507 étant fermée à son extrémité supérieure par une couche de silicium 506, faisant office de socle d'ancrage déformable, sur laquelle repose la membrane de contact 505, formée en T avec deux branches 505a et 505b en porte-à-faux au-dessus de la couche 506, et un tronc 505c faisant office d'ancrage, une souche de SiO_2 510 étant interposée

entre la base de l'ancrage 505c et le socle d'ancrage 506.

- [0200] La ligne d'entrée 503, respectivement la ligne de sortie 504, est formée sur la couche 506, avec interposition d'une couche de SiO_2 511, respectivement 509.
- [0201] Il est à noter que la couche 506 peut fermer totalement ou partiellement la cavité 507, sans que l'invention ne soit limitée à cet égard.
- [0202] La ligne d'entrée 503, la ligne de sortie 504 et la membrane de contact 505 sont en un matériau ou alliage de matériaux conducteurs d'électricité. A titre de variante, la membrane de contact 505 peut être constituée de plusieurs couches, dont au moins une conductrice destinée à entrer en contact avec les lignes d'entrée 503 et de sortie 504.
- [0203] Sur la [Fig.19], le commutateur MEMS 501, normalement ouvert, est dans l'état ouvert. Les branches 505a et 505b de la membrane de contact 505 sont en porte-à-faux au-dessus des lignes d'entrée 503 et de sortie 504.
- [0204] Sur la [Fig.20], le commutateur MEMS 501 est à l'état fermé, avec les deux éléments déformables (membrane de contact 505 et socle d'ancrage 506) déformés.
- [0205] Le substrat 508 étant mis à la masse, une tension V est appliquée à la couche 506. La tension V peut être positive ou négative mais est suffisamment élevée pour que la force électrostatique induite génère une force permettant de déformer le socle d'ancrage 506.
- [0206] Ainsi, la différence de potentiel entre la couche/socle d'ancrage 506 et le substrat 508 constituant le premier moyen d'actionnement du socle d'ancrage 506 va provoquer, par effet électrostatique, un fléchissement de la partie de la couche 506 formant le socle d'ancrage vers l'intérieur de la cavité 507.
- [0207] De même, la différence de potentiel entre la couche 506 et les branches 505a et 505b de la membrane de contact 505 constituant un second moyen d'actionnement va provoquer un plaquage des branches 505a et 505b respectivement sur la ligne d'entrée de signal 503 et sur la ligne de sortie de signal 504.
- [0208] Sur la [Fig.20], une résistance de forte valeur (supérieure à 100 kOhms) reliée à la masse permet d'amener indirectement la masse sur la membrane de contact 505 lorsque le commutateur MEMS 501 est ouvert. Lorsque le contact est réalisé entre la membrane de contact 505 et la ligne d'entrée 503 et la ligne de sortie 504 comme sur la [Fig.20], la résistance est trop élevée pour impacter le signal électrique, électronique ou radiofréquence transmis.
- [0209] A titre de variante, il serait envisageable de dissocier la ligne de signal de la masse au sein de la membrane comme décrit dans la demande de brevet européen EP 3465724. Cette variante permettrait notamment de s'affranchir de la résistance reliée à la masse.
- [0210] Le premier moyen d'actionnement est donc la différence de potentiel appliquée entre la couche 506 et le substrat 508, et le second moyen d'actionnement est la différence de potentiel entre la couche 506 et la membrane de contact 505. L'actionnement décrit ici est un actionnement par champ électrostatique créé par différence de potentiel, mais

d'autres actionnements sont envisageables dans le cadre de la présente invention, par exemple un actionnement piézoélectrique (déplacement ou déformation par effet piézoélectrique), magnétique (des aimants commandés permettent une déformation du socle d'ancrage 506 et/ou un déplacement de la membrane de contact 505) ou encore thermique (une température commandée modifie la forme du socle d'ancrage 506 et/ou de la membrane de contact 505).

[0211] Les zones de contact, constituées par la surface située sous la partie de la ligne d'entrée 503 et sous la partie de la ligne de sortie 504 en contact avec la membrane de contact 505 sur la [Fig.20], sont formées sur le substrat 508. Les socles de zone de contact, définis comme la surface sous la zone de contact, sont donc non déformables dans ce mode de réalisation.

[0212] La [Fig.21] représente une variante du sixième mode de réalisation du commutateur MEMS 501'.

[0213] Dans cette variante, les éléments communs à ceux des Figures 19 et 20 porteront le même chiffre de référence et ne seront pas décrits plus en détail.

[0214] Dans cette variante, on peut voir que la couche de SiO₂ 502' formée entre le substrat 508 et la couche 506' se prolonge sous la ligne d'entrée 503 et sous la ligne de sortie 504 (alors que sur les Figures 19 et 20, la couche de SiO₂ 502 est au droit de l'extrémité de la ligne d'entrée 503 et de la ligne de sortie 504) pour former une cavité 507' plus étroite. En conséquence, des parties rectilignes 506'a et 506'b sont formées sur les parties en saillie de la couche 506' par rapport aux extrémités de la ligne d'entrée 503 et de la ligne de sortie 504.

[0215] On retrouve, comme pour la [Fig.20], les deux moyens d'actionnement avec déformation de la couche 506' par différence de potentiel entre la couche 506', à laquelle une tension V est appliquée, et le substrat 508, à la masse, et déformation des branches 505a et 505b, par différence de potentiel entre la couche 506', à la tension V, et les branches 505a et 505b de la membrane de contact 505, connectée par une résistance élevée (>100 kOHms) à la masse.

[0216] Ainsi, par actionnement du socle d'ancrage 506', les branches 505a et 505b de la membrane de contact 505 viennent fermer le commutateur MEMS 501' tout en restant parallèles à la surface du substrat 506. Ce parallélisme entre le substrat SOI 508 et la membrane

[0217] de contact 505 assure un champ électrostatique plus élevé sur le moyen d'actionnement de la membrane de contact 505 et procure une meilleure force de contact. Il limite également les efforts mécaniques de la membrane de contact et permettent à l'homme du métier d'utiliser des matériaux conventionnels.

[0218] Les Figures 22 et 23 illustrent deux variantes pour appliquer une différence de potentiel entre la couche 506' et la membrane de contact 505 et la couche 506' et le

substrat 508.

- [0219] Dans la variante de la [Fig.22], un contrôleur, qui peut être, sans limitations, tout circuit électronique de type processeur, microprocesseur, microcontrôleur, processeur de signaux numériques, matrice prédiffusée programmable (FPGA pour Field Programmable Gate Array en anglais), circuit intégré à application spécifique (ASIC), voire un ordinateur, commande un générateur de tension qui applique la tension V à la couche 506', la membrane de contact 505 et le substrat 508 étant à la masse.
- [0220] Dans la variante de la [Fig.23], un pilote commandé par un microcontrôleur injecte sur la couche 506' une tension V, obtenue par un convertisseur DC/DC alimenté par une tension 3,3V ou 5V, la membrane de contact 505 et le substrat 508 étant à la masse.
- [0221] Ces deux modes d'application d'une tension V sont décrits à titre illustratif et non limitatif, l'invention n'étant pas limitée à cet égard.
- [0222] L'homme du métier saura apprécier, en fonction de la conception et de l'architecture du commutateur MEMS, comment créer une différence de potentiel pour obtenir une déformation du socle d'ancrage sur lequel repose la membrane de contact et un déplacement de la membrane. Il en va de même pour les socles de zone de contact lorsqu'ils sont déformables.
- [0223] Si l'on se réfère aux Figures 24A-24C, on peut voir que l'on a représenté un commutateur MEMS 601 selon un septième mode de réalisation.
- [0224] Dans ce mode de réalisation, la cavité permettant la déformation n'est pas formée dans le substrat, mais au-dessus.
- [0225] Le commutateur MEMS 601 comprend un substrat 602 isolant, à la surface supérieure duquel est rapportée une couche diélectrique mince (sans limitations, en SiO₂, SiN, Ta₂O₅, Al₂O₃). La ligne d'entrée 603 et la ligne de sortie 604, en matériau ou alliages de matériaux conducteurs d'électricité, sont formées sur la surface supérieure de la couche diélectrique mince.
- [0226] La membrane de contact 605, en matériau ou alliages de matériaux conducteurs d'électricité, est comme dans les autres modes de réalisation, en forme de T avec deux branches 605a et 605b en porte-à-faux au-dessus de la couche diélectrique mince, et un tronc faisant office d'ancrage vertical 605c pour la membrane de contact 605, la base de l'ancrage vertical 605c traversant la couche diélectrique mince au niveau d'un dôme 606c formé par la couche diélectrique mince et définissant une cavité 607c, et se prolonge en une électrode 608 appliquée à la surface supérieure interne de la cavité 607c. La face supérieure du dôme 606c constitue un socle d'ancrage déformable.
- [0227] Une électrode 609c est formée sur le substrat 602 sensiblement au droit de la membrane de contact 605, sous la couche diélectrique mince.
- [0228] La ligne d'entrée 603 se prolonge sur une cavité 607a formée par un dôme 606a

formé par la couche diélectrique mince. La face supérieure du dôme 606a constitue un socle de zone de contact déformable pour la zone de contact entre la membrane de contact 605 (branche 605a) et la ligne d'entrée 603.

[0229] Une électrode 609a est formée dans le fond de la cavité 607a, recouverte par une couche isolante 610a.

[0230] De la même manière, la ligne de sortie 604 se prolonge sur une cavité 607b formée par un dôme 606b formé par la couche diélectrique mince. La face supérieure du dôme 606b constitue un socle de zone de contact déformable pour la zone de contact entre la membrane de contact 605 (branche 605b) et la ligne de sortie 604.

[0231] Une électrode 609b est formée dans le fond de la cavité 607b, recouverte par une couche isolante 610b.

[0232] La [Fig.24A] représente la position au repos, la membrane 605 et les électrodes 609a, 609b et 609c étant reliées directement ou indirectement (via une résistance élevée) à la masse.

[0233] Sur la [Fig.24B], les électrodes 609a et 609b sont activées par une tension V pour éloigner la ligne d'entrée 603 et la ligne de sortie 604 de la membrane de contact 605, le commutateur MEMS 601 étant alors dans la position complètement ouverte.

[0234] Sur la [Fig.24C], l'électrode 609c est activée par une tension V, les autres éléments restant à la masse, pour descendre la membrane de contact 605 au contact de la ligne d'entrée 603 et de la ligne de sortie 604 : le commutateur MEMS 601 est dans la position fermée.

[0235] Sur la [Fig.25], on a représenté un commutateur MEMS 701 selon un septième mode de réalisation.

[0236] Dans ce mode de réalisation, le commutateur MEMS 701 comprend une membrane de contact 705 en T, reposant sur un ancrage 705c.

[0237] Le commutateur MEMS 701 est formé sur un substrat 708 sur lequel une couche 702 est formée, dans laquelle sont formées trois cavités 707a, 707b et 707c, respectivement sous la ligne d'entrée 703, la ligne de sortie 704 et l'ancrage 705c, les cavités étant recouvertes et fermées par une couche 706, isolée respectivement de la ligne d'entrée 703, de la ligne de sortie 704 et de la base de l'ancrage 705c par des couches isolantes respectivement 711, 710 et 709. Des ouvertures I dans la couche 706 permettent d'isoler électriquement les différents morceaux de la couche 706.

[0238] Une encapsulation est créée par une cloche 713 formée par exemple en diélectrique en film mince (en SiO₂, SiN, Ta₂O₅, Al₂O₃ par exemple), définissant un espace d'encapsulation dans lequel se trouve le commutateur 701 et créant une cavité hermétique 712 sur la membrane de contact 705.

[0239] Cette cavité 712 peut notamment être remplie de gaz, et permet de rendre le commutateur 701 plus robuste.

- [0240] Le fonctionnement du commutateur 701 est sinon identique à ce qui a été précédemment décrit et ne sera pas repris en détail ici.
- [0241] La cavité 712 comprend un gaz ou du vide, et peut être sous pression ou non par rapport à l'extérieur de l'espace d'encapsulation.
- [0242] Pour tous les modes de réalisation décrits jusqu'à présent, la cavité présente sous le socle d'ancrage sur lequel est ancrée la membrane de contact peut également comprendre un gaz ou du vide, et être ou non sous pression par rapport à l'extérieur du commutateur MEMS.
- [0243] Pour tous les modes de réalisation décrits, l'ancrage de la membrane de contact sera de préférence disposé au droit du point de flexion maximale du socle d'ancrage, dans le but de permettre la plus grande course possible.
- [0244] Il est bien entendu que l'homme du métier saura dimensionner la hauteur de la membrane de contact, la longueur de la ou des branches de la membrane de contact destinées à venir en contact avec les lignes d'entrée et de sortie en fonction de l'agencement des lignes d'entrée et de sortie, pour obtenir l'isolation souhaitée dans la position ouverte et la force de contact souhaitée dans la position fermée. Le second moyen d'actionnement présent au niveau de la membrane de contact (non représenté) apporte dans ce cas également plus de force de contact.
- [0245] Dans ce mode de réalisation, la membrane de contact 705, le socle d'ancrage fermant la cavité 707c et les socles de zone de contact fermant les cavités 707a et 707b sont déformables. Les moyens d'actionnement de ces différents éléments déformables peuvent être, non limitativement, comme décrits précédemment.
- [0246] Si l'on se réfère aux Figures 26 et 27, on peut voir que l'on a représenté un commutateur MEMS 801 selon un neuvième mode de réalisation.
- [0247] Le commutateur 801 comprend un substrat 802 sur lequel est formée une membrane de contact 805, une ligne d'entrée 803, une ligne de sortie 804, et deux socles de zone de contact déformables 806a, 806b, s'étendant non pas comme dans les autres modes de réalisation sous l'ancrage 805c de la membrane de contact 805, mais sous les extrémités des lignes d'entrée 803 et de sortie 804 destinées à venir en contact avec les branches 805a et 805b de la membrane de contact 805 pour former les zones de contact avec celle-ci. Le socle d'ancrage, surface sur laquelle s'appuie l'ancrage, est non déformable dans ce mode de réalisation.
- [0248] Ainsi, contrairement aux autres modes de réalisation décrits jusqu'ici, au lieu de rapprocher ou d'éloigner la membrane de contact 805 des lignes d'entrée et de sortie fixes 803 et 804, c'est la membrane de contact 805 qui est fixe et les lignes d'entrée 803 et de sortie 804 qui se déplacent, un moyen d'actionnement de la membrane de contact 805 étant également prévu pour permettre de déformer la membrane de contact 805.

- [0249] Sur la [Fig.26], le commutateur 801, normalement fermé, voit sa membrane de contact 805 en contact avec les lignes d'entrée 803 et de sortie 804, les socles de zone de contact 806a et 806b respectifs étant dans leurs états non déformés.
- [0250] Le moyen d'actionnement présent au niveau de la membrane de contact 805 (non représenté) apporte dans ce cas également plus de force de contact.
- [0251] Sur la [Fig.27], le commutateur 801 est en position ouverte, avec les socles de zone de contact 806a et 806b déformés par fléchissement vers le bas, de manière analogue à ce qui a été décrit en liaison avec les modes de réalisation précédents, pour éloigner les lignes d'entrée 803 et de sortie 804 de la membrane de contact 805, pour obtenir une position ouverte du commutateur MEMS 801.
- [0252] Si l'on se réfère aux Figures 28 à 30, on peut voir que l'on a représenté un commutateur MEMS 901 selon un dixième mode de réalisation, représentant une combinaison du neuvième mode de réalisation avec les modes de réalisation précédents.
- [0253] Dans ce dixième mode de réalisation, le commutateur 901, en structure SOI, présente un substrat en silicium 908, une couche de SiO_2 902 dans laquelle sont formées des cavités 907a, 907b, 907c recouvertes par une couche de silicium pour former trois socles déformables, respectivement des socles de zone de contact 906a, 906b et un socle d'ancrage 906c, électriquement isolés entre eux respectivement par des ouvertures I formées dans la couche de silicium.
- [0254] Le premier socle de zone de contact 906a se trouve sous l'extrémité de la ligne d'entrée 903, le deuxième socle d'ancrage 906c se trouve sous l'ancrage 905c de la membrane de contact 905, le troisième socle de zone de contact 906b se trouvant sous l'extrémité de la ligne de sortie 904.
- [0255] La membrane de contact 905, comprenant ses branches 905a, 905b et son ancrage 905c est en matériau ou alliage de matériaux conducteurs de l'électricité, tout comme la ligne d'entrée 903 et la ligne de sortie 904. A titre de variante, la membrane de contact 905 peut être constituée d'un empilement de plusieurs matériaux voire avoir une structure guide d'ondes comme décrit ci-avant en référence à la [Fig.20].
- [0256] Des couches de SiO_2 909, 910 et 911 sont formées respectivement sous la ligne de sortie 904, l'ancrage 905c et la ligne d'entrée 903.
- [0257] Sur la [Fig.28], la membrane de contact 905 est indirectement reliée à la masse par l'intermédiaire d'une résistance élevée ($>100\text{k}\Omega$), les socles de zone de contact 906a, 906b, le socle d'ancrage 906c, et le substrat 908 sont directement reliés à la masse.
- [0258] Le commutateur 901 est donc au repos.
- [0259] Sur la [Fig.29], le socle 906c sous l'ancrage 905c de la membrane de contact 905 est mis à la tension V (de manière analogue à ce qui a été décrit en liaison avec les Figures 19 à 23), les autres éléments restant directement ou indirectement reliés à la masse : le

commutateur 901 est dans la position fermée.

- [0260] Sur la [Fig.30], les socles de zone de contact 906a et 906b, respectivement sous la ligne d'entrée 903 et la ligne de sortie 904, sont mis à la tension V, les autres éléments, y compris la membrane de contact 905, sont directement ou indirectement maintenus à la masse.
- [0261] La déformation des socles de zone de contact 906a et 906b vers le bas éloigne la ligne d'entrée 903 et la ligne de sortie 904 des branches 905a et 905b de la membrane de contact 905, conduisant à une seconde position ouverte du commutateur 901, dans laquelle l'isolation obtenue est plus forte : le commutateur MEMS 901 est dans la position complètement ouverte.
- [0262] On voit ainsi que l'on peut obtenir différents états du commutateur MEMS, dans lesquels soit la force de contact dans l'état fermé est plus grande, soit l'isolation dans l'état ouvert est plus grande, en fonction de l'emplacement des socles déformables, sous les ancrages de la membrane de contact et/ou sous les zones de contact des lignes d'entrée et/ou de sortie.
- [0263] Il est bien entendu que ce mode de réalisation où un socle de zone de contact déformable est disposé sous les lignes de signal est également applicable aux cas où la membrane de contact est liée à la ligne d'entrée ou de sortie, le socle de zone de contact déformable étant alors disposé sous la ligne parmi la ligne d'entrée et la ligne de sortie qui n'est pas liée à la membrane de contact. La différence de potentiel entre le socle d'ancrage 906c et la membrane de contact apporte dans ce cas également plus de force de contact.
- [0264] Le tableau 1 suivant indique certaines des configurations possibles permises par un commutateur MEMS selon la présente invention, haut représentant que l'élément considéré est déformable avec une déformation vers le haut, bas représentant que l'élément considéré est déformable avec une déformation vers le bas, - représentant le fait que l'élément n'est pas déformable, NO représentant un commutateur de type normalement ouvert, NF représentant un commutateur de type normalement fermé, + une amélioration du paramètre considéré par rapport à l'état de la technique, ++ une forte amélioration du paramètre considéré par rapport à l'état de la technique.

[0265] [Tableaux1]

Actionnement membrane de contact	Actionnement socle d'ancrage	Actionnement socle de zone de contact	Type	Avantages	
				Force contact	Isolation
Bas	Bas	-	NF	+	
Bas	Bas	-	NO		+
Haut	Bas	-	NF		+
Bas	Haut	-	NO	+	
Haut	Haut	-	NF	+	
Haut	Haut	-	NO		+
Bas	Bas	Bas	NF	++	
Bas	Bas	Bas	NO	+	+
Haut	Bas	Bas	NF	+	+
Haut	Bas	Bas	NO		++
-	Bas	Bas	NF	+	
-	Bas	Bas	NO		+
Bas	Haut	Bas	NO	++	
Haut	Haut	Bas	NF	++	
Haut	Haut	Bas	NO	+	+
-	Haut	Bas	NO	+	
Bas	-	Bas	NO	+	
Haut	-	Bas	NF	+	
Haut	-	Bas	NO		+
Bas	Bas	Haut	NF		++
Bas	Bas	Haut	NO	+	+
Haut	Bas	Haut	NF		++
-	Bas	Haut	NF		+
Bas	Haut	Haut	NF	++	
Bas	Haut	Haut	NO	+	+
Haut	Haut	Haut	NF	+	+
Haut	Haut	Haut	NO		++

-	Haut	Haut	NF	+	
-	Haut	Haut	NO		+
Bas	-	Haut	NF	+	
Bas	-	Haut	NO		+
Haut	-	Haut	NF		+

- [0266] Si l'on se réfère aux Figures 31 à 33, on peut voir que l'on a représenté un commutateur 1000, constitué de plusieurs commutateurs MEMS 1002, 1003, 1004 selon un ou plusieurs des modes de réalisation décrits ci-dessus.
- [0267] Les commutateurs MEMS 1002, 1003 et 1004 du commutateur 1000 sont de type SOI, comme décrit en référence aux Figures 19 à 23, avec un substrat 1001 en silicium, des lignes d'entrée/sortie 1008, 1009, 1010, 1011, des commutateurs 1002, 1003, 1004 en matériau ou alliages de matériaux conducteurs de l'électricité, et une couche de SiO₂ 1005 dans laquelle sont formées les cavités 1012, 1013, 1014 fermées par les socles formés par les parties de la couche de silicium 1006 sur lesquelles reposent les ancrages des commutateurs MEMS 1002, 1003 et 1004. Une couche de SiO₂ 1007 est interposée entre les lignes d'entrée/sortie 1008, 1009, 1010, 1011 et la couche 1006 et entre les ancrages des commutateurs MEMS 1002, 1003 et 1004 et la couche 1006.
- [0268] Comme on peut le voir sur la [Fig.32] et le schéma électrique équivalent de la [Fig.33], le commutateur 1000 est constitué de plusieurs commutateurs MEMS 1002, 1003, 1004 en série et en parallèle, permettant de supporter des niveaux de courants et de tensions plus importants qu'un unique commutateur MEMS, et des possibilités de commutation plus importantes.
- [0269] L'invention n'est évidemment pas limitée à cette architecture et tout commutateur peut être conçu à partir d'une matrice de commutateur MEMS selon un quelconque ou plusieurs des modes de réalisation de l'invention, en série et/ou en parallèle.
- [0270] Comme représenté en [Fig.34], ce commutateur 1000 peut être formé avec un circuit intégré à application spécifique (ASIC) 1020, qui permet de commander la commutation de chaque commutateur MEMS individuel du commutateur 1000 et peut également servir de protection contre les décharges électrostatiques (ESD), pour une conversion DC/DC, une pompe de charge, une protection lors de la commutation ou encore l'intégration de capteurs.

Revendications

- [Revendication 1] – Commutateur à systèmes microélectromécaniques (MEMS) (1 ; 11 ; 11' ; 101 ; 201 ; 201' ; 301 ; 401 ; 501 ; 501' ; 601 ; 701 ; 801 ; 901), comprenant :
- un substrat (2 ; 12 ; 12' ; 102 ; 202 ; 202' ; 302 ; 402 ; 502 ; 502' ; 602 ; 702 ; 802 ; 908),
 - au moins une ligne d'entrée de signal (3 ; 13 ; 13' ; 103 ; 203 ; 203' ; 303 ; 403 ; 503 ; 603 ; 703 ; 803 ; 903),
 - au moins une ligne de sortie de signal (4 ; 14 ; 14' ; 104 ; 204 ; 204' ; 304 ; 404 ; 504 ; 604 ; 704 ; 804 ; 904),
 - au moins une zone de contact (A1, A2) formée sur un socle de zone de contact (6b ; 206a, 206b ; 206'a, 206'b ; 606a, 606b ; 806a, 806b ; 906a, 906b) solidaire du substrat, chaque zone de contact étant électriquement connectée à l'au moins une ligne d'entrée ou à l'au moins une ligne de sortie,
 - une membrane de contact (5 ; 15 ; 15' ; 105 ; 205 ; 205' ; 305 ; 405 ; 505 ; 605 ; 705 ; 805 ; 905) maintenue en regard de chaque zone de contact par l'un parmi un ancrage (5c ; 15c ; 15c' ; 105c ; 205c ; 205'c ; 305c ; 405c ; 505c ; 605c ; 705c ; 805c ; 905c) formé sur un socle d'ancrage (6a ; 16 ; 16' ; 206'c ; 306 ; 406 ; 506 ; 506' ; 606c ; 705 ; 906c) solidaire du substrat et plusieurs ancrages formés sur au moins un socle d'ancrage solidaire du substrat,
- le commutateur MEMS étant configuré pour ouvrir ou fermer un chemin électrique entre l'au moins une ligne d'entrée et l'au moins une ligne de sortie par au moins une zone de contact,
- le commutateur étant en position fermée lorsqu'un courant électrique circule d'au moins une ligne d'entrée vers au moins une ligne de sortie par contact de la membrane de contact sur au moins une zone de contact et en position ouverte lorsque l'ensemble des lignes d'entrées sont électriquement isolées de l'ensemble des lignes de sortie par absence de contact de la membrane de contact avec l'ensemble des zones de contact,
- caractérisé par le fait que pour chaque zone de contact, la membrane de contact constituant une première entité, le socle de contact constituant une deuxième entité et l'au moins un socle d'ancrage constituant une troisième entité, au moins deux entités parmi la première entité, la deuxième entité et la troisième entité sont déformables, chacune par un

moyen d'actionnement indépendant, pour rapprocher ou éloigner la membrane de contact de la zone de contact, pour faire passer la membrane de contact d'une position initiale ouverte à une position fermée ou d'une position initiale fermée à une position ouverte et accentuer au moins l'une parmi l'isolation dans la position ouverte et la force de contact dans la position fermée.

- [Revendication 2] - Commutateur MEMS (1) selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la membrane de contact (5) est reliée à l'une parmi l'au moins une ligne d'entrée (3) et l'au moins une ligne de sortie (4).
- [Revendication 3] - Commutateur MEMS (11 ; 11' ; 101 ; 201 ; 201' ; 301 ; 401 ; 501 ; 501' ; 601 ; 701 ; 801 ; 901) selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la membrane de contact (15 ; 15' ; 105 ; 205 ; 205' ; 305 ; 405 ; 505 ; 605 ; 705 ; 805 ; 905) est isolée de l'au moins une ligne d'entrée (13 ; 13' ; 103 ; 203 ; 203' ; 303 ; 403 ; 503 ; 603 ; 703 ; 803 ; 903) et de l'au moins une ligne de sortie (14 ; 14' ; 104 ; 204 ; 204' ; 304 ; 404 ; 504 ; 604 ; 704 ; 804 ; 904) dans la position ouverte.
- [Revendication 4] - Commutateur MEMS (1 ; 11 ; 11' ; 101 ; 201 ; 201' ; 501 ; 501' ; 701 ; 801 ; 901) selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que l'au moins une ligne d'entrée (13 ; 13' ; 103 ; 203 ; 203' ; 503 ; 703 ; 803 ; 903) et l'au moins une ligne de sortie (14 ; 14' ; 104 ; 204 ; 204' ; 504 ; 704 ; 804 ; 904) sont formées sur le substrat.
- [Revendication 5] - Commutateur MEMS (401 ; 601) selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que l'au moins une ligne d'entrée (403 ; 603) et l'au moins une ligne de sortie (404 ; 604) sont formées parallèlement au substrat (402 ; 602), sur l'un parmi un substrat secondaire (408) collé en regard du substrat (402) et un ancrage solidaire (606a, 606b) du substrat (602).
- [Revendication 6] - Commutateur MEMS (1 ; 11 ; 11' ; 101 ; 201 ; 201' ; 301 ; 401 ; 501 ; 501' ; 601 ; 701 ; 801 ; 901) selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que chaque socle déformable est constitué par une membrane de cavité recouvrant au moins partiellement un trou formé dans le substrat pour constituer une cavité recouverte au moins partiellement par le socle.
- [Revendication 7] - Commutateur MEMS (901) selon la revendication 6, caractérisé par le fait que le substrat (908) est de type silicium sur isolant, la membrane de cavité étant en silicium, la cavité étant formée entre une première couche de silicium (908) constituée par le substrat et une deuxième couche de silicium constituée par la membrane de cavité, le moyen

- d'actionnement de la membrane de cavité étant configuré pour appliquer une différence de potentiel entre le substrat (908) et la membrane de cavité pour un actionnement électrostatique de la membrane de cavité, la différence de potentiel appliquée déformant la membrane de cavité.
- [Revendication 8] - Commutateur MEMS (601) selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que chaque socle (606a, 606b, 606c) est constitué par une membrane de cavité portée par des ancrages de membrane de cavité solidaires du substrat (602) pour être suspendue en regard du substrat (602) et former une cavité au moins partiellement fermée entre le substrat (602), la membrane de cavité et ses ancrages, le moyen d'actionnement de la membrane de cavité étant configuré pour appliquer une différence de potentiel entre la membrane de cavité et la surface du substrat pour un actionnement électrostatique de la membrane de cavité, la différence de potentiel appliquée déformant la membrane de cavité.
- [Revendication 9] - Commutateur MEMS (901) selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait que le moyen d'actionnement de la membrane de contact est configuré pour appliquer une différence de potentiel entre la membrane de contact (905) et la surface située sous la membrane de contact (905) pour un actionnement électrostatique de la membrane de contact (905), la différence de potentiel appliquée déformant la membrane de contact (905).
- [Revendication 10] - Commutateur MEMS (601) selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait que le moyen d'actionnement de la membrane de contact (605) est une électrode (608) disposée en regard de la membrane de contact.
- [Revendication 11] - Commutateur MEMS (701) selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé par le fait que la membrane de contact (705) est encapsulée dans un espace d'encapsulation (712) formé par l'un parmi un collage de tranche et un film mince.
- [Revendication 12] - Commutateur MEMS (701) selon la revendication 11, caractérisé par le fait que l'espace d'encapsulation (712) de la membrane de contact (705) contient l'un parmi un gaz et du vide.
- [Revendication 13] - Commutateur MEMS (1 ; 11 ; 11' ; 101 ; 201 ; 201' ; 301 ; 401 ; 501 ; 501' ; 601 ; 701 ; 801 ; 901) selon l'une des revendications 6 à 12, caractérisé par le fait que chaque cavité est fermée, et contient l'un parmi un gaz et du vide.
- [Revendication 14] - Commutateur MEMS (1 ; 11 ; 11' ; 101 ; 201 ; 201' ; 301 ; 401 ; 501 ; 501' ; 601 ; 701 ; 801 ; 901) selon l'une des revendications 1 à 13, ca-

ractérisé par le fait que chaque ancrage de la membrane de contact est formé sur ou au voisinage du point de flexion maximal du socle d'ancrage et chaque zone de contact est formée sur ou au voisinage du point de flexion maximal du socle de zone de contact.

- [Revendication 15] – Commutateur (1000) comprenant un ou plusieurs commutateurs MEMS selon l'une des revendications 1 à 14 agencés entre eux selon une configuration parmi en parallèle, en série et à la fois en parallèle et en série.
- [Revendication 16] – Commutateur (1000) selon la revendication 15, caractérisé par le fait qu'il comprend en outre un circuit de commande (1020) intégré au substrat, de préférence sous la forme d'un circuit intégré à application spécifique (ASIC).

[Fig. A1]

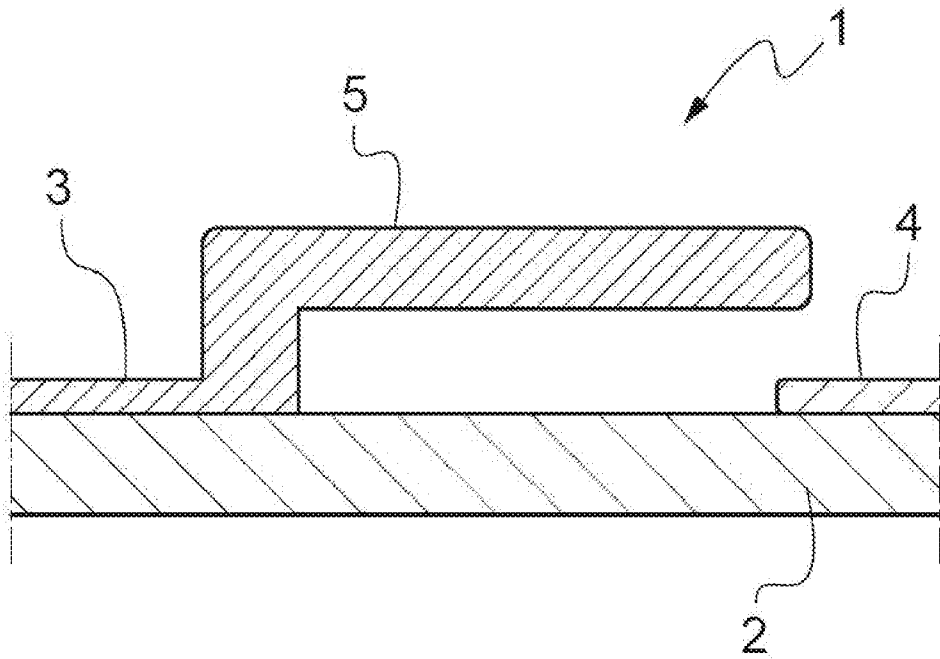


Fig.A1

[Fig. A2]

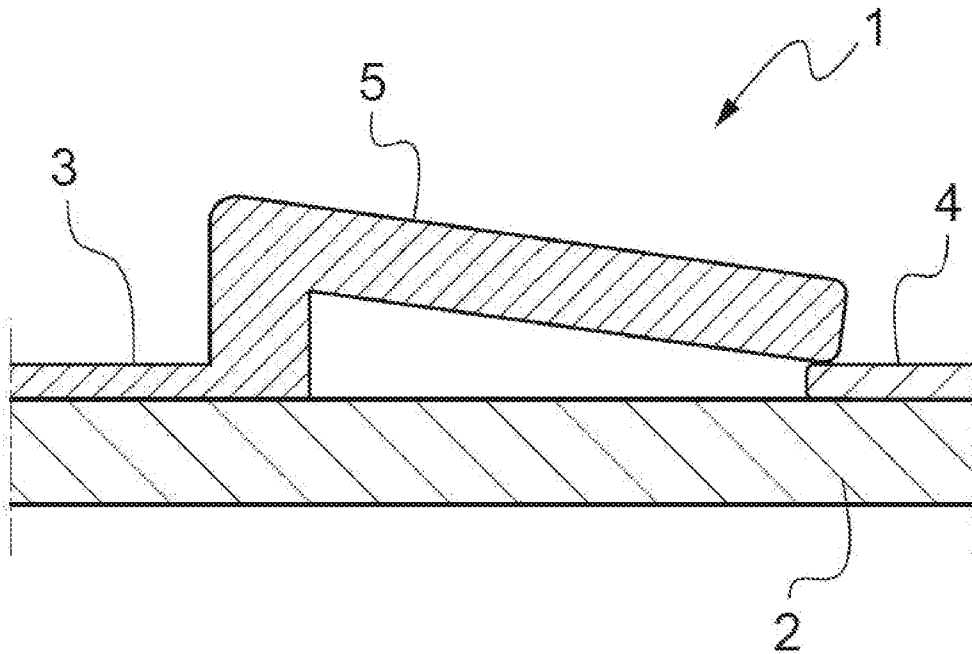


Fig.A2

[Fig. B1]

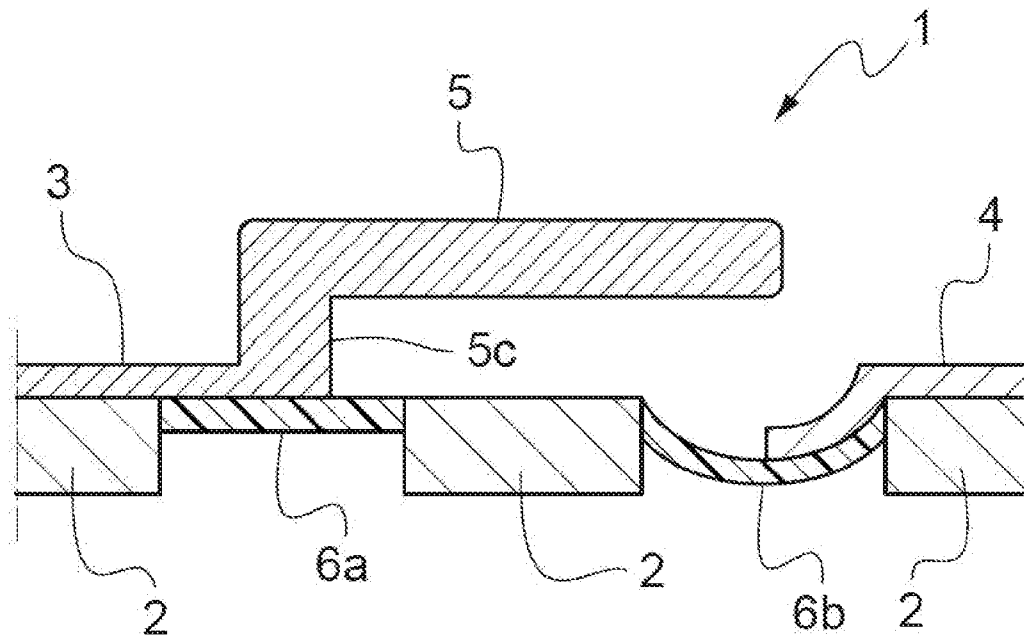


Fig.B1

[Fig. B2]

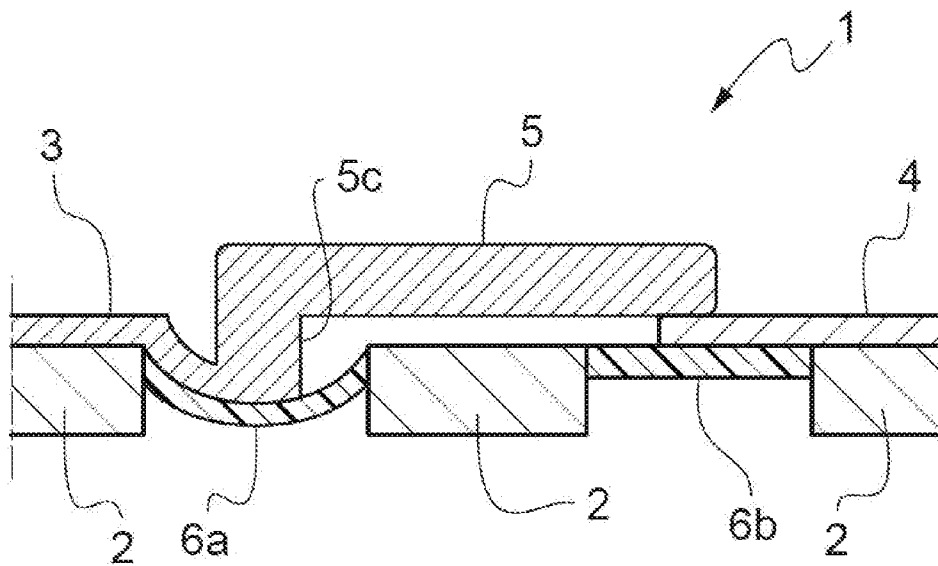


Fig.B2

[Fig. 1]

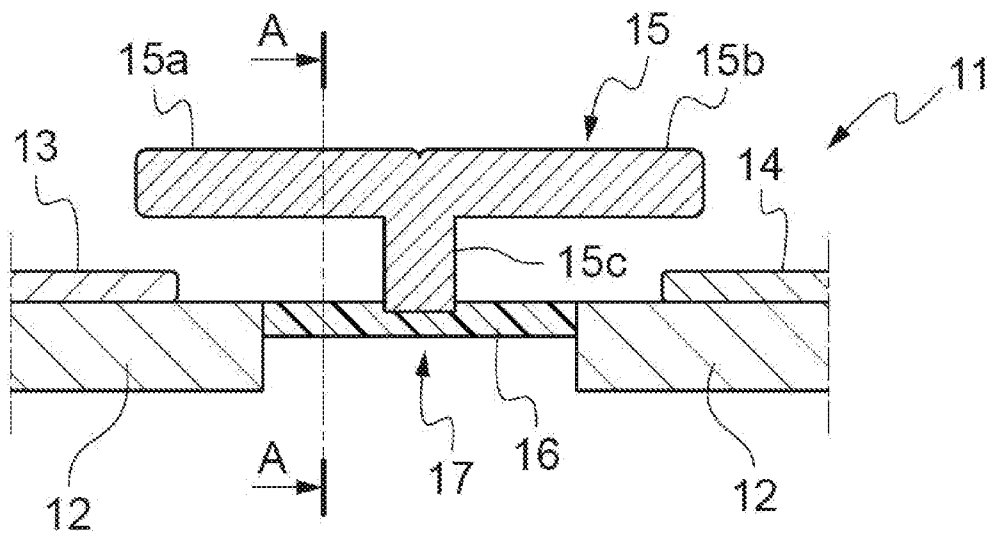


Fig. 1

[Fig. 2]

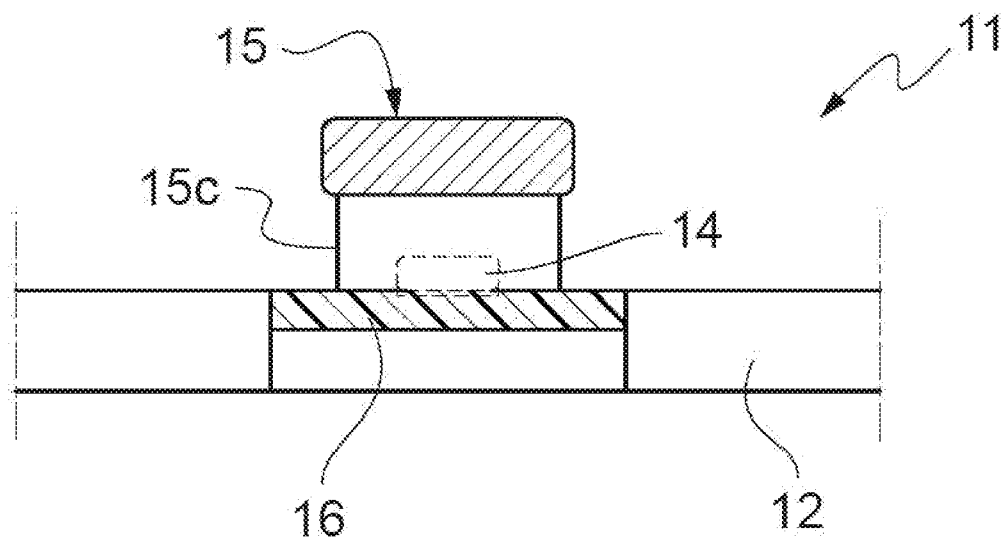


Fig. 2

[Fig. 3]

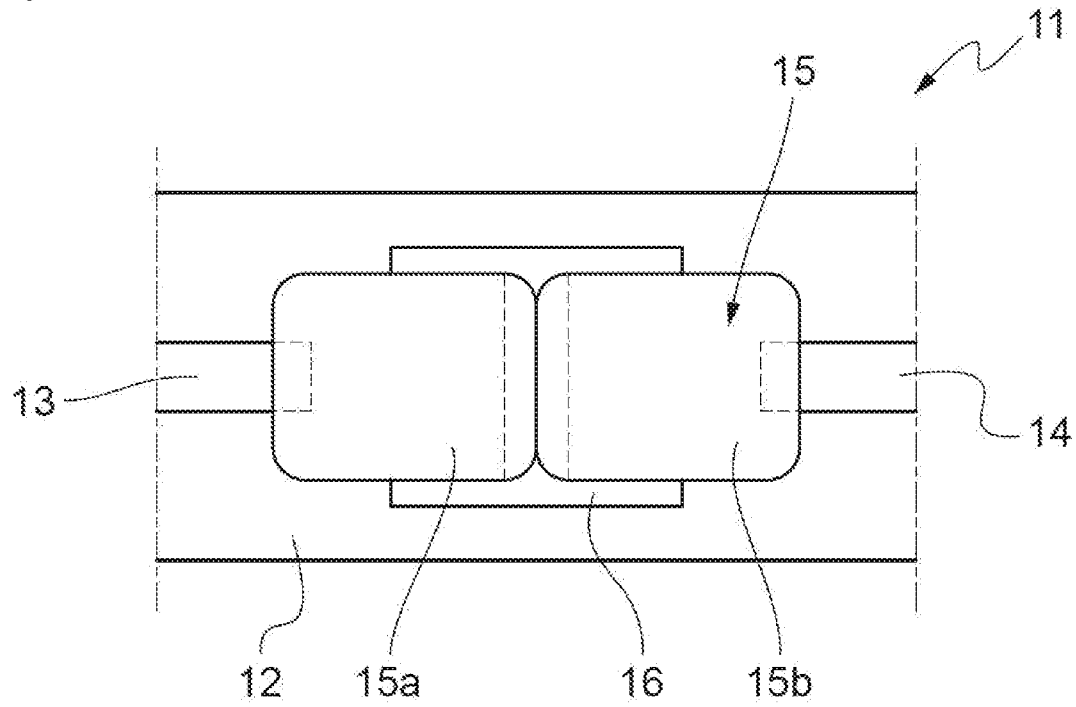


Fig.3

[Fig. 4]

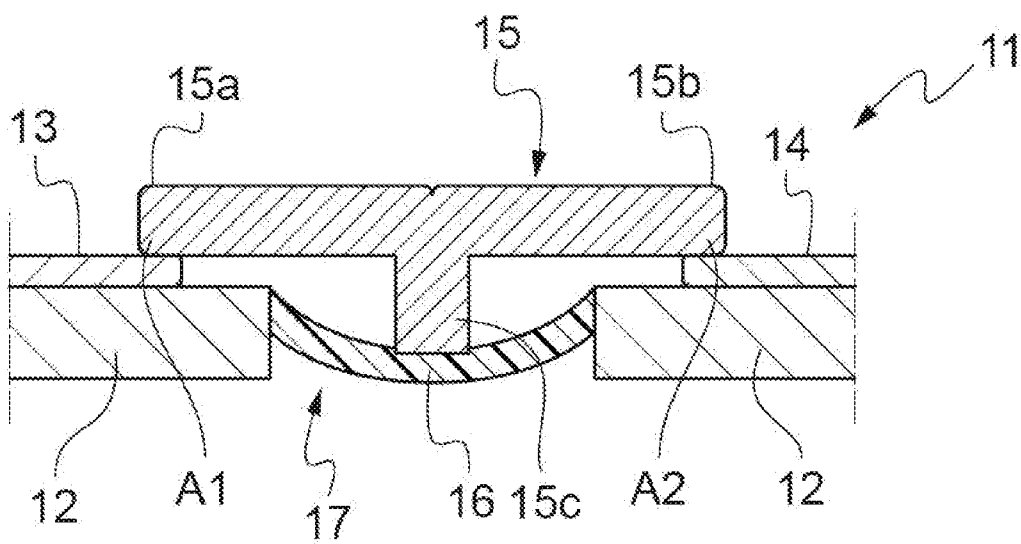


Fig.4

[Fig. 5A]

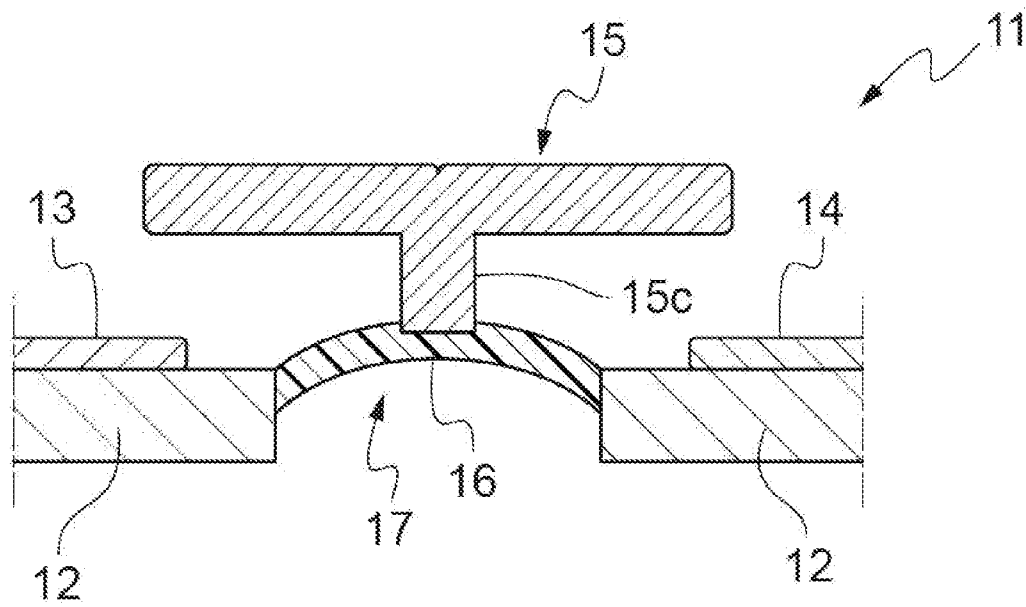


Fig.5A

[Fig. 5B]

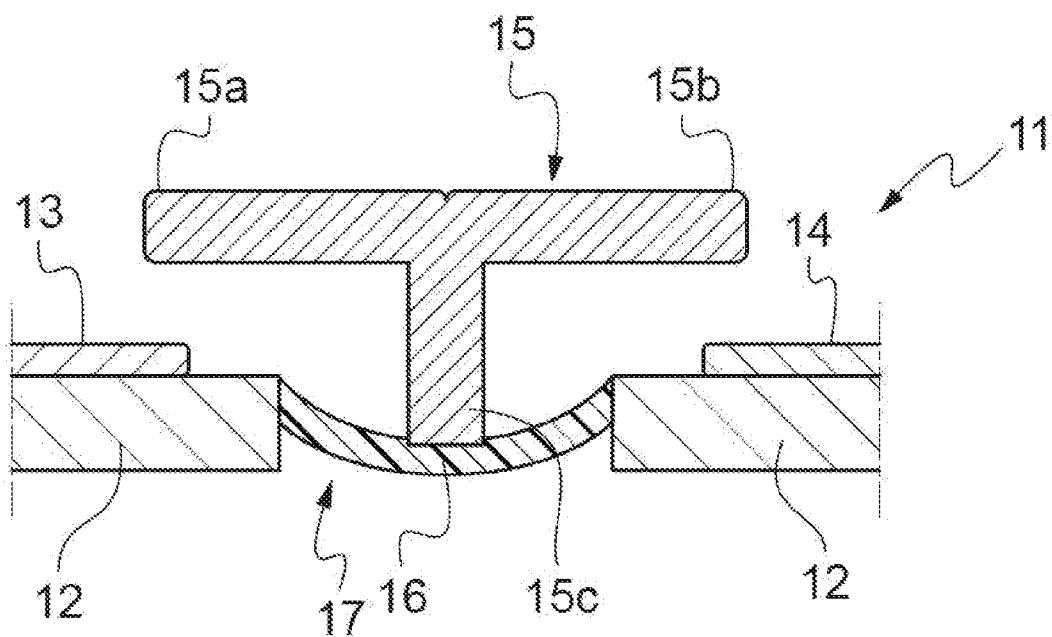


Fig.5B

[Fig. 6]

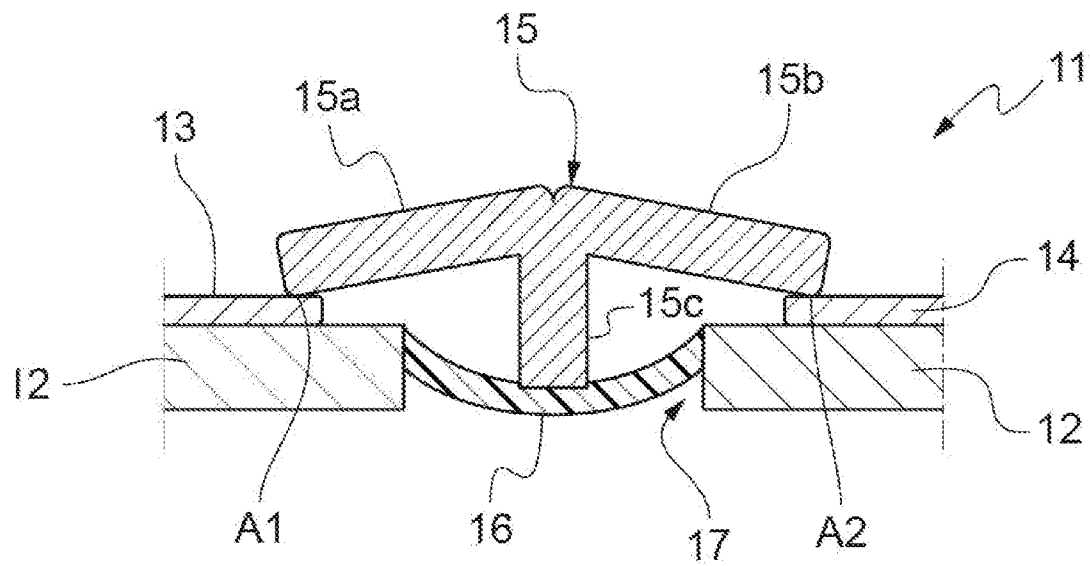


Fig.6

[Fig. 7]

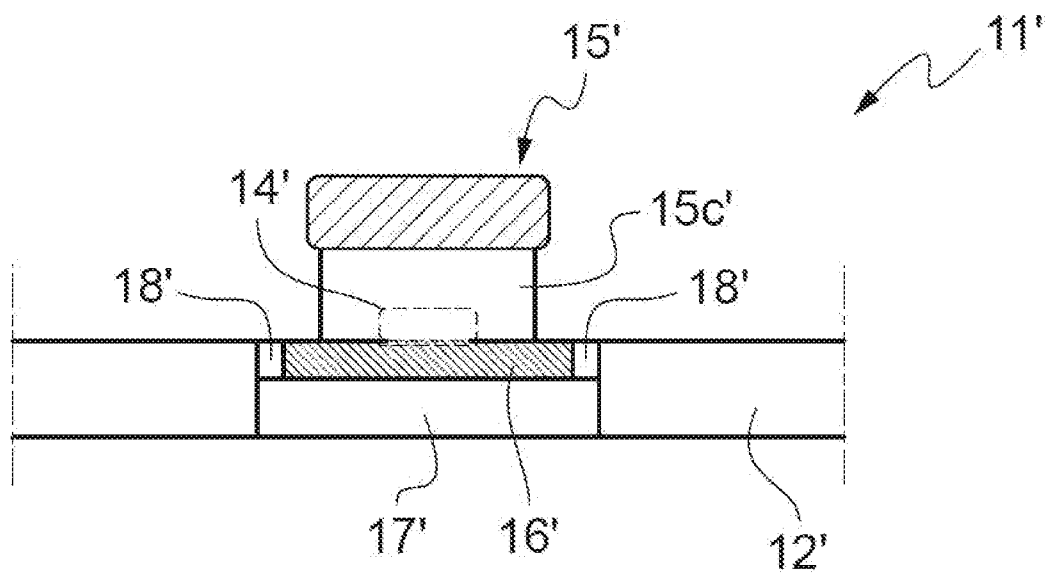


Fig.7

[Fig. 8]

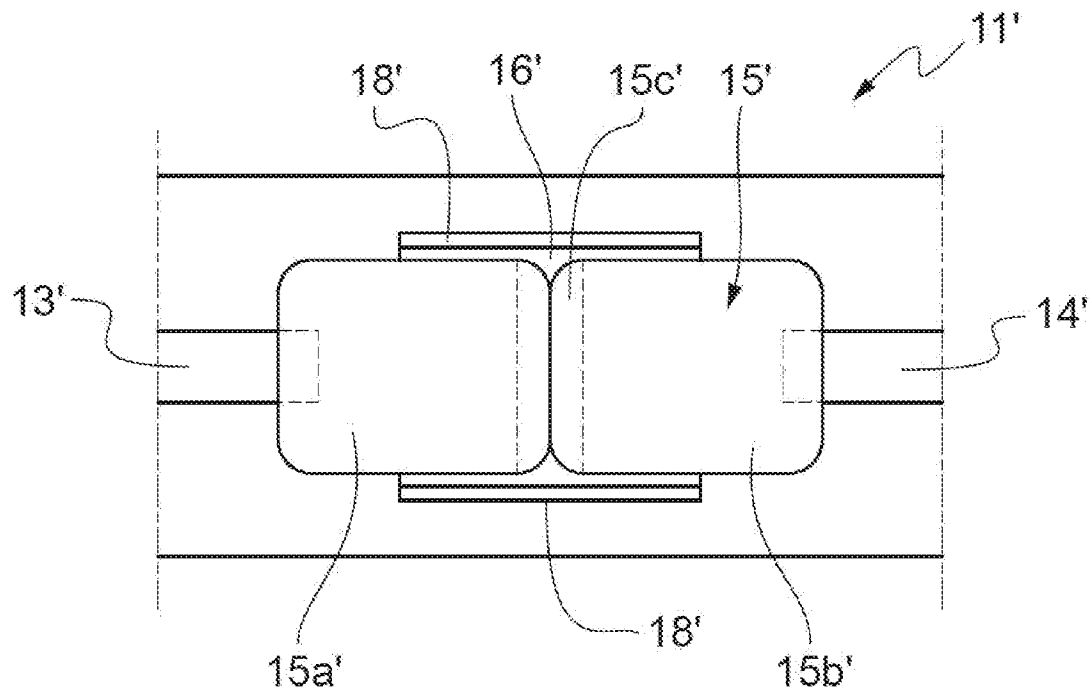


Fig.8

[Fig. 9]

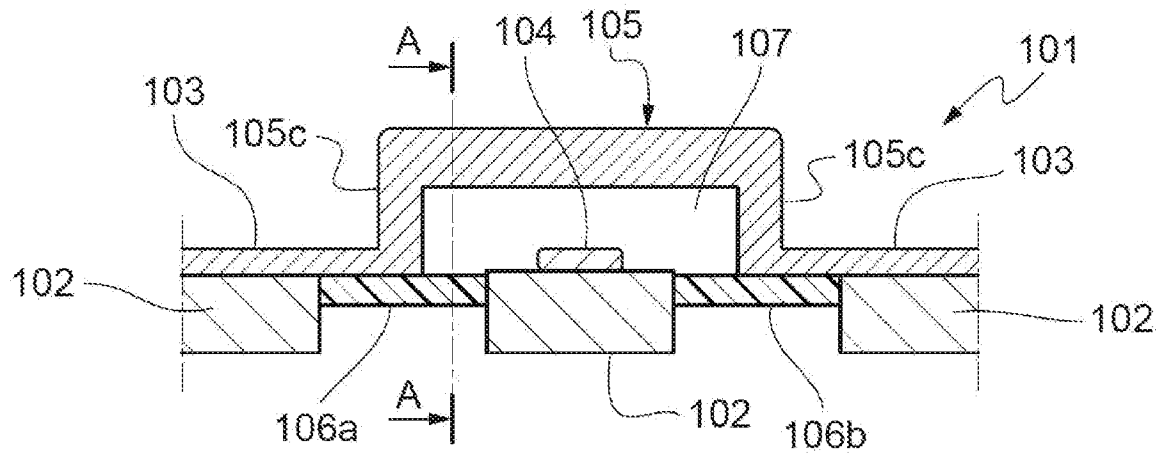


Fig.9

[Fig. 10]

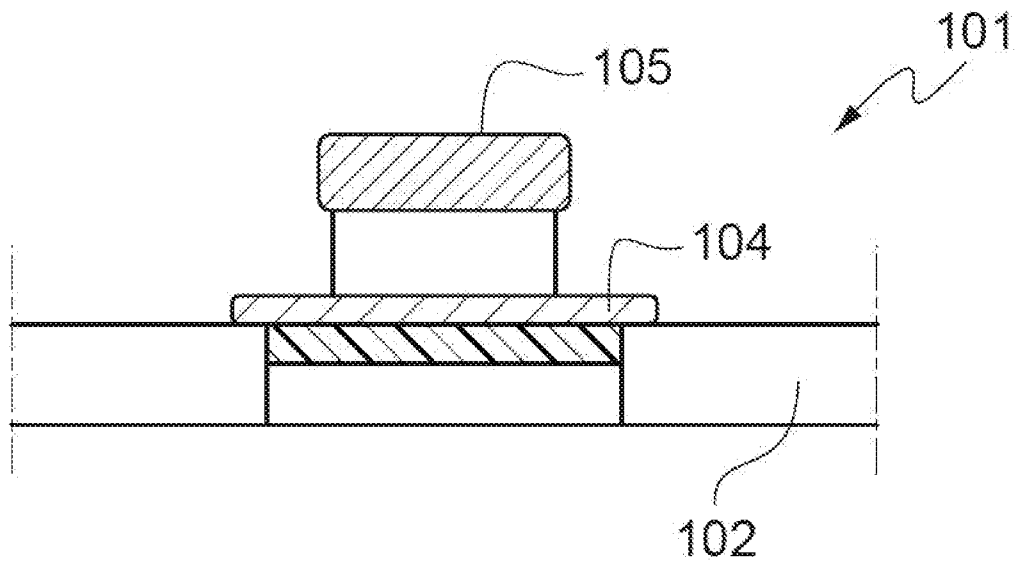


Fig.10

[Fig. 11]

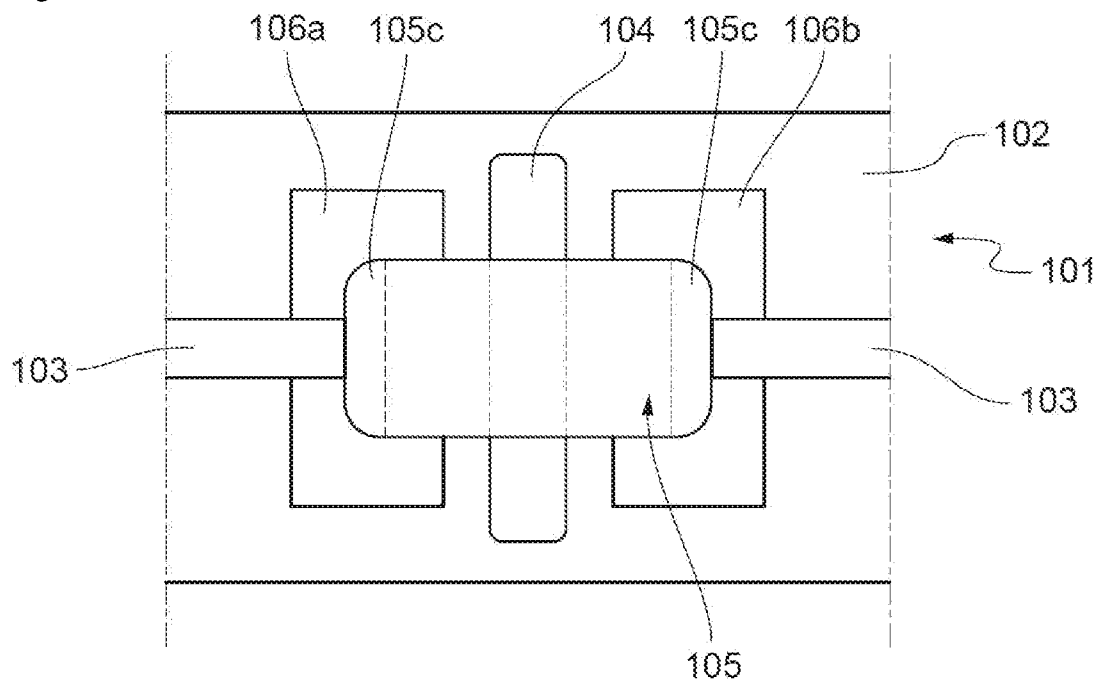


Fig.11

[Fig. 12]

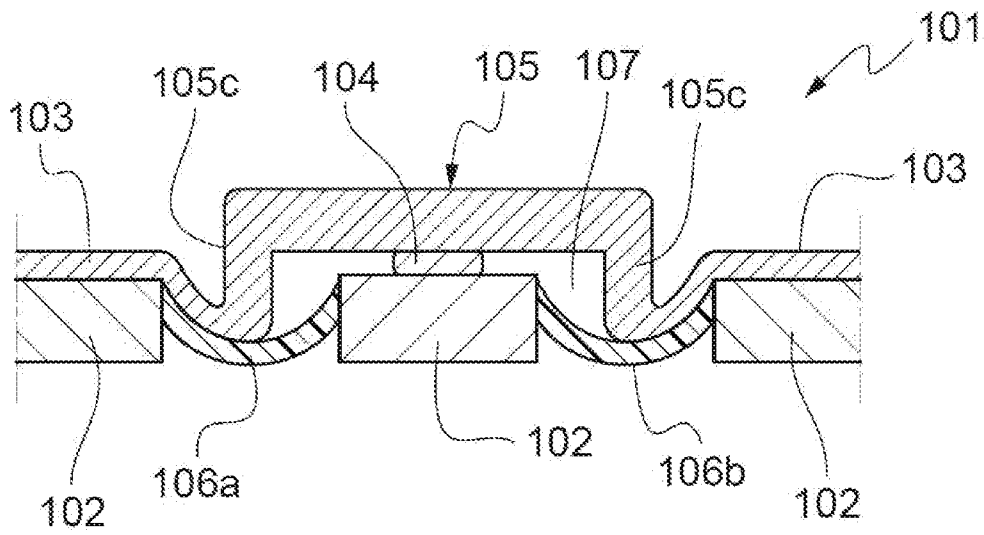


Fig.12

[Fig. 13A]

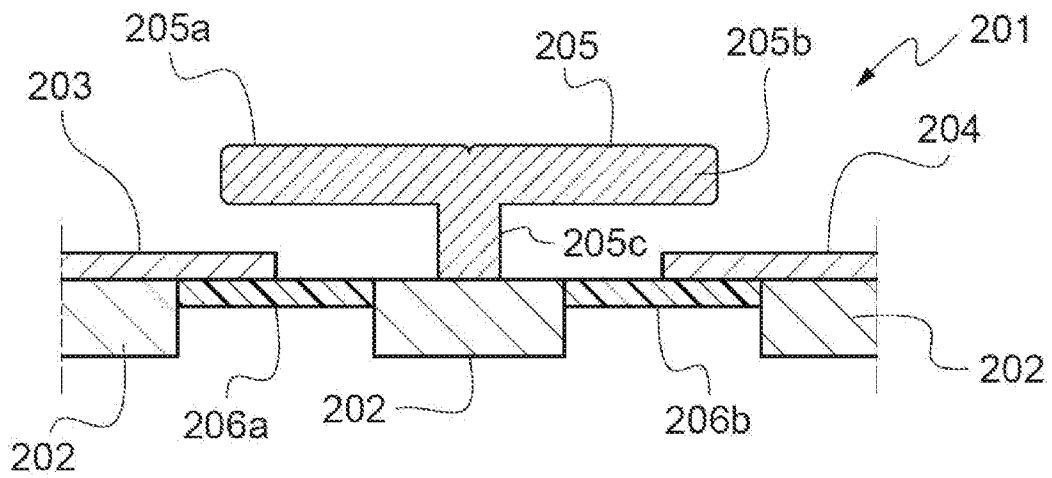


Fig.13A

[Fig. 13B]

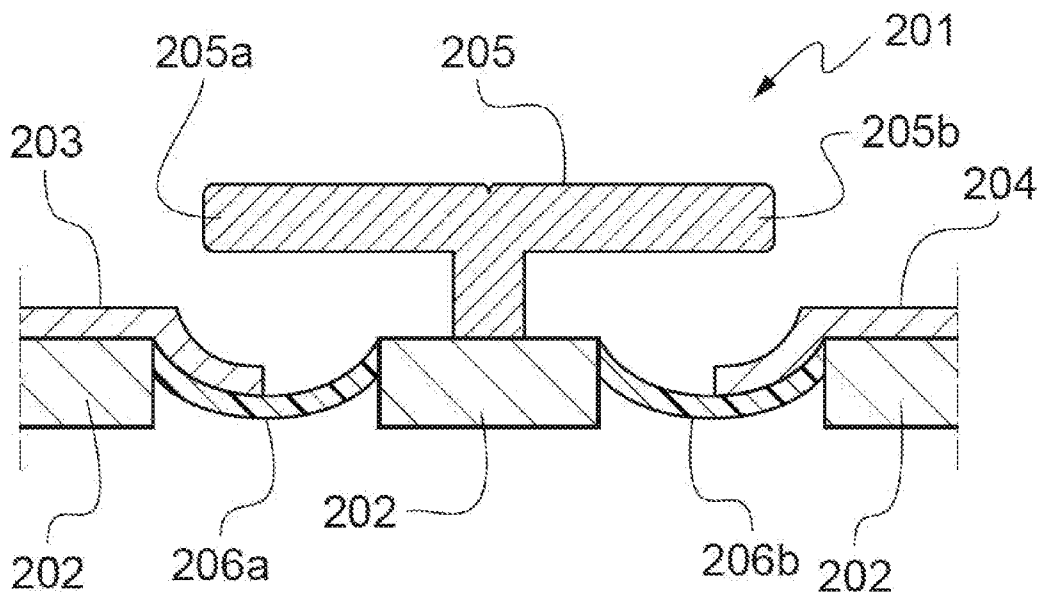


Fig.13B

[Fig. 13C]

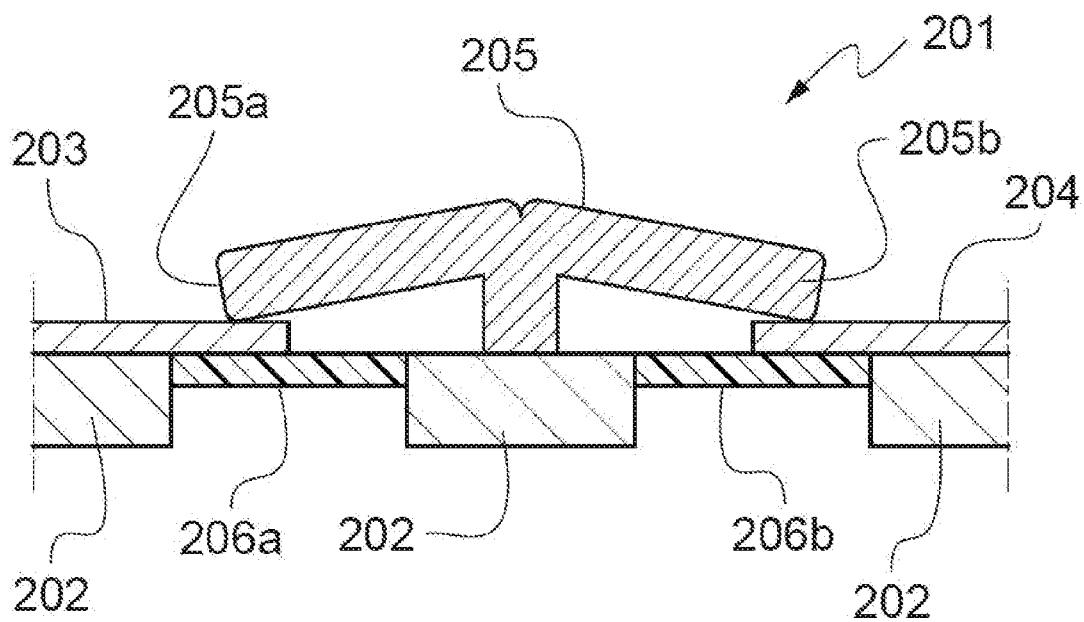


Fig.13C

[Fig. 14A]

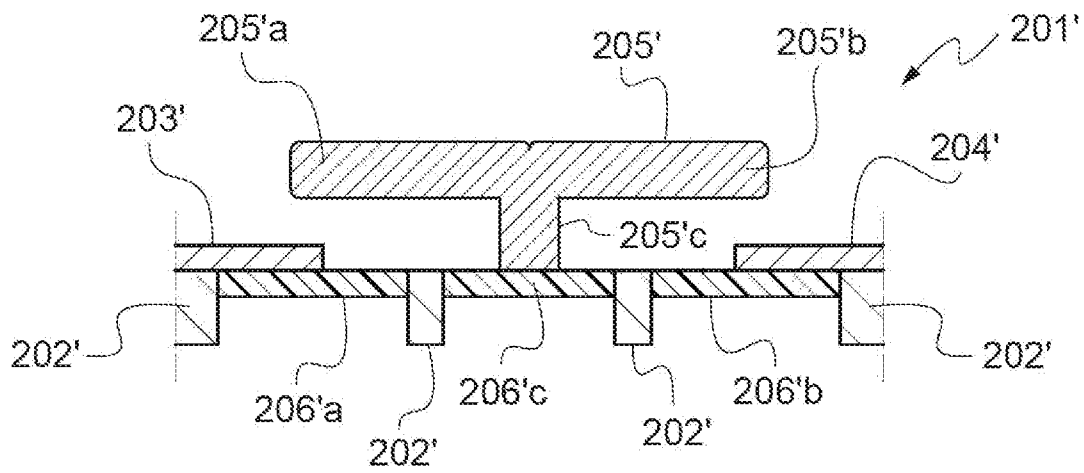


Fig. 14A

[Fig. 14B]

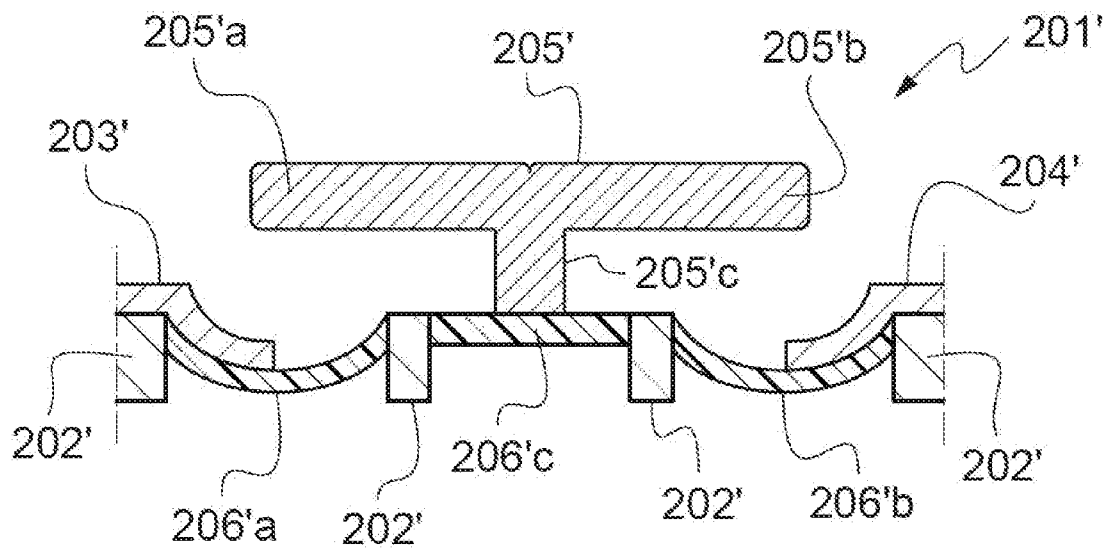


Fig. 14B

[Fig. 14C]

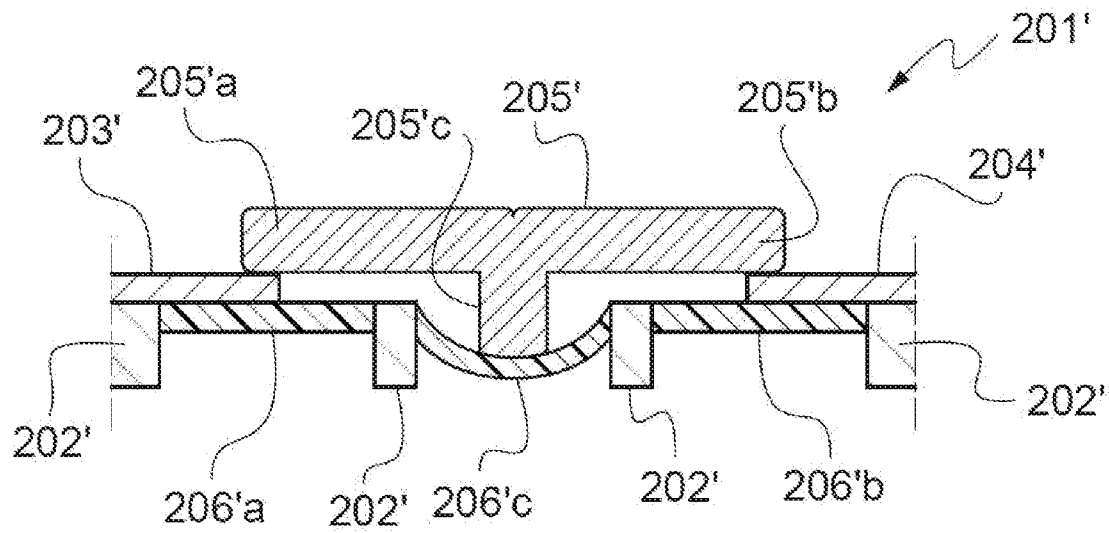


Fig.14C

[Fig. 15]

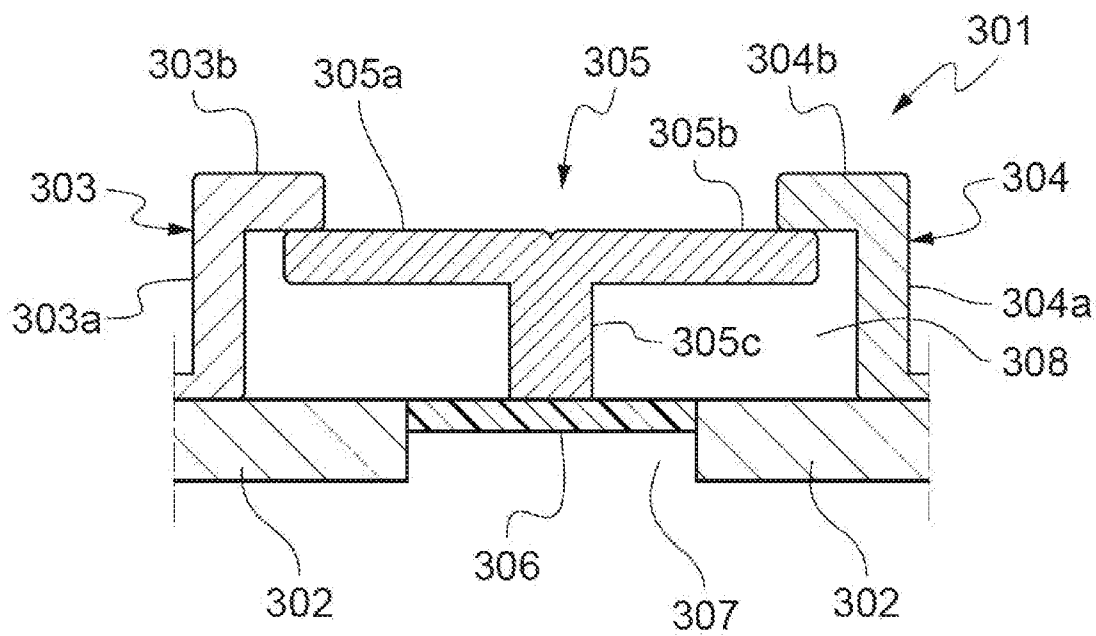


Fig.15

[Fig. 16]

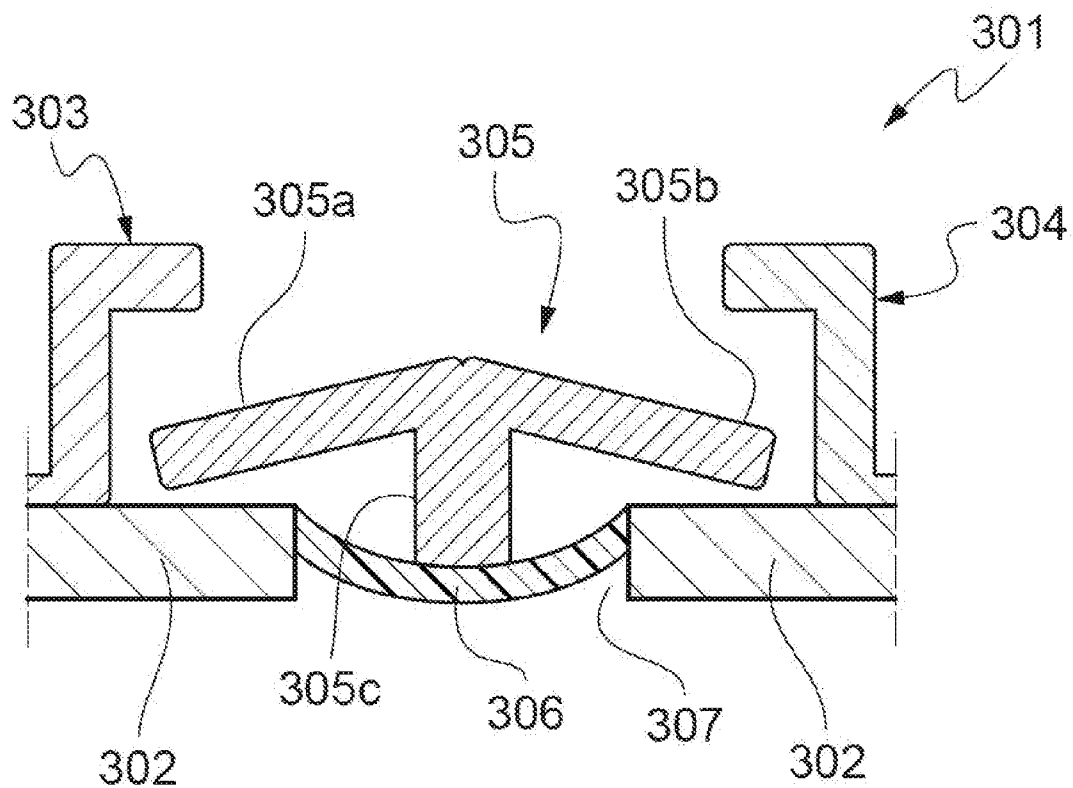


Fig. 16

[Fig. 17]

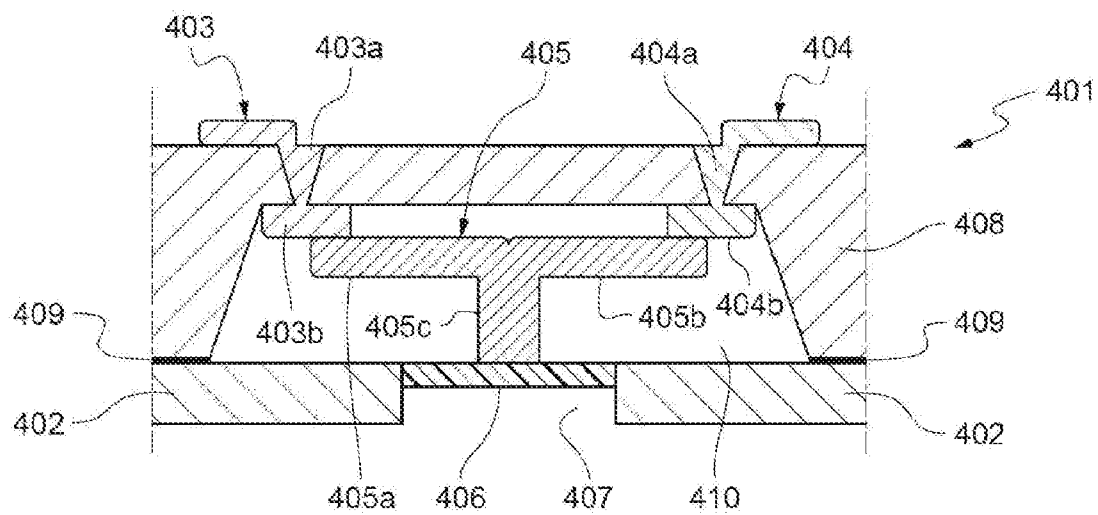


Fig. 17

[Fig. 18]

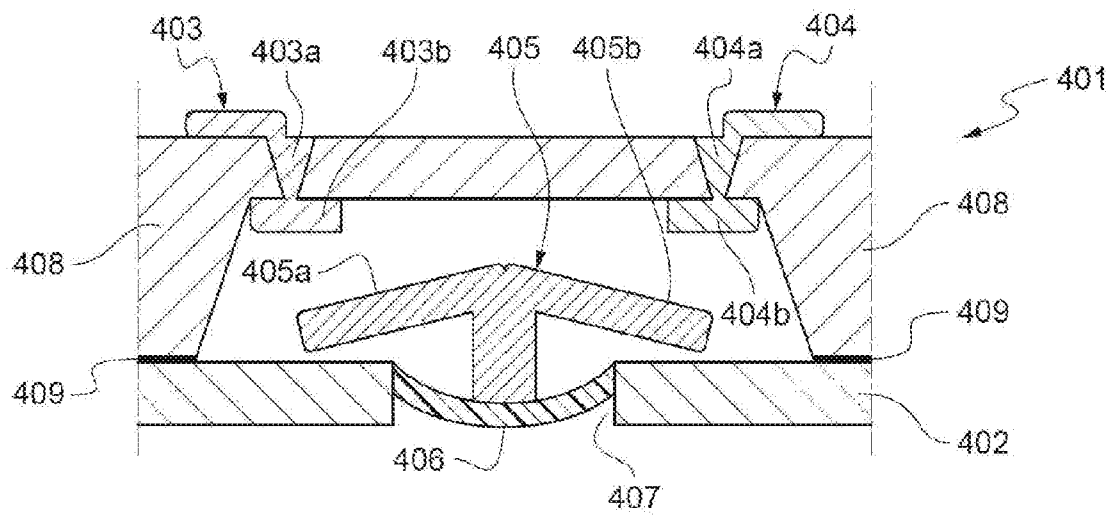


Fig. 18

[Fig. 19]

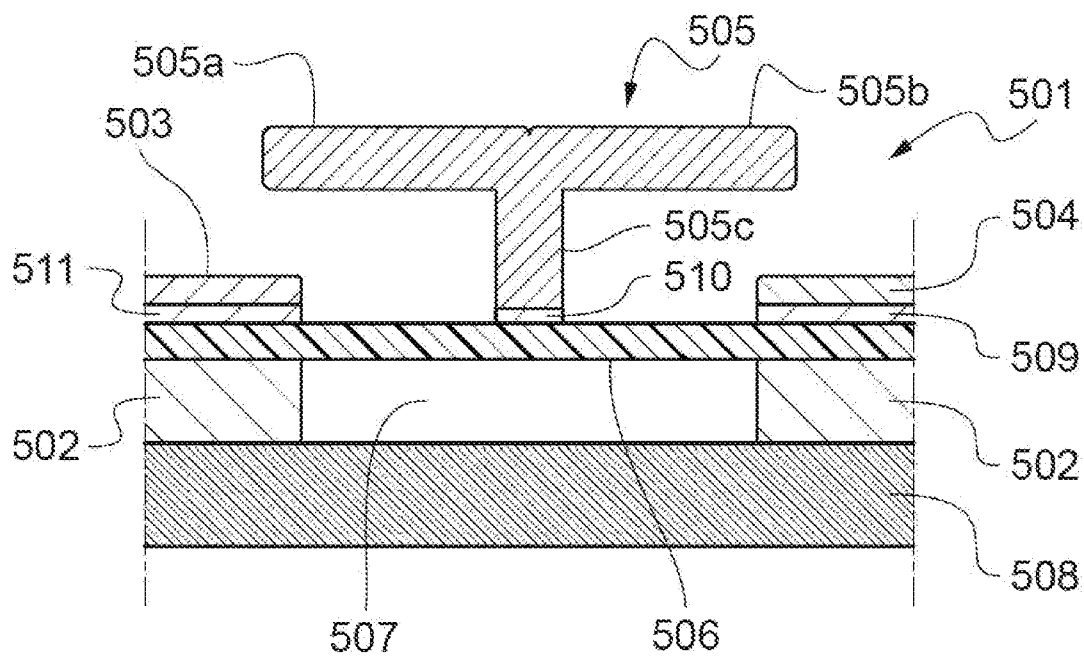


Fig. 19

[Fig. 20]

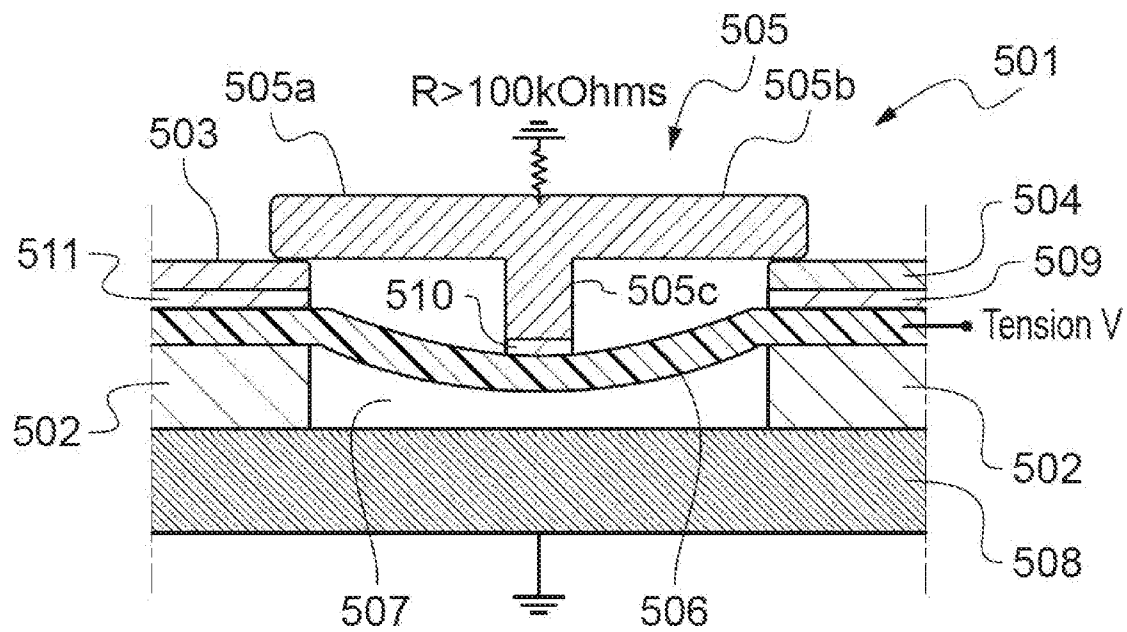


Fig. 20

[Fig. 21]

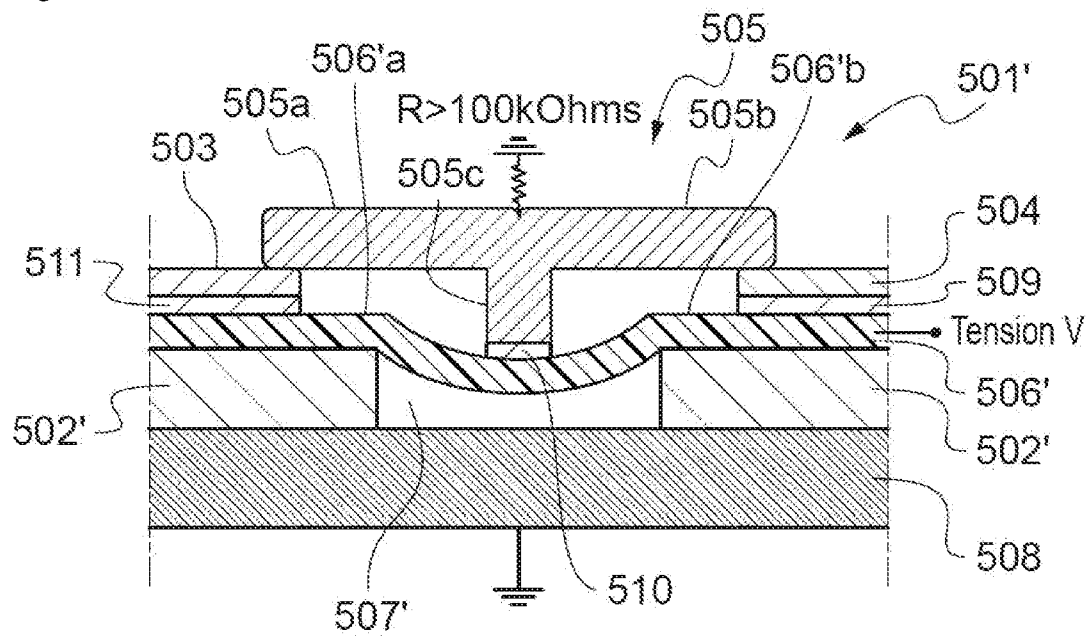


Fig. 21

[Fig. 22]

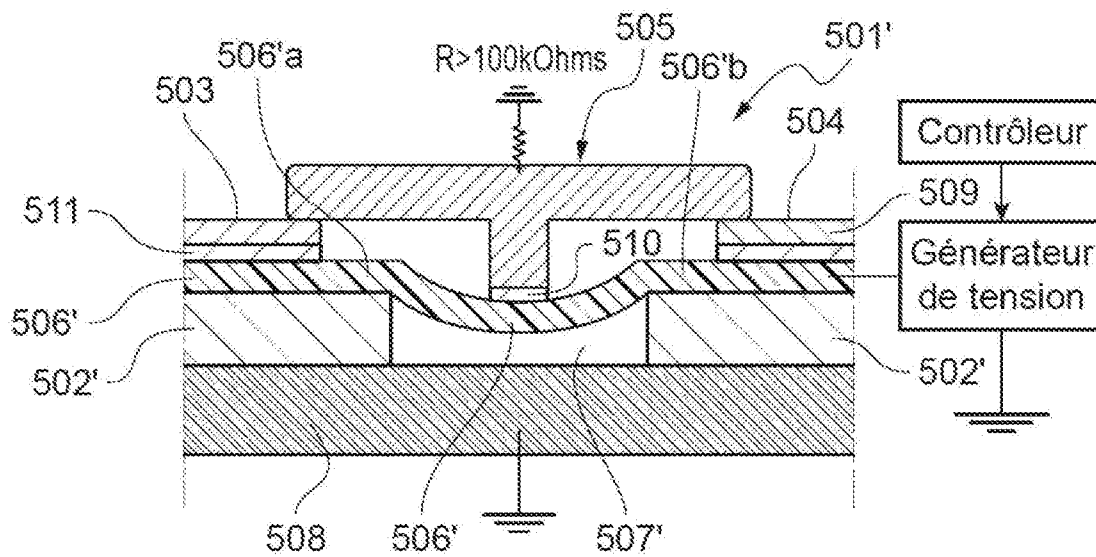


Fig. 22

[Fig. 23]

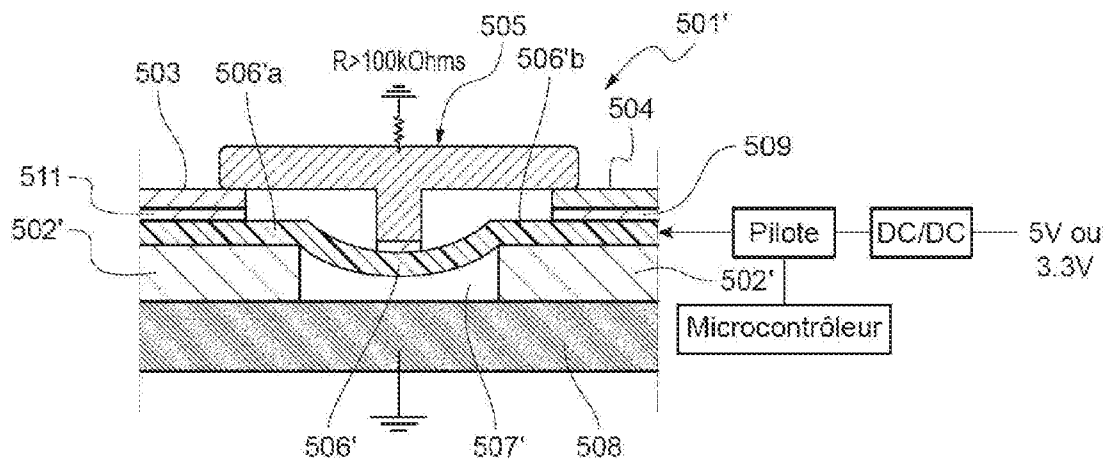


Fig. 23

[Fig. 24A]

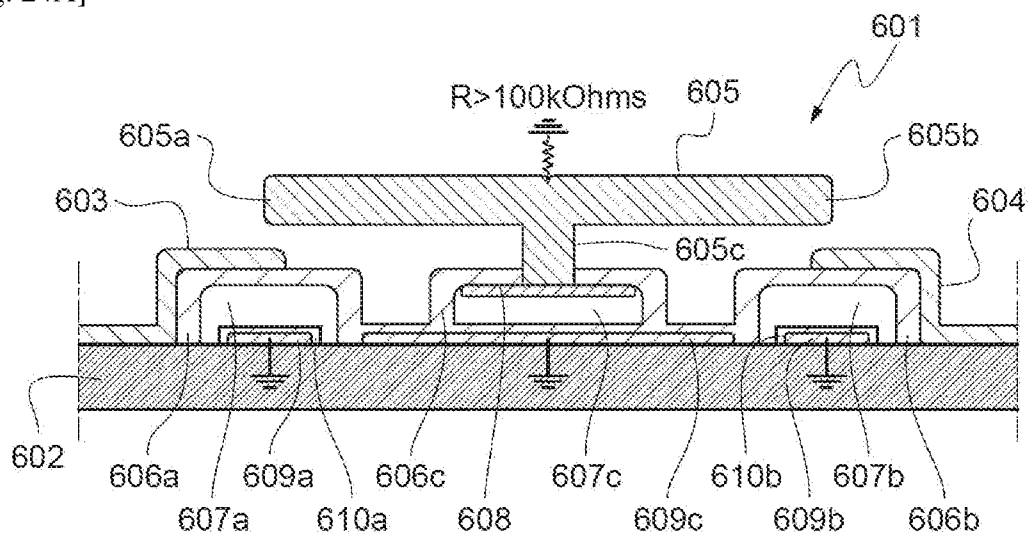


Fig. 24A

[Fig. 24B]

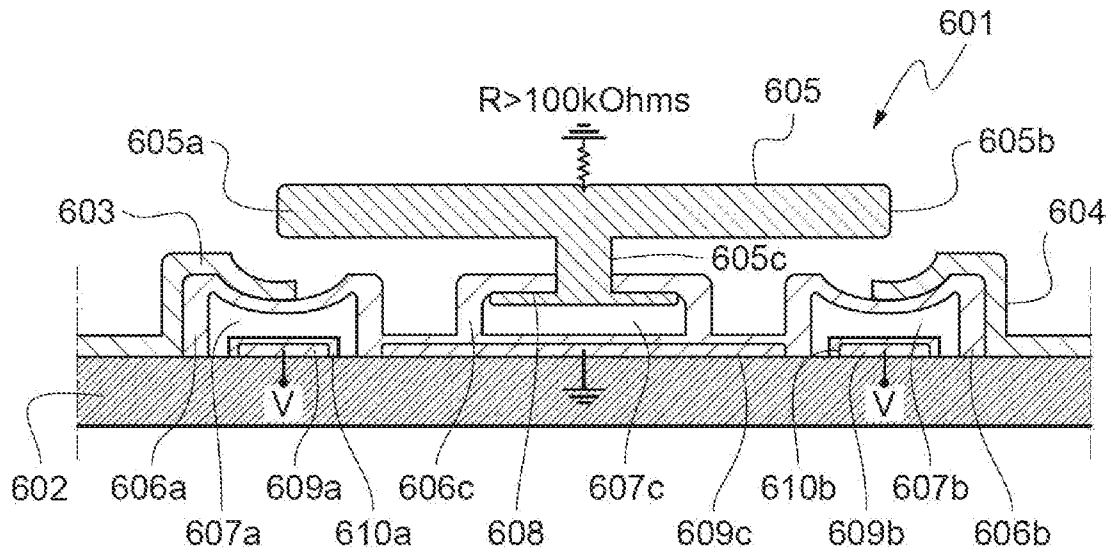


Fig. 24B

[Fig. 24C]

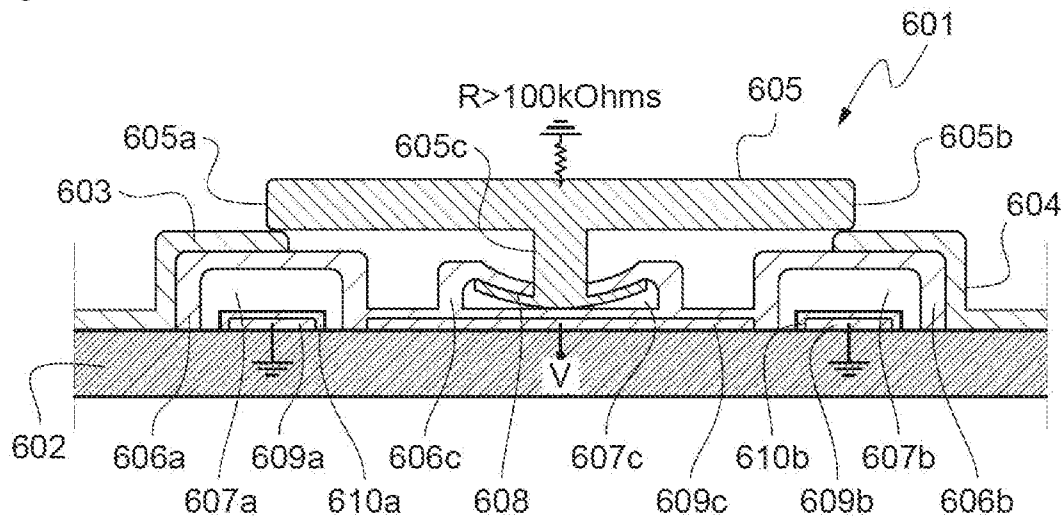


Fig. 24C

[Fig. 25]

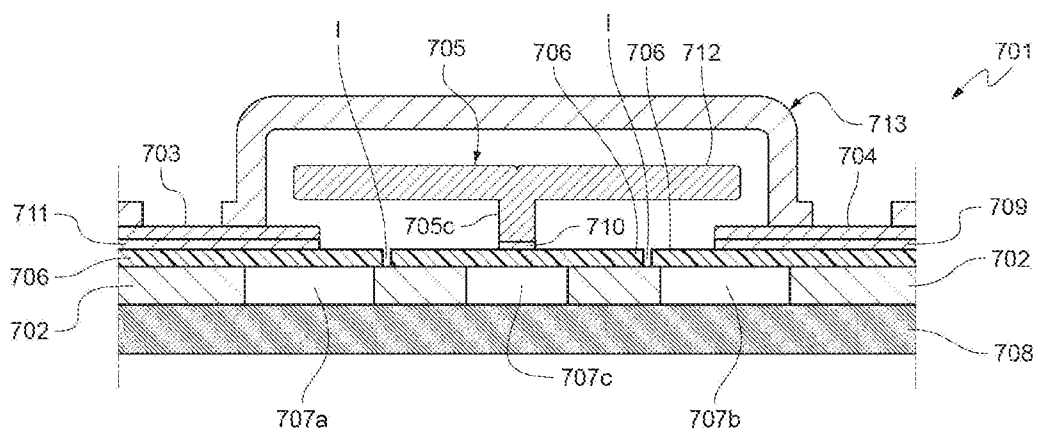


Fig. 25

[Fig. 26]

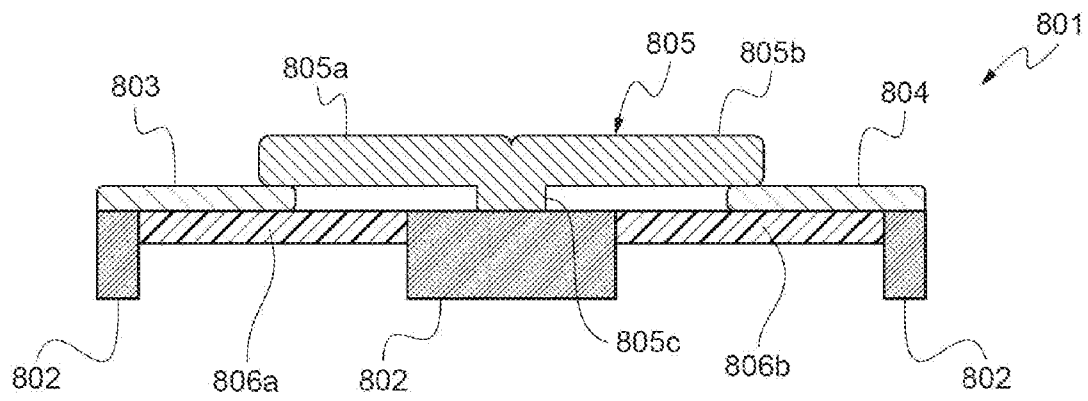


Fig.26

[Fig. 27]

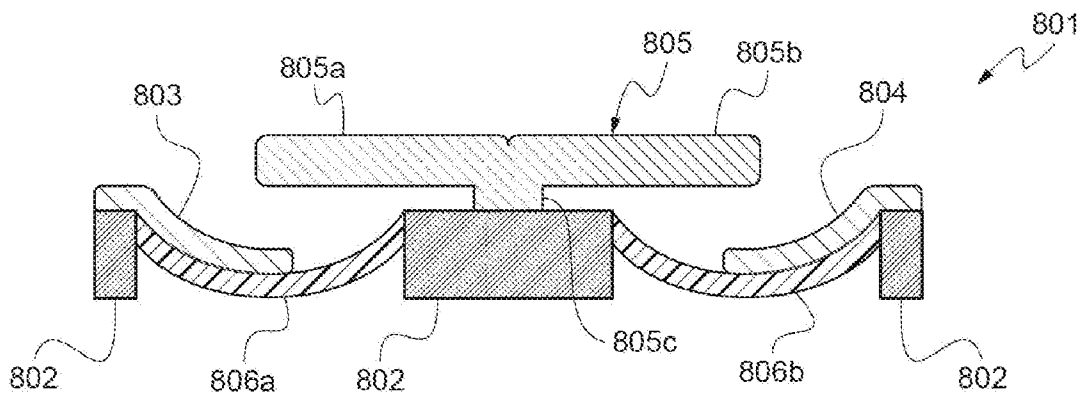


Fig.27

[Fig. 30]

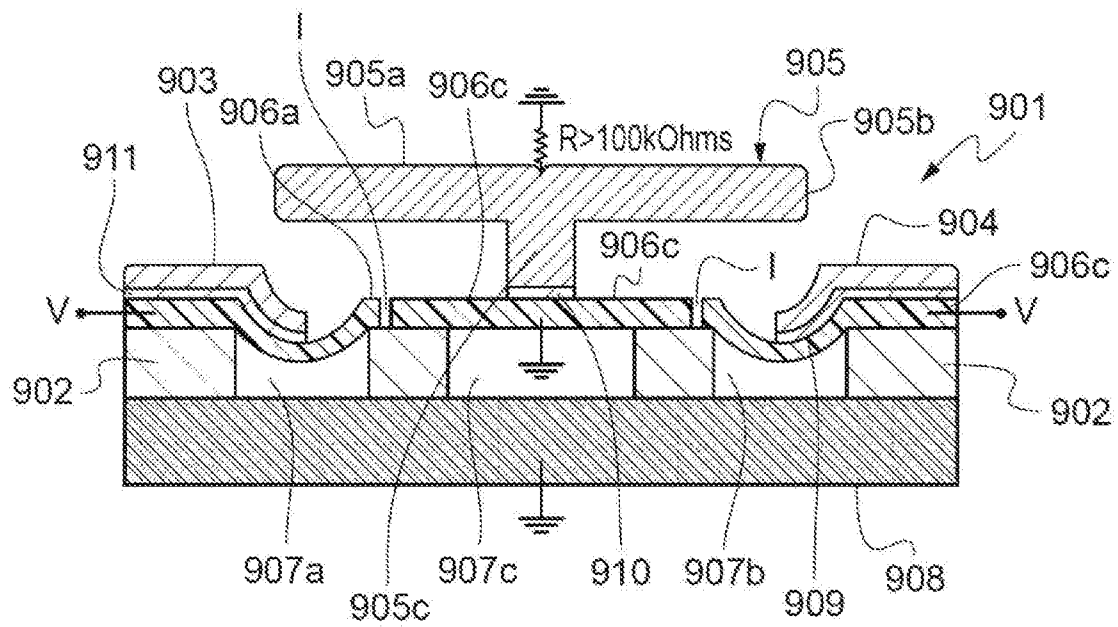


Fig. 30

[Fig. 31]

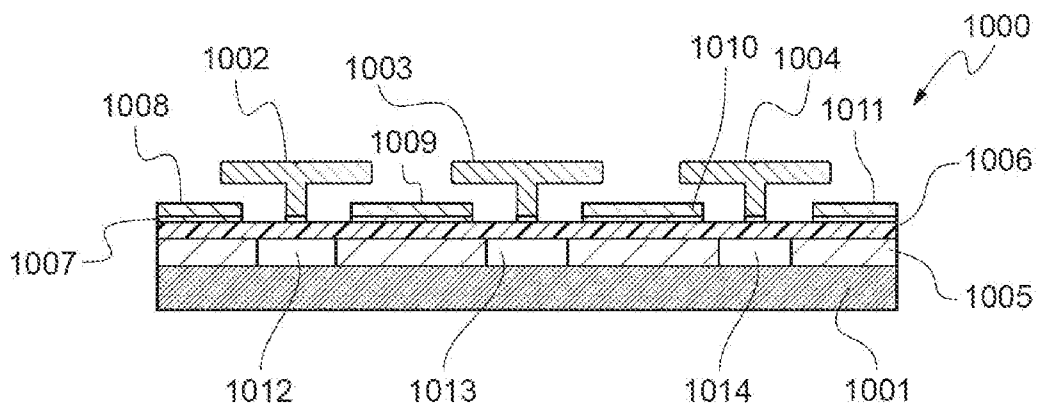


Fig. 31

[Fig. 32]

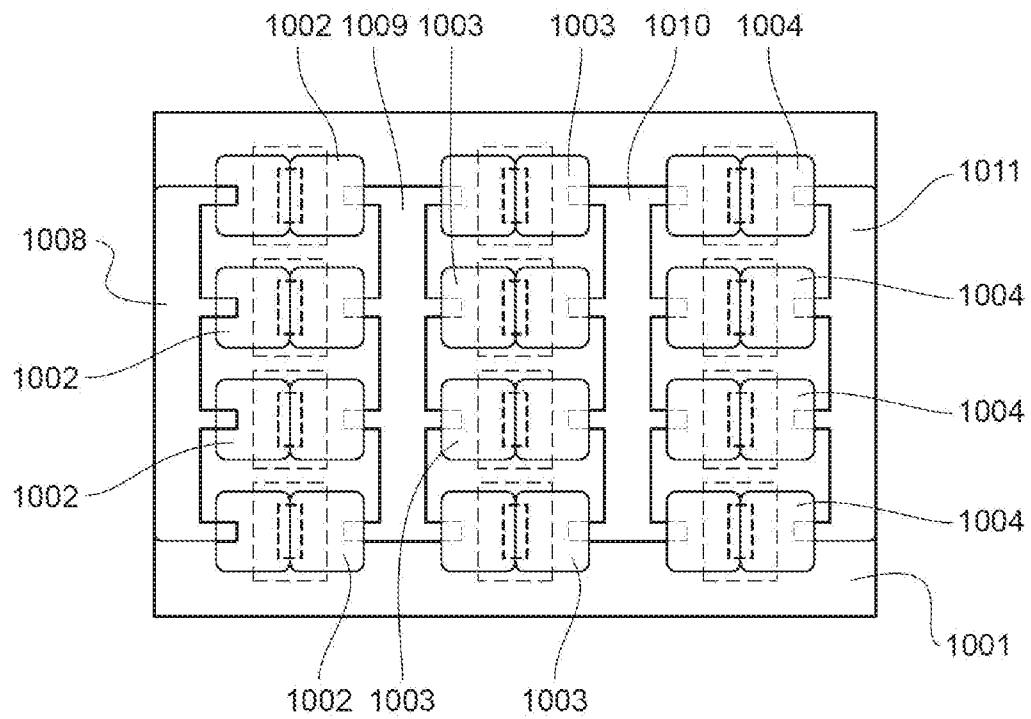


Fig.32

[Fig. 33]

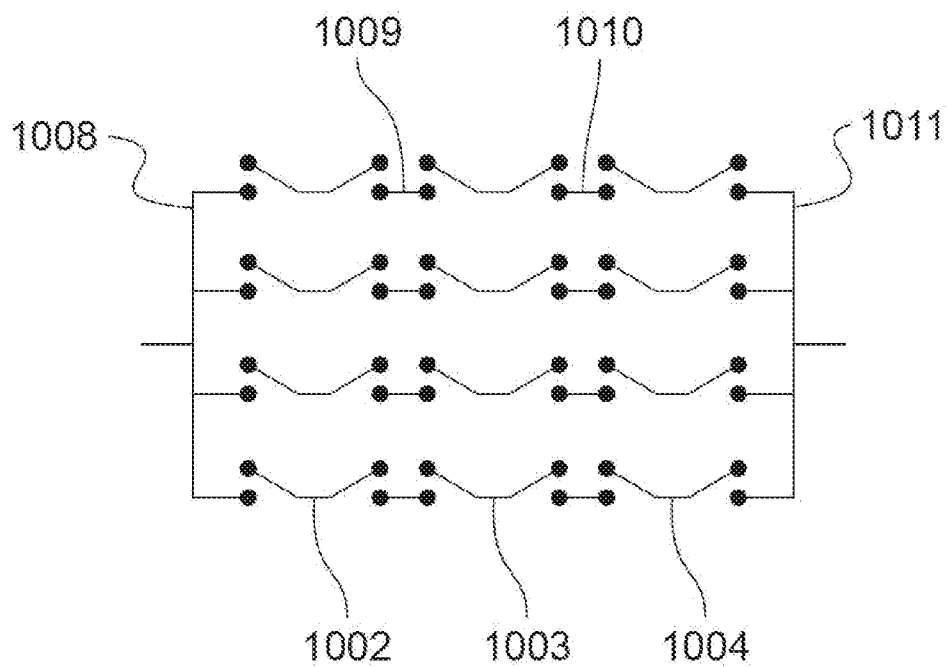


Fig.33

[Fig. 34]

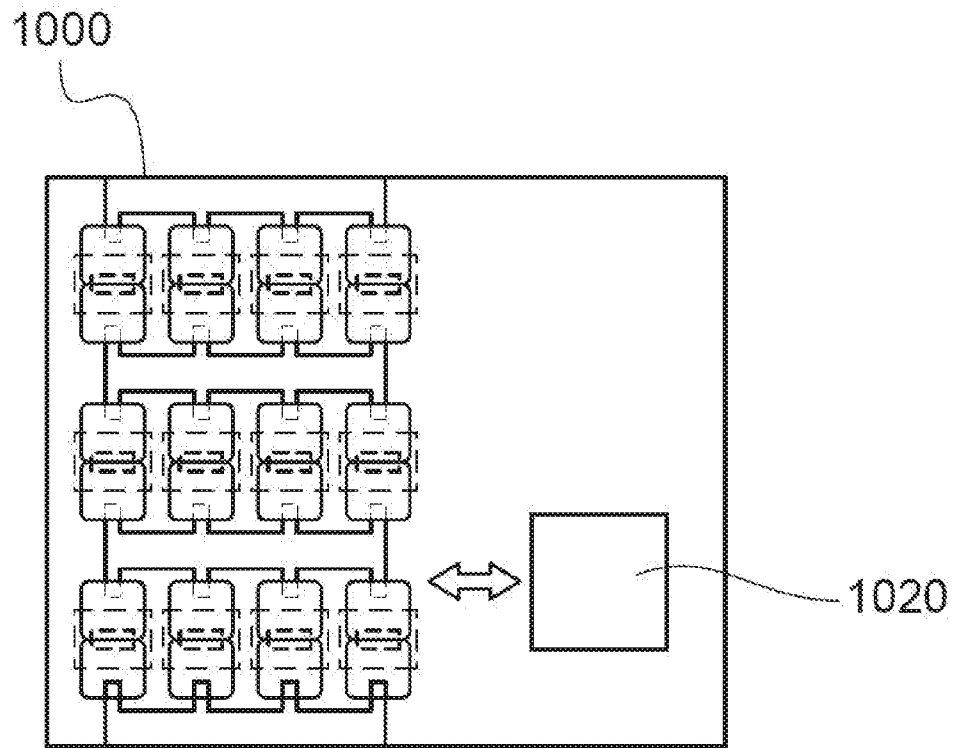


Fig.34

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/IB2023/057909

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>H01H 59/00</i> (2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC														
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01H Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal														
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Category*</th> <th style="width: 70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width: 20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">X</td> <td>EP 2200063 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 23 June 2010 (2010-06-23) paragraphs [0016] - [0026]; figures</td> <td style="text-align: center;">1-16</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td>WO 2006046192 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; STEENEKEN PETER G [DE] ET AL.) 04 May 2006 (2006-05-04) abstract; figure 3</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">A</td> <td>US 2006131150 A1 (YUBA TAKASHI [JP] ET AL) 22 June 2006 (2006-06-22) paragraphs [0076] - [0079]; figures 17-20</td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	EP 2200063 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 23 June 2010 (2010-06-23) paragraphs [0016] - [0026]; figures	1-16	A	WO 2006046192 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; STEENEKEN PETER G [DE] ET AL.) 04 May 2006 (2006-05-04) abstract; figure 3	1	A	US 2006131150 A1 (YUBA TAKASHI [JP] ET AL) 22 June 2006 (2006-06-22) paragraphs [0076] - [0079]; figures 17-20	1
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.												
X	EP 2200063 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 23 June 2010 (2010-06-23) paragraphs [0016] - [0026]; figures	1-16												
A	WO 2006046192 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; STEENEKEN PETER G [DE] ET AL.) 04 May 2006 (2006-05-04) abstract; figure 3	1												
A	US 2006131150 A1 (YUBA TAKASHI [JP] ET AL) 22 June 2006 (2006-06-22) paragraphs [0076] - [0079]; figures 17-20	1												
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.														
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> * Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family </td> </tr> </table>			* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family										
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family													
Date of the actual completion of the international search 14 November 2023		Date of mailing of the international search report 22 November 2023												
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Findeli, Luc Telephone No.												

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/IB2023/057909

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	2200063	A2	23 June 2010	CA	2688117	A1	22 June 2010
				CN	101866780	A	20 October 2010
				EP	2200063	A2	23 June 2010
				JP	5588663	B2	10 September 2014
				JP	2010147022	A	01 July 2010
				KR	20100074020	A	01 July 2010
				US	2010155203	A1	24 June 2010
WO	2006046192	A1	04 May 2006	AT	E536623	T1	15 December 2011
				CN	101048840	A	03 October 2007
				EP	1807856	A1	18 July 2007
				JP	5259188	B2	07 August 2013
				JP	2008517784	A	29 May 2008
				US	2008135385	A1	12 June 2008
				WO	2006046192	A1	04 May 2006
US	2006131150	A1	22 June 2006	JP	2006179252	A	06 July 2006
				US	2006131150	A1	22 June 2006

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/IB2023/057909

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. H01H59/00

ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

H01H

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	EP 2 200 063 A2 (GEN ELECTRIC [US]) 23 juin 2010 (2010-06-23) alinéas [0016] - [0026]; figures -----	1-16
A	WO 2006/046192 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV [NL]; STEENEKEN PETER G [DE] ET AL.) 4 mai 2006 (2006-05-04) abrégé; figure 3 -----	1
A	US 2006/131150 A1 (YUBA TAKASHI [JP] ET AL) 22 juin 2006 (2006-06-22) alinéas [0076] - [0079]; figures 17-20 -----	1

☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

14 novembre 2023

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

22/11/2023

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

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

Fonctionnaire autorisé

Findeli, Luc

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/IB2023/057909

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
EP 2200063	A2	23-06-2010	CA	2688117 A1	22-06-2010
			CN	101866780 A	20-10-2010
			EP	2200063 A2	23-06-2010
			JP	5588663 B2	10-09-2014
			JP	2010147022 A	01-07-2010
			KR	20100074020 A	01-07-2010
			US	2010155203 A1	24-06-2010

WO 2006046192	A1	04-05-2006	AT	E536623 T1	15-12-2011
			CN	101048840 A	03-10-2007
			EP	1807856 A1	18-07-2007
			JP	5259188 B2	07-08-2013
			JP	2008517784 A	29-05-2008
			US	2008135385 A1	12-06-2008
			WO	2006046192 A1	04-05-2006

US 2006131150	A1	22-06-2006	JP	2006179252 A	06-07-2006
			US	2006131150 A1	22-06-2006
