

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

22 Date de dépôt : 02.01.23.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 05.07.24 Bulletin 24/27.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : AIRMEMS Société par actions simpli-
fiée — FR, UNIVERSITE DE LIMOGES Etablissement
public national à caractère scientifique culturel et pro-
fessionnel — FR et CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) Etablissement
public national à caractère administratif — FR.

72 Inventeur(s) : STEFANINI Romain et BLONDY
Pierre.

73 Titulaire(s) : AIRMEMS Société par actions simplifiée, UNI-
VERSITE DE LIMOGES Etablissement public national à carac-
tère scientifique culturel et professionnel, CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) Etablissement
public national à caractère administratif.

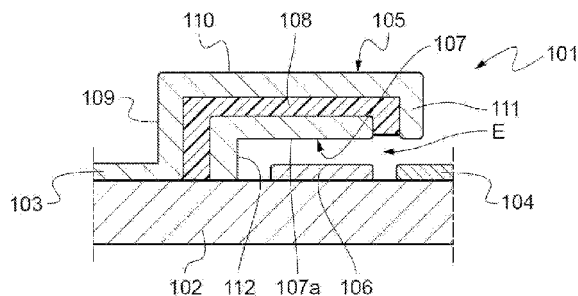
74 Mandataire(s) : Cabinet Chaillot.

54 Commutateur MEMS à écran de tension et matrice de commutateurs MEMS à écran de tension.

57 Commutateur MEMS à écran de tension et matrice de
commutateurs MEMS à écran de tension

La présente invention a pour objet un commutateur
MEMS (101) comprenant un substrat (102) sur lequel sont
formées une ligne d'entrée (103), une ligne de sortie (104),
au moins une zone de contact, une membrane conductrice
(105) et une électrode d'activation (206) située sous la
membrane (105), une couche diélectrique (108) et une
couche d'espacement (E) étant formées entre la membrane
(105) et la surface supérieure du substrat (102), un écran
métallique (107) étant formé à l'interface entre la couche
diélectrique (108) et la couche d'espacement (E) et recou-
vrant tout ou partie de l'interface entre les deux couches.

Figure à publier avec l'abrégié : Figure 2



Description

Titre de l'invention : Commutateur MEMS à écran de tension et matrice de commutateurs MEMS à écran de tension

- [0001] La présente invention concerne le domaine des systèmes microélectromécaniques, désignés par l'acronyme MEMS (acronyme de l'anglais MicroElectroMechanical System), et porte plus particulièrement sur un commutateur MEMS ayant un écran de tension et sur une matrice de tels commutateurs MEMS à écran de tension.
- [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 déformable (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] Une structure actuelle de commutateur MEMS est représentée en [Fig.1].
- [0015] Le commutateur MEMS 1 est formé sur un substrat 2, et comprend une ligne d'entrée 3, une ligne de sortie 4, une membrane conductrice déformable 5 reliée à la ligne d'entrée 3, et une électrode d'activation 6 servant à activer la membrane conductrice déformable 5. Il est à noter que le courant peut circuler dans l'autre sens, c'est-à-dire de la ligne 4 vers la ligne 3, sans modifier la présente invention, la ligne d'entrée devenant la ligne de sortie et inversement.
- [0016] Lorsque l'électrode d'activation 6 est à la masse, la membrane conductrice déformable 5 n'est pas déformée et le commutateur MEMS 1 est ouvert.
- [0017] Lorsqu'une tension est appliquée sur l'électrode d'activation 6, la membrane conductrice déformable 5 est attirée vers l'électrode d'activation 6 par un phénomène électrostatique, ce qui amène l'extrémité de la membrane conductrice déformable 5 à toucher la ligne de sortie 4 pour fermer le commutateur MEMS 1.
- [0018] Lorsqu'une tension alternative est appliquée sur la ligne d'entrée et que cette tension dépasse une certaine valeur crête à crête, notamment une valeur crête à crête de 640 V, une forte différence de potentiel peut être créée entre la membrane conductrice déformable 5 et l'électrode d'activation 6 lorsque cette dernière est à la masse, ce qui peut provoquer une autoactivation du commutateur MEMS 1 non souhaitée, voire un claquage du commutateur MEMS 1 pouvant entraîner sa destruction.
- [0019] Il existe donc un besoin pour un commutateur MEMS pouvant supporter de fortes tensions crête à crête alternatives en entrée sans risque de claquage et/ou de destruction de la membrane conductrice déformable.
- [0020] La présente invention vise à répondre à ce besoin et porte sur un commutateur MEMS comprenant un substrat sur lequel sont formées :
- [0021] - une ligne d'entrée configurée pour recevoir une tension d'entrée,

- [0022] - une ligne de sortie,
- [0023] - au moins une zone de contact, chaque zone de contact étant électriquement connectée à la ligne d'entrée ou à la ligne de sortie,
- [0024] - une membrane conductrice suspendue parallèlement au substrat par au moins un ancrage et surplombant chaque zone de contact, la membrane étant constituée au moins en partie par un conducteur de membrane et étant configurée pour se déplacer entre deux positions :
- [0025] - une position ouverte du commutateur, dans laquelle la ligne d'entrée est isolée électriquement de la ligne de sortie,
- [0026] - une position fermée du commutateur, dans laquelle la membrane crée une continuité électrique entre la ligne d'entrée et la ligne de sortie par contact du conducteur de membrane avec chaque zone de contact et,
- [0027] - une électrode d'activation située sous la membrane et permettant le mouvement de la membrane de la position ouverte à la position fermée du commutateur,
- [0028] caractérisé par le fait qu'une couche diélectrique et une couche d'espacement sont formées entre la membrane et la surface supérieure du substrat, un écran métallique étant formé à l'interface entre la couche diélectrique et la couche d'espacement et recouvrant tout ou partie de l'interface entre les deux couches,
- [0029] l'écran métallique étant relié, dans la position ouverte du commutateur,
- [0030] - au potentiel électrique de l'électrode d'activation lorsque le diélectrique est entre le conducteur de membrane et l'écran métallique,
- [0031] - et au potentiel électrique du conducteur de membrane lorsque le diélectrique est entre l'écran métallique et l'électrode d'activation,
- [0032] de manière à annuler le champ électrique que provoque le signal d'entrée dans la couche d'espacement en regard de l'écran métallique lorsque le commutateur est en position ouverte.
- [0033] L'écran métallique permet ainsi d'annuler le champ électrique dans l'espacement dans l'état ouvert du commutateur MEMS, l'absence de champ électrique empêchant toute autoactivation ou tout claquage du commutateur, tout en préservant les caractéristiques d'activation du commutateur MEMS pour obtenir son état fermé.
- [0034] Avantageusement, la couche diélectrique sera dimensionnée pour tenir la tension maximale crête à crête qui peut être mise en entrée du commutateur MEMS.
- [0035] Selon un mode de réalisation, l'écran métallique est disposé sur la surface inférieure de la membrane, et séparé du conducteur de membrane par le diélectrique configuré pour supporter la différence de potentiel entre le conducteur de membrane et l'écran métallique.
- [0036] Selon un mode de réalisation, l'électrode d'activation est formée à la surface du substrat, dans la couche d'espacement pour une activation électrostatique de la

membrane.

- [0037] Dans ce mode de réalisation, l'écran métallique recouvre de préférence l'intégralité de l'électrode d'activation.
- [0038] Selon un mode de réalisation, le substrat est de type silicium sur isolant, l'au moins un ancrage de la membrane de contact étant formé en surface du silicium sur isolant et isolé de la partie de la couche de silicium sur isolant par un diélectrique, la partie de la couche de silicium sur isolant située sous la membrane constituant l'électrode d'activation de la membrane. Le diélectrique est configuré pour supporter la différence de potentiel entre la membrane et l'écran métallique.
- [0039] Selon un mode de réalisation, une cavité est formée dans la couche isolante du silicium sur isolant, sous l'au moins un ancrage de la membrane de contact.
- [0040] La cavité formée permet une activation du commutateur MEMS par déformation de la couche de silicium sur isolant formée au-dessus de la cavité lorsqu'une tension est appliquée sur le substrat.
- [0041] Selon un mode de réalisation, le substrat est de type silicium sur isolant avec une cavité formée dans la couche isolante, le diélectrique séparant l'écran métallique du substrat, l'écran métallique étant électriquement connecté avec le conducteur de membrane par l'intermédiaire de l'ancrage, la couche de silicium sous l'au moins un ancrage fermant la cavité constituant l'électrode d'activation de la membrane, le diélectrique étant configuré pour supporter la différence de potentiel entre l'électrode d'activation et l'écran métallique.
- [0042] Selon un mode de réalisation, une résistance de valeur R est disposée entre le conducteur de membrane et la zone de contact du substrat, R étant supérieure ou égale à 100 kOhms.
- [0043] La résistance permet une meilleure répartition de la tension, notamment lorsque le commutateur MEMS a une membrane contact en forme de T, avec une branche du T configurée pour entrer en contact avec une zone de contact d'entrée sur la ligne d'entrée et l'autre branche du T configurée pour entrer en contact avec une zone de contact de sortie sur la ligne de sortie, formant deux espacements de part et d'autre de l'ancrage du commutateur MEMS formé par le fût du T.
- [0044] Une résistance de valeur R connectée entre la ligne d'entrée et la branche correspondante du T (en parallèle de la zone de contact d'entrée) et une résistance de valeur R connectée entre la ligne de sortie et la branche correspondante du T (en parallèle de la zone de contact de sortie) permet que la tension soit uniformément répartie entre les deux espacements.
- [0045] Selon un mode de réalisation, les résistances sont formées par une couche mince résistive formée en surface du substrat sous la membrane MEMS.
- [0046] Il est ainsi possible de réaliser un agencement de plusieurs commutateurs MEMS en

série intégrant les résistances pour permettre une tenue en tension et mettre ces composants branchés série en parallèles pour réduire la résistance à l'état fermé et faire passer plus de courant à l'état fermé.

- [0047] L'invention a également pour objet une matrice de commutateurs MEMS comprenant plusieurs commutateurs MEMS tels que décrits ci-dessus, agencés en série et/ou parallèle.
- [0048] L'invention a également pour objet une matrice de commutateurs MEMS comprenant plusieurs commutateurs MEMS tels que décrits ci-dessus, agencés en série et/ou parallèle, caractérisée par le fait qu'une seule résistance R est disposée entre chaque rangée de commutateurs MEMS en parallèle.
- [0049] Plusieurs modes de réalisation de l'invention vont maintenant être décrits, à titre illustratif et non limitatif, en référence aux dessins annexés.
- [0050] Sur ces dessins :
- [0051] [Fig.1] est une vue schématique d'un commutateur MEMS selon l'état de la technique ;
- [0052] [Fig.2] est une vue schématique d'un commutateur MEMS selon un premier mode de réalisation ;
- [0053] [Fig.3] est une vue schématique d'un commutateur MEMS selon un deuxième mode de réalisation ;
- [0054] [Fig.4] est une vue schématique d'un commutateur MEMS selon un troisième mode de réalisation ;
- [0055] [Fig.5] est une vue schématique d'un commutateur MEMS selon un quatrième mode de réalisation ;
- [0056] [Fig.5a] est un schéma électrique simplifié équivalent au commutateur MEMS de la [Fig.5] selon le quatrième mode de réalisation ;
- [0057] [Fig.6] est une vue schématique d'un commutateur MEMS selon une première variante du quatrième mode de réalisation ;
- [0058] [Fig.7] est une vue schématique d'un commutateur MEMS selon un cinquième mode de réalisation ;
- [0059] [Fig.8] est une vue schématique d'un commutateur MEMS selon un sixième mode de réalisation ;
- [0060] [Fig.9] est une vue schématique d'un commutateur MEMS selon une deuxième variante du quatrième mode de réalisation ;
- [0061] [Fig.10] est une vue schématique de dessus d'un commutateur MEMS selon la deuxième variante du quatrième mode de réalisation ;
- [0062] [Fig.11] est une vue schématique d'une matrice de commutateurs MEMS selon l'invention ;
- [0063] [Fig.12A] est une vue schématique de dessus d'une matrice de commutateurs MEMS

selon une première variante de l'invention ;

- [0064] [Fig.12B] est un schéma électrique simplifié équivalent à la matrice de commutateurs MEMS de la [Fig.12A] ; et
- [0065] [Fig.13] est une vue schématique de dessus d'une matrice de commutateurs MEMS selon une deuxième variante de l'invention.
- [0066] La [Fig.1] relative à un commutateur MEMS 1 selon l'état de la technique a été décrite en préambule et ne sera pas décrite plus en détail ici.
- [0067] Dans les modes de réalisation présentés ci-après, la zone de contact de sortie désignera la partie de la ligne de sortie du commutateur MEMS configurée pour entrer en contact avec la membrane conductrice déformable dans l'état fermé du commutateur MEMS et, le cas échéant, la zone de contact d'entrée désignera la partie de la ligne d'entrée du commutateur MEMS configurée pour entrer en contact avec la membrane conductrice déformable dans l'état fermé du commutateur MEMS.
- [0068] Si l'on se réfère maintenant à la [Fig.2], on peut voir que l'on a représenté un commutateur MEMS 101 selon un premier mode de réalisation de l'invention.
- [0069] Le commutateur MEMS 101 est formé sur un substrat 102, et comprend une ligne d'entrée 103, une ligne de sortie 104, toutes deux formées sur la surface supérieure du substrat 102, et une membrane conductrice déformable 105, en porte-à-faux au-dessus du substrat 102 et comprenant une partie horizontale 110 reliée à la ligne d'entrée 103 par l'intermédiaire d'un ancrage 109 vertical, la partie horizontale 110 se prolongeant par une partie verticale 111 orientée vers le substrat 102 à son extrémité opposée à l'ancrage 109. L'extrémité libre de la partie verticale 111 est destinée à entrer en contact avec la ligne de sortie 104 lorsque le commutateur MEMS 101 est activé pour le fermer, comme cela sera décrit en détail ci-après, le commutateur MEMS 101 étant représenté en [Fig.2] en position ouverte.
- [0070] La ligne d'entrée 103, la ligne de sortie 104, l'ancrage 109 et la membrane conductrice déformable 105 sont métalliques dans le mode de réalisation préféré.
- [0071] En regard de la membrane conductrice déformable 105 est formée sur le substrat 102 une électrode d'activation 106, servant à déformer par activation électrostatique la membrane conductrice déformable 105.
- [0072] Entre l'électrode d'activation 106 et la membrane conductrice déformable 105 est formé un écran métallique 107, ayant une partie horizontale 107a et une partie verticale 112 servant d'ancrage à l'écran métallique 107 sur le substrat 102.
- [0073] La partie horizontale 107a de l'écran métallique 107 s'étend parallèlement à la partie horizontale 110 de la membrane conductrice déformable 105 et à l'électrode d'activation 106, et recouvre dans le mode de réalisation préféré représenté l'intégralité du vis-à-vis entre l'électrode d'activation 106 et la partie horizontale 110 de la membrane conductrice déformable 105.

- [0074] Comme on peut le voir sur la [Fig.2], une couche diélectrique 108 est formée entre la membrane conductrice déformable 110 et l'écran métallique 107, la couche diélectrique 108 étant configurée pour tenir une tension crête à crête maximale qui peut être mise en entrée du commutateur MEMS 101 dans son état ouvert, et séparant dans ce mode de réalisation l'ancrage 109 de la membrane conductrice déformable 105 et l'ancrage 112 de l'écran métallique 107, et la partie verticale 111 de la partie horizontale 107a de l'écran métallique 107, pour éviter tout court-circuit entre ces éléments.
- [0075] Ainsi, l'écran 107 permet, dans l'état ouvert du commutateur MEMS 101, de confiner la différence de potentiel entre la membrane conductrice déformable 105 et l'électrode d'activation 106 dans la couche diélectrique 108, en mettant l'écran métallique 107 au même potentiel que l'électrode d'activation 106 dans l'état ouvert du commutateur MEMS 101.
- [0076] L'écran métallique 107 et l'électrode d'activation 106 étant, dans l'état ouvert du commutateur MEMS 101, au même potentiel, il n'existe aucune différence de potentiel entre eux et donc aucun champ électrique dans l'espacement E entre eux, empêchant l'autoactivation ou le claquage du commutateur MEMS 101 dans son état ouvert.
- [0077] Dans son état fermé, l'écran métallique 107 est au même potentiel que la ligne d'entrée 103, ce qui permet par l'électrode d'activation 106 de générer un champ électrique dans l'espacement E provoquant la déformation de la membrane conductrice déformable 105 afin que l'extrémité de la partie verticale 111 entre en contact avec la ligne de sortie 104 pour fermer le commutateur MEMS 101.
- [0078] Si l'on se réfère maintenant à la [Fig.3], on peut voir que l'on a représenté un commutateur MEMS 201 selon un deuxième mode de réalisation.
- [0079] Le commutateur MEMS 201 est, comme le commutateur MEMS 101 du premier mode de réalisation, formé sur un substrat 202.
- [0080] Il comprend une ligne d'entrée 203 à une extrémité et une ligne de sortie 204 à l'autre extrémité opposée.
- [0081] Contrairement au premier mode de réalisation, le commutateur MEMS 201 selon le deuxième mode de réalisation n'a pas sa membrane conductrice déformable 205 reliée structuralement à la ligne d'entrée 203.
- [0082] Dans ce deuxième mode de réalisation, le commutateur MEMS 201 est en forme de T, avec un ancrage 213 conducteur (décrit plus en détail ci-après) sur le substrat 202 et une membrane conductrice déformable 205 ayant deux parties horizontales, respectivement 210a et 210b, en porte-à-faux au-dessus du substrat 202, respectivement s'étendant jusqu'au-dessus de la ligne d'entrée 203 et jusqu'au-dessus de la ligne de sortie 204.
- [0083] Chaque partie horizontale, respectivement 210a, 210b, de la membrane conductrice

déformable 205, se prolonge par une partie verticale, respectivement 211a, 211b, destinée à entrer en contact avec respectivement la ligne d'entrée 203 et la ligne de sortie 204 dans l'état fermé du commutateur MEMS 201 au niveau respectivement d'une zone de contact d'entrée (non représentée) sur la ligne d'entrée 203 et au niveau d'une zone de contact de sortie (non représentée) sur la ligne de sortie 204.

[0084] De manière analogue au premier mode de réalisation, deux écran métalliques 207a et 207b sont formés respectivement sous les parties horizontales 210a et 210b, les deux écrans métalliques 207a et 207b se prolongeant jusqu'à l'ancrage conducteur 213 par des parties verticales 212a et 212b respectivement, permettant de mettre l'ancrage 213 et les deux écrans métalliques 207a et 207b au même potentiel électrique.

[0085] Une couche diélectrique 208 est formée entre la membrane conductrice déformable 205 d'une part, et les écrans métalliques 207a, 207b et l'ancrage 213, d'autre part, de manière similaire au premier mode de réalisation.

[0086] Enfin, les électrodes d'activation 206a, 206b sont formées en regard des parties horizontales 210a, 210b de la membrane conductrice déformable 205, avec l'écran 207a, 207b s'interposant en regard et recouvrant respectivement l'intégralité de l'électrode d'activation 206a, 206b.

[0087] Le fonctionnement est similaire à ce qui a été décrit en liaison avec le premier mode de réalisation, avec la différence que le comportement est le même en entrée et en sortie dans ce deuxième mode de réalisation, là où l'écran métallique 107 du premier mode de réalisation ne fonctionnait que pour la sortie.

[0088] Avec cette configuration en T du commutateur MEMS 201 de ce deuxième mode de réalisation, lorsqu'une tension alternative est injectée sur la ligne d'entrée 203 avec une forte tension crête à crête, des charges s'accumulent sur la surface supérieure de la membrane conductrice déformable 205, ces charges pouvant dans certains cas, par exemple sur les commutateurs en T de l'état de la technique, provoquer une autoactivation et/ou un claquage en entrée et/ou en sortie.

[0089] La configuration en T permet de diviser par deux la tension maximale générée par la tension sur la ligne d'entrée par rapport au commutateur 101 de la [Fig.2], la tension se répartissant en effet à la fois sur l'entrée et la sortie du commutateur MEMS 201.

[0090] Il est d'ailleurs possible de régulariser les tensions supportées en entrée et en sortie afin qu'elles soient égales à la moitié de la tension maximale à supporter en ajoutant comme indiqué une résistance R de très forte valeur (par exemple supérieure à 100kOhms) en parallèle de l'entrée et de la sortie, au niveau de la zone de contact d'entrée et de la zone de contact de sortie. Ces résistances R étant facultatives, la liaison entre la membrane conductrice déformable 205 et la ligne d'entrée 203 et la ligne de sortie 204 est représentée en traits en pointillés.

[0091] Ainsi, en entrée, dans l'état ouvert du commutateur MEMS 201, lorsqu'une tension

alternative est injectée sur la ligne d'entrée 203 avec une forte tension crête à crête, le fait que l'écran métallique 207a soit au même potentiel que l'électrode d'activation 206a permet d'annuler tout champ électrique dans l'espace E1, limitant le risque d'autoactivation ou de claquage du commutateur MEMS 201 en entrée.

[0092] De même, toujours lorsqu'une tension alternative est injectée sur la ligne d'entrée 203 avec une forte tension crête à crête, le fait que l'écran métallique 207b soit au même potentiel que l'électrode d'activation 206b permet d'annuler tout champ électrique dans l'espace E2, limitant le risque d'autoactivation ou de claquage du commutateur MEMS 201 en sortie.

[0093] Si l'on se réfère maintenant à la [Fig.4], on peut voir que l'on a représenté un commutateur MEMS 301 selon un troisième mode de réalisation de l'invention.

[0094] Le commutateur MEMS 301 comprend une ligne d'entrée 303, une ligne de sortie 304, une membrane conductrice déformable 305 comprenant une partie horizontale 310 en porte-à-faux supportée par un ancrage vertical 309.

[0095] Dans ce mode de réalisation, le commutateur MEMS 301 est formé sur un substrat SOI (silicium sur isolant, SOI étant l'acronyme de l'anglais Silicon On Insulator) comprenant un substrat en silicium 302, une couche isolante 311 dans laquelle est formée une cavité 312, décrite plus en détail ci-après, et une couche de silicium 306. L'ancrage vertical 309 est formé au droit de la cavité 312.

[0096] Le commutateur MEMS 301 proprement dit est formé sur une couche isolante 308, elle-même formée sur la couche de silicium 306.

[0097] Dans ce mode de réalisation, un écran métallique 307 est formé sur la couche isolante 308, en regard de la partie horizontale 310 de la membrane conductrice déformable 305, s'étendant de l'ancrage 309 vers la ligne de sortie 304, sans entrer en contact avec cette dernière. La ligne d'entrée 303, la membrane conductrice déformable 305 et l'écran métallique 307 sont donc au même potentiel électrique.

[0098] De ce fait, aucune différence de potentiel n'existe entre la membrane conductrice déformable 305 et l'écran métallique 307 et donc aucun champ électrique n'est formé dans l'espace E, empêchant ainsi toute autoactivation et/ou claquage du commutateur MEMS 301.

[0099] Le commutateur MEMS 301 est actionné par l'intermédiaire de la cavité 312 formée dans la couche isolante 311.

[0100] En effet, lorsque le substrat 302 est à la masse, si une tension est appliquée sur la couche de silicium 306, une différence de potentiel entre la couche de silicium 306 et le substrat 302 va provoquer une déformation de la couche de silicium 306 vers le substrat 302 au niveau de la cavité 312.

[0101] L'ancrage 309 du commutateur MEMS 301 étant formé au droit de la cavité 312, la déformation de la couche de silicium 306 va abaisser la membrane conductrice dé-

formable 305 vers la ligne de sortie 304, permettant le cas échéant de fermer le commutateur MEMS 301.

- [0102] L'activation du commutateur MEMS 301 se fait donc par l'intermédiaire de la couche de silicium 306 qui constitue l'électrode d'activation de ce mode de réalisation.
- [0103] Il est ainsi possible d'observer que, comme pour le mode de réalisation précédent, l'écran métallique 307 est formé entre la membrane conductrice déformable 305 et l'électrode d'activation constituée par la partie de la couche de silicium 306 au-dessus de la cavité 312, l'écran métallique recouvrant la plus grande partie des surfaces en regard de la couche de silicium 306 au-dessus de la cavité 312 et de la membrane conductrice déformable 305.
- [0104] Contrairement au mode de réalisation précédent où la couche isolante était formée entre la membrane conductrice déformable et l'écran métallique, et l'espacement était formé entre l'écran métallique et l'électrode d'activation, la couche isolante 308 est ici formée entre l'électrode d'activation (partie de la couche de silicium 306 au-dessus de la cavité 312) et l'écran métallique 307, et l'espacement E est formé entre l'écran métallique 307 et la membrane conductrice déformable 305.
- [0105] On retrouve ainsi les mêmes éléments agencés différemment en raison de la structure particulière du commutateur MEMS.
- [0106] Si l'on se réfère maintenant à la [Fig.5], on peut voir que l'on a représenté un commutateur MEMS 401 selon un quatrième mode de réalisation.
- [0107] Comme pour le troisième mode de réalisation, le commutateur MEMS 401 est formé sur un substrat de type SOI, comprenant un substrat 402 au-dessus duquel est formée une couche isolante 411 au sein de laquelle est formée une cavité 412, une couche de silicium 406 recouvrant la couche isolante 411 et la cavité 412, une autre couche isolante 408 étant formée sur la couche de silicium 406, le commutateur MEMS 401 proprement dit étant formé sur la couche isolante 408.
- [0108] Le commutateur MEMS 401 comprend une ligne d'entrée 403, une ligne de sortie 404 et une membrane conductrice déformable 405 en forme de T, avec deux branches horizontales 410a, 410b formées en porte-à-faux au-dessus du substrat, qui s'étendent respectivement au-dessus de la ligne d'entrée 403 et de la ligne de sortie 404.
- [0109] La membrane conductrice déformable 405 est supportée par un ancrage 409 formé au droit de la cavité 412, pour un actionnement du commutateur MEMS 401 similaire à ce qui a été décrit en liaison avec le troisième mode de réalisation.
- [0110] L'écran métallique est formé sur la couche isolante 408 dans le même plan que la ligne d'entrée 403 et la ligne de sortie 404, et comprend deux branches, respectivement 407a et 407b, s'étendant respectivement en regard de la branche 410a vers la ligne d'entrée 403, et en regard de la branche 410b vers la ligne de sortie 404. Chaque branche recouvre la totalité des surfaces en regard de l'électrode d'activation,

constituée comme dans le mode de réalisation précédent par la surface de la couche de silicium 406 recouvrant la cavité 412, et de la branche de la membrane conductrice déformable 405 correspondante.

- [0111] Toujours comme pour le mode de réalisation précédent, l'écran métallique est au même potentiel que la membrane conductrice déformable 405, ce qui induit qu'aucun champ électrique ne peut être créé dans les espacements E1 et E2 et donc qu'aucune autoactivation et/ou claquage du commutateur MEMS 401 ne peut se produire.
- [0112] De manière analogue au deuxième mode de réalisation, avec cette configuration en T du commutateur MEMS 401 de ce quatrième mode de réalisation, lorsqu'une tension alternative est injectée sur la ligne d'entrée 403 avec une forte tension crête à crête, des charges s'accumulent sur la surface supérieure de la membrane conductrice déformable 405, ces charges pouvant dans certains cas, par exemple sur les commutateurs en T de l'état de la technique, provoquer une autoactivation et/ou un claquage en entrée et/ou en sortie.
- [0113] La configuration en T permet de diviser par deux la tension maximale générée par la tension sur la ligne d'entrée par rapport au commutateur 301 de la [Fig.4], la tension se répartissant en effet à la fois sur l'entrée et la sortie du commutateur MEMS 401.
- [0114] Il est aussi possible de régulariser les tensions supportées en entrée et en sortie afin qu'elles soient égales à la moitié de la tension maximale à supporter en ajoutant comme indiqué une résistance R de très forte valeur (par exemple supérieure à 100kOhms) en parallèle de l'entrée et de la sortie (au niveau de la zone de contact d'entrée et de la zone de contact de sortie (non représentées pour ne pas alourdir le dessin)). Ces résistances R étant facultatives, la liaison entre la membrane conductrice déformable 405 et la ligne d'entrée 403 et la ligne de sortie 404 est représentée en traits en pointillés.
- [0115] Ainsi, en entrée, dans l'état ouvert du commutateur MEMS 401, lorsqu'une tension alternative est injectée sur la ligne d'entrée 403 avec une forte tension crête à crête, le fait que les écrans métalliques 407a et 407b soient au même potentiel que l'électrode d'activation (partie de la couche de silicium 406 recouvrant la cavité 412) permet d'annuler tout champ électrique dans les espacements E1 et E2, limitant le risque d'autoactivation ou de claquage du commutateur MEMS 401 en entrée et en sortie.
- [0116] La [Fig.5a] représente un schéma électrique simplifié d'un commutateur C équivalent au commutateur MEMS de la [Fig.5], la branche E représentant la ligne d'entrée 403, la branche S représentant la ligne de sortie 404, les branches C1 et C2 représentant respectivement les branches 410a et 410b de la membrane conductrice déformable 405.
- [0117] La [Fig.6] représente une première variante du quatrième mode de réalisation avec un commutateur MEMS 501.
- [0118] Les éléments communs avec le quatrième mode de réalisation décrit en liaison avec

la [Fig.5] porteront le même chiffre de référence augmenté de 100 et ne seront pas décrits plus en détail.

- [0119] Dans cette première variante du quatrième mode de réalisation, des trous 513a et 513b sont formés respectivement au droit de l'espace entre la ligne d'entrée 503 et la branche 507a de l'écran métallique et au droit de l'espace entre la ligne de sortie 504 et la branche 507b de l'écran métallique, le trou, 513a, 513b s'étendant jusqu'à la couche isolante 511, non comprise.
- [0120] On élimine ainsi la partie de la couche de silicium 506 située sous la membrane conductrice déformable 505 et non couverte par les écrans métalliques 507a, 507b, pour former sous la ligne d'entrée 503 une couche isolante 508a et une couche de silicium 506a, et sous la ligne de sortie 504 une couche isolante 508b et une couche de silicium 506b.
- [0121] Les trous 513a, 513b permettent de diminuer davantage le risque d'autoactivation et/ou claquage du commutateur MEMS 501, puisque d'une part l'écran métallique 507a, 507b recouvre l'intégralité de la partie de la couche de silicium 506 recouvrant la cavité 512, et d'autre part il n'y a aucune partie de la couche de silicium 506, 506a, 506b en regard de la surface de la membrane conductrice déformable 505 qui n'est pas au droit de l'écran métallique 507a, 507b. Tout vis-à-vis direct entre la membrane conductrice déformable 505 et la couche de silicium 506 est ainsi supprimé, diminuant encore le risque d'autoactivation et/ou de claquage du commutateur MEMS 501.
- [0122] Bien que ce ne soit pas représenté ici pour ne pas alourdir le dessin, il serait possible également pour cette variante du quatrième mode de réalisation de régulariser les tensions supportées en entrée et en sortie afin qu'elles soient égales à la moitié de la tension maximale à supporter en ajoutant une résistance R de très forte valeur (par exemple supérieure à 100kOhms) en parallèle de l'entrée et de la sortie comme décrit en liaison avec la [Fig.5].
- [0123] Si l'on se réfère maintenant à la [Fig.7], on peut voir que l'on a représenté un commutateur MEMS 601 selon un cinquième mode de réalisation.
- [0124] Comme pour le troisième mode de réalisation, le commutateur MEMS 601 est formé sur un substrat de type SOI, comprenant un substrat 602 au-dessus duquel est formée une couche isolante 611 au sein de laquelle est formée une cavité 612, une couche de silicium 606 recouvrant la couche isolante 611 et la cavité 612, une autre couche isolante 608 étant formée sur la couche de silicium 606, le commutateur MEMS 601 proprement dit étant formé sur la couche isolante 608.
- [0125] Le commutateur MEMS 601 comprend une ligne d'entrée 603, une ligne de sortie 604 et une membrane conductrice déformable 605 en forme de T, avec deux branches horizontales 610a, 610b formées en porte-à-faux au-dessus du substrat, qui s'étendent respectivement au-dessus de la ligne d'entrée 603 et de la ligne de sortie 604.

- [0126] La membrane conductrice déformable 605 est supportée par un ancrage 609 formé au droit de la cavité 612, pour un actionnement du commutateur MEMS 601 similaire à ce qui a été décrit en liaison avec le troisième mode de réalisation.
- [0127] L'écran métallique est formé sur la couche isolante 608, et comprend deux branches, respectivement 607a et 607b, s'étendant respectivement en regard de la branche 610a vers la ligne d'entrée 603, et en regard de la branche 610b vers la ligne de sortie 604.
- [0128] La différence par rapport au quatrième mode de réalisation réside dans le fait que les deux branches de l'écran métallique 607a, 607b, s'étendent respectivement sous la ligne d'entrée 603 et sous la ligne de sortie 604, avec une partie de couche isolante, respectivement 614a et 614b entre l'extrémité de la branche 607a et la ligne d'entrée 603 et l'extrémité de la branche 607b et la ligne de sortie 604.
- [0129] Contrairement au quatrième mode de réalisation, la ligne d'entrée 603 et la ligne de sortie 604 d'une part, et les deux branches 607a et 607b d'écran métallique ne sont plus dans le même plan, ce qui permet aux branches 607a et 607b d'écran métallique de recouvrir la totalité du vis-à-vis entre la couche de silicium 606 et la membrane conductrice déformable 605 en s'étendant sous la ligne d'entrée 603 et sous la ligne de sortie 604.
- [0130] Ce cinquième mode de réalisation est équivalent à la variante du quatrième mode de réalisation décrit en liaison avec la [Fig.6], par le fait qu'aucune partie de la membrane conductrice déformable non en regard de l'écran métallique n'est en regard de la couche de silicium servant à activer le commutateur MEMS.
- [0131] Bien que ce ne soit pas représenté ici pour ne pas alourdir le dessin, il serait possible également pour ce cinquième mode de réalisation de régulariser les tensions supportées en entrée et en sortie afin qu'elles soient égales à la moitié de la tension maximale à supporter en ajoutant une résistance R de très forte valeur (par exemple supérieure à 100kOhms) en parallèle de l'entrée et de la sortie comme pour le quatrième mode de réalisation.
- [0132] Si l'on se réfère maintenant à la [Fig.8], on peut voir que l'on a représenté un commutateur MEMS 701 selon un sixième mode de réalisation.
- [0133] Dans ce sixième mode de réalisation, le commutateur MEMS 701 est formé sur un substrat SOI comprenant une couche de silicium 702 sur laquelle est formée une couche isolante 711 au sein de laquelle est formée une cavité 712, une couche de silicium 706 recouvrant la couche isolante 711 et refermant la cavité 712.
- [0134] Une ligne d'entrée 703 est formée sur une couche isolante 714a formée sur la couche de silicium 706, et de la même manière une ligne de sortie 704 est formée sur une couche isolante 714b formée sur la couche de silicium 706.
- [0135] Le commutateur MEMS 701 proprement dit a la même structure en T que le commutateur MEMS 201 selon le deuxième mode de réalisation de la [Fig.3], avec une

membrane conductrice déformable 705 ayant deux branches 710a et 710b s'étendant respectivement vers la ligne d'entrée 703 et la ligne de sortie 704, avec une partie verticale à l'extrémité de chaque branche 710a, 710b, respectivement 710c, 710d, au droit respectivement de la ligne d'entrée 703 et de la ligne de sortie 704, un ancrage 709 formé au droit de la cavité 712 sur une couche isolante 714 formée sur la couche de silicium 706.

- [0136] L'écran métallique est constitué de deux branches 707a et 707b, s'étendant parallèlement au substrat respectivement vers la ligne d'entrée 703 et la ligne de sortie 704 et dans le même plan que l'écran métallique 707a, 707b, les deux branches de l'écran métallique se rejoignant par des ancrages, respectivement 712a et 712b reliés à un piètement 713 formé sur la couche isolante 714. Une couche isolante 708 est formée entre la membrane conductrice déformable 705 et l'écran métallique, 707a, 707b, 713, de manière analogue au deuxième mode de réalisation.
- [0137] Dans ce sixième mode de réalisation, on obtient le même effet que les autres modes de réalisation, à savoir limiter voire empêcher une autoactivation et/ou un claquage du commutateur MEMS 701 lorsqu'une forte tension d'entrée crête à crête est injectée sur la ligne d'entrée 703, pour autant que l'écran métallique 707a, 707b, 712a, 712b, 713 soit au même potentiel que la membrane conductrice déformable 705.
- [0138] Le commutateur MEMS 701 selon ce sixième mode de réalisation peut être actionné de deux manières successives et ou simultanées.
- [0139] Selon une première manière, et quelle que soit la tension appliquée sur l'écran métallique 707a, 707b, 712a, 712b, 713, lorsque le substrat 702 est à la masse, par application d'une tension à la couche de silicium 706, on provoque une déformation vers le bas de la couche de silicium 706 au niveau de sa partie recouvrant la cavité 712, ce qui induit une descente du commutateur MEMS 701 qui peut conduire au contact des parties 710c, 710d avec respectivement la ligne d'entrée 703 et la ligne de sortie 704, pour provoquer une fermeture du commutateur MEMS 701. Selon une deuxième manière, simultanée ou successive à la première manière, on peut mettre l'écran métallique 707a, 707b, 712a, 712b, 713 à la masse, ce qui pourra permettre l'activation des branches 710a, 710b par création d'un champ magnétique entre la membrane conductrice déformable 705 et la couche de silicium 706, soit pour fermer le commutateur MEMS 701, soit, lorsque la deuxième manière est effectuée simultanément à la première, pour accentuer le contact entre la membrane conductrice déformable 705 et la ligne d'entrée 703 et la ligne de sortie 704 déjà provoqué par la descente du commutateur MEMS 701.
- [0140] Bien que ce ne soit pas représenté ici pour ne pas alourdir le dessin, il serait possible également pour ce sixième mode de réalisation de régulariser les tensions supportées en entrée et en sortie afin qu'elles soient égales à la moitié de la tension maximale à

supporter en ajoutant une résistance R de très forte valeur (par exemple supérieure à 100kOhms) en parallèle de l'entrée et de la sortie comme pour le quatrième mode de réalisation.

- [0141] Une deuxième variante du quatrième mode de réalisation est représentée sur les Figures 9 et 10.
- [0142] Les éléments communs entre le mode de réalisation de la [Fig.5] et cette variante en [Fig.9] portent le même chiffre de référence augmenté de 400 et ne seront pas décrits plus en détail.
- [0143] Cette variante représente une mise en œuvre de la résistance R de très forte valeur en parallèle de l'entrée et de la sortie. L'écran métallique 807a, 807b et la membrane conductrice déformable 805 étant au même potentiel, une piste de résistance R sous forme de couche mince résistive, respectivement 815a, 815b, est formée respectivement entre la ligne d'entrée 803 et l'écran métallique 807a et entre la ligne de sortie 804 et l'écran métallique 807b.
- [0144] La [Fig.10] montre un schéma de dessus montrant une mise en œuvre pratique de la structure représentée schématiquement en [Fig.9], avec une résistance formée par une couche mince résistive 815a, 815b formée en surface du substrat.
- [0145] La [Fig.11] représente schématiquement une matrice de commutateurs MEMS 900 constituée de trois commutateurs MEMS 801a, 801b et 801c selon la deuxième variante du quatrième mode de réalisation connectés en série.
- [0146] Cette mise en série permet de diviser par trois la tension à supporter en entrée et en sortie pour chaque commutateur MEMS 801a, 801b, 801c. La résistance à l'état fermé est également ainsi réduite. Il est bien entendu que l'on peut augmenter le nombre de commutateurs MEMS en série.
- [0147] Ainsi, pour une tension d'entrée V avec une forte tension crête à crête, la mise en série permet pour chaque commutateur MEMS 801a, 801b, 801c de n'avoir à supporter en entrée et en sortie que $V/6$, ce qui diminue davantage le risque d'autoactivation et/ou claquage pour chaque commutateur individuel 801a, 801b, 801c.
- [0148] Les Figures 12A et 12B montrent que des matrices de commutateurs MEMS 1000 peuvent être formées avec des commutateurs MEMS selon l'un quelconque des modes de réalisation de l'invention, en série et en parallèle, les commutateurs MEMS 1007 étant reliés en série et en parallèle entre la ligne d'entrée 1003 et la ligne de sortie 1004, avec des lignes intermédiaires 1005, 1006.
- [0149] Le schéma électrique équivalent est ainsi représenté en [Fig.12B].
- [0150] La [Fig.13] représente une variante de la [Fig.12A], avec des commutateurs MEMS selon la deuxième variante du quatrième mode de réalisation, avec une matrice de commutateurs MEMS 1100 comprenant une pluralité de commutateurs MEMS 1107 selon la deuxième variante du quatrième mode de réalisation branchés en série et en

parallèle entre une ligne d'entrée 1103 et une ligne de sortie 1104, avec des lignes intermédiaires 1105, 1106, et les résistances de forte valeur R 1115 formées pour chaque commutateur 1107 entre l'entrée et l'écran métallique d'une part et entre la sortie et l'écran métallique d'autre part, par une unique ligne autorisant une matrice de commutateurs MEMS 1100 avec une forte compacité et ayant des performances améliorées par rapport à l'état de la technique en termes de résistance à l'autoactivation et/ou au claquage.

- [0151] De telles structures permettent d'avoir des tensions alternatives en entrée avec des valeurs crête à crête élevées avec une forte résistance à l'autoactivation et/ou au claquage, pouvant, par exemple mais non exclusivement, répondre à des applications dans le domaine des télécommunications, de la domotique ou de l'automobile.
- [0152] Les commutateurs MEMS et les matrices de commutateurs MEMS sont formés par les procédés classiques connus de l'homme du métier.
- [0153] A titre de variante, il serait envisageable de dissocier la ligne de signal de la masse au sein de la membrane conductrice déformable comme décrit dans la demande de brevet européen EP 3465724.
- [0154] Il est évidemment également bien entendu que la membrane de conductrice déformable pourrait être 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).
- [0155] L'espace d'encapsulation de la membrane de contact peut contenir 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.
- [0156] Dans tous les modes de réalisation, le potentiel électrique de l'écran métallique à l'état fermé ou à l'état ouvert du commutateur MEMS ou des commutateurs MEMS d'une matrice de commutateurs MEMS peut être commandé par exemple, mais non exclusivement, par un dispositif dédié de type système sur puce (en anglais System On Chip ou SoC) ou de type circuit intégré spécifique sur puce (en anglais Application specific Integrated circuit ou ASIC) de manière bien connue de l'homme du métier.

Revendications

[Revendication 1]

- Commutateur MEMS (101 ; 201 ; 301 ; 401 ; 501 ; 601 ; 701 ; 801) comprenant un substrat (102 ; 202 ; 302 ; 402 ; 502 ; 602 ; 702 ; 802) sur lequel sont formées :
 - une ligne d'entrée (103 ; 203 ; 303 ; 403 ; 503 ; 603 ; 703 ; 803) configurée pour recevoir une tension d'entrée,
 - une ligne de sortie (104 ; 204 ; 304 ; 404 ; 504 ; 604 ; 704 ; 804),
 - au moins une zone de contact, chaque zone de contact étant électriquement connectée à la ligne d'entrée (103 ; 203 ; 303 ; 403 ; 503 ; 603 ; 703 ; 803) ou à la ligne de sortie (104 ; 204 ; 304 ; 404 ; 504 ; 604 ; 704 ; 804),
 - une membrane conductrice (105 ; 205 ; 305 ; 405 ; 505 ; 605 ; 705 ; 805) suspendue parallèlement au substrat (102 ; 202 ; 302 ; 402 ; 502 ; 602 ; 702 ; 802) par au moins un ancrage (109 ; 209 ; 309 ; 409 ; 509 ; 609 ; 709 ; 809) et surplombant chaque zone de contact, la membrane (105 ; 205 ; 305 ; 405 ; 505 ; 605 ; 705 ; 805) étant constituée au moins en partie par un conducteur de membrane et étant configurée pour se déplacer entre deux positions :
 - une position ouverte du commutateur (101 ; 201 ; 301 ; 401 ; 501 ; 601 ; 701 ; 801), dans laquelle la ligne d'entrée (103 ; 203 ; 303 ; 403 ; 503 ; 603 ; 703 ; 803) est isolée électriquement de la ligne de sortie (104 ; 204 ; 304 ; 404 ; 504 ; 604 ; 704 ; 804),
 - une position fermée du commutateur (101 ; 201 ; 301 ; 401 ; 501 ; 601 ; 701 ; 801), dans laquelle la membrane crée une continuité électrique entre la ligne d'entrée (103 ; 203 ; 303 ; 403 ; 503 ; 603 ; 703 ; 803) et la ligne de sortie (104 ; 204 ; 304 ; 404 ; 504 ; 604 ; 704 ; 804) par contact du conducteur de membrane avec chaque zone de contact et,
 - une électrode d'activation (106 ; 206a, 206b ; 306 ; 406 ; 506 ; 606 ; 706 ; 806) située sous la membrane (105 ; 205 ; 305 ; 405 ; 505 ; 605 ; 705 ; 805) et permettant le mouvement de la membrane (105 ; 205 ; 305 ; 405 ; 505 ; 605 ; 705 ; 805) de la position ouverte à la position fermée du commutateur (101 ; 201 ; 301 ; 401 ; 501 ; 601 ; 701 ; 801), caractérisé par le fait qu'une couche diélectrique (108 ; 208 ; 308 ; 408 ; 508a, 508b, 508 ; 608 ; 708 ; 808) et une couche d'espacement (E ; E1, E2) sont formées entre la membrane (105 ; 205 ; 305 ; 405 ; 505 ; 605 ; 705 ; 805) et la surface supérieure du substrat (102 ; 202 ; 302 ; 402 ; 502 ; 602 ; 702 ; 802), un écran métallique (107 ; 207a, 207b ; 307 ;

407a, 407b ; 507a, 507b ; 607a, 607b ; 707a, 707b ; 807a, 807b) étant formé à l'interface entre la couche diélectrique (108 ; 208 ; 308 ; 408 ; 508a, 508b, 508 ; 608 ; 708 ; 808) et la couche d'espacement (E ; E1, E2) et recouvrant tout ou partie de l'interface entre les deux couches, l'écran métallique (107 ; 207a, 207b ; 307 ; 407a, 407b ; 507a, 507b ; 607a, 607b ; 707a, 707b ; 807a, 807b) étant relié, dans la position ouverte du commutateur (101 ; 201 ; 301 ; 401 ; 501 ; 601 ; 701 ; 801), - au potentiel électrique de l'électrode d'activation (106 ; 206a, 206b ; 306 ; 406 ; 506 ; 606 ; 706 ; 806) lorsque le diélectrique est entre le conducteur de membrane et l'écran métallique (107 ; 207a, 207b ; 307 ; 407a, 407b ; 507a, 507b ; 607a, 607b ; 707a, 707b ; 807a, 807b), - et au potentiel électrique du conducteur de membrane lorsque le diélectrique est entre l'écran métallique (107 ; 207a, 207b ; 307 ; 407a, 407b ; 507a, 507b ; 607a, 607b ; 707a, 707b ; 807a, 807b) et l'électrode d'activation (106 ; 206a, 206b ; 306 ; 406 ; 506 ; 606 ; 706 ; 806), de manière à annuler le champ électrique que provoque le signal d'entrée dans la couche d'espacement (E ; E1, E2) en regard de l'écran métallique (107 ; 207a, 207b ; 307 ; 407a, 407b ; 507a, 507b ; 607a, 607b ; 707a, 707b ; 807a, 807b) lorsque le commutateur (101 ; 201 ; 301 ; 401 ; 501 ; 601 ; 701 ; 801) est en position ouverte.

[Revendication 2]

– Commutateur MEMS (101 ; 201 ; 701) selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'écran métallique (107 ; 207a, 207b, 707a, 707b) est disposé sur la surface inférieure de la membrane (105 ; 205 ; 705), et séparé du conducteur de membrane par le diélectrique (108 ; 208 ; 708) configuré pour supporter la différence de potentiel entre le conducteur de membrane et l'écran métallique (107 ; 207a, 207b, 707a, 707b).

[Revendication 3]

– Commutateur MEMS (101 ; 201 ; 701) selon la revendication 2, caractérisé par le fait que l'électrode d'activation (106 ; 206a, 206b, 706) est formée à la surface du substrat (102 ; 202 ; 702), dans la couche d'espacement (E ; E1, E2) pour une activation électrostatique de la membrane (105 ; 205 ; 705).

[Revendication 4]

– Commutateur MEMS (701) selon la revendication 2, caractérisé par le fait que le substrat (702) est de type silicium sur isolant, l'au moins un ancrage (709) de la membrane de contact (705) étant formé en surface du silicium sur isolant et isolé de la partie de la couche de silicium sur isolant par un diélectrique (714), la partie de la couche de silicium sur isolant située sous la membrane (705) constituant l'électrode

- d'activation (706) de la membrane (705).
- [Revendication 5] – Commutateur MEMS (701) selon la revendication 4, caractérisé par le fait qu'une cavité (712) est formée dans la couche isolante (711) du silicium sur isolant.
- [Revendication 6] – Commutateur MEMS (301 ; 401 ; 501 ; 601 ; 801) selon la revendication 1, caractérisé par le fait que le substrat (302 ; 402 ; 502 ; 602 ; 802) est de type silicium sur isolant avec une cavité (312 ; 412 ; 512 ; 612 ; 812) formée dans la couche isolante (311 ; 411 ; 511 ; 611 ; 811), le diélectrique (308 ; 408 ; 508 ; 608 ; 808) séparant l'écran métallique (307 ; 407a, 407b ; 507a, 507b ; 607a, 607b ; 807a, 807b) du substrat (302 ; 402 ; 502 ; 602 ; 802), l'écran métallique (307 ; 407a, 407b ; 507a, 507b ; 607a, 607b ; 807a, 807b) étant électriquement connecté avec le conducteur de membrane par l'intermédiaire de l'ancrage (309 ; 409 ; 509 ; 609 ; 809), la couche de silicium sous l'au moins un ancrage (309 ; 409 ; 509 ; 609 ; 809) fermant la cavité (312 ; 412 ; 512 ; 612 ; 812) constituant l'électrode d'activation (306 ; 406 ; 506 ; 606 ; 806) de la membrane (305 ; 405 ; 505 ; 605 ; 805), le diélectrique (308 ; 408 ; 508 ; 608 ; 808) étant configuré pour supporter la différence de potentiel entre l'électrode d'activation (306 ; 406 ; 506 ; 606 ; 806) et l'écran métallique (307 ; 407a, 407b ; 507a, 507b ; 607a, 607b ; 807a, 807b).
- [Revendication 7] – Commutateur MEMS (301 ; 401 ; 501 ; 601 ; 801) selon la revendication 1 à 6, caractérisé par le fait qu'une résistance de valeur R est disposée entre le conducteur de membrane et la zone de contact du substrat (302 ; 402 ; 502 ; 602 ; 802), R étant supérieure ou égale à 100 kOhms.
- [Revendication 8] – Commutateur MEMS (301 ; 401 ; 501 ; 601 ; 801) selon la revendication 7, caractérisé par le fait que les résistances sont formées par une couche mince résistive formée en surface du substrat (302 ; 402 ; 502 ; 602 ; 802) sous la membrane MEMS.
- [Revendication 9] – Matrice (1000) de commutateurs MEMS comprenant plusieurs commutateurs MEMS (101 ; 201 ; 301 ; 401 ; 501 ; 601 ; 701 ; 801) selon l'une des revendications 1 à 8 agencés en série et/ou parallèle.
- [Revendication 10] – Matrice (1100) de commutateurs MEMS comprenant plusieurs commutateurs MEMS (101 ; 201 ; 301 ; 401 ; 501 ; 601 ; 701 ; 801) selon l'une des revendications 1 à 7 agencés en série et/ou parallèle, caractérisée par le fait qu'une seule résistance R est disposée entre chaque rangée de commutateurs MEMS (101 ; 201 ; 301 ; 401 ; 501 ; 601 ; 701 ; 801) en parallèle.

[Fig. 1]

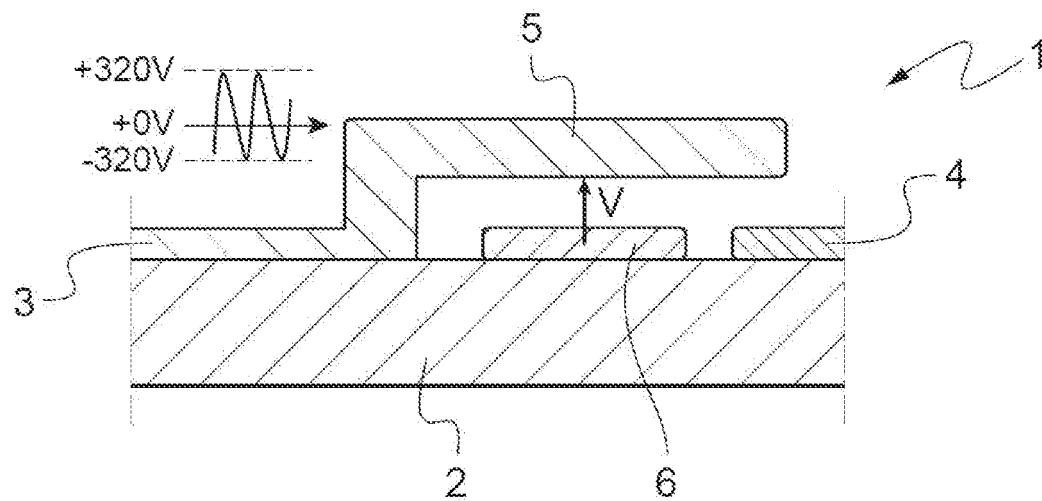


Fig.1

[Fig. 2]

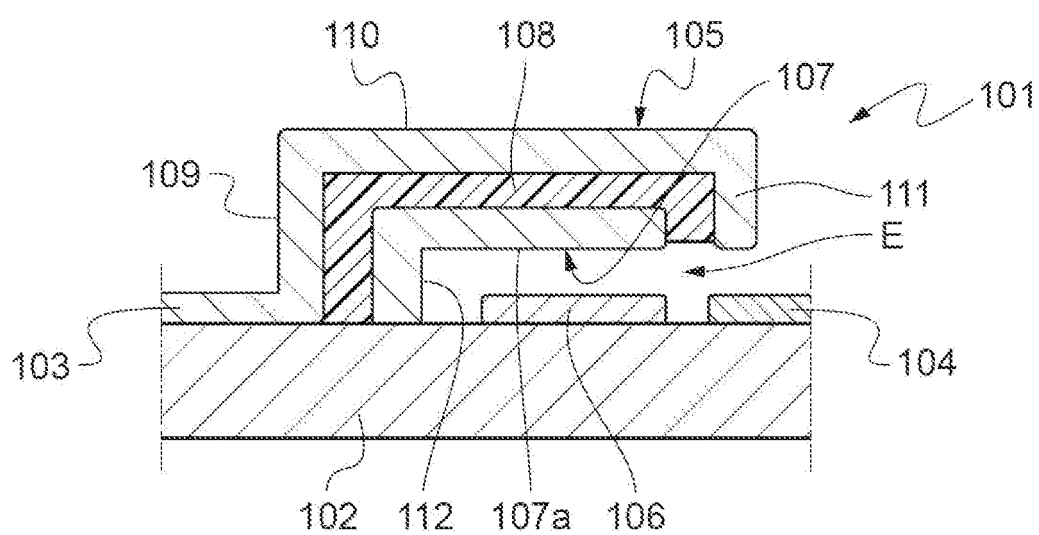


Fig.2

[Fig. 3]

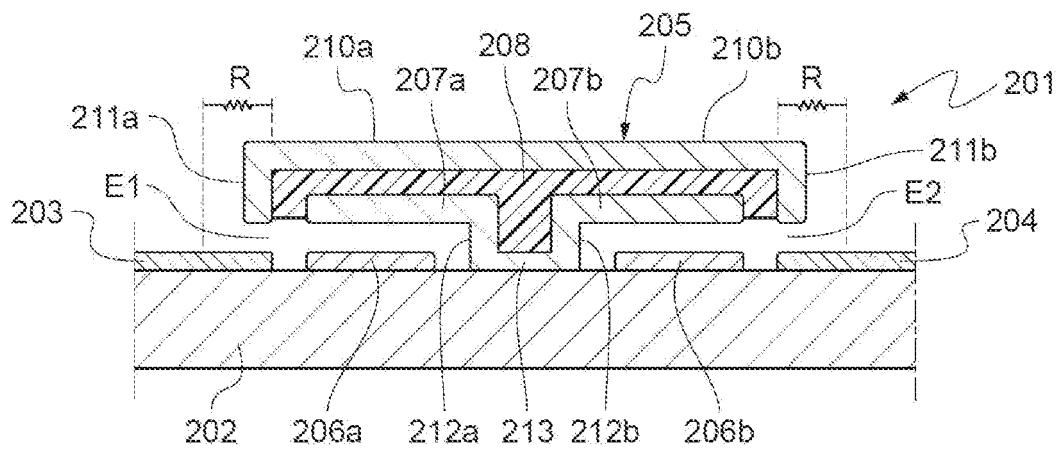


Fig.3

[Fig. 6]

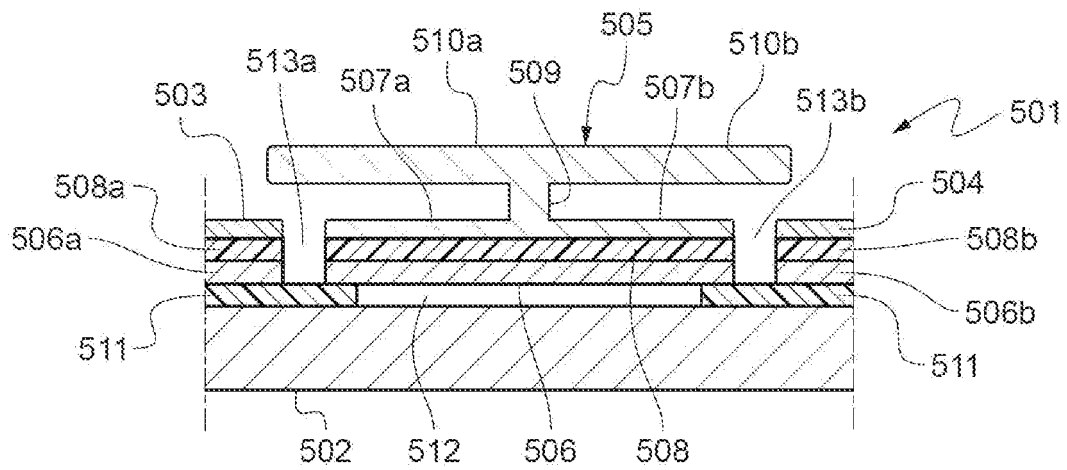


Fig.6

[Fig. 7]

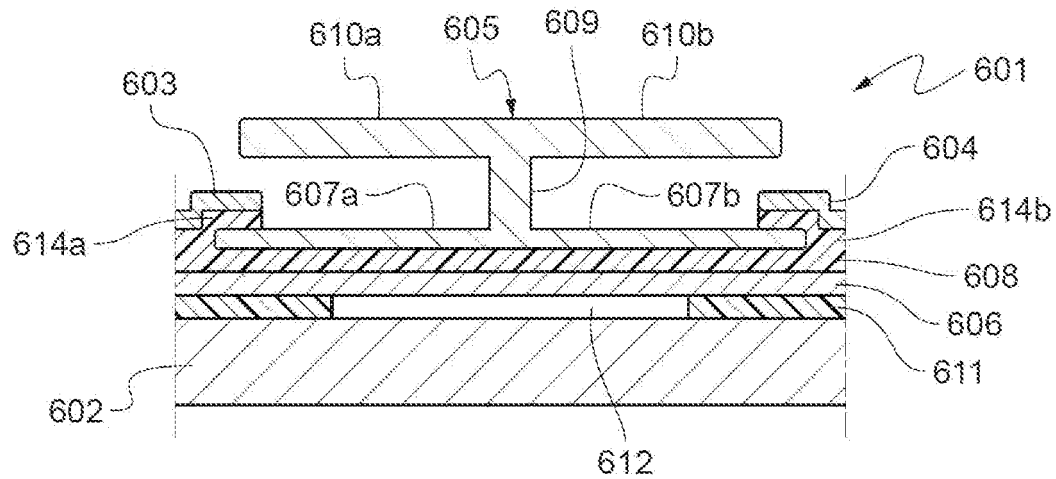


Fig.7

[Fig. 8]

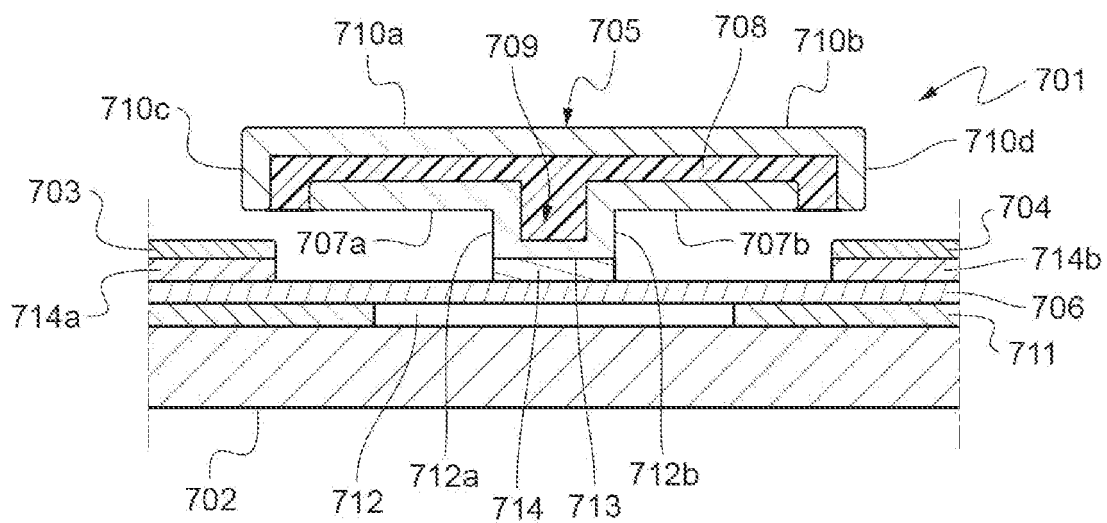


Fig.8

[Fig. 9]

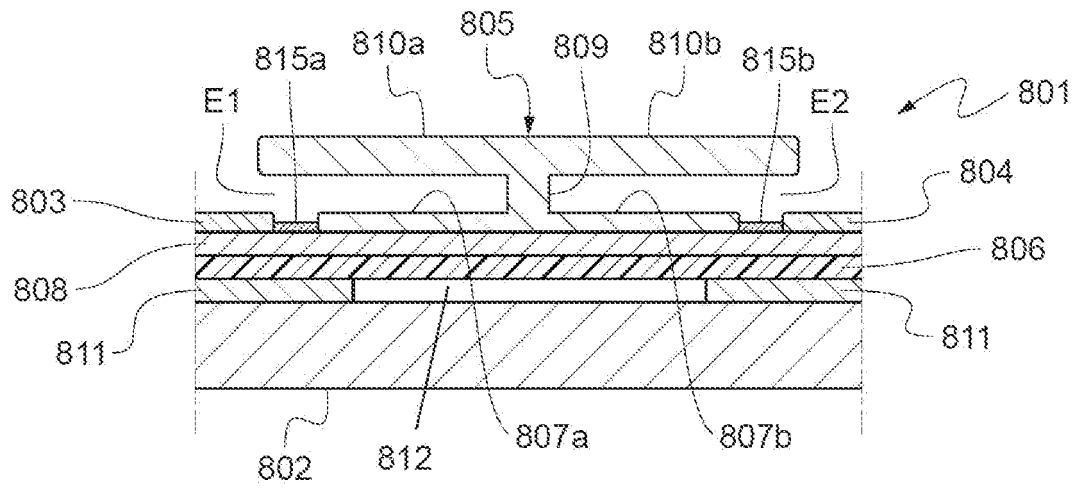


Fig.9

[Fig. 10]

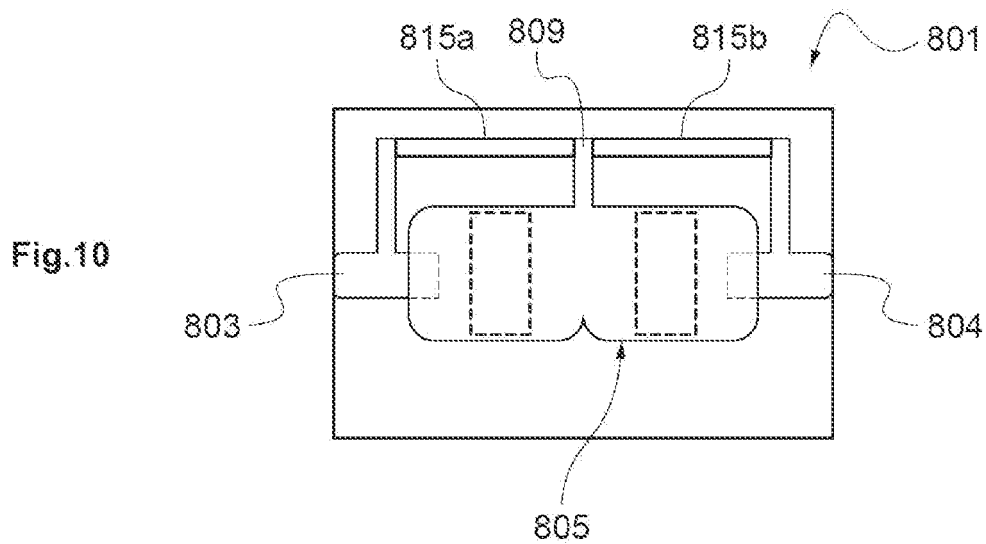


Fig.10

[Fig. 11]

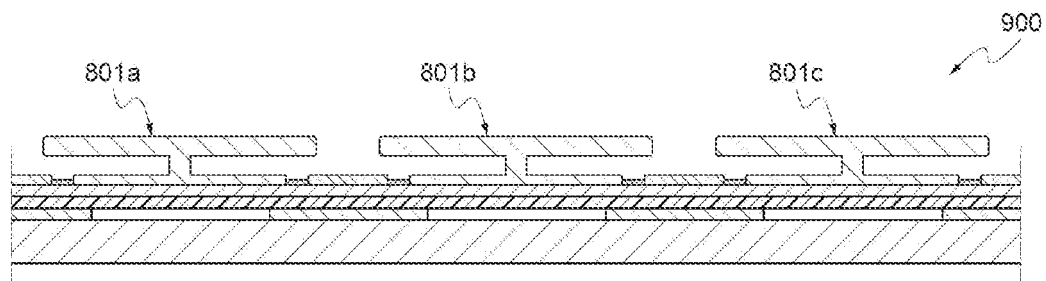


Fig.11

[Fig. 12A]

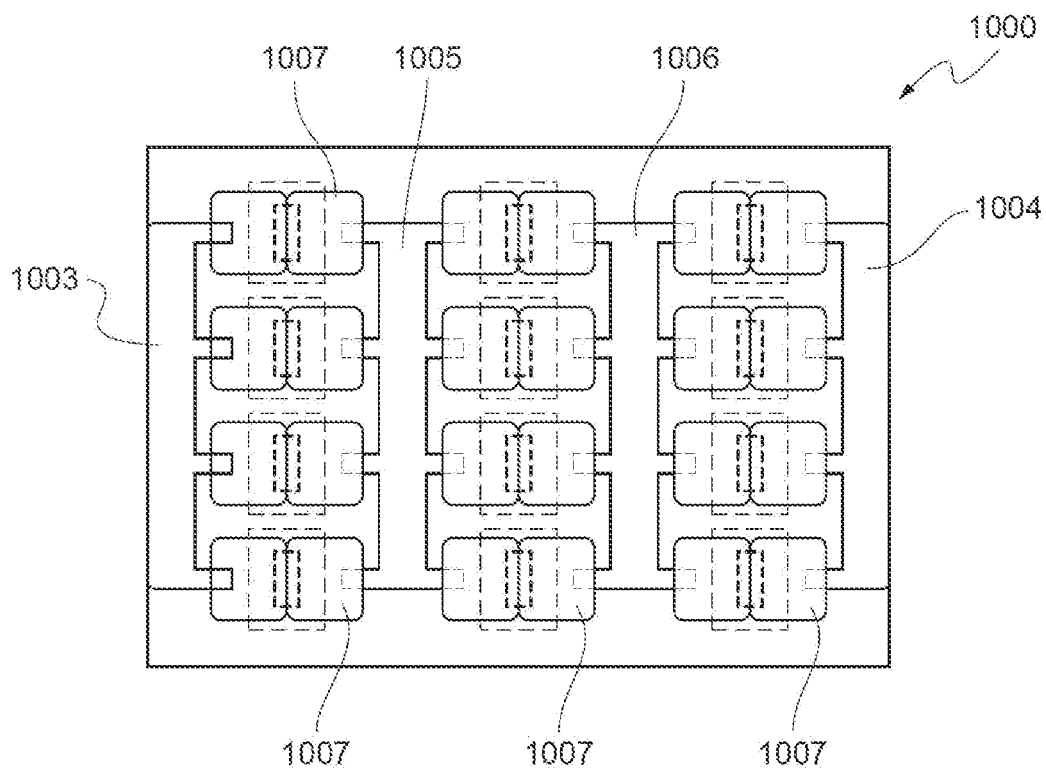


Fig.12A

[Fig. 12B]

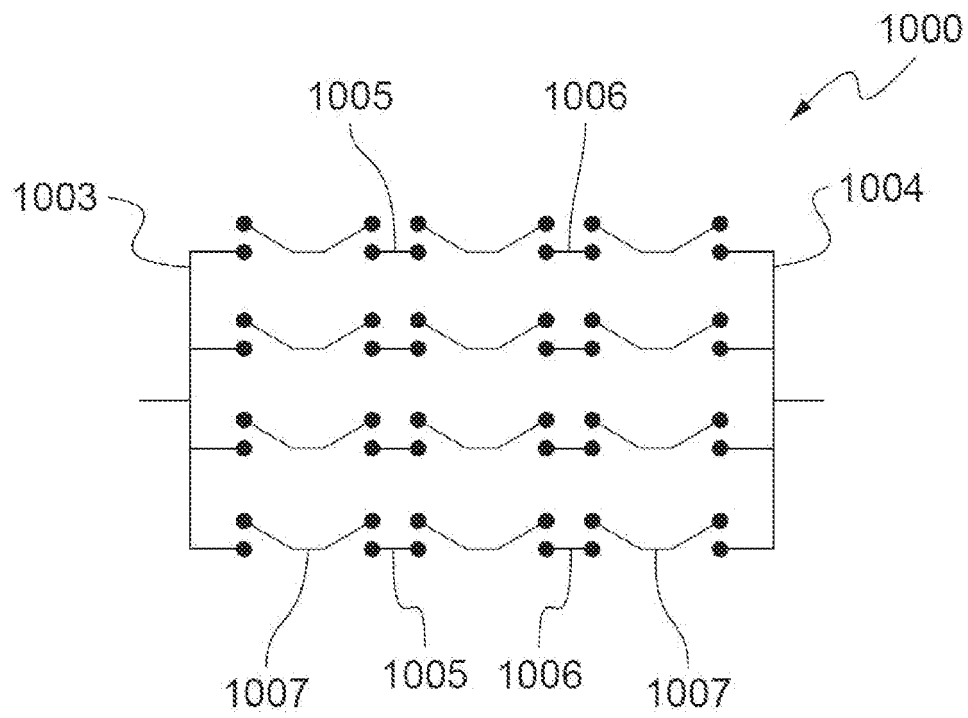
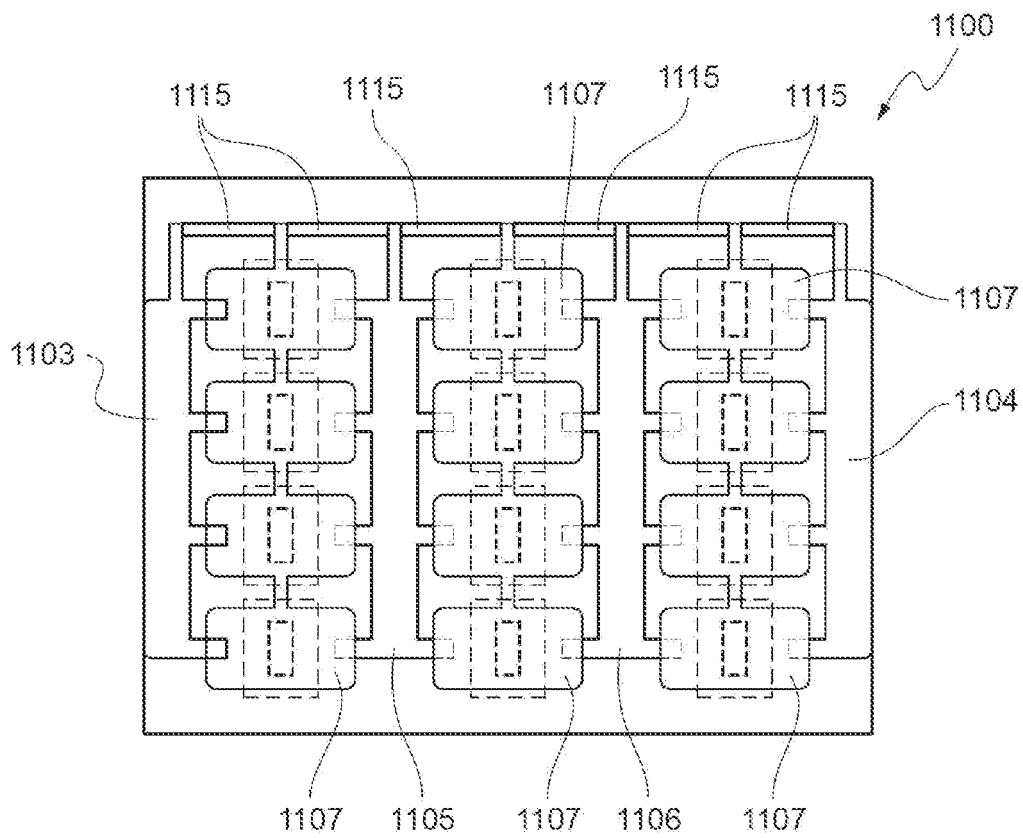


Fig.12B

[Fig. 13]

**Fig.13**

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 915269
FR 2300009

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 6 127 744 A (STREETER ROBERT D [US] ET AL) 3 octobre 2000 (2000-10-03)	1-4	B81B3/00 B81B7/00
A	* colonnes 2-9; figures 1-7 * -----	5-10	
X	WO 00/52722 A1 (RAYTHEON CO [US]) 8 septembre 2000 (2000-09-08)	1-4	
A	* pages 3-19; figures 1-10 * -----	5-10	
A	US 6 115 231 A (SHIRAKAWA YUKIHIKO [JP]) 5 septembre 2000 (2000-09-05) * colonnes 6-24; figures 1-35 * -----	5, 6	
A	US 2014/305777 A1 (AIMI MARCO FRANCESCO [US] ET AL) 16 octobre 2014 (2014-10-16) * pages 2-5; figures 1-8 * -----	9, 10	
A	WO 2004/015728 A1 (XCOM WIRELESS INC [US]; HYMAN DANIEL J [US] ET AL.) 19 février 2004 (2004-02-19) * abrégé; figures 1-13 * -----	1-6	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	EP 2 093 876 A1 (KOREA ADVANCED INST SCI & TECH [KR]) 26 août 2009 (2009-08-26) * abrégé; figures 1-9 * -----	1-6	H01H
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
26 juin 2023		Rucha, Johannes	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2300009 FA 915269**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **26-06-2023**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 6127744	A	03-10-2000	AUCUN	
WO 0052722	A1	08-09-2000	EP 1075703 A1	14-02-2001
			US 6160230 A	12-12-2000
			WO 0052722 A1	08-09-2000
US 6115231	A	05-09-2000	AUCUN	
US 2014305777	A1	16-10-2014	AUCUN	
WO 2004015728	A1	19-02-2004	AU 2002368165 A1	25-02-2004
			EP 1527465 A1	04-05-2005
			JP 2005536013 A	24-11-2005
			WO 2004015728 A1	19-02-2004
EP 2093876	A1	26-08-2009	CN 101542888 A	23-09-2009
			EP 2093876 A1	26-08-2009
			JP 4864141 B2	01-02-2012
			JP 2009536015 A	01-10-2009
			KR 20080112662 A	26-12-2008
			US 2010163376 A1	01-07-2010
			WO 2009016524 A1	05-02-2009