



(11)

EP 2 472 542 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
04.07.2012 Bulletin 2012/27

(51) Int Cl.:
H01H 11/00 (2006.01) B81C 1/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **11195895.5**

(22) Date de dépôt: **28.12.2011**

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

(30) Priorité: **03.01.2011 FR 1150027**

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

(72) Inventeurs:
• **Sibuet, Henri
38500 LA BUISSE (FR)**
• **Vuillermet, Yannick
73000 CHAMBERY (FR)**

(74) Mandataire: **Colombo, Michel et al
Brevinnov
324, rue Garibaldi
69007 Lyon (FR)**

(54) **Procédé de fabrication d'un micro-contacteur actionnable par un champ magnétique**

(57) L'invention concerne un procédé de fabrication, sur un substrat plan, d'un micro-contacteur actionnable par un champ magnétique comprenant :

- la gravure (42) dans une face supérieure du substrat plan de cavités formant un modèle en creux de deux lames, ces cavités présentant des flancs verticaux s'étendant perpendiculairement au plan du substrat pour former des faces verticales des lames,
- le remplissage (50) des cavités par un matériau magnétique pour former les lames, puis
- la gravure (62) dans le substrat, par un procédé de gravure isotrope, d'un caisson qui s'étend entre les faces verticales des lames et dessous et autour d'une extrémité distale d'au moins une des lames pour dégager un entrefer entre ces lames et rendre cette extrémité distale déplaçable entre une position fermée et une position ouverte.

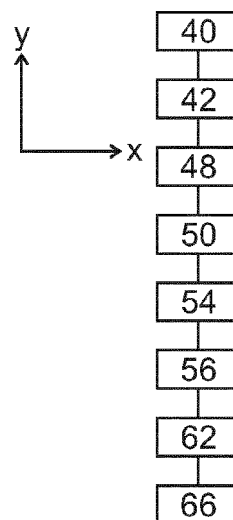


Fig. 3

Description

[0001] L'invention concerne un procédé de fabrication, sur un substrat plan, d'un micro-contacteur actionnable par un champ magnétique. L'invention concerne également un tel micro-contacteur.

[0002] Les micro-contacteurs actionnables par un champ magnétique sont également connus sous le terme de « Reed ».

[0003] Les micro-contacteurs diffèrent des contacteurs macroscopiques entre autres par leur procédé de fabrication. Les micro-contacteurs sont réalisés en utilisant les mêmes procédés de fabrication collectifs que ceux utilisés pour réaliser les puces microélectroniques. Par exemple, les micro-contacteurs sont réalisés à partir de plaquettes en silicium monocristallin ou en verre usiné par photolithographie et gravure et/ou structuré par croissance épitaxiale et dépôt de matériau métallique.

[0004] Des micro-contacteurs connus comportent :

- un substrat plan présentant une face supérieure,
- au moins deux lames en matériau magnétique présentant des faces verticales s'étendant perpendiculairement au plan du substrat et définissant entre elles un entrefer, au moins une des lames étant déplaçable, sous l'effet du champ magnétique, entre :
 - une position fermée dans laquelle les faces verticales des deux lames sont directement en contact mécanique l'une avec l'autre pour permettre le passage du courant, et
 - une position ouverte dans laquelle les faces verticales sont séparées l'une de l'autre par l'entrefer pour isoler électriquement une lame de l'autre.

[0005] Dans ces micro-contacteurs connus, le déplacement des lames se fait parallèlement au plan du substrat. Ainsi, lors de la fabrication de ces micro-contacteurs, l'épaisseur des lames dans une direction parallèle au plan du substrat peut être très précisément définie par photolithographie sans quasiment aucune limitation. Ceci permet d'ajuster très finement et de façon répétable certaines propriétés importantes du micro-contacteur, comme par exemple, la rigidité de ces lames. Cet avantage ne se retrouve pas dans les micro-contacteurs dans lesquels les lames se déplacent perpendiculairement au plan du substrat.

[0006] Des procédés de fabrication de ces micro-contacteurs ont déjà été proposés par exemple, dans la demande de brevet US 2009/0237188 ou dans l'article suivant (article A1) :

« One mask nickel micro-fabricated reed relay » S. Roth, C. Marxer, G. Feusier, N. F. De Rooij, IEE 0-7803-5273-4, 2000.

[0007] Toutefois, les procédés connus sont complexes

et nécessitent un nombre d'étapes de gravure important. Par exemple, le procédé de fabrication de l'article A1 nécessite une opération de gravure d'une résine photosensible pour creuser et libérer les faces verticales des lames et une autre opération de gravure pour éliminer une couche de germination située sous les lames.

[0008] Par ailleurs, dans les micro-contacteurs connus, les lames sont en saillie sur la face supérieure du substrat. Il est donc nécessaire de rapporter un capot pour les protéger. Or cette opération est compliquée car elle demande une grande précision dans le positionnement du capot par rapport au substrat.

[0009] De l'état de la technique est également connu de JP2008243450A, US2007/046392A1, WO98/34269A1 et EP1108677A1.

[0010] L'invention vise à remédier à au moins l'un de ces inconvénients en proposant un procédé de fabrication d'un micro-contacteur plus simple.

[0011] Elle a donc pour objet un procédé de fabrication comportant :

- a) la gravure dans une face supérieure du substrat plan de cavités formant un modèle en creux de deux lames, ces cavités présentant des flancs verticaux s'étendant perpendiculairement au plan du substrat pour former des faces verticales des lames, puis
- b) le remplissage des cavités par un matériau magnétique pour former les lames, puis
- c) la gravure dans le substrat, par un procédé de gravure isotrope, d'un caisson qui s'étend entre les faces verticales des lames et dessous et autour d'une extrémité distale d'au moins une des lames pour dégager un entrefer entre ces lames et rendre cette extrémité distale déplaçable entre :

- une position fermée dans laquelle les faces verticales des deux lames sont directement en contact mécanique l'une avec l'autre pour permettre le passage d'un courant, et
- une position ouverte dans laquelle les faces verticales sont séparées l'une de l'autre par l'entrefer pour isoler électriquement une lame de l'autre.

[0012] Le procédé de fabrication ci-dessus est plus simple car la gravure isotrope permet en une seule opération de dégager la matière qui se trouve dessous et sur les côtés de l'extrémité distale de la lame qui se déplace. En particulier, il n'est donc pas nécessaire de procéder au dépôt d'une couche sacrificielle entre les lames et le substrat, puis de retirer cette couche sacrificielle pour libérer la lame mobile.

[0013] Les modes de réalisation de ce procédé de fabrication peuvent comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- les étapes de gravure sont des étapes de gravure d'un substrat en silicium;

■ le procédé comprend, avant le remplissage des cavités, le dépôt d'un revêtement en matériau conducteur au moins sur les flancs verticaux, l'épaisseur de ce revêtement étant strictement inférieure à la moitié de l'épaisseur des lames;

■ le remplissage des cavités par le matériau magnétique est réalisé par dépôt électrolytique en utilisant en tant qu'électrode le revêtement en matériau conducteur;

■ après le remplissage des cavités et avant la gravure du caisson dans le substrat, le procédé comprend la réalisation d'un capot recouvrant l'espace où doit être gravé le caisson et la réalisation d'orifices d'admission dans ce capot, et lors de la gravure du caisson, l'admission par l'intermédiaire de chaque orifice d'admission d'un agent de gravure isotrope pour procéder à la gravure isotrope du caisson sous le capot puis éventuellement le bouchage des orifices;

■ la gravure des cavités dans la face supérieure du substrat est réalisée par un procédé de gravure anisotrope;

■ la gravure des cavités comprend également la gravure, en même temps, de cavités formant un modèle en creux d'électrodes de raccordement électrique des lames à un circuit électrique extérieur;

■ le remplissage des cavités est réalisé en déposant une couche en matériau magnétique sur toute la face supérieure du substrat, y compris en dehors des cavités, puis le procédé comprend la planarisation mécano-chimique de cette face supérieure pour éliminer le dépôt du matériau magnétique situé en dehors des cavités;

[0014] Ces modes de réalisation du procédé de fabrication présentent en outre les avantages suivants :

- graver un substrat en silicium permet d'obtenir des faces verticales presque parfaitement parallèles ce qui réduit la résistance du micro-contacteur en position fermée ;
- revêtir les faces verticales des lames d'un revêtement en matériau conducteur permet d'accroître la conductivité du micro-contacteur en position fermée ;
- utiliser le revêtement conducteur comme couche conductrice lors de la réalisation de l'électrolyse permet de simplifier le procédé de fabrication puisque ce revêtement conducteur n'a pas à être éliminé lors d'une opération subséquente du procédé de fabrication ;
- réaliser le capot directement sur le dessus du substrat contenant les électrodes simplifie le procédé de fabrication puisqu'il n'est plus nécessaire de rapporter ce capot et donc d'avoir à le positionner précisément par rapport au caisson ;
- utiliser une gravure anisotrope pour creuser les ca-

vités permet d'obtenir des flancs parfaitement verticaux ce qui diminue la résistance électrique du micro-contacteur en position fermée ;

- graver en même temps des cavités pour la réalisation des électrodes raccordées aux lames simplifie le procédé de fabrication ;
- la planarisation mécano-chimique de la face supérieure du substrat permet non seulement d'éliminer les dépôts de matériau magnétique situés en dehors des cavités mais également de restaurer une face supérieure plate ce qui facilite la réalisation du capot lors des étapes suivantes.

[0015] L'invention a également pour objet un micro-contacteur actionnable par un champ magnétique, ce micro-contacteur comportant :

- un substrat plan présentant une face supérieure,
- au moins deux lames en matériau magnétique présentant des faces verticales s'étendant perpendiculairement au plan du substrat et définissant entre elles un entrefer, au moins une des lames étant déplaçable, sous l'effet du champ magnétique, entre :
 - une position fermée dans laquelle les faces verticales des deux lames sont directement en contact mécanique l'une avec l'autre pour permettre le passage du courant, et
 - une position ouverte dans laquelle les faces verticales sont séparées l'une de l'autre par l'entrefer pour isoler électriquement une lame de l'autre,

dans lequel les lames sont entièrement reçues à l'intérieur d'un caisson creusé dans le substrat.

[0016] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en se référant aux dessins sur lesquels :

- la figure 1 est une illustration schématique en vue de dessus d'un micro-contacteur ;
- la figure 2 est une illustration schématique en coupe verticale d'une portion du micro-contacteur de la figure 1 ;
- la figure 3 est un organigramme d'un procédé de fabrication du micro-contacteur de la figure 1 ;
- les figures 4 à 8 sont des illustrations schématiques et en coupe verticale de différents états de fabrication du micro-contacteur lors de sa fabrication à l'aide du procédé de la figure 3 ;
- la figure 9 est une illustration schématique et en vue de dessus d'un deuxième mode de réalisation d'un micro-contacteur;
- la figure 11 est une illustration schématique en vue de dessus d'un troisième mode de réalisation possible d'un micro-contacteur.

[0017] Dans ces figures, les mêmes références sont utilisées pour désigner les mêmes éléments.

[0018] Dans la suite de cette description, les caractéristiques et fonctions bien connues de l'homme du métier ne sont pas décrites en détail.

[0019] La figure 1 représente un micro-contacteur 2 actionnable par un champ magnétique extérieur parallèle à une direction X. Ce micro-contacteur 2 est réalisé dans un substrat plan 4 qui s'étend horizontalement c'est-à-dire ici parallèlement aux directions orthogonales X et Y. Dans la suite de cette description, la direction verticale, orthogonale aux directions X et Y, est notée Z.

[0020] Le substrat 4 est un substrat rigide. Par exemple, à cet effet, son épaisseur, dans la direction Z est supérieure à 200 et de préférence supérieure à 500 μm . Il est avantageusement électriquement isolant.

[0021] Par exemple, ici, ce substrat 4 est un substrat en silicium c'est-à-dire comportant au moins 10 % et typiquement plus de 50 % en masse de silicium. Ce substrat est inorganique et non photosensible. Le substrat 4 présente une face supérieure plane 6 horizontale.

[0022] Le micro-contacteur 2 comprend des électrodes 8 et 10 par l'intermédiaire desquelles circule le courant qui traverse ce micro-contacteur. Ces électrodes 8 et 10 sont fixées sans aucun degré de liberté au substrat 4. Ici, ces électrodes 8 et 10 sont des parallélogrammes dont les faces supérieures sont situées dans le même plan que la face supérieure 6. Les faces verticales de ces électrodes s'étendent à l'intérieur du substrat 4. Les faces verticales sont reliées les unes aux autres à l'intérieur du substrat par une face inférieure, par exemple, parallèle à la face supérieure.

[0023] Des lames 12, 14 s'étendent parallèlement à la direction X à partir des électrodes, respectivement, 8 et 10. Les lames 12, 14 sont déplaçables l'une par rapport à l'autre sous l'effet d'un champ magnétique parallèle à cette direction X entre :

- une position ouverte (représentée sur la figure 1) dans laquelle les lames sont isolées électriquement l'une de l'autre par un entrefer 15 rempli d'un gaz diélectrique, et
- une position fermée dans laquelle les lames sont directement mécaniquement en contact l'une avec l'autre pour permettre le passage du courant entre les électrodes 8 et 10.

[0024] Ici, chaque lame a la forme d'un parallélogramme qui s'étend parallèlement à la direction X. Ainsi, comme les électrodes, chaque lame présente :

- une face supérieure située dans le même plan que la face supérieure 6 du substrat 4,
- des faces verticales qui s'enfoncent vers l'intérieur du substrat 4, et
- une face inférieure située en dessous de la face 6 du substrat 4 et, par exemple, parallèle à la face supérieure de cette lame.

[0025] Chaque lame 12, 14 présente une extrémité proximale, respectivement 16, 18, mécaniquement et électriquement raccordées, respectivement, aux électrodes 8 et 10. Ici, les extrémités proximales 16 et 18 sont raccordées sans aucun degré de liberté à leurs électrodes respectives. Ainsi, ces extrémités proximales 16, 18 sont immobiles.

[0026] Dans ce mode de réalisation, les lames ne forment qu'un seul et même bloc de matière avec l'électrode à laquelle elles sont mécaniquement raccordées.

[0027] Chaque lame 12, 14 présente également une extrémité distale, respectivement 20, 22. Ces extrémités distales 20 et 22 sont en vis-à-vis et séparées l'une de l'autre par l'entrefer 15 en position ouverte. A l'inverse, ces extrémités distales sont directement en appui l'une sur l'autre en position fermée.

[0028] Ici, dans ce mode de réalisation, seule l'extrémité distale 20 est flexible pour se déplacer entre les positions ouverte et fermée. L'autre extrémité distale 22 est fixée sans aucun degré de liberté au substrat 4.

[0029] L'extrémité distale 20 se déplace uniquement parallèlement au plan horizontal X, Y. A cet effet, elle est reçue à l'intérieur d'un caisson 24 rempli d'un gaz diélectrique tel que de l'air ou autre. Plus précisément, l'extrémité distale 20 fléchit pour atteindre la position fermée à partir de la position ouverte. Les déformations subies par l'extrémité distale 20 entre les positions fermée et ouverte sont toutes élastiques pour lui permettre de revenir automatiquement à la position ouverte en absence de sollicitation extérieure.

[0030] Pour être flexible, l'extrémité distale 20 est beaucoup plus longue dans la direction X qu'épaisse dans la direction Y. Par exemple, l'extrémité distale 20 est cinq, dix ou cinquante fois plus longue qu'épaisse. Ici, l'épaisseur de l'extrémité distale 20 est inférieure à 100 μm et de préférence inférieure à 50 ou 10 μm .

[0031] La hauteur de l'extrémité distale 20 dans la direction Z est typiquement dans cet exemple de l'ordre de 20 à 50 μm .

[0032] La hauteur de l'extrémité distale fixe 22 est ici égale à la hauteur de l'extrémité distale mobile 20.

[0033] La largeur et la longueur de l'extrémité distale fixe 22 peuvent être quelconques à partir du moment où il y a suffisamment de matériau magnétique pour concentrer le champ magnétique extérieur parallèle à la direction X. De façon similaire, les dimensions de la lame 12 sont suffisamment grandes pour rester capable de concentrer le champ magnétique extérieur parallèle à la direction X.

[0034] L'essentiel des lames 12, 14 et des électrodes 8, 10 est réalisé en matériau magnétique doux. Un matériau magnétique doux est un matériau présentant une perméabilité relative dont la partie réelle à basse fréquence est supérieure à 1 000. Un tel matériau présente typiquement une excitation coercitive pour le démagnétiser inférieure à 100 A.m⁻¹. Par exemple, le matériau magnétique doux utilisé ici est un alliage de fer et de nickel.

[0035] Pour accroître la conductivité électrique des la-

mes, les faces verticales et inférieures de ces lames sont recouvertes d'un revêtement 28 conducteur. Il en est de même pour les faces verticales et inférieures des électrodes 8, 10. Par exemple, ce revêtement est réalisé en rhodium (Ro) ou en ruthénium (Ru) ou en platine (Pt). Le micro-contacteur 2 comporte également un capot 30 (figure 2) qui recouvre le caisson 24. Pour simplifier la figure 1, ce capot n'a pas été représenté sur celle-ci.

[0036] La figure 2 représente le micro-contacteur 2 en coupe verticale selon un plan de coupe I-I représenté sur la figure 1. Sur cette figure, le capot 30 qui recouvre le caisson 24 est représenté. Ce capot 30 permet d'éviter que des impuretés pénètrent à l'intérieur du caisson 24 et viennent gêner le déplacement de la lame 12. On remarque sur cette figure, que toutes les parois du caisson et, en particulier le fond du caisson, sont formées dans le substrat 4 et par le substrat 4. Le caisson 24 est un évidement borgne creusé à l'intérieur du substrat 4.

[0037] Lorsqu'un champ magnétique extérieur est appliqué parallèlement à la direction X, celui-ci est concentré et guidé par les lames 12 et 14. Les lignes de champs de ce champ magnétique sont symbolisées par une flèche F sur la figure 1. Cela crée une force dans l'entrefer 15 qui tend à réduire cet entrefer. Cette force fait fléchir l'extrémité distale 20 jusqu'à ce que celle-ci vienne en contact avec l'extrémité distale 22. Ainsi, un champ magnétique extérieur permet de déplacer la lame 12 entre sa position ouverte et sa position fermée. Lorsque le champ magnétique extérieur disparaît, l'extrémité distale 20 revient vers la position ouverte à la manière d'une lame ressort c'est-à-dire par déformation élastique.

[0038] La fabrication du micro-contacteur 2 va maintenant être décrite plus en détail à l'aide du procédé de la figure 3.

[0039] Le procédé de fabrication décrit est un procédé de fabrication collectif utilisant les technologies des procédés de fabrication de la microélectronique. Il débute donc par la fourniture d'une galette de silicium plus connue sous le terme de « Wafer » sur laquelle vont être simultanément fabriqués plusieurs micro-contacteurs à l'aide des mêmes opérations. Pour simplifier la description qui suit, les différentes étapes de fabrication sont décrites uniquement dans le cas d'un seul micro-contacteur. Différents états de fabrication obtenus lors du procédé de la figure 3 sont représentés en coupe verticale sur les figures 4 à 8.

[0040] Lors d'une étape 40, une couche 41 (figure 4) de résine photosensible est déposée sur la face supérieure 6 du substrat 4. Puis les zones où doivent être creusées les cavités dans le substrat 4 sont définies par insolation de la résine. Ces zones correspondent à l'emplacement des électrodes et des lames. Il s'agit ici d'une étape classique de photolithographie.

[0041] Lors d'une étape 42, on procède à une gravure anisotrope des zones définies pour creuser directement dans le substrat des cavités 44, 46 (figure 4) formant un modèle en creux des lames 12 et 14 et des électrodes 8 et 10. Par gravure anisotrope on désigne ici une gravure

dont la vitesse de gravure dans la direction Z est au moins dix fois et de préférence cinquante ou cent fois supérieure à la vitesse de gravure dans les directions horizontales X et Y. Autrement dit, la vitesse de gravure horizontale est négligeable par rapport à la vitesse de gravure dans la direction verticale. Cela permet d'obtenir des flancs plus verticaux que si la gravure était réalisée à l'aide d'autres procédés de gravure. Notamment, les flancs des cavités 44, 46 ainsi creusées sont plus verticaux que si elles avaient été creusées dans une résine photosensible ou à l'aide d'un autre procédé de gravure. Par exemple, on utilise ici une gravure par plasma ou une gravure chimique profonde du silicium (« deep silicon chemical etching »).

[0042] Lors d'une étape 48, la couche 41 de résine photosensible est retirée et l'on dépose le revêtement conducteur 28 sur l'ensemble de la face supérieure. Ainsi, ce revêtement conducteur recouvre non seulement les flancs verticaux des cavités mais également le fond des cavités ainsi que la face supérieure 6 du substrat.

[0043] Lors d'une étape 50, les cavités sont remplies par un matériau magnétique doux 52 (figure 5). Ici, le remplissage est réalisé par dépôt électrolytique en utilisant comme électrode conductrice le revêtement 28. Ainsi, ce revêtement 28 remplit également la fonction de couche de germination (« seed layer »). Puisque le revêtement 28 s'étend sur toute la face supérieure du substrat 4, le matériau 52 est également déposé sur toute la face supérieure du substrat 4 ainsi qu'à l'intérieur des cavités 44 et 46. On obtient alors l'état représenté sur la figure 5.

[0044] Lors d'une étape 54, on procède à la planarisation mécano-chimique du substrat 4 pour rétablir la face supérieure 6 plane du substrat 4. La planarisation mécano-chimique est plus connue sous l'acronyme CMP (« Chemical mechanical planarization »). Cette étape de planarisation est ici utilisée pour éliminer le matériau 52 et le revêtement 58 situé en dehors des cavités 44 et 46. A l'issue de cette étape on obtient l'état représenté sur la figure 6.

[0045] Lors d'une étape 56, le capot 30 est déposé à l'emplacement où doit être creusé le caisson 24. Pour cela, ici, on procède au dépôt d'une surépaisseur 58 (figure 7) de matériau au-dessus de la zone où doit être creusé le caisson 24. Le matériau utilisé pour créer cette surépaisseur 58 est susceptible d'être gravé par le même agent de gravure isotrope que le substrat 4. Par exemple, ici, il s'agit de silicium. Cette surépaisseur 58 permet d'isoler le capot 30 de la face supérieure des extrémités distales 20 et 22. Ensuite, toujours lors de cette étape 56, une couche mince 59 est déposée sur l'ensemble de la face supérieure du substrat 4. Cette couche mince 59 est réalisée dans un matériau résistant à l'agent de gravure isotrope. Enfin, on réalise dans cette couche mince 59 formant le capot 30 des orifices d'admission 60 de l'agent de gravure isotrope. Pour simplifier la figure 7, un seul des orifices 60 a été représenté. Ces orifices sont disposés au-dessus de l'emplacement où doit être creu-

sé le caisson 24.

[0046] Lors d'une étape 62, on procède à la gravure directement du substrat 4 pour réaliser le caisson 24. Lors de cette étape la gravure réalisée est isotrope. Une gravure isotrope est une étape de gravure lors de laquelle les vitesses de gravure dans les directions X, Y sont égales à la vitesse de gravure dans la direction Z à plus ou moins 50 % près et, de préférence, à plus ou moins 20 ou 10 % près.

[0047] Lors de l'étape 62, l'agent de gravure isotrope est mis en contact direct avec le silicium à graver par l'intermédiaire des orifices d'admission 60. L'agent de gravure utilisé est choisi pour ne pas réagir avec le matériau magnétique doux 52 et le revêtement 28. Par exemple, l'agent de gravure est un gaz XeF₂.

[0048] Puisque l'agent de gravure est un agent de gravure isotrope, il dégage les faces verticales des extrémités 20 et 22 et, en même temps, le dessous, c'est-à-dire la face inférieure, de l'extrémité distale 20 (figure 8).

[0049] Ainsi, à l'issue de cette étape de gravure isotrope, le caisson 24 est réalisé.

[0050] Enfin, lors d'une étape 66, les orifices d'admission 60 sont éventuellement refermés et la galette sur laquelle ont été collectivement réalisés les différents micro-contacteurs est découpée pour les isoler mécaniquement les uns des autres.

[0051] La figure 9 représente un micro-contacteur 70 identique au micro-contacteur 2 à l'exception du fait que la lame 14 est remplacée par une lame 72 flexible. Par exemple, la lame 72 est identique à la lame 12 mais mécaniquement raccordée par son extrémité proximale à l'électrode 10. Pour que l'extrémité distale de la lame 72 puisse se déplacer en réponse à l'application d'un champ magnétique parallèle à la direction X, le caisson 24 est remplacé par un caisson 74 plus vaste. Plus précisément, le caisson 74 entoure l'extrémité distale 20 de la lame 12 ainsi qu'une extrémité distale 76 de la lame 72 de manière à permettre un déplacement de ces deux extrémités distales par rapport au substrat 4 entre les positions ouverte et fermée.

[0052] Le fonctionnement du micro-contacteur 70 est également identique à celui du micro-contacteur 2 à l'exception du fait que lorsqu'un champ magnétique extérieur est appliqué le long de la direction X, les extrémités distales 20 et 76 se déplacent toutes les deux pour venir en contact l'une avec l'autre.

[0053] Le procédé de fabrication du micro-contacteur 70 est identique à celui décrit au regard de la figure 3 à l'exception du fait que les orifices d'admission 60 sont disposés de manière à obtenir le caisson 74 qui entoure les extrémités distales 20 et 76.

[0054] La figure 10 représente un micro-contacteur 80 réalisé sur un substrat plan 82. Pour simplifier la figure 10, le capot qui recouvre ce micro-contacteur n'a pas été représenté. Typiquement, le micro-contacteur 80 décrit ici est un micro-contacteur une entrée, deux sorties également connu sous l'acronyme de SPDT (« Single Pole, Double Throw »).

[0055] Ce micro-contacteur 80 comporte une lame flexible 84 dont une extrémité proximale est fixée sans aucun degré de liberté à une électrode 86 elle-même fixée sans aucun degré de liberté au substrat 82. La lame 84 est réalisée en matériau magnétique doux. Elle présente une extrémité distale 88 déplaçable entre :

- une position ouverte (représentée sur la figure 10) dans laquelle elle est électriquement isolée d'une lame fixe 92 par un entrefer 90 et d'une lame fixe 96 par un entrefer 94,
- une première position fermée PF1 dans laquelle elle est directement mécaniquement en contact avec la lame 92 pour permettre une circulation de courant entre l'électrode 86 et une électrode 100, et
- une seconde position fermée PF2 dans laquelle elle est directement mécaniquement en contact avec la lame 96 pour permettre une circulation de courant entre l'électrode 86 et une électrode 102.

[0056] Pour pouvoir se déplacer, l'extrémité distale 88 est entièrement reçue dans un caisson 104 creusé dans le substrat 82.

[0057] La lame 88 fléchit pour se déplacer vers la position fermée PF1 ou PF2. Toutefois, ces déformations sont élastiques pour permettre à cette lame de revenir automatiquement dans sa position ouverte en absence de tout champ magnétique.

[0058] Les lames 92, 96 et les électrodes 100 et 102 sont fixées sans aucun degré de liberté au substrat 82.

[0059] Le micro-contacteur 80 comprend également deux électrodes 106 et 108 d'actuation électrostatique. Chacune de ces électrodes 106 et 108 présente une plaque, respectivement 110 et 112, en vis-à-vis de l'extrémité distale 88. Les plaques 110 et 112 sont disposées chacune d'un côté respectif de l'extrémité distale 88. Plus précisément, la plaque 110 est agencée pour exercer une force électrostatique sur cette extrémité distale 88 propre à la déplacer jusqu'à la position fermée PF1. La plaque 112 est quant à elle agencée pour exercer une force électrostatique sur cette même extrémité distale 88 de sens opposé de manière à la déplacer jusqu'à la position fermée PF2.

[0060] Le micro-contacteur 80 comporte également une source 116 de champ magnétique propre à maintenir l'extrémité 88 dans l'une quelconque de ses positions fermées sans que les électrodes 106 et 108 ne soient alimentées. A cet effet, la source 116 génère un champ magnétique permanent parallèle à la direction X. Par exemple, cette source 116 est un aimant permanent. La source 116 est incorporée ou non au substrat 82.

[0061] Dans ces conditions, pour faire passer l'extrémité distale 88 de la position fermée PF1 vers la position fermée PF2, une tension est appliquée sur l'électrode 108. Cette tension est suffisante pour que la force électrostatique qui s'exerce entre l'extrémité distale 88 et la plaque 112 ramène l'extrémité distale 88 vers la seconde position fermée. Ensuite, l'alimentation de l'électrode

108 est coupée et l'extrémité distale reste dans sa seconde position fermée sous l'effet du champ magnétique généré par la source 116.

[0062] Pour faire passer l'extrémité distale 88 de la position fermée PF2 vers la position fermée PF1, les opérations sont les mêmes sauf que l'on alimente l'électrode 106 à la place de l'électrode 108.

[0063] Le procédé de fabrication du micro-contacteur 80 est similaire à celui décrit au regard de la figure 3 sauf que l'on réalise en plus des cavités formant un modèle en creux des électrodes et des lames, des cavités supplémentaires formant un modèle en creux des électrodes 106 et 108. Ensuite, les mêmes étapes que celles décrites en regard du procédé de la figure 3 sont appliquées pour remplir ces cavités, éliminer le matériau magnétique doux et le revêtement situés en dehors de ces cavités et enfin réaliser le capot et le caisson 104.

[0064] Comme dans les précédents modes de réalisation, l'ensemble des électrodes et des lames est situé à l'intérieur du substrat, c'est-à-dire en dessous de la face supérieure de celui-ci.

[0065] De nombreux autres modes de réalisation sont possibles. Par exemple, le revêtement conducteur 28 peut être omis. Une autre technique de dépôt pourra dans ce cas être utilisée, par exemple un dépôt physique en phase vapeur (PVD, Physical vapor deposition). Dans un autre mode de réalisation, ce revêtement conducteur est d'abord déposé puis ensuite retiré par gravure.

[0066] Le substrat 4 peut être réalisé dans d'autres matériaux tels que le verre.

[0067] Un micro-contacteur peut avoir plusieurs paires de lames électriquement raccordées aux mêmes électrodes.

[0068] La forme de la lame fixe peut être quelconque. En particulier, il n'est pas nécessaire qu'elle soit plus longue qu'épaisse puisque celle-ci ne se déforme pas.

[0069] D'autres procédés de gravure anisotrope ou isotrope peuvent être utilisés.

[0070] En variante, les cavités peuvent n'être que partiellement remplies de matériau magnétique de façon à ce que la face supérieure des lames soit située en dessous de la face supérieure du substrat.

[0071] D'autres procédés de fabrication que ceux décrits ici sont possibles pour la fabrication d'un micro-contacteur dont les lames sont entièrement reçues à l'intérieur d'un caisson et ne font donc pas saillie au-delà de la face supérieure du substrat.

Revendications

1. Procédé de fabrication, sur un substrat plan, d'un micro-contacteur actionnable par un champ magnétique, **caractérisé en ce que** le procédé comprend :

a) la gravure (42) dans une face supérieure du substrat plan de cavités formant un modèle en creux de deux lames, ces cavités présentant des

flancs verticaux s'étendant perpendiculairement au plan du substrat pour former des faces verticales des lames, puis

b) le remplissage (50) des cavités par un matériau magnétique pour former les lames, puis

c) la gravure (62) dans le substrat, par un procédé de gravure isotrope, d'un caisson qui s'étend entre les faces verticales des lames et dessous et autour d'une extrémité distale d'au moins une des lames pour dégager un entrefer entre ces lames et rendre cette extrémité distale déplaçable entre :

- une position fermée dans laquelle les faces verticales des deux lames sont directement en contact mécanique l'une avec l'autre pour permettre le passage d'un courant, et

- une position ouverte dans laquelle les faces verticales sont séparées l'une de l'autre par l'entrefer pour isoler électriquement une lame de l'autre.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel les étapes de gravure (42, 62) sont des étapes de gravure d'un substrat en silicium.

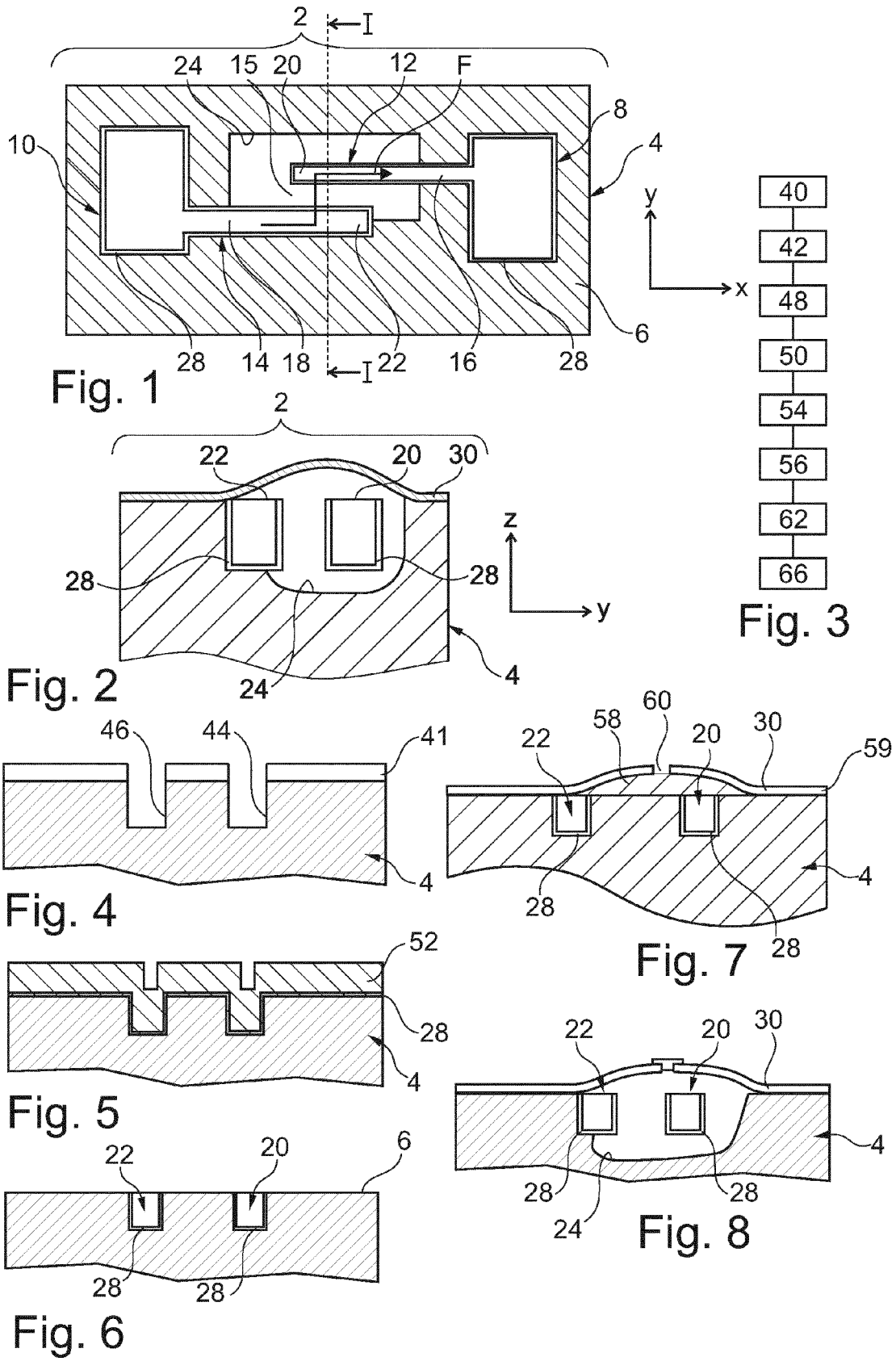
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le procédé comprend, avant le remplissage des cavités, le dépôt (48) d'un revêtement en matériau conducteur au moins sur les flancs verticaux, l'épaisseur de ce revêtement étant strictement inférieure à la moitié de l'épaisseur des lames.

4. Procédé selon la revendication 3, dans lequel le remplissage (50) des cavités par le matériau magnétique est réalisé par dépôt électrolytique en utilisant en tant qu'électrode le revêtement en matériau conducteur.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel après le remplissage des cavités et avant la gravure du caisson dans le substrat, le procédé comprend la réalisation (56) d'un capot recouvrant l'espace où doit être gravé le caisson et la réalisation d'orifices d'admission dans ce capot, et lors de la gravure (62) du caisson, l'admission par l'intermédiaire de chaque orifice d'admission d'un agent de gravure isotrope pour procéder à la gravure isotrope du caisson sous le capot puis éventuellement le bouchage des orifices.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la gravure (42) des cavités dans la face supérieure du substrat est réalisée par un procédé de gravure anisotrope.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la gravure (42) des cavités comprend également la gravure, en même temps, de cavités formant un modèle en creux d'électrodes de raccordement électrique des lames à un circuit électrique extérieur. 5
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le remplissage (50) des cavités est réalisé en déposant une couche en matériau magnétique sur toute la face supérieure du substrat, y compris en dehors des cavités, puis le procédé comprend la planarisation mécano-chimique (54) de cette face supérieure pour éliminer le dépôt du matériau magnétique situé en dehors des cavités. 10 15
9. Micro-contacteur actionnable par un champ magnétique, ce micro-contacteur comportant : 20
- un substrat plan (4) présentant une face supérieure (6),
 - au moins deux lames (12, 14; 72; 84, 92, 96) en matériau magnétique présentant des faces verticales s'étendant perpendiculairement au plan du substrat et définissant entre elles un entrefer (15; 90, 92), au moins une des lames étant déplaçable, sous l'effet du champ magnétique, entre : 25 30
- une position fermée dans laquelle les faces verticales des deux lames sont directement en contact mécanique l'une avec l'autre pour permettre le passage du courant, et 35
 - une position ouverte dans laquelle les faces verticales sont séparées l'une de l'autre par l'entrefer pour isoler électriquement une lame de l'autre, 40
- caractérisé en ce que** les lames (12, 14; 72; 84, 92, 96) sont entièrement reçues à l'intérieur d'un caisson (24; 74; 104) creusé dans le substrat. 45 50 55



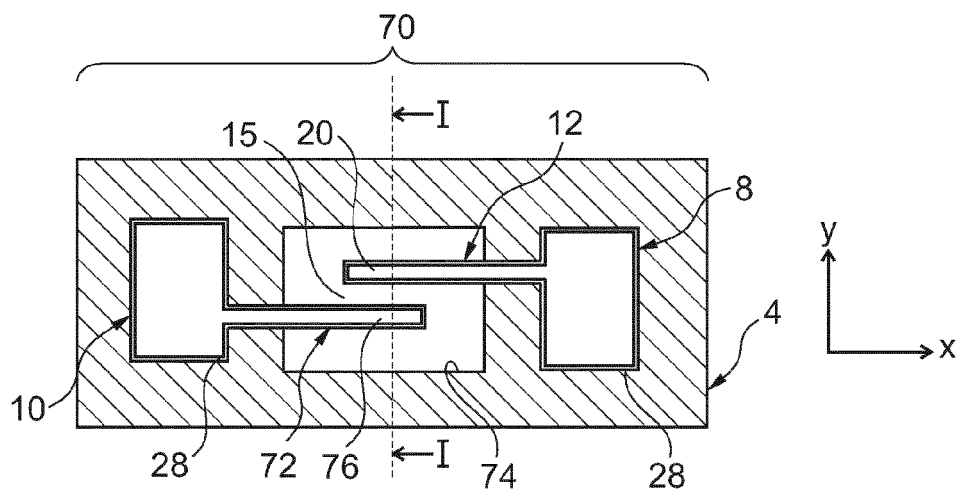


Fig. 9

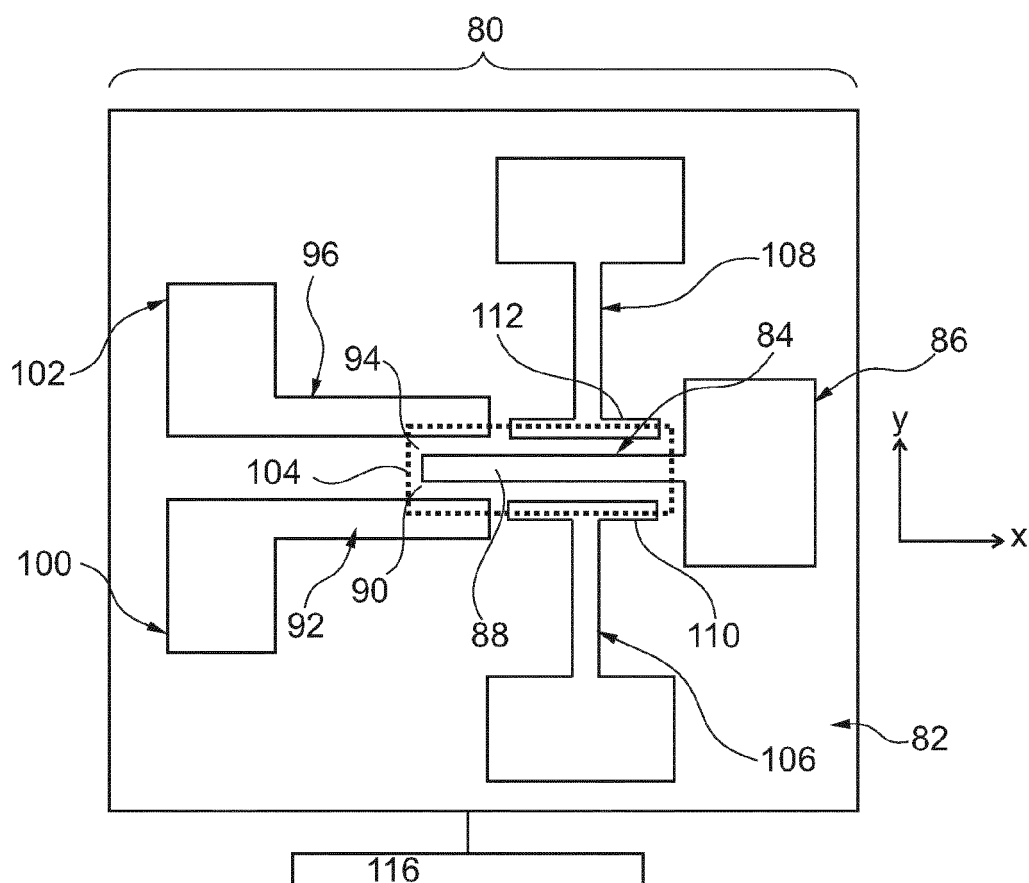


Fig. 10



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 11 19 5895

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	JP 2008 243450 A (OKI SENSOR DEVICE CORP) 9 octobre 2008 (2008-10-09)	9	INV. H01H11/00 B81C1/00
Y	* abrégé; figures 1-9 * * alinéas [0008] - [0015] * -----	1-8	
Y	US 2007/046392 A1 (HSU LOUIS C [US] ET AL) 1 mars 2007 (2007-03-01) * alinéas [0041] - [0056]; figures 2-16 * -----	1-8	
Y	WO 98/34269 A1 (CALIFORNIA INST OF TECHN [US]) 6 août 1998 (1998-08-06) * page 36, ligne 7 - page 44, ligne 4; figures 15-18 * -----	2,6	
Y	EP 1 108 677 A1 (ASULAB SA [CH]) 20 juin 2001 (2001-06-20) * alinéa [0051] - alinéa [0054]; figures 7-21 * -----	5	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01H B81C
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 16 avril 2012	Examineur Mäki-Mantila, M
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

EPO FORM 1503 03 82 (P04G02)

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

EP 11 19 5895

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

16-04-2012

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 2008243450	A	09-10-2008	AUCUN	

US 2007046392	A1	01-03-2007	CN 101496220 A	29-07-2009
			EP 1920493 A2	14-05-2008
			JP 4717118 B2	06-07-2011
			JP 2009507343 A	19-02-2009
			KR 20080041676 A	13-05-2008
			US 2007046392 A1	01-03-2007
			US 2008092367 A1	24-04-2008
			WO 2007027813 A2	08-03-2007

WO 9834269	A1	06-08-1998	EP 0968530 A1	05-01-2000
			WO 9834269 A1	06-08-1998

EP 1108677	A1	20-06-2001	AT 340761 T	15-10-2006
			CN 1305944 A	01-08-2001
			DE 69933380 T2	02-08-2007
			EP 1108677 A1	20-06-2001
			JP 4777510 B2	21-09-2011
			JP 2001237334 A	31-08-2001
			KR 20010077941 A	20-08-2001
			US 2001004085 A1	21-06-2001

EPO FORM P0460

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- US 20090237188 A [0006]
- JP 2008243450 A [0009]
- US 2007046392 A1 [0009]
- WO 9834269 A1 [0009]
- EP 1108677 A1 [0009]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **S. ROTH ; C. MARXER ; G. FEUSIER ; N. F. DE ROOIJ.** One mask nickel micro-fabricated reed relay.
IEE 0-7803-5273-4, 2000 [0006]