



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
25.07.2012 Bulletin 2012/30

(51) Int Cl.:
H01H 9/40 (2006.01) H01H 36/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **12151370.9**

(22) Date de dépôt: **17.01.2012**

(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

(72) Inventeurs:
• **Vuillermet, Yannick**
73000 Chambéry (FR)
• **Sibuet, Henri**
38500 La Buisse (FR)

(30) Priorité: **19.01.2011 FR 1150424**

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

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

(54) **Contacteur et interrupteur**

(57) L'invention concerne un contacteur actionnable par un champ magnétique dans lequel :
- des première et seconde lames (12, 14) comportent des plots formant plusieurs paires de plots P_{1i} , P_{2i} en vis-à-vis, immédiatement consécutives le long d'une direction longitudinale, et
- chaque lame (12, 14) comprend au moins un pont Pt_{ji} , chaque pont reliant mécaniquement directement deux

plots P_{ji} , $P_{j,i+1}$ immédiatement consécutifs d'une même lame, la section transversale de ce pont Pt_{ji} étant réduite par rapport à la section transversale des plots P_{ji} et $P_{j,i+1}$ et la surface $S_{Pt_{ji}}$ de la plus petite section transversale du pont Pt_{ji} vérifiant la relation suivante : $0 < S_{Pt_{ji}} < 2/3 S_{Zi}$, où S_{Zi} est la surface d'une zone de recouvrement entre des faces de contact d'une paire de plots P_{1i} , P_{2i} , j est un indice identifiant la lame et i est un indice identifiant le plot de cette lame.

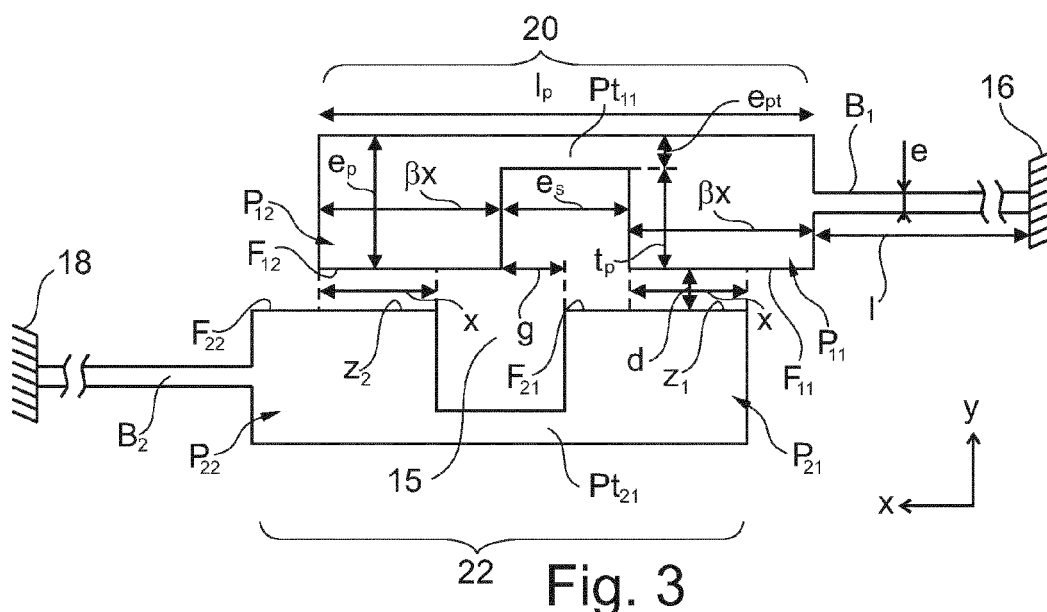


Fig. 3

Description

[0001] L'invention concerne un contacteur actionnable par un champ magnétique ainsi qu'un interrupteur comportant ce contacteur.

[0002] Les contacteurs actionnables par un champ magnétique sont également connus sous le terme de "reed".

[0003] Des contacteurs connus comportent au moins une première et une seconde lames en matériau magnétique s'étendant le long d'une direction longitudinale:

- la première lame comportant au moins un plot P_{1i} présentant une face de contact F_{1i} ,
- la seconde lame comportant au moins un plot P_{2i} en vis-à-vis du plot P_{1i} et présentant une face de contact F_{2i} , les plots P_{1i} et P_{2i} étant en vis-à-vis lorsque l'intersection de la projection selon une direction transversale, perpendiculaire à la direction longitudinale, de la face F_{1i} sur la face F_{2i} et la face F_{2i} forme une zone Z_i de recouvrement dont la surface S_{zi} est strictement supérieure à zéro,

au moins un plot de chaque paire de plots P_{1i} , P_{2i} en vis-à-vis étant déplaçable le long de la direction transversale, sous l'effet du champ magnétique, entre :

- une position fermée dans laquelle les faces F_{1i} et F_{2i} 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 F_{1i} et F_{2i} sont séparées l'une de l'autre par un entrefer pour les isoler électriquement l'une de l'autre.

[0004] Lorsque au moins l'un des plots est en position fermée, on dit que le contacteur est en position fermée. Le contacteur est en position ouverte lorsque tous les plots sont en position ouverte.

[0005] L'invention vise à diminuer la résistance de ce contacteur en position fermée. Elle a donc pour objet un contacteur dans lequel:

- les première et seconde lames comportent des plots formant plusieurs paires de plots P_{1i} , P_{2i} en vis-à-vis, immédiatement consécutives le long de la direction longitudinale, et
- chaque lame comprend au moins un pont Pt_{ji} , chaque pont reliant mécaniquement directement deux plots P_{ji} , $P_{j,i+1}$ immédiatement consécutifs d'une même lame, la section transversale de ce pont Pt_{ji} étant réduite par rapport à la section transversale des plots P_{ji} et $P_{j,i+1}$ et la surface S_{Ptji} de la plus petite section transversale du pont Pt_{ji} vérifiant la relation suivante : $0 < S_{Ptji} < 2/3 S_{zi}$, où j est un indice identifiant la lame et i est un indice identifiant le plot de cette lame.

[0006] Le contacteur ci-dessus présente une résistance en position fermée plus petite que celle d'un contacteur de référence identique mais pourvu d'une seule paire de plots. En effet, étant donné que la section transversale des ponts Pt_{ji} est petite devant la surface S_{zi} de la zone de recouvrement (c'est-à-dire que la surface S_{Ptji} est inférieure au 2/3 de la surface S_{zi}), la majorité du flux magnétique concentré par le plot P_{1i} traverse la zone de recouvrement plutôt que le pont Pt_{1i} . Les plots de chaque paire de plots P_{1i} , P_{2i} sont donc attirés l'un vers l'autre sous l'effet du champ magnétique par une force proche de celle qui est observée pour le contacteur de référence. La résistance R_i entre les plots de chaque paire de plots P_{1i} , P_{2i} en position fermée est donc aussi proche de celle qui est observée pour le contacteur de référence. Toutefois, le contacteur ci-dessus présente $\underline{n}$ paires de plots P_{1i} , P_{2i} et donc $\underline{n}$ résistances R_i en parallèle lorsque le contacteur est en position fermée. La résistance en position fermée du contacteur ci-dessus est donc bien plus petite que celle du contacteur de référence à cause de cette mise en parallèle de plusieurs résistances R_i .

[0007] En fait, la résistance en position fermée du contacteur ci-dessus est proche de celle qui serait obtenue en raccordant en parallèle $\underline{n}$ contacteurs de référence. Toutefois, par rapport à cette mise en parallèle de $\underline{n}$ contacteurs de référence, le contacteur ci-dessus présente un encombrement beaucoup plus réduit. En effet, les ponts Pt_{ji} raccordent mécaniquement et électriquement les différents plots entre eux.

Il n'est donc pas nécessaire de prévoir des pistes électriques spécifiques pour raccorder en parallèle les paires de plots comme cela serait le cas si $\underline{n}$ contacteurs de référence étaient raccordés en parallèle. De plus, l'encombrement du contacteur ci-dessus est réduit. Plus précisément, plus le nombre $\underline{n}$ de paires de plots augmente, plus les première et seconde lames se chevauchent. Ainsi, il a été estimé que l'encombrement du contacteur ci-dessus est inférieur à $nS/2$, où S est l'encombrement du contacteur de référence alors que l'encombrement de $\underline{n}$ contacteurs de référence en parallèle est sensiblement égal à nS . L'encombrement du contacteur est représenté par la surface qu'il occupe dans un plan parallèle aux directions longitudinale et transversale.

[0008] Les modes de réalisation de ce contacteur peuvent comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- la surface S_{zi} de chaque zone de recouvrement vérifie les deux relations suivantes : $0 < S_{zi} \leq S_{1i}/3$ et $0 < S_{zi} \leq S_{2i}/$

3, où S_{ij} est la surface de la face de contact F_{ij} ;

- chaque plot P_{ji} est un parallélogramme, s'étendant parallèlement à la direction longitudinale, d'épaisseur e_{pji} dans la direction transversale et la zone de recouvrement est un rectangle de longueur x dans la direction longitudinale, la longueur x étant égale à $e_{pji}/2$ à plus ou moins 30 % près;
- au moins l'un des plots P_{ji} est en vis-à-vis du plots P_{2i} et du plot $P_{2,i+1}$;
- les surfaces S_{Zi} des zones de recouvrement sont toutes égales et les dimensions des plots P_{ij} sont également toutes égales entre elles;
- le contacteur comporte un substrat plan à l'intérieur duquel est creusé un caisson et les lames sont entièrement reçues à l'intérieur de ce caisson;
- chaque pont P_{tji} correspond au fond d'une rainure dont l'ouverture est tournée vers l'entrefer.

[0009] Ces modes de réalisation du contacteur présente en outre les avantages suivants :

- avoir une zone de recouvrement beaucoup plus petite que la surface S_{1i} ou S_{2i} du plot concentre le flux magnétique dans cette zone de recouvrement, ce qui augmente la force de contact en position fermée et diminue par conséquent la résistance du contacteur en position fermée ;
- choisir une longueur x pour la zone de recouvrement proche de la moitié de l'épaisseur e_{pji} permet de maximiser la force de contact tout en minimisant l'encombrement du contacteur ;
- avoir un plot P_{1i} en vis-à-vis du plots P_{2i} et du plot $P_{2,i+1}$ permet d'augmenter le nombre de contacts en position fermée et donc de diminuer encore plus la résistance du contacteur en position fermée ;
- dimensionner les différents plots et leur positionnement pour obtenir des forces de contact entre chaque paire de plots sensiblement égales permet de diminuer la résistance du contacteur en position fermée tout en limitant l'augmentation de son encombrement ;
- loger les lames entièrement à l'intérieur d'un caisson facilite la réalisation d'un capot isolant ce caisson de l'environnement extérieur.

[0010] L'invention a également pour objet un interrupteur comportant :

- le contacteur ci-dessus, et
- une source d'induction B_0 parallèle à la direction longitudinale sous l'effet de laquelle les plots se déplacent de leur position ouverte vers leur position fermée, dans lequel les dimensions des plots sont telles que l'intensité de l'induction magnétique B_0 permet de saturer ces plots P_{1i} et P_{2i} tandis qu'une induction magnétique B_1 identique à l'induction B_0 sauf que son intensité est égale à 80% de l'intensité de l'induction B_0 ne permet pas de saturer ces plots P_{1i} et P_{2i} .

[0011] Dimensionner les plots P_{ji} pour qu'ils soient juste saturés par le champ B_0 permet de limiter au maximum l'encombrement du contacteur et donc de l'interrupteur.

[0012] 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 d'un interrupteur équipé d'un contacteur actionnable par un champ magnétique,
- la figure 2 est une illustration schématique en coupe partielle du contacteur de la figure 1,
- la figure 3 est une illustration schématique de la conformation des extrémités de lames du contacteur de la figure 1,
- la figure 4 est un organigramme d'un procédé de dimensionnement des extrémités du contacteur de la figure 1,
- la figure 5 est un organigramme d'un procédé de fabrication du contacteur de la figure 1,
- les figures 6 à 10 sont des illustrations schématiques et en coupe verticale du contacteur de la figure 1 dans différents états de fabrication,
- les figures 11 et 12 sont des illustrations schématiques en vue de dessus de deux autres modes de réalisation possibles pour les extrémités du contacteur de la figure 1,
- la figure 13 est un organigramme d'un procédé de dimensionnement des extrémités du mode de réalisation de la figure 12, et
- la figure 14 est une illustration schématique et en vue de dessus d'un autre mode de réalisation possible des extrémités du contacteur de la figure 1.

[0013] Dans ces figures, les mêmes références sont utilisées pour désigner les mêmes éléments.

[0014] Dans la suite de cette description, les caractéristiques et fonctions bien connues de l'homme du métier ne sont pas décrites en détail.

[0015] La figure 1 représente un interrupteur 1 équipé :

- d'un micro-contacteur 2 actionnable par un champ magnétique, et
- d'une source 3 commandable de champ magnétique.

[0016] La source 3 génère lorsqu'elle est commandée un champ ou une induction magnétique B_0 parallèle à une direction longitudinale X. En absence de commande, la source 3 ne génère aucun champ magnétique.

[0017] Le micro-contacteur 2 est un contacteur. Toutefois, il diffère des contacteurs macroscopiques entre autres par son 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.

[0018] Le 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.

[0019] 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.

[0020] 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.

[0021] 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 parallélépipèdes 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.

[0022] 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.

[0023] Ici, chaque lame a principalement la forme d'un parallélépipède 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.

[0024] 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.

[0025] 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.

[0026] 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. L'épaisseur de l'entrefer dans la direction Y est notée d. A l'inverse, ces extrémités distales sont directement en appui l'une sur l'autre en position fermée.

[0027] Ici, dans ce mode de réalisation, les deux extrémités distales 20, 22 sont flexibles pour se déplacer entre les positions ouverte et fermée.

[0028] Les extrémités distales 20, 22 se déplacent uniquement parallèlement au plan horizontal X, Y. A cet effet, elles sont reçues à l'intérieur d'un caisson 24 rempli d'un gaz diélectrique tel que de l'air ou autre. Plus précisément, chaque extrémité distale 20, 22 fléchit pour atteindre la position fermée à partir de la position ouverte. Les déformations subies par chaque extrémité distale 20, 22 entre les positions fermée et ouverte sont toutes élastiques pour lui permettre de revenir automatiquement à la position ouverte en absence de sollicitation extérieure.

[0029] Pour être flexible, chaque extrémité distale 20, 22 est beaucoup plus longue dans la direction X qu'épaisse dans la direction Y. Par exemple, chaque extrémité distale 20, 22 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 30 μm .

[0030] La hauteur e_c de chaque extrémité distale 20, 22 dans la direction Z est typiquement dans, cet exemple, de l'ordre de 20 à 50 μm .

[0031] Ici les extrémités distales 20, 22 sont conformées pour limiter la résistance du micro-contacteur en position fermée. Un exemple d'une telle conformation est décrit en référence à la figure 3.

[0032] 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 ou égale 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.

[0033] Pour accroître la conductivité électrique des lames, 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 peut comporter 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.

[0034] La figure 2 représente le micro-contacteur 2 en coupe verticale selon un plan de coupe 1-1 représenté sur la figure 1. Sur cette figure, un 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 des lames 12, 14. Il permet également d'éviter l'oxydation du contact.

[0035] 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 des forces dans l'entrefer 15 qui tendent à réduire cet entrefer. Ces forces font fléchir chaque extrémité distale 20, 22 jusqu'à ce que celles-ci viennent en contact l'une avec l'autre. Ainsi, un champ magnétique extérieur permet de déplacer les lames 12, 14 entre la position ouverte et la position fermée. Lorsque le champ magnétique extérieur disparaît, les extrémités distales 20, 22 reviennent vers la position ouverte à la manière d'une lame ressort c'est-à-dire par déformation élastique.

[0036] La figure 3 représente plus en détail la conformation des extrémités 20 et 22 mise en oeuvre pour diminuer la résistance du micro-contacteur 2 en position fermée. Ici, chaque extrémité 20, 22 comporte plusieurs plots P_{ji} disposés les uns à côté des autres dans la direction X, où l'indice j identifie la lame et l'indice i identifie le plot de cette lame. Plus précisément, dans la suite de cette description, l'indice j prend la valeur « 1 » pour désigner la lame 12 et la valeur « 2 » pour désigner la lame 14.

[0037] Deux plots P_{ji} et $P_{j,i+1}$ immédiatement consécutifs dans la direction X sont reliés mécaniquement l'un à l'autre par l'intermédiaire d'un pont Pt_{ji} .

[0038] Chaque plot P_{ji} présente une face plane F_{ji} tournée vers l'entrefer 15. Ici, chaque plot P_{1i} est en vis-à-vis d'un plot P_{2i} de l'autre lame. Deux plots P_{1i} et P_{2i} sont en vis-à-vis si l'intersection de la face F_{2i} et de la projection, selon la direction Y, de la face F_{1i} sur la face F_{2i} forme une zone Z_i de recouvrement dont la surface S_{Zi} est strictement supérieure à zéro. Dans la suite de cette description, deux plots P_{1i} et P_{2i} en vis-à-vis portent le même indice i.

[0039] La surface $S_{Pt_{ji}}$ de la section transversale du pont Pt_{ji} est strictement inférieure à la surface de la section transversale des plots P_{ji} et $P_{j,i+1}$ qu'il relie. Ici par surface de la section transversale, on désigne la surface de la section du plot ou du pont parallèle au plan défini par les directions YZ.

[0040] Ici, la conformation des extrémités 20 et 22 est représentée dans le cas particulier où le nombre $\underline{n}$ de paires de plots P_{1i} , P_{2i} en vis-à-vis est égal à deux.

[0041] De plus, ici, les extrémités 20 et 22 sont identiques sauf qu'elles sont tournées l'une vers l'autre. En effet, les faces F_{1i} sont tournées vers les faces F_{2i} . Ainsi, par la suite, seule l'extrémité 20 est décrite en détail.

[0042] Le plot P_{11} est directement relié à l'extrémité 16 par un bras B_1 parallélépipédique de longueur l dans la direction X, d'épaisseur e dans la direction Y et de hauteur e_c dans la direction Z. Le plot P_{11} est relié au plot P_{12} par le pont Pt_{11} . Dans ce mode de réalisation particulier, les dimensions des plots P_{11} et P_{12} sont identiques. Ainsi, seuls les dimensions du plot P_{11} sont décrites plus en détail.

[0043] Le plot P_{11} est un parallélépipède de longueur βx , d'épaisseur e_p et de hauteur e_c . La face F_{11} et la zone Z_1 de recouvrement sont donc des rectangles. La longueur de la zone Z_1 de recouvrement dans la direction X est notée « x ». Ici, la longueur du plot P_{11} est prise proportionnelle à la longueur x de la zone de recouvrement Z_1 . Elle est donc notée sous la forme d'un produit entre une constante β et la longueur x.

[0044] Le pont Pt_{11} est un parallélépipède de longueur e_s , d'épaisseur e_{pt} et de hauteur e_c . Le pont Pt_{11} est dimensionné de manière à ce que sa surface transversale $S_{Pt_{11}}$ soit au moins inférieure au deux-tiers de la surface S_{Z1} de la zone de recouvrement Z_1 . Lorsque la surface $S_{Pt_{11}}$ est inférieure au deux-tiers de la surface S_{Z1} ou S_{Z2} , le flux magnétique concentré par les plots P_{11} ou P_{12} traverse majoritairement l'entrefer 15 plutôt que le pont Pt_{11} . Ceci permet donc d'augmenter la quantité de flux magnétique qui traverse l'entrefer 15 par l'intermédiaire des zones de recouvrement. Or, la force de contact f_{contact} entre les paires de plots en vis-à-vis est proportionnelle au flux magnétique divisé par la surface traversée par ce flux. Ainsi, minimiser la section verticale des ponts Pt_{1i} permet d'augmenter la force de contact entre les plots en position fermée et donc de diminuer la résistance du contacteur en position fermée.

[0045] Ici, l'épaisseur e_{pt} de ce pont Pt_{11} est au moins inférieure au tiers de l'épaisseur e_p des plots P_{11} et P_{12} . Ainsi, ce pont Pt_{11} correspond également au fond d'une rainure de profondeur tp qui sépare les faces F_{11} et F_{12} . La largeur de cette rainure est ici égale à la longueur es du pont Pt_{11} .

[0046] On notera que l'épaisseur e_p du plot P_{11} est égale à la somme de la profondeur tp et de l'épaisseur e_{pt} du pont Pt_{11} .

[0047] La longueur totale de l'extrémité 20 est notée l_p . Ici, la longueur l_p est égale à $2\beta x + e_s$.

[0048] Les extrémités 20 et 22 sont décalées l'une par rapport à l'autre, dans la direction X, d'une distance g pour diminuer les surfaces S_{Zi} de recouvrement. Dans ce mode de réalisation, la distance g est choisie de manière à ce que les deux relations suivantes soient vérifiées :

$$S_{Zi} \leq S_{1i}/3$$

$$S_{Zi} \leq S_{2i}/3,$$

où S_{1i} et S_{2i} sont les surfaces, respectivement, des faces F_{1i} et F_{2i} .

[0049] Pour simplifier les figures, les représentations des extrémités 20, 22 ne sont pas à l'échelle et ces deux relations ne sont pas représentées.

[0050] De préférence, la surface S_{Zi} est inférieure au quart ou au huitième des surfaces S_{1i} et S_{2i} .

[0051] Diminuer la surface S_{Zi} de recouvrement permet de concentrer le flux magnétique sur une surface plus petite que la surface des faces F_{ji} . Cela permet donc d'augmenter la force de contact $f_{contact}$ entre ces plots et de diminuer ainsi la résistance du contacteur en position fermée.

[0052] Le dimensionnement des extrémités 20 et 22 va maintenant être décrit en référence au procédé de la figure 4.

[0053] Ici, le dimensionnement des extrémités 20 et 22 est illustré par des exemples numériques donnés pour la situation suivante :

- l'intensité du champ magnétique B_0 produit par la source 3 pour déplacer le micro-contacteur 2 vers sa position fermée est de 50mT,
- la tension qui doit être commutée par le micro-contacteur 2 est au maximum de 50 volts,
- la force de contact $f_{contact}$ qui s'exerce entre chaque paire de plots en position fermée est de $150\mu N$,
- la force de rappel f_{rappel} qui ramène les plots vers leur position ouverte est de $20\mu N$ par contact,
- la force de rappel f_{amin} exercée par le pont Pt_{11} pour ramener le plot P_{12} vers sa position ouverte est de $20\mu N$,
- la perméabilité relative du matériau magnétique utilisé pour réaliser les lames 20 et 22 est de 1000,
- le module de Young E du matériau magnétique est égal à $1,85.10^{11} Pa$, et
- la polarisation J_s du matériau magnétique à saturation est égale à 1 T.

[0054] La force de contact $f_{contact}$ est la force qu'exerce le plot P_{1i} sur le plot P_{2i} en position fermée. Plus cette force de contact est élevée, plus la résistance du contact diminue.

[0055] La force de rappel f_{rappel} est la force de rappel qui s'exerce sur chaque plot et les sollicite en permanence vers la position ouverte.

[0056] La polarisation J_s est la polarisation du matériau magnétique observée lorsque celui-ci est saturé. En première approximation, la polarisation est le rapport entre l'intensité du champ magnétique B_0 et le facteur Nd de démagnétisation.

[0057] Lors d'une étape 27, la distance d de l'entrefer en position ouverte est choisie. Cette distance d doit être suffisamment importante pour permettre d'isoler électriquement les plots P_{1i} des plots P_{2i} en position ouverte. Elle dépend donc notamment de la tension présente entre les bornes 8 et 10 du micro-contacteur 2 en position ouverte. Ici, cette distance d est choisie supérieure à $5\mu m$ de manière à isoler électriquement les plots P_{1i} des plots P_{2i} même en présence d'une tension de 220 volts entre les bornes 8 et 10. Cette valeur de $5\mu m$ est donnée dans le cas particulier où l'entrefer 15 est rempli d'air. En effet, le champ disruptif de l'air est de l'ordre de $50V/\mu m$ pour des dimensions aussi petites que celles des extrémités 20 et 22.

[0058] Par ailleurs, la distance d est choisie suffisamment petite pour rester dans la zone de déformation élastique des lames 12 et 14. La borne maximale pour la distance d dépend donc des caractéristiques du matériau magnétique choisi telles que son module de Young E . Ici, pour rester dans cette zone de déformation élastique, d est choisie inférieure à $15\mu m$.

[0059] Dans cet exemple, la distance d est fixée égale à $5\mu m$ pour minimiser l'encombrement du micro-contacteur 2.

[0060] Lors d'une étape 29, la hauteur e_c est fixée. Plus cette hauteur e_c est grande, plus la résistance du micro-contacteur 2 en position fermée décroît. Toutefois, des contraintes technologiques de fabrication imposent une limite supérieure à la hauteur e_c . Ainsi, ici, la hauteur e_c est choisie au maximum égale à $30\mu m$ et au minimum supérieure à $10\mu m$. Pour les applications numériques, la hauteur e_c est choisie égale à $20\mu m$.

[0061] Lors d'une étape 31, l'épaisseur e_p des plots est calculée pour obtenir une force magnétique f_f qui attire le plot P_{1i} vers le plot P_{2i} en présence du champ magnétique B_0 égale à $170\mu N$. Cette force f_f s'oppose à la force de rappel

EP 2 479 767 A1

f_{rappel} et à la force f_{amin} qui sont prises ici égales à $20 \mu\text{N}$. Plus précisément, les forces f_{contact} , f_f et f_{rappel} sont reliées les unes aux autres par la relation suivante : $f_{\text{contact}} = f_f - f_{\text{rappel}}$.

[0062] Ainsi, pour obtenir une force de contact f_{contact} de $150 \mu\text{N}$, la force f_f est prise ici égale à $170 \mu\text{N}$.

[0063] Pour calculer l'épaisseur e_p , différentes simulations numériques à l'aide de logiciels ont été réalisées pour établir de façon expérimentale une relation reliant la force f_f à l'épaisseur e_0 . La relation établie est la suivante :

$$(1) \quad f_f = (3,4 e_p + 25) \frac{e_c}{20}$$

[0064] Dans cette relation (1), l'épaisseur e_p , la hauteur e_c sont exprimées en μm et la force f_f est exprimée en μN .

[0065] Cette relation (1) a été établie avec les hypothèses :

- les plots P_{ji} sont saturés par le champ magnétique B_0 ,
- la présence des ponts $P_{t_{ij}}$ et des bras B_j a été négligée, et
- l'épaisseur e_p est supposée comprise entre 10 et $100 \mu\text{m}$.

[0066] De plus la relation (1) est établie dans l'hypothèse où la longueur x de la zone Z_i de recouvrement est égal à la moitié de l'épaisseur e_p . Autrement dit, la relation suivante est vérifiée :

$$(2) \quad x = e_p / 2$$

[0067] A l'aide cette relation (1), on obtient ici la valeur de $40 \mu\text{m}$ pour l'épaisseur e_p .

[0068] Lors d'une étape 32, la longueur x est calculée à l'aide de la relation (2). La longueur x est donc égale ici à $20 \mu\text{m}$.

[0069] Lors d'une étape 33, la longueur βx des plots P_{ji} est calculée. Cette longueur βx est déterminée pour que chaque plot P_{ji} soit complètement saturé magnétiquement quand le champ B_0 est présent. Ici, la longueur βx est calculée pour que chaque plot P_{ji} soit juste saturé. Par juste saturé, on désigne le fait que chaque plot est saturé par le champ B_0 et n'est pas saturé par un champ B_1 identique au champ B_0 sauf que son intensité est égale à 80% et, de préférence 90%, de l'intensité du champ B_0 . A cet effet, différentes relations obtenues en modélisant le plot P_{ji} à l'aide des lois de l'électromagnétisme sont utilisées.

[0070] Plus précisément, la relation suivante reliant la polarisation J_s du matériau à la saturation au champ B_0 est utilisée :

$$(3) \quad J_s = \frac{B_0}{\frac{1}{\mu_r - 1} + Nd} \approx \frac{B_0}{Nd}$$

[0071] Dans cette relation (3), Nd est le facteur de démagnétisation du plot P_{ji} . Ce facteur Nd est fonction des dimensions du plot P_{ji} . La relation suivante qui relie le facteur Nd aux dimensions du plot est utilisée :

$$(4) \quad Nd = \frac{e_c e_p}{(\beta x)^2} \left(\ln \left(\frac{4(\beta x)}{e_c + e_p} \right) - 1 \right)$$

[0072] Cette relation a été obtenue en considérant que la relation qui relie le facteur Nd de démagnétisation aux dimensions, établie dans le cas d'une ellipse, s'applique aussi au cas d'un parallélépipède.

[0073] Ainsi, pour obtenir la valeur de la constante β , l'équation suivante doit être résolue :

$$(5) \quad \frac{B_0}{J_s} = \frac{e_c e_p}{(\beta x)^2} \left(\ln \left(\frac{4(\beta x)}{e_c + e_p} \right) - 1 \right)$$

[0074] La résolution de cette équation donne la valeur « 7 » pour la constante β . Ainsi la longueur du plot P_{ji} est ici de $140\mu\text{m}$.

[0075] Ensuite, lors d'une étape 34, la longueur l , l'épaisseur e , la largeur e_s et la profondeur t_p sont déterminées pour obtenir une force de rappel f_{rappel} égale à $20\mu\text{N}$ et une force f_{amin} égale à $20\mu\text{N}$. Ici, pour cela, on fixe e pour minimiser l'encombrement du micro-contacteur 2. Par exemple, e est choisie égale à $5\mu\text{m}$.

[0076] On fixe également la distance g , dans ce cas particulier, pour que le plot P_{1i} , soit uniquement en vis-à-vis du seul plot P_{2i} . Par exemple, g est choisie égale à $50\mu\text{m}$. Une fois la distance g fixée, la largeur e_s et la longueur totale l_p de l'extrémité 20 sont données par les relations suivantes :

$$(6) \quad e_s = g + \beta x - x,$$

$$(7) \quad l_p = 2\beta x + e_s$$

[0077] La force f_{amin} est donnée par la relation suivante :

$$(8) \quad f_{\text{amin}} = \frac{2\Gamma_{\text{amin}}}{e_s + \beta x}$$

[0078] Γ_{amin} est le couple mécanique de rappel exercé par le pont P_{t11} sur le plot P_{12} .

[0079] Le couple Γ_{amin} est donné par la relation suivante :

$$(9) \quad \Gamma_{\text{amin}} = S_{\text{amin}} \frac{d}{2} (e_s + \beta x)$$

[0080] La grandeur S_{amin} est elle-même donnée par la relation suivante :

$$(10) \quad S_{\text{amin}} = \frac{E}{\frac{e_s^3}{3I_3} + \frac{(\beta x)^3}{3I_4} + \frac{1}{I_3} ((\beta x)^2 e_s + (\beta x)(e_s)^2)}$$

[0081] Les coefficients I_3 et I_4 sont donnés par les relations suivantes :

5	(11)	$I_3 = \frac{e_c \cdot (e_p - t_p)^3}{12}$
---	------	--

10	(12)	$I_4 = \frac{e_c \cdot e_p^3}{12}$
15		

[0082] Ainsi, la contrainte fixée sur la force f_{amin} permet de calculer la profondeur t_p à partir des relations précédentes.

[0083] Imposer la force $f_{amin} \geq 20 \mu N$ permet de garantir que si le plot P_{11} revient dans sa position ouverte sous l'action de la force de rappel f_{rappel} le plot P_{12} fera de même car le pont Pt_{11} est suffisamment rigide pour cela.

[0084] Une fois la profondeur t_p calculée, on calcule la longueur l permettant de vérifier la contrainte selon laquelle la force f_{rappel} est égale à $20 \mu N$. La force f_{rappel} est donnée par la relation suivante :

25	(13)	$f_{rappel} = \frac{\Gamma_r}{2l + l_p + (\beta - 1)x}$
----	------	---

[0085] Γ_r est le couple de la force de rappel. Ce couple est égal à deux fois le couple de rappel Γ_{meca} exercé par chacune des lames 12 et 14. Ainsi, le couple de rappel Γ_r est défini par la relation suivante :

35	(14)	$2\Gamma_{meca} = \Gamma_r$
----	------	-----------------------------

[0086] Le couple Γ_{meca} d'une seule lame est défini par la relation suivante :

40	(15)	$\Gamma_{meca} = S \cdot f_0 \cdot (l + l_p)$
----	------	---

où f_0 est la flèche maximale de la lame 12.

[0087] Ici, cette flèche f_0 est approximée à l'aide de la relation suivante :

50	(16)	$f_0 \approx \frac{\frac{d}{2} \cdot l + (1 - \beta)x}{l + l_p} - 1$
55		

[0088] Le facteur S de la relation (15) est donné par la relation suivante :

$$(17) \quad S = \frac{E}{\frac{l^3}{3I_1} + \frac{(\beta x)^3}{3I_2} + \frac{e_s^3}{3I_3} + \frac{(\beta x)^3}{3I_4} + \frac{1}{I_1}(l^2 l_p + l(l_p)^2) + \frac{1}{I_3}((\beta x)^2 e_s + (\beta x)(e_s)^2)}$$

où les coefficients I_1 et I_2 sont donnés par les relations suivantes :

$$(18) \quad I_1 = \frac{e_c \cdot e^3}{12}$$

$$(19) \quad I_2 = \frac{e_c e_p^3}{12}$$

[0089] Les coefficients I_3 et I_4 ont déjà été précédemment définies. A partir des relations précédentes, la longueur l est calculée.

[0090] Avec les données numériques prises en compte ici, les résultats obtenus sont les suivants : $l = 40 \mu\text{m}$, $e = 5 \mu\text{m}$, $l_p = 30 \mu\text{m}$ et $g = 50 \mu\text{m}$.

[0091] Lors d'une étape 35, on vérifie que le couple Γ_0 exercé par les forces magnétiques en position ouverte lorsque le champ B_0 est présent est strictement supérieur au couple Γ_r de rappel des forces mécaniques. Si cela est exact, cela garantit que le micro-contacteur 2 se déplace vers sa position fermée lorsque le champ magnétique B_0 est présent. Différentes simulations numériques réalisées par le déposant ont permis d'établir une relation approximant la force F_0 qu'exercent les forces magnétiques sur la lame 12 en position ouverte. Cette relation est la suivante :

$$(20) \quad F_0 = (36.790 + 2.310.e_p - 10.465.d + 0.54d^2 - 0.116.e_p.d) \cdot \frac{e_c}{20}$$

[0092] A partir de la force F_0 , il est également possible de déduire le couple des forces magnétiques qui s'exerce sur l'extrémité 20. Ce couple est ici donné par la relation suivante :

$$(21) \quad \Gamma_0 = (36,790 + 2,310 e_p - 10,465 d + 0,54 d^2 - 0,116 e_p d) \frac{e_c}{20} (2l + l_p + (\beta - 1)x) 10^{-12}$$

[0093] Les deux relations précédentes (20) et (21), ont été établies en utilisant les mêmes hypothèses que pour la relation (1). De plus, dans ces deux relations, l'épaisseur e_p , la distance d , la hauteur e_c sont exprimées en μm , le couple Γ_0 en N.m, la force F_0 est exprimée en μN et l'épaisseur e_p est comprise entre 10 et $100 \mu\text{m}$.

[0094] Si le couple Γ_0 n'est pas supérieur au couple Γ_r , alors, on procède à une étape 36 lors de laquelle on incrémente l'épaisseur e_p ou on diminue l'épaisseur e . A l'issue de l'étape 36, on retourne à l'étape 34 pour de nouveau calculer la longueur l et la profondeur tp .

[0095] Dans le cas où le couple Γ_0 est supérieur au couple Γ_r , alors, on vérifie, lors d'une étape 37 si la force f_{amin} est bien supérieure ou égale à 20 μ N. Dans la négative, on procède à une étape 38, lors de laquelle la distance g est modifiée. Par exemple, la distance g est diminuée. A l'issue de l'étape 38, le procédé retourne à l'étape 34.

[0096] Dans le cas contraire, on procède à une étape 39 lors de laquelle le micro-contacteur 2 ayant les dimensions déterminées est fabriqué.

[0097] Le micro-contacteur ayant les dimensions données ci-dessus occupe environ une surface de silicium de 650 μ m ($=2l_p + \beta x - x$) par 85 μ m ($=2e_p + d$) hors plot de contact dans le plan XY.

[0098] Un exemple de procédé de fabrication du micro-contacteur 2 va maintenant être décrite plus en détail à l'aide du procédé de la figure 5.

[0099] 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 2 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 6 à 10.

[0100] Lors d'une étape 40, une couche 41 (figure 6) 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.

[0101] Lors d'une étape 42, on procède à une gravure anisotrope des zones définies pour graver dans le substrat des cavités 44, 46 (figure 6) 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 »).

[0102] 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.

[0103] 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 7.

[0104] 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 8.

[0105] 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 9) 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 9, un seul des orifices 60 a été représenté. Ces orifices sont disposés au-dessus de l'emplacement où doit être creusé le caisson 24.

[0106] Lors d'une étape 62, on procède à la gravure 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.

[0107] Lors de l'étape 62, l'agent de gravure isotrope est mis en contact 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 XeF_2 .

[0108] 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 10).

EP 2 479 767 A1

[0109] Ainsi, à l'issue de cette étape de gravure isotrope, le caisson 24 est réalisé.

[0110] 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.

[0111] La figure 11 représente un micro-contacteur 80. Ce micro-contacteur 80 est identique au micro-contacteur 2 à l'exception du fait que l'extrémité 20 est remplacée par une extrémité fixe 82. L'extrémité 82 est ici identique à l'extrémité 20 sauf que celle-ci est fixée sans aucun degré de liberté au substrat 4. Le bras B_1 est donc omis.

[0112] Le dimensionnement des plots P_{21} et P_{22} est identique à ce qui a été décrit au regard de la figure 4 sauf que la flèche f_0 , le couple Γ_{meca} , la force F_{amin} et le couple Γ_{amin} sont définis par les relations suivantes :

(22)	$f_0 = d$
------	-----------

(23)	$\Gamma_{meca} = \Gamma_r$
------	----------------------------

(24)	$F_{amin} = \frac{\Gamma_{amin}}{e_s + \beta x}$
------	--

(25)	$\Gamma_{amin} = S_{amin} \cdot d \cdot (e_s + \beta x)$
------	--

[0113] Comme dans le mode de réalisation précédent, les plots P_{11} et P_{22} ainsi que le pont Pt_{11} sont identiques, respectivement, aux plots P_{21} et P_{22} et au pont Pt_{21} .

[0114] La figure 12 représente un micro-contacteur 90 identique au micro-contacteur 2 sauf que l'extrémité 20 est remplacée par une extrémité 92. Pour simplifier cette figure, seules les extrémités 92 et 22 sont représentées en détail.

[0115] L'extrémité 92 est identique à l'extrémité 20 sauf que la distance g est choisie dans ce mode de réalisation égale à $-x$ pour créer une nouvelle zone de recouvrement Z'_1 supplémentaire entre le plot P_{12} et le plot P_{21} . De plus, g est choisie de manière à ce que les dimensions de cette zone Z'_1 , de recouvrement soient identiques à celles des zones Z_1 et Z_2 de manière à répartir de façon uniforme la force de contact entre les différents points de contact entre les plots. Ainsi, dans ce mode de réalisation, il existe trois points de contact obtenus avec seulement deux paires de plots au lieu de deux points de contact comme dans le précédent mode de réalisation. L'augmentation du nombre de points de contact permet de diminuer la résistance du micro-contacteur en position fermée puisque, comme cela va maintenant être décrit en référence à la figure 13, les extrémités 22 et 92 sont dimensionnées pour que les forces de contact qui s'exercent au niveau de chaque point de contact soient identiques à celles qui seraient obtenues si un seul point de contact existait.

[0116] Le procédé de dimensionnement du micro-contacteur 90 représenté sur la figure 13 est identique à celui représenté sur la figure 4 à l'exception du fait que l'étape 34 est remplacée par une étape 100 et les étapes 37 et 38 sont omises.

[0117] Plus précisément, lors de l'étape 100, la largeur e_s de la rainure est fixée par la relation suivante :

(26)	$e_s = \beta x - 2x$
------	----------------------

- 5
- [0118]** Ainsi, seule la longueur l , l'épaisseur e et la profondeur t_p sont à déterminer pour obtenir une force de rappel f_{rappel} et une force f_{amin} égale à $20 \mu\text{N}$.
- 10 **[0119]** Comme précédemment, ici, on choisit l'épaisseur e pour limiter l'encombrement du micro-contacteur 90. Ici, e est choisie égale à $5 \mu\text{m}$.
- [0120]** L'épaisseur t_p est déterminée à partir de la contrainte imposée sur la force f_{amin} en utilisant les relations suivantes de façon similaire à ce qui a été précédemment décrit en regard de l'étape 34.
- [0121]** La force f_{amin} est donnée par la relation suivante :

(27)	$f_{\text{amin}} = \frac{2 \Gamma_{\text{amin}}}{2 e_s + \beta x}$
------	--

- 20 **[0122]** f_{amin} est le couple mécanique de rappel exercé par le pont Pt_{11} sur le plot P_{12} . Il est donné par la relation (9) précédente. Ainsi, la contrainte fixée sur la force f_{amin} permet de calculer la profondeur t_p à partir des relations précédentes.
- 25 **[0123]** Ensuite, la longueur l est déterminée à partir de la contrainte imposée sur la force f_{rappel} . Toutefois, contrairement à ce qui a été décrit dans l'étape 34, la force de rappel est cette fois-ci donnée par la relation suivante :

(28)	$F_{\text{rappel}} = \frac{\Gamma_r}{3l + (6 \beta - 7/2)x}$
------	--

- 35 **[0124]** Comme précédemment, le couple de rappel Γ_r est donné par la relation suivante :

(29)	$2\Gamma_{\text{meca}} = \Gamma_r$
------	------------------------------------

- 40 **[0125]** Le couple est donné par la relation suivante :

(30)	$\Gamma_{\text{meca}} = S \cdot f_0 \cdot (l + l_p)$
------	--

- 50 **[0126]** Dans la relation précédente, la longueur l_p de l'extrémité 92 est donnée par la relation suivante :

(31)	$l_p = 2\beta x + e_s$
------	------------------------

- 55 **[0127]** Le facteur S de la relation (30) est déterminé à partir de la même relation (17) que celle donnée en regard de

l'étape 34.

[0128] Avec les mêmes hypothèses numériques que précédemment, on obtient les valeurs suivantes : la longueur l est égale à $35 \mu\text{m}$, l'épaisseur e est égale à $5 \mu\text{m}$ et la profondeur t_p est égale à $35 \mu\text{m}$.

[0129] L'encombrement total hors plots de contact du micro-contacteur 90 est donné par le produit de la longueur totale L_t par l'épaisseur totale e_t . La longueur totale L_t est donnée par la relation suivante : -.

$$(32) \quad L_t = 2l + l_p + (\beta - 1)x$$

[0130] L'épaisseur e_t est donnée par la relation suivante :

$$(33) \quad E_t = 2e_p + d$$

[0131] Ainsi, la surface de silicium occupée par les lames est ici de $570 \times 85 \mu\text{m}^2$. Le micro-contacteur 90 est donc légèrement moins encombrant que le micro-contacteur 2 et sa résistance en position fermée est plus faible.

[0132] La figure 14 représente un micro-contacteur 110 identique au micro-contacteur 90 mais dans lequel l'extrémité 92 est remplacée par une extrémité fixe 112.

[0133] L'extrémité 112 est fixée sans degré de liberté au substrat 4. Le bras B_1 est omis.

[0134] Le dimensionnement du micro-contacteur 110 se déduit de ce qui avait été décrit en regard de la figure 13. Toutefois, les relations suivantes sont utilisées en lieu et place des relations correspondantes dans la figure 13 :

$$(34) \quad f_0 = d$$

$$(35) \quad \Gamma_{\text{meca}} = \Gamma_r$$

$$(36) \quad \Gamma_{\text{meca}} = S.d.(l + l_p)$$

$$(37) \quad F_{\text{amin}} = \frac{\Gamma_{\text{amin}}}{2e_s + \beta x}$$

$$(38) \quad \Gamma_{\text{amin}} = S_{\text{amin}}.d.(e_s + \beta x)$$

[0135] De nombreux autres modes de réalisation sont possibles. Par exemple, il n'est pas nécessaire d'imposer que la longueur x soit égale à la moitié l'épaisseur e_p bien que ceci semble permettre d'atteindre un optimum entre d'une part la diminution de la résistance et d'autre part un encombrement limité. Par exemple, en variante, x est choisi comme étant compris entre $e_p/3$ et $e_p/1,5$. De préférence, la longueur x est choisie égale à $e_p/2$ à plus ou moins 30 % près.

[0136] D'autres méthodes de dimensionnement des extrémités des lames sont possibles. En particulier, il est possible de simuler, pour un jeu de dimensions, à l'aide d'un logiciel de simulation, le fonctionnement du micro-contacteur. Si

les contraintes imposées sur le fonctionnement du micro-contacteur simulé ne sont pas satisfaites, les dimensions sont modifiées et l'on procède alors à une nouvelle simulation. Ainsi, par essais successifs, on arrive à déterminer les dimensions des extrémités satisfaisant les contraintes imposées.

[0137] Lors du dimensionnement des extrémités des lames, la contrainte sur la force f_{amin} peut être omise.

[0138] Pour limiter la surface transversale du pont P_{ij} , il est également possible de limiter sa hauteur dans la direction verticale. Dans un cas très particulier, seule la hauteur du pont P_{ij} dans la direction verticale est limitée pour satisfaire la relation $S_{Pij} \leq 2/3 S_{Zi}$.

[0139] Ce qui a été décrit précédemment pour la conformation des extrémités s'applique également au micro-contacteur dans lequel les lames se déplacent perpendiculairement au plan du substrat.

[0140] Il n'est pas nécessaire que les différentes forces de contact au niveau des différents points de contact soient toutes identiques les unes aux autres. Par exemple, au moins l'un des plots peut être dimensionné pour produire une force de contact supérieure à celle produite par d'autres plots. Par exemple, cela peut aussi être obtenu en choisissant des longueurs différentes pour les différentes zones de recouvrement.

[0141] Pour que le micro-contacteur fonctionne correctement, il n'est pas nécessaire de saturer magnétiquement chacun des plots. Par exemple, seuls quelques plots sont dimensionnés pour être saturés par le champ B_0 . En variante, aucun des plots n'est saturé.

[0142] Ce qui a été décrit ici dans le cas particulier des micro-contacteurs s'applique également au cas des contacteurs ayant des dimensions macroscopiques. Ces contacteurs ayant des dimensions macroscopiques ne sont pas fabriqués par les mêmes procédés de fabrication que ceux de la microelectronique. De plus, leurs dimensions sont généralement beaucoup plus importantes. Par exemple, la longueur des lames dépasse souvent 1 ou 3 mm.

Revendications

1. Contacteur actionnable par un champ magnétique, ce contacteur comportant au moins une première et une seconde lames (12, 14) en matériau magnétique s'étendant le long d'une direction longitudinale :

- la première lame (12) comportant au moins un plot P_{1i} , présentant une face de contact F_{1i}
- la seconde lame (14) comportant au moins un plot P_{2i} en vis-à-vis du plot P_{1i} et présentant une face de contact F_{2i} , les plots P_{1i} et P_{2i} étant en vis-à-vis lorsque l'intersection de la face F_{2i} et de la projection selon une direction transversale, perpendiculaire à la direction longitudinale, de la face F_{1i} , sur la face F_{2i} forme une zone de recouvrement dont la surface S_{Zi} est strictement supérieure à zéro,
- au moins un plot de chaque paire de plots P_{1i} , P_{2i} en vis-à-vis étant déplaçable le long de la direction transversale, sous l'effet du champ magnétique, entre :

- une position fermée dans laquelle les faces F_{1i} et F_{2i} 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 F_{1i} et F_{2i} sont séparées l'une de l'autre par un entrefer (15) pour les isoler électriquement l'une de l'autre,

caractérisé en ce que :

- les première et seconde lames (12, 14) comportent des plots formant plusieurs paires de plots P_{1i} , P_{2i} en vis-à-vis, immédiatement consécutives le long de la direction longitudinale, et
- chaque lame comprend au moins un pont P_{tji} , chaque pont reliant mécaniquement directement deux plots P_{ji} , $P_{j,i+1}$ immédiatement consécutifs d'une même lame, la section transversale de ce pont P_{tji} étant réduite par rapport à la section transversale des plots P_{ji} et $P_{j,i+1}$ et la surface S_{Ptji} de la plus petite section transversale du pont P_{tji} vérifiant la relation suivante : $0 < S_{Ptji} < 2/3 S_{Zi}$, où j est un indice identifiant la lame et i est un indice identifiant le plot de cette lame.

2. Contacteur selon la revendication 1, dans lequel la surface S_{Zi} de chaque zone de recouvrement vérifie les deux relations suivantes : $0 < S_{Zi} \leq S_{1i}/3$ et $0 < S_{Zi} \leq S_{2i}/3$, où S_{ij} est la surface de la face de contact F_{ij} .

3. Contacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque plot P_{ji} est un parallélogramme, s'étendant parallèlement à la direction longitudinale, d'épaisseur e_{pji} dans la direction transversale et la zone de recouvrement est un rectangle de longueur x dans la direction longitudinale, la longueur x étant égale à $e_{pji}/2$ à plus ou moins 30 % près.

EP 2 479 767 A1

4. Contacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel au moins l'un des plots P_{ji} est en vis-à-vis du plots P_{2i} et du plot $P_{2,i+1}$.
5. Contacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les surfaces S_{Zi} des zones de recouvrement sont toutes égales et les dimensions des plots P_{ij} sont également toutes égales entre elles.
6. Contacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le contacteur comporte un substrat plan (4) à l'intérieur duquel est creusé un caisson (24) et les lames (12, 14) sont entièrement reçues à l'intérieur de ce caisson.
7. Contacteur selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel chaque pont P_{ji} correspond au fond d'une rainure dont l'ouverture est tournée vers l'entrefer (15).
8. Interrupteur comportant :
- un contacteur (2; 80; 90; 110) conforme à l'une quelconque des revendications précédentes, et
 - une source (3) d'induction B_0 parallèle à la direction longitudinale sous l'effet de laquelle les plots se déplacent de leur position ouverte vers leur position fermée, **caractérisé en ce que** les dimensions des plots sont telles que l'intensité de l'induction magnétique B_0 permet de saturer ces plots P_{1i} et P_{2i} tandis qu'une induction magnétique B_1 identique à l'induction B_0 sauf que son intensité est égale à 80% de l'intensité de l'induction B_0 ne permet pas de saturer ces plots P_{1i} et P_{2i} .

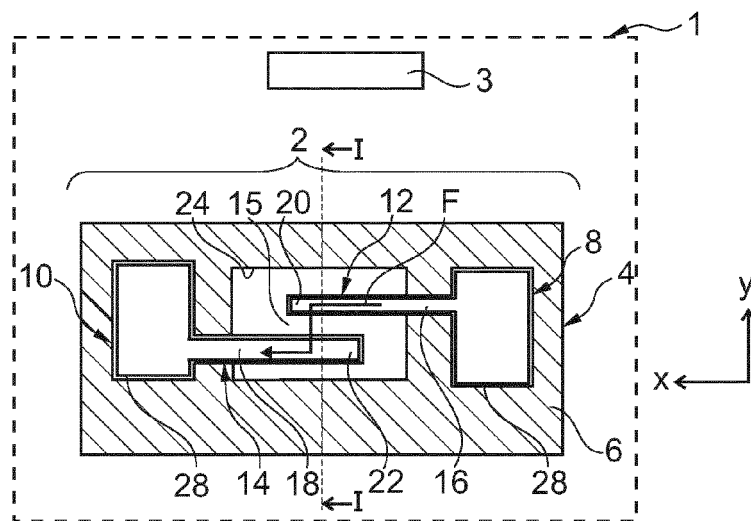


Fig. 1

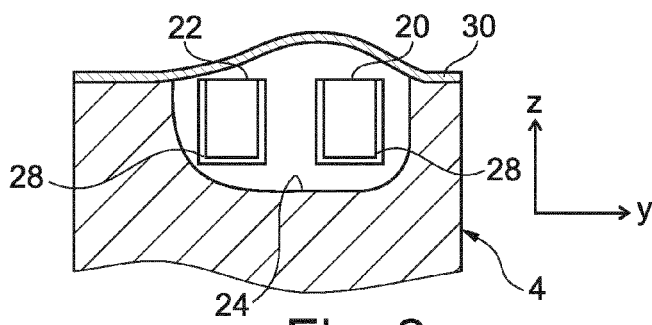


Fig. 2

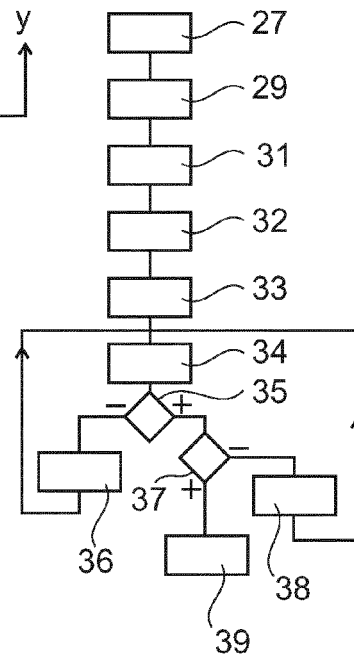
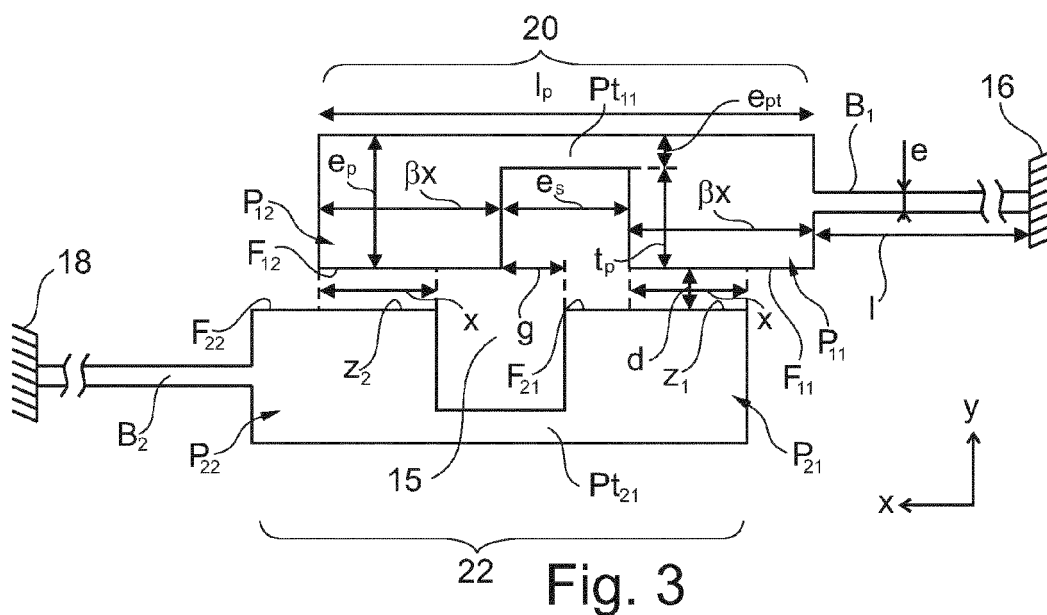


Fig. 4



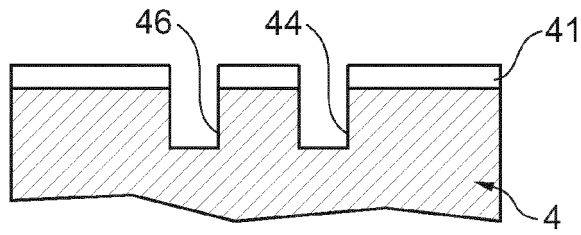


Fig. 6

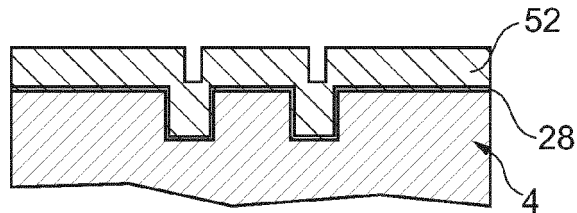


Fig. 7

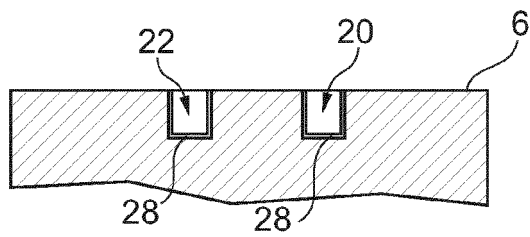


Fig. 8

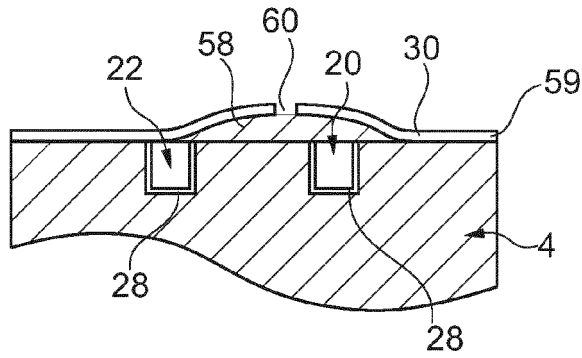


Fig. 9

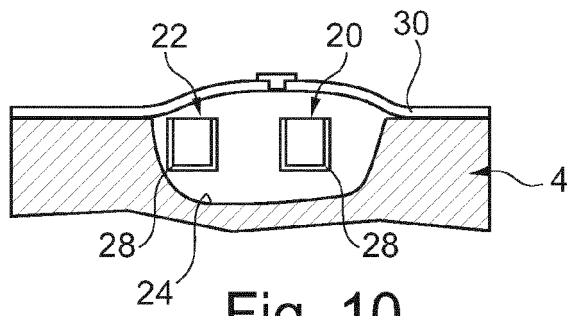


Fig. 10

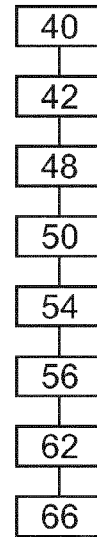


Fig. 5

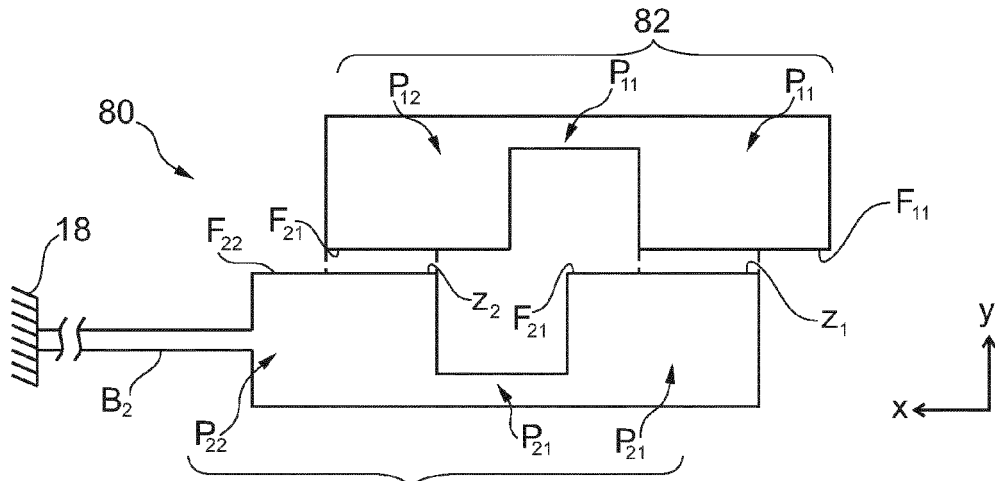


Fig. 11

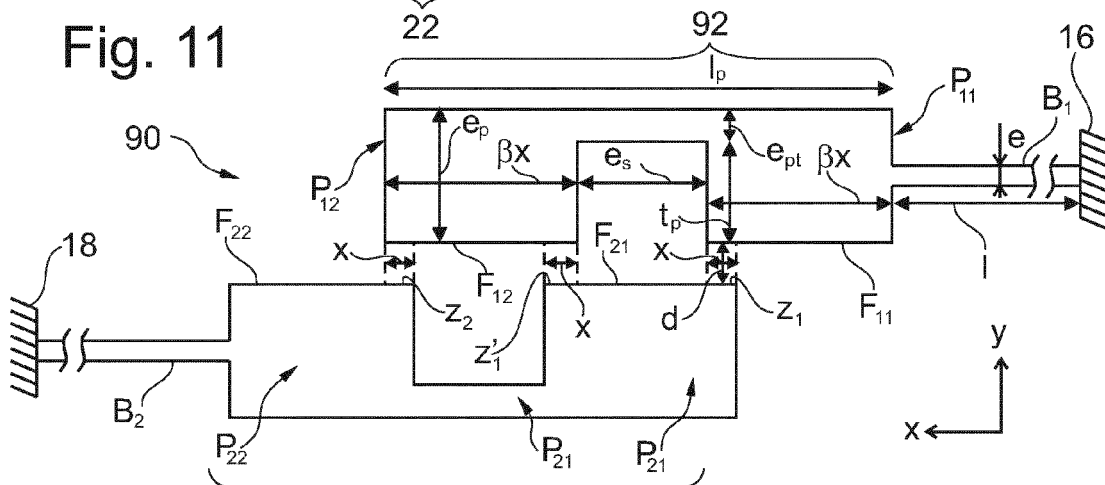


Fig. 12

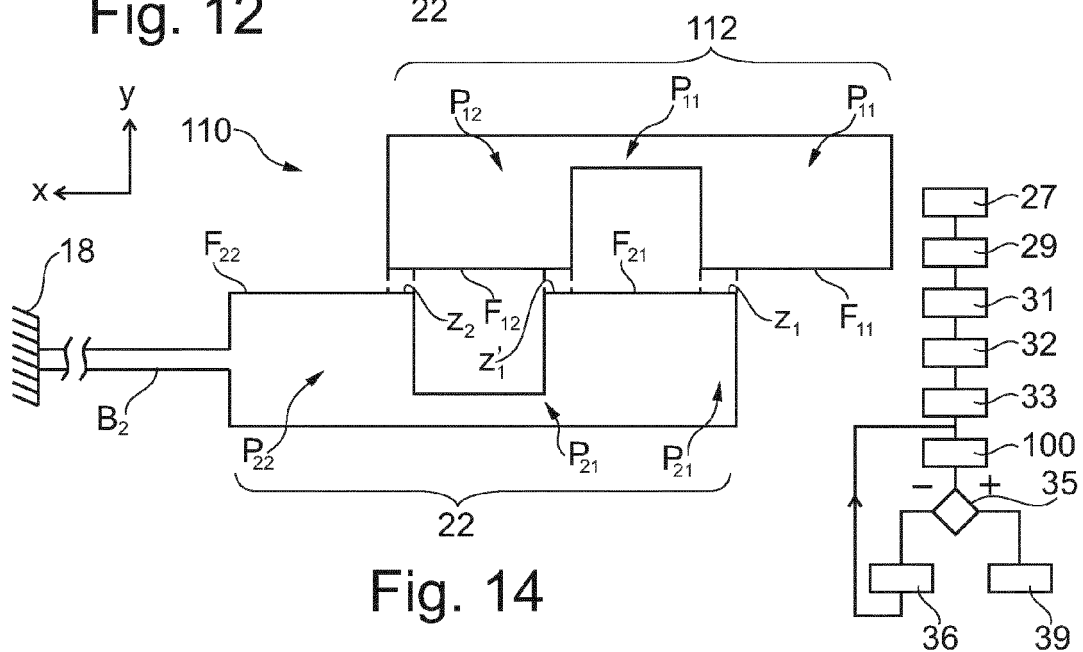


Fig. 14

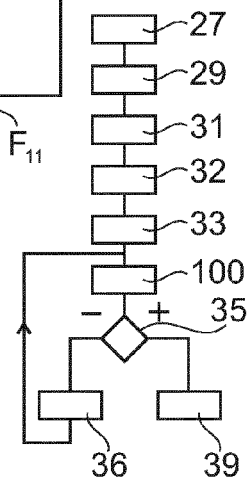


Fig. 13



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 12 15 1370

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	WO 02/39472 A1 (RAYTHEON CO [US]) 16 mai 2002 (2002-05-16) * page 6, ligne 15 - page 10, ligne 26; figures 1A, 1B *	1	INV. H01H9/40 H01H36/00
A	JP 2008 243450 A (OKI SENSOR DEVICE CORP) 9 octobre 2008 (2008-10-09) * abrégé; figure 1 *	1	
A	WO 01/67476 A1 (UNIV NORTHEASTERN [US]; MCGRUER NICOL E [US]; ZAVRACKY PAUL M [US]) 13 septembre 2001 (2001-09-13) * page 14, ligne 4-8 *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01H
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 23 avril 2012	Examineur Mäki-Mantila, M
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		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	
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			

EPO FORM 1503 03.02 (P04C02)

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

EP 12 15 1370

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.

23-04-2012

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0239472	A1	16-05-2002	AT 310316 T	15-12-2005
			AU 2872102 A	21-05-2002
			DE 60115086 D1	22-12-2005
			DE 60115086 T2	03-08-2006
			EP 1334501 A1	13-08-2003
			ES 2251524 T3	01-05-2006
			JP 2004513496 A	30-04-2004
			US 6587021 B1	01-07-2003
			WO 0239472 A1	16-05-2002

JP 2008243450	A	09-10-2008	AUCUN	

WO 0167476	A1	13-09-2001	AUCUN	

EPO FORM P0460

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