

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
28 avril 2011 (28.04.2011)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2011/048132 A1**

(51) Classification internationale des brevets :  
**G01P 15/12** (2006.01) **G01P 15/08** (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/EP2010/065780

(22) Date de dépôt international :  
20 octobre 2010 (20.10.2010)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
0957462 23 octobre 2009 (23.10.2009) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET  
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES** [FR/FR]; 25 rue  
Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **ROBERT,  
Philippe** [FR/FR]; 4 rue de Boston, F-38000 Grenoble  
(FR). **HENTZ, Sébastien** [FR/FR]; 35 avenue de Vizille,  
F-38000 Grenoble (FR).

(74) Mandataire : **ILGART, Jean-Christophe**; Brevalex, 95,  
rue d'Amsterdam, F-75378 Paris Cedex 8 (FR).

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

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

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : SENSOR FOR IN-PLANE PIEZORESISTIVE DETECTION

(54) Titre : CAPTEUR A DETECTION PIEZORESISTIVE DANS LE PLAN

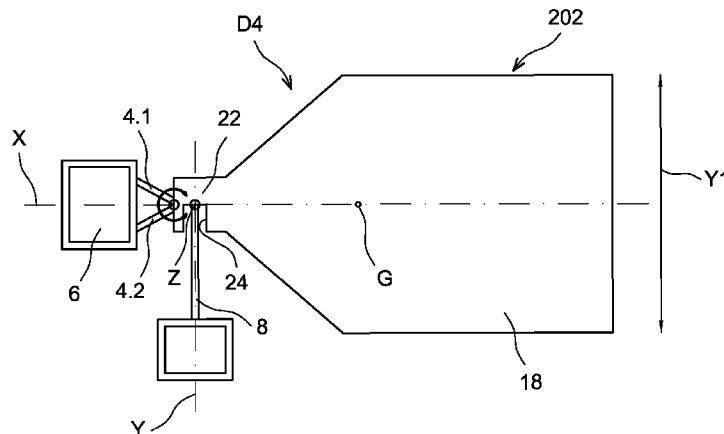


FIG. 4

(57) Abstract : The invention relates to an in-plane MEMS or NEMS detection device for measuring movements oriented in one direction (Y1) comprising a seismic mass (202) suspended relative to a substrate, said seismic mass (202) capable of swiveling about an axis (Z) perpendicular to the plane of the substrate, at least one piezoresistive strain gauge (8), which is mechanically linked to the seismic mass (202) and to the substrate, wherein said piezoresistive gauge (8) has a thickness smaller than that of the seismic mass (202) and wherein the axis (Y) of the piezoresistive strain gauge (8) is orthogonal to the plan containing the swiveling axis (Z) and the center of gravity (G) of the seismic mass (202) and said plane is orthogonal to the direction (Y1) of the movements to be measured.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



WO 2011/048132 A1



---

Dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan destiné à mesurer des déplacements orientés selon une direction (Y1) comportant une masse sismique (202) suspendue par rapport à un substrat, ladite masse sismique (202) étant apte à pivoter autour d'un axe (Z) perpendiculaire au plan du substrat, au moins une jauge de contrainte piézorésistive (8) mécaniquement liée à la masse sismique (202) et au substrat, dans lequel ladite jauge piézorésistive (8) présente une épaisseur inférieure à celle de la masse sismique (202), et dans lequel l'axe (Y) de la jauge de contrainte piézorésistive (8) est orthogonal au plan contenant l'axe du pivot (Z) et le centre de gravité (G) de la masse sismique (202) et ledit plan étant orthogonal à la direction (Y1) des déplacements à mesurer.

**CAPTEUR A DETECTION PIEZORESISTIVE DANS LE PLAN****DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTÉRIEUR**

5                   La présente invention se rapporte à un capteur à détection piézorésistive dans le plan.

                  Le domaine de l'invention est notamment celui des micro/nano-capteurs, des accéléromètres et des capteurs inertiels.

10                  Un capteur est dit dans le plan, lorsque l'axe sensible de déplacement de la masse sismique ou mobile se situe dans un plan parallèle au substrat, par opposition à un capteur hors plan dans lequel la masse sismique se déplace selon une direction perpendiculaire  
15                  au substrat.

                  Il existe des accéléromètres MEMS (systèmes microélectromécaniques) ou NEMS (systèmes nanoélectromécaniques) comportant une masse sismique suspendue munie de doigts, lesdits doigts étant  
20                  interdigités avec des doigts portés par une partie fixe. La variation de capacité entre les doigts est mesurée et permet de déterminer le déplacement de la masse et d'accéder à l'accélération de la masse.

                  On cherche à réduire la taille de ces  
25                  systèmes, or en réduisant les dimensions, on tend également à réduire la sensibilité des systèmes. En effet, on tend à une « rigidification relative » de la structure par rapport aux forces d'inertie.

                  Il existe également un accéléromètre de  
30                  type comportant une masse sismique destinée à se

déplacer sous l'effet de forces extérieures, suspendue par une poutre formant un axe de rotation pour la masse et une ou plusieurs jauges piézorésistives aptes à détecter le déplacement de la masse sismique. Un tel accéléromètre est connu du document US 2007/0084041 et de l'article « *Single-mask SOI fabrication process for linear and angular piezoresistive accelerometers with on-chip reference resistors* » - *Jesper Eklund, E.; Shkel, A.M. - Sensors, 2005 IEEE - 30 Oct.-3 Nov. 2005* Page(s): 656-659.

L'accéléromètre décrit dans ces documents comporte une masse sismique suspendue par une poutre définissant une charnière et deux jauges piézorésistives disposées de part et d'autre de la poutre et parallèles à celle-ci. Cet accéléromètre est destiné à mesurer les accélérations dans le plan de la structure et orthogonal à la poutre.

D'une part cet accéléromètre présente une faible sensibilité.

D'autre part, cet accéléromètre est très sensible aux accélérations transverses, i.e. orientées parallèlement à l'axe de la poutre, puisque l'axe sensible des jauges piézorésistives est parallèle à cette direction transverse.

C'est par conséquent un but de la présente invention d'offrir un dispositif à détection piézorésistive dans le plan de sensibilité augmentée, tout en offrant une sensibilité réduite aux déplacements transverses.

**EXPOSÉ DE L'INVENTION**

Le but précédemment énoncé est atteint par un dispositif à détection piézorésistive dans le plan, comportant une masse sismique suspendue par au moins  
5 une poutre formant également une liaison pivot d'axe orthogonal au plan du dispositif, la masse étant apte à se déplacer dans le plan autour de cet axe, et au moins une jauge piézorésistive. La ou les jauge(s) présente(nt) une épaisseur réduite par rapport à celle  
10 de la masse sismique, l'axe reliant l'axe de liaison pivot et le centre de gravité de la masse sismique est perpendiculaire à la direction des accélérations à mesurer et l'axe de la jauge est perpendiculaire à l'axe reliant l'axe de liaison pivot et le centre de  
15 gravité de la masse sismique.

L'épaisseur réduite de la jauge piézorésistive permet une concentration de contraintes, augmentant sa sensibilité. De plus, la jauge piézorésistive étant très peu sensible en flexion, la  
20 disposition particulière de la jauge rend le dispositif très peu sensible aux déplacements transverses. Cette faible sensibilité aux accélérations transverses est encore accentuée par la configuration particulière de l'axe de rotation de la masse sismique et du centre de  
25 gravité de la masse sismique.

La présente invention a alors principalement pour objet un dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan destiné à mesurer des déplacements orientés selon une direction comportant  
30 une masse sismique suspendue par rapport à un substrat, ladite masse sismique étant apte à pivoter autour d'un

axe perpendiculaire au plan du substrat, au moins une  
jauge de contrainte piézorésistive suspendue entre la  
masse sismique et le substrat, et reliée directement  
mécaniquement et électriquement d'une part à la masse  
5 sismique et d'autre part à un plot d'encastrement ancré  
au substrat, la masse sismique étant elle-même  
suspendue par rapport au substrat par au moins une  
poutre, ladite au moins une poutre étant reliée au  
substrat en une zone distincte de celle par laquelle la  
10 jauge est reliée au substrat, dans lequel ladite jauge  
piézorésistive présente une épaisseur inférieure à  
celle de la masse sismique, et dans lequel l'axe de la  
jauge piézorésistive est orthogonal au plan contenant  
l'axe du pivot et le centre de gravité de la masse  
15 sismique et ledit plan étant orthogonal à la direction  
des déplacements à mesurer, i.e. l'axe de la jauge est  
parallèle à la direction des accélération à détecter.

De manière particulièrement avantageuse, la  
liaison mécanique entre la jauge piézorésistive et la  
20 masse sismique se situe sur ou au plus près du plan  
contenant le centre de gravité et l'axe du pivot.

Par exemple, la masse sismique comporte un  
évidement recevant l'extrémité de la jauge destinée à  
être connectée à la masse sismique, ladite extrémité de  
25 la jauge étant connectée au fond de l'évidement, le  
fond de l'évidement se situant dans le plan contenant  
le centre de gravité et l'axe du pivot ou au plus près.

On peut prévoir avantageusement que la  
masse sismique comporte une zone effilée dans le plan  
30 de la masse sismique au niveau de sa connexion avec la  
jauge piézorésistive.

L'épaisseur de la masse sismique et celle de la jauge piézorésistive sont avantageusement comprises entre quelques dizaines de  $\mu\text{m}$  et quelques centaines de  $\mu\text{m}$ .

5 Le plan contenant l'axe du pivot et le centre de gravité forme avantageusement un plan de symétrie pour des moyens de suspension de la masse sismique.

Par exemple, les moyens maintenant la masse  
10 sismique suspendue et portant l'axe de rotation de la masse comportent au moins une poutre présentant une épaisseur supérieure ou égale à celle de la jauge piézorésistive et inférieure à celle de la masse sismique.

15 Dans un exemple avantageux, la au moins une poutre des moyens maintenant la masse sismique suspendue et portant l'axe de rotation de la masse est disposée sensiblement dans le plan contenant le centre de gravité, parallèle au plan du substrat.

20 Dans un autre exemple de réalisation, les moyens maintenant la masse sismique suspendue et portant l'axe de rotation de la masse comportent au moins une poutre présentant une épaisseur égale à l'épaisseur de la masse sismique.

25 Lesdits moyens maintenant la masse sismique suspendue et portant l'axe de rotation de la masse peuvent comporter deux poutres sensiblement de mêmes longueurs ancrées sur le substrat en deux points distincts et ancrées sur la masse sismique en un point  
30 par lequel passe l'axe du pivot.

Le dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan selon l'invention peut avantageusement comporter deux jauges piézorésistives montées en différentiel symétriquement par rapport audit plan. Le montage des deux jauges piézorésistives montées en différentiel est associé à un montage en demi-pont de Wheatstone.

La présente invention a également pour objet un procédé de réalisation d'un dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan selon la présente invention, ce procédé comportant :

- la formation d'une première zone mince, présentant une première épaisseur formant au moins une jauge piézoélectrique.
- la formation d'une deuxième zone épaisse, présentant une deuxième épaisseur supérieure à la première épaisseur, formant au moins une masse sismique.

La première zone mince peut être réalisée par la formation d'une portion d'une deuxième couche sacrificielle au sein d'une couche de matériau semi-conducteur, et de gravure de cette portion et d'une première couche sacrificielle.

La formation d'une portion d'une deuxième couche sacrificielle au sein d'une couche de matériau semi-conducteur peut comporter :

- la gravure d'une première couche de matériau semi-conducteur située sur la première couche sacrificielle,
- le dépôt et la gravure de la deuxième couche sacrificielle pour définir ladite portion,



- la réalisation d'une deuxième couche de matériau semi-conducteur.

Dans un exemple de réalisation, la réalisation de la deuxième couche de matériau semi-conducteur est obtenue par croissance épitaxiale.

Dans un autre exemple de réalisation, la deuxième couche de matériau semi-conducteur est du semi-conducteur polycristallin.

La formation d'une troisième zone, dite zone charnière, d'épaisseur peut avoir lieu entre la formation de la première zone et la formation de la deuxième zone.

Par exemple, la première zone et la troisième zone sont obtenues par des étapes de gravure indépendantes l'une de l'autre. La gravure de la troisième zone peut être effectuée avant la gravure des première et deuxième zones, par exemple par DRIE.

#### **BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS**

La présente invention sera mieux comprise à l'aide de la description qui va suivre et des dessins en annexe sur lesquels :

- les figures 1A et 1B sont des vues de dessus et de côté respectivement d'un premier mode de réalisation d'un dispositif selon la présente invention,

- la figure 2 est une vue de dessus d'une variante du dispositif des figures 1A et 1B,

- la figure 3 est une vue de dessus d'un premier exemple d'un deuxième mode de réalisation

avantageux d'un dispositif de détection dans le plan selon la présente invention,

- la figure 4 est une vue de dessus d'un deuxième exemple du deuxième mode de réalisation d'un  
5 dispositif de détection selon la présente invention,

- la figure 5 est une vue de côté d'une variante du dispositif de la figure 4, dans laquelle l'épaisseur de la charnière est réduite par rapport à celle de la masse sismique,

10 - la figure 5' est une variante du dispositif de la figure 5,

- la figure 6 est une vue de dessus d'un dispositif de mesure selon le deuxième mode de réalisation, les jauges piézorésistives étant montées  
15 en différentiel,

- la figure 7 est une vue de dessus d'un dispositif de mesure selon le deuxième mode de réalisation munis de jauges piézorésistives différentielles montées en pont de Wheatstone,

20 - les figures 8A à 8G sont des représentations schématiques des étapes d'un premier exemple de procédé de réalisation du dispositif selon la présente invention selon,

- les figures 9A à 9G sont des  
25 représentations schématiques des étapes d'un deuxième exemple de procédé de réalisation du dispositif selon la présente invention selon,

- les figures 10A à 10H sont des  
30 représentations schématiques des étapes d'un troisième exemple de procédé de réalisation du dispositif selon la présente invention, permettant de réaliser une

charnière d'épaisseur réduite par rapport à celle de la masse,

- la figure 11 est une vue de dessus d'un autre exemple de réalisation du deuxième mode de réalisation.

### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Sur les figures 1A et 1B, on peut voir un premier exemple de réalisation d'un dispositif selon la présente invention.

10 Le dispositif de détection à jauge piézorésistive D1 comporte une masse sismique 2 destinée à être déplacée sous l'effet d'un effort extérieur, par exemple sous l'effet d'une accélération dans le cas d'un accéléromètre. On souhaite mesurer les  
15 accélérations parallèles à une direction Y1.

La masse sismique 2 est suspendue au-dessus d'un substrat 7 au moyen d'une poutre 4 reliée à un plot 6, formant encastrement, solidaire du substrat 7. La poutre 4 maintient la masse sismique 2 sensiblement  
20 parallèle au substrat 7.

Le dispositif D1 comporte également une jauge de contrainte piézorésistive 8, de type poutre suspendue entre la masse sismique 2, d'axe Y et un deuxième plot 12 formant encastrement. L'axe Y de la  
25 jauge 8 s'étend dans la direction de la plus grande dimension de la jauge 8.

La poutre 4 présente un axe longitudinal X. La poutre 4 forme une charnière 11 ou liaison pivot d'axe Z perpendiculaire au plan du substrat, autour

duquel la masse sismique va pivoter sous l'effet de l'accélération. Le plan du substrat sera désigné XY.

L'axe X et l'axe Z définissent un plan de symétrie de la poutre, perpendiculaire au plan du substrat, plus généralement des moyens de suspension et d'articulation de la masse sur le substrat. Le centre de gravité G de la masse sismique 2 est contenu dans ledit plan XZ. Le dispositif est orienté de sorte que le plan contenant l'axe Z et le centre de gravité G soit perpendiculaire à la direction Y1.

Selon la présente invention, la jauge 8 présente un axe Y parallèle à la direction Y1 et perpendiculaire au plan contenant l'axe Z de la liaison pivot 11 et le centre de gravité G.

Nous allons rappeler ci-dessous le fonctionnement d'une jauge de contrainte piézorésistive. Lorsque la jauge est déformée le long de son axe, et que sa longueur varie, sa résistance électrique varie également, c'est en mesurant cette variation de résistance que l'on peut en déduire le déplacement de la masse sismique et déterminer l'accélération extérieure. La variation de la résistance électrique est mesurée en faisant circuler un courant électrique dans la jauge 8.

Par conséquent, du fait de l'orientation de la jauge 8 selon la présente invention, le dispositif D1 est peu sensible aux déplacements transverses, i.e. aux déplacements selon une direction orthogonale à la direction Y1, car ceux-ci appliquent à la jauge 8, un effort en flexion, auquel la jauge 8 est peu sensible.

De plus, le dispositif est également peu sensible à la température, car en cas de dilatation de la poutre, celle-ci applique également un effort de flexion à la jauge 8, auquel elle n'est pas sensible.

5           En outre, comme on peut le voir sur la vue en coupe de la figure 1B, la masse sismique 2 présente une épaisseur E1, supérieure à l'épaisseur E2 de la jauge 8. Par exemple E1 est comprise entre quelques  $\mu\text{m}$  et quelques dizaines de  $\mu\text{m}$ , par exemple 50  $\mu\text{m}$  et E2 est  
10           comprise entre 0,1  $\mu\text{m}$  et 0,5  $\mu\text{m}$ .

La poutre 4 formant charnière présente une épaisseur E3, dans l'exemple représenté, celle-ci est égale à E1, cependant elle pourrait être égale à E2 ou comprise entre E2 et E1.

15           La réduction de l'épaisseur de la jauge 8, et donc de sa section, permet de concentrer les contraintes qu'elle subit du fait du déplacement de la masse sismique 2, dans une section réduite, ce qui a pour effet d'augmenter la sensibilité du dispositif de  
20           détection D1.

Du fait du procédé de réalisation, la face de la jauge 8 en regard du substrat 7 se situe dans le même plan que la face de la masse sismique 2 en regard du substrat 7.

25           Des moyens (non représentés) pour appliquer une tension constante à la jauge, et pour mesure une variation de courant circulant dans la jauge et de traitement des mesures de variation de courant sont associées au dispositif D1.

30           Dans l'exemple représenté, le courant circule entre le plot 12 d'encastrement de la jauge et

le plot 6 d'encastrement de la poutre 4, via la jauge 8 et la charnière.

Dans une variante, on peut prévoir d'utiliser une jauge formée de deux brins connectés  
5 électriquement en série, le courant mesuré circulant dans un sens dans le premier brin du contact en direction de la masse, puis dans le deuxième brin à partir de la masse vers le plot 12.

La configuration selon la présente  
10 invention présente l'avantage d'offrir un effet de levier, le rôle du levier étant joué par l'axe reliant l'axe de pivot Z et le centre de gravité G, celui-ci pivotant autour de l'axe de pivot Z. L'effort appliqué au centre de gravité G est amplifié par l'effet levier  
15 au niveau de l'ancrage de la jauge 8 sur la masse sismique 2. Par conséquent, même une faible accélération peut être détectée.

Nous allons maintenant expliquer le fonctionnement de ce dispositif de détection.

20 Le dispositif D1 est disposé au sein d'un environnement dont on veut mesurer l'accélération, par exemple est fixé à un objet dont on souhaite mesurer l'accélération. L'orientation de la jauge 8 est telle que l'axe Y de la jauge piézorésistive 8 est parallèle  
25 à la direction de l'accélération à mesurer.

Lorsque l'environnement connaît une telle accélération, la masse sismique 2 est mise en mouvement autour de l'axe Z, dans le sens de la flèche F1 ou dans le sens de la flèche F2. Ce déplacement de la masse  
30 sismique 2 applique des contraintes sur la jauge piézorésistive 8, soit des contraintes de traction si

le déplacement est dans le sens F1, soit des contraintes de compression si le déplacement est dans le sens F2.

Ces contraintes appliquées à la jauge 8  
5 provoquent une variation de la résistance électrique de la jauge, qui est alors mesurée via la variation du courant circulant dans la jauge. Cette variation de résistance permet de déterminer l'amplitude du déplacement de la masse sismique 2 et d'en déduire la  
10 valeur de l'accélération appliquée à l'environnement.

Sur la figure 2, on peut voir une variante du dispositif des figures 1A et 1B, dans laquelle la charnière ou liaison pivot n'est plus réalisée par une seule poutre 4 flexible dans le plan mais par deux  
15 poutres 4.1 et 4.2 flexibles dans le plan, fixées par une extrémité sur le plot 6 en deux point distincts et par une autre extrémité sur la masse sismique 2 en un point commun et définissant l'axe de pivot Z au niveau du point commun de fixation à la masse sismique 2.  
20 Cette configuration a pour effet avantageux d'obtenir une rotation pure ou quasiment pure de la masse sismique 2 autour de l'axe Z.

Le fonctionnement du dispositif D2 est identique à celui du dispositif D1.

25 Sur la figure 3, on peut voir un deuxième mode de réalisation d'un dispositif de détection D3 selon la présente invention particulièrement avantageux.

Dans ce mode de réalisation, l'extrémité de  
30 la jauge de contrainte 8 solidaire de la masse sismique 102 est raccordée à celle-ci sur l'axe X passant par

l'axe de pivot Z et le centre de gravité G de la masse sismique 102.

Cette configuration présente l'avantage que toute ou presque tout l'intensité de contrainte appliquée par le déplacement de la masse sismique 102 participe à la déformation selon l'axe Y de la jauge de contrainte 8. En effet, lorsque l'ancrage de la jauge 8 est décalée par rapport à l'axe passant par la liaison pivot et le centre de gravité G, comme c'est le cas dans le premier mode de réalisation, une partie de la contrainte de déformation exerce sur la jauge un effort de flexion combiné à un effort de compression ou de traction, cet effort de flexion ne participant pas ou très peu à la variation de la résistance électrique de la jauge piézorésistive 8.

Dans l'exemple représenté sur la figure 3, la masse sismique 102 comporte un évidement 14 dans sa face latérale 102.1 du côté de la jauge 8, cet évidement comportant un fond 16 aligné avec l'axe X, permettant ainsi à la jauge 8 de se raccorder à la masse sismique 102 au niveau du fond 16 de l'évidement 14. La liaison pivot d'axe Z est réalisée, comme pour le dispositif D2, par deux poutres inclinées l'une vers l'autre.

Une masse sismique comportant un tel évidement mais dont le fond n'est pas aligné avec l'axe X ne sort pas du cadre de la présente invention, il permet de rapprocher la liaison entre la jauge et la masse de l'axe X.

Sur la figure 4, on peut voir un deuxième exemple de dispositif de détection D4 selon le deuxième



mode de réalisation, dans lequel la forme de la masse sismique 202 est modifiée.

La masse sismique 202 comporte, dans cet exemple, une première partie 18 parallélépipédique de plus grande largeur, une deuxième partie 20 trapézoïdale dont la grande base est commune à un côté de la première partie et une troisième partie 22 raccordée d'une part au moyen formant pivot et d'autre part à la jauge de contrainte 8. La masse mobile 202 présente sensiblement une symétrie par rapport à l'axe X.

La troisième partie 22 est également de forme parallélépipédique, elle présente une plus petite largeur confondue avec la petite base de la deuxième partie, comportant un évidement 24 pour permettre le raccordement de la jauge à la masse sismique en un lieu situé sur l'axe X ou au plus près de celui-ci. La profondeur de l'évidement 24 est réduite par rapport à celle de l'évidement 14 du dispositif D3 de la figure 3.

La masse sismique 202 est généralement monolithique, la division en trois parties a pour but de simplifier la description, et n'est pas nécessairement représentative de la réalisation industrielle.

Cette forme effilée de la masse sismique 202 au niveau de la liaison entre la masse sismique 202 et la jauge 8 permet de mettre en œuvre une jauge piézorésistive 8 courte. En effet, en dégagant la zone de liaison de la jauge 8 sur la masse sismique, il est possible de rapprocher le plot d'ancrage 12 de cette zone et donc de mettre en œuvre une jauge plus courte. Le fait de mettre en œuvre une jauge courte permet

d'avoir une jauge de résistance électrique réduite et donc de diminuer le bruit de mesure.

La liaison pivot d'axe Z est réalisée, comme pour le dispositif D2, par deux poutres inclinées l'une vers l'autre.

Il est à noter que la troisième partie 22 à laquelle se raccorde la jauge est réalisée de telle sorte qu'elle présente une rigidité supérieure à celle de la liaison pivot Z afin que la masse sismique 202 pivote autour de l'axe Z et non autour d'un axe perpendiculaire au substrat et situé au niveau de la troisième partie 22.

Dans les exemples décrits précédemment, la ou les poutre(s) formant charnière présentent une épaisseur égale à celle de la masse sismique, ceci présente comme avantage d'offrir un dispositif peu sensible aux accélérations transverse et de réalisation simplifiée, puisque la charnière est réalisée simultanément à la masse.

Sur la figure 5, on peut voir une vue en coupe d'un dispositif D5 très proche de D4, cependant dans ce cas l'épaisseur E3 des poutres formant la liaison pivot est inférieure à l'épaisseur E1 de la masse sismique 202 et supérieure à celle de la jauge 8.

Cet amincissement de la charnière permet d'augmenter encore la sensibilité du dispositif.

Dans un exemple particulièrement avantageux représenté sur la figure 5', la charnière présente une épaisseur E3 réduite et est située dans un plan parallèle au plan du substrat et contenant le centre de gravité G de la masse sismique 202. Cette disposition

permet de rendre de réduire encore la sensibilité aux accélérations transverses. E3 peut être inférieure à l'épaisseur E2 de la jauge 8.

Sur la figure 6, on peut voir un autre exemple de réalisation d'un dispositif de détection D6 selon le deuxième mode de réalisation, comportant deux jauges piézorésistives 308, 308' montées en différentiel. La masse sismique 202 présente dans cet exemple une forme effilée, mais cela n'est en aucun cas limitatif.

Les jauges sont disposées symétriquement par rapport à l'axe X. La masse sismique 202 comporte une troisième partie 322 munie de deux évidements 324, 324' symétrique par rapport à l'axe, de sorte que les deux jauges 308, 308' soient reliées à la masse sismique 202 au plus près de l'axe X. Les axes des deux jauges 308, 308' sont orthogonaux au plan contenant l'axe de rotation Z et le centre de gravité G.

Les dimensions de la troisième partie 32 sont choisies de sorte que sa rigidité soit supérieure à celle de la liaison pivot autour de l'axe Z.

Ce montage différentiel permet de s'affranchir de l'effet des variations de température.

Sur la figure 7, on peut voir un autre exemple de réalisation d'un dispositif de détection D7 comportant des jauges piézorésistives 408, 408' montées en différentiel associées à un montage en pont de Wheatstone, plus précisément en demi-pont de Wheatstone.

La résistance de la jauge 408' est désignée  $R + dR$  et la résistance de la jauge 408 est désignée

R-dR. En effet les résistances des deux jauges 408, 408' varient en sens contraire.

On applique une tension  $V_e$  et on mesure une tension  $V_s$  entre le point A et le point B qui est situé  
 5 ici sur plot 6 d'ancrage des poutres formant la liaison pivot autour de l'axe Z, qui est au même potentiel que le point de connexion des deux jauges 408, 408'.

Les autres résistances ont une valeur R.

En appliquant le théorème de Milman, on  
 10 obtient

$$V_{\text{sortie}} = \frac{V_{\text{entrée}}}{2} \frac{dR}{R}$$

On en déduit

$$dR = 2R \frac{V_{\text{sortie}}}{V_{\text{entrée}}}$$

A partir de cette mesure de variation de  
 15 résistance due au déplacement de la masse sismique 202, on peut en déduire l'accélération subie par le dispositif.

On peut également réaliser un montage en pont de Wheatstone, dans ce cas, on utilise de  
 20 préférence deux masses mobiles associées chacune à deux jauges piézoélectriques montées en différentiel.

Ce montage permet d'augmenter encore la sensibilité du dispositif de détection selon la présente invention.

25 Dans les exemples représentés, la masse est pleine, cependant on peut prévoir que celle-ci soit ajourée. D'ailleurs, suivant les procédés de réalisation, la réalisation de lumières intervient pour libérer la masse.

Grâce à la présente invention, en réduisant la section de la ou des jauges piézorésistives, un gain significatif sur la sensibilité du dispositif à détection piézorésistive peut être obtenu.

5 Par ailleurs, le fait de réaliser la masse sismique et la jauge piézorésistive suivant des épaisseurs différentes, permet de les découpler, et ainsi de les optimiser séparément.

De plus, en positionnant la poutre de  
10 suspension de la masse sismique et la jauge piézorésistive à angle droit, la sensibilité transverse de l'accéléromètre est fortement limitée.

Par ailleurs, on bénéficie d'une amplification de la contrainte appliquée à la jauge par  
15 un effet levier.

En outre, en prévoyant la zone de liaison de la jauge piézorésistive sur ou au plus près de l'axe reliant l'axe de pivot et le centre de gravité, la contrainte due au déplacement est toute ou presque  
20 toute axiale.

Avantageusement, la distance entre la zone de liaison et l'axe reliant l'axe de pivot et le centre de gravité est de l'ordre du  $\mu\text{m}$ . A titre d'exemple, dans le cas d'une masse de longueur 300  $\mu\text{m}$ , de largeur  
25 200  $\mu\text{m}$  et d'épaisseur de 15  $\mu\text{m}$ , et une jauge de longueur de 4  $\mu\text{m}$ , d'épaisseur de 0,15  $\mu\text{m}$  et de largeur de 0,25  $\mu\text{m}$ , cette distance est de l'ordre de 2  $\mu\text{m}$ .

Nous allons maintenant décrire plusieurs exemples de réalisation de procédés de réalisation d'un  
30 dispositif à détection piézorésistive selon la présente invention.

Sur les figures 8A à 8G, on peut voir les différentes étapes d'un premier exemple d'un procédé de réalisation du dispositif selon la présente invention.

On part d'un substrat SOI (silicium on insulator) comportant par exemple une couche de silicium 26, une couche d'oxyde de silicium (buried oxide) 28 d'épaisseur 1  $\mu\text{m}$ , et une couche de silicium 30, par exemple d'épaisseur 0,3 sur la couche 28. La couche 28 forme la couche sacrificielle. On pourrait également réaliser l'empilement en reportant la couche 30 de Si sur l'empilement des couches 26 et 28, ou effectuer un dépôt de cette couche 30 sur la couche 28. De préférence, la couche 30 est en silicium monocristallin.

Il est ensuite procédé à une photolithographie, puis à une gravure de la couche 30 de silicium pour définir la jauge piézorésistive 8 et définir la zone de contact avec le substrat. La gravure est arrêtée sur la couche de  $\text{SiO}_2$  (figure 8A).

Lors d'une étape suivante représentée sur la figure 8B, on procède au dépôt d'une couche de  $\text{SiO}_2$  32, par exemple d'épaisseur 0,3  $\mu\text{m}$ , destinée à former une couche d'arrêt.

Ensuite, est réalisée une photolithographie destinée à délimiter une portion 32.1 de la couche 32 recouvrant la jauge piézorésistive. Une gravure de la couche 32 est ensuite réalisée, supprimant celle-ci sauf au niveau de la portion 32.1. Le  $\text{SiO}_2$  dans la zone de contact avec le substrat est également gravé. Un décapage peut être effectué pour supprimer les résidus de gravure et du masque.

Lors d'une étape suivante représentée sur la figure 8C, on effectue un dépôt d'une couche de Si 34 par croissance épitaxiale sur la couche 30 de Si et sur la portion 32.1 de SiO<sub>2</sub>. Cette couche a par exemple une épaisseur de 20 µm, et comporte une partie 34.1 formée de silicium monocristallin et une partie 34.2 formée de silicium polycristallin au dessus de la portion 34.1 de SiO<sub>2</sub>. Un polissage mécano-chimique de la surface libre de la couche 34 peut être effectué afin de supprimer le défaut de planéité introduit par la portion 32.1.

Lors d'une étape suivante représentée sur la figure 8D, on effectue une photolithographie pour définir l'emplacement des plots 36 de contact. Ensuite est effectuée, un retrait des parties du masque au niveau de ces emplacements et une implantation au niveau de ces plots 36. Une étape de recuit est ensuite réalisée.

Lors d'une étape suivante représentée sur la figure 8E, on effectue un dépôt d'une couche métallique dans laquelle seront réalisés les contacts électriques 38. Puis une photolithographie est réalisée sur cette couche protégeant la couche métallique au-dessus des plots 36. La couche métallique est ensuite gravée laissant seulement les contacts 38. Un décapage peut être effectué pour supprimer les résidus de gravure et du masque.

Lors d'une étape suivante représentée sur la figure 8F, on effectue une photolithographie destinée à permettre une gravure sélective de la couche 34, notamment pour supprimer la portion 34.1 au-dessus

de la jauge piézorésistive et pour définir la masse, les plots d'ancrage et les contacts avec la couche 26. On effectue ensuite des gravures verticales 40 dans l'épaisseur de la couche 34 jusqu'à la couche d'oxyde 28 et la portion d'oxyde 32.1 par exemple par DRIE (Deep Reactive Ion Etching).

On effectue ensuite un décapage pour supprimer les résidus de gravure.

Lors d'une étape suivante représentée sur la figure 8G, on libère la masse sismique 2 et la charnière, en retirant la couche d'oxyde 28 et la jauge piézorésistive 8 en retirant la portion 32.1, par exemple au moyen d'acide sulfurique liquide et/ou vapeur. Il s'agit d'une gravure au temps. L'acide sulfurique est laissé au contact de la couche d'oxyde 28 et de l'oxyde le temps nécessaire pour libérer la masse sismique tout en laissant de la couche sacrificielle sous les parties fixes du système.

Sur les figures 9A à 9G, on peut voir un autre exemple d'un procédé de réalisation d'un dispositif à détection piézorésistive selon la présente invention.

On part d'un substrat SOI (silicium on insulator) comportant par exemple une couche de silicium 126, une couche d'oxyde de silicium (buried oxide) 128 d'épaisseur 1  $\mu\text{m}$ , et une couche de silicium 130, par exemple d'épaisseur 0,15  $\mu\text{m}$  sur la couche 128. Avantagusement la couche 130 est en Si monocristallin.

Il est ensuite procédé à une photolithographie puis une gravure de la couche 130 de silicium pour définir la jauge piézorésistive 8 et



définir la zone de contact avec le substrat. La gravure est arrêtée sur la couche de SiO<sub>2</sub> (figure 9A).

Lors d'une étape suivante représentée sur la figure 9B, on procède au dépôt d'une couche de SiO<sub>2</sub> 132, par exemple d'épaisseur 0,3 µm destinée à former une couche d'arrêt.

Ensuite, est réalisée une photolithographie destinée à délimiter une portion 132.1 de la couche 132 recouvrant la jauge piézorésistive. Une gravure de la couche 132 est ensuite réalisée, supprimant celle-ci sauf au niveau de la portion 132.1. Le SiO<sub>2</sub> dans la zone de contact avec le substrat est également gravé. Un décapage peut être effectué pour supprimer les résidus de gravure et du masque.

Lors d'une étape suivante représentée sur la figure 9C, on effectue un dépôt d'une couche de Si 134 polycristallin sur la couche 130 de Si et sur la portion 132.1 de SiO<sub>2</sub>. Cette couche a par exemple une épaisseur de 15 µm. Un polissage mécano-chimique de la surface libre de la couche 134 peut être effectué afin de supprimer le défaut de planéité introduit par la portion 132.1. La couche 134 peut également être un matériau conducteur ou isolant. En effet, il n'a pas nécessaire que la couche 134 soit dans le même matériau que celui de la couche 130, puisqu'elle sert à définir la masse et la charnière, et non la jauge. Dans le cas d'un matériau isolant, une étape supplémentaire pour récupérer le contact électrique sur la couche de silicium 126 est à prévoir.

Lors d'une étape suivante représentée sur la figure 9D, on effectue une photolithographie pour

définir l'emplacement des plots 136 de contact. Ensuite est effectué un retrait des parties du masque au niveau de ces emplacements et une implantation au niveau de ces plots 36. Une étape de recuit est ensuite réalisée.

5 Lors d'une étape suivante représentée sur la figure 9E, on effectue un dépôt d'une couche métallique dans laquelle seront réalisés les contacts électriques 138. Puis une photolithographie est réalisée sur cette couche protégeant la couche  
10 métallique au-dessus des plots 136. La couche métallique est ensuite gravée laissant seulement les contacts 138. Un décapage peut être effectué pour supprimer les résidus de gravure et du masque.

Lors d'une étape suivante représentée sur  
15 la figure 9F, on effectue une photolithographie destinée à permettre une gravure sélective de la couche 134, notamment pour supprimer la portion au-dessus de la jauge piézorésistive et pour définir la masse, les plots d'ancrage et les contacts avec la couche 126. On  
20 effectue ensuite des gravures verticales 140 dans l'épaisseur de la couche 134 jusqu'à la couche d'oxyde 128 et la portion d'oxyde 132.1 par exemple par DRIE (Deep Reactive Ion Etching).

On effectue ensuite un décapage pour  
25 supprimer les résidus de gravure.

Lors d'une étape suivante représentée sur la figure 9G, on libère la masse sismique 2 et la charnière, en retirant la couche d'oxyde 128 et la jauge piézorésistive 8 en retirant la portion 132.1,  
30 par exemple au moyen d'acide sulfurique liquide et/ou vapeur. Il s'agit d'une gravure au temps. L'acide

sulfurique est laissé au contact de la couche d'oxyde 128 et de l'oxyde le temps nécessaire pour libérer la masse sismique tout en laissant de la couche sacrificielle sous les parties fixes du système.

5                   Avec les exemples de procédé décrits ci-dessus, on obtient une ou des poutres définissant la liaison pivot dont l'épaisseur est égale à celle de la masse sismique. Sur les figures 10A à 10G, est schématisé un autre exemple d'un procédé de réalisation  
10 d'un dispositif à détection piézorésistive selon la présente invention, permettant de réaliser une ou des poutres formant la liaison pivot dont l'épaisseur est inférieure à elle de la masse sismique et supérieure à celle de la jauge piézorésistive, comme dans le  
15 dispositif de la figure 5. Les étapes 10A à 10E sont similaires aux étapes 9A à 9E, la description des étapes 9A à 9E ci-dessus s'applique et ne sera pas reproduite.

                  A l'étape 10F, on effectue une  
20 photolithographie destinée à permettre le retrait partielle de la couche 134 de silicium polycristallin sur une profondeur  $p$  inférieure à l'épaisseur totale  $h$  de la couche 134 afin de définir la liaison pivot 11. Le retrait de cette portion de couche 134 est obtenu  
25 par exemple par DRIE (Deep Reactive Ion Etching) sur une profondeur d'environ 5  $\mu\text{m}$ . Il s'agit par exemple d'une gravure au temps.

                  Lors d'une étape suivante représentée sur la figure 10G, on libère la masse sismique 2 et la  
30 charnière 11 en retirant la couche d'oxyde 128, et la jauge piézorésistive 8 en retirant la portion 132.1,

par exemple au moyen d'acide sulfurique liquide et/ou vapeur. Il s'agit d'une gravure au temps. L'acide sulfurique est laissé au contact de la couche d'oxyde 128 et de l'oxyde le temps nécessaire pour libérer la  
5 masse sismique tout en laissant de la couche sacrificielle sous les parties fixes du système.

Sur la figure 11, on peut voir un autre exemple particulièrement avantageux d'un dispositif de détection selon la présente invention.

10 Dans cet exemple de réalisation, la jauge de contrainte 8 est relié au plot d'ancrage 12 par un bras suspendu 42 lui-même ancré sur le plot d'ancrage 12. Le plot d'ancrage 12 est situé proche du plot d'ancrage 6 de la masse sismique 2.

15 Le bras suspendu 42 offre une rigidité importante dans la direction de l'accélération à mesurer, i.e. dans la direction de l'axe Y.

Cette disposition rapprochée du plot d'ancrage 12 de la jauge 8 et du plot d'ancrage 6 de la  
20 masse sismique 2 permet de limiter les dilatations différentielles entre le deux ancrages 6, 12 et donc de limiter la dérive de l'accéléromètre en fonction des contraintes mécaniques extérieures et de la température.

25 Le bras suspendu 42 est réalisé simultanément à la masse sismique 2. Les trous visibles sur la figure 11 sont destinés à permettre la libération de la masse sismique et du bras suspendu comme pour les autres exemples de réalisation.

**REVENDICATIONS**

1. Dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan destiné à mesurer des déplacements orientés selon une direction (Y1) comportant une masse sismique (2, 102, 202) suspendue par rapport à un substrat (7), ladite masse sismique (2, 102, 202) étant apte à pivoter autour d'un axe (Z) perpendiculaire au plan (XY) du substrat (7), au moins une jauge de contrainte piézorésistive (8, 308, 308', 408, 408') suspendue entre la masse sismique et le substrat (7), et reliée directement mécaniquement et électriquement d'une part à la masse sismique et d'autre part à un plot d'encastrement (6) ancré au substrat, la masse sismique (2, 102, 202) étant elle-même suspendue par rapport au substrat par au moins une poutre, ladite au moins une poutre étant reliée au substrat en une zone distincte de celle par laquelle la jauge est reliée au substrat, dans lequel ladite jauge piézorésistive (8, 308, 308', 408, 408') présente une épaisseur ( $E_2$ ) inférieure à celle ( $E_1$ ) de la masse sismique (2, 102, 202), et dans lequel l'axe (Y) de la jauge de contrainte piézorésistive (8, 308, 308', 408, 408') est orthogonal au plan (XZ) contenant l'axe du pivot (Z) et le centre de gravité (G) de la masse sismique (2, 102, 202) et ledit plan (XZ) étant orthogonal à la direction (Y1) des déplacements à mesurer.

2. Dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan selon la revendication 1, dans lequel la liaison mécanique entre la jauge piézorésistive

(8, 308, 308', 408, 408') et la masse sismique (102, 202) se situe sur ou au plus près du plan (XZ) contenant le centre de gravité (G) et l'axe du pivot (Z).

5

3. Dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan selon la revendication 2, dans lequel la masse sismique (102, 202) comporte un évidement recevant l'extrémité de la jauge (8, 308, 308', 408, 408') destinée à être connectée à la masse sismique (102, 202), ladite extrémité de la jauge piézorésistive (8, 308, 308', 408, 408') étant connectée au fond de l'évidement, le fond de l'évidement se situant dans le plan contenant le centre de gravité (G) et l'axe du pivot (Z) ou au plus près.

4. Dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la masse sismique (202) comporte une zone effilée dans le plan au niveau de sa connexion avec la jauge piézorésistive (8, 308, 308', 408, 408').

5. Dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel l'épaisseur ( $E_1$ ) de la masse sismique (2, 102, 202) est de l'ordre de quelques dizaines  $\mu\text{m}$  et l'épaisseur ( $E_2$ ) de la jauge piézorésistive (8, 308, 308', 408, 408') est de l'ordre de quelques  $\mu\text{m}$ .

30

6. Dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel le plan (XZ) contenant l'axe du pivot (Z) et le centre de gravité (G) forme un plan de symétrie pour des moyens de suspension de la masse sismique.

7. Dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel les moyens maintenant la masse sismique (2, 102, 202) suspendue et portant l'axe de rotation de la masse comportent au moins une poutre présentant une épaisseur ( $E_3$ ) supérieure ou égale à celle ( $E_2$ ) de la jauge piézorésistive et inférieure à celle ( $E_1$ ) de la masse sismique.

15

8. Dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la au moins une poutre des moyens maintenant la masse sismique suspendue et portant l'axe de rotation de la masse est disposée sensiblement dans le plan contenant le centre de gravité, parallèle au plan (XY) du substrat (7).

9. Dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan selon l'une des revendications 1 à 9 en combinaison avec la revendication 6, dans lequel les moyens maintenant la masse sismique (2, 102, 202) suspendue et portant l'axe de rotation de la masse comportent au moins une poutre présentant une épaisseur ( $E_3$ ) égale à l'épaisseur ( $E_1$ ) de la masse sismique (2).

30

10. Dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan selon l'une revendication 1 à 9, dans lequel lesdits moyens comportent deux poutres sensiblement de même longueur ancrées sur le substrat (7) en deux points distincts et ancrées sur la masse sismique (102, 202) en un point par lequel passe l'axe de pivot (Z).

11. Dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan selon l'une des revendications 1 à 10, comportant deux jauges piézorésistives (308, 308', 408, 408') montées en différentiel symétriquement par rapport audit plan.

12. Dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan selon la revendication 11, dans lequel le montage des deux jauges piézorésistives (408, 408') montées en différentiel est associé à un montage en demi-pont de Wheatstone.

13. Dispositif de détection MEMS ou NEMS selon l'une des revendications 1 à 12, dans lequel le courant circule entre le plot d'encastrement (12) d'au moins une jauge piézorésistive (8) et un plot d'encastrement (6) de la poutre, via la jauge piézorésistive (8) et une articulation (11) de la masse sismique par rapport au substrat autour de l'axe (Z).

14. Procédé de réalisation Dispositif de détection MEMS ou NEMS dans le plan selon l'une des revendications précédentes, ce procédé comportant :



- la formation d'une première zone mince, présentant une première épaisseur ( $E_2$ ) formant au moins une jauge piézoélectrique.

5 - la formation d'une deuxième zone épaisse, présentant une deuxième épaisseur ( $E_1$ ) supérieure à la première épaisseur ( $E_2$ ) supérieure à la première, formant au moins une masse sismique.

10 15. Procédé selon la revendication 14, la première zone mince étant réalisée par la formation d'une portion d'une deuxième couche sacrificielle au sein d'une couche (22) de matériau semi-conducteur, et de gravure de cette portion et d'une première couche sacrificielle.

15

16. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la formation d'une portion d'une deuxième couche sacrificielle au sein d'une couche (22) de matériau semi-conducteur comporte :

20 - la gravure d'une première couche de matériau semi-conducteur située sur la première couche sacrificielle,

- le dépôt et la gravure de la deuxième couche sacrificielle pour définir ladite portion,

25 - la réalisation d'une deuxième couche de matériau semi-conducteur, conducteur ou isolant.

30 17. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la réalisation de la deuxième couche de matériau semi-conducteur sur ladite portion est obtenue par croissance épitaxiale d'un matériau semi-conducteur.

18. Procédé selon la revendication 16, dans lequel la deuxième couche est un matériau semi-conducteur polycristallin.

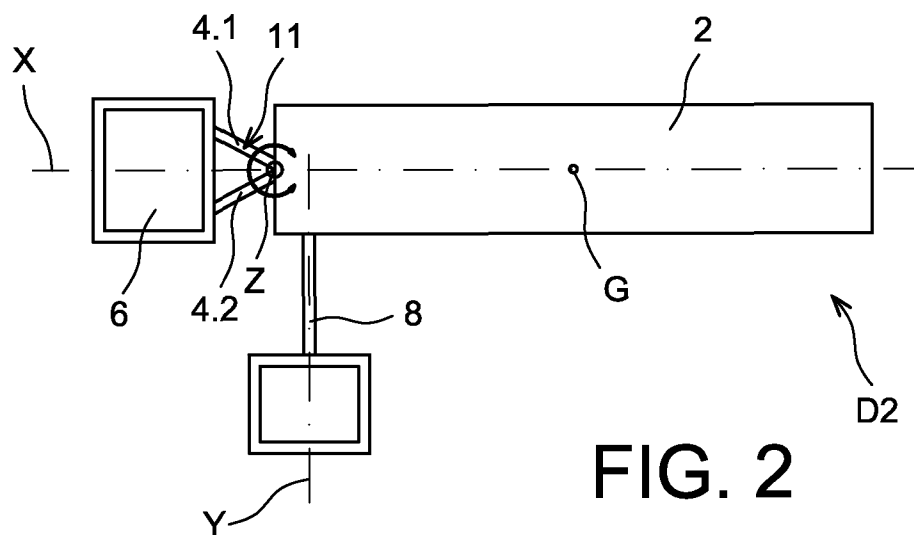
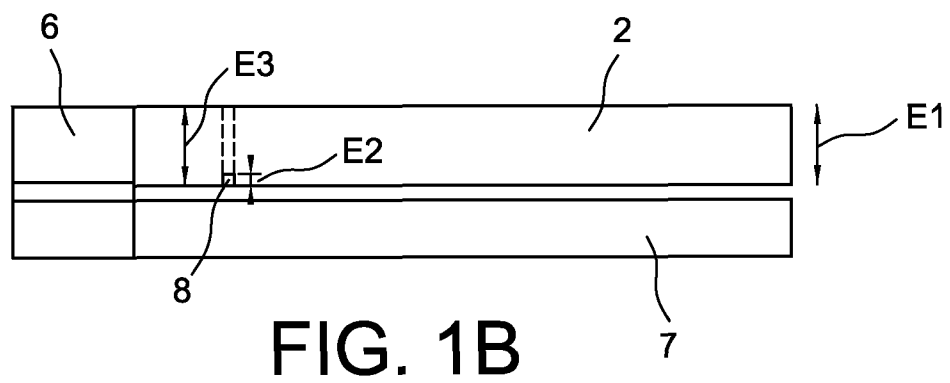
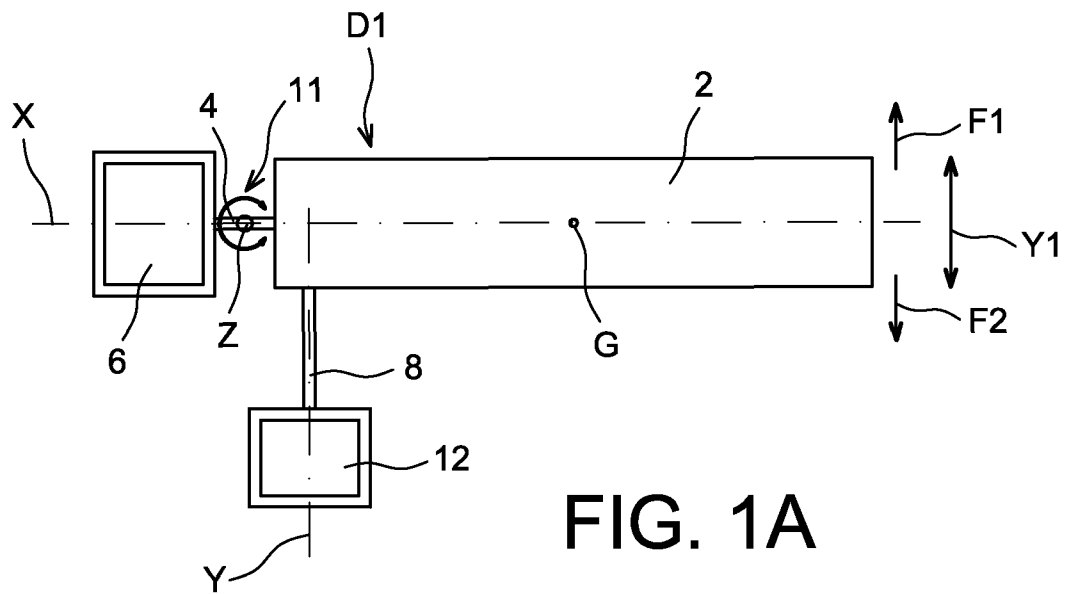
5                   19. Procédé selon l'une des revendications 14 à 18, comportant en outre la formation d'une troisième zone, dite zone charnière, d'épaisseur comprise entre celle de la première zone et celle de la deuxième zone.

10                   20. Procédé selon la revendication précédente, la première zone et la troisième zone étant obtenues par étapes de gravure indépendantes l'une de l'autre.

15                   21. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la gravure de la troisième zone est effectuée avant la gravure des première et deuxième zones, par exemple par DRIE.

20

1 / 12



2 / 12

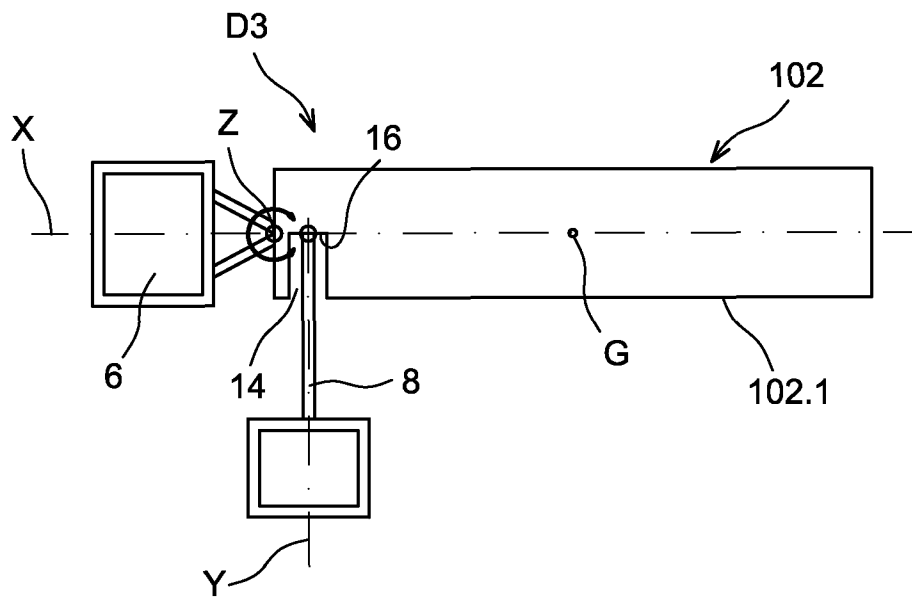


FIG. 3

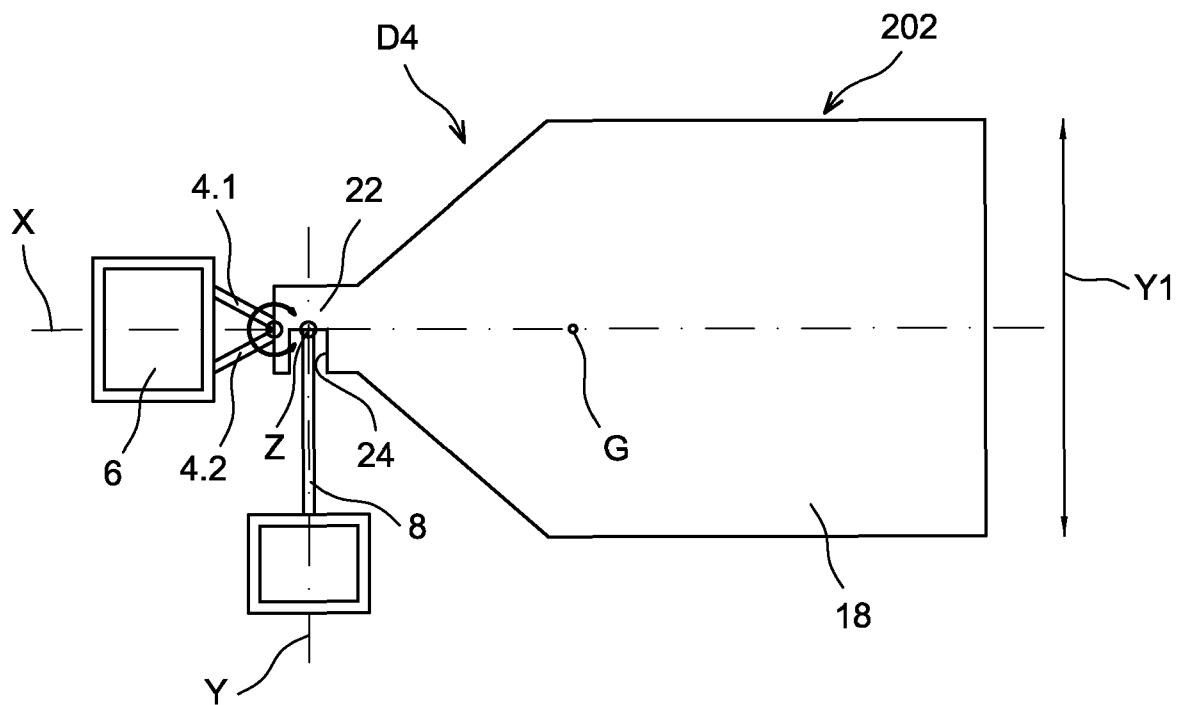


FIG. 4

3 / 12

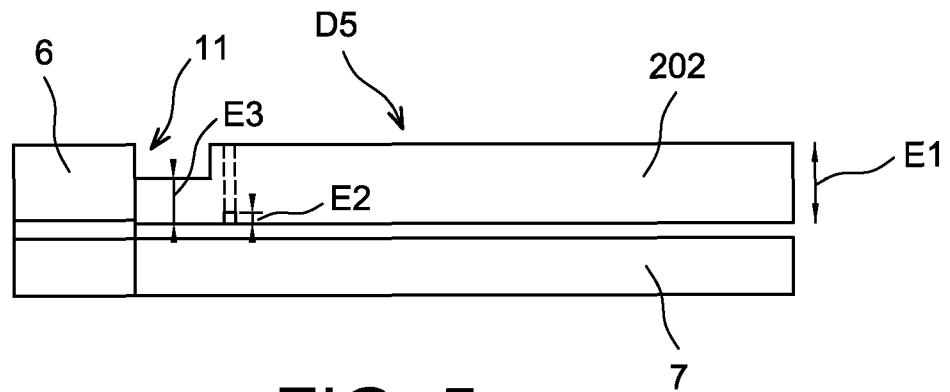


FIG. 5

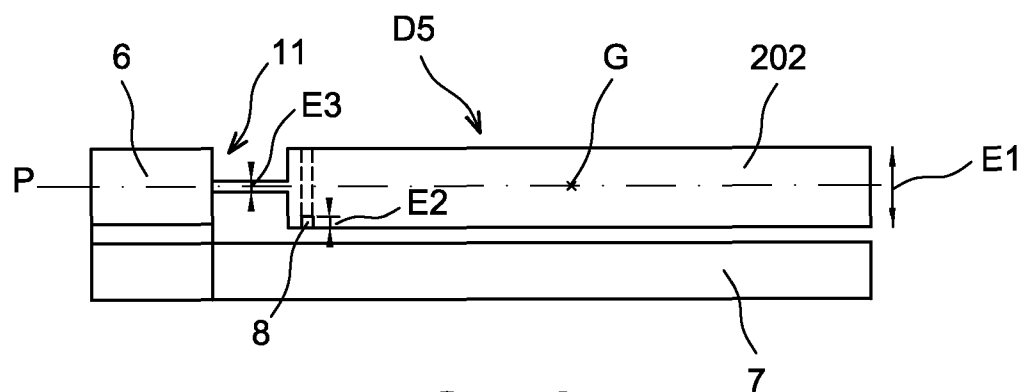


FIG. 5'

4 / 12

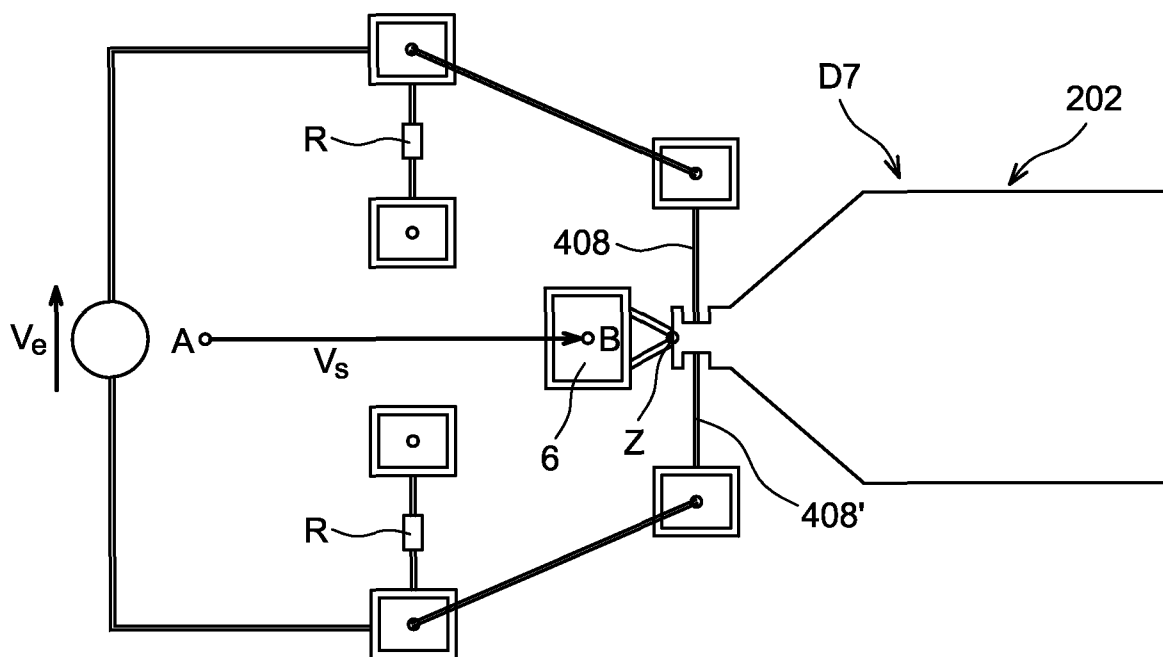
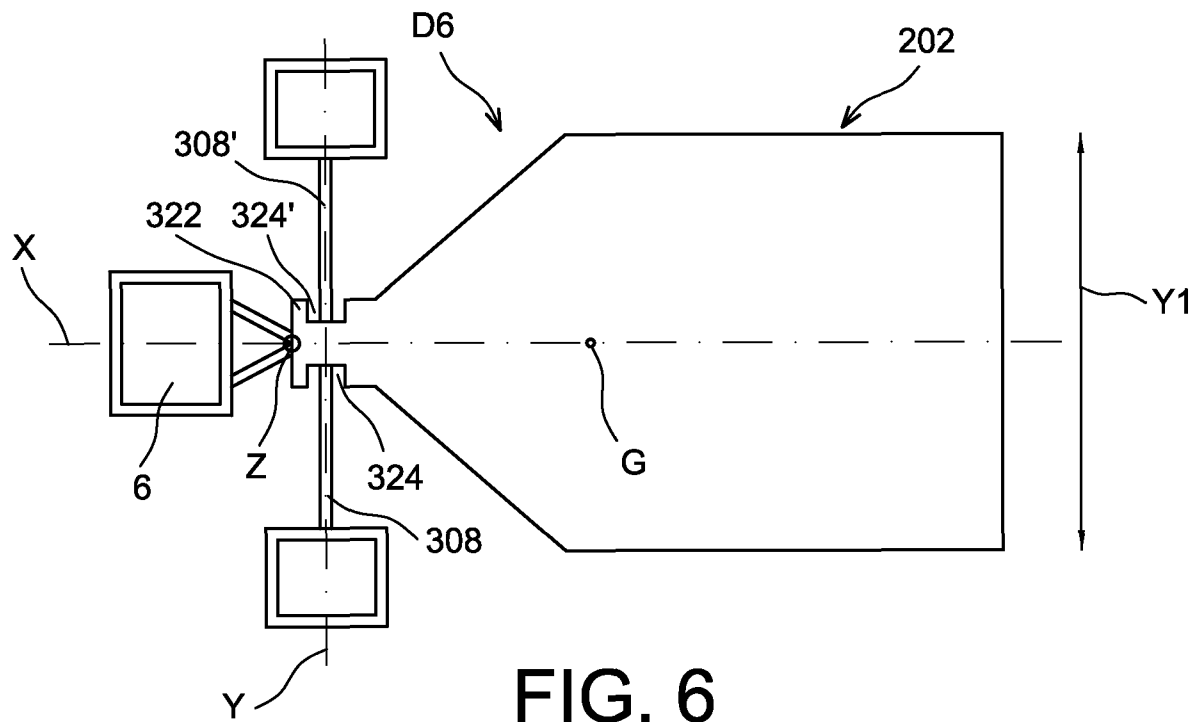


FIG. 7

5 / 12

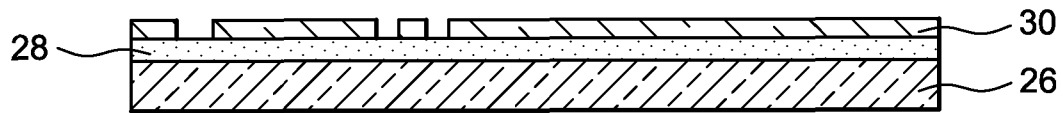


FIG. 8A

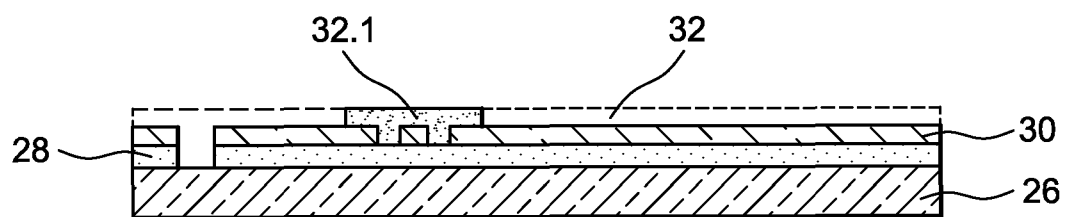


FIG. 8B

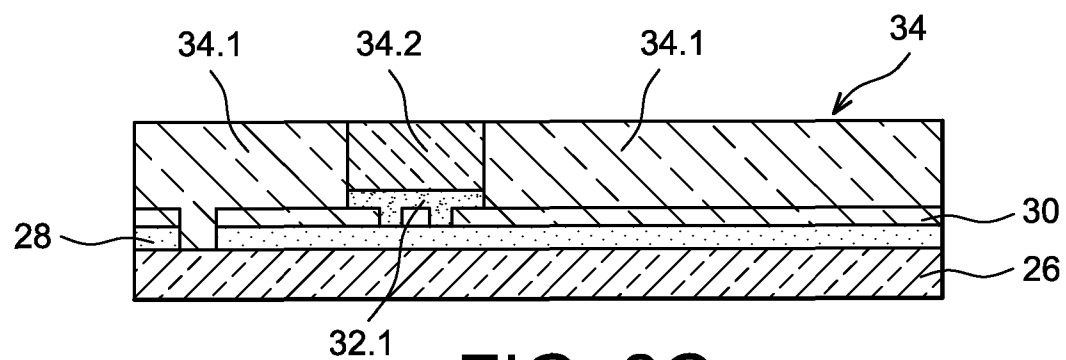


FIG. 8C

6 / 12

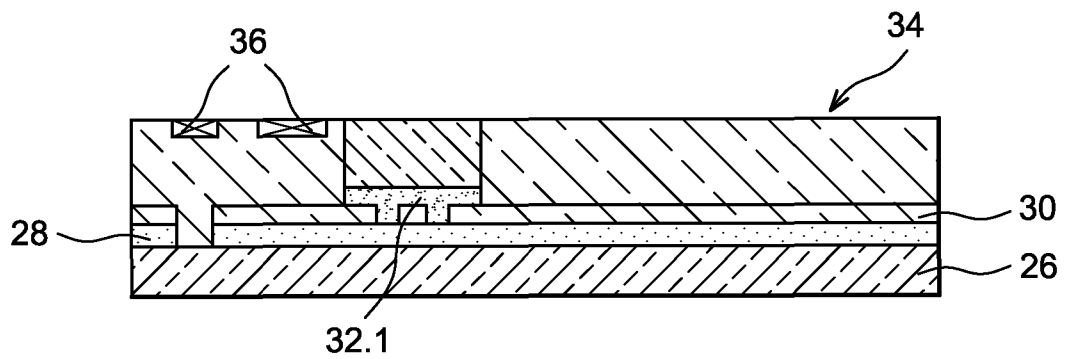


FIG. 8D

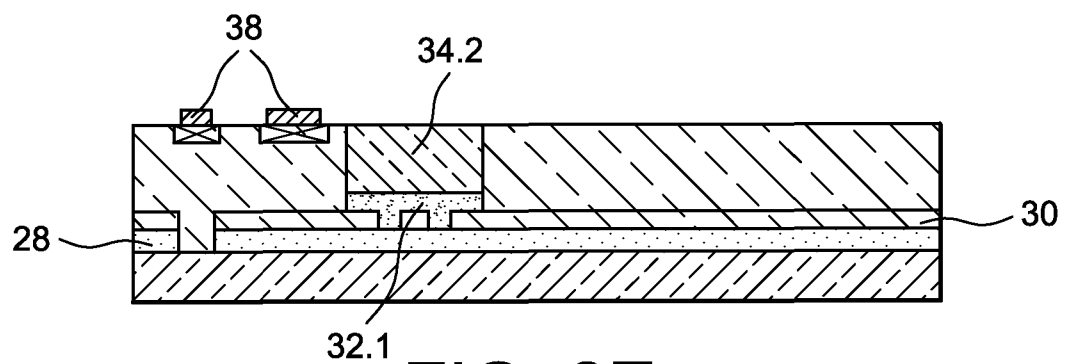


FIG. 8E

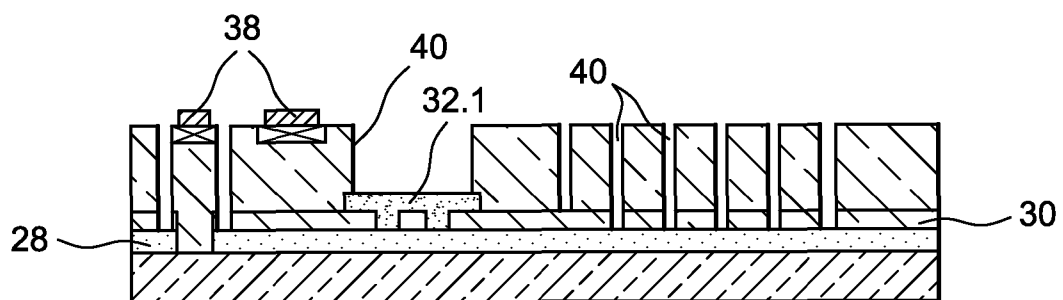


FIG. 8F



7 / 12

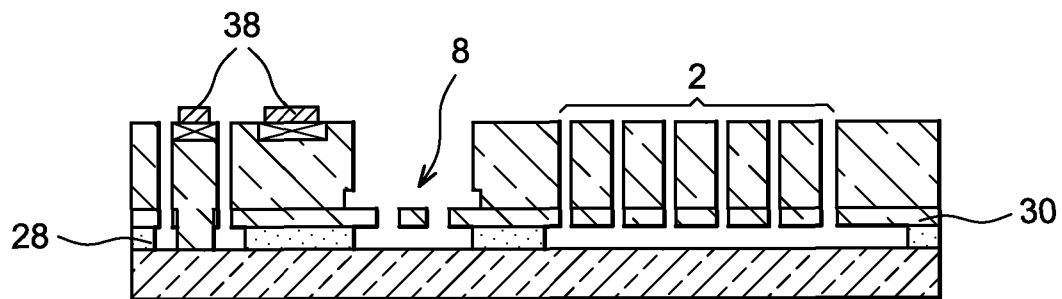


FIG. 8G

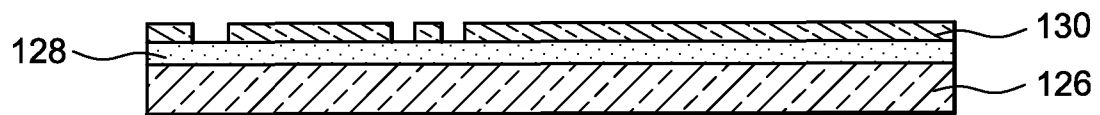


FIG. 9A

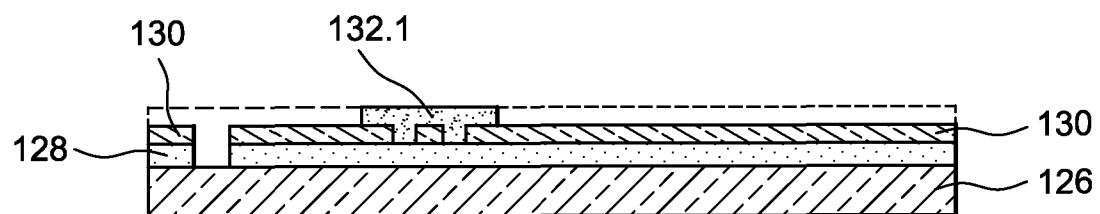


FIG. 9B

8 / 12

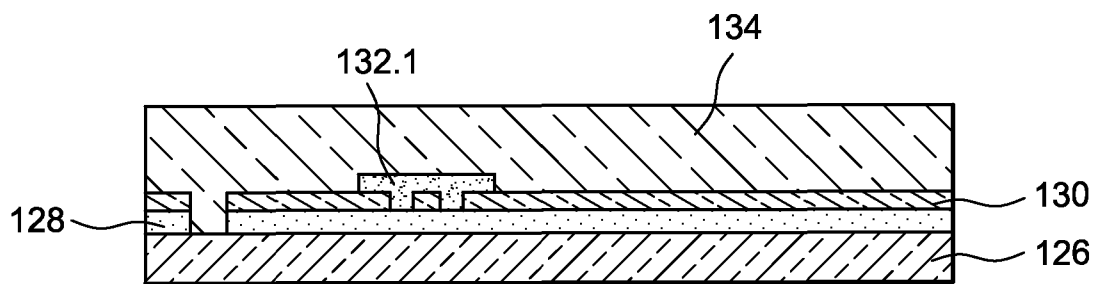


FIG. 9C

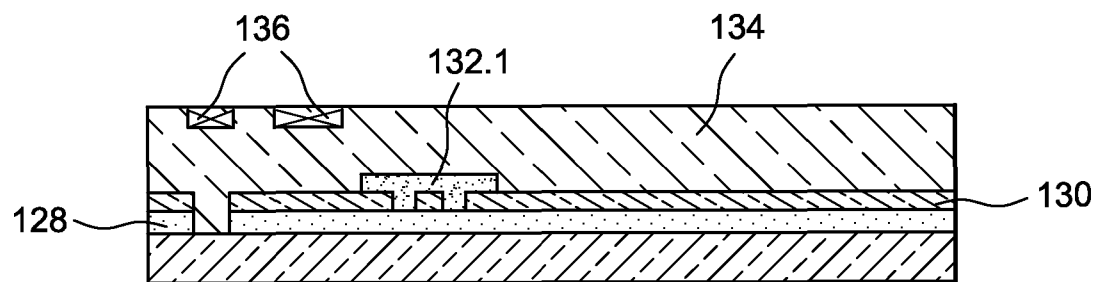


FIG. 9D

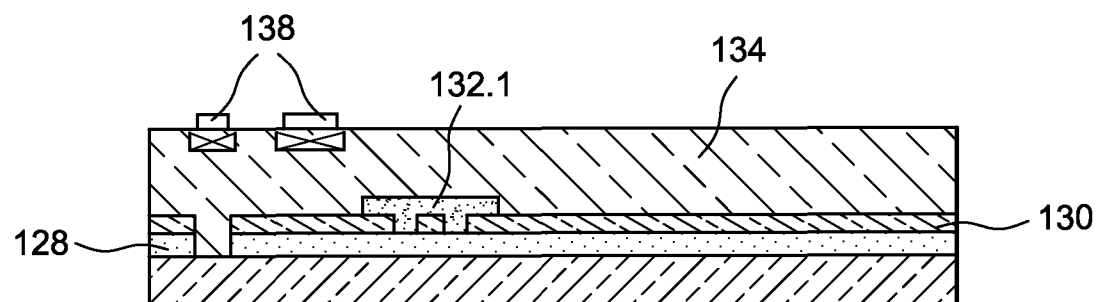


FIG. 9E

9 / 12

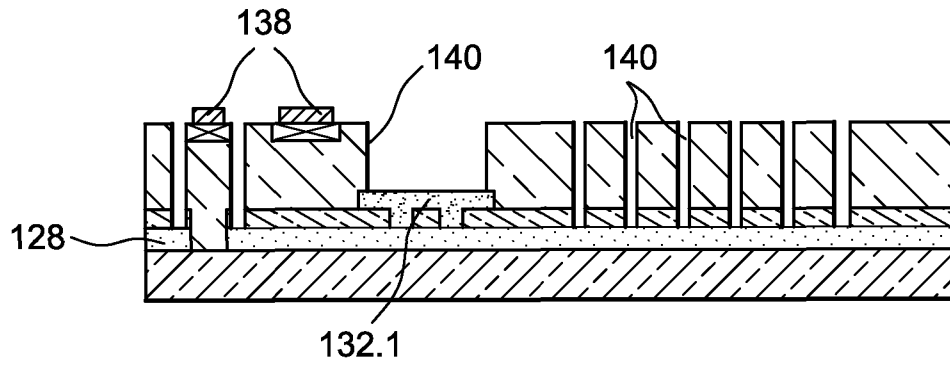


FIG. 9F

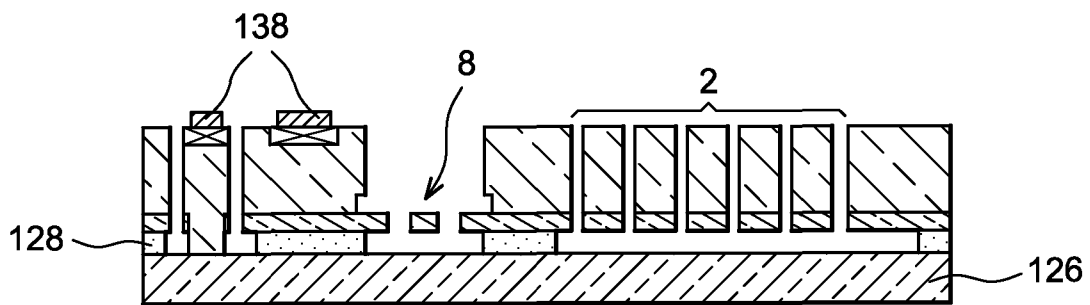


FIG. 9G

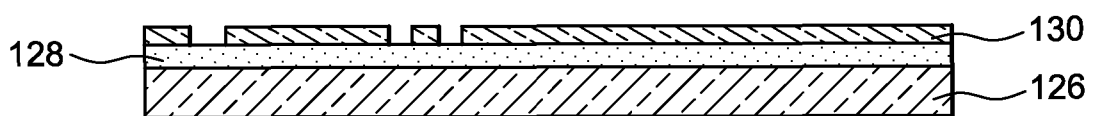


FIG. 10A

10 / 12

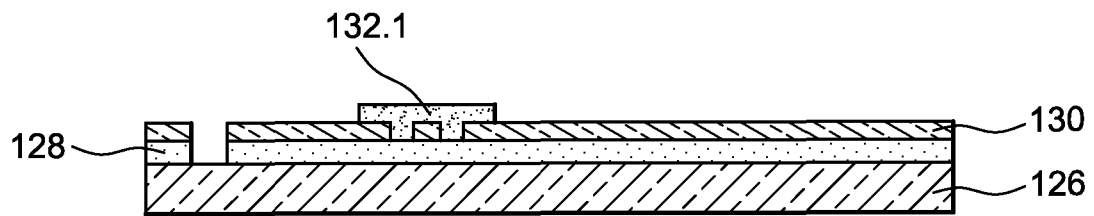


FIG. 10B

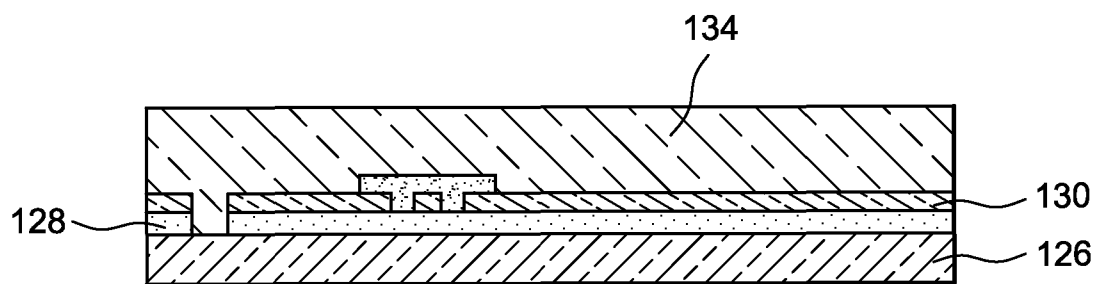


FIG. 10C

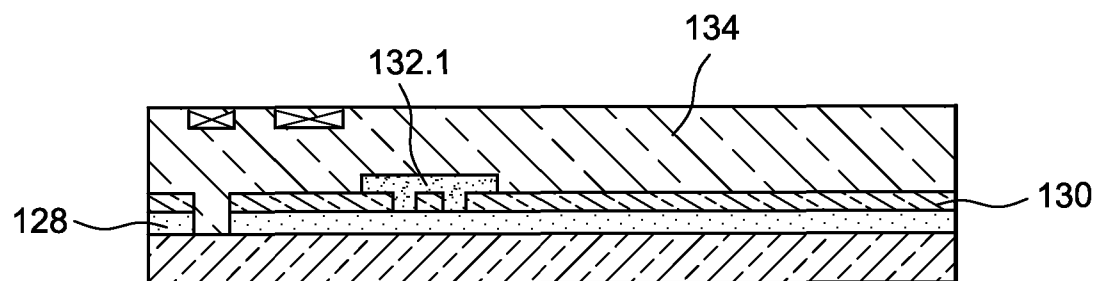
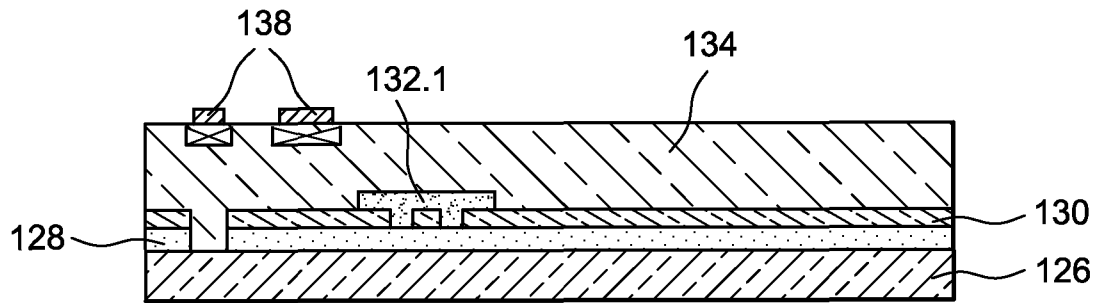


FIG. 10D

11 / 12



**FIG. 10E**

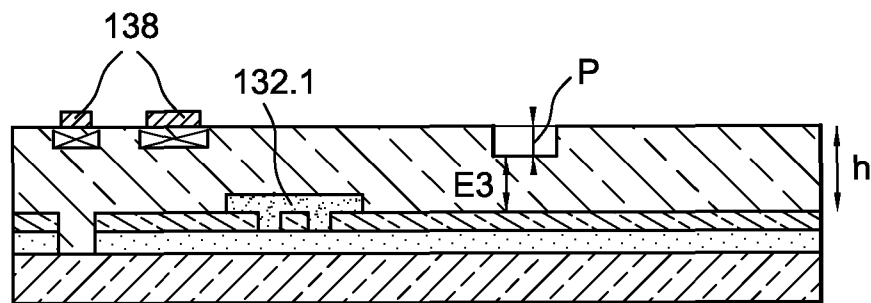
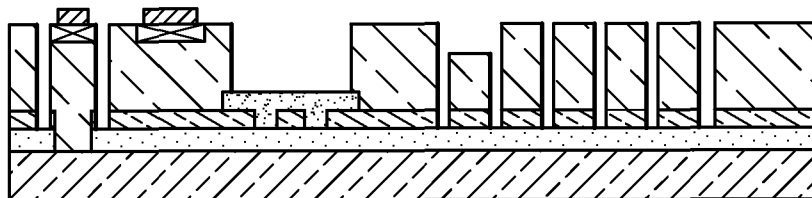


FIG. 10F



**FIG. 10G**

12 / 12

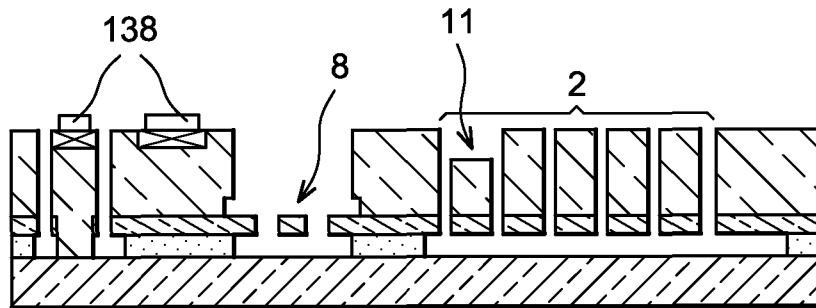


FIG. 10H

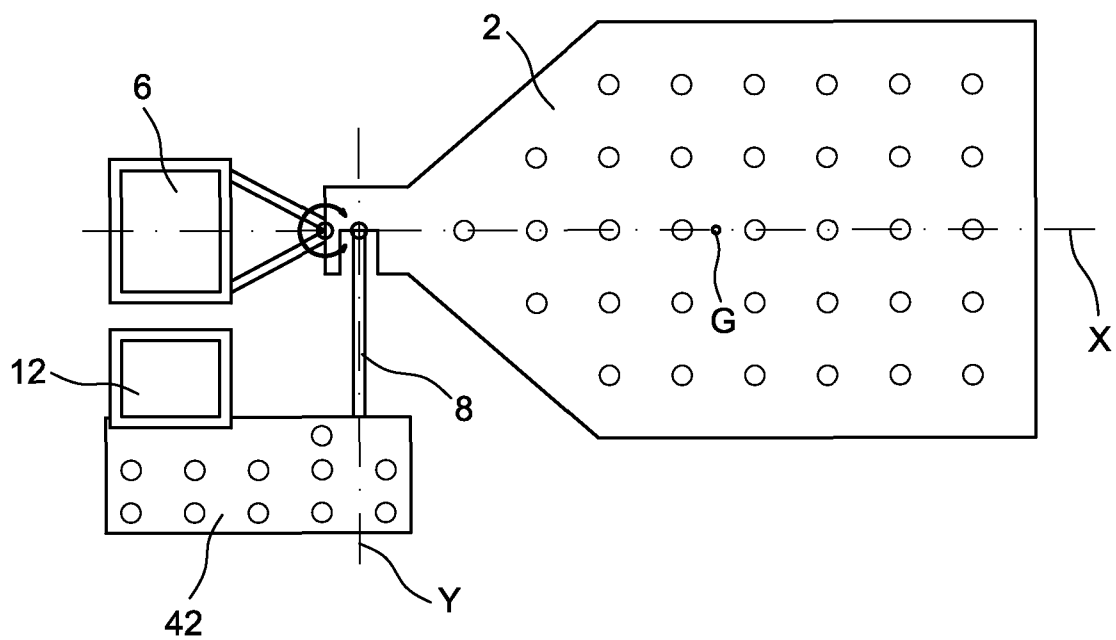


FIG. 11

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2010/065780

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. G01P15/12 G01P15/08  
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
G01P B81B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EP0-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 4 809 552 A (JOHNSON GARY W [US]) 7 March 1989 (1989-03-07) column 2, line 51 - column 3, line 9 column 3, line 52 - column 4, line 31; figure 3	1-21
A	----- AIKELE M ET AL: "Resonant accelerometer with self-test", SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH LNKD- DOI:10.1016/S0924-4247(01)00558-1, vol. 92, no. 1-3, 1 August 2001 (2001-08-01), pages 161-167, XP004274041, ISSN: 0924-4247 page 161 - page 162 figures 1-3 ----- -/--	1-9, 14-21

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
"E" earlier document but published on or after the international filing date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.  
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 February 2011

Date of mailing of the international search report

10/02/2011

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Rabenstein, Winfried

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2010/065780

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6 145 380 A (MACGUGAN DOUGLAS C [US]) 14 November 2000 (2000-11-14) column 4, line 14 - line 36; figure 3 -----	10
A	US 2006/201251 A1 (SATO MASAHIRO [JP] ET AL) 14 September 2006 (2006-09-14) paragraph [0052] - paragraph [0054]; figure 1 -----	10
A	US 3 209 601 A (STILES JOHN C) 5 October 1965 (1965-10-05) column 2, line 27 - line 34 -----	10
Y	WO 92/15018 A1 (ALLIED SIGNAL INC [US]) 3 September 1992 (1992-09-03) page 7, line 15 - line 27; figure 2 -----	1-21



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2010/065780

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4809552	A	07-03-1989	NONE	
US 6145380	A	14-11-2000	EP 1040356 A1	04-10-2000
US 2006201251	A1	14-09-2006	JP 2006250581 A	21-09-2006
US 3209601	A	05-10-1965	DE 1236839 B	16-03-1967
			GB 1011433 A	01-12-1965
			SE 308625 B	17-02-1969
WO 9215018	A1	03-09-1992	NONE	

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2010/065780

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
 INV. G01P15/12 G01P15/08  
 ADD.

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

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
 G01P B81B

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

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

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 4 809 552 A (JOHNSON GARY W [US]) 7 mars 1989 (1989-03-07) colonne 2, ligne 51 - colonne 3, ligne 9 colonne 3, ligne 52 - colonne 4, ligne 31; figure 3	1-21
A	----- AIKELE M ET AL: "Resonant accelerometer with self-test", SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH LNKD- DOI:10.1016/S0924-4247(01)00558-1, vol. 92, no. 1-3, 1 août 2001 (2001-08-01), pages 161-167, XP004274041, ISSN: 0924-4247 page 161 - page 162 figures 1-3 ----- -/--	1-9, 14-21

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

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- "&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

1 février 2011

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

10/02/2011

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
 Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Rabenstein, Winfried

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2010/065780

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 6 145 380 A (MACGUGAN DOUGLAS C [US]) 14 novembre 2000 (2000-11-14) colonne 4, ligne 14 - ligne 36; figure 3 -----	10
A	US 2006/201251 A1 (SATO MASAHIRO [JP] ET AL) 14 septembre 2006 (2006-09-14) alinéa [0052] - alinéa [0054]; figure 1 -----	10
A	US 3 209 601 A (STILES JOHN C) 5 octobre 1965 (1965-10-05) colonne 2, ligne 27 - ligne 34 -----	10
Y	WO 92/15018 A1 (ALLIED SIGNAL INC [US]) 3 septembre 1992 (1992-09-03) page 7, ligne 15 - ligne 27; figure 2 -----	1-21

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2010/065780

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4809552	A	07-03-1989	AUCUN	
US 6145380	A	14-11-2000	EP 1040356 A1	04-10-2000
US 2006201251	A1	14-09-2006	JP 2006250581 A	21-09-2006
US 3209601	A	05-10-1965	DE 1236839 B	16-03-1967
			GB 1011433 A	01-12-1965
			SE 308625 B	17-02-1969
WO 9215018	A1	03-09-1992	AUCUN	