

(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
22 mars 2012 (22.03.2012)

(10) Numéro de publication internationale
WO 2012/034990 A1

PCT

- (51) Classification internationale des brevets :
H03H 9/02 (2006.01) *H03H 9/24* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2011/065809
- (22) Date de dépôt international :
13 septembre 2011 (13.09.2011)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1057251 13 septembre 2010 (13.09.2010) 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) Inventeur; et
(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : HENTZ,
Sébastien [FR/FR]; 35 avenue de Vizille, F-38000
Grenoble (FR).
- (74) Mandataire : ILGART, Jean-Christophe; Brevaux, 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, QA, RO, RS, RU, RW, 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 : RESONANT PIEZORESISTIVE DETECTOR HAVING A RESONATOR CONNECTED ELASTICALLY TO THE SUPPORTING MEMBER OF THE DETECTOR, AND PROCESS FOR MANUFACTURING SAID DETECTOR

(54) Titre : DISPOSITIF RÉSONANT, À DÉTECTION PIÉZORÉSISTIVE ET À RÉSONATEUR RELIÉ DE FAÇON ÉLASTIQUE AU SUPPORT DU DISPOSITIF, ET PROCÉDE DE FABRICATION DE CELUI-CI

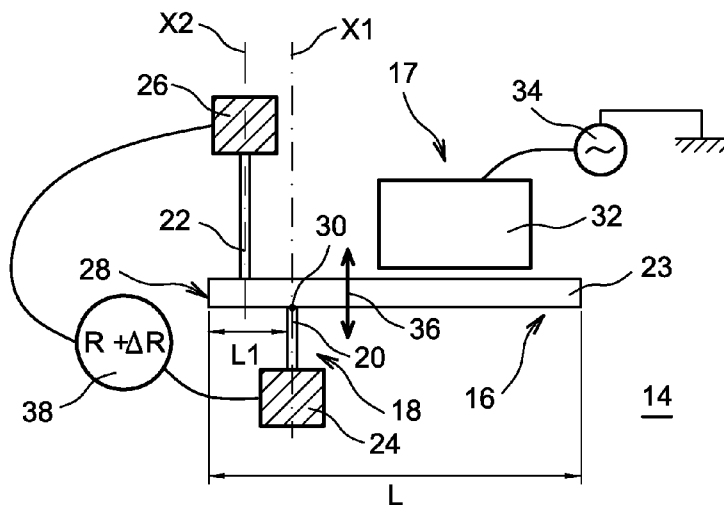


FIG. 5

(57) Abstract : The detector comprises: a supporting member (14); a suspended resonator (16), moving parallel to the plane of the supporting member; means (17) for actuating the resonator; and means (18) for detecting the displacement, comprising at least one piezoresistive gauge (20). According to the invention, the resonator is anchored to the supporting member via at least one elastic bending element (22), in order to push back the threshold at which a non-linear displacement regime appears. The detector can be manufactured by a surface technology and is applicable in particular to resonant mass sensors.

(57) Abrégé : Dispositif résonant, à détection piézorésistive et à résonateur relié de façon élastique au support du dispositif, et procédé de fabrication de celui-ci. Le dispositif comprend : un support (14); un résonateur suspendu (16), se déplaçant parallèlement au plan du support; des moyens (17) d'actionnement du résonateur;

[Suite sur la page suivante]

WO 2012/034990 A1

et des moyens (18) de détection du déplacement, comprenant au moins une jauge piézorésistive (20). Selon l'invention, le résonateur est ancré au support par l'intermédiaire d'au moins un élément élastique en flexion (22), pour permettre de repousser le seuil d'apparition d'un régime non linéaire du déplacement. Le dispositif peut être fabriqué par une technologie de surface et s'applique notamment aux capteurs de masse résonants.

**DISPOSITIF RESONANT, A DETECTION PIEZORESISTIVE ET A
RESONATEUR RELIE DE FACON ELASTIQUE AU SUPPORT DU
DISPOSITIF, ET PROCEDE DE FABRICATION DE CELUI-CI**

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un
5 dispositif résonant, à détection piézorésistive, ainsi
qu'un procédé de fabrication du dispositif.

L'invention trouve des applications
notamment dans le domaine des oscillateurs pour bases
de temps et dans le domaine des capteurs de type MEMS
10 (pour « Micro-Electro-Mechanical Systems ») ou de type
NEMS (pour « Nano-Electro-Mechanical Systems »).

Elle s'applique par exemple aux capteurs
résonants, en particulier aux capteurs de masse.

15 **ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE**

Pour toutes ces applications, les
performances (par exemple la résolution en masse),
dépendent de la stabilité de la fréquence du résonateur
que comporte le dispositif et sont proportionnelles au
20 rapport signal sur bruit qui est noté SNR.

En considérant le déplacement du
résonateur, on peut exprimer SNR comme le rapport P_0/S_x .
Dans ce dernier, S_x est la densité spectrale de bruit
et P_0 la puissance de la porteuse, qui est égale à la
25 moitié du carré de l'amplitude A de vibration du
résonateur.

Pour améliorer les performances du résonateur, on cherche donc (1) à obtenir la plus grande amplitude de vibration possible, et (2) à réduire le bruit de sortie du dispositif.

5 (1) Considérons d'abord l'obtention d'une grande amplitude de vibration.

L'homme du métier limite toujours cette amplitude à une valeur inférieure à une amplitude dite critique, notée A_c , au-delà de laquelle le régime de
10 vibration devient non linéaire.

L'apparition de ce régime non linéaire est illustrée par figure 1. Sur cette figure, on a tracé quelques courbes C_1 , C_2 , C_3 et C_4 représentatives de l'évolution de l'amplitude A (en unités arbitraires) en
15 fonction de la fréquence f ou de l'écart de celle-ci par rapport à la fréquence de résonance.

On voit que les courbes C_1 et C_2 traduisent un régime linéaire. Au contraire, lorsque l'amplitude augmente, des phénomènes non linéaires apparaissent, ce
20 qui est le cas pour les courbes C_3 et C_4 .

Cette non linéarité se traduit par plusieurs amplitudes possibles pour certaines fréquences telles que la fréquence f_1 . Par exemple, la
25 parallèle à l'axe des ordonnées, qui passe par la fréquence f_1 , coupe la courbe C_4 en plusieurs points \underline{a} , \underline{b} , et \underline{c} .

Autrement dit, dans ce régime non linéaire, le résonateur n'est plus stable. Dans une certaine zone de ce régime, trois amplitudes sont possibles pour une
30 fréquence f_1 donnée. Le résonateur peut donc « sauter »

brutalement d'une amplitude à une autre quand il est actionné en boucle ouverte à une certaine fréquence.

L'amplitude prise par le résonateur dépend en outre des conditions initiales et des perturbations extérieures. Le résonateur devient alors difficilement
5 contrôlable.

Par conséquent, lorsqu'on balaye la gamme de fréquences de manière montante ou descendante, on peut observer des sauts brutaux d'amplitude.

10 En outre le chemin suivi est différent dans un sens ou dans l'autre : on observe une hystérésis qui est particulièrement visible sur le schéma de la figure 2 : suivant le sens dans lequel la fréquence varie, l'évolution de l'amplitude n'est pas la même.

15 L'apparition d'un régime non linéaire est en outre liée à une dégradation du bruit. En effet, du bruit (à basse ou haute fréquence) est mélangé par la composante non linéaire du résonateur, et ramène du bruit à la fréquence d'intérêt. A ce sujet, on se
20 reportera au document suivant :

[1] V.Kaajakari et al., 20 IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control, 52, 2322-2331 (2005).

25 Ainsi, on augmente l'amplitude et donc la puissance de la porteuse ; mais on dégrade simultanément le bruit, ce qui réduit totalement l'intérêt d'accroître l'amplitude.

Par conséquent, non seulement le système n'est pas stable en boucle ouverte, mais encore le
30 rapport signal sur bruit est dégradé.

La source de cette non linéarité est dite géométrique et concerne toutes les structures mécaniques. Par exemple, pour une poutre P qui est encastrée en ses deux extrémités E1 et E2 (voir la figure 3), l'effet non linéaire prépondérant est l'effet d'étirement dans le plan médian (en anglais, *mid-plane stretching*).

Dans le domaine des grands déplacements, la longueur de la fibre neutre N de la poutre ne peut plus être considérée comme constante ; la poutre s'allonge au fur et à mesure qu'elle est actionnée en flexion à des amplitudes de plus en plus importantes.

Ainsi, plus la poutre est actionnée à des amplitudes importantes, plus sa raideur devient importante. Ceci explique pourquoi le pic de résonance se « penche » vers les hautes fréquences.

Pour atténuer cette source de non linéarité et donc ne pas limiter autant l'amplitude des vibrations, on peut utiliser un autre résonateur, tel qu'une poutre ayant d'autres conditions aux limites.

On peut par exemple utiliser une poutre ayant une extrémité libre et l'autre extrémité encastrée. Pour une telle poutre, l'effet d'étirement dans le plan médian n'existe pas ; toutefois, d'autres sources de non linéarité géométrique sont présentes, à des amplitudes plus importantes.

D'autres solutions ont été proposées, par exemple l'utilisation de dispositifs de relâchement de contrainte. A ce sujet, on se reportera au document suivant :

[2] US 2002/0011117, invention de E. Orsier et al., correspondant à FR2808264.

(2) Considérons à présent la diminution du bruit de sortie du dispositif.

5 Il s'agit là d'augmenter le gain de transduction du dispositif, c'est-à-dire le rapport de l'amplitude du signal électrique de sortie du dispositif à l'amplitude de vibration du résonateur.

Aux échelles nanométriques, la question du
10 choix de la transduction (notamment parmi les transductions capacitive, piézoélectrique et piézorésistive) reste ouverte. Néanmoins d'excellents gains ont été obtenus avec la transduction piézorésistive, que cette dernière utilise un matériau
15 métallique ou un matériau semiconducteur.

Pour ce qui concerne ce dernier matériau, on peut se reporter au document suivant :

[3] E. Mile et al., Nanotechnology, Vol. 21 Issue 16, pp. 165504 (2010).

20 On peut par exemple utiliser une transduction piézorésistive par jauge de contrainte suspendue, alliée à une amplification mécanique de l'effort à l'aide d'un bras de levier. A ce sujet, on se reportera au document suivant :

25 [4] US 2008/0314148, invention de P. Robert, correspondant à EP 2008965.

La figure 4 est une vue de dessus schématique d'un exemple du dispositif résonant, à
30 détection piézorésistive, qui est décrit dans ce document. Il est formé sur un substrat et comprend :

- un résonateur 2, en forme de poutre, relié au substrat par au moins un encastrement 4 (en fait, dans l'exemple représenté, un deuxième encastrement 5 est prévu, comme on le voit),

5 - une électrode fixe 6 pour actionner le résonateur,

- une source de tension alternative 8, pour porter l'électrode à une tension alternative par rapport au résonateur, ce dernier vibrant alors
10 parallèlement au plan de la surface du substrat, ce qui est symbolisé par la double flèche 9 de la figure 4,

- une jauge de contrainte suspendue 10, faite d'un matériau piézorésistif, et

- des moyens 12 de mesure de la contrainte
15 subie par la jauge 10, ou jauge piézorésistive.

Cette dernière est reliée au résonateur 2 en un point qui est situé en dehors de l'encastrement 4. On dispose ainsi d'un bras de levier qui permet d'augmenter la contrainte subie par cette jauge.

20 Une telle solution est applicable à de nombreux dispositifs dans lesquels le résonateur est relié au substrat par au moins un encastrement à proximité de la jauge de contrainte, en particulier lorsque le résonateur est une poutre encastree libre.

25 Le document [3] décrit une telle structure ainsi que des moyens d'actionnement et un schéma du montage utilisé pour détecter le mouvement du résonateur.

30 Dans le dispositif qui est décrit dans le document [4], la poutre formant le résonateur comprend,

comme on vient de le voir, au moins un encastrement qui la relie au substrat. Ceci pose un problème.

En effet, une partie de la contrainte amplifiée par le bras de levier (résultant de la distance entre l'encastrement et le point en lequel la 5 jauge de contrainte est reliée à la poutre) est perdue dans l'encastrement, alors qu'on souhaite évidemment maximiser la contrainte subie par la jauge piézorésistive, ou par les jauges piézorésistives 10 lorsque le dispositif comporte plus d'une telle jauge.

De plus, l'une des sources d'amortissement du mouvement de la poutre résulte de cette perte de contrainte dans l'encastrement ; le facteur de qualité du dispositif résonant dont il est question dans le 15 document [4] est ainsi dégradé.

En outre, pour certaine applications, il peut être nécessaire d'utiliser des résonateurs dont les conditions aux limites sont symétriques, en particulier des résonateurs dont les deux extrémités 20 sont encastrées, par opposition à des résonateurs dont les conditions aux limites sont différentes aux deux extrémités, par exemple des résonateurs dont une extrémité est encastrée tandis que l'autre est libre.

Mais la limite de l'amplitude de vibration, 25 qui est fixée par l'apparition du comportement non linéaire (voir plus haut), peut empêcher d'atteindre les performances souhaitées. C'est par exemple le cas pour la spectrométrie de masse à base de NEMS.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

30 La présente invention a pour objet un dispositif résonant, comportant un résonateur et des

moyens de détection du déplacement du résonateur, ces moyens de détection comportant au moins une jauge piézorésistive.

Dans ce dispositif, le résonateur est susceptible d'avoir une amplitude de vibration élevée, c'est-à-dire d'avoir un régime de vibration qui reste linéaire dans un domaine d'amplitudes très étendu, tout en permettant l'utilisation de conditions aux limites symétriques, c'est-à-dire identiques aux deux extrémités du résonateur, et en minimisant la perte de contrainte dans un ancrage.

Pour ce faire, le résonateur est ancré au support, vis-à-vis duquel il est suspendu, par l'intermédiaire d'au moins un élément qui est élastique en flexion.

De plus, dans un mode de réalisation préféré du dispositif, la densité spectrale de bruit S_x , et donc le bruit de sortie, sont faibles ; en d'autres termes, le gain de transduction du dispositif est élevé.

Pour obtenir ce résultat, un bras de levier est prévu pour amplifier l'effort subi par la jauge piézorésistive.

De façon précise, la présente invention a pour objet un dispositif résonant, à détection piézorésistive, le dispositif comprenant :

- un support ayant une surface sensiblement plane,
- un résonateur qui est suspendu vis-à-vis du support et apte à se déplacer parallèlement au plan de la surface du support,

- des moyens d'actionnement du résonateur,
et

- des moyens de détection du déplacement du résonateur, comprenant au moins une jauge de contrainte piézorésistive qui est suspendue vis-à-vis du support,
5 caractérisé en ce qu'il comprend en outre au moins un élément élastique par l'intermédiaire duquel le résonateur est ancré au support, l'élément étant élastique en flexion, pour permettre de repousser
10 le seuil d'apparition d'un régime non linéaire de déplacement du résonateur.

Certes le document **WO 2010/015963** décrit un transducteur électromécanique comprenant une poutre formant un résonateur qui est suspendu à un support par
15 l'intermédiaire de deux jauges de contrainte. Mais ces jauges sont seulement élastiques selon leurs axes respectifs.

Au contraire, dans le dispositif, objet de l'invention, en plus d'une ou plusieurs jauges de
20 contrainte, on utilise au moins un élément élastique en flexion, par l'intermédiaire duquel le résonateur est ancré au support. Cet élément permet de repousser le seuil d'apparition des non-linéarités. Un tel élément élastique en flexion permet une plus grande liberté de
25 mouvement au résonateur : par exemple, lorsque ce dernier a la forme d'une poutre, l'élément lui confère une liberté de mouvement selon son axe (direction longitudinale) et en rotation (autour d'un axe perpendiculaire au plan des figures de la présente
30 demande).

Un élément rectiligne, offrant une faible rigidité en flexion dans le plan du support, convient. Il suffit alors que l'élément ait un grand rapport d'aspect (rapport de sa longueur à sa largeur), par exemple supérieur à 10.

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, la jauge de contrainte piézorésistive comprend un empilement comportant au moins un matériau piézorésistif.

Selon un mode de réalisation préféré du dispositif, objet de l'invention, la jauge de contrainte et l'élément élastique sont sensiblement rectilignes et ne sont pas dans le prolongement l'un de l'autre.

On obtient ainsi le bras de levier mentionné plus haut, qui permet d'amplifier l'effort subi par la jauge piézorésistive.

Selon un mode de réalisation particulier du dispositif, objet de l'invention, le résonateur est en forme de poutre, et la jauge de contrainte et l'élément élastique sont respectivement situés sur deux faces latérales opposées de cette poutre.

Selon un autre mode de réalisation particulier, le dispositif comprend deux jauges de contrainte sensiblement rectilignes, le résonateur est en forme de poutre, les deux jauges de contrainte sont respectivement situées dans le prolongement l'une de l'autre, sur deux faces latérales opposées de la poutre, et l'élément élastique est situé sur l'une des faces latérales.

Selon un autre mode de réalisation particulier, le résonateur est en forme de poutre, et l'élément élastique est situé à une extrémité de la poutre et forme avec cette dernière un angle supérieur
5 ou égal à zéro et inférieur à 90°.

Selon un autre mode de réalisation particulier, le dispositif comprend deux jauges de contrainte sensiblement rectilignes, le résonateur est en forme de diapason, comprenant deux poutres
10 sensiblement parallèles et une liaison élastique entre les deux poutres, l'élément élastique est situé au niveau de la liaison élastique, et les deux jauges de contraintes sont respectivement situées dans le prolongement l'une de l'autre, sur les deux poutres du
15 diapason.

Selon un autre mode de réalisation particulier, le dispositif comprend deux éléments élastiques en flexion qui sont sensiblement rectilignes, le résonateur est en forme de poutre, les
20 deux extrémités de la poutre sont aptes à se déplacer parallèlement au plan de la surface du support, et les deux éléments élastiques sont respectivement situés à l'une des extrémités de la poutre, sur deux faces latérales opposées de celle-ci.

Dans ce cas, le dispositif peut comprendre deux autres éléments élastiques en flexion qui sont sensiblement rectilignes et sont respectivement situés à l'autre extrémité de la poutre, sur les deux faces
25 latérales opposées de celle-ci.

Selon un autre mode de réalisation particulier, le dispositif comprend au moins deux
30

jauges de contrainte, au moins l'une de ces jauges de contrainte est élastique en flexion, et l'élément élastique en flexion est constitué par la jauge de contrainte élastique en flexion.

5 La présente invention concerne aussi un procédé de fabrication du dispositif, objet de l'invention, dans lequel on forme le résonateur, chaque jauge de contrainte et chaque élément élastique par une technologie de surface.

10 **BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS**

 La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

15 - la figure 1 montre des courbes représentatives de l'évolution de l'amplitude en fonction de la fréquence, pour le résonateur d'un dispositif résonant connu, et a déjà été décrite,

20 - la figure 2 illustre schématiquement un phénomène d'hystérésis qui peut affecter un tel dispositif, et a déjà été décrite,

 - la figure 3 illustre schématiquement l'allongement d'une poutre encastrée en ses deux extrémités, au fur et à mesure que cette poutre est actionnée en flexion à des amplitudes de plus en plus importantes, et a déjà été décrite,

25 - la figure 4 est une vue de dessus schématique d'un dispositif résonant connu, à détection piézorésistive, et a déjà été décrite,

30

- la figure 5 est une vue de dessus schématique d'un mode de réalisation particulier du dispositif, objet de l'invention,

5 - les figures 6 à 9 sont des vues de dessus schématiques d'autres modes de réalisation particuliers de ce dispositif,

- la figure 10 est une vue de dessus schématique d'un exemple de l'invention, dans lequel le résonateur a la forme d'un diapason,

10 - les figures 11 à 13 sont des vues de dessus schématiques d'autres exemples de l'invention, dans lesquels le résonateur a la forme d'une poutre dont les deux extrémités sont libres,

- les figures 14A à 14C illustrent schématiquement diverses étapes d'un procédé de fabrication d'un dispositif conforme à l'invention, et

- les figures 15A à 15D illustrent schématiquement diverses étapes d'un autre procédé de fabrication d'un dispositif conforme à l'invention.

20 **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

La figure 5 est une vue de dessus schématique d'un mode de réalisation particulier du dispositif résonant, objet de l'invention.

25 Le dispositif représenté sur cette figure comprend :

- un support 14, ou substrat, dont la surface est sensiblement plane,

30 - un résonateur 16 qui est suspendu vis-à-vis du support 14 - on dit aussi qu'il est libéré du support - et qui est apte à se déplacer parallèlement au plan de la surface du support,

- des moyens 17 d'actionnement du résonateur 16, et
- des moyens 18 de détection du déplacement du résonateur 16.

5 Dans l'exemple représenté sur la figure 5, ces moyens de détection 18 comprennent une seule jauge de contrainte piézorésistive 20. Cette jauge est en forme de poutre et elle est donc sensiblement rectiligne. De plus, elle est suspendue vis-à-vis du support 14 - elle est libérée de ce dernier. Cette
10 jauge peut être faite d'un matériau piézorésistif ou peut comprendre un empilement comportant au moins un matériau piézorésistif.

 Conformément à l'invention, le résonateur
15 n'est pas directement ancré au support 14 : le dispositif représenté sur la figure 5 comprend en outre un élément élastique 22 par l'intermédiaire duquel le résonateur est ancré au support 14. Cela permet de repousser le seuil d'apparition d'un régime non
20 linéaire de déplacement du résonateur.

 Dans l'exemple représenté sur la figure 5, le résonateur 16 est en forme de poutre. L'élément élastique 22 est également en forme de poutre et il est donc sensiblement rectiligne, comme la jauge de
25 contrainte 20, ou jauge piézorésistive.

 Mais cette jauge 20 et l'élément élastique 22 ne sont pas dans le prolongement l'un de l'autre : comme on le voit, leurs axes respectifs X1 et X2 sont espacés l'un de l'autre. De plus, la jauge 20 et
30 l'élément 22 sont respectivement situés sur deux faces

latérales opposées de la poutre 23 formant le résonateur.

Les moyens de détection comprennent des ancrages 24 et 26 par l'intermédiaire desquels la jauge 5 20 et l'élément 22 sont respectivement fixés au support 14.

Dans l'exemple représenté sur la figure 5, la jauge 20 et l'élément 22 sont tous deux disposés perpendiculairement à la poutre 23 (et parallèlement à 10 la surface du support 14) ; une extrémité de l'élément 22 se trouve au voisinage d'une extrémité 28 de la poutre 23, tandis que son autre extrémité est fixée à l'ancrage 26 ; et une extrémité de la jauge 20 se trouve en un point 30 de la poutre 23, espacé de 15 l'extrémité 28 de celle-ci, tandis que l'autre extrémité de la jauge 20 est fixée à l'ancrage 24.

Dans cet exemple, les moyens d'actionnement 17 sont de type électrostatique et comprennent une électrode 32 qui est fixée au support 14. Une source de 20 tension alternative 34 est prévue pour porter l'électrode 32 à une tension alternative par rapport à la poutre 23. Lorsque cette dernière est ainsi excitée, elle vibre parallèlement au plan de la surface du support 14, ce que l'on a symbolisé par la double 25 flèche 36 sur la figure 5.

Pour exciter la résonance de la poutre 23, on peut utiliser d'autres moyens que des moyens électrostatiques, par exemple des moyens piézoélectriques, thermiques ou électromagnétiques.

30 L'élément 22, ou poutre de suspension, est libéré ; de plus, il est préférable que son élancement,

c'est-à-dire le rapport de sa longueur à sa largeur soit important, par exemple supérieur à 5 mais de préférence supérieur à 10. L'élément 22 n'oppose alors que très peu de résistance au mouvement de la poutre 23, et maximise la contrainte que subit la jauge piézorésistive 20.

En effet, compte tenu de l'élançement de l'élément 22 :

- d'une part, la raideur en traction-compression de cet élément 22 sur son axe X2 est très grande ; on profite donc de l'effet de bras de levier et de l'amplification de l'effort exercé sur la jauge (il est préférable que la distance (non nulle) entre l'axe X1 de la jauge 20 et l'axe X2 de la poutre de suspension 22 soit faible, par exemple inférieure au tiers de la longueur de la poutre 23,

- mais, d'autre part, la raideur en flexion de l'élément 22 est faible ; donc cet élément « résiste » très peu au mouvement de flexion transversale de la poutre 23.

Les dimensions de la jauge piézorésistive doivent être choisies afin d'aboutir au meilleur compromis possible entre le bruit de Johnson engendré par cette jauge - ce bruit est proportionnel à la résistance de la jauge - et la contrainte subie par cette dernière, contrainte qui est inversement proportionnelle à la section transversale de la jauge.

On choisit donc, au premier ordre, une jauge qui est très courte et dont la section transversale est aussi faible que possible.

La position relative de la jauge est également choisie afin de maximiser les contraintes subies par la jauge. Cette position dépend donc du mode propre de fonctionnement choisi.

5 Par exemple, dans le cas de la figure 5, pour le mode de résonance appelé « mode 1 », on peut estimer que la position optimale est telle que la distance L1 entre l'extrémité 28 de la poutre 23 et le point 30 soit de l'ordre de 10% de la longueur L de la
10 poutre 23.

La différence de conception entre le dispositif, objet de l'invention, par exemple le dispositif représenté sur la figure 5, et le dispositif qui est décrit dans le document [4], ne change rien à
15 la méthode de lecture du dispositif : dans la présente invention, il s'agit toujours de lire la variation de la résistance d'une ou plusieurs jauges piézorésistives.

Dans la présente invention, bien qu'on ait
20 modifié la structure mécanique, cette lecture est tout de même possible en connectant des moyens de lecture 38 entre les ancrages respectifs 24 et 26 de la jauge 20 et de l'élément 22.

Ces ancrages 24 et 26 sont alors faits d'un
25 matériau électriquement conducteur. Il en est d'ailleurs de même dans tous les exemples donnés par la suite, pour les deux ancrages entre lesquels on connecte les moyens de lecture.

Et bien entendu, dans tous les exemples, le
30 résonateur et chaque élément élastique utilisé pour la lecture (l'élément 22 dans le cas de la figure 5) sont

également faits d'un matériau apte à conduire le courant électrique, par exemple d'un matériau piézorésistif.

On lit donc la variation de résistance de la jauge 20, de façon classique, entre les deux ancrages servant de connexions électriques. Cette lecture peut être faite :

- de façon directe,
- ou à l'aide d'un amplificateur synchrone (en anglais, *lock-in amplifier*),
- ou à l'aide d'un pont de Wheatstone (voir le document [4]),
- ou par une technique plus sophistiquée, comme cela est expliqué dans le document [3] auquel on se reportera.

En revanche, la variation de résistance, lue par cette méthode, inclut la variation de résistance de la poutre de suspension 22, si cette dernière est également faite d'un matériau piézorésistif.

Il faut donc s'assurer que la variation de résistance de la poutre de suspension 22 est négligeable par rapport à la variation « utile » de résistance de la jauge 20. Pour ce faire, il est par exemple possible :

- de donner à la poutre de suspension 22 une section transversale supérieure à celle que l'on donne à la jauge 20,
- ou de doper localement la poutre de suspension 22 afin de diminuer sa résistance et son facteur de jauge,

- ou encore de faire en sorte que ces variations respectives de résistance soient de même signe, en plaçant la jauge 20 et la poutre de suspension 22 de part et d'autre de la poutre 23 constituant le résonateur, ce qui est le cas dans l'exemple représenté sur la figure 5.

On peut également utiliser deux jauges piézorésistives sensiblement rectilignes dont les axes respectifs sont confondus et qui sont décalées par rapport à la poutre de suspension. Cela permet une lecture différentielle si les jauges sont disposées de part et d'autre du résonateur.

L'exemple de la figure 6 illustre schématiquement cette possibilité. Le dispositif représenté sur cette figure se distingue de celui de la figure 5 par le fait qu'il comprend une autre jauge piézorésistive sensiblement rectiligne 40 dont l'ancrage a la référence 42. Comme on le voit, les jauges 20 et 40 sont situées sur deux faces latérales opposées de la poutre 23 et ont le même axe X1.

Dans le cas de la figure 6, on utilise une lecture différentielle : les moyens de lecture comportent un premier moyen de lecture 38 qui est connecté entre les ancrages 26 et 42 et permet de déterminer la valeur $R+\Delta R$ de la résistance de la jauge 40, et un deuxième moyen de lecture 38a qui est connecté entre les ancrages 26 et 24 et permet de déterminer la valeur $R-\Delta R$ de la résistance de la jauge 20.

On peut également utiliser deux poutres de suspension. Alors, la raideur globale est augmentée

mais la résistance d'accès du dispositif est diminuée si l'on connecte électriquement les deux poutres de suspension : ces dernières constituent alors deux résistances montées en parallèle.

5 Ceci est schématiquement illustré par la figure 7. Le dispositif représenté sur cette figure se distingue de celui qui est représenté sur la figure 5 par le fait qu'il comprend une autre poutre de suspension 44. Comme on le voit, les deux poutres de
10 suspension 22 et 44, constituant deux éléments élastiques en flexion, sont d'un même côté de la poutre 16 et ont un ancrage commun 26 (voir aussi un autre exemple sur la figure 11 qui sera décrite ultérieurement).

15 Les deux poutres de suspension peuvent, ou non, se situer à l'une des deux extrémités de la poutre formant le résonateur, et l'on peut même prévoir deux autres poutres de suspension, connectées en parallèle, à l'autre extrémité du résonateur (voir aussi la figure
20 11).

Quant aux jauges piézorésistives, contrairement au cas de la figure 6, elles peuvent être disposées entre l'extrémité 28 du résonateur 16 et la poutre de suspension 22 (voir la figure 12 qui sera
25 décrite ultérieurement).

On peut également placer l'élément élastique (libéré), en forme de poutre, (a) dans l'axe du résonateur en forme de poutre ou (b) suivant un axe différent.

30 Dans ce dernier cas (b), on favorise peu le déplacement suivant l'axe du résonateur ; donc

l'amplitude de vibration est peu augmentée avant l'apparition du régime non linéaire ; en revanche, on minimise la contrainte récupérée par l'ancrage 26 associé à l'élément élastique 22 et l'on maximise la
5 contrainte subie par la jauge 20.

Les deux cas (a) et (b) sont schématiquement illustrés par les figures 8 et 9.

L'exemple de la figure 8 se distingue de celui de la figure 5 par le fait que, dans le cas de la
10 figure 8, l'élément élastique 22 en forme de poutre est fixé à l'extrémité 28 de la poutre 23 et s'étend suivant l'axe X3 de cette dernière.

Dans l'exemple de la figure 9, l'élément élastique 22 en forme de poutre est encore fixé à
15 l'extrémité 28 de la poutre 23 mais l'axe X2 de cet élément fait un angle α avec l'axe X3 de la poutre 23, tel que : $0 < \alpha < 90^\circ$ (alors que α est nul dans le cas de la figure 8).

La figure 9 illustre également la
20 possibilité de prévoir un autre élément élastique en flexion 46, en forme de poutre, à l'extrémité 28 de la poutre 23. L'ancrage qui lui est associé a la référence 48 et l'axe X4 de l'élément 46 est incliné par rapport à l'axe X3. Dans l'exemple de la figure 9, les éléments
25 22 et 46 sont symétriques l'un de l'autre par rapport à l'axe X3.

Comme dans certains des exemples mentionnés plus haut, les éléments 22 et 46 peuvent avoir le même ancrage et constituent alors des résistances en
30 parallèle.

Dans un autre exemple de l'invention, schématiquement illustré par la figure 10, le résonateur 16 est en forme de diapason. Il comprend deux poutres parallèles 50 et 52 et une liaison élastique 54 entre deux extrémités respectives des poutres, comme on le voit.

L'élément élastique 22, en forme de poutre, est situé au niveau de la liaison élastique 54 ; il s'étend de préférence parallèlement aux axes (parallèles) des poutres 50 et 52.

Deux jauges piézorésistives, sensiblement rectilignes 56 et 58 sont situées dans le prolongement l'une de l'autre (leurs axes respectifs sont confondus), respectivement sur les deux poutres 50 et 52. Les ancrages des jauges 56 et 58 ont les références respectives 60 et 62.

Deux électrodes 64 et 66, prévues pour actionner le diapason, sont respectivement disposées en regard des poutres 50 et 52, comme on le voit.

Dans l'exemple représenté sur la figure 10, les moyens de lecture 38 sont connectés entre les ancrages 26 et 62, et la source 34 excite l'électrode 64. Toutefois, il est également possible d'exciter simultanément les deux électrodes 64 et 66 avec la source 34.

Dans l'exemple de l'invention qui est schématiquement illustré par la figure 11, la poutre 23 utilisée en tant que résonateur a des conditions aux limites symétriques : ses deux extrémités sont aptes à se déplacer parallèlement à la surface du support 14.

Deux éléments élastiques en flexion, sensiblement rectilignes 68 et 70 sont respectivement situés au voisinage de l'une des extrémités de la poutre 23, sur deux faces latérales opposées de celle-ci ; et ces éléments 68 et 70 sont dans le prolongement l'un de l'autre : leurs axes respectifs sont confondus.

Deux jauges piézorésistives 72 et 74 sont situées sur les deux faces latérales opposées de la poutre 23 et leurs axes respectifs sont également confondus. Les ancrages des jauges 72 et 74 ont les références respectives 76 et 78.

On peut prévoir plusieurs électrodes d'excitation. Dans l'exemple représenté, il y en a quatre qui ont les références respectives 80, 82, 84 et 86. Les électrodes 80 et 82 sont en regard de l'une des faces latérales de la poutre 23, et les électrodes 84 et 86 sont en regard de son autre face latérale.

Dans l'exemple de la figure 11, on excite simplement l'électrode 80 au moyen de la source 34 ; et les moyens de lecture sont connectés entre l'ancrage 76, associé à la jauge piézorésistive 72, et un ancrage 88 qui est commun aux éléments élastiques 68 et 70 ; ces derniers forment alors des résistances montées en parallèle.

En variante, on prévoit un ensemble identique de composants, du côté de l'autre extrémité de la poutre 23 ; les références homologues sont affectées de la lettre a.

Sur la figure 10, on voit ainsi des éléments élastiques en flexion 68a et 70a, des jauges piézorésistives 72a et 74a, des ancrages 76a et 78a, un

ancrage commun 88a, une source 34a qui excite l'électrode 82, et des moyens de lecture 38a connectés entre l'ancrage 76a et l'ancrage 88a.

La configuration illustrée par la figure 11, dans laquelle les deux extrémités de la poutre 23 sont libres, présente divers avantages qui sont mentionnés ci-après.

1. Cette configuration permet toujours la lecture de la variation de résistance des jauges.

2. Elle utilise des conditions aux limites symétriques, mais permet dans le même temps des amplitudes de vibration linéaires importantes.

En effet, les poutres de suspension formant les éléments élastiques présentent, de préférence, un élanement important ; elles ont alors une faible raideur en flexion et le résonateur n'est donc pas contraint sur son axe. Il est libre de s'allonger quand l'amplitude de vibration augmente.

Alors, l'effet d'étirement dans le plan médian est tout à fait réduit et l'amplitude de vibration utile devient comparable à celle d'un résonateur de type encastré-libre.

3. A chaque extrémité de la poutre 23, les deux poutres de suspension ont un ancrage commun et sont donc électriquement reliées. Comme on l'a vu, elles sont ainsi équivalentes à deux résistances en parallèle dont la résistance équivalente vaut la moitié de celle d'une seule poutre de suspension.

De plus, lorsque l'une des deux poutres de suspension est contrainte en compression, l'autre est contrainte en tension. Par conséquent, la somme de

leurs variations de résistance est nulle. Ainsi, la configuration de la figure 11 permet de ne lire que la variation utile de résistance des jauges, et de s'affranchir de celle des poutres de suspension.

5 4. Comme on l'a vu, on peut utiliser la même disposition pour les jauges et les poutres de suspension à l'autre extrémité du résonateur (conditions aux limites symétriques). Cela permet d'utiliser un autre ancrage, constituant un port de
10 détection, soit pour obtenir un signal deux fois plus important, soit pour faire résonner la structure simultanément sur deux modes.

 5. Comme dans tous les autres cas, on peut utiliser une ou plusieurs électrodes d'actionnement
15 électrostatique. Cela permet de favoriser certains modes privilégiés de la structure, voire de découpler deux harmoniques d'actionnement à des fréquences différentes.

 Dans l'exemple qui est schématiquement
20 illustré par la figure 12, les jauges piézorésistives et les poutres de suspension sont placées au milieu du résonateur.

 Comme on le voit, dans cet exemple, la poutre 23, formant le résonateur, est pourvue de deux
25 éléments sensiblement rectilignes 90 et 92 qui sont élastiques en flexion et sont situés de part et d'autre de la poutre 23, au milieu de celle-ci, et dont les axes respectifs sont confondus.

 D'un côté de ces éléments, deux jauges
30 piézorésistives 94 et 96 sont disposées de part et d'autre de la poutre 23 et leurs axes respectifs sont

confondus. De l'autre côté des éléments 90 et 92, deux autres jauges piézorésistives 98 et 100 sont également disposées de part et d'autre de la poutre 23 et ont des axes respectifs confondus.

5 Les ancrages des éléments 90 et 92 et des jauges 94, 96, 98 et 100 ont respectivement les références 102, 104, 106, 108, 110 et 112.

Dans l'exemple de la figure 12, quatre électrodes d'actionnement sont prévues, à savoir deux
10 électrodes 114 et 116 à une extrémité de la poutre 23, de part et d'autre de celle-ci, et deux autres électrodes 118 et 120 à l'autre extrémité de la poutre 23, de part et d'autre de celle-ci.

En outre, à titre d'exemple, on excite
15 l'électrode 118 à l'aide de la source 34, et l'on connecte les moyens de lecture 38 entre les ancrages 96 et 104.

On peut concevoir d'autres exemples de l'invention, utilisant une ou plusieurs poutres de
20 suspension et une ou plusieurs jauges piézorésistives.

En outre, on peut concevoir un dispositif conforme de l'invention, qui comprend au moins deux jauges piézorésistives et dans lequel au moins l'une de ces jauges est élastique et constitue l'élément
25 élastique par l'intermédiaire duquel le résonateur est ancré au support.

Un exemple d'un tel dispositif est schématiquement illustré par la figure 13.

On y voit la poutre 23 formant le
30 résonateur, et pourvue de quatre jauges piézorésistives sensiblement rectilignes 122, 124, 126 et 128.

Les jauges 122 et 124 sont élastiques en flexion, sont disposées au voisinage de l'une des extrémités de la poutre 23, de part et d'autre de celle-ci, et ont des axes confondus. Les deux autres
5 jauges 126 et 128, qui pourraient aussi être élastiques en flexion, sont disposées au voisinage de l'autre extrémité de la poutre 23, de part et d'autre de celle-ci, et ont également des axes confondus.

Les ancrages des jauges 122, 124, 126 et
10 128 ont les références respectives 130, 132, 134 et 136.

Dans l'exemple de la figure 13, quatre électrodes d'actionnement sont prévues, à savoir deux électrodes 138 et 140 disposées au voisinage du milieu
15 de la poutre 23, en regard de l'une des faces latérales de celle-ci, et deux autres électrodes 142 et 144 disposées en regard de l'autre face latérale, et respectivement en regard des électrodes 138 et 140.

En outre, à titre d'exemple, on excite
20 l'électrode 134 à l'aide de la source 34, et l'on connecte les moyens de lecture 38 entre les ancrages 130 et 134.

Les jauges piézorésistives utilisées dans l'invention peuvent être en silicium dopé. Elles
25 peuvent aussi être métalliques ; pour ce faire, on peut doper très fortement le silicium jusqu'à l'amorphisation de celui-ci. On peut aussi utiliser des jauges faites d'un composé métal-silicium tel que NiSi ou PtSi par exemple.

30 Il est également possible d'obtenir les jauges à partir d'éléments de silicium sur lesquels on

dépose une couche métallique, par exemple en or ou en aluminium, pour constituer la partie sensible des jauges.

Un dispositif conforme à l'invention peut être fabriqué par une technologie de surface.

Un exemple de procédé de fabrication est schématiquement et partiellement illustré par les figures 14A à 14C.

On commence (figure 14A) par déposer une couche de Ti/Ni/Au sur un substrat SOI comprenant un substrat de base 146 en silicium, une couche sacrificielle 148 en SiO₂, dont l'épaisseur vaut par exemple 0,4 µm, et une couche de silicium 150 dont l'épaisseur vaut par exemple 4 µm. On délimite les contacts du dispositif, tels que le contact 152, par photolithographie et gravure.

On délimite ensuite (figure 14B) la structure mécanique 154 du dispositif par photolithographie et gravure DRIE (pour « Deep Reaction Ion Etching »), avec arrêt sur la couche sacrificielle 148.

On libère ensuite (figure 14C) les composants du dispositif par exposition à l'acide fluorhydrique (sous forme liquide ou gazeuse), avec arrêt au bout d'une durée déterminée.

On obtient ainsi une ou plusieurs jauges piézorésistives telles que la jauge 156, un résonateur 158, un ou plusieurs éléments élastiques (non représentés), et une ou plusieurs électrodes d'excitation (non représentées) du résonateur.

Dans ce procédé, la photolithographie peut être effectuée au moyen d'un faisceau d'électrons.

Le résonateur lui-même, mais surtout les jauges piézorésistives et les éléments élastiques
5 peuvent être des nanofils (en anglais, *nanowires*) que l'on forme par une technologie de surface de type « top-down », conformément à un autre exemple de procédé de fabrication qui est schématiquement illustré par les figures 15A à 15D.

10 On commence par former une couche sacrificielle 160 (figure 15A) qui peut être en SiO₂, en SiGe ou en Si. On forme ensuite une couche active 162 sur la couche 160.

La couche 162 peut être en Si ou en SiGe.
15 Il s'agit de la couche dans laquelle on forme les divers éléments, ou motifs, du dispositif, tels que le résonateur par exemple en forme de poutre, une ou plusieurs jauges piézorésistives et un ou plusieurs éléments élastiques.

20 On forme ensuite un masque de résine photosensible 164 qui est nécessaire à l'obtention des motifs.

On définit ensuite ces motifs, tels que les motifs 166 (figure 15B), par photolithographie et
25 gravure de la couche active. Une réduction de cote de la résine (en anglais, *resist trimming*) peut être effectuée au préalable.

On procède ensuite à une oxydation puis à une désoxydation pour réduire la taille des motifs 166
30 et les arrondir (figure 15C).

Puis on libère les motifs 166 (figure 15D), à l'aide d'acide fluorhydrique dans le cas de SiO₂ ou à l'aide d'un plasma de type méthane-oxygène dans le cas de SiGe.

REVENDICATIONS

1. Dispositif résonant, à détection piézorésistive, le dispositif comprenant :
- 5 - un support (14) ayant une surface sensiblement plane,
- un résonateur (16) qui est suspendu vis-à-vis du support et apte à se déplacer parallèlement au plan de la surface du support,
- 10 - des moyens (17) d'actionnement du résonateur, et
- des moyens (18) de détection du déplacement du résonateur, comprenant au moins une jauge de contrainte piézorésistive (20 ; 20,40 ;
- 15 56,58 ; 72,72a,74,74a ; 94,96,98,100 ; 122,124,126,128) qui est suspendue vis-à-vis du support,
- caractérisé en ce qu'il comprend en outre au moins un élément élastique (22 ; 22,44 ; 22,46 ; 68,68a,70,70a ; 90,92 ; 122,124) par l'intermédiaire
- 20 duquel le résonateur est ancré au support, l'élément étant élastique en flexion, pour permettre de repousser le seuil d'apparition d'un régime non linéaire de déplacement du résonateur.
- 25 2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel la jauge de contrainte piézorésistive comprend un empilement comportant au moins un matériau piézorésistif.
- 30 3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, dans lequel la jauge de

contrainte et l'élément élastique sont sensiblement rectilignes et ne sont pas dans le prolongement l'un de l'autre.

5 4. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel le résonateur est en forme de poutre (23) et dans lequel la jauge de contrainte (20) et l'élément élastique (22) sont respectivement situés sur deux faces latérales opposées de la poutre.

10 5. Dispositif selon la revendication 3, comprenant deux jauges de contrainte sensiblement rectilignes (20,40), dans lequel le résonateur est en forme de poutre (23), les deux jauges de contrainte
15 sont respectivement situées dans le prolongement l'une de l'autre, sur deux faces latérales opposées de la poutre, et l'élément élastique (22) est situé sur l'une des faces latérales.

20 6. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel le résonateur est en forme de poutre (23) et l'élément élastique (22 ; 22,46) est situé à une extrémité de la poutre et forme avec cette dernière un angle supérieur ou égal à zéro et inférieur à 90°.

25 7. Dispositif selon la revendication 3, comprenant deux jauges de contrainte sensiblement rectilignes (56,58), dans lequel le résonateur est en forme de diapason, comprenant deux poutres sensiblement
30 parallèles (50,52) et une liaison élastique (54) entre les deux poutres, l'élément élastique (22) est situé au

niveau de la liaison élastique, et les deux jauges de contraintes sont respectivement situées dans le prolongement l'une de l'autre, sur les deux poutres du diapason.

5

8. Dispositif selon la revendication 3, comprenant deux éléments élastiques en flexion qui sont sensiblement rectilignes (68,70), dans lequel le résonateur est en forme de poutre (23), les deux
10 extrémités de la poutre sont aptes à se déplacer parallèlement au plan de la surface du support (14), et les deux éléments élastiques sont respectivement situés à l'une des extrémités de la poutre, sur deux faces latérales opposées de celle-ci.

15

9. Dispositif selon la revendication 8, comprenant deux autres éléments élastiques en flexion qui sont sensiblement rectilignes (68a, 70a) et sont respectivement situés à l'autre extrémité de la poutre
20 (23), sur les deux faces latérales opposées de celle-ci.

10. Dispositif selon la revendication 3, comprenant au moins deux jauges de contrainte
25 (122,124,126,128), dans lequel au moins l'une des jauges de contrainte (122,124) est élastique en flexion, et l'élément élastique en flexion est constitué par la jauge de contrainte qui est élastique en flexion.

30

11. Procédé de fabrication du dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel on forme le résonateur, chaque jauge de contrainte et chaque élément élastique par une
5 technologie de surface.

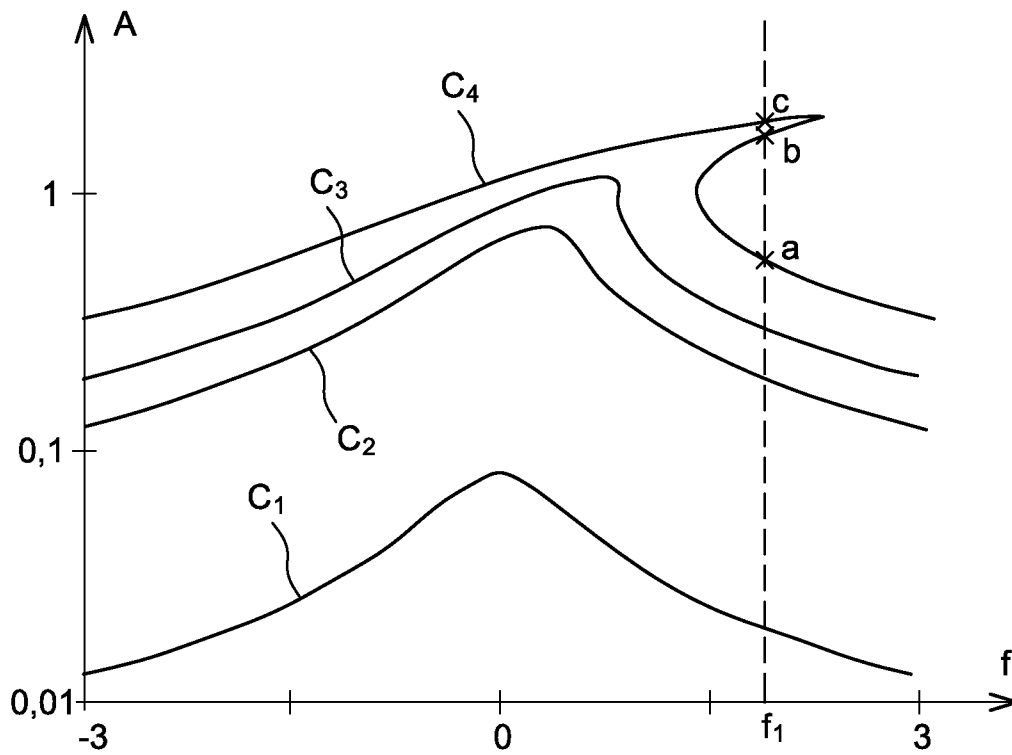


FIG. 1

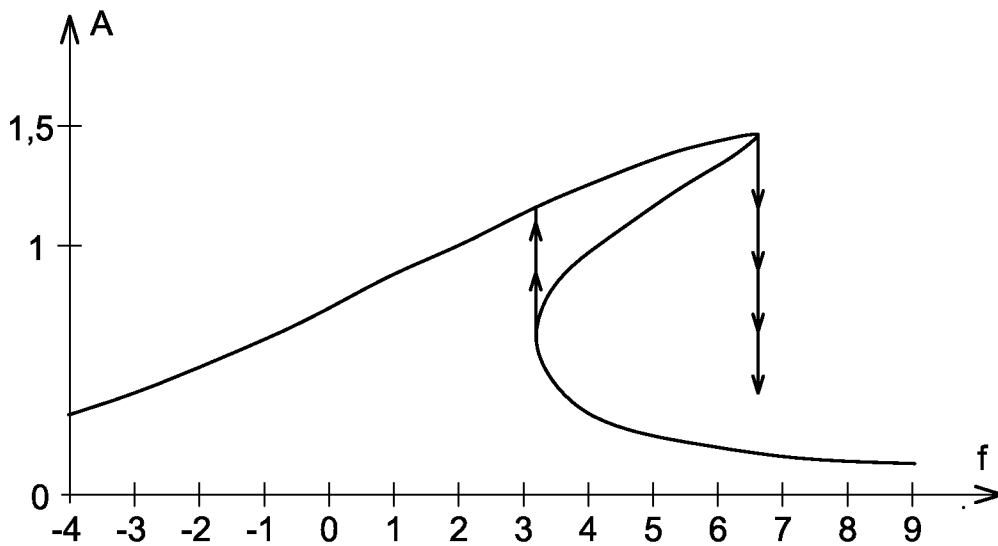


FIG. 2

2 / 8

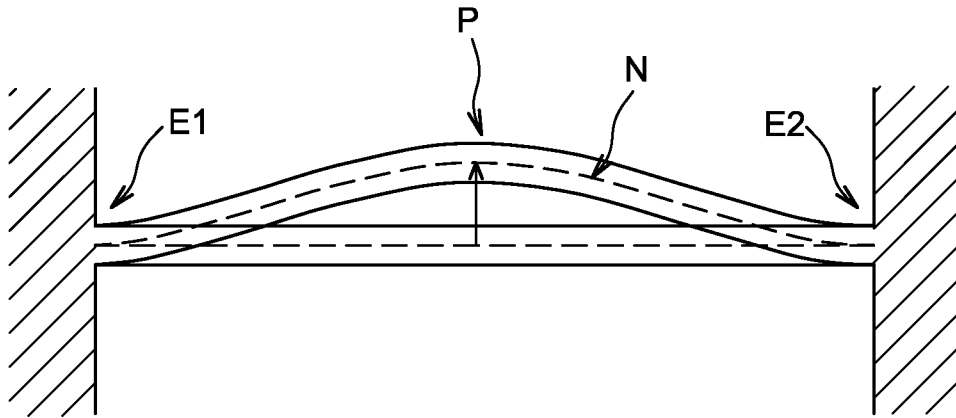


FIG. 3

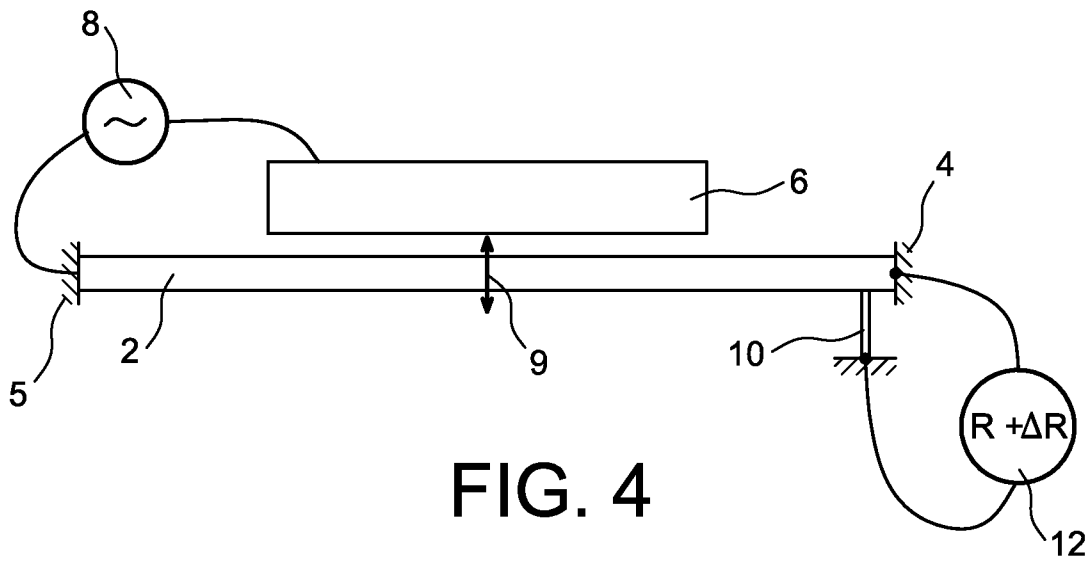


FIG. 4

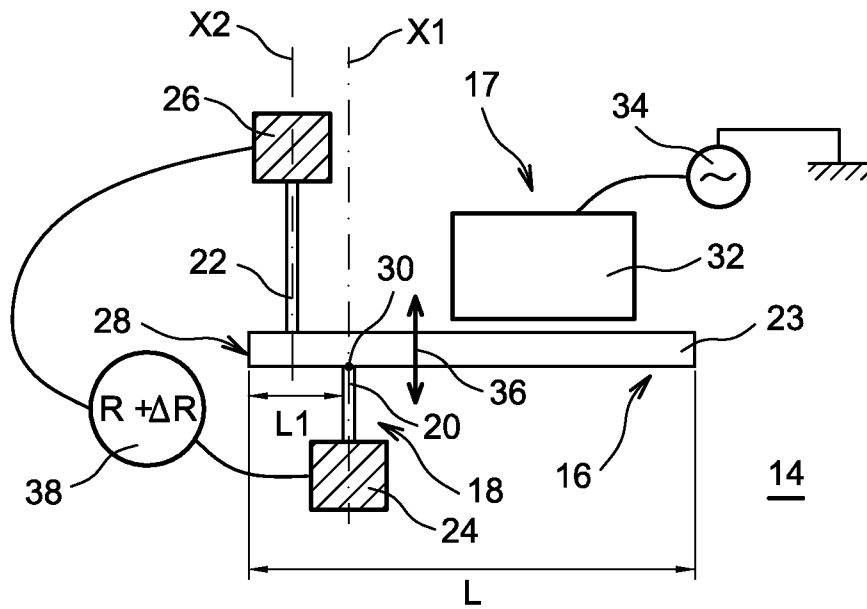


FIG. 5

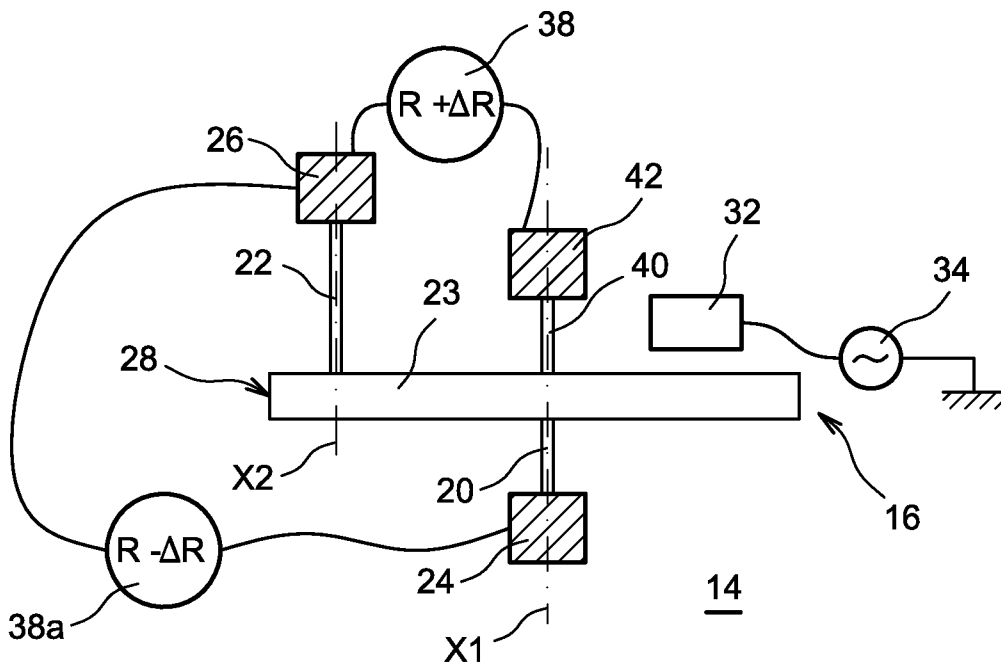


FIG. 6

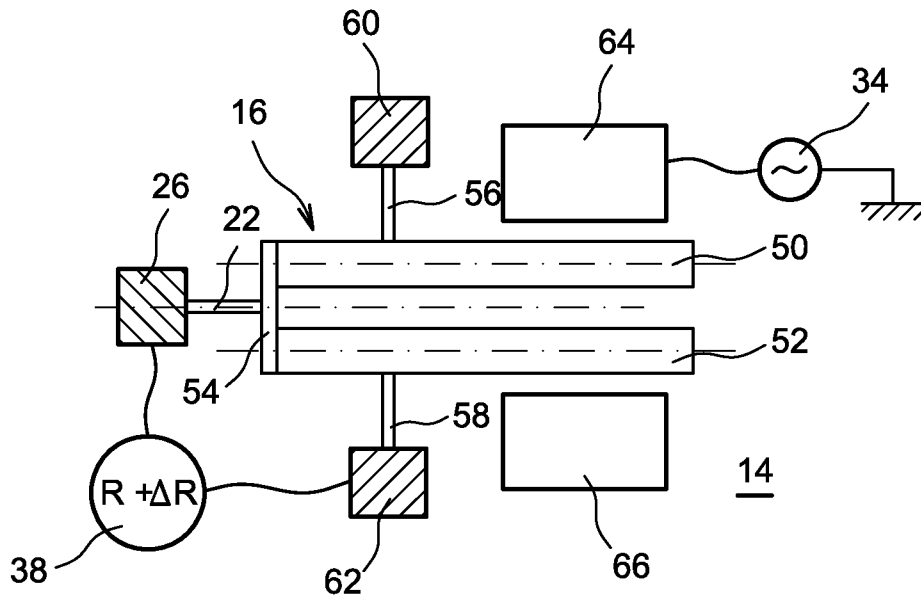


FIG. 10

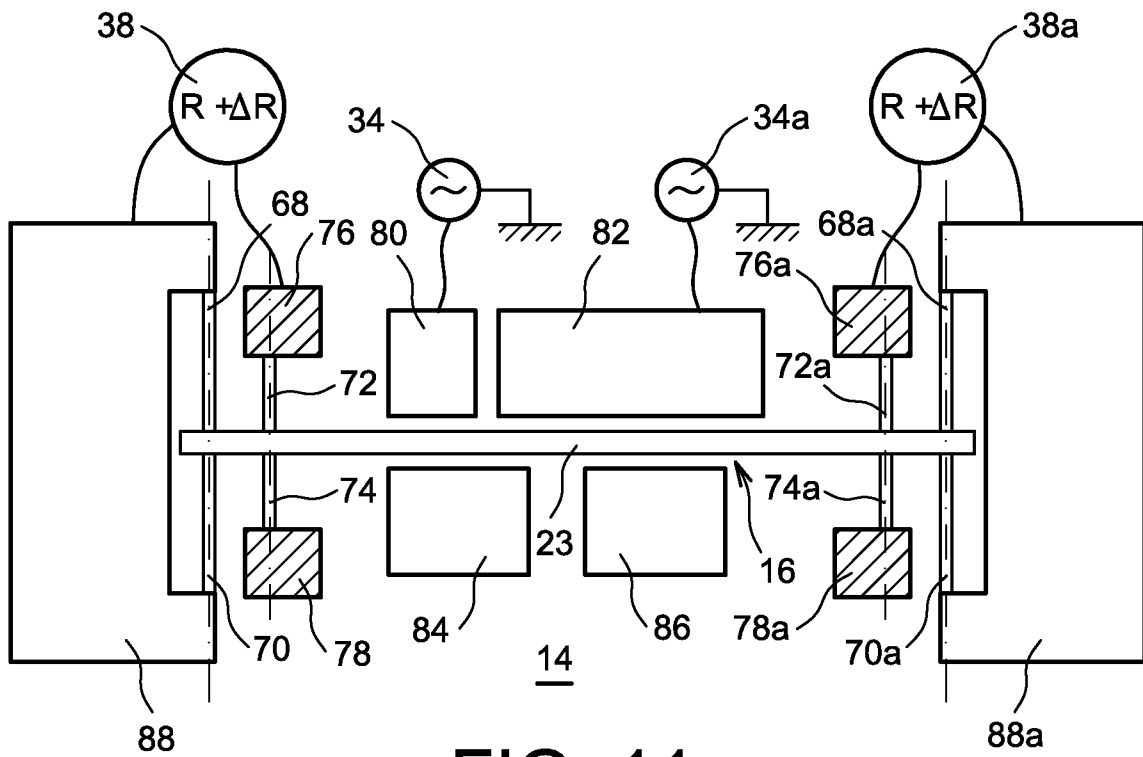


FIG. 11

6 / 8

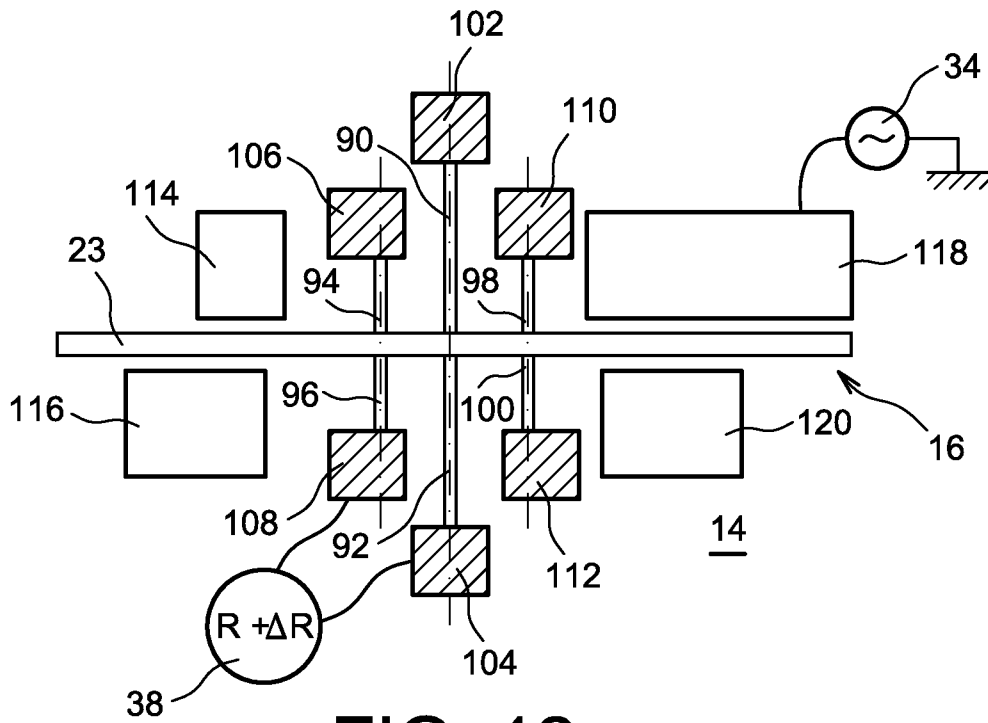


FIG. 12

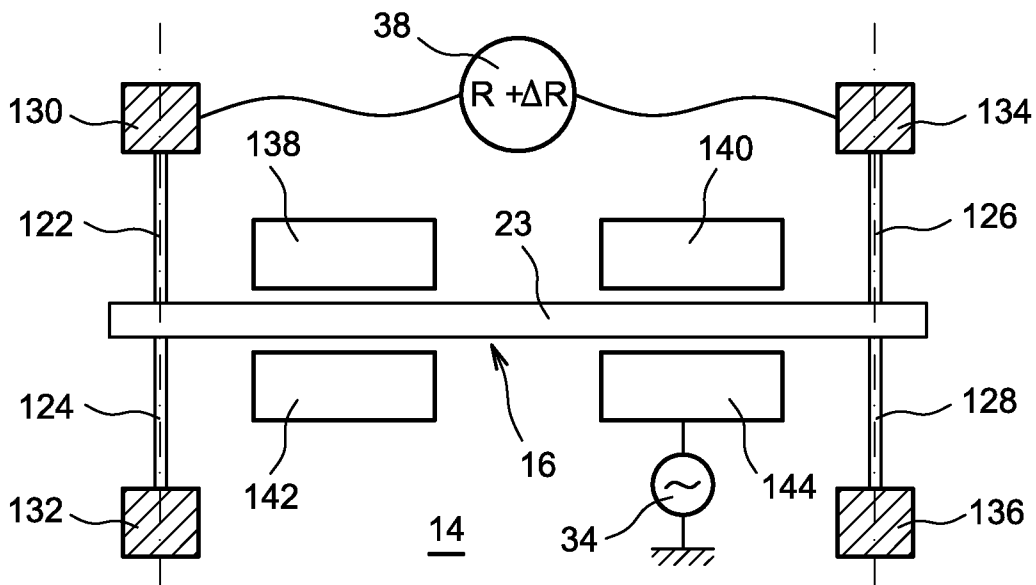


FIG. 13

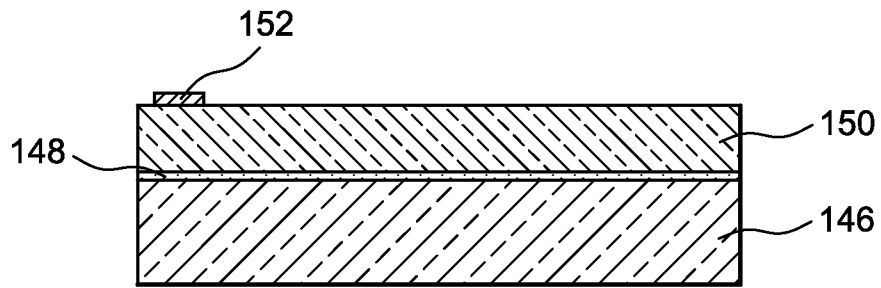


FIG. 14A

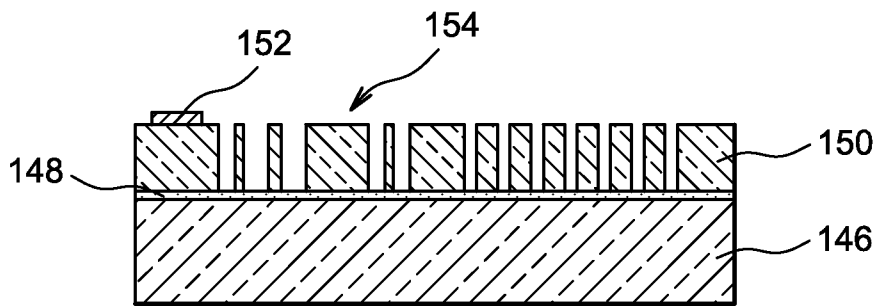


FIG. 14B

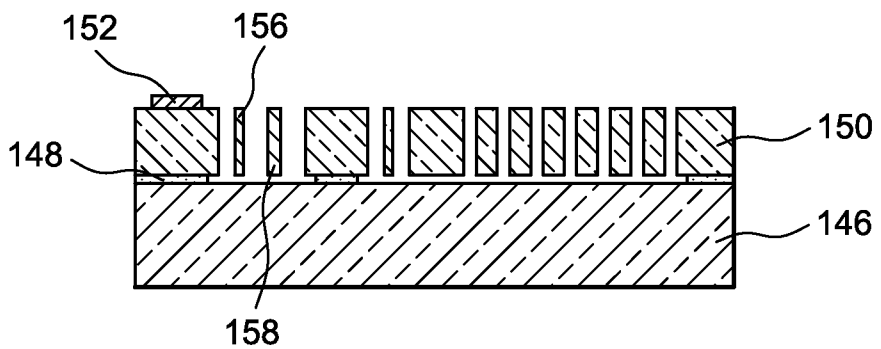


FIG. 14C

8 / 8

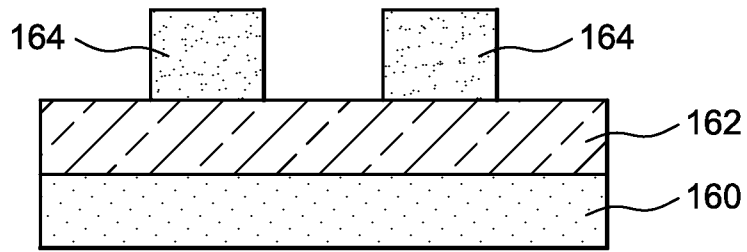


FIG. 15A

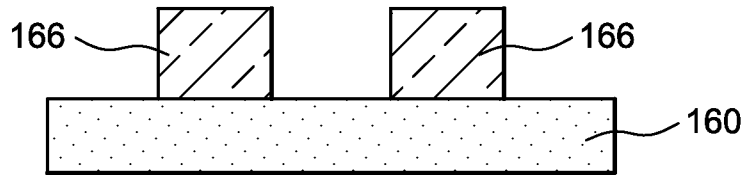


FIG. 15B

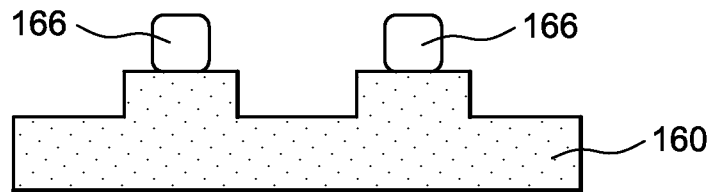


FIG. 15C

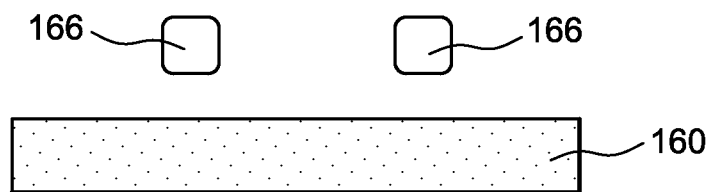


FIG. 15D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2011/065809

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H03H9/02 H03H9/24
 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)
 H03H

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)

EPO-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.
X	US 2008/314148 A1 (ROBERT PHILIPPE [FR]) 25 December 2008 (2008-12-25) cited in the application paragraph [0069]; figure 9 -----	1-3,10, 11
X	MILE E ET AL: "In-plane nanoelectromechanical resonators based on silicon nanowire piezoresistive detection", NANOTECHNOLOGY, IOP, BRISTOL, GB, vol. 21, no. 16, 23 April 2010 (2010-04-23), page 165504, XP020174814, ISSN: 0957-4484 cited in the application paragraph [02.1]; figure 1 ----- -/--	1,2,11



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

28 September 2011

Date of mailing of the international search report

07/10/2011

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

De La Pinta, Luis

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/065809

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2010/186506 A1 (ROBERT PHILIPPE [FR]) 29 July 2010 (2010-07-29) paragraphs [0078] - [0090]; figure 1A -----	1-3,10, 11
X	WO 2010/015963 A1 (NXP BV [NL]; GOOSSENS MARTIJN [NL]; VAN BEEK JOZEF T M [NL]) 11 February 2010 (2010-02-11) page 11, line 24 - page 16, line 14; figure 1 -----	1-3,10, 11
X	WO 2009/066203 A1 (NXP BV [NL]; PHAN LE KIM [NL]; VAN BEEK JOZEF T M [NL]) 28 May 2009 (2009-05-28) page 3, lines 22-30 page 12, line 15 - page 13, line 20 figures 10-12 -----	1-3,10, 11
A	US 2009/153267 A1 (LUTZ MARKUS [US] ET AL) 18 June 2009 (2009-06-18) paragraphs [0818] - [0819], [0218] - [0222]; figures 5A-6D -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/065809

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 2008314148	A1	25-12-2008	EP 2008965 A2	31-12-2008
			FR 2917731 A1	26-12-2008
			JP 2009002953 A	08-01-2009

US 2010186506	A1	29-07-2010	EP 2211143 A1	28-07-2010
			FR 2941525 A1	30-07-2010
			JP 2010169684 A	05-08-2010

WO 2010015963	A1	11-02-2010	CN 102113213 A	29-06-2011
			EP 2313973 A1	27-04-2011
			US 2011187347 A1	04-08-2011

WO 2009066203	A1	28-05-2009	AT 513362 T	15-07-2011
			CN 101861700 A	13-10-2010
			EP 2212995 A1	04-08-2010
			US 2010277262 A1	04-11-2010

US 2009153267	A1	18-06-2009	CN 101946400 A	12-01-2011
			EP 2235821 A1	06-10-2010
			JP 2011507455 A	03-03-2011
			US 2011018655 A1	27-01-2011
			WO 2009079188 A1	25-06-2009

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2011/065809

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H03H9/02 H03H9/24 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) H03H				
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		
X	US 2008/314148 A1 (ROBERT PHILIPPE [FR]) 25 décembre 2008 (2008-12-25) cité dans la demande alinéa [0069]; figure 9 -----	1-3,10, 11		
X	MILE E ET AL: "In-plane nanoelectromechanical resonators based on silicon nanowire piezoresistive detection", NANOTECHNOLOGY, IOP, BRISTOL, GB, vol. 21, no. 16, 23 avril 2010 (2010-04-23), page 165504, XP020174814, ISSN: 0957-4484 cité dans la demande alinéa [02.1]; figure 1 ----- -/--	1,2,11		
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe </td> </tr> </table>			<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> 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 28 septembre 2011		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 07/10/2011		
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 De La Pinta, Luis		

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2010/186506 A1 (ROBERT PHILIPPE [FR]) 29 juillet 2010 (2010-07-29) alinéas [0078] - [0090]; figure 1A -----	1-3,10, 11
X	WO 2010/015963 A1 (NXP BV [NL]; GOOSSENS MARTIJN [NL]; VAN BEEK JOZEF T M [NL]) 11 février 2010 (2010-02-11) page 11, ligne 24 - page 16, ligne 14; figure 1 -----	1-3,10, 11
X	WO 2009/066203 A1 (NXP BV [NL]; PHAN LE KIM [NL]; VAN BEEK JOZEF T M [NL]) 28 mai 2009 (2009-05-28) page 3, ligne 22-30 page 12, ligne 15 - page 13, ligne 20 figures 10-12 -----	1-3,10, 11
A	US 2009/153267 A1 (LUTZ MARKUS [US] ET AL) 18 juin 2009 (2009-06-18) alinéas [0818] - [0819], [0218] - [0222]; figures 5A-6D -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2011/065809

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2008314148 A1	25-12-2008	EP 2008965 A2	31-12-2008
		FR 2917731 A1	26-12-2008
		JP 2009002953 A	08-01-2009

US 2010186506 A1	29-07-2010	EP 2211143 A1	28-07-2010
		FR 2941525 A1	30-07-2010
		JP 2010169684 A	05-08-2010

WO 2010015963 A1	11-02-2010	CN 102113213 A	29-06-2011
		EP 2313973 A1	27-04-2011
		US 2011187347 A1	04-08-2011

WO 2009066203 A1	28-05-2009	AT 513362 T	15-07-2011
		CN 101861700 A	13-10-2010
		EP 2212995 A1	04-08-2010
		US 2010277262 A1	04-11-2010

US 2009153267 A1	18-06-2009	CN 101946400 A	12-01-2011
		EP 2235821 A1	06-10-2010
		JP 2011507455 A	03-03-2011
		US 2011018655 A1	27-01-2011
		WO 2009079188 A1	25-06-2009
