

(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)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2012/034949 A1

(51) Classification internationale des brevets :
B81B 3/00 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2011/065682

(22) Date de dépôt international :
9 septembre 2011 (09.09.2011)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1057252 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))

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : IN-PLANE ACTUATED RESONANT DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING THE DEVICE

(54) Titre : DISPOSITIF RESONANT A ACTIONNEMENT DANS LE PLAN, ET PROCEDE DE FABRICATION DU DISPOSITIF

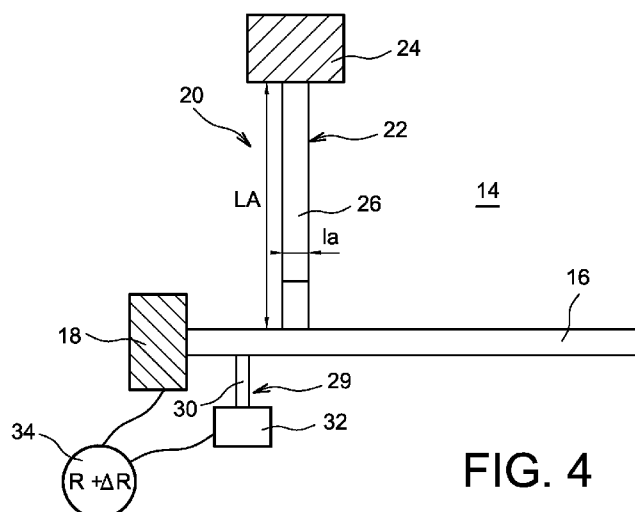


FIG. 4

(57) Abstract : In-plane actuated resonant device and method of manufacturing the device. The device comprises: A support (14); a suspended beam (16) travelling parallel to the support plane and anchored thereto by at least one end; and means (20) of actuating the beam to allow it to be moved parallel to the support. According to the invention, the actuating means comprise at least one suspended element (22) anchored to the support and to one lateral face of the beam. The element moves when a control voltage is applied to it and thus causes the beam to move. The device can be manufactured using surface technology and is notably applicable to resonant mass sensors.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



WO 2012/034949 A1



Dispositif résonant à actionnement dans le plan, et procédé de fabrication du dispositif. Le dispositif comprend : un support (14); une poutre suspendue (16), se déplaçant parallèlement au plan du support et ancrée à celui-ci par au moins une extrémité; et des moyens d' actionnement (20) de la poutre pour en permettre le déplacement parallèlement au support. Selon l'invention, les moyens d' actionnement comprennent au moins un élément suspendu (22), ancré au support et à une face latérale de la poutre. L'élément se déplace lorsqu'on lui applique une tension de commande et cause ainsi le déplacement de la poutre. Le dispositif peut être fabriqué par une technologie de surface et s'applique notamment aux capteurs de masse résonants.

**DISPOSITIF RESONANT A ACTIONNEMENT DANS LE PLAN, ET
PROCEDE DE FABRICATION DU DISPOSITIF**

DESCRIPTION

5 DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un dispositif résonant à actionnement dans le plan, ainsi qu'un procédé de fabrication de ce dispositif.

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

Elle s'applique par exemple aux capteurs
15 résonants, notamment aux capteurs de masse.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Aux échelles nanométriques, la question du choix de la transduction reste ouverte, non seulement en ce qui concerne le choix de la détection du
20 mouvement du résonateur, mais aussi en ce qui concerne son actionnement.

Les types d'actionnement les plus utilisés dans le domaine des MEMS et même des NEMS sont les actionnements électrostatique, thermoélastique et
25 piézoélectrique, au sujet desquels on se reportera respectivement aux documents suivants :

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

[2] M. Li et al., Nature Nanotechnology, 2,
30 114-120 (2006)

[3] R. B. Karabalin et al., Applied Physics Letters, 95, 03111 (2009).

Seul l'actionnement électrostatique permet d'obtenir facilement un mouvement du résonateur dans le plan, grâce à l'utilisation d'une ou plusieurs électrodes gravées et isolées. La figure 1 montre un exemple d'une telle utilisation.

Cette figure est une vue de dessus schématique d'un dispositif résonant connu, décrit dans le document suivant auquel on se reportera :

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

Ce dispositif connu 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),
- 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 parallèlement au plan de la surface du substrat, ce qui est symbolisé par la double flèche 9 de la figure 1,
- une jauge de contrainte suspendue 10, faite d'un matériau piézorésistif, et
- des moyens 12 de mesure de la contrainte subie par la jauge 10.

On notera que 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.

Un mouvement dans le plan peut être
5 recherché pour de nombreuses raisons, notamment la liberté qu'un tel mouvement permet pour le choix du type de détection.

Ce peut être, par exemple, une détection à l'aide d'une ou plusieurs jauges piézorésistives
10 semiconductrices gravées, ce qui est le cas du dispositif représenté sur la figure 1.

Une autre raison est relative à la conception du résonateur à mouvement dans le plan.

Par exemple, la fréquence de résonance du
15 résonateur est indépendante de l'épaisseur de ce dernier lorsqu'il vibre dans le plan. Ainsi, le procédé de fabrication (ou d'autres contraintes) peut déterminer les épaisseurs des différents matériaux constitutifs du résonateur, tout en n'ayant que peu
20 d'influence sur la fréquence de résonance de celui-ci.

En revanche, l'utilisation d'un actionnement électrostatique impose la présence d'un entrefer. Ce dernier doit être suffisamment faible pour minimiser la tension d'actionnement, mais suffisamment
25 important pour permettre une grande amplitude de mouvement et maximiser ainsi le rapport signal sur bruit.

Il est en revanche compliqué d'obtenir une vibration de grande amplitude dans le plan lorsqu'on
30 utilise un actionnement piézoélectrique ou thermoélastique. En effet, un tel actionnement ne

permet généralement d'atteindre que de très faibles déformations, de l'ordre de quelques dixièmes de pourcent.

Ceci est vrai pour un résonateur de taille micrométrique, pour lequel de grandes amplitudes ne sont atteintes qu'en utilisant une structure très complexe. Mais c'est encore plus vrai pour un résonateur de plus petite taille, en particulier pour un résonateur de taille nanométrique. En effet, l'une des dimensions d'un tel résonateur, comptée parallèlement au plan du substrat sur lequel il est formé, est souvent à la limite de ce que les techniques de fabrication connues permettent d'obtenir.

On sait qu'un actionnement piézoélectrique nécessite au moins trois couches : une couche piézoélectrique entre deux couches conductrices qui constituent respectivement des électrodes inférieure et supérieure. La reprise des contacts se fait donc verticalement. Il est alors nécessaire d'avoir accès à l'électrode inférieure pour polariser le dispositif. A ce sujet, on se reportera au document [3].

A l'inverse, un actionneur thermoélastique comporte un seul matériau, à travers lequel il est nécessaire de faire passer un courant électrique pour faire varier la température de ce matériau de manière alternative. Un tel actionneur nécessite donc deux connexions au même niveau technologique, dans le plan du substrat.

Ainsi, ces actionnements piézoélectrique et thermoélastique ont des effets mécaniques similaires

sur le résonateur que l'on veut actionner, mais ont chacun leurs propres avantages et inconvénients.

Dans le cas d'un résonateur ayant des dimensions nanométriques ou des dimensions se situant
5 aux limites autorisées par les techniques connues de fabrication, il est donc très difficile, voire impossible, d'utiliser ces deux types d'actionnement pour obtenir un mouvement dans le plan.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

10 La présente invention a pour but de remédier à cet inconvénient.

Elle exploite le fait que des moyens d'actionnement de type thermoélastique ou piézoélectrique ne permettent d'obtenir que de très
15 faibles déformations mais permettent d'atteindre de hauts niveaux de contrainte.

Selon l'invention, les moyens d'actionnement d'une poutre formant le résonateur sont découplés de la poutre afin que cette dernière puisse
20 avoir une taille que la technique de fabrication utilisée permet d'obtenir, et afin de pouvoir placer la poutre là où les déplacements de cette dernière sont faibles, c'est-à-dire à proximité d'un ancrage de la poutre.

25 On précise que la présente invention n'est pas limitée à des dispositifs résonants de dimensions nanométriques (NEMS) : elle s'applique également à des dispositifs résonants de dimensions supérieures, notamment de dimensions micrométriques (MEMS).

De façon précise, la présente invention a pour objet un dispositif résonant, à actionnement dans le plan, le dispositif comprenant :

- un support comportant une surface
5 sensiblement plane,
 - une poutre qui est suspendue vis-à-vis du support, apte à se déplacer parallèlement au plan de la surface du support, et ancrée au support par au moins l'une de ses extrémités, et
 - 10 - des moyens d'actionnement de la poutre pour en permettre le déplacement parallèlement au plan de la surface du support,
- caractérisé en ce que les moyens d'actionnement comprennent au moins un élément qui est
15 suspendu vis-à-vis du support et qui est ancré, d'une part, au support et, d'autre part, à l'une des faces latérales de la poutre, l'élément suspendu étant apte à se déplacer lorsqu'on lui applique une tension de commande, et à causer ainsi le déplacement de la
20 poutre.

Certes, on connaît, par le document **DE 198 12 773 correspondant à US 6 389 898 de Seidel et al.**, un microcapteur à structure résonante, comprenant un élément résonant et des moyens d'actionnement de cet
25 élément ; mais ce dernier est ancré à un support par l'intermédiaire des moyens d'actionnement. Au contraire, dans le dispositif, objet de l'invention, la poutre, formant le résonateur, a ses propres moyens d'ancrage ; elle est ainsi ancrée au support
30 indépendamment des moyens d'actionnement.

Selon un premier mode de réalisation préféré du dispositif, objet de l'invention, les moyens d'actionnement sont de type piézoélectrique, et l'élément suspendu comprend un empilement
5 piézoélectrique.

Dans ce cas, selon un mode de réalisation particulier du dispositif, l'élément suspendu se rétrécit en une extrémité qui est ancrée à la face latérale de la poutre.

10 Selon un deuxième mode de réalisation préféré du dispositif, objet de l'invention, les moyens d'actionnement sont de type thermoélastique, et l'élément suspendu comprend une couche électriquement conductrice.

15 Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, les moyens d'actionnement comprennent au moins deux éléments qui sont suspendus vis-à-vis du support et qui sont ancrés, d'une part, au support et, d'autre part, à l'une des faces latérales de la poutre,
20 les éléments suspendus étant aptes à se déplacer lorsqu'on leur applique une tension de commande, et à causer ainsi le déplacement de la poutre.

Selon un mode de réalisation particulier du dispositif, objet de l'invention, ce dispositif
25 comprend en outre des moyens de détection du déplacement de la poutre.

Les moyens de détection peuvent être choisis parmi des moyens de détection piézorésistive et des moyens de détection capacitive.

30 Dans le cas du premier mode de réalisation préféré, mentionné plus haut, les moyens de détection

peuvent comprendre une jauge de détection de contrainte, constituée par l'élément suspendu.

La présente invention concerne aussi un procédé de fabrication du dispositif, objet de l'invention, dans lequel on forme la poutre et l'élément suspendu par une technologie de surface.

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 :

- la figure 1 est une vue de dessus schématique d'un dispositif résonant connu, et a déjà été décrite,

- la figure 2 à 8 sont des vues de dessus schématiques de modes de réalisation particuliers du dispositif, objet de l'invention,

- les figures 9A à 9G illustrent schématiquement diverses étapes d'un procédé de fabrication d'un dispositif conforme à l'invention, dans lequel l'actionnement est de type piézoélectrique, et

- les figures 10A à 10E illustrent schématiquement diverses étapes d'un autre procédé de fabrication d'un dispositif conforme à l'invention, dans lequel l'actionnement est de type thermoélectrique.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

La figure 2 est une vue de dessus schématique d'un mode de réalisation particulier du dispositif résonant, objet de l'invention.

5 Le dispositif représenté sur cette figure comprend :

- un support 14, ou substrat, dont la surface est sensiblement plane,
- une poutre 16, formant un résonateur, qui
10 est suspendue vis-à-vis du support, apte à se déplacer parallèlement au plan de la surface du support, et pourvue d'un ancrage 18 au support, en l'une de ses extrémités,
- des moyens 20 d'actionnement de la poutre
15 pour en permettre le déplacement parallèlement au plan de la surface du support, et
- des moyens de détection du déplacement de la poutre.

Ces moyens de détection ne sont pas
20 représentés sur la figure 2 mais des exemples de tels moyens seront donnés ultérieurement en faisant référence à d'autres figures.

Dans l'exemple de la figure 2, les moyens d'actionnement 20 comprennent un élément en forme de
25 poutre 22. Cette dernière est suspendue vis-à-vis du support 14 et lui est ancrée par une extrémité. L'ancrage a la référence 24. La poutre 22 est également ancrée à l'une des faces latérales de la poutre 16, à proximité de l'ancrage 18, comme on le voit.

30 La poutre suspendue 22 est apte à se déplacer lorsqu'on lui applique une tension de

commande, et à causer ainsi le déplacement de la poutre 16. Pour ce faire, dans l'exemple de la figure 2, on utilise des moyens d'actionnement de type piézoélectrique : la poutre 22 est pourvue d'un
5 empilement piézoélectrique 26.

De façon connue, cet empilement comporte une couche piézoélectrique entre une couche conductrice inférieure et une couche conductrice supérieure qui est la seule couche visible sur la vue de dessus de la
10 figure 2.

Les moyens permettant l'application de la tension de commande entre les deux couches conductrices ne sont pas représentés. Cette tension est alternative pour faire vibrer la poutre 16. Ses vibrations sont
15 symbolisées par la double flèche 28 de la figure 2.

Comme on le voit, l'empilement 26 est formé sur toute la largeur la de la couche structurelle qui constitue la poutre 22 ainsi que la poutre 16 formant le résonateur. On précise que l'on donne à la une
20 valeur suffisamment grande pour permettre la formation de l'empilement piézoélectrique.

La fréquence de polarisation de l'empilement piézoélectrique (fréquence de la tension de commande) permet la résonance de la poutre 16 sur le
25 mode souhaité. L'amplitude de vibration souhaitée est obtenue en choisissant la position de l'ancrage de la poutre 22 sur la poutre 16, la valeur de la tension de commande et la longueur LA de la poutre 22.

En effet, l'application de la tension à
30 l'empilement 26 entraîne une déformation ε suivant

l'axe X de la poutre 22. Le déplacement $\underline{d}$ obtenu à l'extrémité de la poutre 22 est donc égal à $L\Delta\varepsilon$.

Typiquement, la distance L_1 entre l'ancrage 18 et la ligne neutre (mi-largeur) de la poutre 22 est choisie égale au dixième de la longueur L de la poutre 16 ; et la valeur de la tension utilisée va typiquement de 10mV à quelques volts.

La largeur $\underline{la}$ de la poutre 22 peut être la dimension minimale permise par le procédé de formation de l'empilement piézoélectrique 26. Cependant, elle doit être suffisamment petite devant la longueur totale L du résonateur afin de ne pas gêner le mouvement de ce dernier (et aussi bien sûr afin d'être libérée vis-à-vis du substrat 14).

Si la largeur $\underline{la}$ n'est pas suffisamment petite devant L, la poutre 22 peut être rétrécie en son extrémité E qui est ancrée à la poutre 16, comme on le voit sur la vue de dessus de la figure 3.

L'actionnement utilisé dans la présente invention ne change en rien la méthode de détection du déplacement du résonateur. Cette détection peut, par exemple, être piézorésistive ou capacitive.

La figure 4 illustre schématiquement une détection piézorésistive. On y voit le dispositif de la figure 3, auquel on a ajouté des moyens de détection 29 comprenant une jauge piézorésistive 30 dont une extrémité est fixée à la poutre 16 et l'autre extrémité est ancrée au support 14. L'ancrage correspondant a la référence 32.

Des moyens de lecture classiques 34, comprenant par exemple un pont de Wheatstone (voir

document [4]) sont connectés entre les ancrages 32 et 18 alors supposés électriquement conducteurs.

Sur la figure 4, la poutre 22 et la jauge 30 sont placées de part et d'autre de la poutre 16 et la jauge 30 est plus proche de l'ancrage 18 que la poutre 22. Toutefois, cette dernière et la jauge pourraient être du même côté de la poutre 16 ; et la poutre 22 pourrait être plus proche de l'ancrage 18 que la jauge 30.

Dans un autre mode de réalisation particulier, on utilise l'empilement piézoélectrique 26, que comporte la poutre 22, en tant que jauge de détection de contrainte, pour détecter le déplacement de la poutre 16 ; il s'agit alors d'une mesure piézoélectrique du déplacement.

La figure 5 illustre schématiquement une détection capacitive. On y voit le dispositif de la figure 3, auquel on a ajouté des moyens de détection comprenant une électrode 36 fixée au substrat 14, à proximité de la poutre 16.

Des moyens de lecture classiques 38, pour mesurer une variation de capacité lorsque la poutre 16 vibre, sont connectés entre l'électrode 36 et l'ancrage 18 alors supposé électriquement conducteur.

La figure 6 est une vue de dessus schématique d'un autre exemple de l'invention, dans lequel les moyens d'actionnement sont de type thermoélastique. En outre, dans l'exemple représenté, on utilise une détection piézorésistive du déplacement de la poutre 16, comme dans le cas de la figure 4.

L'exemple de la figure 6 diffère ainsi de l'exemple de la figure 4 en ce que l'on a remplacé l'empilement piézoélectrique par une couche conductrice 40, formée sur la couche structurelle de la poutre 22.

5 Comme précédemment, la largeur de cette dernière est supposée suffisante pour pouvoir former la couche 40.

Dans l'exemple représenté sur la figure 6, on utilise un actionnement thermoélastique « en boucle » : comme on le voit, la couche 40 forme une
10 boucle qui commence au niveau de l'ancrage 24, s'étend le long de la poutre 22 puis revient au niveau de l'ancrage 24 supposé électriquement isolant ou isolé de la couche 40 en forme de boucle.

Une source appropriée de tension
15 alternative 42 est connectée entre les deux extrémités de la couche 40 pour chauffer cette dernière en y faisant circuler un courant, en vue d'actionner la poutre 16.

La figure 7 est une vue de dessus
20 schématique d'un autre exemple de l'invention, dans lequel l'élément suspendu comporte deux branches alors qu'il n'en comportait qu'une dans le cas de la figure 4.

Plus précisément, sur la figure 7, on
25 retrouve la poutre 22, l'ancrage 24 et l'empilement 26 de la figure 4, auxquels on ajoute une poutre parallèle 22a. Comme on le voit, cette dernière est ancrée, d'un côté, à la poutre 16 et, de l'autre côté, au substrat 14 par un ancrage 24a. L'empilement piézorésistif formé
30 sur la couche structurelle de la poutre 22a a la référence 26a.

De plus, comme on le voit, une portion d'empilement piézorésistif 44 est formée sur la poutre 16 (on a gravé la couche structurelle correspondante à cet effet). Cette portion 44 relie les empilements 26
5 et 26a.

La figure 8 est une vue de dessus schématique d'un autre exemple de l'invention, dans lequel on utilise deux éléments suspendus, au lieu d'un seul élément, pour actionner la poutre 16 formant un
10 résonateur.

Dans l'exemple de la figure 8, l'actionnement est de type piézoélectrique mais il pourrait être thermoélastique.

De plus, dans cet exemple, la poutre 16 est
15 pourvue de deux ancrages 18 et 18a au substrat 14, en ses deux extrémités.

Cet exemple de la figure 8 se distingue de l'exemple de la figure 7 en ce que les poutres 22 et 22a sont plus espacées l'une de l'autre que dans le cas
20 de la figure 7, et en ce que leurs empilements respectifs 26 et 26a ne sont pas reliés l'un à l'autre par une portion d'empilement piézorésistif.

Il est alors possible d'appliquer, respectivement aux deux poutres 22 et 22a, deux
25 tensions de commande différentes, dont les fréquences respectives peuvent être différentes.

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

Un exemple de procédé de fabrication est
30 schématiquement et partiellement illustré par les

figures 9A à 9G dans le cas d'un actionnement de type piézoélectrique.

On utilise (figure 9A) un substrat SOI comprenant un substrat de base 46 en silicium, une
5 couche sacrificielle 48 en SiO_2 , dont l'épaisseur vaut par exemple 0,4 μm , et une couche de silicium 50 dont l'épaisseur vaut par exemple 0,16 μm .

On commence (figure 9B) par déposer un empilement piézoélectrique 52 de Mo/AlN/Mo sur la
10 couche 50 puis une couche 54 de SiO_2 formant un masque dur, sur l'empilement 52. La couche de Mo inférieure, la couche intermédiaire de AlN et la couche de Mo supérieure ont respectivement les références 56, 58 et 60.

15 On procède ensuite à une photolithographie et une gravure RIE (pour « Reactive Ion Etching ») du masque 54 (figure 9C), avec arrêt sur la couche 60.

On procède ensuite (figure 9D) à une gravure sèche de l'empilement 52 avec arrêt sur la
20 couche 50 en silicium.

Ensuite (figure 9E), on effectue une gravure de la couche supérieure de Mo et de la couche de AlN pour faire apparaître la couche inférieure de Mo et disposer ainsi de contacts électriques.

25 Puis (figure 9F), on procède à une photolithographie et une gravure RIE de la couche 50 de silicium, avec arrêt sur la couche 48.

On libère ensuite (figure 9G) les composants du dispositif par exposition à l'acide
30 fluorhydrique.

On obtient ainsi un résonateur 62 et un empilement piézoélectrique associé 64. Les références 66 et 68 correspondent respectivement aux contacts supérieur et inférieur (vus en coupe) qui sont
5 nécessaire pour appliquer la tension de commande à l'empilement 64.

Un autre exemple de procédé de fabrication est schématiquement et partiellement illustré par les figures 10A à 10E dans le cas d'un actionnement de type
10 thermoélastique.

On utilise encore (figure 10A) un substrat SOI comprenant un substrat de base 70 en silicium, une couche sacrificielle 72 en SiO_2 , dont l'épaisseur vaut par exemple 0,4 μm , et une couche de silicium 74 dont
15 l'épaisseur vaut par exemple 0,16 μm .

On commence (figure 10B) par déposer une couche métallique 76, par exemple en AlSi ou en Mo, sur la couche 74.

On procède ensuite à une photolithographie et une gravure de la couche métallique 76 (figure 10C), avec arrêt sur la couche 74 en silicium.
20

Ensuite, on procède à une photolithographie et une gravure RIE de la couche 74 en silicium (figure 10D), avec arrêt sur la couche 72.

25 Comme précédemment, on libère ensuite (figure 10E) les composants du dispositif par exposition à l'acide fluorhydrique.

On obtient ainsi un résonateur 78 et une couche conductrice associée 80. Les références 82 et 84
30 correspondent respectivement à des portions

conductrices (vues en coupe) permettant d'appliquer la tension de commande à la couche 80.

Dans les exemples donnés plus haut, on a considéré des moyens d'actionnement de type
5 piézoélectrique ou thermoélastique. Mais l'invention peut également être mise en œuvre avec d'autres types de moyens d'actionnement.

Le ou les éléments suspendus (les poutres 22 et 22a en se référant aux exemples donnés) sont
10 alors adaptés au type d'actionnement choisi.

REVENDICATIONS

1. Dispositif résonant, à actionnement dans le plan, le dispositif comprenant :

5 - un support (14) comportant une surface sensiblement plane,

 - une poutre (16) qui est suspendue vis-à-vis du support, apte à se déplacer parallèlement au plan de la surface du support, et ancrée au support par
10 au moins l'une de ses extrémités, et

 - des moyens (20) d'actionnement de la poutre pour en permettre le déplacement parallèlement au plan de la surface du support,

 caractérisé en ce que les moyens
15 d'actionnement comprennent au moins un élément (22,22a) qui est suspendu vis-à-vis du support et qui est ancré, d'une part, au support et, d'autre part, à l'une des faces latérales de la poutre, l'élément suspendu étant apte à se déplacer lorsqu'on lui applique une tension
20 de commande, et à causer ainsi le déplacement de la poutre.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens d'actionnement (20) sont de type piézoélectrique, et l'élément suspendu (22) comprend un
25 empilement piézoélectrique (26).

3. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel l'élément suspendu (22) se rétrécit en une extrémité (E) qui est ancrée à la face latérale de la
30 poutre (16).

4. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens d'actionnement (20) sont de type thermoélastique, et l'élément suspendu (22) comprend une couche électriquement conductrice (40).

5

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel les moyens d'actionnement comprennent au moins deux éléments (22,22a) qui sont suspendus vis-à-vis du support (14) et qui sont ancrés, d'une part, au support et, d'autre part, à l'une des faces latérales de la poutre (16), les éléments suspendus étant aptes à se déplacer lorsqu'on leur applique une tension de commande, et à causer ainsi le déplacement de la poutre.

15

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, comprenant en outre des moyens (29) de détection du déplacement de la poutre.

20

7. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel les moyens de détection (29) sont choisis parmi des moyens de détection piézorésistive et des moyens de détection capacitive.

25

8. Dispositif selon la revendication 6 et l'une quelconque des revendications 2 et 3, dans lequel les moyens de détection (29) comprennent une jauge de détection de contrainte, constituée par l'élément suspendu (22).

30

9. Procédé de fabrication du dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel on forme la poutre et l'élément suspendu par une technologie de surface.

1 / 8

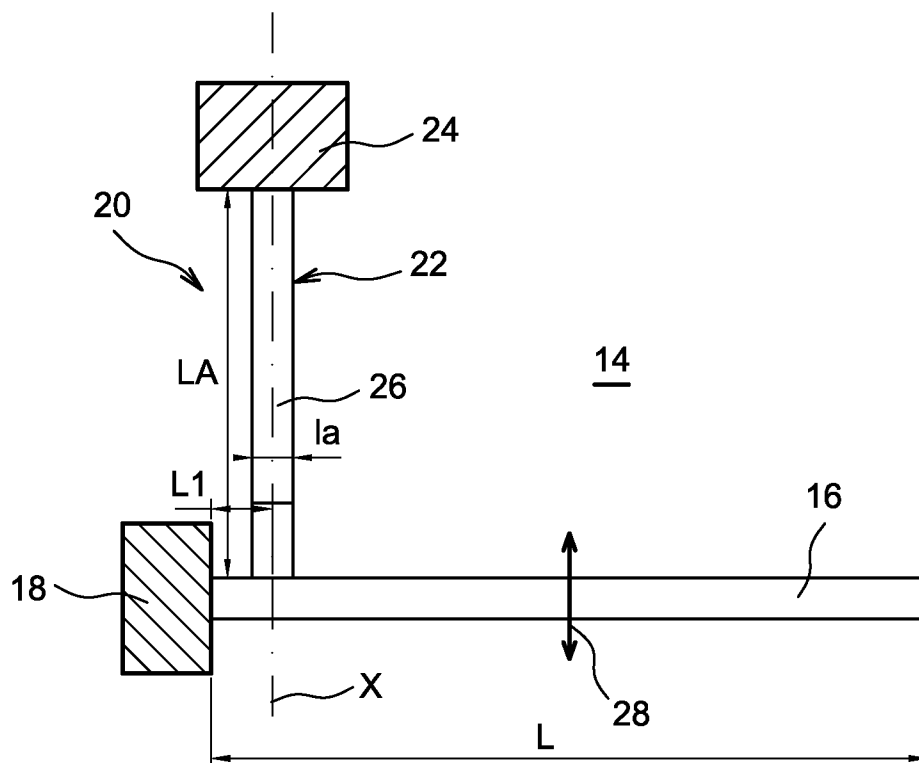
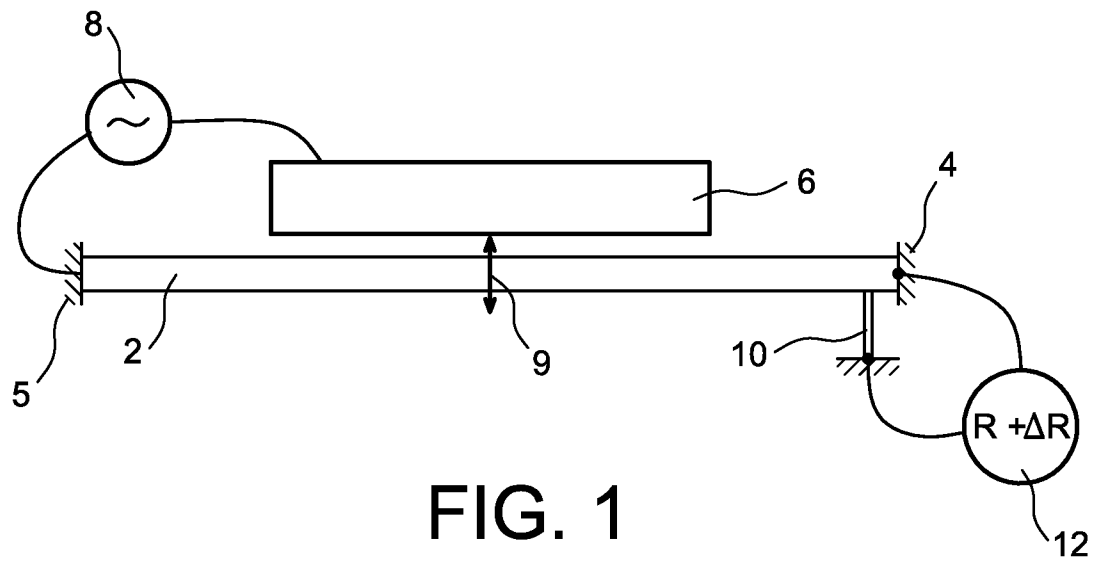


FIG. 2

2 / 8

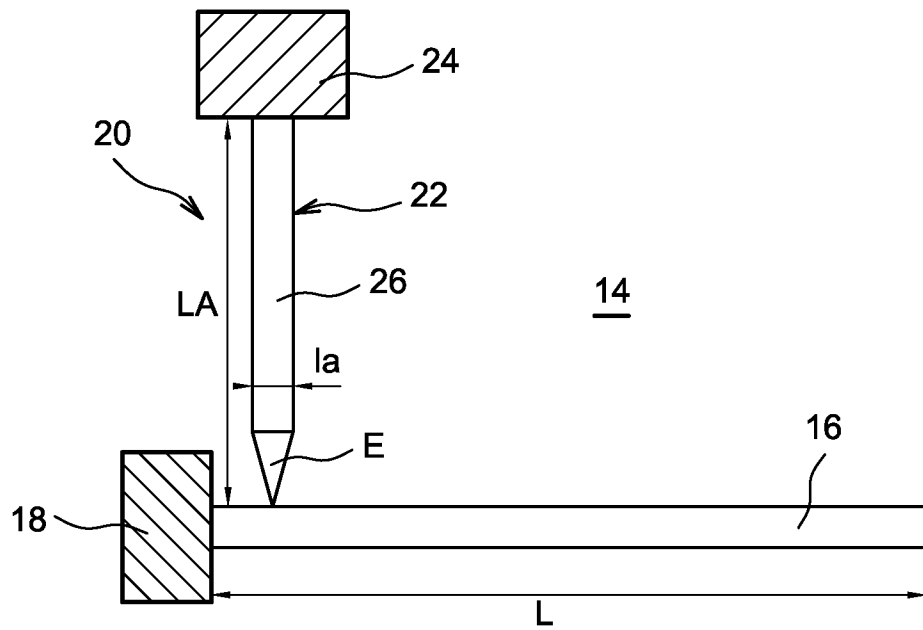


FIG. 3

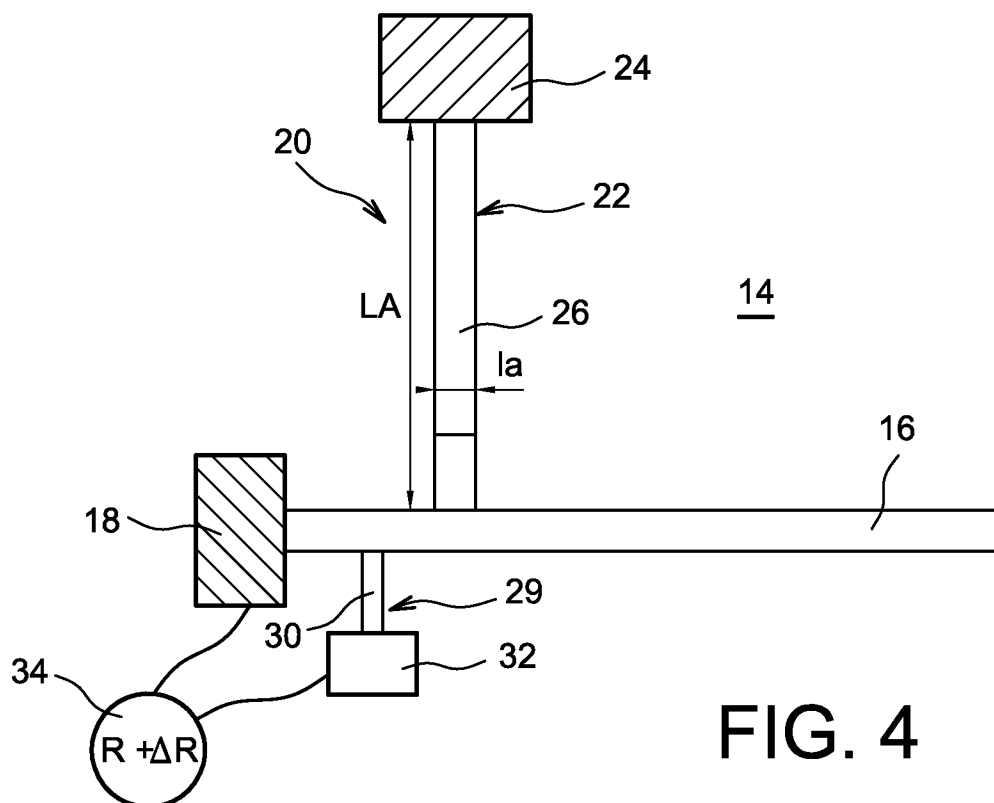


FIG. 4

3 / 8

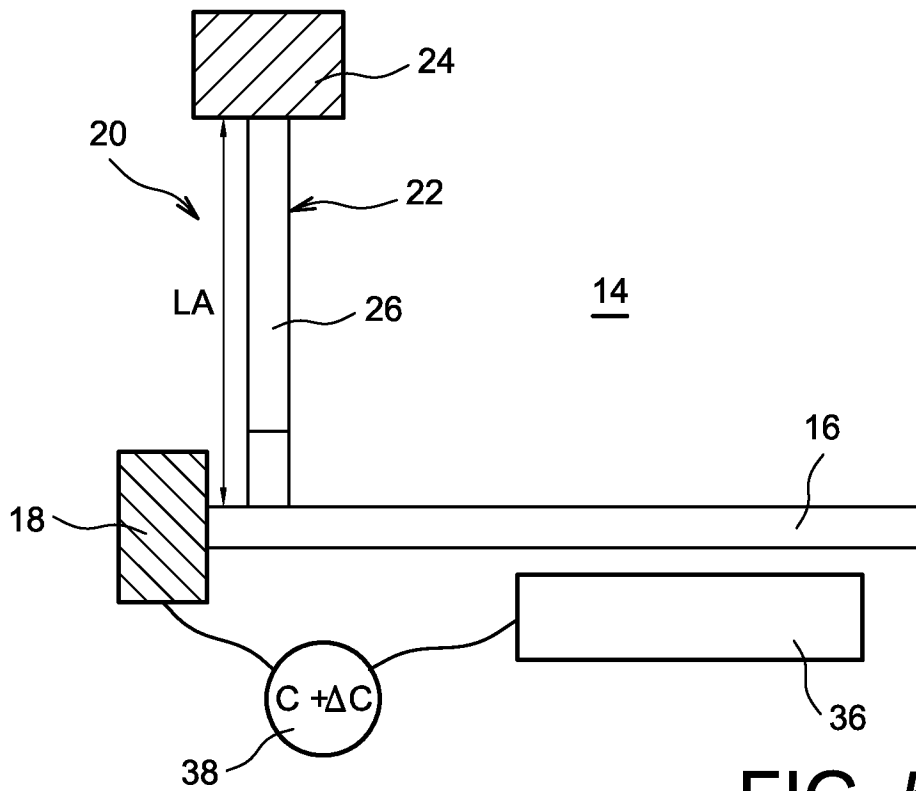


FIG. 5

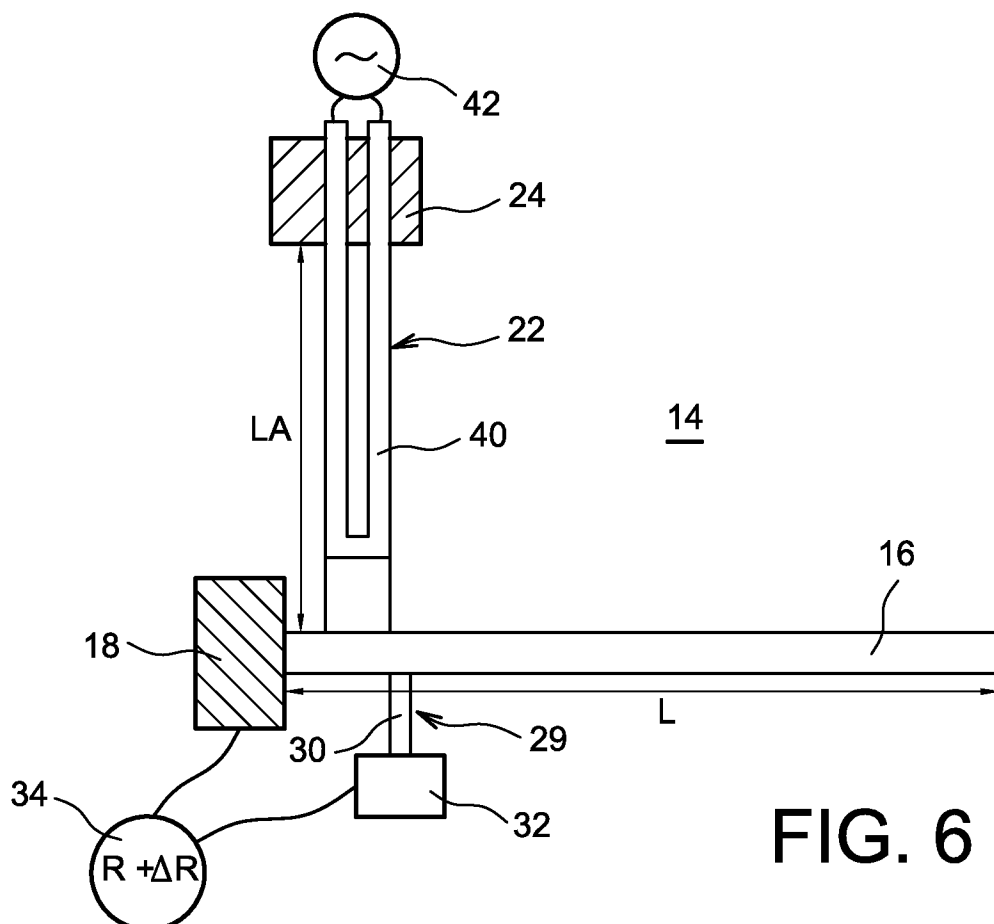


FIG. 6

4 / 8

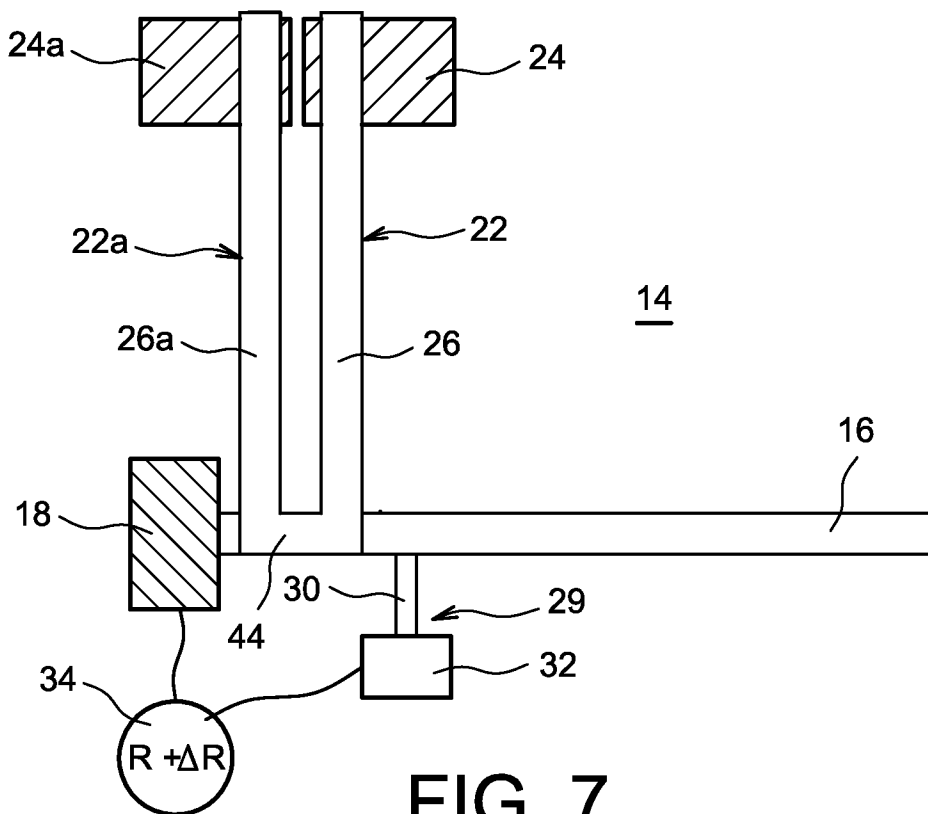


FIG. 7

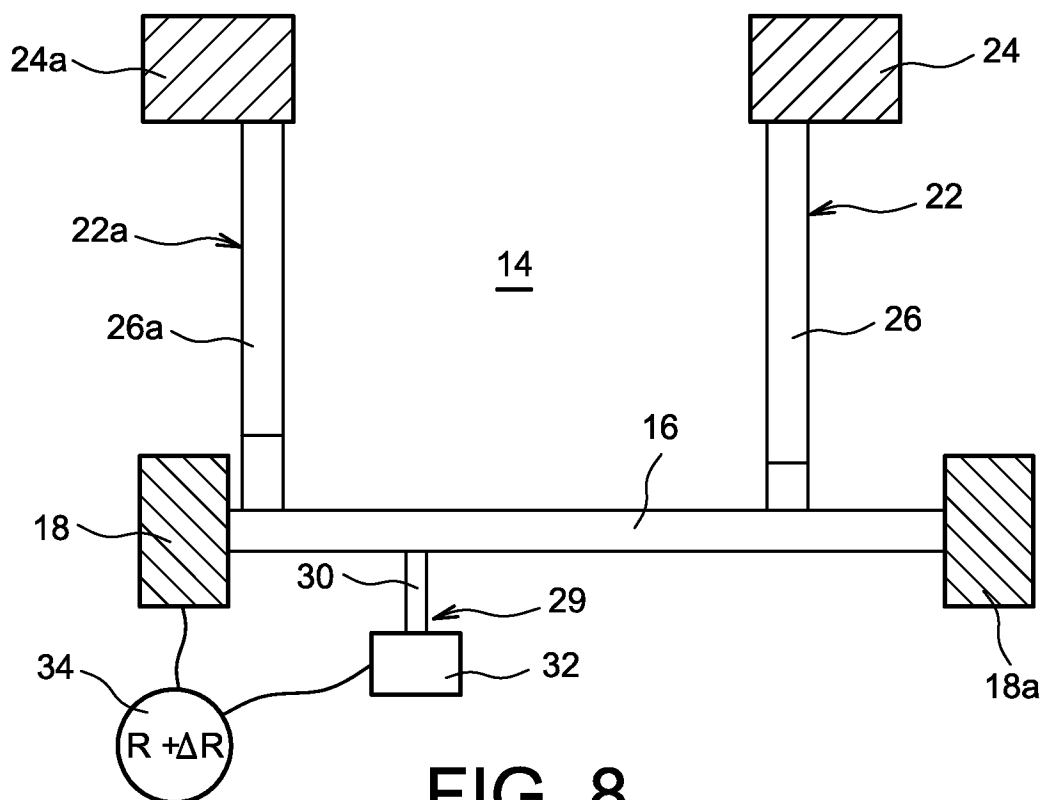


FIG. 8

5 / 8

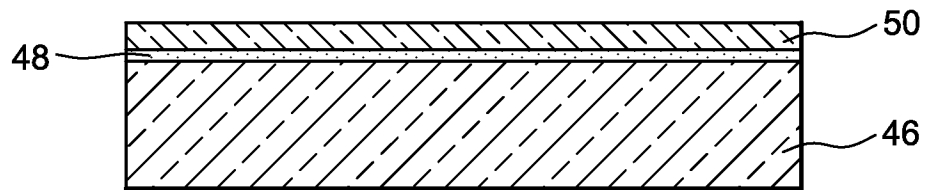


FIG. 9A

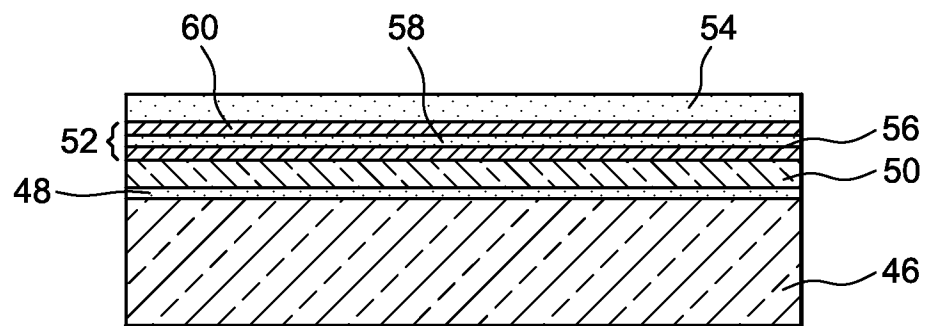


FIG. 9B

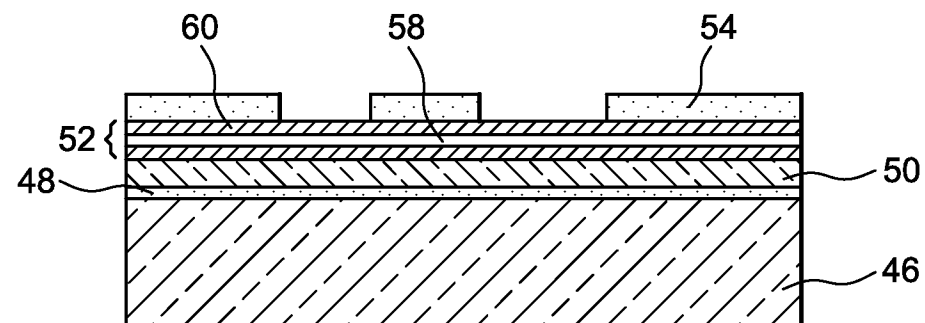


FIG. 9C

6 / 8

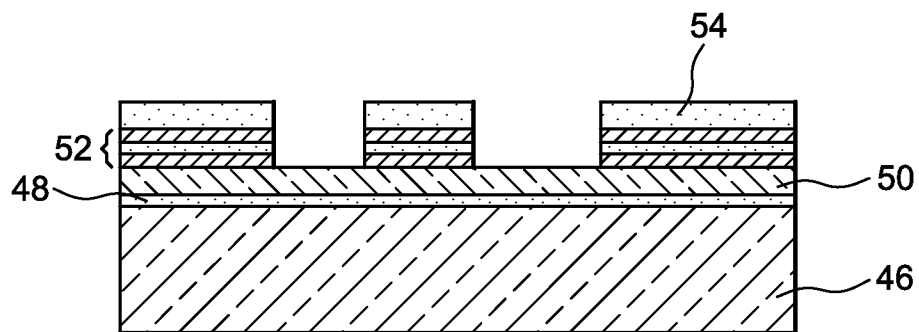


FIG. 9D

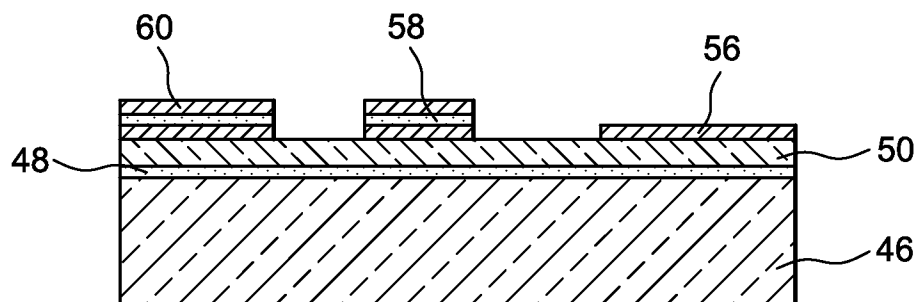


FIG. 9E

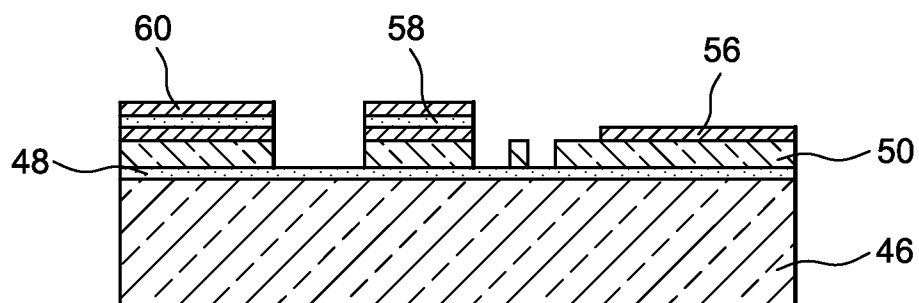


FIG. 9F

7 / 8

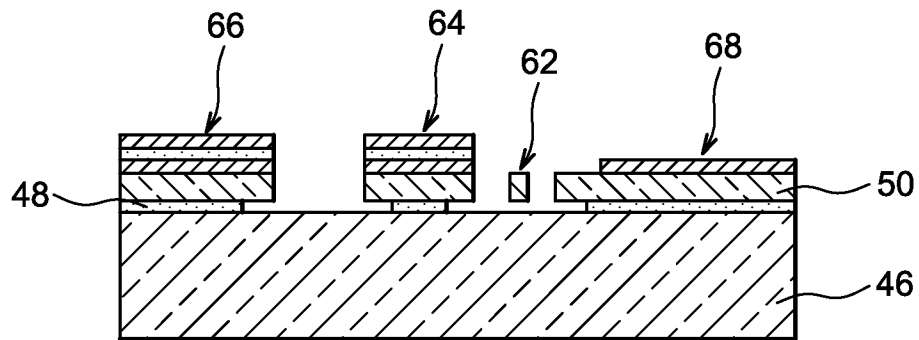


FIG. 9G

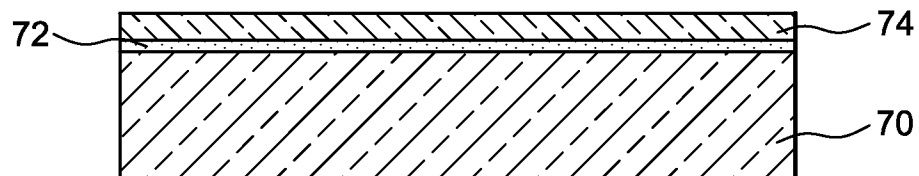


FIG. 10A

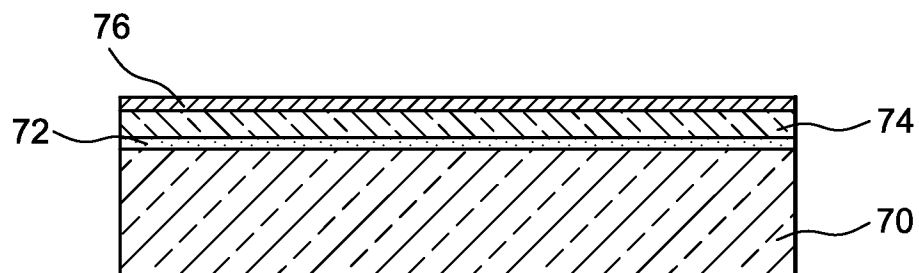


FIG. 10B

8 / 8

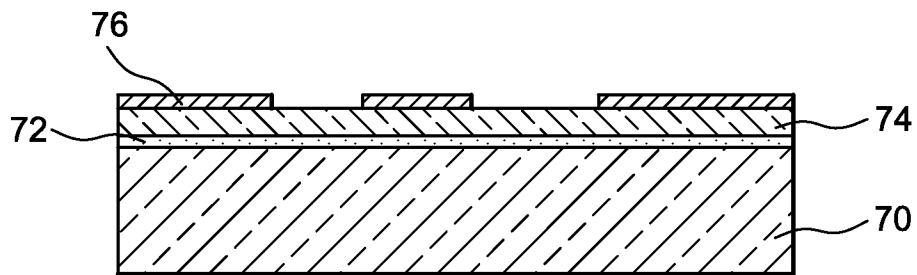


FIG. 10C

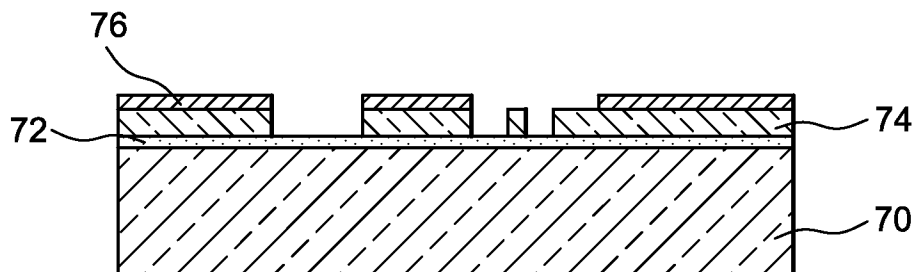


FIG. 10D

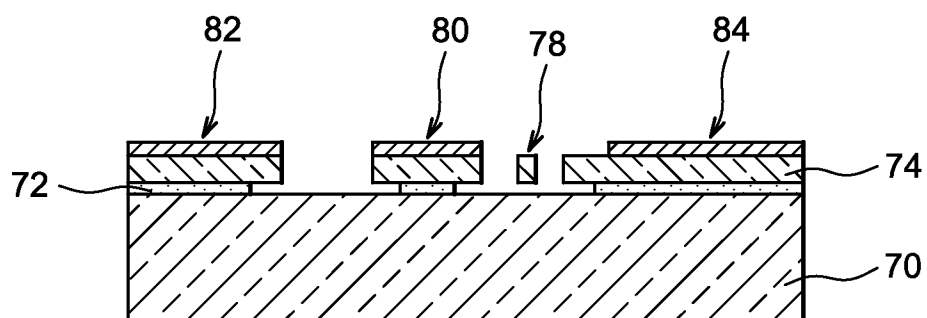


FIG. 10E

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2011/065682

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B81B3/00
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)
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)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 198 12 773 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]; FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE] CONTI TEMIC MI) 30 September 1999 (1999-09-30) the whole document	1-9
A	EP 1 316 977 A2 (NORTEL NETWORKS LTD [CA]) 4 June 2003 (2003-06-04) abstract; figures 3-4	3
A	US 2002/194942 A1 (JENSEN BRIAN D [US] ET AL) 26 December 2002 (2002-12-26) the whole document	1-9
A	EP 2 008 965 A2 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 31 December 2008 (2008-12-31) the whole document	1-9



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

17 October 2011

Date of mailing of the international search report

24/10/2011

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

Marcolini, Paolo

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/065682

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19812773	A1	30-09-1999	AT 309546 T 15-11-2005
		DE 59912758 D1 15-12-2005	
		WO 9949323 A1 30-09-1999	
		EP 0985151 A1 15-03-2000	
		JP 2002501620 A 15-01-2002	
		US 6389898 B1 21-05-2002	
EP 1316977	A2	04-06-2003	CA 2413387 A1 30-05-2003
		US 2003101721 A1 05-06-2003	
US 2002194942	A1	26-12-2002	NONE
EP 2008965	A2	31-12-2008	FR 2917731 A1 26-12-2008
		JP 2009002953 A 08-01-2009	
		US 2008314148 A1 25-12-2008	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2011/065682

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. B81B3/00
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)
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, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	DE 198 12 773 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]; FRAUNHOFER GES FORSCHUNG [DE] CONTI TEMIC MI) 30 septembre 1999 (1999-09-30) le document en entier -----	1-9
A	EP 1 316 977 A2 (NORTEL NETWORKS LTD [CA]) 4 juin 2003 (2003-06-04) abrégé; figures 3-4 -----	3
A	US 2002/194942 A1 (JENSEN BRIAN D [US] ET AL) 26 décembre 2002 (2002-12-26) le document en entier -----	1-9
A	EP 2 008 965 A2 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 31 décembre 2008 (2008-12-31) le document en entier -----	1-9



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

17 octobre 2011

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

24/10/2011

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

Marcolini, Paolo

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2011/065682

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
DE 19812773	A1	30-09-1999	AT 309546 T	15-11-2005
			DE 59912758 D1	15-12-2005
			WO 9949323 A1	30-09-1999
			EP 0985151 A1	15-03-2000
			JP 2002501620 A	15-01-2002
			US 6389898 B1	21-05-2002

EP 1316977	A2	04-06-2003	CA 2413387 A1	30-05-2003
			US 2003101721 A1	05-06-2003

US 2002194942	A1	26-12-2002	AUCUN	

EP 2008965	A2	31-12-2008	FR 2917731 A1	26-12-2008
			JP 2009002953 A	08-01-2009
			US 2008314148 A1	25-12-2008
