

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11) N° de publication : **2 917 731**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national : **07 55992**

51) Int Cl⁸ : **B 81 B 3/00** (2006.01), **G 01 P 15/08**, **G 01 C 19/56**

12) **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

22) Date de dépôt : 25.06.07.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 26.12.08 Bulletin 08/52.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : *COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE Etablissement public à caractère industriel et commercial* — FR.

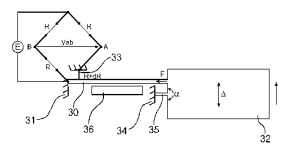
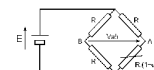
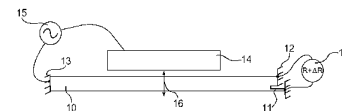
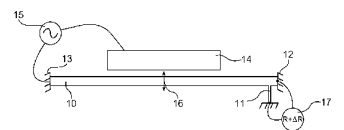
72) Inventeur(s) : ROBERT PHILIPPE.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : BREVALEX.

54) **DISPOSITIF RESONANT A DETECTION PIEZORESISTIVE REALISE EN TECHNOLOGIES DE SURFACE.**

57) La présente invention concerne un dispositif résonant à détection dans le plan piézorésistive réalisé en technologies de surfaces, qui comprend un résonateur (10), muni d'au moins un encastrement (12) dans un substrat, comportant des moyens d'excitation (14) et des moyens de détection comprenant au moins une jauge de contrainte comprenant une poutre suspendue en matériau piézorésistif (11) reliée au résonateur, chaque jauge de contrainte piézorésistive ayant un plan commun avec le résonateur, et chaque jauge de contrainte étant disposée au voisinage d'un encastrement (12) du résonateur, pour augmenter l'effet bras de levier et donc la contrainte vue par celle-ci.



FR 2 917 731 - A1



**DISPOSITIF RESONANT A DETECTION PIEZORESISTIVE REALISE
EN TECHNOLOGIES DE SURFACE**

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

L'invention concerne un dispositif résonant
5 à détection piézorésistive réalisé en technologies de
surface.

Le domaine de l'invention est notamment
celui des micro/nano-capteurs silicium, des
accéléromètres, des gyromètres, des capteurs de force.
10

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Pour analyser l'état de la technique
antérieure on va analyser successivement celui des
capteurs résonants et celui des capteurs
15 piézorésistifs.

Les capteurs résonants

Dans l'état de l'art, les capteurs
résonants peuvent être réalisés :

- 20 • soit en technologie de volume, dans
laquelle l'élément sensible du capteur est réalisé sur
toute l'épaisseur du substrat, généralement en
utilisant des gravures humides du silicium ou du
quartz,
- 25 • soit en technologie de surface, dans
laquelle le substrat silicium est usiné uniquement sur
une fraction de son épaisseur, typiquement sur quelques

micromètres à quelques dizaines de micromètres d'épaisseur.

Le domaine de l'invention est celui des capteurs MEMS (« Micro Electro-Mechanical System ») en technologie de surface, comme décrit, par exemple, dans le document référencé [1] en fin de description.

On constate que sur des capteurs inertiels de type résonants réalisés en technologie de surface :

- Les résonateurs vibrent dans le plan et les électrodes d'excitation / détection sont obtenues par gravure plasma DRIE (« Deep Reactive Ion Etching »).

- L'usinage par gravure DRIE et la libération par gravure d'une couche sacrificielle permet d'optimiser la structure (« design ») du capteur, avec notamment une possibilité de rapprochement du résonateur par rapport à la charnière.

Dans tous ces capteurs, la détection se fait par le biais :

- soit de moyens électrostatiques,
- soit de moyens piézorésistifs, à résistances implantées.

Dans le cas d'une miniaturisation des capteurs, notamment pour les capteurs NEMS (ou « Nano Electro-Mechanical System »), une détection devient problématique :

- du fait de très faibles valeurs de capacités à mesurer dans le cas d'une détection électrostatique, ou

- du fait de la difficulté de réalisation de jauges piézorésistives dans le cas d'une détection avec implantation de résistances.

5 Les capteurs piézorésistifs

Le domaine de l'invention est notamment celui des capteurs résonants à détection piézorésistive réalisés en technologie de surface, présentant une sensibilité et une précision élevées (rapport
10 Signal/Bruit, faible dérive en température), adaptables aux capteurs NEMS, c'est-à-dire aux capteurs de très petites dimensions (échelle nanométrique).

Dans l'état de l'art des capteurs MEMS piézorésistifs non résonants, les jauges se trouvant en
15 surface du corps d'épreuve ne détectent qu'une contrainte hors du plan. Il en découle :

- une restriction importante des structures (« designs ») de capteurs, notamment dans le cas de capteurs bi-axes intégrés, dans le cas de capteurs
20 inertiels par exemple,

- une mauvaise adaptation à des capteurs réalisés en technologie de surface,

- une mauvaise adaptation à des capteurs « ultra-miniaturisés », tels les capteurs NEMS, tant il
25 est difficile de définir, avec une précision suffisante et sans ajout de contraintes mécaniques dues aux métallisations sur le corps d'épreuve, les zones de dopage et de connectique pour la réalisation de ponts de jauges sur des poutres de quelques dizaines de
30 nanomètres de largeur.

Le document référencé [2] décrit un autre type de capteur dans lequel des jauges piézorésistives sont réalisées par dépôt d'une couche conductrice sur le résonateur. Mais un tel dépôt peut conduire à
5 plusieurs inconvénients majeurs :

- l'ajout de contraintes dans le résonateur,
- une baisse du facteur de qualité du résonateur,
- 10 - l'apparition d'étapes critiques en plus des étapes de la réalisation du résonateur proprement dit : dépôt d'une couche très mince de matériau conducteur avec un contrôle très strict de l'épaisseur, alignement et photolithographie et gravure des jauges
15 sur la poutre critique,
- une détection se faisant hors plan, ce qui peut être un inconvénient en terme de structure, surtout si l'on souhaite avoir une excitation électrostatique isolée du substrat (« bulk »), dans le
20 cas d'un résonateur en silicium monocristallin par exemple.

Le document référencé [3] décrit un autre type de capteur dans lequel les jauges sont définies par gravure du silicium. Le silicium n'est plus dopé en
25 surface et la détection se fait dans le plan. Une telle configuration est bien adaptée à une technologie de surface et à la réalisation de capteurs de très petites dimensions (NEMS). Par contre, elle ne permet pas d'obtenir des sensibilités et des stabilités
30 importantes. La réponse du capteur est, en effet, directement proportionnelle au signal des jauges

piézorésistives. Or les coefficients piézorésistifs sont fortement dépendant de la température.

L'invention a pour objet de pallier aux
5 inconvénients des dispositifs de l'art connu en
proposant un dispositif résonant (résonateur et/ou
capteur) à détection piézorésistive, réalisé en
technologie de surface, présentant une sensibilité et
une précision élevées (bon rapport signal/bruit, faible
10 dérive en température), plus simple et plus efficace
pour de petites dimensions.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

L'invention concerne un dispositif résonant
15 à détection dans le plan piézorésistive réalisé en
technologies de surfaces, caractérisé en ce qu'il
comprend un résonateur, muni d'au moins un encastrement
dans un substrat, comportant des moyens d'excitation,
qui peuvent être des moyens électrostatiques,
20 thermiques ou piézoélectriques, et des moyens de
détection comprenant au moins une jauge de contrainte
comprenant une poutre suspendue réalisée en matériau
piézorésistif reliée au résonateur, en ce que chaque
jauge de contrainte piézorésistive a un plan commun
25 avec le résonateur, et en ce que chaque jauge de
contrainte est disposée au voisinage d'un encastrement
du résonateur pour augmenter l'effet bras de levier et
donc la contrainte vue par celle-ci.

Avantageusement chaque jauge de contrainte
30 piézorésistive peut être disposée perpendiculairement
au résonateur. Le résonateur et chaque jauge de

contrainte piézorésistive peuvent être réalisés dans un même matériau piézorésistif, qui peut être du silicium, du SiGe..., le résonateur et chaque jauge de contrainte piézorésistive étant alors reliés mécaniquement et
5 électriquement. Chaque jauge de contrainte piézorésistive peut être définie par gravure d'une poutre dans le silicium, cette jauge de contrainte piézorésistive travaillant en tension/compression.

L'invention concerne également un
10 dispositif qui comprend un capteur résonant, par exemple silicium, qui comporte au moins un résonateur associé à un élément susceptible d'entraîner une variation de ses caractéristiques (contrainte) en fonction de la quantité à mesurer, et dans lequel une
15 variation de la fréquence du résonateur, détectée par au moins une jauge de contrainte associée, résulte de cette variation de caractéristiques. Chaque résonateur, muni d'au moins un encastrement dans un substrat, comporte des moyens d'excitation, qui peuvent être des
20 moyens électrostatiques, thermiques ou piézoélectriques, et des moyens de détection comprenant au moins une jauge de contrainte piézorésistive reliée au résonateur, et dans lequel chaque jauge de contrainte piézorésistive a un plan commun avec le
25 résonateur, et est disposée au voisinage d'un encastrement du résonateur.

Avantageusement chaque résonateur peut vibrer dans le plan. Les moyens d'excitation de chaque résonateur peuvent comprendre au moins une électrode
30 d'excitation de celui-ci. Chaque jauge de contrainte piézorésistive peut travailler en compression/tension.

Chaque jauge de contrainte piézorésistive peut être définie par gravure de silicium.

Dans une telle fonction capteur, une variation de la fréquence de résonance du résonateur découle de la variation de ses caractéristiques, cette variation de fréquence étant détecté par les jauges de contraintes piézorésistives associées.

Ainsi, pour un capteur de type inertiel, une masse sismique, associée au résonateur, exerce sous l'action d'une accélération, une contrainte sur le résonateur. Cette contrainte induit une variation de fréquence sur le résonateur. De même, pour un capteur chimique, en présence de ces molécules spécifiques venant se « greffer » sur le résonateur qui est recouvert d'un matériau susceptible de capter certaines molécules, la masse effective du résonateur change, ce qui modifie sa fréquence de résonance.

Le dispositif de l'invention présente les avantages suivants :

- Il permet de réaliser un résonateur à détection piézorésistive, où la partie résonateur est découplée de la partie jauge piézorésistive. La partie résonateur et la partie jauge piézorésistive, qui sont reliées entre elles, peuvent être optimisés séparément.

On peut ainsi :

- optimiser la position de la jauge piézorésistive sur le résonateur pour accroître l'effet bras de levier,
- réduire la section de la jauge piézorésistive pour augmenter sa sensibilité, sans modifier la fréquence de résonance du résonateur.

- Il permet de réaliser une mesure simple et sensible, particulièrement bien adaptée à une miniaturisation poussée.

5 - Il permet de réaliser une mesure différentielle de la fréquence de résonance, par montage en pont de Wheatstone des jauges piézorésistives.

10 - Il permet d'augmenter la sensibilité par une réduction de la section de la jauge piézorésistive, qui peut éventuellement être amincie (dans l'épaisseur).

15 - Il permet d'utiliser une technologie très simple, par exemple gravure de la jauge piézorésistive lors de la gravure du résonateur et/ou du capteur : Il n'y a pas besoin de dépôt ou d'implantations supplémentaires.

20 Contrairement à une approche de capteur piézorésistif classique comme décrit par exemple dans le document [3], le dispositif de l'invention permet de décorrélérer la sensibilité du détecteur (donné au premier ordre par le résonateur) de la sensibilité des jauges piézorésistives (La dérive thermique des coefficients piézorésistifs n'influe pas sur la stabilité et/ou précision du capteur).

25 Par rapport aux résonateurs et capteurs résonants de l'état de l'art connu, principalement basés sur la détection capacitive du mouvement des résonateurs, la mesure d'un pont de jauge est beaucoup plus simple qu'une mesure capacitive généralement
30 utilisée pour les capteurs résonants silicium, notamment lorsque l'on utilise des composants de très

petites dimensions (NEMS), compte tenu des très faibles capacités en jeu.

Par rapport aux capteurs résonants à détection piézorésistive de l'état de l'art, comme décrit par exemple dans le document référencé [1], on bénéficie dans le dispositif de l'invention d'une absence de métallisation sur la poutre et de la possibilité d'une mise en résonance du résonateur dans le plan, ce qui permet notamment une excitation du résonateur par peignes capacitifs par exemple et d'une manière générale par des électrodes isolées électriquement du substrat.

Par rapport à l'état de l'art, comme décrit par exemple dans le document référencé [2], la jauge piézorésistive n'est plus définie par dépôt ou implantation mais par gravure. Cette jauge piézorésistive, qui correspond par exemple à une poutre silicium définie par gravure (sèche ou humide), est libérée du substrat par une seconde gravure (sèche ou humide). On élimine ainsi les problèmes liés aux dépôts de couches conductrices ou à l'implantation des jauges. Une telle approche est particulièrement bien adaptée à une technologie de surface et à une mise en résonance des résonateurs dans le plan (intérêt en termes de structure).

Le dispositif de l'invention peut être utilisé dans de nombreuses applications, et notamment pour :

- des bases de temps, des filtres
mécaniques,

- des accéléromètres, des gyromètres pour des applications automobile, téléphonie mobile, avionique,...

- des capteurs chimiques résonants.

5

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La figure 1 illustre un premier mode de réalisation de type de résonateur du dispositif de l'invention.

10 La figure 2 illustre un second mode de réalisation de type de résonateur du dispositif de l'invention.

Les figures 3A et 3B illustrent un premier mode de réalisation de type capteur du dispositif de l'invention.

15 Les figures 4A et 4B illustrent un second mode de réalisation de type capteur du dispositif de l'invention.

La figure 5 illustre un troisième mode de réalisation de type capteur du dispositif de l'invention.

20 Les figures 6A à 6C et 6A' à 6C' illustrent les étapes d'un premier exemple de réalisation, respectivement dans des vues en coupe et de dessus.

25 Les figures 7A à 7F et 7A' à 7F' (la figure 7E' n'existe pas) illustrent les étapes d'un second exemple de réalisation, respectivement dans des vues en coupe et de dessus.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

L'invention concerne un dispositif résonant (résonateur et/ou capteur) à détection piézorésistive réalisé en technologies de surfaces. Ce dispositif comprend un résonateur muni d'au moins un encastrement dans un substrat, comportant des moyens d'excitation, par exemple des moyens électrostatiques, thermiques ou piézoélectriques, et des moyens de détection réalisés par au moins une jauge de contrainte piézorésistive reliée au résonateur et ayant un plan commun avec celui-ci, un volume étant libéré sous cette jauge de contrainte et ce résonateur.

Pour un maximum d'efficacité, la jauge piézorésistive est placée au voisinage d'un encastrement du résonateur afin d'être située dans une zone de forte contrainte. En conséquence, la jauge aura peu d'influence sur la fréquence propre du résonateur. Elle peut ainsi être positionnée préférentiellement perpendiculairement au résonateur (de type poutre par exemple), et le plus proche possible de l'encastrement pour augmenter l'effet bras de levier, c'est-à-dire la contrainte vue par la jauge. Elle peut être obtenue par gravure dans du silicium, de manière à être en suspension au dessus du substrat, après gravure d'une couche sacrificielle.

Modes de réalisation de type résonateur

Dans un premier mode de réalisation de type résonateur, le dispositif de l'invention est un résonateur simple. Comme illustré sur la figure 1 une jauge de contrainte piézorésistive 11 de type poutre

est solidaire du résonateur de type poutre 10 et placée perpendiculairement à celui-ci en un endroit proche d'un des deux encastrement 12 et 13. L'électrode fixe 14 d'excitation du résonateur 10 est portée à une tension alternative par rapport à celui-ci à l'aide d'un moyen de génération de tension alternative 15. Lorsque le résonateur est excité il vibre dans le plan, comme illustré par la double flèche 16.

L'excitation de la résonance du résonateur 10 peut se faire par le biais de moyens électrostatiques, ou par le biais de moyens piézoélectriques, thermiques ou électromagnétiques, classiquement utilisés par l'homme de l'art.

La mesure de la contrainte de la jauge piézorésistive 11 peut se faire entre l'encastrement 12 du résonateur 10 et l'extrémité de la poutre de la jauge 11 à l'aide de moyens de mesure classiques 17.

Avantageusement la mesure de résistance peut se faire en utilisant un pont de Wheatstone.

Dans un second mode de réalisation le dispositif de l'invention est un résonateur simple, dans lequel la jauge de contrainte piézorésistive 11 est placée parallèlement au résonateur 10 en un point le plus éloigné possible de la ligne neutre, et proche de l'encastrement 12.

Pour un maximum d'efficacité, la jauge piézorésistive 11 a la section la plus faible possible, en respectant certaines conditions comme :

- une résistance comprise entre quelques ohms et quelques centaines d'ohms,

- une tenue au flambage/contrainte conforme aux spécifications du capteur, en ce qui concerne notamment la tenue au choc. En effet, pour un effort donné, la contrainte est proportionnelle à la section de la poutre définissant la jauge piézorésistive. Ainsi, on peut envisager d'avoir une épaisseur différente entre le résonateur et/ou les autres parties du capteur et la (les) jauge(s) de contrainte.

10 Modes de réalisation de type capteur

Le dispositif de l'invention est alors un capteur composé de deux corps d'épreuve « en cascade », qui sont respectivement le résonateur et la jauge de contrainte piézorésistive. Dans ce capteur, le résonateur est associé à un élément susceptible d'entraîner une variation de ses caractéristiques (contrainte, modification de la masse effective) en fonction de la quantité à mesurer. La quantité à mesurer (accélération, rotation, pression,...) exerce donc sur le résonateur une contrainte qui lui est proportionnelle. Cette contrainte a pour effet de modifier les conditions limites du résonateur, qui se traduit par une modification de sa fréquence de résonance ou de son amplitude de vibration. La mesure de vibration, par déformation du résonateur est ensuite mesurée par la jauge de contrainte piézoélectrique, qui est solidaire du résonateur, mais qui ne fait pas partie de celui-ci.

On va, à présent, considérer plusieurs modes de réalisation de type capteur.

A - Accéléromètre résonant planaire à détection par jauges piézorésistives suivant l'invention

Un montage simple en pont de Wheatstone avec un seul élément sensible est illustré sur les figures 3A et 3B.

Comme illustré sur la figure 3A ce montage comprend un résonateur 30 fixé d'une part à un encastrement 31 et d'autre part à une masse sismique 32, et une électrode fixe d'excitation 36. Une jauge de contrainte piézorésistive 33 est placée perpendiculairement au résonateur, en un endroit proche de l'encastrement 31. La masse sismique 32 est également fixée à un encastrement 34 au moyen d'une charnière 35.

La mesure de résistance $R+dR$ ou $R(1+\alpha)$ de la jauge de contrainte 33 est réalisée en mesurant une différence de tension entre les points A et B, comme illustré sur les figures 3A et 3B, avec trois résistances R et un générateur E.

Les valeurs α , F et Δ sont telles que :

α = rotation de la masse au niveau de la charnière 35, sous l'effet d'une accélération γ ,

F = contrainte exercée sur le résonateur 30 sous l'effet d'une accélération γ , la mesure de dR permettant de déterminer l'accélération γ ,

Δ = axe sensible de la masse sismique 32.

On peut également réaliser un montage différentiel en pont de Wheatstone comme illustré sur les figures 4A et 4B.

Dans ce montage on utilise deux montages identiques à celui illustré sur la figure 3A, les

éléments du premier montage gardant les mêmes références 30 à 36 que sur la figure 3A, les éléments du second montage ayant des références 30' à 36'.

Dans ce montage différentiel les valeurs des jauges de contraintes 33 et 33' sont respectivement $R+dR$ (ou $R(1+\alpha)$) et $R-dR$ (ou $R(1-\alpha)$). On peut ainsi connaître la variation de résistance dR , liée à la variation de contrainte (σ) induite par la vibration du résonateur sur les jauges (dR étant proportionnel à la contrainte) et donc en déduire l'accélération γ . On sait, en effet, que dans le cas d'une jauge piézorésistive semi-conductrice, la résistivité change suivant la forme :

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\pi_{44}}{2} \sigma_1 = \frac{\pi_{44} E \Delta l}{2 l},$$

avec π_{44} le coefficient piézorésistif du matériau, et E le module de Young.

La contrainte longitudinale dans la jauge σ_1 est de la forme $\sigma_1=F/(w.h)$, avec h la largeur de la jauge et w sa hauteur.

Cette valeur de contrainte peut être facilement évaluée par une simulation éléments finis (logiciels ANSYS ou Coventor par exemple).

La variation de résistance est donc proportionnelle au déplacement du résonateur (c'est-à-dire sa vibration). On peut donc remonter à la fréquence de résonance du résonateur par le biais de la mesure de résistance des jauges piézorésistives.

Dans le cas d'un accéléromètre résonant planaire à détection par jauges piézorésistives suivant

l'invention, tel qu'illustré sur la figure 3B, on peut avoir le dimensionnement typique suivant :

- épaisseur : quelques 0,1 μm voire quelques μm (par exemple : 4 μm)
- 5 - masse sismique : quelques 100 μm x quelques 100 μm (par exemple : 200 x 200 μm)
- charnière : quelques μm de long x quelques 0,1 μm de large (par exemple : 5 μm de long x 0,8 μm de large)
- 10 - résonateur : quelques 100 μm de long x quelques 0,1 μm de large (par exemple : 400 μm de long x 1 μm de large)
- jauge piézorésistive : quelques 10 μm voire quelques 100 μm de long x quelques 0,1 μm de large (par exemple : 100 μm x 0,3 μm)
- 15 - espace entre l'encastrement du résonateur et la jauge : 0,5 μm à quelques μm (par exemple 1,5 μm),
- espace entre la charnière et le résonateur : 0,5 μm à quelques μm (par exemple 2 μm).
- 20

B - Gyromètre résonant planaire à détection par jauges piézorésistives suivant l'invention

Le concept de base d'un gyromètre résonant, basé sur la détection de la force de Coriolis sur un système de type diapason, est donné dans le document référencé [4]. Dans le cas de l'invention, la force de Coriolis s'exerce directement sur les jauges piézorésistives. La mesure du pont de jauges piézorésistives, permet de connaître la vitesse de rotation Ω .

25

30

La figure 5 illustre un gyromètre à montage différentiel en pont de Wheatstone. Comme schématisé sur cette figure, le gyromètre 50 se compose d'un support, non représenté, et de deux masses sismiques 51, 52 qui sont mobiles dans le plan (X, Y) du support, et qui peuvent vibrer. Deux bras de liaison 53, 54, mobiles par rapport au support et parallèles entre eux, sont reliés aux masses mobiles par l'intermédiaire de bras de flexion 55, 56, 57 et 58 ayant une flexibilité suffisante pour permettre les mouvements relatifs des deux masses 51, 52 par rapport aux bras de liaison, tout en étant suffisamment rigides pour transmettre les mouvements de ces deux masses aux bras de liaison. De préférence, les bras de liaison 53 et 54 et les bras de flexion, 55, 56, 57 et 58 forment un cadre rectangulaire.

Des moyens sont prévus pour mettre les masses 51 et 52 en vibration dans le plan (X, Y) du support, par exemple des peignes d'excitation 60, 61 s'imbriquant dans une ou les deux faces de chaque masse mobile 51, 52. Ces peignes 60, 61 engendrent par l'intermédiaire de forces électrostatiques un déplacement en va-et-vient de chaque masse dans une première direction X, ici de gauche à droite de la feuille. D'autres moyens peuvent être envisagés, comme une excitation électromagnétique.

Les masses 51, 52 sont excitées, de préférence à la résonance ou au voisinage de la résonance, par le biais de forces électrostatiques appliquées par l'intermédiaire des structures en peignes inter-digités 60, 61 : l'ensemble des masses

51, 52 et des moyens de liaisons 53, 54, 55, 56, 57 et 58 forme ainsi un résonateur d'excitation. Le fonctionnement à la résonance permet en effet d'obtenir une forte amplitude de déplacement, et un grand facteur de qualité, augmentant d'autant la sensibilité du gyromètre. Avantageusement, la vibration des masses est en opposition de phase, c'est-à-dire que leurs mouvements sont en direction opposées à chaque instant : la distance séparant les deux masses est variable, cette variation étant tolérée par les bras de flexion.

Lorsque le gyromètre 50 subit un déplacement angulaire autour d'un axe z perpendiculaire au support, une force de Coriolis est générée sur chaque masse, perpendiculairement aux axes X et Z et donc ici dans la direction verticale Y de la feuille, issue de la composition de la vibration forcée par les peignes 60, 61 avec la vitesse angulaire Ω . Les forces de Coriolis sont transmises aux bras de liaison 53 et 54 par les bras de flexion 55, 56, 57 et 58.

Chaque bras de liaison 53 ou 54 est relié d'une part à une première extrémité d'une jauge de contrainte piézorésistive 63 ou 64 disposée perpendiculairement à celui-ci, dont l'autre extrémité est reliée à un encastrement 65 ou 66, et à une charnière 67 ou 68 dont l'autre extrémité est reliée à un encastrement 69 ou 70.

L'angle α correspond à la rotation des masses au niveau des charnières 67 et 68, sous l'effet de la rotation Ω (effet de la force de Coriolis).

La tension mesurée entre les points A et B du pont de Wheatstone permet de connaître la variation de résistance dR , et donc la vitesse angulaire Ω .

5 Dans le cas du gyromètre résonant planaire à détection par jauges piézorésistives suivant l'invention, tel qu'illustré sur la figure 5, on peut avoir des dimensions du même ordre, que dans le cas du dimensionnement typique de l'accéléromètre suivant
10 l'invention considéré ci-dessus, en ce qui concerne les jauges piézorésistives, les charnières et l'espace entre les jauges piézorésistives et les charnières, c'est-à-dire :

- jauges piézorésistives : quelques 10 μm
15 voire 100 μm de long x quelques 0,1 μm de large (par exemple 100 μm x 0,3 μm),

- charnières : quelques μm de long x quelques 0,1 μm de large (par exemple 5 μm de long x 0,8 μm de large),

20 - espace entre un encastrement du résonateur et une jauge : 0,5 μm à quelques μm (par exemple 1,5 μm),

- espace entre une charnière et un résonateur : 0,5 μm à quelques μm (par exemple 2 μm).

25

Exemple de réalisation d'un montage simple d'accéléromètre

Dans un premier exemple de réalisation illustré sur les figures 6A à 6C (6A' à 6C') on a les
30 étapes suivantes :

A. On dépose une couche de Ti/Ni/Au sur un substrat SOI comprenant un substrat de base (« bulk ») 80 en silicium, une couche sacrificielle en SiO₂ 81 (par exemple de 0,4 µm d'épaisseur) et une couche de silicium 82 (par exemple de 4 µm d'épaisseur). On 5 délimite les contacts 83 par photolithographie et gravure.

B. On délimite la structure mécanique par photolithographie et gravure DRIE, avec arrêt sur la 10 couche sacrificielle 81.

C. On libère les composants du dispositif de l'invention par exposition à l'acide fluorhydrique (humide ou vapeur) avec arrêt au bout d'une durée déterminée.

15 On obtient ainsi une jauge piézorésistive 85, un résonateur 86, une charnière 87, une électrode d'excitation du résonateur 88, et une masse sismique 89.

Dans un second exemple de réalisation, 20 illustré sur les figures 7A à 7F (7A' à 7F', la figure 7E' n'existant pas), avec amincissement de la jauge de contrainte piézorésistive par gravure, on a les étapes suivantes :

A. On dépose une couche de Ti/Ni/Au sur un 25 substrat de type SOI. On délimite les contacts par photolithographie et gravure.

B. On délimite la structure mécanique par photolithographie et gravure DRIE de la structure mécanique, avec arrêt sur la couche sacrificielle 30 (SiO₂).

C. On dépose une couche de protection 84 de la structure mécanique par photolithographie, sauf dans la zone 90 de la jauge de contrainte.

5 D. On amincit la jauge de contrainte 90 par gravure DRIE avec arrêt au bout d'une durée déterminée.

E. On réalise un retrait (« stripping ») de la couche déposée à l'étape C.

10 F. On libère les composants du dispositif de l'invention par exposition à l'acide fluorhydrique (humide ou vapeur) avec arrêt au bout d'une durée déterminée.

Ces deux exemples de réalisation reposent sur l'utilisation de substrats SOI (composant en silicium monocristallin). Mais on peut généraliser de
15 tels exemples à des composants en silicium polycristallin, en SiGe monocristallin, en SiGe polycristallin, ...

REFERENCES

[1] « Resonant accelerometer with self-test » de M. Aibele, K. Bauer, W. Fisher, F. Neubauer, 5 U. Prechtel, J. Schalk, et H. Seidel (Sensors and actuators A92, 2001, pages 161 à 167).

[2] « High-mode resonant piezoresistive cantilever sensors for tens-fentogram resolvable mass 10 sensing in air » de Dazhong Jin et al (2006, J. Micromech., 16, pages 1017 à 1023).

[3] « Single-mask SOI fabrication process for linear and angular piezoresistive accelerometers 15 with on-chip reference resistors » de Jasper Ekhund, E ; Shkel, A.M. ; (sensors, 2005 IEEE, 30 octobre-3 novembre 2005, pages 656 à 659).

[4] US 2006/032306

REVENDICATIONS

1. Dispositif résonant à détection dans le plan piézorésistive réalisé en technologies de surfaces, caractérisé en ce qu'il comprend un résonateur (10 ; 30), muni d'au moins un encastrement (12 ; 31) dans un substrat, comportant des moyens d'excitation (14 ; 36) et des moyens de détection comprenant au moins une jauge de contrainte comprenant une poutre suspendue réalisée en matériau piézorésistif (11 ; 33) reliée au résonateur (10 ; 30), en ce que chaque jauge de contrainte piézorésistive a un plan commun avec le résonateur, et en ce que chaque jauge de contrainte est disposée au voisinage d'un encastrement (12 ; 31) du résonateur pour augmenter l'effet bras de levier et donc la contrainte vue par celle-ci.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel les moyens d'excitation sont des moyens électrostatiques, thermiques ou piézoélectriques.

3. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel chaque jauge de contrainte piézorésistive est disposée perpendiculairement au résonateur.

4. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le résonateur et chaque jauge de contrainte piézorésistive sont réalisés dans un même matériau piézorésistif.

30

5. Dispositif selon la revendication 4, dans lequel ce matériau est du silicium ou du SiGe et dans lequel le résonateur et chaque jauge de contrainte piézorésistive sont reliés mécaniquement et électriquement.

6. Dispositif selon la revendication 5, dans lequel chaque jauge de contrainte piézorésistive est définie par gravure d'une poutre dans le silicium, cette jauge travaillant en tension/compression.

7. Dispositif selon la revendication 1, qui comprend un capteur résonant qui comporte au moins un résonateur associé à un élément susceptible d'entraîner une variation de ses caractéristiques en fonction de la quantité à mesurer, et dans lequel une variation de la fréquence du résonateur, détectée par au moins une jauge de contrainte associée, résulte de cette variation de caractéristiques.

8. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel chaque résonateur, muni d'au moins un encastrement dans un substrat, comporte des moyens d'excitation et des moyens de détection comprenant au moins une jauge de contrainte comprenant une poutre suspendue réalisée en matériau piézorésistif reliée au résonateur, et dans lequel chaque jauge de contrainte piézorésistive a un plan commun avec le résonateur, et est disposée au voisinage d'un encastrement du résonateur pour augmenter l'effet bras de levier.

9. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel chaque résonateur vibre dans le plan.

10. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel les moyens d'excitation de chaque résonateur comprennent au moins une électrode d'excitation de celui-ci.

11. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel chaque jauge de contrainte piézorésistive travaille en compression/tension.

12. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel chaque jauge de contrainte piézorésistive est définie par gravure de silicium.

13. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel une masse sismique, associée au résonateur, est apte sous l'action d'une accélération à exercer une contrainte sur ce résonateur.

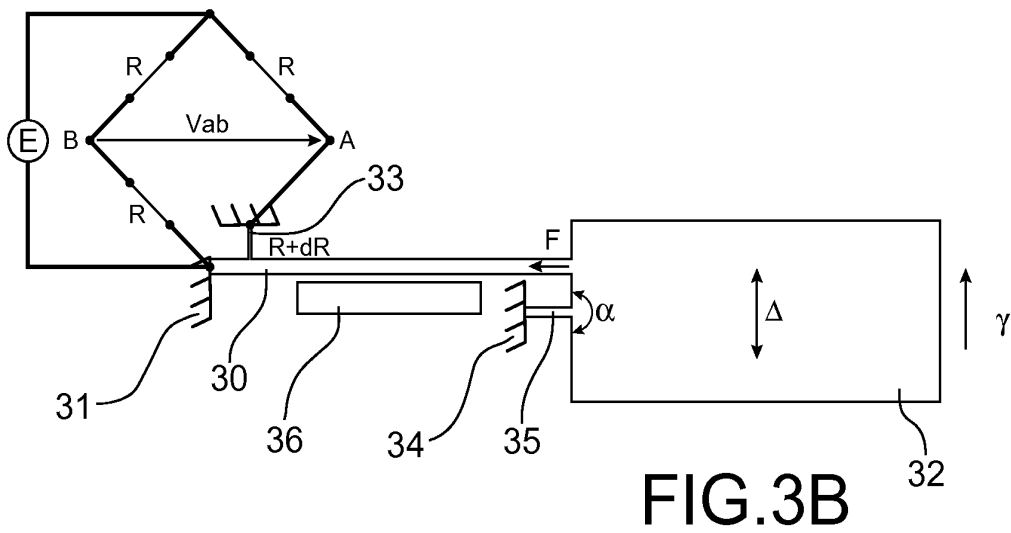
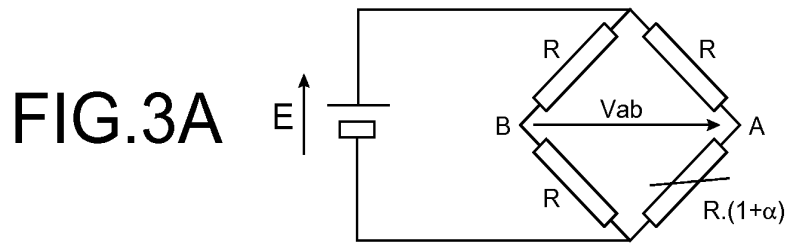
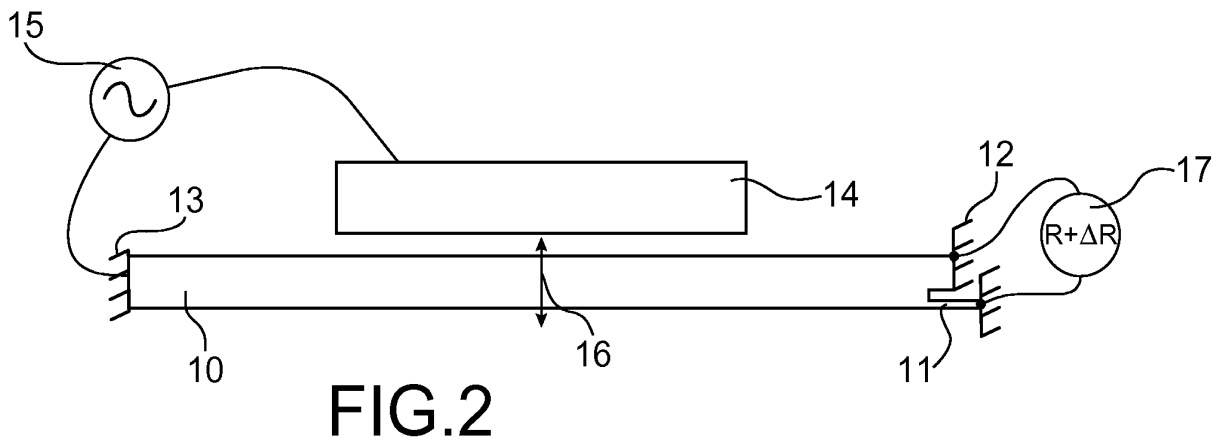
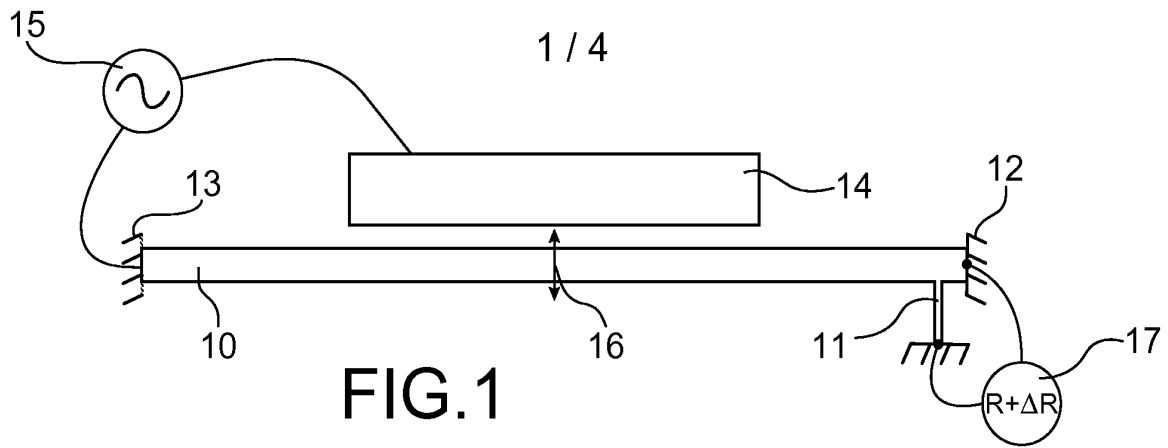
14. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel chaque résonateur est recouvert d'un matériau susceptible de capter certaines molécules.

25

15. Accéléromètre comprenant au moins un dispositif selon la revendication 13.

16. Gyromètre comprenant au moins un dispositif selon la revendication 13.

30



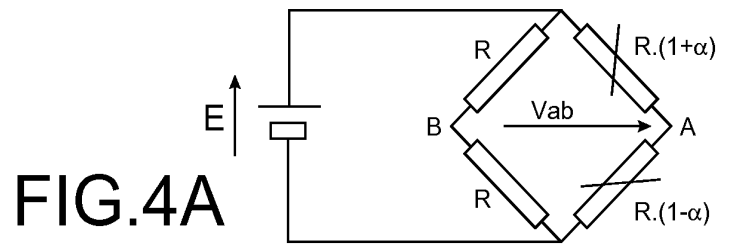


FIG.4A

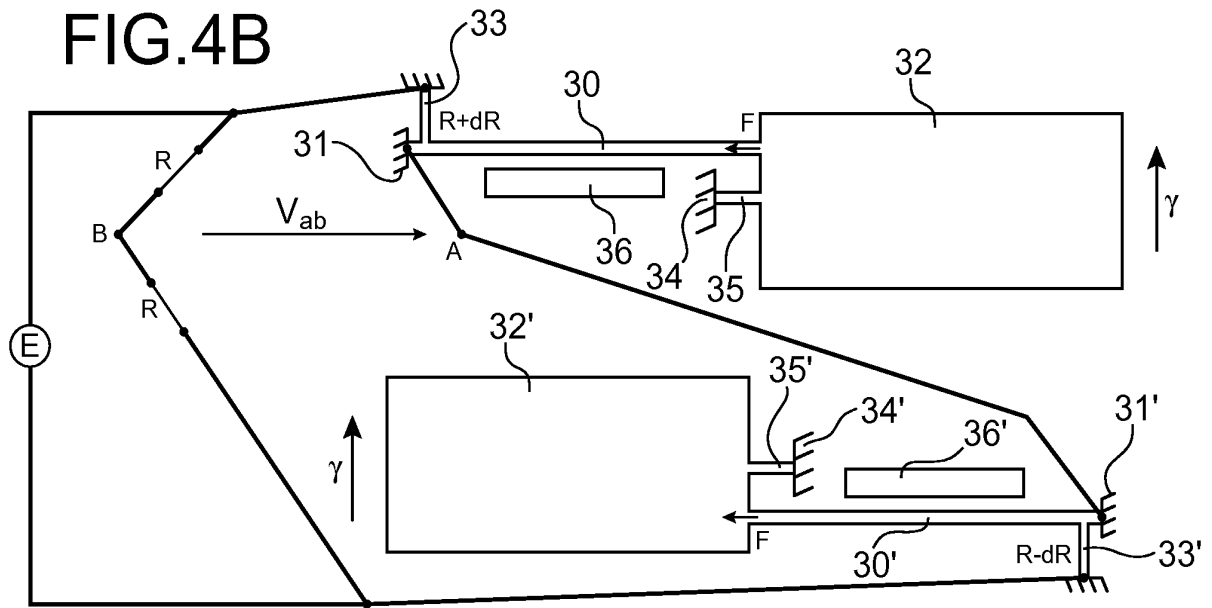


FIG.4B

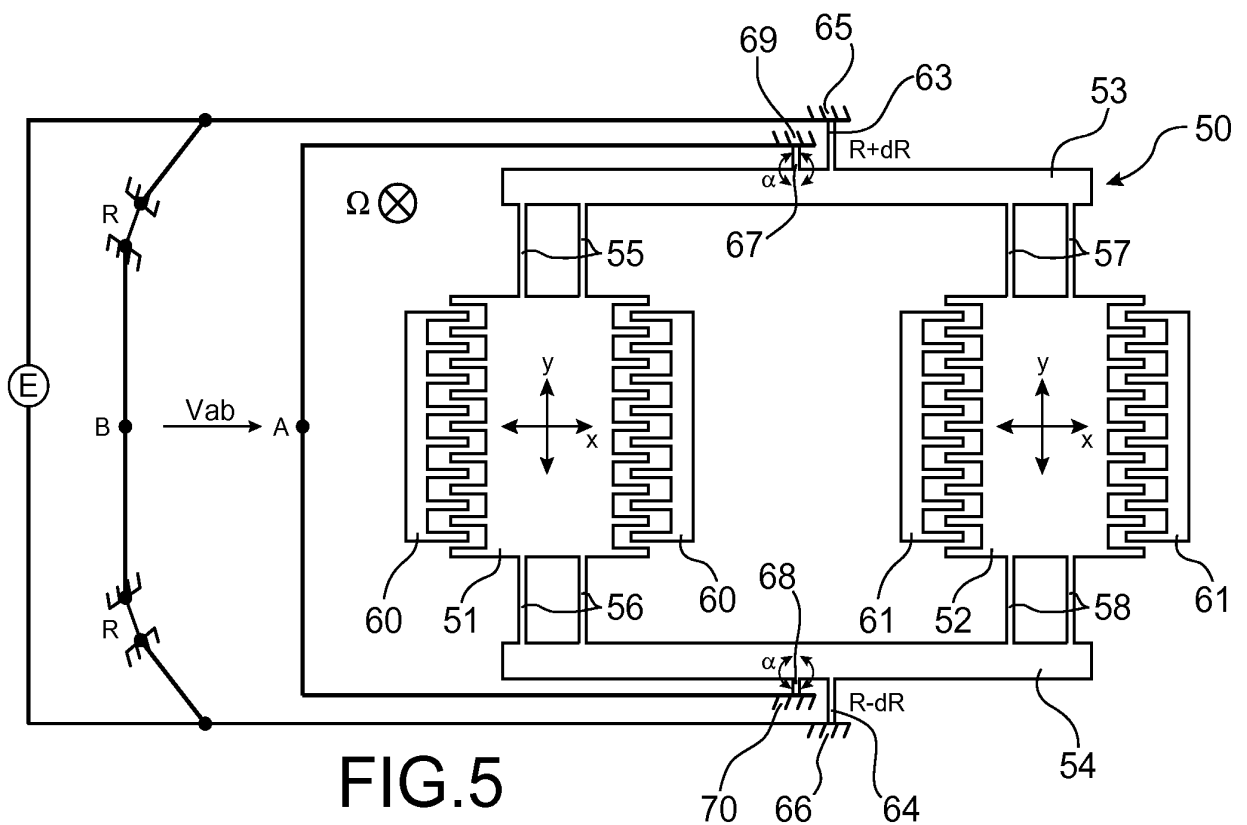


FIG.5

3 / 4

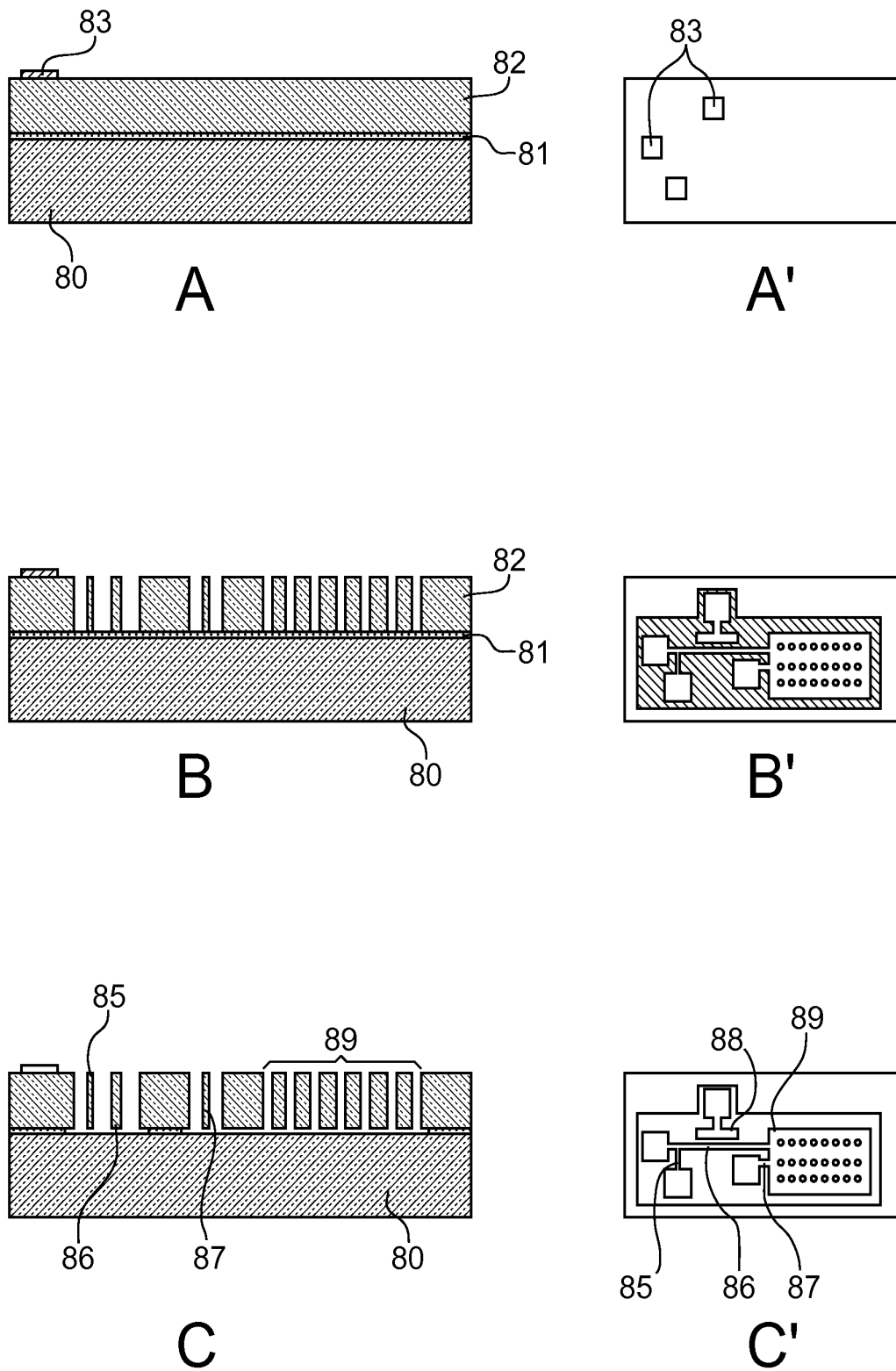


FIG. 6

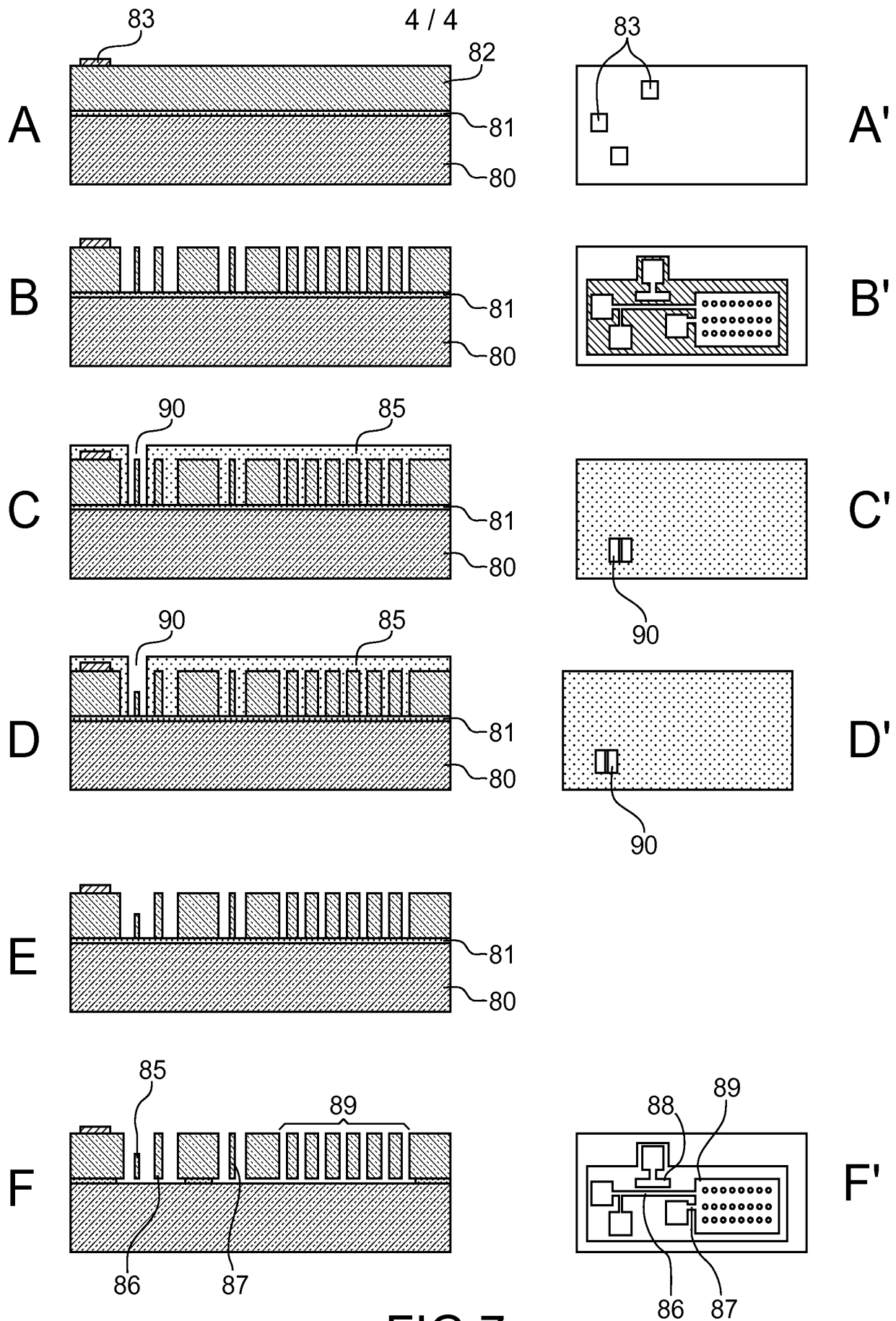


FIG. 7



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 699032
FR 0755992

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 1 273 896 A (DRUCK LTD [GB]) 8 janvier 2003 (2003-01-08) * alinéas [0021] - [0027] * * figure 2 * * revendication 4 * -----	1-16	B81B3/00 G01P15/08 G01C19/56
X	US 6 389 898 B1 (SEIDEL HELMUT [DE] ET AL) 21 mai 2002 (2002-05-21) * colonne 3, ligne 15 - ligne 61 * * figure 3 * -----	1	
X	EP 1 626 282 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 15 février 2006 (2006-02-15) * alinéas [0026], [0027] * * figure 2 * -----	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B81B G01L
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		26 février 2008	Foussier, Philippe
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0755992 FA 699032**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 26-02-2008

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication	
EP 1273896	A	08-01-2003	NO 20023232 A	06-01-2003
			US 2003005768 A1	09-01-2003

US 6389898	B1	21-05-2002	AT 309546 T	15-11-2005
			DE 19812773 A1	30-09-1999
			DE 59912758 D1	15-12-2005
			WO 9949323 A1	30-09-1999
			EP 0985151 A1	15-03-2000
			JP 2002501620 T	15-01-2002

EP 1626282	A	15-02-2006	FR 2874257 A1	17-02-2006
			JP 2006053152 A	23-02-2006
			US 2006032306 A1	16-02-2006
