



DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets⁶ : G01P 15/08	A1	(11) Numéro de publication internationale: WO 97/00451 (43) Date de publication internationale: 3 janvier 1997 (03.01.97)
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR96/00904</p> <p>(22) Date de dépôt international: 13 juin 1996 (13.06.96)</p> <p>(30) Données relatives à la priorité: 95/07077 14 juin 1995 (14.06.95) FR</p> <p>(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): COMMIS-SARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 31-33, rue de la Fédération, F-75015 Paris (FR).</p> <p>(72) Inventeurs; et</p> <p>(75) Inventeurs/Déposants (US seulement): BRUN, Jean [FR/FR]; 13, domaine de Rochagnon, F-38800 Champagnier (FR). CAPLET, Stéphane [FR/FR]; 133, route de Chartreuse, F-38700 Corenc (FR). TOURET, Patricia [FR/FR]; 9, rue Guy-Mocquet, F-38130 Echirolles (FR). RUZIE, Gérard [FR/FR]; 14, rue Michel, F-91410 Dourdan (FR).</p> <p>(74) Mandataire: BREVATOME; 25, rue de Ponthieu, F-75008 Paris (FR).</p>		<p>(81) Etats désignés: JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Publiée <i>Avec rapport de recherche internationale.</i> <i>Avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si de telles modifications sont reçues.</i></p>

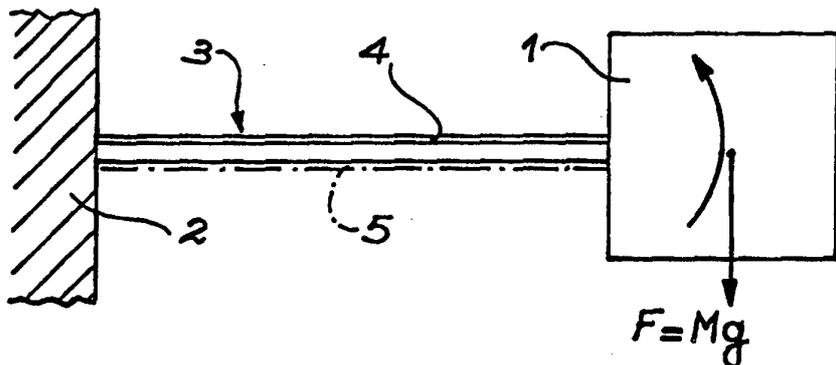
(54) Title: GRAVITY-COMPENSATING ACCELEROMETER AND METHOD FOR MAKING SAME

(54) Titre: ACCELEROMETRE DU TYPE A COMPENSATION DE L'EFFET DE LA PESANTEUR ET PROCEDE DE REALISATION D'UN TEL ACCELEROMETRE

(57) Abstract

An accelerometer comprising a seismic mass (1) capable of being acted upon by a force induced by an acceleration to be measured. The seismic mass (1) is connected to a support (2) by a mechanical linkage (3) that can be bent by said force, and sensing means are provided for determining the acceleration from the force induced in the seismic mass. Compensation means are provided for compensating for the force exerted on the seismic mass by gravity. The

mechanical linkage comprises, as the compensation means, at least one portion (4, 5) that mechanically biases the linkage against the force exerted on the seismic mass by gravity. A method for making said accelerometer is also disclosed.



(57) Abrégé

L'invention concerne un accéléromètre comportant une masse sismique (1) susceptible d'être soumise à une force induite par une accélération à mesurer, la masse sismique (1) étant reliée à un support (2) par des moyens de liaison mécanique (3) susceptibles de fléchir sous l'effet de ladite force, des moyens de détection étant prévus pour permettre de déterminer l'accélération à partir de la force induite dans la masse sismique, des moyens de compensation étant prévus pour compenser la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur. Les moyens de liaison mécanique comportent au moins une partie (4, 5) constituant lesdits moyens de compensation en induisant, dans ces moyens de liaison mécanique, une précontrainte s'opposant à la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur. Elle concerne également un procédé de fabrication d'un tel accéléromètre.

FOR THE PURPOSES OF INFORMATION ONLY

Codes used to identify States party to the PCT on the front pages of pamphlets publishing international applications under the PCT.

AM	Armenia	GB	United Kingdom	MW	Malawi
AT	Austria	GE	Georgia	MX	Mexico
AU	Australia	GN	Guinea	NE	Niger
BB	Barbados	GR	Greece	NL	Netherlands
BE	Belgium	HU	Hungary	NO	Norway
BF	Burkina Faso	IE	Ireland	NZ	New Zealand
BG	Bulgaria	IT	Italy	PL	Poland
BJ	Benin	JP	Japan	PT	Portugal
BR	Brazil	KE	Kenya	RO	Romania
BY	Belarus	KG	Kyrgystan	RU	Russian Federation
CA	Canada	KP	Democratic People's Republic of Korea	SD	Sudan
CF	Central African Republic	KR	Republic of Korea	SE	Sweden
CG	Congo	KZ	Kazakhstan	SG	Singapore
CH	Switzerland	LI	Liechtenstein	SI	Slovenia
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SK	Slovakia
CM	Cameroon	LR	Liberia	SN	Senegal
CN	China	LT	Lithuania	SZ	Swaziland
CS	Czechoslovakia	LU	Luxembourg	TD	Chad
CZ	Czech Republic	LV	Larvia	TG	Togo
DE	Germany	MC	Monaco	TJ	Tajikistan
DK	Denmark	MD	Republic of Moldova	TT	Trinidad and Tobago
EE	Estonia	MG	Madagascar	UA	Ukraine
ES	Spain	ML	Mali	UG	Uganda
FI	Finland	MN	Mongolia	US	United States of America
FR	France	MR	Mauritania	UZ	Uzbekistan
GA	Gabon			VN	Viet Nam

**ACCELEROMETRE DU TYPE A COMPENSATION
DE L'EFFET DE LA PESANTEUR ET
PROCEDE DE REALISATION D'UN TEL ACCELEROMETRE**

La présente invention concerne un
5 accéléromètre du type à compensation de l'effet de
la pesanteur. La compensation de l'effet de la
pesanteur sur la masse sismique d'un accéléromètre
permet d'améliorer sa sensibilité à une variation
d'accélération.

10 L'invention s'applique tout particulièrement
aux dispositifs de faibles dimensions. Sa nature fait
que cet accéléromètre peut être élaboré par des
technologies relevant de la mécanique, de la
micromécanique ou de la micro-électronique (par exemple
15 le micro-usinage).

Le domaine principal d'application d'un
accéléromètre selon la présente invention est l'étude
du mouvement ou du comportement des milieux soumis
à la gravité (la sismologie par exemple).

20 L'invention permet donc de concevoir des
accéléromètres de type monolithique à compensation
de l'effet de la pesanteur alors que les accéléromètres
de type monolithique selon l'art connu ne permettent
pas cette compensation. De tels accéléromètres selon
25 l'art connu sont par exemple décrits dans l'article
"Development of micromachined silicon accelerometer"
de M. Ueda, H. Inada, Y. Mine et K. Sunago, paru dans
la revue Sumitomo Electric Technical Review, N° 38,
Juin 1994, pages 72-77 et dans l'article "Small
30 inertial measurements units-sources of error and
limitations on accuracy" de Michael E. Hoenk, paru
dans la revue SPIE, vol. 2220, pages 15-26.

La méthode la plus couramment employée pour
mesurer l'accélération consiste à mesurer non pas

directement l'accélération elle-même, mais la force F à laquelle est soumise une masse M sous l'action de l'accélération γ considérée. De la loi fondamentale de la dynamique $F = M \cdot \gamma$, connaissant la valeur de M et en mesurant la force F, on en déduit la valeur de l'accélération.

Un capteur d'accélération du type le plus courant se compose donc d'une masse inerte, ou masse sismique, généralement supportée par un ou plusieurs ressorts. Lorsque cette masse subit des variations d'accélération, celle-ci se déplace et les ressorts se déforment. Le système revient à sa position initiale dès lors que la force due à l'accélération s'annule.

Au repos, un capteur d'accélération horizontale n'est sensible à aucun effort perturbateur. En revanche, un accéléromètre à axe sensible vertical subit une force minimale équivalente à la force due à la pesanteur $F = M \cdot g$, g étant la constante gravitationnelle.

Cette force minimale due à la pesanteur constitue un inconvénient lorsqu'on cherche à mesurer des accélérations verticales très faibles (inférieures à 10^{-6} g). Il est donc important dans ce cas de compenser l'effort dû à la pesanteur par une force dirigée dans le sens opposé à la force de pesanteur. A l'heure actuelle, on compte deux familles de procédés de compensation de la force de pesanteur :

- les procédés faisant intervenir une source d'énergie électrique. Un champ électromagnétique ou électrostatique maintient la masse sismique en suspension. Ces procédés nécessitent un système d'asservissement complexe,

- les procédés mettant en oeuvre la force de rappel d'un ressort. La masse est maintenue en

équilibre, suspendue par un ressort prédéformé.

Il existe également des systèmes mixtes, utilisant à la fois une force d'origine électrostatique ou électromagnétique et la force de rappel d'un ressort.

5 Un tel système est par exemple décrit dans l'article "The effects of spring and magnetic distortions on electromagnetic geophones" de Shi Jung Chen et Kuan Chen, paru dans J. Phys. E : Sci. Instrum. 21 (1988), pages 943-947.

10 Ces techniques apportent d'autres inconvénients.

Dans le cas des dispositifs électrostatiques ou électromagnétiques, la présence d'un système d'asservissement électronique peut générer des bruits
15 parasites incompatibles à la sensibilité désirée. Par ailleurs, une compensation seulement électrostatique conduit à une instabilité du système qui rend son asservissement difficile.

Les capteurs à axe sensible vertical pour
20 lesquels l'effet de la pesanteur sur la masse sismique est compensé par un ressort sont actuellement réalisés par assemblage de différentes pièces mécaniques. Un tel capteur est par exemple décrit dans l'article "The leaf-spring seismometer : design and performance" de
25 E. Wielandt et G. Streckeisen, paru dans Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 72, n° 6, pages 2349-2367, Décembre 1982. En raison de leur construction, ces dispositifs ne présentent pas un facteur de qualité Q très élevé. Ce paramètre structural
30 est relié à la densité de bruit brownien S du dispositif par la relation suivante :

$$35 \quad S = \sqrt{\frac{4 k_b T \omega_r}{M Q \left[(\omega^2 - \omega_r^2)^2 + \frac{\omega^2 \omega_r^2}{Q^2} \right]}}$$

avec : ω , la pulsation
 ω_r , la pulsation de résonance
 k_b , la constante de Boltzman
 T , la température
5 M , la masse sismique.

Pour plus de détails sur cette relation, on se reportera
à l'article : "Small inertion measurement units-sources
of error and limitations on accuracy" cité plus haut.
La relation montre que S est inversement proportionnel
10 à Q et M .

Pour conserver un bruit brownien qui ne
perturbe pas la mesure, les dispositifs actuels ont
une masse M importante. Néanmoins, cette solution limite
la miniaturisation de l'ensemble. Les appareils
15 performants (par exemple ceux capables de détecter
une variation de quelques nano-G sous 1 G) les plus
petits pèsent donc plusieurs kilogrammes et occupent
un volume de quelques dizaines de cm^3 .

En conclusion, les capteurs d'accélération
20 à axe vertical actuels sont soit peu sensibles, soit
lourds et encombrants. La miniaturisation d'un
dispositif performant exige de diminuer la masse
sismique M et donc d'augmenter le facteur de qualité.
Cela peut être obtenu en réalisant l'ensemble du
25 capteur (la masse sismique et le ressort dans le cas
d'une compensation de la pesanteur par un ressort),
en un matériau ayant un facteur de qualité élevé comme
par exemple le silicium monocristallin. Néanmoins,
la réalisation d'un dispositif compact comportant un
30 ressort solidaire de la masse pose des difficultés
technologiques. En effet, il est difficile de rendre
solidaire des petites pièces mécaniques, comme le
ressort et la masse sismique, par des moyens mécaniques
tels que des vis ou par de la colle sans provoquer

des zones où les frottements internes sont importants et provoquent des phénomènes d'amortissement préjudiciables au facteur de qualité. Il faut en outre préserver une grande souplesse au ressort, cette
5 souplesse influant sur la sensibilité du capteur.

La technique de compensation de la force de pesanteur proposée par la présente invention s'apparente à la famille des capteurs dont la masse sismique est supportée par un ressort. Cette solution
10 a comme avantage de diminuer les bruits parasites produits par le système d'asservissement nécessaire aux autres dispositifs. La technique de compensation proposée est basée sur le principe d'un ressort en forme de lame réalisé par précontrainte d'une surface
15 d'un élément (une poutre par exemple) supportant la masse sismique.

L'invention a donc pour objet un accéléromètre comportant une masse sismique susceptible d'être soumise à une force induite par une accélération à mesurer,
20 la masse sismique étant reliée à un support par des moyens de liaison mécanique susceptibles de fléchir sous l'effet de ladite force, des moyens de détection étant prévus pour permettre de déterminer l'accélération à partir de la force induite dans la masse sismique,
25 des moyens de compensation étant prévus pour compenser la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur, caractérisé en ce que les moyens de liaison mécanique comportent au moins une partie constituant lesdits
30 de liaison mécanique, une précontrainte s'opposant à la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur.

Les moyens de compensation de la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur peuvent être

constitués par une couche superficielle déposée sur les moyens de liaison mécanique, cette couche superficielle étant réalisée sur une face des moyens de liaison mécanique de manière à s'opposer à la force exercée par la pesanteur sur la masse sismique et étant
5 en une matière présentant les propriétés requises pour exercer une contrainte sur lesdits moyens de liaison mécanique.

Dans ce cas, ladite matière présentant une
10 contrainte peut être choisie parmi le groupe de matières constitué par le chrome, le molybdène, le tungstène, un de leurs alliages ou une céramique du type PZT.

Les moyens de compensation de la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur peuvent être
15 constitués par deux dépôts superficiels que présentent les moyens de liaison mécanique, ces dépôts superficiels étant réalisés sur deux faces opposées des moyens de liaison mécanique, l'un des deux dépôts étant réalisé en une matière induisant une contrainte en tension
20 et l'autre dépôt induisant une contrainte en compression, la combinaison de ces deux dépôts induisant un gradient de contrainte dans l'épaisseur des moyens de liaison mécanique s'opposant à la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur.

25 Dans ce cas, les deux dépôts peuvent être constitués de couches minces de molybdène déposées par des techniques différentes de façon à leur conférer des contraintes de signes opposés.

Selon une variante de réalisation, les moyens
30 de compensation de la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur peuvent être constitués par une modification superficielle des moyens de liaison mécanique, cette modification superficielle induisant ladite précontrainte dans les moyens de liaison
35 mécanique.

Cette modification superficielle peut avantageusement consister en un dopage superficiel

de la matière constituant les moyens de liaison mécanique.

Dans ce cas, les moyens de liaison mécanique étant en silicium monocristallin, l'une des faces des
5 moyens de liaison mécanique peut être dopée par un dopant choisi dans le groupe constitué par le phosphore, le bore, le xénon, le titane, l'arsenic et l'argon.

Le dopage superficiel peut être réalisé sur deux faces opposées des moyens de liaison mécanique,
10 chacune de ces deux faces étant dopées par des dopants différents, l'un des dopants induisant une contrainte en extension et l'autre induisant une contrainte en compression avec pour résultat d'induire un gradient de contrainte dans l'épaisseur des moyens de liaison
15 mécanique s'opposant à la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur.

Si les moyens de liaison mécanique sont en silicium, l'une des faces des moyens de liaison mécanique peut être dopée par du bore et l'autre face
20 peut être dopée par de l'argon.

Les moyens de liaison mécanique peuvent être constitués d'une ou de plusieurs poutres.

Une telle conception permet de réaliser la masse sismique, les moyens de liaison mécanique et
25 le support sous forme d'un ensemble monolithique. Ainsi, contrairement aux accéléromètres de type monolithique de l'art connu, l'invention permet d'obtenir un accéléromètre à compensation de la force de la pesanteur, de type monolithique.

30 L'invention a donc également pour objet un procédé de fabrication d'un accéléromètre comportant une masse sismique reliée à un support par des moyens de liaison mécanique susceptibles de fléchir sous l'effet d'une force induite dans la masse sismique

par une accélération à mesurer, des moyens de compensation étant prévus pour compenser la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

- 5 - masquage de l'une des faces principales d'un substrat, ou première face, pour y délimiter la masse sismique et le support,
- gravure du substrat à partir de la première face en direction de la face principale opposée, ou
- 10 seconde face, jusqu'à laisser subsister une membrane entre le fond de la gravure et la seconde face, la gravure délimitant la masse sismique et le support,
- masquage de la seconde face du substrat pour masquer le support, la masse sismique et les moyens
- 15 de liaison mécanique,
- gravure du substrat à partir de la seconde face pour ouvrir la membrane dans ses parties non masquées,
- traitement superficiel d'au moins une partie
- 20 des moyens de liaison mécanique pour y induire une précontrainte s'opposant à la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur et constituer ainsi lesdits moyens de compensation.

L'invention sera mieux décrite et d'autres

25 avantages et particularités apparaîtront grâce à la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 est une vue de côté d'un
- 30 accéléromètre à compensation de l'effet de la pesanteur selon une première variante de l'invention,
- la figure 2 est une vue partielle et en perspective d'un accéléromètre à compensation de l'effet de la pesanteur selon une seconde variante de
- 35 l'invention,

- la figure 3 est une vue partielle et en perspective d'un accéléromètre à compensation de l'effet de la pesanteur selon une troisième variante de l'invention,

5 - la figure 4 est une vue de dessus d'une poutre de soutien d'une masse sismique revêtue d'un dépôt contraint et gravé pour un accéléromètre selon l'invention,

10 - la figure 5 est une vue en perspective d'un accéléromètre selon l'invention en cours de réalisation.

Dans la suite de la description on décrira des accéléromètres comportant une masse sismique distincte de son élément de liaison mécanique à un support, cet élément de liaison pouvant être constitué par une ou plusieurs poutres. Ceci n'est pas limitatif de l'invention qui s'applique également au cas où la masse sismique ne se distingue pas de la poutre ou est confondue avec la poutre.

20 La figure 1 illustre de manière assez schématique le principe de l'invention pour un accéléromètre à axe sensible vertical. On y a représenté une masse sismique 1 de masse M , reliée à un support 2 par une poutre 3. La masse sismique 1 est donc placée en porte à faux par rapport au support 2. En négligeant la masse de la poutre 3, le centre de gravité de la masse sismique 1 est sensible à la force F à laquelle est soumise la masse sismique suite à une accélération g .

30 Pour compenser l'effet de la pesanteur sur la masse sismique 1, la partie superficielle supérieure 4 de la poutre 3 est traitée pour y induire une précontrainte qui a pour résultat d'exercer sur la masse sismique une force compensant celle induite par

la pesanteur dans cette masse sismique.

Cette sollicitation superficielle de la poutre peut être obtenue de différentes manières. Elle peut être obtenue par le dépôt d'une couche mince sur la surface de la poutre ou par une modification de la surface de cette poutre assez importante pour produire un effet de contrainte. Ainsi traitée, la poutre tend à fléchir en exerçant une force opposée à celle de la pesanteur. Les conditions de sollicitation doivent être telles que l'extrémité de la poutre exerce une force de compensation dirigée vers le haut ainsi que le représente la flèche courbe sur la figure 1. L'effort permet alors, si l'intensité de la contrainte est suffisante, d'équilibrer la force due à la pesanteur.

Dans le cas d'une couche déposée sur la poutre, la matière de dépôt utilisable peut être choisie parmi les métaux ou leurs alliages ou encore parmi des matières connues pour présenter des contraintes comme certains matériaux piézo-électriques, par exemple la céramique de formulation $Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ encore dénommée PZT. On utilise préférentiellement du chrome, du molybdène, du tungstène ou l'un de leurs alliages.

Par modification de la poutre, on entend la modification de la matière constituant la poutre elle-même, dans la zone superficielle, par un moyen approprié. Ce moyen peut être un dopage de la surface de la poutre sur une faible épaisseur. Dans ce cas, il est avantageux de choisir un dopant en fonction de la matière constituant la poutre de façon à obtenir un effet bilame entre la partie de la poutre restante et la partie dopée. Si la poutre est en silicium monocristallin, on peut utiliser un dopant choisi parmi les éléments suivants : le phosphore, le bore, le xénon, le titane, l'arsenic, l'argon.

La solution proposée par l'invention permet donc de concevoir un ressort lié à une masse sismique, formant un assemblage qui peut être de faibles dimensions, sans avoir recours à une liaison mécanique faite d'éléments distincts.

La figure 1 a illustré un accéléromètre dans sa version la plus simple, c'est-à-dire comportant une seule poutre. L'invention s'applique cependant à des accéléromètres à plusieurs poutres.

On peut appliquer le principe de l'invention à des accéléromètres comprenant deux, quatre ou huit poutres pour limiter les degrés de liberté (en translation et en rotation autour du centre de gravité) de la masse sismique au déplacement vertical. Ces poutres sont alors disposées en opposition deux à deux ou quatre à quatre selon le cas.

La figure 2 représente un tel accéléromètre. La masse sismique 10 est reliée au support 11, qui a été arasé au niveau de la masse sismique par souci de simplification, par quatre poutres 12 disposées en opposition deux à deux. Un dépôt superficiel approprié 13, recouvrant les quatre poutres 12 et également la masse sismique 10, a été effectué pour compenser la force due à la pesanteur et exerçant son action sur la masse sismique 10.

La figure 3 représente, dans le même mode d'illustration que la figure 2, un accéléromètre à huit poutres. Cet accéléromètre peut être obtenu par le scellement de deux structures 21 et 22 comportant chacune quatre poutres (c'est-à-dire étant chacune du type représenté à la figure 2). Ce scellement peut être réalisé par des méthodes de collage ou de scellement connues, par exemple par la méthode décrite dans l'article "Application of oxygen plasma processing

to silicon direct bonding" de O. Zucker, W. Langheinrich, M. Kulozik et H. Goebel, paru dans la revue Sensors and Actuators A. 36, 1993, pages 227-231. Les dépôts superficiels devant exercer leur action
5 pour compenser la force de la pesanteur, ces dépôts 23, 24 sont effectués sur les faces des poutres devant être dirigées vers le haut une fois l'accéléromètre terminé.

Les contraintes planes exercées par la couche
10 mince déposée sur la surface d'une poutre induisent également une déformation transversale de la poutre, perpendiculairement à la direction de la première déformation. Le galbe occasionné accentue le moment d'inertie de la poutre et donc la raideur du système
15 qui influe sur la sensibilité du capteur. Si ce phénomène est considéré comme pouvant être trop perturbant, on peut y remédier de plusieurs manières.

Une première solution consiste à effectuer un dépôt discontinu sur la poutre comme cela est
20 représenté à la figure 4 qui est une vue de dessus et partielle d'un accéléromètre selon l'invention. On reconnaît la masse sismique 31 reliée au support 32 par la poutre 33. La face supérieure de la poutre 33 est recouverte non plus d'un dépôt continu mais
25 de lignes parallèles 34 orientées entre la masse sismique et le support 32. Il a été démontré que, sous cette forme, la couche mince déposée tend à relaxer en partie la composante des contraintes perpendiculaires aux lignes. On peut se reporter à cet égard à l'article
30 "Analyse par diffraction des rayons X, de l'évolution des contraintes résiduelles associée à la gravure de lignes dans un dépôt mince de tungstène CVD sur substrat de Si" de L. Maniguet, M. Ignat, M. Dupeux, J.J. Bacmann et P. Normandon, paru dans la Revue de
35

Métallurgie-CIT/Science et Génie des Matériaux,
Septembre 1993, page 1109.

Une deuxième solution consiste à exploiter l'anisotropie intrinsèque des contraintes de certaines
5 couches minces métalliques pour orienter l'effort maximum dans le sens le plus favorable, c'est-à-dire entre la masse sismique et le support. Ces phénomènes d'anisotropie intrinsèque de contraintes ont été notamment décrits dans l'article "Internal stress tensor
10 determination in molybdenum and molybdenum-carbon thin films deposited by D.C. magnetron sputtering" de P. Gergaud et J.J. Bacmann, paru dans la revue Materials Science Forum, vol. 133-136, 1993, pages 873-878.

La mise en oeuvre simultanée de ces deux
15 solutions permet de cumuler les phénomènes et, dans certains cas, d'annuler la contrainte transverse.

Une troisième solution consiste à réaliser une ou plusieurs fentes longitudinales dans la poutre, ces fentes ayant une direction allant de la masse
20 sismique au support. Dans le cas où les moyens de compensation de la force de pesanteur sont constitués par une couche superficielle déposée sur la poutre, cette couche serait fendue, de préférence sur toute son épaisseur, selon un motif ressemblant à celui de
25 la figure 4.

La contrainte superficielle peut être exercée par un dépôt ou par un traitement qui permet de créer un gradient de contrainte dans l'épaisseur de la poutre. L'utilisation de films minces offre la possibilité
30 de concevoir un système à deux couches soit, en se rapportant à la figure 1, une couche mince 4 et une couche mince 5 déposées en vis-à-vis de part et d'autre de la poutre. La couche mince supérieure doit agir en tension et la couche mince inférieure en compression.
35 Certaines matières élaborées en couche mince (le molybdène par exemple) présentent des contraintes de signes opposés selon leurs conditions d'élaboration. L'article "Internal stresses in sputtered chromium" de D.W. Hoffman et J.A. Thornton, paru dans la revue
40 Thin Solid Films, 40 (1977) pages 355-363, décrit ce phénomène dans le cas du chrome.

Par ailleurs, dans le domaine des technologies micro-électroniques, il existe des techniques de dopage qui permettent d'obtenir des contraintes de compression ou de tension selon la nature de l'élément implanté et des conditions d'implantation. Ceci est discuté dans l'article "Parallel stress and perpendicular strain depth distributions in [001] silicon amorphized by ion implantation" de R. Fabbri, M. Servidori et A. Zani, paru dans la revue J. Appl. Phys. 66 (10), 15 Novembre 1989, pages 4715-4718. Par exemple, le dopage par du bore conduit à des contraintes de tension dans le silicium alors que le dopage par de l'argon donne des contraintes de compression dans le même matériau.

Dans le cas où le matériau utilisé pour réaliser la couche mince supérieure (et exerçant une action en tension) est identique à celui utilisé pour réaliser la couche mince inférieure (et exerçant une action en compression), le coefficient de dilatation thermique de chacune de ces couches minces est très voisin, voire identique, et le système devient alors insensible à la température. Dans le cas de couches minces déposées sur deux faces en vis-à-vis d'une poutre, on utilisera de préférence le molybdène. Dans le cas de couches minces constituées par dopage du matériau constituant la poutre (du silicium par exemple), bien que les dopants de chaque face soient différents, les coefficients de dilatation thermique de chaque couche seront très proches puisque le matériau de base recevant les dopants est identique.

On va décrire maintenant, à titre d'exemple, la réalisation d'un accéléromètre selon la présente invention. On a choisi de réaliser, par une technique de micro-électronique, un accéléromètre à quatre poutres du type représenté à la figure 2. Ce capteur est fabriqué dans du silicium d'orientation $\langle 100 \rangle$. Après nettoyage chimique, le silicium est recouvert d'un

masque qui peut être une couche de nitrure de silicium Si_3N_4 . En utilisant les procédés de photolithographie conventionnelle, une ouverture selon une zone délimitant la masse sismique est réalisée dans le masque. Une gravure anisotrope du silicium est alors effectuée, par exemple dans un bain d'hydroxyde de potassium KOH (cf. par exemple l'article "Development of micromachined silicon accelerometer" cité plus haut). Le temps de gravure est prévu suffisamment long pour obtenir une membrane de silicium de faible épaisseur autour de la masse sismique.

La figure 5 représente le résultat obtenu à l'issue de cette étape du procédé. Dans cette figure, le substrat de départ 40 est représenté en coupe. La coupe passe par la masse sismique 41 et donne une idée de l'épaisseur de la membrane 42 subsistant autour de la masse sismique 41.

La face 43 du substrat 40 située du côté de la membrane est ensuite recouverte d'une couche d'oxyde de silicium SiO_2 . De même que précédemment ce revêtement est ouvert de façon à délimiter les côtés des poutres et le pourtour de la masse sismique. Ensuite, une technique de gravure physique (gravure plasma) dans un mélange gazeux de trichlorure de bore BCl_3 et de chlore Cl_2 permet d'éliminer le silicium de la membrane qui n'est pas masqué. Après cette opération, la masse sismique est libérée de la structure et n'est plus supportée que par les poutres. La couche d'oxyde de silicium qui subsiste est retirée par gravure plasma dans un mélange gazeux de trifluorométhane CHF_3 et d'oxygène O_2 .

On procède ensuite au dépôt de la couche mince contrainte sur la lame par pulvérisation cathodique magnétron. Les paramètres d'élaboration du film métallique (en molybdène) sont ajustés de

manière à produire des contraintes de tension dans le matériau.

Ainsi, ce type de structure peut être fabriqué en silicium ou en quartz grâce aux techniques de micro-usinage utilisées dans les technologies micro-électroniques. Ce mode de fabrication autorise la réalisation d'un ensemble monolithique en silicium (c'est-à-dire que toutes les parties du capteur sont usinées dans un substrat massif) dont le facteur de qualité est élevé. Il est alors possible de concevoir une masse plus faible et donc une structure plus compacte.

Dans le cas où la poutre est du type bilame, l'effort destiné à équilibrer la force de gravité est fortement affecté par la forme de la poutre. Les inventeurs de la présente invention ont constaté qu'une forme rectangulaire du bilame (lorsque la poutre est vue dans la direction de la force de gravité) est moins satisfaisante pour compenser la force de gravité qu'une forme triangulaire dont la base du triangle est encastree dans le support et dont le sommet est solidaire de la masse sismique.

Compte tenu de la simplicité de réalisation de l'accéléromètre selon la présente invention, on peut envisager une fabrication collective des capteurs et donc de diminuer leur coût de revient. L'invention peut notamment être mise en oeuvre pour réaliser des sismomètres de faible encombrement pour qu'ils puissent être introduits dans un puits de forage.

30

35

REVENDEICATIONS

1. Accéléromètre comportant une masse sismique (1, 10) susceptible d'être soumise à une force induite par une accélération à mesurer, la masse sismique (1, 5 10) étant reliée à un support (2, 11) par des moyens de liaison mécanique (3, 12) susceptibles de fléchir sous l'effet de ladite force, des moyens de détection étant prévus pour permettre de déterminer l'accélération à partir de la force induite dans la masse sismique, 10 des moyens de compensation étant prévus pour compenser la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur, caractérisé en ce que les moyens de liaison mécanique comportent au moins une partie (4, 5, 13) constituant lesdits moyens de compensation en induisant, dans ces 15 moyens de liaison mécanique, une précontrainte s'opposant à la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur.

2. Accéléromètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de compensation de 20 la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur sont constitués par une couche superficielle (4, 5) déposée sur les moyens de liaison mécanique (3), cette couche superficielle étant réalisée sur une face des 25 moyens de liaison mécanique de manière à s'opposer à la force exercée par la pesanteur sur la masse sismique (1) et étant en une matière présentant les propriétés requises pour exercer une contrainte sur lesdits moyens de liaison mécanique.

3. Accéléromètre selon la revendication 2, caractérisé en ce que ladite matière présentant une 30 contrainte est choisie parmi le groupe de matières constitué par le chrome, le molybdène, le tungstène, un de leurs alliages ou une céramique du type PZT.

4. Accéléromètre selon l'une des 35 revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que le dépôt

superficiel est constitué de lignes parallèles (34) orientées entre la masse sismique (31) et ledit support (32).

5 5. Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce que le dépôt superficiel présentant une anisotropie intrinsèque de contrainte, ce dépôt superficiel est réalisé pour favoriser la direction où s'exerce la précontrainte.

10 6. Accéléromètre selon l'une des revendications 2 ou 3, caractérisé en ce que la couche superficielle est fendue par au moins une fente orientée entre la masse sismique et ledit support.

15 7. Accéléromètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de compensation de la force exercée sur la masse sismique (1) par la pesanteur sont constitués par deux dépôts superficiels (4, 5) que présentent les moyens de liaison mécanique (3), ces dépôts superficiels étant réalisés sur deux faces opposées des moyens de liaison mécanique, l'un
20 des deux dépôts étant réalisé en une matière induisant une contrainte en tension et l'autre dépôt induisant une contrainte en compression, la combinaison de ces deux dépôts induisant un gradient de contrainte dans l'épaisseur des moyens de liaison mécanique s'opposant
25 à la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur.

8. Accéléromètre selon la revendication 7, caractérisé en ce que les deux dépôts sont constitués de couches minces de molybdène déposées par des
30 techniques différentes de façon à leur conférer des contraintes de signes opposés.

9. Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications 2 à 8, caractérisé en ce que les moyens de liaison mécanique comprenant au moins une poutre,
35 la forme de cette poutre, vue dans la direction selon

laquelle s'exerce la force de pesanteur, est triangulaire avec une base solidaire du support et le sommet opposé solidaire de la masse sismique.

10. Accéléromètre selon la revendication 5 1, caractérisé en ce que les moyens de compensation de la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur sont constitués par une modification superficielle des moyens de liaison mécanique, cette modification superficielle induisant ladite 10 précontrainte dans les moyens de liaison mécanique.

11. Accéléromètre selon la revendication 10, caractérisé en ce que ladite modification superficielle consiste en un dopage superficiel de la matière constituant les moyens de liaison mécanique.

15 12. Accéléromètre selon la revendication 11, caractérisé en ce que, les moyens de liaison mécanique étant en silicium monocristallin, l'une des faces des moyens de liaison mécanique est dopée par un dopant choisi dans le groupe constitué par le 20 phosphore, le bore, le xénon, le titane, l'arsenic et l'argon.

13. Accéléromètre selon la revendication 11, caractérisé en ce que le dopage superficiel est réalisé sur deux faces opposées des moyens de liaison 25 mécanique, chacune de ces deux faces étant dopées par des dopants différents, l'un des dopants induisant une contrainte en tension et l'autre induisant une contrainte en compression avec pour résultat d'induire un gradient de contrainte dans l'épaisseur des moyens 30 de liaison mécanique s'opposant à la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur.

14. Accéléromètre selon la revendication 13, caractérisé en ce que, les moyens de liaison mécanique étant en silicium, l'une des faces des moyens 35 de liaison mécanique est dopée par du bore et l'autre face est dopée par de l'argon.

15. Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que les moyens de liaison mécanique comprennent au moins une poutre.

5 16. Accéléromètre selon la revendication 15, caractérisé en ce que la masse sismique est supportée par au moins une série de deux poutres (12) disposées en opposition par rapport à la masse sismique (10).

10 17. Accéléromètre selon la revendication 16, caractérisé en ce que la masse sismique (21, 22) est supportée par quatre poutres supérieures, en opposition deux à deux, et par quatre poutres inférieures, en opposition deux à deux.

15 18. Accéléromètre selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que la masse sismique, les moyens de liaison mécanique et le support constituent un ensemble monolithique.

20 19. Procédé de fabrication d'un accéléromètre comportant une masse sismique reliée à un support par des moyens de liaison mécanique susceptibles de fléchir sous l'effet d'une force induite dans la masse sismique par une accélération à mesurer, des moyens de compensation étant prévus pour compenser la force exercée sur la masse sismique par la pesanteur, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :

25 - masquage de l'une des faces principales d'un substrat (40), ou première face, pour y délimiter la masse sismique (41) et le support,
30 - gravure du substrat (40) à partir de la première face en direction de la face principale opposée, ou seconde face (43), jusqu'à laisser subsister une membrane (42) entre le fond de la gravure et la seconde face, la gravure délimitant la masse sismique
35 et le support,

- masquage de la seconde face (43) du substrat (40) pour masquer le support, la masse sismique et les moyens de liaison mécanique,

5 - gravure du substrat à partir de la seconde face pour ouvrir la membrane dans ses parties non masquées,

- traitement superficiel d'au moins une partie des moyens de liaison mécanique pour y induire une précontrainte s'opposant à la force exercée sur la
10 masse sismique par la pesanteur et constituer ainsi lesdits moyens de compensation.

20. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que ledit traitement superficiel consiste en un dépôt d'une matière présentant une
15 contrainte.

21. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que ledit traitement superficiel consiste en un dopage.

20

25

30

35

1 / 2

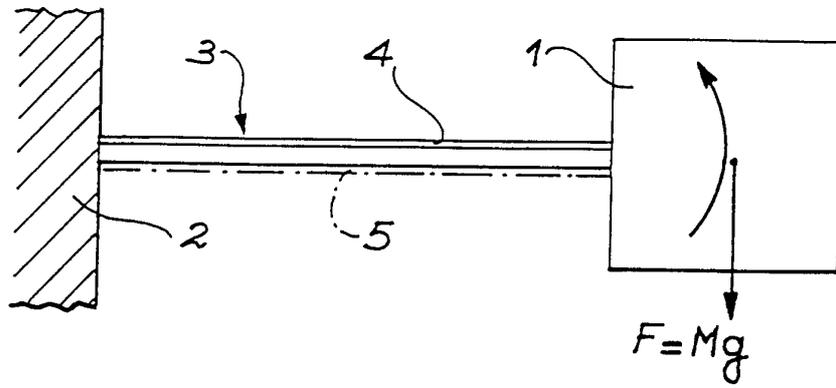


FIG. 1

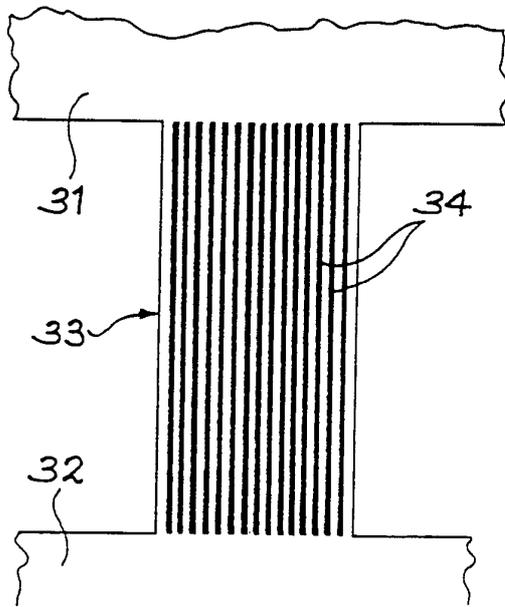


FIG. 4

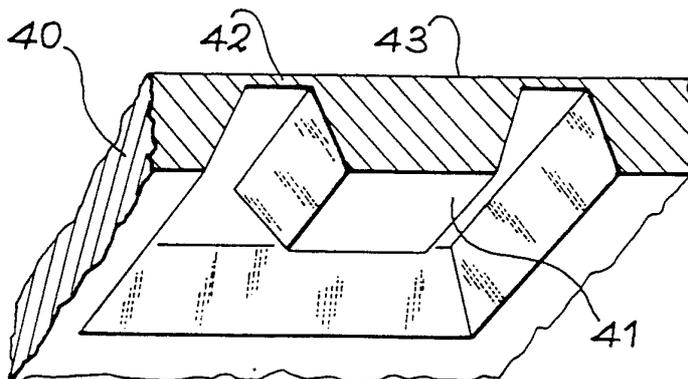


FIG. 5

2/2

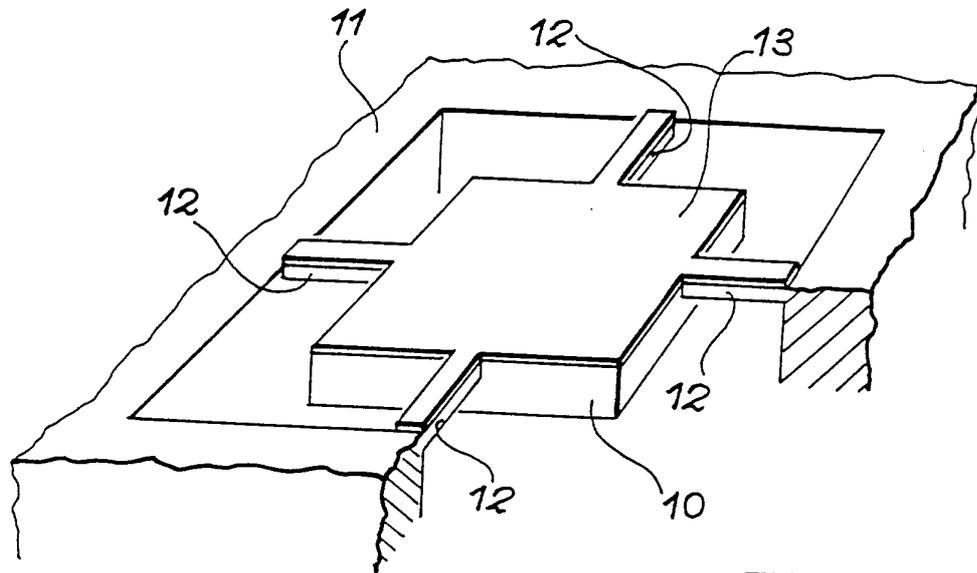


FIG. 2

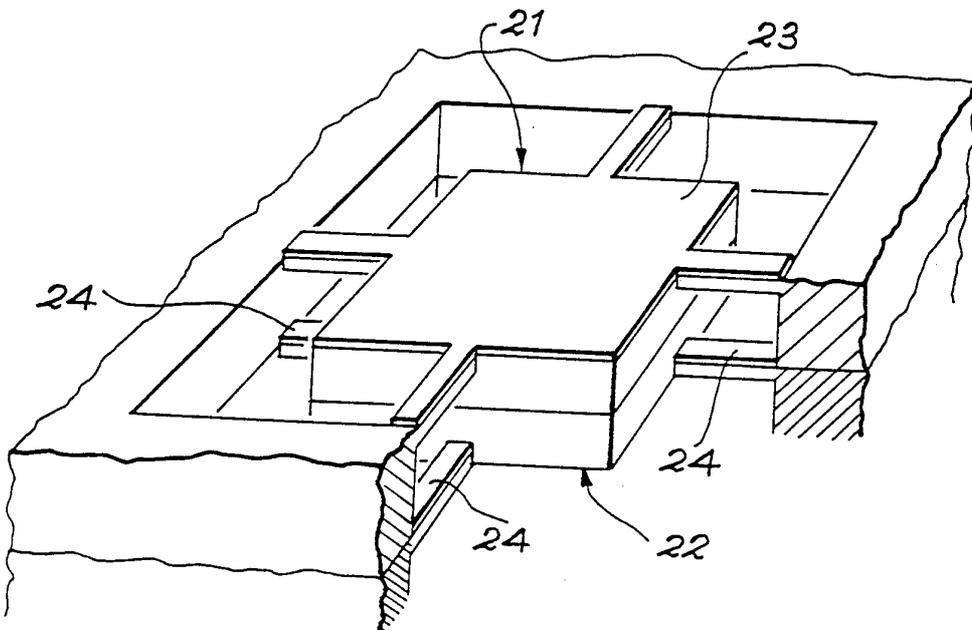


FIG. 3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

national Application No
PCT/FR 96/00904

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 G01P15/08

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)
IPC 6 G01P

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)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US,A,5 241 864 (ADDIE DAVID L ET AL) 7 September 1993 see column 1, line 10 - line 52 see column 3, line 40 - line 63 see column 4, line 38 - line 47; figures 6,7 ---	1,2, 10-12, 15,16
A	WO,A,89 12830 (TRITON TECHNOLOGIES INC) 28 December 1989 see page 11, line 6 - page 18, line 29; figures 1-12 ---	1,2,10, 19-21
A	US,A,5 129 983 (GREIFF PAUL) 14 July 1992 see column 4, line 22 - column 5, line 8; figure 4 --- -/--	1,2,4,5

Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"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
"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)	"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.
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 9 October 1996	Date of mailing of the international search report 25. 10. 96
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+ 31-70) 340-3016	Authorized officer Nessmann, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

national Application No
PCT/FR 96/00904

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SENSORS AND ACTUATORS A, vol. A37/38, 1 June 1993, pages 86-90, XP000411380 VERGOTE S ET AL: "A COMPOSITE MEMBRANE MOVEMENT DETECTOR WITH DEDICATED INTERFACE ELECTRONICS FOR ANIMAL ACTIVITY TRACKING" see page 86 ---	1,7,9,13
A	US,A,4 494 409 (KONDO HARUYOSHI ET AL) 22 January 1985 see column 6, line 66 - column 7, line 17 ---	6
A	US,A,5 209 117 (BENNETT PAUL T) 11 May 1993 see column 2, line 62 - column 3, line 19; figure 2 ---	9
A	DE,A,37 40 688 (MESSERSCHMITT BOELKOW BLOHM) 15 June 1989 see column 1, line 51 - line 68; figure 1 -----	17,18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

national Application No

PCT/FR 96/00904

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-5241864	07-09-93	EP-A- 0574697 JP-A- 6050986	22-12-93 25-02-94

WO-A-8912830	28-12-89	US-A- 4922756 CA-A- 1334798 DE-D- 68911294 DE-T- 68911294 EP-A- 0407479 JP-T- 3501887 US-A- 4932261 US-A- 5134881	08-05-90 21-03-95 20-01-94 07-07-94 16-01-91 25-04-91 12-06-90 04-08-92

US-A-5129983	14-07-92	NONE	

US-A-4494409	22-01-85	NONE	

US-A-5209117	11-05-93	NONE	

DE-A-3740688	15-06-89	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

ande Internationale No
PCT/FR 96/00904

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 6 G01P15/08

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)
CIB 6 G01P

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)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US,A,5 241 864 (ADDIE DAVID L ET AL) 7 Septembre 1993 voir colonne 1, ligne 10 - ligne 52 voir colonne 3, ligne 40 - ligne 63 voir colonne 4, ligne 38 - ligne 47; figures 6,7	1,2, 10-12, 15,16
A	WO,A,89 12830 (TRITON TECHNOLOGIES INC) 28 Décembre 1989 voir page 11, ligne 6 - page 18, ligne 29; figures 1-12	1,2,10, 19-21
A	US,A,5 129 983 (GREIFF PAUL) 14 Juillet 1992 voir colonne 4, ligne 22 - colonne 5, ligne 8; figure 4	1,2,4,5
	-/--	

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

9 Octobre 1996

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

25. 10. 96

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, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Nessmann, C

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

ande Internationale No
PCT/FR 96/00904

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	SENSORS AND ACTUATORS A, vol. A37/38, 1 Juin 1993, pages 86-90, XP000411380 VERGOTE S ET AL: "A COMPOSITE MEMBRANE MOVEMENT DETECTOR WITH DEDICATED INTERFACE ELECTRONICS FOR ANIMAL ACTIVITY TRACKING" voir page 86 ---	1,7,9,13
A	US,A,4 494 409 (KONDO HARUYOSHI ET AL) 22 Janvier 1985 voir colonne 6, ligne 66 - colonne 7, ligne 17 ---	6
A	US,A,5 209 117 (BENNETT PAUL T) 11 Mai 1993 voir colonne 2, ligne 62 - colonne 3, ligne 19; figure 2 ---	9
A	DE,A,37 40 688 (MESSERSCHMITT BOELKOW BLOHM) 15 Juin 1989 voir colonne 1, ligne 51 - ligne 68; figure 1 -----	17,18

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

ande Internationale No

PCT/FR 96/00904

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US-A-5241864	07-09-93	EP-A- 0574697	22-12-93
		JP-A- 6050986	25-02-94

WO-A-8912830	28-12-89	US-A- 4922756	08-05-90
		CA-A- 1334798	21-03-95
		DE-D- 68911294	20-01-94
		DE-T- 68911294	07-07-94
		EP-A- 0407479	16-01-91
		JP-T- 3501887	25-04-91
		US-A- 4932261	12-06-90
US-A- 5134881	04-08-92		

US-A-5129983	14-07-92	AUCUN	

US-A-4494409	22-01-85	AUCUN	

US-A-5209117	11-05-93	AUCUN	

DE-A-3740688	15-06-89	AUCUN	
