

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

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

**2 559 900**

②1 N° d'enregistrement national :

**85 02409**

⑤1 Int Cl<sup>4</sup> : G 01 L 9/12.

①2

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 20 février 1985.

③0 Priorité : FI, 21 février 1984, n° 840701.

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 34 du 23 août 1985.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : VAISALA OY, société de droit finlandais. — FI.

⑦2 Inventeur(s) : Heikki Kuisma.

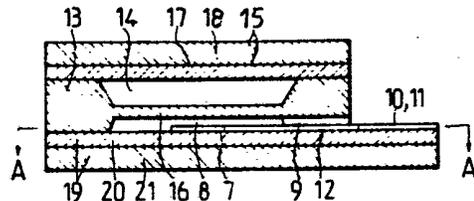
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Malémont.

⑤4 Détecteur de pression capacitif insensible aux variations de température.

⑤7 La présente invention concerne un détecteur de pression capacitif du type comprenant une plaquette de support 19, une plaque de condensateur fixe 7 placée sur la plaquette de support 19 et une plaquette de silicium 13 disposée sur la plaquette de support 19 de façon à entourer la plaque de condensateur fixe 7, la partie centrale de cette plaquette de silicium ayant été amincie pour former une membrane 16 qui joue le rôle d'une plaque de condensateur mobile ainsi que le fond d'une capsule à vide 14.

La plaquette de support est constituée d'une couche de silicium 21 et d'une couche de verre 20 fixée sur cette dernière et placée contre la plaquette de silicium 13 cette couche de verre étant nettement plus mince que la couche de silicium. Ainsi dans la plaquette stratifiée 20, 21 ainsi obtenue, la différence de dilatation thermique entre la plaquette stratifiée 20, 21 de la membrane de silicium 16 est nettement réduite grâce aux coefficients d'élasticité et aux coefficients de dilatation thermique des différentes couches 20 et 21.



FR 2 559 900 - A1

D

Détecteur de pression capacitif insensible aux variations de température

La présente invention se rapporte à un détecteur de pression capacitif du type comprenant une plaquette de support, une plaque de condensateur fixe placée sur la plaquette de support et une plaquette de silicium disposée sur la plaquette de support de façon à entourer la plaque de condensateur fixe, la partie centrale de cette plaquette de silicium ayant été amincie pour former une membrane qui joue le rôle d'une plaque de condensateur mobile ainsi que le fond d'une capsule vide.

Avant toutes choses, on se réfèrera, pour avoir connaissance de l'état antérieur de la technique, aux publications suivantes :

- 1) Brevet américain n° 4 386 453 (Gianchino et al.)
- 2) Brevet américain n° 4 257 274 (Shimada et al.)
- 3) Brevet américain n° 4 332 000 (Petersen)
- 4) Brevet américain n° 4 390 925 (Freud)
- 5) Brevet américain n° 3 397 278 (Pomerantz)
- 6) K.E. Bean, "Anisotropic Etching of Silicon", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. ED-25 (1978) n° 10, p. 1185-93.

Comme on le sait, on peut fabriquer des détecteurs de pression capacitifs miniaturisés à partir de silicium et de verre (voir les publications 1 à 4 susmentionnées). Pour ce faire, on peut traiter le silicium par un procédé de décapage chimigraphique (voir la publication 6), puis lui donner la forme voulue par un procédé de micro-lithographie et enfin assembler mutuellement les pièces de silicium et de verre au moyen d'un procédé électrostatique (voir la publication 5 ci-dessus).

Comme verres particulièrement appropriés pour une utilisation dans des détecteurs de ce type, on peut citer par exemple, le verre "Pyrex", type 7740, de Corning Glass ou le verre "Tempax" de Schott. Ces verres contiennent des ions de métaux alcalins qui favorisent la formation d'un joint électrostatique. Les dilatations thermiques de ces verres sont du même ordre de grandeur par rapport au silicium. A la température ambiante, le coefficient de dilatation thermique du silicium est de 2,5 ppm/°C et celui des verres susmentionnés est d'environ 3,2 ppm/°C. A des températures plus élevées, le silicium se dilate de façon non linéaire et son coefficient de dilatation thermique devient supérieur à celui du verre.

La différence entre les coefficients de dilatation thermique, qui est d'environ 0,7 ppm/°C, est le facteur le plus important qui affecte la dépendance vis-à-vis de la température des détecteurs de pression capacitifs construits à partir de silicium et de verre.

5 La figure 1 est une représentation schématique d'un détecteur de pression capacitif soumis à l'influence des variations de température. Une pièce de silicium 2, présentant une zone amincie 3 qui se déforme sous l'effet de la pression, est fixée sur une plaquette de verre 1, par mise en oeuvre d'un procédé électrostatique (voir la publication 5 susmentionnée).  
10 La différence de pression qui apparaît entre les deux côtés de la zone 3 provoque une déflexion de cette dernière et modifie la distance qui la sépare d'une plaque de condensateur fixe 4 reposant sur la plaquette de verre 1, ainsi que la capacité électrique définie entre elles.

15 Si les coefficients de dilatation thermique du silicium et du verre ont des valeurs différentes, une force horizontale F s'exerce sur la zone 3 sensible à la pression, quand la température augmente. Si le verre se dilate plus que le silicium, la force F tend à réduire l'amplitude de la déflexion provoquée par la pression P sur la zone 3. Si en l'absence de cette force F, la sensibilité à la pression de la déflexion de la membrane est  $S_0$ ,  
20 elle sera, lors de l'application de la force active F :

$$S = \frac{S_0}{1 + K(a/h)^2 \epsilon_{Si}}, \quad (1)$$

25 a étant la longueur du côté de la membrane 3, dans le cas où celle-ci est carrée, ou le diamètre de cette membrane, dans le cas où elle est circulaire, K étant un coefficient égal à 0,27 si la membrane 3 est carrée ou à 0,2 si elle est circulaire,  $\epsilon_{Si}$  étant l'amplitude de la déformation ou de l'allongement provoqué par la force F sur la membrane de silicium 3 et h représentant  
30 l'épaisseur de cette membrane.

Si la pièce en verre 1 est bien plus épaisse que la pièce de silicium 2, l'équation suivante :

$$\epsilon_{Si} = \Delta\alpha\Delta t, \quad (2)$$

3

dans laquelle  $\Delta\alpha$  est la différence entre les coefficients de dilatation thermique du silicium et du verre et  $\Delta t$  est la variation de température, se trouve approximativement vérifiée.

5  $S_0$  et  $\epsilon_{Si}$  sont dépendants de la température. La dépendance vis-à-vis de la température de  $S_0$  résulte de la variation en fonction de la température des coefficients d'élasticité du silicium. Le coefficient de température de la sensibilité S est :

$$10 \quad \frac{1}{S} \frac{\partial S}{\partial T} = - \frac{K(a/h)^2 \Delta\alpha}{1 + K(a/h)^2 \epsilon_{Si}} + \frac{1}{S_0} \frac{\partial S_0}{\partial T} \quad (3)$$

15 Si le silicium est au niveau (100),  $(1/S_0) (\partial S_0 / \partial T) \approx 70$  ppm/°C. Si l'on fait en sorte que  $a/h = 20$ , on obtient alors  $(1/S) (\partial S / \partial T) \approx 0$  ce qui signifie que les phénomènes se neutralisent mutuellement. Toutefois, le rapport  $a/h = 20$  ne convient que pour des détecteurs mesurant des pressions relativement élevées (de l'ordre de  $50 \cdot 10^5$  Pa).

20 Si la pression à mesurer est inférieure à  $10^5$  Pa, un rapport approprié est  $a/h \gtrsim 80$ . Il en résulte un coefficient de température  $\gtrsim 1000$  ppm/°C.

25 Ainsi, il devrait être possible de réduire la différence  $\Delta\alpha$  entre les coefficients de dilatation thermique, afin que des détecteurs, conçus pour être utilisés dans des plages de basses pressions, soient stables vis-à-vis des variations de température. Une qualité de verre appropriée dont le coefficient de dilatation thermique serait très proche de celui du silicium, n'est toutefois pas disponible dans le commerce. La dilatation thermique de la plaquette de support 1 peut cependant être amenée au niveau voulu grâce à la structure illustrée par la figure 2.

30 Le but de la présente invention est d'éliminer l'inconvénient précité par la réalisation d'un détecteur de pression capacitif dans lequel la dilatation thermique de la plaquette de support puisse être amenée au niveau voulu.

L'invention repose sur les principes suivants :

35 - le coefficient de température de la sensibilité d'un détecteur de pression capacitif peut être minimalisé quand la différence de dilatation thermique entre la plaquette de support isolante

et la membrane de silicium sensible à la pression est ajustée à un niveau tel qu'elle annule la dépendance vis-à-vis de la température des propriétés d'élasticité du silicium ;

- 5 - la plaquette de support isolante est constituée de couches de verre et de silicium jointes l'une à l'autre ;
- le coefficient de dilatation thermique de la plaquette de support de structure stratifiée peut être amené au niveau voulu par un choix judicieux des épaisseurs des couches de silicium et de verre ;
- 10 - dans la structure stratifiée, le silicium et le verre sont joints l'un à l'autre par un procédé électrostatique (publication 5 susmentionnée) ; et
- l'épaisseur de la couche de verre est de  $50 \mu\text{m}$  à 1 mm.

15 Plus précisément, le détecteur de pression capacitif conforme à l'invention se caractérise en ce que la plaquette de support est constituée d'une couche de silicium et d'une couche de verre fixée sur ladite couche de silicium et placée contre la plaquette de silicium, la couche de verre étant nettement plus mince que la couche de silicium de sorte que, dans la plaquette stratifiée ainsi obtenue, la différence de dilatation thermique  
20 entre la plaquette stratifiée et la membrane de silicium est nettement réduite grâce aux coefficients d'élasticité et aux coefficients de dilatation thermique des différentes couches.

Par la mise en oeuvre de l'invention, des avantages remarquables sont obtenus. Grâce à l'invention, il est en effet possible de régler, à la  
25 valeur voulue, le coefficient de température de la plaquette de support isolante qui se trouve à l'intérieur du détecteur de pression capacitif.

La présente invention va maintenant être décrite plus en détails à l'aide de deux modes de réalisation exemplifiés, sans aucun caractère limitatif, en référence aux figures 2 à 4 du dessin annexé.

30 La figure 2 est une vue en coupe latérale d'un premier mode de réalisation du détecteur de pression capacitif conforme à l'invention.

La figure 3 est une vue en coupe latérale d'un deuxième mode de réalisation de ce détecteur.

35 La figure 4 est une vue en coupe effectuée suivant la ligne A-A de la figure 3.

Dans le détecteur de pression capacitif représenté sur la figure 2, la pièce en verre relativement épaisse 1 du détecteur de la figure 1 a été remplacée par une mince plaquette de verre 5 et une plaquette de silicium 6 réunies l'une à l'autre. Les plaquettes 5 et 6 peuvent être mutuellement  
5 assemblées, avec les meilleurs résultats, grâce au procédé électrostatique spécifié dans la publication 5 susmentionnée.

Quand la plaquette de silicium 6 est épaisse par comparaison avec la plaquette de verre, la déflexion peut être négligée, et le coefficient de dilatation thermique de la structure stratifiée est donné par l'équation  
10 suivante :

$$\alpha = \frac{\alpha_2 + mn\alpha_1}{1 - mn} \quad (4)$$

15 dans laquelle  $\alpha_2$  est le coefficient de dilatation thermique du silicium et  $\alpha_1$  celui du verre,  $m$  est le rapport entre les épaisseurs du verre et du silicium, et  $n$  est le rapport entre les coefficients d'élasticité du verre et du silicium.

La différence entre le coefficient de température du silicium  
20 et celui de la structure stratifiée (5, 6) est

$$\Delta\alpha = \frac{mn(\alpha_1 - \alpha_2)}{1 + mn} \quad (5)$$

25

Dans le cas du verre et du silicium,  $n = 0,36$ . Si l'on choisit  $m = 0,5$ , on obtient alors  $\Delta\alpha \approx 0,15 (\alpha_1 - \alpha_2)$ . Ainsi, il est possible de réduire notablement l'écart entre les coefficients de dilatation thermique du silicium et du verre. En choisissant judicieusement le rapport  $m$  entre  
30 l'épaisseur de la plaquette de verre et celle de la plaquette de silicium, il est possible de parvenir à ce que la dépendance vis-à-vis de la température de la différence entre les coefficients de dilatation thermique et celle des coefficients d'élasticité s'annulent mutuellement.

Les principes de l'invention peuvent également être appliqués,  
35 par exemple, à un détecteur de pression absolue dont la structure est illus-

trée par les figures 3 et 4. Dans une pièce de silicium 13, a été usinée une cavité 14, destinée à former une capsule à vide, ainsi qu'un renforcement 8 ménageant l'espace délimité par les plaques d'un condensateur sensible à la pression. La capsule à vide est obturée par une plaquette 15 qui est formée d'une couche relativement mince de verre 17 et d'une couche plus épaisse de silicium 18. Les couches 17 et 18 ont tout d'abord été jointes l'une à l'autre par un procédé électrostatique (voir la publication 5 susmentionnée), puis la structure stratifiée 15 ainsi obtenue a été fixée sous vide sur la pièce de silicium 13 selon le même procédé.

Une mince membrane de silicium 16, appartenant à la pièce de silicium 13, est disposée entre la capsule à vide 14 et l'espace 8 délimité par les plaques de condensateur. La membrane de silicium 16 subit une déflexion en direction de la capsule à vide 14, sous l'effet de la pression externe. La pièce de silicium 13 est fixée sur une pièce de support 19. La surface de la pièce de support 19 est formée d'un matériau isolant et, sur celui-ci, a été déposé un mince film métallique dans lequel une plaque de condensateur fixe 7, une bande conductrice 12 et des zones 10 et 11 constituant des bornes, ont été dessinées. Un condensateur sensible à la pression est ainsi formé par la membrane de silicium flexible 16 et la plaque 7 obtenue par dépôt métallique. La capacité électrique du détecteur peut être mesurée entre les bornes 10 et 11. La borne 11 est en contact électrique avec la pièce de silicium 13, tandis que la bande conductrice 12, qui s'étend le long d'une gorge 9, réalise une liaison conductrice entre la borne 10 et la plaque de condensateur 7. La pression à mesurer peut également agir sur la membrane de silicium 16, à travers la gorge 9. La pièce de support 19 est constituée d'une mince couche de verre 20 et d'une couche de silicium 21 qui ont été solidarisiées l'une à l'autre par un procédé électrostatique (spécifié dans la publication 5 susmentionnée). La pièce de silicium 13 est fixée à la plaquette de support 19 selon le même procédé.

La dépendance vis-à-vis de la température du détecteur de pression qui vient d'être décrit, est bien moindre que celle d'un détecteur dans lequel la plaquette 15 obturant la capsule à vide 14 et la plaquette de support 19 sont toutes deux exclusivement réalisées en verre. Etant donné que la structure du détecteur de pression présente une symétrie, les couples de forces fonction de la température, qui apparaissent en raison de la struc-

ture stratifiée des plaquettes 15 et 19, s'annulent mutuellement.

Tout en restant dans le cadre de la présente invention, il est tout à fait possible de concevoir des solutions différentes de celles qui sont matérialisées par les modes de réalisation exemplifiés ci-dessus. Ainsi, comme plaquette de support, on peut utiliser en variante une plaquette de silicium sur laquelle on aurait déposé un film isolant. Toutefois, ce film doit être épais afin d'éviter l'apparition de capacités parasites et le dépôt d'un film épais est une opération longue et coûteuse. La fixation d'une plaquette de verre polie au moyen du procédé électrostatique (spécifié dans la publication 5 susmentionnée) est par contre une opération rapide et peu coûteuse.

Les dimensions des composants du mode de réalisation, représenté sur les figures 3 et 4, du détecteur de pression capacitif conforme à l'invention sont les suivantes ( les plages de dimensions les plus courantes étant indiquées entre parenthèses ) :

Plaquettes de verre 17 et 20

largeur : 4 mm ( 2 à 6 mm )

épaisseur:  $100\mu\text{m}$  ( 10 à  $200\mu\text{m}$  )

Plaquettes de silicium 18 et 21

largeur : 4 mm ( 2 à 6 mm )

épaisseur: 1 mm ( 0,5 à 1,5 mm )

Plaquette de silicium 13

épaisseur de la plaquette : 0,4 mm ( 0,2 à 0,5 mm )

épaisseur de la membrane : 5 à  $200\mu\text{m}$

( fonction de la pression )

Plaque de condensateur fixe 7 et bornes 10 et 11

épaisseur :  $0,2\mu\text{m}$  ( 0,1 à  $1,0\mu\text{m}$  )

Espace 8 entre les plaques du condensateur :

largeur :  $4\mu\text{m}$  ( 1 à  $10\mu\text{m}$  )

REVENDEICATIONS

1. Détecteur de pression capacitif du type comprenant une plaquette de support 5, 6;19), une plaque de condensateur fixe (4;7) placée sur la plaquette de support (5,6;19) et une plaquette de silicium (2;13) disposée sur la plaquette de support (5,6;19) de façon à entourer la plaque de condensateur fixe (4;7), la partie centrale de cette plaquette de silicium ayant été amincie pour former une membrane (3;16) qui joue le rôle d'une plaque de condensateur mobile ainsi que le fond d'une capsule à vide (14), caractérisé en ce que la plaquette de support est constituée d'une couche de silicium (6;21) et d'une couche de verre (5;20) fixée sur ladite couche de silicium et placée contre la plaquette de silicium (2;13), la couche de verre étant nettement plus mince que la couche de silicium de sorte que, dans la plaquette stratifiée (5,6;20;21) ainsi obtenue, la différence de dilatation thermique entre la plaquette stratifiée (5,6;20,21) et la membrane de silicium (3;16) est nettement réduite grâce aux coefficients d'électicité et aux coefficients de dilatation thermique des différentes couches (5 et 6; 20 et 21).

2. Détecteur selon la revendication 1 qui, quand il est destiné à être utilisé comme détecteur de pression absolue, comprend une plaquette de recouvrement (15) disposée sur la plaquette de silicium (13) pour obturer la capsule à vide (14), caractérisé en ce que cette plaquette de recouvrement est également formée d'une couche de silicium (18) et d'une couche de verre (17) fixée à ladite couche de silicium et placée contre la plaquette de silicium (13), ladite couche de verre (17) étant nettement plus mince que la couche de silicium (18) (figures 3 et 4).

3. Détecteur selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que, dans chaque plaquette stratifiée (5,6;20,21;17,18), la couche de silicium (6;21,18) est reliée à la couche de verre (5;20,17) par mise en oeuvre d'un procédé électro-tique.

4. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que dans la plaquette stratifiée (5,6;20,21; 17,18), le rapport entre l'épaisseur de la couche de verre et celle de la couche de silicium est choisi de telle façon que l'effet de la différence entre les dilatations thermiques sur le comportement vis-à-vis de la température de la sensibilité à la pression de la membrane (3;16), soit sensiblement identique, mais de sens opposé, à l'effet de la dépendance vis-à-vis de la température du coefficient d'élasticité du silicium.

Pl. UNIQUE

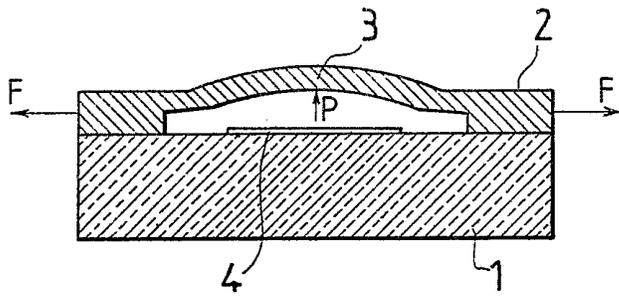


Fig.1

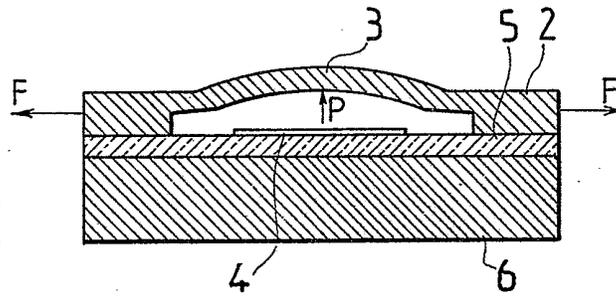


Fig.2

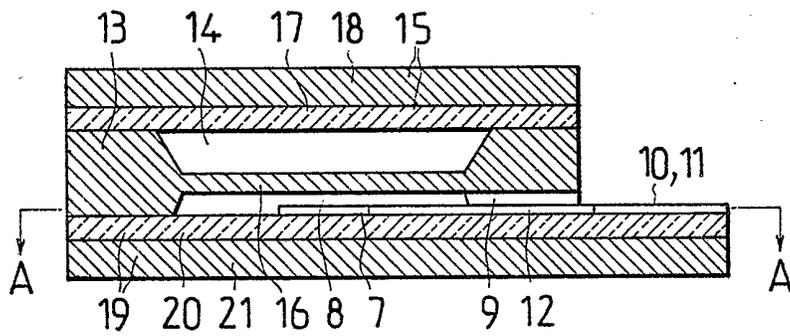


Fig.3

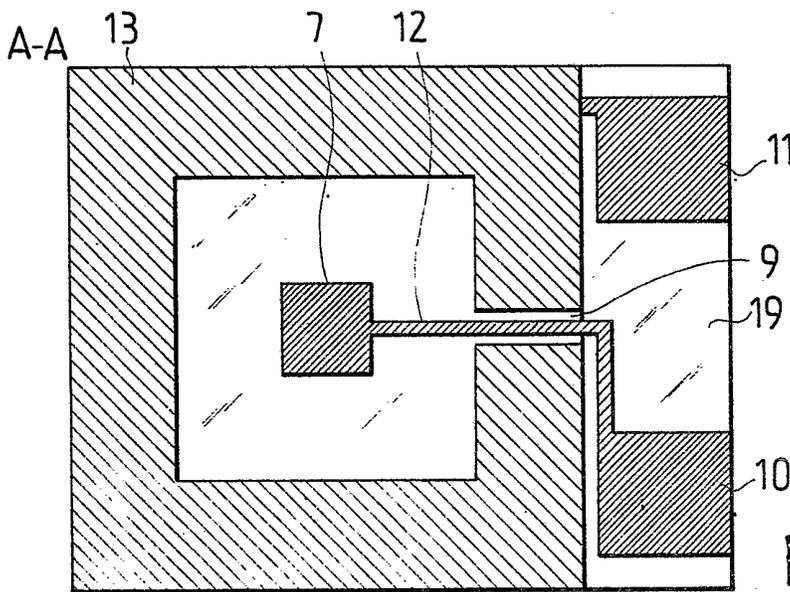


Fig.4