

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

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

2 947 812

21) N° d'enregistrement national : 09 54684

51) Int Cl<sup>8</sup> : B 81 B 1/00 (2006.01), B 81 C 1/00

12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 07.07.09.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 14.01.11 Bulletin 11/02.

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 — FR.

72) Inventeur(s) : PORNIN JEAN-LOUIS et JACQUET FABRICE.

73) Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE.

74) Mandataire(s) : BREVALEX.

54) CAVITE ETANCHE ET PROCEDE DE REALISATION D'UNE TELLE CAVITE ETANCHE.

57) Procédé de réalisation d'une cavité étanche (120), comportant les étapes suivantes:

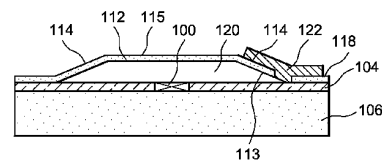
a) réalisation d'une couche sacrificielle sur une partie d'une face d'un substrat (104, 106),

b) réalisation d'une couche capot (112) recouvrant la couche sacrificielle et comportant des flancs latéraux (114) formant, avec la partie de la face du substrat recouverte par la couche sacrificielle, un angle inférieur à 90°,

c) réalisation d'un trou à travers un des flancs latéraux de la couche capot tels qu'une distance maximale entre ladite face du substrat et un bord du trou se trouvant du côté d'une face (113) de la couche capot disposée contre la couche sacrificielle soit inférieure à environ 3 µm,

d) élimination de la couche sacrificielle à travers le trou, l'espace libéré par cette élimination formant la cavité,

e) dépôt d'au moins un matériau (122) bouchant de manière étanche le trou.



FR 2 947 812 - A1



**CAVITE ETANCHE ET PROCEDE DE REALISATION D'UNE TELLE  
CAVITE ETANCHE**

**DESCRIPTION**

**5    DOMAINE TECHNIQUE**

L'invention concerne la réalisation d'une cavité étanche vis-à-vis de fluides et/ou de gaz, par exemple mise en œuvre pour une encapsulation d'un dispositif microélectronique, et plus particulièrement  
10 une encapsulation sous vide en couches minces de dispositifs de type MEMS (microsystème électromécanique) ou MEOMS (microsystème électro-optico-mécanique), ou encore de type NEMS (nanosystème électromécanique). Dans la suite de ce document, le  
15 terme « MEMS » sera utilisé pour désigner un dispositif de type MEMS, NEMS ou MEOMS.

L'invention s'applique également pour la réalisation d'une cavité formant un canal de circulation de fluides liquides ou gazeux.

**20   ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE**

La technique d'encapsulation (« packaging ») en couches minces, également appelée PCM, est parfaitement adaptée pour réaliser une encapsulation de dispositifs microélectroniques de type  
25 MEMS, par exemple des capteurs, fonctionnant à pression atmosphérique. Lors de la mise en œuvre de ce type d'encapsulation, on recouvre le dispositif MEMS d'une couche sacrificielle, cette couche sacrificielle étant ensuite recouverte par une couche mince d'épaisseur

comprise entre environ 1  $\mu\text{m}$  et 5  $\mu\text{m}$ , destinée à former un capot. Des trous de libération sont ensuite réalisés à travers le sommet du capot, formant ainsi des accès pour graver la couche sacrificielle.

5                    On obtient ainsi une cavité dans laquelle le dispositif MEMS est encapsulé. Le bouchage des trous de libération se fait alors par un dépôt de polymère venant boucher les trous sans passer à travers les trous.

10                   De plus en plus de dispositifs MEMS, par exemple des accéléromètres, des gyromètres ou des détecteurs optiques, fonctionnent sous pression réduite ou sous vide, c'est-à-dire à des pressions comprises entre environ 900 mbar et  $1.10^{-3}$  mbar.

15                   Dans ce cas, le bouchage des trous de libération par un dépôt de polymère est incompatible avec la réalisation d'une cavité à pression réduite ou sous vide.

                    Il est connu de mettre en œuvre des  
20                    procédés d'encapsulation sous vide dans lesquels le bouchage des trous de libération est obtenu par fusion d'alliage sur une surface mouillable autour des trous de libération, formant des billes à base de cet alliage au-dessus de ces trous de libération. Ce procédé  
25                    nécessite toutefois la mise en œuvre de plusieurs étapes technologiques. De plus, la refusion de l'alliage sous vide impose une préparation de cet alliage complexe à mettre en œuvre si on veut éviter la présence de gaz résiduels agressifs dans la cavité ou  
30                    incompatibles avec la pression souhaitée.

Si l'on souhaite boucher les trous de libération par un dépôt sous vide ou sous pression réduite d'une couche de bouchage à base d'un matériau adapté tel qu'un diélectrique ou un métal, de la matière issue de ce dépôt risque de traverser les trous et venir se déposer sur la partie active, c'est-à-dire sur le dispositif MEMS, ce qui pourrait perturber ou empêcher le fonctionnement du dispositif MEMS.

Pour résoudre ce problème, le document WO 2006/081636 A1 décrit un procédé d'encapsulation dans lequel le capot est formé par une couche poreuse, les pores formant des trous de libération très fins (diamètres des trous inférieurs à environ 500 nm) avec un rapport profondeur / diamètre important.

Ce procédé permet d'éviter que de la matière issue d'une couche de bouchage formée au-dessus du capot ne se dépose sur le dispositif MEMS.

Il est également connu de déporter les trous de libération vers l'extérieur de la cavité. Dans ce cas, la hauteur des trous à boucher est importante car celle-ci est égale à la hauteur de la cavité.

Il est également connu de définir des canaux de libération de faible épaisseur sur les côtés de la cavité principale. Dans ce cas, lorsque la hauteur à boucher est faible, la vitesse de libération est alors fortement réduite.

Il est également connu de réaliser les trous de libération sous forme de chicanes grâce à la réalisation d'un capot à double parois, comme cela est par exemple décrit dans le document US 2008/0079142 A1.

Ces procédés ont toutefois pour inconvénients de nécessiter un espace important, de rendre plus complexe, et donc plus cher, le procédé d'encapsulation, et/ou encore de limiter fortement la  
5 vitesse du bouchage et les possibilités de libération de la couche sacrificielle.

### **EXPOSÉ DE L'INVENTION**

Un but de la présente invention est de proposer un procédé de réalisation de cavité étanche,  
10 ou hermétique, vis-à-vis d'au moins un fluide et/ou d'un gaz, pouvant être mis en œuvre pour réaliser par exemple une encapsulation d'un dispositif microélectronique, par exemple de type MEMS, qui soit compatible pour former une cavité étanche sous pression  
15 réduite ou sous vide, et qui ne présente pas les inconvénients des procédés d'encapsulation de l'art antérieur précédemment décrits.

Pour cela, la présente invention propose un procédé de réalisation d'au moins une cavité étanche,  
20 ou hermétique, comportant au moins les étapes suivantes :

- a) réalisation d'une couche sacrificielle sur une partie d'une face d'un substrat,
- b) réalisation d'une couche capot  
25 recouvrant au moins la couche sacrificielle et comportant des flancs latéraux formant, avec la partie de la face du substrat recouverte par la couche sacrificielle, au moins un angle inférieur à  $90^\circ$ ,
- c) réalisation d'au moins un trou à travers  
30 au moins un des flancs latéraux de la couche capot tel

qu'une distance maximale, selon un axe perpendiculaire à ladite face du substrat, entre ladite face du substrat et au moins un bord du trou se trouvant du côté d'une face de la couche capot disposée contre la  
5 couche sacrificielle, soit inférieure à environ 3  $\mu\text{m}$ ,

d) élimination de la couche sacrificielle à travers le trou, l'espace libéré par cette élimination formant la cavité,

e) dépôt d'au moins un matériau bouchant de  
10 manière étanche le trou.

Le terme « substrat » est utilisé ici au sens large et peut désigner une couche seule ou un empilement de plusieurs couches, structurées ou non, par exemple dans le cas d'un substrat SOI (semi-conducteur sur isolant) où la couche supérieure de silicium comporterait la face sur laquelle la couche  
15 sacrificielle est réalisée.

Le procédé selon l'invention permet de réaliser un ou plusieurs trous de libération en ne  
20 faisant appel qu'à un seul niveau de photolithographie, contrairement aux trous de libération réalisés sous forme de chicanes dans un capot à double parois ou de canaux déportés.

De plus, en choisissant la hauteur du ou  
25 des trous de libération, c'est-à-dire la distance, selon un axe perpendiculaire à la face du substrat, entre ladite face du substrat et le plus haut point du ou des trous se trouvant du côté de la face de la couche capot disposée contre la couche sacrificielle,  
30 correspondant à la distance maximale, selon un axe perpendiculaire à ladite face du substrat, entre ladite

face du substrat et au moins un bord du ou des trous se trouvant du côté d'une face de la couche capot disposée contre la couche sacrificielle, il est possible de choisir la vitesse de libération souhaitée, c'est-à-dire de la vitesse à laquelle est éliminée la couche sacrificielle, en fonction de la technique de bouchage du ou des trous de libération utilisée. La hauteur souhaitée peut par exemple être obtenue en choisissant l'angle formé par les flancs latéraux, ou parois latérales, de la couche capot, la position du ou des trous de libération sur les flancs latéraux de la couche capot ou encore les dimensions et/ou la forme du ou des trous de libération. Ainsi, il est possible d'éliminer rapidement la couche sacrificielle en réalisant un ou plusieurs trous comportant des sections de passage importantes et/ou en réalisant un nombre de trous importants.

Ce procédé offre également une liberté de positionnement du ou des trous de libération sans que cela soit préjudiciable par la suite lors du bouchage du ou des trous.

De plus, contrairement aux procédés de l'art antérieur faisant appel à des canaux déportés par rapport à la cavité pour former des accès à une couche sacrificielle, le procédé selon l'invention permet d'avoir un angle solide efficace du passage des gaz qui augmente dès que l'élimination de la couche sacrificielle commence.

Ce procédé s'intègre parfaitement dans l'optique d'une encapsulation au niveau du wafer (plaquette comportant plusieurs dispositifs

microélectroniques) permettant la mise en œuvre d'une encapsulation collective des dispositifs et une faible consommation de surface de semi-conducteur du wafer.

L'étape c) de réalisation du trou peut correspondre à une étape de réalisation d'au moins un trou à travers les flancs latéraux de la couche capot, une partie supérieure, ou sommitale, de la couche capot recouvrant la couche sacrificielle pouvant être conservée sans trou.

La valeur de l'angle formé par les flancs latéraux de la couche capot avec la partie de la face du substrat recouverte par la couche sacrificielle peut être comprise entre environ  $5^\circ$  et  $30^\circ$ .

Dans une variante, l'épaisseur de la couche sacrificielle peut être comprise entre environ  $0,5 \mu\text{m}$  et  $1 \mu\text{m}$  et la valeur de l'angle formé par les flancs latéraux de la couche capot avec la partie de la face du substrat recouverte par la couche sacrificielle peut être comprise entre environ  $45^\circ$  et  $90^\circ$ .

La distance maximale, selon un axe perpendiculaire à ladite face du substrat, entre ladite face du substrat et les bords du trou peut être comprise entre environ  $1 \mu\text{m}$  et  $3 \mu\text{m}$ , ou entre environ  $1 \mu\text{m}$  et  $5 \mu\text{m}$ .

L'étape b) de réalisation de la couche capot peut correspondre à la mise en œuvre, après l'étape a) de réalisation de la couche sacrificielle, d'une mise en forme, ou structuration, de la couche sacrificielle telle que des flancs latéraux de la couche sacrificielle forment, avec la partie de la face du substrat recouverte par la couche sacrificielle,



l'angle inférieur à 90°, puis à un dépôt conforme de la couche capot au moins sur la couche sacrificielle.

La couche capot réalisée à l'étape b) peut recouvrir également une partie de la face du substrat qui est non recouverte par la couche sacrificielle et adjacente à la partie de la face du substrat recouverte par la couche sacrificielle, le trou réalisé à l'étape c) pouvant traverser également une partie de la couche capot déposée sur la partie de la face du substrat qui est non recouverte par la couche sacrificielle.

Le trou réalisés à l'étape c) peut comporter, dans un plan de la face de la couche capot disposée contre la couche sacrificielle, une section de dimensions inférieures à celles d'une section du trou dans un plan d'une seconde face de la couche capot opposée à ladite face disposée contre la couche sacrificielle.

L'étape e) de dépôt du matériau bouchant de manière étanche, ou hermétiquement, le trou peut être mise en œuvre sous pression réduite ou sous vide, c'est-à-dire à des pressions comprises entre environ  $1.10^{-3}$  mbar et 900 mbar.

L'étape e) de dépôt du matériau bouchant de manière étanche le trou peut comporter la mise en œuvre d'un premier dépôt d'au moins un premier matériau bouchant partiellement le trou, et d'un second dépôt d'au moins un second matériau recouvrant au moins en partie le premier matériau et bouchant de manière étanche le trou. Ainsi, il est possible d'utiliser plusieurs matériaux différents pour fermer de manière

étanche la cavité, par exemple sous très basse pression (par exemple inférieure à environ  $1.10^{-3}$  mbar.

Le trou réalisé à l'étape c) peut comporter, dans un plan d'une face de la couche capot, une section de forme sensiblement circulaire ou oblongue. Dans le cas d'une section de forme oblongue, le rapport longueur/largeur de la section (la longueur correspondant à la dimension parallèle à un axe appartenant au dit plan de la face de la couche capot tel que la distance entre cet axe et le substrat est sensiblement constante) peut être choisi relativement grand, c'est à dire supérieur à 1 et par exemple compris entre environ 1 et 15, de façon à créer des lumières, ou sections de passage, suffisamment importantes pour permettre d'optimiser la vitesse de libération, c'est-à-dire la vitesse d'élimination de la couche sacrificielle, sans augmenter la hauteur du trou de libération à boucher par rapport au substrat.

Préalablement à l'étape a), un dispositif microélectronique peut être réalisé sur ou dans ladite partie de la face du substrat destinée à être recouverte par la couche sacrificielle, ledit dispositif microélectronique pouvant être encapsulé de manière étanche dans la cavité après la mise en œuvre de l'étape e) de dépôt du matériau bouchant de manière étanche le trou.

Le dispositif microélectronique peut être de type MEMS.

Dans une variante, la cavité peut former un canal de circulation de fluides liquides ou gazeux.

L'invention concerne également une cavité étanche formée par au moins une couche capot disposée sur une face d'un substrat, la couche capot comportant des flancs latéraux formant, avec une partie de la face du substrat disposée dans la cavité, au moins un angle inférieur à  $90^\circ$ , au moins un trou étant réalisé à travers au moins un des flancs latéraux de la couche capot tel qu'une distance maximale, selon un axe perpendiculaire à ladite face du substrat, entre ladite face du substrat et au moins un bord du trou se trouvant du côté d'une face de la couche capot formant une paroi de la cavité, soit inférieure à environ  $3\ \mu\text{m}$ , au moins un matériau bouchant de manière étanche le trou.

Une partie sommitale de la couche capot peut être conservée sans trou.

La valeur de l'angle formé par les flancs latéraux de la couche capot avec la partie de la face du substrat disposée dans la cavité peut être comprise entre environ  $5^\circ$  et  $30^\circ$ .

Dans une variante, une distance entre la partie sommitale de la couche capot et le substrat peut être comprise entre environ  $0,5\ \mu\text{m}$  et  $1\ \mu\text{m}$ , et la valeur de l'angle formé par les flancs latéraux de la couche capot avec la partie de la face du substrat disposée dans la cavité peut être comprise entre environ  $45^\circ$  et  $90^\circ$ .

La couche capot peut recouvrir également au moins une partie de la face du substrat qui n'est pas disposée dans la cavité et adjacente à la partie de la face du substrat disposée dans la cavité, le trou

pouvant traverser également une partie de la couche capot déposée sur la partie de la face du substrat qui est n'est pas disposée dans la cavité.

Au moins un dispositif microélectronique  
5 peut être encapsulé de manière étanche dans la cavité.

#### **BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS**

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

- les figures 1 à 9 représentent les étapes d'un procédé de réalisation d'une cavité hermétique, objet de la présente invention, selon un mode de  
15 réalisation particulier.

Des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures décrites ci-après portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre.

20 Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

Les différentes possibilités (variantes et  
25 modes de réalisation) doivent être comprises comme n'étant pas exclusives les unes des autres et peuvent se combiner entre elles.

**EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

On se réfère tout d'abord aux figures 1 à 9 qui représentent les étapes d'un procédé de réalisation d'une cavité hermétique 120 selon un mode de réalisation particulier. Ce mode de réalisation correspond à un procédé d'encapsulation d'un dispositif microélectronique 100, par exemple de type MEMS tel qu'un accéléromètre, un gyromètre ou un détecteur optique, dans cette cavité 120.

Comme représenté sur la figure 1, on réalise tout d'abord, par exemple par dépôt et gravure, une couche sacrificielle 102 recouvrant le dispositif 100. Dans ce mode de réalisation particulier, la couche sacrificielle 102 est à base de polymère et a une épaisseur (dimension selon l'axe y représenté sur la figure 1) pouvant être comprise entre environ 1  $\mu\text{m}$  et 10  $\mu\text{m}$ . La couche sacrificielle 102 recouvre une partie 107 d'une face 108 d'une couche active 104, par exemple à base de semi-conducteur tel que du silicium, dans laquelle le dispositif 100 est réalisé, cette couche active 104 étant disposée sur une couche diélectrique 106.

La couche sacrificielle 102 est ensuite mise en forme, ou structurée, par exemple par la mise en œuvre d'un traitement thermique sous forme de recuits avec des paliers à différentes températures. Ce traitement thermique correspond par exemple à une montée en température depuis la température ambiante jusqu'à une température égale à environ 300°C. Des paliers de maintien à température d'une durée égale à environ 15 mn sont par exemple réalisés tous les 100°C. L'ensemble est ensuite ramené linéairement à

température ambiante, sans palier. Cette mise en forme peut également être réalisée par une gravure en pente de la couche sacrificielle 102, ou encore, lorsque la couche sacrificielle 102 est à base d'un matériau photosensible, par une insolation avec un « masque à 5 niveaux de gris » permettant de réaliser une insolation de la couche sacrificielle 102 telle que, lorsque la couche sacrificielle 102 est à base de résine positive, le flux lumineux atteignant la couche sacrificielle 102 diminue lorsque la distance depuis le bord de la couche 10 sacrificielle 102 augmente.

Des flancs latéraux 110 de cette couche sacrificielle 102 forment, avec la surface sur laquelle est disposée la couche sacrificielle 102, c'est-à-dire 15 ici la partie 107 de la face 108 de la couche active 104, un angle  $\alpha$  inférieur à  $90^\circ$  (voir figure 2).

La couche sacrificielle 102 est par exemple structurée afin que l'angle  $\alpha$  soit compris entre environ  $5^\circ$  et  $30^\circ$ .

20 Le volume de la couche sacrificielle 102 ainsi structurée correspond sensiblement au volume de la cavité dans laquelle le dispositif 100 sera encapsulé à la fin de ce procédé.

Comme représenté sur la figure 3, on 25 réalise un dépôt conforme d'un matériau formant une couche capot 112 destinée à former le capot de la cavité dans laquelle le dispositif 100 est destiné à être encapsulé.

La couche capot 112 recouvre ainsi la 30 couche sacrificielle 102 ainsi que des parties 109 de la couche active 104 non recouvertes par la couche

sacrificielle 102. Ainsi, la couche capot 112 comporte également des flancs latéraux 114 formant, avec la partie 107 de la face 108 de la couche active 104 sur laquelle est disposée la couche sacrificielle 102, un angle  $\alpha$  inférieur à  $90^\circ$ , et par exemple compris entre environ  $5^\circ$  et  $30^\circ$ .

Cette couche capot 112 est par exemple à base d'un matériau diélectrique tel que du  $\text{SiO}_2$  ou du  $\text{SiN}$ , mais peut également être à base d'un matériau semi-conducteur tel que du silicium ou encore d'un métal.

L'épaisseur de la couche capot 112 est par exemple comprise entre environ  $1\ \mu\text{m}$  et  $5\ \mu\text{m}$ .

On réalise ensuite à travers la couche capot 112 un ou plusieurs trous 116, formant des accès à la couche sacrificielle 102 (voir figure 4A, sur laquelle un seul trou 116 est représenté).

Ces trous de libération 116 sont réalisés au niveau de la périphérie de la couche sacrificielle 102 afin d'accéder aux flancs latéraux 110 de la couche sacrificielle 102. Aucun trou de libération n'est réalisé à travers une partie sommitale 115, ou partie supérieure, de la couche capot 112.

Sur l'exemple de la figure 4A, les trous de libération 116 sont réalisés afin de traverser une partie des flancs latéraux 114 de la couche capot 112 ainsi que des parties 118 de la couche capot 112 ne recouvrant pas la couche sacrificielle 102, c'est-à-dire déposées sur la couche active 104.

La section de chaque trou de libération 116, dans un plan passant par une des faces de la

couche capot 112, est par exemple circulaire, ellipsoïdale, oblongue ou d'une toute autre forme dont le contour ne présente pas d'angle vif ou de rupture au niveau de ses bords.

5 Le trou de libération 116 ainsi réalisé est représenté de manière détaillée sur la figure 5A.

On définit une hauteur Hmax comme étant la hauteur maximale de la portion de la couche sacrificielle 102 mise à nue au niveau du trou de libération 116, et correspond à une distance maximale, selon un axe perpendiculaire à la face 108 de la couche active 104, entre ladite face 108 et l'un des bords 117 des trous 116 au niveau d'une face 113 de la couche capot 112 disposée contre la couche sacrificielle 102.

15 La valeur de cette hauteur Hmax est déterminée en fonction de la valeur de l'angle  $\alpha$  ainsi que de la valeur de la dimension du trou 116 selon l'axe x (axe parallèle à la face 108 de la couche active 104 sur laquelle est déposée la couche sacrificielle 102), et plus particulièrement de la dimension D correspondant à la largeur (selon l'axe x représenté sur la figure 5A) de la partie gravée du flanc latéral 114 à partir de la jonction entre le flanc latéral 114 et la partie 118 de la couche capot 112.

25 On donne ci-dessous plusieurs exemples de valeurs de la hauteur Hmax obtenues pour un angle  $\alpha = 7^\circ$  et pour différents types de trou de libération 116 :

Dimension D (en $\mu\text{m}$ )	Hauteur Hmax (en $\mu\text{m}$ )
2	0,24
3	0,36
6	0,72



La figure 4B représente une variante de réalisation des trous de libération 116 (un seul trou 116 est représenté sur la figure 4B).

Dans cette variante, les trous de libération 116 ne sont réalisés qu'à travers les flancs latéraux 114 de la couche capot 112, et non à travers les parties 118 de la couche capot 112 ne recouvrant pas la couche sacrificielle 102. La figure 5B représente de manière détaillée l'un des trous de libération 116 réalisés selon cette variante.

De manière analogue à l'exemple représenté sur la figure 5A, la hauteur  $H_{max}$  correspond à la hauteur maximale de la portion de la couche sacrificielle 102 mise à nue au niveau du trou de libération 116, c'est-à-dire à une distance maximale, selon un axe perpendiculaire à la face 108 de la couche active 104, entre ladite face 108 et l'un des bords 117 des trous 116 se trouvant du côté de la face 113 de la couche capot 112 disposée contre la couche sacrificielle 102.

De plus, étant donné que le trou de libération 116 n'est réalisé qu'à travers un des flancs latéraux 114 de la couche capot 112, il est possible de définir une hauteur  $H_{min}$  correspondant à la hauteur minimale de la portion de la couche sacrificielle 102 mise à nue au niveau du trou de libération 116 (par analogie, la hauteur  $H_{min}$  de l'exemple de la figure 5A correspond à une hauteur nulle).

Les valeurs de ces hauteurs  $H_{max}$  et  $H_{min}$  sont donc déterminées en fonction de la valeur de l'angle  $\alpha$ , de la valeur de la dimension  $D$  du trou 116

selon l'axe x (axe parallèle à la face 108 de la couche active 104 sur laquelle est déposée la couche sacrificielle 102), qui correspond ici à la longueur (dimension selon l'axe x représenté sur la figure 5A) de la partie gravée du flanc latéral 114, ainsi que de la distance A entre la jonction du flanc latéral 114 avec la partie 118 de la couche capot 112 et un bord extérieur 119 du trou de libération 116.

On donne ci-dessous plusieurs exemples de valeurs des hauteurs Hmin et Hmax obtenues pour un angle  $\alpha = 7^\circ$  avec une distance A comprise entre 0 et 1  $\mu\text{m}$ , pour différents types de trou de libération 116 :

D (en $\mu\text{m}$ )	A (en $\mu\text{m}$ )	Hmin (en $\mu\text{m}$ )	Hmax (en $\mu\text{m}$ )
2	1	0,12	0,24
3	0,5	0,06	0,42
4	0	0	0,48

Les valeurs de l'angle  $\alpha$  et de la dimension D peuvent être choisies afin que la valeur de la hauteur Hmax soit inférieure à environ 3  $\mu\text{m}$ , ou comprise entre environ 1  $\mu\text{m}$  et 3  $\mu\text{m}$  ou entre environ 0,1  $\mu\text{m}$  et 1  $\mu\text{m}$ , ou encore comprise entre environ 2  $\mu\text{m}$  et 3  $\mu\text{m}$ .

La valeur de  $\alpha$  peut, par exemple, être comprise entre  $45^\circ$  et  $90^\circ$ , lorsque l'épaisseur de la couche sacrificielle 102 est faible, par exemple comprise entre environ 0,5  $\mu\text{m}$  et 1  $\mu\text{m}$ . La variante de réalisation représentée sur la figure 4B peut notamment être mise en œuvre lorsque l'on souhaite avoir une hauteur Hmax comprise entre environ 1  $\mu\text{m}$  et 2  $\mu\text{m}$ .

La figure 4C représente une seconde variante de réalisation des trous de libération 116. Dans cette seconde variante, les parois des trous 116 au niveau des bords ne sont pas verticales (c'est-à-dire parallèles à l'axe y, ou encore perpendiculaires à la face 108 de la couche active 104) mais inclinées telles que les dimensions de la section des trous 116 au niveau d'une face extérieure de la couche capot 112 soit supérieures aux dimensions de la section des trous 116 au niveau d'une face intérieure de la couche capot 122 qui est en contact avec la couche sacrificielle 102, ou du côté de la couche active 104. Ainsi, les ouvertures formées par les trous 116 au niveau de la face externe de la couche capot 112 offrent une surface de passage plus importante que les ouvertures formées par les trous 116 au niveau de la face interne de la couche capot 112.

Les trous de libération 116 ont donc une forme « d'entonnoir » qui faciliteront par la suite le dépôt d'un matériau de bouchage dans ces trous 116.

Cette seconde variante de réalisation des trous 116 peut s'appliquer à la fois pour des trous de libération réalisés uniquement à travers les flancs latéraux 114 comme sur l'exemple de la figure 4B, ou bien à des trous traversant les flancs latéraux 114 et les parties 118 de la couche capot comme sur l'exemple de la figure 4A.

De manière générale, on réalisera les trous de libération 116 afin qu'une distance suffisante sépare les trous de libération 116 du dispositif

microélectronique 100 afin que le bouchage ultérieur des trous ne génère pas de dépôts sur le dispositif 100.

Comme représenté sur la figure 6, on élimine alors la couche sacrificielle 102, par exemple par une gravure sèche à travers les trous de libération 116.

Le volume obtenu par la suppression de la couche sacrificielle 102 forme la cavité 120 dans laquelle le dispositif 100 est encapsulé, la couche capot 112 formant, avec la couche active 104, les parois de cette cavité 120.

Les trous de libération 116 sont ensuite bouchés afin de fermer hermétiquement la cavité 120 (figure 7).

Ce bouchage est par exemple réalisé par le dépôt d'un matériau 122 dans les trous 116, ce matériau 122 pouvant être un diélectrique (par exemple du  $\text{SiO}_2$ ), un métal (par exemple du titane ou de l'aluminium), ou un matériau getter, c'est-à-dire un matériau présentant des propriétés d'absorption et/ou d'adsorption de molécules gazeuses tel que par exemple du chrome et/ou du titane et/ou du zirconium et/ou un alliage de ces matériaux. Le matériau de bouchage 122 est par exemple déposé sous pression réduite, c'est-à-dire à une pression comprise entre environ 1 mbar et 900 mbar lorsque celui-ci est déposé par PECVD (dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma) ou PVD (dépôt physique en phase vapeur), ou sous vide, par exemple à une pression égale à environ  $10^{-7}$  mbar, lorsque celui-ci est déposé par exemple par évaporation.

La technique de dépôt du matériau de bouchage 122 est choisie en fonction de l'atmosphère

souhaitée dans la cavité 120 (pression réduite ou sous vide) qui sera similaire à l'atmosphère dans laquelle la technique de dépôt du matériau de bouchage 122 est mise en œuvre.

5                   Ainsi, étant donné que les trous de libération 116 ont été réalisés en périphérie de la couche sacrificielle 102, c'est-à-dire en périphérie de la cavité 120 dans laquelle est encapsulé le dispositif 100, il n'y a donc pas de risque que le matériau de bouchage se dépose sur le dispositif 100 ou ne vienne perturber son fonctionnement.

                  Lorsque la hauteur  $H_{max}$  est trop importante, par exemple supérieure à environ  $1 \mu m$ , pour réaliser le bouchage des trous de libération 116 par un procédé d'évaporation sous vide (par exemple lorsque l'épaisseur maximale pouvant être déposée par cette technique ne permet pas de boucher complètement les trous de libération 116), et/ou que l'on veut une fermeture sous vide poussé de la cavité 120, le bouchage des trous de libération 116 peut être réalisé en au moins deux étapes distinctes.

                  Comme représenté sur la figure 8, les trous de libération 116 sont tout d'abord bouchés partiellement par le dépôt d'un premier matériau de bouchage 124, par exemple déposé par évaporation, PVD ou PECVD.

                  Un second matériau de bouchage 126 peut ensuite être déposé, par exemple par évaporation sous vide poussé, sur le premier matériau de bouchage 124 afin de fermer hermétiquement la cavité 120 (figure 9).

Ainsi, le premier matériau de bouchage 124 permet de combler une partie des trous de libération 116.

L'épaisseur du second matériau de bouchage 126 nécessaire pour réaliser le scellement hermétique de la cavité 120 est donc inférieure à l'épaisseur qui serait nécessaire pour réaliser le bouchage des trous 116 à partir d'un seul matériau de bouchage comme sur la figure 7.

Dans une autre variante, le premier matériau de bouchage 124 pourrait être un matériau getter et le second matériau de bouchage 126 pourrait être un matériau diélectrique ou métallique permettant d'assurer l'étanchéité du bouchage des trous de libération 116.

Dans une autre variante de réalisation, il est possible de réaliser plusieurs trous de libération 116 sur les flancs latéraux 114 de la couche capot 112, disposés à différentes distances du bord du capot formé par cette couche 112, c'est-à-dire à différentes distances de la jonction entre les flancs latéraux 114 et la partie 118 de la couche capot 112.

De plus, on réalise de préférence un maximum de trous de libération 116 dans la couche capot 112 afin de réduire le plus possible le temps nécessaire à la suppression de la couche sacrificielle 102.

Bien que ce procédé de réalisation de cavité étanche et fermée hermétiquement soit particulièrement adapté pour réaliser une cavité sous pression réduite ou sous vide, il est également possible de mettre en œuvre ce procédé pour réaliser

une cavité hermétique dans laquelle la pression correspond à la pression atmosphérique ou à une pression ambiante.

De plus, bien que ce procédé de réalisation  
5 d'une cavité hermétique ait été précédemment décrit pour réaliser une encapsulation du dispositif microélectronique 100, ce procédé peut également être mis en œuvre dans tous les cas où l'on souhaite réaliser une cavité et la boucher sans déposer de  
10 matériau de bouchage de manière non contrôlée dans la cavité.

Ce procédé pourrait également s'appliquer à la réalisation d'un canal qui serait formé par la cavité réalisée, et dont le bouchage ne viendrait pas  
15 perturber la circulation d'un liquide ou d'un gaz circulant dans ce canal.

**REVENDICATIONS**

1. Procédé de réalisation d'au moins une cavité étanche (120), comportant au moins les étapes
- 5 suivantes :
- a) réalisation d'une couche sacrificielle (102) sur une partie (107) d'une face (108) d'un substrat (104, 106),
  - b) réalisation d'une couche capot (112) recouvrant au moins la couche sacrificielle (102) et comportant des flancs latéraux (114) formant, avec la partie (107) de la face (108) du substrat (104, 106) recouverte par la couche sacrificielle (102), au moins un angle inférieur à  $90^\circ$ ,
  - 15 c) réalisation d'au moins un trou (116) à travers au moins un des flancs latéraux (114) de la couche capot (112) tel qu'une distance maximale, selon un axe perpendiculaire à ladite face (108) du substrat (104, 106), entre ladite face (108) du substrat (104, 20 106) et au moins un bord (117) du trou (116) se trouvant du côté d'une face (113) de la couche capot (112) disposée contre la couche sacrificielle (102), soit inférieure à environ  $3\ \mu\text{m}$ ,
  - d) élimination de la couche sacrificielle 25 (102) à travers le trou (116), l'espace libéré par cette élimination formant la cavité (120),
  - e) dépôt d'au moins un matériau (122, 124, 126) bouchant de manière étanche le trou (116).



2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel une partie sommitale (115) de la couche capot (112) est conservée sans trou.

5 3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la valeur de l'angle formé par les flancs latéraux (114) de la couche capot (112) avec la partie (107) de la face (108) du substrat (104, 106) recouverte par la couche sacrificielle (102) est  
10 comprise entre environ  $5^\circ$  et  $30^\circ$ .

4. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel l'épaisseur de la couche sacrificielle (102) est comprise entre environ  $0,5 \mu\text{m}$   
15 et  $1 \mu\text{m}$  et la valeur de l'angle formé par les flancs latéraux (114) de la couche capot (112) avec la partie (107) de la face (108) du substrat (104, 106) recouverte par la couche sacrificielle (102) est comprise entre environ  $45^\circ$  et  $90^\circ$ .

20 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la distance maximale, selon un axe perpendiculaire à ladite face (108) du substrat (104, 106), entre ladite face (108) du substrat (104, 106) et  
25 les bords (117) du trou (116) est comprise entre environ  $1 \mu\text{m}$  et  $3 \mu\text{m}$ .

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'étape b) de réalisation de  
30 la couche capot (112) correspond à la mise en œuvre, après l'étape a) de réalisation de la couche

sacrificielle (102), d'une mise en forme de la couche sacrificielle (102) telle que des flancs latéraux (110) de la couche sacrificielle (102) forment, avec la partie (107) de la face (108) du substrat (104, 106) recouverte par la couche sacrificielle (102), l'angle inférieur à 90°, puis à un dépôt conforme de la couche capot (112) au moins sur la couche sacrificielle (102).

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la couche capot (112) réalisée à l'étape b) recouvre également une partie (109) de la face (108) du substrat (104, 106) qui est non recouverte par la couche sacrificielle (102) et adjacente à la partie (107) de la face (108) du substrat (104, 106) recouverte par la couche sacrificielle (102), le trou (116) réalisé à l'étape c) traversant également une partie (118) de la couche capot (112) déposée sur la partie (109) de la face (108) du substrat (104, 106) qui est non recouverte par la couche sacrificielle (102).

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le trou (116) réalisés à l'étape c) comporte, dans un plan de la face (113) de la couche capot (112) disposée contre la couche sacrificielle (102), une section de dimensions inférieures à celles d'une section du trou (116) dans un plan d'une seconde face de la couche capot (112) opposée à ladite face (113) disposée contre la couche sacrificielle (102).

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'étape e) de dépôt du matériau (122, 124, 126) bouchant de manière étanche le trou (116) est mise en œuvre sous pression réduite ou sous vide.

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'étape e) de dépôt du matériau (124, 126) bouchant de manière étanche le trou (116) comporte la mise en œuvre d'un premier dépôt d'au moins un premier matériau (124) bouchant partiellement le trou (116), et d'un second dépôt d'au moins un second matériau (126) recouvrant au moins en partie le premier matériau (124) et bouchant de manière étanche le trou (116).

11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le trou (116) réalisé à l'étape c) comporte, dans un plan d'une face de la couche capot (112), une section de forme sensiblement circulaire ou oblongue.

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel, préalablement à l'étape a), un dispositif microélectronique (100) est réalisé sur ou dans ladite partie (107) de la face (108) du substrat (104, 106) destinée à être recouverte par la couche sacrificielle (102), ledit dispositif microélectronique (100) étant encapsulé de manière étanche dans la cavité (120) après la mise en œuvre de l'étape e) de dépôt du matériau (122, 124, 126) bouchant de manière étanche le trou (116).

13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel le dispositif microélectronique (100) est de type MEMS.

5 14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, dans lequel la cavité (120) forme un canal de circulation de fluides liquides ou gazeux.

10 15. Cavité étanche (120) formée par au moins une couche capot (112) disposée sur une face (108) d'un substrat (104, 106), la couche capot (112) comportant des flancs latéraux (114) formant, avec une partie (107) de la face (108) du substrat (104, 106) disposée dans la cavité (120), au moins un angle  
15 inférieur à 90°, au moins un trou (116) étant réalisé à travers au moins un des flancs latéraux (114) de la couche capot (112) tel qu'une distance maximale, selon un axe perpendiculaire à ladite face (108) du substrat (104, 106), entre ladite face (108) du substrat (104,  
20 106) et au moins un bord (117) du trou (116) se trouvant du côté d'une face (113) de la couche capot (112) formant une paroi de la cavité (120), soit inférieure à environ 3 µm, au moins un matériau (122, 124, 126) bouchant de manière étanche le trou (116).

25

16. Cavité (120) selon la revendication 15, dans laquelle une partie sommitale (115) de la couche capot (112) est conservée sans trou.

30

17. Cavité (120) selon l'une des revendications 15 ou 16, dans laquelle la valeur de l'angle formé par les flancs latéraux (114) de la couche capot (112) avec la partie (107) de la face (108) du substrat (104, 106) disposée dans la cavité (120) est comprise entre environ 5° et 30°.

18. Cavité (120) selon la revendication 16, dans laquelle une distance entre la partie sommitale (115) de la couche capot (112) et le substrat (104, 106) est comprise entre environ 0,5 µm et 1 µm, et la valeur de l'angle formé par les flancs latéraux (114) de la couche capot (112) avec la partie (107) de la face (108) du substrat (104, 106) disposée dans la cavité (120) est comprise entre environ 45° et 90°.

19. Cavité (120) selon l'une des revendications 15 à 18, dans laquelle la couche capot (112) recouvre également au moins une partie (109) de la face (108) du substrat (104, 106) qui n'est pas disposée dans la cavité (120) et adjacente à la partie (107) de la face (108) du substrat (104, 106) disposée dans la cavité (120), le trou (116) traversant également une partie (118) de la couche capot (112) déposée sur la partie (109) de la face (108) du substrat (104, 106) qui est n'est pas disposée dans la cavité (120).

20. Cavité (120) selon l'une des revendications 15 à 19, dans laquelle au moins un dispositif microélectronique (100) est encapsulé de manière étanche dans la cavité (120).

21. Cavité (120) selon l'une des revendications 15 à 19, ladite cavité (120) formant un canal de circulation de fluides liquides ou gazeux.

1 / 4

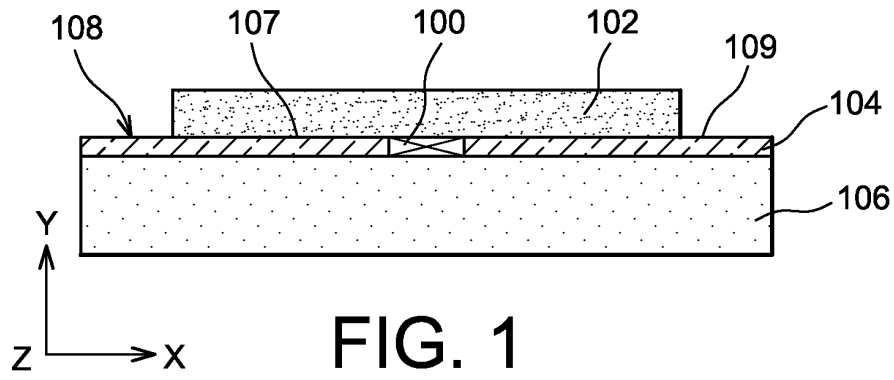


FIG. 1

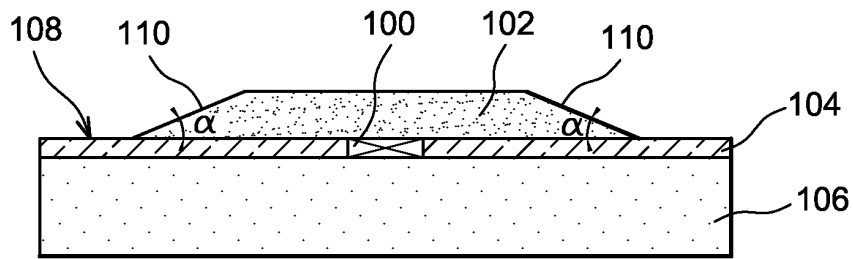


FIG. 2

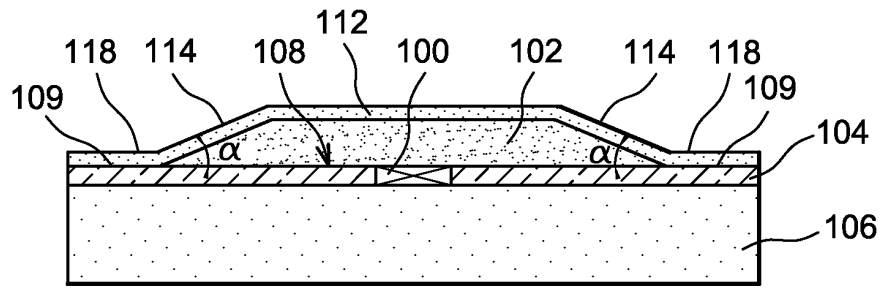


FIG. 3

2 / 4

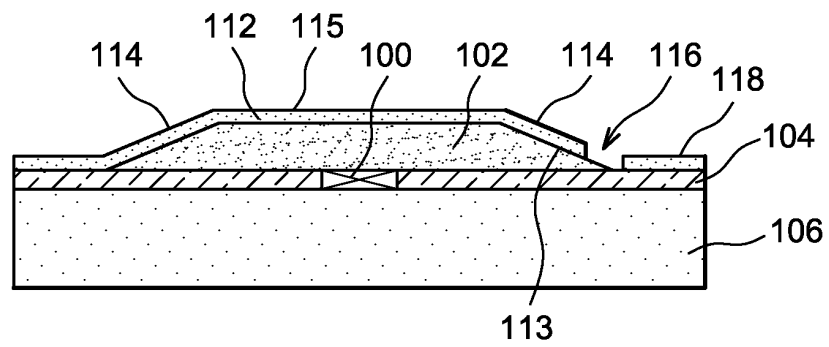


FIG. 4A

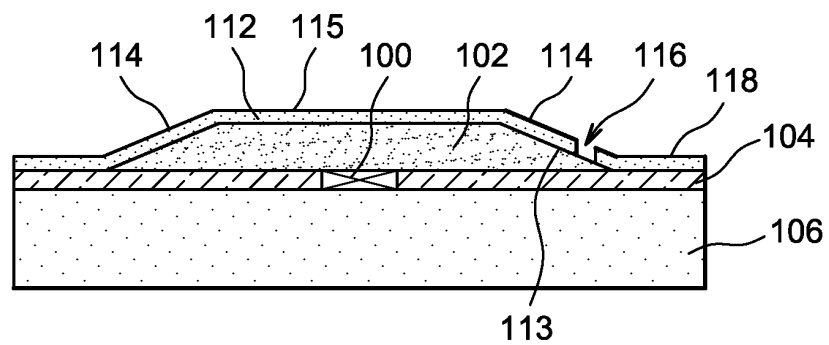


FIG. 4B

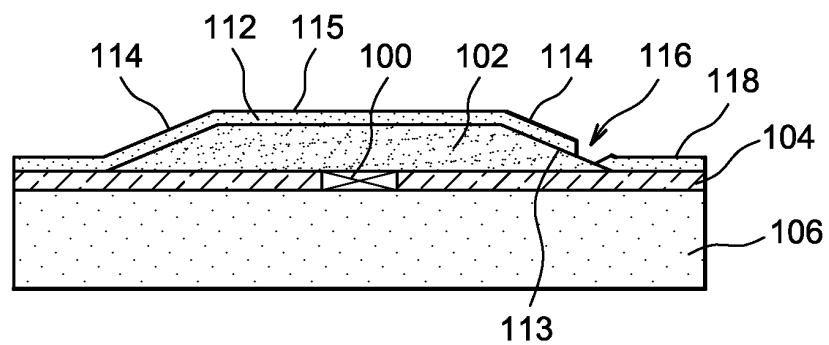


FIG. 4C



3 / 4

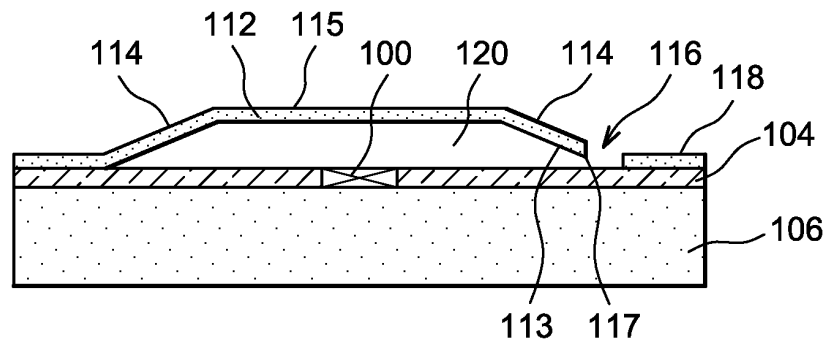
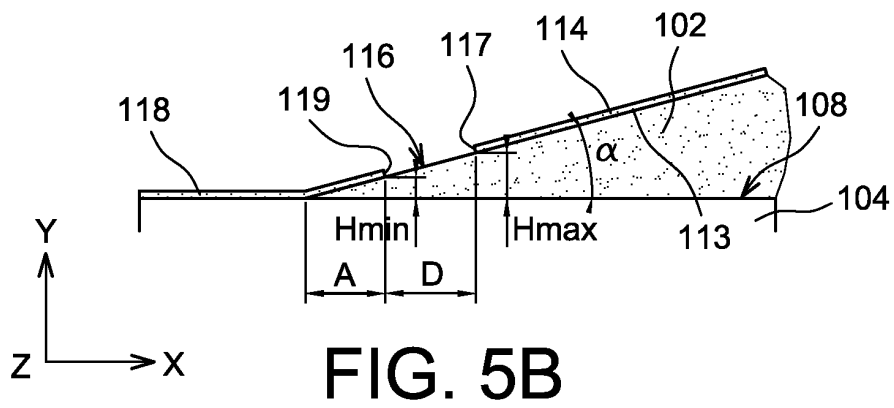
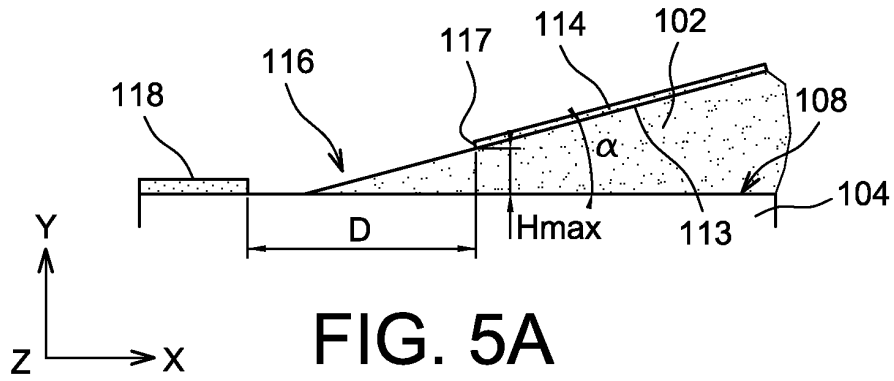


FIG. 6

4 / 4

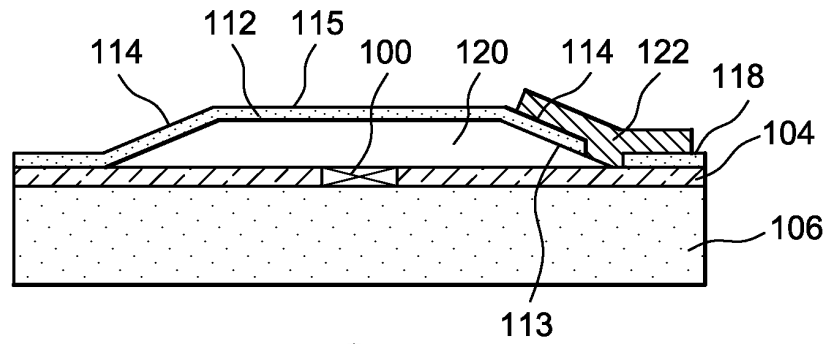


FIG. 7

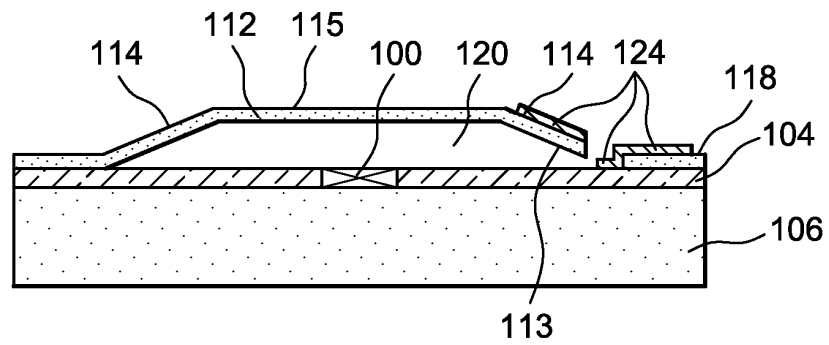


FIG. 8

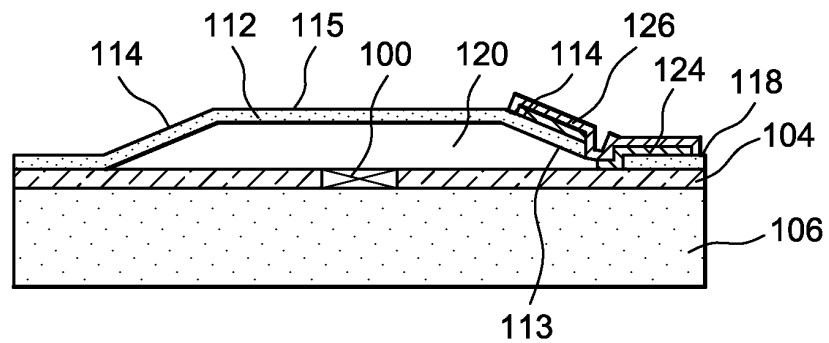


FIG. 9



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

FA 727073  
FR 0954684

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	US 2003/183916 A1 (HECK JOHN [US] ET AL) 2 octobre 2003 (2003-10-02) * figures 1-8 * * alinéas [0018] - [0020] * -----	1-21	B81B1/00 B81C1/00
X	US 2006/267109 A1 (OHGURO TATSUYA [JP]) 30 novembre 2006 (2006-11-30) * figures 53-60 * * alinéas [0374] - [0377] * -----	1-21	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B81C
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
12 avril 2010		McGinley, Colm	
<p><b>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</b></p> <p>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</p> <p>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                      .....                      &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0954684 FA 727073**

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 **12-04-2010**

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
US 2003183916 A1	02-10-2003	AU 2003217346 A1	13-10-2003
		TW 588441 B	21-05-2004
		WO 03082732 A2	09-10-2003
-----			
US 2006267109 A1	30-11-2006	JP 2006326806 A	07-12-2006
-----			