

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 045 028

②1 N° d'enregistrement national : **15 62174**

⑤1 Int Cl⁸ : **B 81 C 1/00 (2017.01), B 81 B 3/00**

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 11.12.15.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 16.06.17 Bulletin 17/24.

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 :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *TRONIC'S MICROSYSTEMS Société anonyme — FR.*

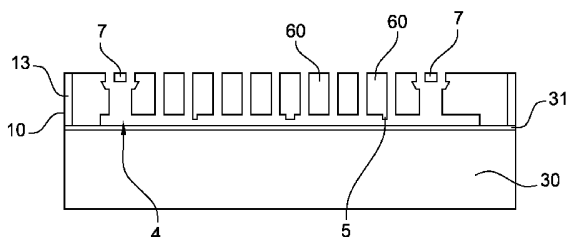
⑦2 Inventeur(s) : COLLET JOEL.

⑦3 Titulaire(s) : *TRONIC'S MICROSYSTEMS Société anonyme.*

⑦4 Mandataire(s) : CABINET LAURENT ET CHARRAS.

⑤4 **PROCEDE DE FABRICATION D'UN DISPOSITIF MICRO ELECTROMECHANIQUE ET DISPOSITIF CORRESPONDANT.**

⑤7 Dispositif électromécanique comportant:
- un empilement formé d'une couche isolante (31) interposée entre deux couches massives (10, 30),
- une structure micromécanique (60) en suspension au-dessus d'une cavité (4), et
- une structure nanométrique (7) en suspension au-dessus de la cavité (4),
- la position respective de la structure nanométrique (7) par rapport à la structure micrométrique (60) étant définie par la délimitation des contours des deux structures (7, 60) au moyen d'une gravure d'une première face d'un substrat formé d'une couche massive (10) de sorte à obtenir des tranchées (16) délimitant les structures (7, 60).



FR 3 045 028 - A1



**PROCEDE DE FABRICATION D'UN DISPOSITIF MICRO
ELECTROMECHANIQUE ET DISPOSITIF CORRESPONDANT**

5 Domaine technique

L'invention se rapporte au domaine des systèmes électromécaniques formés d'éléments de dimensions micrométriques également appelés MEMS (acronyme pour « Micro-Electromechanical System ») et d'éléments de dimensions
10 nanométriques également appelés NEMS (acronyme pour Nano-Electromechanical System »). L'invention concerne plus particulièrement un procédé de fabrication d'un tel système.

Etat de la technique antérieure

15

De manière classique, pour réduire la taille des systèmes électromécaniques tout en garantissant une bonne sensibilité des mesures, il est avantageux de combiner des éléments micro-électromécaniques et des éléments nano-électromécaniques. De tels systèmes électromécaniques sont maintenant connus
20 sous l'appellation M&NEMS pour « Micro- and Nano- ElectroMechanical Systems ».

On compte parmi ces systèmes M&NEMS, les capteurs de force, tels que les accéléromètres, les gyromètres ou encore les magnétomètres. De tels capteurs de
25 force se déclinent typiquement sous la forme de dispositifs comprenant une masse mobile maintenue mécaniquement par des éléments déformables comme des ressorts. La masse mobile est par ailleurs couplée mécaniquement à des structures déformables telles que des poutres de mesure servant à la mesure des déplacements de la masse. Ces poutres de mesures peuvent par exemple être des jauges de
30 contraintes ou encore des résonateurs. L'ensemble masse et poutre est maintenu en suspension au-dessus d'une cavité.

Par exemple, dans le cas d'un accéléromètre, lors d'un déplacement du capteur, une force inertielle s'applique à la masse mobile et induit une contrainte sur la poutre de mesure. Classiquement, dans le cas d'une poutre de mesure de type résonateur, la contrainte appliquée par la masse induit une variation de la fréquence du résonateur, et dans le cas d'une poutre de mesure de type à résistance variable, la contrainte appliquée par la masse induit une variation de la résistance électrique. L'accélération est déduite à partir de ces variations.

On comprend donc qu'il est avantageux de combiner une masse mobile d'épaisseur micrométrique et une poutre de mesure d'épaisseur nanométrique. En particulier, une masse importante de l'élément mobile permet de maximiser la force inertielle et donc d'induire une contrainte suffisante à la poutre de mesure. En outre, en privilégiant une poutre de faible épaisseur, on maximise la contrainte appliquée par la masse sur cette poutre. Un tel agencement a donc également l'avantage d'augmenter la sensibilité du capteur de force.

Le document EP 1 840 582 présente un tel capteur de force, à savoir un capteur dans lequel la masse mobile présente une épaisseur supérieure à celle de la poutre, et propose en outre un procédé de fabrication d'un tel capteur basés sur une technologie SOI (« Silicon On Insulator » en anglais).

Selon le premier procédé de fabrication décrit dans ce document, la jauge de contrainte est tout d'abord gravée dans une couche superficielle d'un substrat SOI, puis recouverte d'une protection. Une épitaxie de silicium est ensuite réalisée sur cette couche superficielle de manière à obtenir une couche d'épaisseur désirée pour la réalisation du corps d'épreuve. Cependant, la technique de croissance par épitaxie est lourde et coûteuse à mettre en œuvre, et ne permet pas d'obtenir des épaisseurs très importantes de couche de silicium. Du fait de cette limite, il est difficile d'obtenir un dimensionnement optimal du corps d'épreuve, et donc de sa masse, pour maximiser la contrainte appliquée à la jauge.

Selon le second procédé de fabrication décrit dans ce document, la masse mobile est tout d'abord gravée dans un substrat SOI. Une couche de silicium polycristallin d'épaisseur nanométrique est ensuite déposée en vue de la formation de la jauge de contrainte. Cependant, la faible épaisseur des couches en silicium polycristallin est encore difficile à contrôler, et ses propriétés mécaniques et électriques sont inférieures à celles d'une couche en silicium monocristallin. En outre, le dépôt d'une telle couche mince peut être soumis à des contraintes, telles que des déformations, pouvant affecter les performances de la jauge. Il est donc difficile, par ce procédé, d'obtenir une jauge présentant des caractéristiques mécaniques et électriques qui optimisent la sensibilité du capteur.

Une autre solution peut consister à utiliser deux substrats SOI distincts pour former séparément la masse mobile et la jauge, puis à sceller les deux substrats entre eux. Cependant, un désalignement des différents éléments, notamment entre la masse mobile, la jauge et la cavité, est susceptible de se produire lors du scellement, augmentant le risque d'altérer la sensibilité globale du capteur.

Exposé de l'invention

20

Dans ce contexte, la présente invention a notamment pour but de proposer une solution pour la fabrication de dispositifs électromécaniques exempte des limitations précédemment évoquées.

25 L'invention a ainsi pour objet un procédé de fabrication d'un dispositif électromécanique comprenant au moins une structure micromécanique (ou corps actif) et au moins une structure nanométrique (ou jauge) disposées en suspension au-dessus d'une cavité.

30

Selon l'invention, le procédé de fabrication comprend la délimitation des contours de la structure micromécanique et de la structure nanométrique par gravure d'une première face d'un premier substrat de sorte à obtenir des tranchées délimitant les deux structures. Le premier substrat comporte une unique couche
5 massive.

Le procédé de fabrication comprend ensuite la formation d'une cavité temporaire disposée sous la structure par gravure isotropique des tranchées délimitant la structure nanométrique de sorte à former la structure nanométrique.
10

Pour faciliter le transport de cette structure temporaire, le procédé de fabrication comprend le scellement de la première face du premier substrat avec un second substrat, cette étape est suivie d'un amincissement du premier substrat. De préférence, le second substrat est formé d'au moins une couche massive et d'une
15 couche isolante.

Ce scellement est suivi de la formation de la cavité dans le premier substrat, par gravure d'une seconde face du premier substrat. La cavité est ensuite fermée par scellement de la seconde face du premier substrat avec un troisième substrat.
20 Ce troisième substrat est formé d'une couche massive et d'une couche isolante en contact direct avec la seconde face du premier substrat.

Le transport de cette structure temporaire peut alors être assuré par le troisième substrat et le deuxième substrat est éliminé. Enfin, la première face du
25 premier substrat est gravée de sorte à ouvrir la cavité et former la structure micromécanique.

Le terme « structure micromécanique » fait référence à une structure dont l'épaisseur est de dimensions micrométriques. Le terme « structure nanométrique »
30 fait référence à une structure dont l'un des motifs qui est de largeur nanométrique, par exemple la largeur.

En outre, l'épaisseur de la structure nanométrique peut être de dimensions micrométrique.

5 Ainsi, le procédé de fabrication de l'invention est une solution simple et peu coûteuse qui permet de surmonter le problème d'alignement évoqué ci-avant, puisque le positionnement respectif des structures micrométriques et nanométriques est réalisé simultanément par une gravure des contours des deux structures dans un même substrat monocouche, communément appelé « bulk ».

10 Ceci est rendu possible par l'utilisation de deux autres substrats bien distincts, l'un servant de substrat support pour délimiter le fond de la cavité, l'autre servant de substrat de manipulation (« handle substrate ») ou de support temporaire (« carriers »).

15 Un autre avantage apporté par ce procédé de fabrication est que le fond de la cavité du dispositif électromécanique ainsi obtenu est recouvert d'une couche isolante, généralement une couche d'oxyde. La présence de cette couche isolante a notamment l'avantage d'empêcher l'apparition d'irrégularités résultantes du procédé chimique utilisé notamment pour libérer la cavité. En d'autres termes, du

20 fait de cette couche isolante, le fond de la cavité ne sera pas attaqué lors du procédé de gravure mis en œuvre pour libérer la cavité. Le dispositif résultant est ainsi plus propre, c'est-à-dire contenant moins de poussières susceptibles de bloquer le corps actif ou d'interférer lors des mesures. Par ailleurs, le risque de dégazage des surfaces internes de la cavité est réduit, ce qui permet d'assurer une

25 pression stable au cours du temps dans le boîtier dans lequel le dispositif est encapsulé.

Avantageusement, le procédé de fabrication peut en outre comprendre, préalablement au scellement du premier substrat avec le second substrat, la

30 réalisation de marques d'alignement sur la première face du premier substrat.

Classiquement, ces marques d'alignement servent d'indicateurs pour assurer un positionnement correct des masques utilisés dans les procédés de gravure mis en œuvre pour la réalisation de la cavité et de la structure micromécanique.

- 5 Ces marques d'alignements peuvent notamment se présenter sous la forme de structures prédéfinies (verniers, carrés, codes-barres...) et peuvent être obtenues de façon classique, par exemple par une technique de gravure.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre, préalablement
10 au scellement du premier substrat avec le second substrat et consécutivement à la réalisation de marques d'alignement, la protection de la première face du premier substrat par une étape d'oxydation destinée à former une couche d'oxyde sur la première face puis par une étape de dépôt d'une couche de nitrure sur la couche d'oxyde. Dans ce mode de réalisation, l'étape de la délimitation des contours de la
15 structure micromécanique et de la structure nanométrique comporte une gravure de la couche d'oxyde et de la couche de nitrure. Cette protection permet de protéger l'aspect extérieur des structures micrométrique et nanométrique.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre, préalablement à
20 la formation de la cavité temporaire et consécutivement à la délimitation des contours de la structure micromécanique et de la structure nanométrique, la protection des tranchées par le dépôt d'une seconde couche de nitrure. Dans ce mode de réalisation, l'étape de formation de la cavité temporaire est précédée par une étape de gravure du nitrure présent dans le fond des tranchées délimitant la
25 structure nanométrique. Cette protection permet de protéger les contours des structures micrométrique et nanométrique.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre, préalablement au scellement de la première face du premier substrat avec un second substrat, une oxydation du silicium de sorte à boucher la cavité temporaire disposée sous la structure nanométrique. Cette oxydation permet de protéger la face de la structure
5 nanométrique en regard de la cavité pour les étapes ultérieures.

Selon un mode de réalisation, la formation de la cavité dans le premier substrat, par gravure d'une seconde face du premier substrat, comporte une première gravure ayant la profondeur de la cavité au niveau de la structure
10 micrométrique et une seconde gravure ayant la profondeur de la cavité au niveau de la structure nanométrique. Avantageusement, la seconde gravure s'étend jusqu'à la cavité temporaire comportant l'oxyde de silicium.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre, préalablement à
15 la réalisation de la cavité, l'amincissement du premier substrat.

En effet, la couche massive du premier substrat utilisé peut présenter typiquement une épaisseur initiale de plusieurs centaines de micromètres, par exemple 450 μm . Par ailleurs, l'épaisseur utile de la couche massive pour la
20 réalisation de la cavité et de la structure micromécanique est par exemple inférieure à une centaine de micromètres, par exemple 50 μm . Dans ce cas, il est alors nécessaire de prévoir une étape d'amincissement préalable de cette couche massive pour éviter des gravures trop profondes. Cet amincissement permet donc d'obtenir une épaisseur résiduelle du premier substrat qui soit sensiblement égale à
25 l'épaisseur prédéterminée de la structure micromécanique ajoutée à la profondeur prédéterminée de la cavité. Cette épaisseur résiduelle correspond typiquement à ladite épaisseur utile. En pratique, cet amincissement peut être obtenu par meulage ou gravure chimique, gravure mécano-chimique ou gravure sèche.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre, simultanément à la réalisation de la cavité, la formation d'au moins une butée s'étendant du premier substrat en direction du troisième substrat.

5 En pratique, la réalisation de la cavité et de la butée (ou stoppeur) peut être obtenue par :

- une première lithographie puis une première gravure pour graver partiellement la cavité dans le premier substrat et pour définir la hauteur de la butée. La profondeur de cette première gravure est donc sensiblement égale à la distance souhaitée (par
- 10 exemple $1\mu\text{m}$) entre l'extrémité libre de la butée et la couche isolante du troisième substrat délimitant le fond de la cavité ; et
- une seconde lithographie et une seconde gravure afin de former définitivement la butée ainsi que la cavité.

15 Ainsi, la butée est solidarisée, non pas avec le fond de la cavité, mais est solidarisée au corps actif et notamment à la structure micrométrique.

L'invention a également pour objet un dispositif électromécanique comprenant :

- 20 - un empilement formé d'une couche isolante interposée entre deux couches massives,
- une structure micromécanique en suspension au-dessus d'une cavité, et
- une structure nanométrique en suspension au-dessus de la cavité.

25 En pratique :

- la structure nanomécanique peut être un élément déformable de mesure tel qu'une jauge de contraintes, une membrane déformable, ou encore un résonateur nano-mécanique ;
- la structure micromécanique peut être formée d'une masse mobile couplée à des
- 30 éléments déformables tels que des ressorts, une membrane, ou des structures nanomécanique ;

- la structure nanomécanique peut présenter une épaisseur comprise entre 100nm et 100µm-
 - la structure micromécanique peut présenter une épaisseur inférieure à 100µm et supérieure à 5µm ;
 - les couches massives et la couche fine sont de préférence en silicium et les
- 5 couches isolantes sont de préférence en oxyde.

Brève description des dessins

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront clairement
10 de la description qui en est faite ci-après, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux figures 1 à 12 qui sont des vues schématiques illustrant les étapes du procédé de fabrication d'un dispositif électromécanique intégrant une structure active de dimensions micrométriques et une structure active de dimensions nanométriques, selon un mode de réalisation de l'invention.

15

Exposé détaillé de modes de réalisations particuliers

Les figures 1 à 12 illustrent les différentes étapes d'un procédé de fabrication d'un dispositif électromécanique selon un mode de réalisation. En particulier, le
20 dispositif électromécanique que l'on souhaite obtenir est illustré à la figure 12 et intègre notamment une structure micromécanique **60** d'épaisseur prédéterminée, par exemple 20µm, en suspension au-dessus d'une cavité **4** de profondeur prédéterminée, par exemple 5µm. Par exemple, la structure micromécanique **60** est un corps actif formé d'une masse mobile. Le dispositif électromécanique intègre
25 également une structure nanométrique **7** d'épaisseur prédéterminée, par exemple 250nm, en suspension au-dessus de la cavité **4**. Par exemple, la structure nanométrique **7** est une jauge de contrainte destinée à mesurer les contraintes subies par la masse mobile de sorte à estimer un déplacement du dispositif électromécanique.

30

Dans une variante, le dispositif électromécanique peut, en outre, comprendre une butée **5** qui s'étend de la structure micromécanique **60** en direction du fond de la cavité **4**. Par exemple, l'espacement entre l'extrémité libre de la butée **5** et le fond de la cavité **4** est sensiblement égal à $1\mu\text{m}$.

5

Plus précisément, la cavité **4**, la structure micromécanique **60** et la structure nanométrique **7** sont réalisées, par gravure, dans un même substrat monocouche qui correspond au premier substrat **1** illustré à la figure 1. Dans l'exemple de la figure 1, deux structures nanométriques **7** sont disposées aux extrémités de plusieurs structures micromécaniques **60**. En variante, une ou plusieurs structures nanométriques **7** peuvent être disposées au centre des structures micromécaniques **60** sans changer l'invention.

Ce premier substrat **1**, communément appelé « bulk », est donc uniquement formé d'une couche massive **10**, par exemple une couche de silicium de $450\mu\text{m}$ d'épaisseur, et présente deux faces opposées, à savoir une première face **11** et une seconde face **12**.

Tout d'abord, pour assurer un positionnement correct des masques qui seront utilisés lors des gravures, des marques d'alignement **13** sont réalisées (figure 2) sur la première face **11** de ce premier substrat **1**. La profondeur de ces marques d'alignement **13** est supérieure à l'épaisseur totale de la structure micromécanique **60**, de la structure nanométrique **7** et de la cavité **4**.

Ensuite, la première face **11** est protégée par une étape d'oxydation destinée à former une couche d'oxyde **14** sur la première face **11** puis par une étape de dépôt d'une couche de nitrure **15** sur la couche d'oxyde **14** (figure 3). Par exemple, l'étape d'oxydation peut être réalisée par un procédé thermique. Par exemple, l'étape de dépôt de la couche de nitrure **15** peut être réalisée par un processus de dépôt chimique en phase vapeur réalisé à pression sous-atmosphérique, également connu sous l'acronyme LPCVD.

30

L'étape suivante consiste à définir les contours de la structure micromécanique **60** et de la structure nanométrique **7** (figure 4). Pour ce faire, des tranchées **16** sont réalisées par lithographie dans la couche de nitrure **15**, dans la
5 couche d'oxyde **14** et dans une partie de la couche **10** de silicium. De préférence, la couche **10** de silicium est attaquée sur une profondeur sensiblement égale à 450 nm. Cette étape permet d'aligner précisément la structure micromécanique **60** et la structure nanométrique **7** car elles sont réalisées à partir d'un même masque.

10 Les tranchées **16** ainsi formées sont ensuite protégées par le dépôt d'une seconde couche de nitrure **17** (figure 5) sur la première couche de nitrure **15** et dans les tranchées **16**. Par exemple, l'étape de dépôt de la seconde couche de nitrure **17** peut être réalisée par un processus de dépôt chimique de type LPCVD.

15 Le nitrure **15** présent dans le fond des tranchées **16** délimitant la structure nanométrique **7** est ensuite retiré par une gravure directive, par exemple par gravure ionique réactive, également connue sous l'acronyme RIE.

Puis, le silicium présent dans la couche **10** de silicium délimitant la structure
20 nanométrique **7** est attaqué par une gravure isotrope de sorte à graver sous la structure nanométrique **7** (figure 6) de la même manière dans toutes les directions.

Une gravure isotrope attaque le substrat dans plusieurs directions. La gravure isotrope peut être réalisée par une gravure ionique réactive, également connue sous
25 l'acronyme RIE ou une gravure chimique. Cette gravure isotrope permet de former une cavité temporaire **18** disposée sous la structure nanométrique **7**.

Une oxydation thermique du silicium dans les tranchées **16** ne contenant pas de nitrure **17** est ensuite réalisée jusqu'à ce que l'oxyde de silicium bouche la
30 cavité temporaire **18** disposée sous la structure nanométrique **7** (figure 7) et remplace totalement le silicium situé sous la future jauge.

Pour faciliter la manipulation de ce premier substrat **1**, un second substrat **2** est scellé à ce premier substrat **1**. Ce second substrat **2** est formé d'une couche massive **20**, par exemple une couche de silicium de $450\mu\text{m}$ d'épaisseur, et d'une
5 couche isolante **21**, par exemple une couche d'oxyde de $1\mu\text{m}$ d'épaisseur. En particulier, la couche isolante **21** du second substrat est mise en contact direct avec la première face **11** du premier substrat **1**. A ce stade, les marques d'alignements **13** réalisées précédemment sont donc recouvertes par ce second substrat **2**. Puisque la cavité **4**, la structure micromécanique **60**, et la structure
10 nanométrique **7** doivent être réalisées dans ce premier substrat **1**, un amincissement de ce premier substrat **1** est réalisé (figure 8). Plus précisément, l'amincissement est tel que l'épaisseur résiduelle de ce premier substrat **1** correspond sensiblement à l'épaisseur prédéterminée de la structure micromécanique **60** ajoutée à la profondeur prédéterminée de la cavité **4**. De manière classique, cet amincissement
15 peut par exemple être obtenu par meulage ou gravure chimique.

Les marques d'alignement **13** sont ainsi libérées lors de l'étape d'amincissement et sont rendues visibles du côté de la seconde face **12** du premier substrat **1**.

20

Dans le cas où une butée **5** est prévue, une lithographie et une gravure simple (figure 9) sont réalisées afin de former la butée **5** et de définir la profondeur de la cavité **4** dans le premier substrat **1** aminci. A ce stade, les dimensions de la cavité **4** et de la butée **5** correspondent d'ores et déjà aux
25 dimensions finales souhaitées au-dessous de la structure micrométrique **60**. Par ailleurs, l'épaisseur de la portion restante du premier substrat en regard de la cavité **4** est sensiblement égale à l'épaisseur finale souhaitée de la structure micromécanique **60**. Ainsi, la cavité **4**, la butée **5** et l'épaisseur de la structure micromécanique **60** sont définies par cette gravure.

30

Une lithographie et une gravure profonde sont ensuite réalisées (figure 10) au niveau de la structure nanométrique **7** jusqu'à atteindre l'oxyde préalablement formé dans la cavité temporaire **18** située sous la structure nanométrique **7**.

5 L'étape suivante consiste à sceller un troisième substrat **3** avec le premier substrat **1** pour fermer la cavité **4** ainsi formée. Ce troisième substrat **3** est également formé d'une couche massive **30**, par exemple une couche de silicium d'épaisseur supérieure à 300 μm , et d'une couche isolante **31**, par exemple une couche d'oxyde de 1 μm d'épaisseur. En outre, ce scellement est tel que la couche
10 isolante **31** de ce troisième substrat **3** est mise en contact direct avec la seconde face **12** du premier substrat **1**.

Le second substrat **2** est ensuite éliminé, et deux gravures sont effectuées (figure 11). Une première gravure permet de supprimer l'oxyde présent dans la
15 cavité temporaire **18** sous la structure nanométrique **7**. Cette gravure peut être effectuée par une technique de gravure chimique humique, également appelée wet.

La seconde gravure permet de supprimer la couche de nitrure **17** présente dans la fond des tranchées **16**. De préférence, la seconde gravure est réalisée par
20 une gravure directive, par exemple par gravure ionique réactive, également connue sous l'acronyme RIE.

Une gravure profonde est ensuite réalisée au niveau de la structure micromécanique **60** afin d'atteindre la cavité **4**. Les couches de protection
25 d'oxyde **14** et de nitrure **15**, **17** sont ensuite éliminées pour libérer la structure micromécanique **60** et la structure nanométrique **7**.

Le dispositif électromécanique ainsi obtenu (figure 12) comprend donc un empilement formé d'une couche isolante **31** interposée entre deux couches massives **10**, **30**. La cavité **4**, la structure micromécanique **60**, et la structure nanométrique **7** sont réalisées dans l'une **10** des deux couches massives de l'empilement, et la couche isolante **31** forme le fond de la cavité **4**.

Le procédé de fabrication présenté est donc simple et globalement peu coûteux bien que trois substrats soient utilisés, il n'utilise pas de substrat SOI ni d'épitaxie. Il permet notamment d'obtenir des dispositifs électromécaniques de type M&NEMS moins encombrants et plus performants, dans lesquels la cavité, la structure micromécanique et la structure nanométrique sont réalisées dans un unique substrat monocouche. Par ailleurs, la durée de vie d'un tel dispositif est accrue grâce à la couche isolante au fond de la cavité qui évite l'apparition d'irrégularités dans le fond de la cavité lors des gravures. Enfin, la solution proposée offre également la possibilité d'adapter l'épaisseur des structures micrométrique et nanométrique par simple réglage des équipements de gravure.

REVENDICATIONS

1. Procédé de fabrication d'un dispositif électromécanique comprenant au moins une structure micromécanique (60) et au moins une structure
5 nanométrique (7) disposées en suspension au-dessus d'une cavité (4), *caractérisé* en ce que le procédé comprend :

- la délimitation des contours de la structure micromécanique (60) et de la structure nanométrique (7) par gravure d'une première face (11) d'un premier substrat (1), formé d'une couche massive (10), de sorte à obtenir des tranchées (16) délimitant
10 les deux structures (7, 60) ;
- la formation d'une cavité temporaire (18) disposée sous la structure (7) par gravure isotropique des tranchées (16) délimitant la structure nanométrique (7) de sorte à former la structure nanométrique (7) ;
- le scellement de la première face (11) du premier substrat (1) avec un second
15 substrat (2) ;
- la formation de la cavité (4) dans le premier substrat (1), par gravure d'une seconde face (12) du premier substrat (1) ;
- la fermeture de la cavité (4) par scellement de la seconde face (12) du premier substrat (1) avec un troisième substrat (3), le troisième substrat (3) étant formé
20 d'une couche massive (30) et d'une couche isolante (31) en contact direct avec la seconde face (12) du premier substrat (1) ;
- l'élimination du deuxième substrat (2) ; et
- la gravure de la première face (11) du premier substrat (1) de sorte à ouvrir la cavité (4) et former la structure micromécanique (60).

25

2. Procédé de fabrication selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, préalablement au scellement du premier substrat (1) avec le second substrat (2), la réalisation de marques d'alignement (13) sur la première face (11) du premier substrat (1).

30

3. Procédé de fabrication selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, préalablement au scellement du premier substrat (1) avec le second substrat (2) et consécutivement à la réalisation de marques d'alignement (13), la protection de la première face (11) du premier substrat (1) par une étape d'oxydation destinée à former une couche d'oxyde (14) sur la première face (11) puis par une étape de dépôt d'une couche de nitrure (15) sur la couche d'oxyde (14), l'étape de la délimitation des contours de la structure micromécanique (60) et de la structure nanométrique (7) comportant une gravure de la couche d'oxyde (14) et de la couche de nitrure (15).

10

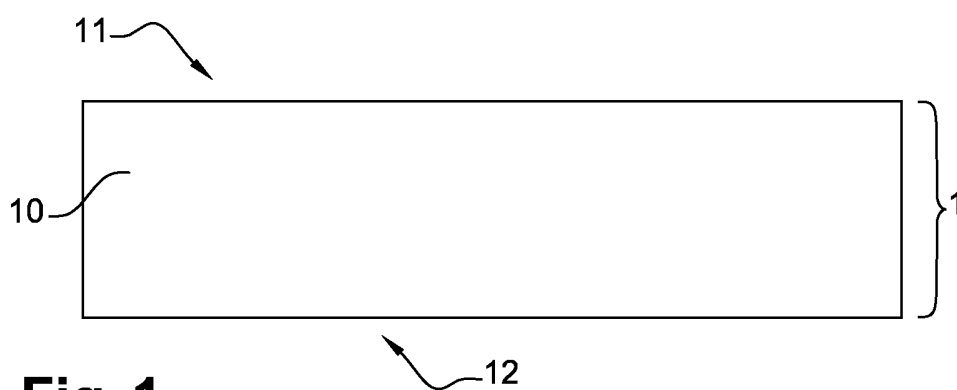
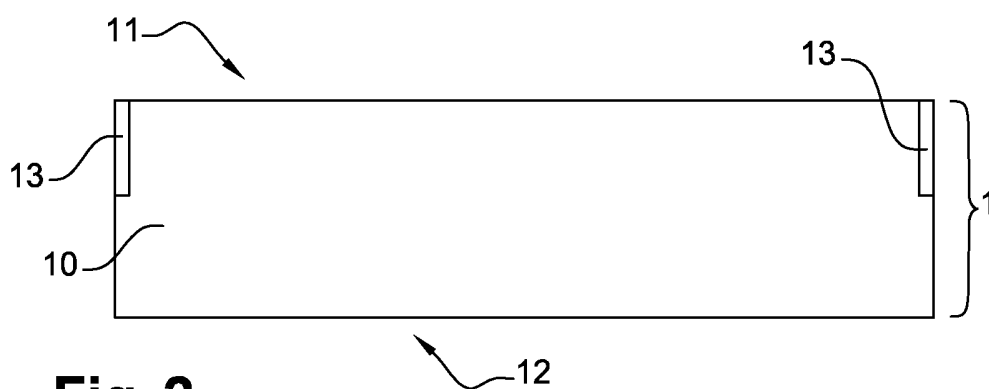
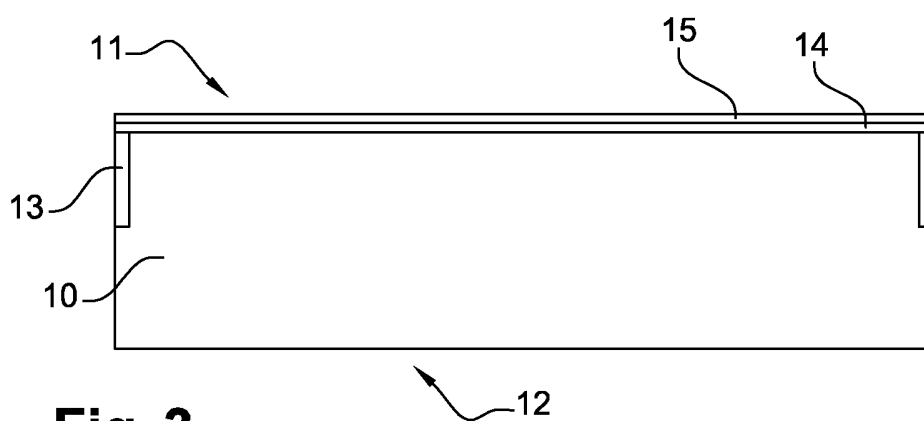
4. Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, préalablement à la formation de la cavité temporaire (18) et consécutivement à la délimitation des contours de la structure micromécanique (60) et de la structure nanométrique (7), la protection des tranchées (16) par le dépôt d'une seconde couche de nitrure (17), l'étape de formation de la cavité temporaire (18) étant précédée par une étape de gravure du nitrure (17) présent dans le fond des tranchées (16) délimitant la structure nanométrique (7).

5. Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, préalablement au scellement de la première face (11) du premier substrat (1) avec un second substrat (2), une oxydation du silicium de sorte à boucher la cavité temporaire (18) disposée sous la structure nanométrique (7).

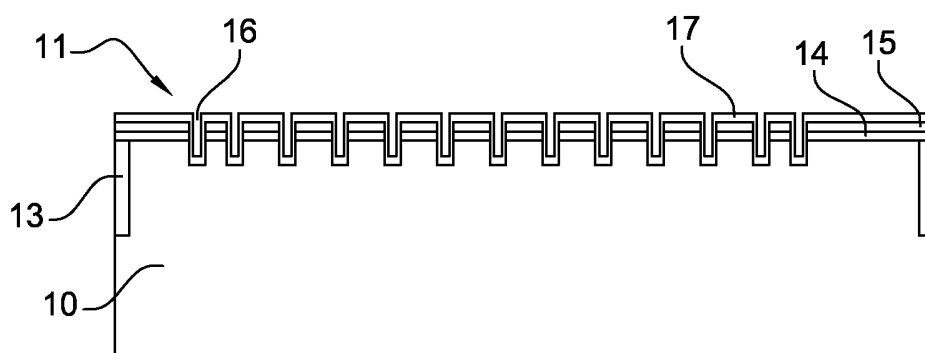
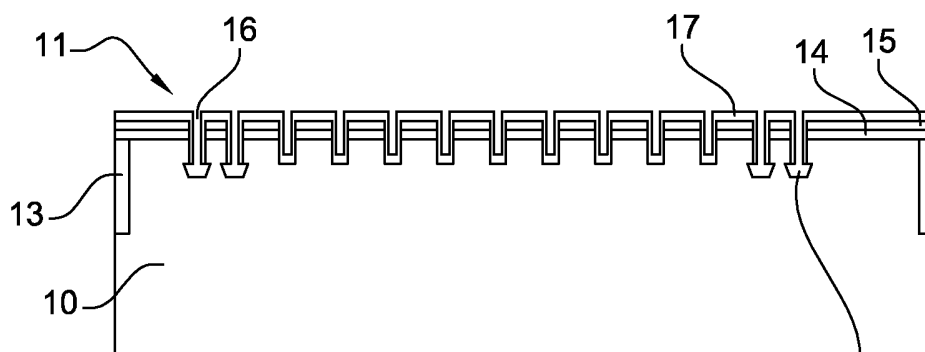
6. Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la formation de la cavité (4) dans le premier substrat (1), par gravure d'une seconde face (12) du premier substrat (1), comporte une première gravure ayant la profondeur de la cavité (4) au niveau de la structure micrométrique (60) et une seconde gravure ayant la profondeur de la cavité (4) au niveau de la structure nanométrique (7).

7. Procédé de fabrication selon les revendications 5 et 6, caractérisé en ce que la seconde gravure s'étend jusqu'à la cavité temporaire (18) comportant l'oxyde de silicium.
- 5
8. Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, préalablement à la réalisation de la cavité (4), l'amincissement du premier substrat (1).
- 10 9. Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, simultanément à la réalisation de la cavité (4), la formation d'au moins une butée (5) s'étendant du premier substrat (1) en direction du troisième substrat (3).
- 15 10. Dispositif électromécanique réalisé par un procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 9, le dispositif électromécanique comportant :
- un empilement formé d'une couche isolante (31) interposée entre deux couches massives (10, 30),
 - une structure micromécanique (60) en suspension au-dessus d'une cavité (4), et
 - 20 - une structure nanométrique (7) en suspension au-dessus de la cavité (4).

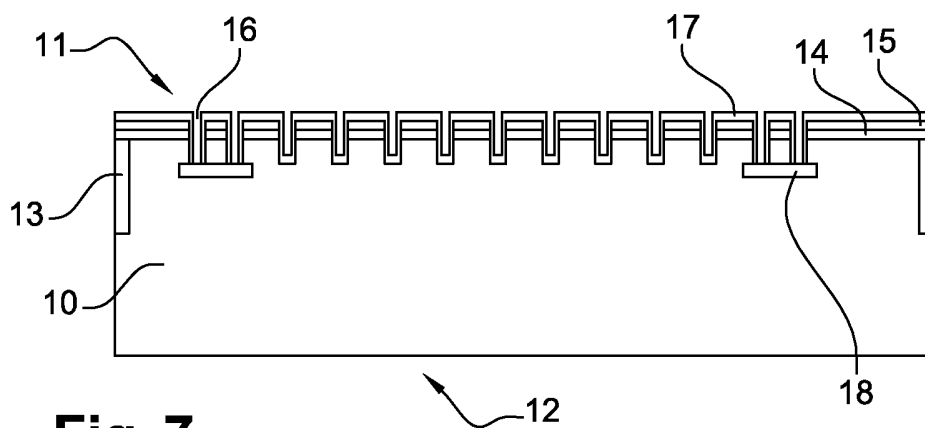
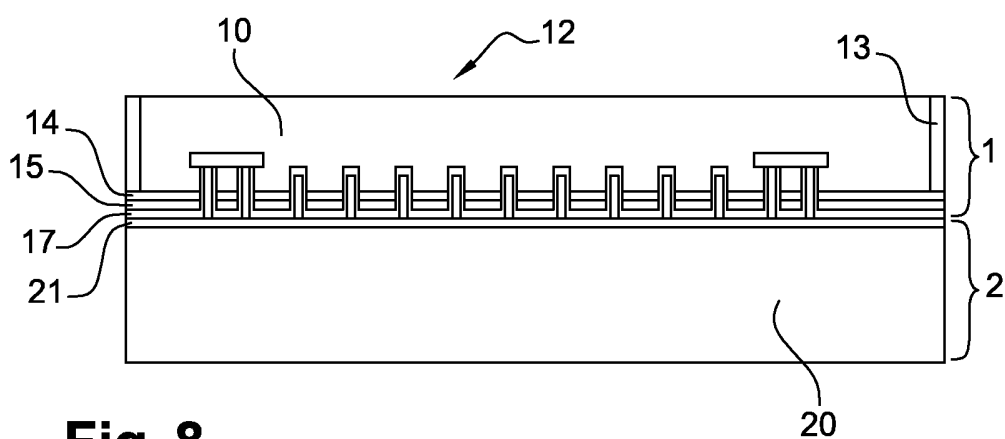
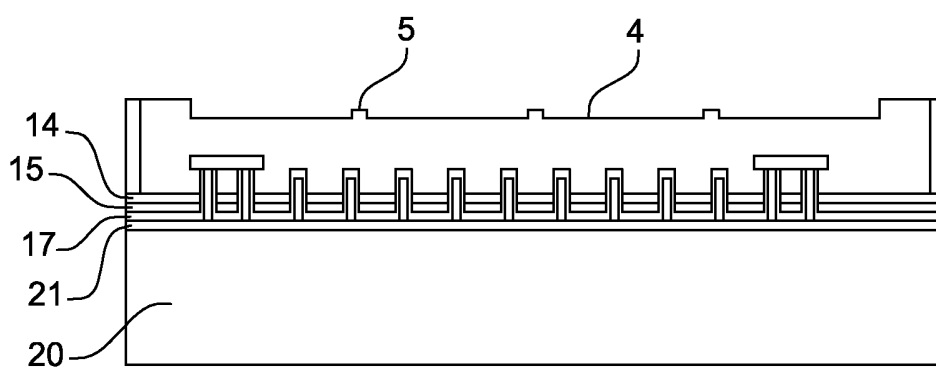
1/4

**Fig. 1****Fig. 2****Fig. 3**

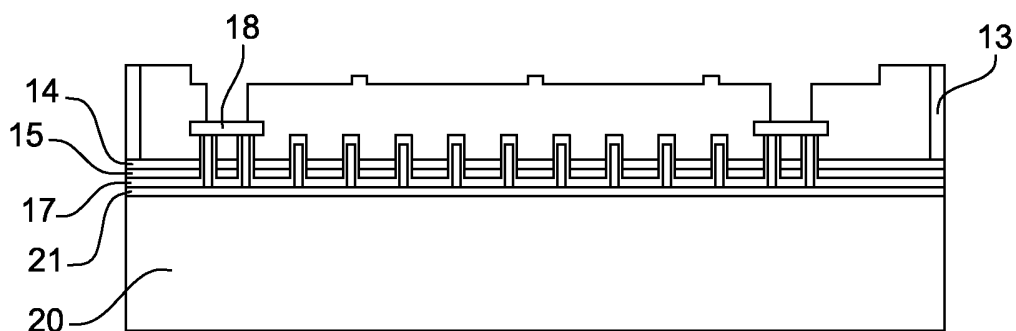
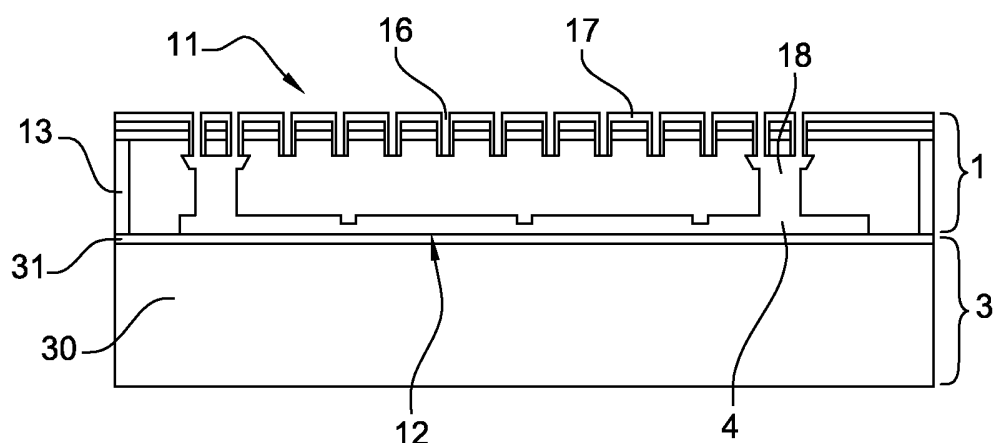
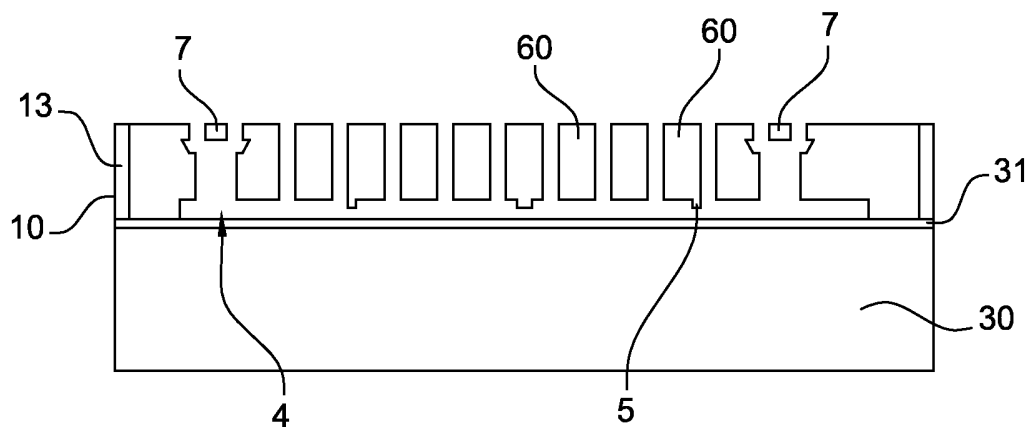
2 / 4

**Fig. 4****Fig. 5****Fig. 6**

3 / 4

**Fig. 7****Fig. 8****Fig. 9**

4 / 4

**Fig. 10****Fig. 11****Fig. 12**



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 821513
FR 1562174

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		
A	US 2012/038372 A1 (REINMUTH JOCHEN [DE] ET AL) 16 février 2012 (2012-02-16) * le document en entier * -----	1-10	B81C1/00 B81B3/00
A	US 2010/273286 A1 (LIANG KAI-CHIH [TW] ET AL) 28 octobre 2010 (2010-10-28) * le document en entier * -----	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B81C B81B
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		18 juillet 2016	Marcolini, Paolo
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
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 T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

1

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1562174 FA 821513**

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 18-07-2016

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 2012038372 A1	16-02-2012	DE 102010039293 A1 US 2012038372 A1	16-02-2012 16-02-2012
US 2010273286 A1	28-10-2010	CN 101870451 A CN 102757015 A US 2010273286 A1	27-10-2010 31-10-2012 28-10-2010