

(19)



(11)

EP 2 320 281 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
15.07.2015 Bulletin 2015/29

(51) Int Cl.:
G04B 17/06 (2006.01) G04B 29/02 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **10189691.8**

(22) Date de dépôt: **02.11.2010**

(54) Procédé de réalisation de pièces micromécaniques

Herstellungsverfahren von mikromechanischen Bauteilen

Method for manufacturing micromechanical parts

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **10.11.2009 CH 17292009**

(43) Date de publication de la demande:
11.05.2011 Bulletin 2011/19

(73) Titulaire: **Cartier Création Studio S.A.
1211 Genève (CH)**

(72) Inventeurs:
• **Dubois, Marc-Alexandre
1143, Apples (CH)**
• **Baborowski, Jacek
2012, Auvernier (CH)**

(74) Mandataire: **GLN SA
Avenue Edouard-Dubois 20
2000 Neuchâtel (CH)**

(56) Documents cités:
**EP-A1- 1 791 039 CH-B1- 700 032
DE-A1- 19 651 321 DE-A1-102008 029 429**

EP 2 320 281 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

Domaine technique

[0001] La présente invention se rapporte le domaine de la micromécanique et plus particulièrement celui de l'horlogerie. Elle concerne un procédé de réalisation de pièces micromécaniques, réalisées en verre, notamment en verre céramique.

Etat de la technique

[0002] Parmi les verres, on appelle verre céramique (également appelée vitrocéramique) une famille de verres obtenus par cristallisation contrôlée. Des verres appropriés sont soumis à des traitements thermiques provoquant la nucléation puis la croissance de phases cristallines de diamètre typiquement compris entre 20nm et 1µm. Ces matériaux possèdent une porosité très faible, voire nulle. Après cristallisation, ils deviennent opaques ou translucides, suivant la taille des zones cristallines. Les principales vitrocéramiques sont constituées de SiO₂, Al₂O₃, MgO, LiO₂ ou Na₂O. La résistance mécanique des vitrocéramiques est très supérieure à celle des verres, car les zones cristallines ralentissent ou arrêtent la propagation des fissures, avec une contrainte de rupture typiquement comprise entre 150 et 600MPa. Une autre propriété très intéressante des verres céramiques est leur potentiel à avoir un matériau de structure isotropique avec un coefficient thermique de dilatation très faible (c'est-à-dire inférieur à $5 \times 10^{-6}K^{-1}$) voire nul. En d'autres termes, une pièce réalisée en verre céramique peut présenter des dimensions parfaitement stables, quelles que soient les fluctuations de température, ce qui est notamment avantageux dans le cadre de ressorts spiraux et balanciers utilisés dans les organes réglants des mouvements mécaniques horlogers.

[0003] Ces propriétés rendent les verres céramiques particulièrement attractifs pour réaliser des pièces de précision, comme des pièces de mécanismes horlogers. Cependant, malgré leur résistance mécanique supérieure à celle des verres, les verres céramiques restent fragiles et, aux épaisseurs requises pour une utilisation dans le domaine de l'horlogerie, typiquement de l'ordre de 150µm, les techniques courantes de micro-usinage ne peuvent être utilisées, sans risque élevé que le verre ne casse.

[0004] D'autres verres ont déjà utilisés dans l'horlogerie. Par exemple, le document DE102008029429 mentionne la possibilité d'utiliser des verres de type borosilicate ou alumino-borosilicate pour réaliser certaines pièces de mécanismes horlogers, notamment des ancrs ou des balanciers. Mais les techniques d'usinage proposées ne permettent pas de mettre en oeuvre ces matériaux pour réaliser des spiraux, dont les dimensions sont plus réduites que celles d'un balancier ou d'une ancre. Le document EP1791039 décrit un procédé de réalisation d'un spiral en verre qui nécessite un substrat en cé-

ramique résistant aux attaques acides. Le document DE19651321 décrit un balancier en verre céramique.

[0005] La présente invention a pour but de proposer un procédé permettant de travailler des pièces de verre, notamment en verre céramique, de très petites dimensions, de manière extrêmement précise, avec des risques de casse réduits.

Divulcation de l'invention

[0006] Plus particulièrement, l'invention porte sur un procédé de réalisation d'au moins une pièce micromécanique en verre, comprenant les étapes suivantes :

- se doter d'un premier wafer de verre présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à $5 \times 10^{-6}K^{-1}$,
- soudure d'un deuxième wafer de verre présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à $5 \times 10^{-6}K^{-1}$, au premier wafer, par l'intermédiaire d'une couche d'accroche, la pièce étant destinée à être réalisée dans le deuxième wafer,
- croissance d'un masque métallique sur le deuxième wafer,
- gravure traversante du deuxième wafer à travers le masque métallique, et
- libération de la pièce en éliminant la couche d'accroche.

[0007] D'autres caractéristiques du procédé sont définies dans les revendications de la présente demande.

Brève description des dessins

[0008] D'autres caractéristiques de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui va suivre, faite en référence aux figures 1 à 6 annexées, reprenant de manière schématique différentes étapes du procédé. On notera que les épaisseurs des différentes couches ne sont pas représentatives.

Mode(s) de réalisation de l'invention

[0009] Pour des applications micromécaniques, notamment dans le domaine de l'horlogerie, particulièrement des mouvements d'horlogerie, l'épaisseur des pièces fabriquées en verre, notamment en verre céramique, est de l'ordre de 150µm, plus généralement comprise entre 100 et 200µm. Dans le cadre d'un ressort spiral, les spires de ce dernier peuvent également avoir une largeur du même ordre. Ces valeurs ne sont pas limitatives, mais définissent sensiblement un domaine d'épaisseur où ces pièces présentent une tenue mécanique qui leur permet d'être utilisées dans un mécanisme d'horlogerie, mais qui ne leur permet pas d'être usinées par des techniques habituelles. Le verre utilisé est fourni sous forme de wafers, c'est-à-dire de feuilles dans lesquelles les pièces seront formées selon le procédé qui va être

décrit ci-après. Les verres utilisés peuvent être des verres fournis dans le commerce. Pour ce qui concerne les verres céramiques, on peut utiliser le verre commercialisé sous le nom de ZERODUR™ par Schott. A titre d'exemple non limitatif, le procédé décrit ci-dessous se rapporte à la réalisation de pièces en verre céramique. L'homme du métier saura facilement l'adapter à d'autres verres présentant un coefficient de dilatation thermique sensiblement nul.

[0010] Ainsi, une première étape du procédé selon l'invention, consiste à se doter d'un premier wafer 10 de verre céramique. Comme on le comprendra par la suite, ce wafer n'est pas destiné à être utilisé pour la réalisation des pièces, mais est destiné à jouer une fonction de support ou de renfort mécanique.

[0011] Une couche d'accroche 12, de préférence de silicium amorphe, est ensuite déposée sur le premier wafer. On relèvera que d'autres matériaux permettant de réaliser une soudure momentanée peuvent être utilisés comme couche d'accroche, notamment du germanium, de préférence amorphe.

[0012] Un deuxième wafer 14 en verre céramique est ensuite soudé, de préférence par soudure anodique, au premier, par l'intermédiaire de la couche d'accroche (figure 1). L'homme du métier maîtrise parfaitement les techniques de soudure anodique, sans qu'il soit besoin de les détailler davantage ici. Il pourrait être envisageable d'utiliser d'autres techniques de soudure mettant également en jeu des températures modérées, permettant de ne pas dégrader les propriétés du verre formant les wafers, ni l'état de surface des wafers. Bien entendu, la couche d'accroche 12 peut être alternativement déposée sur le deuxième wafer 14 avant l'étape de soudure. On notera que les pièces sont destinées à être réalisées dans ce deuxième wafer. De préférence, les deux wafers sont identiques (c'est-à-dire qu'ils sont fabriqués dans le même type de verre céramique et qu'ils ont la même épaisseur et les mêmes dimensions de surface), et le deuxième wafer est entièrement superposé au premier. Au moins toute la zone du deuxième wafer dans laquelle des pièces seront formées est disposée sur le premier wafer.

[0013] Ainsi, le premier et le deuxième wafers sont réalisés en verre céramique, ce qui permet de ne pas avoir d'effet négatif lié à une dilatation différentielle entre les deux wafers qui pourrait conduire, lors du refroidissement après la soudure anodique, à une déformation des wafers. De préférence, avec deux wafers identiques, parfaitement superposés l'un à l'autre, on obtient un système symétrique, dans lequel les contraintes subies lors de l'étape de gravure sont équilibrées.

[0014] Ensuite, un masque métallique 16 est réalisé par croissance sur la face libre du deuxième wafer. De préférence, ce masque métallique est obtenu par une technique de type LIGA, mettant en oeuvre un moule de résine photosensible 18. Plus particulièrement, on dépose sur la face libre du deuxième wafer, une couche métallique conductrice 20, permettant d'effectuer ultérieu-

rement une croissance galvanique. On dépose ensuite un masque de photoresist épais, de type SU8, ayant la forme et les dimensions des pièces à réaliser (figure 2). Par croissance galvanique, de Nickel par exemple, on réalise le masque métallique 16 dans les espaces laissés libres par le moule de résine photosensible 18 (figure 3). Le moule est ensuite dissous, ainsi que la couche métallique conductrice 20 rendue apparente par la dissolution du moule 18 (figure 4). Ces étapes sont connues de l'homme du métier et ne sont donc pas décrites davantage. On libère ainsi un masque métallique aux formes des pièces à réaliser.

[0015] Puis, on réalise une gravure traversante du deuxième wafer 14 à travers le masque métallique 16 (figure 5). Cette gravure peut, selon un mode de réalisation avantageux, être effectuée par une attaque plasma anisotrope en milieu fluoré, réalisée dans un réacteur de type ICP (Inductively Coupled Plasma), dont les paramètres sont les suivants :

- Température du substrat : compris entre -5 et -20°C, particulièrement -10°C;
- Débit de C_4F_8 : compris entre 10 et 20sccm, particulièrement 17sccm;
- Débit d'Ar : compris entre 20 et 80sccm, particulièrement 50sccm;
- Pression de travail : comprise entre 2 et $20 \cdot 10^{-3}$ mbar, particulièrement $8 \cdot 10^{-3}$ mbar;
- Puissance RF de plasma: compris entre 2000 et 3500W, particulièrement 2800W ;
- Puissance RF de porte substrat: compris entre 100 et 500W, particulièrement 200W.

[0016] Afin de libérer les pièces, on procède tout d'abord à l'élimination du masque métallique 16 et de la couche métallique conductrice 20 située sous lui, par gravure chimique (figure 6). Puis, dans une étape non illustrée, la couche d'accroche 12 est dissoute, de préférence par gravure isotrope, typiquement, mettant en oeuvre les paramètres suivants :

- Température du substrat : compris entre 0 et 50°C, particulièrement 20°C;
- Débit de SF_6 : compris entre 100 et 500sccm, particulièrement 300sccm;
- Puissance RF plasma : compris entre 1000 et 2000W, particulièrement 1500W;
- Aucune puissance sur le porte substrat.

[0017] En alternative, la libération peut également être effectuée par attaque chimique isotrope par voie humide, utilisant un bain de KOH ou de TMAH. On obtient ainsi les pièces désirées, libérées du premier wafer support 10. De manière à faciliter leur manipulation, le design des pièces peut être avantageusement prévu de manière à ce qu'elles soient encore tenues entre elles par les parties inutiles du wafer, par exemple par un point de liaison qui peut être facilement cassé par la suite.

[0018] Ainsi, le fait de souder le wafer à graver 14 sur un autre wafer support 10 permet de renforcer sa tenue mécanique et ainsi, de pouvoir réaliser des pièces dans ce matériau, malgré les difficultés liées à sa fragilité. En outre, les pièces sont maintenues en place jusqu'à la dissolution de la couche d'accroche, puisqu'elles restent attachées au wafer support par cette couche d'accroche.

[0019] La combinaison d'un masque métallique 16, obtenu par des procédés lithographiques, et de la technique de gravure exposée ci-dessus, permet de particulièrement bien définir les arêtes des pièces gravées. Ceci est important, étant donné que, à cause de leur fragilité, les pièces obtenues ne peuvent être retouchées. L'état de surface, notamment pour les arêtes, des pièces obtenues est également bien adapté aux applications micro-mécaniques et notamment horlogères. On notera également que, la gravure du verre céramique étant difficile, cette étape est très exothermique. De plus, le verre céramique conduit mal la chaleur et des procédés de masquage conventionnels ne peuvent donc pas être utilisés, car les masques en photoresist ne supporteraient pas la chaleur dégagée lors de la gravure. Avantagusement, une couche d'accroche de silicium participe à l'évacuation d'une partie de la chaleur produite. De même, le masque métallique doit être suffisamment résistant aux conditions de gravure, de manière à ne pas être totalement consommé lors de cette étape, tout en permettant de longues périodes de gravure. Le Nickel est ainsi bien adapté à cette application. On pourrait aussi envisager d'utiliser du Chrome, voire du Fer ou du Cuivre.

[0020] Ainsi est proposé un procédé permettant de réaliser, de manière précise et contrôlée, des pièces micro-mécaniques en verre, en limitant grandement le risque de casse. La précision obtenue est parfaitement compatible avec une utilisation dans le domaine de l'horlogerie, notamment pour réaliser des éléments du mouvement, tant du bâti que des pièces mobiles.

[0021] En utilisant un verre céramique tel que le ZERODUR™ ayant un coefficient thermique de dilatation qui est sensiblement nul (c'est-à-dire inférieur à $5 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, de préférence inférieur à $3 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, de préférence inférieur à $2 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$), un lot de ressorts spiraux, chacun ayant par exemple des spires de dimensions en section de l'ordre de 100-200 μm , peut être micro-usiné sans risque de casse élevé. Les spiraux résultants sont avantagusement dans un matériau de structure isotropique avec une résistance mécanique importante tout en présentant une élasticité qui est généralement indépendante de la température. De plus, un tel spiral peut aussi être combiné avec un balancier réalisé selon le procédé de la présente invention afin d'obtenir un système balancier spiral d'un isochronisme exceptionnel.

Revendications

1. Procédé de réalisation d'au moins une pièce micro-mécanique en verre, comprenant les étapes

suivantes :

- se doter d'un premier wafer de verre (10) présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à $5 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$,
- soudure d'un deuxième wafer de verre (14) présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à $5 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, au premier wafer, par l'intermédiaire d'une couche d'accroche (12), ladite pièce étant destinée à être réalisée dans ledit deuxième wafer,
- croissance d'un masque métallique (16) sur le deuxième wafer,
- gravure traversante du deuxième wafer à travers le masque métallique, et
- libération de la pièce en éliminant la couche d'accroche.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ledit premier et ledit deuxième wafer sont choisis dans des verres présentant un coefficient de dilatation thermique inférieur à $3 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, de préférence inférieur à $2 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** l'un et/ou l'autre des premier et deuxième wafers sont réalisés en verre céramique.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre une étape d'élimination du masque métallique (16) avant l'élimination de la couche d'accroche.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la croissance du masque métallique (16) est obtenue :

- par la mise en oeuvre d'un moule de résine photosensible (18) ayant la forme et les dimensions de la pièce à réaliser, puis
- par la croissance galvanique de métal dans les espaces laissés libres par le moule de résine photosensible,
- par dissolution du moule de résine photosensible de manière à libérer le masque métallique.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'étape de gravure est effectuée par attaque plasma anisotrope en milieu fluoré, réalisée dans un réacteur de type ICP (Inductively Coupled Plasma).

7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'attaque plasma anisotrope est effectuée avec les paramètres suivants :

- Température du substrat : compris entre -5 et -20°C, particulièrement - 10°C;

- Débit de C_4F_8 : compris entre 10 et 20sccm, particulièrement 17sccm;
 - Débit d'Ar : compris entre 20 et 80sccm, particulièrement 50sccm;
 - Pression de travail : comprise entre 2 et 20.10⁻³mbar, particulièrement 8.10⁻³mbar;
 - Puissance RF de plasma: compris entre 2000 et 3500W, particulièrement 2800W ;
 - Puissance RF de porte substrat: compris entre 100 et 500W, particulièrement 200W.
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'étape de libération est effectuée par gravure isotrope.
9. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** ladite gravure isotrope est effectuée avec les paramètres suivants :
- Température du substrat : compris entre 0 et 50°C, particulièrement 20°C;
 - Débit de SF_6 : compris entre 100 et 500sccm, particulièrement 300sccm;
 - Puissance RF plasma : compris entre 1000 et 2000W, particulièrement 1500W;
 - Aucune puissance sur le porte substrat.
10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche d'accroche (12) est réalisée en silicium amorphe.
11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le premier et le deuxième wafers ont une épaisseur comprise entre 100 et 200 μ m, typiquement de 150 μ m.
12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le premier et le deuxième wafers sont identiques en termes de type de verre, de l'épaisseur et des dimensions de surface, et **en ce que** le premier et le deuxième wafers sont entièrement superposés l'un à l'autre lors de l'étape de soudure.
13. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la couche d'accroche est déposée sur le premier wafer avant l'étape de soudure.
14. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la soudure des premier et deuxième wafers est réalisée par soudure anodique.
15. Ressort spiral **caractérisé en ce qu'il** est réalisé en un verre céramique qui possède une structure isotropique et a un coefficient thermique de dilatation qui est inférieur à $5 \times 10^{-6}K^{-1}$.

Patentansprüche

1. Verfahren für die Herstellung mindestens eines mikromechanischen Teils aus Glas, das die folgenden Schritte umfasst:
 - Bereitstellen eines ersten Glaswafers (10), der einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten unter $5 \times 10^{-6}K^{-1}$ aufweist,
 - Schweißen eines zweiten Glaswafers (14), der einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten unter $5 \times 10^{-6}K^{-1}$ aufweist, auf den ersten Wafer, mit Hilfe einer Haftschrift (12), wobei das Teil zur Herstellung in dem zweiten Wafer bestimmt ist,
 - Wachsen einer metallischen Maske (16) auf dem zweiten Wafer,
 - durchgehendes Gravieren des zweiten Wafers durch die metallische Maske, und
 - Freigeben des Teils durch Entfernung der Haftschrift.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste und der zweite Wafer aus Gläsern ausgewählt sind, die einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten unter $3 \times 10^{-6}K^{-1}$, vorzugsweise unter $2 \times 10^{-6}K^{-1}$, aufweisen.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der eine und/oder der andere des ersten und zweiten Wafers aus keramischem Glas hergestellt sind.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** es ferner einen Schritt des Entferns der metallischen Maske (16) vor dem Entfernen der Haftschrift umfasst.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Wachstum der metallischen Maske (16) erfolgt:
 - durch die Umsetzung einer lichtsensiblen Harzform (18) mit der Form und den Abmessungen des herzustellenden Teils, danach
 - durch das galvanische Metallwachstum in den von der lichtsensiblen Harzform freigelassenen Räumen,
 - durch Auflösen der lichtsensiblen Harzform, so dass die metallische Maske freigegeben wird.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt des Gravierens durch anisotropen Plasmaangriff in fluoriertem Milieu durchgeführt wird, die in einem Reaktor vom Typ ICP (Inductively Coupled Plasma) durchgeführt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der anisotrope Plasmaangriff mit den folgenden Parametern erfolgt:

- Temperatur des Substrats: zwischen -5 und -20 °C inklusive, insbesondere - 10°C,
- C₄F₈-Rate: zwischen 10 und 20 sccm inklusive, insbesondere 17 sccm,
- Ar-Rate : zwischen 20 und 80 sccm inklusive, insbesondere 50 sccm,
- Arbeitsdruck: zwischen 2 und 20,10⁻³ mbar inklusive, insbesondere 8,10⁻³ mbar,
- RF-Plasmaleistung: zwischen 2000 und 3500 W inklusive, insbesondere 2800 W ;
- RF-Substratträgerleistung: zwischen 100 und 500 W inklusive, insbesondere 200 W.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schritt der Freigabe durch isotrope Gravur durchgeführt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die isotrope Gravur mit den folgenden Parametern durchgeführt wird:

- Temperatur des Substrats: zwischen 0 und 50 °C inklusive, insbesondere 20 °C,
- SF₆-Rate: zwischen 100 und 500 sccm inklusive, insbesondere 300 sccm,
- RF-Plasmaleistung: zwischen 1000 und 2000 W inklusive, insbesondere 1500 W,
- keine Leistung auf dem Substratträger.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Haftschrift (12) aus amorphem Silizium hergestellt ist.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste und der zweite Wafer eine Dicke zwischen 100 und 200 µm inklusive, typischerweise von 150 µm, haben.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste und der zweite Wafer hinsichtlich Glastype, Dicke und Oberflächenabmessungen identisch sind, und dass der erste und der zweite Wafer beim Schritt des Schweißens vollständig übereinandergelegt sind.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Haftschrift vor dem Schweißschritt auf den ersten Wafer aufgebracht wird.

14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Schweißen des ersten und zweiten Wafers durch anodisches Schweißen erfolgt.

15. Spiralfeder, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie aus einem keramischen Glas hergestellt ist, das eine isotrope Struktur besitzt und einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten unter $5 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ hat.

Claims

1. A method for making at least one micromechanical glass part, comprising the following steps:

- providing a first glass wafer (10) having a thermal expansion coefficient of less than $5 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$,
- welding a second glass wafer (14) having a thermal expansion coefficient of less than $5 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, to the first wafer, via an adhesion layer (12), said part being intended to be made in said second wafer,
- growing a metal mask (16) on the second wafer,
- through-etching the second wafer through the metal mask, and
- releasing the part by removing the adhesion layer.

2. The method according to claim 1, **characterized in that** said first and said second wafers are selected from glasses having a thermal expansion coefficient of less than $3 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$, preferably less than $2 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

3. The method according to one of claims 1 and 2, **characterized in that** one and/or the other of the first and second wafers are made in ceramic glass.

4. The method according to one of claims 1 to 3, **characterized in that** it further comprises a step for removing the metal mask (16) before removing the adhesion layer.

5. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** growth of the metal mask (16) is obtained:

- by application of a mold of photosensitive resin (18) having the shape and the dimensions of the part to be made, and then
- by galvanic growth of metal in the spaces left free by the mold of photosensitive resin,
- by dissolution of the mold of photosensitive resin so as to release the metal mask.

6. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the etching step is carried out by anisotropic plasma etching in a fluorinated medium, produced in a reactor of the ICP (Inductively Coupled Plasma) type.

7. The method according to claim 6, **characterized in that** the anisotropic plasma etching is carried out with the following parameters:

- a temperature of the substrate: comprised between -5 and -20°C, particularly -10°C; 5
- C₄F₈ flow rate: comprised between 10 and 20 sccm, particularly 17 sccm;
- Ar flow rate: comprised between 20 and 80 sccm, particularly 50 sccm; 10
- working pressure: comprised between 2 and 20.10⁻³ mbars, particularly 8.10⁻³ mbars;
- plasma RF power: comprised between 2,000 and 3,500W, particularly 2,800W;
- substrate holder RF power: comprised between 100 and 500W, particularly 200W. 15

8. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the release step is carried out by isotropic etching. 20

9. The method according to claim 8, **characterized in that** said isotropic etching is carried out with the following parameters: 25

- temperature of the substrate: comprised between 0 and 50°C, particularly 20°C;
- SF₆ flow rate: comprised between 100 and 500 sccm, particularly 300 sccm;
- plasma RF power: comprised between 1,000 and 2,000W, particularly 1,500W; 30
- no power on the substrate holder.

10. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the adhesion layer (12) is made in amorphous silicon. 35

11. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the first and second wafers have a thickness comprised between 100 and 200 μm, typically 150 μm. 40

12. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the first and second wafers are identical in terms of glass type, of thickness and surface dimensions, and **in that** the first and second wafers are entirely superposed on each other during the welding step. 45

13. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the adhesion layer is deposited on the first wafer before the welding step. 50

14. The method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the welding of the first and second wafers is carried out by anodic welding. 55

15. A coil spring **characterized in that** it is made in a

ceramic glass which has an isotropic structure and has a thermal expansion coefficient of less than 5 x 10⁻⁶K⁻¹.

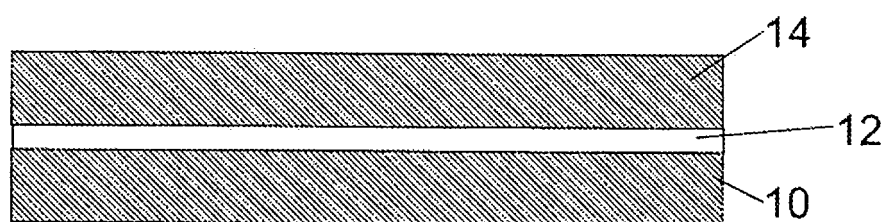


Fig. 1

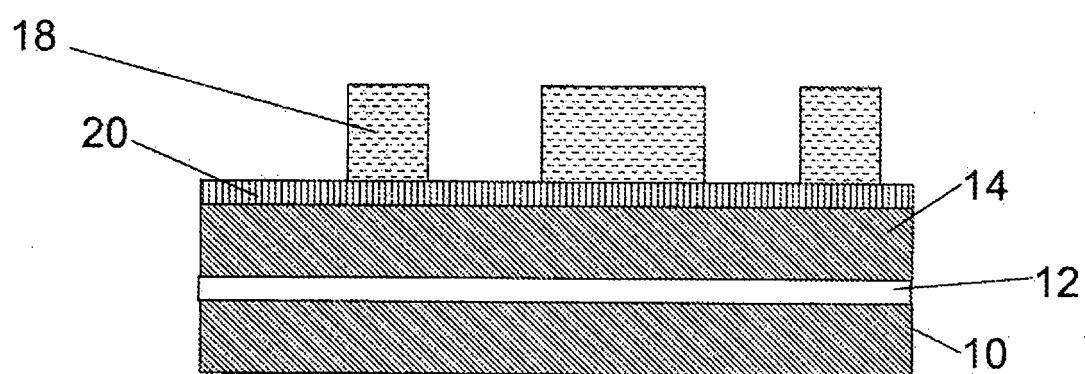


Fig. 2

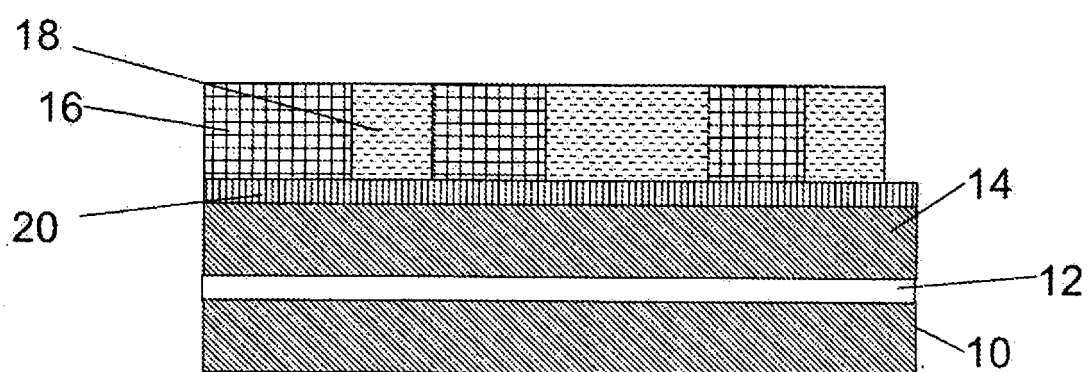


Fig. 3

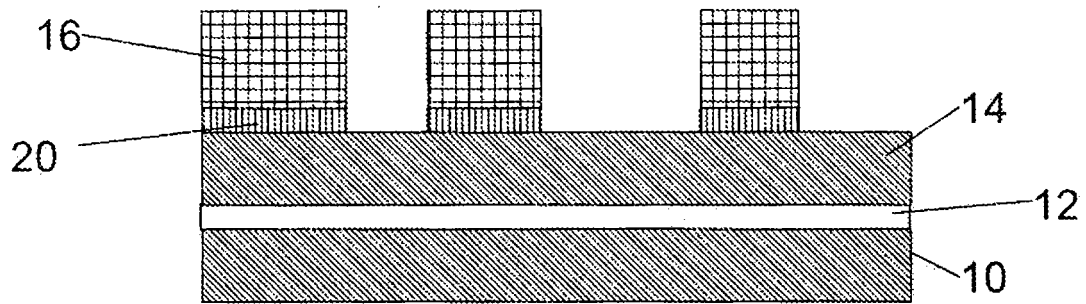


Fig. 4

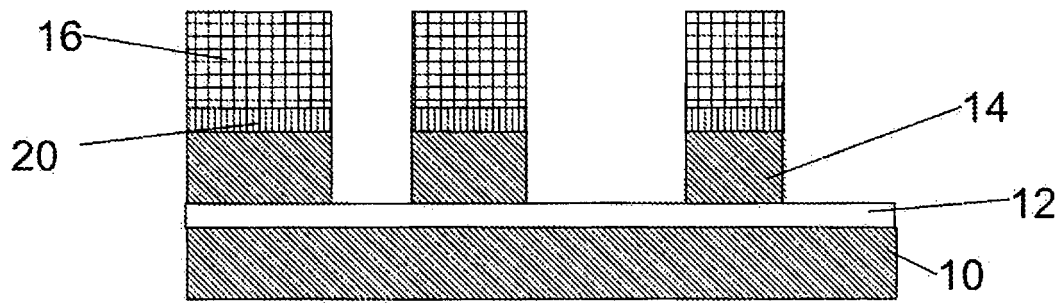


Fig. 5

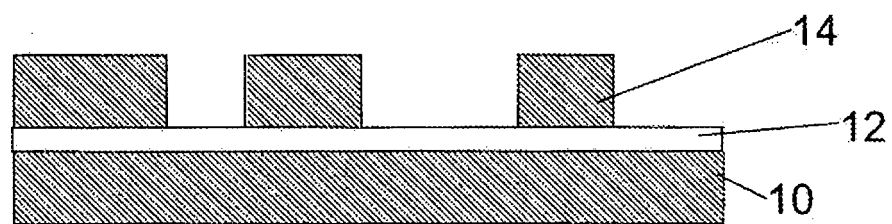


Fig. 6

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- DE 102008029429 [0004]
- EP 1791039 A [0004]
- DE 19651321 [0004]