



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
10.04.2013 Bulletin 2013/15

(51) Int Cl.:
G04B 13/02 (2006.01) **G04B 15/14** (2006.01)
G04B 17/06 (2006.01) **G04B 17/22** (2006.01)
G04B 29/02 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **11191327.3**

(22) Date de dépôt: **30.11.2011**

(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
Etats d'extension désignés:
BA ME

(72) Inventeurs:
• **Jeanneret, Sylvain**
2013 Colombier (CH)
• **Lani, Sébastien**
1791 Courtaman (CH)
• **Guillod, Laurent**
2000 Neuchâtel (CH)

(30) Priorité: **07.10.2011 CH 16482011**

(71) Demandeur: **CSEM Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA - Recherche et Développement**
2002 Neuchâtel (CH)

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

(54) **Procédé de réalisation d'une pièce d'horlogerie composite**

(57) La présente invention concerne un procédé de réalisation d'une pièce d'horlogerie composite comprenant une première couche métallique et une deuxième couche à base de silicium, comportant les étapes suivantes :

A. réaliser une première pièce définissant au moins une partie de la première couche métallique,
B. réaliser une deuxième pièce définissant la deuxième couche à base de silicium,
C. assembler la pièce composite en effectuant les étapes suivantes :

a. positionner respectivement les première et deuxième pièces de manière à mettre en contact ladite au moins une partie de la première couche métallique et la deuxième couche à base de silicium,
b. souder les première et deuxième pièces ensemble en appliquant une pression et/ou une température permettant une soudure par thermo-compression ou intermétallique par fusion et la création de liaison entre les première et deuxième pièces,
c. libérer la pièce composite en éliminant le premier substrat.

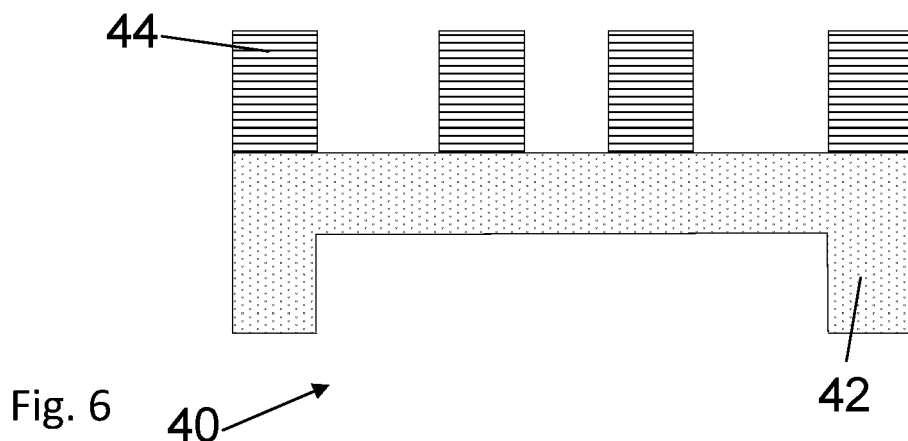


Fig. 6

40

42

Description

Domaine technique

[0001] La présente invention se rapporte au domaine de l'horlogerie mécanique. Elle concerne, plus particulièrement, un procédé de réalisation d'une pièce d'horlogerie composite comprenant au moins une première couche métallique et une deuxième couche à base de silicium.

Etat de la technique

[0002] En horlogerie, l'intérêt pour des pièces réalisées en silicium ou à base de silicium va grandissant. En effet, l'utilisation de techniques de masquage lithographique et de gravure profonde DRIE (Deep Reactive Ion Etching) permet la fabrication de pièces complexes, réalisées avec grande précision. La fabrication en série est industriellement avantageuse. De plus, les propriétés tribologiques du silicium sont également utilisées pour des pièces destinées à subir des frottements, afin de limiter ou de supprimer l'utilisation de lubrifiants. Par ailleurs, on utilise également de plus en plus la technologie LIGA (Röntgenlithographie, Galvanoformung, Abformung) pour réaliser des pièces complexes métalliques.

[0003] Dans certaines applications, on cherche à réaliser des pièces composites silicium-métal. Cela peut être utile pour donner une masse suffisante à un balancier réalisé à base de silicium, ou pour pallier les faiblesses mécaniques d'une pièce à base de silicium, liées à l'absence de domaine plastique de ce type de matériau, notamment pour assurer la fixation d'une pièce à base de silicium à un autre élément. Actuellement, on utilise des techniques telles que de la croissance galvanique ou de la métallisation en phase vapeur. Toutefois, les épaisseurs réalisables sont limitées et la reproductibilité de ces techniques n'est pas adaptée à une production industrielle de pièces très précises. Par ailleurs, les techniques de gravure profonde DRIE d'une part et LIGA d'autre part, sont toutes deux complexes à mettre en oeuvre et comportent un nombre relativement grand d'étapes, de sorte que combiner ces deux techniques est relativement compliqué.

[0004] La présente invention a pour but de proposer un procédé permettant de réaliser de manière industrialisable, une pièce composite silicium-métal.

Divulgation de l'invention

[0005] De façon plus précise, l'invention concerne un procédé de réalisation d'une pièce composite, tel que défini dans les revendications. L'invention concerne également des pièces d'horlogerie obtenues par ce procédé.

Brève description des dessins

[0006] D'autres détails de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit, faite en référence au dessin annexé dans lequel :

- les figures 1a, 1b et 1c illustrent schématiquement les étapes principales de la réalisation d'au moins une partie de la couche métallique,
- les figures 2a, 2b et 2c illustrent schématiquement les étapes principales de la réalisation de la couche à base de silicium,
- les figures 3a, 3b, 3c et 3d illustrent schématiquement les étapes principales de l'assemblage de la partie de la couche métallique et de la couche à base de silicium, et
- les figures 4a, 4b, 4c, 5 et 6 proposent des exemples d'application de l'invention.

Mode(s) de réalisation de l'invention

[0007] Selon un premier aspect, la présente invention concerne un procédé de réalisation d'une pièce d'horlogerie composite comprenant une première couche métallique et une deuxième couche à base de silicium.

[0008] En référence aux figures 1a, 1b et 1c, on réalise d'une part une première pièce définissant au moins une partie de la première couche métallique. Comme on le comprendra par la suite, au cours des étapes de la figure 1, selon les variantes choisies pour les autres étapes du procédé, on peut, soit ne réaliser qu'une partie de la couche métallique de la pièce composite, soit toute la couche métallique de la pièce composite.

[0009] On effectue les étapes suivantes. On se dote tout d'abord d'un premier substrat 1 à base de silicium, en verre ou en métal selon la liste suivante :

Fer, Titane, Chrome, Nickel, Cuivre, Zinc, Aluminium, Argent, ou en acier, laiton ou bronze, par exemple. Ce substrat étant sacrificiel, on essaiera de limiter son coût. La surface du substrat peut être traitée ou non, les traitements possibles étant des traitements thermiques, des oxydations ou des nitrurations. On peut également envisager d'utiliser un substrat 1 de type SOI (de l'anglais Silicon On Insulator), dans certains cas où il y aurait une utilité à conserver tout ou partie de ce substrat.

[0010] On dépose ensuite une ou plusieurs couches conductrices 2 (métal pur ou alliage), par évaporation ou pulvérisation. Les métaux ou alliages utilisés peuvent être typiquement du titane, du chrome, du tantale, de l'or, du cuivre, du nickel, du platine, de l'argent, un alliage or-étain...

[0011] Puis, on effectue sur la couche conductrice 2, une croissance métallique 4 par technologie LIGA, cette croissance métallique 4 définissant tout ou partie de la première couche métallique.

[0012] Pour ce faire, on structure, sur la couche conductrice 2, une couche de 5 à 1000 μm de résine photosensible 3 par photolithographie afin d'obtenir des cavités dans la résine, les cavités rendant apparentes la couche conductrice 2. Les techniques photolithographiques, incluant les étapes de masquage, d'insolation et de dissolution étant bien connues de l'homme du métier, elles ne seront pas décrites plus en détails.

[0013] Sur la couche conductrice 2 apparente au fond des cavités, on effectue ensuite une croissance galvanique de métal dans les cavités pour obtenir la croissance métallique 4.

[0014] La surface libre de la croissance métallique 4 est ensuite mise à plat, typiquement par abrasion de surface, telle que polissage, rodage ou meulage. De manière accessoire et sans incidence sur les autres étapes du procédé, la résine se trouve être polie simultanément. Cette étape est importante pour la suite du procédé. En effet, une surface issue d'une croissance galvanique n'est, a priori, pas parfaitement plane et n'est donc pas une bonne base pour une liaison avec une autre pièce. L'abrasion de surface permet une rectification de la surface de la croissance métallique 4.

[0015] Enfin, la résine photosensible 3 est retirée par voie sèche, type plasma, ou humide, par réaction dans une solution chimique adaptée. Ces étapes sont également bien connues de l'homme du métier et ne sont donc pas décrites davantage. On notera que l'étape d'abrasion de surface peut également se faire après le retrait de la résine photosensible 3.

[0016] La croissance métallique 4 définit ainsi une ou des pièces métalliques, disposées sur et solidaires du premier substrat 1, cette ou ces pièces métalliques formant ce qui sera tout ou partie de la couche métallique de la pièce composite.

[0017] On notera que, comme le montre la figure 1 c, les étapes du procédé LIGA de structuration de résine photosensible 3 et de croissance galvanique peuvent être répétées de manière à obtenir une croissance métallique 4 à plusieurs niveaux. Le cas échéant, une couche métallique intermédiaire d'accrochage est déposée à la surface d'un niveau précédent, avant de déposer et de structurer la résine. Chaque niveau est ainsi construit sur le précédent.

[0018] Par ailleurs, on réalise une deuxième pièce définissant la deuxième couche à base de silicium en effectuant les étapes suivantes, illustrées en référence aux figures 2a à 2c. On se dote tout d'abord d'un deuxième substrat 10 à base de silicium. Il peut s'agir d'un wafer de silicium ou d'un substrat de type SOI. La surface du deuxième substrat peut être traitée ou non. Les traitements pouvant être appliqués à une surface en silicium, sont par exemple des traitements thermiques, des oxydations ou des nitrurations.

[0019] On effectue ensuite sur au moins une face de ce deuxième substrat 10, un masquage photolithographique 12. Ce masquage photolithographique 12 est réalisé en déposant une couche de résine photosensible de

1 à 100 μm sur la face concernée du deuxième substrat. On dépose ensuite un masque sur ladite couche de résine photosensible et on insole la résine au travers du masque par exposition aux rayons UV. Enfin, la résine insolée est éliminée par voie chimique, afin d'obtenir des cavités dans la couche de résine et ainsi définir le masquage photolithographique 12. Ces étapes de masquage, d'insolation et de dissolution étant bien connues de l'homme du métier, elles ne seront pas décrites plus en détails. Le cas échéant, un masque intermédiaire d'oxyde de silicium peut être utilisé.

[0020] Ensuite, on effectue une gravure DRIE au niveau des surfaces laissées libre par le masquage photolithographique, symbolisée par la référence 14 sur les figures 2.

[0021] Puis, on retire le masquage photolithographique par voie sèche type plasma, ou humide, par réaction dans une solution chimique adaptée.

[0022] La gravure permet ainsi d'obtenir une pièce à base de silicium, gravée dans le deuxième substrat 10, cette pièce à base de silicium formant ce qui sera la couche à base de silicium de la pièce composite.

[0023] On notera que la gravure peut être réalisée sur les deux faces du deuxième substrat. Par ailleurs, en effectuant plusieurs masquages photolithographiques, on peut également effectuer des gravures multiniveaux.

[0024] Ensuite, on assemble la pièce composite en effectuant les étapes suivantes. On positionne respectivement les première et deuxième pièces de manière à mettre en contact, d'une part, la ou les pièces métalliques solidaires du premier substrat 1 et destinées à former la couche métallique de la pièce composite et, d'autre part, la ou les pièces à base de silicium solidaires du deuxième substrat 10 et destinées à former la couche à base de silicium de la pièce composite (figure 3a). Au besoin, des éléments d'indexage peuvent être prévus sur chacune des pièces, de manière à ce qu'elles soient parfaitement positionnées l'une en référence à l'autre, en fonction de la pièce composite que l'on souhaite obtenir.

[0025] On soude ensuite les première et deuxième pièces ensemble, en appliquant une pression et/ou une température permettant de souder la première pièce avec la deuxième pièce. Dans l'exemple décrit ici, les liaisons créées sont des liaisons Si-Métal, résultant de la formation d'un alliage intermétallique. Typiquement, on peut réaliser cette étape en appliquant une température comprise entre 100 et 600°C et une pression comprise entre 0.5 et 10 bars.

[0026] Pour favoriser l'assemblage de la première et de la deuxième pièce et améliorer la précision de leur positionnement relatif qui doit être optimale, on peut en outre, après le retrait du masquage photolithographique 12 sur le deuxième substrat 10, déposer une couche métallique d'interface 16 sur les parties à base de silicium destinées à venir au contact de la première pièce en métal. De préférence, la couche métallique d'interface 16 est réalisée dans le même métal que la croissance galvanique 4. La figure 3b illustre cette situation. L'opération

d'assemblage se fait alors entre deux couches de métal, au moyen d'un soudage par thermo-compression, en appliquant une température comprise entre 100 et 600°C et une pression comprise entre 0.5 et 10 bars. La couche métallique d'interface 16 déposée sur le deuxième substrat va alors former, avec la croissance métallique 4 de la première pièce, l'ensemble de ladite première couche métallique de la pièce composite.

[0027] Finalement, la pièce composite est libérée en éliminant sélectivement le premier substrat 1 (figure 3c). La croissance métallique 4 déposée sur lui reste soudée à la deuxième pièce. Cette élimination est également réalisée par gravure sèche type plasma, ou humide par réaction dans une solution chimique adaptée ou encore par voie mécanique. La figure 3d représente cette même étape dans le cas où on a utilisé une couche métallique d'interface 16. On notera que les hachures distinctives utilisées sur la figure ne sont là que pour clarifier les schémas mais n'ont pas de signification physique. En effet, après soudage par thermo-compression, il n'y a pas de discontinuité entre la couche métallique d'interface 16 et la croissance galvanique 4.

[0028] Le procédé qui vient d'être décrit permet de réaliser de manière industrialisable, c'est-à-dire précise et reproductible, des pièces composites, comportant une couche métallique et une couche à base de silicium, l'une et l'autre pouvant présenter des formes tridimensionnelles complexes. Ce procédé peut avantageusement être utilisé pour réaliser des pièces d'horlogerie, notamment des pièces où le silicium est avantageux, mais doit de préférence être combiné à des parties métalliques pour compenser sa fragilité ou sa faible densité.

[0029] Un exemple d'application concerne une pièce d'horlogerie 20 destinée à être montée sur un axe (figures 4a, 4b et 4c). Typiquement, il peut s'agir d'une roue ou d'un pignon. On sait en effet que la fixation d'un tel mobile en silicium sur un axe est problématique, étant donné que le silicium ne résiste pas aux contraintes appliquées lors d'un chassage traditionnel. Ainsi, la deuxième couche 22 réalisée à base de silicium comporte un trou dimensionné de manière à permettre le libre passage de l'axe. Elle ne subit donc pas de contraintes mécaniques lors de l'assemblage sur l'axe. La première couche métallique 24 comporte, elle, un trou dimensionné pour coopérer rigidement avec l'axe.

[0030] La figure 4b montre une variante de la pièce d'horlogerie 20, dans laquelle le moyeu de la pièce à base de silicium comprend une gravure multiniveau, définissant, d'une part, un logement pour la couche métallique 24 et, d'autre part, une structure élastique au niveau du moyeu permettant un centrage sur l'axe. Lors de l'assemblage, la structure élastique peut se déformer et permet de centrer la pièce composite sur l'axe. La fixation est effectuée sur la couche métallique 24.

[0031] La figure 4c propose une variante supplémentaire de la pièce d'horlogerie 20, dans laquelle la deuxième couche 22 réalisée à base de silicium comprend, de part et d'autre de son moyeu, une couche métallique 24.

Comme pour la première variante, le trou du moyeu de la deuxième couche 22 est dimensionné de manière à ce que ce dernier ne subisse pas de contrainte. Par ailleurs, chacune des couches métalliques 24 comporte un trou dimensionné pour coopérer rigidement avec l'axe. L'axe est donc guidé de chaque côté de la pièce à base de silicium. Les trous de la première et de la deuxième couche sont disposés de manière coaxiale.

[0032] C'est ainsi la couche métallique 24 ou les couches métalliques 24 qui subit/subissent les contraintes liées à la fixation qui peut être effectuée par chassage, rivetage, frettage, brasage, soudage ou autres procédés d'assemblage connus. Le procédé permet une grande précision et efficacité remarquable dans la disposition de la couche métallique au niveau du moyeu de la couche à base de silicium. Une construction similaire peut plus généralement être utilisée pour différents cas dans lesquels une pièce à base de silicium doit être assemblée à une autre pièce. On peut notamment mentionner l'assemblage d'un pont en silicium sur une platine, le chassage d'une pierre dans un pont en silicium, la fixation d'un dard métallique sur une ancre en silicium, l'assemblage d'une virole ou d'un piton sur un spiral à base de silicium, l'assemblage d'un ressort de rappel ou d'un cliquet sur une roue en silicium.

[0033] Une deuxième application 30 du procédé selon l'invention, consiste à réaliser des masses inertielles métalliques 34 sur un balancier 32 réalisé à base de silicium. L'invention peut être appliquée tout autre composant nécessitant l'ajout de masses ponctuelles ou balourd.

[0034] Une troisième application 40 du procédé selon l'invention consiste à réaliser des décors métalliques sur une pièce à base de silicium 42. La réalisation de la première couche métallique 44 par la technologie LIGA permet d'obtenir des formes particulièrement complexes, pouvant fournir des décors.

[0035] Le procédé selon l'invention offre ainsi la possibilité de réaliser une pièce composite, présentant, tant pour sa partie métallique que sa partie à base de silicium, des formes complexes, mais néanmoins extrêmement précises. Grâce au fait que les pièces sont réalisées indépendamment l'une de l'autre, la réalisation de chacune d'elle peut se faire sans altérer l'autre et sans être gênée par elle.

[0036] La présente description a été donnée à titre d'illustration non limitative de l'invention. L'homme du métier saura l'adapter sur la base de ses connaissances générales, sans toutefois sortir du cadre tel que défini par les revendications.

Revendications

1. Procédé de réalisation d'une pièce d'horlogerie composite comprenant une première couche métallique et une deuxième couche à base de silicium, comportant les étapes suivantes :

A. réaliser une première pièce définissant au moins une partie de la première couche métallique en effectuant les étapes suivantes :

- a. se doter d'un premier substrat (1) à base de silicium, de verre ou en métal,
- b. effectuer sur ce premier substrat, une croissance métallique (4) par technologie LIGA, ladite croissance définissant ladite au moins une partie de la première couche,

B. réaliser une deuxième pièce définissant la deuxième couche à base de silicium en effectuant les étapes suivantes :

- a. se doter d'un deuxième substrat (10) à base de silicium,
- b. effectuer sur au moins une face de ce deuxième substrat, un masquage photolithographique (12), et
- c. effectuer une gravure DRIE au niveau des surfaces laissées libre par le masquage photolithographique, puis
- d. retirer le masquage photolithographique,

C. assembler la pièce composite en effectuant les étapes suivantes :

- a. positionner respectivement les première et deuxième pièces de manière à mettre en contact ladite au moins une partie de la première couche métallique et la deuxième couche à base de silicium,
- b. souder les première et deuxième pièces ensemble en appliquant une pression et/ou une température permettant une soudure par thermo-compression ou la formation d'un alliage intermétallique et la création de liaison entre les première et deuxième pièces,
- c. libérer la pièce composite en éliminant le premier substrat.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'étape B comporte, en outre, l'opération suivante, effectuée après le retrait du masquage :

- e. déposer une couche métallique d'interface (16) sur des parties destinées à former, avec la partie de la première couche métallique, l'ensemble de ladite première couche.

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le dépôt de la couche métallique d'interface (16) est effectué en déposant une ou plusieurs couches par évaporation ou pulvérisation.

4. Procédé selon la revendication 3, **caractérisé en ce**

que la couche métallique d'interface (16) est réalisée à base de titane, chrome, tantale, or, cuivre, nickel, platine, argent ou un alliage or-étain.

5. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'étape B comporte, en outre, une opération de réalisation d'un masque intermédiaire réalisé en oxyde de silicium

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** l'étape A.b. est réalisée en :

- A.b.1 structurant une couche de 5 à 1000 μm de résine photosensible (3) par photolithographie afin d'obtenir des cavités dans ladite résine,
 - A.b.2 effectuant une croissance galvanique de métal dans lesdites cavités, et
 - A.b.3 retirant la résine,
- l'étape A.b. comportant en outre une étape de mise à plat la surface obtenue, effectuée soit avant soit après l'étape A.b.3.

7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** la mise à plat de la surface obtenue est réalisée par polissage, rodage ou meulage.

8. Procédé selon l'une des revendications 6 et 7, **caractérisé en ce que** les étapes A.b.1 à A.b.2 sont répétées de manière obtenir une couche métallique à plusieurs niveaux.

9. Procédé selon la revendication 8, **caractérisé en ce que**, entre deux cycles d'étapes A.b.1 à A.b.2, une couche métallique intermédiaire d'accrochage est déposée.

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'étape B.c. de gravure DRIE est effectuée sur plusieurs niveaux différents.

11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les étapes B.b., B.c., et B.d. sont réalisées sur deux faces opposées de ladite deuxième pièce.

12. Pièce d'horlogerie obtenue par le procédé selon l'une des revendications 1 à 11.

13. Pièce d'horlogerie selon la revendication 12, destinée à être montée sur un axe, dans laquelle la deuxième couche (22) comporte un trou dimensionné pour le passage de l'axe et dans laquelle la première couche (24) comporte un trou dimensionné pour coopérer rigidement avec l'axe, et dans laquelle ledit trou de la deuxième couche (22) permet le libre passage de l'axe.

14. Pièce d'horlogerie selon la revendication 13, **carac-**

térisée en ce qu'elle comporte un moyeu muni d'une structure élastique agencée pour coopérer avec ledit axe.

15. Pièce d'horlogerie selon la revendication 12, **carac-** 5
térisée en ce qu'elle est un balancier (32) et **en ce**
que la première couche (34) définit des masses iner-
tielles.

16. Pièce d'horlogerie selon la revendication 12, **carac-** 10
térisée en ce que la première couche (44) définit
des éléments de décor.

15

20

25

30

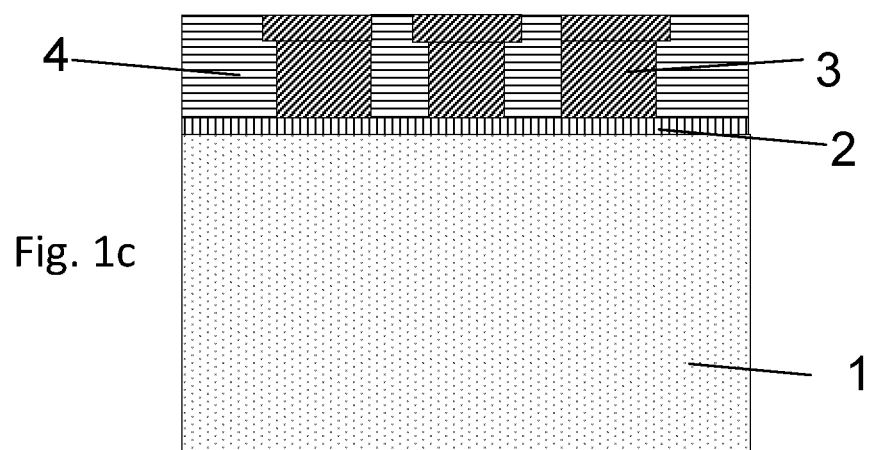
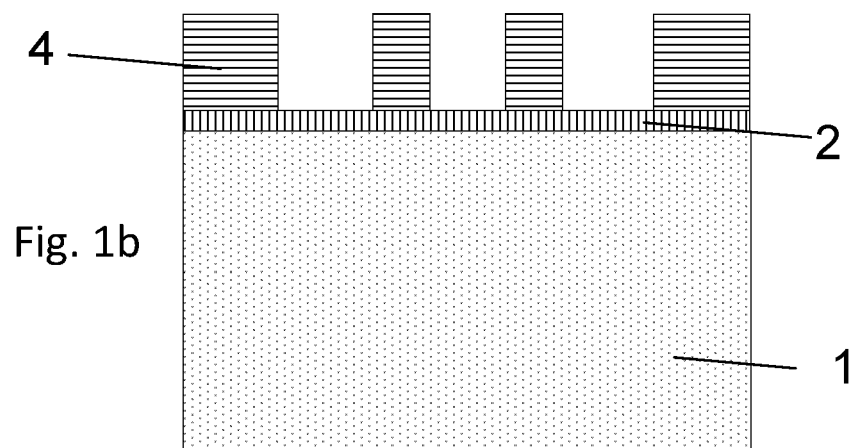
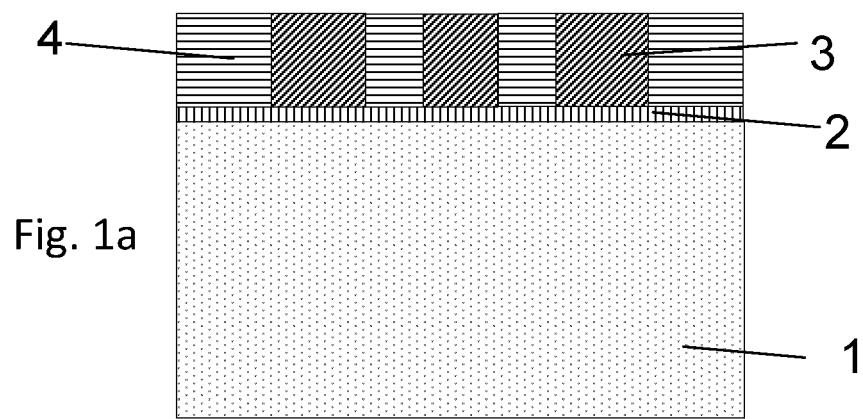
35

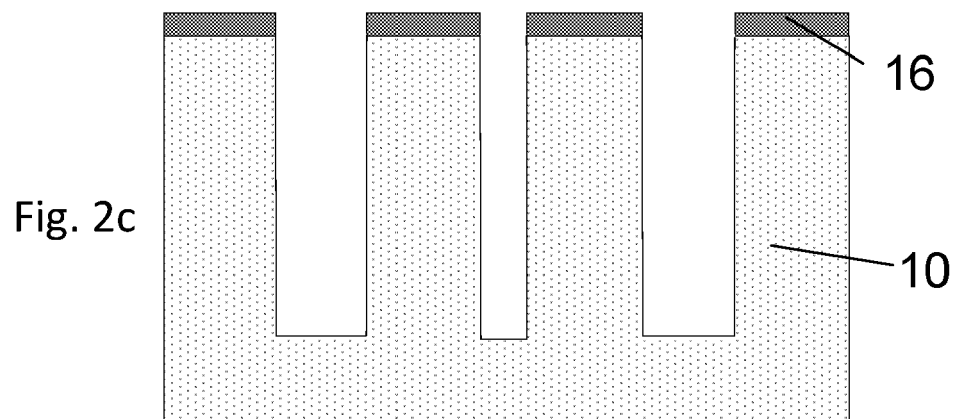
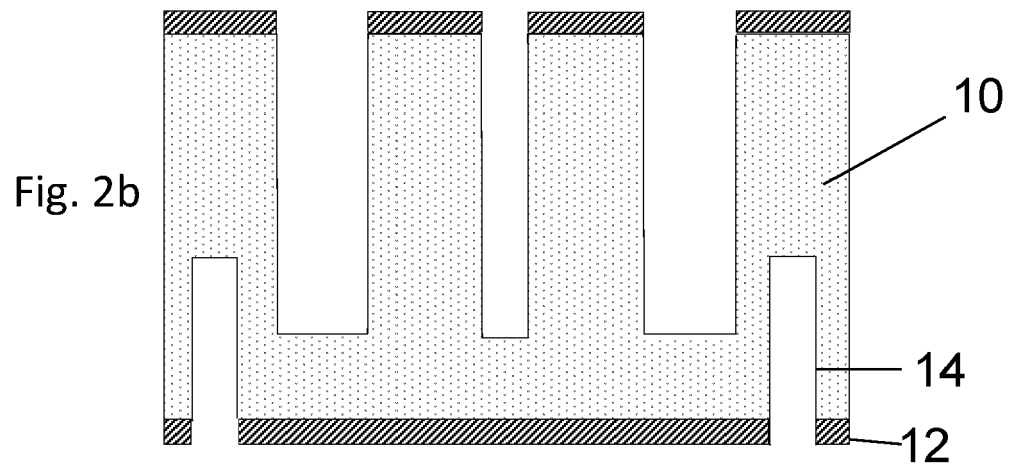
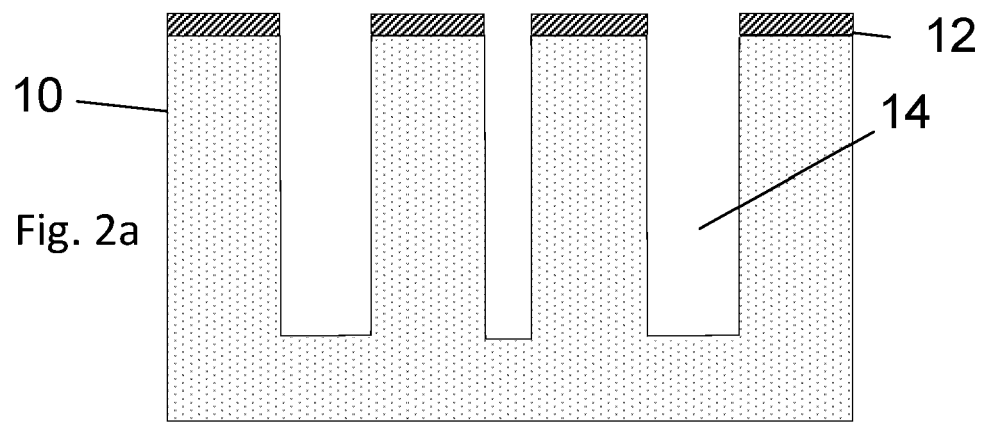
40

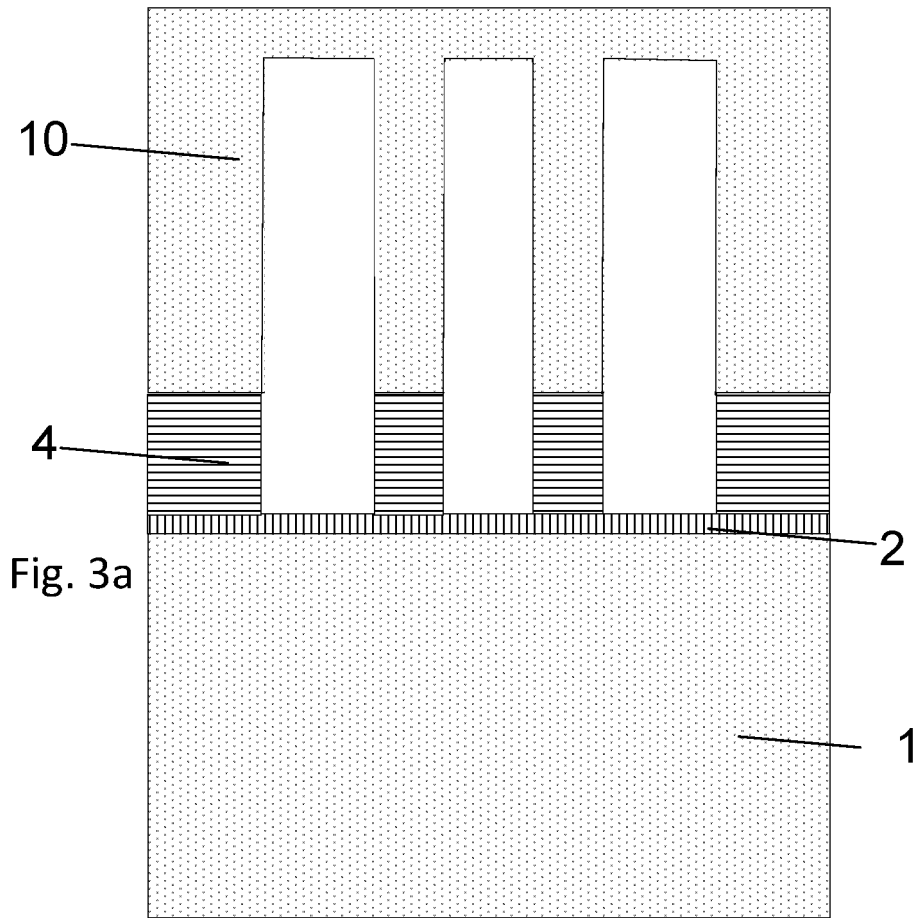
45

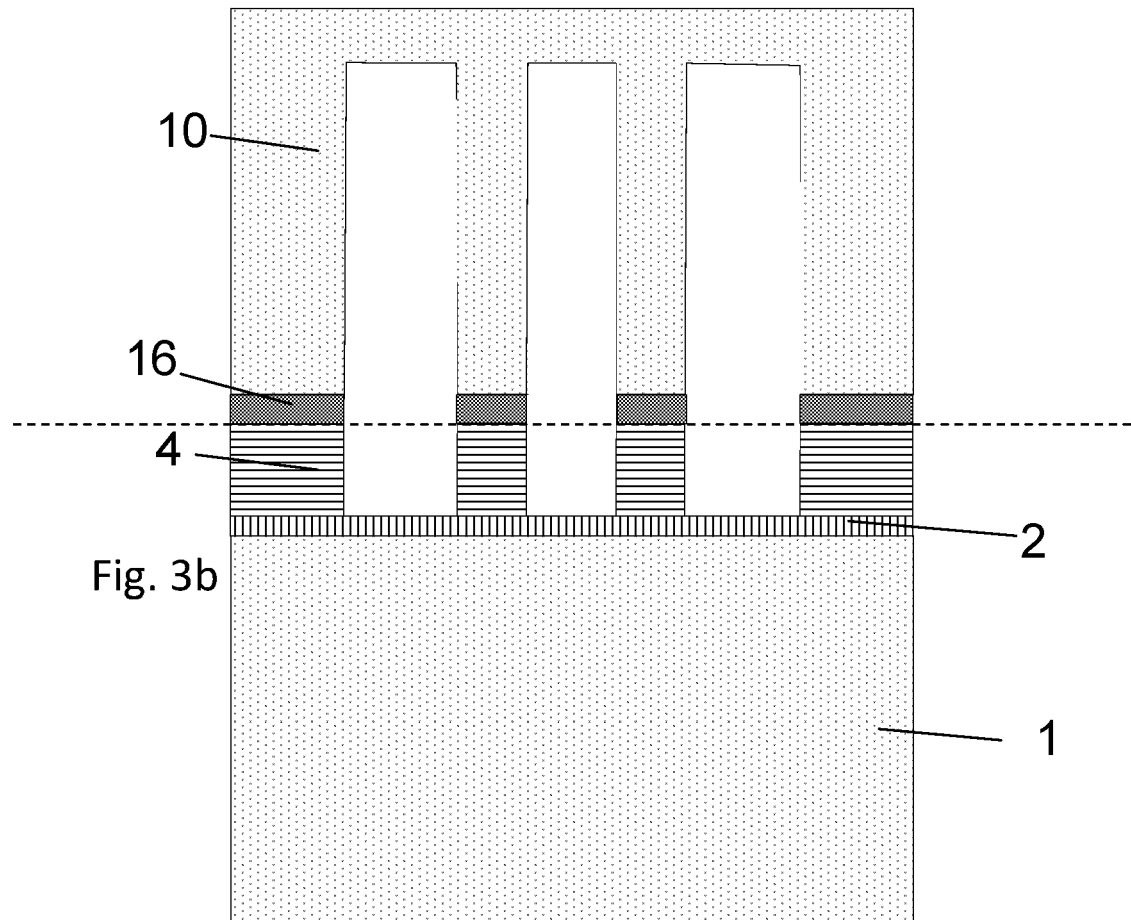
50

55









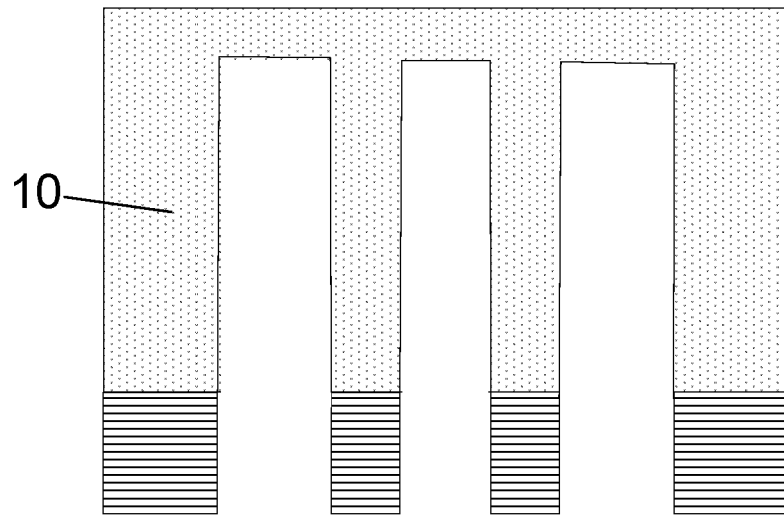


Fig. 3c

