

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **716 692 B1**

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(51) Int. Cl.: **B81C** 3/00 (2006.01)
G04B 13/02 (2006.01)
G04B 17/06 (2006.01)
G04B 15/14 (2006.01)
G04D 3/00 (2006.01)

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 01309/19

(22) Date de dépôt: 14.10.2019

(43) Demande publiée: 15.04.2021

(24) Brevet délivré: 13.01.2023

(45) Fascicule du brevet publié: 13.01.2023

(73) Titulaire(s):
PATEK PHILIPPE SA GENEVE, Rue du Rhône 41
1204 Genève (CH)

(72) Inventeur(s):
Sylvain Jeanneret, 2013 Colombier (CH)
Rémy, Romain, Maurice Fournier, 2000 Neuchâtel (CH)

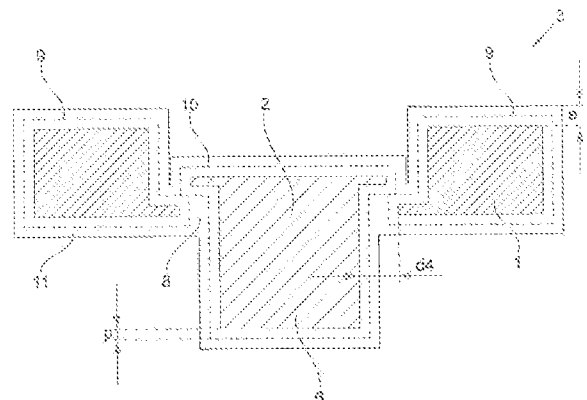
(74) Mandataire:
MICHELI & CIE SA, 122, Rue de Genève Case postale 61
1226 Thônex (CH)

(54) **Procédé de fabrication d'un composant, typiquement horloger, en silicium.**

(57) L'invention concerne un procédé de fabrication d'au moins un composant (3), typiquement horloger, comprenant les étapes suivantes :

- se munir d'une pièce femelle (1) comprenant au moins une ouverture (4) et un lamage (5) bordant cette ouverture (4) et d'une pièce mâle (2) comprenant un épaulement (7),
- introduire au moins une partie de la pièce mâle (2) dans l'ouverture (4) de sorte que le lamage (5) et l'épaulement (7) viennent en butée l'un contre l'autre pour positionner axialement les pièces mâle (2) et femelle (1) l'une par rapport à l'autre, au moins la partie de la pièce mâle (2) située en regard de l'ouverture (4) et/ou la partie de la pièce femelle (1) définissant l'ouverture (4) étant en silicium éventuellement recouvert d'oxyde de silicium, lesdites parties ménageant entre elles un espace (8) libre,
- soumettre l'ensemble desdites pièces mâle (2) et femelle (1) à un traitement thermique de manière à ce que sur la surface d'au moins une desdites parties se forme une couche d'oxyde de silicium remplissant au moins en partie ledit espace (8) libre,

- poursuivre l'étape c) au moins jusqu'à ce que lesdites deux pièces (1, 2) se solidarisent pour former ledit composant (3).



Description

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un composant, typiquement horloger, au moins en partie en silicium, comprenant l'assemblage de deux pièces, ledit composant pouvant être de forme complexe, notamment multi-niveaux.

[0002] En horlogerie, on utilise majoritairement des composants en silicium monolithiques. De tels composants peuvent être obtenus par gravure, par exemple par gravure chimique ou par gravure ionique réactive profonde (DRIE). Cette technique, à elle seule, c'est-à-dire non suivie d'étapes d'assemblage, est difficilement applicable pour l'obtention de composants à structure complexe tels que des composants multi-niveaux. En effet, au moins une étape d'assemblage semble préférable pour la fabrication de tels composants.

[0003] En micromécanique, il existe une technique de fabrication de composants par assemblage de pièces en silicium connue sous le nom de „fusion bounding“. Cette technique permet de créer une liaison covalente entre des surfaces planes superposées de deux pièces en silicium. Pour ce faire, les surfaces planes de ces pièces subissent une étape d'activation comprenant un traitement de surface avant d'être positionnées et alignées l'une en face de l'autre puis mises en contact. Le traitement de surface peut typiquement consister en un nettoyage à l'acide pour enlever les oxydes natifs et libérer des ions ou bien en une activation ionique par exemple par bombardement. Cette étape préliminaire d'activation permettant la formation d'une liaison covalente entre les surfaces planes en contact des pièces est suivie d'une étape d'oxydation thermique conduisant à la formation d'une couche d'oxyde de silicium ou enrobage sur les surfaces de l'assemblage des pièces. Un composant constitué desdites deux pièces assemblées peut ainsi être obtenu. Cette méthode présente l'inconvénient de nécessiter une étape d'activation des surfaces ainsi qu'un alignement préalable relativement précis.

[0004] Des techniques d'assemblage telles que le collage ou le brasage sont utilisées pour la réalisation de composants de formes complexes en silicium. Cependant, ces techniques ne sont pas optimales en ce qu'elles nécessitent l'application d'une couche de colle ou d'un métal pour l'assemblage ainsi qu'un positionnement très précis des pièces à assembler l'une par rapport à l'autre avant leur assemblage. De plus, les composants ainsi obtenus peuvent présenter des restrictions quant à leurs conditions d'utilisation, ces restrictions dépendant notamment de la résistance de ladite couche à certaines conditions de température, d'humidité ou autre.

[0005] Un but de la présente invention est de proposer un procédé de fabrication d'un composant, typiquement micromécanique, au moins en partie en silicium par assemblage de deux pièces, qui puisse être mis en oeuvre simplement, qui soit adapté à la fabrication de composants de formes complexes, notamment multi-niveaux et qui permette d'obtenir un composant résistant.

[0006] L'invention propose à cette fin un procédé de fabrication d'au moins un composant comprenant les étapes suivantes :

- a) se munir d'une pièce femelle comprenant au moins une ouverture et un lamage bordant cette ouverture et d'une pièce mâle comprenant un épaulement,
- b) introduire au moins une partie de la pièce mâle dans l'ouverture de sorte que le lamage et l'épaulement viennent en butée l'un contre l'autre pour positionner axialement les pièces mâle et femelle l'une par rapport à l'autre, au moins la partie de la pièce mâle située en regard de l'ouverture et/ou la partie de la pièce femelle définissant l'ouverture étant en silicium éventuellement recouvert d'oxyde de silicium, lesdites parties ménageant entre elles un espace libre,
- c) soumettre l'ensemble desdites pièces mâle et femelle à un traitement thermique de manière à ce que, sur la surface d'au moins une desdites parties, se forme une couche d'oxyde de silicium remplissant au moins en partie ledit espace libre,
- d) poursuivre l'étape c) au moins jusqu'à ce que lesdites deux pièces se solidarisent pour former ledit composant.

[0007] Avantagusement, ledit composant est un composant micromécanique.

[0008] L'invention concerne plus particulièrement un procédé de fabrication d'un composant horloger, typiquement destiné à être introduit dans une boîte de montre telle qu'une montre bracelet.

[0009] Les pièces mâles et femelles utilisées dans le procédé selon l'invention sont typiquement obtenues par gravure, par exemple par gravure ionique réactive profonde DRIE, par gravure laser ou par gravure chimique, de préférence par gravure DRIE.

[0010] L'expression „composant micromécanique“ désigne typiquement un composant dont au moins l'une des dimensions est inférieure à 1 mm.

[0011] Dans le cadre de l'invention, le silicium peut être monocristallin, quelle que soit son orientation cristalline, polycristallin ou amorphe. Il peut être dopé ou non.

[0012] Comme indiqué ci-dessus, la partie de la pièce femelle définissant l'ouverture et/ou la partie de la pièce mâle située dans l'ouverture à l'issue de l'étape b) peuvent être en silicium recouvert d'oxyde de silicium, et cela préalablement à l'étape c). Cet oxyde de silicium peut être natif ou issu d'une étape d'oxydation thermique préalable ayant pour but de renforcer la résistance mécanique des pièces mâle et femelle.

[0013] Dans le cadre de l'invention, l'expression „pièce femelle“ inclut toute pièce destinée à recevoir une autre pièce, plus précisément toute pièce comprenant au moins une ouverture apte à recevoir une partie au moins d'une pièce mâle. L'expression „pièce mâle“ inclut quant à elle toute pièce destinée à être introduite, au moins en partie dans une pièce femelle, plus précisément toute pièce comprenant au moins une partie apte à être introduite dans une ouverture d'une pièce femelle. Typiquement, dans un assemblage de deux pièces l'une dans l'autre, celle qui doit être placée au moins en partie à l'intérieur de l'autre est appelée „pièce mâle“ et celle qui reçoit au moins en partie la pièce mâle est appelée „pièce femelle“.

[0014] Le procédé de fabrication selon l'invention peut être mis en oeuvre simplement, en particulier sans traitement préalable des pièces à assembler et sans nécessiter de dispositif de positionnement des pièces, et permet l'obtention de composants de formes complexes, typiquement comprenant plus de deux niveaux, typiquement au moins trois, de préférence au moins quatre, voire plus de quatre niveaux. Il permet l'obtention de composants présentant une bonne résistance mécanique et qui sont peu ou pas influencés par des variations des conditions environnementales telles que la température ou l'humidité. Le procédé selon l'invention est également fiable et présente une bonne reproductibilité.

[0015] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée suivante faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

La figure 1 représente, en vue de dessus, une pièce femelle pour la mise en oeuvre d'un procédé de fabrication particulier selon l'invention.

La figure 2 représente, en perspective, une pièce mâle pour la mise en oeuvre dudit procédé de fabrication particulier selon l'invention, ladite pièce mâle étant destinée à être assemblée à la pièce femelle de la figure 1 à l'aide de ce procédé.

Les figures 3 et 4 sont des vues en coupe longitudinale montrant des étapes successives dudit procédé de fabrication particulier selon l'invention. On y voit les pièces femelle et mâle figurant respectivement dans les figures 1 et 2.

La figure 5a représente, en coupe longitudinale, un composant obtenu par assemblage des pièces illustrées aux figures 1 et 2 à l'aide dudit procédé de fabrication particulier selon l'invention.

La figure 5b représente, en coupe longitudinale, le composant obtenu à partir du composant illustré à la figure 5a en poursuivant l'étape c) dudit procédé de fabrication particulier selon l'invention un peu plus longtemps.

Les figures 6a, 6b et 6c illustrent respectivement, en perspective, une pièce femelle, une pièce mâle et un composant correspondant à une partie de résonateur horloger assemblé à partir de ces pièces à l'aide d'un procédé de fabrication particulier selon l'invention.

[0016] Une première étape a) d'un procédé selon un mode de réalisation préféré de l'invention consiste à se munir d'une pièce femelle 1, et d'une pièce mâle 2, en silicium, telles que représentées respectivement aux figures 1 et 2. Ces deux pièces 1, 2 sont destinées à être assemblées pour fabriquer un composant 3, typiquement micromécanique.

[0017] La pièce femelle 1 comprend typiquement une ouverture 4 cylindrique traversante de diamètre d_1 et un lamage 5 à l'entrée de cette ouverture 4, comme illustré aux figures 1 et 3.

[0018] La pièce mâle 2 comprend typiquement une tige 6 cylindrique de diamètre d_2 inférieur à d_1 et une tête formant un épaulement ou collet 7 à une extrémité de cette tige 6, comme illustré aux figures 2 et 3.

[0019] Dans une étape ultérieure b) dudit procédé, illustrée à la figure 3, la tige 6 de la pièce mâle 2 est insérée dans l'ouverture 4 jusqu'à ce que son épaulement 7 vienne en butée contre le lamage 5 de la pièce femelle 1.

[0020] Le diamètre d_2 de la tige 6 est légèrement inférieur à celui d_1 de l'ouverture 4 de sorte que, lorsqu'elle est insérée dans l'ouverture 4, il existe un espace 8 libre entre la tige 6 et la partie de la pièce femelle 1 définissant l'ouverture 4.

[0021] A l'issue de l'étape b), la tige 6 peut être légèrement excentrée. Cela n'a pas d'incidence, elle pourra se centrer lors d'étapes ultérieures du procédé selon l'invention. A l'issue de l'étape b), la distance séparant la surface de la partie de la tige 6 située à l'intérieur de l'ouverture 4 de la surface de la partie de la pièce femelle définissant l'ouverture 4, lorsque la tige 6 est considérée centrée dans l'ouverture 4, est notée d_3 .

[0022] Le lamage 5 et l'épaulement 7 constituent des moyens de positionnement coopérant ensemble pour positionner axialement les pièces femelle 1 et mâle 2 l'une par rapport à l'autre. Ils participent au maintien de ces pièces dans une position axiale donnée lors des étapes ultérieures du procédé selon l'invention. Ils présentent en outre plusieurs autres avantages qui seront décrits plus loin.

[0023] Une fois que les pièces femelle 1 et mâle 2 sont positionnées axialement l'une par rapport à l'autre, c'est-à-dire une fois que l'épaule 7 de la pièce mâle 2 se trouve en butée contre le lamage 5 de la pièce femelle 1 (figure 3), une étape c) de traitement thermique permet, par une réaction d'oxydation thermique, de former, sur chacune des pièces mâle et femelle en silicium, une couche d'oxyde de silicium, typiquement de dioxyde de silicium (SiO_2).

[0024] Lors de cette étape c), on soumet donc l'ensemble constitué par les pièces femelle 1 et mâle 2 à un traitement thermique, typiquement à une température comprise entre 800°C et 1300°C , dans une atmosphère oxydante, par exemple comprenant de la vapeur d'eau, jusqu'à obtenir une couche d'oxyde de silicium d'épaisseur e prédéterminée sur les surfaces des pièces mâle et femelle.

[0025] Le traitement thermique est typiquement réalisé dans un four à oxydation. Il est de préférence réalisé à une température comprise entre 950°C et 1150°C .

[0026] La couche d'oxyde de silicium se forme en consommant du silicium sur une profondeur p correspondant environ à la moitié de son épaisseur e .

[0027] Le volume molaire de l'oxyde de silicium étant plus important que celui du silicium, cette réaction augmente le volume de chacune des pièces mâle et femelle, ce qui provoque, entre autres, le rétrécissement du diamètre d_1 de l'ouverture 4 et l'augmentation du diamètre d_2 de la tige 6. L'espace 8 libre séparant la surface extérieure de la tige 6 et la surface intérieure de l'ouverture 4 se remplit d'oxyde de silicium au fur et à mesure que la réaction d'oxydation thermique évolue.

[0028] La réaction d'oxydation thermique est contrôlée et sa cinétique est la même sur l'ensemble des surfaces des pièces mâle 2 et femelle 1 de sorte que, au fur et à mesure que la réaction d'oxydation thermique évolue, la tige 6 se centre dans l'ouverture 4 et cela même si elle n'était pas centrée initialement. La coopération lamage 5 - épaule 7 assure un bon positionnement axial et radial (autocentrage) de la pièce avant et pendant le traitement thermique et ainsi une croissance homogène des couches d'oxyde de silicium conduisant à des pièces solides et reproductibles. Aucun moyen de positionnement radial, qu'il soit solidaire des parties mâle et/ou femelle ou bien indépendant, et dont l'action pourrait être altérée par le traitement thermique, n'est nécessaire pour le centrage.

[0029] Dans une étape d), la réaction d'oxydation thermique est poursuivie au moins jusqu'à un temps $t_{\min}$ au bout duquel la surface extérieure de la tige 6 se confond avec la surface intérieure de l'ouverture 4, les pièces mâle 2 et femelle 1 se solidarise pour ne former qu'un seul bloc de matière correspondant au composant 3. La solidarisation des pièces est typiquement due à un serrage mécanique et/ou à la création de liaisons chimiques entre les pièces.

[0030] A ce stade, la réaction d'oxydation thermique peut être interrompue pour récupérer le composant 3 final. Ce composant 3, pour lequel le traitement thermique a été poursuivi pendant un temps $t_{\min}$, est illustré aux figures 4 et 5.

[0031] Au cours de ce procédé de fabrication, un centrage précis de la pièce mâle 2 dans la pièce femelle 1 est très important, en particulier lorsque l'on fabrique des composants horlogers. La coopération du lamage 5 de la pièce femelle 1 et de l'épaule 7 de la pièce mâle 2 joue un rôle important dans la précision du centrage. En effet, le centrage est d'autant plus précis que la hauteur „h“ (illustrée à la figure 3) sur laquelle la pièce mâle 2 est radialement en regard de l'ouverture 4 lorsque son épaule 7 est en butée contre le lamage 5 de la pièce femelle 1 (typiquement à la fin de l'étape b)) est grande. Une grande hauteur „h“ garantit également la solidité et la reproductibilité des composants fabriqués.

[0032] Les tranches internes 4a, 5a de la pièce femelle 1 et externes 6a, 7a de la pièce mâle 2 obtenues par gravure DRIE ne sont pas rigoureusement verticales mais présentent de légers angles δ , par rapport à la verticale. Ces angles, appelés „angles de dépouille“, sont inhérents aux techniques de gravure utilisées et sont faibles, de l'ordre de 1° à 3° environ ; ils ne sont pas visibles sur les figures 1 à 5b. Bien que faibles, lorsqu'ils s'étendent sur une hauteur de plusieurs mm, ces angles de dépouille peuvent conduire à une augmentation de la distance d_3 de plusieurs micromètres et donc rallonger le temps de traitement thermique nécessaire pour solidariser les pièces.

[0033] Si la pièce femelle 1 ne comprenait pas de lamage, une possibilité pour ajuster la hauteur „h“ consisterait à ajuster la hauteur de l'ouverture 4. De même, si la pièce mâle 2 ne comprenait pas d'épaule, une possibilité pour ajuster la hauteur „h“ consisterait à ajuster la profondeur du lamage 5. Grâce à la coopération de l'épaule 7 de la pièce mâle 2 et du lamage 5 de la pièce femelle 1, la hauteur „h“ peut être ajustée en jouant d'une part sur la hauteur sur laquelle la tranche extérieure 7a de l'épaule 7 et la tranche intérieure 5a du lamage 5 de l'ouverture 4 sont en regard à la fin de l'étape b) et d'autre part sur la hauteur sur laquelle la tranche extérieure 6a de la tige 6 et la tranche intérieure 4a de l'ouverture 4 sont en regard à la fin de l'étape b). Ainsi, pour une distance d_3 donnée, la présence à la fois du lamage 5 de la pièce femelle 1 et de l'épaule 7 de la pièce mâle 2 permet d'augmenter la hauteur „h“ sur laquelle les pièces seront jointes et ainsi d'obtenir un composant final solide, avec un bon centrage, et une bonne reproductibilité de leur procédé de fabrication.

[0034] Le composant 3 obtenu à l'issue des étapes a) à d) est entièrement recouvert d'une couche d'oxyde de silicium si bien qu'on ne distingue plus les pièces mâle 2 et femelle 1 qu'il comprend. Il présente une résistance mécanique améliorée par rapport à un composant en silicium non couvert d'une couche d'oxyde de silicium. En effet, l'oxyde de silicium est plus résistant aux contraintes mécaniques que le silicium.

[0035] Les traits pointillés 9, 10 représentés à la figure 4 illustrent la position des contours de chacune des pièces femelle 1 et mâle 2 avant la réaction d'oxydation thermique. La partie représentée grisée à la figure 4 représente quant à elle la portion 11 du composant 3 comprenant de l'oxyde de silicium après l'étape de traitement thermique. Comme indiqué

précédemment, on voit que cette portion 11 s'étend sur une profondeur p à l'intérieur du contour initial des pièces mâle 2 et femelle 1, ce qui illustre la consommation de silicium lors de la réaction d'oxydation thermique.

[0036] L'homme du métier est capable d'ajuster la distance d_3 initiale en fonction de l'épaisseur d_4 de la couche d'oxyde de silicium désirée au niveau de la jonction entre les pièces mâle 2 et femelle 1. Par exemple, si l'on considère que la couche d'oxyde de silicium se forme en consommant du silicium sur une profondeur p prédéterminée correspondant environ à la moitié de son épaisseur e , d_4 vaut environ deux fois la valeur de d_3 .

[0037] Dans l'exemple illustré aux figures 1 à 5b, la valeur de d_3 peut varier entre 1 et 20 μm , de préférence entre 2 et 8 μm , et la valeur de d_4 pour le composant 3 illustré à la figure 4 peut varier entre 0.5 et 10 μm , de préférence entre 1 et 4 μm .

[0038] Dans une variante du procédé selon l'invention, il serait possible d'allonger l'étape d) de traitement thermique au-delà de $t_{\min}$. Le fait de rallonger le temps de traitement thermique permettrait d'épaissir davantage la couche d'oxyde de silicium enrobant le composant 3 et donc de renforcer d'avantage sa résistance mécanique. La figure 5b illustre le composant 3' obtenu à partir du composant 3 illustré à la figure 5a en poursuivant l'étape c) un peu plus longtemps.

[0039] Dans le procédé particulier précédemment décrit et illustré aux figures 1 à 5b, les pièces femelle 1 et mâle 2 sont entièrement composées de silicium et aucun traitement particulier n'a été appliqué sur ces pièces préalablement aux étapes c) et d) de traitement thermique. Une couche d'oxyde de silicium se forme donc sur l'ensemble des surfaces de ces pièces, elles augmentent donc en volume sur l'ensemble de leurs surfaces.

[0040] A la lecture de ce qui précède, on comprend aisément que l'augmentation radiale du volume de la tige 6 et donc l'augmentation de d_2 ou la diminution radiale de l'ouverture 4 et donc la diminution de d_1 serait suffisante pour solidariser entre elles les deux pièces.

[0041] Aussi, dans une variante du procédé selon l'invention, seule la partie de la pièce femelle 1 définissant l'ouverture 4 et/ou la partie de la pièce mâle 2 située à l'intérieur de l'ouverture 4 pourrait se couvrir d'une couche d'oxyde de silicium lors des étapes c) et d), le reste de ces pièces pouvant être protégé de la réaction d'oxydation thermique par une barrière typiquement chimique. Par exemple, une couche de nitrure de silicium peut être réalisée sur au moins une surface d'une ou de chacune des pièces mâle 2 et femelle 1, préalablement aux étapes c) et d), pour empêcher la croissance d'une couche d'oxyde sur ladite au moins une surface. Plus généralement, il est clair que la formation d'une couche d'oxyde de silicium au moins sur la partie de la pièce mâle 2 située dans l'ouverture 4 ou sur la partie de la pièce femelle 1 définissant l'ouverture 4 suffirait pour solidariser les pièces, les pièces mâle 2 et femelle 1 utilisées peuvent donc être en matériau composite, à savoir, en partie (au moins la partie de la pièce mâle 2 située dans l'ouverture 4 ou la partie de la pièce femelle 1 définissant l'ouverture 4) en silicium et en partie en un ou plusieurs autres matériaux résistant aux étapes c) et d) de traitement thermique tels que le quartz, les céramiques, le carbure de silicium, les verres, les nitrures notamment le nitrure de silicium. Pour les raisons évoquées précédemment, il est également possible qu'une seule de ces deux pièces soit totalement ou en partie en silicium.

[0042] Le procédé selon l'invention s'applique tout aussi bien à des pièces mâles et femelles dont tout ou partie du silicium est déjà recouvert d'oxyde de silicium préalablement à la mise en oeuvre des étapes c) et d) dudit procédé, cet oxyde de silicium pouvant être natif ou issu d'une étape d'oxydation thermique préalable. La vitesse de la réaction d'oxydation thermique du silicium diminue avec l'augmentation de l'épaisseur de la couche d'oxyde de silicium recouvrant le silicium. Aussi, dans le cas où le silicium des pièces mâle 2 et/ou femelle 1 de départ est déjà recouvert d'oxyde de silicium, le procédé selon l'invention sera potentiellement plus long à mettre en oeuvre.

[0043] Dans le cadre de la présente invention, il est possible de se munir de pièces mâle et femelle entièrement en silicium et recouvertes d'oxyde de silicium partout sauf au moins sur la partie de la pièce mâle située dans l'ouverture et/ou sur la partie de la pièce femelle définissant l'ouverture. Ainsi, lors de la mise en oeuvre des étapes c) et d) du procédé, la couche d'oxyde se formera plus rapidement dans l'espace libre où elle permet la solidarisation des pièces que sur le reste du composant. Une telle possibilité peut être utilisée par exemple pour limiter le grossissement des pièces lors de leur assemblage.

[0044] Il apparaîtra clairement à l'homme du métier que la présente invention n'est en aucun cas limitée aux modes de réalisation présentés ci-dessus et illustrés dans les figures.

[0045] Il est évident que la forme des pièces mâle et femelle à assembler peut varier à l'infini pour autant que leurs fonctions soient assurées, c'est à dire pour autant que la pièce femelle comprenne une ouverture bordée d'un lamage et que la pièce mâle comprenne un épaulement et soit apte à être insérée au moins en partie dans ladite ouverture jusqu'à ce que son épaulement vienne en butée contre le lamage bordant cette ouverture.

[0046] Dans une variante du procédé selon l'invention, l'ouverture 4 de la pièce femelle 1 peut être différente d'une ouverture cylindrique traversante, il peut s'agir de n'importe quel type d'ouverture, typiquement cylindrique à section non circulaire par exemple demi-circulaire voire non cylindrique, traversante ou non.

[0047] La tige 6 de la pièce mâle 2 peut également prendre une autre forme que celle précédemment décrite. Elle peut typiquement être remplacée par une tige cylindrique à section non circulaire par exemple demi-circulaire voire non cylindrique. La pièce mâle 2 peut même ne comprendre aucune tige à partir du moment où elle est apte à être insérée au

moins en partie dans l'ouverture de la pièce femelle et où elle comprend un épaulement 7 destiné à coopérer avec le lamage 5 de la pièce femelle 1.

[0048] Avantageusement, les formes de la partie de la pièce mâle introduite dans l'ouverture de la pièce femelle et de l'ouverture de la pièce femelle, sont complémentaires, c'est-à-dire qu'elles sont identiques. Leurs dimensions sont bien évidemment différentes, la pièce mâle devant être introduite dans l'ouverture de la pièce femelle.

[0049] Lorsque la partie de la pièce mâle introduite dans l'ouverture de la pièce femelle et l'ouverture de la pièce femelle ont des formes différentes, d3 correspond à la distance minimale entre la surface de la partie de la pièce mâle située dans l'ouverture et la surface de la partie de la pièce femelle définissant l'ouverture, lorsque la pièce mâle est centrée dans l'ouverture.

[0050] Le procédé de fabrication selon l'invention permet typiquement la réalisation de composants horlogers au moins en partie en silicium tels qu'une ancre, un balancier, un oscillateur, un ressort spiral, une roue, une bascule, un pivot, une came, ces composants horlogers pouvant comprendre un ou plusieurs organes élastiques ou bistables. Le procédé selon l'invention est utilisable pour la fabrication de toutes sortes de composants horlogers, lesdits composants ayant ou non une structure multi-niveaux.

[0051] Par exemple, le procédé selon l'invention peut être utilisé pour assembler une ancre sur un arbre ou pour y fixer un dard. Il peut être utilisé pour l'assemblage d'un balancier sur un arbre, pour la fixation de goupilles destinées à la fixation de masselottes de réglage sur un balancier (par exemple sur un balancier type Gyromax® Patek Philippe), pour l'assemblage d'un pignon sur un ressort spiral ou d'une roue et/ou d'un pignon sur un arbre. Le procédé selon l'invention peut également être utilisé pour l'assemblage d'une cheville sur un résonateur horloger, ladite cheville étant destinée à coopérer avec une fourchette d'un échappement pour l'entretien d'oscillations. Cela inclut en particulier la fabrication d'un résonateur horloger tel que décrit dans la demande de brevet européen EP3502784 dont le contenu est incorporé par référence. Les figures 6a, 6b et 6c illustrent un exemple d'un tel assemblage. La figure 6a illustre une partie 21 d'un résonateur horloger correspondant à une pièce femelle. La figure 6b illustre une pièce mâle 22 comprenant une tige 26 de forme demi cylindrique reliée à une protubérance 27 constituant une cheville destinée à coopérer avec une fourchette d'un échappement. L'ouverture 24 de ladite pièce femelle est de forme sensiblement identique à celle de la tige 26. Cependant, elle est élargie par deux oreilles de formes correspondant à des portions de cylindre, lesdites oreilles étant destinées à faire face aux deux arêtes longitudinales de la tige 26. Ces oreilles sont facultatives. Elles ont pour but, bien que la tige 26 ait des dimensions inférieures à celles de l'ouverture 24 afin de pouvoir y être insérée, d'éviter d'endommager l'une des pièces mâle 22 et femelle 21 lors de leur assemblage. L'ouverture 24 est également bordée par un lamage 25 destiné à coopérer avec l'épaulement de la protubérance 27 pour le positionnement axial des pièces l'une par rapport à l'autre.

[0052] Pour l'assemblage de ces deux pièces, la tige 26 est insérée dans l'ouverture 24 jusqu'à ce que la protubérance 27 vienne en butée contre le lamage 25 (étape b) du procédé selon l'invention). Les étapes c) et d) du procédé telles que décrites précédemment sont alors mises en oeuvre pour former un résonateur horloger en une seule pièce dont une partie 23 est illustrée à la figure 6c. La coopération du lamage 25 et de l'épaulement formé par la protubérance 27 assure un bon positionnement axial et radial des pièces l'une par rapport à l'autre tout au long du traitement thermique. Ces éléments permettent l'obtention de pièces résistantes et de structure précise.

[0053] Selon une mise en oeuvre typique du procédé décrit ci-dessus, plusieurs composants sont formés simultanément à partir de plaquettes ou „wafers“ en silicium. Pour ce faire, à la première étape a) du procédé selon l'invention, on se munit d'une première plaquette comprenant un certain nombre n (n étant un nombre entier, supérieur ou égal à deux) de pièces femelles identiques à la pièce femelle illustrée à la figure 1 et d'une seconde plaquette comprenant typiquement le même nombre n de pièces mâles identiques à la pièce mâle 2 illustrée à la figure 2. Les pièces femelles sont typiquement reliées entre elles et au reste de leur plaquette par des ponts de matière. De la même façon, les pièces mâles sont reliées entre elles et au reste de leur plaquette par des ponts de matière.

[0054] Les pièces mâles et femelles sont agencées dans les plaquettes de sorte que, à chaque tige d'une pièce mâle de la seconde plaquette corresponde une ouverture d'une pièce femelle distincte de la première plaquette, ces derniers se faisant face pour que chaque tige puisse être insérée dans l'ouverture correspondante de la première plaquette sans qu'il soit nécessaire de désolidariser les pièces des plaquettes.

[0055] Dans l'étape b) dudit procédé, les première et seconde plaquettes sont positionnées de sorte que la tige de chaque pièce mâle de la seconde plaquette soit introduite de la même façon dans l'ouverture d'une pièce femelle distincte de la première plaquette.

[0056] Les deux plaquettes sont ensuite soumises à un traitement thermique de sorte que chacun des ensembles comprenant une pièce mâle et une pièce femelle obtenus à l'issue de l'étape b) soit soumis aux étapes c) et d) pour former n composants.

[0057] Typiquement, les pièces mâles et femelles restent attachées à leurs plaquettes respectives par les ponts de matière lors des étapes a) à d) du procédé donc en particulier lors de l'insertion des tiges dans les ouvertures et lors du traitement thermique. Elles ne sont détachées des plaquettes qu'à la fin du procédé, après interruption du traitement thermique.

[0058] Il est possible d'avoir une première plaquette comprenant plus, moins ou autant de pièces femelles que de pièces mâles sur la seconde plaquette.

[0059] Il est également possible que lesdites premières plaquettes possèdent des pièces femelles différentes les unes des autres. Dans ce cas, lesdites secondes plaquettes pourront également comprendre des pièces mâles différentes les unes des autres.

[0060] Le procédé selon l'invention peut donc être utilisé pour réaliser un assemblage en pièce à pièce c'est-à-dire pour la fabrication d'un composant à la fois, ou un assemblage à l'aide de plaquettes comprenant plusieurs pièces, c'est-à-dire pour la fabrication de plusieurs composants à la fois.

[0061] Les pièces mâles et femelles utilisées dans le procédé selon l'invention, qu'elles soient individualisées ou sur des plaquettes, peuvent typiquement être obtenues par gravure, par exemple par gravure chimique, par gravure ionique réactive profonde DRIE ou par gravure laser.

[0062] De plus, par exemple pour obtenir des composants de formes encore plus complexes, typiquement avec plus de niveaux, il est possible d'utiliser comme pièces mâle et femelle dans le procédé selon l'invention des pièces multi-niveaux préalablement obtenues par la mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

[0063] L'homme du métier peut également adapter le procédé selon l'invention pour assembler plus de deux pièces en une fois. Il peut par exemple assembler une pièce femelle comprenant deux ouvertures avec deux pièces mâles en même temps, chacune de ces pièces mâles étant insérée au moins en partie dans une ouverture distincte.

[0064] En variante, il est également envisageable d'insérer plusieurs pièces mâles dans une seule ouverture d'une pièce femelle.

[0065] Le procédé selon l'invention possède de nombreux avantages.

[0066] Il permet la fabrication de composants de formes complexes, typiquement multi-niveaux.

[0067] Il est simple à réaliser en ce qu'il ne nécessite pas d'étape d'activation de surfaces et en ce que les pièces peuvent être positionnées simplement et précisément, tant radialement qu'axialement, sans étape d'alignement ou de centrage préalable.

[0068] Il permet l'obtention de composants résistants et est ainsi particulièrement avantageux pour la réalisation de pièces d'horlogerie soumises à de fortes contraintes mécaniques telles que le dard et l'ancre par exemple.

[0069] En particulier, la coopération du lamage 5 et de l'épaulement 7 permet la maîtrise de l'assemblage, sa fiabilité et sa reproductibilité. Elle permet également d'augmenter les surfaces de contact entre les deux pièces et la solidité du composant résultant de leur assemblage.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'au moins un composant (3 ; 23) comprenant les étapes suivantes :
 - a) se munir d'une pièce femelle (1 ; 21) comprenant au moins une ouverture (4 ; 24) et un lamage (5 ; 25) bordant cette ouverture (4 ; 24) et d'une pièce mâle (2 ; 22) comprenant un épaulement (7 ; 27),
 - b) introduire au moins une partie de la pièce mâle (2 ; 22) dans l'ouverture (4 ; 24) de sorte que le lamage (5 ; 25) et l'épaulement (7 ; 27) viennent en butée l'un contre l'autre pour positionner axialement les pièces mâle (2 ; 22) et femelle (1 ; 21) l'une par rapport à l'autre, au moins la partie de la pièce mâle (2 ; 22) située en regard de l'ouverture (4 ; 24) et/ou la partie de la pièce femelle (1 ; 21) définissant l'ouverture (4 ; 24) étant en silicium éventuellement recouvert d'oxyde de silicium, lesdites parties ménageant entre elles un espace (8) libre,
 - c) soumettre l'ensemble desdites pièces mâle (2 ; 22) et femelle (1 ; 21) à un traitement thermique de manière à ce que sur la surface d'au moins une desdites parties se forme une couche d'oxyde de silicium remplissant au moins en partie ledit espace (8) libre,
 - d) poursuivre l'étape c) au moins jusqu'à ce que lesdites deux pièces (1, 2 ; 21, 22) se solidarisent pour former ledit composant (3 ; 23).
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit traitement thermique est effectué dans un four.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que ledit traitement thermique est réalisé à une température comprise entre 800°C et 1300°C, de préférence entre 950°C et 1150°C.
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'ouverture (4) est traversante.
5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que ladite partie de la pièce mâle (2) traverse de part en part l'ouverture (4).
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la partie de la pièce mâle (2) introduite dans l'ouverture (4) et l'ouverture (4) sont de forme cylindrique.
7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les formes de la partie de la pièce mâle (2 ; 22) introduite dans l'ouverture (4 ; 24) et de l'ouverture (4 ; 24) sont complémentaires.

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que, à l'issue de l'étape d) ledit espace (8) libre ménagé entre la partie de la pièce mâle (2 ; 22) introduite dans l'ouverture (4 ; 24) et la partie de la pièce femelle (1 ; 21) définissant l'ouverture (4 ; 24) est complètement rempli par de l'oxyde de silicium.
9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la distance minimale entre les surfaces desdites partie de la pièce mâle (2) située dans l'ouverture (4) et partie de la pièce femelle (1) définissant l'ouverture (4), lorsque la pièce mâle (2) est centrée dans l'ouverture (4), est comprise entre 1 et 20 μm , de préférence entre 2 et 8 μm .
10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit composant (3 ; 23) est un composant horloger typiquement choisi parmi une ancre, un balancier, un oscillateur, un ressort spiral, une roue, une bascule, un pivot, une came, ces composants horlogers pouvant comprendre un ou plusieurs éléments élastiques ou bistables.
11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape a) consiste à graver ladite pièce femelle (1 ; 21) et ladite pièce mâle (2 ; 22) dans une plaquette de silicium, typiquement par gravure ionique réactive profonde DRIE.

Fig.1

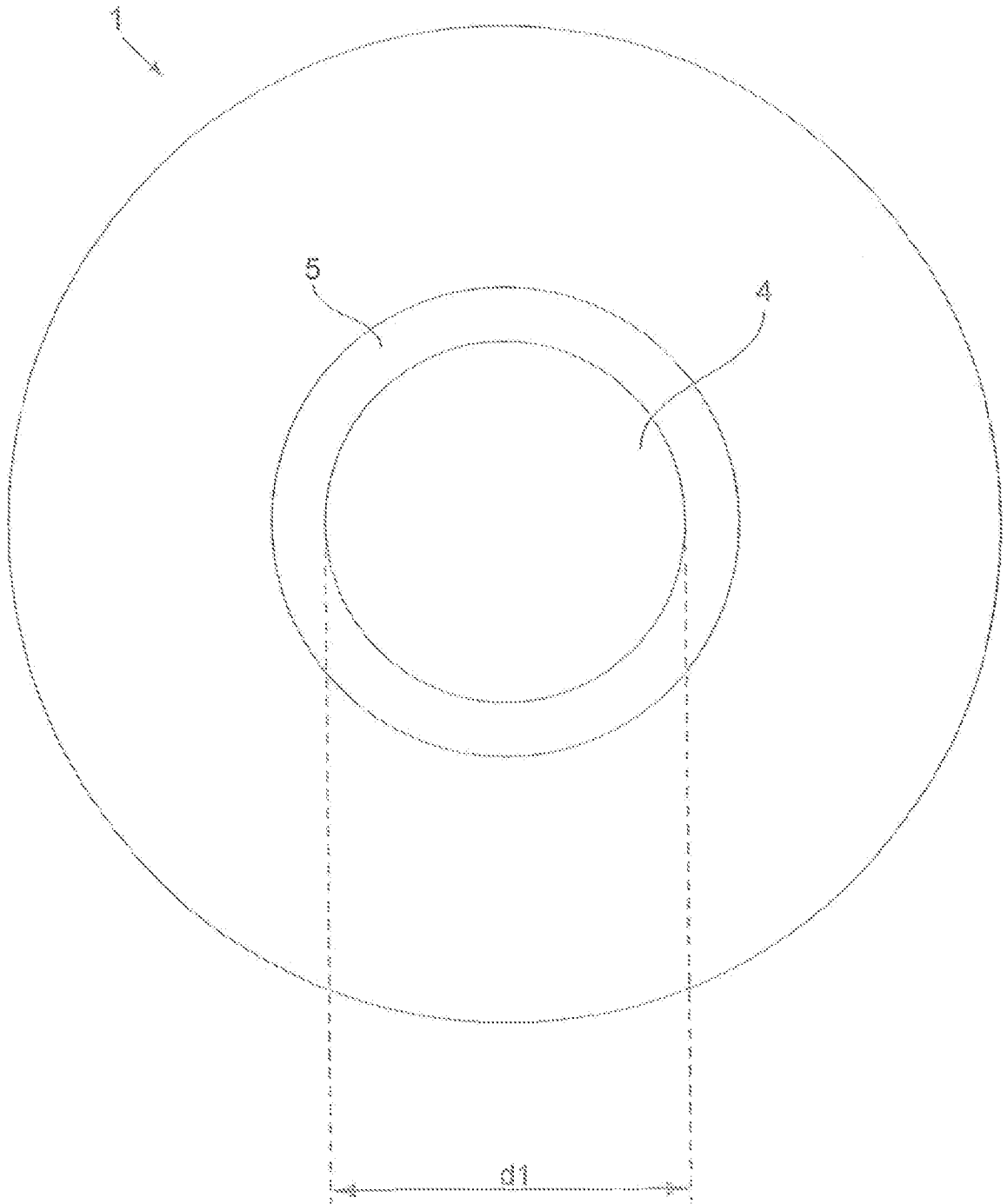


Fig.2

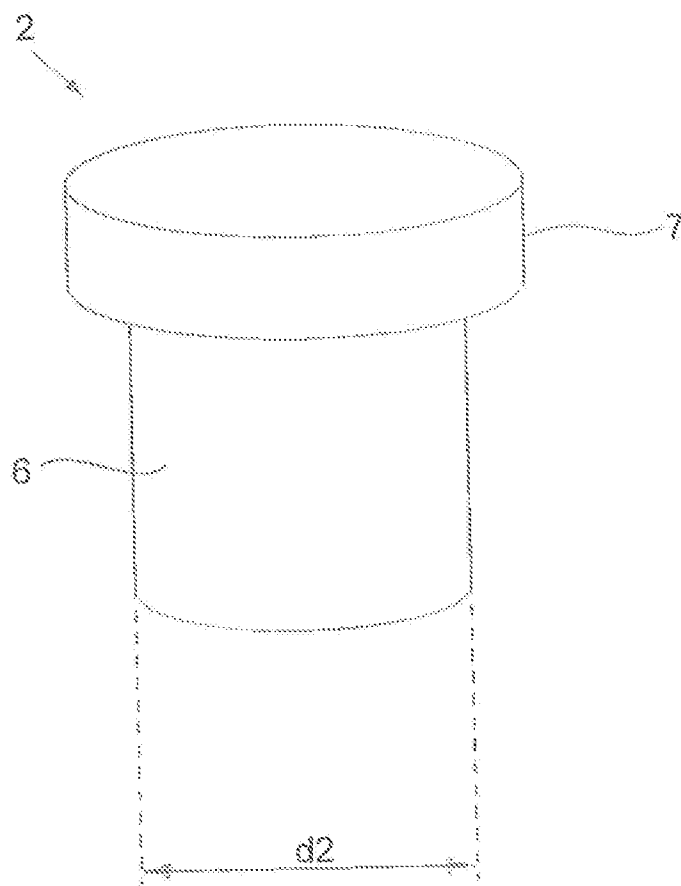


Fig.3

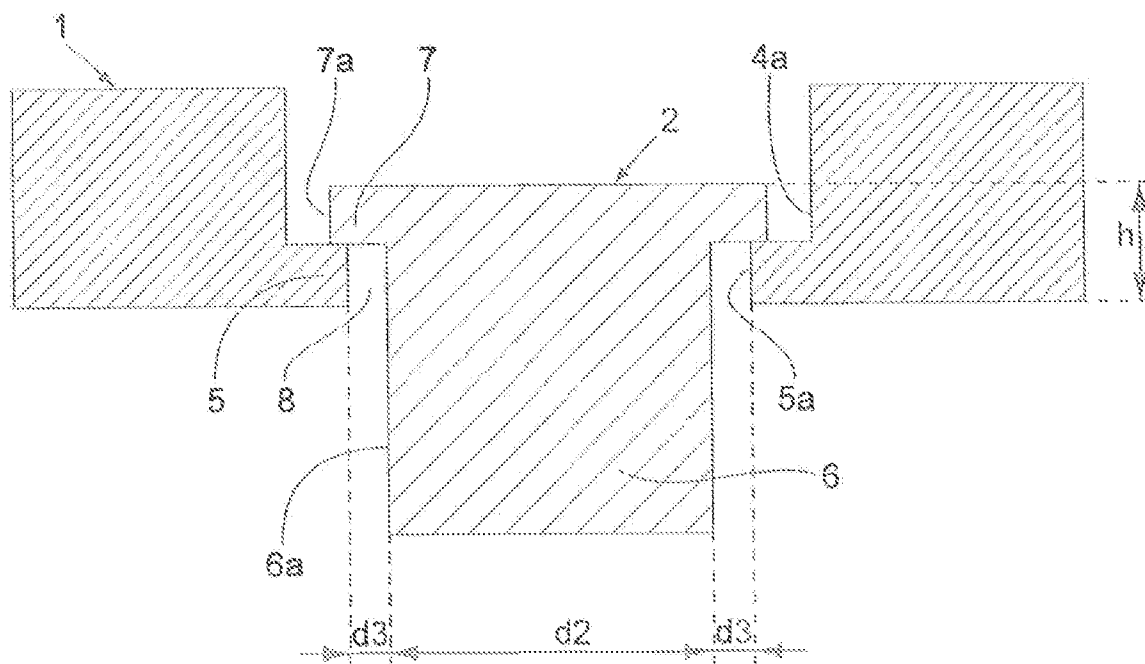


Fig.4

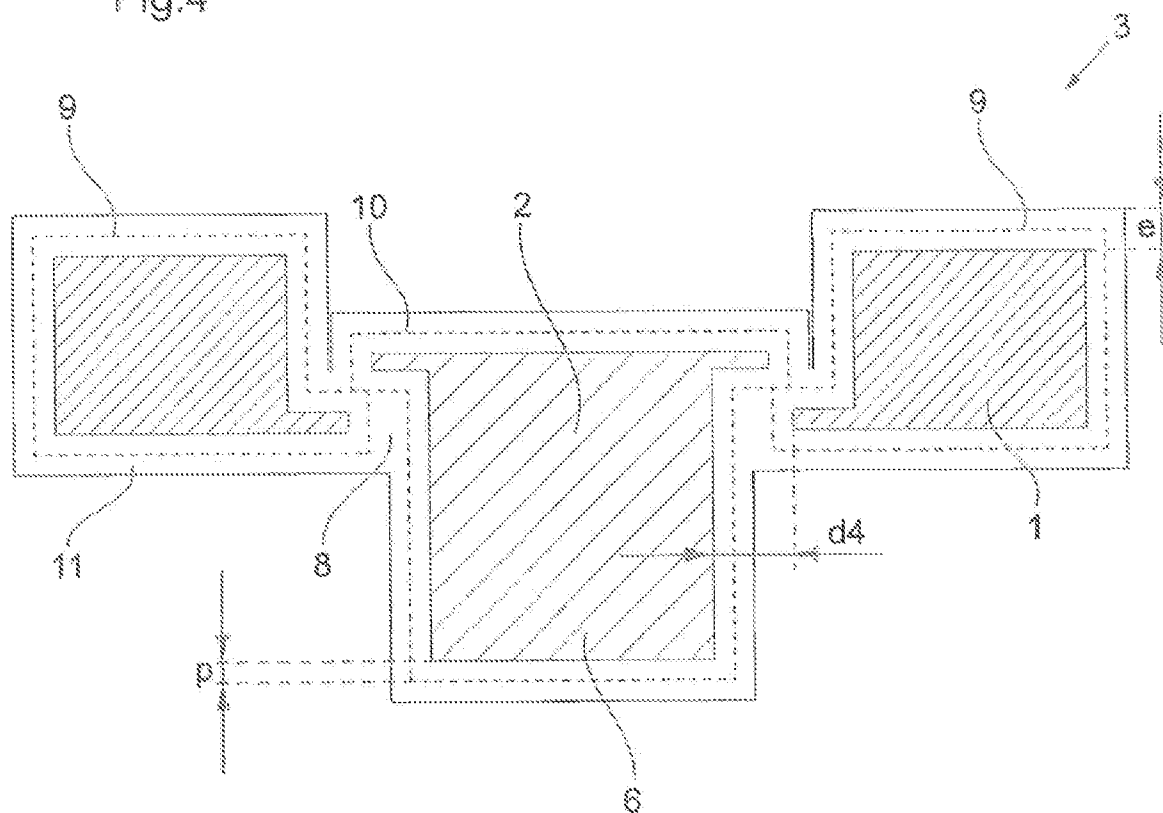


Fig.5a

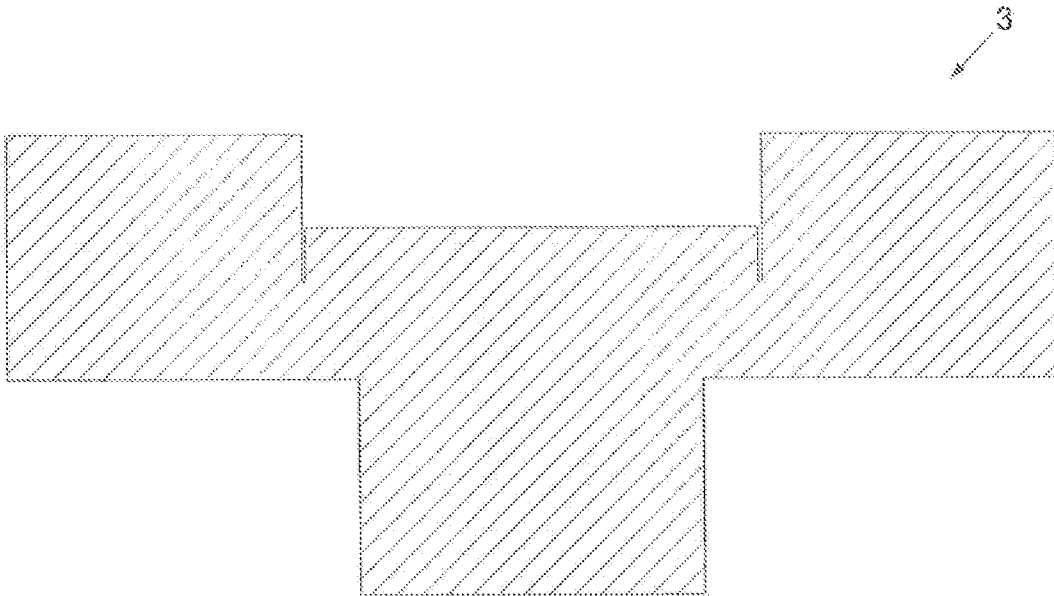


Fig.5b

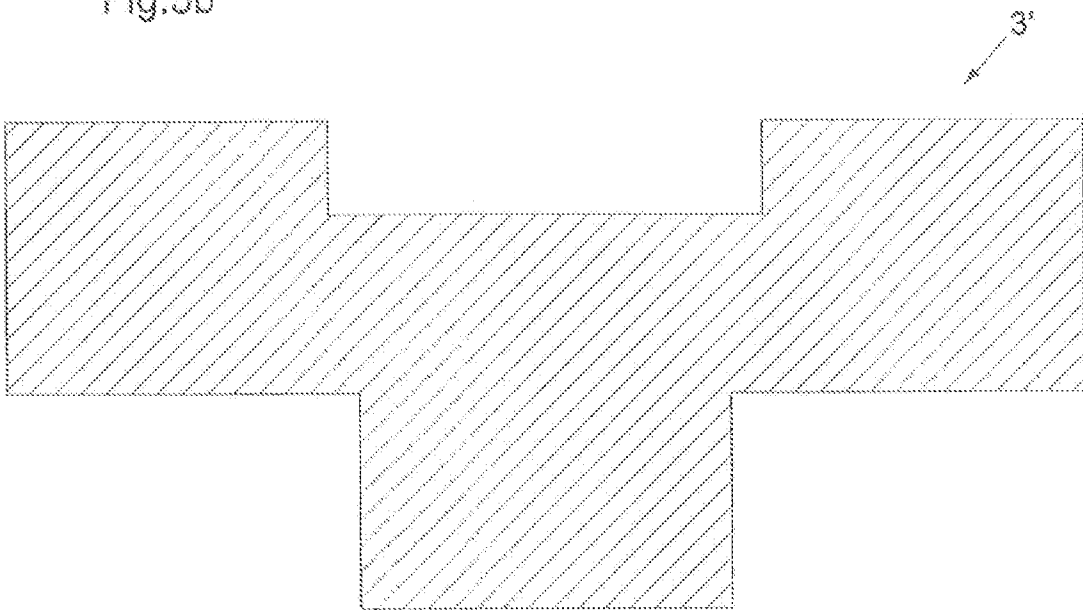


Fig.6a

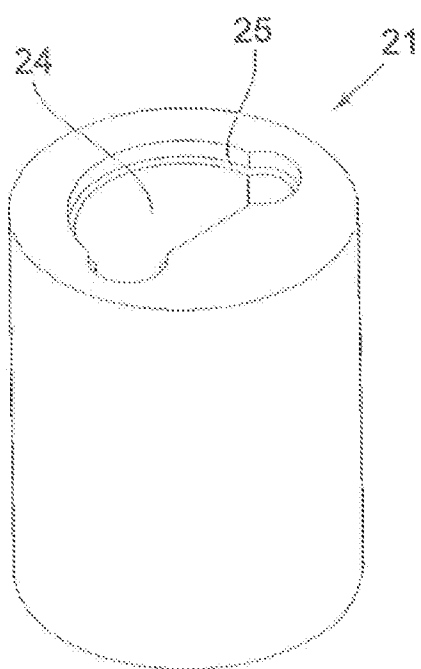


Fig.6b

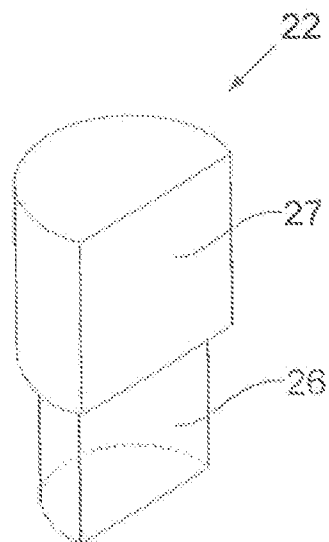


Fig.6c

