

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH 719 929 A2**

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein

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

(51) Int. Cl.: **G04D 3/00** (2006.01)
G04B 13/02 (2006.01)
B81C 1/00 (2006.01)
G04B 19/10 (2006.01)
G04B 19/04 (2006.01)

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 000895/2022

(71) Requérant:
Nivarox-FAR S.A., Avenue du Collège 10
2400 Le Locle (CH)

(22) Date de dépôt: 26.07.2022

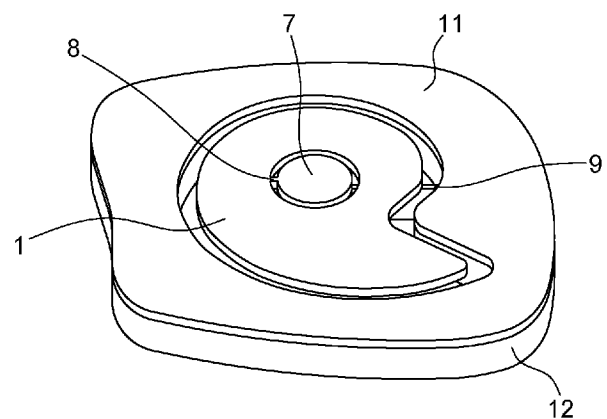
(72) Inventeur(s):
Marco Verardo, 2336 Les Bois (CH)
Pierre Cusin, 1423 Villars-Burquin (CH)

(43) Demande publiée: 31.01.2024

(74) Mandataire:
ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA,
Faubourg de l'Hôpital 3
2001 Neuchâtel (CH)

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

(57) L'invention concerne un procédé de fabrication d'un composant horloger (1) en silicium à partir d'un wafer SOI, comprenant notamment une étape de gravure par DRIE en face avant pour former le composant horloger (1) en silicium, un élément d'ancrage interne (7) et un pont de matière (8), ainsi qu'une étape de gravure par DRIE en face arrière pour former un pont étroit (9) et un ancrage arrière, de manière à rendre accessible toutes les faces du composant.



Description

Domaine technique de l'invention

[0001] L'invention se rapporte à un procédé de fabrication d'un composant horloger en silicium, et plus précisément d'un composant horloger en silicium présentant un profil externe fonctionnel.

Arrière-plan technologique

[0002] Les composants horlogers en silicium sont généralement fabriqués par gravure ionique réactive profonde - technique également connue sous l'abréviation anglaise DRIE - d'une plaquette de matériau à base de silicium. La plaquette peut être une plaquette de silicium que l'on grave dans toute son épaisseur (cf. par exemple les demandes de brevet EP 1722281, EP 2145857 et EP 3181938) ou un substrat silicium sur isolant dit SOI (silicon on insulator) comprenant une couche supérieure de silicium et une couche inférieure de silicium liées par une couche intermédiaire d'oxyde de silicium, la couche supérieure de silicium étant celle dans laquelle est opérée la gravure (cf. par exemple les demandes de brevet WO 2019/180177 et WO 2019/180596). Par rapport à une simple plaquette de silicium, le substrat silicium sur isolant présente l'avantage de posséder un support rigide (la couche inférieure de silicium, de plus grande épaisseur que la couche supérieure) facilitant sa manipulation et son maintien et une couche d'arrêt (la couche intermédiaire d'oxyde de silicium) permettant d'arrêter la gravure.

[0003] Quel que soit le type de plaquette utilisé, plusieurs composants sont gravés simultanément dans la même plaquette et des attaches ou ponts laissés pendant la gravure maintiennent les composants attachés à la plaquette pour d'autres étapes de la fabrication. Les composants sont ensuite libérés de la plaquette par rupture ou élimination des attaches.

[0004] De telles attaches, qui relient la périphérie de chaque composant à la plaquette, peuvent poser problème, notamment lorsque la périphérie du composant est une surface fonctionnelle qui ne doit pas voir sa fonction perturbée par des résidus d'attache ou lorsque la surface externe du composant doit présenter un aspect particulièrement soigné, comme par exemple dans le cas d'une aiguille. Dans certains cas, également, en particulier pour des composants portant une micro-denture, la surface extérieure fonctionnelle ne présente pas d'espace libre de taille suffisante pour pouvoir y insérer une attache suffisamment robuste.

[0005] La demande de brevet WO 2019/166922 propose un procédé de fabrication d'un spiral horloger selon lequel on se munit d'un substrat en silicium portant une couche d'oxyde de silicium, on forme des trous traversants dans la couche d'oxyde de silicium, on fait croître par épitaxie une couche de silicium sur la couche d'oxyde de silicium, cette couche de silicium remplissant les trous traversants pour former des attaches ou ponts de matière, on grave des spiraux dans la couche de silicium, on élimine la couche d'oxyde de silicium, les spiraux restant attachés au substrat en silicium par lesdites attaches, on soumet les spiraux à des traitements thermiques et enfin on détache les spiraux du substrat en silicium.

[0006] Avec un tel procédé, les spiraux restent liés au substrat après la gravure par des attaches s'étendant hors du plan des spiraux plutôt qu'entre la surface extérieure de la dernière spire et la couche de silicium de gravure comme cela est généralement le cas. Cependant, ce procédé ne permet pas l'emploi de substrats silicium sur isolant du commerce, et faire croître par épitaxie la couche de silicium dans laquelle seront formés les spiraux est une opération compliquée.

[0007] La demande de brevet WO 2019/166922 vise à résoudre ce problème et propose un procédé de fabrication d'un composant horloger en silicium à partir d'un wafer SOI dans lequel le composant est rattaché à un ancrage interne au contour du composant. Ainsi l'attache n'empiète pas sur le contour externe fonctionnel du composant. Cependant ce procédé ne permet pas un travail de la face arrière du composant, notamment pour des composants nécessitant un traitement de surface, voire une décoration.

Résumé de l'invention

[0008] L'invention résout les inconvénients précités en proposant une solution permettant de garder les composants attachés au wafer, y compris ceux ne permettant pas de ménager une attache sur leur contour externe, tout en dégageant la face arrière pour pouvoir la travailler et/ou la décorer.

[0009] A cet effet, la présente invention concerne un procédé de fabrication d'un composant horloger en silicium comprenant des étapes suivantes :

- a) se munir d'un wafer SOI comprenant successivement une couche de silicium dite „device“, une couche de liaison en oxyde de silicium, et une couche de silicium dite „handle“ ;
- b) faire croître une couche d'oxyde de silicium à la surface du wafer ;
- c) graver la couche d'oxyde de silicium (masque de gravure) en face, puis la couche „device“ par DRIE, pour former le composant horloger en silicium ainsi qu'un élément d'ancrage interne et un pont de matière reliant ledit élément d'ancrage à une paroi interne du composant horloger dans une zone du contour intérieur non critique;

- d) graver la couche d'oxyde de silicium (masque de gravure) en face arrière, puis la couche „handle“ par DRIE, pour former au moins un pont étroit ainsi qu'au moins un ancrage arrière solidaire de l'au moins un pont étroit, l'ancrage arrière étant relié à l'élément d'ancrage de la couche „device“ par la couche d'oxyde de silicium liant „device“ et „handle“;
- e) libérer le composant horloger par le biais d'une gravure humide, le composant horloger étant maintenu au wafer par l'élément d'ancrage via le pont de matière, la couche d'oxyde de liaison n'étant plus présente que là où et la couche „device“ et la couche „handle“ n'ont pas été attaquées par la gravure humide, le tout reposant sur l'au moins un ancrage arrière relié à l'au moins un pont étroit lui-même relié à la couche „handle“.

[0010] Conformément à d'autres variantes avantageuses de l'invention :

- la paroi interne du composant horloger est la paroi d'un trou agencé pour recevoir un axe ou une ouverture interne au composant ;
- la couche de liaison en oxyde de silicium est partiellement présente entre l'élément d'ancrage et l'ancrage arrière à la fin de l'étape e) ;
- le pont étroit et le pont de matière ne sont pas superposés ;
- au cours de l'étape d), on forme également un shadow mask intégré lors de la gravure DRIE de la couche „handle“ de manière à réaliser un motif délibéré et volontaire d'ouvertures en face arrière, lesdites ouvertures permettant un décor élaboré par dépôt CVD ou PVD ;
- le procédé comprend une étape f) de finition en wafer des faces avant et/ou arrière du composant horloger, l'étape de finition consistant en un dépôt de couches, de structuration et/ou de décoration par exemple ;
- le composant horloger est une roue, une came, une aiguille, une bascule, un limaçon, un index ou une applique.

[0011] L'invention concerne également un composant horloger obtenu par la mise en oeuvre d'un procédé de fabrication d'un composant horloger conforme à l'invention.

[0012] On comprend donc que le procédé permet d'avoir accès à la face arrière des composants horlogers attachés au wafer pour pouvoir la travailler et/ou la décorer.

Breve description des figures

[0013] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée suivante donnée à titre d'exemple nullement limitatif, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- les figures 1a et 1b représentent respectivement une vue en perspective d'un composant en silicium solidaire de la couche „device“ et une vue en perspective de la couche „handle“;
- les figures 2a et 2b représentent respectivement une vue en perspective de dessus et de dessous d'un composant en silicium formé dans un wafer SOI.

Description détaillée de l'invention

[0014] L'invention se rapporte à un procédé de fabrication d'un composant horloger en silicium, et plus particulièrement un composant horloger en silicium dont le profil externe est fonctionnel.

[0015] Par profil externe fonctionnel, on entend un composant horloger dont le pourtour extérieur du composant forme une surface fonctionnelle agencée pour coopérer avec d'autres pièces et/ou composants horlogers.

[0016] L'utilisation d'un matériau, à base de silicium, pour la fabrication d'un composant horloger offre l'avantage d'être précis par les méthodes de gravage existantes et de posséder de bonnes propriétés mécaniques et chimiques en étant notamment peu ou pas sensible aux champs magnétiques.

[0017] Préférentiellement, le matériau à base de silicium utilisé peut être du silicium monocristallin quelle que soit son orientation cristalline. Bien entendu d'autres composés à base de silicium ou d'autres matériaux peuvent être envisagés comme un verre, une céramique, un cermet, un métal ou un alliage métallique. Par simplification, l'explication ci-dessous sera portée sur un matériau à base de silicium.

[0018] Ainsi, l'invention se rapporte à un procédé de fabrication d'un composant horloger silicium 1. D'autres composants horlogers peuvent être fabriqués via le procédé selon l'invention, tels qu'une roue dentée, une roue d'échappement, une

bascule, un limaçon, etc ... Un tel procédé peut également être envisagé pour la fabrication d'aiguilles, d'index ou encore d'appliques qui nécessitent un état de surface extérieur le plus soigné possible.

[0019] Selon l'invention, le procédé comporte, comme illustré à la figure 2, une première étape a) qui consiste à se munir de wafers SOI 10, c'est-à-dire composés de deux couches de silicium 11 et 12, liées l'une à l'autre par une couche d'oxyde de silicium 13. Chacune de ces trois couches a un ou des rôles bien précis.

[0020] La couche supérieure de silicium 11, nommée „device“ et formée dans une plaque de silicium monocristallin (dont les orientations principales peuvent être variées), comporte une épaisseur qui va déterminer l'épaisseur finale du composant à fabriquer, typiquement, en horlogerie, entre 100 et 200µm.

[0021] La couche inférieure de silicium 12, nommée „handle“, sert essentiellement de support mécanique, de façon à pouvoir effectuer le procédé sur un ensemble suffisamment rigide (ce que l'épaisseur réduite du „device“ n'est pas en mesure de garantir). Elle est également formée d'une plaque de silicium monocristallin, en général d'une orientation similaire à la couche „device“.

[0022] La couche d'oxyde 13 permet de lier intimement les deux couches de silicium 11 et 12. En outre, elle va également servir de couche d'arrêt lors d'opérations ultérieures.

[0023] L'étape b) qui suit consiste à faire croître à la surface du ou des wafers 10 une couche d'oxyde de silicium, en exposant le ou les wafers à une atmosphère oxydante à haute température. La couche varie selon l'épaisseur du „device“ à structurer. Elle se situe typiquement entre 1 et 4µm. Bien entendu d'autres techniques peuvent être utilisées, pour former un masque de gravure, une couche de résine, comme à l'étape suivante c), peut suffire, et que si on utilise de l'oxyde, celui-ci peut être déposé et non crû.

[0024] L'étape c) du procédé, va permettre de définir, par exemple dans une résine positive, les motifs que l'on souhaite réaliser par la suite dans le wafer 10 en silicium. Cette étape comprend les opérations suivantes :

- la résine est déposée, par exemple à la tournette, en une couche très mince d'épaisseur typiquement comprise entre 1 et 2µm,
- une fois séchée, cette résine, aux propriétés photolithographiques, est exposée à travers un masque photolithographique (plaque transparente recouverte d'une couche de chrome, elle-même représentant les motifs souhaités) à l'aide d'une source lumineuse ;
- dans le cas précis d'une résine positive, les zones exposées de la résine sont ensuite éliminées au moyen d'un solvant, révélant alors la couche d'oxyde. En l'occurrence, les zones toujours recouvertes de résine définissent les zones que l'on ne souhaite pas voir attaquées dans l'opération ultérieure de gravage ionique réactif profond (également connu sous l'abréviation „D.R.I.E.“) du silicium.

[0025] Au cours de l'étape c), on exploite alors les zones exposées ou au contraire recouvertes de résine. Un premier processus de gravure permet de transférer dans l'oxyde de silicium préalablement crû, les motifs définis dans la résine aux étapes précédentes. Toujours dans une optique de répétabilité du processus de fabrication, l'oxyde de silicium est structuré par une gravure sèche par plasma, directionnelle et reproduisant la qualité des flancs de la résine servant de masque pour cette opération.

[0026] Une fois l'oxyde de silicium gravé dans les zones ouvertes de la résine, la surface de silicium de la couche supérieure 11 est alors exposée et prête pour une gravure DRIE. La résine peut être conservée ou non selon qu'on souhaite employer la résine comme masque supplémentaire lors de la gravure DRIE.

[0027] Le silicium exposé et non protégé par l'oxyde de silicium est gravé selon une direction perpendiculaire à la surface du wafer (gravure anisotrope DRIE Bosch®). Les motifs formés d'abord dans la résine, puis dans l'oxyde de silicium, sont „projetés“ dans l'épaisseur de la couche „device“ 11.

[0028] Lorsque la gravure débouche sur la couche d'oxyde de silicium 13 liant les deux couches de silicium 11 et 12, la gravure s'arrête. En effet, à l'instar de l'oxyde de silicium servant de masque lors du processus Bosch® et résistant à la gravure elle-même, la couche d'oxyde enterrée 13, de même nature, y résiste également.

[0029] La couche de silicium „device“ 11 est alors structurée dans toute son épaisseur par les motifs définis représentant les composants à fabriquer, maintenant révélés par cette gravure DRIE à savoir une came 1 dans l'exemple illustré.

[0030] Les composants restent solidaires de la couche „handle“ 12 à laquelle ils sont liés par la couche d'oxyde de silicium enterrée 13. Au cours de cette étape c), une partie de la couche supérieure de silicium 2 est gravée de manière à former un élément d'ancrage interne au composant horloger, ainsi qu'un pont de matière 8 reliant cet élément d'ancrage 7 à la paroi interne du composant horloger 1, dans une zone non critique de la paroi interne du composant.

[0031] Dans l'exemple illustré, la paroi interne du composant horloger est la paroi d'un trou agencé pour recevoir un axe. Le trou, de forme, permet au résidu d'attache de ne pas interférer avec l'arbre coopérant avec la planche en silicium. La paroi interne pourrait être une autre ouverture interne au composant, par exemple si celui-ci est squelette.

[0032] Bien entendu, le procédé ne saurait se limiter à une gravure DRIE lors de l'étape c). A titre d'exemple, le gravage de l'étape c) pourrait tout aussi bien être obtenue par un gravage chimique dans un même matériau à base de silicium.

[0033] Lors de l'étape c), plusieurs comes peuvent être formées dans le même wafer.

[0034] Lors de l'étape d), une seconde opération de photolithographie similaire à la première réalisée lors de l'étape c) est réalisée au dos du wafer 10 (donc côté couche „handle“ 12). Pour ce faire le wafer 10 est retourné, la résine y est déposée, puis exposée à travers un masque. Au cours de cette seconde opération de photolithographie, au moins un pont étroit 9 est formé au travers de l'arrière du composant horloger ainsi qu'un ancrage arrière 9' solidaire de l'au moins un pont étroit 9, l'ancrage arrière 9' étant relié à l'élément d'ancrage 7 de la couche „device“ par la couche d'oxyde de silicium liant la couche „device“ et la couche „handle“.

[0035] Selon l'invention, on forme également un shadow mask intégré lors de la gravure DRIE de la couche „handle“ au cours de l'étape d), de manière à réaliser un motif délibéré et volontaire d'ouvertures en face arrière, lesdites ouvertures permettant alors de créer un décor élaboré par dépôt CVD ou PVD lors d'une étape ultérieure.

[0036] La zone de la résine exposée est ensuite éliminée au moyen d'un solvant, révélant alors la couche d'oxyde formée précédemment et servant de masque à la une gravure sèche profonde, telle qu'une gravure DRIE, laquelle permet de faire apparaître l'au moins un pont étroit 9, l'ancrage arrière 9' et le shadow mask.

[0037] Lors de l'étape e) pour libérer complètement les composants, les diverses couches d'oxyde de silicium sont alors gravées par le biais d'une gravure humide avec une solution à base d'acide fluorhydrique ou encore par de l'acide fluorhydrique en phase vapeur. Avantagusement, les comes 1 formées sont maintenues à l'élément d'ancrage via le pont de matière 8, et le tout reposant sur l'ancrage arrière relié à l'au moins un pont étroit lui-même relié à un cadre formé dans la couche „handle“.

[0038] Selon une étape optionnelle du procédé, l'étape f) consiste à faire subir diverses opérations de terminaison de surface à la pièce libérée et encore tenue par l'attache. Ainsi les faces avant, arrière et/ ou latérales du composant horloger peuvent être travaillées alors que le composant est toujours maintenu au wafer. L'étape de finition peut consister en un dépôt de couches, de structuration ou de décoration sur les différentes faces du composant horloger. Ces opérations sont à caractère fonctionnel (renfort, tribologique,...) ou esthétique (coloration, motif), par PVD ou CVD.

[0039] Au cours de cette étape le motif élaboré au cours de l'étape d) via le shadow mask est également décorées via des dépôts CVD ou PVD

[0040] On obtient ainsi la came 1 comme illustrée aux figures 1a et 1b qui, avantagusement selon l'invention, comporte une âme à base de silicium et un revêtement à base d'oxyde de silicium.

[0041] Avantagusement selon l'invention, il est ainsi possible de fabriquer sans plus de complexité un composant horloger 1 comportant un profil externe fonctionnel.

[0042] Enfin, le procédé peut également comporter l'étape h) destinée à séparer les composant horloger 1 du wafer 10 en séparant le composant 1 de son élément d'ancrage 8.

[0043] Bien entendu, la présente invention ne se limite pas à l'exemple illustré, c'est-à-dire la réalisation d'une came, mais est susceptible de diverses variantes et modifications qui apparaîtront à l'homme de l'art.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un composant horloger (10) en silicium caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :
 - a) se munir d'un wafer SOI (10) comprenant successivement une couche de silicium dite „device“ (11), une couche de liaison (13) en oxyde de silicium, et une couche de silicium dite „handle“ (12);
 - b) faire croître une couche d'oxyde de silicium à la surface du wafer (10) ;
 - c) graver la couche d'oxyde de silicium en face avant puis la couche „device“ (11) par DRIE, pour former le composant horloger (1) en silicium ainsi qu'un élément d'ancrage interne (7) et un pont de matière (8) reliant ledit élément d'ancrage à une paroi interne du composant horloger dans une zone non critique de la paroi interne ;
 - d) graver la couche d'oxyde de silicium en face arrière puis la couche „handle“ par DRIE, (12) pour former au moins un pont étroit (9) ainsi qu'au moins un ancrage arrière (9') solidaire de l'au moins un pont étroit (9), l'ancrage arrière (9') étant relié à l'élément d'ancrage (7) de la couche „device“ par la couche de liaison (13) en oxyde de silicium liant les couches „device“ et „handle“ ;
 - e) libérer le composant horloger (1) via une gravure humide, le composant horloger (1) étant maintenu au wafer (10) par l'élément d'ancrage (7) via le pont de matière (8), la couche d'oxyde de liaison n'étant plus présente que là où et la couche „device“ et la couche „handle“ n'ont pas été attaquées par la gravure humide, le tout reposant sur l'au moins un ancrage arrière (9') relié à l'au moins un pont étroit (9) lui-même relié à la couche „handle“ de manière à rendre accessible toutes les faces du composant.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la paroi interne du composant horloger (1) est la paroi d'un trou agencé pour recevoir un axe ou la paroi d'une ouverture interne au composant.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel la couche de liaison (13) en oxyde de silicium est partiellement présente entre l'élément d'ancrage (7) et l'ancrage arrière (9') à la fin de l'étape e).
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le pont étroit (9) et le pont de matière (8) ne sont pas superposés.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'au cours de l'étape d), on forme également un shadow mask intégré lors de la gravure DRIE de la couche „handle“ de manière à réaliser un motif délibéré et volontaire d'ouvertures en face arrière, lesdites ouvertures permettant un décor élaboré par dépôt.
6. Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend une étape f) de finition en wafer des faces avant, arrière et/ou latérales du composant horloger (1), l'étape de finition consistant en un dépôt de couches, de structuration et/ou de décoration par exemple.
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel le composant horloger est une roue, une came, une aiguille, une bascule, un limaçon, un index ou une applique.
8. Composant horloger (1) obtenu par la mise en oeuvre d'un procédé de fabrication d'un composant horloger (1) selon l'une des revendications 1 à 7.

Fig. 1a

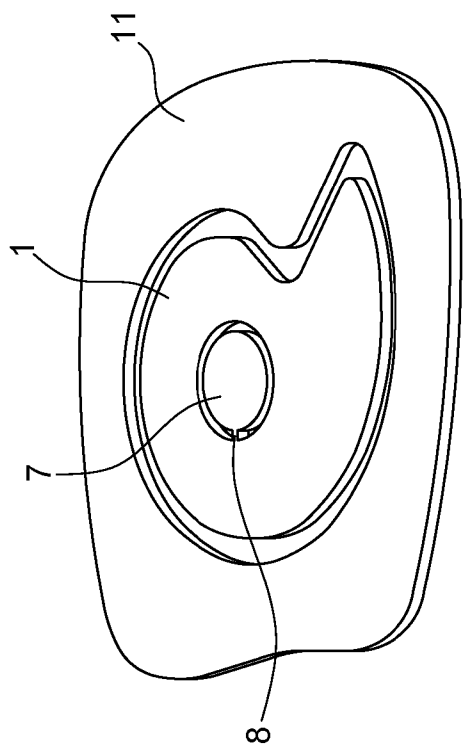


Fig. 1b

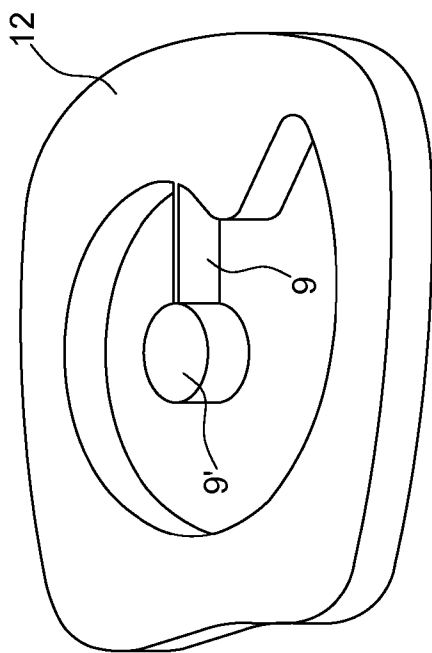


Fig. 2a

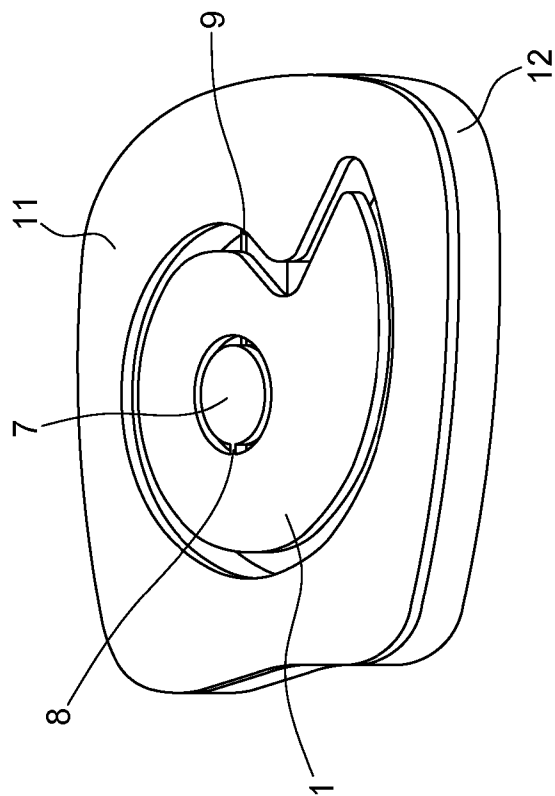


Fig. 2b

