

(19)



(11)

EP 4 564 105 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
04.06.2025 Bulletin 2025/23

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
G04B 17/06 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **23213487.4**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
G04B 17/063

(22) Date de dépôt: **30.11.2023**

(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 ME MK MT NL
 NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
 Etats d'extension désignés:
BA
 Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
 • **TOBENAS BORRON, Susana del Carmen
 1400 YVERDON LES BAINS (CH)**
 • **BOUQUIN, Jean-Marie
 74160 SAINT JULIEN EN GENEVOIS (FR)**

(74) Mandataire: **LLR
 2, rue Jean Lantier
 75001 Paris (FR)**

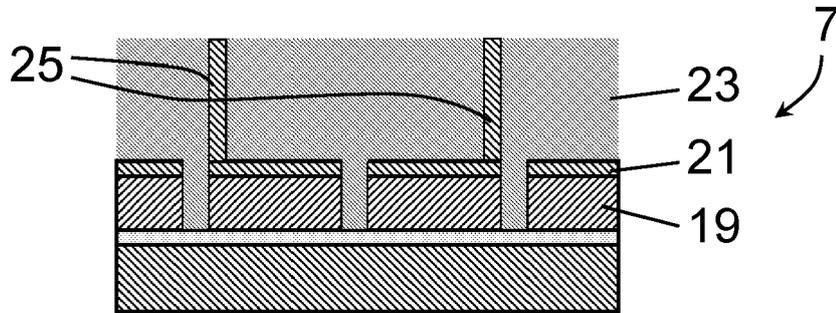
(71) Demandeur: **Richemont International S.A.
 1752 Villars-sur-Glâne (CH)**

(54) **PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN BALANCIER**

(57) L'invention se rapporte à un procédé de fabrication d'un balancier (7) composite comprenant une étape de formation d'ouvertures à travers un substrat (19, 21) de manière à détourner la forme du balancier (7) compo-

site et une étape de formation, par galvanoplastie, d'une couche (25) de métal dans une cavité (24) d'un moule (23) pardessus le substrat (19, 21) afin d'épaissir localement et former le balancier (7) composite.

Fig. 8



DescriptionDOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention se rapporte à un procédé de fabrication d'un balancier composite pour un résonateur balancier - spiral et plus particulièrement un balancier formé d'au moins deux matériaux tels que du silicium et un métal.

ARRIÈRE-PLAN TECHNIQUE DE L'INVENTION

[0002] L'organe régulateur, parfois appelé organe réglant, d'une pièce d'horlogerie est généralement formé par un résonateur du type inertie - élasticité. La qualité de l'organe régulateur est déterminante pour la précision de marche d'une pièce d'horlogerie en contrôlant notamment la fréquence du mouvement horloger. Un résonateur du type inertie - élasticité typiquement utilisé dans l'horlogerie est un ensemble balancier - spiral. Un tel ensemble balancier - spiral a beaucoup évolué ces dernières années permettant une amélioration notable de la précision des pièces d'horlogerie mécaniques.

[0003] Le balancier notamment a ainsi été fabriqué à l'aide de matériaux très variés. Toutefois, il est toujours recherché des méthodes de fabrication permettant l'amélioration de la précision géométrique, de l'homogénéité de fabrication ou de l'absence d'influence aux changements de conditions de fonctionnement tel que les changements de température, de champ magnétique ou de position.

RÉSUMÉ DE L'INVENTION

[0004] L'invention a pour but de proposer un nouveau procédé de fabrication d'un balancier apportant une grande précision de production et une reproductibilité élevée entre les pièces fabriquées tout en donnant au balancier une sensibilité diminuée aux conditions de fonctionnement du mouvement horloger.

[0005] À cet effet, l'invention a pour objet un procédé de fabrication d'un balancier composite, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

- a. se munir d'une plaquette à base de silicium ;
- b. recouvrir une face de la plaquette à l'aide d'au moins une couche électriquement conductrice ;
- c. former des ouvertures à travers la plaquette et ladite au moins une couche électriquement conductrice de manière à détourner la forme du balancier composite comportant une serge périphérique reliée, par au moins un bras, à un moyeu central ;
- d. former un moule par-dessus l'ensemble plaquette - au moins une couche électriquement conductrice avec lesdites ouvertures afin de créer, au niveau de la serge périphérique, au moins une cavité du moule dont au moins une partie du fond est formée par ladite au moins une couche électriquement conduc-

trice ;

- e. former, par galvanoplastie, au moins une couche de métal dans ladite au moins une cavité du moule afin d'épaissir au moins une partie de la serge périphérique et ainsi former le balancier composite ;
- f. libérer le balancier composite.

[0006] Avantagusement, le procédé selon l'invention permet de fabriquer un balancier formé à partir d'un premier niveau d'épaisseur à base de silicium (formant la forme de base du balancier), d'un deuxième niveau d'épaisseur intermédiaire formé de ladite au moins une couche électriquement conductrice (présent au moins au niveau de la serge) et d'un troisième niveau d'épaisseur formé par ladite au moins une couche de métal (présent uniquement au niveau de la serge). On remarque que le procédé selon l'invention comporte des étapes simples à mettre en oeuvre qui évitent d'avoir à utiliser, par exemple, des étapes très complexes de dépôt sélectif ou des étapes de dépôt dans plusieurs types de matériaux différents.

[0007] Les trois niveaux forment ainsi l'épaisseur totale du balancier composite avec un rayon de giration très marqué de sorte à optimiser le rapport entre la masse et le moment d'inertie par une différence importante entre la densité du premier niveau (très inférieure) par rapport à la densité du troisième niveau (très supérieure uniquement au niveau de la serge). On comprend que le mouvement horloger, dans lequel est monté un balancier composite obtenu par le procédé selon l'invention, est donc moins sensible aux changements de positions horizontales et verticales.

[0008] Le procédé selon l'invention utilise avantagusement des techniques telles que celle du gravage de matériau à base de silicium, largement éprouvées dans le domaine de l'électronique pour utiliser leur précision de l'ordre du nanomètre afin d'obtenir une grande précision de fabrication. En outre, le gravage sur une plaquette permet de fabriquer plusieurs balanciers composites en même temps et selon une reproductibilité élevée (produits fabriqués très uniformes au cours du temps).

[0009] L'invention peut également comporter l'une ou plusieurs des caractéristiques optionnelles suivantes, prises seules ou en combinaison.

[0010] La plaquette peut être en silicium monocristallin, c'est-à-dire entièrement en silicium monocristallin. Bien entendu, la plaquette peut également être formée à base de silicium polycristallin sans sortir du cadre de l'invention. L'étape a du procédé selon l'invention peut prévoir que la plaquette soit rapportée sur un substrat de support pour davantage de résistance mécanique de la plaquette, ou non.

[0011] À titre d'exemple nullement limitatif, la plaquette pourrait être une couche de travail (parfois appelée « device ») d'un empilement de silicium sur isolant (parfois abrégé de l'anglais « SOI ») comportant en outre une couche intermédiaire en dioxyde de silicium et d'une deuxième couche de support à base de silicium (parfois

appelée « handle »). L'épaisseur de la couche de travail est typiquement comprise entre 20 μm et 300 μm et, préférentiellement, entre 100 μm et 150 μm . Par conséquent, pendant le procédé selon l'invention, l'empilement de silicium sur isolant permet de bloquer la plaquette de travail de manière simple et robuste pour réaliser les différentes étapes. En outre, lors de l'étape c, la couche intermédiaire permettrait d'être utilisée comme couche d'arrêt pour la formation des ouvertures, c'est-à-dire la limite de profondeur maximale. Enfin, on comprend dans cet exemple particulier, à l'étape f, qu'il est nécessaire de retirer la couche intermédiaire en dioxyde de silicium et de la deuxième couche de support à base de silicium.

[0012] Ladite au moins une couche électriquement conductrice est, de manière préférée, à base d'un métal tel que de l'or (Au) et/ou du platine (Pt) et/ou du tantale (Ta) et/ou de l'aluminium (Al) et/ou du chrome (Cr) et/ou du cuivre (Cu) ou un de leur alliages. Ces matériaux peuvent être déposés en empilement, c'est-à-dire par couches successives se recouvrant au moins partiellement, tel par exemple qu'en utilisant des matériaux à base de chrome et d'or en empilement. On comprend donc qu'une (ou plusieurs) couche(s) de matériau(x) (identique(s) ou différent(s)) peu(ven)t être utilisés pour revêtir la face de la plaquette. Typiquement, l'étape b peut être obtenue par un dépôt physique en phase vapeur. Bien entendu, d'autres types de dépôt peuvent être utilisés sans sortir du cadre de l'invention tels que l'évaporation par faisceau d'électrons.

[0013] L'étape c peut comporter une étape de gravage ionique réactif profond (parfois abrégé « DRIE ») des ouvertures dans la plaquette. Toutefois, toutes méthodes de gravage, permettant de former des ouvertures dans la plaquette et ladite au moins une couche électriquement conductrice, peuvent être utilisées. À titre d'exemple nullement limitatif, l'étape c peut comporter une première phase de gravage chimique sélectif telle qu'à l'aide d'un masque d'épargne, pour commencer la formation des ouvertures dans l'épaisseur de ladite au moins une couche électriquement conductrice, puis une deuxième phase de gravage ionique réactif profond sélectif (ladite au moins une couche électriquement conductrice formant un masque d'épargne) pour continuer et finir les ouvertures dans la totalité de l'épaisseur de la plaquette.

[0014] L'étape d peut être réalisée par photolithographie. Bien entendu, toute autre méthode de formation d'un moule est possible sans sortir du cadre de l'invention. Toutefois, la photolithographie est préférée car, très utilisée dans le domaine de l'électronique, elle est très reproductible et permet une grande précision de la géométrie de chaque cavité obtenue. Il est indifférent d'utiliser une résine photosensible positive ou négative. Typiquement, le fond de tout ou partie de ladite au moins une cavité du moule est au moins en partie formée par ladite au moins une couche électriquement conductrice afin de faciliter le dépôt ultérieur de l'étape e.

[0015] À titre d'exemple nullement limitatif, l'étape d pourrait comporter une première phase de dépôt d'une

résine photosensible telle que du SU-8, par exemple, réalisée par enduction par centrifugation (connu sous les termes anglais « spin coating »). Une deuxième phase peut consister à sélectivement illuminer la résine en fonction de ladite au moins une cavité souhaitée (par exemple à l'aide d'un rayonnement ultraviolet à travers un masque avec des ajourages correspondants), puis une troisième phase destinée à révéler la résine photosensible afin d'obtenir le moule en résine avec ladite au moins une cavité formée dans son épaisseur.

[0016] L'étape e peut être réalisée en connectant électriquement la cathode à ladite au moins une couche électriquement conductrice dans un bain galvanique afin de commencer la galvanoplastie par le fond de chaque cavité du moule. La galvanoplastie est préférée car elle permet un grand rapport de forme, c'est-à-dire notamment dans le cadre de l'invention, une très grande hauteur de dépôt dans ladite au moins une cavité (dans l'épaisseur du moule) par rapport aux dimensions du fond de ladite au moins une cavité. Ladite au moins une couche de métal peut être à base d'or (Au), de nickel (Ni), de tungstène (W), de cuivre (Cu) ou d'un alliage de ces métaux. Le matériau de ladite au moins une couche de métal est sélectivement choisi pour ajuster le moment d'inertie du futur balancier composite, c'est-à-dire que la densité du matériau de ladite au moins une couche de métal, plus élevée que celle du matériau de la plaquette, est choisie pour obtenir le moment d'inertie souhaité du futur balancier composite en fonction du volume déposé prédéterminé de matériau de ladite au moins une couche de métal.

[0017] Le procédé peut comporter une phase de retrait de ladite au moins une couche électriquement conductrice au niveau dudit au moins un bras et du moyeu afin de distribuer au maximum la masse en périphérie du balancier composite permettant de diminuer le frottement visqueux. À titre d'exemple nullement limitatif, la phase de retrait pourrait être réalisée pendant l'étape f après une phase préalable de dissolution chimique du moule formé à l'étape d. En ne laissant ladite au moins une couche électriquement conductrice qu'au niveau de la serge du balancier composite, on comprend en effet qu'on déplace encore davantage le rayon de giration et, incidemment, le moment d'inertie du balancier composite. L'étape f consiste ainsi essentiellement à retirer le balancier composite de toutes les autres parties non utiles (reste de la plaquette de l'étape a, l'éventuel substrat de support de l'étape a, ladite au moins une couche électriquement conductrice au niveau dudit au moins un bras et du moyeu, le moule de l'étape d, etc.) utilisées pendant le procédé.

[0018] Le procédé comporte préférentiellement une phase d'usinage de l'ensemble moule - au moins une couche de métal afin de sélectivement ajuster l'épaisseur du balancier, particulièrement l'épaisseur de la serge de balancier. Typiquement, cette phase peut être réalisée entre les étapes e et f ou pendant l'étape f. On peut, par exemple, profiter de la présence de l'éventuel substrat de

support et du moule pour fraiser le dessus de l'ensemble obtenu à la fin de l'étape e sans risque de délaminage des trois niveaux du balancier composite pour enlever le surplus du dépôt de ladite au moins une couche de métal et en même temps ajuster précisément l'épaisseur (dimension, planéité, rugosité, etc.) du troisième niveau formé par ladite au moins une couche de métal et, incidemment, celle l'épaisseur totale du balancier composite avant sa libération des autres parties non utiles utilisées pendant le procédé.

[0019] Le procédé peut comporter une étape finale g de finition destinée à nettoyer ou corriger le balancier composite dans le but qu'il soit en état d'être monté dans un mouvement horloger. L'étape g de finition peut comporter une phase de nettoyage mécanique et/ou une phase de nettoyage chimique pour retirer des résidus de couche métallique encore présents non souhaités et/ou rectifier le balancier composite comme lui donner un meilleur aspect esthétique ou ajuster son moment d'inertie par enlèvement de matière.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0020] D'autres particularités et avantages de l'invention ressortiront clairement de la description qui en est faite ci-après, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique d'un exemple de pièce d'horlogerie selon l'invention ;
- la figure 2 est une vue en perspective d'un exemple de résonateur avec un balancier composite selon l'invention ;
- les figures 3 à 8 sont des vues schématiques en coupe d'exemple d'étapes d'un procédé selon l'invention ;
- la figure 9 est une vue schématique en coupe d'un premier exemple de balancier composite obtenu par le procédé selon l'invention ;
- la figure 10 est une vue schématique en coupe d'un deuxième exemple de balancier composite obtenu par le procédé selon l'invention.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE D'AU MOINS UN MODE DE RÉALISATION DE L'INVENTION

[0021] Sur les différentes figures, les éléments identiques ou similaires portent les mêmes références, éventuellement additionnés d'un indice. La description de leur structure et de leur fonction n'est donc pas systématiquement reprise.

[0022] Dans tout ce qui suit, les orientations sont les orientations des figures. En particulier, les termes « supérieur », « inférieur », « gauche », « droit », « au-dessus », « en-dessous », « vers l'avant » et « vers l'arrière » s'entendent généralement par rapport au sens de représentation des figures. Le terme « épaisseur E » (ou « hauteur ») ci-dessous est généralement utilisé pour

la direction de la dimension la plus petite du balancier 7 comme illustrée notamment à la figure 2.

[0023] Par « pièce d'horlogerie 2 », on entend tous les types d'instruments de mesure ou de comptage du temps tels que les pendules, les pendulettes, les montres, etc...

[0024] Par « mouvement horloger 3 », on entend tous les types de mécanisme capables de compter le temps et alimentés à base d'énergie mécanique (par exemple un barillet).

[0025] Par « à base de », on entend un matériau ou alliage constituant au moins 50 % en masse totale ou poids d'un élément donné tel que notamment 51 %, 55 %, 60 %, 65 %, 70 %, 75 %, 80 %, 85 %, 90 %, 95 % ou 100 % en masse totale.

[0026] Par « matériau pur », on entend un matériau formé théoriquement à 100 % en masse totale ou poids d'un métal donné, c'est-à-dire sans autre élément d'alliage. De manière pratique, suivant le procédé de fabrication, le matériau obtenu peut comprendre des éléments dits de pollution dont la proportion en poids ne dépasse pas 0,2 % de la masse totale qui empêche en général d'obtenir les 100 % de matériau en masse totale mais plutôt sensiblement entre 97 % et 100 %.

[0027] Dans ce qui suit, sauf indication contraire, tous les pourcentages (%) indiqués sont des pourcentages en masse totale ou poids (en anglais « weight »).

[0028] Par « résine photosensible », on entend tous les matériaux polymères formés d'au moins une chaîne polymère, parfois appelée fibre, plus ou moins longue qui peuvent être aussi bien d'origine naturelle que synthétique dont l'état physique change en fonction d'une exposition à un rayonnement électromagnétique donné. Dans le cadre de l'invention, le terme peut donc se rapporter à une résine photosensible aussi bien du type positif que négatif. Suivant son type, la résine photosensible après exposition peut être révélée par exposition chimique avec au moins un agent de révélation afin de retirer soit la partie exposée, soit la partie non exposée de la résine photosensible. À titre d'exemple nullement limitatif, une résine photosensible du type négatif telle que le produit SU-8 peut par exemple être utilisée dans le cadre de l'étape d du procédé selon l'invention.

[0029] L'invention se rapporte à un procédé de fabrication d'un balancier composite 7 pour un mouvement horloger 3 destiné à être intégré à une pièce d'horlogerie 2 comme par exemple une montre bracelet illustrée à la figure 1. Le mouvement horloger 3 comporte préférentiellement un oscillateur avec un résonateur 1 du type balancier 7 - spiral 9 et un dispositif d'échappement tel que, par exemple, du type à ancre suisse. Le résonateur 1 du type balancier 7 - spiral 9 comporte, de manière connue, un arbre 11 pivotant sur lequel est ajusté un balancier 7 et un spiral 9 en métal ou en silicium afin de monter le résonateur pivotant entre une platine et un pont (non représentés). Un tel oscillateur étant connu en soi, il ne sera pas davantage décrit ci-dessous.

[0030] Avantageusement selon l'invention, le balancier 7 comporte un moyeu 13 relié périphériquement à

une serge 17 au moins partiellement annulaire afin de former un volant d'inertie. Dans l'exemple illustré à la figure 2, le balancier 7 comporte un moyeu 13 muni d'un trou central destiné à être ajusté sur un arbre pivotant 11 de manière connue. Le balancier 7 comporte préférentiellement au moins deux bras 15 (trois à la figure 2 et quatre à la figure 5) dont chacun comporte une première extrémité solidaire périphériquement du moyeu 13 et une deuxième extrémité solidaire du diamètre interne d'une serge 17 au moins partiellement annulaire.

[0031] Bien entendu, les dimensions et géométries du moyeu 13, du trou central, des bras 15 et de la serge 17 pourraient différer sans sortir du cadre de l'invention. Ainsi, à titre nullement limitatif, le nombre de bras 15 pourrait être plus grand (cinq, six, etc.) ou plus petit (un ou deux) sans perdre les bénéfices de l'invention. Selon un autre exemple, la serge 17 pourrait être continue comme dans l'exemple des figures 2 et 5 ou discontinue sans sortir du cadre de l'invention. En outre, le balancier 7 pourrait comprendre des masselottes (non représentées) orientables fixées sur la serge qui, en modifiant leur position, permettent de corriger le moment d'inertie du balancier 7 et, incidemment, la marche diurne du mouvement horloger 3. Enfin, le trou central du moyeu 13 n'a pas nécessairement à respecter une section discoidale comme illustré à la figure 5 mais pourrait être à section elliptique ou polygonale sans perdre les avantages de l'invention.

[0032] De manière connue, un résonateur 1 du type balancier 7 - spiral 9 suit les relations suivantes :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{M}} \quad (1)$$

dans laquelle :

- T est la période du résonateur 1 ;
- I est le moment d'inertie du balancier 7 ;
- M est le moment élastique du spiral 9.

$$\text{Et } I = m \cdot r^2 \quad (2)$$

dans laquelle :

- I est le moment d'inertie du balancier 7 ;
- m est la masse du balancier 7 ;
- r est le rayon de giration du balancier 7.

[0033] On comprend donc que le procédé selon l'invention cherche notamment à fabriquer un balancier 7 dont le rayon de giration r est amélioré et adaptable notamment par la disposition d'une proportion principale de la masse totale du balancier 7 privilégiée au niveau de la serge 17, le reste de la masse étant répartie sur les autres parties du balancier 7. Plus généralement, l'invention a pour but de proposer un nouveau procédé de

fabrication d'un balancier 7 apportant une grande précision de production et une reproductibilité élevée entre les balanciers 7 fabriqués tout en donnant au balancier 7 une sensibilité diminuée aux conditions de fonctionnement du mouvement horloger 3.

[0034] À cet effet, le procédé de fabrication comporte une première étape a destinée à se munir d'une plaquette 19 à base de silicium. La plaquette 19 peut être à base de silicium monocristallin. Bien entendu, la plaquette 19 peut également être formée à base de silicium polycristallin sans sortir du cadre de l'invention. L'étape a du procédé selon l'invention peut prévoir que la plaquette 19 soit rapportée sur un substrat 4, 5 de support pour davantage de résistance mécanique de la plaquette 19, ou non. La plaquette 19 peut comporter une épaisseur (direction verticale à la figure 3) comprise entre 20 μm et 300 μm et, préférentiellement, entre 100 μm et 150 μm .

[0035] À titre d'exemple nullement limitatif, la plaquette 19 pourrait ainsi être une couche de travail (parfois appelée « device ») d'un empilement de silicium sur isolant (parfois abrégé « SOI ») comportant en outre une couche 4 intermédiaire en dioxyde de silicium et d'une deuxième couche 5 de support à base de silicium (parfois appelée « handle »). Par conséquent, pendant le procédé selon l'invention, l'empilement de silicium sur isolant permet de bloquer la plaquette 19 de travail de manière simple et robuste pour réaliser les différentes étapes. En outre, lors d'une étape c de formation d'ouvertures 20 décrite ci-dessous, la couche 4 intermédiaire permettrait d'être utilisée comme couche d'arrêt pour la formation des ouvertures, c'est-à-dire la limite de profondeur maximale. Enfin, on comprend dans cet exemple particulier, à une étape f de libération du balancier 7 de la plaquette 19 décrite ci-dessous, qu'il est nécessaire de retirer la couche 4 intermédiaire en dioxyde de silicium et la deuxième couche 5 de support à base de silicium.

[0036] Le procédé se poursuit avec une deuxième étape b destinée à recouvrir une face, telle que la face supérieure à la figure 3, de la plaquette 19 à l'aide d'au moins une couche 21 électriquement conductrice. Ladite au moins une couche 21 électriquement conductrice est, de manière préférée, à base d'un métal tel que de l'or (Au) et/ou du platine (Pt) et/ou du tantale (Ta) et/ou de l'aluminium (Al) et/ou du chrome (Cr) et/ou du cuivre (Cu) ou un de leur alliages. Ces matériaux peuvent être déposés en empilement, c'est-à-dire par couches successives se recouvrant au moins partiellement, tel par exemple qu'en utilisant des matériaux à base de chrome et d'or en empilement. On comprend donc qu'une (ou plusieurs) couche(s) de matériau(x) (identique(s) ou différent(s)) peu(ven)t être utilisé(s) pour revêtir la face de la plaquette 19. Ladite au moins une couche 21 électriquement conductrice peut comporter une épaisseur (direction verticale à la figure 3) comprise entre 50 nm et 400 nm. Typiquement, l'étape b peut être obtenu par un dépôt physique en phase vapeur tels que l'évaporation par faisceau d'électrons. Bien entendu, d'autres types de

dépôt peuvent être utilisés sans sortir du cadre de l'invention. Comme expliqué ci-dessous, ladite au moins une couche 21 électriquement conductrice est, avantageusement selon l'invention, utilisée comme couche de transmission d'énergie électrique pour l'étape e de formation d'au moins une couche 25 de métal.

[0037] Ensuite, le procédé comporte une troisième étape c destinée à former des ouvertures 20 à travers la plaquette 19 et ladite au moins une couche 21 électriquement conductrice de manière à détourner la forme du balancier 7 composite. Ainsi, dans un premier niveau à base de silicium comme illustré dans l'exemple de la figure 5, le balancier 7 composite comporte un premier niveau de la serge 17 périphérique reliée, par au moins un bras 15, à un moyeu central 13. Typiquement, dans l'exemple illustré à la figure 4, la coupe montre trois ouvertures 20. L'ouverture 20 centrale correspond au trou central du moyeu 13 du balancier 7 composite et, entre les ouvertures 20 périphériques (du centre vers la périphérie), le moyeu 13, les bras 15 et la serge 17. On comprend que pour former les bras 15 illustré dans l'exemple de la figure 5, il est également nécessaire de dégager quatre ouvertures 20 en forme sensiblement de quart de disque.

[0038] Enfin, pour des raisons pratiques, au moins deux barrettes 22 de maintien sont laissées pour garder le balancier 7 composite solidaire de la plaquette 19 au fur et à mesure des étapes du procédé selon l'invention, c'est-à-dire les barrettes sont cassées lors de l'étape f pour libérer le balancier 7 composite de la plaquette 19. On comprend donc que les barrettes ont une forme destinée à faciliter l'étape f telle que, typiquement, une section diminuée au niveau de la serge 17.

[0039] À titre d'exemple nullement limitatif, l'étape c peut comporter une première sous-étape de gravage sélectif pour commencer la formation des ouvertures 20 dans l'épaisseur (direction verticale à la figure 4) de ladite au moins une couche 21 électriquement conductrice. La première sous-étape de gravage peut ainsi comporter une première phase de photolithographie pour former un masque d'épargne muni d'ajourages correspondant aux futures ouvertures 20. Une deuxième phase pourrait être ensuite une phase de gravage chimique, selon les ajourages du masque d'épargne, de la couche électriquement conductrice 21 afin d'y former les ouvertures 20.

[0040] L'étape c peut se poursuivre avec une deuxième sous-étape de gravage sélectif pour continuer et finir les ouvertures 20 dans la totalité de l'épaisseur (direction verticale à la figure 4) de la plaquette 19. On comprend donc que le masque d'épargne formé à la première phase de la première sous-étape de l'étape c est également utilisé pour la deuxième sous-étape selon les mêmes ajourages, c'est-à-dire graver la plaquette 19 selon chaque motif des ajourages. La deuxième sous-étape de l'étape c peut comporter une phase de gravage ionique réactif profond (parfois abrégé « DRIE ») des ouvertures 20 dans la plaquette 19. Le gravage ionique

réactif profond est préféré pour sa gravure directionnelle. Toutefois, toutes méthodes de gravage permettant de former des ouvertures 20 dans la plaquette 19 et/ou ladite au moins une couche 21 électriquement conductrice peuvent être utilisées. Le procédé avantageusement selon l'invention utilise une technique de gravage de matériau à base de silicium largement éprouvée dans le domaine de l'électronique pour utiliser sa précision de l'ordre du nanomètre afin d'obtenir une grande précision de fabrication. En outre, on comprend que le gravage sur une plaquette 19 permet de fabriquer plusieurs balanciers 7 composites en même temps et selon une reproductibilité élevée (fabrication très uniforme au cours du temps).

[0041] Après l'étape c, le procédé comporte une quatrième étape d destinée à former un moule 23 par-dessus l'ensemble plaquette 19 - au moins une couche 21 électriquement conductrice avec lesdites ouvertures 20, afin de créer, au niveau de la serge 17 périphérique, au moins une cavité 24 du moule 23 dont au moins une partie du fond est formée par ladite au moins une couche 21 électriquement conductrice. L'étape d peut être réalisée par photolithographie. Bien entendu, toute autre méthode de formation d'un moule 23 est possible sans sortir du cadre de l'invention. Le moule 23 peut comporter une épaisseur (direction verticale à la figure 3) comprise entre 180 μm et 1 mm (sans compter la hauteur des ouvertures 20).

[0042] Toutefois, la photolithographie est préférée car, très utilisée dans le domaine de l'électronique, elle est très reproductible et permet une grande précision de la géométrie de chaque cavité 24 obtenue. Il est indifférent d'utiliser une résine 18 photosensible positive ou négative. Avantageusement selon l'invention, le fond de tout ou partie de ladite au moins une cavité 24 du moule 23 est au moins en partie formée par ladite au moins une couche 21 électriquement conductrice afin de faciliter le dépôt ultérieur de l'étape e.

[0043] Ici encore, le procédé, avantageusement selon l'invention, utilise une technique de photolithographie largement éprouvée dans le domaine de l'électronique pour utiliser sa précision de l'ordre du nanomètre afin d'obtenir une grande précision de fabrication. En outre, on comprend que la photolithographie sur la partie supérieure de l'ensemble plaquette 19 - au moins une couche 21 électriquement conductrice avec lesdites ouvertures 20, permet également de facilement s'adapter si plusieurs balanciers 7 composites ont été détournés en même temps lors de l'étape c et selon une reproductibilité élevée (fabrication très uniforme au cours du temps).

[0044] À titre d'exemple nullement limitatif, l'étape d pourrait comporter une première phase de dépôt d'une résine 18 photosensible telle que du SU-8, par exemple, réalisée par enduction par centrifugation (connu sous les termes anglais « spin coating »). Une deuxième phase d'alignement d'un masque 6 (muni d'ajourages idoines) avec la forme du balancier 7, obtenue lors de l'étape c, est ensuite réalisée. Une troisième phase peut consister à

sélectivement illuminer (par exemple à l'aide d'un rayonnement ultraviolet) la résine 18 photosensible en fonction de ladite au moins une cavité 24 souhaitée à l'aide du masque 6 comme illustré à la figure. Enfin, une quatrième phase destinée à révéler la résine 18 photosensible est effectuée afin d'obtenir le moule 23 en résine avec ladite au moins une cavité 24 (une seule cavité circulaire dans l'exemple de la figure 7) formée dans son épaisseur (direction verticale à la figure 7). On remarque que l'utilisation d'une résine 18 photosensible permet avantageusement de reboucher les ouvertures 20 afin d'améliorer la résistance mécanique de l'ensemble notamment pour les étapes du procédé prévues après l'étape d comme expliqué ci-dessous.

[0045] Selon l'invention, le procédé continue avec la cinquième étape e destinée à former, par galvanoplastie, au moins une couche 25 de métal dans ladite au moins une cavité 24 du moule 23 afin d'épaissir au moins une partie de la serge 17 périphérique et ainsi former le balancier 7 composite. Ladite au moins une couche 25 de métal est préférentiellement déposée pour remplir lesdites au moins une cavité 24, c'est-à-dire selon au moins l'épaisseur (direction verticale à la figure 8) du moule 23.

[0046] L'étape e peut être réalisée en connectant électriquement la cathode à ladite au moins une couche 21 électriquement conductrice dans un bain galvanique afin de commencer la galvanoplastie par le fond de chaque cavité 24 du moule 23. La galvanoplastie est préférée car elle permet un grand rapport de forme, c'est-à-dire notamment dans le cadre de l'invention, une très grande hauteur (direction verticale à la figure 8) de dépôt dans ladite au moins une cavité 24 (dans l'épaisseur du moule 23) par rapport aux dimensions sensiblement horizontales (direction horizontale aux figures 7 et 8) du fond de ladite au moins une cavité 24. Ladite au moins une couche 25 de métal peut être à base d'or (Au), de nickel (Ni), de tungstène (W), de cuivre (Cu) ou d'un alliage de ces métaux. Le matériau de ladite au moins une couche 25 de métal est sélectivement choisi pour ajuster le moment d'inertie du futur balancier 7 composite, c'est-à-dire que la densité du matériau de ladite au moins une couche 25 de métal, plus élevée que celle du matériau de la plaquette est choisie pour obtenir le moment d'inertie souhaité du futur balancier 7 composite en fonction du volume déposé prédéterminé de matériau de ladite au moins une couche 25 de métal.

[0047] Enfin, le procédé peut se terminer avec la sixième étape f destinée à libérer le balancier 7 composite. L'étape f consiste ainsi essentiellement à retirer le balancier 7 composite de toutes les autres parties non utiles (reste de la plaquette 19 de l'étape a, l'éventuel substrat 4, 5 de support de l'étape a, le moule 23 de l'étape d, etc.) utilisées pendant le procédé. Comme expliqué ci-dessus, dans la mesure où plusieurs balanciers 7 composites sont fabriqués en même temps, l'étape f permet ainsi de détacher tous les balanciers 7 composites. À titre d'exemple nullement limitatif, l'étape f

peut ainsi comporter une phase de rupture des barrettes 22 de maintien pour libérer chaque balancier 7 composite de la plaquette 19. Si un substrat 4, 5 de support est utilisé, la phase de rupture des barrettes 22 de maintien peut être précédée d'une phase de détachement du substrat 4, 5 de support à l'aide, par exemple, d'une attaque chimique sélective de la couche 4 intermédiaire.

[0048] Ainsi, avantageusement selon l'invention, le procédé permet de fabriquer un balancier 7 composite formé à partir d'un premier niveau d'épaisseur à base de silicium (formant la forme de base du balancier 7 composite), d'un deuxième niveau d'épaisseur intermédiaire formé de ladite au moins une couche 21 électriquement conductrice (présent au moins au niveau de la serge 17) et d'un troisième niveau d'épaisseur formé par ladite au moins une couche 25 de métal (présent uniquement au niveau de la serge 17). On remarque que le procédé selon l'invention comporte des étapes simples à mettre en oeuvre qui évitent d'avoir à utiliser, par exemple, des étapes très complexes de dépôt sélectif ou des étapes de dépôt dans plusieurs types de matériaux différents.

[0049] Les trois niveaux forment ainsi l'épaisseur E1, E2 totale du balancier 7 composite des exemples des figures 9 et 10 avec un rayon de giration très marqué de sorte à optimiser le rapport entre la masse et le moment d'inertie par une différence importante entre la densité du premier niveau (très inférieure) par rapport à la densité du troisième niveau (très supérieure uniquement au niveau de la serge 17). On comprend que le mouvement horloger 3, dans lequel est monté un balancier 7 composite obtenu par le procédé selon l'invention, est donc moins sensible aux changements de positions horizontales et verticales.

[0050] Le procédé peut comporter une phase de retrait de ladite au moins une couche 21 électriquement conductrice au niveau dudit au moins un bras 15 et/ou du moyeu 13 afin d'optimiser la distribution de la masse en périphérie du balancier 7 composite permettant de diminuer le frottement visqueux. À titre d'exemple nullement limitatif, la phase de retrait pourrait être réalisée pendant l'étape f après une phase préalable de dissolution chimique du moule 23 formé à l'étape d. En ne laissant ladite au moins une couche électriquement conductrice qu'au niveau de la serge 17 du balancier 7 composite comme illustré dans l'exemple de la figure 10, on comprend en effet qu'on déplace encore davantage le rayon de giration et, incidemment, le moment d'inertie du balancier 7 composite.

[0051] Le procédé comporte préférentiellement une phase d'usinage de l'ensemble moule 23 - au moins une couche 25 de métal afin de sélectivement ajuster l'épaisseur (direction verticale à la figure 8) du balancier 7 composite. Typiquement, cette phase peut être réalisée entre les étapes e et f ou pendant l'étape f. On peut, par exemple, profiter de la présence de l'éventuel substrat 4, 5 de support et/ou du moule 23 pour fraiser le dessus de l'ensemble obtenu à la fin de l'étape e sans risque de délaminage des trois niveaux du balancier 7 composite

pour enlever le surplus du dépôt de ladite au moins une couche 25 de métal et en même temps ajuster précisément l'épaisseur (dimension, planéité, rugosité, etc.) du troisième niveau formé par ladite au moins une couche 25 de métal et, incidemment, celle l'épaisseur E1, E2 totale du balancier 7 composite avant sa libération des autres parties non utiles utilisées pendant le procédé.

[0052] Le procédé peut enfin comporter une étape finale g de finition destinée à nettoyer - corriger le balancier 7 composite dans le but qu'il soit en état d'être monté dans un mouvement horloger 3. L'étape g de finition peut comporter une phase de nettoyage mécanique et/ou une phase de nettoyage chimique pour retirer des morceaux encore présents non souhaités et/ou rectifier le balancier 7 composite comme lui donner un meilleur aspect esthétique ou ajuster son moment d'inertie par enlèvement de matière.

[0053] L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation et variantes présentés et d'autres modes de réalisation et variantes apparaîtront clairement à l'homme du métier. Ainsi, les réalisations ci-dessus sont des exemples. Bien que la description se réfère à un ou plusieurs modes de réalisation, ceci ne signifie pas nécessairement que chaque référence concerne le même mode de réalisation, ou que les caractéristiques s'appliquent seulement à un seul mode de réalisation. De simples caractéristiques de différents modes de réalisation peuvent également être combinées et/ou interchangées pour fournir d'autres réalisations. À titre nullement limitatif, il peut être envisagé de

[0054] De plus, il est également possible d'appliquer le procédé de fabrication à d'autres types de composants tels qu'une masse oscillante de mécanisme de remontage automatique comportant un premier niveau à base de silicium en forme de disque partiel et un deuxième niveau à base de métal à la périphérie dudit disque partiel ou un mobile pour un rouage ou un dispositif d'échappement comportant un premier niveau à base de silicium avec une première denture périphérique et un deuxième niveau à base de métal avec une deuxième denture périphérique coaxiale à la première denture périphérique.

LISTE DES RÉFÉRENCES

[0055]

- 1 - résonateur
- 2 - pièce d'horlogerie
- 3 - mouvement horloger
- 4 - couche intermédiaire
- 5 - couche ou substrat de support
- 6 - masque ajouré d'exposition
- 7 - balancier composite
- 9 - spiral
- 11 - arbre de balancier
- 13 - moyeu de balancier
- 15 - bras de balancier

- 17 - serge de balancier
- 18 - résine photosensible
- 19 - plaquette
- 20 - ouverture
- 5 21 - couche électriquement conductrice
- 22 - barrette de maintien
- 23 - moule
- 24 - cavité
- 25 - couche de métal

10

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un balancier (7) composite, **caractérisé en ce qu'il** comprend les étapes suivantes :

15

- a. se munir d'une plaquette (19) à base de silicium ;
- b. recouvrir une face de la plaquette (19) à l'aide d'au moins une couche (21) électriquement conductrice ;
- c. former des ouvertures (20) à travers la plaquette (19) et ladite au moins une couche (21) électriquement conductrice de manière à détourner la forme du balancier (7) composite comportant une serge (17) périphérique reliée, par au moins un bras (15), à un moyeu central (13) ;
- d. former un moule (23) par-dessus l'ensemble plaquette (19) - au moins une couche (21) électriquement conductrice avec lesdites ouvertures (20) afin de créer, au niveau de la serge (17) périphérique, au moins une cavité (24) du moule (23) dont au moins une partie du fond est formée par ladite au moins une couche (21) électriquement conductrice ;
- e. former, par galvanoplastie, au moins une couche (25) de métal dans ladite au moins une cavité (24) du moule (23) afin d'épaissir au moins une partie de la serge (17) périphérique et ainsi former le balancier (7) composite ;
- f. libérer le balancier (7) composite.

25

30

35

40

2. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la plaquette (19) est en silicium monocristallin.

45

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'étape b est obtenu par un dépôt physique en phase vapeur.

50

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite au moins une couche (21) électriquement conductrice est à base d'or, de platine, de tantale, d'aluminium, de chrome ou de cuivre.

55

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape c comporte une étape de gravage ionique réactif profond des ouver-

tures dans la plaquette.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape d est réalisée par photolithographie. 5
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape e est réalisée en connectant électriquement la cathode à ladite au moins une couche (21) électriquement conductrice. 10
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite au moins une couche (25) de métal est à base d'or, de nickel, de tungstène ou de cuivre. 15
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant une phase de retrait de ladite au moins une couche (21) électriquement conductrice au niveau dudit au moins un bras (15) et du moyeu (13) afin d'optimiser la distribution de la masse en périphérie du balancier (7) composite. 20
10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant une phase d'usinage de l'ensemble moule (23) - au moins une couche (25) de métal afin de sélectivement ajuster l'épaisseur (E1, E2) du balancier (7) composite. 25
11. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comportant une étape finale g de finition destinée à corriger le balancier (7) composite. 30

35

40

45

50

55

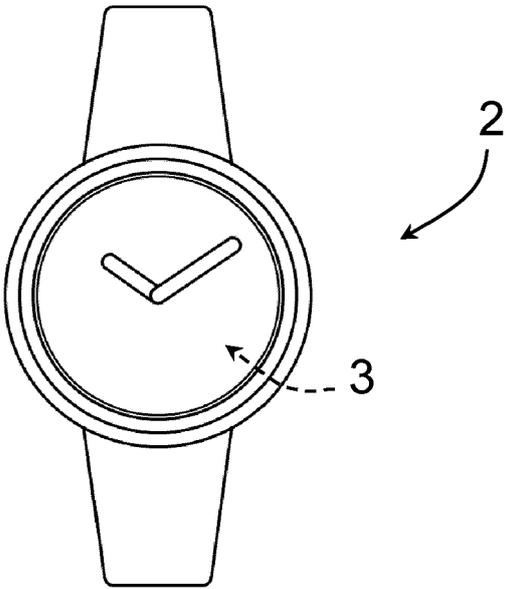


Fig. 1

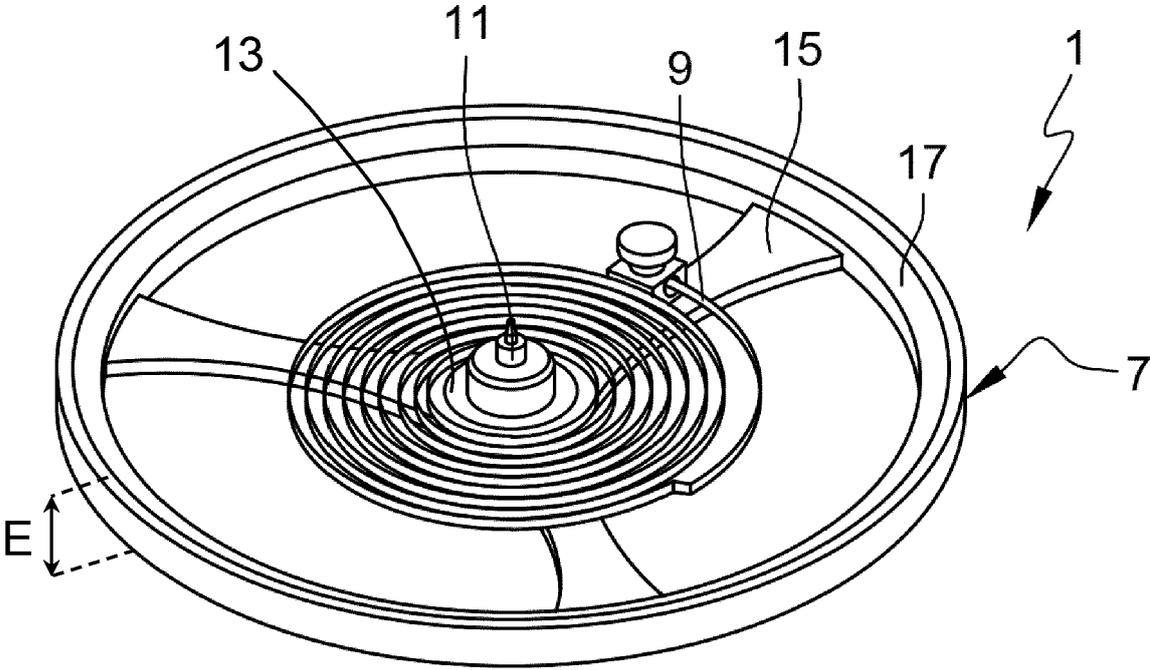


Fig. 2

Fig. 3

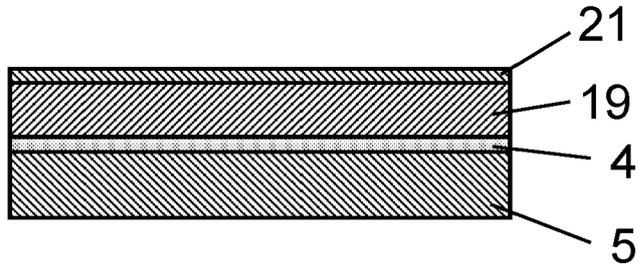


Fig. 4

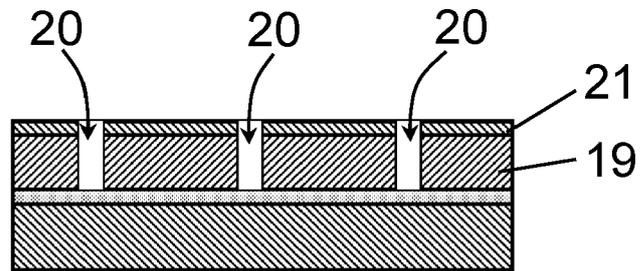


Fig. 5

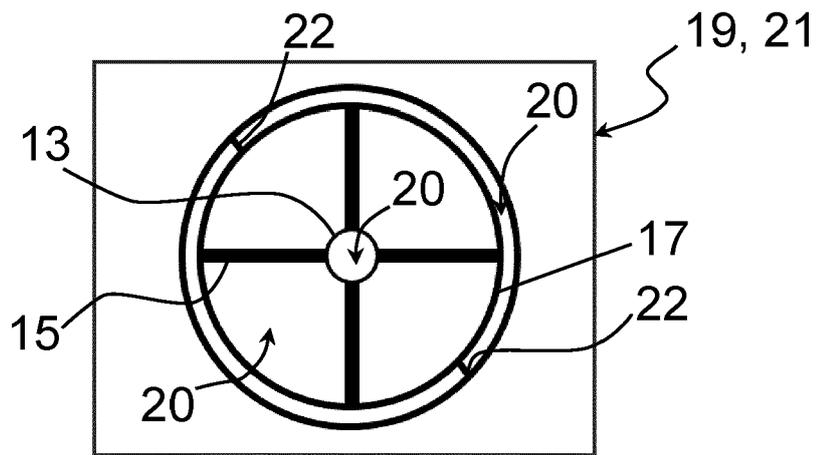


Fig. 6

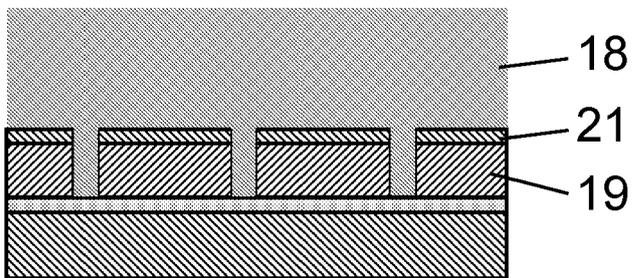


Fig. 7

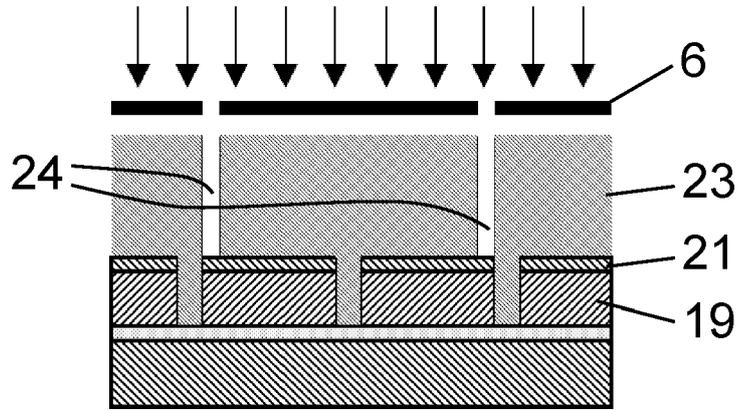


Fig. 8

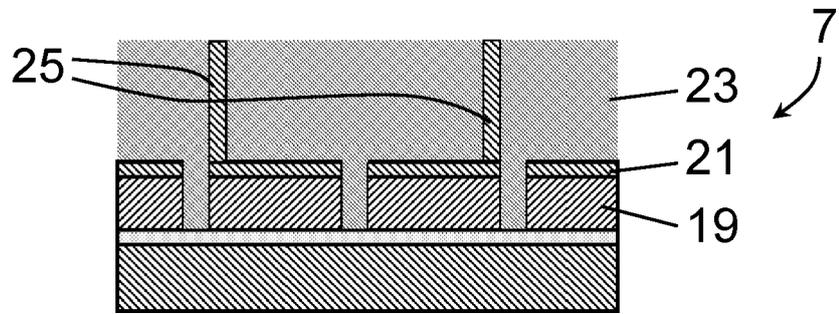


Fig. 9

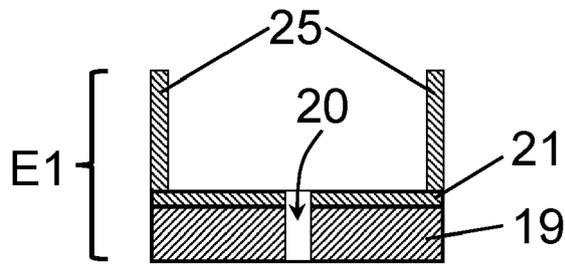
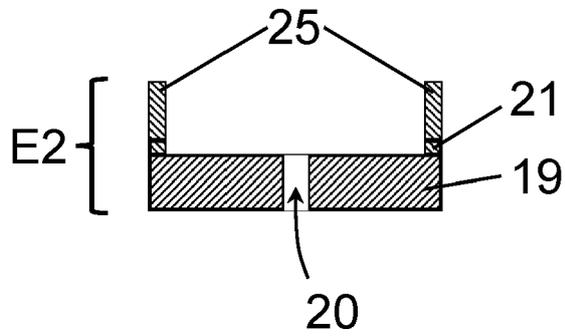


Fig. 10





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 23 21 3487

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	EP 3 822 709 A1 (PATEK PHILIPPE SA GENEVE [CH]) 19 mai 2021 (2021-05-19) * alinéas [0063], [0066] - [0070] * -----	1-11	INV. G04B17/06
A	WO 2022/253983 A1 (ROLEX SA [CH]) 8 décembre 2022 (2022-12-08) * page 15, ligne 25; figures 1-16 * * page 14, lignes 12-23 * -----	1-11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 14 mai 2024	Examineur Cavallin, Alberto
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (F04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 23 21 3487

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de
recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

14-05-2024

10

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 3822709	A1	19-05-2021	AUCUN	

WO 2022253983	A1	08-12-2022	CH 718694 A2	15-12-2022
			CN 117501187 A	02-02-2024
			EP 4348357 A1	10-04-2024
			WO 2022253983 A1	08-12-2022

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82