



(11) **EP 3 557 333 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
23.10.2019 Bulletin 2019/43

(51) Int Cl.:
G04B 1/14 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **18167501.8**

(22) Date de dépôt: **16.04.2018**

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

(71) Demandeur: **Patek Philippe SA Genève
1204 Genève (CH)**

(72) Inventeurs:
• **JEANNERET, Sylvain
2013 Colombier (CH)**
• **MAIER, Frédéric
2000 Neuchâtel (CH)**
• **BUCAILLE, Jean-Luc
74160 Présilly (FR)**

(74) Mandataire: **Micheli & Cie SA
Rue de Genève 122
Case Postale 61
1226 Genève-Thônex (CH)**

(54) **PROCEDE DE FABRICATION D'UN RESSORT MOTEUR D'HORLOGERIE**

(57) Le procédé de fabrication d'un ressort moteur d'horlogerie selon l'invention comprend les étapes suivantes : réaliser en silicium une pièce ayant la forme souhaitée du ressort moteur ; oxyder thermiquement la

pièce ; désoxyder la pièce ; effectuer un recuit de la pièce dans une atmosphère réductrice ; former une couche d'oxyde de silicium sur la pièce.

EP 3 557 333 A1

Description

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'un ressort moteur pour pièce d'horlogerie.

[0002] Par ressort moteur on entend tout ressort, autre qu'un ressort exerçant une simple fonction de rappel, capable d'emmagasiner de l'énergie pour alimenter le fonctionnement d'un mécanisme. Un exemple typique de ressort moteur est le ressort de barillet.

[0003] Dans l'horlogerie mécanique, le ressort de barillet apporte l'énergie permettant d'entretenir l'oscillateur de la montre. Le ressort de barillet est logé dans un tambour de barillet et fournit son énergie par l'intermédiaire d'un système de roues et pignons qui engrène avec le tambour de barillet. La place disponible pour stocker l'énergie, à savoir le volume du tambour de barillet, est limitée, surtout dans les montres-bracelets, ceci d'autant plus lorsque la montre est fine. De cette place disponible dépend la quantité d'énergie emmagasinable. Cette quantité d'énergie est utilisée pour garantir une certaine durée de marche de la montre. La précision de la marche est, elle, déterminée par la fréquence et l'inertie de l'oscillateur. Un oscillateur à haute fréquence et haute inertie aura une très bonne précision de marche mais nécessitera un apport d'énergie conséquent, ce qui peut pénaliser la durée de marche. Un compromis doit donc être opéré entre la durée de marche et la précision de l'oscillateur.

[0004] La quantité d'énergie emmagasinable est aussi liée au matériau dans lequel on fabrique le ressort de barillet. Depuis plusieurs années, des fabricants utilisent le Nivaflex®, un alliage à base de Co, Ni, Cr et Fe développé par la société Vacuumschmelze GmbH & Co. KG. Cet alliage a pour avantage notable de présenter une très haute limite élastique, d'environ 3,7 GPa, donnée par l'écroutissage et les traitements thermiques, tout en conservant une part de ductilité. Quelques améliorations (Nivaflex Plus, demande de brevet DE 102009014442) ou matériaux alternatifs (Bioflex®, brevet CH 704471) sont maintenant proposés, mais sans permettre un gain significatif des propriétés mécaniques et de la quantité d'énergie stockée. Il est également proposé de réaliser des ressorts de barillet en verre métallique (brevets CH 698962 et CH 704391) ou en un matériau composite comprenant une portion de support en un matériau métallique ou en un métalloïde tel que le carbone, le silicium ou le germanium, cette portion de support étant recouverte par une deuxième portion, en diamant, supportant l'essentiel des contraintes de déformation (brevet CH 706020 de la demanderesse).

[0005] Le silicium est un matériau de plus en plus utilisé dans l'horlogerie et qui présente de nombreux avantages. Cependant, sa limite élastique et le rapport de sa limite élastique au carré sur son module d'élasticité (σ^2/E) sont trop bas pour pouvoir emmagasiner suffisamment d'énergie pour alimenter le fonctionnement d'un mouvement horloger. C'est pourquoi, dans le brevet CH 706020, on l'associe avec du diamant, mais sans que

cela donne en pratique entière satisfaction en termes de résistance mécanique.

[0006] La présente invention vise à remédier à ces inconvénients, au moins en partie, et propose à cette fin un procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2.

[0007] Un mode de réalisation particulier du procédé de fabrication d'un ressort moteur d'horlogerie, de préférence un ressort de barillet, selon l'invention va maintenant être décrit.

[0008] Une première étape consiste à graver dans une plaquette de silicium, de préférence par gravure ionique réactive profonde (DRIE), une pièce ayant la forme souhaitée, typiquement en spirale, et sensiblement les dimensions souhaitées du ressort moteur.

[0009] Le silicium peut être monocristallin, polycristallin ou amorphe. S'il est monocristallin, son orientation cristalline est de préférence {111} pour que son module de Young soit isotrope. Le silicium polycristallin est préféré au silicium monocristallin pour son isotropie et sa plus grande résistance mécanique. Le silicium utilisé dans l'invention peut en outre être dopé ou non.

[0010] Une deuxième étape du procédé consiste à oxyder thermiquement la pièce, typiquement à une température comprise entre 600°C et 1300°C, de préférence entre 800°C et 1200°C, de manière à la recouvrir d'une couche d'oxyde de silicium (SiO₂). Cette couche d'oxyde de silicium se forme en consommant du silicium, ce qui fait reculer l'interface entre le silicium et l'oxyde de silicium et atténue les défauts de surface du silicium.

[0011] A une troisième étape, la couche d'oxyde de silicium est éliminée, par exemple par gravure humide, gravure en phase vapeur ou gravure sèche.

[0012] A une quatrième étape, on applique à la pièce le traitement de recuit décrit dans la demande de brevet CH 702431, qui est incorporée dans la présente demande par renvoi. Ce traitement de recuit (« thermal annealing » en anglais) est effectué dans une atmosphère réductrice, de préférence à une pression strictement supérieure à 100 Torr et inférieure ou égale à la pression atmosphérique (760 Torr), mais qui peut être de l'ordre de la pression atmosphérique, et de préférence à une température comprise entre 800°C et 1300°C. La durée du traitement de recuit peut être de quelques minutes à plusieurs heures. L'atmosphère réductrice peut être constituée principalement ou totalement d'hydrogène. Elle peut comprendre aussi de l'argon ou tout autre gaz neutre.

[0013] La combinaison des deuxième, troisième et quatrième étapes (oxydation, désoxydation et recuit) confère à la pièce des propriétés mécaniques remarquables pour un ressort moteur. Les ébréchures et autres défauts susceptibles de créer des amorces de rupture sont fortement réduits voire supprimés. La rugosité des surfaces est lissée. Les vaguelettes que crée la gravure DRIE sur les flancs de la pièce sont atténuées voire supprimées. Les arêtes sont arrondies, ce qui diminue les concentrations de contraintes. La limite à la rupture du silicium, correspondant à sa limite élastique, est augmen-

tée.

[0014] A une cinquième étape du procédé, on forme sur la pièce une couche d'oxyde de silicium (SiO_2) permettant d'augmenter sa résistance mécanique. Cette couche d'oxyde de silicium peut être formée par oxydation thermique, de la même manière qu'à la deuxième étape, ou par dépôt, notamment dépôt chimique ou physique en phase vapeur (CVD, PVD). Elle est de préférence formée sur toute ou presque toute la surface de la pièce. Son épaisseur est par exemple de quelques micromètres.

[0015] Typiquement, ladite pièce fait partie d'un lot de pièces réalisées dans une même plaquette de silicium. A une dernière étape du procédé, la pièce et les autres pièces du lot sont détachées de la plaquette.

[0016] Le procédé selon l'invention, grâce aux traitements de surface décrits ci-dessus, permet l'obtention de ressorts moteurs atteignant des limites élastiques en flexion supérieures à 3 GPa et pouvant même aller jusqu'à 6 GPa. La capacité de stockage d'énergie (σ^2/E) est augmentée.

[0017] Le(s) ressort(s) moteur(s) obtenu(s) selon le procédé selon l'invention peut(peuvent) comprendre des parties remplissant des fonctions supplémentaires par rapport au stockage et à la restitution d'énergie, par exemple des parties servant de bonde ou de bride comme décrit dans le brevet CH 705368.

[0018] Dans une variante de l'invention, la quatrième étape (recuit) est mise en oeuvre avant la deuxième étape (oxydation thermique).

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un ressort moteur d'horlogerie comprenant les étapes suivantes :

- a) réaliser en silicium une pièce ayant la forme souhaitée du ressort moteur,
- b) oxyder thermiquement la pièce,
- c) désoxyder la pièce,
- d) effectuer un recuit de la pièce dans une atmosphère réductrice,
- e) former une couche d'oxyde de silicium sur la pièce.

2. Procédé de fabrication d'un ressort moteur d'horlogerie comprenant les étapes suivantes :

- a) réaliser en silicium une pièce ayant la forme souhaitée du ressort moteur,
- b) effectuer un recuit de la pièce dans une atmosphère réductrice,
- c) oxyder thermiquement la pièce,
- d) désoxyder la pièce,
- e) former une couche d'oxyde de silicium sur la pièce.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'étape a) comprend une opération de gravure, de préférence une opération de gravure ionique réactive profonde.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel l'étape d'oxydation thermique est effectuée à une température comprise entre 600°C et 1300°C, de préférence entre 800°C et 1200°C.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel l'étape de désoxydation comprend une opération de gravure, de préférence une opération de gravure humide, de gravure en phase vapeur ou de gravure sèche.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel l'étape de recuit est effectuée à une pression strictement supérieure à 100 Torr.

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel l'étape de recuit est effectuée à une pression inférieure ou égale à la pression atmosphérique.

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel l'étape de recuit est effectuée à une température comprise entre 800°C et 1300°C.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel ladite atmosphère réductrice comprend de l'hydrogène.

10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel ladite atmosphère réductrice comprend également un gaz neutre, par exemple de l'argon.

11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel l'étape e) est effectuée par oxydation thermique.

12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel le silicium est monocristallin ou polycristallin.

13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 12, dans lequel le ressort moteur est un ressort de barillet.



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 18 16 7501

5

10

15

20

25

30

35

40

45

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	CH 706 020 B1 (PATEK PHILIPPE SA GENEVE [CH]) 31 juillet 2013 (2013-07-31) * abrégé; figures *	1-13	INV. G04B1/145
A	CH 699 476 A2 (PATEK PHILIPPE SA GENEVE [CH]) 15 mars 2010 (2010-03-15) * abrégé * * alinéas [0007], [0009], [0021] * * figures *	1-13	ADD. G04B1/14
A	JP 2017 111131 A (CSEM CENTRE SUISSE ELECTRON & DE MICROTECH SA RECH & DEV) 22 juin 2017 (2017-06-22) * alinéa [0008] *	1-13	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B
2 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 9 octobre 2018	Examineur Lupo, Angelo
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 (P04C02)

55

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

EP 18 16 7501

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.

09-10-2018

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CH 706020	B1	31-07-2013	AT 505739 A2 15-03-2009
			CH 706020 B1 31-07-2013
			DE 102008041778 A1 12-03-2009
			FR 2920890 A1 13-03-2009

CH 699476	A2	15-03-2010	AUCUN

JP 2017111131	A	22-06-2017	CN 106896708 A 27-06-2017
			EP 3181938 A1 21-06-2017
			JP 6343651 B2 13-06-2018
			JP 2017111131 A 22-06-2017
			US 2017176940 A1 22-06-2017

EPO FORM P0480

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- DE 102009014442 [0004]
- CH 704471 [0004]
- CH 698962 [0004]
- CH 704391 [0004]
- CH 706020 [0004] [0005]
- CH 702431 [0012]
- CH 705368 [0017]