



CONFÉDÉRATION SUISSE  
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **703 172 B1**

(51) Int. Cl.: **G04B 17/06** (2006.01)  
**G04D 3/00** (2006.01)

**Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein**

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

(12) **FASCICULE DU BREVET**

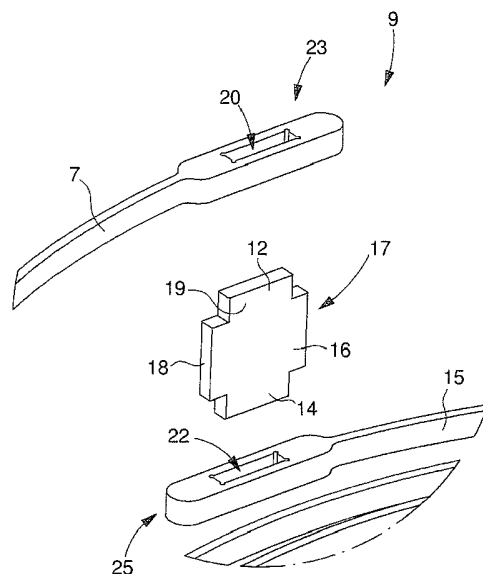
(21) Numéro de la demande: 00795/10	(73) Titulaire(s): Montres Breguet SA 1344 L'Abbaye (CH)
(22) Date de dépôt: 18.05.2010	
(43) Demande publiée: 30.11.2011	(72) Inventeur(s): Christophe Bifrare, 1342 Le Pont (CH) Alain Zaugg, 1348 Le Brassus (CH) Pierre Cusin, 1423 Villars-Burquin (CH)
(24) Brevet délivré: 14.11.2014	
(45) Fascicule du brevet publié: 14.11.2014	(74) Mandataire: ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA, Faubourg de l'Hôpital 3 2001 Neuchâtel (CH)

(54) **Spiral à élévation de courbe en silicium.**

(57) L'invention se rapporte à un spiral à élévation de courbe comportant un ressort-spiral formé en une seule pièce en silicium et coaxialement avec une virole, le spiral comportant une courbe terminale en silicium (7) et un dispositif d'élévation (9) en silicium entre la spire externe (15) dudit ressort-spiral et ladite courbe terminale afin de former un spiral Breguet. Selon l'invention, le dispositif d'élévation (9) comporte une attache mécanique (17) en forme de croix comportant au moins deux bras opposés (12) qui coopèrent avec des moyens de pincement (23, 25) solidaires respectivement de la courbe terminale (7) et de la spire externe (15) dudit ressort-spiral.

L'invention se rapporte également au procédé de fabrication dudit spiral.

L'invention concerne le domaine des mouvements horlogers.



## Description

### Domaine de l'invention

[0001] L'invention se rapporte à un spiral à élévation de courbe et son procédé de fabrication et, plus particulièrement, à un tel spiral réalisé à base de silicium.

### Arrière plan de l'invention

[0002] L'organe régulateur d'une pièce d'horlogerie comporte généralement un résonateur du type balancier-spiral composé d'une inertie formée par un balancier et d'un couple de rappel élastique formé par un spiral. Ces organes sont déterminants pour la qualité de marche de la pièce d'horlogerie. En effet, ils régulent la marche du mouvement, c'est-à-dire qu'ils contrôlent sa fréquence.

[0003] Il est connu de fabriquer une partie d'une pièce d'horlogerie en matériau à base de silicium. En effet, l'utilisation d'un matériau micro-usinable comme le silicium présente des avantages en terme de précision de fabrication grâce aux avancées des procédés actuels notamment dans le domaine de l'électronique. Il permet en outre de bénéficier de sa très faible sensibilité au magnétisme et au changement de température. Cependant, former des pièces en silicium à plusieurs niveaux est actuellement difficile à réaliser.

### Résumé de l'invention

[0004] Le but de la présente invention est de pallier tout ou partie les inconvénients cités précédemment en proposant un spiral à élévation de courbe en silicium de fabrication optimisée et qui autorise un écart de marche réduit.

[0005] A cet effet, l'invention se rapporte à un spiral à élévation de courbe comportant un ressort-spiral formé en une seule pièce en silicium et coaxialement avec une virole, le spiral comportant une courbe terminale en silicium et un dispositif d'élévation en silicium entre la spire externe dudit ressort-spiral et ladite courbe terminale afin de former un spiral Breguet caractérisé en ce que le dispositif d'élévation comporte une attache mécanique en forme de croix comportant au moins deux bras opposés qui coopèrent avec des moyens de pincement solidaires respectivement de la courbe terminale et de la spire externe dudit ressort-spiral.

[0006] Avantageusement, à partir de parties planes formées dans une plaquette de silicium, on réalise un assemblage optimisé de plusieurs plans qui est quasiment insensible au magnétisme et au changement de température et qui ne nécessite plus les étapes complexes de mises au point actuellement effectuées pour la fabrication d'un tel spiral à partir d'une lame métallique.

[0007] Conformément à d'autres caractéristiques avantageuses de l'invention:

- les épaulements entre chacun desdits au moins deux bras opposés et au moins un autre bras forment des butées respectivement pour la courbe terminale et la spire externe du ressort-spiral afin de garantir un espacement prédéterminé;
- lesdits épaulements entre chacun desdits au moins deux bras opposés et ledit au moins un autre bras comportent des évidements afin de faciliter la coopération entre lesdits au moins deux bras opposés et les moyens de pincement;
- l'attache comporte quatre bras orientés sensiblement perpendiculairement les uns par rapport aux autres;
- l'attache mécanique comporte une épaisseur sensiblement équivalente aux hauteurs de la courbe terminale et de la spire externe du ressort-spiral;
- chaque moyen de pincement est formé par un trou traversant réalisé dans un épaissement de l'épaisseur respectivement de la courbe terminale et du ressort-spiral;
- les trous des moyens de pincement ont des sections sensiblement correspondantes à ceux desdits deux bras opposés;
- chaque trou comporte une section sensiblement rectangulaire dont les coins sont rayonnés afin d'y recevoir plus facilement l'attache;
- chaque moyen de pincement forme une seule pièce avec respectivement la courbe terminale et la spire externe dudit ressort-spiral;
- le dispositif d'élévation comporte en outre des moyens de solidarisation entre ladite attache mécanique et les moyens de pincement afin d'améliorer la force de fixation dudit dispositif d'élévation;
- les moyens de solidarisation comportent un matériau adhésif ou une couche de dioxyde de silicium;
- le spiral comporte au moins une partie en dioxyde de silicium afin de le rendre plus résistant mécaniquement et d'ajuster son coefficient thermo-élastique;
- la courbe terminale est du type Phillips afin d'améliorer la concentricité de développement dudit spiral;
- au moins une spire interne du ressort-spiral comporte une courbe du type Grossmann afin d'améliorer la concentricité de développement dudit spiral;
- l'attache comporte des évidements destinés à réduire la masse du dispositif d'élévation.

[0008] De plus, l'invention se rapporte à une pièce d'horlogerie caractérisée en ce qu'elle comporte un spiral à élévation de courbe conforme à l'une des variantes précédentes.

[0009] Enfin, l'invention se rapporte à un procédé de fabrication d'un spiral à élévation de courbe caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes:

## CH 703 172 B1

- a) graver (30) dans une couche de silicium une première pièce formant un ressort-spiral (3) monté coaxialement avec une virole (5) dont la spire externe (15) comporte des moyens de pincement (25);
- b) graver (32) dans une couche de silicium une attache mécanique (17);
- c) graver (34) dans une couche de silicium une courbe terminale (7) dont une extrémité comporte des moyens de pincement (23);
- d) assembler (37) l'attache mécanique (17) avec chacun des moyens de pincement (23, 25) afin de former un spiral Breguet.

**[0010]** Avantageusement, à partir de peu d'étapes, il est réalisé un spiral en silicium avec une meilleure précision par rapport aux étapes complexes de mises au point actuellement effectuées pour la fabrication d'un tel spiral à partir d'une lame métallique.

**[0011]** Conformément à d'autres caractéristiques avantageuses de l'invention:

- le procédé comporte, en outre, après l'étape d), l'étape e): oxyder ledit spiral à élévation afin d'améliorer la force de fixation de ladite attache mécanique;
- le procédé comporte, en outre, avant ou après l'étape d), l'étape g): déposer un matériau adhésif entre ladite attache mécanique et chacun des moyens de pincement et en outre l'étape finale h): chauffer ledit spiral dans le but d'activer ledit matériau adhésif afin d'améliorer la force de fixation de ladite attache mécanique;
- le procédé comporte, en outre, avant l'étape d), l'étape i): déposer un matériau métallique entre chacun des moyens de pincement et les surfaces de ladite attache mécanique destinées à les recevoir afin de chasser ces premiers contre ladite attache lors de l'étape d);
- les étapes a), b) et c) sont réalisées en même temps dans la même couche de silicium;
- le procédé comporte, en outre, après les étapes a), b) et c), l'étape j): oxyder ledit silicium afin de rendre plus résistant mécaniquement et d'ajuster le coefficient thermo-élastique dudit spiral à élévation de courbe;
- le procédé comporte, en outre, l'étape finale f): chauffer ledit spiral à élévation afin d'améliorer la force de fixation de ladite attache mécanique.

### Description sommaire des dessins

**[0012]** D'autres particularités et avantages 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 fig. 1 est une représentation en perspective d'un spiral à élévation de courbe selon l'invention;
- la fig. 2 est une représentation partielle en perspective éclatée du dispositif d'élévation selon l'invention;
- la fig. 3 est une représentation partielle en coupe du dispositif d'élévation selon l'invention;
- la fig. 4 est un schéma fonctionnel des étapes du procédé de fabrication;
- la fig. 5 est une représentation partielle en perspective éclatée du dispositif d'élévation selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

### Description détaillée des modes de réalisation préférés

**[0013]** Dans l'exemple illustré aux fig. 1 à 3, on peut voir un spiral à élévation de courbe généralement noté 1. Le spiral 1 est destiné à être monté dans une pièce d'horlogerie en coopération avec un balancier pour former un résonateur. Il comporte un ressort-spiral 3, une virole 5, une courbe terminale 7 et un dispositif d'élévation 9. Préférentiellement, le ressort-spiral 3 et la virole 5 forment une pièce unique afin d'éviter les imprécisions au niveau de leur interface qui nuiraient à la symétrie de développement du spiral 1.

**[0014]** Comme illustré à la fig. 1, on peut voir que le ressort-spiral 3 comporte préférentiellement une spire interne 11 comprenant une courbe du type Grossmann. Une courbe du type Grossmann permet de compenser l'utilisation d'une virole 5 en rectifiant la spire interne 11 par rapport à la courbe idéale d'un spiral parfait du type Archimède. A la fig. 1, on peut voir que la virole 5 est de forme généralement triangulaire et est apte à recevoir un axe de balancier cylindrique à section circulaire. Bien entendu, les formes générales de la virole 5 et de l'axe de balancier peuvent différer sans sortir du cadre de l'invention.

**[0015]** Préférentiellement, dans l'exemple illustré à la fig. 1, la courbe terminale 7 est du type Phillips, c'est-à-dire une courbe qui permet le développement concentrique du spiral 1. De manière préférée, comme illustré à la fig. 3, les hauteurs de la courbe terminale 7 et du ressort-spiral 3 sont identiques.

**[0016]** Grâce au respect de la géométrie de la courbe terminale 7 et de l'ensemble ressort-spiral 3 – virole 5 exposée ci-dessus, le développement symétrique du spiral 1 est structurellement garanti, cependant, le type de fabrication et le matériau utilisé ne doivent pas fausser le développement.

**[0017]** Afin de garantir la précision de fabrication de ces courbes mais également pour rendre quasiment insensible le spiral 1 aux champs magnétiques et aux changements de température, on peut utiliser un matériau à base de silicium. En effet, c'est un matériau micro-usinable, c'est-à-dire un matériau qui peut être fabriqué avec une précision inférieure au micromètre, par exemple, par gravage ionique réactif profond (également connu sous l'abréviation «DRIE» venant des termes anglais «Deep Reactive Ion Etching») d'une plaque à base de silicium cristallin.

**[0018]** Bien entendu, le silicium n'est pas le seul matériau qui possède ces caractéristiques. D'autres matériaux micro-usinables sont envisageables comme, par exemple, la silice cristallisée ou l'alumine cristallisée.

**[0019]** Préférentiellement, le matériau à base de silicium peut également être recouvert de son oxyde afin d'adapter sa dilatation mais également son coefficient thermoélastique par rapport à celui du balancier afin de régler finement l'isochronisme du mouvement de la pièce d'horlogerie, c'est-à-dire rendre minimal son écart de marche.

**[0020]** Afin de réaliser le spiral à élévation de courbe 1, également appelé spiral Breguet, il est utilisé un dispositif d'élévation 9 destiné à rendre solidaires la spire externe 15 du ressort-spiral 3 avec la courbe terminale 7 située au-dessus dudit ressort-spiral. Comme illustré aux fig. 1 à 3, le dispositif d'élévation 9 comporte une attache mécanique 17 et des moyens de pincement 23, 25.

**[0021]** L'attache 17 comprend un corps principal 19 sensiblement en forme de croix comportant au moins des bras opposés verticaux 12, 14. De plus, dans l'exemple des fig. 1 à 3, le corps 19 comporte en outre deux bras opposés horizontaux 16, 18, les quatre bras étant distribués les uns par rapport aux autres sensiblement à 90 degrés. Comme illustré en perspective à la fig. 2, le corps principal 19 de l'attache mécanique 17 comporte une épaisseur sensiblement équivalente aux hauteurs de la courbe terminale 7 et de la spire externe 15 du ressort-spiral 3. Enfin, comme pour la courbe terminale 7 et l'ensemble ressort-spiral 3 – virole 5, l'attache mécanique 17 est également préférentiellement réalisée à partir d'un matériau à base de silicium.

**[0022]** Selon l'invention, les moyens de pincement 23, 25 sont, de manière préférée, solidaires respectivement de l'extrémité de la courbe terminale 7 et de l'extrémité de la spire externe 15 du ressort-spiral 3. Préférentiellement, chaque moyen de pincement 23, 25 forme une seule pièce avec respectivement la courbe terminale 7 et la spire externe 15 dudit ressort-spiral.

**[0023]** Les moyens de pincement 23, 25 sont formés par un trou traversant 20, 22 réalisé dans une augmentation de l'épaisseur respectivement de la courbe terminale 7 et du ressort-spiral 3. Dans l'exemple illustré aux fig. 1 et 2, les trous 20, 22 ont des sections sensiblement rectangulaires dont chaque coin est préférentiellement rayonné afin de recevoir plus facilement l'attache 17 dans chaque trou 20, 22.

**[0024]** En effet, comme illustré aux fig. 1 à 3, les deux bras verticaux 12, 14 sont destinés à coopérer via les moyens de pincement 23, 25 avec la courbe terminale 7 et la spire externe 15 du ressort-spiral 3. De plus, les épaulements entre chaque bras vertical 12, 14 et un des bras horizontaux 16, 18 sont utilisés, comme mieux visible à la fig. 3, comme espaceur par butée contre la courbe terminale 7 et la spire externe 15 du ressort-spiral 3.

**[0025]** Bien entendu, les profils des moyens de pincement 23, 25 peuvent être différents l'un par rapport à l'autre et/ou ne pas être uniformes sur toute leur largeur et/ou s'étendre uniquement sur une partie de ladite largeur. Il peut ainsi être envisagé qu'au moins un des trous 20, 22 ne soit pas en forme rectangulaire mais, par exemple, en forme circulaire, elliptique ou carrée. Il est également possible qu'au moins un des trous 20, 22 soient latéralement ouvert, c'est-à-dire radialement ou tangentiellement par rapport à l'axe de balancier.

**[0026]** De manière similaire, les bras 12, 14, 16, 18 peuvent être identiques deux à deux ou tous différents les uns par rapport aux autres et/ou ne pas être uniformes sur toute leur hauteur et/ou s'étendre uniquement sur une partie de ladite hauteur. De plus, le nombre de bras peut également différer, c'est-à-dire être supérieur ou inférieur. Enfin, il peut également être envisagé qu'au moins un des bras 12, 14, 16, 18 ou le corps 19 en général comporte des évidements destinés à limiter la masse de l'attache 17 et plus généralement du dispositif d'élévation 9 afin de limiter son influence sur le développement du spiral 1.

**[0027]** Au vu des alternatives ci-dessus, on comprend que le dispositif d'élévation peut comporter plus ou moins de bras 12, 14, 16, 18 mais également que les arrondis des trous 20, 22 puissent être alternativement ou complémentaires réalisés au niveau des épaulements entre les bras 12, 14, 16, 18. Cette alternative particulière est représentée à la fig. 5. On peut voir que le trou 20' sensiblement rectangulaire réalisé dans la courbe terminale 7 ne possède plus d'arrondi au niveau de ses coins. Par contre, l'attache comporte des évidements 21' entre chacun des bras 12', 14', 16', 18' afin de faciliter la réception des bras 12', 14' dans leur trous 20' associés.

**[0028]** Avantageusement, le dispositif d'élévation peut comporter également des moyens de solidarisation 27 destinés à améliorer la force de fixation du dispositif d'élévation 9. Selon l'invention, plusieurs variantes de moyens de solidarisation sont possibles suivant le procédé utilisé comme expliqué ci-après. Ainsi, les moyens de solidarisation 27 comportent une

couche 29 entre l'attache mécanique 17 et les moyens de pincement 23, 25. Une telle couche 29 peut ainsi comporter un matériau adhésif, un matériau métallique, un oxyde ou un alliage de fusion des matériaux utilisés ou même une brasure.

**[0029]** Le procédé 31 de fabrication d'un spiral à élévation de courbe 1 selon l'invention va maintenant être expliqué à l'aide de la fig. 4. Le procédé 31 comporte principalement une étape 33 de fabrication des composants et une étape 37 d'assemblage des composants. Préférentiellement, le procédé 31 comporte également une étape 35 de renforcement mécanique desdits composants et une étape 41 de renforcement de l'assemblage réalisé lors de l'étape 37.

**[0030]** Comme illustré à la fig. 4, la première étape 33 est destinée à fabriquer, lors des phases respectives 30, 32 et 34, les composants du spiral à élévation de courbe 1, c'est-à-dire l'ensemble ressort-spiral 3 – virole 5 – moyens de pincement 25, l'ensemble courbe terminale 7 – moyens de pincement 23, et l'attache 17. Préférentiellement, afin de fabriquer lesdits composants de manière très précise, on utilise un procédé de micro-usinage par voie sèche ou humide. Dans l'exemple expliqué ci-dessus, le micro-usinage peut être une attaque sèche anisotropique du type gravage ionique réactif profond d'une plaque à base de silicium cristallin (également connu sous les termes anglais «Deep Reactive Ion Etching»).

**[0031]** Ainsi, par voie sèche, les phases 30, 32 et 34 peuvent consister, dans un premier temps, à revêtir la plaque d'un masque de protection, par exemple, à l'aide d'un procédé de photolithographie d'une résine photosensible. Dans un deuxième temps, la plaque est soumise à l'attaque anisotropique, seules les parties de la plaque non protégées étant gravées. Finalement dans un troisième temps, le masque de protection est retiré. On comprend donc que le masque de protection détermine directement la forme finale des composants gravés.

**[0032]** Avantagusement, il est ainsi aisé de fabriquer le spiral à élévation de courbe 1 selon les cotes de mouvements ou calibres existants. Ainsi, de manière avantageuse, les mouvements ou calibres peuvent toujours être fabriqués en intervertissant uniquement le spiral à élévation de courbe métallique utilisé habituellement par le nouveau fabriqué à base de silicium avec une amélioration de leur écart de marche et de leur qualité.

**[0033]** Préférentiellement, on comprend également qu'il est possible de réaliser les phases 30, 32 et 34 de l'étape 33 en même temps sur la même plaque. On peut donc conclure qu'il est possible de graver sur ladite plaque tous les composants nécessaires en plusieurs exemplaires. Par conséquent, les phases 30, 32, 34 n'ont aucune consécuité imposée et pourront, si elles ne sont pas effectuées dans la même plaque de silicium, être réalisées dans n'importe quel ordre.

**[0034]** La deuxième étape 37 est destinée à assembler les composants gravés lors de l'étape 33, c'est-à-dire l'ensemble ressort-spiral 3 – virole 5 – moyens de pincement 25, l'ensemble courbe terminale 7 – moyens de pincement 23, et l'attache 17. A cet effet, dans un premier temps, chaque composant nécessaire est détaché de la plaque gravée, par exemple par rupture de ponts de matière laissés entre chaque composant et sa plaque. Dans un deuxième temps, les trois composants plats sont assemblés afin de réaliser le spiral 1 à partir de trois parties. Dans ce deuxième temps, chaque bras 12, 14 est emboîté dans le trou 20, 22 respectivement de l'extrémité de la courbe terminale 7 et de l'extrémité de la spire externe 15 jusqu'à butée contre les épaulements entre chaque bras vertical 12, 14 et un des bras horizontaux 16, 18.

**[0035]** Préférentiellement, à la fin de l'étape 37, le spiral 1 comporte une hauteur globale égale à deux fois l'épaisseur de la plaque gravée, représentant l'ensemble courbe terminale 7 – moyens de pincement 23 et l'ensemble ressort-spiral 3 – virole 5 – moyens de pincement 25, et la longueur de l'attache mécanique 17 qui n'est pas recouverte par ces derniers. En effet, l'attache mécanique 17 est préférentiellement gravée dans la plaque selon le motif visible à la fig. 3.

**[0036]** Comme expliqué ci-dessus, le procédé 31 peut également comporter une étape 35 destinée à renforcer les composants gravés. Une telle étape peut consister à réaliser une oxydation apte à créer en surface du dioxyde de silicium. Dans l'exemple illustré en traits discontinus à la fig. 4, l'étape 35 de renforcement est réalisée entre l'étape 33 de gravage et l'étape 37 d'assemblage ce qui permet d'oxyder la plaque gravée entière, c'est-à-dire tous les composants en même temps. Bien entendu, l'étape 35 peut également être réalisée après les phases 30 et/ou 32 et/ou 34.

**[0037]** Comme expliqué ci-dessus, le procédé 31 peut également comporter une étape 41 destinée à renforcer l'assemblage des composants gravés. Dans l'exemple illustré à la fig. 4, on distingue trois modes de réalisation distincts dont les processus sont représentés à l'aide de traits double, triple ou quadruple.

**[0038]** Selon un premier mode de réalisation illustré par un trait double à la fig. 4, l'étape 41 de renforcement peut consister à déposer, lors d'une phase 43, une couche 29 à l'intérieur des trous 20, 22 des moyens de pincement 23, 25 afin d'autoriser les chassages de l'attache mécanique 17 dans les trous 20, 22 des extrémités de la courbe terminale 7 et de la spire externe 15 du ressort-spiral 3. Ainsi, une telle couche 29 pourrait consister en une couche métallique obtenue, par exemple, par dépôt physique en phase vapeur. En effet, l'absence de domaine plastique utilisable du silicium, peut nécessiter l'utilisation d'une couche 29 apte à se déformer pour éviter la rupture des moyens de pincement 23, 25 et/ou des bras 12, 14, 16, 18 lors du chassage.

**[0039]** Bien entendu, alternativement, les couches 29 peuvent également être déposées non pas à l'intérieur des moyens de pincement 23, 25 mais sur les bras 12, 14. On comprend donc, dans l'exemple illustré par un trait double à la fig. 4, que les couches 29 doivent être, dans le premier mode de réalisation, déposées avant l'étape 37 d'assemblage. Cependant, le dépôt de la phase 43 peut également consister en une couche 29 de brasure. Le brasage pourrait alors s'effectuer soit pendant l'étape 37 d'assemblage soit après.

**[0040]** Selon un second mode de réalisation illustré en traits quadruples à la fig. 4, l'étape 41 de renforcement de l'assemblage peut consister à déposer, lors d'un processus 45, une couche adhésive 29 entre les moyens de pincement 23, 25 et les bras 12, 14 afin d'améliorer la force de fixation du dispositif d'élévation 9. Ainsi, une première phase 40 peut consister à déposer un matériau adhésif à l'interface des composants assemblés puis, préférentiellement, dans une deuxième phase 42 à chauffer l'ensemble afin d'activer ledit matériau adhésif. Une telle couche 29 pourrait alors consister, par exemple, en une couche de colle polymère.

**[0041]** Bien entendu, alternativement, la phase de dépôt 40 peut également être réalisée avant l'étape 37 d'assemblage si le matériau adhésif à l'état non activé n'est pas assez visqueux. Le dépôt pourrait alors être effectué à l'intérieur des moyens de pincement 23, 25 et/ou sur les bras 12, 14 avant l'étape 37 d'assemblage et, préférentiellement, chauffés, après l'étape 37 d'assemblage, lors de la phase 42. On comprend donc, dans cet exemple du second mode de réalisation, que les couches 29 permettent, grâce à leur pouvoir d'adhérence, de fermement maintenir l'assemblage en place.

**[0042]** Selon un troisième mode de réalisation illustré en traits triples à la fig. 4, l'étape 41 de renforcement de l'assemblage peut consister à former, lors d'un processus 47, une couche de solidarisation 29 entre les moyens de pincement 23, 25 et les bras 12, 14 afin d'améliorer la force de fixation du dispositif d'élévation 9.

**[0043]** Ainsi, une première phase 44 peut consister à oxyder la surface du spiral 1 à base de silicium afin de former une gangue en dioxyde de silicium apte à améliorer la solidarisation ses composants assemblés puis, préférentiellement, dans une deuxième phase 46 à chauffer l'ensemble afin de parfaire ladite solidarisation.

**[0044]** Bien entendu, alternativement, la phase d'oxydation 44 peut également être réalisée avant l'étape 37 d'assemblage et remplacée par l'étape optionnelle d'oxydation 35. Ainsi, les composants déjà oxydés seraient assemblés lors de l'étape 37 et, préférentiellement, chauffés lors de la phase 46 afin de créer une couche 29 unique en dioxyde de silicium à l'interface entre l'attache mécanique 17, la courbe terminale 7 et le ressort-spiral 3. On notera qu'une phase d'hydrophilisation préalable à la phase 46 de chauffage permet d'améliorer l'étape d'unification des couches de dioxyde de silicium. On comprend donc, dans cet exemple du troisième mode de réalisation, que la couche 29, comme les deux autres modes de réalisation, permet un renforcement de l'assemblage entre l'attache mécanique 17, la courbe terminale 7 et le ressort-spiral 3.

**[0045]** Enfin, à titre d'alternative au troisième mode de réalisation, il peut être envisagé un processus 47 comportant une unique étape 46 de chauffage des composants en silicium assemblés lors de l'étape 37 destinée à souder les interfaces sous contraintes desdits composants.

## Revendications

1. Spiral (1) à élévation de courbe comportant un ressort-spiral (3) formé en une seule pièce en silicium et coaxialement avec une virole (5), le spiral comportant une courbe terminale en silicium (7) et un dispositif d'élévation (9) en silicium entre la spire externe (15) dudit ressort-spiral et ladite courbe terminale afin de former un spiral Breguet caractérisé en ce que le dispositif d'élévation (9) comporte une attache mécanique (17) en forme de croix comportant au moins deux bras opposés (12, 12', 14, 14') qui coopèrent avec des moyens de pincement (23, 25) solidaires respectivement de la courbe terminale (7) et de la spire externe (15) dudit ressort-spiral.
2. Spiral (1) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les épaulements entre chacun desdits au moins deux bras opposés (12, 12', 14, 14') et au moins un autre bras (16, 16', 18, 18') forment des butées respectivement pour la courbe terminale (7) et la spire externe (15) du ressort-spiral (3) afin de garantir un espacement prédéterminé.
3. Spiral (1) selon la revendication 2, caractérisé en ce que lesdits épaulements entre chacun desdits au moins deux bras opposés (12', 14') et ledit au moins un autre bras (16', 18') comportent des évidements (21') afin de faciliter la coopération entre lesdits au moins deux bras opposés et les moyens de pincement.
4. Spiral (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'attache (17) comporte quatre bras (12, 14, 16, 18) orientés sensiblement perpendiculairement les uns par rapport aux autres.
5. Spiral (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'attache mécanique (17) comporte une épaisseur sensiblement équivalente aux hauteurs de la courbe terminale (7) et de la spire externe (15) du ressort-spiral (3).
6. Spiral (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque moyen de pincement (23, 25) est formé par un trou traversant (20, 20', 22) réalisé dans un épaissement de l'épaisseur respectivement de la courbe terminale (7) et du ressort-spiral (3).
7. Spiral (1) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que les trous (20, 20', 22) des moyens de pincement (23, 25) ont des sections sensiblement correspondantes à ceux desdits deux bras opposés.
8. Spiral (1) selon la revendication précédente, caractérisé en ce que chaque trou (20, 22) comporte une section sensiblement rectangulaire dont les coins sont rayonnés afin d'y recevoir plus facilement l'attache (17).
9. Spiral (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque moyen de pincement (23, 25) forme une seule pièce avec respectivement la courbe terminale (7) et la spire externe (15) dudit ressort-spiral.

## CH 703 172 B1

10. Spiral (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le dispositif d'élévation (9) comporte en outre des moyens de solidarisation (27) entre ladite attache mécanique et les moyens de pincement (23, 25) afin d'améliorer la force de fixation dudit dispositif d'élévation.
11. Spiral (1) selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens de solidarisation (27) comportent un matériau adhésif.
12. Spiral (1) selon la revendication 10, caractérisé en ce que les moyens de solidarisation (27) comportent une couche de dioxyde de silicium.
13. Spiral (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte au moins une partie en dioxyde de silicium afin de le rendre plus résistant mécaniquement et d'ajuster son coefficient thermo-élastique.
14. Spiral (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la courbe terminale (7) est du type Phillips afin d'améliorer la concentricité de développement dudit spiral.
15. Spiral (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins une spire interne (11) du ressort-spiral (3) comporte une courbe du type Grossmann afin d'améliorer la concentricité de développement dudit spiral.
16. Spiral selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'attache (17) comporte des évidements destinés à réduire la masse du dispositif d'élévation (9).
17. Pièce d'horlogerie caractérisée en ce qu'elle comporte un spiral à élévation de courbe (1) conforme à l'une des revendications 1 à 16.
18. Procédé de fabrication (31) d'un spiral à élévation de courbe (1) caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes:
  - a) graver (30) dans une couche de silicium une première pièce Formant un ressort-spiral (3) monté coaxialement avec une virole (5) dont la spire externe (15) comporte des moyens de pincement (25);
  - b) graver (32) dans une couche de silicium une attache mécanique (17);
  - c) graver (34) dans une couche de silicium une courbe terminale (7) dont une extrémité comporte des moyens de pincement (23);
  - d) assembler (37) l'attache mécanique (17) avec chacun des moyens de pincement (23, 25) afin de former un spiral Breguet (1).
19. Procédé (31) selon la revendication précédente, caractérisé en ce qu'il comporte, en outre, après l'étape d), l'étape suivante:
  - e) oxyder (44) ledit spiral à élévation afin d'améliorer la force de fixation de ladite attache mécanique.
20. Procédé (31) selon la revendication 18, caractérisé en ce que le procédé comporte, en outre, avant ou après l'étape d), l'étape suivante:
  - g) déposer (40) un matériau adhésif entre ladite attache mécanique et chacun des moyens de pincement (23, 25). et en ce que la procédé comporte en outre l'étape finale suivante:
  - h) chauffer (42) ledit spiral dans le but d'activer ledit matériau adhésif afin d'améliorer la force de fixation de ladite attache mécanique.
21. Procédé (31) selon la revendication 18, caractérisé en ce qu'il comporte, en outre, avant l'étape d), l'étape suivante:
  - i) déposer (43) un matériau métallique entre chacun des moyens de pincement (23, 25) et les surfaces de ladite attache mécanique destinées à les recevoir afin de chasser ces premiers contre ladite attache lors de l'étape d).
22. Procédé (31) selon l'une des revendications 18 à 21, caractérisé en ce que les étapes a), b) et c) sont réalisées en même temps (33) dans la même couche de silicium.
23. Procédé (31) selon l'une des revendications 18 à 22, caractérisé en ce qu'il comporte, en outre, après les étapes a), b) et c), l'étape suivante:
  - j) oxyder (35, 44) ledit silicium afin de rendre plus résistant mécaniquement et d'ajuster le coefficient thermo-élastique dudit spiral à élévation de courbe.
24. Procédé (31) selon la revendication 18, 19 ou 23, caractérisé en ce qu'il comporte, en outre, l'étape finale suivante:

**CH 703 172 B1**

- f) chauffer (46) ledit spiral à élévation afin d'améliorer la force de fixation de ladite attache mécanique.



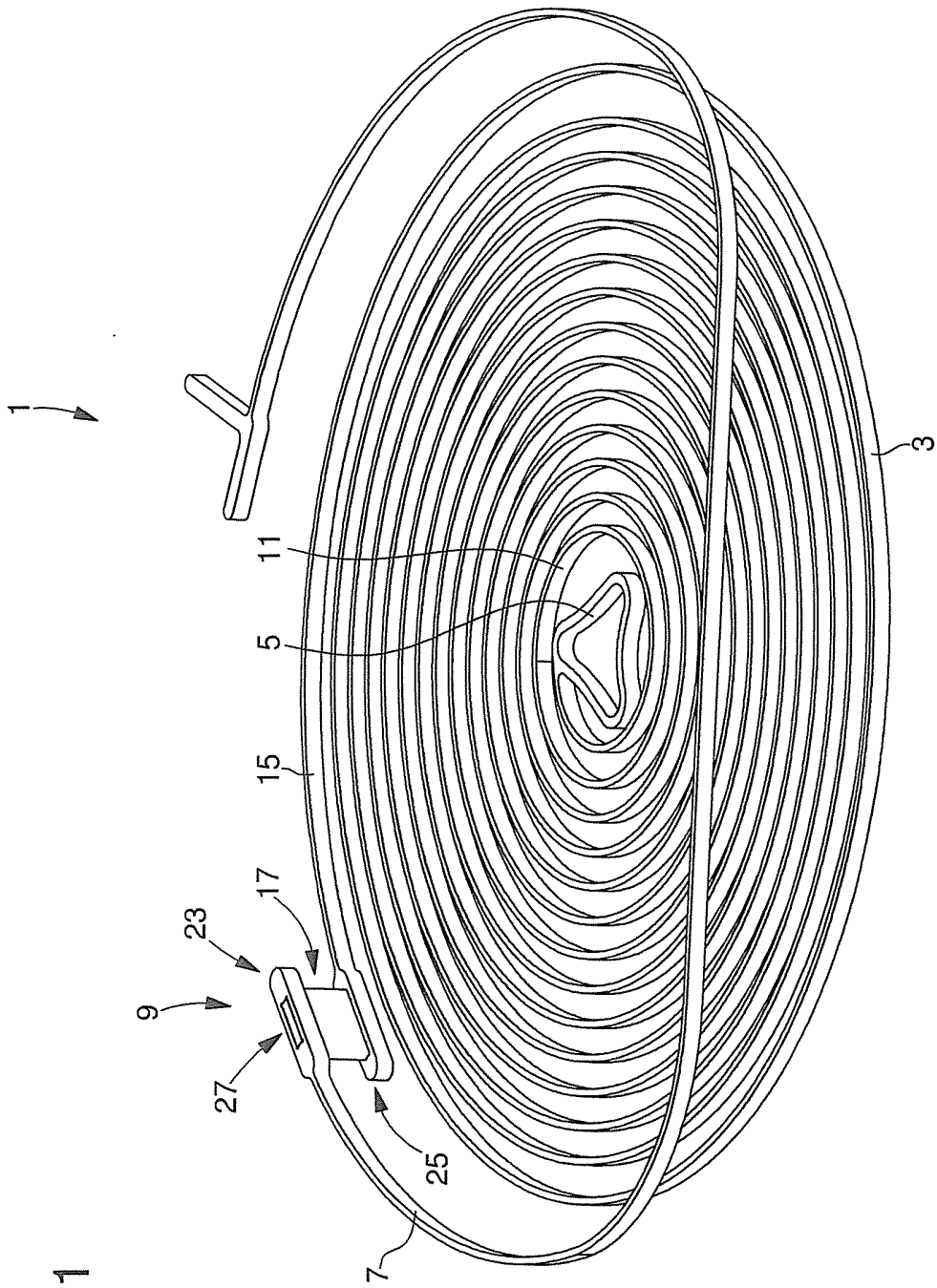


Fig. 1

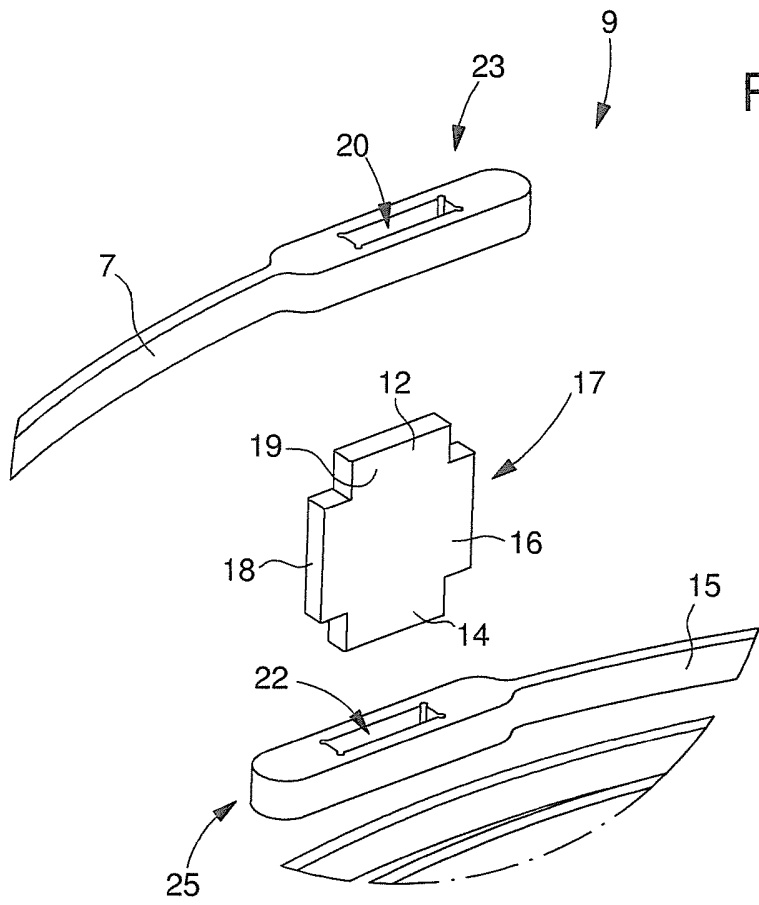


Fig. 2

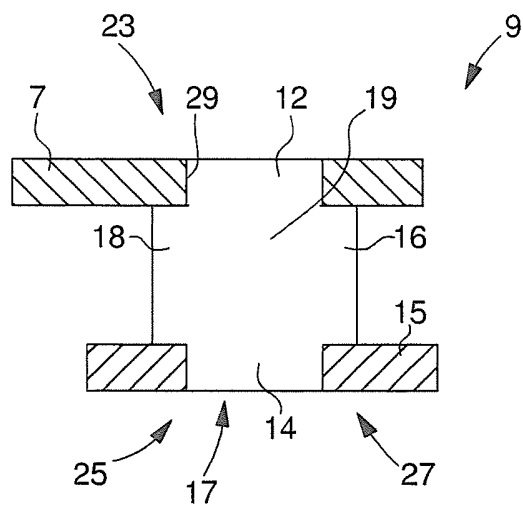


Fig. 3

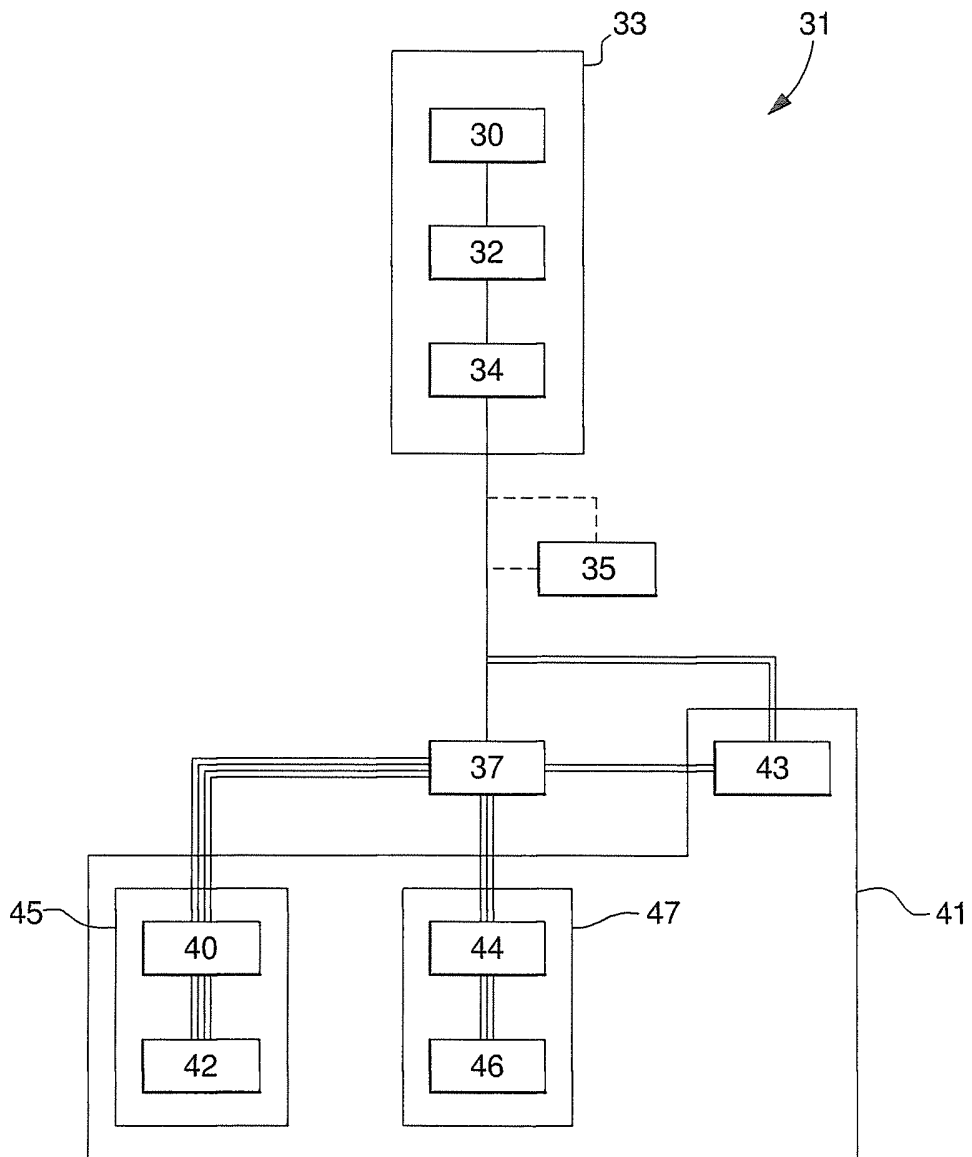


Fig. 4

Fig. 5

