



(11) **EP 2 104 008 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**23.09.2009 Bulletin 2009/39**

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

(21) Numéro de dépôt: **08153101.4**

(22) Date de dépôt: **20.03.2008**

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

- **Conus, Thierry**  
**2543, Lengnau (CH)**
- **Thiébaud, Jean-Philippe**  
**1588, Cudrefin (CH)**
- **Peters, Jean-Bernard**  
**2300, La Chaux-de-Fonds (CH)**
- **Cusin, Pierre**  
**1423, Villars-Burquin (CH)**

(71) Demandeur: **Nivarox-FAR S.A.**  
**CH-2400 Le Locle (CH)**

(74) Mandataire: **Couillard, Yann Luc Raymond et al**  
**ICB**  
**Ingénieurs Conseils en Brevets SA**  
**Faubourg de l'Hôpital 3**  
**2001 Neuchâtel (CH)**

(72) Inventeurs:  
• **Bühler, Pierre-André**  
**2534, Orvin (CH)**  
• **Verardo, Marco**  
**2336, Les Bois (CH)**

(54) **Organe régulateur monobloc et son procédé de fabrication**

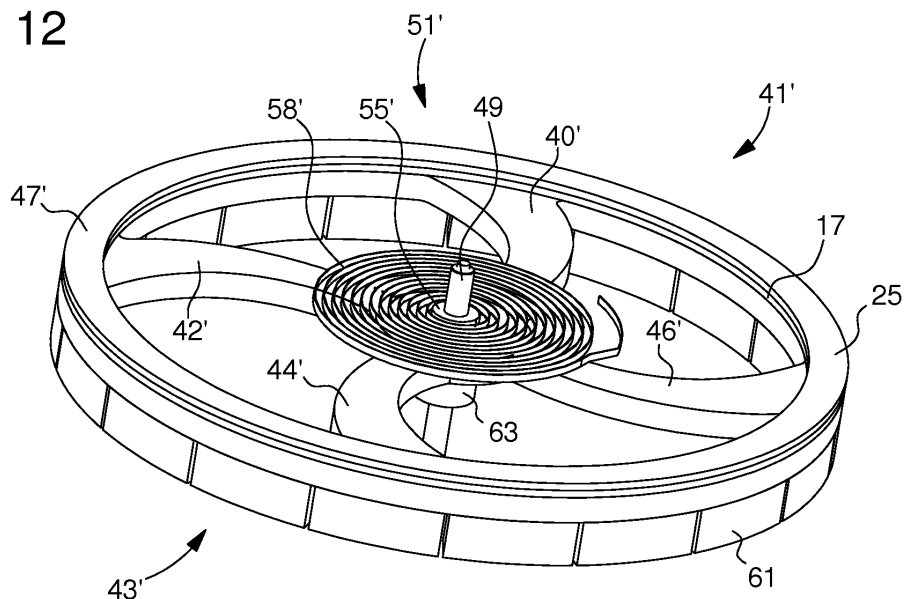
(57) L'invention se rapporte à un organe régulateur monobloc (41, 41', 41") comportant un balancier (43, 43', 43") coopérant avec un spiral (51, 51', 51") réalisé dans une couche de matériau à base de silicium (21) et comprenant un ressort-spiral (53, 53', 53") monté coaxialement sur une virole, la virole (55, 55', 55") comportant une partie (19) en prolongement faisant saillie dudit ressort-spiral et qui est réalisée dans une deuxième couche

de matériau à base de silicium (5). Selon l'invention, la partie (19) en prolongement de la virole (55, 55', 55") est fixée sur le balancier (43, 43', 43").

L'invention se rapporte également à une pièce d'horlogerie comportant un tel organe régulateur et au procédé de fabrication associé.

L'invention concerne le domaine des mouvements horlogers.

**Fig. 12**



**EP 2 104 008 A1**

**Description**

## DOMAINE DE L'INVENTION

**[0001]** L'invention se rapporte à un organe régulateur et son procédé de fabrication et, plus particulièrement, à un organe régulateur du type balancier-spiral.

## ARRIERE PLAN DE L'INVENTION

**[0002]** L'organe régulateur d'une pièce d'horlogerie comporte généralement un volant d'inertie appelé balancier et un résonateur appelé spiral. Ces pièces sont déterminantes pour la qualité de marche de la pièce d'horlogerie. En effet, ils régulent le mouvement, c'est-à-dire qu'ils contrôlent la fréquence du mouvement.

**[0003]** Le balancier et le spiral sont de nature différente ce qui rend la mise au point de l'organe régulateur, qui comprend les fabrications propres du balancier et du spiral ainsi que leur assemblage sensiblement en résonance, extrêmement complexe.

**[0004]** Le balancier et le spiral ont ainsi été fabriqués chacun dans divers matériaux notamment afin de limiter l'influence d'un changement de température sans que les difficultés d'assemblage en résonance ne disparaissent.

## RESUME DE L'INVENTION

**[0005]** Le but de la présente invention est de pallier tout ou partie les inconvénients cités précédemment en proposant un organe régulateur monobloc qui reste peu sensible aux changements de température et qui est obtenu à l'aide d'un procédé de fabrication qui minimise les difficultés d'assemblage.

**[0006]** A cet effet, l'invention se rapporte à un organe régulateur monobloc comportant un balancier coopérant avec un spiral réalisé dans une couche de matériau à base de silicium et comprenant un ressort-spiral monté coaxialement sur une virole, la virole comportant une partie en prolongement faisant saillie dudit ressort-spiral et qui est réalisée dans une deuxième couche de matériau à base de silicium caractérisé en ce que la partie en prolongement de la virole du spiral est fixée sur le balancier.

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

- le balancier comporte un trou prolongeant le diamètre intérieur de la virole afin d'y recevoir un axe de balancier ;
- l'axe de balancier est fixé sur le balancier ;
- l'axe de balancier est fixé sur le balancier par chassage contre un revêtement métallique réalisé au niveau dudit trou ;
- la section du diamètre intérieur de la virole est plus grande que celle du trou du balancier afin d'éviter les contacts gras entre l'axe de balancier et le diamètre intérieur de la virole ;

- la serge du balancier est continue et comporte un dispositif d'adaptation apte à modifier le moment d'inertie du balancier ;
- la serge est reliée au moyeu du balancier par au moins un bras qui est élané afin d'autoriser sa déformation axiale et/ou radiale en cas de choc transmis sur le balancier ;
- le dispositif d'adaptation comporte des évidements réalisés sur la serge du balancier afin de pouvoir ajuster l'inertie dudit balancier ;
- les évidements comportent un matériau de plus grande densité que celui de la serge du balancier afin d'augmenter l'inertie dudit balancier ;
- le dispositif d'adaptation comporte des bossages réalisés sur la serge du balancier et comportant un matériau de plus grande densité que la serge afin d'augmenter l'inertie dudit balancier ;
- ledit matériau de plus grande densité est distribué au niveau de la serge sous forme d'un anneau crénelé comportant une succession de plots écartés à intervalle régulier pour compenser la dilatation thermique dudit matériau ;
- le balancier est réalisé dans une troisième couche de matériau à base de silicium ;
- la spire interne du ressort-spiral comporte une courbe du type Grossmann afin d'améliorer la concentricité du développement dudit spiral ;
- le ressort-spiral comporte au moins une partie à base de dioxyde de silicium afin de le rendre plus résistant mécaniquement et d'ajuster son coefficient thermoélastique.

**[0008]** Plus généralement, l'invention se rapporte également à une pièce d'horlogerie caractérisée en ce qu'elle comporte un organe régulateur monobloc conforme à l'une des variantes précédentes.

**[0009]** Enfin l'invention se rapporte à un procédé de fabrication d'un organe régulateur comportant les étapes suivantes :

- a) se munir d'un substrat comportant une couche supérieure et une couche inférieure en matériaux à base de silicium ;
  - b) graver sélectivement au moins une cavité dans la couche supérieure pour définir le motif d'une première partie d'une virole et d'une première partie d'un balancier en matériau à base de silicium dudit organe ;
  - c) solidariser, sur la couche supérieure gravée du substrat, une couche supplémentaire de matériau à base de silicium ;
  - d) graver sélectivement au moins une cavité dans la couche supplémentaire pour continuer le motif des dites premières parties de la virole et du balancier, et définir le motif d'un ressort-spiral en matériau à base de silicium dudit organe ;
- caractérisé en ce qu'il comporte en outre les étapes suivantes :

- e) graver sélectivement au moins une cavité dans la couche inférieure pour définir la dernière partie du balancier en matériau à base de silicium dudit organe ;
- f) libérer l'organe régulateur du substrat ce qui permet d'obtenir un organe sur trois niveaux de matériaux à base de silicium.

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

- après l'étape d) on réalise l'étape g) : oxyder la deuxième partie en matériau à base de silicium dudit organe afin d'ajuster son coefficient thermo-élastique mais également de la rendre mécaniquement plus résistant ;
- avant l'étape e), on réalise l'étape h) : déposer sélectivement au moins une couche de métal sur la couche inférieure pour définir le motif d'au moins une partie en métal dudit organe et/ou une deuxième partie métallique destinée à recevoir par chassage un axe ;
- l'étape h) comporte l'étape i) : faire croître ledit dépôt par couches successives métalliques au moins partiellement sur la surface de la couche inférieure afin de former une partie métallique destinée à augmenter la masse du balancier en matériau à base de silicium et/ou une deuxième partie métallique destinée à recevoir par chassage un axe ;
- l'étape h) comporte les étapes j) : graver sélectivement au moins une cavité dans la couche inférieure destinée à recevoir ladite au moins une partie en métal et k) : faire croître ledit dépôt par couches successives métalliques au moins partiellement dans ladite au moins une cavité afin de former une partie métallique destinée à augmenter la masse du balancier en matériau à base de silicium et/ou une deuxième partie métallique destinée à recevoir par chassage un axe ;
- que l'étape h) comporte la dernière étape l) : polir le dépôt métallique ;
- plusieurs organes sont réalisés sur un même substrat ce qui permet une production en série.

#### DESCRIPTION SOMMAIRE DES DESSINS

**[0011]** 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 :

- les figures 1 à 5 représentent des vues successives du procédé de fabrication selon l'invention ;
- les figures 6 à 8 représentent des vues des étapes successives de modes de réalisation alternatifs ;
- la figure 9 représente un schéma fonctionnel du procédé selon l'invention.
- les figures 10 et 11 sont des représentations en pers-

pective d'un organe régulateur monobloc selon un premier mode de réalisation ;

- les figures 12 et 13 sont des représentations en perspective d'un organe régulateur monobloc selon un deuxième mode de réalisation ;
- les figures 14 et 15 sont des représentations en perspective d'un organe régulateur monobloc selon un troisième mode de réalisation ;
- la figure 16 est une représentation en perspective d'un spiral monobloc selon l'invention.

#### DESCRIPTION DETAILLÉE DES MODES DE RÉALISATION PRÉFÉRÉS

**[0012]** L'invention se rapporte à un procédé généralement annoté 1 destiné à fabriquer un organe régulateur 41, 41', 41" pour un mouvement de pièce d'horlogerie. Comme illustré aux figures 1 à 9, le procédé 1 comporte des étapes successives destinées à former au moins un type d'organe (51 "", 41) monobloc qui peut être formé intégralement en matériaux à base de silicium.

**[0013]** En référence aux figures 1 et 9, la première étape 100 consiste à se munir d'un substrat 3 du type silicium sur isolant (également connu sous l'acronyme anglais SOI). Le substrat 3 comporte une couche supérieure 5 et une couche inférieure 7 composées chacune de matériau à base de silicium. Entre les couches supérieure 5 et inférieure 7, peut s'étendre une couche intermédiaire 9 composée de dioxyde de silicium (SiO<sub>2</sub>).

**[0014]** Préférentiellement dans cette étape 100, le substrat 3 est choisi afin que la hauteur de la couche inférieure 7 corresponde à la hauteur d'une partie de l'organe régulateur final 41, 41', 41". De plus, la couche inférieure 7 doit comporter une épaisseur suffisante afin de supporter les efforts induits par le procédé 1. Une telle épaisseur peut être par exemple comprise entre 300 et 400 μm.

**[0015]** Préférentiellement, la couche supérieure 5 est utilisée comme moyen d'espacement par rapport à la couche inférieure 7. Par conséquent, la hauteur de la couche supérieure 5 sera adaptée en fonction de la configuration de l'organe régulateur 41, 41', 41". Selon ladite configuration, l'épaisseur de la couche supérieure 5 peut ainsi osciller, par exemple, entre 10 et 200 μm.

**[0016]** Dans une deuxième étape 101, comme visible à la figure 2, des cavités 10, 11, 12, 13, 14 et 15 sont sélectivement gravées, par exemple par un procédé de gravure ionique réactive profonde (également connu sous l'acronyme anglais DRIE), dans la couche supérieure 5 en matériau à base de silicium. Préférentiellement, ces cavités 10, 11, 12, 13, 14 et 15 permettent de former deux motifs 17, 19 définissant les contours intérieur et extérieur de parties en silicium de l'organe régulateur 41, 41', 41".

**[0017]** Dans l'exemple illustré à la figure 2, les motifs 17 et 19 sont sensiblement en forme de cylindres coaxiaux à section circulaire, le motif 17 comportant un diamètre plus grand que celui du motif 19. Cependant,

avantageusement selon le procédé 1, la gravure sur la couche supérieure 5 laisse toute liberté sur la géométrie des motifs 17 et 19. Ainsi, notamment, les motifs 17 et 19 ne sont pas forcément circulaires mais, par exemple, elliptiques ou comporter un diamètre intérieur non circulaire.

**[0018]** Préférentiellement, des ponts de matière 18 sont laissés afin de maintenir au substrat 3 l'organe régulateur 41, 41', 41" lors de sa fabrication. Dans l'exemple illustré à la figure 2, il y a quatre ponts de matière 18 qui subsistent respectivement entre chacune des cavités consécutives 12, 13, 14 et 15 distribuées en arc de cercle à la périphérie du motif 17.

**[0019]** Dans une troisième étape 102, comme visible à la figure 3, une couche supplémentaire 21 en matériau à base de silicium est ajoutée au substrat 3. Préférentiellement, la couche supplémentaire 21 est fixée sur la couche supérieure 5 au moyen d'un soudage par fusion du silicium (également connu sous l'acronyme anglais SFB). L'étape 102 permet avantageusement de recouvrir la couche supérieure 5 en liant avec une très forte adhérence notamment les faces supérieures des motifs 17 et 19 sur la face inférieure de la couche supplémentaire 21. La couche supplémentaire 21 peut, par exemple, comporter une épaisseur comprise entre 100 et 150  $\mu\text{m}$ .

**[0020]** Dans une quatrième étape 103, comme visible à la figure 4, des cavités 20, 22 et 24 sont sélectivement gravées, par exemple, par un procédé du type DRIE semblable à celui de l'étape 101, dans la couche supplémentaire 21 en matériau à base de silicium. Ces cavités 20, 22 et 24 permettent de former trois motifs 23, 25 et 27 définissant les contours intérieur et extérieur de parties en silicium de l'organe régulateur 41, 41', 41".

**[0021]** Dans l'exemple illustré à la figure 4, les motifs 23 et 25 sont sensiblement en forme de cylindres coaxiaux à section circulaire et, le motif 27, sensiblement en forme de spirale. Cependant, avantageusement selon le procédé 1, la gravure sur la couche supplémentaire 21 laisse toute liberté sur la géométrie des motifs 23, 25 et 27. Ainsi, notamment, les motifs 23 et 25 ne sont pas forcément circulaires mais, par exemple, elliptiques ou comporter un diamètre intérieur non circulaire. Il en est de même, notamment, pour les diamètres intérieurs 10 et 24 qui ne sont pas forcément circulaires mais, par exemple, polygonaux ce qui pourrait permettre d'améliorer la transmission d'effort en rotation avec un axe 49 de forme correspondante. Enfin, chaque diamètre 10, 24 peut ne pas être de forme identique.

**[0022]** Préférentiellement, le motif 23 réalisé dans la couche supplémentaire 21 est de forme similaire et sensiblement à l'aplomb du motif 19 réalisé dans la couche supérieure 5. Cela signifie que les cavités 10 et 24 formant respectivement le diamètre intérieur des motifs 19 et 23 communiquent ensemble et sont sensiblement l'un au-dessus de l'autre. Dans l'exemple illustré aux figures 10 à 15, les motifs 23 et 19 forment la virole 55, 55', 55" de l'organe régulateur 41, 41', 41" qui s'étend en hauteur sur les couches 5 et 21.

**[0023]** Préférentiellement, le motif 25 réalisé dans la couche supplémentaire 21 est de forme similaire et sensiblement à l'aplomb du motif 17 réalisé dans la couche supérieure 5. Dans l'exemple illustré, les motifs 25 et 17 forment une partie de la serge 47, 47', 47" du balancier 43, 43', 43" de l'organe régulateur 41, 41', 41" qui s'étend en hauteur notamment sur les couches 5 et 21. On note cependant que, dans l'exemple illustré à la figure 4, les ponts de matières 18 ne sont pas reproduits et que la cavité 22 dans la couche supplémentaire 21 forme un anneau continu au contraire des cavités 12, 13, 14 et 15 situées débouchantes sous elle à la figure 4.

**[0024]** Préférentiellement, les motifs 23 et 27 sont gravés en même temps et forment une pièce monobloc dans la couche supplémentaire 21. Dans l'exemple illustré aux figures 10 à 15, les motifs 23 et 27 forment le ressort-spiral 53, 53', 53" et la partie haute de la virole 55, 55', 55" de l'organe régulateur 41, 41', 41". On voit également que la courbe externe du motif 27 illustré à la figure 4 est ouverte. Cette dernière caractéristique associée à l'espacement par rapport à la couche inférieure 7 réalisé par le motif 19 permet la réalisation d'un pitonnage de ladite courbe externe à l'aide d'une raquette.

**[0025]** Cependant, avantageusement selon le procédé 1, la gravure sur la couche supplémentaire 21 laisse toute liberté sur la géométrie du motif 27. Ainsi, notamment, le motif 27 peut ne pas comporter de courbe externe ouverte mais, par exemple, comporter sur l'extrémité de la courbe externe un bourrelet apte à servir de point d'attache fixe, c'est-à-dire sans nécessité de raquette. Le motif 27 peut également comprendre une spire interne comportant une courbe du type Grossmann permettant d'améliorer sa concentricité de développement comme expliqué dans le document EP 1 612 627 incorporé par référence à la présente description

**[0026]** A la suite de cette quatrième étape 103, on comprend que les motifs 23 et 27 gravés dans la couche supplémentaire 21 sont uniquement reliés par le dessous du motif 23, avec une très forte adhérence, au-dessus du motif 19 gravé de la couche supérieure 5 (le motif 19 étant lui-même relié, avec une très forte adhérence, à la couche inférieure 7). Les motifs 23 et 27 ne sont donc plus en contact direct avec la couche supplémentaire 21. De même, le motif 25 n'est plus en contact direct avec la couche supplémentaire 21 mais uniquement relié, avec une très forte adhérence, au motif 17 gravé de la couche supérieure 5.

**[0027]** Préférentiellement comme représenté en traits interrompus à la figure 9, le procédé 1 peut comporter une cinquième étape 104 qui consiste à oxyder au moins le motif 27, c'est-à-dire le ressort-spiral 53, 53', 53" de l'organe de régulation 41, 41', 41" afin d'ajuster son coefficient thermo-élastique mais également de le rendre mécaniquement plus résistant. Une telle étape d'oxydation est expliquée notamment dans le brevet EP 1 422 436 qui est incorporé par référence à la présente description.

**[0028]** A ce stade, c'est-à-dire après l'étape 103 ou 104, on comprend que le procédé 1 permet avantageu-

sement de pouvoir produire uniquement le spiral 51 "" comme visible à la figure 16. En effet, un des avantages du procédé 1 est de pouvoir adapter la hauteur du motif 19 de la virole 55, 55', 55", 55''' faisant saillie du ressort-spiral 53, 53', 53", 53''' directement en choisissant l'épaisseur de la couche supérieure 5.

**[0029]** Lorsqu'un tel produit 51 "", visible à la figure 16, est souhaité, il suffit donc d'arrêter le procédé 1 à l'étape 103 ou 104 en prévoyant à l'étape intermédiaire de formation des ponts de matière. De tels ponts de matière peuvent notamment être formés soit sur le motif 19 lors de l'étape 101 ou soit sur le motif 27 à l'extrémité, par exemple, de la dernière spire lors de l'étape 103. La pénultième étape du procédé 1 pourrait alors consister à retirer la couche inférieure 7, par exemple, par attaque chimique et/ou mécanique. Enfin, dans l'étape 106, le spiral 51 "" ainsi obtenu serait libéré.

**[0030]** Avantageusement selon l'invention, si un organe régulateur 41, 41', 41" est préféré, après la quatrième étape 103 ou préférentiellement après la cinquième étape 104, le procédé 1 peut comporter trois modes de réalisations A, B et C comme illustré à la figure 9. Cependant, chacun des trois modes de réalisation A, B et C se termine par la même étape finale 106 consistant à libérer du substrat 3 l'organe régulateur 41, 41', 41" fabriqué.

**[0031]** Avantageusement, l'étape 106 de libération peut alors être simplement réalisée en fournissant un effort à l'organe régulateur 41, 41', 41" apte à casser ses ponts de matière 18. Cet effort peut, par exemple, être généré manuellement par un opérateur ou par usinage.

**[0032]** Selon le mode de réalisation A, dans une sixième étape 105, comme visible à la figure 5, des cavités 26, 28, 29, 30, 31 et 32 sont sélectivement gravées, par exemple, par un procédé du type DRIE semblable à celui des étapes 101 et 103, dans la couche inférieure 7 en matériau à base de silicium. Ces cavités 26, 28, 29, 30, 31 et 32 permettent de former un motif 34 définissant les contours intérieur et extérieur d'une partie en silicium de l'organe régulateur 41.

**[0033]** Dans l'exemple illustré à la figure 5, le motif 34 est sensiblement en forme de jante à quatre bras. Cependant, avantageusement selon le procédé 1, la gravure sur la couche inférieure 7 laisse toute liberté sur la géométrie du motif 34. Ainsi, notamment, le nombre et la géométrie des bras peuvent être différents tout comme la jante n'est pas forcément circulaire mais, par exemple, elliptique. De plus, les bras peuvent être plus élancés afin d'autoriser leur déformation axiale et/ou radiale en cas de choc transmis sur l'organe régulateur.

**[0034]** Préférentiellement, une partie du motif 34 réalisé dans la couche inférieure 7 est de forme similaire et sensiblement à l'aplomb des motifs 17 et 25 réalisés respectivement dans les couches supérieure 5 et supplémentaire 21. Dans l'exemple illustré à la figure 5, le motif 34 forme, avec les motifs 17 et 25, le balancier 43 de l'organe régulateur 41 dont la serge 47 s'étend donc en hauteur sur la totalité des couches 5, 7 et 21.

**[0035]** De plus, préférentiellement, la cavité 26 du mo-

tif 34 est sensiblement en prolongement des cavités 10 et 24 formant le diamètre intérieur des motifs 19 et 23. Dans l'exemple illustré, les cavités successives 24, 10 et 26 forment ainsi un diamètre intérieur apte à recevoir l'axe de balancier 49 de l'organe régulateur 41. On note enfin que, dans l'exemple illustré à la figure 5, les ponts de matières 18 ne sont pas reproduits dans la couche inférieure 7 et que la cavité 28, à la manière de la cavité 22, forme un anneau continu au contraire des cavités 12, 13, 14 et 15 situées débouchantes sous elle à la figure 5.

**[0036]** A la suite de cette sixième étape 105, on comprend que le motif 34 gravé dans la couche inférieure 7 est uniquement relié, avec une très forte adhérence, aux motifs 17 et 19 gravés de la couche supérieure 5. Le motif 34 n'est donc plus en contact direct avec la couche inférieure 7.

**[0037]** A la suite de l'étape finale 106 expliquée ci-dessus, on obtient donc, à l'aide du premier mode de réalisation A, un organe régulateur 41 monobloc formé intégralement en matériaux à base de silicium, comme visible aux figures 10 et 11. On comprend donc qu'il n'y a plus de problème d'assemblage car il est directement réalisé pendant la fabrication de l'organe régulateur 41. Ce dernier comprend un balancier 43 dont le moyeu 45 est raccordé d'une part radialement à la serge 47 par quatre bras 40, 42, 44 et 46 et, d'autre part, axialement au spiral 51, le spiral 51 comprend un ressort-spiral 53 et une virole 55.

**[0038]** Comme expliqué ci-dessus, la serge 47 est formée par l'anneau périphérique du motif 34 de la couche inférieure 7 mais également par les motifs 17 et 25 des couches respectives supérieure 5 et supplémentaire 21. De plus, la virole 55 est formée par le motif 23 de la couche supplémentaire 21 et du motif 19 de la couche supérieure 5. Préférentiellement, ce motif 19 est utilisé comme moyen d'espacement entre le spiral 51 et le balancier 43 afin de pouvoir, par exemple, pitonner le ressort-spiral 53 à l'aide d'une raquetterie. Le motif 19 est également utile comme moyen de guidage du spiral 51 en augmentant la hauteur de la virole 55.

**[0039]** Cependant, avantageusement selon le procédé 1, la gravure sur la couche supplémentaire 21 laisse toute liberté sur la géométrie du ressort-spiral 53. Ainsi, notamment, le ressort-spiral 53 peut ne pas comporter de courbe externe ouverte mais, par exemple, comporter sur l'extrémité de la courbe externe un bourrelet apte à servir de point d'attache fixe, c'est-à-dire sans nécessité de raquetterie.

**[0040]** Préférentiellement, l'organe régulateur 41 est apte à recevoir un axe de balancier 49 par les cavités 24, 10 et 26. Avantageusement selon l'invention, l'organe régulateur 41 étant monobloc, il n'est pas nécessaire de fixer l'axe de balancier 49 à la virole 55 et au balancier 43 mais uniquement à l'un des deux.

**[0041]** Préférentiellement, l'axe de balancier 49 est fixé sur le diamètre intérieur 26 du balancier 43 par exemple à l'aide de moyens élastiques 48 gravés dans le moyeu 45 en silicium. De tels moyens élastiques 48 peu-

vent, par exemple, prendre la forme de ceux divulgués dans les figures 10A à 10E du brevet EP 1 655 642 ou ceux divulgués dans les figures 1, 3 et 5 du brevet EP 1 584 994, lesquels brevets sont incorporés par référence à la présente description. De plus, de manière préférée, les cavités 24 et 10 comportent des sections de plus grandes dimensions que celle de la cavité 26 afin d'éviter que l'axe de balancier 49 soit en contact gras avec la virole 55.

**[0042]** On comprend donc que l'effort du spiral 51 est soumis au balancier 43 uniquement par la virole 55 et inversement car ils sont tous trois formés de manière monobloc. L'axe de balancier 49 ne reçoit donc d'effort de l'organe régulateur 41 que par l'intermédiaire du moyeu 45 du balancier 43.

**[0043]** Selon un second mode de réalisation B, le procédé 1 comporte, après l'étape 103 ou 104, une sixième étape 107, comme visible à la figure 6, consistant à mettre en oeuvre un processus du type LIGA (acronyme très connu provenant de l'allemand « Röntgenlithographie, Galvanoformung & Abformung »). Un tel processus comporte une succession d'étapes permettant d'électrodeposer selon une forme particulière un métal sur la couche inférieure 7 du substrat 3 à l'aide d'une résine photostructurée. Ce processus du type LIGA étant très connu, il ne sera pas d'avantage détaillé ci-après. Préférentiellement, le métal déposé peut être, par exemple, de l'or ou du nickel ou bien encore un de leurs alliages.

**[0044]** Dans l'exemple illustré à la figure 6, l'étape 107 peut consister à déposer un anneau crénelé 61 et/ou un cylindre 63. Dans l'exemple illustré à la figure 6, l'anneau 61 comporte une série de plots 65 sensiblement en arc de cercle et est destiné à, avantageusement, augmenter la masse du futur balancier 43'. En effet, un des avantages du silicium est sa faible sensibilité aux variations de température. Cependant, il possède l'inconvénient d'avoir une faible densité. Une première caractéristique de l'invention consiste donc à augmenter la masse du balancier 43' à l'aide de métal obtenu par électrodéposition afin d'augmenter l'inertie du futur balancier 43'. Toutefois, afin de garder les avantages du silicium, le métal déposé sur la couche inférieure 7 comporte un écartement entre chaque plot 65 apte à compenser les dilatations thermiques de l'anneau 23.

**[0045]** Dans l'exemple illustré à la figure 6, le cylindre 63 est destiné à recevoir, avantageusement, par chassage un axe de balancier 49. En effet, un autre inconvénient du silicium réside dans ses très faibles zones élastique et plastique ce qui le rend très cassant. Une autre caractéristique de l'invention consiste donc à réaliser le serrage de l'axe de balancier 49 non pas contre le matériau à base de silicium du balancier 43' mais sur le diamètre intérieur 67 du cylindre métallique 63 électrodéposé lors de l'étape 107. Avantageusement selon le procédé 1, le cylindre 63 obtenu par électrodéposition laisse toute liberté quant à sa géométrie. Ainsi, notamment, le diamètre intérieur 67 n'est pas forcément circulaire mais, par exemple, polygonal ce qui pourrait permettre d'améliorer la transmission d'effort en rotation

avec un axe 49 de forme correspondante.

**[0046]** Dans une septième étape 108, similaire à l'étape 105 visible à la figure 5, des cavités sont sélectivement gravées, par exemple, par un procédé du type DRIE, dans la couche inférieure 7 en matériau à base de silicium. Ces cavités permettent de former un motif de balancier semblable au motif 34 du mode de réalisation A. Comme illustré dans l'exemple des figures 12 et 13, le motif obtenu peut être sensiblement en forme de jante à quatre bras. Cependant, avantageusement selon le procédé 1, la gravure sur la couche inférieure 7 laisse toute liberté sur la géométrie du motif 34. Ainsi, notamment, le nombre et la géométrie des bras peuvent être différents tout comme la jante n'est pas forcément circulaire mais, par exemple, elliptique. De plus, les bras peuvent être plus élancés afin d'autoriser leur déformation axiale et/ou radiale en cas de choc transmis sur l'organe régulateur.

**[0047]** Préférentiellement, une partie motif de balancier réalisé dans la couche inférieure 7 est de forme similaire et sensiblement à l'aplomb des motifs 17 et 25 réalisés respectivement lors des étapes 101 et 103 dans les couches supérieure 5 et supplémentaire 21. Dans l'exemple illustré aux figures 12 et 13, le motif de balancier forme, avec les motifs 17 et 25 et les parties métalliques 61 et/ou 63, le balancier 43' de l'organe régulateur 41' dont la serge 47' s'étend donc en hauteur sur la totalité des couches 5, 7 et 21 et des parties métalliques 61 et/ou 63.

**[0048]** De plus, préférentiellement, comme dans le mode de réalisation A, les cavités successives forment ainsi un diamètre intérieur apte à recevoir l'axe de balancier 49 de l'organe régulateur 41'. On note enfin que les ponts de matières 18 peuvent ne pas être non plus reproduits dans la couche inférieure 7.

**[0049]** A la suite de cette septième étape 108, on comprend que le motif de balancier gravé dans la couche inférieure 7 est uniquement relié, avec une très forte adhérence, aux motifs 17 et 19 de la couche supérieure 5 gravés lors de l'étape 101. Le motif de balancier n'est donc plus en contact direct avec la couche inférieure 7.

**[0050]** A la suite de l'étape finale 106 expliquée ci-dessus, on obtient donc, à l'aide du second mode de réalisation B, un organe régulateur 41' monobloc formé en matériaux à base de silicium avec une ou deux parties 61, 63 en métal comme visible aux figures 12 et 13. On comprend donc qu'il n'y a plus de problème d'assemblage car il est directement réalisé pendant la fabrication de l'organe régulateur 41'. Ce dernier comprend un balancier 43' dont le moyeu 45' est raccordé d'une part radialement à la serge 47' par quatre bras 40', 42', 44' et 46' et, d'autre part, axialement au spiral 51', le spiral 51' comprend un ressort-spiral 53' et une virole 55'.

**[0051]** Comme expliqué ci-dessus, la serge 47' est formée par l'anneau périphérique du motif de balancier de la couche inférieure 7 mais également par les motifs 25 et 17 des couches respectives supérieure 5 et supplémentaire 21 et, éventuellement, de la partie métallique 61. De plus, la virole 55' est formée par le motif 23 de la

couche supplémentaire 21 et du motif 19 de la couche supérieure 5. Préférentiellement, ce motif 19 est utilisé comme moyen d'espacement entre le spiral 51' et le balancier 43' afin de pouvoir pitonner le ressort-spiral 53' à l'aide d'une raquetterie. Le motif 19 est également utile comme moyen de guidage du spiral 51' en augmentant la hauteur de la virole 55'.

**[0052]** Cependant, avantageusement selon le procédé 1, la gravure sur la couche supplémentaire 21 laisse toute liberté sur la géométrie du ressort-spiral 53'. Ainsi, notamment, le ressort-spiral 53' peut ne pas comporter de courbe externe ouverte mais, par exemple, comporter sur l'extrémité de la courbe externe un bourrelet apte à servir de point d'attache fixe, c'est-à-dire sans nécessité de raquetterie.

**[0053]** Préférentiellement, l'organe régulateur 41' est apte à recevoir un axe de balancier 49 dans son diamètre intérieur. Avantageusement selon l'invention, l'organe régulateur 41' étant monobloc, il n'est pas nécessaire de fixer l'axe de balancier 49 à la virole 55' et au balancier 43' mais uniquement à l'un des deux.

**[0054]** Dans l'exemple illustré aux figures, l'axe de balancier 49 est fixé, de manière préférée, sur le diamètre intérieur 67 de la partie métallique 63 par exemple par chassage. De plus, préférentiellement, les cavités 24 et 10 comportent des sections de plus grandes dimensions que celle du diamètre intérieur 67 de la partie métallique 63 afin d'éviter que l'axe de balancier 49 soit en contact gras avec la virole 55'.

**[0055]** On comprend donc que l'effort du spiral 51' est soumis au balancier 43' uniquement par la virole 55' et inversement car ils sont tous trois formés de manière monobloc. L'axe de balancier 49 ne reçoit donc d'effort de l'organe régulateur 41' que, préférentiellement, par l'intermédiaire de la partie métallique 63 du moyeu 45' du balancier 43'.

**[0056]** De plus, dans la mesure où une partie métallique 61 a été déposée, l'inertie du balancier 43' est avantageusement amplifiée. En effet, la densité d'un métal étant beaucoup plus grande que celle du silicium, la masse du balancier 43' est augmentée et, incidemment, également son inertie.

**[0057]** Selon un troisième mode de réalisation C, le procédé 1 comporte, après l'étape 103 ou 104, dans une sixième étape 109, comme visible à la figure 7, consistant à sélectivement graver des cavités 60 et/ou 62, par exemple, par un procédé du type DRIE, selon une profondeur limitée dans la couche inférieure 7 en matériau à base de silicium. Ces cavités 60, 62 permettent de former des évidements aptes à servir de contenant pour au moins une partie métallique. Comme dans l'exemple illustré à la figure 7, les cavités 60 et 62 obtenues peuvent être respectivement en forme d'anneau et de disque. Cependant, avantageusement selon le procédé 1, la gravure sur la couche inférieure 7 laisse toute liberté sur la géométrie des cavités 60 et 62.

**[0058]** Dans une septième étape 110, comme illustré à la figure 8, le procédé 1 comporte la mise en oeuvre

d'un processus du type croissance galvanique ou du type LIGA permettant de combler les cavités 60 et/ou 62 selon une forme métallique particulière. Préférentiellement, le métal déposé peut être, par exemple, de l'or ou du nickel ou bien encore un de leurs alliages.

**[0059]** Dans l'exemple illustré à la figure 8, l'étape 110 peut consister à déposer un anneau crénelé 64 dans la cavité 60 et/ou un cylindre 66 dans la cavité 62. De plus, dans l'exemple illustré à la figure 8, l'anneau 64 comporte une série de plots 69 sensiblement en arc de cercle et est destinée à, avantageusement, augmenter la masse du futur balancier 43". En effet, comme déjà expliqué ci-dessus, un inconvénient du silicium réside dans sa faible densité. Ainsi comme pour le mode de réalisation B, une caractéristique de l'invention consiste donc à augmenter la masse du balancier 43" à l'aide de métal obtenu par électrodéposition afin d'augmenter l'inertie du futur balancier 43". Toutefois, afin de garder les avantages du silicium, le métal déposé sur la couche inférieure 7 comporte un écartement entre chaque plot 69 apte à compenser les dilatations thermiques de l'anneau 64.

**[0060]** Dans l'exemple illustré à la figure 8, le cylindre 66 est destiné à recevoir, avantageusement, par chassage un axe de balancier 49. En effet, comme déjà expliqué ci-dessus, une caractéristique avantageuse selon l'invention consiste à réaliser le serrage de l'axe de balancier 49 non pas contre le matériau à base de silicium mais sur le diamètre intérieur 70 du cylindre métallique 66 électrodéposé lors de l'étape 110. Avantageusement selon le procédé 1, le cylindre 66 obtenu par électrodéposition laisse toute liberté quant à sa géométrie. Ainsi, notamment, le diamètre intérieur 70 n'est pas forcément circulaire mais, par exemple, polygonal ce qui pourrait permettre d'améliorer la transmission d'effort en rotation avec un axe 49 de forme correspondante.

**[0061]** Préférentiellement, le procédé 1 peut comporter, dans une huitième étape 111, consistant à polir le ou les dépôts métalliques 64, 66 réalisés lors de l'étape 110 afin de les rendre plans.

**[0062]** Dans une neuvième étape 112, similaire aux étapes 105 ou 108 notamment visible à la figure 5, des cavités sont sélectivement gravées, par exemple, par un procédé du type DRIE, dans la couche inférieure 7 en matériau à base de silicium. Ces cavités permettent de former un motif de balancier semblable au motif 34 du mode de réalisation A. Comme illustré dans l'exemple des figures 14 et 15, le motif obtenu peut être sensiblement en forme de jante à quatre bras. Cependant, avantageusement selon le procédé 1, la gravure sur la couche inférieure 7 laisse toute liberté sur la géométrie du motif 34. Ainsi, notamment, le nombre et la géométrie des bras peuvent être différents tout comme la jante n'est pas forcément circulaire mais, par exemple, elliptique. De plus, les bras peuvent être plus élancés afin d'autoriser leur déformation axiale et/ou radiale en cas de choc transmis sur l'organe régulateur.

**[0063]** Préférentiellement, le motif de balancier réalisé dans la couche inférieure 7 est de forme similaire et sen-

siblement à l'aplomb des motifs 17 et 25 réalisés respectivement lors des étapes 101 et 103 dans les couches supérieure 5 et supplémentaire 21. Dans l'exemple illustré, le motif de balancier forme, avec les motifs 17 et 25 et les parties métalliques 64 et/ou 66, le balancier 43" de l'organe régulateur 41" dont la serge 47" s'étend donc en hauteur sur la totalité des couches 5, 7 et 21.

**[0064]** De plus, préférentiellement, comme dans le mode de réalisation A, les cavités successives forment ainsi un diamètre intérieur apte à recevoir l'axe de balancier 49 de l'organe régulateur 41 ". On note enfin que les ponts de matières 18 ne sont pas non plus reproduits dans la couche inférieure 7.

**[0065]** A la suite de cette neuvième étape 112, on comprend que le motif de balancier gravé dans la couche inférieure 7 est uniquement relié, avec une très forte adhérence, aux motifs 17 et 19 de la couche supérieure 5 gravés lors de l'étape 101. Le motif de balancier n'est donc plus en contact direct avec la couche inférieure 7.

**[0066]** A la suite de l'étape finale 106 expliquée ci-dessus, on obtient donc un organe régulateur 41" monobloc formé en matériaux à base de silicium avec une ou deux parties 64, 66 en métal comme visible aux figures 14 et 15. On comprend donc qu'il n'y a plus de problème d'assemblage car il est directement réalisé pendant la fabrication de l'organe régulateur 41 ". Ce dernier comprend un balancier 43" dont le moyeu 45" est raccordé d'une part radialement à la serge 47" par quatre bras 40", 42", 44" et 46" et, d'autre part, axialement au spiral 51 ", le spiral 51" comprenant un ressort-spiral 53" et une virole 55".

**[0067]** Comme expliqué ci-dessus, la serge 47" est formée par l'anneau périphérique du motif de balancier de la couche inférieure 7 mais également par les motifs 25 et 17 des couches respectives supérieure 5 et supplémentaire 21 et, éventuellement, de la partie métallique 64. De plus, la virole 55" est formée par le motif 23 de la couche supplémentaire 21 et du motif 19 de la couche supérieure 5. Préférentiellement, ce motif 19 est utilisé comme moyen d'espacement entre le spiral 51" et le balancier 43" afin de pouvoir, par exemple, pitonner le ressort-spiral 53" à l'aide d'une raquetterie. Le motif 19 est également utile comme moyen de guidage du spiral 51" en augmentant la hauteur de la virole 55".

**[0068]** Cependant, avantageusement selon le procédé 1, la gravure sur la couche supplémentaire 21 laisse toute liberté sur la géométrie du ressort-spiral 53". Ainsi, notamment, le ressort-spiral 53" peut ne pas comporter de courbe externe ouverte mais, par exemple, comporter sur l'extrémité de la courbe externe un bourrelet apte à servir de point d'attache fixe, c'est-à-dire sans nécessité de raquetterie.

**[0069]** Préférentiellement, l'organe régulateur 41" est apte à recevoir un axe de balancier 49 dans son diamètre intérieur. Avantageusement selon l'invention, l'organe régulateur 41" étant monobloc, il n'est pas nécessaire de fixer l'axe de balancier 49 à la virole 55" et au balancier 43" mais uniquement à l'un des deux.

**[0070]** Préférentiellement, dans l'exemple illustré aux figures 14 et 15, l'axe de balancier 49 est fixé sur le diamètre intérieur 70 de la partie métallique 66 par exemple par chassage. De plus, de manière préférée, les cavités 24 et 10 comportent des sections de plus grandes dimensions que celle du diamètre intérieur 70 de la partie métallique 66 afin d'éviter que l'axe de balancier 49 soit en contact gras avec la virole 55".

**[0071]** On comprend donc que l'effort du spiral 51" est soumis au balancier 43" uniquement par la virole 55" et inversement car ils sont tous trois formés de manière monobloc. L'axe de balancier 49 ne reçoit donc d'effort de l'organe régulateur 41" que, préférentiellement, par l'intermédiaire de la partie métallique 66 du moyeu 45" du balancier 43".

**[0072]** De plus, dans la mesure où une partie métallique 64 a été déposée, l'inertie du balancier 43" est avantageusement amplifiée. En effet, la densité d'un métal étant beaucoup plus grande que celle du silicium, la masse du balancier 43" est augmentée et, incidemment, également son inertie.

**[0073]** Selon les trois modes de réalisation A, B et C, il faut comprendre que l'organe régulateur final 41, 41' et 41" est ainsi assemblé avant d'être structuré, c'est-à-dire avant d'être gravé et/ou modifié par électrodéposition. Cela permet avantageusement de minimiser les dispersions engendrées par les assemblages actuels d'un balancier avec un spiral.

**[0074]** Il faut également noter que la très bonne précision structurelle d'une gravure ionique réactive profonde permet de diminuer le rayon de départ de chacun du ressort-spiraux 53, 53', 53", 53"', c'est-à-dire que le diamètre extérieur de leur virole 55, 55', 55", 55"', ce qui autorise la miniaturisation des diamètres intérieurs et extérieurs de la virole 55, 55', 55", 55".

**[0075]** Avantageusement selon l'invention, on comprend également qu'il est possible que plusieurs organes régulateur 41, 41' et 41" puissent être réalisés sur le même substrat 3 ce qui autorise une production en série.

**[0076]** Bien entendu, la présente invention ne se limite pas à l'exemple illustré mais est susceptible de diverses variantes et modifications qui apparaîtront à l'homme de l'art. En particulier, les motifs 17 et 25 gravés lors de étapes 101 et 103 dans les couches 5 et 21 peuvent ne pas se limiter à un état de surface plan mais peuvent intégrer lors desdites étapes au moins un ornement permettant de décorer au moins une des faces de la serge 47, 47', 47" ce qui peut être utile notamment dans le cas des pièces d'horlogerie du type squelette.

**[0077]** Il est également possible que les parties métalliques 63, 66 électrodéposées selon les modes de réalisation B et C soient interverties, c'est-à-dire que la partie en saillie 63 du mode B soit remplacée par la partie intégrée 66 du mode C ou inversement (ce qui ne nécessite qu'une adaptation minime du procédé 1) ou même que la partie 66 intégrée dans le moyeu fasse saillie de la couche inférieure 7.

**[0078]** Selon un raisonnement similaire, Il est égale-

ment possible que les parties métalliques 61, 64 électrodéposées dans les modes de réalisation B et C soient interverties, c'est-à-dire que la partie en saillie 61 du mode B soit remplacée par la partie intégrée 64 du mode C ou inversement ou même que la partie 64 intégrée dans la serge fasse saillie de la couche inférieure 7.

[0079] De plus, avantageusement, le procédé 1 peut prévoir en outre, a posteriori de l'étape de libération 106, une étape d'adaptation de la fréquence de l'organe régulateur 41, 41', 41". Une telle étape pourrait alors consister à graver, par exemple par laser, des évidements 68 aptes à modifier la fréquence de fonctionnement dudit organe régulateur. De tels évidements 68, comme illustrés dans l'exemple des figures 10 et 11, pourraient, par exemple, être réalisés sur une des parois périphériques du motif 34 appartenant à la serge 47, 47', 47" et/ou sur une des parties métalliques 61, 64 électrodéposées. De manière inverse, des structures réglantes du type maselotte peuvent également être envisagées afin d'augmenter l'inertie et régler de la fréquence.

[0080] Il peut également être prévu qu'une couche conductrice soit déposée sur au moins une partie de l'organe régulateur 41, 41', 41" afin d'éviter des problèmes d'isochronisme. Une telle couche peut être du type divulgué dans le document EP 1 837 722 incorporé par référence dans la présente description.

[0081] Enfin, une étape de polissage du type de l'étape 111 peut également être réalisée entre l'étape 107 et l'étape 108. Il peut également être envisagé qu'une étape de réalisation d'un dépôt métallique 63, 66, du type obtenu par les modes de réalisation B ou C, soit réalisée non pas sur le balancier mais, dans le cas de la fabrication seule du spiral 51 "", sur la couche supplémentaire 21 de sorte à pouvoir chasser un axe non pas contre le matériau à base de silicium du diamètre intérieure de la virole 55"" mais contre ledit dépôt métallique.

## Revendications

1. Organe régulateur monobloc (41, 41', 41") comportant un balancier (43, 43', 43") coopérant avec un spiral (51, 51', 51") réalisé dans une couche de matériau à base de silicium (21) et comprenant un ressort-spiral (53, 53', 53") monté coaxialement sur une virole, la virole (55, 55', 55") comportant une partie (19) en prolongement faisant saillie dudit ressort-spiral et qui est réalisée dans une deuxième couche de matériau à base de silicium (5) **caractérisé en ce que** la partie (19) en prolongement de la virole (55, 55', 55") est fixée sur le balancier (43, 43', 43").
2. Organe régulateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le balancier (43, 43', 43") comporte un trou (26) prolongeant le diamètre intérieur (24, 10) de la virole (55, 55', 55") afin d'y recevoir un axe de balancier (49).
3. Organe régulateur selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** l'axe de balancier (49) est fixé sur le balancier (43, 43', 43").
4. Organe régulateur selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** l'axe de balancier (49) est fixé sur le balancier (43', 43") par chassage contre un revêtement métallique (63, 66) réalisé au niveau dudit trou.
5. Organe régulateur selon l'une des revendications 2 à 4, **caractérisé en ce que** la section du diamètre intérieur (24, 10) de la virole (55, 55', 55") est plus grande que celle du trou (26, 63, 66) du balancier (43, 43', 43") afin d'éviter les contacts gras entre l'axe de balancier (49) et le diamètre intérieur (24, 10) de la virole (55, 55', 55").
6. Organe régulateur selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la serge (47, 47', 47") du balancier (43, 43', 43") est continue et comporte un dispositif d'adaptation (61, 64, 68) apte à modifier le moment d'inertie du balancier.
7. Organe régulateur selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** la serge (47, 47', 47") est reliée au moyeu (45, 45', 45") du balancier (43, 43', 43") par au moins un bras (40, 42, 44, 46, 40', 42', 44', 46', 40", 42", 44", 46") qui est élané afin d'autoriser sa déformation axiale et/ou radiale en cas de choc transmis sur le balancier (41, 41', 41").
8. Organe régulateur selon la revendication 6 ou 7, **caractérisé en ce que** le dispositif d'adaptation comporte des évidements (60, 68) réalisés sur la serge (47, 47") du balancier (43, 43") afin de pouvoir ajuster l'inertie dudit balancier.
9. Organe régulateur selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** les évidements (60) comportent un matériau de plus grande densité que celui de la serge (47") du balancier (43") afin d'augmenter l'inertie dudit balancier.
10. Organe régulateur selon la revendication 6 ou 7, **caractérisé en ce que** le dispositif d'adaptation comporte des bossages (61) réalisés sur la serge (47") du balancier (43') et comportant un matériau de plus grande densité que la serge (47") afin d'augmenter l'inertie dudit balancier.
11. Organe régulateur selon la revendication 9 ou 10, **caractérisé en ce que** ledit matériau de plus grande densité est distribué au niveau de la serge (47', 47") sous forme d'un anneau crénelé (61, 64) comportant une succession de plots (65, 69) écartés à intervalle régulier pour compenser la dilatation thermique dudit matériau.

12. Organe régulateur selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le balancier (43, 43', 43") est réalisé dans une troisième couche (7) de matériau à base de silicium. 5
13. Organe régulateur selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la spire interne du ressort-spiral (53, 53', 53") comporte une courbe du type Grossmann afin d'améliorer la concentricité du développement dudit spiral. 10
14. Organe régulateur selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le ressort-spiral (53, 53', 53") comporte au moins une partie à base de dioxyde de silicium afin de le rendre plus résistant mécaniquement et d'ajuster son coefficient thermo-élastique. 15
15. Pièce d'horlogerie **caractérisée en ce qu'elle** comporte un organe régulateur (41, 41', 41") conforme à l'une des revendications précédentes. 20
16. Procédé de fabrication (1) d'un organe monobloc (41, 41', 41 ") comportant les étapes suivantes : 25
- a) se munir (100) d'un substrat (3) comportant une couche supérieure (5) et une couche inférieure (7) en matériaux à base de silicium ;
- b) graver (101) sélectivement au moins une cavité (10, 11) dans la couche supérieure (5) pour définir le motif (19) d'une première partie (19) d'une virole (55, 55', 55") et d'une première partie (17) d'un balancier (43, 43', 43") en matériau à base de silicium dudit organe ; 30
- c) solidariser (102), sur la couche supérieure (5) gravée du substrat (3), une couche supplémentaire (21) de matériau à base de silicium; 35
- d) graver (103) sélectivement au moins une cavité (20, 24) dans la couche supplémentaire (21) pour continuer le motif (19, 23) desdites premières parties de la virole (55, 55', 55") et du balancier (43, 43', 43"), et définir le motif (27) d'un ressort-spiral (53, 53', 53") en matériaux à base de silicium dudit organe ; 40
- caractérisé en ce qu'il** comporte en outre les étapes suivantes : 45
- e) graver (105, 108, 112) sélectivement au moins une cavité (26, 28, 29, 30, 31, 32) dans la couche inférieure (7) pour définir la dernière partie (34) du balancier (43, 43', 43") en matériaux à base de silicium dudit organe ; 50
- f) libérer l'organe régulateur (41, 41', 41") du substrat (3).
17. Procédé de fabrication selon la revendication 16, **caractérisé en ce qu'il** comporte en outre après l'étape d) l'étape suivante : 55
- g) oxyder le ressort-spiral (53, 53', 53") en matériau à base de silicium dudit organe afin d'ajuster son coefficient thermo-élastique mais également de le rendre mécaniquement plus résistant.
18. Procédé de fabrication selon la revendication 16 ou 17 **caractérisé en ce qu'il** comporte en outre avant l'étape e) l'étape suivante : 60
- h) déposer (107, 110) sélectivement au moins une couche de métal (61, 63, 64, 66) sur la couche inférieure (7) pour définir le motif d'au moins une partie en métal dudit organe.
19. Procédé de fabrication selon la revendication 18 **caractérisé en ce que** l'étape h) comporte l'étape suivante : 65
- i) faire croître (107) ledit dépôt par couches successives métalliques au moins partiellement sur la surface de la couche inférieure (7) afin de former une partie métallique (61) destinée à augmenter la masse du balancier (43") en matériaux à base de silicium.
20. Procédé de fabrication selon la revendication 18 ou 19 **caractérisé en ce que** l'étape h) comporte l'étape suivante : 70
- i') faire croître (107) ledit dépôt par couches successives métalliques au moins partiellement sur la surface de la couche inférieure (7) afin de former une deuxième partie métallique (63) destinée à recevoir par chassage un axe (49).
21. Procédé de fabrication selon la revendication 18 **caractérisé en ce que** l'étape h) comporte les étapes suivantes : 75
- j) graver (109) sélectivement au moins une cavité (60) dans la couche inférieure (7) destinée à recevoir ladite au moins une partie en métal ;
- k) faire croître (110) ledit dépôt par couches successives métalliques au moins partiellement dans ladite au moins une cavité afin de former une partie métallique (64) destinée à augmenter la masse du balancier (43") en matériaux à base de silicium.
22. Procédé de fabrication selon la revendication 18 ou 21 **caractérisé en ce que** l'étape h) comporte les étapes suivantes : 80
- j') graver (109) sélectivement au moins une cavité (62) dans la couche inférieure (7) destinée à recevoir ladite au moins une partie en métal ;
- k') faire croître (110) ledit dépôt par couches

successives métalliques au moins partiellement dans ladite au moins une cavité afin de former une deuxième partie métallique (63) destinée à recevoir par chassage un axe (49).

5

23. Procédé de fabrication selon l'une des revendications 18 à 22, **caractérisé en ce que** l'étape h) comporte la dernière étape suivante :

l) polir (111) le dépôt métallique (61, 63, 64, 66).

10

24. Procédé de fabrication selon l'une des revendications 16 à 23, **caractérisé en ce que** plusieurs organes (41, 41', 41") sont réalisés sur un même substrat (3).

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

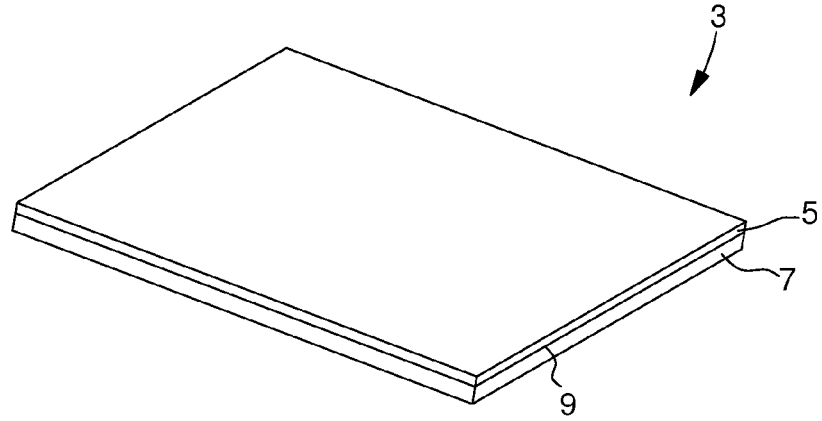


Fig. 2

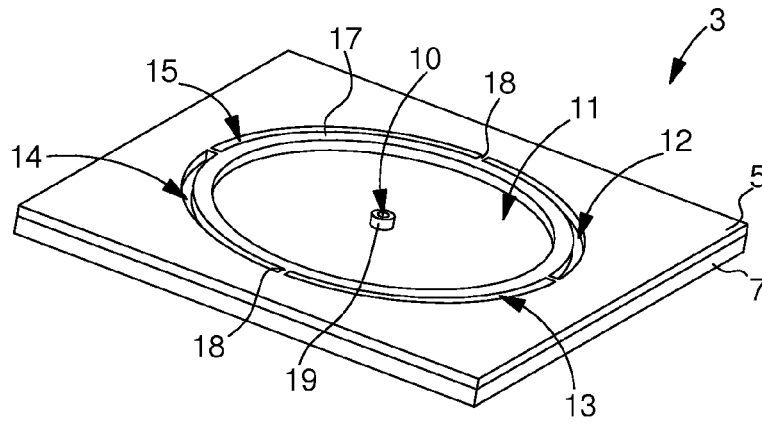


Fig. 3

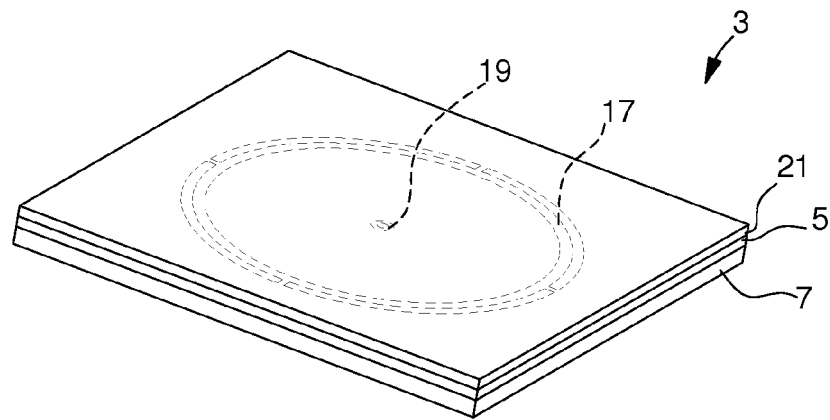


Fig. 4

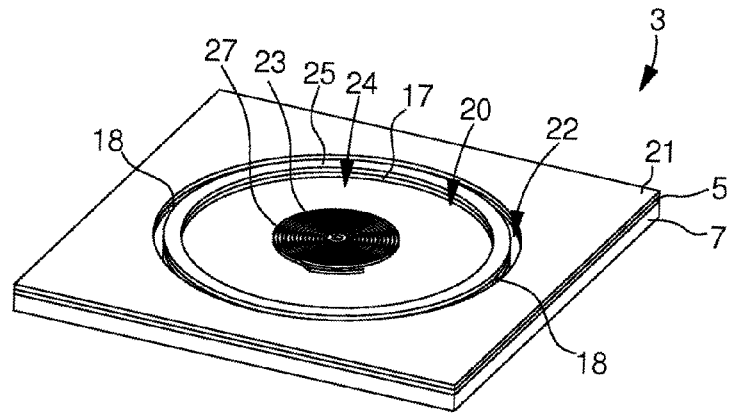


Fig. 5

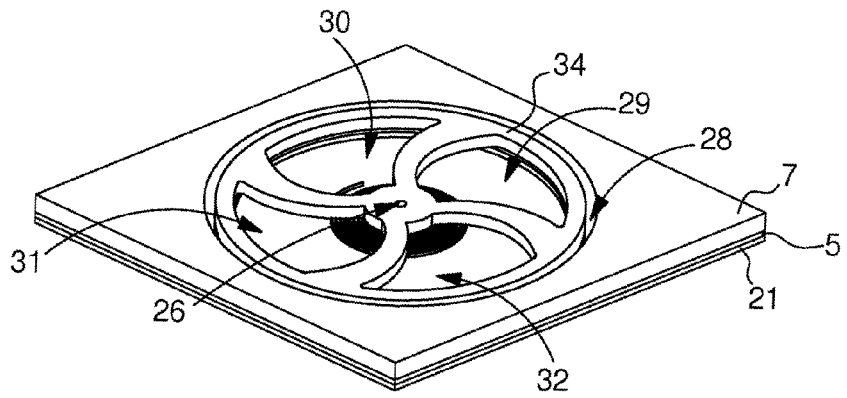


Fig. 6

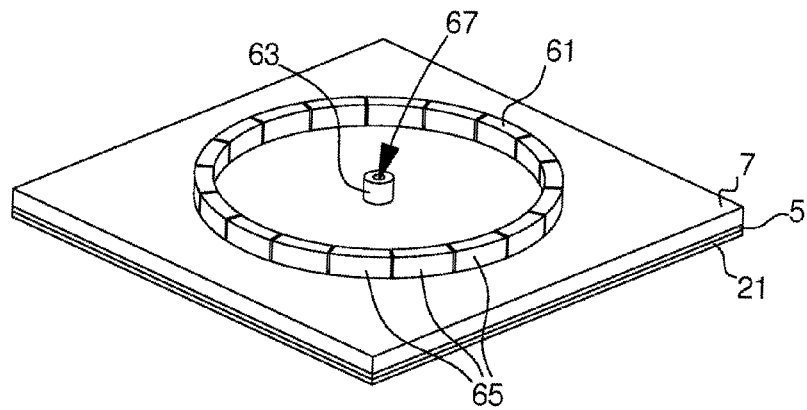


Fig. 7

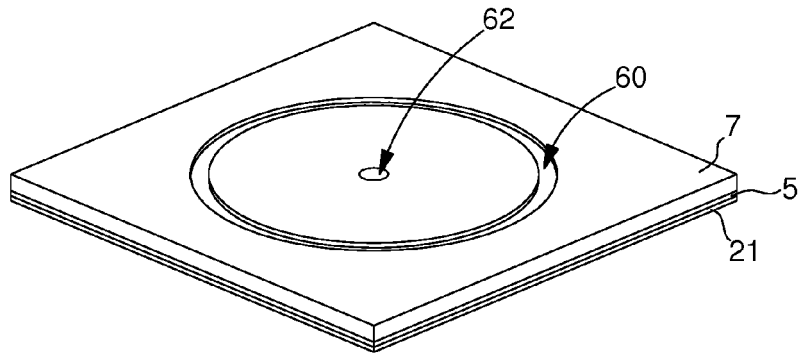


Fig. 8

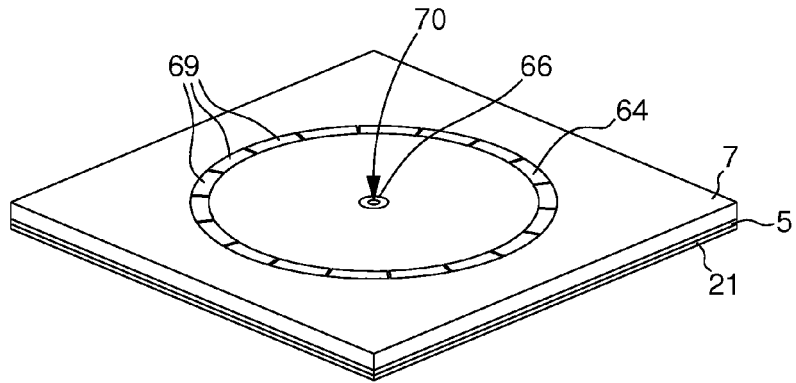


Fig. 9

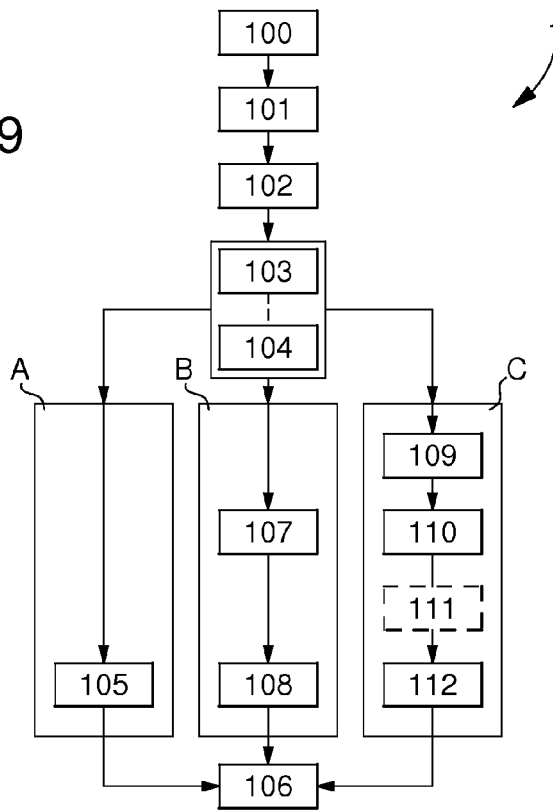


Fig. 10

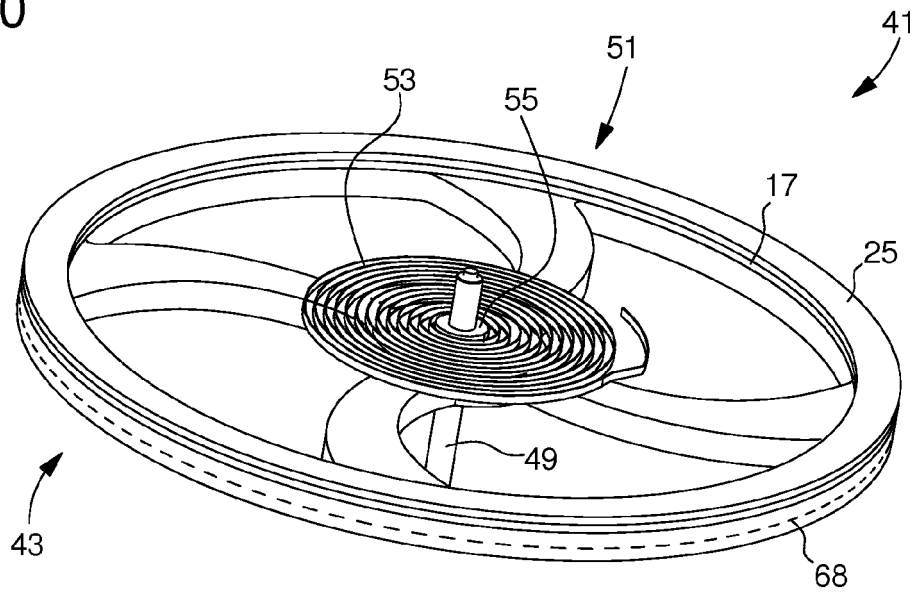


Fig. 11

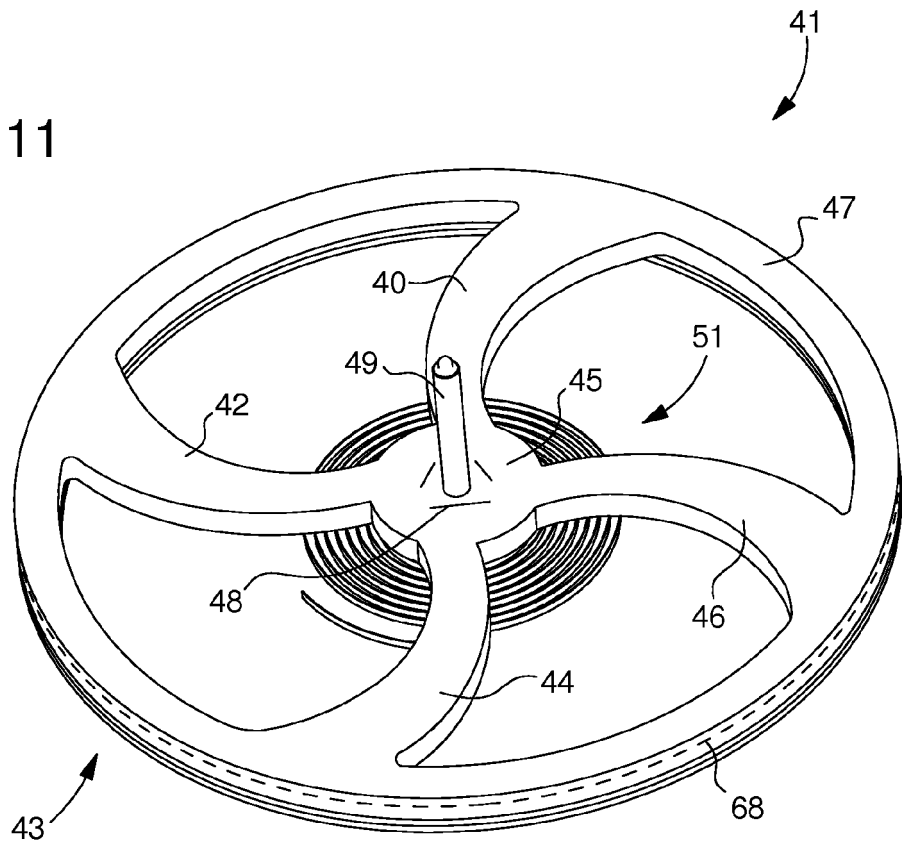




Fig. 14

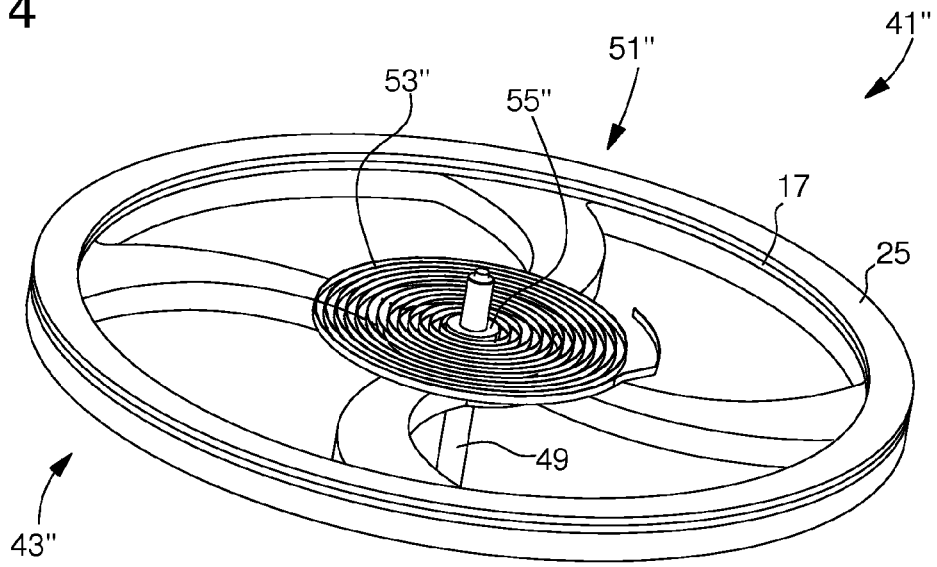


Fig. 15

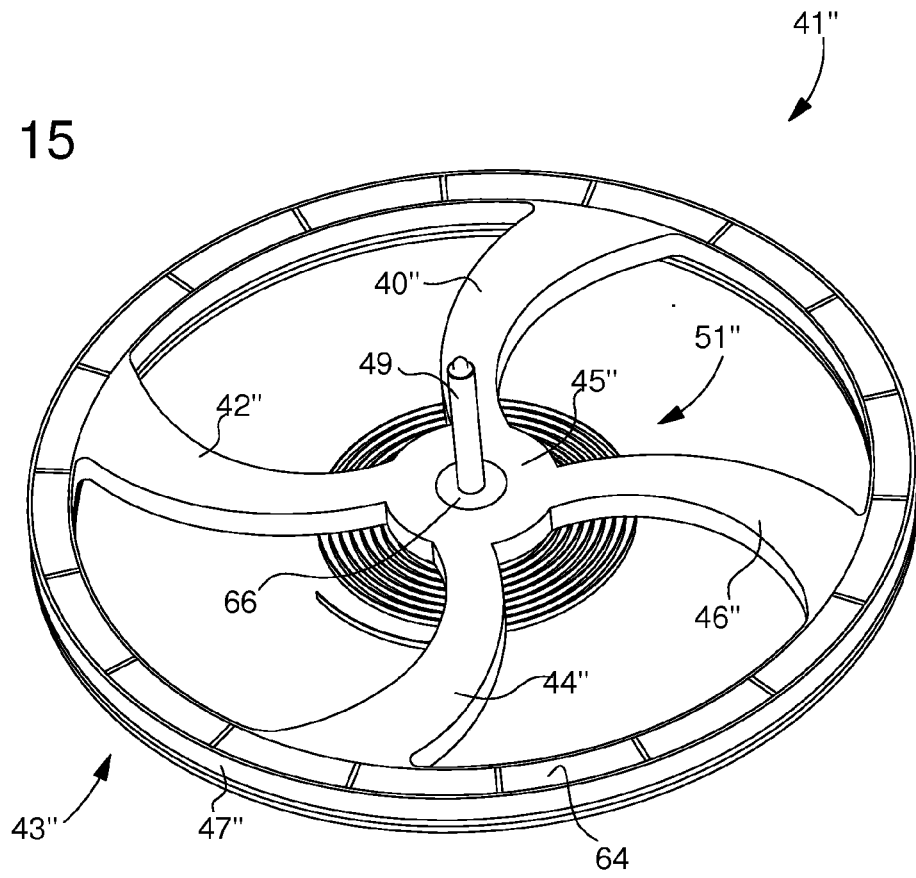
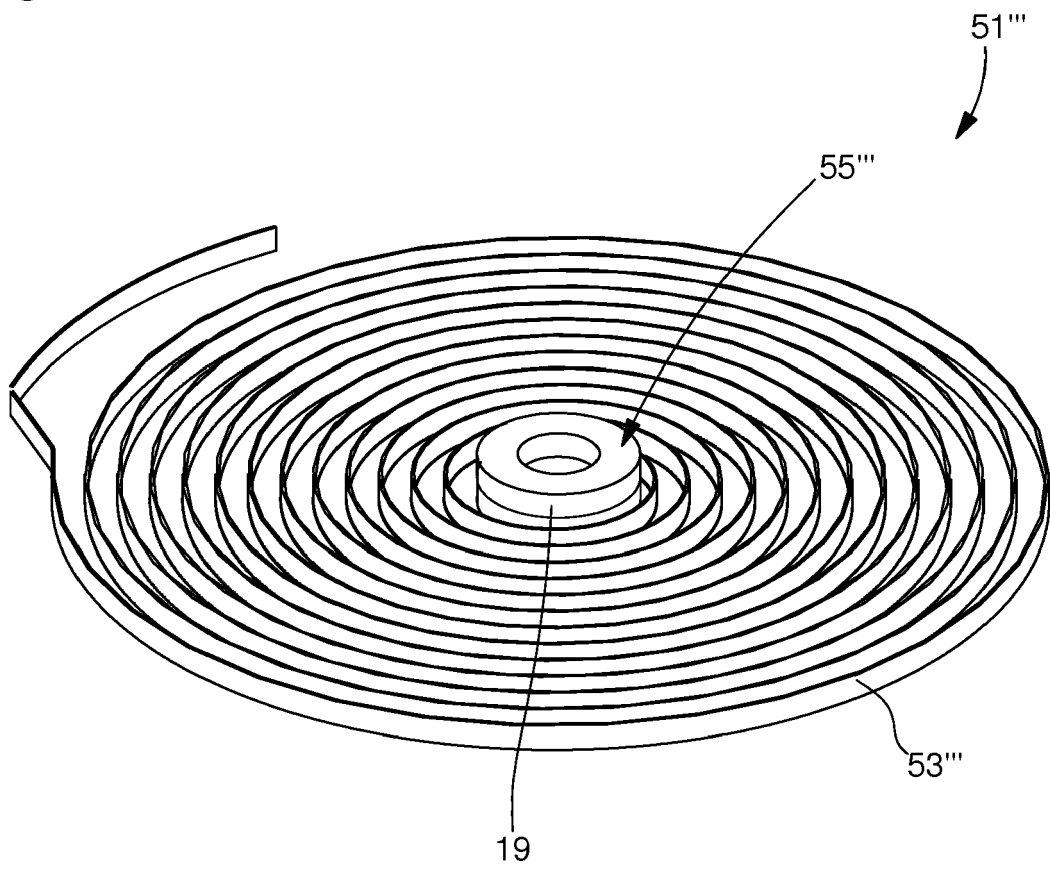


Fig. 16





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 08 15 3101

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 1 431 844 A (SFT SERVICES SA [CH]) 23 juin 2004 (2004-06-23) * alinéas [0023], [0024]; revendications 1,10,12; figure 7 *	1-24	INV. G04B17/06 G04D3/00
A	EP 0 732 635 A (SUISSE ELECTRONIQUE MICROTECH [CH]) 18 septembre 1996 (1996-09-18) * colonne 4, ligne 40 - ligne 48; revendications 1,2,6,7 *	16-24	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B G04D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche <b>La Haye</b>		Date d'achèvement de la recherche <b>10 novembre 2008</b>	Examineur <b>Guidet, Johanna</b>
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	

1  
EPO FORM 1503 03.92 (P04C02)

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

EP 08 15 3101

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.

10-11-2008

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
EP 1431844	A	23-06-2004	AU	2003280134 A1	10-08-2004
			WO	2004063822 A1	29-07-2004
-----					
EP 0732635	A	18-09-1996	DE	69608724 D1	13-07-2000
			DE	69608724 T2	08-02-2001
			FR	2731715 A1	20-09-1996
-----					

EPO FORM P0460

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**

- EP 1612627 A [0025]
- EP 1422436 A [0027]
- EP 1655642 A [0041]
- EP 1584994 A [0041]
- EP 1837722 A [0080]