



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**05.03.2014 Bulletin 2014/10**

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

(21) Numéro de dépôt: **13179958.7**

(22) Date de dépôt: **09.08.2013**

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

(72) Inventeur: **Hessler, Thierry**  
**2024 St-Aubin (CH)**

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

(30) Priorité: **04.09.2012 EP 12182973**

(71) Demandeur: **The Swatch Group Research and  
Development Ltd.**  
**2074 Marin (CH)**

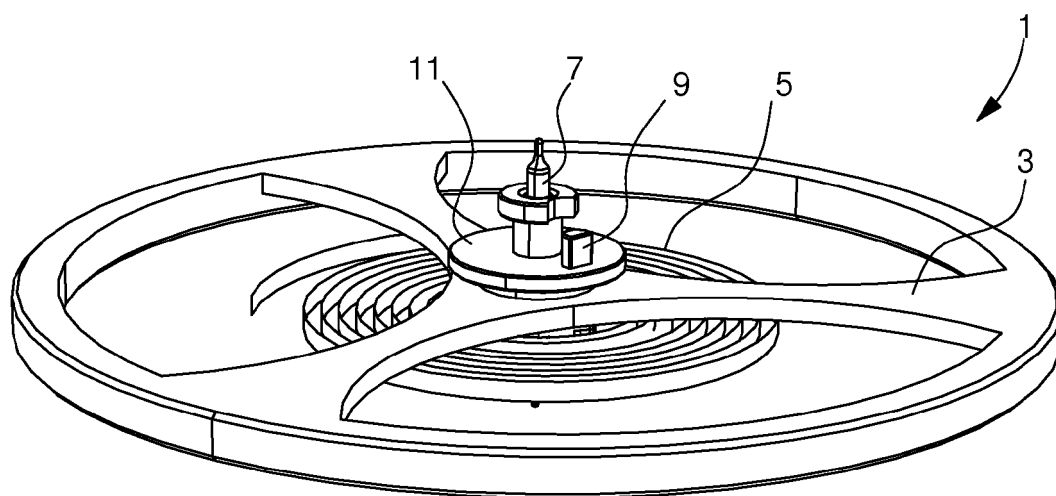
(54) **Résonateur balancier - spiral appairé**

(57) L'invention se rapporte à un résonateur (1) comportant un spiral (5) formé dans un cristal de quartz monocristallin d'axes cristallographiques x, y, z, l'axe x, étant l'axe électrique et l'axe y l'axe mécanique, et coopérant avec un balancier (3). Selon l'invention, le coefficient de dilatation ( $\alpha_b$ ) du balancier (3) est compris entre

+6 ppm. °C<sup>-1</sup> et +9,9 ppm. °C<sup>-1</sup> et l'angle ( $\theta$ ) de coupe du spiral (5) par rapport à l'axe z dudit cristal de quartz monocristallin compris entre -5° et +5° afin d'appairer le balancier (3) avec le spiral (5).

L'invention concerne le domaine des pièces d'horlogerie.

**Fig. 3**



## Description

### Domaine de l'invention

[0001] L'invention se rapporte à un résonateur balancier - spiral appairé et plus précisément un spiral formé à partir de quartz monocristallin.

### Arrière-plan de l'invention

[0002] Le document EP 1 519 250 décrit la fabrication d'un spiral en quartz monocristallin. Toutefois, un spiral en quartz monocristallin n'est pas facile à appairer dans la pratique.

### Résumé de l'invention

[0003] Le but de la présente invention est de pallier tout ou partie les inconvénients cités précédemment en proposant un appairage amélioré d'un spiral en quartz avec son balancier.

[0004] A cet effet, l'invention se rapporte à un résonateur comportant un spiral formé dans un cristal de quartz monocristallin d'axes cristallographiques x, y, z, l'axe x, étant l'axe électrique et l'axe y l'axe mécanique, et coopérant avec un balancier **caractérisé en ce que** le coefficient de dilatation du balancier est compris entre +6 ppm. °C<sup>-1</sup> et +9,9 ppm. °C<sup>-1</sup> pour un angle de coupe du spiral par rapport à l'axe z dudit cristal de quartz monocristallin compris entre -5° et +5° afin que le résonateur soit moins sensible aux variations de température.

[0005] Conformément à d'autres caractéristiques avantageuses de l'invention :

- le coefficient de dilatation du balancier est sensiblement égal à +9 ppm. °C<sup>-1</sup> pour un angle de coupe du spiral par rapport à l'axe z dudit cristal de quartz monocristallin sensiblement égal à +2°;
- au moins une partie du balancier est en titane ou en platine ;
- le coefficient de dilatation du balancier est sensiblement égal à +9,9 ppm. °C<sup>-1</sup> pour un angle de coupe du spiral par rapport à l'axe z dudit cristal de quartz monocristallin sensiblement égal à +5° ;
- au moins une partie du balancier est en durimphy.

### Description sommaire des dessins

[0006] 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 et 2 représentent schématiquement l'angle de coupe  $\theta$  d'un spiral dans un monocristal de quartz selon l'invention ;
- la figure 3 représente schématiquement un résonateur balancier - spiral selon l'invention.

## Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0007] Comme illustré à la figure 3, l'invention se rapporte à un résonateur 1 du type balancier 3 - spiral 5. Le balancier 3 et le spiral 5 sont préférentiellement montés sur le même axe 7. Dans un tel résonateur 1, le moment d'inertie  $I$  du balancier 3 répond à la formule :

$$I = mr^2 \quad (1)$$

dans laquelle  $m$  représente la masse et  $r$  le rayon de giration qui dépend évidemment du coefficient de dilatation  $\alpha_b$  du balancier.

[0008] De plus, la constante élastique  $C$  du spiral 5 répond à la formule :

$$C = \frac{Ehe^3}{12L} \quad (2)$$

dans laquelle  $E$  est le module d'Young du spiral,  $h$  sa hauteur,  $e$  son épaisseur et  $L$  sa longueur développée.

[0009] Enfin, la fréquence  $f$  du résonateur 1 balancier-spiral répond à la formule :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C}{I}} \quad (3)$$

[0010] Bien entendu, il est souhaité que la variation de la fréquence en fonction de la température d'un résonateur soit sensiblement nulle. La variation de la fréquence en fonction de la température dans le cas d'un résonateur balancier-spiral suit sensiblement la formule suivante :

$$\frac{\Delta f}{f} \frac{1}{\Delta T} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial E}{\partial T} \frac{1}{E} + 3 \cdot \alpha_s - 2 \cdot \alpha_b \right\} \quad (4)$$

où :

-  $\frac{\Delta f}{f} \frac{1}{\Delta T}$  est la variation de fréquence en fonction de la température ;

-  $\frac{\partial E}{\partial T} \frac{1}{E}$  est la variation du module d'Young en

fonction de la température, c'est-à-dire le coefficient thermoélastique (CTE) du spiral ;

-  $\alpha_s$  le coefficient de dilatation du spiral, exprimé en ppm. °C<sup>-1</sup> ;

-  $\alpha_b$  le coefficient de dilatation du balancier, exprimé en ppm. °C<sup>-1</sup>.

[0011] Les oscillations de tout résonateur destiné à une base de temps ou de fréquence devant être entretenues, la dépendance thermique comprend également une contribution éventuelle du système d'entretien comme, par exemple, un échappement à ancre suisse (non représenté) coopérant avec la cheville 9 du plateau 11 également monté sur l'axe 7.

[0012] Comme illustré aux figures 1 et 2, l'invention concerne plus particulièrement un résonateur 1 dans lequel le spiral 5 est formé à partir d'un monocristal de quartz d'axes cristallographiques x, y, z, l'axe x, étant l'axe électrique et l'axe y l'axe mécanique. On peut voir à ces figures que la hauteur  $h$  des spires a sensiblement la même orientation que l'axe cristallographique z. Plus précisément la hauteur  $h$  forme, avec l'axe z, un angle  $\theta$  qui peut être positif ou négatif. La modification de cet angle  $\theta$  permet de faire varier les caractéristiques du spiral 5 sans avoir à en modifier la géométrie.

[0013] On comprend donc à partir des formules (1)-(4) qu'il est possible d'appairer le spiral 5 avec le balancier 3 afin que la fréquence  $f$  du résonateur 1 soit quasiment insensible aux variations de température. L'utilisation du quartz pour la fabrication d'un spiral 5 offre également l'avantage, outre ses excellentes caractéristiques thermiques, de posséder aussi d'excellentes propriétés mécaniques et chimiques, en particulier au niveau du vieillissement et de la très faible sensibilité aux champs magnétiques.

[0014] Pour un angle de coupe  $\theta$  sensiblement égal à +2°, il a ainsi empiriquement été trouvé qu'un coefficient de dilatation  $\alpha_b$  du balancier 3 devait être sensiblement égal à +9 ppm. °C<sup>-1</sup> pour obtenir un coefficient thermique sensiblement égal à +0,06 s.j<sup>-1</sup>. °C<sup>-1</sup> qui est très en-dessous des conditions COSC égalent à  $\pm 0,6$  s.j<sup>-1</sup>. °C<sup>-1</sup>.

[0015] Plus généralement, pour que le coefficient thermique de résonateur 1 reste sensiblement à  $\pm 0,1$  s.j<sup>-1</sup>. °C<sup>-1</sup>, c'est-à-dire toujours dans les conditions COSC, et pour un angle  $\theta$  de coupe du spiral 5 par rapport à l'axe z du cristal de quartz monocristallin compris entre -5° et +5°, le coefficient de dilatation  $\alpha_b$  du balancier 3 est compris entre +6 ppm. °C<sup>-1</sup> et +9,9 ppm. °C<sup>-1</sup>.

[0016] Pour respecter ces coefficients de dilatation  $\alpha_b$ , le balancier 3 peut notamment comporter du titane et/ou du durimphy (symbole AFNOR : Z2NKD 18-09-05) et/ou du platine. En effet, les coefficients de dilatation  $\alpha_b$  du titane et du platine sont sensiblement égaux à respectivement +9 ppm. °C<sup>-1</sup> et celui du durimphy sensiblement égal à +9,9 ppm. °C<sup>-1</sup>. De plus, avantageusement, on notera que le durimphy peut être faiblement sensible aux champs magnétiques selon sa température de revenu.

[0017] 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, tout autre matériau du balancier 3 respectant les coefficients de dilatation expliqués ci-des-

sus peuvent être utilisés.

## Revendications

1. Résonateur (1) comportant un spiral (5) formé dans un cristal de quartz monocristallin d'axes cristallographiques x, y, z, l'axe x, étant l'axe électrique et l'axe y l'axe mécanique, et coopérant avec un balancier (3) **caractérisé en ce que** le coefficient de dilatation ( $\alpha_b$ ) du balancier (3) est compris entre +6 ppm. °C<sup>-1</sup> et +9,9 ppm. °C<sup>-1</sup> et **en ce que** l'angle ( $\theta$ ) de coupe du spiral (5) par rapport à l'axe z dudit cristal de quartz monocristallin compris entre -5° et +5° afin que le résonateur (1) soit moins sensible aux variations de température.
2. Résonateur (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le coefficient de dilatation ( $\alpha_b$ ) du balancier (3) est sensiblement égal à +9 ppm. °C<sup>-1</sup> et **en ce que** l'angle ( $\theta$ ) de coupe du spiral (5) par rapport à l'axe z dudit cristal de quartz monocristallin sensiblement égal à +2°.
3. Résonateur (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'**au moins une partie du balancier (3) est en titane.
4. Résonateur (1) selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'au moins une partie du balancier (3) est en platine.
5. Résonateur (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le coefficient de dilatation ( $\alpha_b$ ) du balancier (3) est sensiblement égal à +9,9 ppm. °C<sup>-1</sup> et **en ce que** l'angle ( $\theta$ ) de coupe du spiral (5) par rapport à l'axe z dudit cristal de quartz monocristallin sensiblement égal à +5°.
6. Résonateur (1) selon la revendication précédente, **caractérisé en ce qu'**au moins une partie du balancier (3) est en durimphy.

Fig. 1

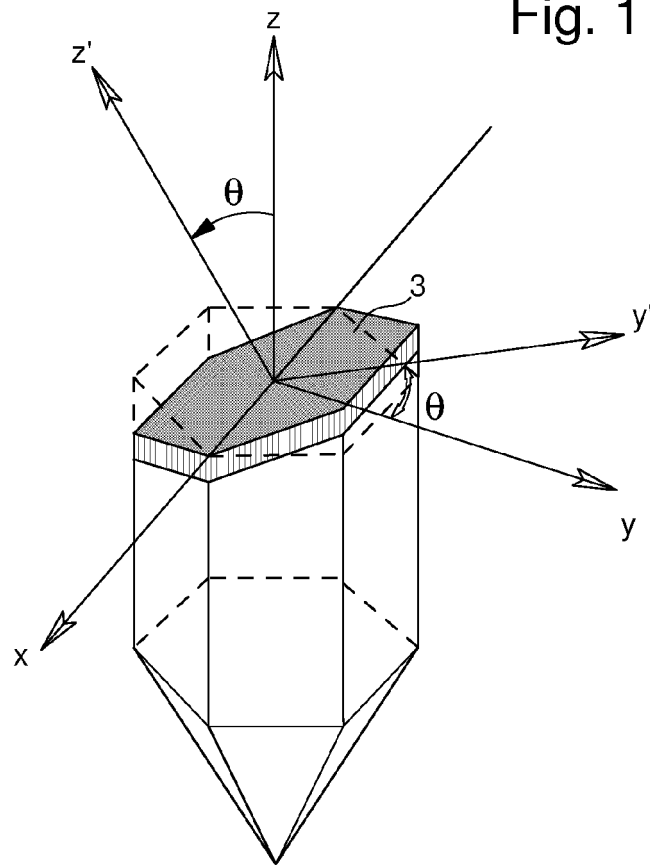


Fig. 2

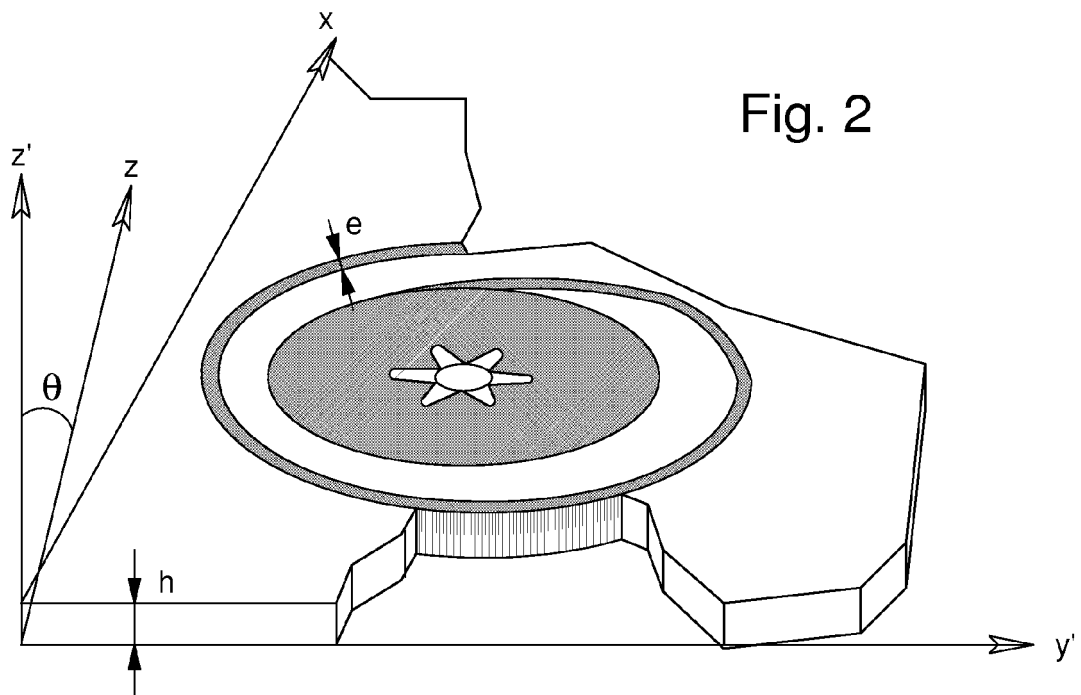
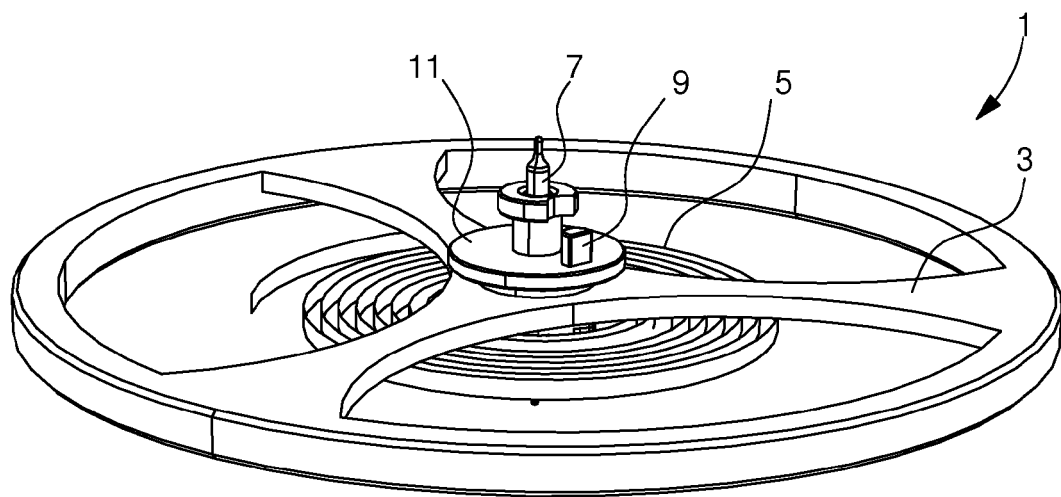


Fig. 3



**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 1519250 A [0002]