

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **705 127 B1**

(51) Int. Cl.: **G04B 17/22** (2006.01)
G04B 17/06 (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: 01018/11

(22) Date de dépôt: 16.06.2011

(43) Demande publiée: 31.12.2012

(24) Brevet délivré: 30.11.2015

(45) Fascicule du brevet publié: 30.11.2015

(73) Titulaire(s):
Nivarox-FAR S.A., Avenue du Collège 10
2400 Le Locle (CH)

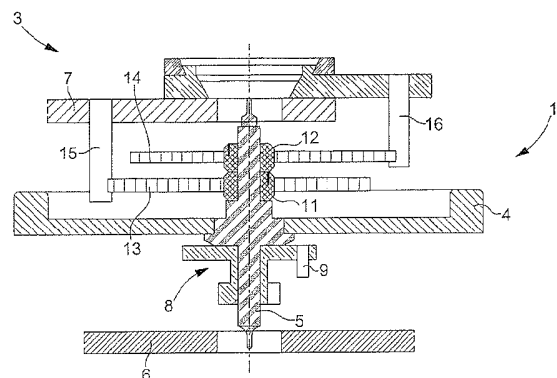
(72) Inventeur(s):
Christian Charbon, 2054 Chézard-St-Martin (CH)
Thierry Hessler, 2024 St-Aubin (CH)

(74) Mandataire:
ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA,
Faubourg de l'Hôpital 3
2001 Neuchâtel (CH)

(54) **Résonateur thermocompensé à deux spiraux.**

(57) L'invention se rapporte à un résonateur (1) comportant un balancier (4) monté sur un axe (5) de pivotement, un premier ressort-spiral (13) monté sur ledit axe à l'aide d'une première virole (11), un deuxième ressort-spiral (14) monté sur ledit axe à l'aide d'une deuxième virole (12). Selon l'invention, le matériau du premier ressort-spiral (13) comporte un coefficient thermoélastique qui varie dans le sens opposé à celui du matériau du deuxième ressort-spiral (14) afin de diminuer la sensibilité de la fréquence dudit résonateur aux variations de température.

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



Description

Domaine de l'invention

[0001] L'invention se rapporte à un résonateur du type balancier – spiral qui est thermocompensé.

Arrière plan de l'invention

[0002] Le document EP 1 039 352 divulgue un ressort-spiral en alliage particulier dont la surface externe comporte un revêtement d'oxyde. Le document divulgue un ressort-spiral qui est thermocompensé c'est-à-dire que, notamment, son coefficient thermoélastique, également appelé coefficient thermique du module d'Young, reste sensiblement proche de zéro. Cependant, le ressort est très difficile à mettre en œuvre ce qui occasionne un taux de rebut et un prix de revient qui sont très élevés.

Résumé de l'invention

[0003] Le but de la présente invention est de pallier tout ou partie les inconvénients cités précédemment en proposant une solution alternative plus simple qui autorise une grande précision de fabrication tout en permettant une mise en œuvre aisée.

[0004] A cet effet, l'invention se rapporte à un résonateur comportant un balancier monté sur un axe de pivotement, un premier ressort-spiral monté sur ledit axe à l'aide d'une première virole, un deuxième ressort-spiral monté sur ledit axe à l'aide d'une deuxième virole caractérisé en ce que le matériau du premier ressort-spiral comporte un coefficient thermoélastique qui varie dans le sens opposé à celui du matériau du deuxième ressort-spiral afin de diminuer la sensibilité de la fréquence dudit résonateur aux variations de température.

[0005] On comprend donc que la compensation thermique est obtenue par les variations distinctes des modules d'Young des premier et deuxième spiraux. Par conséquent, tous les couples de matériaux peuvent être envisagés sans être limité par leurs procédés de fabrication. Il est ainsi possible de réaliser par calcul la compensation au premier, et éventuellement au deuxième ordre, de la dépendance thermique de l'oscillateur, c'est-à-dire le résonateur balancier – spiraux avec son système de distribution comme un système d'échappement du type à ancre suisse.

[0006] Conformément à d'autres caractéristiques avantageuses de l'invention:

- les premier et deuxième ressorts-spiraux sont enroulés dans le même sens ou en sens opposés;
- les extrémités reliant lesdites viroles des premier et deuxième ressorts-spiraux sont alignées ou décalées angulairement sur l'axe l'une par rapport à l'autre;
- les extrémités opposées à celles reliant lesdites viroles des premier et deuxième ressorts-spiraux sont à l'aplomb l'une de l'autre ou décalées;
- le premier ressort-spiral est monté entre le balancier et le deuxième ressort-spiral ou le balancier est monté entre les deux ressorts-spiraux;
- au moins une des viroles est venue de forme avec son ressort-spiral associé;
- au moins un des matériaux des ressorts-spiraux est paramagnétique;
- le premier matériau est un alliage FeNi36 du type Invar et le deuxième matériau est de l'aluminium ou du palladium;
- le premier matériau est du silicium cristallin et le deuxième matériau est du dioxyde de silicium.

[0007] L'invention se rapporte également à une pièce d'horlogerie caractérisée en ce qu'elle comporte un résonateur selon l'une des variantes précédentes.

Description sommaire des dessins

[0008] 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 une pièce d'horlogerie selon l'invention;

la fig. 2 est une représentation d'une variante de l'invention.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0009] L'invention se rapporte à un résonateur 1 et plus particulièrement à un résonateur du type balancier 4 – spiral 13, 13', 14, 14' pour une pièce d'horlogerie 3.

[0010] Comme visible à la fig. 1, la pièce d'horlogerie 3 selon l'invention comporte une architecture classique à part l'utilisation de deux ressorts-spiraux 13, 13', 14, 14' en parallèle. Ainsi, le résonateur 1 du type balancier 4 – spiral 13, 13', 14, 14' est monté entre une platine 6 et un coq 7 par l'intermédiaire d'un axe 5 de balancier.

[0011] Selon l'invention, le balancier 4 et les ressorts-spiraux 13, 13', 14, 14' sont montés sur l'axe 5. Les ressorts-spiraux 13, 13', 14, 14' sont rendus solidaires dudit axe 5 respectivement par les viroles 11, 11', 12, 12'. Dans l'exemple illustré à la fig. 1, le premier ressort-spiral 13 est monté entre le balancier 4 et le deuxième ressort-spiral 14.

[0012] Bien entendu, de manière alternative, le balancier 4 peut également être monté entre les deux ressorts-spiraux 13, 14 sans que le fonctionnement en soit altéré.

[0013] Avantageusement selon l'invention, le résonateur 1 comporte deux ressorts-spiraux 13, 13', 14, 14', le matériau du premier ressort-spiral 13, 13' comportant un coefficient thermoélastique qui varie dans le sens opposé à celui du matériau du deuxième ressort-spiral 14, 14' afin de diminuer la sensibilité de la fréquence dudit résonateur aux variations de température.

[0014] En effet, il s'est avéré que la fabrication d'un unique spiral composé de deux matériaux différents peut être très difficile à réaliser. Il a donc été imaginé de former deux spiraux distincts dont chacun peut être fabriqué avec un procédé optimisé au matériau utilisé, c'est-à-dire le meilleur procédé quant à la qualité géométrique et le taux de rebut en fonction du matériau. Typiquement, la fabrication pour chaque spiral 13, 13', 14, 14' peut être positive, c'est-à-dire en ajoutant/modifiant de la matière, et/ou négative, c'est-à-dire en enlevant de la matière. De manière non limitative, on peut ainsi citer la coulée, la déformation à chaud, le processus LIGA, l'électroformage, le gravage sec ou humide, le frittage, le dépôt en phase vapeur ou le tréfilage.

[0015] Ainsi, tous les couples de matériaux peuvent être envisagés et le procédé n'a pas à être adapté pour faire au mieux par rapport aux matériaux qui doivent être monté l'un sur l'autre.

[0016] Comme visible aux fig. 1 et 2, les deux spiraux 13, 13', 14, 14' étant en parallèle, la fréquence f du système considéré s'écrit de la manière suivante:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{I}} \quad \text{avec } C_i = \frac{E_i h_i e_i^3}{12L_i} \quad \text{et } I = mr^2$$

[0017] Où:

- f est la fréquence du résonateur en Hz;
- C_i sont les couples élastiques des spiraux en $\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{rad}^{-1}$ avec $i = 1, 2$;
- E_i , le module de Young de la matière dont est constitué le spiral i en $\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$;
- h_i , e_i , L_i sont la hauteur, l'épaisseur et la longueur du spiraux i en m ;
- I est le moment d'inertie du balancier en $\text{kg}\cdot\text{m}^2$;
- m sa masse en kg ;
- r son rayon de giration en m .

[0018] En supposant les matériaux isotropes et en ne considérant que la dépendance thermique au premier ordre, la modification relative de fréquence s'écrit;

$$\frac{\Delta f}{f} \frac{1}{\Delta T} = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial E_1}{\partial T} \frac{1}{E_1} + 3 \cdot \alpha_{spi,1} \right) \frac{C_1}{C_1 + C_2} + \left(\frac{\partial E_2}{\partial T} \frac{1}{E_2} + 3 \cdot \alpha_{spi,2} \right) \frac{C_2}{C_1 + C_2} - 2 \cdot \alpha_{bal} \right\}$$

[0019] Où:

- $\frac{\Delta f}{f} \frac{1}{\Delta T}$ représente la variation relative de la fréquence f en fonction de la température T ;
- $\frac{\partial E_i}{\partial T} \frac{1}{E_i}$ représente le coefficient thermoélastique du spiral i (CTE_i), c'est-à-dire la variation du module d'Young du spiral i (E_i) en fonction de la température (T);
- $\alpha_{spi,i}$ est le coefficient de dilatation du spiral i ;
- α_{bal} est le coefficient de dilatation du balancier.

[0020] Il est intéressant de remarquer que la compensation dépend des coefficients thermiques des deux spiraux 13, 13', 14, 14' selon des proportions qui elles dépendent des couples élastiques C_1 , C_2 . Ainsi, pour annuler la dépendance thermique de la fréquence du résonateur 1, il est possible de choisir deux matériaux qui satisfont aux exigences horlogères et thermiques, avec typiquement des coefficients thermoélastiques CTE_1 , CTE_2 de signe opposé, mais aussi d'adapter la géométrie des spiraux afin de leur conférer des couples élastiques C_1 , C_2 déterminés.

[0021] Un développement similaire peut être fait au deuxième ordre de perturbation. Le paramètre le plus important dans ce cas est généralement le coefficient thermoélastique du 2^{ème} ordre ($\text{CTE}_i^{(2)}$) qu'on définit ici en approchant la dépendance thermique des modules d'Young par la fonction suivante:

$$E_i(T) = E_i \cdot \left(1 + \text{CTE}_i^{(1)} \cdot \Delta T + \text{CTE}_i^{(2)} \Delta T^2 \right)$$

[0022] Il est donc possible de trouver des couples de matériaux qui permettent de compenser au premier, et éventuellement au deuxième ordre, la dépendance thermique de l'oscillateur, c'est-à-dire le résonateur 1 balancier – spiraux avec son système de distribution comme un système d'échappement du type à ancre suisse.

CH 705 127 B1

[0023] Des calculs ont été réalisés afin de déterminer des exemples de couples élastiques C_1 , C_2 pour les spiraux 13, 13', 14, 14' afin d'annuler la dépendance thermique de la fréquence de résonance, tout en obtenant la bonne fréquence.

[0024] Le tableau ci-dessous propose, de manière non limitative, divers couples de matériaux pour obtenir un résonateur à 4 Hz avec un balancier 4 en CuBe d'inertie 16 mg·cm²:

Spiral 1	Spiral 2	C_1 [dy·cm·rad ⁻¹]	C_2 [dy·cm·rad ⁻¹]
Si	SiO ₂	6,8	3,3
Al	Invar	3,1	7,0
Pd	Invar	6,1	4,0

[0025] Préférentiellement selon l'invention, les premier et deuxième ressorts-spiraux 13, 14 sont enroulés dans le même sens pour améliorer l'isochronisme. De plus, les extrémités opposées à celles reliant lesdites viroles 11,12 des premier et deuxième ressorts-spiraux 13, 14 ne sont pas à l'aplomb l'une de l'autre comme illustré à la fig. 1 mais décalées afin de faciliter leur montage dans des pitons 15, 16 solidaires du coq 7.

[0026] Toutefois, de manière alternative, les premier et deuxième ressorts-spiraux 13', 14' peuvent être enroulés en sens opposés comme illustré à la fig. 2 et les extrémités opposées à celles reliant lesdites viroles des premier et deuxième ressorts-spiraux 13', 14' peuvent être à l'aplomb l'une de l'autre en étant reliées par un piton unique comme illustré à la fig. 2.

[0027] De manière similaire, les extrémités reliant lesdites viroles 11, 11', 12, 12' des premier et deuxième ressorts-spiraux 13, 13', 14, 14' peuvent être à l'aplomb l'une de l'autre comme à la fig. 2 ou non, c'est-à-dire décalées comme à la fig. 1.

[0028] 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 couples de matériaux possibles ne sauraient se limiter aux exemples présentés. Ainsi, d'autres matériaux peuvent être envisagés sans sortir du cadre de l'invention.

[0029] A titre d'exemple, on peut notamment prévoir qu'au moins un des matériaux des ressorts-spiraux 13, 13', 14, 14' est paramagnétique afin de limiter la sensibilité du résonateur 1 aux champs magnétiques comme du silicium ou un alliage à base de niobium et de zirconium.

[0030] On peut également citer de manière non exhaustive des matériaux comme des composés comportant un métal-loïde comme du dioxyde de germanium, comportant un verre céramique comme du zerodur et/ou comportant un métal ou un alliage métallique comme de l'acier, un composé de fer et de manganèse, un composé de manganèse et de nickel, ou un composé de manganèse et de cuivre. Bien entendu, au moins un spiral peut également être formé à partir de deux matériaux distincts, c'est-à-dire au moins un des spiraux ou les deux peuvent être composites.

[0031] Dans l'exemple illustré à la fig. 1, un plateau 8 muni d'une cheville 9 et destiné à coopérer avec un dispositif d'échappement est également monté sur l'axe 5. Bien entendu, les variantes prévues aux fig. 1 et 2 du document EP 2322 996, qui est incorporé par référence à la présente demande, peuvent également être mises en œuvre.

[0032] Ainsi, il peut être prévu de ne pas utiliser de plateau et que la cheville soit directement solidaire du balancier comme illustré à la fig. 2 du document EP 2322 996 ou même qu'elle soit monobloc avec le balancier. Il est également envisageable que la virole et/ou la cheville soient venues de forme avec un des ressorts-spiraux comme illustré à la fig. 2 ou à la fig. 1 du document EP 2 322 996.

Revendications

1. Résonateur (1) comportant un balancier (4) monté sur un axe (5) de pivotement, un premier ressort-spiral (13, 13') monté sur ledit axe à l'aide d'une première virole (11, 11'), un deuxième ressort-spiral (14, 14') monté sur ledit axe à l'aide d'une deuxième virole (12, 12') caractérisé en ce que le matériau du premier ressort-spiral (13, 13') comporte un coefficient thermoélastique qui varie dans le sens opposé à celui du matériau du deuxième ressort-spiral (14, 14') afin de diminuer la sensibilité de la fréquence dudit résonateur aux variations de température.
2. Résonateur (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que les premier et deuxième ressorts-spiraux (13, 14) sont enroulés dans le même sens.
3. Résonateur (1) selon la revendication 1, caractérisé en ce que les premier et deuxième ressorts-spiraux (13', 14') sont enroulés en sens opposés.
4. Résonateur (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les extrémités reliant lesdites viroles (11', 12') des premier et deuxième ressorts-spiraux (13', 14') sont alignées angulairement sur l'axe (5) l'une par rapport à l'autre.

CH 705 127 B1

5. Résonateur (1) selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les extrémités reliant lesdites viroles (11, 12) des premier et deuxième ressorts-spiraux (13, 14) sont décalées angulairement sur l'axe (5) l'une par rapport à l'autre.
6. Résonateur (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les extrémités opposées à celles reliant lesdites viroles (11', 12') des premier et deuxième ressorts-spiraux (13', 14') sont à l'aplomb l'une de l'autre.
7. Résonateur (1) selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les extrémités opposées à celles reliant lesdites viroles (11, 12) des premier et deuxième ressorts-spiraux (13, 14) ne sont pas à l'aplomb l'une de l'autre.
8. Résonateur (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le balancier (4) est monté entre les deux ressorts-spiraux (13, 13', 14, 14').
9. Résonateur (1) selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le premier ressort-spiral (13, 13') est monté entre le balancier (4) et le deuxième ressort-spiral (14, 14').
10. Résonateur (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins une des viroles (11, 11', 12, 12') est venue de forme avec son ressort-spiral (13, 13', 14, 14') associé.
11. Résonateur (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins un des matériaux des ressorts-spiraux (13, 13', 14, 14') est paramagnétique.
12. Résonateur (1) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le premier matériau est un alliage FeNi36 et le deuxième matériau est de l'aluminium.
13. Résonateur (1) selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le premier matériau est un alliage FeNi36 et le deuxième matériau est du palladium.
14. Résonateur (1) selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le premier matériau est du silicium cristallin et le deuxième matériau est du dioxyde de silicium.
15. Pièce d'horlogerie (3) caractérisée en ce qu'elle comporte un résonateur (1) selon l'une des revendications précédentes.

Fig. 1

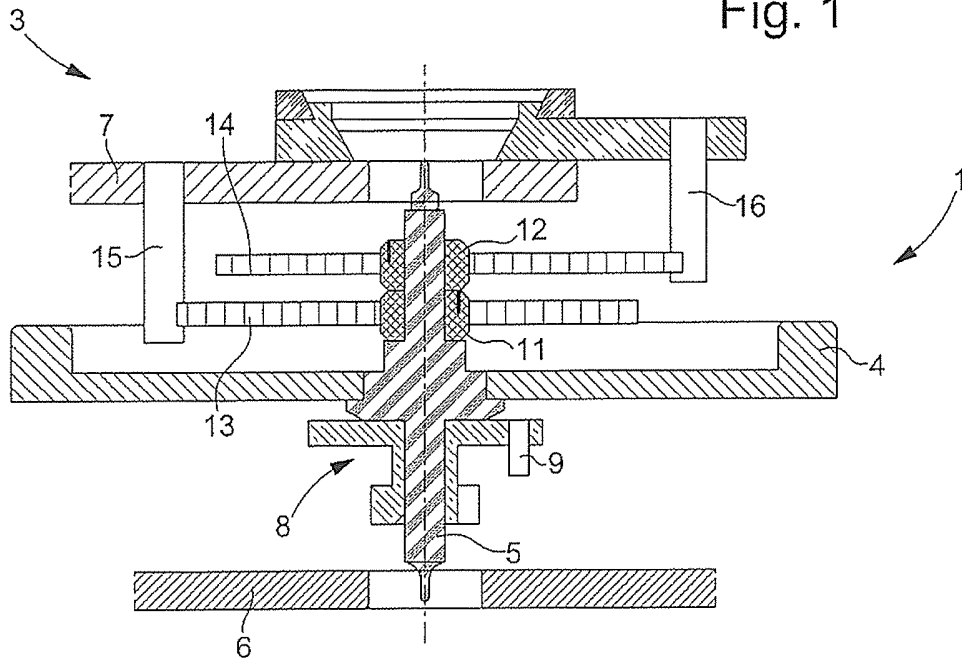


Fig. 2

