



(11) **EP 1 258 786 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**20.02.2008 Bulletin 2008/08**

(51) Int Cl.:  
**G04B 17/22 (2006.01) C22C 27/02 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **01810497.6**

(22) Date de dépôt: **18.05.2001**

(54) **Spiral auto-compensateur pour oscillateur mécanique balancier-spiral**

Selbstkompensierende Feder für einen mechanischen Oszillator vom Unruh-Spiralfeder-Typ

Self-compensating spring for a mechanical oscillator of balance-spring type

(84) Etats contractants désignés:  
**CH DE FR GB LI**

(43) Date de publication de la demande:  
**20.11.2002 Bulletin 2002/47**

(73) Titulaire: **ROLEX SA**  
**1211 Genève 24 (CH)**

(72) Inventeurs:  
• **Baur, Jacques**  
**1272 Genolier (CH)**

• **Paschoud, Francois**  
**1174 Montherod (CH)**  
• **Sol, Patrick**  
**01420 Chanay (FR)**

(74) Mandataire: **Savoye, Jean-Paul et al**  
**Moinas & Savoye S.A.,**  
**42, rue Plantamour**  
**1201 Genève (CH)**

(56) Documents cités:  
**GB-A- 892 327 GB-A- 1 166 701**  
**US-A- 3 183 085 US-A- 5 881 026**

**EP 1 258 786 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

**[0001]** La présente invention se rapporte à un spiral auto-compensateur pour oscillateur mécanique balancier-spiral de mouvement d'horlogerie ou autre instrument de précision, en alliage paramagnétique Nb-Hf possédant un coefficient thermique du module de Young (CTE) positif, apte à compenser les dilatations thermiques du spiral et du balancier.

**[0002]** Toutes les méthodes proposées pour compenser ces variations de fréquence sont basées sur la considération que cette fréquence propre dépend exclusivement du rapport entre la constante du couple de rappel exercé par le spiral sur le balancier et le moment d'inertie de ce dernier, comme indiqué dans la relation suivante:

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

F = fréquence propre de l'oscillateur avec

C = constante du couple de rappel exercé par le spiral de l'oscillateur

I = moment d'inertie du balancier de l'oscillateur

**[0003]** Depuis la découverte des alliages à base de Fe-Ni possédant un coefficient thermique du module de Young (ci-après CTE) positif, la compensation thermique de l'oscillateur mécanique est obtenue en ajustant le CTE du spiral en fonction des coefficients de dilatation thermique du spiral et du balancier. En effet, en exprimant le couple et l'inertie à partir des caractéristiques du spiral et du balancier, puis en dérivant l'équation (1) par rapport à la température, on obtient la variation thermique relative de la fréquence propre:

$$\frac{1}{F} \frac{dF}{dT} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{E} \frac{dE}{dT} + 3\alpha_s - 2\alpha_b \right) \quad (2)$$

avec:

E: module de Young du spiral de l'oscillateur

$\frac{1}{E} \frac{dE}{dT} = \text{CTE} = \text{coefficient thermique du module de Young du spiral de l'oscillateur}$

$\alpha_s$  : coefficient de dilatation thermique du spiral de l'oscillateur

$\alpha_b$  : coefficient de dilatation thermique du balancier de l'oscillateur

**[0004]** En ajustant le terme d'autocompensation  $A = \frac{1}{2}(\text{CTE} + 3\alpha_s)$  à la valeur du coefficient de dilatation thermique du balancier, il est possible d'annuler l'équation (2). Ainsi, la variation thermique de la fréquence propre de l'oscillateur mécanique peut être éliminée.

**[0005]** Les coefficients de dilatation thermique  $\alpha_b$  des matériaux pour balanciers les plus utilisés, comme les alliages de cuivre, d'argent, d'or, de platine ou d'acier se situent dans un domaine de l'ordre de 10 à 20 ppm/°C. Pour compenser les effets des variations de température sur la fréquence propre des oscillateurs dues à leur dilatation, les alliages pour spiraux doivent donc avoir un terme d'auto-compensation correspondant. La précision désirée pour les montres exige de pouvoir ajuster en fabrication, de manière contrôlée, le terme d'auto-compensation avec une tolérance de quelques ppm/°C autour de la valeur recherchée.

**[0006]** Les alliages ferromagnétiques à base de fer, nickel ou cobalt utilisés actuellement pour la fabrication des spiraux possèdent un CTE anormalement positif dans une plage d'environ 30°C autour de la température ambiante, dû à la proximité de leur température de Curie. Au voisinage de cette température, les effets magnétostrictifs qui diminuent le module de Young de ces alliages disparaissent, entraînant une augmentation du module. Outre le fait que cette plage de température est relativement étroite, ces alliages sont sensibles aux effets des champs magnétiques. Ceux-ci modifient les propriétés élastiques des spiraux de manière irréversible et changent de ce fait la fréquence propre de l'oscillateur mécanique. En outre, les propriétés élastiques des alliages ferromagnétiques varient avec le taux d'écroutis-

sage à froid, ce qui nécessite de contrôler exactement ce paramètre lors de la fabrication du spiral.

**[0007]** Les valeurs de CTE recherchées pour les spiraux réalisés avec cette famille d'alliages sont ajustées par un traitement thermique de précipitation qui fixe également la forme définitive du spiral par relaxation.

**[0008]** On a déjà proposé dans le CH-551 032 (D1), dans le CH-557 557 (D2) et dans le DE-C3-15 58 816 (D3) des alliages paramagnétiques à forte susceptibilité magnétique et coefficient thermique de la susceptibilité négatif, comme alternative aux alliages ferromagnétiques pour la fabrication de spiraux autocompenseurs et de ressorts de précision. Ces alliages possèdent un CTE anormalement positif et ont l'avantage d'avoir des propriétés élastiques insensibles aux champs magnétiques. Leurs propriétés élastiques dépendent de la texture créée lors du tréfilage du spiral, mais peu du taux d'écrouissage, au contraire des alliages ferromagnétiques. De plus, comme mentionné dans le document D3, ces alliages offrent un domaine de compensation thermique des oscillateurs mécaniques qui s'étend sur plus de 100°C autour de la température ambiante.

**[0009]** Les causes physiques qui créent le CTE anormalement positif de ces alliages paramagnétiques sont expliquées dans les documents susmentionnés. Selon eux, ces alliages possèdent une forte densité d'états électronique au niveau de Fermi, ainsi qu'un fort couplage électron-phonon, ce qui engendre ce comportement anormal du CTE.

**[0010]** Le document D3 cite en particulier comme étant susceptibles de convenir à la fabrication de spiraux pour oscillateurs de mouvements d'horlogerie, des alliages dans lesquels le Nb ou le Ta est allié au Zr, au Ti ou à l'Hf qui se trouvent dans ces alliages dans des proportions telles qu'ils sont capables de précipiter en deux phases.

**[0011]** On a encore proposé dans le EP 0 886 195 (D4) un alliage Nb-Zr contenant entre 5% et 25% en poids de Zr et au moins 500 ppm en poids d'un agent dopant formé au moins en partie d'oxygène. Avec cet alliage, le CTE est contrôlé par la texture. La précipitation qui se produit au cours du processus de fixage induit une recristallisation qui modifie la texture et permet d'ajuster le CTE. L'oxygène influence la précipitation et la recristallisation et donc le CTE.

**[0012]** L'ajustement du CTE lors de l'opération de fixage est difficile à maîtriser. En effet, la texture qui contrôle le CTE est modifiée au cours du fixage par la recristallisation. Or, dans les alliages de Nb-Zr-O, le déclenchement de la recristallisation et son déroulement dépendent de la concentration d'oxygène, du taux d'écrouissage et de la température.

On a constaté qu'avec ces alliages, la plage de température sur laquelle se déroule la recristallisation est très étroite (environ 50°C). De plus, la variation de CTE induite est grande, de l'ordre de 150 ppm/°C entre le début et la fin de recristallisation. L'étroit intervalle de température dans lequel se déroule la recristallisation et cette forte variation du CTE rendent l'ajustement du CTE des alliages Nb-Zr-O difficilement reproductible. L'étroitesse de cet intervalle de température est due au fait que cette réaction est déclenchée par la précipitation des phases riches en Zr à partir de la solution solide.

**[0013]** Alors que le document D3 se fonde sur la capacité des composants de l'alliage de précipiter en deux phases, le ressort avec CTE anormalement positif est fabriqué à partir de l'alliage recuit à haute température puis refroidi rapidement de manière à obtenir une solution solide sursaturée. Dans cet état, l'alliage est ensuite déformé à froid à plus de 85%. Cette forte déformation induit une texture favorable à un CTE positif. Pour ajuster le CTE à la valeur désirée, l'alliage est finalement traité thermiquement dans un intervalle de température qui permet la précipitation de la solution solide sursaturée. Les phases qui précipitent à partir de la solution solide ont des CTE plus faibles, ce qui entraîne une diminution du CTE global et permet son ajustement à la valeur désirée. La recristallisation après la précipitation en deux phases est relativement difficile à maîtriser. En outre, dans le cas du Hf, la proportion de Hf doit être supérieure à 30% at., puisque jusqu'à cette concentration, cet élément est en solution solide dans le Nb. La capacité de déformation en est donc réduite.

**[0014]** Le but de la présente invention est un alliage qui permette de remédier, au moins en partie, aux inconvénients des alliages susmentionnés.

**[0015]** On a découvert, de façon surprenante, que des alliages Nb-Hf avec de très faibles proportions de Hf, c'est-à-dire, des proportions qui se situent bien au-dessous de la limite à partir de laquelle le Hf précipite, permettaient d'obtenir un CTE positif, cette limite s'abaissant jusqu'à 2% at.

**[0016]** L'invention a par conséquent pour objet un spiral autocompenseur pour oscillateur mécanique balancier-spiral de mouvement d'horlogerie ou autre instrument de précision, en alliage paramagnétique Nb-Hf possédant un coefficient thermique du module de Young (CTE) positif, apte à compenser les dilatations thermiques du spiral et du balancier, selon la revendication 1.

**[0017]** L'alliage à partir duquel le spiral objet de l'invention est réalisé présente plusieurs avantages.

**[0018]** Le Hf est en solution solide dans le Nb sur une très large gamme de concentration (jusqu'à 30% at.).

**[0019]** La contribution du Hf au CTE positif est très forte, de sorte que de faibles proportions de Hf sont nécessaires. C'est ainsi qu'environ 2% at. de Hf suffisent à rendre le CTE positif. Il s'est avéré, après essais, qu'un alliage Nb-Hf 4% at. possède un CTE de 13 ppm/°C après recristallisation partielle, ce qui correspond tout à fait aux valeurs requises dans le cas d'un système balancier-spiral.

**[0020]** Avec cet alliage Nb-Hf 4% at., l'ajustement du CTE est plus facile à maîtriser parce que:

1. La variation de CTE au cours de la recristallisation n'est que de 50 ppm/°C, soit trois fois moins que pour un

alliage Nb-Zr.

2. La recristallisation n'étant pas déclenchée par une précipitation, elle est plus lente et a lieu sur une très large plage de température (env. 400°C) comme le montre la figure annexée.

5 **[0021]** Enfin, la faible concentration de Hf nécessaire pour avoir le CTE requis de 13 ppm/°C améliore la capacité de déformation du spiral et facilite les opérations de tréfilage.

**[0022]** Le spiral en alliage de Nb-Hf peut encore contenir un ou plusieurs éléments additionnels comme Ti, Ta, Zr, V, Mo, W, Cr en concentrations telles qu'aucune précipitation n'ait lieu durant l'opération de fixage de la forme du spiral.

**[0023]** L'effet de l'oxygène sur le spiral Nb-Hf s'est révélé faible, voire nul.

10

## Revendications

15 1. Spiral autocompensateur pour oscillateur mécanique balancier-spiral de mouvement d'horlogerie ou autre instrument de précision, en alliage paramagnétique Nb-Hf possédant un coefficient thermique du module de Young (CTE) tel, qu'il permet d'annuler substantiellement l'expression:

$$20 \quad \frac{1}{E} \frac{dE}{dT} + 3\alpha_s - 2\alpha_b$$

avec:

25 E: module de Young du spiral de l'oscillateur

30

$\frac{1}{E} \frac{dE}{dT}$  = CTE = coefficient thermique du module de Young du spiral de l'oscillateur

35

$\alpha_s$  : coefficient de dilatation thermique du spiral de l'oscillateur

$\alpha_b$  : coefficient de dilatation du balancier de l'oscillateur,

caractérisé en ce qu'il contient entre 2% et 30% at. de Hf.

40 2. Spiral selon la revendication 1, dans lequel l'alliage contient moins de 10% at. de Hf.

40

## Claims

45 1. A self-compensating spiral spring for a mechanical balance-spiral spring oscillator for a watch or clock movement or other precision instrument, made of an Nb-Hf paramagnetic alloy possessing a thermal coefficient of Young's modulus (TCE), such that it enables the following expression to be substantially equal to zero:

$$50 \quad \frac{1}{E} \frac{dE}{dT} + 3\alpha_s - 2\alpha_b$$

where:

55 E: Young's modulus of the spiral spring of the oscillator;

E d 1

modulus of the spiral spring of the oscillator;

$\alpha_s$  : thermal expansion coefficient of the spiral spring of the oscillator;

$\alpha_b$  : thermal expansion coefficient of the balance the oscillator,

**characterized in that** it contains between 2 at% and 30 at% Hf.

**2.** The spiral spring as claimed in claim 1, wherein the alloy contains less than 10 at% Hf.

## Patentansprüche

**1.** Selbstkompensierende Spiralfeder für einen mechanischen Spiralfeder-Unruhoszillator eines Uhrwerks oder anderen Präzisionsinstruments aus einer paramagnetischen Nb-Hf-Legierung, die einen solchen Temperaturkoeffizienten des Elastizitätsmoduls (TKE) besitzt, dass der Ausdruck:

$$\frac{1}{E} \frac{dE}{dT} + 3\alpha_s - 2\alpha_b ,$$

worin

$E$  = Elastizitätsmodul der Oszillatorspiralfeder,

$$\frac{1}{E} \frac{dE}{dT} = \text{TKE} = \text{Temperaturkoeffizient des Elastizitätsmoduls der Oszillator-}$$

spiralfeder,

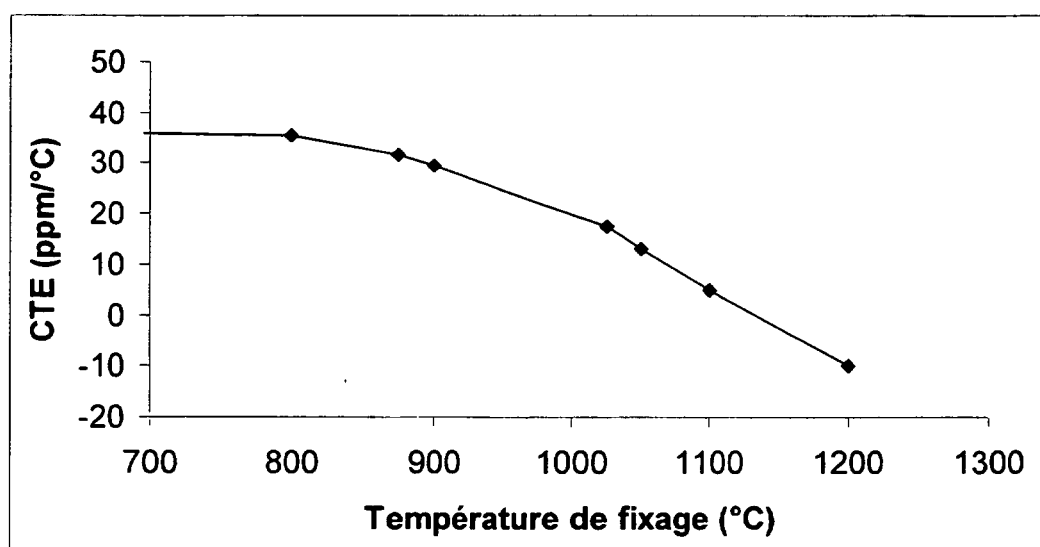
$\alpha_s$  = thermischer Ausdehnungskoeffizient der Oszillatorspiralfeder,

$\alpha_b$  = thermischer Ausdehnungskoeffizient der Oszillatorunruh,

im wesentlichen zu null kompensiert werden kann,

**dadurch gekennzeichnet, dass** sie zwischen 2 und 30 Atomprozent an Hf enthält.

**2.** Spiralfeder nach Ansprüche 1, in der die Legierung weniger als 10 Atomprozent an Hf enthält.



FIGURE

**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**

- CH 551032 [0008]
- CH 557557 [0008]
- DE 1558816 C3 [0008]
- EP 0886195 A [0011]