



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
23.03.2011 Bulletin 2011/12

(51) Int Cl.:
G04B 17/06 (2006.01) G04B 17/20 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **10405172.7**

(22) Date de dépôt: **16.09.2010**

(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 SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA ME RS

(30) Priorité: **21.09.2009 CH 14542009**
09.03.2010 CH 3192010

(71) Demandeur: **ROLEX SA**
1211 Genève 26 (CH)

(72) Inventeur: **Daout, Jérôme**
1180 Rolle (CH)

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

(54) **Spiral plat pour balancier d'horlogerie et ensemble balancier-spiral**

(57) Ce spiral plat pour balancier d'horlogerie comporte une lame enroulée et conformée pour assurer un développement sensiblement concentrique du spiral et une force quasi nulle exercée sur les pivots et le point d'encastrement, lors d'une rotation inférieure à 360° de

son extrémité interne par rapport à son extrémité externe dans les deux sens à partir de sa position de repos. La rigidité de sa lame décroît de manière progressive et sur plus de 360°, à partir de chacune de ses deux extrémités, la rigidité la plus faible se situant dans la partie médiane de ladite lame.

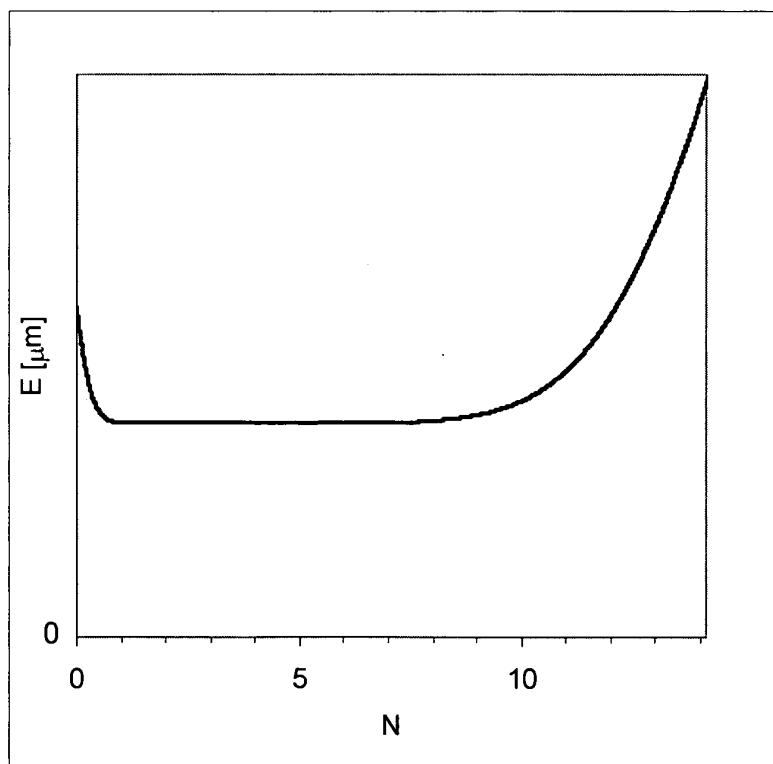


Figure 2

Description

[0001] La présente invention se rapporte à un spiral plat pour balancier d'horlogerie comportant une lame enroulée, conformée pour assurer un développement sensiblement concentrique du spiral et une force quasi nulle exercée sur les pivots et le point d'encastrement, lors de la rotation inférieure à 360° de son extrémité interne par rapport à son extrémité externe dans les deux sens, à partir de sa position de repos. Cette invention se rapporte également à un ensemble balancier-spiral.

[0002] Le développement non concentrique d'un spiral associé à un balancier d'horlogerie lors de l'oscillation de l'ensemble balancier-spiral provoque un décentrage du centre de gravité du spiral, qui se traduit, suivant les positions occupées par la montre, par un effet de retard ou d'avance, c'est-à-dire par une diminution ou une augmentation de la fréquence propre du système balancier-spiral. Ce décentrage du centre de gravité du spiral provoque également une pression latérale des pivots du balancier sur les paliers.

[0003] Ces effets de déséquilibre du spiral et de pressions latérales des pivots détruisent les conditions nécessaires à l'isochronisme des oscillations du balancier. Depuis le milieu du XVIII^e siècle, les horlogers s'étaient rendu compte que le développement non concentrique du spiral a une mauvaise influence sur l'isochronisme et en particulier que la pression latérale provoquée par un spiral décentré sur les pivots du balancier occasionne des perturbations de la marche et une usure des pivots. Ces mêmes horlogers ont alors préconisé de former une ou deux courbes terminales tout d'abord sur des spiraux cylindriques puis sur un spiral de type Archimède contenu dans un plan, c'est le *spiral* Breguet du nom de son inventeur.

[0004] Ces courbes étaient faites de manière plus ou moins empiriques et corrigées en fonction des résultats de la marche de l'oscillateur, avant que certaines formes soient retenues en fonction de ces résultats. Ce n'est que plusieurs dizaines d'années plus tard que les conditions mathématiques de cette courbe terminale ont été étudiées par Ed. Phillips, apportant ainsi une confirmation théorique aux intuitions antérieures des horlogers, à savoir que si le centre de gravité du spiral est maintenu sensiblement sur l'axe de balancier pendant l'oscillation du système balancier-spiral, le spiral n'exerce pratiquement aucune force latérale sur les pivots du balancier et son développement reste concentrique.

[0005] Les conditions énoncées par Phillips sont les mêmes que celles définies par les horlogers qui les avaient eux-mêmes déduites de leurs observations des défauts induits par le spiral, par rapport aux règles de l'isochronisme d'un corps oscillant énoncées au XVII^e siècle par Huygens.

[0006] Le spiral Breguet implique la formation d'une courbe terminale dans un plan parallèle à celui du spiral plat, ce qui nécessite la formation de deux coudes inversés pour former un segment de liaison incliné entre le

spiral et la courbe terminale parallèle.

[0007] Un spiral Breguet peut être réalisé en différents alliages ferromagnétiques ou paramagnétiques, notamment pour les spiraux auto-compensateurs. Par contre, il est beaucoup plus difficile à réaliser en un matériau fragile tel que le silicium mono-cristallin ou poly-cristallin. En effet, il n'est pas possible de former les deux coudes inversés destinés à permettre la formation de la courbe Breguet terminale en raison de la nature cassante d'un tel matériau fragile, et il est ainsi nécessaire de recourir à une technique permettant de former des structures solitaires sur plusieurs niveaux.

[0008] On a déjà proposé d'obtenir un effet technique comparable à celui de la courbe Breguet sur un spiral plat, en variant l'épaisseur de la lame du spiral.

[0009] Dans le US 209 642, on a proposé d'augmenter l'épaisseur de la lame du spiral de façon graduelle ou discontinue, depuis le centre jusqu'à l'extérieur du spiral.

[0010] Le CH 327 796 propose de modifier la section droite de la lame du spiral pour lui conférer une rigidité supérieure, sur un arc de 180° au maximum, soit au centre, soit à l'extérieur. Cette modification est réalisée par pliage, par ajout de matière (déposition galvanique, soudage), ou par décapage (laminage, attaque chimique).

[0011] Le US 3 550 928 préconise de rigidifier la courbe terminale du spiral par une section non rectangulaire obtenue par déformation plastique d'une partie de la dernière spire.

[0012] Le EP 1 473 604 se rapporte à un spiral plan comportant sur sa spire extérieure une portion rigidifiée agencée pour rendre les déformations des spires sensiblement concentriques.

[0013] Le BE 526689 propose de varier la section de la lame du spiral sur une ou plusieurs parties de sa longueur, ou de modifier le profil ou d'ajouter à une ou plusieurs parties de la lame un corps quelconque destiné à modifier la flexibilité de ces parties. Aucune autre précision n'est donnée quant à ces variations ou modifications.

[0014] On a proposé dans l'article d'Emile et Gaston Michel, Spiraux plats concentriques sans courbes, Bulletin Annuel de la Société Suisse de Chronométrie et du Laboratoire de Recherches Horlogères, Vol.IV, 1957-1963, pages 162-169, 01. 01.1963, de former une partie de la lame en cornière. Cette « partie traitée en cornière ne fléchit pratiquement plus aux fortes amplitudes. Elle ne compte plus dans le réglage, c'est en quelque sorte un bout mort dans la spire » (fin page 164-début page 165). Il s'agit donc de neutraliser le spiral sur une partie de sa longueur.

[0015] Le EP 1431844 se rapporte à un spiral dont la section varie de l'une à l'autre de ses extrémités. Toutefois, peu de précision est fournie quant au mode de variation de la section du spiral. La seule information est celle qui est donnée par la figure 11 et dans la partie de la description qui lui est associée. La définition donnée page 4, lignes 55-57 parle de « section parallélépipédique variable », « en l'occurrence une section E rectan-

gulaire vers le centre évoluant jusqu'à une section E' carrée à l'extérieur ». Cette définition qui est la seule information quant au type de variation fait penser à une variation monotone. En effet, les deux sections E-E' entre lesquelles la section évolue semblent impliquer une variation continue et monotone de la section.

[0016] La question de la variation du pas illustrée par la figure 10 du EP 1431844 est limitée à une variation du pas le long d'un axe radial F-F' qui donne au spiral une forme d'ellipse. Ce qui est montré par cette figure ressemble plus à une déformation de la spirale selon l'un des deux axes qu'à une variation du pas proprement dite, et ne permet pas d'obtenir un spiral fonctionnel, en particulier un spiral dont les spires ne se touchent pas en fonctionnement.

[0017] Enfin dans le EP 1 593 004, la section de la lame du spiral diminue progressivement du centre du spiral vers l'extérieur.

[0018] Tous les spiraux susmentionnés visent à améliorer l'isochronisme de l'oscillateur balancier-spiral pour les différentes positions de la montre. L'étude par simulation de ces différents spiraux montre cependant qu'il est difficile de descendre sensiblement au-dessous d'un écart maximal entre les différentes positions de 4 s/j pour des amplitudes typiques de fonctionnement, soit des amplitudes supérieures à 200°, tout en gardant des sécurités suffisantes pour éviter que les spires ne se touchent en fonctionnement lors de la contraction et de l'expansion du spiral, ou suite à un choc subi par la montre-bracelet. Par ailleurs, la pente moyenne des courbes de marche en fonction de l'amplitude de l'oscillateur balancier-spiral devrait être la plus faible possible, dans l'idéal légèrement négative de façon à compenser les défauts d'isochronisme engendrés par un échappement à ancre suisse. Il sera en outre d'autant plus difficile d'obtenir de bonnes performances pour des spiraux de petite taille, par exemple en dessous de 2.5mm de distance entre l'axe de rotation et l'extrémité externe.

[0019] Le but de la présente invention est d'apporter une solution qui permette de se rapprocher davantage de ces objectifs que les spiraux de l'état de la technique.

[0020] A cet effet, cette invention a tout d'abord pour objet un spiral plat pour balancier d'horlogerie comportant une lame enroulée et conformée pour assurer un développement sensiblement concentrique du spiral et une force quasi nulle exercée sur les pivots et le point d'encastrement, lors de la rotation inférieure à 360° de son extrémité interne par rapport à son extrémité externe dans les deux sens à partir de sa position de repos, tel que défini par la revendication 1. Cette invention a également pour objet un ensemble balancier-spiral selon la revendication 12.

[0021] Les expressions "développement sensiblement concentrique" et "force quasi nulle" sont destinées à englober des spiraux susceptibles d'atteindre au moins des performances égales à celle des spiraux à courbes Breguet, son but étant d'atteindre au moins de telles performances, mais avec un spiral plat.

[0022] Le spiral selon l'invention s'applique aussi bien à des spiraux en matériau ductile qu'à des matériaux fragiles tel que le silicium.

[0023] Les dessins annexés illustrent, schématiquement et à titre d'exemple, différentes formes d'exécution du spiral plat objet de la présente invention.

La figure 1 est une vue en plan d'un spiral plat au repos dont le centre de gravité est situé sur un centre de rotation prévu pour ce spiral;

la figure 2 est un diagramme de l'épaisseur E de la lame du spiral en fonction du nombre de tours N du spiral de la figure 1;

la figure 3 est un diagramme du pas P du spiral en fonction du nombre de tours N du spiral de la figure 1;

la figure 4 est un diagramme des courbes de marche théoriques d'un oscillateur balancier-spiral équipé du spiral de la figure 1, dans les différentes positions en fonction de l'amplitude de cet oscillateur (isochronisme libre);

la figure 5 est une vue en plan d'une deuxième forme d'exécution de spiral plat au repos dont le centre de gravité est situé sur un centre de rotation prévu pour ce spiral;

la figure 6 est un diagramme de l'épaisseur E de la lame du spiral en fonction du nombre de tours N du spiral de la figure 5;

la figure 7 est un diagramme du pas du spiral P en fonction du nombre de tours N du spiral de la figure 5;

la figure 8 est un diagramme des courbes de marche théoriques d'un oscillateur balancier équipé du spiral de la figure 5, dans les différentes positions en fonction de l'amplitude de cet oscillateur (isochronisme libre);

la figure 9 est une vue en plan d'une troisième forme d'exécution du spiral plat au repos dont le centre de gravité est situé sur un centre de rotation prévu pour ce spiral;

la figure 10 est une vue en plan d'une quatrième forme d'exécution du spiral plat au repos dont le centre de gravité est situé sur un centre de rotation prévu pour ce spiral.

[0024] Les performances de l'oscillateur balancier-spiral, en particulier l'écart de marche entre les positions, peuvent varier sensiblement avec le couple développé par le spiral et avec son encombrement, c'est-à-dire la distance entre le point d'attache interne du spiral à la virole et le point d'attache externe. Le nombre de tours a également une influence non-négligeable. Pour cette raison, les spiraux donnés à titre d'exemples dans les figures présentent tous le même couple nominal (même inertie du balancier apparié au spiral pour obtenir une fréquence d'oscillation de 4 Hz), et le même encombrement. Les spiraux sont réalisés en Si. La distance à l'axe de rotation est de 0.6mm pour l'extrémité interne et 2.1mm pour l'extrémité externe. La hauteur des spires est de 150µm.

[0025] Pour augmenter ou diminuer sélectivement la rigidité de la lame du spiral, on peut en modifier la section, et plus particulièrement l'épaisseur de la lame vu qu'il est connu que la rigidité d'une lame varie avec l'épaisseur au cube. Il serait aussi possible d'avoir recours à un traitement thermique localisé ou encore d'agir sur la forme de la lame par exemple, sans en changer la section, par exemple en modifiant l'orientation de la section droite du spiral par rapport à un centre de rotation prévu pour ce spiral. Ceci pourrait être obtenu en la vrillant ou en formant des ondulations sur la lame du spiral, ou en combinant ces modes de rigidification avec le changement de section.

[0026] Le spiral objet de l'invention peut être en un matériau fragile, notamment un matériau cristallin tel que le silicium. On peut aisément réaliser un tel spiral présentant une section variable en ayant recours au procédé de fabrication décrit dans le EP 0732635 B1 qui utilise les techniques de masquage avec attaque chimique qui sont parfaitement maîtrisées dans le domaine de l'électronique pour le travail des plaquettes de silicium en particulier. Ce document décrit précisément un procédé de fabrication utilisable notamment pour des spiraux. Bien que ce document ne mentionne pas la possibilité de réaliser un spiral à section non constante, il est évident que la technique de masquage utilisée se prête parfaitement à l'obtention d'un tel résultat. De plus, ce procédé permet de réaliser le spiral d'un seul tenant avec sa virole et son moyen d'encastrement.

[0027] D'autres techniques utilisant l'électrodéposition multi-couches associée à la technique de masquage pour fabriquer des pièces de micromécanique sont décrites dans deux articles publiés dans Elsevier Sensors and Actuators A 64 (1998) 33-39, High-aspect-ratio, ultrathick, negative-tone near-UV photoresist and its applications for MEMS, et dans Elsevier Sensors et Actuators A 53 (1996) 364-368, Low-cost technology for multilayer electroplated parts using laminated dry film resist. Ces techniques sont donc utilisables pour former des pièces métalliques de micromécanique présentant un rapport de forme élevé et sont donc tout à fait adaptées à la fabrication d'un spiral métallique de section variable pour produire un spiral à variation de rigidité non monotone. Grâce à ces techniques, il est donc également possible de réaliser un spiral métallique.

[0028] Bien entendu, les procédés mentionnés sont particulièrement adaptés à la fabrication de spiraux dont la section de la lame n'est pas constante pour obtenir une rigidité variable de façon non monotone en vue de maintenir le centre de gravité du spiral sensiblement sur un centre de rotation prévu pour ce spiral. On pourrait aussi utiliser d'autres procédés, par exemple un traitement thermique ou un usinage par laser, pour modifier ultérieurement à sa fabrication proprement dite, la rigidité du spiral de façon non monotone en vue d'obtenir le résultat recherché. Un traitement ou usinage pourrait aussi être associé à un spiral comprenant au moins deux segments de sections différentes.

[0029] D'autres moyens de rigidifier sélectivement le spiral pour atteindre le but recherché peuvent être envisagés. C'est ainsi que l'on pourrait varier de manière non monotone la rigidité de ce spiral en formant une couche d'un matériau plus rigide. Cette couche pourrait notamment être réalisée par électrodéposition.

[0030] On pourrait encore changer la rigidité de ce spiral par dopage du silicium notamment par une technique d'implantation ionique ou par diffusion.

[0031] La thermocompensation des spiraux est réalisée par des moyens connus. On peut par exemple utiliser une couche de matériau à la surface des spires qui compense le premier coefficient thermique du module d'Young du matériau de base. Dans le cas d'un spiral en Si, un matériau adéquat pour la couche est le SiO_2 .

[0032] Le spiral objet de l'invention illustré par la figure 1 comporte une surépaisseur qui va en diminuant à partir de son extrémité interne sur plus de 360° et une surépaisseur qui croît progressivement sur plus de 360° (plus de cinq tours dans le cas de la figure 1) avant l'extrémité externe et jusqu'à cette extrémité externe. Cette variation d'épaisseur non monotone est illustrée par le diagramme de la figure 2. Entre l'extrémité externe du spiral et son épaisseur minimum, l'épaisseur diminue d'un facteur 2,6. Entre son extrémité interne et son épaisseur minimum, l'épaisseur diminue de 35%.

[0033] Parallèlement à cette variation d'épaisseur non monotone de la lame du spiral et donc de sa rigidité, avantageusement, le pas du spiral objet de l'invention peut aussi varier de façon non monotone, comme illustré par le diagramme de la figure 3. Ce diagramme montre une diminution du pas à partir de l'extrémité interne du spiral, suivie d'une légère augmentation puis d'un maximum local, à deux tours de l'extrémité externe dans cet exemple. Ce maximum local (une brusque augmentation suivie d'une brusque diminution) a pour but d'éviter que les spires ne se touchent lors des oscillations de l'ensemble balancier-spiral. On constatera que cette variation de pas ne nécessite pas d'augmenter sensiblement l'écartement de la spire terminale, ce qui permet d'avoir un spiral avec un nombre de tours élevé, dans cet exemple, plus de 14 tours pour un spiral de 2.1 mm de rayon. Or on sait que plus le nombre de tours est élevé, plus la pente moyenne de l'isochronisme est faible.

[0034] On peut constater que dans cette forme d'exécution, le pas maximal du spiral n'est pas situé à son extrémité externe, mais se situe sur le tiers externe du spiral (entre 1 et 3 tours de cette extrémité, et plus précisément à 1.75 tours dans cet exemple) et que la valeur du pas présente un maximum local sur le tiers externe du spiral (entre 1 et 3 tours de l'extrémité externe).

[0035] Les simulations effectuées à l'aide de ce spiral ont montré que cette géométrie de spiral permet de diviser par 2 l'écart maximum entre les différentes positions dans lesquelles la pièce d'horlogerie est testée (CH et FH qui sont les positions horizontales, fond tourné vers le haut, respectivement cadran tourné vers le haut; 3H, 6H, 9H et 12H qui sont les positions verticales avec ro-

tation de 90° entre les positions successives) par rapport à un spiral à pas et à épaisseur constants. L'écart à 250° d'amplitude de l'oscillateur balancier-spiral est de 1,87 s/j. Quant à la pente moyenne de l'isochronisme, le diagramme de la figure 4 montre qu'elle est très légèrement négative à cette amplitude et permet de compenser la pente très légèrement positive due à l'échappement ancre suisse standard.

[0036] La deuxième forme d'exécution illustrée par la figure 5 comporte deux courbes terminales à rigidité progressive, l'une interne, l'autre externe, qui ont pour fonction de réaliser une transition douce entre les extrémités et les spires centrales. Les zones où le pas est plus grand sont utiles afin que les spires ne se touchent pas en fonctionnement, c'est-à-dire en contraction et en expansion. La partie intermédiaire entre ces deux zones peut très bien se satisfaire d'un petit pas approximativement constant (variation du pas d'environ 4% dans l'exemple de la figure 7). En fait, ce qui se passe lors du développement du spiral est que la partie intermédiaire se déplace globalement dans son ensemble vers le centre en contraction, ou vers l'extérieur en expansion. Elle a donc besoin de place de part et d'autre. La place située vers le centre peut être plus petite que celle située à l'extérieur, et n'est donc pas forcément nécessaire comme le montre le diagramme de la figure 3.

[0037] En résumé, le diagramme d'épaisseur de la figure 6 est analogue à celui de la forme d'exécution des figures 1-4, c'est-à-dire des surépaisseurs aux deux extrémités du spiral constituant ainsi des courbes terminales s'étendant sur plus de 360°. Entre l'extrémité externe du spiral et son épaisseur minimum, l'épaisseur diminue d'un facteur 4,4. Entre son extrémité interne et son épaisseur minimum, l'épaisseur diminue de 48%.

[0038] Selon une variante de la figure 6, l'épaisseur de la spire interne et/ou externe pourrait cesser de croître, voire décroître légèrement, sur le dernier tour interne et/ou externe, sans changer notablement les propriétés de l'oscillateur.

[0039] Le diagramme du pas de la figure 7 comporte des variations non-monotones et progressives, avec un maximum local situé dans le premier tiers du spiral (à 2 tours de l'extrémité interne) en plus de celui situé dans le tiers externe (à environ 3 tours de l'extrémité externe).

[0040] Comme le montre la figure 8, l'écart à 250° d'amplitude de l'oscillateur balancier-spiral est de 1,99 s/j et est comparable à l'exemple de la figure 4, avec une moyenne de l'écart entre 200 et 300° d'amplitude plus faible que pour le spiral de la figure 1.

[0041] Deux autres formes d'exécution sont encore représentées. L'une est illustrée par la figure 9 avec des zones à spires écartées dans le tiers intérieur et dans le tiers extérieur, avec une variation continue du pas, sans maximum local du pas ni à l'intérieur ni à l'extérieur. La courbe de variation d'épaisseur a une allure similaire à celle de la première forme d'exécution illustrée par la figure 2, avec une diminution depuis l'extrémité interne sur le tiers interne (quatre premiers tours), une partie

d'épaisseur constante, puis une augmentation sur le tiers externe jusqu'à l'extrémité externe (deux derniers tours). Quant au pas, il varie de façon non-monotone, en diminuant de façon progressive de l'extrémité interne jusqu'au milieu de la longueur du spiral et en augmentant ensuite de façon progressive jusqu'à l'extrémité externe du spiral, sans maximum local. Les performances chronométriques sont meilleures que pour les spiraux à pas et à épaisseur constants, mais légèrement moins bonnes que pour les deux premières formes d'exécution (écart maximal entre positions de 2.67 s/j à 250°).

[0042] L'autre forme d'exécution est illustrée par la figure 10 et comporte une zone centrale beaucoup plus étendue et sans variation de pas dans la partie intérieure du spiral. La courbe de variation d'épaisseur a une allure similaire à celle de la première forme d'exécution illustrée par la figure 2, avec une diminution depuis l'extrémité interne sur le tiers interne (quatre premiers tours), une partie d'épaisseur constante, puis une augmentation sur le tiers externe jusqu'à l'extrémité externe (trois derniers tours). Le pas du spiral illustré par la figure 10 est constant sur le premier tiers interne de la longueur du spiral, ensuite il subit une brusque augmentation suivie d'une diminution, soit un maximum local, à 3 tours et demi de l'extrémité externe. Le pas augmente ensuite à nouveau jusqu'à l'extrémité externe. Les performances chronométriques sont comparables à celles des deux premières formes d'exécution (écart maximal entre positions de 2.08 s/j à 250°).

[0043] Les formes d'exécution qui précèdent sont données à titre d'exemples non limitatifs. De plus, les variations d'épaisseur et de pas devront être optimisées en fonction du cahier des charges du spiral, c'est-à-dire du couple développé et de l'encombrement (rayon à la virole et rayon au piton) afin d'obtenir des performances chronométriques optimales (écarts de marche entre positions et pente moyenne de l'isochronisme les plus faibles possibles) tout en évitant un contact entre les spires lors du fonctionnement.

Revendications

1. Spiral plat pour balancier d'horlogerie comportant une lame enroulée, conformée pour assurer un développement sensiblement concentrique du spiral et une force quasi nulle exercée sur les pivots et le point d'encastrement, lors d'une rotation inférieure à 360° de son extrémité interne par rapport à son extrémité externe dans les deux sens à partir de sa position de repos, **caractérisé en ce que** la rigidité de sa lame décroît de manière progressive et sur plus de 360° à partir, d'une part d'un point situé entre son extrémité interne et sa deuxième spire, d'autre part d'un point situé entre son extrémité externe et son avant dernière spire, la rigidité la plus faible se situant dans la partie médiane de ladite lame.

2. Spiral selon la revendication 1, dans lequel la rigidité de sa lame décroît de manière progressive et sur plus de 360°, à partir de chacune de ses deux extrémités. 5
3. Spiral selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le pas du spiral varie de façon non monotone en diminuant entre son extrémité externe et le tiers externe compté en nombre de tours. 10
4. Spiral selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le pas du spiral varie de façon non monotone en diminuant entre son extrémité interne et le tiers interne compté en nombre de tours. 15
5. Spiral selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le pas du spiral subit une brusque augmentation suivie d'une brusque diminution, le tout s'étendant sur plus de 360° et se situant à au moins un tour d'au moins une de ses extrémités. 20
6. Spiral selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les rigidités respectives différentes correspondent à des sections respectives différentes de la lame du spiral. 25
7. Spiral selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la rigidité diminue d'au moins un facteur 8 entre un point situé entre son extrémité externe et son avant dernière spire, et la valeur minimum. 30
8. Spiral selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la rigidité diminue d'au moins 50% entre son extrémité interne et la valeur minimum. 35
9. Spiral selon l'une des revendications précédentes, réalisé en un matériau fragile.
10. Spiral selon l'une des revendications précédentes, réalisé en un matériau cristallin. 40
11. Spiral selon l'une des revendications précédentes, réalisé en silicium.
12. Ensemble balancier-spiral utilisant un spiral selon l'une des revendications précédentes. 45

50

55

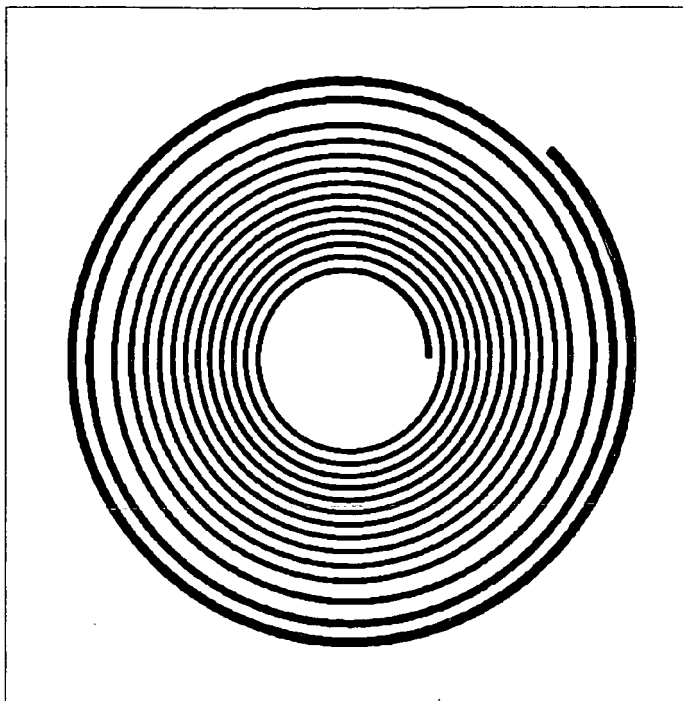


Figure 1

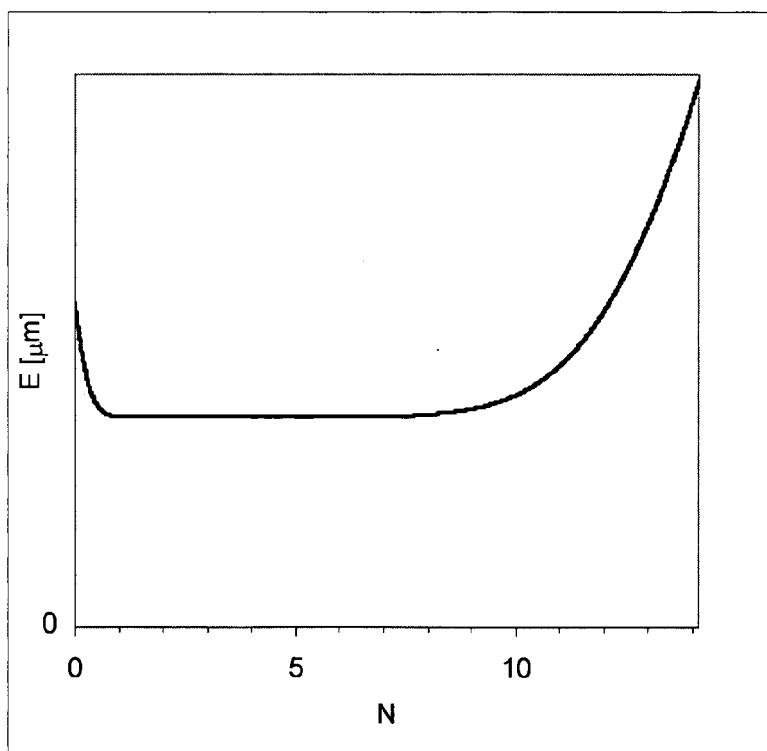


Figure 2

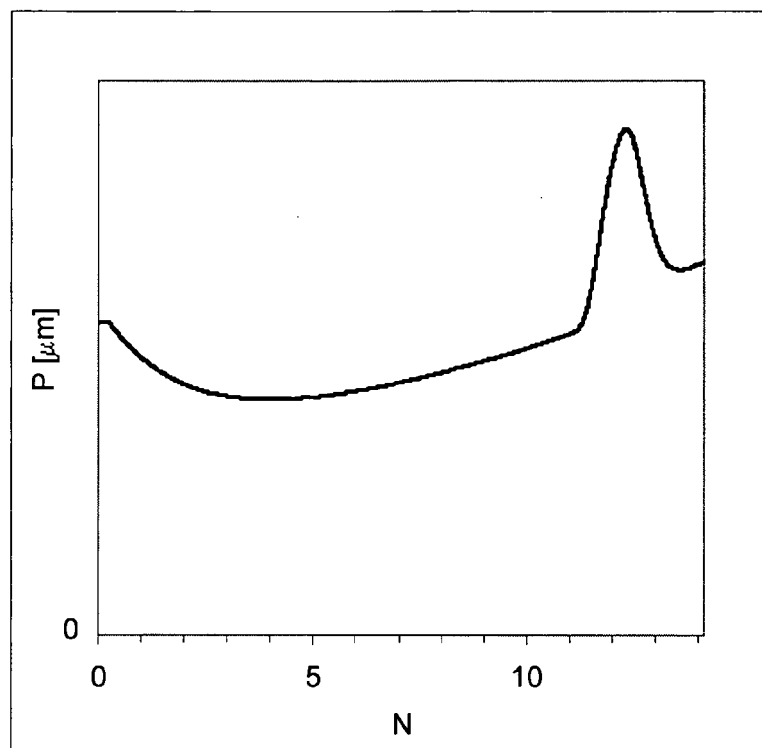


Figure 3

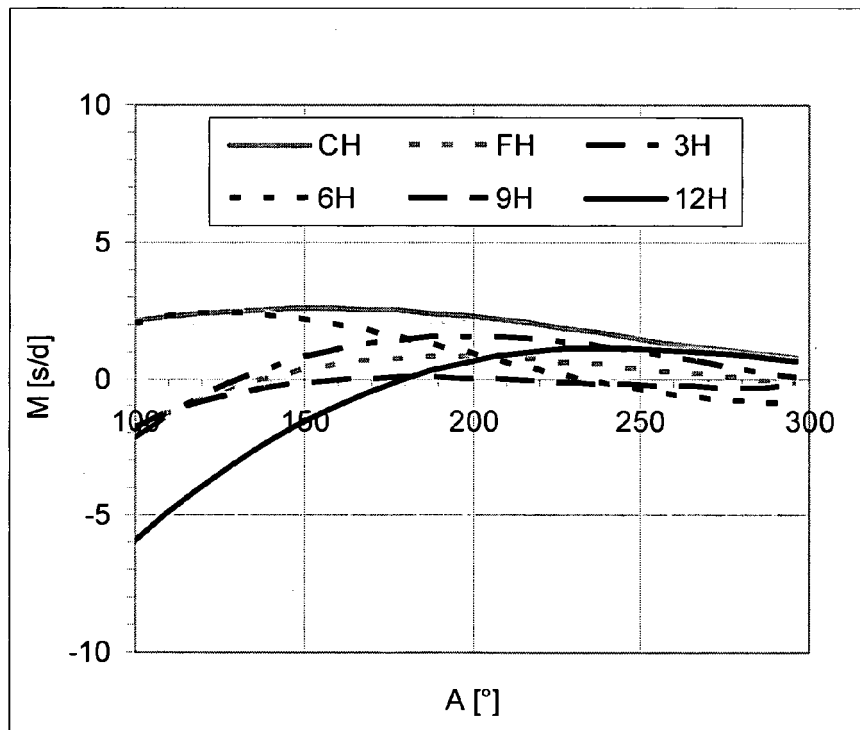


Figure 4

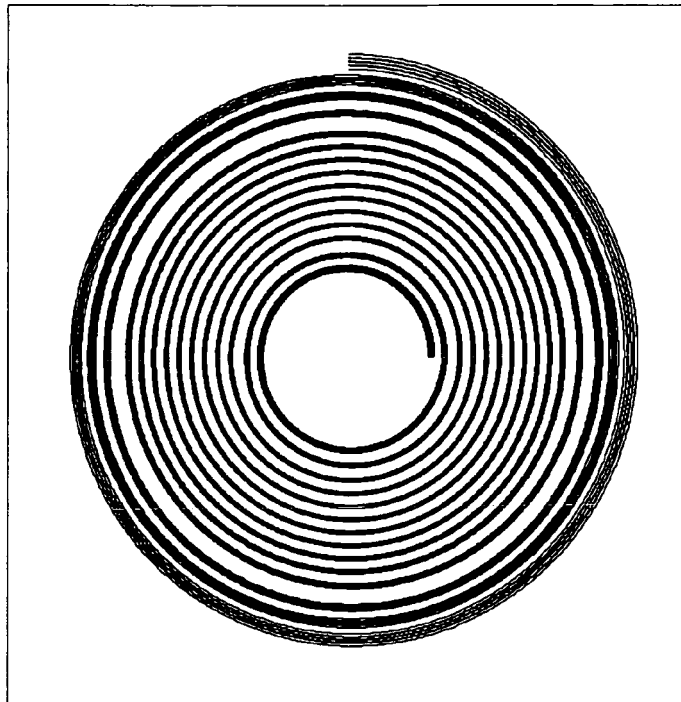


Figure 5

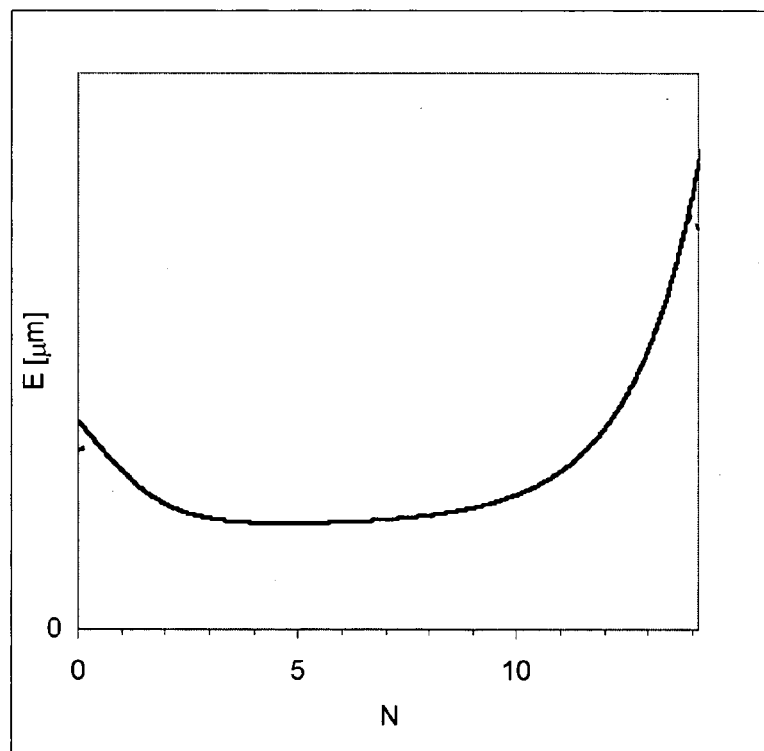


Figure 6

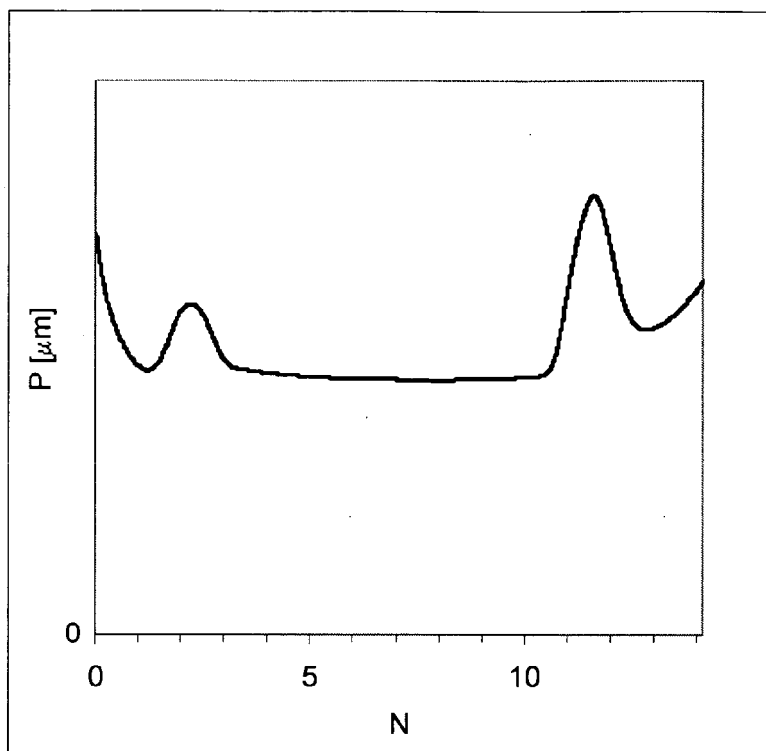


Figure 7

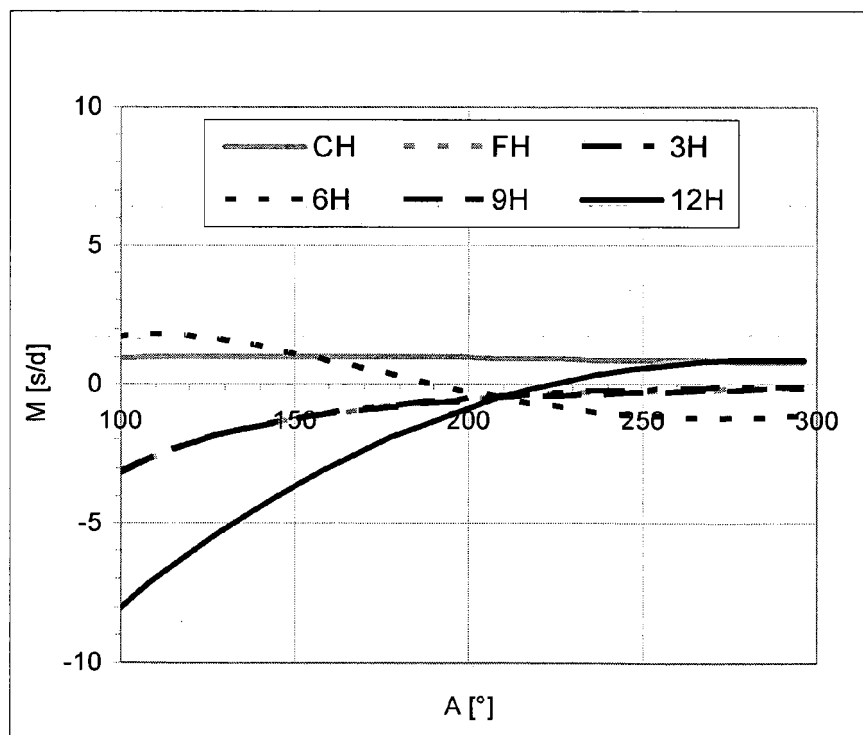


Figure 8

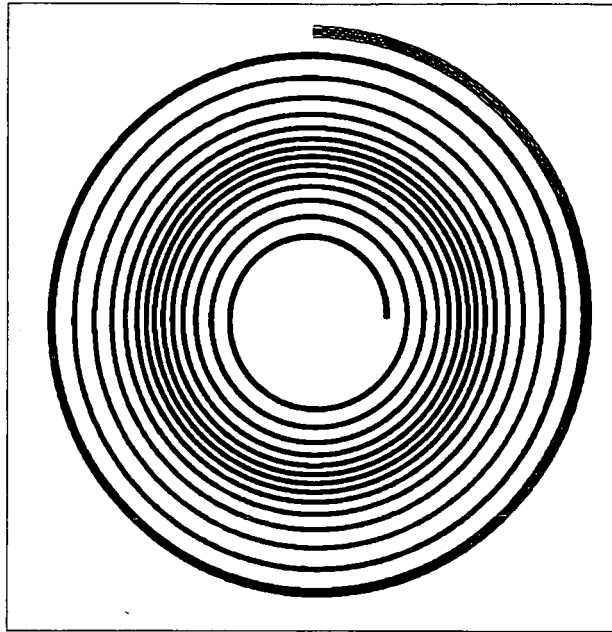


Figure 9

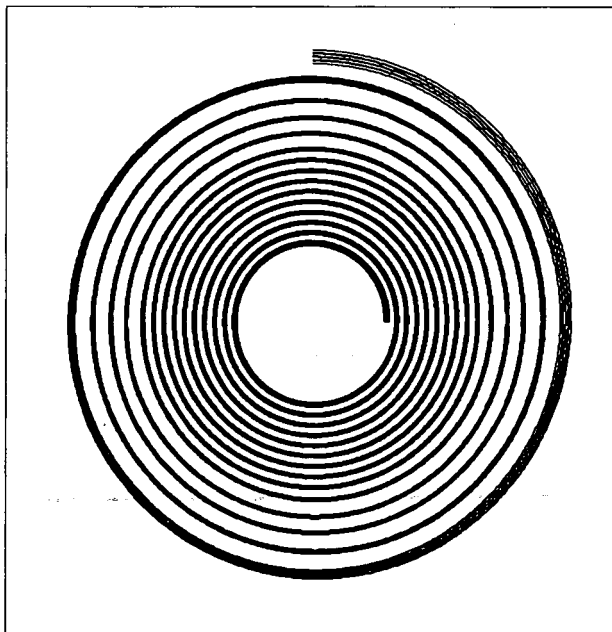


Figure 10

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

- US 209642 A [0009]
- CH 327796 [0010]
- US 3550928 A [0011]
- EP 1473604 A [0012]
- BE 526689 [0013]
- EP 1431844 A [0015] [0016]
- EP 1593004 A [0017]
- EP 0732635 B1 [0026]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **Emile ; Gaston Michel.** *Spiraux plats concentriques sans courbes*, *Bulletin Annuel de la Société Suisse de Chronométrie et du Laboratoire de Recherches Horlogères*, 1957, vol. IV, 162-169 [0014]
- *Sensors and Actuators A*. Elsevier, 1998, vol. 64, 33-39 [0027]
- *Sensors et Actuators A*. Elsevier, 1996, vol. 53, 364-368 [0027]