

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **700 032 B1**

(51) Int. Cl.: **G04B 17/20** (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: 00082/06

(22) Date de dépôt: 19.01.2006

(24) Brevet délivré: 15.06.2010

(45) Fascicule du brevet publié: 15.06.2010

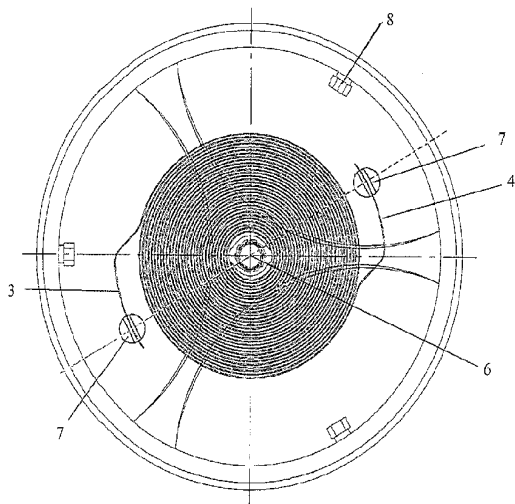
(73) Titulaire(s):
Alain Lässer, Rue des Deux-Fontaines 12
2105 Travers (CH)

(72) Inventeur(s):
Alain Lässer, 2105 Travers (CH)

(74) Mandataire:
Mathieu North Docteur en droit Avocat, Rue du Seyon 2
2001 Neuchâtel (CH)

(54) **Mouvement d'horlogerie avec organe régulateur à ressort spiral.**

(57) Ce mouvement de montre mécanique à ancre à deux ressorts spiraux (3, 4) superposés sur l'axe (6) du balancier, le point d'attache extérieur (7) de chaque spiral étant à l'opposé du point d'attache extérieur (7) de l'autre spiral par rapport à l'axe de rotation du balancier. Les courbes de déplacement des centres de gravité des deux spiraux étant symétriquement opposées, ces déplacements se compensent. L'utilisation de spiraux en silicium découpés par attaque chimique est particulièrement intéressante, car cette technique permet d'obtenir des ressorts spiraux parfaitement identiques, la compensation étant alors parfaite. Le silicium peut être dopé afin de compenser les effets dus à la variation de température. Dans une forme d'exécution préférée, une surface, plane ou courbe, coupe l'angle formé par le plan d'impulsion et le plan de repos des palettes d'ancre et/ou des dents de la roue d'échappement.



Description

[0001] La présente invention appartient au domaine des mouvements mécaniques d'horlogerie et notamment aux mouvements pour montres-bracelets, plus particulièrement les mouvements à ancre.

[0002] Les mouvements d'horlogerie mécaniques sont tous réglés par l'oscillation d'un balancier attaché à un ressort spiral. On sait que ce ressort, dans sa forme de spirale d'Archimède qui est la plus fréquente, voit son centre de gravité se déplacer constamment lorsqu'il s'enroule et se déroule dans le mouvement par lequel il entraîne le balancier. Ce déplacement du centre de gravité entraîne les mêmes effets que ceux d'un balourd du balancier. Pour remédier à cette source d'imprécision, le spiral Breguet donne une courbe terminale de forme soigneusement calculée à la queue du spiral, qui s'élève au-dessus du reste du ressort avant de se fixer au pignon. Cette courbe permet de maintenir le centre de gravité du spiral sur l'axe du balancier pendant toute la durée de l'oscillation. Cette solution exige un grand soin d'exécution, la courbe du spiral Breguet devant être parfaite pour que le résultat soit atteint. Une telle perfection ne peut être obtenue que par des régleurs très qualifiés qui passent un temps considérable à ce travail. Cela n'est guère compatible avec une production industrielle et entraîne des coûts élevés.

[0003] D'autre part, dans les mouvements à échappement à ancre, selon la technique actuelle, lors du dégagement, la roue d'échappement est rejetée en arrière (recul dynamique), pendant que l'ancre continue son mouvement, mené par le balancier. Lorsque la dent de la roue d'échappement tombe sur le plan d'impulsion de la levée, elle le fait à peu près au tiers de la longueur du plan d'impulsion, et non pas au début. Autrement dit, après avoir été repoussée en arrière lors du dégagement, la dent de la roue d'échappement fait une sorte de saut en quittant l'angle formé par le plan de repos et le plan d'impulsion, et elle retombe sur le plan d'impulsion seulement après être passée à distance de celui-ci sur environ un tiers de sa longueur. Il s'ensuit que le plan d'impulsion n'est efficace que sur deux tiers de sa longueur environ. Encore le premier contact de la dent de la roue d'échappement avec le plan d'impulsion est-il suivi de plusieurs rebonds, qui causent une perte d'énergie et nuisent à l'efficacité du dispositif. En outre, ces rebonds favorisent l'usure des palettes.

[0004] Par ailleurs, selon les techniques connues, les ressorts spiraux pour mouvements d'horlogerie mécaniques sont fabriqués par étirage et plis. Ces ressorts en forme de spirale d'Archimède présentent notamment l'inconvénient de voir leur centre de gravité se déplacer constamment pendant l'oscillation. Il est possible de compenser dans une assez large mesure ce déplacement du centre de gravité, qui nuit à l'isochronisme, en donnant une épaisseur différente à certains endroits des spires du ressort. De tels ressorts à épaisseur variable ne peuvent toutefois pas être obtenus au moyen de la technique classique. Il est possible de produire de tels ressorts à épaisseur différenciée, par exemple, par électroformage et moulage pour ce qui est des spiraux métalliques, et usinage chimique pour des spiraux en silicium.

[0005] Récemment, le Musée international de l'horlogerie a mis à la disposition du public des essais relatifs à un spiral plat en silicium. Ces essais ont fait l'objet d'un article dans la Revue Montres Passion (novembre 2003, p. 72-73). L'article montre un spiral plat au silicium, à épaisseur variable selon les spires, avec une virole venue d'une pièce avec le spiral. Ce spiral a été découpé dans une plaque de silicium.

[0006] Les avantages des ressorts au silicium, qu'il s'agisse de verre, de cristal de quartz, ou de silicium pur, sont connus: amagnétisme, légèreté, élasticité supérieure à celle de l'acier et possibilité de découpage extrêmement précis.

[0007] Le ressort spiral en silicium dont le dessin a été publié par le Musée International de l'Horlogerie (Montres Passion, eod. loc.) présente une virole de forme classique, c'est-à-dire constituée d'un cylindre simplement fendu. Or, cette configuration présente l'inconvénient de ne pas assurer un centrage parfait du ressort sur l'axe. De plus, pour ce qui est du ressort en silicium, la fragilité du matériau rend problématique la fixation sur l'axe par chassage, en raison des risques de rupture.

[0008] En outre, l'inconvénient des ressorts composés essentiellement de silicium réside dans le coefficient thermique: à ce jour, tous les essais montrent que les ressorts composés en majeure partie de silicium, et notamment les ressorts en silicium pur, voient la période du balancier auquel ils sont associés varier assez fortement avec la température.

[0009] La présente invention vise à fournir un mouvement d'horlogerie à ressort spiral et balancier qui offre une précision du même ordre que celle des chronomètres d'observatoire, et compatible avec une production industrielle. A cette fin, l'invention vise d'abord à supprimer le déplacement du centre de gravité du ressort spiral, par des moyens simples et peu onéreux.

[0010] La présente invention vise à fournir un mouvement permettant à la dent de la roue d'échappement d'arriver en contact plus tôt avec le plan d'impulsion de la palette d'ancre que dans les mouvements connus, de façon à augmenter la longueur de l'impulsion avant le point mort et à accroître ainsi l'avance sur la période de l'oscillateur, en compensant de la sorte en partie le retard produit par l'échappement. Elle vise en outre à réduire ou à supprimer les rebonds de la dent sur le plan d'impulsion de la palette par la modification de l'angle θ entre le plan d'impulsion et la tangente A-B au cercle parcouru par le bec de repos de la dent, au point de contact du bec de repos de la dent avec le bec de repos de la palette. De la sorte, l'invention vise à augmenter la force de l'impulsion, ou à réduire l'énergie nécessaire pour obtenir une force de grandeur habituelle, de façon à augmenter la réserve et par conséquent la régularité de la marche.

[0011] La présente invention vise enfin à fournir un spiral pour mouvement d'horlogerie venu d'une pièce avec la virole, cette dernière étant configurée de manière à permettre un centrage amélioré sur l'axe du balancier. Elle s'applique plus

particulièrement à des spiraux en silicium, dopé de façon à compenser les effets des variations de température sur la période, mais également à des spiraux en alliage métallique électro-formés ou moulés.

[0012] L'invention est définie dans les revendications.

[0013] Les dessins représentent, à titre d'exemples, des formes d'exécution de l'invention.

- La fig. 1 montre la courbe de déplacement du centre de gravité d'un spiral plat par rapport à l'axe du balancier pendant l'oscillation.
- La fig. 2 montre la superposition des courbes de déplacement du centre de gravité de deux spiraux plats par rapport à l'axe du balancier, les deux spiraux étant superposés selon l'invention.
- La fig. 3 est une vue de dessus d'un balancier sur son axe avec deux spiraux superposés, selon l'invention, dans la forme d'exécution de la fig. 3.
- La fig. 4 est une coupe transversale d'un balancier sur son axe, avec deux spiraux superposés sur l'axe, selon l'invention.
- La fig. 5 est une vue partielle d'une palette de forme classique utilisée dans un mouvement, et montre une partie du plan de repos et le plan d'impulsion de la palette, avec l'indication des endroits de premier contact de la dent de la roue d'échappement avec le plan d'impulsion, respectivement dans la configuration classique et dans la configuration prévue par l'invention.
- La fig. 6 est une vue semblable à celle de la fig. 5, à la différence que l'angle entre le plan d'impulsion et le plan de repos est coupé par un chanfrein, selon une première forme d'exécution de l'invention. La dimension du-dit chanfrein est volontairement exagérée pour plus de clarté. De plus, l'inclinaison de la tangente A-B à la course circulaire de l'extrémité de la dent de la roue d'échappement, au point de contact du bec de repos de la palette et du bec de repos de la dent, est réduite par rapport à l'angle # habituel montré à la fig. 5.
- La fig. 7 est une vue semblable à celle de la fig. 6, à la différence que le chanfrein est remplacé par une courbe. L'angle du plan d'impulsion est réduit comme dans la fig. 6.
- La fig. 8 est une vue partielle d'une dent de la roue d'échappement et d'une palette d'ancre, dans laquelle l'angle entre le plan d'impulsion et le plan de repos de la dent est coupé par un chanfrein.
- La fig. 9 est une vue de dessus de la partie centrale d'un spiral, qui montre quelques spires centrales et la virole utilisée avec le dispositif des fig. 1 à 4, ou celui des fig. 5 à 8, dans une forme d'exécution préférée de l'invention.

[0014] La fig. 1 montre la courbe 1 du déplacement du centre de gravité du spiral par rapport à l'axe du balancier 6 pendant l'oscillation d'un spiral plat classique. Le pivot effectue un va-et-vient caractéristique par rapport au trou de la pierre.

[0015] Le mouvement selon l'invention permet de compenser cette variation. L'invention consiste essentiellement dans l'utilisation de deux spiraux 3 et 4 superposés sur l'axe 6 d'un même balancier. Les deux spiraux sont de préférence plats, en forme de spirale d'Archimède, et identiques l'un à l'autre. La somme de leurs couples doit être égale au couple d'un spiral normal. Une certaine distance est maintenue entre les deux spiraux au moyen d'une rondelle 5. Le point d'attache extérieur 7 de chaque spiral est placé à l'opposé du point d'attache extérieur de l'autre spiral par rapport à l'axe de rotation 6 du balancier. Il y a donc là une symétrie centrale. Le sens d'enroulement des deux spiraux est le même. Il ne s'agit donc pas de retourner l'un des deux spiraux de façon que leur sens d'enroulement soit contraire. Ainsi, la fig. 2 montre que, une fois superposées, la courbe 1, en traits pleins, et qui représente le déplacement du centre de gravité d'un premier spiral, par exemple du spiral 3, et la courbe 2, en traits pointillés, et qui concerne le spiral 4, sont parfaitement symétriques par rapport à l'axe 6, qui est représenté ici par un point. La fig. 3 montre une forme d'exécution dans laquelle les deux ressorts spiraux 3 et 4 sont fixés de manière classique sur un piton.

[0016] Il est à noter que, lorsqu'il est dit que les deux spiraux sont «superposés», cela ne signifie pas nécessairement qu'il n'y a entre eux aucun autre élément. On pourrait aussi placer entre les deux spiraux d'autres éléments que la rondelle 5, par exemple, en théorie tout au moins, le balancier.

[0017] Pour obtenir des spiraux absolument identiques, il est préférable d'utiliser d'autres techniques de fabrication que celles du spiral plat classique. Les spiraux classiques, faits de fil métallique étiré, puis plies, sont rarement absolument identiques.

[0018] Il convient donc d'utiliser des procédés et des matériaux différents, qui permettent d'obtenir des spiraux parfaitement identiques.

[0019] Trois méthodes permettent d'obtenir des spiraux identiques: l'électroformage et le micro-moulage, qui permettent la fabrication de spiraux métalliques, et l'usinage chimique pour obtenir des spiraux en silicium.

[0020] Cependant, comme on le sait depuis près de deux siècles, les spiraux à base de silice présentent divers avantages (voir par exemple le spiral en verre de Scrymgeour, qui remonte à 1828, visible au British Muséum, ou le chronomètre de marine de E.J. Dent, au Muséum of Science and Industry de Chicago, avec un spiral en verre); des essais ont été publiés dès 1951 par le Professeur Jacquerod sur un spiral en verre de quartz (Bulletin de la Société de chronométrie 1951–1952, p. 246–249). Un exposé complet sur les spiraux en verre est fourni par Anthony Randall sur Internet (www.worldtempus.com/wt/1/2660), qui suggère l'utilisation éventuelle d'un ressort en quartz pur, mais qui souligne que la température de fusion du quartz est très élevée, ce qui rend son travail difficile. Plus récemment, le Musée international de l'horlogerie a mis à la disposition du public des essais relatifs à un spiral plat en silicium. Ces essais ont fait l'objet d'un article dans la Revue Montres Passion (novembre 2003, p. 72–73). L'article montre un spiral plat au silicium, avec une virole venue d'une pièce avec le spiral. Ce spiral a été découpé dans une plaque de silicium.

[0021] Les avantages des ressorts au silicium, qu'il s'agisse de verre, de cristal de quartz ou de silicium pur, sont connus: amagnétisme, légèreté, élasticité supérieure à celle de l'acier et possibilité de découpage extrêmement précis.

[0022] Dans une forme préférée d'exécution de l'invention, les ressorts spiraux sont en silicium et sont découpés par attaque chimique, selon une technique connue. Il est aussi possible d'utiliser la gravure par plasma directif (ICP).

[0023] L'inconvénient des ressorts composés essentiellement de silicium, ou en silicium pur, réside dans le coefficient thermique: à ce jour, tous les essais montrent que les ressorts composés en majeure partie de silicium ou en silicium pur voient la période du balancier auquel ils sont associés varier assez fortement avec la température.

[0024] Il est naturellement possible de compenser l'effet de la température par le moyen classique d'un balancier fait de plusieurs métaux convenablement choisis, le balancier pouvant prendre la forme bi-métallique fendu.

[0025] Le dopage paraît toutefois être une solution plus aisée industriellement. Afin de compenser l'effet de la température, et dans une forme préférée de l'invention, le silicium composant les spiraux est dopé au sodium. Il est également possible de le doper avec d'autres corps simples ou métaux comme le bore ou le zirconium. Ces substances peuvent, selon les nécessités, être utilisées séparées ou en combinaison, dans des proportions que des essais permettront de déterminer.

[0026] Il faut noter que l'utilisation d'une raquette pour le réglage de la période n'est pas compatible avec un réglage de précision. Aussi la fig. 3 montre-t-elle un balancier muni de vis 8 de réglage de l'inertie.

[0027] Comme-on l'a vu, l'invention vise aussi à améliorer le rendement de l'échappement, qui influe sur la précision et sur la réserve de marche. On voit à la fig. 5, marqué d'un trait plein perpendiculaire au plan d'impulsion 19, le point de contact 23 de la dent de la roue d'échappement avec le plan d'impulsion 19, selon la technique classique. Un autre trait perpendiculaire au plan d'impulsion, en pointillé, indique le point de contact 22 de la dent avec le plan d'impulsion lorsque la palette 18 est modifiée selon l'invention. Ce point de contact 22 est situé considérablement plus près du plan de repos 20.

[0028] Dans sa forme d'exécution préférée, qui est représentée à la fig. 6, le mouvement selon l'invention comprend au moins deux palettes 18 d'ancre dont la surface d'impulsion 19 et le plan de repos 20 sont reliés par une troisième surface 21 qui est plane dans cette forme d'exécution préférée. Dans une autre forme d'exécution, cette surface 21 est courbe, selon la représentation de la fig. 7. Dans sa forme d'exécution préférée, qui est représentée aux fig. 6 et 7, le mouvement selon l'invention comprend au moins deux palettes 18 dont le plan d'impulsion 19 fait avec la tangente A–B à la course circulaire 29 de l'extrémité de la dent 28 de la roue d'échappement, au point de contact du bec de repos de la palette et du bec de repos de la dent, un angle α qui est réduit par rapport à l'angle α de grandeur habituelle montré à la fig. 7.

[0029] Grâce à la surface 21, que celle-ci prenne la forme d'une courbe (fig. 7) ou d'un chanfrein (fig. 6) de dimensions exagérées pour la clarté de la lecture du dessin, la dent de la roue d'échappement décollera plus tôt du plan de repos et retombera plus vite sur le plan d'impulsion. Au lieu de parcourir un tiers, c'est-à-dire 33,3% de la longueur du plan d'impulsion avant de toucher ce dernier, au point de contact 23 de la fig. 5, la dent de la roue d'échappement touchera le plan d'impulsion sur le premier tiers de ce premier tiers, ce qui représente une perte de l'ordre de 11,1% seulement.

[0030] Il y aura donc une augmentation de l'impulsion avant le point mort et par conséquent une augmentation de l'avance sur la période de l'oscillateur qui compense en partie le retard produit par l'échappement.

[0031] Le dispositif permet d'envisager la réduction de l'angle actuel du plan d'impulsion avec une perte de la longueur de l'impulsion sur la palette de 11,11%. La conséquence en serait la réduction de l'angle de levée, la disparition des rebonds de la dent de la roue d'échappement sur le plan d'impulsion et une augmentation significative de la force transmise. La diminution de l'angle de levée réduit l'influence perturbatrice de l'échappement sur l'isochronisme de l'oscillateur. La diminution de l'angle du plan d'impulsion provoque la disparition des rebonds, qui améliore le rendement et la régularité de la transmission d'énergie. La détérioration et l'usure des palettes dues aux chocs sont supprimées. L'amélioration du rendement permet d'augmenter proportionnellement l'autonomie des calibres actuels.

[0032] Si la forme d'exécution préférée de l'invention est celle décrite ci-dessus, dans laquelle la surface 21 en chanfrein (fig. 6) ou en courbe (fig. 7) est placée sur la palette, une autre forme d'exécution est possible, dans laquelle le chanfrein ou la courbe coupe le bec de repos de la dent 28 de la roue d'échappement. La fig. 8 présente une telle forme d'exécution, où la surface 21' est ménagée entre le plan d'impulsion 19' de la dent et son plan de repos 20'. De même que dans la forme d'exécution préférée, le chanfrein plat peut être remplacé par une surface courbe, qui n'est pas représentée. L'effet obtenu est le même que dans la forme d'exécution préférée.

[0033] Il est d'ailleurs possible de combiner les deux formes d'exécution, à savoir de couper aussi bien le bec de repos de la palette par une surface 21 que celui de la dent 28 par une surface 21' semblable, les surfaces 21 et 21' pouvant prendre la forme d'un chanfrein plat ou d'une surface courbe. Il est donc aussi possible de combiner une surface courbe sur l'un des deux éléments avec une surface plane sur l'autre.

[0034] De même, il est possible de réduire non seulement l'angle α que fait le plan d'impulsion 19 de la palette 18 avec la tangente A-B au cercle 29 formé par la course du bec de repos de la dent 28, mais également l'angle β formé par le plan d'impulsion 19' de la dent avec cette même tangente.

[0035] La réduction de l'angle β peut atteindre des valeurs importantes, de façon que l'angle peut être selon les besoins largement inférieur à 30°.

[0036] Dans la forme d'exécution préférée, le mouvement selon l'invention combine les palettes décrites ci-dessus avec le spiral montré à la fig. 8. La virole 24 présente dans sa paroi intérieure cinq échancrures 25 qui laissent subsister cinq excroissances allongées et en arc de cercle qui forment autant de ressorts 26 qui s'étendent dans son alésage 27. La courbe de ces ressorts 26 n'est donc pas parallèle au cercle qui délimite l'alésage 27, mais dévie vers l'intérieur de cet alésage.

[0037] Comme on l'a vu plus haut, dans une forme préférée d'exécution de l'invention, le ressort spiral est en silicium et est découpé par attaque chimique, selon une technique connue. Il est aussi possible d'utiliser la gravure par plasma directif (ICP).

[0038] De même, afin de compenser l'effet des variations de température, et dans une forme préférée de l'invention, le silicium composant les spiraux est dopé au sodium. Il est également possible de le doper avec d'autres corps simples ou métaux, par exemple du bore ou du zirconium. Ces trois substances peuvent, selon les nécessités, être utilisées séparées ou en combinaison, dans des proportions que des essais permettront de déterminer.

[0039] Lorsque l'axe est introduit dans l'alésage 27 de la virole, les ressorts 26 s'écartent et exercent une pression sur l'axe. La pression de chaque ressort étant égale à celle exercée par chacun des autres ressorts, la virole est parfaitement centrée. N'étant pas chassée, la virole n'est pas exposée à se fissurer ou à se casser. La pression des ressorts ne suffit pas à assurer le maintien de la virole en place sur l'axe dans le sens axial et dans le sens de rotation. Le blocage de la virole pourra être assuré par collage ou par une rondelle d'acier chassée.

[0040] Les avantages du spiral selon l'invention sont une mise en œuvre simplifiée, la suppression de l'opération de virolage, le positionnement parfait du spiral qu'il s'agisse du centrage ou du plat, la suppression des retouches, la possibilité de réaliser des viroles très petites et équilibrées et la suppression de l'ajustement précis du diamètre de l'axe.

[0041] La forme et le nombre des ressorts ne sont évidemment pas limités à ceux qui sont mentionnés ici et représentés dans les dessins.

[0042] L'invention est applicable avant tout aux spiraux plats.

[0043] La combinaison des palettes et du spiral en silicium à virole auto-centrée selon l'invention permet d'améliorer considérablement la précision du mouvement.

Revendications

1. Mouvement d'horlogerie avec oscillateur à ressort spiral et balancier, caractérisé en ce qu'il comprend au moins deux ressorts spiraux (3, 4) superposés sur un même axe (6) de balancier, le point d'attache extérieur (7) de chaque spiral étant à l'opposé du point d'attache extérieur (7) de l'autre spiral par rapport à l'axe de rotation du balancier.
2. Mouvement selon la revendication 1, caractérisé en ce que les ressorts spiraux sont plats en forme de spirale d'Archimède.
3. Mouvement selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les deux spiraux sont identiques.
4. Mouvement selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les deux spiraux sont composés à plus de 50% de silicium.
5. Mouvement selon la revendication 4, caractérisé en ce que les deux spiraux sont en silicium.
6. Mouvement selon la revendication 4, caractérisé en ce que le silicium est dopé au sodium.
7. Mouvement selon l'une des revendications 4 ou 6, caractérisé en ce que le silicium est dopé au bore.
8. Mouvement selon l'une des revendications 4, 6 ou 7, caractérisé en ce que le silicium est dopé au zirconium.
9. Mouvement selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les spiraux sont découpés par attaque chimique.
10. Mouvement selon l'une des revendications 1 à 9, comprenant au moins deux palettes (18) d'ancre et une roue d'échappement présentant des dents (28), caractérisé en ce que le plan d'impulsion (19, 19') et le plan de repos (20,

CH 700 032 B1

20') de chacune des palettes ou des dents, ou des deux, sont reliés par une troisième surface courbe ou plane (21, 21') et coupant l'angle formé par lesdits plan d'impulsion et plan de repos.

11. Mouvement d'horlogerie selon la revendication 10, caractérisé en ce que le plan d'impulsion (19) de la palette fait avec la tangente (A-B) au cercle (29) parcouru par le bec de repos de la dent, au point de contact du bec de repos de la dent (28) avec le bec de repos de la palette (18), un angle (#) égal ou inférieur à 30°.
12. Mouvement d'horlogerie selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le spiral est venu d'une pièce avec la virole (24), et en ce que la virole est pourvue de ressorts (26) aptes à s'appuyer contre l'axe du balancier et à fléchir lors de l'introduction de ce dernier dans la virole, lesdits ressorts étant venus d'une pièce avec la virole et le spiral.

Fig. 1

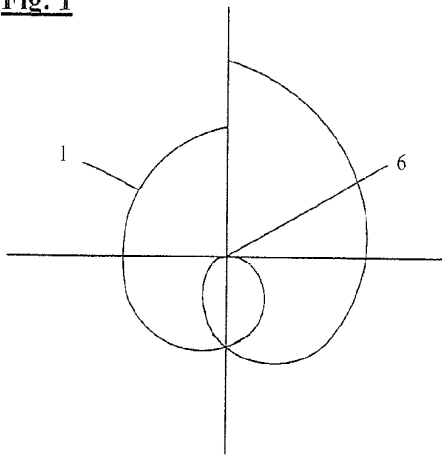


Fig. 2

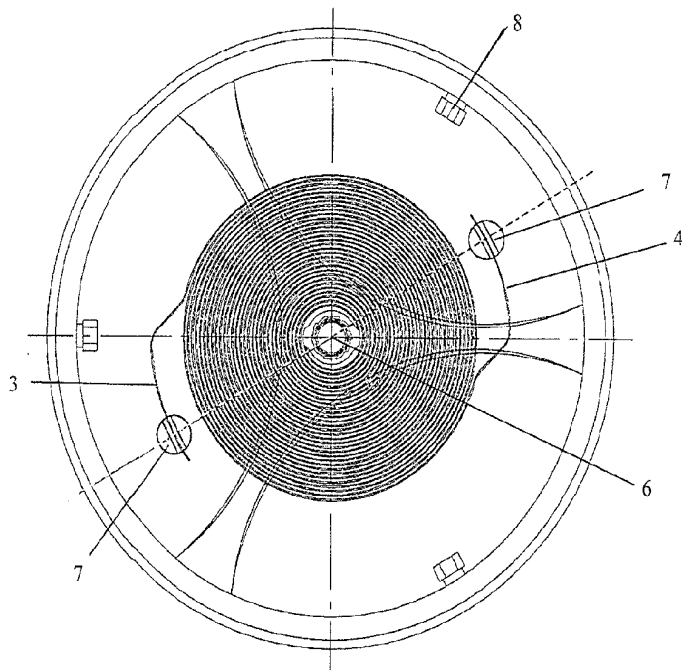
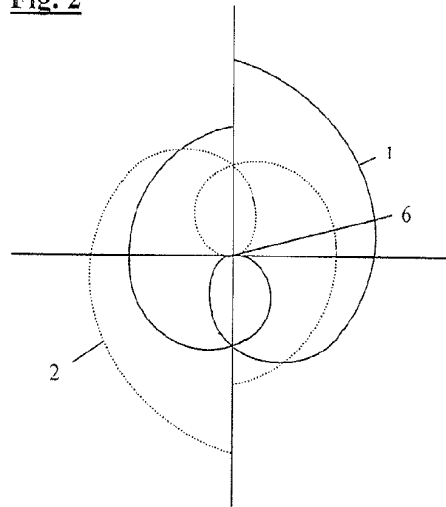


Fig. 3

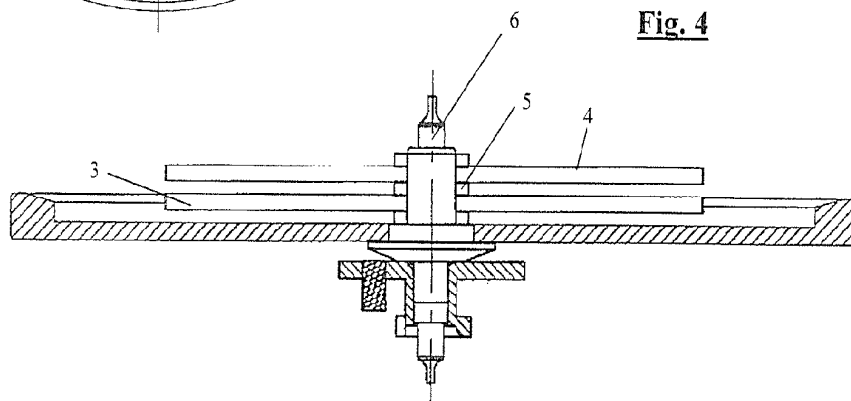


Fig. 4

Fig. 5

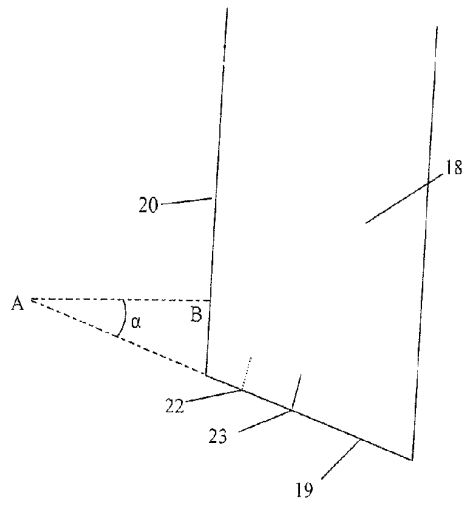


Fig. 6

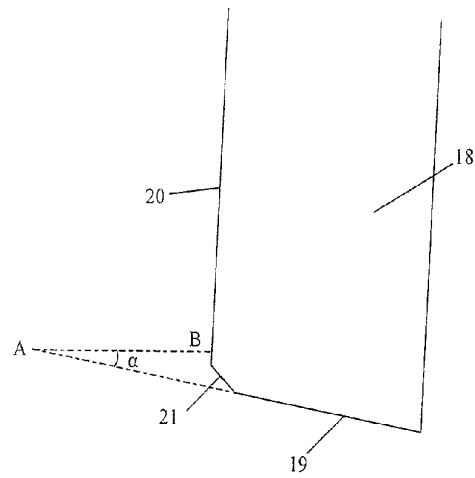


Fig. 7

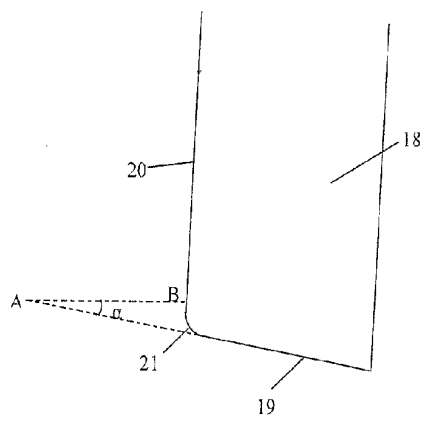


Fig. 8

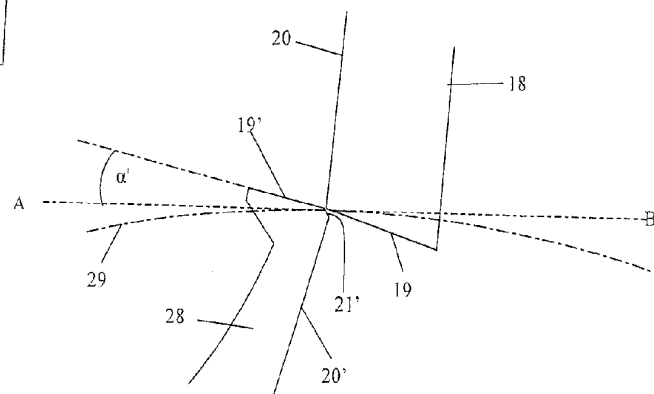


Fig. 9

