

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **709 516 A2**

(51) Int. Cl.: **G04D** 7/10 (2006.01)
G04B 17/06 (2006.01)

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00488/14

(71) Requérant:
Breitling SA, Schlachthausstrasse 2
2540 Grenchen (CH)

(22) Date de dépôt: 31.03.2014

(72) Inventeur(s):
Aloys Berset, 1694 Villarsiviriaux (CH)
Sébastien Thomas, 1400 Yverdon-Les-Bains (CH)

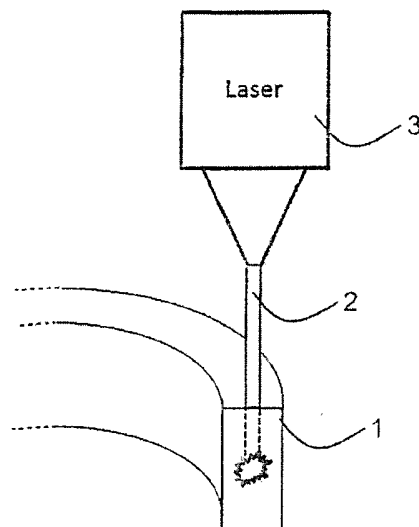
(43) Demande publiée: 15.10.2015

(74) Mandataire:
GLN S.A., Avenue Edouard-Dubois 20
2000 Neuchâtel (CH)

(54) **Procédé de fabrication et procédé de réglage d'un ressort spiral au moyen d'un laser.**

(57) L'invention concerne un procédé de réglage de la fréquence d'oscillation d'un ensemble régulateur pour pièce d'horlogerie, comprenant les étapes suivantes:

- se munir d'un ressort spiral (1) fabriqué en un matériau ayant, dans le spectre des fréquences de radiation électromagnétique, un régime de transmission, un régime d'absorption et un seuil de transparence se situant entre ledit régime de transmission et ledit régime d'absorption;
- se munir d'un balancier;
- assembler le ressort spiral (1) et le balancier afin de former l'ensemble régulateur;
- ajuster la fréquence d'oscillation du régulateur par modification du module d'élasticité d'au moins une partie du ressort spiral (1) par traitement du matériau au moyen d'un faisceau laser (2) ayant une longueur d'onde située dans une plage de valeurs définie par ladite valeur dudit seuil plus ou moins 20%, avantageusement plus ou moins 10%.



Description

Domaine technique

[0001] La présente invention se rapporte au domaine de l'horlogerie. Elle concerne, plus particulièrement, le réglage de la fréquence d'un ensemble régulateur de type balancier-spiral au moyen d'un laser.

Etat de la technique

[0002] Les organes régulateurs de type balancier-spiral représentent le genre de régulateur le plus utilisé de nos jours pour le réglage de la marche d'une montre. Traditionnellement, les balanciers ainsi que les ressorts spiraux étaient fabriqués manuellement par des ouvriers hautement qualifiés. Au vu des tolérances résultant d'une telle production, on effectuait conventionnellement un appairage des balanciers et des spiraux, afin d'associer des spiraux et des balanciers dont les caractéristiques permettent d'obtenir une fréquence souhaitée. Afin de mettre l'ensemble régulateur exactement à la fréquence désirée, on prévoit traditionnellement une raquetterie, ce qui a pour effet de permettre de régler la longueur active du spiral, afin d'ajuster le couple appliqué au balancier lors des oscillations.

[0003] Bien que l'automatisation de la production des ressorts spiraux et des balanciers ait permis d'améliorer les tolérances de fabrication, l'appairage et/ou l'utilisation d'une raquette demeurent des techniques appliquées actuellement, même pour les ressorts spiraux fabriqués par des techniques modernes de micro-usinage. Ces techniques conviennent non seulement pour des spiraux en métal mais aussi pour des spiraux en matériaux non-métalliques tels que le silicium amorphe, mono- ou polycristallin, l'oxyde de silicium, des formes diverses d'oxyde d'aluminium, le diamant, diverses formes de verre, etc.

[0004] Le document EP 1 213 628 divulgue un procédé de réglage de la fréquence d'oscillation d'un ensemble balancier-spiral, dans lequel on réalise un usinage par faisceau laser d'un ressort spiral afin de réduire son couple élastique, ce dernier ayant été prédéterminé délibérément trop élevé. Cet usinage représente un enlèvement de matériau au niveau de la dernière spire du ressort spiral, ou alternativement représente une modification du module d'élasticité. En ce qui concerne cette dernière, aucun mécanisme pour effectuer cette modification n'est présenté, et au vu de la date de dépôt de la demande, on présume qu'il s'agit d'un recuit du matériau métallique constituant le ressort spiral, ce document étant antérieur aux ressorts spiraux non-métalliques modernes. Cet usinage par faisceau laser peut être effectué lorsque l'ensemble régulateur est en train d'osciller, et permet de supprimer la raquette classique, il est à noter que dû à la proximité du point d'attache, la spire extérieure présente un faible déplacement et des contraintes élevées. Cet emplacement est le mieux adapté pour une modification.

[0005] Néanmoins, ce procédé présente plusieurs inconvénients. Un enlèvement de matière produit des débris, ce qui nécessite un nettoyage des composants et/ou l'aspiration complète de ces débris. Ainsi, il est difficile d'effectuer un tel procédé lorsque l'ensemble régulateur est déjà assemblé dans un mouvement, et par conséquent il est préférable de l'effectuer sur un gabarit de test. Ainsi, des perturbations engendrées par d'autres éléments du mouvement ne peuvent être prises en compte lors du réglage, réduisant ainsi sa précision. Le WO 2012/007 460 présente une solution partielle à ce problème, et prévoit un enlèvement de matériau d'un ressort spiral, qui est effectué dans un mouvement terminé, et prévoit en outre un système d'aspiration pour enlever les débris lors de leur production. Toutefois, le risque n'est pas négligeable d'avoir tout de même des débris qui ne seraient pas aspirés et resteraient dans le mouvement.

[0006] De plus, un tel enlèvement de matière ou un recuit crée une oxydation superficielle qui génère une décoloration locale au ressort spiral, qui doit être enlevée, le cas échéant. Par conséquent, ce procédé convient peu pour une montre haut de gamme. Il est à noter en outre qu'un recuit a un effet relativement faible sur le couple élastique d'un ressort spiral métallique, et ne s'applique pas aux matériaux monocristallins, dont l'utilisation a tendance à se généraliser aujourd'hui.

[0007] La présente invention a donc pour but de surmonter, au moins partiellement, les inconvénients susmentionnés, en proposant une mise à fréquence d'un régulateur balancier-spiral qui n'engendre pas de décoloration du ressort spiral et qui est susceptible d'être effectuée sur un régulateur qui a déjà été installé dans un mouvement d'horlogerie.

Divulguation de l'invention

[0008] De façon plus précise, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un ressort spiral pour pièce d'horlogerie. Ce procédé comprend les étapes suivantes:

- se munir d'un ressort spiral fabriqué en un matériau ayant, dans le spectre des fréquences de radiation électromagnétique, un régime de transmission, un régime d'absorption et un seuil de transparence se situant entre ledit régime de transmission et ledit régime d'absorption;
- modifier le module d'élasticité d'au moins une partie du ressort spiral par traitement du matériau au moyen d'un faisceau laser ayant une longueur d'onde située dans une plage de valeurs définie par ladite valeur du seuil de transmission plus ou moins 20%, avantageusement plus ou moins 10%.

[0009] Par ce procédé, on peut modifier le couple élastique d'un ressort spiral fabriqué d'un matériau convenable à une valeur désirée pour une fréquence d'oscillation particulière d'un ensemble régulateur, sans enlèvement de matériau, ni

décoloration du ressort, ce qui permet d'éliminer tout après-traitement du spiral. Par module d'élasticité, on entend particulièrement le module de Young (E) et/ou le module de cisaillement (G).

[0010] L'invention concerne également un procédé de réglage de la fréquence d'oscillation d'un ensemble régulateur pour pièce d'horlogerie. Ce procédé comprend les étapes suivantes:

- se munir d'un ressort spiral fabriqué en un matériau ayant, dans le spectre des fréquences de radiation électromagnétique, un régime de transmission, un régime d'absorption et un seuil de transparence se situant entre ledit régime de transmission et ledit régime d'absorption;
- se munir d'un balancier;
- assembler le ressort spiral et le balancier afin de former l'ensemble régulateur.

[0011] Selon l'invention, on ajuste la fréquence d'oscillation du régulateur par modification du module d'élasticité d'au moins une partie du ressort spiral par traitement du matériau au moyen d'un faisceau laser ayant une longueur d'onde située dans une plage de valeurs définie par ladite valeur dudit seuil plus ou moins 20%, avantageusement plus ou moins 10%.

[0012] Par conséquent, on peut effectuer un réglage de l'ensemble régulateur dans lequel le ressort spiral est fabriqué en un matériau approprié sans enlèvement de matériau, ni décoloration du ressort, qui permet d'éliminer tout traitement postérieur du spiral. Le procédé de réglage convient donc à être effectué après que l'ensemble régulateur ait été intégré dans un mouvement d'horlogerie.

[0013] Lors de l'étape d'assemblage, le ressort spiral peut présenter déjà un couple élastique supérieur à celui nécessaire pour que l'ensemble régulateur oscille à la fréquence désirée, ledit traitement du matériau servant à réduire le module d'élasticité de la partie traitée. Alternativement, lors de l'étape d'assemblage, le ressort spiral peut présenter un couple élastique inférieur à celui nécessaire pour que l'ensemble régulateur oscille à la fréquence désirée, ledit traitement du matériau servant à augmenter le module d'élasticité de la partie traitée. La réponse du matériau à l'énergie laser dépend des propriétés du matériau choisi.

[0014] Ledit seuil de transparence peut se définir de plusieurs manières qui incluent mais ne sont pas limitées aux suivantes:

- une longueur d'onde pour laquelle le coefficient d'absorption dudit matériau est substantiellement 1000 cm^{-1} ;
- une longueur d'onde pour laquelle la transmittance dudit matériau est une valeur moyenne d'une valeur maximum de transmittance et d'une valeur minimum de transmittance, cette définition se prêtant particulièrement dans le cas où le spectre d'absorption est relativement lisse dans les plages de longueurs d'ondes d'intérêt. Ladite valeur maximum de transmittance et ladite valeur minimum de transmittance peuvent se trouver respectivement à un maximum et à un minimum adjacents l'un de l'autre, une telle définition convenant particulièrement si le spectre d'absorption présente des fluctuations dans les plages de longueurs d'ondes d'intérêt;
- une longueur d'onde pour laquelle la transmittance dudit matériau est substantiellement 50% de la transmittance maximum.

[0015] Dans un cas particulier, si ledit matériau est du silicium, de préférence du silicium monocristallin, ledit seuil est substantiellement à 1100 nm. On pourrait également envisager d'utiliser le silicium amorphe ou polycristallin, l'oxyde de silicium mono- ou polycristallin, ou l'une des formes diverses d'oxyde d'aluminium mono-ou polycristallin telles que le rubis ou le saphir, ou le diamant.

[0016] Avantageusement, ladite partie du ressort spiral soumise audit traitement se trouve sur la dernière spire du spiral, qui présente un faible déplacement et des contraintes élevées lors des oscillations, et est donc la mieux adaptée pour une modification.

[0017] Avantageusement, ledit faisceau laser est déplacé afin d'irradier ladite partie du ressort spiral afin de la soumettre au traitement. De préférence, ladite irradiation est effectuée tandis que l'ensemble régulateur est en train d'osciller, notamment lorsque l'ensemble régulateur a été précédemment monté dans un mouvement d'horlogerie. Le nombre de manipulations des composants est donc réduit.

[0018] Avantageusement, l'étape d'ajustement de la fréquence de l'ensemble régulateur comprend en outre une étape d'enlèvement de matériau du balancier au moyen d'un faisceau laser afin de modifier son inertie et/ou pour l'équilibrer. Un tel double réglage permet également un réglage vers l'avance de l'ensemble régulateur.

[0019] [0019] Finalement, l'invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce d'horlogerie comprenant un ensemble régulateur, le procédé de fabrication comprenant un réglage de l'ensemble régulateur comme défini ci-dessus.

Brève description des dessins

[0020] D'autres détails de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit, faite en référence au dessin annexé dans lequel:

Fig. 1 est une vue d'un ensemble régulateur de type balancier-spiral;

- Fig. 2 est une vue schématique d'un traitement d'une portion d'un ressort spiral au moyen d'un faisceau laser;
- Fig. 3 est un graphique montrant la modification de la marche d'un ensemble oscillateur comprenant un ressort spiral en silicium monocristallin suite à des traitements successifs par le laser;
- Fig. 4 est un graphique montrant le spectre de transmission du silicium monocristallin; et
- Fig. 5 est un graphique montrant la réflectivité et le coefficient d'absorption du silicium monocristallin.

Mode de réalisation de l'invention

[0021] La fig. 1 illustre un ensemble régulateur 10 de type conventionnel. Cet ensemble régulateur 10 est de type balancier-spiral, et comprend un ressort spiral 1 dont son extrémité intérieure 1a est liée à un axe 5a que comporte un balancier 5. Ce genre d'ensemble régulateur 10 et y-compris d'éventuelles variantes au niveau du ressort spiral 1 et du balancier 5, ainsi que leurs composants auxiliaires, sont généralement connus de l'homme du métier et n'ont pas besoin d'être détaillés ici.

[0022] La fig. 2 illustre schématiquement une portion d'un ressort spiral 1 en train d'être soumise à une irradiation par un faisceau laser 2 émis par un laser 3, le faisceau laser 2 suivant dans l'exemple une direction substantiellement perpendiculaire au plan du ressort spiral 1. Naturellement, le faisceau laser 2 peut suivre n'importe quel trajet désiré entre perpendiculaire et parallèle au plan du ressort spiral 1, y compris tous les angles obliques.

[0023] Le ressort spiral 1 est fabriqué en un matériau ayant, dans le spectre des fréquences de radiation électromagnétique, en particulier de l'infrarouge à l'ultraviolet, un régime de transmission, un régime d'absorption et un seuil de transparence se situant entre ledit régime de transmission et ledit régime d'absorption. En d'autres termes, le matériau est substantiellement transparent à certaines longueurs d'onde, tandis qu'il est opaque à certaines autres. Les présents inventeurs ont découvert que, au moins pour certains de ces matériaux, en réponse à une irradiation par faisceau laser ayant une longueur d'ondes près du seuil de transparence, ou dans, la transition entre ces deux régimes, le module d'élasticité du matériau peut être substantiellement modifié.

[0024] La fig. 3 illustre les résultats que les inventeurs ont obtenus pour un ensemble régulateur 10 comprenant un ressort spiral 1 en silicium monocristallin. Comme l'illustre les fig. 4 et 5, le silicium est substantiellement transparent dans le domaine l'infrarouge, en dessus d'environ 1300 nm de longueur d'onde, et substantiellement opaque dans le domaine visible, en dessous d'environ 1000 nm, où le matériau absorbe près de la surface et/ou réfléchit substantiellement toute l'énergie fournie. Dans un régime de transition se situant entre le régime de transmission et le régime d'absorption, l'énergie est partiellement absorbée et peut donc pénétrer sur une certaine distance dans le matériau avant d'être absorbée. Par conséquent, substantiellement toute l'épaisseur du matériau est soumise au traitement laser, et est modifiée.

[0025] On peut définir de plusieurs manières ce régime de transition, ainsi qu'une valeur d'un seuil de transparence se trouvant dans ce régime, qui définit une seule valeur définissant la transition entre transmission et absorption de radiation électromagnétique. Ces définitions sont essentiellement complémentaires, et similaires.

[0026] Par exemple, on peut définir le seuil comme étant la longueur d'onde pour laquelle le coefficient d'absorption dudit matériau est substantiellement 1000 cm^{-1} . Le coefficient d'absorption d'un matériau est une propriété optique qui est définie par la relation:

$$T = e^{-\alpha L}$$

où T est la proportion de l'énergie transmise, α est le coefficient d'absorption et L est la longueur du chemin à travers le matériau.

[0027] Alternativement, ledit seuil peut être défini comme étant une longueur d'onde pour laquelle la transmittance dudit matériau est une valeur moyenne d'une valeur maximum de transmittance et d'une valeur minimum de transmittance. En d'autres termes, si on calcule la valeur moyenne de transmittance entre le maximum et le minimum, la longueur d'onde qui donne lieu à cette valeur moyenne est la valeur de seuil.

[0028] Encore alternativement, dans le cas où la relation absorption-fréquence présente plusieurs maxima et minima, on peut sélectionner un maximum et un minimum adjacents ou même séparés, et prendre la valeur de la longueur d'onde correspondant à la moyenne de transmittance entre le maximum et le minimum sélectionnés.

[0029] Dans le cas d'espèce, les résultats présentés dans la fig. 3 ont été obtenus avec un laser qui émet de l'énergie électromagnétique ayant une longueur d'onde de substantiellement 1062 nm, qui est écartée de l'ordre de 6% de la valeur du seuil de transparence de silicium monocristallin, qui est substantiellement de 1100 nm.

[0030] Afin d'atteindre ces résultats, un ensemble régulateur 10 de type balancier-spiral conventionnel a été assemblé, dans lequel le ressort spiral 1 est fabriqué en silicium monocristallin. L'ensemble régulateur 10 a été réglé, et sa marche a été mesurée. La marche de l'ensemble régulateur 10 avant le traitement par laser était de -2 s/j . Puis, la spire extérieure du ressort spiral 1 a été soumise à un nombre d'impacts du faisceau laser selon une direction perpendiculaire au plan du ressort spiral 1, et la marche a été mesurée après chaque impact.

[0031] Le laser utilisé est un laser fibre ayant une puissance maximum de 20 W, et des propriétés suivantes:

Laser	Yb:Fiber
Longueur d'onde	1062 nm
Fréquence d'impulsion	1-1'000 kHz
Champ de marquage	60 x 60 mm à $f = 100$
Ø de spot laser min	41 μ
Qualité de faisceau	M2 < 2
Puissance moyenne	20 W @ 26.5 kHz
Puissance maximale	14 kW @ 26.5 kHz
Energie	0.8 mJ @ 26.5 kHz

[0032] Le laser a été opéré en mode onde entretenue (CW). À une puissance de 40% du maximum du laser, c'est-à-dire 8 W, la réponse du régulateur est substantiellement linéaire et de l'ordre d'environ -2.5 s/j pour chaque impact. L'effet est plus prononcé à une puissance de 60% du maximum du laser (12 W), et est substantiellement linéaire et de l'ordre d'environ -9.5 s/j pour chaque impact.

[0033] Par conséquent, on constate que chaque impact laser diminue le module élastique du silicium monocristallin, qui rend donc le ressort spiral 1 plus souple et diminue donc la marche de l'ensemble régulateur 10.

[0034] Les essais nécessaires pour l'identification d'autres matériaux candidats ainsi que la magnitude et la signe de l'effet sur le couple élastique pour chaque matériau sont routines et donc à la portée de l'homme du métier.

[0035] On peut appliquer cet effet dans la pratique de plusieurs manières.

[0036] Dans une première variante, on fabrique des ressorts spiraux présentant des couples ayant déjà des valeurs qui sont corrigibles au moyen de l'irradiation laser susmentionnée, c'est-à-dire légèrement trop rigides dans le cas où l'irradiation réduit le module d'élasticité, et légèrement trop souples dans le cas où l'irradiation augmente le module d'élasticité. On prend un ressort spiral 1, on mesure directement son couple élastique par des moyens conventionnels, et puis on effectue l'irradiation laser susmentionnée jusqu'à atteindre un couple de référence. Le cas échéant, après l'ajustement du couple, on peut le remesurer et effectuer à nouveau l'irradiation, si nécessaire.

[0037] Alternativement, on peut fabriquer des ressorts spiraux présentant des propriétés élastiques ayant des valeurs qui sont corrigibles au moyen de l'irradiation laser susmentionnée. Dans l'exemple du silicium monocristallin, on pourrait les fabriquer avec des couples se trouvant dans une plage de valeurs correspondante à une marche d'entre +2.5 s/j à +30 s/j, en tenant compte des tolérances liées aux couples élastiques des ressorts spiraux et des tolérances liées à l'inertie des balanciers 5 avec lesquels ils seront combinés. Puis, on assemble un ensemble régulateur 10, sans nécessiter d'appairage, soit sur un gabarit d'essai, soit dans le mouvement de montre, et on le met en marche. On mesure ensuite la marche, et on effectue l'irradiation de telle sorte que la marche présente une valeur acceptable. L'étape d'irradiation par faisceau laser peut être effectuée, soit lorsque l'ensemble régulateur 10 est arrêté, ou avantageusement lorsqu'il est en marche, ce qui est avantageux au vu de la réduction de temps nécessaire pour mesurer, ajuster, et remesurer, car il n'est pas nécessaire d'arrêter et puis de redémarrer l'ensemble régulateur 10.

[0038] L'irradiation peut être effectuée sur un ou plusieurs points discrets et/ou distribuée sur des zones de la dernière spire du ressort spiral 1, avec ou sans déplacement du faisceau laser pendant l'irradiation ou entre des impacts discrets du faisceau laser. L'angle du faisceau laser par rapport au plan du ressort spiral 1 peut être choisi entre 0° et 90°, et peut même être modulé entre les impacts du laser.

[0039] Bien qu'aucune raquette ne soit forcément nécessaire au vu de l'ajustement à la marche possible en appliquant l'irradiation par laser susmentionnée, il pourrait quand même être avantageux d'en incorporer une dans le mouvement d'horlogerie, afin de pouvoir effectuer, le cas échéant, un second réglage fin de la marche de l'ensemble régulateur 10, et afin de pouvoir ajuster le réglage en service après-vente, si la marche de la montre a changé à cause de l'usure, aux altérations de la lubrification ou à la demande du client.

[0040] Un avantage particulier du procédé de l'invention est non seulement qu'il permet de supprimer une étape d'appairage, mais aussi qu'il peut être effectué après que l'ensemble régulateur 10 soit déjà monté dans un mouvement d'horlogerie, car il ne produit ni débris, ni de décoloration du ressort spiral 1. Aucun post-traitement ou nettoyage n'est donc nécessaire. Par conséquent, le réglage du couple élastique du ressort spiral 1 est effectué lorsque l'ensemble régulateur 10 est soumis à l'influence de chaque autre composant du mouvement dans lequel il est intégré, améliorant la précision du réglage, et réduisant le nombre d'étapes nécessaires pour fabriquer le mouvement. Essentiellement, il suffit d'assembler le mouvement avec n'importe quel ressort spiral 1 de la production destiné au mouvement en question, et puis de faire le réglage par laser tel que mentionné ci-dessus. En principe, le mouvement peut même être emboîté au moment du réglage par laser.

[0041] De plus, on peut combiner le procédé selon l'invention avec une modification de l'inertie du balancier 5, et/ou un équilibrage du balancier 5, au moyen d'un enlèvement de matériau par faisceau laser. Il est à noter qu'un équilibrage modifie nécessairement également l'inertie du balancier 5. Une telle modification de l'inertie et/ou un équilibrage d'un balancier 5 au moyen d'un faisceau laser a déjà été proposé dans la publication «APPUCA TIONS DU LASER A CORPS SOUDE A QUELQUES PROBLEMES HORLOGERS», M. Seehof et A. Hoffmann, Colloque International de Chronométrie Paris, 16 au 19 Septembre 1969, page C15-7. Le document CH609196 propose une application de ce principe. Un tel double réglage permet également un réglage de l'ensemble régulateur 10 vers l'avance, tandis que, pour le silicium monocristallin au moins, le réglage par faisceau laser selon l'invention permet un réglage vers le retard. L'ensemble régulateur 10 peut donc être réglé dans les deux sens.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un ressort spiral (1) pour pièce d'horlogerie, comprenant les étapes suivantes:
 - se munir d'un ressort spiral (1) fabriqué en un matériau ayant, dans le spectre des fréquences de radiation électromagnétique, un régime de transmission, un régime d'absorption et un seuil de transparence se situant entre ledit régime de transmission et ledit régime d'absorption;
 - modifier le module d'élasticité d'au moins une partie du ressort spiral (1) par traitement du matériau au moyen d'un faisceau laser (2) ayant une longueur d'onde située dans une plage de valeurs définie par ladite valeur du seuil de transmission plus ou moins 20%, avantageusement plus ou moins 10%.
2. Procédé de réglage de la fréquence d'oscillation d'un ensemble régulateur (10) pour pièce d'horlogerie, comprenant les étapes suivantes:
 - se munir d'un ressort spiral (1) fabriqué en un matériau ayant, dans le spectre des fréquences de radiation électromagnétique, un régime de transmission, un régime d'absorption et un seuil de transparence se situant entre ledit régime de transmission et ledit régime d'absorption;
 - se munir d'un balancier (5);
 - assembler le ressort spiral (1) et le balancier (5) afin de former l'ensemble régulateur (10);
 - ajuster la fréquence d'oscillation de l'ensemble régulateur (10) par modification du module d'élasticité d'au moins une partie du ressort spiral (1) par traitement dudit matériau au moyen d'un faisceau laser ayant une longueur d'onde située dans une plage de valeurs définie par ladite valeur dudit seuil plus ou moins 20%, avantageusement plus ou moins 10%.
3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel, lors de l'étape d'assemblage, le ressort spiral (1) présente un couple élastique supérieur à celui nécessaire pour que l'ensemble régulateur (10) oscille à une fréquence prédéterminée, ledit traitement du matériau servant à réduire le module d'élasticité de la partie traitée.
4. Procédé selon la revendication 2, dans lequel, lors de l'étape d'assemblage, le ressort spiral (1) présente un couple élastique inférieur à celui nécessaire pour que l'ensemble régulateur (10) oscille à une fréquence prédéterminée, ledit traitement du matériau servant à augmenter le module d'élasticité de la partie traitée.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel ledit seuil se trouve à une longueur d'onde pour laquelle le coefficient d'absorption dudit matériau est substantiellement 1000 cm^{-1} .
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel ledit seuil se trouve à une longueur d'onde pour laquelle la transmittance dudit matériau est une valeur moyenne d'une valeur maximum de transmittance et d'une valeur minimum de transmittance.
7. Procédé selon la revendication 6, dans lequel ladite valeur maximum de transmittance et ladite valeur minimum de transmittance se trouvent respectivement à un maxima et à un minima adjacents l'un de l'autre.
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel ledit seuil se trouve à une longueur d'onde pour laquelle la transmittance dudit matériau est substantiellement 50% de la transmittance maximum.
9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel ledit matériau est le silicium, de préférence le silicium monocristallin, et ledit seuil est substantiellement à 1100 nm .
10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite partie du ressort spiral (1) soumise audit traitement se trouve sur la dernière spire du ressort spiral (1).

CH 709 516 A2

11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ledit faisceau laser est déplacé afin d'irradier ladite partie du ressort spiral (1) afin de la soumettre au traitement.
12. Procédé selon les revendications 2 et 11, dans lequel ladite irradiation est effectuée tandis que l'ensemble régulateur (10) est en train d'osciller.
13. Procédé selon la revendication 12, dans lequel l'ensemble régulateur (10) a été monté dans un mouvement d'horlogerie avant l'étape d'ajustement de la fréquence d'oscillation.
14. 1Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'étape de d'ajustement de la fréquence de l'ensemble régulateur (10) comprend en outre une étape d'enlèvement de matériau du balancier (5) au moyen d'un faisceau laser afin de modifier son inertie et/ou pour l'équilibrer.
15. Procédé de fabrication d'une pièce d'horlogerie comprenant un ensemble régulateur (10), le procédé comprenant un réglage de la fréquence d'oscillation de l'ensemble régulateur (10) selon l'une des revendications 2 à 14.

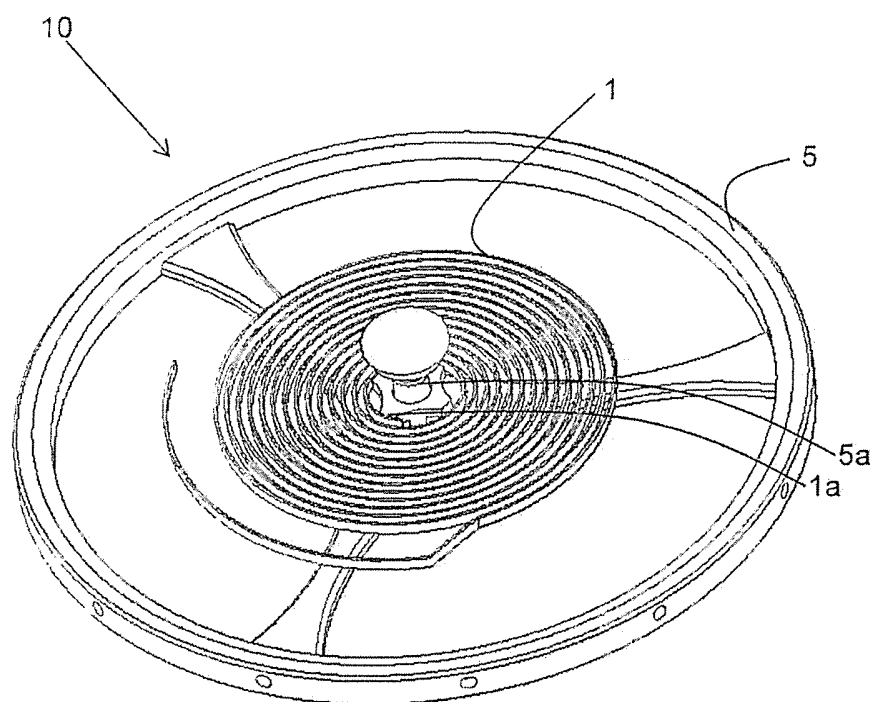


Figure 1

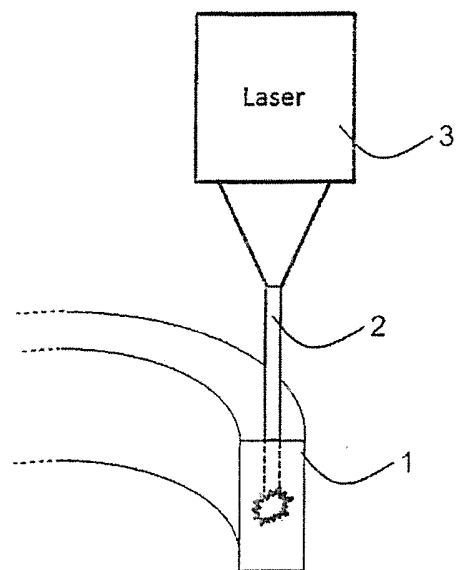


Figure 2

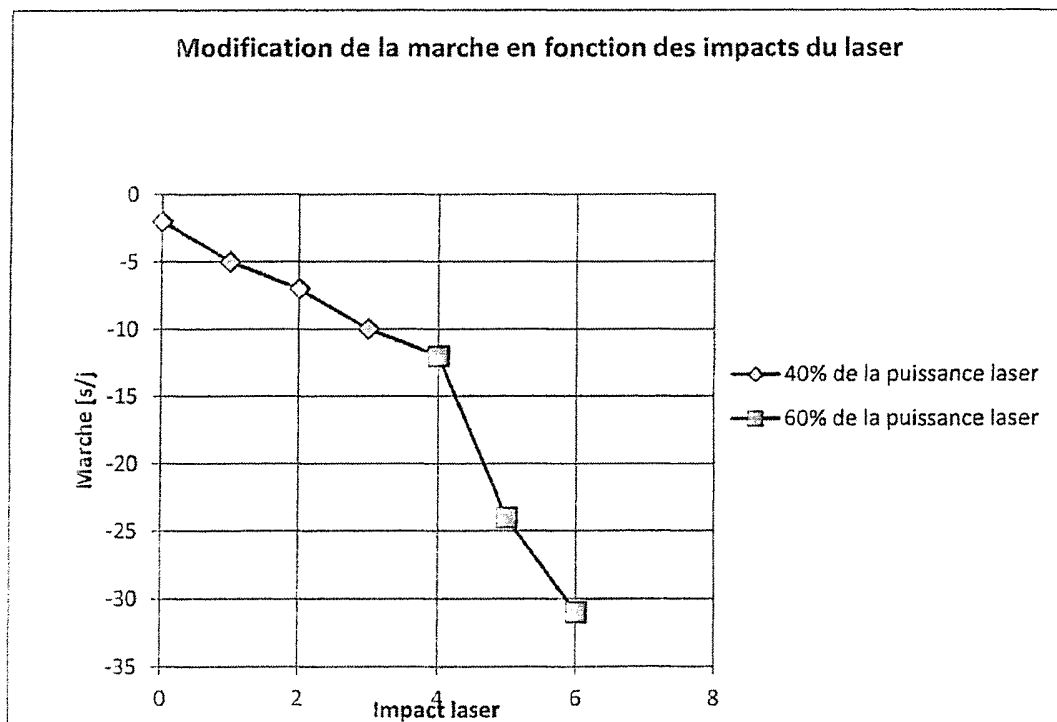
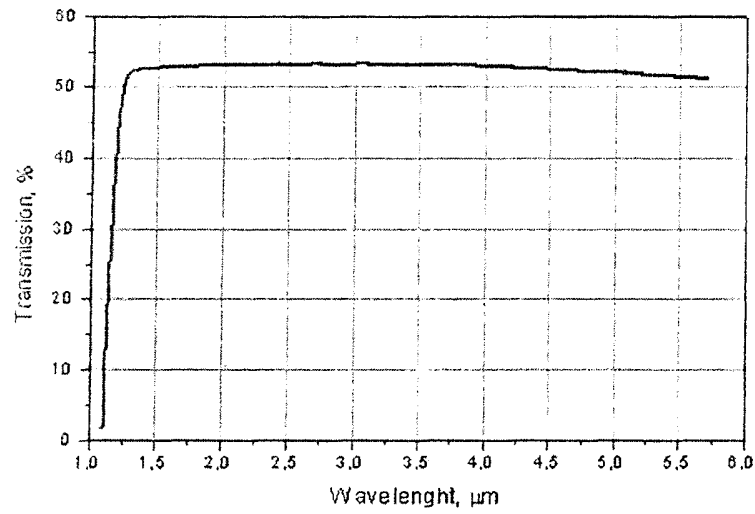
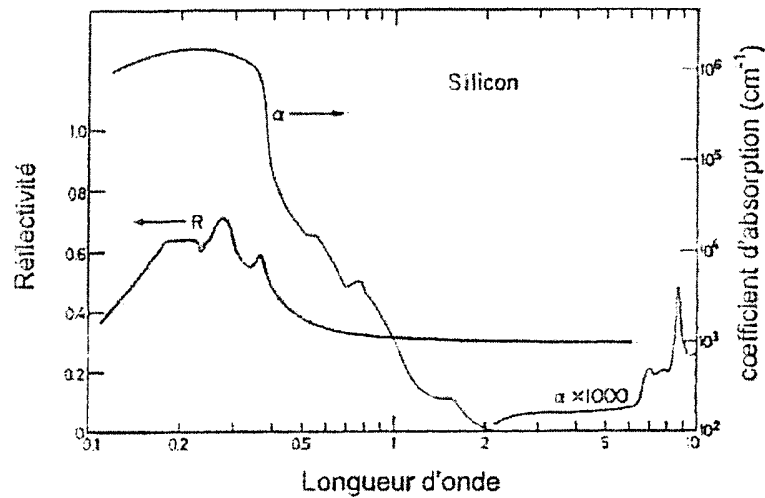


Figure 3



(Source : http://www.tydexoptics.com/products/pyrometry/si_elements/)

Figure 4



Source : M. Von Allmen, A. Blatter, "Laserbeam interactions with materials: physical principles and applications", 2nd Edition, Springer, NewYork,1995.

Figure 5