



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
23.02.2022 Bulletin 2022/08

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
G04B 17/22 (2006.01) G04B 17/06 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **21194853.4**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
G04B 17/22; G04B 17/066

(22) Date de dépôt: **27.01.2015**

(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 RS SE SI SK SM TR

• **ROQUES-CARMES, Claude**
25000 Besançon (FR)
• **LALLEMENT, Gérard**
25000 Besançon (FR)

(30) Priorité: **29.01.2014 CH 1192014**

(74) Mandataire: **P&TS SA (AG, Ltd.)**
Avenue J.-J. Rousseau 4
P.O. Box 2848
2001 Neuchâtel (CH)

(62) Numéro(s) de document de la (des) demande(s) initiale(s) en application de l'article 76 CBE:
15701046.3 / 3 100 120

(71) Demandeur: **Richemont International S.A.**
1752 Villars-sur-Glâne (CH)

Remarques:

Cette demande a été déposée le 03-09-2021 comme demande divisionnaire de la demande mentionnée sous le code INID 62.

(72) Inventeurs:
• **BEAU, Philippe**
25170 Recologne (FR)

(54) **PROCÉDÉ DE FABRICATION D'UN RESSORT SPIRAL THERMOCOMPENSÉ**

(57) L'invention concerne un procédé pour la production d'un ressort spiral (1) destiné à équiper un résonateur balancier-spiral de mouvement d'horlogerie ou autre instrument de précision, le ressort spiral (1) comprenant une âme (2) fabriquée dans un matériau céramique à base de silicium, l'âme (2) ayant une première raideur (k_A) et un premier coefficient thermoélastique (β_A); et un revêtement (4) de dioxyde de silicium d'épaisseur (t_R) et couvrant au moins partiellement l'âme (2), le revêtement (4) ayant une seconde raideur (k_R) et un second coefficient

thermoélastique (β_R) de signe opposé au premier coefficient thermoélastique (β_A). Le procédé comporte une étape d'ajustement de la section de l'âme (2) et l'épaisseur (t_R) du revêtement (4) de manière à obtenir une valeur souhaitée pour le coefficient thermoélastique du ressort spiral (β_S) et une raideur du ressort spiral (k_S). L'invention concerne également un résonateur balancier-spiral comprenant le ressort spiral et un balancier. Le ressort spiral présente une invariance des propriétés de dilatation et d'élasticité.

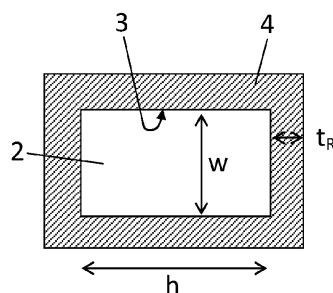


Fig. 2a

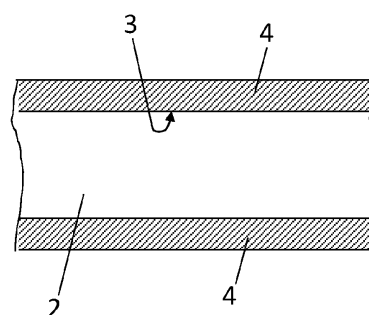


Fig. 2b

Description

Domaine technique

5 **[0001]** La présente invention concerne un ressort spiral thermocompensé destiné à équiper un résonateur balancier-spiral de mouvement d'horlogerie ou autre instrument de précision. L'invention concerne également un résonateur balancier-spiral comprenant le ressort spiral et un balancier et un procédé de réglage du ressort spiral.

Etat de la technique

10 **[0002]** L'organe régulateur des montres mécaniques est conventionnellement composé d'un volant d'inertie, appelé balancier et d'un ressort en forme de spirale, appelé spiral ou ressort spiral, fixé par une extrémité sur l'axe du balancier et par l'autre extrémité sur un pont, appelé coq, dans lequel pivote l'axe du balancier. Plus précisément, le ressort spiral équipant, à ce jour, les mouvements de montres mécaniques est une lame métallique élastique de section rectangulaire enroulée sur elle-même en forme de spirale d'Archimède et comportant de 12 à 15 tours.

15 **[0003]** Le balancier-spiral oscille autour de sa position d'équilibre (ou point mort). Lorsque le balancier quitte cette position, il arme le spiral. Cela crée un couple de rappel qui, lorsque le balancier est libéré, le fait revenir à sa position d'équilibre. Comme il a acquis une certaine vitesse, donc une énergie cinétique, il dépasse son point mort jusqu'à ce que le couple contraire du spiral l'arrête et l'oblige à tourner dans l'autre sens. Ainsi, le spiral régule la période d'oscillation du balancier.

20 **[0004]** La précision des montres mécaniques dépend donc de la stabilité de la fréquence propre fondamentale f_o du résonateur formé du balancier-spiral. Lorsque la température varie, les dilatations thermiques du spiral et du balancier, ainsi que la variation du module de Young du spiral, modifient la fréquence fondamentale propre de cet ensemble oscillant, perturbant la précision de la montre. La fréquence propre fondamentale f_o est liée aux variations Δf de fréquence via la marche M de l'ensemble oscillant selon l'équation 1:

$$M = 86400 (\Delta f / f_o) \quad (1)$$

30 dans laquelle 86400 représente le nombre d'oscillations effectuées en 24 heures à une fréquence de 1 Hz.

[0005] Plus particulièrement, la fréquence propre fondamentale f_o d'un résonateur mécanique balancier-spiral peut s'exprimer selon l'équation 2:

$$35 \quad f_o = 1/2 (k_s / J_B)^{1/2} \quad (2)$$

où k_s est la raideur du ressort spiral et J_B est le moment d'inertie du balancier par rapport à son axe de rotation. En particulier, le moment d'inertie du balancier peut s'exprimer comme:

$$40 \quad J_B = m r_B^2 \quad (3)$$

où m est la masse du balancier et r_B est le rayon du balancier. La raideur nominale k_s du ressort spiral plat peut être estimée à partir de l'équation 4:

$$45 \quad k_s = (E h w^3) / 12 L \quad (4)$$

où E est le module d'Young du ressort spiral, w l'épaisseur du spiral, h la largeur du spiral et L la longueur du spiral.

50 **[0006]** Pour une variation de la température de 1°C, la variation relative de la fréquence du résonateur balancier-spiral Δf par rapport à sa fréquence propre fondamentale f_o correspond à:

$$\Delta f / f_o = 1/2 (\Delta k_s / k_s - \Delta J_B / J_B)$$

55 soit

$$\Delta f / f_0 = 1/2 (\beta_S + 3\alpha_S - 2\alpha_B) \quad (5)$$

où $\Delta k_S / k_S$ est la variation de la raideur du ressort spiral par rapport à sa raideur nominale et $\Delta J_B / J_B$ est la variation de l'inertie du balancier par rapport à son inertie nominale, ce qui permet d'introduire pour les perturbations thermiques, β_S le coefficient thermoélastique linéaire du ressort spiral, α_S le coefficient de dilatation linéaire du ressort spiral, et α_B le coefficient de dilatation linéaire du balancier.

[0007] On comprendra aisément que la raideur k_S d'un ressort spiral doit être la plus constante possible, quels que soient, notamment, la température et le champ magnétique. Par exemple, depuis la découverte des alliages Elinvar à base principalement de Fe-Ni-Cr possédant un coefficient thermoélastique β_S positif (β_S égal à 30 à 40 $\times 10^{-6}$), la compensation thermique de l'oscillateur mécanique est obtenue en ajustant le coefficient thermoélastique β_S du spiral en fonction des coefficients de dilatation thermique du spiral α_S et du balancier α_B , suivant la relation 5.

[0008] En ajustant le terme ($\beta_S + 3\alpha_S$) à un multiple de la valeur du coefficient de dilatation thermique du balancier soit $2\alpha_B$, il est possible d'annuler l'équation 5. Ainsi, la variation thermique de la fréquence propre du résonateur peut être éliminée.

[0009] Le document EP1422436 décrit un ressort spiral découpé dans une plaque {001} de silicium monocristallin. Le spiral comporte une couche de SiO_2 , présentant un coefficient thermoélastique opposé à celui du silicium et formée autour de la surface extérieure du spiral, afin de minimiser la dérive thermique de l'ensemble balancier-spiral. La couche de dioxyde de silicium permet également une amélioration des propriétés mécaniques du substrat en silicium.

[0010] Le coefficient thermoélastique du silicium est fortement influencé par la température et une compensation de cet effet est nécessaire pour son utilisation dans des applications horlogères. En effet, le coefficient thermoélastique du silicium est de l'ordre de $-60 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ et la dérive thermique d'un ressort spiral en silicium est ainsi d'environ 2 minutes/jour, pour une variation de température de $23^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$. Cela le rend incompatible avec les exigences horlogères qui sont de l'ordre de 0.6 seconde/jour/ $^\circ\text{C}$ dans la gamme de températures comprises entre 8°C et 38°C .

[0011] Le document EP2590325 décrit un ressort spiral dont le corps en céramique de type verres borosilicates ou carbure de silicium est revêtu d'une strate de SiO_2 , de façon à ce que le résonateur ainsi formé possède une variation de fréquence quasi nulle en fonction de la température. Par la valeur de son coefficient de thermocompensation, le revêtement de SiO_2 assure une quasi indépendance de la température sur le module d'Young du matériau du corps du résonateur.

Bref résumé de l'invention

[0012] L'invention concerne la sélection de matériaux céramiques comprenant l'élément silicium dans leur formulation pour des applications horlogères. En particulier, l'invention concerne un ressort spiral destiné à équiper un résonateur balancier-spiral de mouvement d'horlogerie ou autre instrument de précision, le ressort spiral comprenant une âme fabriquée dans un matériau céramique contenant l'élément silicium dans sa formulation et comprenant une section, l'âme ayant une première raideur et un premier coefficient thermoélastique; et un revêtement de dioxyde de silicium d'épaisseur et couvrant au moins partiellement l'âme, le revêtement ayant une seconde raideur et un second coefficient thermoélastique de signe opposé au premier coefficient thermoélastique; la section de l'âme et l'épaisseur du revêtement étant ajustables indépendamment de manière à obtenir (i) un coefficient thermoélastique du ressort spiral en fonction du premier coefficient thermoélastique et du second coefficient thermoélastique, et (ii) une raideur du ressort spiral en fonction de la première raideur et la seconde raideur.

[0013] L'invention concerne également un oscillateur balancier-spiral comprenant le ressort spiral ayant un coefficient de dilatation linéaire du ressort spiral, et un balancier ayant un coefficient de dilatation linéaire du balancier; la section de l'âme et l'épaisseur du revêtement étant ajustées de manière à ce que la combinaison du second coefficient thermoélastique et du premier coefficient thermoélastique résulte dans un coefficient thermoélastique du ressort spiral compensant une valeur correspondant à la différence entre trois fois le coefficient de dilatation linéaire du ressort spiral et deux fois le coefficient de dilatation linéaire du balancier; la section de l'âme et l'épaisseur du revêtement étant également ajustées de manière à ce que la combinaison de la première raideur et la seconde raideur donne une raideur du ressort spiral permettant d'obtenir la fréquence propre fondamentale de consigne du résonateur balancier-spiral.

[0014] Un procédé de réglage du ressort spiral est également présenté, le procédé comprenant:

la formation du revêtement de dioxyde de silicium ayant une épaisseur prédéterminée sur au moins une portion de l'âme de manière à obtenir une valeur prédéterminée du second coefficient thermoélastique; et

l'ajustement de la section de l'âme de manière à obtenir une valeur prédéterminée de la première raideur; l'ajustement de la section de l'âme étant réalisé avant l'étape de formation d'un revêtement de dioxyde de silicium.

[0015] Le ressort spiral ainsi que le résonateur balancier-spiral de l'invention présente une invariance des propriétés de dilatation et d'élasticité dans une gamme définie de températures comprise, d'après le COSC (Contrôle Officiel Suisse des Chronomètres), entre 8°C et 38°C. Un tel résonateur est également insensible aux champs magnétiques extérieurs.

[0016] Le procédé de réglage permet d'ajuster la section de l'âme et l'épaisseur du revêtement indépendamment de manière à obtenir une valeur souhaitée du coefficient thermoélastique du ressort spiral et une valeur souhaitée de la raideur du ressort spiral.

[0017] Le matériau céramique contenant l'élément silicium dans sa formulation est avantageux dans les applications horlogères de par ses propriétés mécaniques d'usage et, en particulier, à sa ténacité très supérieure à celle du silicium. L'ensemble des propriétés attendues étant conforté par la réalisation préalable de tests de vieillissement sous température et atmosphère contrôlées.

Brève description des figures

[0018] Des exemples de mise en oeuvre de l'invention sont indiqués dans la description illustrée par les figures annexées dans lesquelles :

la figure 1 montre une vue du dessus d'un ressort spiral selon l'invention;

la figure 2 montre une vue en coupe transversale droite (figure 2a) et longitudinale (figure 2b) du ressort spiral comprenant une âme et un revêtement, selon un mode de réalisation;

la figure 3 montre un exemple de ressort spiral thermocompensé comprenant une virole et un piton, selon l'invention;

la figure 4 montre des micrographies d'une coupe du ressort spiral comprenant un revêtement en dioxyde de silicium, selon un premier (figure 4a) et second (figure 4b) mode de réalisation;

les figures 5 et 6 montrent des micrographies d'une coupe du ressort spiral comprenant un revêtement en dioxyde de silicium selon une vue à un agrandissement de $\times 5000$ (figure 5), à un agrandissement de $\times 18000$ (figure 6); et

la figure 7 est une micrographie d'une coupe du ressort spiral dans montrant une bonne adhérence entre l'âme et le revêtement en dioxyde de silicium.

Exemple(s) de mode de réalisation de l'invention

[0019] La figure 1 montre une vue du dessus d'un ressort spiral 1 et les figures 2a et 2b montrent une vue en coupe longitudinale et transversale du ressort spiral 1 selon l'invention. Selon un mode de réalisation, le ressort spiral 1 comprend une âme 2 formée dans un matériau céramique contenant l'élément silicium dans sa composition (ci-après matériau céramique) et un revêtement 4 de dioxyde de silicium couvrant au moins partiellement la surface extérieure 3 de l'âme 2. Dans la présente description le terme "âme" est utilisé pour décrire une partie centrale, ou encore le corps, du ressort spiral. Le revêtement 4 correspond à une couche déposée superficiellement sur l'âme, ou corps. Dans l'exemple des figures 1 et 2, l'âme a une forme hélicoïdale et comprend au moins une spire de section rectangulaire d'épaisseur w et de hauteur h . On comprendra cependant que la géométrie de l'âme peut être autre que celle illustrée dans cet exemple, par exemple, l'âme peut avoir une section droite circulaire, ou polygonale, ou autre. Le ressort-spiral 1 peut être vu comme étant formé d'une structure composite de type «sandwich» constituée d'une partie centrale, l'âme 2, et le revêtement 4 (voir la figure 2b).

[0020] L'âme 2 en matériau céramique a un premier coefficient thermoélastique β_A et une première raideur k_A . Le revêtement de SiO_2 possède un second coefficient thermoélastique β_R de signe opposé au premier coefficient thermoélastique β_A , et une seconde raideur k_R .

[0021] Les matériaux céramiques les plus courants, ayant des propriétés diélectriques, comprennent les aluminés (Al_2O_3), les nitrures d'aluminium (AlN), l'oxyde de béryllium (BeO), le quartz, le nitrure de silicium (Si_3N_4), l'oxynitrure de silicium et d'aluminium (SiAlON). Dans une variante du mode de réalisation, le matériau céramique comprend un nitrure de silicium, un carbure de silicium, ou un oxynitrure de silicium. Plus particulièrement, le matériau céramique peut comprendre l'un ou une combinaison des composés: nitrure de silicium (Si_3N_4), SiC ou l'oxynitrure de silicium et d'aluminium (SiAlON), qui comportent l'élément silicium dans leur composition. De façon préférée, le matériau céramique comprend au moins l'une des structures composites suivantes: $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiC}$, $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-TiCN}$, $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-SiAlON}$, $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-AlN}$, $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-ZrO}_2$, SiC-SiAlON , Si-SiC , $\text{SiC-Si}_3\text{N}_4\text{-Si}_2\text{N}_2\text{O}$ ou SiAlON-TiN , ou un composite comportant au moins l'un de ces composés. Le matériau céramique peut également comprendre un composite de type fibres telles que des fibres de SiC dispersées dans une matrice céramique (SiC par exemple) de SiC (composite $\text{SiC} - \text{SiC}$), ou encore un

composite de structure aciculaire (exemple β Si_3N_4) dans une matrice de structure équiaxe (par exemple α Si_3N_4) (composite Si_3N_4 - Si_3N_4). Dans un mode de réalisation privilégié, le matériau céramique comprend au moins l'une des structures composites suivantes: Si_3N_4 -SiAlON ou α - Si_3N_4 - β - Si_3N_4 .

[0022] La table I reporte des valeurs de densité, porosité ouverte, module de Young, contrainte maximale de flexion, module de Weibull, ténacité et de conductivité thermique pour le Si_3N_4 , SiC et SiAlON.

Table I -

Caractéristiques	Si_3N_4	SiC	SiAlON
Densité	3,2	3,10	3,25
Porosité ouverte (%)	0	< 3	0 à 5
Module d'Young (GPa)	300	410	300
Contrainte maximale de flexion (MPa)	750 (tests 3 points)	410 (tests 4 points)	450
Module de Weibull	15	10	≥ 10
Ténacité ($\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$)	6,5	3,2	≥ 4
Conductivité thermique (W/m.K) à 20°C	22	110	20

[0023] Des exemples du matériau céramique à l'état massif comprennent le Si_3N_4 , fourni par la société H.C. STARCK CERAMICS sous la référence SSN Star CeramTM N700, ou par la société UMICORE sous la référence FRIALIT HP79; le SiC fourni par la société E.S.K. CERAMICS pour le SiC, sous la référence EKASICTM F SiC 100; et le SiAlON par la société KENNAMETAL pour le SiAlON sous la référence TK4. Le tableau I compare les propriétés de ces matériaux à l'état massif.

[0024] Le matériau céramique a de bonnes propriétés à la fois à température ambiante et à haute température. De tels matériaux céramiques sont classiquement utilisés comme matériaux constitutifs des moteurs, des paliers, des éléments de turbines à gaz, en particulier en raison de leur bonne résistance thermique, de leur faible dilatation thermique, de leurs bonnes propriétés mécaniques et de leur bonne résistance à la corrosion. On peut citer également leur utilisation dans l'industrie des semiconducteurs, par exemple pour les masques en nitrure de silicium. Le matériau céramique est avantageux pour les applications horlogères puisqu'il possède une densité faible et un coefficient de dilatation linéaire du même ordre de grandeur que celui du silicium. Il possède en outre un module de Young qui est du double voire du triple de celui du silicium, une résistance à la flexion, une ténacité très supérieure à celle du silicium, ainsi qu'une insensibilité aux champs magnétiques. Le matériau céramique monolithique est également avantageux de par ses propriétés réfractaires et sa bonne résistance à la corrosion sèche et humide.

[0025] L'élaboration du matériau céramique peut être réalisée à l'aide d'un procédé de frittage ou tout autre procédé adapté. Contrairement à la fabrication d'un ressort spiral en silicium qui nécessite sa réalisation à partir d'une plaque usinée de type "wafer", l'âme 2 dans le matériau céramique peut être usinée à partir d'un bloc quelconque dans le matériau céramique de manière à obtenir une épaisseur (par exemple 150 μm) correspondant substantiellement à la hauteur souhaitée du ressort spiral 1. Des usinages préliminaires de plaques issues de blocs industriels peuvent être réalisés par découpe, meulage, rodage puis polissage mécanique ou chimique. L'usinage lui-même peut être réalisé à l'aide d'un procédé de gravure humide ou sèche. Par exemple, l'usinage peut être réalisé à l'aide d'un procédé de gravure ionique réactive tel que le procédé DRIE (Deep Reaction Ion Etching). Le procédé DRIE favorise la gravure profonde et une bonne précision sur les formes gravées. Il favorise également la formation de parois verticales sur l'âme 2 ainsi gravée.

[0026] Il est également possible d'usiner l'âme 2 avec la forme spiralée à l'aide d'un procédé de découpe laser. Par exemple, un faisceau laser pulsé de diamètre compris en 10 microns et 30 microns peut être utilisé. La longueur d'onde sélectionnée peut être de $\lambda = 532$ nm, avec une durée des impulsions comprise entre 5 et 15 picosecondes, et ce, pour une cadence comprise dans l'intervalle 200 KHz à 1000 KHz. Il est également possible de réaliser la découpe avec des impulsions laser uniques ou des trains d'impulsions avec des énergies comprises entre 5 et 80 micro joules, séparées par des intervalles de 1 à 5 microsecondes. Les trains d'impulsions peuvent être composés de 2 à 10 impulsions laser séparés de 10 à 50 ns.

[0027] L'épaisseur t_R du revêtement 4 peut être ajustée de manière à obtenir une valeur souhaitée du coefficient thermoélastique du ressort spiral β_S . En effet, le coefficient thermoélastique du ressort spiral β_S dépend de la combinaison du premier coefficient thermoélastique β_A et du second coefficient thermoélastique β_R et peut donc être modifié en modifiant l'épaisseur t_R du revêtement 4.

[0028] De plus, la section de l'âme 2 peut être ajustée de manière à obtenir une valeur souhaitée de la raideur du ressort spiral k_S . La raideur du ressort spiral k_S est déterminée par une combinaison de la raideur de l'âme k_A et de la

raideur du revêtement k_R .

[0029] En fait, selon l'invention, la section de l'âme 2 ainsi que l'épaisseur t_R du revêtement 4 peuvent être ajustées de façon indépendante afin de modifier indépendamment la valeur de la raideur du ressort spiral k_s et la valeur de coefficient thermoélastique du ressort spiral β_s .

[0030] En pratique, l'épaisseur du revêtement 4 sera comprise entre $0.1\ \mu\text{m}$ et $10\ \mu\text{m}$, et préféablement entre $1\ \mu\text{m}$ et $6\ \mu\text{m}$, ou encore plus préféablement entre $2\ \mu\text{m}$ et $5\ \mu\text{m}$.

[0031] L'invention concerne également le réglage du ressort spiral 1 de manière à ajuster la raideur k_s du ressort spiral 1 et la minimisation des variations des propriétés de dilatation et d'élasticité du ressort spiral 1 de façon à minimiser les variations thermiques du ressort spiral 1.

[0032] Selon un mode de réalisation, un procédé de réglage du ressort spiral 1 comprend:

l'ajustement de la section de l'âme 2 de manière à obtenir une valeur prédéterminée de la première raideur k_A ; et

la formation du revêtement de dioxyde de silicium 4 ayant une épaisseur prédéterminée t_R sur au moins une portion de l'âme 2 de manière à obtenir une valeur prédéterminée du second coefficient thermoélastique β_R .

[0033] L'ajustement de la section de l'âme 2 est réalisé avant l'étape de formation d'un revêtement de dioxyde de silicium. L'ajustement de la section de l'âme 2 peut être réalisé par enlèvement de matière à la périphérie de l'âme. De préférence, l'enlèvement de la matière sur l'âme 2 formée du matériau céramique est réalisé au moyen d'une attaque chimique isotrope de l'âme 2. Par exemple, l'enlèvement de la matière peut être réalisé par une attaque dans une solution à chaud d'acide phosphorique avec ou sans acide nitrique et eau, pour ajuster l'épaisseur de l'âme en nitrure de silicium.

[0034] La valeur prédéterminée de la première raideur k_A correspond à la valeur que doit avoir la première raideur k_A de l'âme 2 (sans le revêtement) permettant au ressort spiral 1 (l'âme avec le revêtement) d'avoir une valeur souhaitée pour la raideur k_s du ressort spiral 1. La raideur k_s du ressort spiral 1 correspond à une combinaison de la première raideur k_A et de la seconde raideur k_R .

[0035] La valeur prédéterminée de la première raideur k_A peut être calculée en fonction de la seconde raideur k_R , qui dépend de l'épaisseur t_R du revêtement 4 et de la valeur souhaitée de la raideur k_s du ressort spiral 1. Le calcul de la valeur prédéterminée de la première raideur k_A peut être réalisé à l'aide de simulations numériques utilisant des éléments finis en fonction de la raideur du ressort spiral k_s souhaitée.

[0036] Dans un mode de réalisation, le procédé comprend une étape de mesure d'une première raideur mesurée k_{Am} , et une étape de comparaison de la première raideur mesurée k_{Am} par rapport à une valeur prédéterminée (souhaitée) de la première raideur k_A . La quantité de matière à enlever pour l'ajustement de la section de l'âme 2 de sorte à obtenir la valeur prédéterminée de la première raideur k_A peut alors être déterminée à partir de l'écart entre la première raideur mesurée k_{Am} et la valeur prédéterminée de la première raideur k_A . La relation entre la première raideur k_A et la quantité de matière à enlever est donnée par l'équation 4 dans laquelle la raideur du ressort spiral k_s est remplacée par la première raideur k_A de l'âme 2 et où E est le module d'Young de l'âme, w , h et L respectivement l'épaisseur, la hauteur et la longueur de l'âme 2.

[0037] La mesure de la première raideur k_A peut être réalisée en alternance avec l'étape d'ajustement de la section de l'âme 2. Alternativement, la mesure de la première raideur k_{Am} peut être réalisée simultanément avec l'étape d'ajustement de la section de l'âme 2.

[0038] De façon préférée, l'ajustement de la section de l'âme 2 comprend un enlèvement de matière correspondant à une épaisseur d'environ $0.1\ \mu\text{m}$ à $3\ \mu\text{m}$ à la périphérie de l'âme 2.

[0039] La formation du revêtement de dioxyde de silicium 4 est réalisée au moins sur une portion de l'âme 2. Par exemple, le revêtement 4 peut couvrir toutes les faces 3 de l'âme 2, ou seulement certaines faces 3 de l'âme 2. Selon un mode de réalisation où l'âme est réalisée sur un substrat par gravure, le revêtement 4 peut ne couvrir que les trois faces libres de l'âme 2 mais pas la face solidaire au substrat. L'épaisseur t_R du revêtement 4 est déterminée de sorte à obtenir une valeur prédéterminée du second coefficient thermoélastique β_R du revêtement 4.

[0040] La croissance du revêtement 4 en dioxyde de silicium, correspondant à une oxydation dite passive, peut être réalisée par thermo-oxydation en présence d'agents oxydants ou par thermo-oxydation rapide à des températures comprises entre 800°C et 1600°C , et préférentiellement à des températures comprises entre 1000°C et 1200°C . Les agents oxydants peuvent comprendre l'oxygène et/ou la vapeur d'eau (thermo-oxydation humide). Les agents oxydants peuvent également comprendre, par exemple et sans être exhaustif, l'ozone, des mélanges oxygène-azote, ou oxygène-hélium.

[0041] La croissance de la couche d'oxyde de silicium peut encore être réalisée par oxydation plasma à basse température (entre 300°C à 600°C et préféablement entre 400°C et 500°C) à l'aide d'un plasma oxygène. Dans ce cas, l'âme 2 peut être mise en position anodique de façon à éviter des effets de pulvérisation dans la couche d'oxyde. A cette fin, l'âme 2 peut être mise en contact avec un plasma d'oxygène généré par une source radiofréquence, ou par

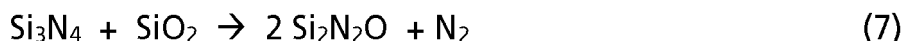
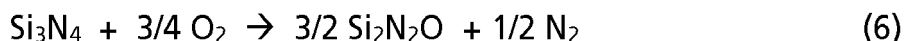
une source micro-ondes, toutes deux positionnées à quelques centimètres de l'âme 2. La surface de l'âme 2 est principalement soumise aux espèces ionisées du plasma (ions, électrons). Une cathode est située à plusieurs dizaines de centimètres de l'âme à oxyder. On peut également réaliser la couche d'oxyde de silicium par dépôt chimique en phase vapeur assistée par plasma (plasma-enhanced chemical vapor deposition, PECVD) avec une épaisseur variant entre

0,2 et 10 micromètres et, préférentiellement, entre 2 et 5 micromètres.

[0042] Avantagusement, les liaisons chimiques à caractère partiellement covalent des céramiques à base de silicium comprenant un nitrure, carbure ou oxynitrure de silicium favorisent la continuité des structures à l'interface entre le matériau céramique et la couche de SiO₂.

[0043] La composition et la structure du revêtement 4 en dioxyde de silicium dépendent du mode d'élaboration du matériau céramique monolithique. Dans le cas où le matériau céramique comprend le nitrure de silicium élaboré par frittage en phase solide sous pression isostatique à chaud (HIP SN) ou par une technologie de déposition chimique en phase vapeur (CVD), les deux procédés se réalisant sans ajout de matière, le revêtement 4 contient essentiellement du SiO₂ amorphe sans perturbation sur la texture du matériau céramique.

[0044] Lorsque le matériau céramique est élaboré par un procédé de frittage en phase liquide en présence d'ajouts de types oxyde de magnésium (MgO), oxyde d'yttrium (Y₂O₃), oxydes de terres rares (Re₂O₃), le revêtement 4 comprend des composés dispersés dans le revêtement de silice et le composé Si₂N₂O à l'interface entre la céramique et le revêtement de silice (par exemple le composé Y₂Si₂O₇ dans le cas d'ajout de Y₂O₃). En particulier, la réaction d'oxydation formant le revêtement 4 peut être exprimée par les équations 6 et 7:



Les produits gazeux de ces réactions (N₂) provoquent la formation de porosités (bulles) dans le revêtement 4.

[0045] La composition de la couche superficielle de l'âme 2 en céramique est en outre modifiée par différents mécanismes de diffusion cationique des éléments des ajouts.

[0046] La présence de l'élément silicium dans le substrat de matériau céramique constituant l'âme 2 du ressort spiral 1 permet une bonne adhésion du revêtement 4 au substrat céramique. Cette bonne adhésion est due à une continuité à l'échelle atomique entre le substrat et le revêtement 4 dans une zone d'accommodation (aussi connue selon l'expression anglaise de "terrace région") de quelques distances atomiques à partir de la surface du substrat.

[0047] Le matériau céramique contenant l'élément silicium dans sa composition a de préférence une résistivité qui est typiquement très élevée (> 10¹² Ω.m) et donc peut être considéré comme un matériau diélectrique. Lorsque le revêtement 4 de silice est réalisé sur un tel matériau céramique diélectrique, la strate silicique croît à partir de l'extrême surface du substrat, assurant une bonne adhérence du revêtement sur le substrat, et éliminant la diffusion de l'oxygène à l'intérieur de l'âme 2, comme cela est constaté lors des opérations d'oxydation de la silice.

[0048] Les figures 4a et 4b concernent des micrographies obtenues par microscopie électronique à balayage, montrant une vue en coupe du ressort spiral 1 comprenant l'âme 2 dans le matériau céramique et le revêtement 4 en dioxyde de silicium formé par le procédé d'oxydation thermique sous air à 1200°C pendant deux heures (figure 4a), et par le procédé d'oxydation plasma à basse température à l'aide d'un plasma oxygène (figure 4b), dans des conditions privilégiant l'oxydation passive du matériau céramique. Un enrobage protégeant le revêtement 4 lors de l'opération de coupe métallographique est également visible aux figures 4a et 4b.

[0049] Les figures 5 et 6 montrent des micrographies, obtenues par microscopie électronique à balayage, d'une coupe du ressort spiral comprenant le revêtement 4 en dioxyde de silicium selon une vue à un agrandissement de × 5000 (figure 5), à un agrandissement de × 18000 (figure 6). Le revêtement 4 est formé par un procédé d'oxydation plasma à basse température. La figure 7 montre une autre micrographie, également obtenue par microscopie électronique à balayage, d'une coupe du ressort spiral dans laquelle on peut voir une bonne adhérence entre l'âme et le revêtement en dioxyde de silicium, même dans les zones présentant des arrachements granulaires (une telle zone est représentée sur la figure 7 par le numéro 8).

[0050] L'épaisseur de la couche d'oxyde de silicium peut être estimée à l'aide de paramètres tels que le temps d'oxydation; le degré d'hygrométrie et la température. En effet, les lois cinétiques de croissance des couches d'oxydes sont connues (lois paraboliques, lois arc tangente, ou fonctions linéaires).

[0051] Encore dans un mode de réalisation, le procédé comprend une étape de réduction de l'épaisseur du revêtement 4. Cette étape dans laquelle une fraction de l'épaisseur du revêtement 4 est enlevée par attaque chimique, permet d'ajuster plus finement la raideur ks du ressort spiral 1. Cette étape qui est réalisée après l'étape de formation du revêtement de dioxyde de silicium 4 sur l'âme 2 permet également de faire un ajustement fin de la valeur prédéterminée du second coefficient thermoélastique β_R.

[0052] Un aspect important du procédé de l'invention est que l'obtention de la valeur prédéterminée de la première raideur k_A peut être réalisée en une seule étape.

[0053] Dans le cas d'une âme en silicium de l'art d'antérieur, l'ajustement de la section de l'âme par l'enlèvement de la matière est typiquement réalisé à l'aide d'une première étape de croissance d'une couche d'oxyde sur l'âme et d'une seconde étape d'attaque de la couche d'oxyde. En effet, sur le silicium, la croissance de la couche d'oxyde se fait en bonne partie au détriment du substrat en silicium, typiquement dans une portion correspondant à environ 44% de l'épaisseur totale de la couche. Ce procédé d'ajustement en deux étapes est nécessaire pour contrôler avec une précision suffisante l'enlèvement du silicium. Au contraire, l'enlèvement de la matière de l'âme 2 de l'invention en matériau céramique peut être réalisé par une attaque chimique de façon isotrope et contrôlée. Par conséquent, l'ajustement de la section de l'âme 2 peut être réalisé avant l'étape de formation d'un revêtement de dioxyde de silicium 4.

[0054] L'invention concerne également un résonateur balancier-spiral (non illustré) pour un mouvement d'horlogerie ou autre instrument de précision comprenant le ressort spiral 1 coopérant avec un balancier.

[0055] Dans un tel résonateur, la valeur de la raideur k_S du ressort spiral 1 est déterminée de manière à obtenir une valeur de consigne dans sa tolérance pour la fréquence propre fondamentale f_0 du résonateur balancier-spiral (voir Equation 2). Comme décrit ci-dessus, la valeur de la raideur k_S du ressort spiral 1 est déterminée par la section de l'âme 2 et l'épaisseur t_R du revêtement 4. La fréquence propre fondamentale f_0 du résonateur balancier-spiral est typiquement comprise entre 2 Hz et 20 Hz, ou encore entre 2 Hz et 5 Hz.

[0056] La valeur prédéterminée du coefficient thermoélastique du ressort spiral β_S peut également être ajustée de manière à compenser le terme $(3\alpha_S - 2\alpha_B)$ de l'équation 5.

[0057] L'âme 2 en matériau céramique contenant l'élément de silicium a typiquement un premier coefficient thermoélastique β_A négatif qui doit être partiellement compensé par le revêtement de silice 4 ayant un second coefficient thermoélastique β_R positif d'environ $140 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$. Dans le cas d'un balancier en cuivre-béryllium, la combinaison du premier coefficient thermoélastique β_A et du second coefficient thermoélastique β_R devrait résulter dans une valeur prédéterminée du coefficient thermoélastique β_S du ressort spiral 1 autour de $+18 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$. La valeur prédéterminée du coefficient thermoélastique β_S du ressort spiral 1 peut être obtenue en ajustant la section de l'âme 2 et l'épaisseur t_R du revêtement 4.

[0058] La compensation du terme $(3\alpha_S - 2\alpha_B)$ de l'équation 5 par le coefficient thermoélastique du ressort spiral β_S permet de minimiser la dérive thermique du résonateur balancier-spiral, et donc les variations de la marche diurne instantanée d'une montre comprenant un tel résonateur. Le résonateur balancier-spiral peut présenter une invariance des propriétés de dilatation et d'élasticité du ressort spiral 1 dans une gamme définie de températures comprise, d'après le COSC, entre 8°C et 38°C . Un tel résonateur est également insensible aux champs magnétiques extérieurs.

[0059] La figure 3 montre un exemple d'un ressort spiral 1 thermocompensé en céramique réalisé selon la méthode de l'invention avec une virole 5 et un piton 6 (la virole et le piton sont réalisés concomitamment avec le ressort spiral 1).

[0060] La présente invention est également applicable à d'autres types de résonateurs capables de réguler un mouvement horloger mécanique, tel que notamment un résonateur en forme de diapason.

[0061] L'invention se caractérise par l'un ou plusieurs des éléments suivants :

[0062] Ressort spiral (1) destiné à équiper un résonateur mécanique balancier-spiral de mouvement d'horlogerie ou autre instrument de précision, le ressort spiral (1) comprenant :

une âme (2) fabriquée dans un matériau céramique contenant l'élément silicium dans sa composition et comprenant une section, l'âme (2) ayant une première raideur (k_A) et un premier coefficient thermoélastique (β_A); et

un revêtement (4) de dioxyde de silicium d'épaisseur (t_R) et couvrant au moins partiellement l'âme (2), le revêtement (4) ayant une seconde raideur (k_R) et un second coefficient thermoélastique (β_R) de signe opposé au premier coefficient thermoélastique (β_A);

caractérisé en ce que la section de l'âme (2) et l'épaisseur (t_R) du revêtement (4) sont ajustables indépendamment de manière à obtenir:

un coefficient thermoélastique du ressort spiral (β_S) en fonction du premier coefficient thermoélastique (β_A) et du second coefficient thermoélastique (β_R); et

une raideur du ressort spiral (k_S) en fonction de la première raideur (k_A) et la seconde raideur (k_R).

[0063] L'épaisseur du revêtement (4) est comprise entre $0.1 \mu\text{m}$ et $10 \mu\text{m}$, et préférablement entre $1 \mu\text{m}$ et $3 \mu\text{m}$.

[0064] Le matériau céramique comprend un nitrure, carbure ou oxynitrure de silicium.

[0065] Le matériau céramique comprend au moins l'un des composés suivants: Si_3N_4 ou SiAlON .

[0066] Le matériau céramique comprend au moins l'une des structures composites suivantes: Si_3N_4 - SiAlON , ou α - Si_3N_4 - $\text{O-Si}_3\text{N}_4$.

[0067] Résonateur balancier-spiral pour un mouvement d'horlogerie ou autre instrument de précision comprenant le ressort spiral (1) le ressort spiral (1) ayant un coefficient de dilatation linéaire du ressort spiral (α_S), et un balancier ayant un coefficient de dilatation linéaire du balancier (α_B);

5 la section de l'âme (2) et l'épaisseur (t_R) du revêtement (4) étant ajustées de manière à ce que la combinaison du second coefficient thermoélastique (β_R) et du premier coefficient thermoélastique (β_A) résulte dans un coefficient thermoélastique du ressort spiral (β_S) compensant une valeur correspondant à la différence entre trois fois le coefficient de dilatation linéaire du ressort spiral (α_S) et deux fois le coefficient de dilatation linéaire du balancier (α_B);

10 caractérisé en ce que

la section de l'âme (2) et l'épaisseur (t_R) du revêtement (4) sont également ajustées de manière à ce que la combinaison de la première raideur (k_A) et la seconde raideur (k_R) donne une raideur du ressort spiral (k_S) permettant d'obtenir la fréquence propre fondamentale de consigne (f_o) du résonateur balancier-spiral.

15 **[0068]** Résonateur balancier-spiral dans lequel la fréquence propre fondamentale de consigne (f_o) du résonateur balancier-spiral est comprise entre 2 Hz et 20 Hz et de préférence entre 2 Hz et 5 Hz.

[0069] Procédé de réglage d'un ressort spiral (1) comprenant:

20 la formation du revêtement de dioxyde de silicium (4) ayant une épaisseur prédéterminée (t_R) sur au moins une portion de l'âme (2) de manière à obtenir une valeur prédéterminée du second coefficient thermoélastique (β_R); caractérisé en ce que

la méthode comprend également l'ajustement de la section de l'âme (2) de manière à obtenir une valeur prédéterminée de la première raideur (k_A); et

25 en ce que l'ajustement de la section de l'âme (2) est réalisé avant l'étape de formation d'un revêtement de dioxyde de silicium (4).

30 **[0070]** Le procédé où la valeur prédéterminée de la première raideur (k_A) est calculée en fonction d'une raideur du ressort spiral (k_S) déterminée par une combinaison de la première raideur (k_A) et la seconde raideur (k_R).

[0071] Le procédé où le calcul de la valeur prédéterminée de la première raideur (k_A) est réalisé à l'aide de simulations numériques utilisant des éléments finis en fonction de la raideur du ressort spiral (k_S) souhaitée.

35 **[0072]** Le procédé comprenant en outre une étape de mesure d'une première raideur mesurée (k_{Am}) et de comparaison de la première raideur mesurée (k_{Am}) avec la valeur prédéterminée de la première raideur (k_A).

[0073] Le procédé dans lequel l'ajustement de la section de l'âme (2) comprend un enlèvement de matière correspondant à une épaisseur d'environ 0.1 μm à 3 μm à la périphérie de l'âme (2).

[0074] Le procédé dans lequel l'enlèvement de matière est déterminé à partir de l'écart entre la première raideur mesurée (k_{Am}) et la valeur prédéterminée de la première raideur (k_A).

40 **[0075]** Le procédé dans lequel l'enlèvement de matière est réalisé à l'aide d'une attaque chimique isotrope de l'âme (2).

[0076] Le procédé dans lequel la mesure de la première raideur (k_A) est réalisée en alternance avec l'étape d'ajustement de la section de l'âme (2).

[0077] Le procédé dans lequel la mesure de la première raideur (k_A) est réalisée simultanément avec l'étape d'ajustement de la section de l'âme (2).

45 **[0078]** Le procédé comprenant en outre la réduction de l'épaisseur du revêtement (4) de manière à ajuster la raideur (k_S) du ressort spiral (1) et/ou la valeur prédéterminée du second coefficient thermoélastique (β_R).

Notations employées dans le texte et sur les figures

50 **[0079]**

- 1 ressort spiral
- 2 âme
- 3 surface de l'âme
- 55 4 revêtement d'oxyde de silicium
- 5 virole
- 6 piton
- 7 enrobage

8	zone présentant des arrachements granulaires
α_B	coefficient de dilatation linéaire d'un balancier
a_S	coefficient de dilatation linéaire d'un ressort spiral
β_A	premier coefficient thermoélastique de l'âme constitutive du spiral
5 β_R	second coefficient thermoélastique d'un revêtement
β_S	coefficient thermoélastique du ressort spiral thermocompensé
Δf	variation de la fréquence d'un résonateur balancier-spiral
ΔJ_B	variation du moment d'inertie du balancier
Δk_S	variation de la raideur du ressort spiral
10 t_R	épaisseur du revêtement
f_o	fréquence propre fondamentale du résonateur balancier-spiral
J_B	moment d'inertie du balancier
J_{Bo}	moment d'inertie nominal du balancier
k_A	première raideur de l'âme
15 k_{Am}	première raideur mesurée de l'âme constitutive du spiral
k_R	seconde raideur du revêtement
k_S	raideur du ressort spiral thermocompensé
w	épaisseur du ressort spiral
m	masse du balancier
20 L	longueur du ressort spiral
r_B	rayon du balancier
h	hauteur du ressort spiral

25 Revendications

1. Procédé de fabrication d'un ressort spiral (1) ayant une raideur souhaitée (K_S) et un coefficient thermique souhaité (β_S), destiné à équiper un résonateur mécanique balancier-spiral de mouvement d'horlogerie ou autre instrument de précision, comprenant les étapes :

30 de réaliser une âme (2) fabriquée dans un matériau céramique contenant l'élément silicium, de mesurer une première raideur de l'âme (2) (k_{AM}) et de comparer la première raideur mesurée (k_{AM}), par rapport à une valeur prédéterminée de la raideur de l'âme (K_A) adaptée à la raideur souhaitée du ressort spiral (K_S), l'âme ayant un premier coefficient thermoélastique (β_A); [0025], [0026] ;

35 d'ajuster la section de l'âme (2) de manière à obtenir la valeur prédéterminée de la première raideur (K_A) [0032] adaptée à la raideur souhaitée du ressort spiral (K_S) [0028], [0034] ;

de former un revêtement de dioxyde de silicium (4) sur au moins une portion de l'âme (2) [0039] ledit revêtement (4) ayant une épaisseur (t_R), une seconde raideur (k_R) et un second coefficient thermoélastique (β_R) de signe opposé au premier coefficient thermoélastique (β_A) [0020], [0027];

40 la première raideur de l'âme (k_A) et l'épaisseur (t_R) du revêtement étant définie de manière à ce que le ressort présente la raideur souhaitée (K_S), et le premier coefficient thermoélastique (β_A) de l'âme et le second coefficient thermoélastique (β_R) du revêtement étant déterminés de manière à ce que le ressort présente le coefficient thermique souhaité (β_S).

- 45 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'étape d'ajuster la section de l'âme est effectuée par enlèvement de matière, la quantité de matière à enlever est déterminée en fonction de la valeur prédéterminée de la première raideur (K_A) selon l'équation 4' [0036] :

$$50 \quad K_A = (E h w^3) / 12 L \quad (4')$$

dans laquelle :

55 K_A désigne la valeur prédéterminée de la première raideur de l'âme (2) ;
 E désigne le module d'Young de l'âme (2) ;
 w désigne l'épaisseur de l'âme (2) ;
 h désigne la hauteur de l'âme (2); et
 L désigne la longueur de l'âme (2) ;

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel la quantité de matière à enlever correspond à une épaisseur d'environ 0.1 μm à 3 μm à la périphérie de l'âme (2). [0038]
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel les étapes de mesure d'une première raideur mesurée (K_{AM}) et d'enlever une quantité de matière sont effectuées en alternance ou simultanément. [0037]
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel la valeur prédéterminée de la première raideur (K_a) est calculée en fonction de la seconde raideur (k_R), dépendante de l'épaisseur (t_R) du revêtement (4) et de la valeur souhaitée de la raideur du ressort (K_s). [0035]
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel la valeur prédéterminée de la première raideur (k_A) est déterminée à l'aide de simulations numériques utilisant des éléments finis en fonction de la raideur du ressort spiral (k_s) souhaitée (R10).
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel l'étape d'enlever une quantité de matière est réalisée au moyen d'une attaque chimique isotrope de l'âme (2). [0033], [0053].
8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel l'étape d'ajuster la section de l'âme (2) n'inclut pas de formation de revêtement de dioxyde de silicium. [0053]
9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel l'étape de former le revêtement de dioxyde de silicium (4) est réalisée par thermo-oxydation en présence d'agents oxydants ou par thermo-oxydation rapide à des températures comprises entre 800°C et 1600°C [0040] ou par oxydation plasma à une température comprise entre 300°C et 600°C à l'aide d'un plasma oxygène, ou par dépôt chimique en phase vapeur assistée par plasma [0041]
10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel l'épaisseur (t_R) dudit revêtement (4) est estimée à partir de paramètres tels que temps d'oxydation, degré d'hygrométrie et température, d'après les lois cinétiques de croissance des couches d'oxyde [0050].
11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, comprenant en outre une étape de réduction de l'épaisseur du revêtement (4) de sorte à ajuster la raideur (K_s) du ressort et/ou la valeur prédéterminée du second coefficient thermoélastique (β_R). (R18)
12. Ressort spiral (1) obtenu selon le procédé de l'une des revendications 1 à 11.

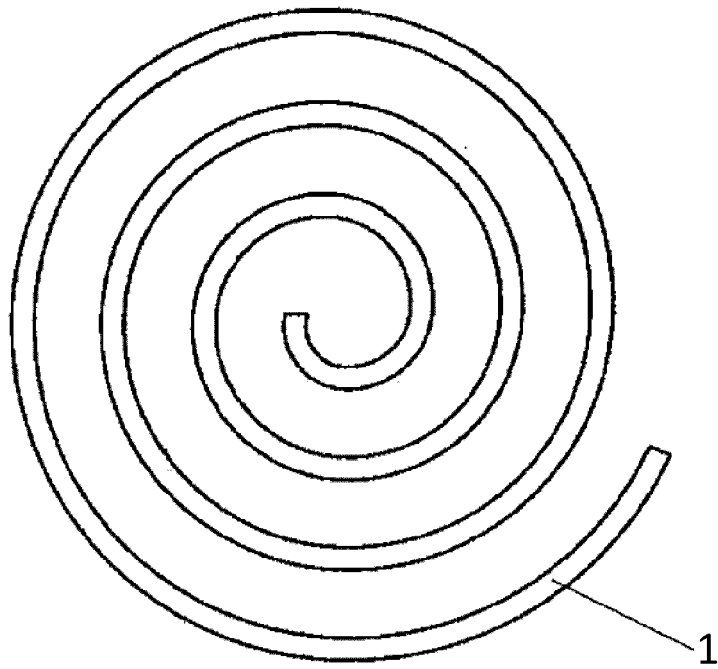


Fig. 1

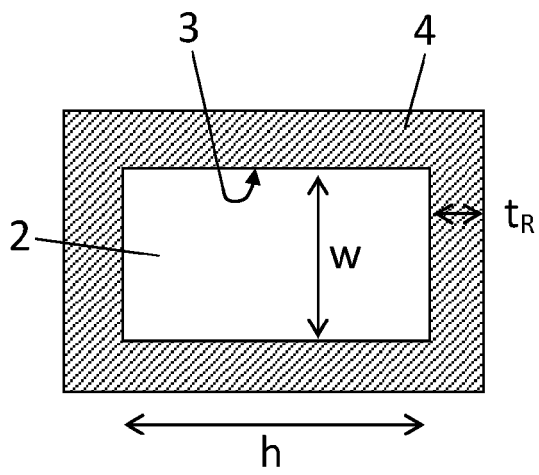


Fig. 2a

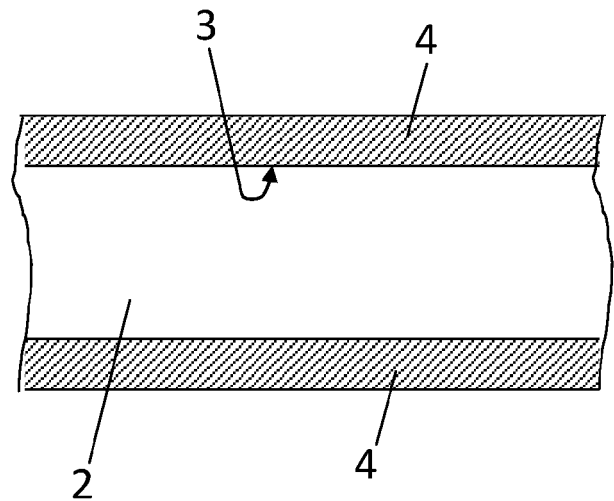


Fig. 2b

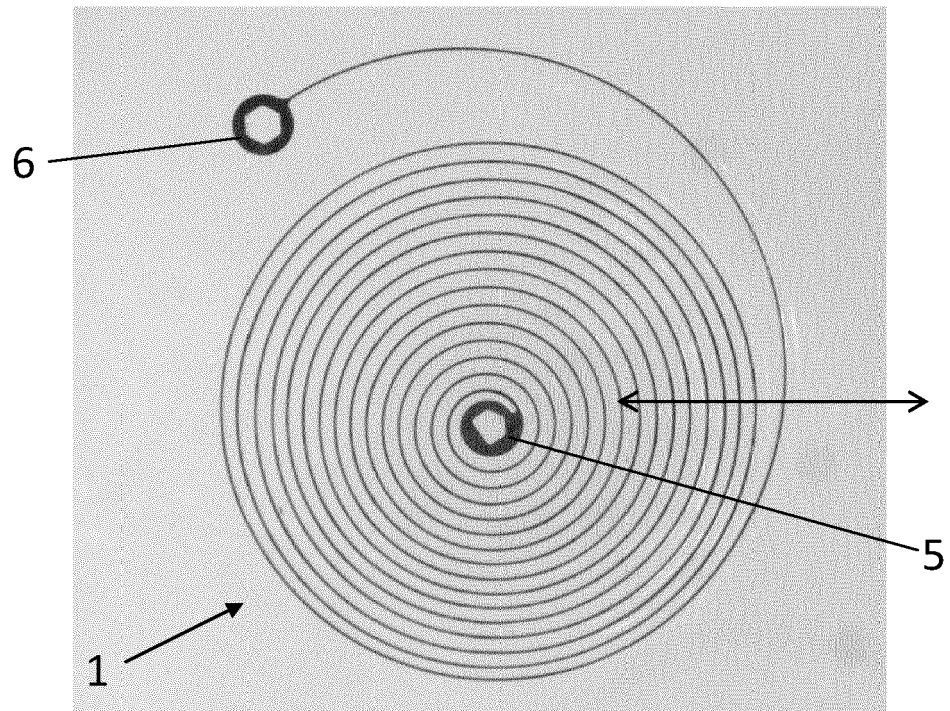


Fig. 3

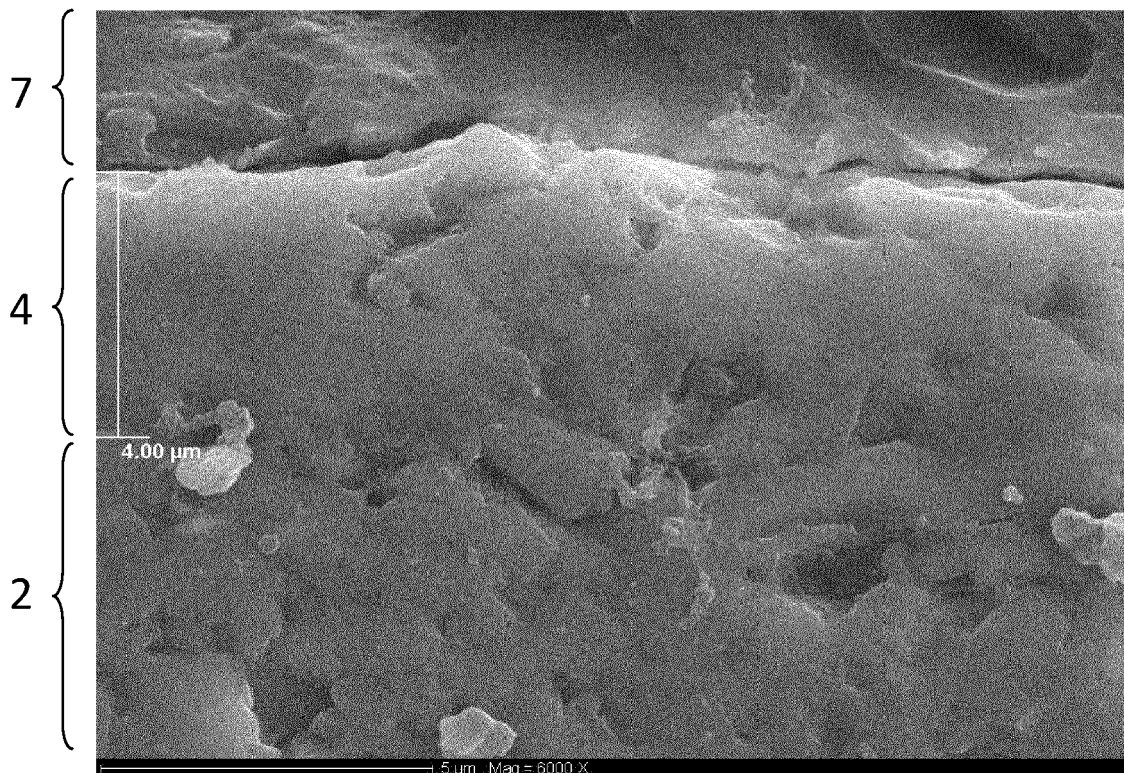


Fig. 4a

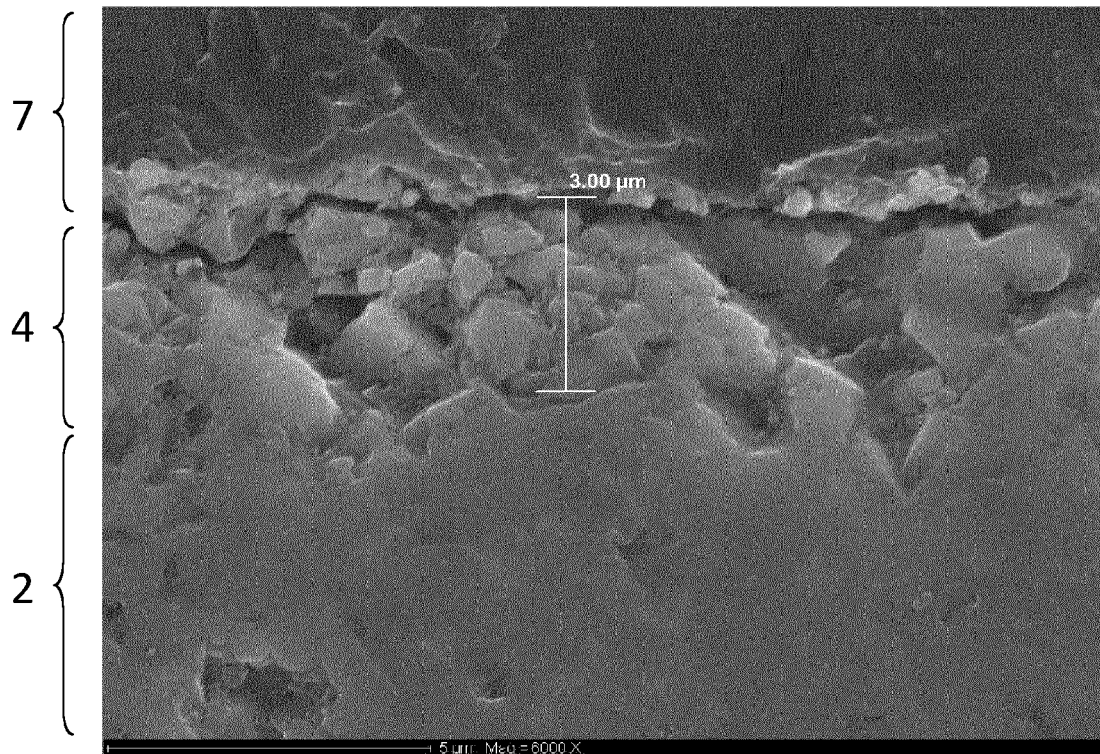


Fig. 4b

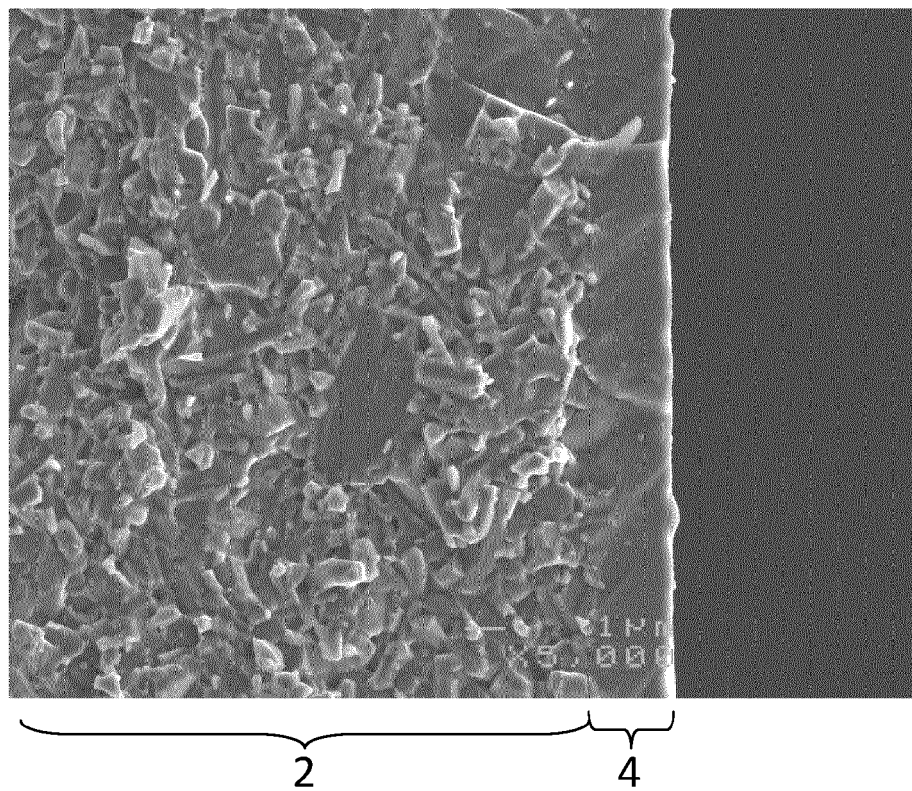


Fig. 5

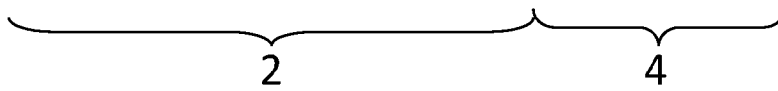
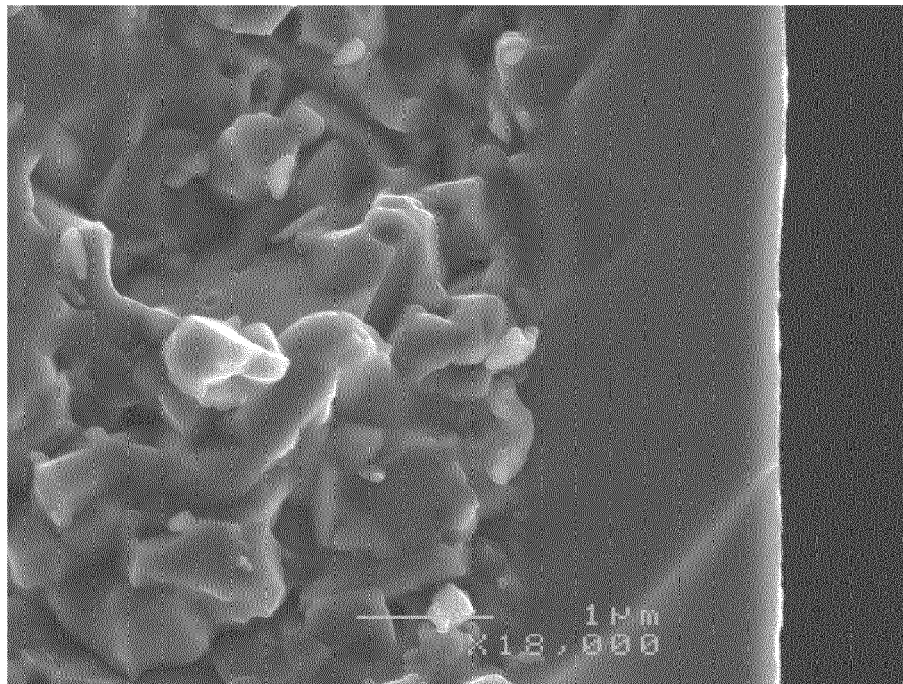


Fig. 6

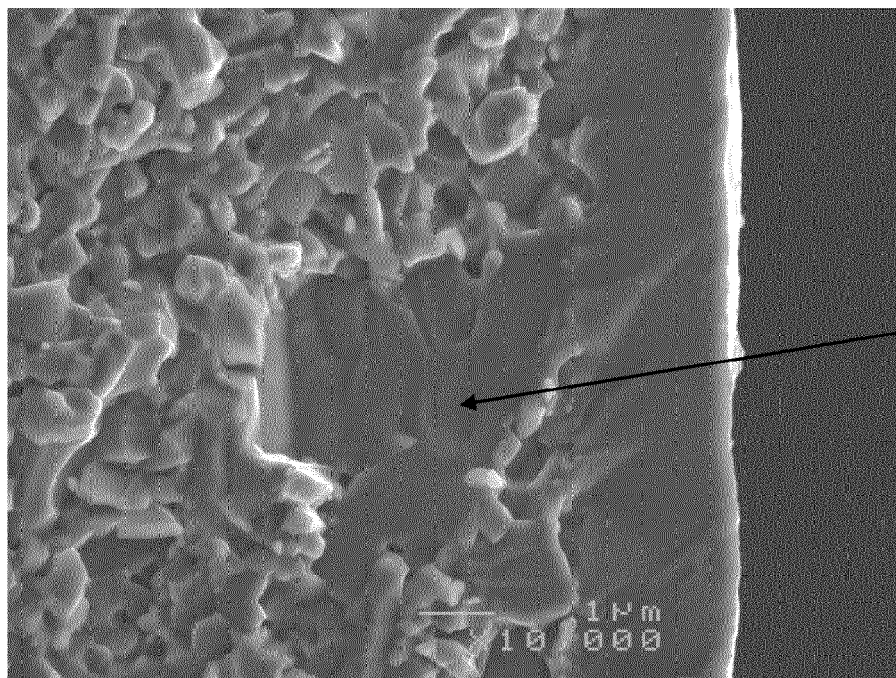


Fig. 7



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 21 19 4853

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	EP 2 590 325 A1 (SWATCH GROUP RES & DEV LTD [CH]) 8 mai 2013 (2013-05-08)	12	INV.
A	* abrégé *	1-11	G04B17/22
	* alinéas [0005] - [0007], [0016] - [0020], [0024] - [0026], [0029] - [0030], [0034] - [0039]; revendications 1,2,8,11; figures 1-4 *		G04B17/06
A	CH 699 780 A2 (RICHEMONT INT SA [CH]) 30 avril 2010 (2010-04-30)	1	
	* alinéas [0005] - [0007], [0012] - [0014], [0016], [0019], [0029], [0037] - [0039]; revendications 1,7,8; figures 1-2 *		
A	WO 2007/000271 A1 (ETA SA MFT HORLOGERE SUISSE [CH]; RAPPO RENE [CH]; LIPPUNER MARC [CH];) 4 janvier 2007 (2007-01-04)	1	
	* page 1, ligne 27 - page 2, ligne 6; revendications 1,2,6,7,8; figures 1-3 *		
	* page 2, ligne 35 - page 3, ligne 10 *		
	* page 4, lignes 22-25 *		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
A	WO 2009/068091 A1 (MANUF ET FABRIQUE DE MONTRES E [CH]; GYGAX PIERRE [CH]; GLASSEY MARC-A) 4 juin 2009 (2009-06-04)	1	G04B
	* revendications 1-11 *		
1 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 7 janvier 2022	Examineur Pirozzi, Giuseppe
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 21 19 4853

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

07-01-2022

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2590325 A1	08-05-2013	CN 104025453 A	03-09-2014
		CN 107276557 A	20-10-2017
		CN 110474615 A	19-11-2019
		EP 2590325 A1	08-05-2013
		EP 2774268 A1	10-09-2014
		HK 1201645 A1	04-09-2015
		HK 1244359 A1	03-08-2018
		JP 6893525 B2	23-06-2021
		JP 2015501591 A	15-01-2015
		JP 2016191711 A	10-11-2016
		JP 2019124699 A	25-07-2019
		RU 2014122532 A	10-12-2015
		US 2014313866 A1	23-10-2014
		WO 2013064351 A1	10-05-2013
CH 699780 A2	30-04-2010	AUCUN	
WO 2007000271 A1	04-01-2007	AT 416401 T	15-12-2008
		CH 696881 A5	15-01-2008
		CN 101213497 A	02-07-2008
		EP 1904901 A1	02-04-2008
		ES 2318778 T3	01-05-2009
		HK 1122365 A1	15-05-2009
		JP 3154091 U	08-10-2009
		JP 2008544290 A	04-12-2008
		US 2010214880 A1	26-08-2010
		WO 2007000271 A1	04-01-2007
WO 2009068091 A1	04-06-2009	AT 501467 T	15-03-2011
		CH 699494 B1	30-09-2010
		CN 101878454 A	03-11-2010
		EP 2215531 A1	11-08-2010
		HK 1149334 A1	30-09-2011
		JP 5613056 B2	22-10-2014
		JP 2011505003 A	17-02-2011
		US 2010290320 A1	18-11-2010
		WO 2009068091 A1	04-06-2009

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

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

- EP 1422436 A [0009]
- EP 2590325 A [0011]