



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
05.01.2011 Bulletin 2011/01

(51) Int Cl.:
G04B 1/14 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **10166944.8**

(22) Date de dépôt: **22.06.2010**

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA ME RS

(30) Priorité: **30.06.2009 CH 10092009**

(71) Demandeur: **Manufacture et fabrique de montres
et de
chronomètres Ulysse Nardin Le Locle S.A.
2400 Le Locle (CH)**

(72) Inventeurs:
• **Bourgeois, Claude
2014, Bôle (CH)**
• **Gygax, Pierre
2016, Cortaillod (CH)**
• **Humair, Lucas
2300, La Chaux-de-Fonds (CH)**
• **Von Gunten, Stéphane
2035, Corcelles (CH)**

(74) Mandataire: **GLN
Rue du Puits-Godet 8a
2000 Neuchâtel (CH)**

(54) **Procédé de réalisation d'un ressort de barillet**

(57) Procédé de réalisation d'un ressort (1) de barillet composite comprenant une première portion (11) en silicium et une deuxième portion en diamant polycristallin déposée sur la première portion. On réalise la première

portion par gravage dans un wafer (12), la première portion étant dimensionnée de manière à fournir une préforme avec une courbure dans un seul sens, de manière à optimiser le taux d'occupation du wafer.

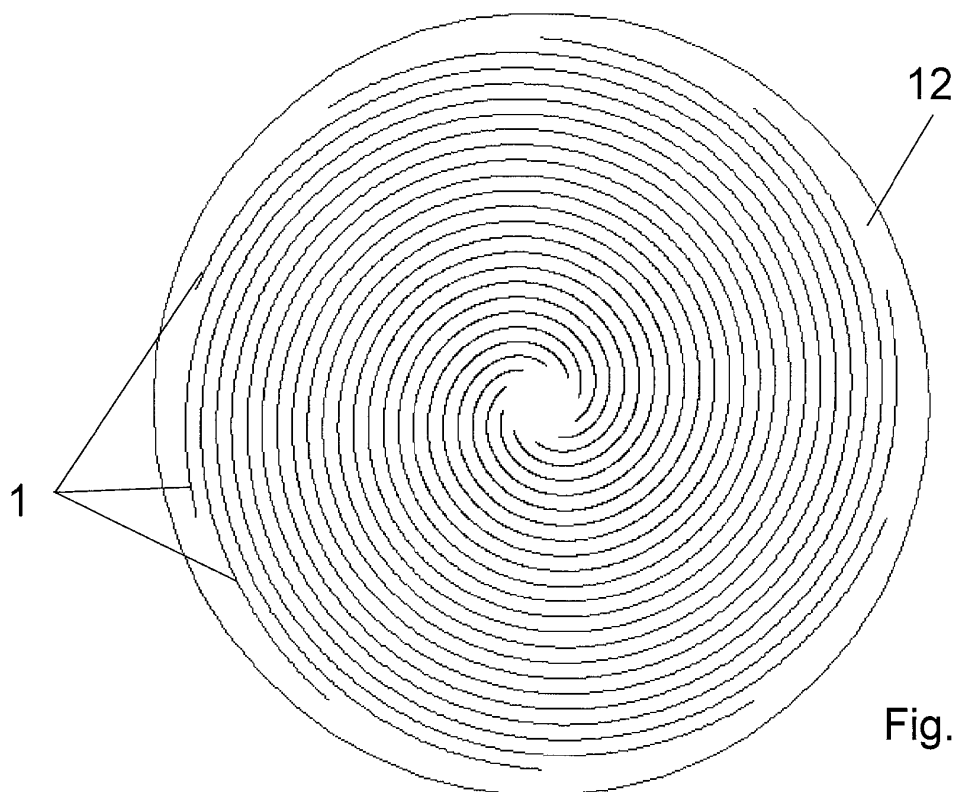


Fig. 4

Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine de l'horlogerie, et plus particulièrement un ressort-moteur destiné à être monté dans un barillet d'un mouvement d'horlogerie. Le ressort agit comme accumulateur d'énergie en étant armé par l'utilisateur ou par une masse oscillante et en restituant progressivement l'énergie qu'il a emmagasinée.

Etat de la technique

[0002] Un barillet de type conventionnel comporte :

- un tambour de barillet, qui est une sorte de boîte cylindrique munie d'une denture extérieure pour entraîner le rouage,
- un arbre de barillet pivotant entre pont et platine et muni d'un crochet disposé sur sa bonde,
- un ressort lame généralement formé d'un ruban d'acier fixé, par une première extrémité à un dégagement opéré sur le diamètre intérieur du tambour et, par une deuxième extrémité au crochet de l'arbre de barillet, et
- un couvercle fermant le tambour.

[0003] Le tambour et le couvercle servent généralement de pivotement à l'arbre de barillet afin de stabiliser ce dernier. Un rochet est monté solidaire de l'arbre de barillet, généralement à carré. Il est entraîné par un dispositif de remontage, manuel ou automatique, pour faire pivoter l'arbre et armer le ressort de barillet.

[0004] Un ressort-moteur 1 est enroulé sur lui-même en spirale à l'intérieur des parois cylindriques 3 du tambour de barillet et autour de l'arbre de barillet 4

[0005] Les figures 1A, 1B et 2 illustrent un type bien connu de ressort-moteur 1 dans des positions armée/désarmée dans un barillet 2 et détendu hors de celui-ci.

[0006] Un objectif constant en horlogerie a été et demeure toujours d'augmenter la réserve de marche du mouvement sans augmenter l'encombrement du ressort de barillet.

[0007] Il apparaît que la durée de marche est déterminée essentiellement par la quantité maximale d'énergie élastique W , que peut accumuler le ressort-moteur de barillet. D'évidence, la limite maximale W , d'énergie accumulée par un ruban métallique usuel de ressort-moteur de dimensions limitées, est déterminée par l'apparition de phénomènes de fracturation et/ou l'apparition de déformations plastiques excessives dans certaines régions de ce ruban. Par ailleurs, pour un matériau donné, la limite d'énergie stockable est proportionnelle à sa limite élastique au carré et inversement proportionnel à son module élastique. Le besoin de stocker un maximum d'énergie dans un ressort-moteur de barillet de dimensions limitées (par conception et miniaturisation du boî-

tier de montre) est tel qu'il conduit à faire travailler les rubans usuels de ressort-moteur de barillet à des contraintes excessives, proches des limites d'élasticité, sans marge de sécurité, et même au-delà, dans le domaine de déformations permanentes, chose non conventionnelles en mécanique. La déformation permanente est telle qu'après avoir été introduit dans le barillet à l'aide d'une estrapade et après quelques cycles journaliers d'usage (armement/désarmement), le ressort atteint une forme qui ne correspond plus du tout à sa forme initiale (on dit que "le ressort est rendu"). Mais surtout, le ressort rendu perd de sa force élastique. Ceci diminue les impulsions de l'échappement et l'amplitude des oscillations du balancier, ce qui n'est évidemment pas souhaitable.

[0008] Pour prévenir ces phénomènes, de façon connue, on donne initialement au ruban métallique d'un ressort-moteur, un profil de spires excessivement déroulées par estrapadage. Comme illustré sur la figure 2, les spires du ruban métallique présentent une courbure initiale dont l'augmentation du rayon p s'accroît ; le rayon p de courbure tend vers l'infini (portion droite : ref. X), puis le rayon p s'inverse (courbure de sens opposé) et enfin décroît pour donner un enroulement spiral renversé en forme de lettre S ou en forme de clé de sol, comme schématisé sur la figure 2 ou demi-renversé en forme de moitié de lettre S (non représenté). Le profil optimal dans le plan transversal des spires d'un ressort-moteur détendu de type conventionnel n'est donc pas un profil uniformément recourbé en spirale régulière. Il reste que, pour exploiter au maximum la quantité d'énergie stockable, les ressorts-moteurs métalliques de type existant travaillent au maximum de contraintes de déformation plastique voire au-delà, ce qui a l'inconvénient de limiter leur durée de vie à quelques centaines de cycles ou un millier de cycles.

[0009] Le document FR2920890 propose de réaliser un ressort-moteur de barillet ayant une structure composite : le ressort-moteur est composé d'une première portion formant une lame de support et constituant l'âme ou le squelette du ressort, cette portion de support étant réalisée de préférence en silicium cristallin ou en métal, la surface de la première portion étant complètement, ou au moins partiellement, recouverte directement d'une deuxième portion réalisée en diamant, et formant de préférence une épaisse couche de gangue en diamant polycristallin.

[0010] La présente invention a pour but d'améliorer le ressort de barillet proposé dans le document susmentionné, ainsi que le procédé de réalisation qu'il enseigne.

Divulcation de l'invention

[0011] De manière plus précise, l'invention porte sur plusieurs procédés d'optimisation, défini dans les revendications.

Brève description des dessins

[0012] D'autres caractéristiques de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui va suivre, faite en référence au dessin annexé, dans lequel :

- les figures 1 et 2, décrites ci-dessus, se rapportent à l'état de la technique,
- la figure 3 montre une partie de la première portion d'un ressort selon l'invention,
- les figures 4 et 5 illustrent un agencement particulier de premières portions telles que présentées ci-dessus, réalisées sur wafer, et
- la figure 6 montre les étapes d'un procédé original selon l'invention.

Mode(s) de réalisation de l'invention

[0013] Le point de départ de l'invention est de se doter d'un ressort de barillet, comportant une première portion 11 de ressort réalisée dans un matériau de support, avantageusement en silicium, recouvert d'une couche de diamant.

[0014] Cette première portion 11, visible en partie sur la figure 3, est produite directement avec une préforme correspondant à un squelette ou à une ébauche de la forme définitive du ressort. Elle est obtenue par gravage profond d'un wafer en silicium. La préforme est recouverte, complètement ou partiellement, par une deuxième portion réalisée en diamant, typiquement polycristallin déposé par CVD.

[0015] On rappellera ici quelques définitions utiles dans la suite de la description :

- préforme du ressort : géométrie du ressort détendu à vide, hors du tambour de barillet,
- pavage du wafer : arrangement des préformes de ressort sur un wafer,
- taux d'occupation : rapport entre la surface totale occupée par les ressorts et la surface du wafer,
- enroulement nominal : enroulement à la moitié de l'armage du ressort dans le tambour,
- couple nominal : couple à l'enroulement nominal,
- rigidité à la flexion : raideur ou module d'Young moyen de la section relativement à la flexion,
- résilience : capacité d'un matériau à restituer totalement l'énergie absorbée lors d'une déformation,
- jonctions aux attaches : parties quasi « inactives » du ressort qui font le lien avec les attaches, soit à l'arbre ou au tambour et qui ne peuvent être enroulée (côté arbre lors de l'armage) et respectivement déroulée (côté tambour lors du désarmage).

[0016] Selon un premier aspect de l'invention, le procédé de réalisation du ressort selon l'invention est prévu de manière à maximiser la quantité de ressorts fabriqués sur un wafer 12.

[0017] Pour ce faire, on adapte la préforme de manière à permettre un arrangement judicieux des ressorts sur le wafer 12, afin d'en optimiser le taux d'occupation. Le prix de revient des ressorts s'en trouve amélioré, grâce au fait que l'on diminue la quantité de wafers utilisés pour réalisés un nombre donné de ressorts.

[0018] Selon une première variante, il est possible d'optimiser le nombre de ressorts fabriqués sur un wafer en variant l'épaisseur t de la première portion 11 le long du ressort, l'épaisseur t étant la dimension parallèle au plan du spiral. On notera que l'épaisseur de la deuxième portion est sensiblement constante, vu que le dépôt se fait de manière uniforme. Cela a pour conséquence de varier la rigidité à la flexion le long du ressort. De manière avantageuse, cette variation est également utilisée de manière à avoir un déroulement harmonieux du barillet.

[0019] On peut, par exemple, choisir une préforme facilement « imbriquable », s'enroulant le plus possible autour du centre du wafer, de manière à ce que la longueur des ressorts puisse dépasser le diamètre des wafers, par exemple des éléments de spirale d'Archimède. De cette manière, on pourra disposer les ressorts 1 les uns dans les autres pour obtenir un genre de « soleil » sur le wafer, comme représenté sur la figure 4. Autrement dit, dans une telle configuration, on a plusieurs ressorts 1 enroulés côte à côte.

[0020] Pour un couple nominal donné, plus la rigidité à la flexion est petite, plus le ressort est long, plus le nombre de tours de l'enroulement nominal est élevé et plus le couple reste constant pendant le déroulement, mais aussi plus grande est la précontrainte dans l'enroulement nominal et par conséquent la variation de courbure entre l'enroulement nominal et la préforme. Grâce aux propriétés mécaniques du diamant, particulièrement grâce à sa résilience très élevée, la précontrainte peut être beaucoup plus élevée avec des ressorts diamantés qu'avec des ressort traditionnels. On peut donc fabriquer des préformes plus fermées en « C » ou clé de fa, ce qui revient à déplacer le point d'inflexion vers l'extrémité située du côté de la bonde par rapport à une préforme en S. Autrement dit, l'enroulement est déplacé vers l'extrémité située du côté tambour. Le cas échéant, il est même possible de supprimer complètement le point d'inflexion. Ce type de préforme en « C » relativement fermé permet d'envisager un pavage optimum de sept ressorts 1 par wafer 12, qui permet d'obtenir un taux d'occupation théorique de 7/9, comme l'illustre la figure 5.

[0021] C'est le couple nominal désiré qui impose la variation de courbure entre l'enroulement nominal et la préforme, la variation de courbure étant pondérée par la rigidité et le moment d'inertie local de la section.

[0022] Ainsi, si l'épaisseur t de la première portion est constante, alors la différence entre la courbure de la préforme et la courbure de l'enroulement nominal est constante. De préférence, dans ce cas, on choisira le deuxième type de préforme en « C ».

[0023] En revanche, dans le cas où on a une épaisseur t variable, alors la différence de courbure est également

variable, de telle sorte qu'on arrive à se passer de l'extrémité du ressort se situant soit après, soit avant le point d'inflexion d'un ressort classique en forme de « S ». On choisira dans le premier cas le premier type de préforme, de préférence en éléments de spirale d'Archimède, et dans le deuxième cas le deuxième type de préforme en « C ».

[0024] En dimensionnant ainsi l'épaisseur de la première portion en silicium du ressort, on peut maximiser la quantité de ressorts produite par wafer, la limite étant donnée par la dimension des attaches des ressorts aux extrémités.

[0025] On peut noter que la variation de l'épaisseur de la première portion permet de moduler la rigidité à la flexion le long du ressort. Ce paramètre peut avantageusement être pris en compte pour conserver un déroulement relativement harmonieux du barillet, c'est-à-dire avec un minimum de contacts entre spires. On considère en général que cela implique d'avoir un enroulement nominal avec un pas décroissant du centre vers l'extérieur.

[0026] Selon un deuxième aspect de l'invention, on peut également optimiser la réalisation de ressorts de barillet composites, comprenant une première portion 11 en silicium et une deuxième portion en diamant, en maximisant le nombre de tours d'enroulement du ressort.

[0027] En effet, pour un couple nominal donné, il est bien entendu très intéressant de pouvoir augmenter le nombre de tours d'enroulement du ressort de barillet, car cela permet d'augmenter la réserve de marche de la montre sans changer le reste du mouvement (rouage, échappement et oscillateur).

[0028] Ce but peut être atteint en réalisant un ressort 1 dont l'épaisseur est la plus fine possible, afin de réduire l'encombrement du ressort et la place qu'il occupe dans le barillet. Ainsi, pour un barillet de dimension donnée, on peut augmenter la longueur et donc le nombre de tours du ressort.

[0029] Tout comme ci-dessus, on peut envisager une première configuration dans laquelle l'épaisseur de la première portion du ressort est constante. Cela entraîne le fait que le volume du ressort est égal à environ la moitié du volume du tambour (ceci en négligeant les jonctions aux attaches). La résilience des ressorts diamantés étant élevée, on choisira le deuxième type de préforme en « C » décrit plus haut avec le point d'inflexion repoussé en dehors de la préforme côté bonde, avec pour conséquence un enroulement situé vers l'extrémité côté tambour.

[0030] Si on envisage une deuxième configuration dans laquelle l'épaisseur de la première portion est variable, on a alors la possibilité de diminuer les contacts entre spires lors du déroulement du barillet, tout en faisant appel, également dans ce cas, au deuxième type de préforme en « C ».

[0031] Dans ces différents cas, de manière avantageuse, on maximise l'épaisseur de diamant par rapport à celle de la première portion en silicium, dans les limites atteignables par la gravure de la première portion. Ce

rapport peut être optimisé par des calculs informatiques de simulation, en modélisant le comportement d'un ressort de barillet composite au coeur de l'invention. Typiquement, on peut atteindre une largeur de spire minimale de la première portion en silicium de l'ordre de 5 micromètres pour une épaisseur de wafer d'environ 150 micromètres.

[0032] Selon un troisième aspect de l'invention permettant d'optimiser un ressort de barillet composite silicium/diamant, on peut, pour un couple nominal donné, rendre la raideur du ressort aussi petite que possible. En d'autres termes, cela revient à rendre le couple le plus constant possible lors du désarmage.

[0033] Pour atteindre ce but, on cherche à rendre le rapport du couple à désarmage complet sur celui à armage complet aussi constant que possible. Cette condition est déjà satisfaite en partie avec un ressort dont le nombre de tours d'enroulement est maximisé, ainsi que décrit ci-dessus. On peut, en outre, faire varier judicieusement l'épaisseur de la première portion de lame du ressort pour amener une stabilisation du couple transmis en diminuant les irrégularités. La détermination de cette variation peut également être faite par modélisation et simulation.

[0034] Selon un quatrième aspect de l'invention pour optimiser le fonctionnement d'un ressort de barillet selon l'invention, le ressort 1 est configuré de manière à minimiser les réactions aux appuis. En effet, l'enroulement du ressort de barillet sur son arbre induit une force de réaction aussi bien sur ce dernier que sur le point d'attache au tambour. Cette réaction se répercute au niveau du pivotement de l'arbre sur des organes de pivotement, tels que des pierres. Cela crée un couple résistant de frottement et donc une perte énergétique. La réaction aux appuis et donc les pertes énergétiques résultant de ces frottements sont diminuées grâce à la mise en oeuvre idéalement d'un développement aussi concentrique que possible du ressort de barillet sur son arbre, mais à défaut, par une inversion et une annulation de la force à mi-développement. Une telle optimisation est également réalisée par des simulations informatiques, principalement en faisant varier les paramètres suivants : l'épaisseur variable des spires et la forme de la préforme liée à un pas variable de l'enroulement nominal.

[0035] Ainsi, plusieurs directions permettant d'optimiser le fonctionnement et la fabrication d'un barillet composite, comprenant une première portion en silicium et une deuxième portion en diamant, sont envisagées dans la présente demande. On peut bien entendu imaginer que, en pratique, un compromis soit à tirer entre chacune de ces optimisations, toutes étant interdépendantes. C'est par des méthodes de calculs et de simulation que l'on détermine la sensibilité de chacune des méthodes envisagées aux divers paramètres et contraintes technologiques et que l'on peut ainsi dimensionner un ressort aux dimensions optimales souhaitées, pour une application à un mouvement donné.

[0036] La présente demande porte également sur un

nouveau procédé de réalisation d'un ressort de barillet à base de diamant. En effet, comme on l'a expliqué ci-dessus, c'est le diamant qui donne à un ressort composite tel que décrit précédemment, ses propriétés intéressantes, la première portion en silicium n'ayant pour l'essentiel qu'une fonction de support. Selon un aspect particulièrement intéressant de l'invention, on propose de réaliser un ressort de barillet totalement en diamant, avec néanmoins des modulations de dimensions similaires à celles obtenues sur la base d'une première portion en silicium.

[0037] Selon ce procédé, on réalise une première portion telle que mentionnée ci-dessus, c'est-à-dire produite directement avec une préforme correspondant à un squelette ou à une ébauche de la forme définitive du ressort. Elle est obtenue par gravage profond d'un wafer en silicium. La préforme est disposée sur un support 14 avant l'étape de dépôt de diamant par CVD. Ainsi, la deuxième portion 16 de diamant n'est déposée que sur trois faces de la première portion, comme on peut le voir sur la figure 6.

[0038] Dans une étape suivante, la face supérieure de diamant, c'est-à-dire la face située en regard de la face de la première portion exempte de diamant, est débarrassée de la couche de diamant qui la recouvre. Une telle étape peut, par exemple se faire par polissage. Ensuite, par attaque chimique, typiquement par du KOH, on élimine la première portion de silicium. On obtient alors deux lames de diamant 18, posées sur le substrat et réunies au niveau de leurs attaches, à leurs extrémités. Les lames 18 gardent la géométrie découlant de la mise en forme de la première portion de silicium.

[0039] L'espace 20 laissé vide par l'élimination de la première portion est alors comblé en y déposant du diamant, de même nature que celle des lames, c'est-à-dire typiquement en diamant polycristallin, déposé par CVD. Le ressort obtenu est ensuite détaché du support. On a ainsi un ressort de barillet réalisé entièrement en diamant, mais dont les dimensions sont parfaitement maîtrisées. Avantageusement, cette technique permet de réaliser des ressorts en diamant dont l'épaisseur est variable et dont les propriétés mécaniques sont exceptionnelles, car le ressort ne contient pas de silicium. On notera que, selon les dimensions que l'on souhaite obtenir, ce procédé peut être adapté de manière à obtenir directement les ressorts recherchés au moment de l'élimination de la première portion de silicium, chaque lame donnant un ressort. On pourrait également envisager d'éliminer la première portion de silicium par une attaque effectuée directement depuis la face inférieure de la première portion, c'est-à-dire celle située au contact du support lors de l'étape de dépôt de diamant. De même, l'homme du métier pourrait envisager d'effectuer le dépôt sur les quatre faces de la première portion et, ensuite, d'éliminer la couche de diamant sur une ou deux faces en vis-à-vis, afin d'avoir un accès à la première portion pour l'éliminer.

Revendications

1. Procédé de réalisation d'un ressort (1) de barillet composite comprenant une première portion (11) en silicium et une deuxième portion en diamant polycristallin déposée sur la première portion, **caractérisé en ce qu'il** consiste à réaliser la première portion par gravage dans un wafer (12), la première portion étant dimensionnée de manière à fournir une préforme avec une courbure dans un seul sens, de manière à optimiser le taux d'occupation du wafer.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'épaisseur de la première portion (11) est variable, et **en ce qu'**une pluralité de premières portions de ressort sont réalisées sur un wafer (12), les dites premières portions étant imbriquées les unes dans les autres.
3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** l'épaisseur est croissante du centre vers l'extérieur.
4. Procédé d'optimisation d'un ressort de barillet composite comprenant une première portion en silicium et une deuxième portion en diamant polycristallin déposée sur la première portion, **caractérisé en ce qu'on** détermine par simulation à partir d'un modèle mathématique, un ressort le plus fin possible pour un couple nominal donné.
5. Procédé d'optimisation d'un ressort de barillet composite comprenant une première portion en silicium et une deuxième portion en diamant polycristallin déposée sur la première portion, **caractérisé en ce qu'on** détermine par simulation à partir d'un modèle mathématique, un ressort offrant la raideur minimale pour un couple nominal donné.
6. Procédé d'optimisation d'un ressort de barillet composite comprenant une première portion en silicium et une deuxième portion en diamant polycristallin déposée sur la première portion, **caractérisé en ce qu'on** détermine par simulation à partir d'un modèle mathématique, un ressort dimensionné pour minimiser les réactions aux appuis.
7. Procédé selon l'une des revendications 4 à 6, **caractérisé en ce que** l'épaisseur de la première portion est variable.
8. Procédé selon l'une des revendications 4 à 6, **caractérisé en ce que** l'épaisseur de la première portion est constante.
9. Procédé de réalisation d'un ressort en diamant, comprenant les étapes suivantes:

- se doter d'une ébauche de la forme définitive du ressort réalisée à partir d'un wafer en silicium,
- recouvrir ladite ébauche d'une couche de diamant,
- dégager au moins un accès à l'ébauche, 5
- éliminer l'ébauche en silicium par attaque chimique,
- déposer du diamant dans l'espace laissé libre par l'élimination de l'ébauche en silicium,
- libérer le ressort. 10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig.1A
Art Ant.

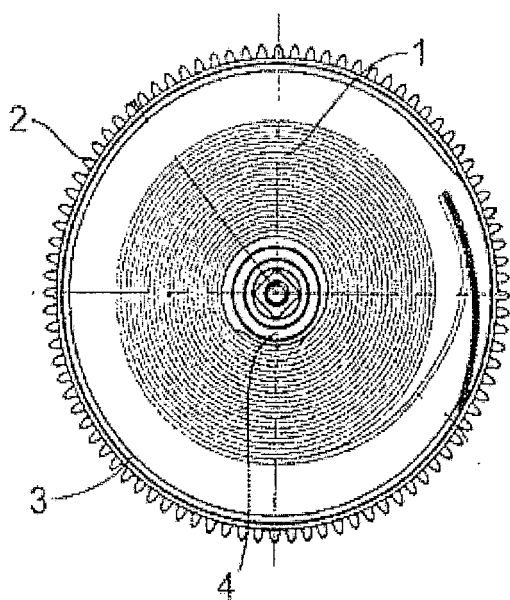


Fig.1B
Art Ant.

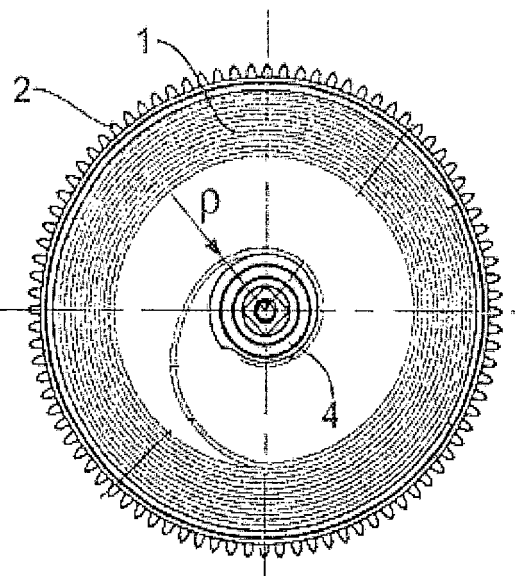
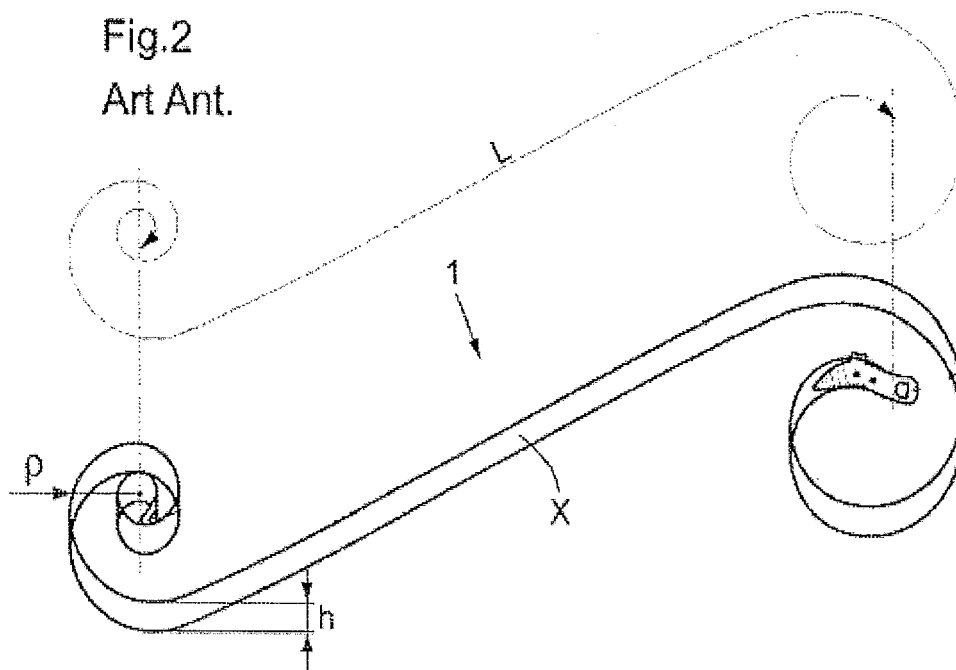


Fig.2
Art Ant.



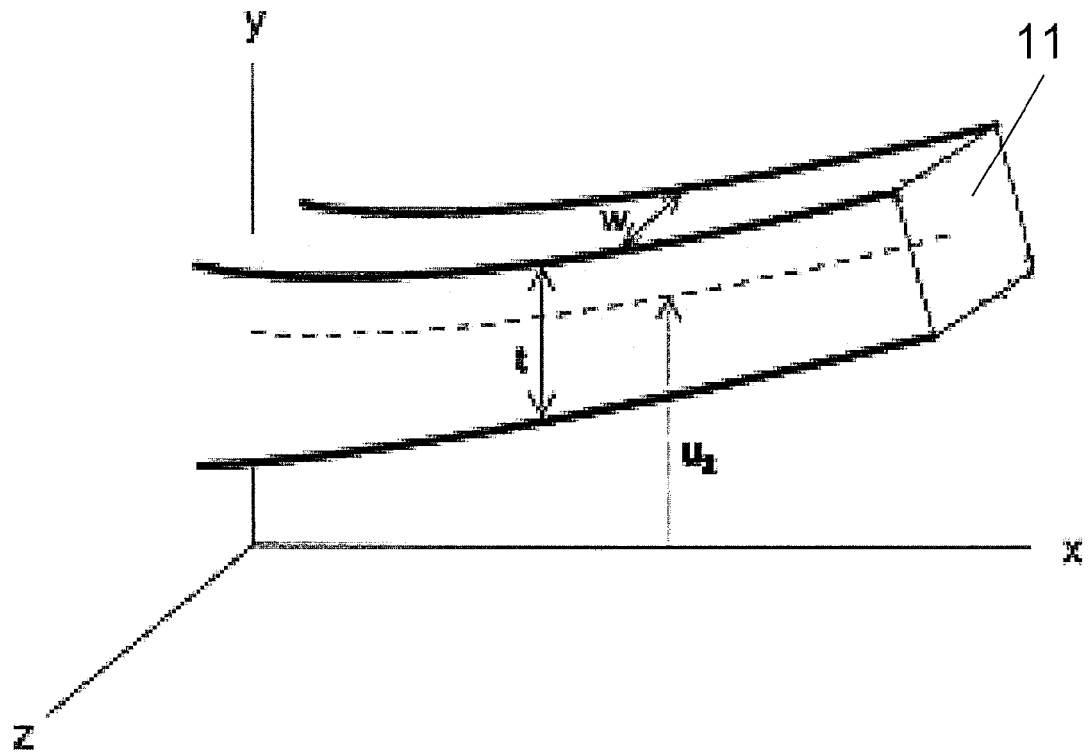


Fig. 3

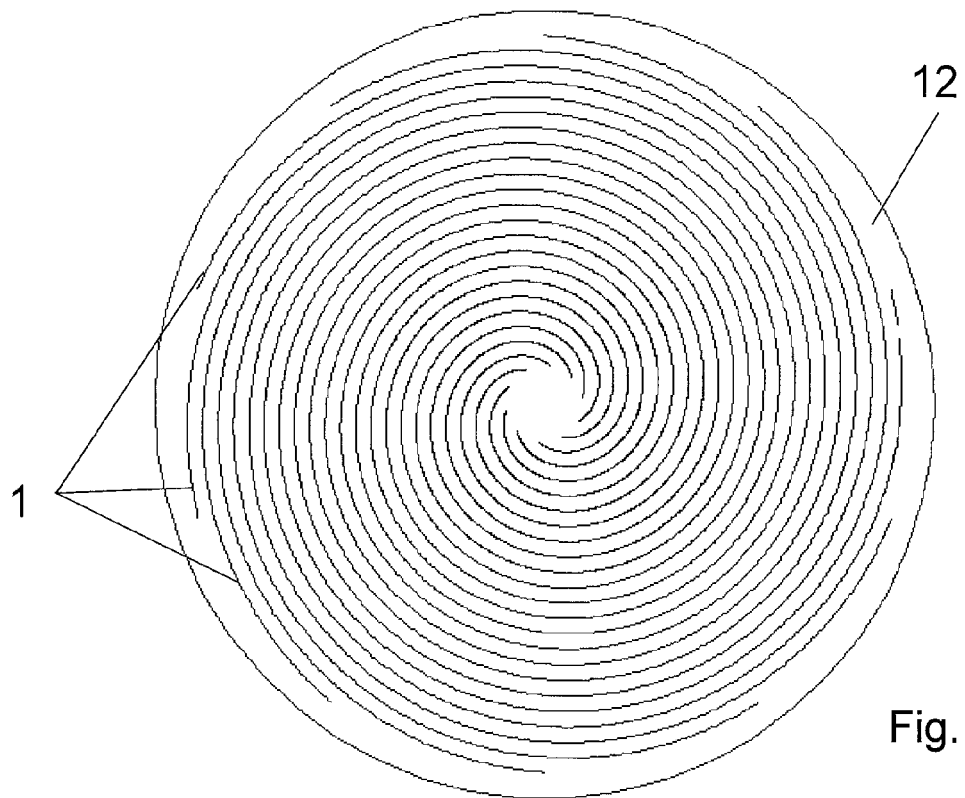


Fig. 4

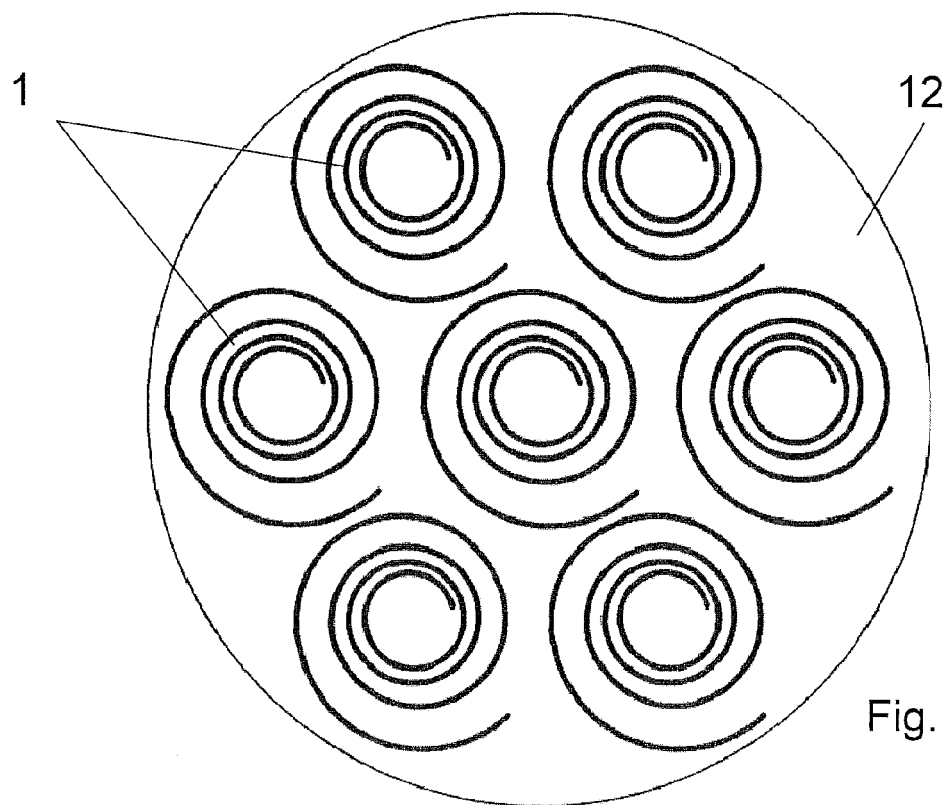


Fig. 5

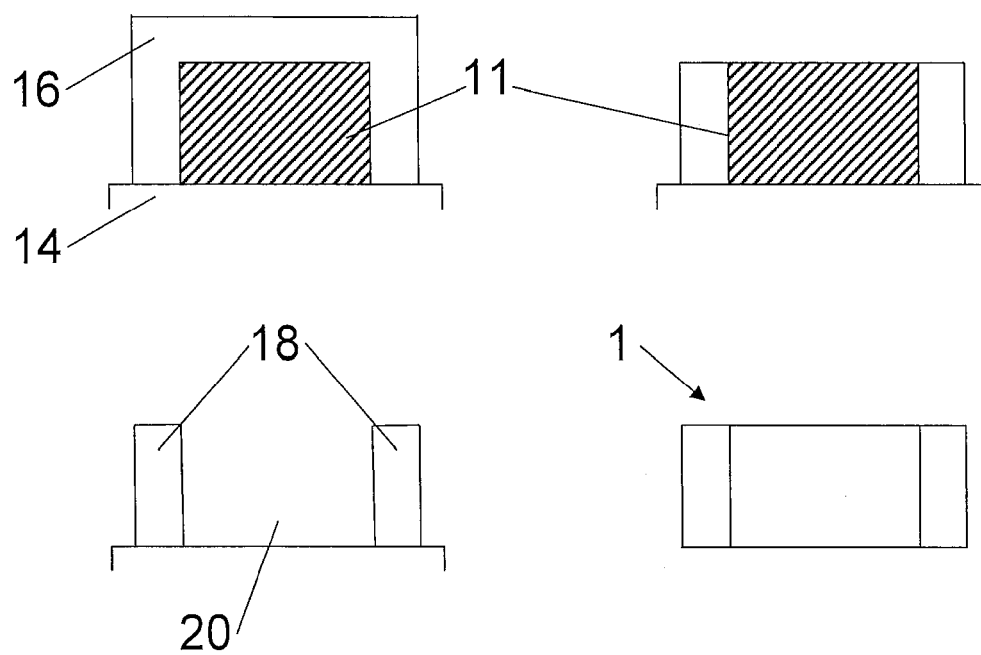


Fig. 6

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

- FR 2920890 [0009]