



CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH 716 988 A2**

(51) Int. Cl.: **G04B 17/22** (2006.01)
G04B 17/06 (2006.01)
C04B 35/80 (2006.01)
C22C 47/08 (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: 01685/19

(22) Date de dépôt: 20.12.2019

(43) Demande publiée: 30.06.2021

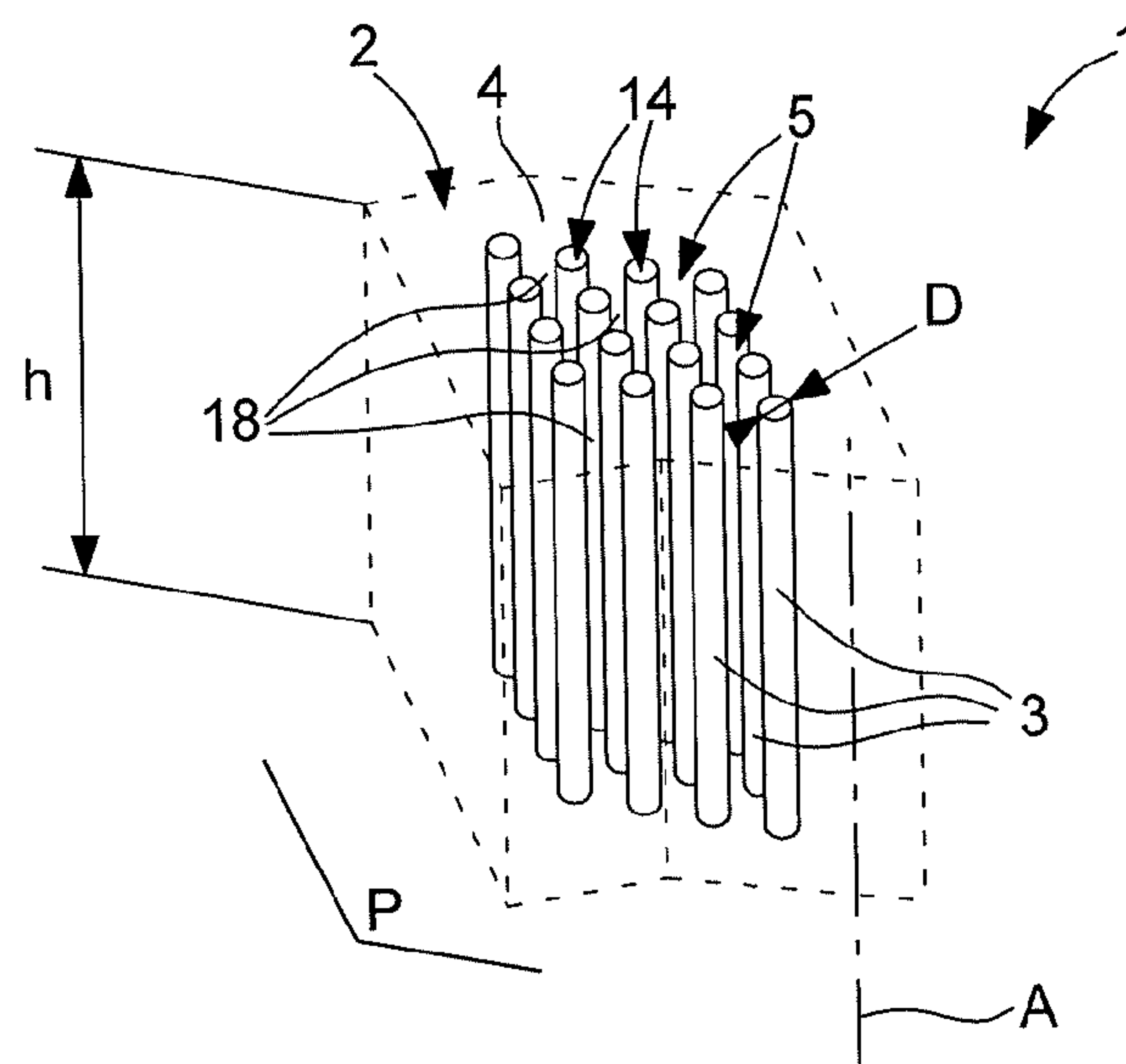
(71) Requérant:
Nivarox-FAR S.A., Avenue du Collège 10
2400 Le Locle (CH)

(72) Inventeur(s):
Pierre Cusin, 1423 Villars-Burquin (CH)
Christian Charbon, 2054 Chézard-St-Martin (CH)

(74) Mandataire:
ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA,
Faubourg de l'Hôpital 3
2001 Neuchâtel (CH)

(54) **Composant horloger flexible pour mécanisme oscillateur, comprenant un matériau de compensation thermique.**

(57) L'invention concerne un composant horloger flexible pour mécanisme oscillateur d'un mouvement horloger, le composant comportant au moins une partie réalisée en une matière composite (1), la matière composite (1) comprenant une matrice (2) et une multitude de nanotubes ou de nano-fils (3) répartis dans la matrice (2), les nanotubes ou nano-fils (3) étant juxtaposés et disposés de manière sensiblement parallèles à un axe (A) sensiblement perpendiculaire au plan (P) du composant, la matrice comportant un matériau de remplissage (4) flexible pour remplir les interstices entre les nanotubes ou nano-fils (3), le matériau de remplissage (4) comprenant au moins en partie un matériau de compensation thermique dont le coefficient de thermoélasticité est de signe opposé à celui des autres matériaux de la matière composite (1).



Description

Domaine de l'invention

[0001] La présente invention est relative aux composants horlogers flexibles, notamment pour mécanisme oscillateur d'un mouvement d'horlogerie à coefficient thermoélastique positif.

[0002] L'invention se rapporte également à un mouvement d'horlogerie comportant un tel composant.

Arrière-plan de l'invention

[0003] Les mouvements horlogers comprennent généralement un barillet, un mécanisme d'échappement et un mécanisme oscillateur mécanique. Le mécanisme d'échappement comporte, notamment, une ancre et une roue d'échappement, tandis que le mécanisme oscillateur comprend un ressort spiral associé à une masselotte oscillante appelée balancier.

[0004] Les progrès techniques dans les matériaux composites permettent aujourd'hui de fabriquer certains composants dans des matériaux innovants et performants, qui permettent de se passer, au moins en partie, des matériaux métalliques. Aujourd'hui, on essaye d'utiliser, par exemple, des nanotubes ou nano-fils pour fabriquer des composants. De tels matériaux avec des nanotubes ou nano-fils apportent des avantages en terme de légèreté et de solidité. Ainsi, le document JP2008116205A décrit un ressort spiral comprenant une matrice de graphite et de carbone amorphe, renforcée par des nanotubes de carbone qui sont dispersés dans la matrice et alignés dans la direction longitudinale du spiral.

[0005] Cependant, les composants flexibles, par exemple les résonateurs, subissent généralement des déformations et des modifications de leurs propriétés élastiques, qui sont dues à la variation de la température pendant les mouvements répétitifs qu'ils effectuent. La variation de la fréquence en fonction de la température dans le cas d'un résonateur balancier-spiral suit sensiblement la formule suivante :

$$\frac{\Delta f}{f} \frac{1}{\Delta T} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\partial E}{\partial T} \frac{1}{E} + 3 \cdot \alpha_s - 2 \cdot \alpha_b \right\}$$

où :

-

$$\frac{\Delta f}{f} \frac{1}{\Delta T}$$

est la variation de fréquence en fonction de la température ;

-

$$\frac{\partial E}{\partial T} \frac{1}{E}$$

est la variation du module d'Young en fonction de la température, c'est-à-dire le coefficient de thermoélasticité (CTE) du spiral ;

- α_s le coefficient de dilatation du spiral, exprimé en ppm.°C⁻¹ ;

- α_b le coefficient de dilatation du balancier, exprimé en ppm.°C⁻¹

[0006] Les déformations et modifications des propriétés du matériau provoquent une variation du module élastique du composant flexible. Or, ces variations du module élastique dues à la température, nuisent à la précision des mouvements d'horlogerie.

Résumé de l'invention

[0007] Un but de l'invention est, par conséquent, de proposer un composant horloger flexible, qui évite le problème précité.

[0008] A cet effet, l'invention concerne un composant horloger flexible pour mécanisme oscillateur d'un mouvement horloger, le composant comportant au moins une partie réalisée en une matière composite.

[0009] Le composant est remarquable en ce que la matière composite comprend une matrice et une multitude de nanotubes ou de nano-fils répartis dans la matrice, les nanotubes ou nano-fils étant juxtaposés et disposés de manière sensiblement parallèles à un axe sensiblement perpendiculaire au plan du composant, la matrice comportant un matériau de remplissage flexible pour remplir les interstices entre les nanotubes ou nano-fils, le matériau de remplissage comprenant au moins en partie un matériau de compensation thermique dont le coefficient de thermoélasticité est de signe opposé à celui des autres matériaux de la matière composite.

[0010] Ainsi, grâce à un tel composant flexible, on peut compenser les modifications des propriétés du matériau, par exemple pour un ressort-spiral, lorsque la température varie. En effet, le matériau de compensation thermique ayant un coefficient de thermoélasticité de signe opposé aux autres matériaux de la matière composite, la variation du module d'élasticité du matériau de compensation se produit de manière inverse à celle de la déformation des autres matériaux

du composant, qui ont un coefficient de thermoélasticité de signe opposé. Ainsi, la performance du composant demeure sensiblement la même, quelle que soit la température d'utilisation du composant, en particulier en cas de variation significative de la température.

[0011] Selon une forme de réalisation avantageuse, le matériau de compensation thermique a un coefficient thermoélastique supérieur à 0. Dans ce cas, le matériau de compensation thermique compense d'autres matériaux ayant un coefficient de thermoélasticité inférieur à zéro.

[0012] Selon une forme de réalisation avantageuse, le matériau de compensation thermique comporte de l'oxyde de silicium SiO₂, de préférence majoritairement, voire en totalité.

[0013] Selon une forme de réalisation avantageuse, le matériau de compensation thermique comporte du Niobium, de préférence majoritairement, voire en totalité.

[0014] Selon une forme de réalisation avantageuse, le matériau de compensation thermique forme une couche externe de la matrice, la couche externe entourant de préférence la matrice en entier.

[0015] Selon une forme de réalisation avantageuse, le matériau de compensation thermique est agencée directement sur les nanotubes ou nano-fils.

[0016] Selon une forme de réalisation avantageuse, les nanotubes sont en carbone.

[0017] Selon une forme de réalisation avantageuse, les nanotubes sont multi-feuillets.

[0018] Selon une forme de réalisation avantageuse, les nano-fils sont réalisés à partir d'un élément à choisir dans la liste suivante : de l'or, du silicium, de l'oxyde de silicium, du nitrure de bore, du nitrure de gallium, du nitrure de silicium, de l'oxyde de zinc, de l'arséniure de gallium, du sulfure de tungstène, de l'argent, du cuivre, de l'arséniure de manganèse, de l'arséniure d'indium.

[0019] Selon une forme de réalisation avantageuse, les nanotubes ou nano-fils ont un diamètre compris dans un intervalle allant de 2 à 50 nm, de préférence dans un intervalle allant de 3 à 15 nm, voire de 5 à 10 nm.

[0020] Selon une forme de réalisation avantageuse, les nanotubes ou nano-fils ont une longueur comprise dans un intervalle allant de 100 à 500 microns, de préférence dans un intervalle allant de 100 à 300 microns, voire de 150 à 200 microns.

[0021] Selon une forme de réalisation avantageuse, le matériau de remplissage comprend en outre un élément à choisir dans la liste suivante : du silicium, du tungstène, des matériaux organiques comme le parylène, du nitrure de bore hexagonal, du rubis monocristallin de type Al₂O₃, du diamant, des bisulfures de tungstène ou de molybdène, du graphite, du plomb, du carbure de silicium, du nickel, du phosphore d'indium, de l'oxyde de titane.

[0022] Selon une forme de réalisation avantageuse, le composant est un ressort spirale d'un mécanisme oscillateur, ou un guide à lames flexibles d'un mécanisme oscillateur.

[0023] L'invention se rapporte également à un mouvement horloger comprenant un composant horloger flexible selon l'invention.

Description sommaire des dessins

[0024] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de plusieurs formes de réalisation données uniquement à titre d'exemples non limitatifs, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement une vue en perspective traversante d'une matière composite selon un premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 2 représente schématiquement une vue en perspective traversante d'une matière composite selon un deuxième mode de réalisation de l'invention,
- la figure 3 représente schématiquement une vue en perspective d'un balancier muni d'un ressort spiral d'un mécanisme d'oscillation, et
- la figure 4 représente schématiquement une vue en coupe de la matière composite au cours du procédé de fabrication du premier mode de réalisation selon l'invention.

Description détaillée de modes de réalisation préférés

[0025] Dans la description, nous présentons des composants flexibles pour un mouvement horloger. Le composant est un composant flexible à choisir dans une liste comprenant par exemple un ressort spiral de mécanisme oscillateur ou un guide à lames flexibles de mécanisme oscillateur.

[0026] Le composant flexible comporte au moins une partie réalisée en une matière composite 1, représentée sur la figure 1. De préférence, le composant est réalisé entièrement dans cette matière composite 1. Ainsi, les composants de la liste précédentes peuvent être réalisés dans cette matière composite 1.

[0027] La matière composite 1 comprend une matrice 2 et une multitude de nanotubes ou de nano-fils 3 répartis dans ladite matrice 2. Le composant a, par exemple, une forme sensiblement plate s'étendant selon un plan P préférentiel.

[0028] Les nanotubes ou nano-fils 3 forment une structure de la matière composite 1, dans laquelle ils sont juxtaposés et disposés sensiblement parallèlement les uns aux autres. On entend par nanotube, des tubes dont l'intérieur est généralement creux, tandis que les nano-fils sont généralement pleins, c'est à-dire monoblocs.

[0029] Les nanotubes ou nano-fils 3 sont disposés de manière sensiblement parallèle à un axe A, perpendiculaire au plan P du composant 1. Ils sont régulièrement répartis de manière à être espacés les uns des autres de façon homogène dans la matrice 2. Avantageusement, la matière composite est réalisée de manière à ce que des nanotubes ou nano-fils 3 soient présents dans toute la masse de la matrice 2.

[0030] Les nanotubes ou nano-fils 3 ont, par exemple, un diamètre D compris dans un intervalle allant de 2 à 50 nm. De préférence, les nanotubes ou nano-fils 3 ont un diamètre compris dans un intervalle allant de 3 à 15 nm, voire de 5 à 10 nm.

[0031] Les nanotubes ou nano-fils 3 peuvent avoir une longueur L comprise dans un intervalle allant de 100 à 500 microns. De préférence, les nanotubes ou nano-fils 3 ont une longueur comprise dans un intervalle allant de 100 à 300 microns, voire de 150 à 200 microns.

[0032] Dans un premier mode de réalisation, la matière composite comporte des nanotubes 3 en carbone. Les nanotubes 3 en carbone sont généralement multi-feuillets, mais peuvent aussi être éventuellement mono-feuillet.

[0033] Dans un second mode de réalisation, la matière composite comporte des nano-fils 3 réalisés au moins en partie à partir d'un matériau à choisir dans la liste suivante : de l'or, du silicium, du nitrure de bore, du nitrure de gallium, du nitrure de silicium, de l'oxyde de zinc, de l'arséniure de gallium, du sulfure de tungstène, de l'argent, du cuivre, de l'arséniure de manganèse, de l'arséniure d'indium.

[0034] La matrice 2 comporte un matériau de remplissage 4 pour remplir les interstices et joindre les nanotubes ou nano-fils 3 les uns aux autres. Le matériau 4 peut avantageusement englober les nanotubes ou nano-fils 3, en étant injecté dans les interstices 5 entre les nanotubes ou nano-fils 3. Ce matériau 4 permet d'apporter de la cohésion entre les nanotubes ou nano-fils 3 et de modifier ainsi les propriétés mécaniques de l'ensemble des nanotubes ou nano-fils 3, en particulier pour rendre la matrice flexible. Dans le premier mode de réalisation des nanotubes, le matériau 4 peut aussi être agencé à l'intérieur 14 des nanotubes 3.

[0035] Le matériau de remplissage 4 permet la flexibilité du composant, le matériau de remplissage 4 ayant des propriétés mécaniques élastiques. On obtient en outre un composant flexible grâce à la forme géométrique choisie pour le composant. Ainsi, grâce à ce matériau de remplissage flexible 4, on peut réaliser des composants spécifiques de la mécanique horlogère.

[0036] Selon l'invention, le matériau de remplissage 4 comprend au moins en partie un matériau de compensation thermique 18 dont le coefficient thermoélastique (CTE) est de signe opposé à celui des autres matériaux de la matière composite (1).

[0037] Le coefficient thermoélastique (CTE) est par exemple compris dans un intervalle allant de 1 ppm/°C à 100ppm/°C.

[0038] On choisit la fraction volumique et le coefficient thermoélastique du matériau de compensation thermique 18 pour compenser le coefficient thermoélastique du matériau de remplissage 4. Ce choix peut être effectué par calcul ou empiriquement.

[0039] Dans une première variante de réalisation, le matériau de compensation thermique 18 comporte de l'oxyde de silicium SiO₂, de préférence majoritairement, voire en totalité. L'oxyde de silicium peut être obtenu en oxydant du silicium. Le silicium est déposé par couches minces, en utilisant des techniques connues de dépôt en phase vapeur à basse pression de type LPCVD ou par dépôt de couches atomiques de type ALD, par dépôt plasma de type PECVD, ou encore par croissance orientée de type épitaxie. Dans ce cas, le coefficient thermoélastique du matériau de compensation thermique 18 est supérieur à zéro, et permet de compenser des matériaux dont le coefficient thermoélastique est inférieur à zéro.

[0040] Dans une deuxième variante de réalisation, le matériau de compensation thermique 18 comporte du Niobium, de préférence majoritairement, voire en totalité. Le niobium est un métal de transition qui peut être déposé par des techniques classiques connues de dépôt de couches minces, de type PVD, CVD ou ALD.

[0041] Pour les deux modes de réalisation, le matériau de remplissage 4 composant la matrice 2 peut en outre comprendre un élément supplémentaire de la liste suivante : du tungstène, des matériaux organiques comme le parylène, du nitrure de bore hexagonal, du rubis monocristallin de type Al₂O₃, du diamant, des bisulfures de tungstène ou de molybdène, du graphite, du plomb, du carbure de silicium, du nickel, du phosphore d'indium, de l'oxyde de titane, ou du carbone. Par exemple, l'élément du matériau de remplissage est du Silicium, et la couche de compensation thermique est de l'oxyde de silicium.

[0042] Dans un premier mode de réalisation, représenté sur la figure 1, le matériau de compensation thermique 18 est agencé directement sur les nanotubes ou nano-fils 3. Le matériau de compensation thermique 18 est infiltrée entre les nanotubes ou nano-fils 3 pour les recouvrir au moins en partie. S'il y en a un, l'élément du matériau de remplissage 4 est également infiltré entre les nanotubes ou nano-fils 3 pour recouvrir le matériau de compensation thermique 18. Dans ce cas, la matière composite 1 est formée des nanotubes ou nano-fils 3, du matériau de compensation thermique 18 et de l'élément supplémentaire du matériau de remplissage 4.

[0043] Dans le cas du Niobium, ce dernier peut être mélangé à l'élément du matériau de remplissage 4, par exemple le titane, pour former un alliage offrant les propriétés de compensation thermiques selon l'invention.

[0044] Dans une première variante de réalisation, l'élément du matériau de remplissage 4 est infiltré entre les nanotubes ou nano-fils 3, puis est recouvert par le matériau de compensation thermique. Le matériau de compensation thermique est également infiltré entre les nanotubes ou nano-fils, mais n'est pas directement en contact avec les nanotubes ou nano-fils.

[0045] Dans une deuxième variante de réalisation, seule le matériau de compensation thermique 18 est infiltrée entre les nanotubes ou nano-fils pour les joindre entre eux et former le composant. Dans ce cas, le matériau de remplissage 4 est formé seulement du matériau de compensation thermique, sans élément supplémentaire. La matière composite 1 est alors formée par les nanotubes ou nano-fils 3 et par le matériau de compensation thermique 18.

[0046] Dans un deuxième mode de réalisation, le matériau de compensation 18 thermique forme une couche externe 19 de la matrice, la couche externe 19 entourant de préférence la matrice en entier, bien qu'il soit possible de déposer une couche sur certaines faces seulement. Pour ce mode de réalisation, l'élément du matériau de remplissage 4 est infiltré entre les nanotubes ou nano-fils 3 pour former l'âme du composant, puis une couche 19 de le matériau de compensation thermique, est déposé autour de l'âme pour former le composant.

[0047] Le matériau de remplissage 4 permet la flexibilité du composant, le matériau 4 ayant des propriétés mécaniques flexibles pour permettre une déformation élastique du composant. On obtient en outre un composant flexible grâce à la forme géométrique choisie pour le composant. Le composant est, par exemple, un ressort spiral 6 d'un mécanisme oscillateur 8 d'un mouvement d'horlogerie.

[0048] Ainsi, les composants horlogers peuvent bénéficier des avantages des matériaux composites à base de nanotubes ou de nano-fils, tout en conservant les propriétés essentielles à ce type de composants, par exemple pour un ressort spiral.

[0049] La figure 3 représente un ressort spiral 6 d'un balancier 8 réalisé à partir d'une telle matière composite flexible. Le ressort spiral 6 est un ruban de faible largeur enroulé en spirale d'Archimède, de sorte qu'il existe un espace libre entre les portions de ruban en vis à vis. Ainsi, par contraction et déformation de la spirale, on obtient un l'effet ressort recherché. Le balancier 8 comprend un anneau 9 circulaire et deux bras 11, 21 rectilignes se croisant au centre de l'anneau 9 et reliant deux côtés opposés de l'anneau 9. Les bras 11, 21 maintiennent un axe 12 sensiblement perpendiculaire au plan de l'anneau 9. L'axe 12 porte le ressort spiral 6 dans un plan parallèle à celui de l'anneau 9 par une première extrémité. La deuxième extrémité est destinée à être fixée à une autre pièce 17 du mouvement horloger.

[0050] Pour fabriquer les composants, on utilise, par exemple, un procédé comprenant les étapes suivantes :

- une première étape de préparation d'un substrat, par exemple un substrat en silicium, de préférence par photolithographie, pour que la croissance de la forêt de nanotubes ou nano-fils se produise à un endroit précis correspondant à la forme du composant souhaité. Ainsi, on dessine une forme de spiral ou de pivot flexible par photolithographie.
- une deuxième étape de croissance des nanotubes ou nano-fils sur un substrat, non représenté sur les figures,
- une troisième étape d'insertion du matériau de remplissage constitutif de la matrice dans la distribution de nanotubes ou de nano-fils, et
- une quatrième étape de décrochement du composant du substrat.

[0051] Pendant la deuxième étape, on fait croître les nanotubes ou nano-fils 12 parallèlement à un axe sensiblement perpendiculaire au substrat.

[0052] Pour les nanotubes de carbone, on trouve des exemples des premières et deuxièmes étapes dans le document „Mechanical and electrical properties of carbon-nanotube- templated metallic microstructures“ de Richard Scott Hansen (Juin 2012), ou dans la Senior Thesis de Collin Brown (22 avril 2014) de l'université Brigham Young University intitulée „infiltration of CNT forests by Atomic Layer Déposition for MEMS applications“.

[0053] Sur la figure 5, le substrat 9 est recouvert d'une couche de silice 10, et d'une couche de catalyseur 11, par exemple du fer. Les nanotubes de carbone 12 sont formés sur la couche de catalyseur 11 par croissance.

[0054] En amont de la deuxième étape, des nanotubes supplémentaires peuvent être mélangés dans un solvant et dispersés sur la couche de catalyseur, par exemple par ultrasons, pour définir une couche supérieure de nanotubes, Cette couche supérieure 13 de nanotubes est poreuse pour que la carbone (ou autre matériau) constituant les nanotubes 12 puisse se déposer à travers elle, de sorte que les nanotubes 12 croissent sous la couche supérieure 13. Ainsi, on s'assure d'une croissance régulière et homogène des nanotubes 12 pour qu'ils aient tous sensiblement la même longueur. La troisième étape est également effectuée à travers la couche supérieure 13 de nanotubes 12, grâce à sa porosité.

[0055] Concernant la fabrication des nano-fils, on utilise les techniques classiques liées au matériau choisi dans la liste. On utilise de préférence le dépôt de couches minces, par exemple par dépôt chimique de type CVD (pour Chemical Vapor Déposition en anglais) ou par dépôt physique de type PVD (pour physical vapor déposition en anglais). Comme dans le premier mode de réalisation, on utilise des méthodes de photolithographie pour choisir les endroits d'un substrat, par exemple en silicium, où l'on fait croître les nano-fils. On insère le matériau flexible entre les nano-fils. Enfin, le composant est décroché du substrat une fois qu'il est terminé.

[0056] La demande de brevet internationale WO 2014/172660 donne un exemple de réalisation de nano-fils en silice. Les nano-fils en silice ont un coefficient thermoélastique supérieur à zéro. Ainsi, le matériau de compensation thermoélastique du matériau de remplissage doit avoir un coefficient thermoélastique inférieur à zéro pour compenser le matériau des nano-fils.

[0057] Naturellement, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits en référence aux figures et des variantes pourraient être envisagées sans sortir du cadre de l'invention.

Revendications

1. Composant horloger flexible (6, 7) pour mécanisme oscillateur d'un mouvement horloger, le composant comportant au moins une partie réalisée en une matière composite (1), caractérisée en ce que la matière composite (1) comprend une matrice (2) et une multitude de nanotubes ou de nano-fils (3) répartis dans la matrice (2), les nanotubes ou nano-fils (3) étant juxtaposés et disposés de manière sensiblement parallèles à un axe (A) sensiblement perpendiculaire au plan (P) du composant, la matrice comportant un matériau de remplissage (4) flexible pour remplir les interstices entre les nanotubes ou nano-fils (3), le matériau de remplissage (4) comprenant au moins en partie un matériau de compensation thermique (18) dont le coefficient de thermoélasticité (CTE) est de signe opposé à celui des autres matériaux de la matière composite (1).
2. Composant (6, 7) selon la revendication 1, caractérisé en ce que le matériau de compensation thermique (18) a un coefficient thermoélastique supérieur à 0.
3. Composant (6, 7) selon la revendication 2, caractérisé en ce que le matériau de compensation thermique (18) comporte de l'oxyde de silicium SiO₂, de préférence majoritairement, voire en totalité.
4. Composant (6, 7) selon la revendication 2, caractérisé en ce que le matériau de compensation thermique comporte du Niobium, de préférence majoritairement, voire en totalité.
5. Composant (6, 7) selon l'une, quelconque, des revendications précédentes, caractérisé en ce que le matériau de compensation thermique forme une couche externe de la matrice.
6. Composant (6, 7) selon l'une, quelconque, des revendications précédentes, caractérisé en ce que le matériau de compensation thermique est agencée directement sur les nanotubes ou nano-fils.
7. Composant (6, 7) selon l'une, quelconque, des revendications précédentes, caractérisé en ce que les nanotubes (3) sont en carbone.
8. Composant (6, 7) selon la revendication 6, caractérisé en ce que les nanotubes (3) sont multi-feuillets.
9. Composant (6, 7) selon l'une, quelconque, des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les nano-fils (3) sont réalisés à partir d'un élément à choisir dans la liste suivante : de l'or, du silicium, de l'oxyde de silicium, du nitrure de bore, du nitrure de gallium, du nitrure de silicium, de l'oxyde de zinc, de l'arséniure de gallium, du sulfure de tungstène, de l'argent, du cuivre, de l'arséniure de manganèse, de l'arséniure d'indium.
10. Composant (6, 7) selon l'une, quelconque, des revendications précédentes, caractérisé en ce que les nanotubes ou nano-fils (3) ont un diamètre (D) compris dans un intervalle allant de 2 à 50 nm, de préférence dans un intervalle allant de 3 à 15 nm, voire de 5 à 10 nm.
11. Composant (6, 7) selon l'une, quelconque, des revendications précédentes, caractérisé en ce que les nanotubes ou nano-fils (3) ont une longueur (L) comprise dans un intervalle allant de 100 à 500 microns, de préférence dans un intervalle allant de 100 à 300 microns, voire de 150 à 200 microns.
12. Composant (6, 7) selon l'une, quelconque, des revendications précédentes, caractérisé en ce que le matériau de remplissage (4) comporte en outre un élément à choisir dans la liste suivante : du silicium, du tungstène, des matériaux organiques comme le parylène, du nitrure de bore hexagonal, du rubis monocristallin de type Al₂O₃, du diamant, des bisulfures de tungstène ou de molybdène, du graphite, du plomb, du carbure de silicium, du nickel, du phosphore d'indium, de l'oxyde de titane, du silicium.
13. Composant (6, 7) selon l'une, quelconque, des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est un ressort spirale (6) d'un mécanisme oscillateur, ou un guide à lames flexibles d'un mécanisme oscillateur.
14. Mouvement horloger, caractérisé en ce qu'il comprend un composant horloger flexible (6, 7) selon l'une, quelconque, des revendications précédentes.

Fig. 1

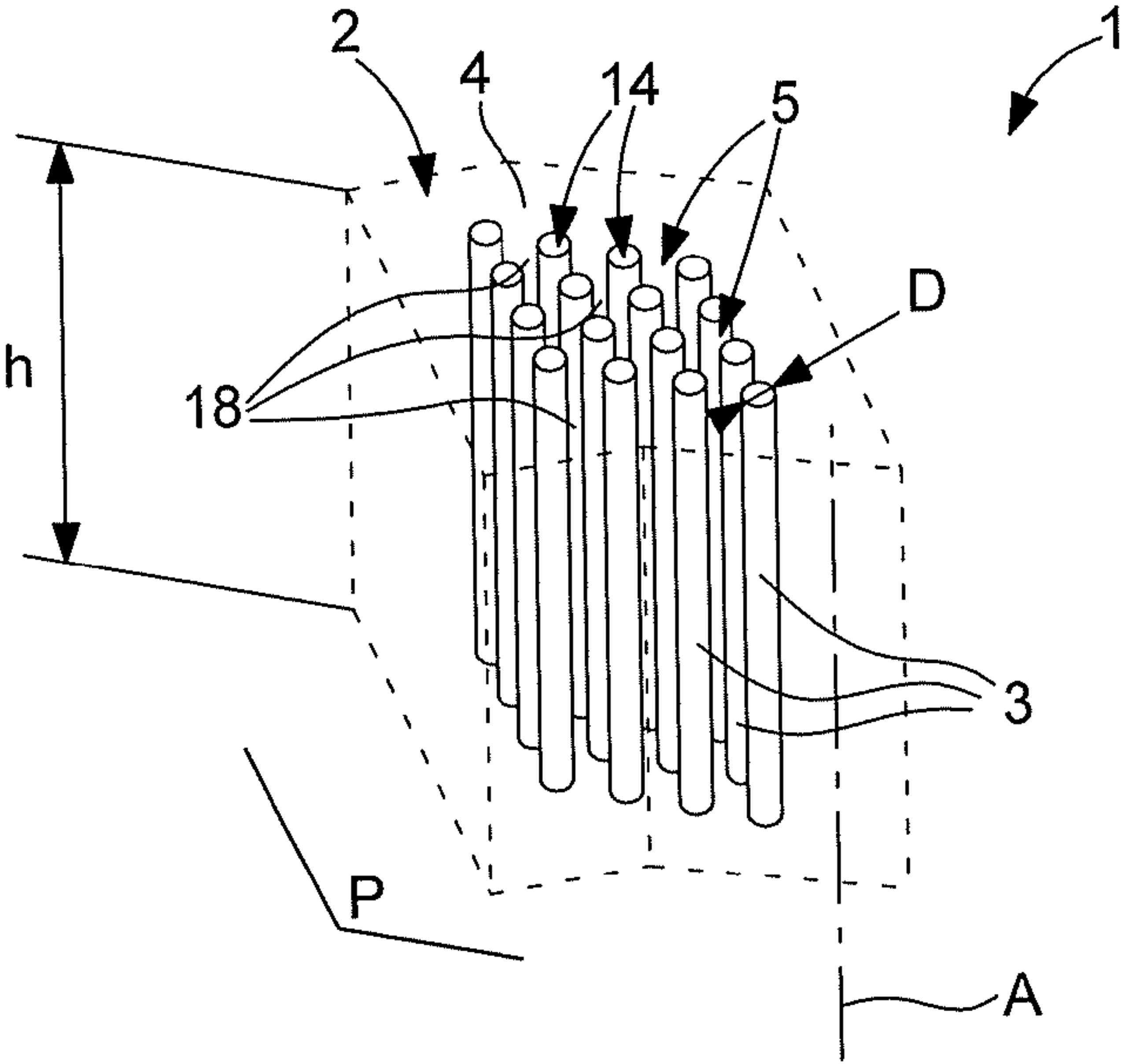


Fig. 2

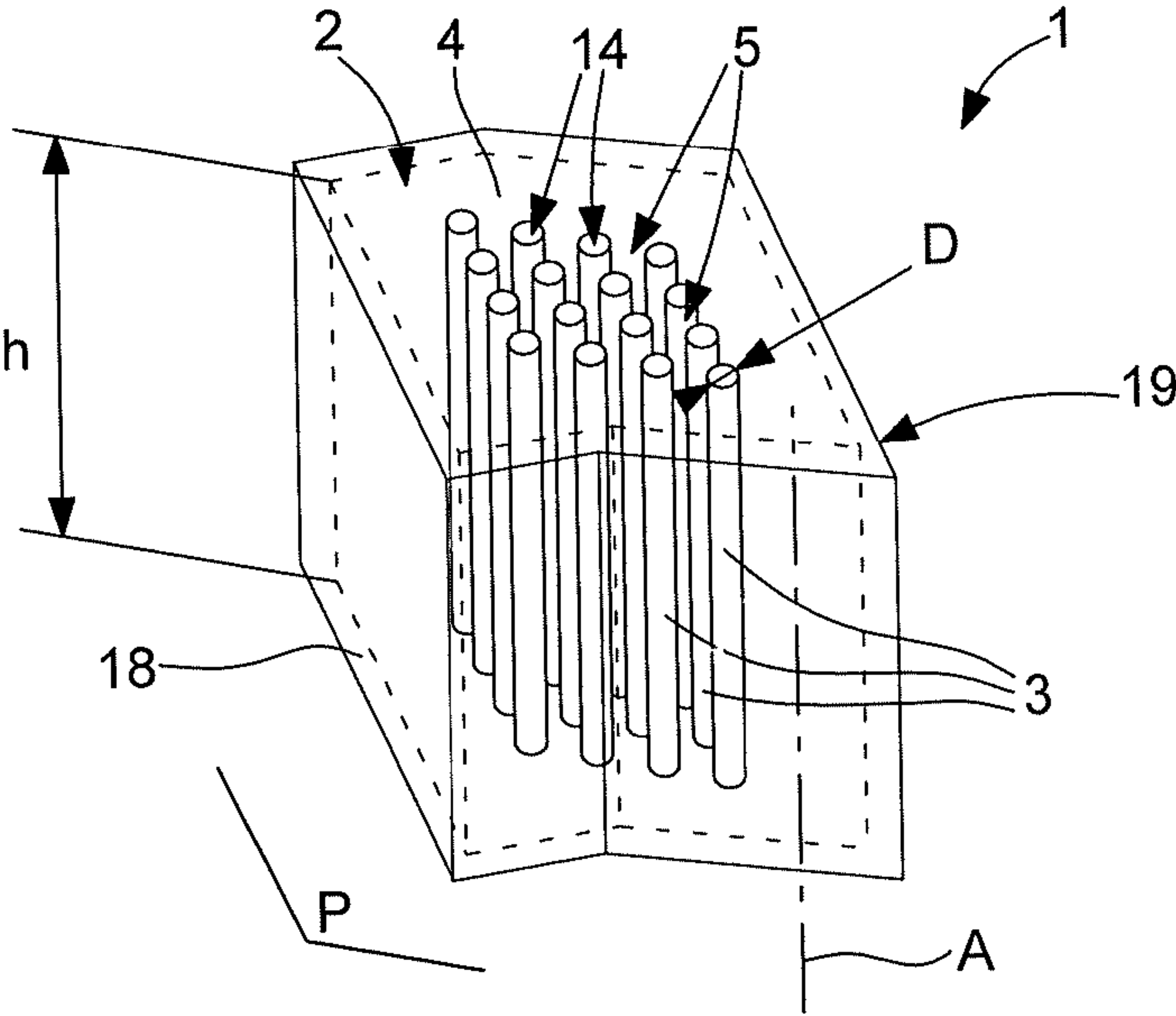


Fig. 3

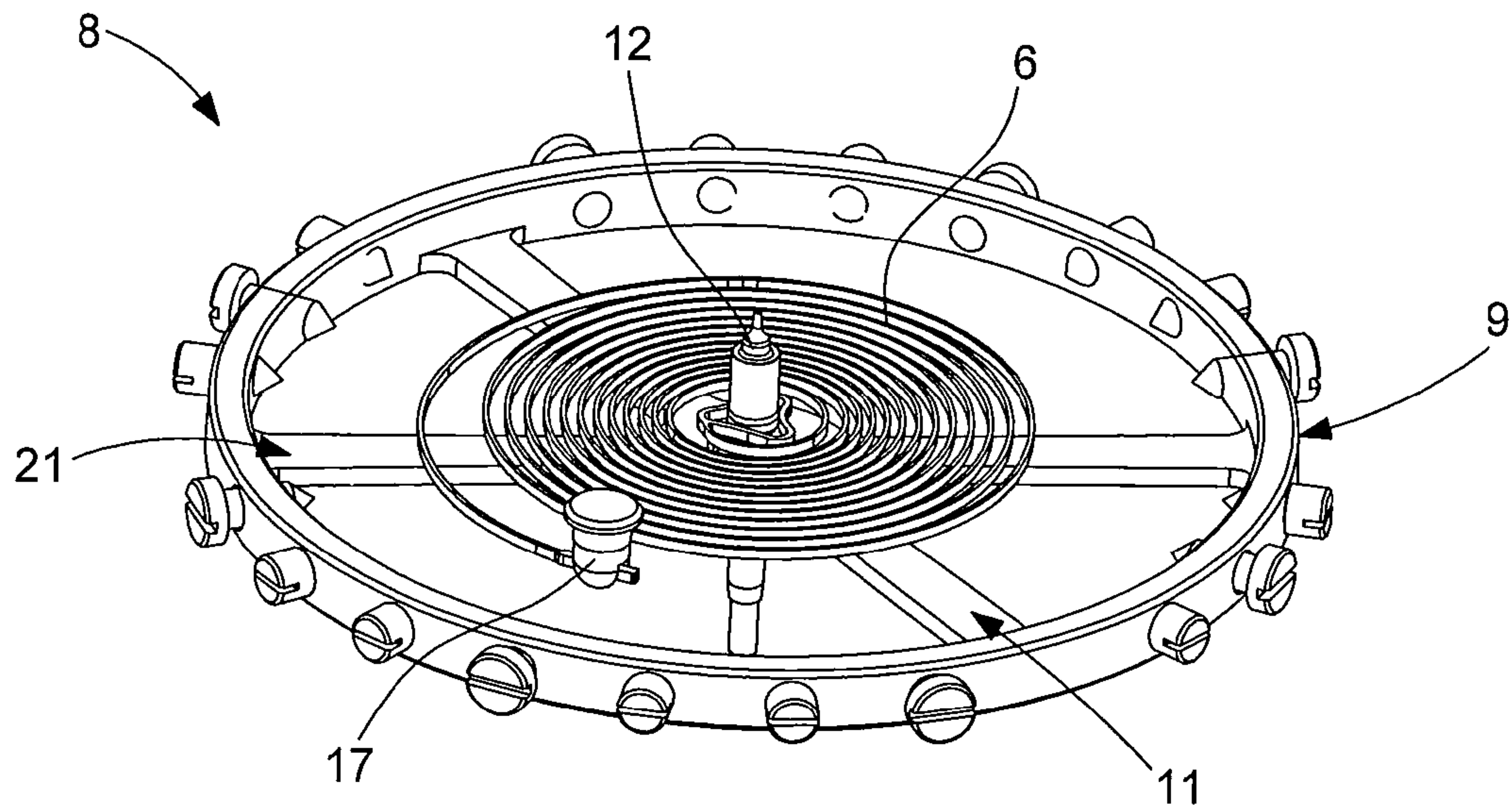


Fig. 4

