



(19) Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) EP 3 355 130 A1

(12)

## DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:  
01.08.2018 Bulletin 2018/31

(51) Int Cl.:  
**G04B 17/04** (2006.01)      **G04B 17/26** (2006.01)  
**G04B 17/28** (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: 18150706.2

(22) Date de dépôt: 09.01.2018

(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**  
Etats d'extension désignés:  
**BA ME**  
Etats de validation désignés:  
**MA MD TN**

(30) Priorité: 19.01.2017 US 201715410294

(71) Demandeur: **The Swatch Group Research and Development Ltd  
2074 Marin (CH)**

(72) Inventeurs:  

- **DI DOMENICO, Gianni**  
2000 Neuchâtel (CH)
- **LÉCHOT, Dominique**  
2722 Les Reussilles (CH)
- **HELPFER, Jean-Luc**  
2525 Le Landeron (CH)
- **WINKLER, Pascal**  
2072 St-Blaise (CH)

(74) Mandataire: **ICB SA**  
Faubourg de l'Hôpital, 3  
2001 Neuchâtel (CH)

### (54) MECANISME RESONATEUR D'HORLOGERIE

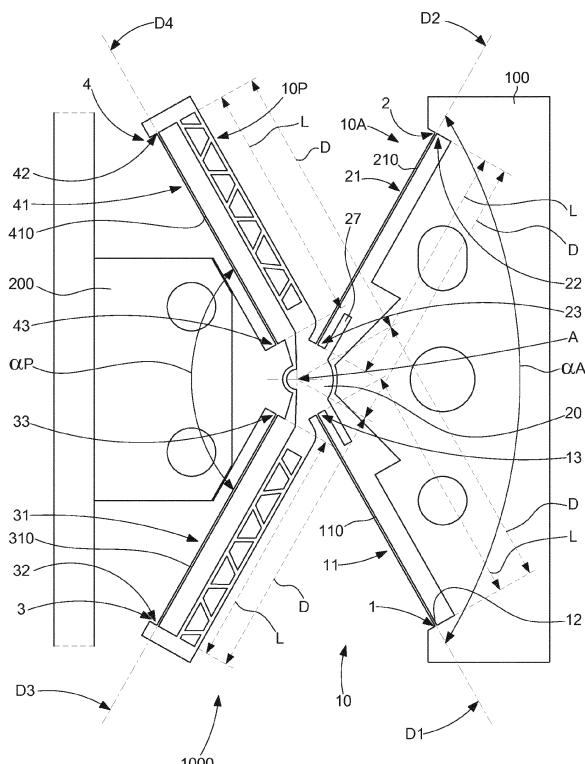
(57) Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) plan comportant deux pivots flexibles RCC (10A, 10P) montés en série autour d'un support rotatif intermédiaire (20) et de même axe de pivotement virtuel (A), comportant chacun deux lames flexibles droites (110, 210 ; 310, 410) de même longueur (L), et dont les encastrements opposés audit axe de pivotement (A) sont de même distance (D) par rapport à ce dernier, et définissant des directions linéaires (D1, D2, D3, D4), formant deux à deux des angles avec ledit axe de pivotement virtuel (A), dont la valeur exprimée en degrés est comprise entre :

$$107+5/((D/L)-(2/3)) \text{ et } 112+5/((D/L)-(2/3)).$$

Dans une variante ce mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) est monobloc en silicium, compensé thermiquement.

Mouvement (2000) comportant un tel mécanisme résonateur d'horlogerie (1000). Montre (3000) comportant un tel mouvement (2000).

Fig. 3



**Description**

**[0001]** L'invention concerne un mécanisme résonateur d'horlogerie comportant un premier support avec un premier ancrage et un deuxième ancrage auxquels est fixé un mécanisme flexible de guidage en pivotement, qui définit un axe de pivotement virtuel autour duquel pivote de façon rotative une masse pivotante, et qui comporte au moins un pivot flexible RCC antérieur et un pivot flexible RCC postérieur montés en série et tête-bêche l'un par rapport à l'autre autour dudit axe de pivotement virtuel, ledit pivot flexible RCC antérieur comportant, entre ledit premier support et un support rotatif intermédiaire, deux lames flexibles antérieures droites de même longueur antérieure entre leurs encastrements, définissant deux directions linéaires antérieures qui se croisent au niveau dudit axe de pivotement virtuel et qui définissent avec ledit axe de pivotement virtuel un angle antérieur, et dont les ancrages respectifs desdites deux lames flexibles antérieures droites les plus éloignés dudit axe de pivotement virtuel sont tous deux à une même distance antérieure dudit axe de pivotement virtuel, et ledit pivot flexible RCC postérieur comportant, entre ledit support rotatif intermédiaire, qui comporte un troisième ancrage et un quatrième ancrage, et ladite masse pivotante, deux lames flexibles postérieures droites de même longueur postérieure entre leurs encastrements, définissant deux directions linéaires postérieures qui se croisent au niveau dudit axe de pivotement virtuel et qui définissent avec ledit axe de pivotement virtuel un angle postérieur, et dont les ancrages respectifs desdites deux lames flexibles postérieures droites les plus éloignés dudit axe de pivotement virtuel sont tous deux à une même distance postérieure dudit axe de pivotement virtuel.

**[0002]** L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au moins un tel mécanisme résonateur.

**[0003]** L'invention concerne encore une montre comportant au moins un tel mouvement.

**[0004]** L'invention concerne le domaine des mécanismes résonateurs d'horlogerie.

Arrière-plan de l'invention

**[0005]** Il est connu que l'utilisation d'un pivot à guidage flexible permet de remplacer le pivot réel d'un balancier ainsi que le ressort spiral de rappel élastique. Ceci à l'avantage de supprimer les frottements de pivots. Toutefois les pivots à guidage flexible sont connus pour avoir une force de rappel élastique non-linéaire ce qui rend le résonateur anisochrone, c'est-à-dire que la fréquence dépend de l'amplitude de l'oscillation, et pour avoir un mouvement parasite de l'axe instantané de rotation, ce qui rend la marche du résonateur sensible à sa position dans le champ de la gravité.

**[0006]** Le problème de la non-linéarité de la force de rappel élastique est difficile à résoudre, et les solutions géométriques existantes, pour améliorer la linéarité de la force de rappel élastique et par conséquent rendre le résonateur isochrone pour une gamme d'amplitude angulaire donnée, nécessitent une fabrication sur plusieurs niveaux. La demande de brevet WO2016096677, au nom de The Swatch Group Research & Development Ltd, incorporée ici par référence, décrit ainsi un résonateur d'horlogerie à lames croisées dans deux plans superposés et expose l'importance de la valeur d'un angle particulier, pour optimiser la linéarité de la force de rappel élastique et par conséquent rendre le résonateur isochrone pour une gamme d'amplitude angulaire donnée. Toutefois un tel pivot à guidage flexible ne peut pas être gravé en une seule fois en 2D, ce qui complique sa fabrication.

**[0007]** Le document EP3021174 au nom de LVMH SWISS MFT SA décrit un régulateur monolithique de pièce d'horlogerie réalisé en une seule plaque, comprenant un élément extérieur rigide, un élément rigide interne, et des suspensions élastiques reliant l'élément rigide externe à l'élément rigide intérieur et permettant des mouvements d'oscillation. L'élément interne rigide comporte des bras qui sont rigidement reliés les uns aux autres, en laissant entre eux des espaces angulaires libres, dans lesquels sont situées les suspensions élastiques. Ce document illustre bien un système compact, comportant des pivots qui comportent des lames flexibles, mais ce document ne décrit pas de caractéristique propre à assurer l'isochronisme (marche indépendante de l'amplitude), ni l'insensibilité aux positions dans l'espace, dans le champ de gravité (marche indépendante des positions). L'architecture des lames et des supports intermédiaires y est particulière : on peut remarquer que les extrémités des deux lames proches de l'axe de rotation sont raccordées à deux supports intermédiaires différents, et ne sont pas connectées au même élément rigide, il ne s'agit donc pas de pivots RCC (Remote Compliance Center) ; on peut encore remarquer que les encastrements proches de l'axe de pivotement du premier pivot ne sont pas rigidement liés par le support intermédiaire aux encastrements éloignés de l'axe de pivotement du second pivot. Enfin, le système décrit est constitué de trois structures flexibles élémentaires identiques, répétées tous les 120° et combinées comme des ressorts en parallèle. Etant donné que chacune de ces structures définit son propre axe de rotation, le système complet est manifestement hyperstatique, c'est-à-dire qu'il y a plus de contraintes que ce qui est nécessaire au fonctionnement du système. Ceci a pour conséquence de détruire la linéarité de la relation entre la déformation et le couple de rappel élastique, si bien que le résonateur ne peut pas être isochrone. Les enseignements de ce document ne permettent pas de déterminer ses paramètres géométriques particuliers. Le document WO2012/010408 au nom de NIVAROX-FAR décrit un mécanisme oscillant pour un mouvement d'horlogerie, comportant un premier élément rigide et un deuxième élément rigide, chacun agencé pour être fixé à un élément différent du mouvement, et dont l'un est mobile par rapport à l'autre et pivote autour d'un axe théorique de pivotement. Ce mécanisme oscillant est flexible à géométrie variable, tout en étant réalisé de façon monobloc, et comporte des premiers

5 moyens de rappel élastique réalisant une liaison élastique directe ou indirecte entre ledit premier élément rigide et un élément rigide intermédiaire, et comporte au moins des deuxièmes moyens de rappel élastique, qui réalisent une liaison élastique directe ou indirecte entre l'élément rigide intermédiaire et le deuxième élément rigide. Le premier élément rigide, les premiers moyens de rappel élastique, l'élément rigide intermédiaire, les deuxièmes moyens de rappel élastique, et le deuxième élément rigide, sont coplanaires, et sont agencés pour se déformer dans ce plan. Plus particulièrement, les premiers moyens de rappel élastique comportent au moins une lame élastique, et les deuxièmes moyens de rappel élastique comportent au moins une lame élastique. A nouveau, le système décrit est hyperstatique puisque constitué de deux structures flexibles élémentaires qui sont répétées tous les 180° et combinées en parallèle.

10 [0008] Le document EP2645189 au nom de NIVAROX-FAR décrit un mécanisme d'échappement d'horlogerie comportant un balancier et une roue d'échappement. La transmission d'impulsions entre le balancier et la roue d'échappement est réalisée par un mécanisme flexible monobloc comportant au moins un palpeur de coopération avec la roue d'échappement ou respectivement le balancier, et ce mécanisme flexible monobloc est relié par au moins une lame flexible à une structure fixe de ladite pièce d'horlogerie, ou respectivement à la roue d'échappement. Plus particulièrement, ce mécanisme flexible monobloc est une ancre, ou une ancre suisse, flexible à force constante, bistable en flambage, cette ancre comportant une baguette munie d'une fourchette avec dard et comportant une tige flexible pivotante et guidée, cette ancre coopérant avec une roue d'échappement à deux niveaux, comportant des chevilles sur ces deux niveaux respectifs, et l'ancre portant encore, sur un autre niveau que la tige flexible, une cheville agencée pour coopérer avec la roue d'échappement pour le déplacement de l'ancre à proximité de son point de basculement.

15 [0009] Le document EP2911012 au nom de CSEM décrit un oscillateur rotatif pour pièce d'horlogerie comprenant un élément de support destiné à permettre l'assemblage de l'oscillateur sur une pièce d'horlogerie, un balancier, une pluralité de lames flexibles reliant l'élément de support au balancier et aptes à exercer un couple de rappel sur le balancier, et une serge montée solidaire du balancier. Cette pluralité de lames flexibles comporte au moins une première lame flexible disposée dans un premier plan perpendiculaire au plan de l'oscillateur, et une deuxième lame flexible disposée dans un deuxième plan perpendiculaire au plan de l'oscillateur et sécant avec le premier plan. L'axe géométrique 20 d'oscillation de l'oscillateur est défini par l'intersection du premier plan et du deuxième plan, cet axe géométrique d'oscillation croisant les première et deuxième lames aux 7/8 de leur longueur respective. Plus particulièrement, la pluralité de lames flexibles comporte une paire formée d'une première et d'une deuxième lames de géométrie identique et disposées dans le premier plan, et une troisième lame disposée dans le deuxième plan, intercalée entre la première et la deuxième lame et présentant une hauteur double de celle de la première ou de la deuxième lame.

25 Résumé de l'invention

[0010] L'invention se propose de réaliser un résonateur mécanique à haut facteur de qualité à l'aide d'une partie 30 inertielle telle qu'un balancier, supportée par un guidage à lames flexibles en rotation, appelé aussi pivot à guidage flexible, qui agit aussi comme moyen de rappel élastique. On désire que ce résonateur soit isochrone (marche indépendante de l'amplitude) et insensible aux positions dans le champ de gravité (marche indépendante des positions).

[0011] L'invention cherche à allier les avantages des deux géométries connues bidimensionnelle et tridimensionnelle, dans une exécution simple et économique, donc bidimensionnelle.

[0012] L'invention concerne ainsi un mécanisme résonateur d'horlogerie selon la revendication 1.

40 [0013] L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au moins un tel mécanisme résonateur.

[0014] L'invention concerne encore une montre comportant au moins un tel mouvement.

Description sommaire des dessins

45 [0015] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés, où :

- 50 - la figure 1 représente, de façon schématisée et en vue en perspective, un résonateur mécanique selon l'invention, comportant, entre un premier support agencé pour être fixé directement ou indirectement à la structure d'un mouvement d'horlogerie, et une masse pivotante mobile sur laquelle est rapporté un balancier à bras, deux pivots flexibles RCC montés en série, et tête-bêche, autour d'un support rotatif intermédiaire et de même axe de pivotement virtuel, et comportant chacun deux lames flexibles droites, avec le centre de masse de l'ensemble constitué par la masse pivotante mobile et le balancier rapporté coïncidant avec l'axe de pivotement virtuel;
- 55 - la figure 2 est une variante où le balancier rapporté comporte une serge circulaire ;
- la figure 3 représente, de façon schématisée et en vue en plan, la partie centrale du résonateur de la figure 1 ;
- la figure 4 est un détail de la même partie centrale, mettant en évidence les différentes surfaces de limitation pour la protection anti-chocs, que comporte ce résonateur ;
- la figure 5 est un graphique représentant la valeur optimale de l'angle entre les deux lames de chaque pivot flexible

RCC, en fonction du ratio entre, d'une part la distance de l'encastrement d'une lame, opposé à l'axe de pivotement, et d'autre part avec la longueur de la lame concernée ;

- les figures 6 à 8 illustrent d'autres variantes d'arrangements géométriques;
- la figure 9 est un schéma-blocs représentant une montre avec un mouvement incorporant un résonateur selon l'invention, lequel comporte plusieurs mécanismes flexibles de guidage en pivotement disposés en série ;
- la figure 10 représente, de façon schématisée et en vue en plan, un pivot RCC ;
- la figure 11 représente, de façon schématisée et en vue en plan, un pivot à lames flexibles comportant deux pivots RCC symétriques mis en série et disposés tête-bêche.

10 Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0016] L'invention concerne un mécanisme résonateur d'horlogerie 1000, comportant un premier support 100 rigide, fixe ou mobile, avec un premier ancrage 1 et un deuxième ancrage 2, auxquels est fixé un mécanisme flexible de guidage en pivotement 10, qui définit un axe de pivotement virtuel A, autour duquel pivote de façon rotative une masse pivotante 200 rigide.

[0017] Ce mécanisme flexible de guidage en pivotement 10 est un pivot à guidage flexible 2D, c'est-à-dire réalisable dans un plan.

[0018] Ce mécanisme flexible de guidage en pivotement 10 permet à la masse pivotante 200 rigide d'effectuer une rotation de l'axe de pivotement virtuel A, relativement au premier support 100 rigide. Il est composé de deux pivots flexibles RCC (Remote Center Compliance, c'est-à-dire centre de rotation déporté) dont les axes de rotation coïncident et qui sont reliés par un support rotatif intermédiaire 20 rigide. Les deux pivots RCC sont ainsi mis en série, mais tête-bêche l'un par rapport à l'autre, de sorte que leurs mouvements parasites se compensent.

[0019] L'invention est isostatique dans le sens où le mouvement relatif des pièces se fait sans contrainte excessive, grâce à l'absence d'autres éléments mis en parallèle.

[0020] Un pivot élémentaire à lames flexibles est un ensemble constitué de 2 parties rigides R1 et R2 qui sont reliées par deux lames flexibles L1 et L2 qui ne se touchent pas. Au repos les lames L1 et L2 sont droites et non parallèles de sorte que leur prolongement définit un point de croisement A. Les deux parties rigides R1 et R2 peuvent effectuer un mouvement relatif de rotation autour de l'axe perpendiculaire au plan et passant par A.

[0021] Un pivot RCC (Remote Compliance Center), illustré à la figure 10, est un pivot élémentaire à lames flexibles dont le point de croisement A est situé en-dehors des lames. Il est constitué de deux lames L1 et L2 de même longueur L, et les points d'encastrement des lames L1 et L2 dans la partie rigide R1 sont à égale distance de l'axe de rotation A. Le pivot RCC est bien connu de l'homme du métier (voir le livre de S. Henein, « Conception des guidages flexibles », Presses polytechniques et universitaires romandes, 2001, page 101).

[0022] La géométrie d'un pivot RCC est caractérisée par deux paramètres :

35 (1) l'angle  $\alpha$  entre ses deux lames et (2) le rapport D/L où D est la distance entre l'axe de rotation A et l'encastrement des lames qui en est le plus éloigné, et L est la longueur de chacune des deux lames.

40 [0023] L'invention comporte un mécanisme flexible de guidage en pivotement composé de deux pivots RCC mis en série, tel que :

- les deux pivots RCC qui le composent sont situés dans un même plan ;
- les deux pivots RCC qui le composent ont le même axe de rotation A ;
- les deux pivots RCC qui le composent ont les mêmes paramètres  $\alpha$  et D/L ;

45 De plus, la partie rigide la plus proche de l'axe de rotation de l'un des deux pivots (R1A dans la figure 11) est rigidement liée à la partie rigide la plus éloignée de l'axe de rotation de l'autre pivot (R2B dans la figure 11). On dit alors que les deux pivots RCC sont mis en série et tête-bêche, tel que visible sur la figure 11.

[0024] Le mécanisme flexible de guidage en pivotement que comporte l'invention est ainsi constitué uniquement de trois parties rigides et de quatre lames situées dans le plan du guidage. Afin de garantir que le guidage en pivotement est isostatique, il est important qu'il n'y ait pas d'autre liaison flexible dans ledit plan du guidage entre lesdites trois parties rigides. Néanmoins, il est tout à fait envisageable de disposer un autre mécanisme flexible de guidage en pivotement dans un autre plan, parallèle au plan du premier guidage et distant de celui-ci. Ce second mécanisme flexible de guidage en pivotement peut être relié en série, ou en parallèle, au premier guidage en pivotement selon les besoins.

55 [0025] On peut fixer la première partie rigide (R1B sur la figure 11) à la platine et fixer une masse inertielle, notamment un balancier, sur la troisième partie rigide (R2A sur la figure 11). L'inverse est aussi possible.

[0026] Un des quatre segments de la partie rigide intermédiaire peut être interrompu. C'est le cas dans les figures de la variante non limitative illustrée. Toutefois, il est important que les quatre encastrements des lames dans la partie

intermédiaire (L1A, L2A dans R1A et L1B, L2B dans R2B dans la figure 11) soient rigidement liés les uns aux autres.

[0027] On comprend que les encastrements proches de l'axe de pivotement virtuel A du premier pivot RCC sont rigidement reliés, par le support rotatif intermédiaire 20, aux encastrements éloignés de l'axe de pivotement virtuel A du second pivot RCC, ou vice-versa, tel que visible sur les figures 6 et 7.

5 [0028] Ainsi, le mécanisme flexible de guidage en pivotement 10 comporte un pivot flexible RCC antérieur 10A et un pivot flexible RCC postérieur 10P, qui sont montés en série l'un avec l'autre, et tête-bêche, autour de l'axe de pivotement virtuel A commun, et qui incorporent des éléments flexibles élastiques.

10 [0029] Le pivot flexible RCC antérieur 10A comporte, entre le premier support 100 et un support rotatif intermédiaire 20, deux ensembles élastiques antérieurs 11, 21, formés, dans le mode de réalisation des figures, par deux lames flexibles antérieures droites 110, 210, de même longueur antérieure LA entre leurs encastrements, définissant deux directions linéaires antérieures D1, D2, qui se croisent au niveau de l'axe de pivotement virtuel A, et qui définissent avec cet axe de pivotement virtuel A un angle antérieur  $\alpha_A$ , et dont les ancrages respectifs des deux lames flexibles antérieures droites 110, 210, les plus éloignés de l'axe de pivotement virtuel A sont tous deux à une même distance antérieure DA de l'axe de pivotement virtuel A.

15 [0030] De façon similaire, le pivot flexible RCC postérieur 10P comporte, entre le support rotatif intermédiaire 20, qui comporte un troisième ancrage 3 et un quatrième ancrage 4, et la masse pivotante 200, deux ensembles élastiques postérieurs 31, 41, formés, dans le mode de réalisation des figures, par deux lames flexibles postérieures droites 310, 410 de même longueur postérieure LP entre leurs encastrements, définissant deux directions linéaires postérieures D3, D4, qui se croisent au niveau de l'axe de pivotement virtuel A, et qui définissent avec cet axe de pivotement virtuel A un angle postérieur  $\alpha_P$ , et dont les ancrages respectifs des deux lames flexibles postérieures droites 310, 410, les plus éloignés de l'axe de pivotement virtuel A sont tous deux à une même distance postérieure DP de l'axe de pivotement virtuel A.

[0031] De plus, le mécanisme flexible de guidage en pivotement 10 est plan.

25 [0032] L'invention consiste à optimiser l'angle entre les éléments élastiques de chaque pivot flexible RCC, pour que le pivot ait une force de rappel élastique linéaire, afin que le résonateur mécanique soit isochrone dans un domaine d'amplitude angulaire donné.

30 [0033] Selon l'invention, le centre d'inertie de l'ensemble formé par la masse pivotante 200 et toute masse inertielle rapportée 201 que porte la masse pivotante 200, comme dans les variantes non limitatives illustrées aux figures 1 et 2, est sur l'axe de pivotement virtuel A ou dans son voisinage immédiat, et le résonateur mécanique est isochrone si:

- 35 - l'angle antérieur  $\alpha_A$  exprimé en degrés est compris entre :

$$107 + 5/[(DA/LA)-(2/3)] \text{ et } 114.5 + 5/[(DA/LA)-(2/3)],$$

- 35 - et l'angle postérieur  $\alpha_P$  exprimé en degrés est compris entre :

$$107 + 5/[(DP/LP)-(2/3)] \text{ et } 114.5 + 5/[(DP/LP)-(2/3)].$$

40 [0034] Dans une variante particulière, l'angle antérieur  $\alpha_A$  et l'angle postérieur  $\alpha_P$  sont égaux à un angle commun  $\alpha$ . Plus particulièrement, cet angle commun  $\alpha$  est voisin de 118°.

[0035] Dans une variante préférée, la distance antérieure DA et la distance postérieure DP sont égales à une distance commune D, et la longueur antérieure LA et la longueur postérieure LP sont égales à une longueur commune L.

45 [0036] L'angle commun  $\alpha$  est alors compris entre :

$$107 + 5/[(D/L)-(2/3)] \text{ et } 114.5 + 5/[(D/L)-(2/3)].$$

50 [0037] La valeur de l'angle  $\alpha$  optimum dépend principalement du rapport D/L, mais elle dépend aussi des rayons à l'encastrement des lames, du rapport d'aspect de la section des lames, et de l'épaisseur de la couche de SiO<sub>2</sub> utilisée pour la compensation thermique.

[0038] Une courbe optimale, pour des valeurs particulières de rayons d'encastrement et de rapport d'aspect des lames, est représentée en trait plein sur la figure 5, qui montre l'évolution de l'angle  $\alpha$  optimal, en fonction du rapport D/L.

55 [0039] Naturellement, des valeurs différentes de rayons d'encastrement, et de rapport d'aspect de la section des lames, conduisent à des valeurs différentes de l'angle  $\alpha$  optimal. Cette plage angulaire est représentée sur la figure 5 entre les lignes discontinues.

[0040] Plus particulièrement, l'angle  $\alpha$  et le paramètre D/L satisfont la relation:

$$107+5/((D/L)-(2/3)) < \alpha < 112+5/((D/L)-(2/3)).$$

**[0041]** Plus particulièrement, dans les variantes illustrées sur les figures, le premier ensemble élastique antérieur 11, le deuxième ensemble élastique antérieur 21, le premier ensemble élastique postérieur 31, et le deuxième ensemble élastique postérieur 41 sont constitués chacun d'une lame flexible droite 110, 210, 310, 410.

**[0042]** Dans une autre variante non illustrée sur les figures, le premier ensemble élastique antérieur 11, le deuxième ensemble élastique antérieur 21, le premier ensemble élastique postérieur 31, et le deuxième ensemble élastique postérieur 41 comportent chacun une alternance de lames flexibles droites et d'éléments intermédiaires plus rigides que ces lames flexibles droites, alignés selon les directions respectives D1, D2, D3, D4.

**[0043]** Pour obtenir un résonateur mécanique à haut facteur de qualité, il est avantageux de rapporter un élément inertielle 201 à la masse pivotante 200, ou de l'intégrer à celle-ci, et de fixer le premier support 100 rigide à une platine ou un pont du mouvement d'horlogerie, ou tout autre élément susceptible d'agir comme support du résonateur à pivot flexible, par exemple, de façon non limitative, un élément de liaison d'un diapason, ou encore un élément anti-choc qui est autorisé à se déplacer uniquement en cas de choc violent, de façon à diminuer l'accélération subie par le résonateur. Naturellement, la partie fixe et la partie mobile représentées ici sont permutables. Cet élément inertielle peut être un disque, un anneau tel qu'une serge de balancier tel que visible sur la figure 2, ou un simple bras tel que visible sur la figure 1. Il est important que le centre de masse de l'élément inertielle soit sensiblement aligné avec l'axe de pivotement virtuel A.

**[0044]** Pour éviter des modes propres indésirables, il est avantageux de squeletter le support rotatif intermédiaire 20 rigide avec des évidements 209, de façon à réduire son inertie, tout en lui conférant une rigidité très supérieure à celle des lames flexibles constituant les ensembles élastiques 11, 21, 31, et 41, tel que visible sur les figures 1 à 4.

**[0045]** De la même façon, quand les éléments élastiques comportent des éléments intermédiaires plus rigides que les lames flexibles droites, ces éléments intermédiaires sont avantageusement également squelettés.

**[0046]** Une autre variante avantageuse, concernant tous les modes de réalisation, consiste à agencer les parties rigides 100, 20, 200, très proches l'une de l'autre autour de l'axe de pivotement virtuel A, de sorte qu'elles agissent comme des butées anti-choc, radiales ou/et angulaires, afin d'empêcher une rupture des lames, tel que visible avec les surfaces 105, 25, 26, 206, 28, 208, de la figure 4, en particulier les faces obliques 28 et 208 qui contribuent grandement à la résistance aux chocs du système. Ou encore à équiper certaines des parties rigides avec des bras de limitation 27 agencés pour coopérer en butée, en cas de choc, avec des surfaces complémentaires 107 que comporte le premier support 100, tel que visible sur la figure 4 où le support rotatif intermédiaire 20 porte de tels bras de limitation 27.

**[0047]** L'invention peut être mise en oeuvre avec des lames présentant des épaisseurs variables. L'angle optimum entre les lames doit alors être adapté en conséquence.

**[0048]** L'essentiel est de respecter la symétrie de flexibilité par rapport à la bissectrice de l'angle  $\alpha A$ , et par rapport à l'axe de pivotement virtuel A.

**[0049]** L'invention se prête particulièrement bien à une exécution monolithique.

**[0050]** Dans une réalisation avantageuse, le premier support 100, la masse pivotante 200, et le mécanisme flexible de guidage en pivotement 10 forment un ensemble monobloc. Cet ensemble monobloc peut être réalisé, ou bien par usinage classique, ou bien, de façon particulière et non exhaustive, par des technologies de type « MEMS » ou « LIGA » ou impression 3D ou fabrication additive par laser ou similaire, en silicium, quartz, DLC, alliages métalliques, verre, rubis, saphir ou autre céramique, ou polymères, chargés ou non, ou similaire, compensé thermiquement, notamment par une croissance locale particulière de dioxyde de silicium, dans certaines zones de la pièce agencées à cet effet, quand cet ensemble monobloc est réalisé en silicium. Naturellement, d'autres matériaux encore sont utilisables, pour certains au prix d'une compensation en température. On citera notamment et non limitativement des alliages métalliques amorphes ou cristallins.

**[0051]** Quand la masse pivotante 200 porte une masse inertielle rapportée 201, le mécanisme flexible de guidage en pivotement 10 est avantageusement en silicium, oxydé de façon telle que le mécanisme résonateur 1000 complet, avec cette masse inertielle rapportée 201, soit compensé thermiquement.

**[0052]** Le mécanisme résonateur d'horlogerie 1000 peut comporter une pluralité de tels mécanismes flexibles de guidage en pivotement 10 montés en série, pour augmenter la course angulaire totale, disposés dans des plans parallèles, et autour du même axe de pivotement virtuel A, par solidarisation de parties rigides entre elles. Une telle pièce peut être formée par assemblage de deux pièces gravées sur un seul niveau, ou bien peut être gravée dans du silicium SOI deux niveaux.

**[0053]** On peut, avantageusement, utiliser deux mécanismes flexibles de guidage en pivotement en configuration de diapason, pour éliminer la réaction au support ; ceci est généralisable à un nombre N de mécanismes flexibles de guidage en pivotement.

**[0054]** L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie 2000 comportant au moins un tel mécanisme résonateur 1000.

[0055] L'invention concerne encore une montre 3000 comportant au moins un tel mouvement 2000.

[0056] L'invention apporte plusieurs avantages:

- 5 - bon isochronisme, marche indépendante des positions dans le champ de gravité, marche indépendante de l'amplitude;
- facilité de fabrication, grâce au regroupement des éléments fonctionnels dans un seul plan, réalisable en deux dimensions, par gravure en une seule fois dans du silicium ou similaire, ou bien par découpage dans une plaque, par électro-érosion, laser, jet d'eau, fabrication additive ou autre

10

## Revendications

1. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) comportant un premier support (100) avec un premier ancrage (1) et un deuxième ancrage (2) auxquels est fixé un mécanisme flexible de guidage en pivotement (10), qui définit un axe de pivotement virtuel (A) autour duquel pivote de façon rotative une masse pivotante (200), et qui comporte au moins un pivot flexible RCC antérieur (10A) et un pivot flexible RCC postérieur (10P) montés en série et tête-bêche l'un par rapport à l'autre autour dudit axe de pivotement virtuel (A),  
 ledit pivot flexible RCC antérieur (10A) comportant, entre ledit premier support (100) et un support rotatif intermédiaire (20), deux lames flexibles antérieures droites (110, 210) de même longueur antérieure (LA) entre leurs encastrements, définissant deux directions linéaires antérieures (D1, D2) qui se croisent au niveau dudit axe de pivotement virtuel (A) et qui définissent avec ledit axe de pivotement virtuel (A) un angle antérieur ( $\alpha_A$ ), et dont les ancrages respectifs desdites deux lames flexibles antérieures droites (110, 210) les plus éloignés dudit axe de pivotement virtuel (A) sont tous deux à une même distance antérieure (DA) dudit axe de pivotement virtuel (A),  
 et ledit pivot flexible RCC postérieur (10P) comportant, entre ledit support rotatif intermédiaire (20), qui comporte un troisième ancrage (3) et un quatrième ancrage (4), et ladite masse pivotante (200), deux lames flexibles postérieures droites (310, 410) de même longueur postérieure (LP) entre leurs encastrements, définissant deux directions linéaires postérieures (D3, D4) qui se croisent au niveau dudit axe de pivotement virtuel (A) et qui définissent avec ledit axe de pivotement virtuel (A) un angle postérieur ( $\alpha_P$ ), et dont les ancrages respectifs desdites deux lames flexibles postérieures droites (310, 410) les plus éloignés dudit axe de pivotement virtuel (A) sont tous deux à une même distance postérieure (DP) dudit axe de pivotement virtuel (A),  
**caractérisé en ce que** ledit mécanisme flexible de guidage en pivotement (10) est plan, **en ce que** le centre d'inertie de l'ensemble formé par ladite masse pivotante (200) et toute masse inertielle rapportée (201) que porte ladite masse pivotante (200) est sur ledit axe de pivotement virtuel (A) ou dans son voisinage immédiat,  
**en ce que** ledit angle antérieur ( $\alpha_A$ ) exprimé en degrés est compris entre :

35

$$107 + 5/[(DA/LA)-(2/3)] \text{ et } 114.5 + 5/[(DA/LA)-(2/3)]$$

et **en ce que** ledit angle postérieur ( $\alpha_P$ ) exprimé en degrés est compris entre :

40

$$107 + 5/[(DP/LP)-(2/3)] \text{ et } 114.5 + 5/[(DP/LP)-(2/3)].$$

2. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** ledit angle antérieur ( $\alpha_A$ ) et ledit angle postérieur ( $\alpha_P$ ) sont égaux.
3. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** ladite longueur antérieure (LA) et ladite longueur postérieure (LP) sont égales à une longueur commune (L), et **en ce que** ladite distance antérieure (DA) et ladite distance postérieure (DP) sont égales à une distance commune (D).
4. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** ledit angle antérieur ( $\alpha_A$ ) et ledit angle postérieur ( $\alpha_P$ ) sont égaux à un angle commun ( $\alpha$ ), exprimé en degrés, et **en ce que** ledit angle commun ( $\alpha$ ) et le rapport (D/L) entre ladite longueur commune (L) et ladite distance commune (D) satisfont la relation:  $107+5/((D/L)-(2/3)) < \alpha < 112+5/((D/L)-(2/3))$ .
5. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon la revendication 3, **caractérisé en ce que** ledit angle antérieur ( $\alpha_A$ ) et ledit angle postérieur ( $\alpha_P$ ) sont égaux à un angle commun ( $\alpha$ ), exprimé en degrés, qui est exprimé en fonction du rapport (D/L) entre ladite longueur commune (L) et ladite distance commune (D), et qui est égal à  $109.5^\circ +$

5/[(D/L)-(2/3)].

- 5      6. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** ledit support rotatif intermédiaire (20) est squeletté par des évidements (209) pour minimiser sa masse et éviter des modes propres indésirables.
- 10     7. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon l'une des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** ledit premier support (100), ladite masse pivotante (200), et ledit mécanisme flexible de guidage en pivotement (10) sont agencés très proches les uns des autres autour dudit axe de pivotement virtuel (A) et comportent des surfaces (105, 25, 26, 206) constituant des butées anti-choc pour empêcher une rupture desdites lames flexibles (11, 21, 31, 41).
- 15     8. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** ledit support rotatif intermédiaire (20) comporte des bras de limitation (27) agencés pour coopérer en butée en cas de choc avec des surfaces complémentaires (107) que comporte ledit premier support (100).
- 20     9. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** ledit premier support (100), ladite masse pivotante (200), et ledit mécanisme flexible de guidage en pivotement (10) forment un ensemble monobloc.
- 25     10. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** ledit ensemble monobloc est en silicium, compensé thermiquement.
- 30     11. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** ladite masse pivotante (200) porte une masse inertielle rapportée (201), et **en ce que** ledit mécanisme flexible de guidage en pivotement (10) est en silicium, oxydé pour que ledit mécanisme résonateur (1000) complet avec ladite masse inertielle rapportée (201) soit compensé thermiquement.
- 35     12. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon l'une des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce qu'il comporte** une pluralité de dits mécanismes flexibles de guidage en pivotement (10) montés en série, pour augmenter la course angulaire totale, disposés dans des plans parallèles, et autour du même dit axe de pivotement virtuel (A).
- 40     13. Mouvement d'horlogerie (2000) comportant au moins un mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon l'une des revendications 1 à 12.
- 45     14. Montre (3000) comportant au moins un mouvement (2000) selon la revendication 13.

40

45

50

55

Fig. 1

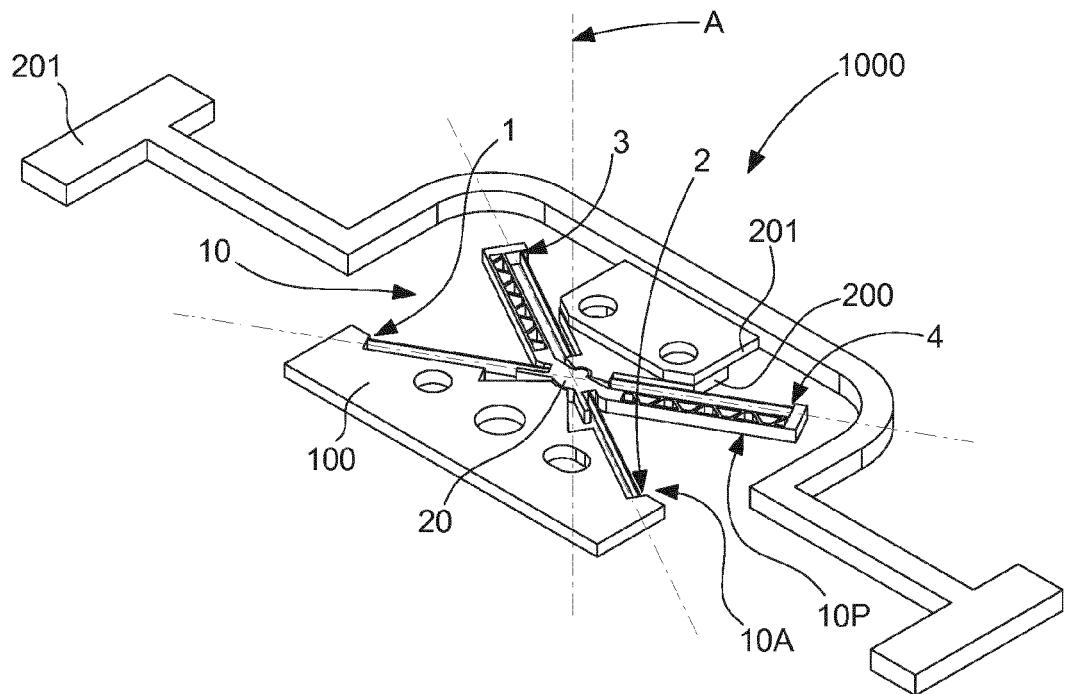


Fig. 2

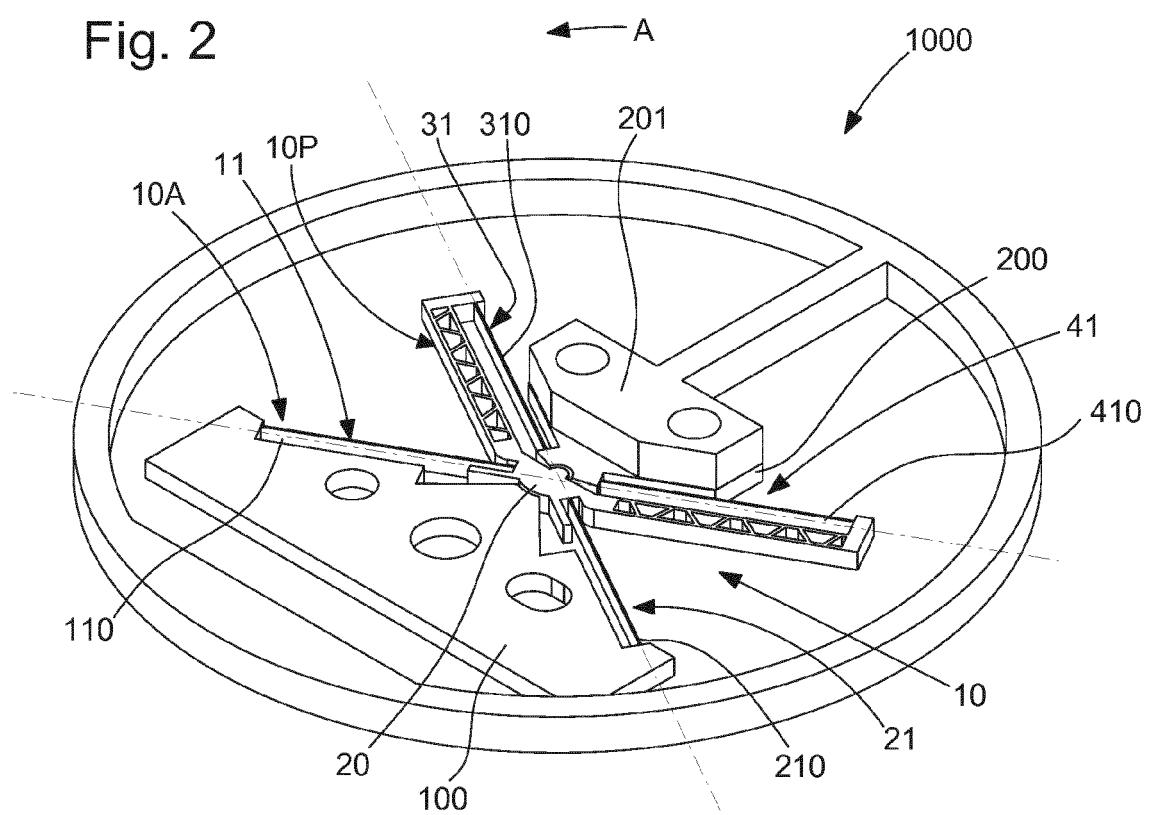


Fig. 3

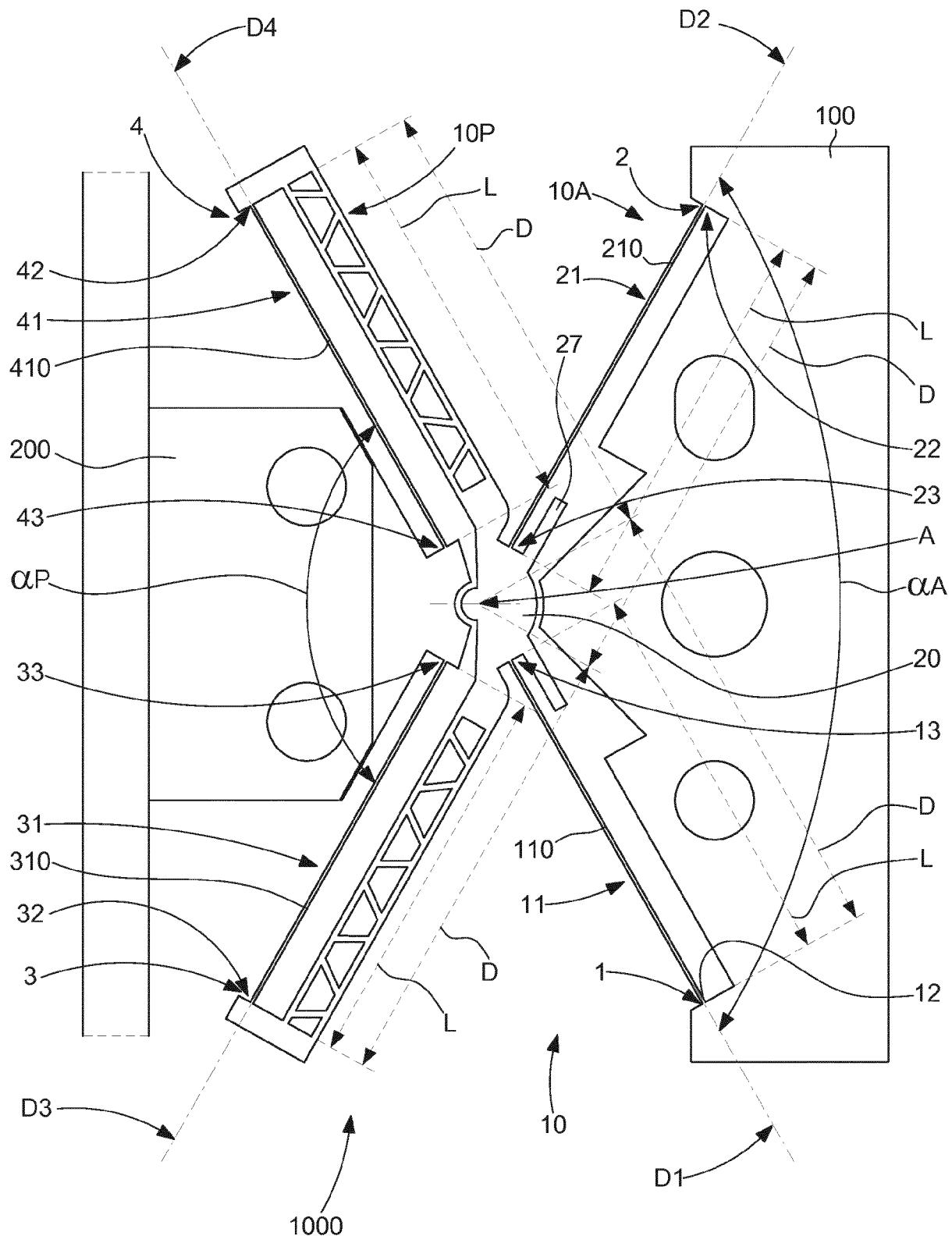


Fig. 4

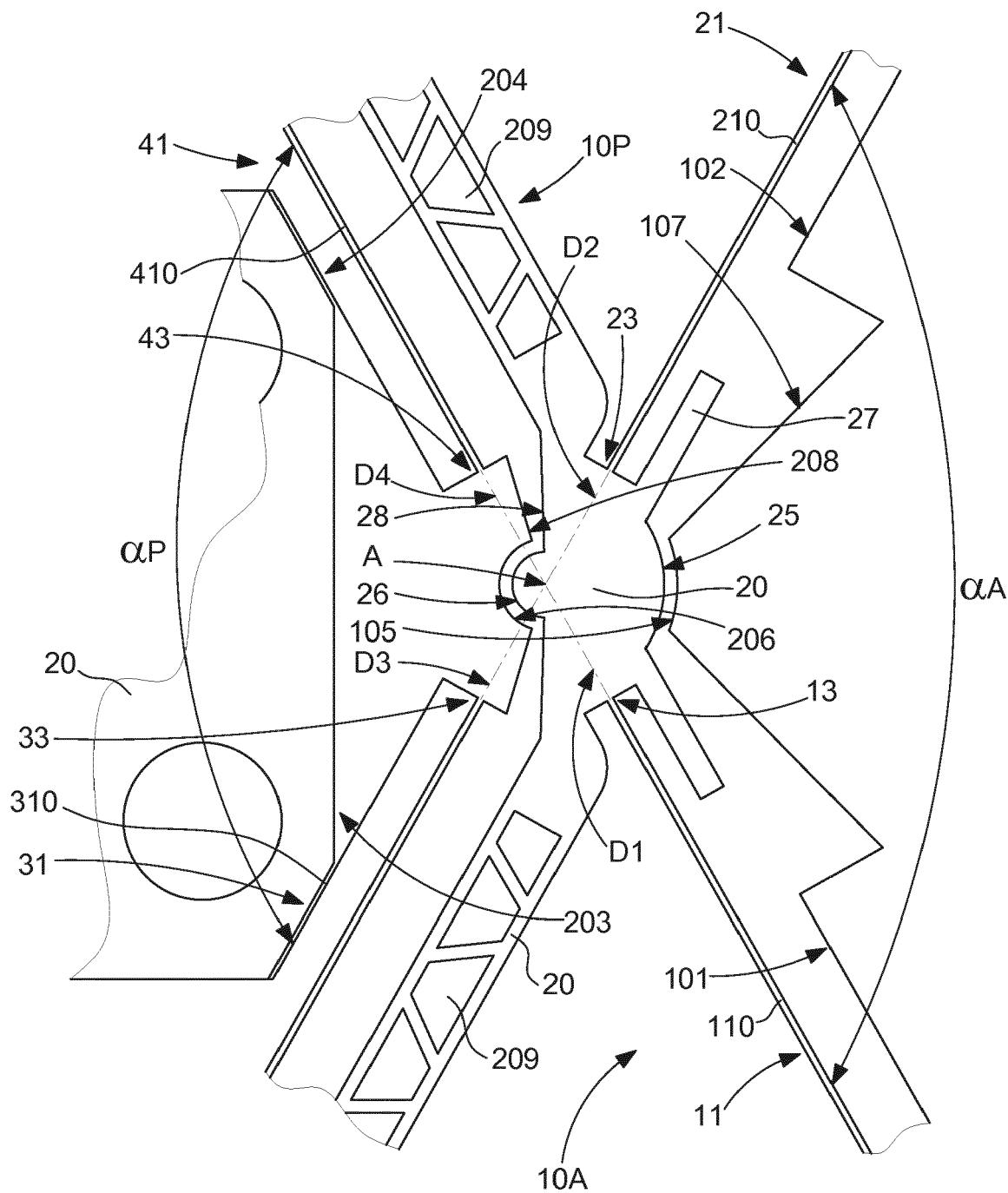


Fig. 5

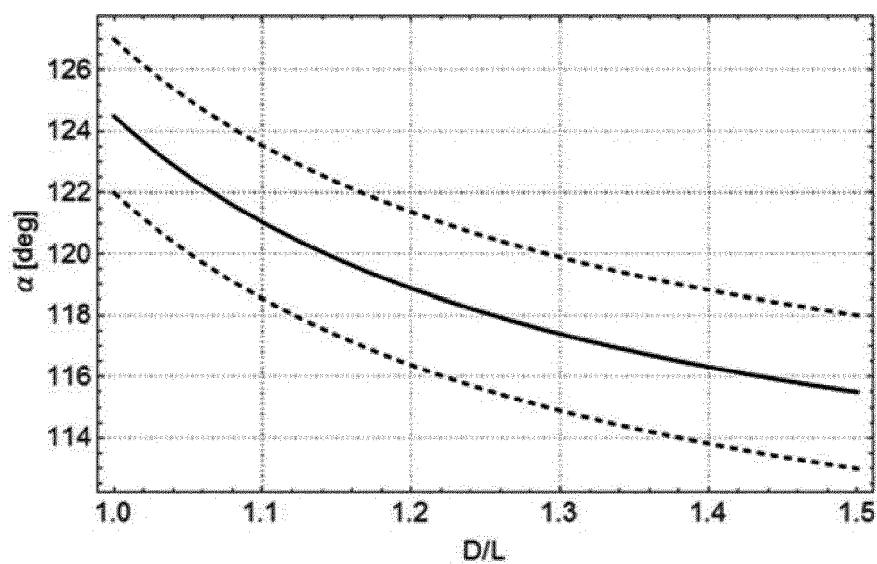


Fig. 10

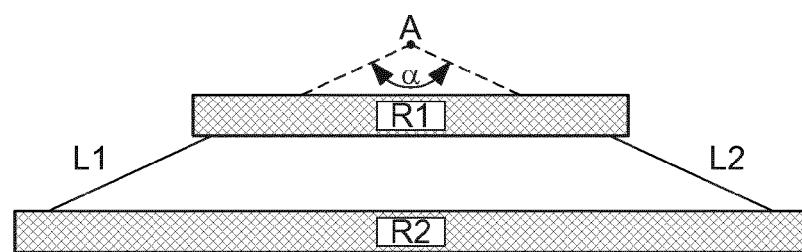


Fig. 11

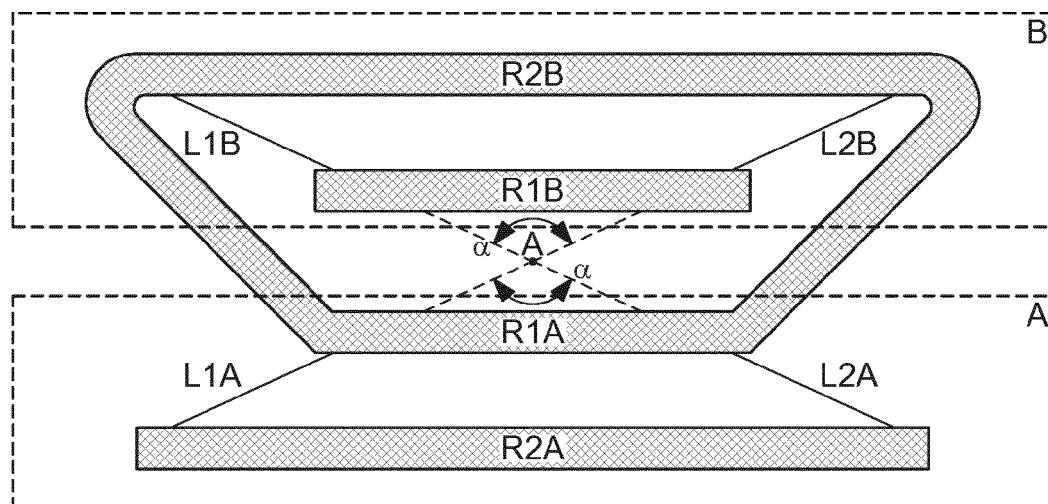


Fig. 6

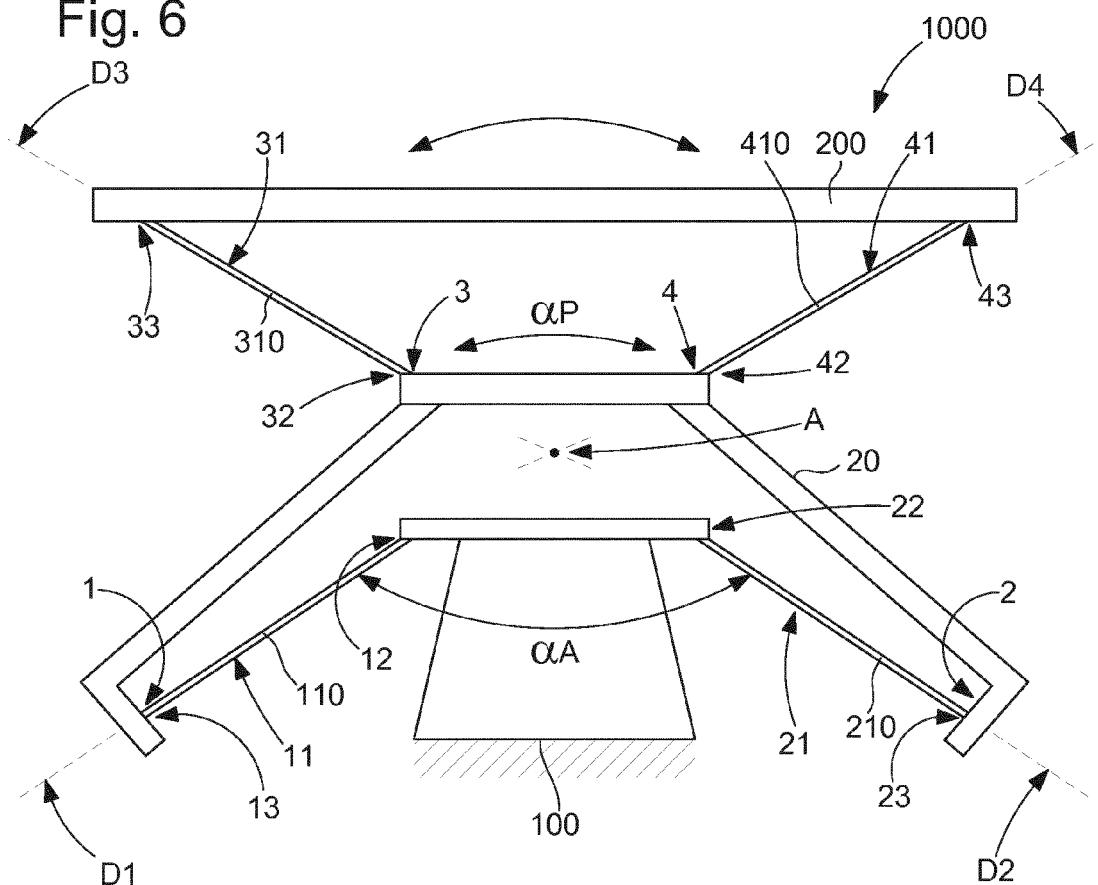


Fig. 7

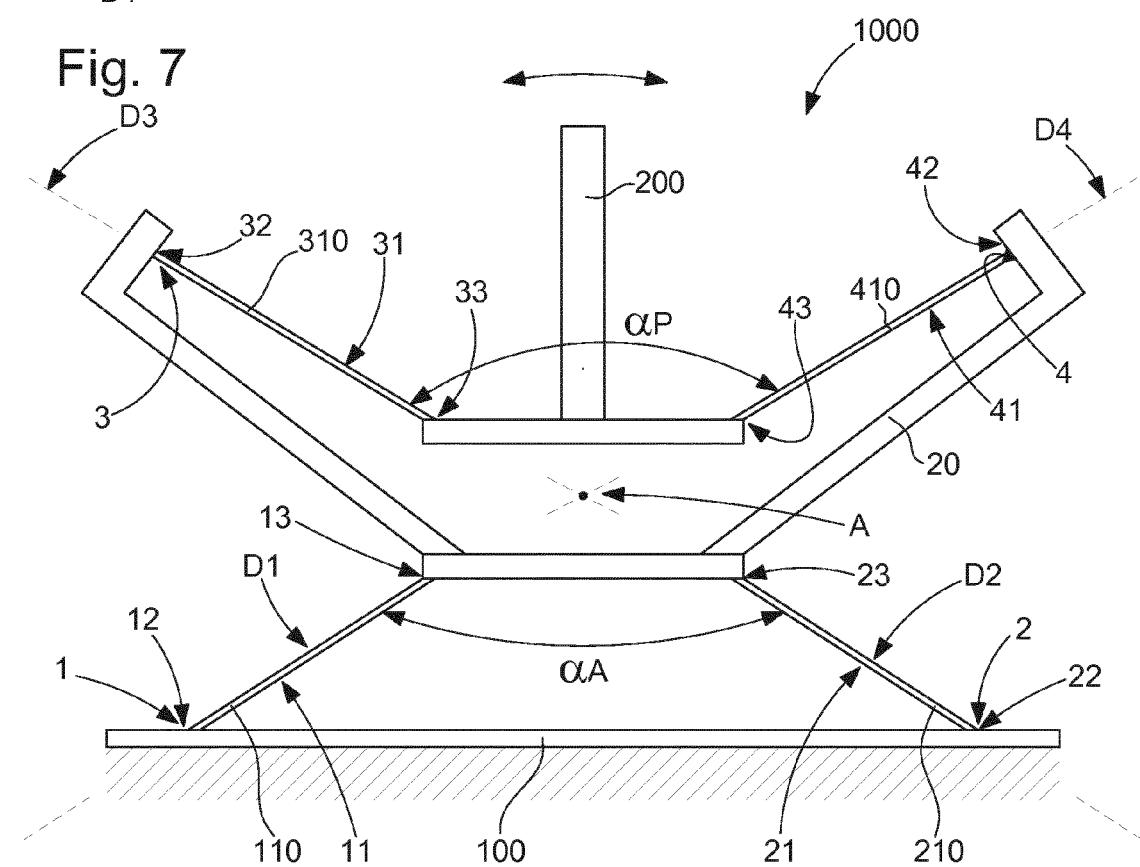


Fig. 8

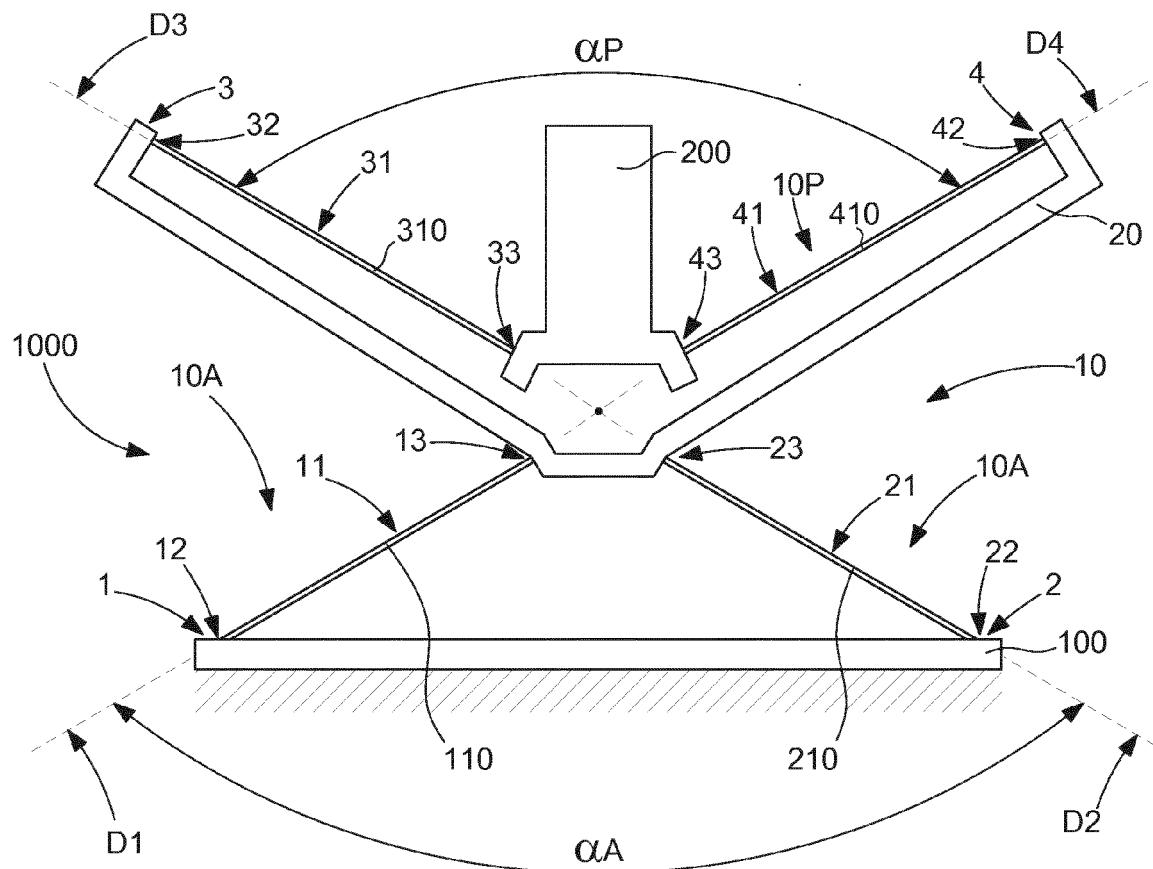
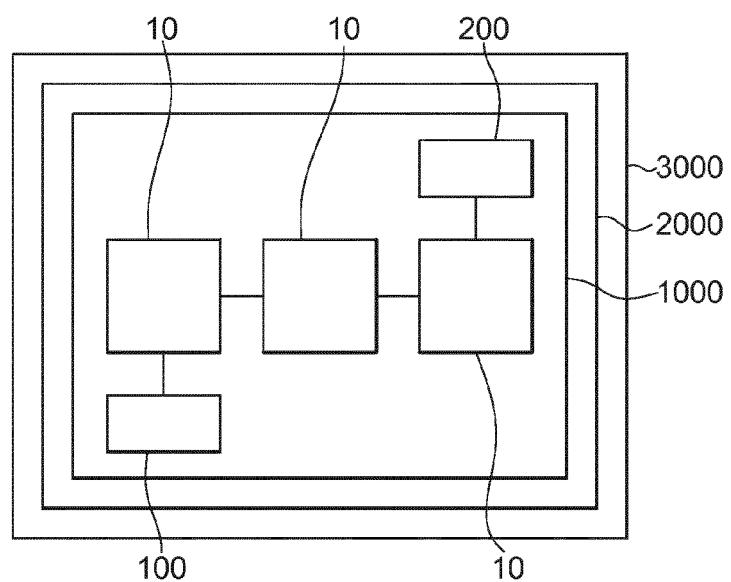


Fig. 9





## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande  
EP 18 15 0706

5

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
10 X, P	EP 3 206 089 A1 (SWATCH GROUP RES & DEV LTD [CH]) 16 août 2017 (2017-08-16) * alinéas [0013] - [0044]; revendications 1-13 *	1-14	INV. G04B17/04 G04B17/26 G04B17/28
15 X, P	US 2017/227930 A1 (DI DOMENICO GIANNI [CH] ET AL) 10 août 2017 (2017-08-10) * alinéas [0027] - [0074]; revendications 1-14 *	1-14	
20 X	EP 2 273 323 A2 (MANUF ET FABRIQUE DE MONTRES ET DE CHRONOMETRES ULYSSE NARDIN LE LOCLE) 12 janvier 2011 (2011-01-12) * alinéa [0010]; revendications 5,6,7,9,10; figures 1,2 *	1-8, 10-14	
25 A	-----	9	
30			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
35			G04B
40			
45			
46	Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications		
47	Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
48	La Haye	19 juin 2018	Cavallin, Alberto
49	CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		
50	X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrête-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire	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	
51	EPO FORM 1503 03-82 (P04C02)		

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

EP 18 15 0706

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.

19-06-2018

10	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
15	EP 3206089 A1 16-08-2017	CN EP JP JP US	107065493 A 3206089 A1 6285584 B2 2017142246 A 2017227930 A1	18-08-2017 16-08-2017 28-02-2018 17-08-2017 10-08-2017
20	US 2017227930 A1 10-08-2017	CN EP JP JP US	107065493 A 3206089 A1 6285584 B2 2017142246 A 2017227930 A1	18-08-2017 16-08-2017 28-02-2018 17-08-2017 10-08-2017
25	EP 2273323 A2 12-01-2011	CH EP	701421 A2 2273323 A2	14-01-2011 12-01-2011
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0460

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**

- WO 2016096677 A [0006]
- EP 3021174 A [0007]
- WO 2012010408 A [0007]
- EP 2645189 A [0008]
- EP 2911012 A [0009]