

(19)



(11)

**EP 3 206 089 B1**

(12)

**FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**19.12.2018 Bulletin 2018/51**

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

(21) Numéro de dépôt: **16155039.7**

(22) Date de dépôt: **10.02.2016**

**(54) MÉCANISME RÉSONATEUR D'HORLOGERIE**

RESONATORMECHANISMUS EINES UHRWERKS

TIMEPIECE RESONATOR MECHANISM

(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**

(43) Date de publication de la demande:  
**16.08.2017 Bulletin 2017/33**

(73) Titulaire: **The Swatch Group Research and  
Development Ltd.  
2074 Marin (CH)**

(72) Inventeurs:  
• **Di Domenico, Gianni  
2000 Neuchâtel (CH)**  
• **Lécho, Dominique  
2732 Reconvilier (CH)**

• **Helfer, Jean-Luc  
2525 Le Landeron (CH)**  
• **Winkler, Pascal  
2072 St-Blaise (CH)**

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

(56) Documents cités:  
**EP-A1- 2 645 189 EP-A1- 2 911 012  
EP-A1- 3 021 174 EP-A2- 2 273 323  
WO-A1-2012/010408**

**EP 3 206 089 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

**Description**Domaine de l'invention

**[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 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 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 recherchée du couple de rappel élastique. Les enseignements de ce document ne permettent pas de déterminer ses paramètres géométriques particuliers.

**[0008]** 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 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.

**[0009]** 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.

**[0010]** 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 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.

**[0011]** Le document EP2273323 au nom de ULYSSE NARDIN LE LOCLE décrit un oscillateur mécanique doté d'un mécanisme de guidage flexible comprenant plusieurs pivots RCC montés en série. Chaque pivot RCC est situé sur un plan parallèle et distinct par rapport aux plans des autres pivots RCC, ce qui permet d'éviter tout frottement entre les lames des pivots.

#### Résumé de l'invention

**[0012]** L'invention se propose de réaliser un résonateur mécanique à haut facteur de qualité à l'aide d'une partie 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).

**[0013]** L'invention cherche à allier les avantages des deux géométries connues bidimensionnelle et tridimensionnelle, dans une exécution simple et économique, donc bidimensionnelle.

**[0014]** L'invention concerne ainsi un mécanisme résonateur d'horlogerie selon la revendication 1.

**[0015]** L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie comportant au moins un tel mécanisme résonateur.

**[0016]** L'invention concerne encore une montre comportant au moins un tel mouvement.

#### Description sommaire des dessins

**[0017]** 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 :

- 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 un 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;
- 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.

#### Description détaillée des modes de réalisation préférés

**[0018]** 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.

**[0019]** Ce mécanisme flexible de guidage en pivotement 10 est un pivot à guidage flexible 2D, c'est-à-dire réalisable dans un plan.

**[0020]** 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.

**[0021]** On comprend que les encastrement proches de l'axe de pivotement virtuel A du premier pivot RCC sont rigidement reliés, par le support rotatif intermédiaire 20, aux encastrement éloignés de l'axe de pivotement virtuel A du second pivot RCC, ou vice-versa, tel que visible sur les figures 6 et 7.

**[0022]** 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.

**[0023]** 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 encastrement, 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.

**[0024]** 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 encastrement, 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.

**[0025]** De plus, le mécanisme flexible de guidage en pivotement 10 est plan.

**[0026]** 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.

**[0027]** 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:

- l'angle antérieur  $\alpha A$  exprimé en degrés est compris entre :

$$109.5 + 5/[(DA/LA)-(2/3)] \text{ et } 114.5 + 5/[(DA/LA)-(2/3)]$$

- et l'angle postérieur  $\alpha P$  exprimé en degrés est compris entre :

$$109.5 + 5/[(DP/LP)-(2/3)] \text{ et } 114.5 + 5/[(DP/LP)-(2/3)].$$

**[0028]** 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  $112.0^\circ$ .

**[0029]** 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.

**[0030]** L'angle commun  $\alpha$  est alors compris entre :

$$109.5 + 5/[(D/L)-(2/3)] \text{ et } 114.5 + 5/[(D/L)-(2/3)]$$

**[0031]** La figure 5 montre l'évolution de l'angle  $\alpha$  optimal, en fonction du rapport D/L.

**[0032]** Plus particulièrement, et tel que visible 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 au moins une lame flexible droite 110, 210, 310, 410, ou encore un faisceau de lames flexibles droites parallèles, non représenté pour ne pas compliquer les figures.

**[0033]** 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.

**[0034]** 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.

**[0035]** Pour obtenir un résonateur mécanique à haut facteur de qualité, il est avantageux de rapporter un élément inertiel 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 inertiel 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 inertiel soit sensiblement aligné avec l'axe de pivotement virtuel A.

**[0036]** 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.

**[0037]** 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.

**[0038]** 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.

**[0039]** De préférence, l'agencement des parties les plus rigides comporte des surfaces de limitation 101, 102, 203, 204 agencées pour limiter les lames flexibles, tel que visible sur la figure 4.

**[0040]** L'invention peut être mise en oeuvre avec des lames présentant d'autres géométries, par exemple en zig-zag ou serpentín ou encore comportant des parties courbes, mais il est clair que la géométrie de lames droites limite très fortement les déplacements parasites éventuels de l'axe de pivotement virtuel A, et reste le mode le plus avantageux de mise en oeuvre de l'invention.

**[0041]** Les lames peuvent, encore, présenter des épaisseurs variables.

**[0042]** 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.

**[0043]** L'invention se prête particulièrement bien à une exécution monolithique.

**[0044]** 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.

**[0045]** 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.

**[0046]** 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.

**[0047]** 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.

**[0048]** L'invention concerne encore un mouvement d'horlogerie 2000 comportant au moins un tel mécanisme résonateur 1000.

**[0049]** L'invention concerne encore une montre 3000 comportant au moins un tel mouvement 2000.

**[0050]** L'invention apporte plusieurs avantages :

- 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

## 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), agencés de sorte que leurs mouvements parasites se compensent, 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 bidimensionnel et réalisable dans un seul 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 :

$$109.5 + 2 \sqrt[5]{[(DA/LA)-(2/3)]} \text{ et } 114.5 + 2 \sqrt[5]{[(DA/LA)-(2/3)]} \text{ et } 109.5 + 2 \sqrt[5]{[(DP/LP)-(2/3)]} \text{ et } 114.5 + 2 \sqrt[5]{[(DP/LP)-(2/3)]}$$

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

$$109.5 + 5/[(DP/LP)-(2/3)] \text{ et } 114.5 + 5/[(DP/LP)-(2/3)].$$

- 10
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.
- 15
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).
- 20
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, qui est égal à  $112.0^\circ + 5/[(D/L)-(2/3)]$ .
- 25
5. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon l'une des revendications 1 à 4, **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.
- 30
6. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon l'une des revendications 1 à 5, **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).
- 35
7. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon la revendication 6, **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).
- 40
8. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon l'une des revendications 1 à 7, **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.
- 45
9. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** ledit ensemble monobloc est en silicium, compensé thermiquement.
- 50
10. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon la revendication 8, **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.
- 55
11. Mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon l'une des revendications 1 à 10, **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).
12. Mouvement d'horlogerie (2000) comportant au moins un mécanisme résonateur d'horlogerie (1000) selon l'une des revendications 1 à 11.
13. Montre (3000) comportant au moins un mouvement (2000) selon la revendication 12.

## Patentansprüche

1. Uhren-Resonatormechanismus (1000), umfassend einen ersten Träger (100) mit einer ersten Verankerung (1) und einer zweiten Verankerung (2), an denen ein flexibler Schwenkführungsmechanismus (10) befestigt ist, der eine virtuelle Schwenkachse (A) definiert, um die eine Schwenkmasse (200) drehbar schwenkt und die mindestens einen vorderen flexiblen RCC-Zapfen (10A) und einen hinteren flexiblen RCC-Zapfen (10P), die in Reihe und zueinander entgegengesetzt um die virtuelle Schwenkachse (A) montiert sind und so angeordnet sind, dass sich ihre parasitären Bewegungen kompensieren, wobei der vordere flexible RCC-Zapfen (10A) zwischen dem ersten Träger (100) und einem drehbaren Zwischenträger (20) zwei gerade vordere flexible Blätter (110, 210) mit derselben vorderen Länge (LA) zwischen ihren Einbauorten umfasst, die zwei vordere geradlinige Richtungen (D1, D2) definieren und sich auf Höhe der virtuellen Schwenkachse (A) kreuzen und mit der virtuellen Schwenkachse (A) einen vorderen Winkel ( $\alpha A$ ) definieren, und wobei die jeweiligen Verankerungen der beiden geraden vorderen flexiblen Blätter (110, 210), die von der virtuellen Schwenkachse (A) am weitesten entfernt sind, beide im selben vorderen Abstand (DA) von der virtuellen Schwenkachse (A) angeordnet sind, und wobei der hintere flexible RCC-Zapfen (10P) zwischen dem drehbaren Zwischenträger (20), der eine dritte Verankerung (3) und eine vierte Verankerung (4) und die Schwenkmasse (200) umfasst, zwei gerade hintere flexible Blätter (310, 410) mit der gleichen hinteren Länge (LP) zwischen ihren Einbauorten umfasst, die zwei hintere geradlinige Richtungen (D3, D4) definieren, die sich auf Höhe der virtuellen Schwenkachse (A) kreuzen und die mit der virtuellen Schwenkachse (A) einen hinteren Winkel ( $\alpha P$ ) definieren, wobei die jeweiligen Verankerungen der beiden geraden hinteren flexiblen Blätter (310, 410), die von der virtuellen Schwenkachse (A) am weitesten entfernt sind, beide denselben hinteren Abstand (DP) von der virtuellen Schwenkachse (A) aufweisen, **dadurch gekennzeichnet, dass** der flexible Schwenkführungsmechanismus (10) zweidimensional ist und in einer einzigen Ebene ausführbar ist, dass sich das Trägheitszentrum der Anordnung, die gebildet ist durch die Schwenkmasse (200) und durch jede zugehörige träge Masse (201), die die Schwenkmasse (200) trägt, auf der virtuellen Schwenkachse (A) oder in ihrer unmittelbaren Umgebung befindet, dass der vordere Winkel ( $\alpha A$ ) ausgedrückt in Grad im Bereich von  $109,5 + 5/[(DA/LA) - (2/3)]$  bis  $114,5 + 5/[(DA/LA) - (2/3)]$  liegt und dass der hintere Winkel ( $\alpha P$ ) ausgedrückt in Grad im Bereich von  $109,5 + 5/[(DP/LP) - (2/3)]$  bis  $114,5 + 5/[(DP/LP) - (2/3)]$  liegt.
2. Uhren-Resonatormechanismus (1000) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der vordere Winkel ( $\alpha A$ ) und der hintere Winkel ( $\alpha P$ ) gleich sind.
3. Uhren-Resonatormechanismus (1000) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vordere Länge (LA) und die hintere Länge (LP) gleich einer gemeinsamen Länge (L) sind und dass der vordere Abstand (DA) und der hintere Abstand (DP) gleich einem gemeinsamen Abstand (D) sind.
4. Uhren-Resonatormechanismus (1000) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der vordere Winkel ( $\alpha A$ ) und der hintere Winkel ( $\alpha P$ ) gleich einem gemeinsamen Winkel ( $\alpha$ ) sind, der in Grad ausgedrückt wird und gleich  $112,0^\circ + 5/[(D/L) - (2/3)]$  ist.
5. Uhren-Resonatormechanismus (1000) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der drehbare Zwischenträger (20) durch Aussparungen (209) skelettiert ist, um seine Masse zu minimieren und um unerwünschte Eigenmoden zu vermeiden.
6. Uhren-Resonatormechanismus (1000) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Träger (100), die Schwenkmasse (200) und der flexible Schwenkführungsmechanismus (10) sehr nahe beieinander um die virtuelle Schwenkachse (A) angeordnet sind und Oberflächen (105, 25, 26, 206) aufweisen, die Stoßverhinderungsanschlüge bilden, um ein Brechen der flexiblen Plättchen (11, 21, 31, 41) zu vermeiden.
7. Uhren-Resonatormechanismus (1000) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der drehbare Zwischenträger (20) Begrenzungsarme (27) aufweist, die angeordnet sind, bei einem Stoß mit komplementären Oberflächen (107), die der erste Träger (100) aufweist, anschlagend zusammenzuwirken.
8. Uhren-Resonatormechanismus (1000) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Träger (100), die Schwenkmasse (200) und der flexible Schwenkführungsmechanismus (10) eine einteilige Anordnung bilden.



9. Uhren-Resonatormechanismus (1000) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die einteilige Anordnung aus thermisch ausgeglichenem Silicium hergestellt ist.
10. Uhren-Resonatormechanismus (1000) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schwenkmasse (200) eine angefügte träge Masse (201) trägt und dass der flexible Schwenkführungsmechanismus (10) aus oxidiertem Silicium hergestellt ist, damit der vollständige Resonatormechanismus (1000) mit der angefügten trägen Masse (201) thermisch ausgeglichen ist.
11. Uhren-Resonatormechanismus (1000) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** er mehrere flexible, in Reihe montierte Schwenkführungsmechanismen (10) umfasst, um die gesamte Winkelbahn zu erhöhen, die in parallelen Ebenen und um dieselbe virtuelle Schwenkachse (A) angeordnet sind.
12. Uhrwerk (2000), umfassend mindestens einen Uhren-Resonatormechanismus (1000) nach einem der Ansprüche 1 bis 11.
13. Uhr (3000), umfassend mindestens ein Werk (2000) nach Anspruch 12.

## Claims

1. Timepiece resonator mechanism (1000) comprising a first support (100) with a first anchor (1) and a second anchor (2) to which is attached a flexural pivot guide mechanism (10), which defines a virtual pivot axis (A) about which rotatably pivots a pivoting weight (200), and which includes at least one front RCC flexural pivot (10A) and one back RCC flexural pivot (10P), mounted in series and head-to-tail relative to each other about said virtual pivot axis (A), arranged such that their parasite movements compensate each other, said front RCC flexural pivot (10A) including, between said first support (100) and an intermediate rotary support (20), two straight flexible front strips (110, 210) of the same front length (LA) between the clamping points thereof, defining two linear front directions (D1, D2) which intersect at said virtual pivot axis (A) and which define, with said virtual pivot axis (A), a front angle ( $\alpha A$ ), and wherein the respective anchors of said two straight flexible front strips (110, 210) farthest from said virtual pivot axis (A) are both at the same front distance (DA) from said virtual pivot axis (A), and said back RCC flexural pivot (10P) including, between said intermediate rotary support (20), which includes a third anchor (3) and a fourth anchor (4), and said pivoting weight (200), two straight flexible back strips (310, 410) of the same back length (LP) between the clamping points thereof, defining two linear back directions (D3, D4) which intersect at said virtual pivot axis (A) and which define, with said virtual pivot axis (A), a back angle ( $\alpha P$ ), and wherein the respective anchors of said two straight flexible back strips (310, 410) farthest from said virtual pivot axis (A) are both at the same back distance (DP) from said virtual pivot axis (A), **characterized in that** said flexural pivot guide mechanism (10) is two-dimensional and can be made in a single plane, **in that** the centre of inertia of the assembly formed by said pivoting weight (200) and any added inertial weight (201) carried by said pivoting weight (200) is on said virtual pivot axis (A) or in the immediate proximity thereof, **in that** said front angle ( $\alpha A$ ) expressed in degrees is between:

$$109.5 + 5/[(DA/LA)-(2/3)] \text{ and } 114.5 + 5/[(DA/LA)-(2/3)],$$

and **in that** said back angle ( $\alpha P$ ) expressed in degrees is between:

$$109.5 + 5/[(DP/LP)-(2/3)] \text{ and } 114.5 + 5/[(DP/LP)-(2/3)].$$

2. Timepiece resonator mechanism (1000) according to claim 1, **characterized in that** said front angle ( $\alpha A$ ) and said back angle ( $\alpha P$ ) are equal.
3. Timepiece resonator mechanism (1000) according to claim 2, **characterized in that** said front length (LA) and said back length (LP) are equal to a common length (L), and **in that** said front distance (DA) and said back distance (DP) are equal to a common distance (D).

4. Timepiece resonator mechanism (1000) according to claim 3, **characterized in that** said front angle ( $\alpha_A$ ) and said back angle ( $\alpha_P$ ) are equal to a common angle ( $\alpha$ ), expressed in degrees, that is equal to  $112.0^\circ + 5/((D/L)-(2/3))$ .
5. Timepiece resonator mechanism (1000) according to one of claims 1 to 4, **characterised in that** the intermediate rotary support (20) is formed into a skeleton by recesses (209) to minimise its mass and prevent unwanted natural frequencies.
6. Timepiece resonator mechanism (1000) according to one of claims 1 to 5, **characterized in that** said first support (100), said pivoting weight (200), and said flexural pivot guide mechanism (10) are arranged very close to each other about said virtual pivot axis (A) and include surfaces (105, 25, 26, 206) forming anti-shock stops to prevent breakage of said flexible strips (11, 21, 31, 41).
7. Timepiece resonator mechanism (1000) according to claim 6, **characterized in that** said intermediate rotary support (20) comprises limitation arms (27) arranged to cooperate forming a stop in case of shock with complementary surfaces (107) included in said first support (100).
8. Timepiece resonator mechanism (1000) according to one of claims 1 to 7, **characterized in that** said first support (100), said pivoting weight (200), and said flexural pivot guide mechanism (10) form a one-piece assembly.
9. Timepiece resonator movement (1000) according to claim 8, **characterized in that** said one-piece assembly is a temperature-compensated silicon assembly.
10. Timepiece resonator movement (1000) according to claim 8, **characterized in that** said pivoting weight (200) carries an added inertia weight (201), and **in that** said flexural pivot guide mechanism (10) is made of silicon, oxidised such that said complete resonator mechanism (1000) with said added inertial weight (201) is temperature-compensated.
11. Timepiece resonator mechanism (1000) according to one of claims 1 to 10, **characterized in that** it comprises a plurality of said flexural pivot guide mechanisms (10) mounted in series, to increase the total angular travel, disposed in parallel planes, and about the same said virtual pivot axis (A).
12. Timepiece movement (2000) including at least one timepiece resonator mechanism (1000) according to one of claims 1 to 11.
13. Watch (3000) including at least one movement (2000) according to claim 12.

Fig. 1

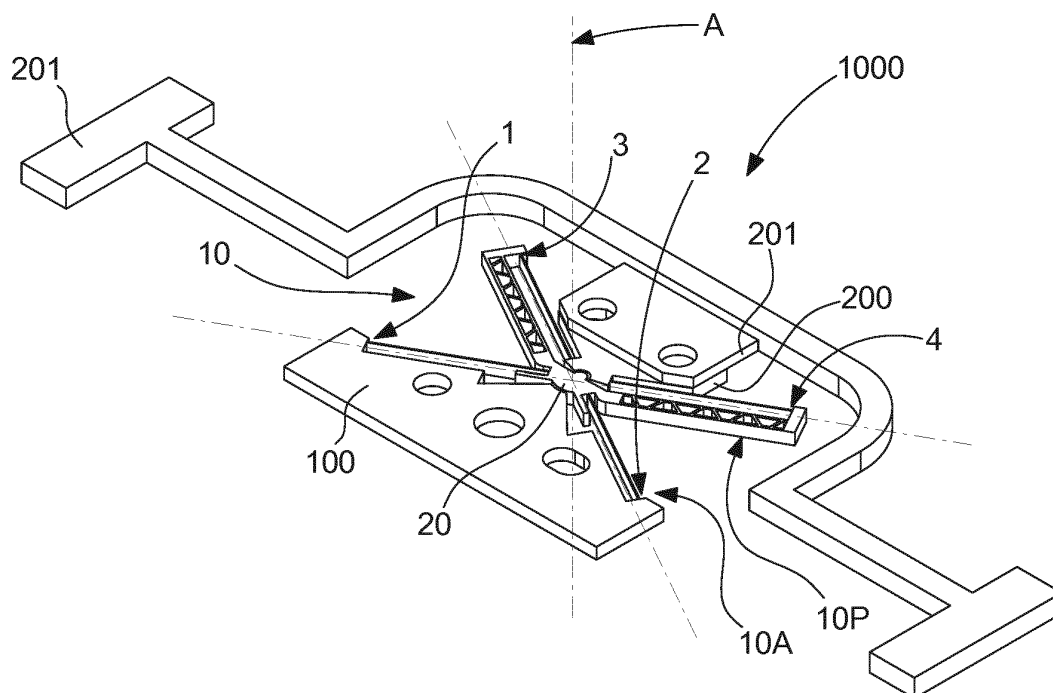


Fig. 2

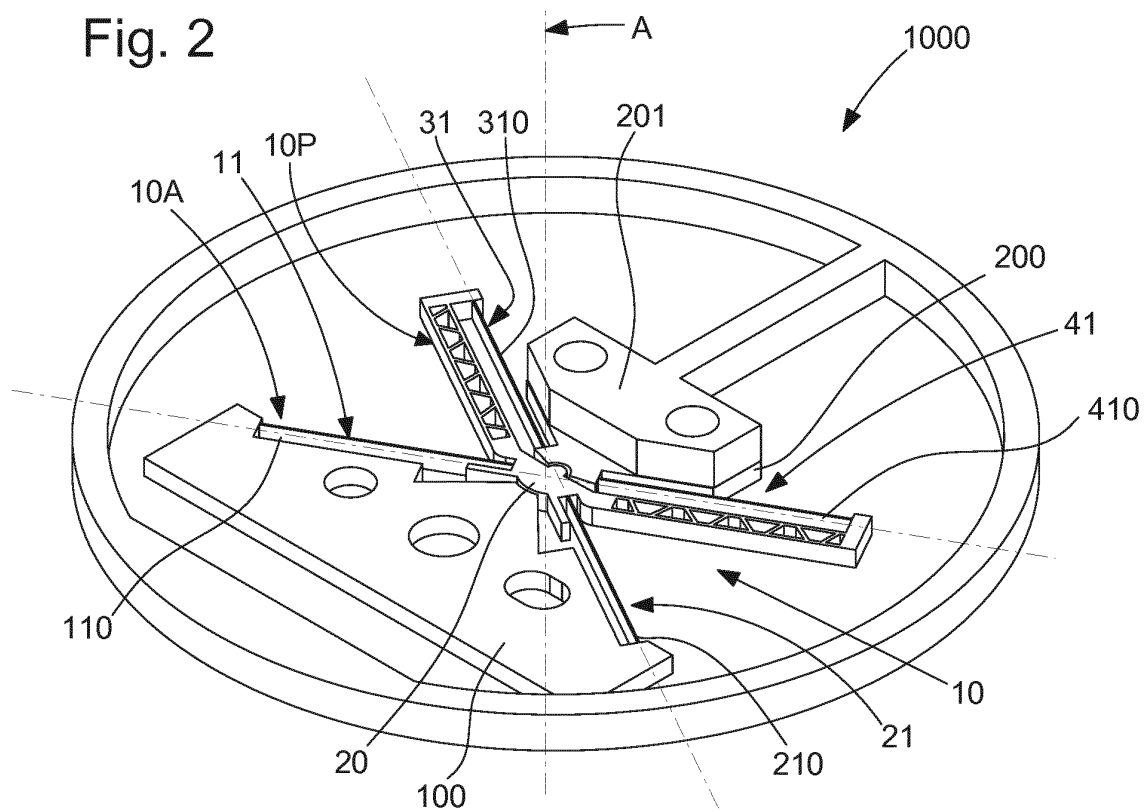


Fig. 3

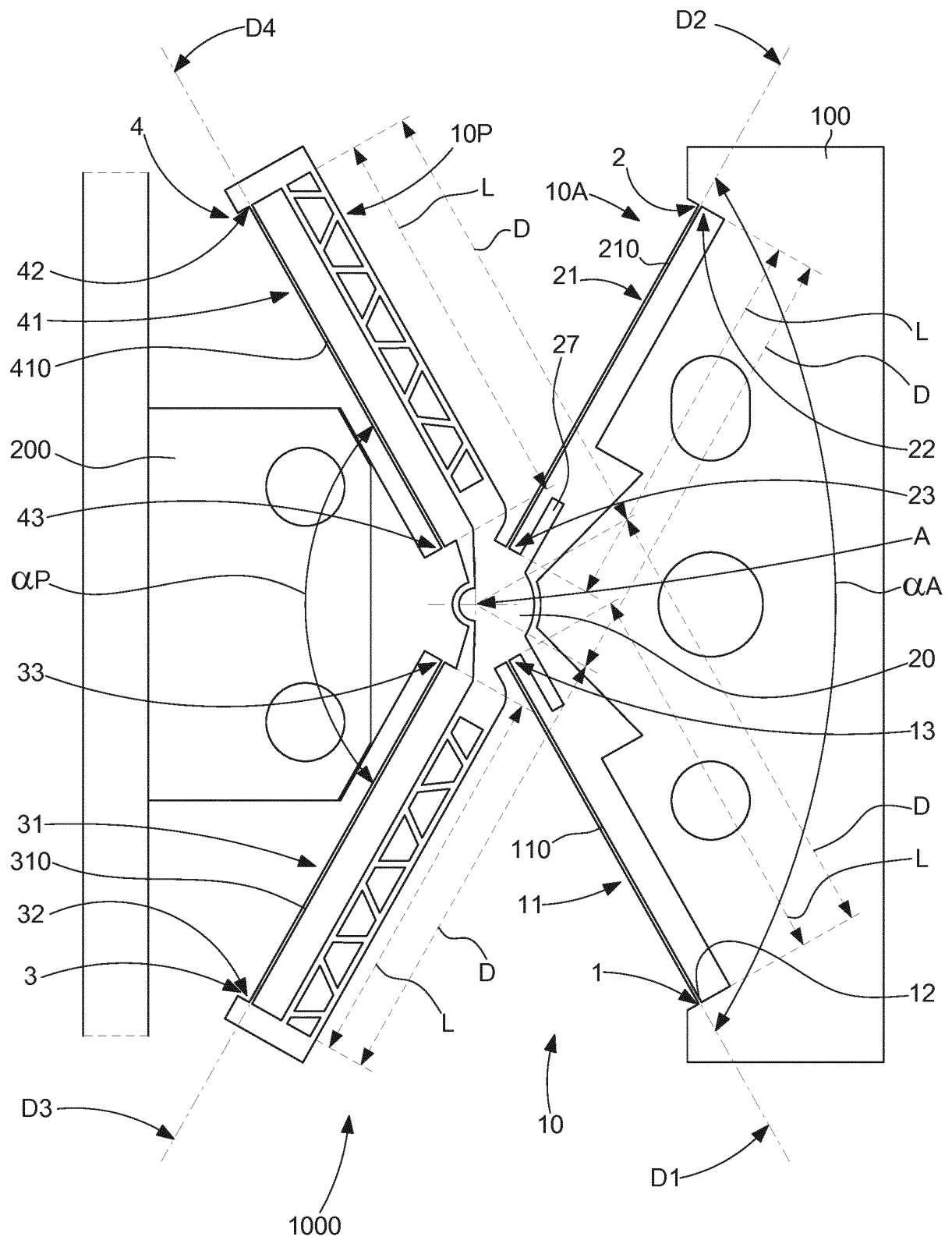


Fig. 4

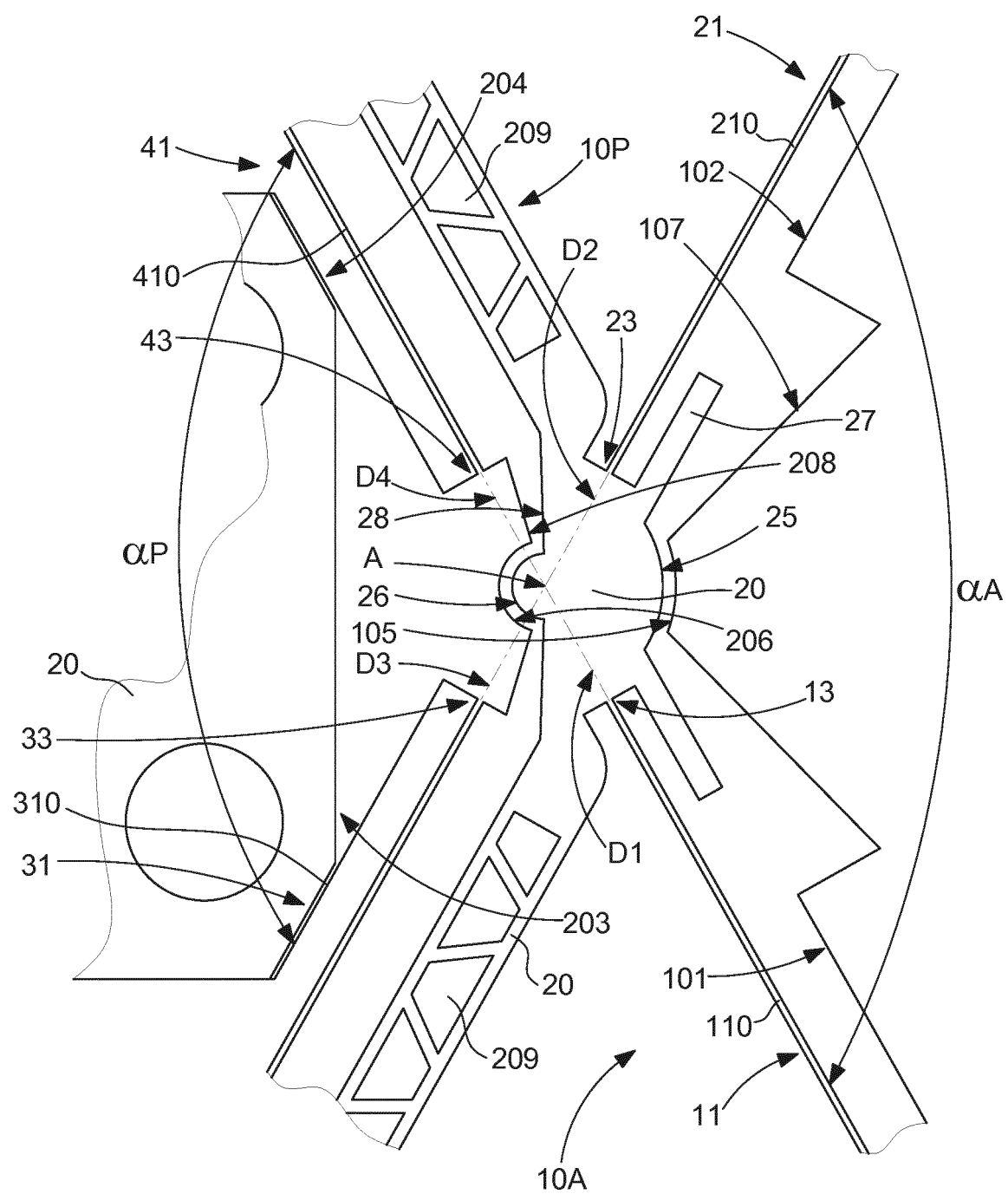


Fig. 5

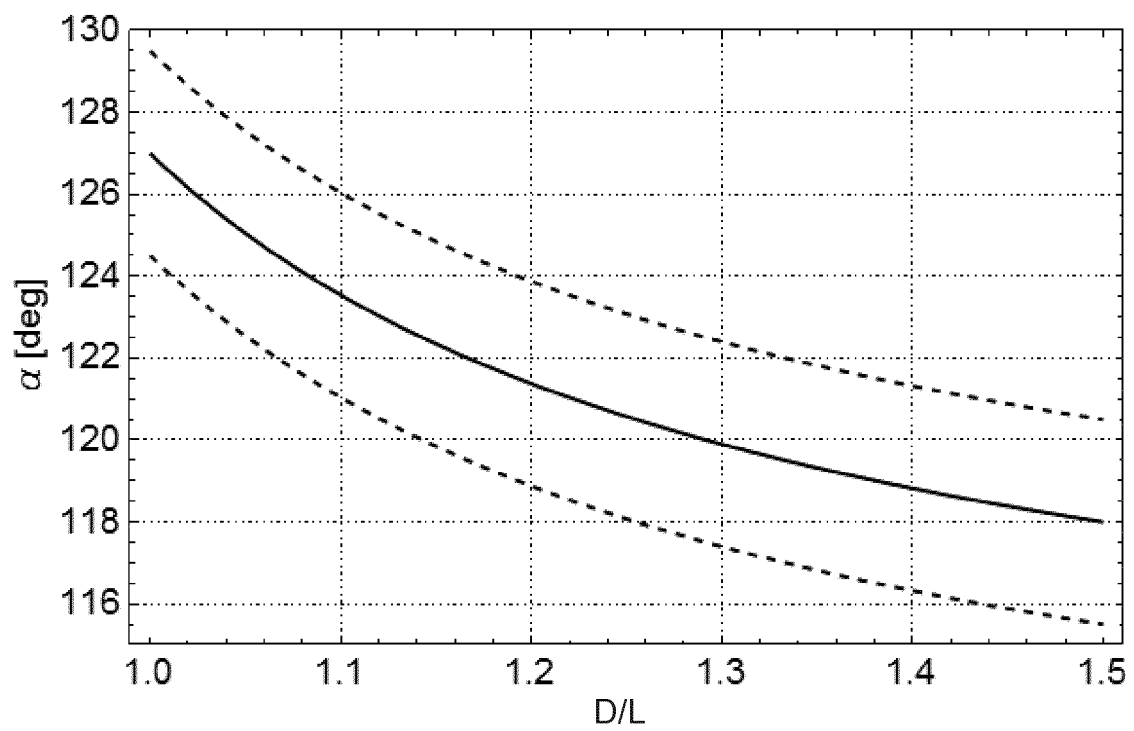


Fig. 6

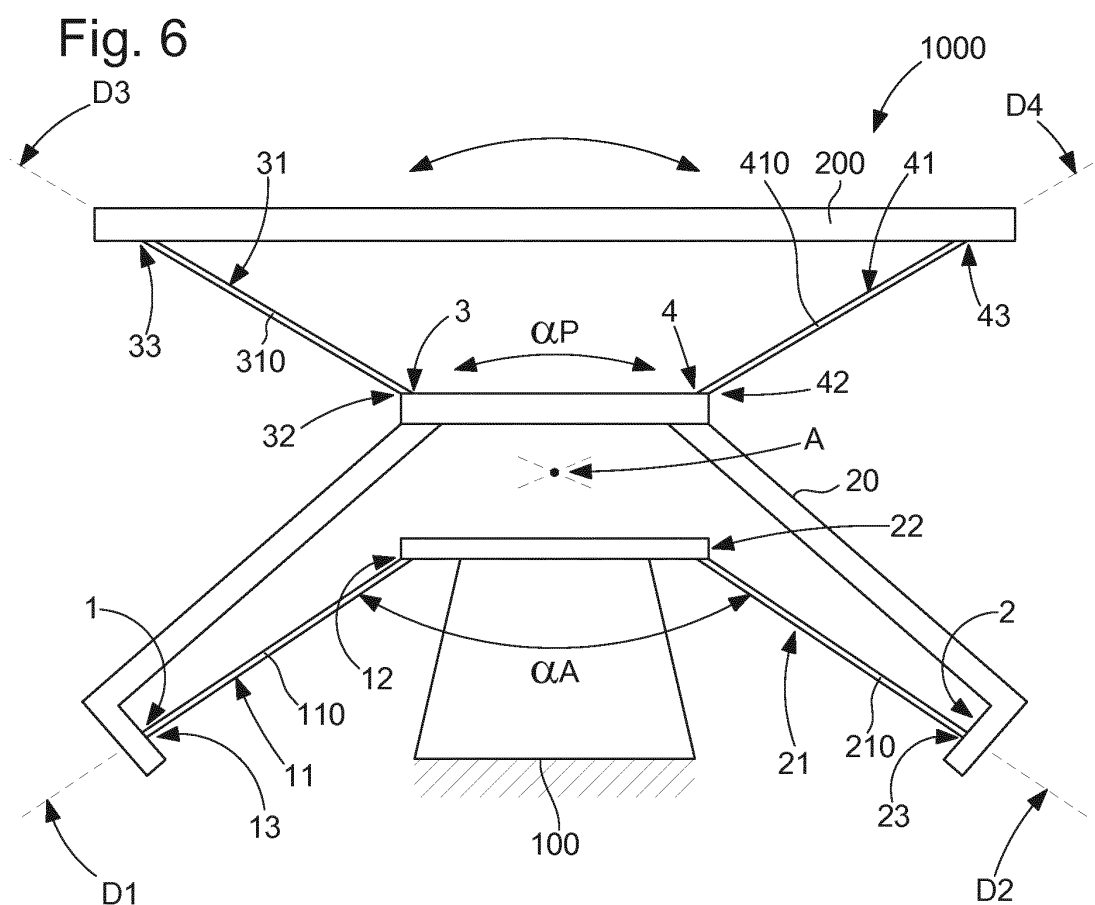


Fig. 7

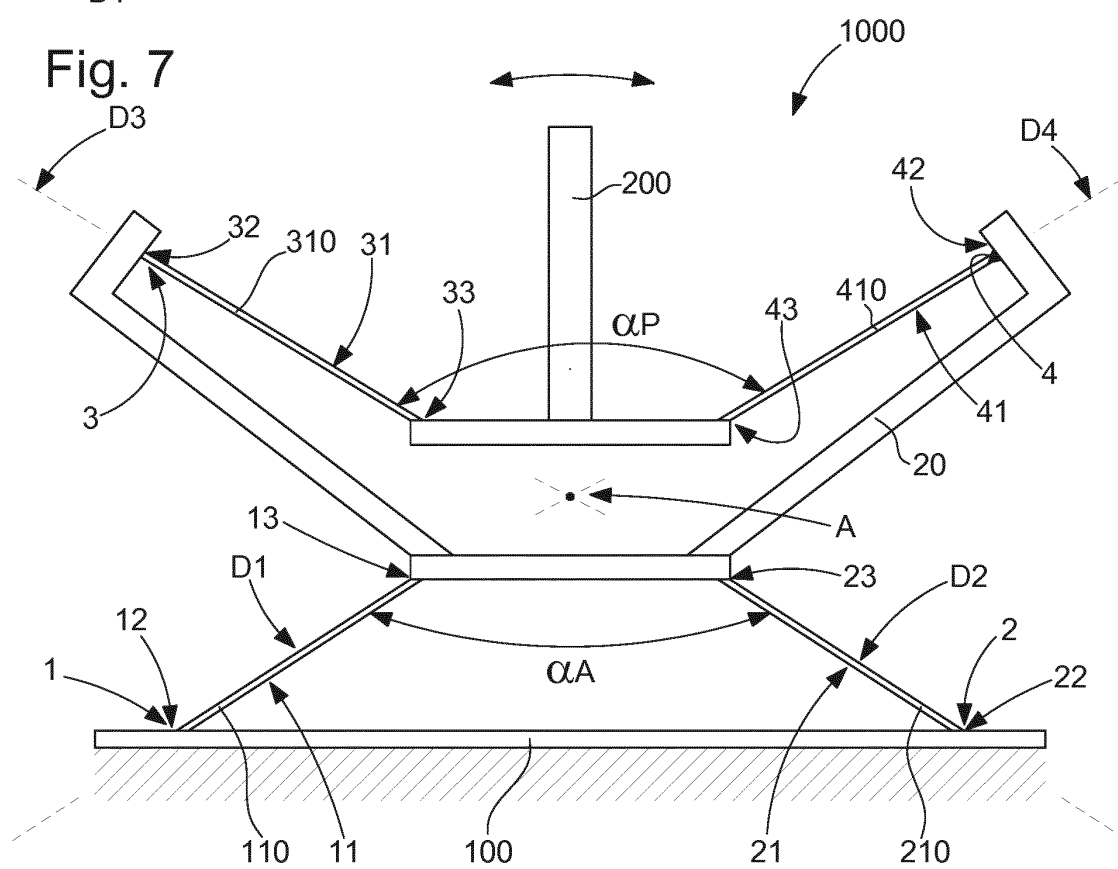


Fig. 8

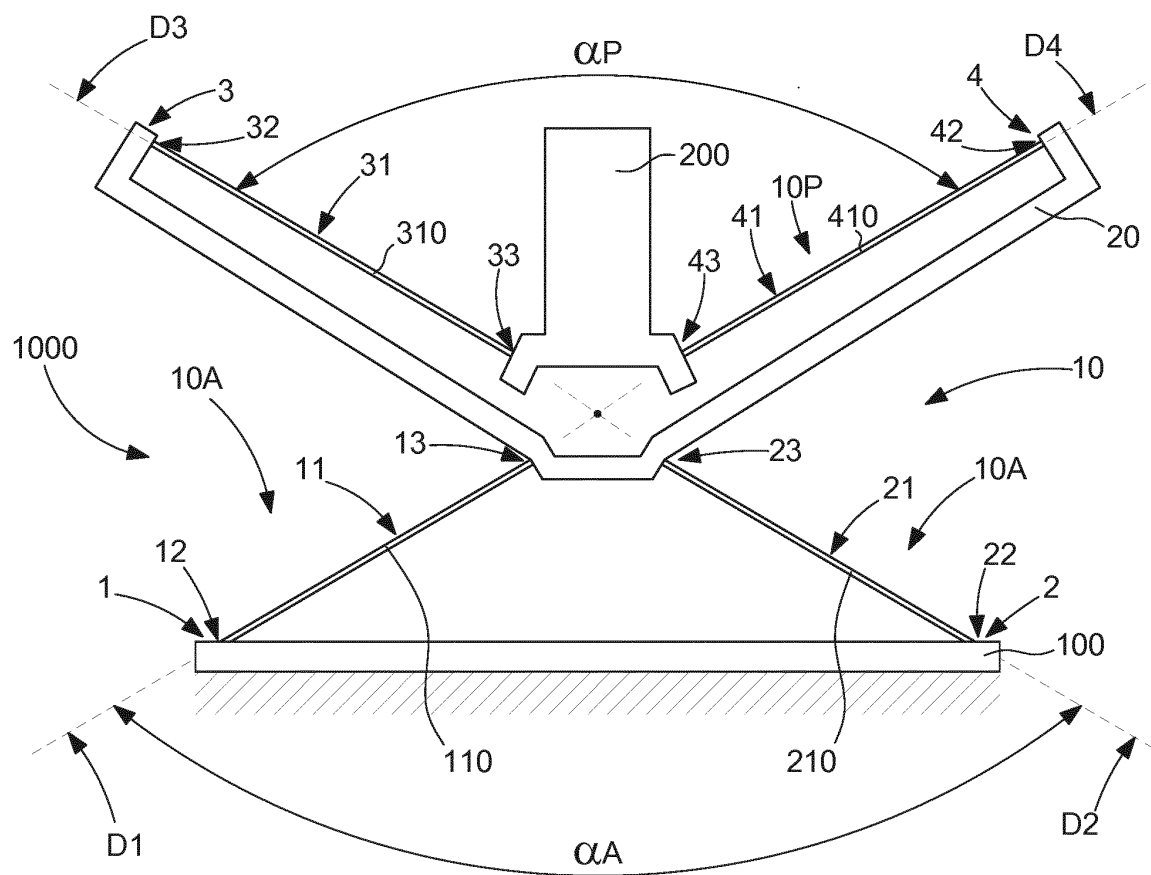
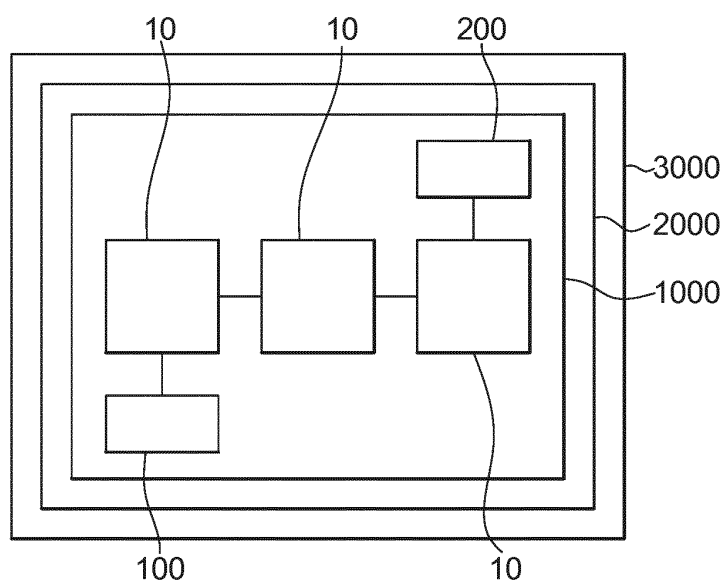


Fig. 9





**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 [0008]
- EP 2645189 A [0009]
- EP 2911012 A [0010]
- EP 2273323 A [0011]