



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
09.08.2023 Bulletin 2023/32

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
G04B 17/34 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **23173087.0**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
G04B 17/345

(22) Date de dépôt: **01.10.2012**

(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

• **BOSSART, Richard**
1148 MONT-LA-VILLE (CH)
• **BONARD, Jean-Marc**
1004 Lausanne (CH)

(30) Priorité: **29.09.2011 EP 11405332**

(74) Mandataire: **Moinas & Savoye SARL**
27, rue de la Croix-d'Or
1204 Genève (CH)

(62) Numéro(s) de document de la (des) demande(s) initiale(s) en application de l'article 76 CBE:
12766973.7 / 2 761 380

Remarques:

Cette demande a été déposée le 12-05-2023 comme demande divisionnaire de la demande mentionnée sous le code INID 62.

(71) Demandeur: **ROLEX SA**
1211 Genève 26 (CH)

(72) Inventeurs:
• **DAOUT, Jérôme**
1180 Rolle (CH)

(54) **ENSEMBLE MONOLITHIQUE RESSORT SPIRAL - VIROLE**

(57) L'invention concerne un ensemble monolithique ressort spiral - virole (1) comprenant :

- une première partie de réception ne se déformant pas ou sensiblement pas lors du fonctionnement ou lors du montage de l'ensemble monolithique sur l'axe de balancier et destinée à venir en appui contre un axe de balancier,
- une deuxième partie de réception ne se déformant pas ou sensiblement pas lors du fonctionnement ou lors du montage de l'ensemble monolithique sur l'axe de balancier et destinée à venir en appui contre l'axe de balancier,

- une première partie de liaison se déformant élastiquement lors du fonctionnement ou lors du montage de l'ensemble monolithique sur l'axe de balancier et destinée à relier les première et deuxième parties de réception,
- une deuxième partie de liaison se déformant élastiquement lors du fonctionnement ou lors du montage de l'ensemble monolithique sur l'axe de balancier et destinée à relier les première et deuxième parties de réception, et
- un élément apte à entourer continûment l'axe de balancier et comprenant les parties de réception et les parties de liaison.

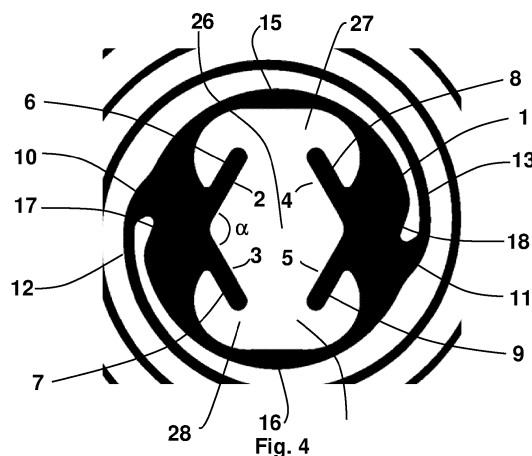


Fig. 4

Description

[0001] L'invention concerne une virole. L'invention concerne aussi un ensemble monolithique ressort spiral simple ou double - virole non fendue, destiné à être chassé sur un axe de balancier, notamment un ensemble monolithique incluant une virole selon l'invention. Selon un autre aspect, l'invention a également trait à un ensemble monolithique ressort spiral - virole comprenant au moins deux étages ainsi qu'à un procédé de fabrication d'un tel ensemble.

Arrière-plan de l'invention

[0002] L'un des points critiques pour l'utilisation d'un ressort spiral dans un mouvement d'horlogerie de haute précision est la fiabilité des attaches (encastrement) du spiral à l'axe du balancier et au pont de balancier. En particulier, l'attache du spiral à l'axe du balancier se fait en général par une virole, qui était à l'origine un petit cylindre fendu destiné à être chassé sur l'axe de balancier et percé latéralement pour recevoir l'extrémité intérieure du ressort spiral proprement dit. Le développement de techniques de micro-fabrication, comme les procédés DRIE pour le silicium, le quartz et le diamant ou UV-Liga pour le Ni et NiP, ouvrent des possibilités au niveau des formes et géométries utilisées.

[0003] Le silicium est un matériau très intéressant pour réaliser des spiraux d'horlogerie, et les techniques de microfabrication permettent de réaliser la virole de façon monolithique et venue de fabrication avec le spiral. Un problème potentiel est que le silicium ne possède pas de domaine de déformation plastique. La virole peut ainsi rapidement casser si les contraintes dépassent la contrainte maximale admissible et/ou la limite élastique du matériau. Il faut ainsi veiller à dimensionner la virole à la fois pour maintenir le ressort spiral sur l'axe du balancier lors du fonctionnement de l'oscillateur (couple de serrage minimal) et aussi pour pouvoir assembler la virole avec des axes dont les diamètres présentent des fluctuations et ceci, sans se rompre ou subir de déformation plastique si le diamètre de l'axe du balancier reste à l'intérieur d'un intervalle de tolérance donné.

[0004] Ainsi, plusieurs documents dévoilent des géométries de viroles.

[0005] La demande de brevet européen publiée sous le n° EP 1 826 634 propose sur sa figure 4 en liaison avec la ligne 34 de la colonne 3, une virole comportant des zones élastiques constituées de bras courbés. Ce document n'indique pas l'endroit où doit être fixé le spiral.

[0006] Les demandes de brevet européen publiées sous les n° EP 1 513 029 et EP 2 003 523 proposent des viroles ayant une ouverture triangulaire. La fixation du spiral s'effectue en un point de rattachement (référence 3 sur les figures de ces documents) situé à l'un des sommets des triangles. La virole est formée d'une structure de rigidification externe à laquelle sont rattachés des bras flexibles qui se déforment pour accommoder l'axe de ba-

lancier.

[0007] La demande de brevet européen publiée sous le n° EP 1 655 642 décrit par sa figure 10D un spiral de résonateur balancier-spiral ayant une virole dont l'ouverture est circulaire. La fixation du balancier s'effectue dans ce cas à l'aide de bras arrondis.

[0008] On connaît encore de la demande de brevet WO2011026275 un ensemble ressort spiral-virole, avec une virole présentant un alésage muni de quatre parties d'appui circulaires pour recevoir l'axe de balancier. Les parties d'appui sont délimitées par des rainures longitudinales réalisées dans l'alésage de la virole.

[0009] Les géométries décrites dans ces documents ne donnent pas entièrement satisfaction, de sorte que nombre de spiraux (en silicium, diamant, quartz...) montés sur des mouvements sont munis d'une virole classique qui est ensuite chassée et/ou collée sur l'axe du balancier.

Exposé sommaire de l'invention

[0010] L'invention a pour but de proposer de nouvelles géométries de viroles donnant pleinement satisfaction, c'est-à-dire permettant d'obtenir un couple de serrage le plus élevé possible sur l'axe de balancier et une contrainte dans le matériau la plus faible possible. De plus, ces viroles doivent être les plus équilibrées possible afin de ne pas provoquer de balourd, ce qui dégraderait les propriétés chronométriques du spiral.

[0011] Selon un aspect de l'invention, des objets sont définis par les revendications annexées.

[0012] Selon un autre aspect, l'invention porte sur un ensemble monolithique ressort spiral simple ou double - virole non fendue, dans lequel :

- le contour de la virole est fermé,
- l'ouverture centrale de la virole destinée à recevoir un axe de balancier est non circulaire,
- le contour de l'ouverture centrale de la virole comporte au moins deux surfaces d'appui pour un axe de balancier ;

cet ensemble monolithique se distinguant en ce que :

- la virole est formée d'au moins deux parties de réception d'axe de balancier situées en regard, notamment à 180°, l'une de l'autre et dont l'une comprend au moins la première des surfaces d'appui pour l'axe de balancier ainsi que un point d'attache ou d'encastrement du ressort spiral, et l'autre au moins la deuxième des surfaces d'appui pour l'axe de balancier,
- ces deux parties de réception d'axe de balancier étant reliées l'une à l'autre par deux parties de liaison qui présentent une rigidité inférieure à celles des parties de réception, de façon à pouvoir se déformer élastiquement lors du passage d'un axe de balancier.

[0013] Ces caractéristiques ont notamment pour effet d'éviter que le point d'attache du spiral se déplace de façon significative par rapport aux points de contact (d'appui) avec l'axe de balancier suite au chassage de ce dernier. Il s'ensuit que le positionnement du spiral et son point d'encastrement peuvent être définis précisément.

[0014] Selon un autre aspect, l'invention concerne un ensemble monolithique ressort spiral simple ou double - virole, celle-ci pouvant être fendue ou non. Cet ensemble a la particularité de comporter au moins deux niveaux (ou étages ou parties), le ressort spiral étant situé sur un niveau différent de celui où se trouvent les surfaces d'appui de la virole pour l'axe de balancier. Cette caractéristique est particulièrement avantageuse car elle permet d'optimiser au mieux le couple de tenue de la virole sur l'axe de balancier sans devoir augmenter son encombrement dans le plan du spiral. Selon un autre aspect de l'invention, cette caractéristique permet de rapprocher le point d'attache du ressort spiral de l'axe du balancier, sans être limité par le pourtour de la virole.

[0015] L'invention se rapporte également à un procédé de fabrication d'un ensemble monolithique ressort spiral - virole fendue ou non, dans lequel on réalise le spiral sur un niveau différent de celui où se trouvent les surfaces d'appui de la virole pour l'axe de balancier.

[0016] Selon un autre aspect, l'invention est définie par les propositions qui suivent :

1. Virole (100) comprenant un alésage (101) destiné à recevoir un axe de balancier, au moins une première partie (102) et une deuxième partie (103), les première et deuxième parties étant séparées par un plan (104) perpendiculaire à l'axe (107) de l'alésage, un élément (105) d'attache de la virole à un ressort spiral étant exclusivement situé sur la première partie et un élément (106) de liaison de la virole à l'axe de balancier étant essentiellement, voire exclusivement, situé sur la deuxième partie.

2. Virole selon la proposition 1, dans laquelle l'élément d'attache ou point d'attache se trouve à une distance (D1) du centre de la virole (107) inférieure à la moitié du diamètre (D2) d'un cylindre dans lequel s'inscrit la deuxième partie, notamment à une distance (D1) inférieure ou égale à la moyenne de la moitié du diamètre (D2) du cylindre dans lequel s'inscrit la deuxième partie et de la moitié du diamètre du cercle inscrit (d_{max}) dans une ouverture centrale de la virole.

3. Virole selon la proposition 1 ou 2, dans laquelle la deuxième partie s'étend, selon l'axe de l'alésage, sur une longueur supérieure à une fois l'épaisseur (E) du ressort spiral, voire supérieure à 3 fois l'épaisseur (E) du ressort spiral.

4. Ensemble monolithique ressort spiral - virole (1)

comprenant :

- une première partie de réception, notamment une première partie de réception indéformable, destinée à venir en appui contre un axe de balancier,
- une deuxième partie de réception, notamment une deuxième partie de réception indéformable, destinée à venir en appui contre l'axe de balancier,
- une première partie de liaison, notamment une première partie de liaison déformable, destinée à relier les première et deuxième parties de réception,
- une deuxième partie de liaison, notamment une deuxième partie de liaison déformable, destinée à relier les première et deuxième parties de réception, et
- un élément apte à entourer continûment l'axe de balancier et comprenant les parties de réception et les parties de liaison.

5. Ensemble monolithique selon la proposition 4, dans lequel les parties de liaison occupent 50% et plus, voire entre 50% et 90%, voire entre 60% et 80%, de la longueur totale du contour extérieur de la virole.

6. Ensemble monolithique selon la proposition 4 ou 5, dans lequel chaque partie de liaison occupe un secteur d'angle mesuré depuis le centre de la virole supérieur ou égal à 90°, voire compris entre 90° et 160°, voire compris entre 110° et 145°.

7. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 6, dans lequel chaque partie de liaison présente une portion distante de l'axe de balancier d'au moins 0.5 fois le rayon de l'axe de balancier, voire d'au moins 0.9 fois le rayon de l'axe de balancier, une fois l'ensemble monté sur l'axe de balancier.

8. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 7, dans lequel chaque partie de liaison est principalement sollicitée en flexion, une fois l'ensemble monolithique monté sur l'axe de balancier.

9. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 8, dans lequel les parties de réception sont en regard l'une de l'autre, notamment à 180° l'une de l'autre par rapport au centre de la virole.

10. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 9, dans lequel une lame du ressort spiral est attachée ou liée directement à une partie de réception, notamment, dans le cas d'un ensemble comportant un double spiral, dans lequel chaque lame est attachée à une partie de réception différente.

11. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 10, dans lequel une ouverture centrale de la virole destinée à recevoir un axe de balancier est non circulaire.

12. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 11, dans lequel le contour de l'ouverture centrale de la virole (1) comprend, sur une même partie de réception, au moins une surface d'appui (2,3 ; 4,5) pour l'axe de balancier.

13. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 12, dans lequel le contour de l'ouverture centrale de la virole (1) comprend, sur une même partie de réception, au moins une paire de surfaces d'appui (2,3 ; 4,5) pour l'axe de balancier, les tangentes aux surfaces d'appui (2,3) aux points d'appui de cette paire formant entre elles un angle (α) supérieur à 90 degrés et inférieur à 170 degrés.

14. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 13, dans lequel le contour de l'ouverture centrale de la virole (1) comprend deux paires (2,3 ; 4,5) de surfaces d'appui.

15. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 14, dans lequel les surfaces d'appui (2,3 ; 4,5) sont au moins partiellement situées sur des bras (6,7 ; 8,9) ou extensions s'étendant depuis le corps des parties de réception.

16. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 13 à 15, dans lequel des surfaces d'appui sont planes ou à courbure négative ou à courbure positive avec un rayon supérieur à 0,51 fois le diamètre ($d_{\max}$) du cercle inscrit dans une ouverture centrale de la virole.

17. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 16, dans lequel deux parties de réception sont disposées à 180° l'une de l'autre par rapport à l'axe de la virole.

18. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 17, dans lequel les différentes parties de liaison ont une géométrie identique et/ou les différentes parties de réception ont une géométrie identique.

19. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 18, dans lequel le ressort spiral est un ressort spiral double comprenant une première lame dont le point d'attache (10) à la virole (1) est relié à une première partie de réception et une deuxième lame dont le point d'attache (11) à la virole (1) est relié à une deuxième partie de réception.

20. Ensemble monolithique selon l'une des proposi-

tions 4 à 19, dont la géométrie de la virole a une symétrie de réflexion d'ordre 2.

21. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 20, dont la géométrie de la virole a une symétrie de rotation d'ordre 2.

22. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 21, l'ensemble étant en silicium, éventuellement avec une couche externe et/ou une couche interne en oxyde de silicium.

23. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 22 dans lequel le ou les point(s) d'attache du spiral simple ou double est (sont) plus proche(s) de l'ouverture centrale de la virole que ne l'est le contour de la virole.

24. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 23, l'ensemble étant réalisé en un matériau fragile ou en un matériau ne présentant pas de domaine de déformation plastique.

25. Ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 24, l'ensemble comprenant une virole selon l'une des propositions 1 à 3.

26. Procédé de fabrication d'un ensemble monolithique selon la proposition 25, dans lequel on réalise le ressort spiral sur une partie différente de celle où se trouvent les surfaces d'appui de la virole contre l'axe de balancier.

27. Procédé de fabrication selon la proposition 26, dans lequel on utilise comme matériau de départ une tranche SOI dont la couche de SiO_2 a une épaisseur supérieure à 3 microns.

28. Procédé de fabrication d'une virole selon l'une des propositions 1 à 3, dans lequel on réalise un élément (105) d'attache de la virole à un ressort spiral sur une partie différente de celle où se trouve un élément (106) de liaison de la virole à l'axe de balancier.

29. Procédé de fabrication selon la proposition 28, dans lequel on utilise comme matériau de départ une tranche SOI dont la couche de SiO_2 a une épaisseur supérieure à 3 microns.

30.- Ensemble monolithique ressort spiral - virole (1) réalisé dans un matériau ne présentant pas de domaine de déformation plastique, dans lequel :

- le contour de la virole (1) est fermé,
- l'ouverture centrale de la virole (1) destinée à recevoir un axe de balancier est non circulaire,
- le contour de l'ouverture centrale de la virole

comporte au moins deux surfaces d'appui (2,3;4,5;14) pour un axe de balancier ;

caractérisé en ce que

la virole (1) est formée de deux parties de réception d'axe de balancier situées en regard l'une de l'autre et dont l'une comprend au moins la première des surfaces d'appui (2 ou 3) pour l'axe de balancier ainsi qu'un point d'attache (10,11) du ressort spiral, et l'autre au moins la deuxième des surfaces d'appui (4, 5 ou 14) pour l'axe de balancier, ces deux parties de réception d'axe de balancier étant reliées l'une à l'autre par deux parties de liaison qui présentent une rigidité inférieure à celles des parties de réception, de façon à pouvoir se déformer élastiquement lors du chassage d'un axe de balancier.

31.- Ensemble monolithique ressort spiral - virole (1) selon la proposition 30, dans lequel les deux parties de liaison présentent une largeur moyenne inférieure à la largeur moyenne des parties de réception.

32.- Ensemble monolithique ressort spiral - virole (1) selon la proposition 30, dans lequel les deux parties de liaison présentent une largeur minimale et/ou une largeur à mi-distance des parties de réception, inférieure(s) à la largeur maximale des parties de réception.

33.- Ensemble monolithique ressort spiral - virole (1) selon l'une des propositions 30 à 32, dans lequel le contour de l'ouverture centrale de la virole (1) comprend, sur une même partie de réception, au moins une paire de surfaces d'appui (2,3 ; 4,5) pour l'axe de balancier, les surfaces d'appui (2,3) de cette paire formant entre elles un angle (α) supérieur à 90 degrés et inférieur à 170 degrés.

34.- Ensemble monolithique ressort spiral - virole (1) selon la proposition 33, dans lequel le contour de l'ouverture centrale de la virole (1) comprend deux paires (2,3 ; 4,5) de surfaces d'appui.

35.- Ensemble monolithique ressort spiral - virole (1) selon l'une des propositions 30 à 34, dans lequel les surfaces d'appui (2,3 ; 4,5) sont au moins partiellement situées sur des bras (6,7 ; 8,9).

36.- Ensemble monolithique ressort spiral - virole (1) selon l'une des propositions 30 à 35, dans lequel les parties de liaison ont une géométrie identique.

37.- Ensemble monolithique ressort spiral - virole (1) selon l'une des propositions 30 à 36, dans lequel le ressort spiral est un ressort spiral double comprenant une première lame (10) dont le point d'attache à la virole (1) est relié à une première partie de réception et une deuxième lame (11) dont le point d'at-

tache à la virole (1) est relié à une deuxième partie de réception.

38.- Ensemble monolithique ressort spiral - virole (1) selon l'une des propositions 30 à 37, dont la géométrie de la virole a une symétrie de réflexion d'ordre 2.

39.- Ensemble monolithique ressort spiral - virole (1) selon l'une des propositions 30 à 38, dont la géométrie de la virole a une symétrie de rotation d'ordre 2.

40.- Ensemble monolithique ressort spiral - virole selon l'une des propositions 30 à 39, cet ensemble étant en silicium, éventuellement avec une couche externe et/ou un étage en oxyde de silicium.

41.- Ensemble monolithique ressort spiral - virole (1) selon l'une des propositions 30 à 40, formé sur deux niveaux, le ressort spiral étant situé sur un niveau différent de celui où se trouvent les surfaces d'appui (2,3 ; 4,5 ; 14) pour l'axe de balancier.

42.- Ensemble monolithique ressort spiral - virole ayant au moins deux niveaux, le ressort spiral étant situé sur un niveau différent de celui où se trouvent les surfaces d'appui de la virole pour un axe de balancier.

43.- Ensemble monolithique ressort spiral - virole selon la proposition 41 ou 42, dans lequel le ou les point(s) d'attache du spiral simple ou double est (sont) plus proche (s) de l'ouverture centrale de la virole que ne l'est le contour de la virole.

44.- Procédé de fabrication d'un ensemble monolithique ressort spiral - virole selon l'une des propositions 41 à 43, dans lequel on réalise le ressort spiral sur un niveau différent de celui où se trouvent les surfaces d'appui de la virole pour l'axe de balancier.

45.- Procédé de fabrication selon la proposition 44, dans lequel on utilise comme matériau de départ une tranche SOI dont la couche de SiO₂ a une épaisseur supérieure à 3 microns.

46.- Oscillateur comprenant un ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 25 ou 30 à 45 et un axe de balancier à section circulaire.

47.- Mouvement horloger ou pièce d'horlogerie comprenant un ensemble monolithique selon l'une des propositions 4 à 25 ou 30 à 45 ou comprenant un oscillateur selon la proposition précédente ou comprenant une virole selon l'une des propositions 1 à 3.

[0017] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention vont maintenant être décrits en détail dans l'exposé suivant qui est donné en référence aux figures an-

nexées, lesquelles représentent schématiquement :

- figure 1 : une virole selon l'art antérieur EP 1 513 029 et EP 2 003 523 ;
- figure 2 : une virole de la figure 10D de l'art antérieur EP 1 655 642 ;
- figure 3 : une virole selon l'art antérieur WO2011026725 ;
- figure 4 : un ensemble monolithique ressort spiral double - virole à contour fermé selon l'invention ;
- figures 5 à 7 : d'autres ensembles monolithiques ressort spiral double - virole à contour fermé selon l'invention ;
- figure 8 : les principales étapes du procédé d'obtention d'un ensemble monolithique ressort spiral double - virole selon un second aspect de l'invention ;
- figures 9 à 11 : un ensemble monolithique ressort spiral double - virole selon un second aspect de l'invention ;
- figures 12 et 13 : d'autres ensembles monolithiques ressort spiral double - virole selon le second aspect de l'invention ;
- figure 14 : un graphe montrant l'évolution du couple de maintien M des viroles des ensembles des figures 12, 13 et 3 en fonction du diamètre de l'axe de balancier ;
- figure 15 : un graphe montrant l'évolution de la contrainte s des viroles des ensembles des figures 12, 13 et 3 en fonction du diamètre de l'axe de balancier ;
- figures 16 à 17 : une représentation des contraintes au sein des viroles des ensembles des figures 12 et 13 une fois un axe de balancier chassé dans l'ouverture (noir : très faible déformation élastique, contraintes inférieures à la moitié de la contrainte maximale ; en gris : déformation élastique significative, contraintes supérieures à la moitié de la contrainte maximale) ;
- figure 18 : une représentation des zones rigides (en noir) et flexibles (en gris) pour la virole de la figure 12 ;
- figure 19 : un ensemble monolithique ressort spiral double - virole selon une variante avantageuse du second aspect de l'invention, dans lequel les points d'attache des lames du spiral double sont proches de l'ouverture centrale ;
- figure 20 : une vue en coupe d'une virole selon une variante avantageuse du second aspect de l'invention ;
- figure 21 : un ensemble monolithique ressort spiral double - virole selon le premier aspect de l'invention avec indication de la position des points d'encastrement ; et
- figure 22 : un ensemble monolithique ressort spiral double - virole selon le second aspect de l'invention avec indication de la position des points d'encastrement.

Exposé détaillé de l'invention

[0018] Sur la figure 1 est représentée la virole proposée dans les demandes de brevet européens précitées EP 1 513 029 et EP 2 003 523.

[0019] Sur la figure 2 est représentée la virole décrite sur la figure 10D de la demande de brevet européen précitée EP 1 655 642.

[0020] Sur la figure 3 est représentée la virole proposée dans la demande de brevet WO2011026725.

[0021] L'invention s'applique tant à des ensembles avec un spiral simple qu'à ceux avec un spiral double. Cependant, c'est à ces derniers qu'elle convient le mieux.

[0022] Par « spiral double », il faut entendre ici un spiral comportant deux lames enroulées dans le même sens, mais avec un décalage de 180 degrés, comme décrit dans la demande EP 2 151 722 A1. Les extrémités internes respectives de ces lames sont solidaires de la virole et leurs points d'attache respectifs sont disposés symétriquement sur des côtés opposés du pourtour de la virole.

[0023] Le « point d'attache » ou « point d'encastrement » du spiral est généralement bien défini dans le cas d'un spiral assemblé sur une virole réalisée dans un autre matériau que le spiral. Dans le cas d'un ensemble virole-spiral monolithique pour lequel spiral et virole sont venus de fabrication, réalisés par exemple par une technique de microfabrication à partir d'un wafer en Silicium ou « Silicon-on-Insulator », le point d'encastrement peut être défini comme le point où la rigidité locale le long de la fibre neutre atteint une valeur qui est 10x plus élevée que la rigidité de la lame du spiral. Dans le cas d'un spiral à épaisseur de lame variable, on considérera la valeur minimale de la rigidité locale le long de la lame. La rigidité locale équivaut à la rigidité en flexion, déterminée lors de la flexion de la lame ou du fonctionnement du spiral, sur une portion de longueur donnée, par exemple 1 µm. Les points d'encastrement 10, 11 correspondants sont indiqués à titre d'exemple sur les ensembles virole-spiral des figures 21 et 22. Dans le cas de la figure 21 (qui correspond à la géométrie de virole de la figure 12), on voit que le point d'encastrement se situe sur le prolongement du contour externe ou périphérie 32 de la virole. Dans le cas de la figure 22 (qui correspond à la géométrie de virole de la figure 19), on voit que le point d'encastrement est situé à proximité immédiate de l'axe de balancier, plus proche de l'ouverture centrale de la virole que ne l'est le contour 33 du niveau de la virole qui ne comprend pas le spiral.

[0024] Les viroles selon l'invention sont dimensionnées à la fois pour maintenir le spiral sur l'axe de balancier lors du fonctionnement de l'oscillateur, et aussi pour pouvoir être assemblées avec des axes dont le diamètre montre une certaine dispersion (pas de casse ou de déformation plastique au chassage pour un diamètre d'axe situé dans un intervalle de tolérance donné). Ces viroles ont normalement au moins 2, et de préférence 4, surfaces d'appui pour l'axe de balancier.

[0025] Selon l'invention, la forme précise des parties de liaison n'est pas cruciale, du moment qu'elles parviennent à se déformer élastiquement, notamment en flexion, lors du chassage d'un axe de balancier. Dans les conditions normales d'utilisation de la virole, les parties de réception sont donc des parties rigides ou indéformables et les parties de liaison, des parties déformables, notamment déformables en flexion ou flexibles. La flexibilité de ces dernières provient du fait qu'elles sont amincies par rapport aux parties de réception. Les parties déformables présentent des sections de plus faibles aires que les parties indéformables. Cet amincissement est réalisé, selon l'invention, en prévoyant les parties déformables moins larges que les parties de réception. Par « largeur », il faut entendre ici l'épaisseur mesurée dans le plan de la virole, en d'autres termes, la distance entre le contour de la virole et le contour de son ouverture centrale (par exemple, la largeur minimale e ou e' ou la largeur à mi-distance des parties de réception rigides b ou b' sur les figures 12 et 13).

[0026] Les jonctions entre les parties de réception et les parties de liaison se situent en général sensiblement à la base d'une surface d'appui (voir ci-dessous, ainsi qu'à titre d'exemples, la figure 18, ou la figure 5 où on peut les situer à chaque fois sur un côté de la partie bombée 14). Préférentiellement, on cherche à maximiser la longueur des parties de liaison, donc à maximiser le secteur angulaire qu'elles occupent.

[0027] La figure 4 représente la partie centrale d'un exemple d'ensemble monolithique ressort spiral double - virole non fendue selon l'invention.

[0028] Comme on peut le voir sur la figure 4, la virole 1, en particulier les parties de réception 17, 18, comporte deux paires de points d'appui 2, 3 et 4, 5 situés sur des bras sensiblement plans 6, 7 et 8, 9 qui ne sont pas élastiques et sont placés deux à deux à proximité des points d'attache 10, 11 des lames 12, 13 du spiral double. Les bras non élastiques d'une même paire font saillie dans l'ouverture centrale de la virole et ils forment entre eux un angle α qui est de préférence inférieur à 170 degrés, plus préférentiellement supérieur à 90 degrés et inférieur à 170 degrés, et est ici d'environ 120 degrés. Chaque bras 6, 7, 8 ou 9 présente une extrémité libre.

[0029] La forme en V des paires de bras rigides a pour effet de mieux caler l'axe de balancier que ne le ferait un seul point d'appui. L'important est en effet que l'encastrement virole-axe soit le plus rigide possible, de façon à ce que les points de contact entre la virole et l'axe du balancier ne se déplacent pas sous l'effet du couple développé par le spiral lors du fonctionnement en mouvement, c'est-à-dire lors des oscillations du balancier-spiral une fois l'ensemble ressort spiral - virole chassé ou assemblé sur l'axe d'un balancier. La géométrie avec deux parties de réception en regard l'une de l'autre (notamment à 180° l'une de l'autre) et comportant chacune une paire de surfaces d'appui permet d'agir comme un étai maintenu par les parties de liaison flexibles. Sous l'effet de leur déformation élastique, les parties de liaison exer-

cent des actions de rappel élastique rappelant les parties de réception l'une vers l'autre et chacune en contact contre l'axe de balancier. Néanmoins, il est aussi envisageable (mais moins favorable) d'utiliser un seul point d'appui, comme par exemple une surface de contact plane, convexe ou concave avec un rayon de courbure plus grand que le rayon qui est prévu pour l'axe du balancier.

[0030] Sur la figure 4, les bras 6, 7, 8 et 9 et les surfaces d'appui correspondantes 2, 3, 4 et 5 sont planes, c'est-à-dire que leur rayon de courbure du côté de l'ouverture centrale 26 est infini. Les surfaces d'appui peuvent aussi être convexes, c'est-à-dire que leur rayon de courbure peut être négatif du côté de l'ouverture centrale 26, ou concaves, c'est-à-dire que leur rayon de courbure peut être positif du côté de l'ouverture centrale 26.

[0031] Dans ce dernier cas cependant, le rayon de courbure positif est strictement supérieur à 0,51 fois le diamètre $d_{\max}$ du cercle le plus grand que l'on peut tracer à l'intérieur du contour de l'ouverture centrale (lorsque la virole n'est pas déformée, notamment lorsqu'elle n'est pas montée sur l'axe de balancier), cercle qui est aussi appelé « cercle inscrit » dans la suite de la description. De préférence, le rayon de courbure positif est supérieur à 0,62 fois le diamètre $d_{\max}$, ce qui permet de définir un seul point de contact entre la partie d'appui et l'axe de balancier. Un rayon de courbure supérieur à 0,75 fois, voire à 1 fois, le diamètre $d_{\max}$ du cercle inscrit est aussi adapté. Dans le cas d'un axe de balancier à section circulaire, le diamètre de l'axe est légèrement supérieur à $d_{\max}$, par exemple compris dans un intervalle de tolérance entre 1.01 et 1.02 $d_{\max}$.

[0032] Il est important de prévoir qu'il n'y ait aucune partie flexible entre les points de contact virole/axe de balancier et le point d'attache du spiral, de façon à ce que la distance entre le point d'encastrement ou d'attache et les surfaces d'appui varie le moins possible et en particulier ne varie pas de façon substantielle suite au chassage.

[0033] La virole 1 présente une symétrie de rotation d'ordre 2, et présente deux axes de symétrie en réflexion, l'un étant formé par la bissectrice de l'angle α , l'autre étant perpendiculaire à ce dernier et situé à égale distance de l'intersection des bras. On peut considérer qu'elle comprend deux parties de réception d'axe de balancier rigides reliées par deux parties de liaison flexibles, comme on peut le voir sur la figure 18 qui sera détaillée ci-dessous. Les parties rigides 17 et 18 (en noir sur la figure 18) sont celles d'où partent à la fois les bras 6, 7 et 8, 9 et les lames 12 et 13 du spiral double. Les parties flexibles 15 et 16 (en gris sur la figure 18) sont des parties de liaison reliant symétriquement les parties rigides, de façon à former la virole 1 avec son ouverture centrale. Ces parties flexibles sont plus minces que les parties rigides et leur élasticité ou flexibilité permet d'assurer la déformation de la virole 1 lors du chassage sur l'axe de balancier tout en garantissant un couple de tenue minimal. De plus, l'ouverture centrale non circulaire permet d'excentrer les parties flexibles et de maximiser leur lon-

gueur.

[0034] La symétrie de la géométrie de la virole de la figure 4 vise à l'obtention d'un équilibrage pour ne pas créer de balourd. L'ouverture centrale non circulaire de la virole peut être définie comme comprenant un évidement central 26 de réception d'axe de balancier, sensiblement délimité par les 4 surfaces d'appui 2,3,4 et 5, et deux évidements périphériques 27,28 formés sensiblement et symétriquement entre les bras 6,8, d'une part et 7,9 d'autre part, et les parties élastiques 15 et 16. Les évidements 27 et 28 sont symétriques l'un de l'autre par rapport à la bissectrice de l'angle α .

[0035] Ainsi, la géométrie permet de définir précisément les points d'appui, au nombre de quatre dans le cas de la figure 4. Les bras 6 à 9 permettent de définir précisément les points d'appui de la virole sur l'axe de balancier, tout en maximisant la longueur des parties élastiques flexibles. Par contre, ces bras 6 à 9 ne fléchissent pas ou de façon négligeable et ne peuvent pas être considérés comme des bras élastiques.

[0036] Cela est confirmé par des simulations numériques reportées sur les figures 16 et 17, qui indiquent les niveaux de contraintes présentes suite au chassage d'un axe de balancier au diamètre nominal de 0,503 mm dans deux viroles de géométrie différente représentées sur les figures 12 et 13 (on peut aussi se reporter aux figures 14 et 15 qui indiquent les couples de tenue et les contraintes maximales pour ces viroles pour différents diamètres d'axe). Les parties qui ne sont pas ou peu déformées élastiquement, et qui peuvent être considérées comme étant rigides, sont indiquées en noir sur les figures 16 et 17 (niveau de contraintes inférieur à la moitié de la contrainte maximale atteinte suite au chassage de l'axe, soit environ 500 MPa dans le cas des figures 16 et 17). Les parties qui sont déformées élastiquement, et qui peuvent être considérées comme étant flexibles, sont indiquées en gris aux mêmes figures (niveau de contraintes supérieur à la moitié de la contrainte maximale). Ces simulations numériques montrent que les bras 6 à 9 portant les surfaces d'appui ne sont pas déformés élastiquement, contrairement aux parties flexibles 15,16. La distance entre les points d'appui et les points d'attache du spiral est ainsi toujours constante et parfaitement définie.

[0037] La virole est ainsi formée de deux parties de réception d'axe de balancier rigides 17,18 symbolisées en noir sur la figure 18, reliées l'une à l'autre par deux parties de liaison flexibles ou élastiques 15,16, symbolisées en gris sur la figure 18. L'avantage de cet agencement est de maximiser la longueur des parties de liaison flexibles, tout en garantissant un couple de tenue suffisant sur l'axe de balancier, avec un niveau de contrainte nettement inférieur à la contrainte maximale admissible pour le matériau. Les simulations montrent que la virole selon l'invention permet d'obtenir un couple de maintien (M) sur l'axe plus élevé qu'avec des bras flexibles situés à l'intérieur d'un contour fermé (pour un même encombrement). Par la théorie des petites déformations appli-

quée au cas d'une poutre flexible, on peut montrer que le couple de tenue M dépend de la longueur des parties flexibles L, M étant proportionnel à L^3 . Plus les parties flexibles sont longues, plus le couple de maintien est élevé. L'avantage de la virole selon l'invention est de maximiser la longueur des parties flexibles. Sur l'exemple de la figure 18, les parties flexibles occupent environ 70% de la longueur totale du contour. Préférentiellement, les parties flexibles occupent 50% ou plus de la longueur totale du contour, notamment entre 50% et 90%, plus préférentiellement entre 60 et 80%. Alternativement, les secteurs d'angle mesurés depuis le centre de la virole (qui correspond au centre du cercle inscrit dans l'ouverture centrale) et occupés respectivement par une partie de réception rigide et par une partie de liaison flexible sont de 54° et 126° environ. Préférentiellement, le secteur d'angle mesuré depuis le centre de la virole et occupé par une partie de liaison flexible est supérieur ou égal à 50°, notamment compris entre 90° et 160°, plus préférentiellement entre 110° et 145°. Ce secteur d'angle est par exemple défini comme le plus petit secteur d'angle continu entre deux parties de réception où il existe une zone où la contrainte dans le matériau est supérieure à 50% de la contrainte maximale atteinte suite au chassage de l'axe.

[0038] Un autre exemple de réalisation de l'invention est représenté sur la figure 5. Sur cette figure, la virole ne comprend qu'une seule paire de bras non élastiques 2,3. En regard du V formé par ces derniers, de l'autre côté de l'ouverture centrale non circulaire, se trouve une partie bombée 14 destinée à servir de troisième surface d'appui pour l'axe de balancier. La géométrie ne comporte ici qu'une symétrie de réflexion autour de la bissectrice de l'angle α (si on ne tient pas compte du point d'attache des lames du spiral). La forme et les dimensions de la partie bombée 14 sont choisies de façon à équilibrer au maximum la virole. Alternativement, la troisième surface d'appui peut aussi être plane ou encore concave, avec un rayon de courbure strictement supérieur à 0,51 fois, préférentiellement supérieur à 0,62, 0,75 ou 1 fois le diamètre inscrit $d_{\max}$.

[0039] La virole selon l'invention est particulièrement adaptée pour venir fixer un double spiral à un axe de balancier. En effet, la plupart des viroles connues de l'état de l'art ne se déforment pas de façon symétrique par rapport aux points d'attache. Avec une virole comme celle montrée sur la figure 1, l'une des lames serait fixée au même point que la lame du simple spiral représenté, soit au sommet du triangle formé par la structure rigidificatrice. La deuxième lame doit avoir un point d'attache situé à 180° du premier, soit à l'opposé, au milieu d'un côté du triangle. Le déplacement des points d'attache suite au chassage par rapport au centre du spiral et/ou aux attaches externes ne serait donc pas équivalent pour les deux points d'attache, ce qui dégraderait les performances chronométriques. De plus, le point d'encastrement de la deuxième lame serait susceptible de se déformer lors de l'expansion et contraction du spiral, ce qui nuirait

aussi aux performances chronométriques.

Second aspect de l'invention

[0040] Suivant un autre aspect, l'invention concerne une virole ayant au moins deux niveaux ou étages ou parties. Le point d'attache ou d'ancrage du spiral (ou les points d'attache dans le cas d'un spiral double) est alors situé sur un niveau différent de celui où se trouvent la majeure partie, voire la totalité des surfaces d'appui. Ceci est en particulier appliqué à un ensemble monolithique ressort spiral-virole.

[0041] Les inventeurs ont en effet découvert qu'il était possible de maximiser la tenue au couple de la virole, tout en minimisant son encombrement, en allongeant la virole dans le plan perpendiculaire au spiral. Ceci permet de dissocier la fonction d'attache du spiral à l'axe via la virole (premier niveau, dans le plan du spiral) de celle de tenue à l'axe, notamment de tenue de la virole sur l'axe (premier et deuxième niveau, et préférentiellement exclusivement sur le deuxième niveau, hors du plan du spiral), tout en répartissant la contrainte élastique de façon la plus équilibrée possible le long des parties flexibles.

[0042] Un ensemble monolithique ressort spiral-virole correspondant à celui de la figure 4 réalisé sur 2 niveaux est représenté en perspectives avant et arrière sur les figures 9 et 10.

[0043] Comme on peut le voir sur ces figures, les flancs ne sont pas parfaitement superposés, ils présentent un décalage de quelques microns entre la première et la deuxième couche.

[0044] La figure 11 représente la totalité de l'ensemble ressort-spiral selon les figures 9 et 10, avec les extrémités externes des lames du double-spiral qui sont solidaires d'un élément de fixation destiné à être relié au mouvement d'une pièce d'horlogerie.

[0045] Il est évident qu'un tel ensemble monolithique ressort spiral-virole réalisé sur 2 niveaux peut aussi être appliqué à d'autres types de viroles, notamment à des viroles fendues, et à d'autres types de spiraux, notamment à des spiraux simples.

Procédé de fabrication

[0046] La virole ou l'ensemble spiral-virole peut être fabriqué suivant des procédés connus, tel que celui faisant l'objet de la demande de brevet n° EP 1 655 642. La virole ou l'ensemble ressort spiral-virole suivant le second aspect de l'invention peut être fabriqué suivant des procédés connus, tels que ceux faisant l'objet des demandes de brevet n° EP 1 835 339 ou EP 2 104 007.

[0047] Les étapes principales d'un procédé de fabrication d'une virole ou d'un ensemble monolithique ressort spiral-virole réalisé sur 2 niveaux, étages ou parties sont représentées sur la figure 8.

[0048] Le substrat de départ utilisé est une tranche (« wafer » en anglais) du type « SOI » (« Silicon-on-Insulator »), composé de deux parties de Si monocristallin séparées par une fine couche d'oxyde de silicium, SiO₂ (figure 8a, avec le Si monocristallin en blanc et le SiO₂ en hachuré oblique). Après un premier nettoyage, la tranche est oxydée pour former une couche de SiO₂ en surface de part et d'autre du substrat (figure 8b) qui servira de masque pour la gravure profonde par ions réactifs (« Deep Reactive Ion Etching », « DRIE » en anglais). Une photolithographie est ensuite effectuée sur une première face pour définir un premier motif en résine photosensible (figure 8c, résine représentée en hachuré droit) et ce motif est reproduit dans la couche d'oxyde sous-jacente par gravure sèche (figure 8d). Après un nettoyage (figure 8e), les mêmes étapes sont reproduites sur la deuxième face avec un deuxième motif : une photolithographie permet de définir un deuxième motif en résine photosensible (figure 8f), qui est reproduit dans la couche d'oxyde sous-jacente par gravure sèche (figure 8g). Une étape de gravure profonde par DRIE est ensuite réalisée sur la deuxième face pour graver le motif dans la deuxième couche de Si (figure 8h). Puis, une gravure profonde DRIE est réalisée sur la première couche (figure 8i). Les parties de SiO₂ exposées (couches externes et couche centrale) sont finalement dissoutes par attaque BHF (HF tamponné, soit un mélange de HF et de NH₄F qui sert de tampon pour stabiliser la vitesse d'attaque ; figure 8j).

[0049] Différentes étapes additionnelles aux procédés exposés ci-dessus peuvent être prévues, comme par exemple (et de façon non-limitative) :

- le dépôt de couches fonctionnelles (oxydes, nitrures, couches à base de carbone) sur tout ou une partie de la surface, par exemple par des techniques de type PVD, CVD, ou ALD ;
- le dépôt d'une couche d'oxyde SiO₂ pour thermo-compenser l'oscillateur balancier-spiral selon EP 1 422 436 ;
- la réalisation d'une partie de la structure, par exemple des bras 6, 7, 8 et 9, en métal ou alliage métallique par une technique d'électroformage de type LiGA.

Variante avantageuse du second aspect de l'invention

[0050] Suivant une variante avantageuse du second aspect de l'invention, la virole a moins deux niveaux, et le point d'attache ou d'encastrement du spiral (ou les points d'attache dans le cas d'un spiral double) est situé sur un niveau différent de celui où se trouvent les surfaces d'appui et à une distance du centre de la virole inférieure à la distance entre le centre de la virole et son contour ou périphérie.

[0051] Comme illustré à la figure 20, la virole 100 comprend un alésage 101 destiné à recevoir l'axe de balancier, ainsi que au moins une première partie 102 et une deuxième partie 103. Les première et deuxième parties sont séparées par un plan 104 perpendiculaire à l'axe 107 de l'alésage, cet axe représentant également le centre de la virole. Le ou les élément(s) 105 d'attache de la

virole à un ressort spiral sont exclusivement situé(s) sur la première partie. L'élément 106 de liaison de la virole à l'axe de balancier, par exemple formé des surfaces d'appui, est essentiellement, de façon préférentielle exclusivement, situé sur la deuxième partie. Par « un élément de liaison de la virole à l'axe de balancier est essentiellement situé sur la deuxième partie », on entend que plus de la moitié des efforts de liaison de la virole à l'axe de balancier sont appliqués au niveau de la deuxième partie. L'alésage 101 forme une ouverture centrale destinée à recevoir l'axe de balancier.

[0052] Préférentiellement, on utilise une tranche SOI pour réaliser une telle virole ou un ensemble monolithique virole-spiral incluant une telle virole, la première et la deuxième partie étant en Silicium et séparées par une couche d'oxyde de Silicium. En effet, l'utilisation de tranches SOI où la couche interne de SiO_2 séparant les deux couches de Si est épaisse, voire très épaisse (par exemple 2-3 microns comme habituellement, mais préférentiellement d'épaisseur supérieure à 5, voire à 10 microns) permet de réaliser une virole flexible superposant les spirales comme représenté sur la figure 19, qui montre un tel ensemble monolithique ressort spiral double - virole réalisé sur 2 niveaux. La virole flexible est en tout point semblable à celle de la figure 4. Par contre, les points d'attache du spiral ne sont pas situés sur le contour comme à la figure 21, mais le plus près possible de l'ouverture centrale de la virole et donc de l'axe de balancier, comme sur l'exemple de la figure 22. Les lames du spiral sont ainsi partiellement superposées à la virole, sur un peu moins de 180° dans l'exemple de la figure 19 (correspondant à un peu moins d'un demi-tour d'enroulement de la lame du spiral). Le procédé de fabrication à deux niveaux permet de réaliser ce genre de structure, car l'attaque de dissolution du SiO_2 (figure 8j) va venir aussi attaquer l'oxyde qui solidarise les lames à la virole si le temps d'attaque est suffisant, libérant ainsi ces dernières.

[0053] Ainsi, l'élément d'attache du spiral à la virole ou le point d'encastrement 10, 11 se trouve à une distance D1 de l'axe de l'alésage 107 inférieure à la moitié du diamètre D2 d'un cylindre dans lequel s'inscrit la deuxième partie, notamment à une distance D1 inférieure ou égale à la moyenne de la moitié du diamètre D2 et de la moitié du diamètre du cercle inscrit dmax. C'est le cas pour l'ensemble spiral-virole de la figure 22, pour lequel D1 vaut 0.330mm, alors que D2 vaut 1.180mm et que la moyenne de la moitié du diamètre D2 et de la moitié du diamètre du cercle inscrit dmax vaut $(1.180\text{mm}/2 + 0.495\text{mm}/2)/2 = 0.41875\text{mm}$. Cela équivaut à placer le point d'encastrement 10,11 à 85 microns de distance de l'axe dans le cas de la figure 22, contre 275 microns dans le cas de la figure 21. Alternativement, le point d'encastrement est plus proche de l'ouverture centrale que ne l'est le contour 33 de la virole.

[0054] Une virole telle que décrite plus haut peut en particulier être incluse dans un ensemble monolithique ressort spiral-virole.

[0055] Le fait de rapprocher le point d'attache de l'axe du balancier permet d'améliorer considérablement les propriétés chronométriques. De plus, ce type d'approche n'est pas limité à un double spiral, mais est aussi parfaitement adapté à un spiral simple, et n'est pas limité à une virole à contour fermé, mais convient aussi à une virole fendue. N'importe quelle combinaison de virole et de spiral peut être obtenue de cette façon, avec pour effet un ensemble ressort spiral - virole aux propriétés chronométriques nettement améliorées.

Simulations

[0056] Des simulations par la technique des éléments finis ont été effectuées sur deux ensembles monolithiques ressort spiral double - virole non fendue à deux parties, du type représenté sur les figures 9 et 10.

[0057] Ces deux ensembles similaires A et B sont représentés sur les figures 12 et 13. Leurs dimensions sont comparables sur plusieurs points : l'encombrement est de 1.17mm selon le grand axe (dimension d sur les figures), la distance c est de 0,550mm, le diamètre inscrit au centre de l'ouverture est de 0,495mm, l'angle α vaut 120° , le rayon de courbure du contour externe au niveau du sommet des parties de liaison flexibles est de 0,538mm. Seule l'épaisseur des parties de liaison flexibles diffère de façon significative : si on note b la largeur au niveau du sommet des parties de liaison (c'est-à-dire en leur milieu, à mi-distance des parties de réception) et e la largeur minimale des parties de liaison, $b = 0,085\text{mm}$ et $e = 0,050\text{mm}$ pour la virole de la figure 12 et $b' = 0,070\text{mm}$ et $e' = 0,050\text{mm}$ pour la virole de la figure 13. La largeur maximale des parties de réception rigides a diffère également : $a = 0,224\text{mm}$ pour la virole de la figure 12 et $a' = 0,200\text{mm}$ pour la virole de la figure 13, mais la distance entre les points d'attache du spiral double est identique.

[0058] La hauteur de couche du spiral (première partie) est de 150 microns et la hauteur de couche du niveau portant les surfaces d'appui (deuxième partie) est de 500 microns.

[0059] Les axes de balancier ont un diamètre toléré compris entre 0,5 et 0,506 mm, avec une valeur nominale à 0,503 mm.

[0060] Le graphe de la figure 14 montre l'évolution du couple de tenue M simulé de la virole en fonction du diamètre de l'axe du balancier pour chacun des ensembles spiral/virole des figures 12, 13 et 3, respectivement. Le couple de tenue minimal est indiqué sur la figure 14 par la ligne interrompue.

[0061] On constate, pour chacun des ensembles que le couple de tenue est supérieur au couple minimal exigé, même pour les petits diamètres en dessous de la tolérance minimale.

[0062] Le graphe de la figure 15 montre l'évolution de la contrainte s de la virole en fonction du diamètre de l'axe du balancier pour chacun des ensembles spiral/virole des figures 12, 13 et 3, respectivement. La contrainte

maximale admissible pour le matériau (limite élastique, avec un facteur de sécurité) est indiquée par la ligne interrompue.

[0063] On constate, pour chacun des ensembles selon l'invention, que les contraintes maximales sont bien en-deçà de la valeur maximale admise. L'avantage de la virole de la figure 13 est qu'elle est plus flexible, que son niveau de contraintes est moins élevé et que la pente du couple en fonction du diamètre de l'axe est plus faible que pour la virole de la figure 12. En corollaire, le couple de maintien est plus faible.

[0064] Pour l'ensemble selon l'art antérieur, par contre, la contrainte dépasse très rapidement la valeur maximale admise. On voit donc que ce type de virole n'est pas adéquat à un assemblage par chassage. En effet, une telle géométrie du contour ne permet pas d'assurer à la fois une bonne tenue et une déformation sans casse de la virole suite au chassage de l'axe de balancier. De plus, le diamètre inscrit est inférieur de seulement 0.2 micron à la borne inférieure de la tolérance afin que les contraintes soient inférieures à la contrainte maximale admissible pour la borne inférieure de la tolérance, ce qui requiert des tolérances de fabrication extrêmement précises.

[0065] Le même comportement est prédit pour d'autres viroles de l'art antérieur, comme celle représentée à la figure 10D du document EP 1 655 642. L'augmentation des contraintes avec le diamètre de l'axe est moins forte que pour le cas de la virole de la figure 3, mais la contrainte maximale admissible est néanmoins largement dépassée avant d'atteindre la borne supérieure de la tolérance.

[0066] Cet exemple illustre l'avantage d'une virole à contour fermé, avec des parties de réception rigides reliées par des parties de liaison flexibles. Cette différence de rigidité peut être estimée en première approximation par la théorie des poutres aux faibles déformations : pour une poutre, la rigidité k d'un élément de largeur e , d'épaisseur h et de longueur L est proportionnelle à $e^3 \times h / L^3$. En faisant l'approximation que la largeur e est constante le long des parties, le rapport entre la rigidité d'une partie de réception, k_r , et d'une partie de liaison, k_f , vaut donc $k_r/k_f = (e_r^3 \times h_r \times L_f^3) / (e_f^3 \times h_f \times L_r^3) = (e_r^3 \times L_f^3) / (e_f^3 \times L_r^3)$, si l'épaisseur est identique. Diminuer la largeur moyenne des parties de liaison par rapport aux parties de réception et maximiser la longueur de ces mêmes parties de liaison permet ainsi de diminuer très significativement la rigidité des parties de liaison. Préférentiellement, on choisit un rapport k_r/k_f supérieur à 10, plus préférentiellement supérieur à 50, encore plus préférentiellement supérieur à 100.

[0067] Vu que la rigidité dépend de la largeur au cube, la différence de largeur entre les parties de réception rigides et les parties de liaison flexibles est préférable pour obtenir une rigidité plus faible sur les parties de liaison que sur les parties de réception.

[0068] Différentes possibilités existent pour obtenir une rigidité plus faible : ainsi, la largeur moyenne des

parties de liaison peut être préférentiellement inférieure à la largeur moyenne des parties de réception, plus préférentiellement inférieure d'un facteur deux à la largeur moyenne des parties de réception.

[0069] Alternativement ou cumulativement, les deux parties de liaison présentent une largeur minimale et/ou une largeur à mi-distance des parties de réception inférieure(s) à la largeur maximale des parties de réception.

[0070] La largeur minimale e des parties de liaison est alors préférentiellement inférieure à $0,5 \times a$, encore plus préférentiellement égale ou inférieure à $0,3 \times a$, où a est la largeur maximale des parties de réception.

[0071] Alternativement ou cumulativement, la largeur au milieu des parties de liaison, à mi-distance des parties de réception, est préférentiellement inférieure à $0,7 \times a$, encore plus préférentiellement égale ou inférieure à $0,5 \times a$.

[0072] On peut aussi varier l'épaisseur des parties de réception et des parties de liaison, notamment en amincissant les parties de liaison par rapport aux parties de réception, mais il est plus favorable de varier la largeur que l'épaisseur pour varier la rigidité.

[0073] Bien entendu, l'homme du métier saura adapter les dimensions de la virole de cas en cas, selon l'épaisseur du spiral, l'encombrement à disposition, en veillant à assurer une tenue au couple suffisante et à maintenir les contraintes bien en-deçà de la contrainte maximale admissible afin de rester dans le domaine de déformation élastique.

[0074] L'intérêt pour un ensemble monolithique spiral/virole à au moins deux niveaux peut être expliqué de la manière suivante. Pour un ensemble spiral/virole à une seule couche, la hauteur est déterminée par les dimensions du spiral, entre autre par le couple nécessaire et l'encombrement (diamètre). La hauteur de la virole, et donc des bras portant les surfaces d'appui et des parties flexibles, sera nécessairement fixée par la hauteur du spiral et ne pourra pas être ajustée librement. Pour un ensemble monocouche de 150 microns de hauteur, les valeurs de couple de maintien sont inférieures d'un rapport de 500/150 par rapport à un ensemble multicouche muni d'un spiral de même hauteur (150 microns), puisque le maintien s'effectue sur 150 microns au lieu de 500 microns. De ce fait, ces valeurs de couple de maintien seraient inférieures à la valeur minimale (ligne interrompue sur fig. 14) requise pour des diamètres d'axes proches du minimum de tolérance (0,5 micron).

[0075] On peut aussi envisager de faire porter les parties d'appui également par le niveau comprenant le spiral, ce qui permettrait dans l'exemple évoqué ci-dessus d'augmenter les valeurs de couple de maintien à un rapport 650/150 par rapport à un ensemble à un seul niveau. Cependant, les tolérances du procédé de fabrication rendent la réalisation de surfaces continues sur deux niveaux très délicate. Il est donc préférable de séparer les fonctions d'attache du spiral et de liaison de la virole à l'axe de balancier sur deux niveaux distincts, et de ne pas prévoir de parties d'appui sur le niveau qui présente

le ou les élément(s) d'attache de la virole au ressort spiral.

[0076] Ainsi, un moyen d'augmenter le couple de tenue d'une virole à une seule couche ou étage est d'augmenter le couple développé par les parties flexibles sans augmenter la contrainte, ce qui implique un diamètre plus important de la virole. Ceci a pour conséquence que le point d'attache des lames du spiral doit être éloigné de l'axe de balancier, ce qui dégrade les propriétés chronométriques.

[0077] Il ressort de ce qui précède qu'un ensemble monolithique spiral/virole à au moins deux niveaux, par exemple à deux étages de silicium séparés par une couche d'oxyde de silicium, offre la possibilité de maximiser le couple de maintien en optimisant son encombrement, c'est-à-dire en évitant d'augmenter le diamètre de la virole. Une virole dans laquelle la deuxième partie 103 s'étend, selon l'axe de l'alésage 107, sur une longueur supérieure à une fois l'épaisseur E du ressort spiral, voire supérieure à 3 fois l'épaisseur E du ressort spiral, est donc particulièrement adaptée, notamment pour former un ensemble monolithique spiral-virole.

[0078] Les figures 6 et 7 représentent des variantes de l'ensemble monolithique spiral/virole selon l'invention.

[0079] Sur la figure 6, on peut voir que les parties élastiques sont bombées en leur centre 30 vers l'intérieur des évidements périphériques.

[0080] L'ensemble monolithique spiral/virole à 2 étages de la figure 7 comporte des parties flexibles qui ne sont pas symétriques.

[0081] La thermo-compensation du spiral de l'ensemble ressort spiral simple ou double - virole est réalisée par des moyens connus. On peut par exemple utiliser une couche de matériau à la surface des spires qui compense le premier coefficient thermique du module d'Young du matériau de base. Dans le cas d'un spiral en Si, un matériau adéquat pour la couche est le SiO_2 .

[0082] De préférence, dans les différentes variantes et modes de réalisation, chaque partie de liaison est principalement sollicitée en flexion, une fois l'ensemble monolithique monté sur l'axe de balancier.

[0083] Par « principalement sollicitée en flexion », on entend que, dans chaque partie de liaison, on peut identifier une fibre neutre orientée sensiblement selon une direction selon laquelle s'étend la partie de liaison et séparant une zone sollicitée en traction, d'une zone sollicitée en compression.

[0084] De préférence, dans les différentes variantes et modes de réalisation, chaque partie de liaison présente une portion distante de l'axe de balancier d'au moins 0.5 fois le rayon de l'axe de balancier, voire d'au moins 0.9 fois le rayon de l'axe de balancier, une fois l'ensemble monté sur l'axe de balancier.

[0085] De préférence, dans les différentes variantes et modes de réalisation, les parties de réception et les parties de liaison forment un élément apte à entourer continûment l'axe de balancier, c'est-à-dire apte à entourer sans interruption topologique l'axe de balancier.

Elles forment ainsi une virole fermée, par opposition à une virole fendue.

[0086] Dans ce document, par « partie indéformable » ou par « partie rigide », on entend une partie ne se déformant pas ou sensiblement pas lors du fonctionnement ou lors du montage de l'ensemble monolithique sur l'axe de balancier ou une partie dont la déformation n'est pas recherchée et/ou n'exerce pas de fonction lors du fonctionnement ou lors du montage de l'ensemble monolithique.

[0087] Dans ce document, par « partie déformable », on entend une partie se déformant élastiquement lors du fonctionnement ou lors du montage de l'ensemble monolithique sur l'axe de balancier ou une partie dont la déformation élastique est recherchée ou exerce une fonction lors du fonctionnement ou lors du montage de l'ensemble monolithique.

[0088] Selon un aspect de l'invention, l'ensemble monolithique ressort spiral - virole comprend :

- une première partie de réception destinée à venir en appui contre un axe de balancier,
- une deuxième partie de réception destinée à venir en appui contre l'axe de balancier,
- une première partie de liaison destinée à relier les première et deuxième parties de réception, et
- une deuxième partie de liaison destinée à relier les première et deuxième parties de réception.

[0089] Ces différentes parties sont de préférence incluses dans une virole.

Revendications

1. Ensemble monolithique ressort spiral - virole (1) comprenant :

- une première partie de réception ne se déformant pas ou sensiblement pas lors du fonctionnement ou lors du montage de l'ensemble monolithique sur l'axe de balancier et destinée à venir en appui contre un axe de balancier,
- une deuxième partie de réception ne se déformant pas ou sensiblement pas lors du fonctionnement ou lors du montage de l'ensemble monolithique sur l'axe de balancier et destinée à venir en appui contre l'axe de balancier,
- une première partie de liaison se déformant élastiquement lors du fonctionnement ou lors du montage de l'ensemble monolithique sur l'axe de balancier et destinée à relier les première et deuxième parties de réception,
- une deuxième partie de liaison se déformant élastiquement lors du fonctionnement ou lors du montage de l'ensemble monolithique sur l'axe de balancier et destinée à relier les première et deuxième parties de réception, et

- un élément apte à entourer continûment l'axe de balancier et comprenant les parties de réception et les parties de liaison.
2. Ensemble monolithique selon la revendication 1, dans lequel :
- les parties de liaison occupent 50% et plus, voire entre 50% et 90%, voire entre 60% et 80%, de la longueur totale du contour extérieur de la virole, et/ou
 - chaque partie de liaison occupe un secteur d'angle mesuré depuis le centre de la virole supérieur ou égal à 90°, voire compris entre 90° et 160°, voire compris entre 110° et 145°, et/ou
 - chaque partie de liaison présente une portion distante de l'axe de balancier d'au moins 0.5 fois le rayon de l'axe de balancier, voire d'au moins 0.9 fois le rayon de l'axe de balancier, une fois l'ensemble monté sur l'axe de balancier, et/ou
 - les parties de réception sont en regard l'une de l'autre, notamment à 180° l'une de l'autre par rapport au centre de la virole, et/ou
 - chaque partie de liaison est principalement sollicitée en flexion, une fois l'ensemble monolithique monté sur l'axe de balancier.
3. Ensemble monolithique selon l'une des revendications 1 à 2, dans lequel :
- une lame du ressort spiral est attachée ou liée directement à une partie de réception, notamment, dans le cas d'un ensemble comportant un double spiral, dans lequel chaque lame est attachée à une partie de réception différente, et/ou
 - une ouverture centrale de la virole destinée à recevoir un axe de balancier est non circulaire, et/ou
 - le contour de l'ouverture centrale de la virole (1) comprend, sur une même partie de réception, au moins une surface d'appui (2,3 ; 4,5) pour l'axe de balancier.
4. Ensemble monolithique selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le contour de l'ouverture centrale de la virole (1) comprend, sur une même partie de réception, au moins une paire de surfaces d'appui (2,3 ; 4,5) pour l'axe de balancier, les tangentes aux surfaces d'appui (2,3) aux points d'appui de cette paire formant entre elles un angle (α) supérieur à 90 degrés et inférieur à 170 degrés.
5. Ensemble monolithique selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le contour de l'ouverture centrale de la virole (1) comprend deux paires (2,3 ; 4,5) de surfaces d'appui.
6. Ensemble monolithique selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel les surfaces d'appui (2,3 ; 4,5) sont au moins partiellement situées sur des bras (6,7 ; 8,9) ou extensions s'étendant depuis le corps des parties de réception.
7. Ensemble monolithique selon l'une des revendications 4 à 6, dans lequel des surfaces d'appui sont planes ou à courbure négative ou à courbure positive avec un rayon supérieur à 0,51 fois le diamètre ($d_{\max}$) du cercle inscrit dans une ouverture centrale de la virole.
8. Ensemble monolithique selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel :
- deux parties de réception sont disposées à 180° l'une de l'autre par rapport à l'axe de la virole, et/ou
 - les différentes parties de liaison ont une géométrie identique et/ou les différentes parties de réception ont une géométrie identique.
9. Ensemble monolithique selon l'une des revendications 1 à 8, dans lequel :
- le ressort spiral est un ressort spiral double comprenant une première lame dont le point d'attache (10) à la virole (1) est relié à une première partie de réception et une deuxième lame dont le point d'attache (11) à la virole (1) est relié à une deuxième partie de réception, et/ou,
 - l'ensemble étant en silicium, éventuellement avec une couche externe et/ou une couche interne en oxyde de silicium, et/ou
 - l'ensemble étant réalisé en un matériau fragile ou en un matériau ne présentant pas de domaine de déformation plastique..
10. Ensemble monolithique selon l'une des revendications 1 à 9, dont la géométrie de la virole a une symétrie de réflexion d'ordre 2 et/ou dont la géométrie de la virole a une symétrie de rotation d'ordre 2.
11. Ensemble monolithique selon l'une des revendications 1 à 10 dans lequel le ou les point (s) d'attache du spiral simple ou double est (sont) plus proche(s) de l'ouverture centrale de la virole que ne l'est le contour de la virole.
12. Ensemble monolithique selon l'une des revendications 1 à 11, l'ensemble comprenant une virole (100) comprenant un alésage (101) destiné à recevoir un axe de balancier, au moins une première partie (102) et une deuxième partie (103), les première et deuxième parties étant séparées par un plan (104) perpendiculaire à l'axe (107) de l'alésage, un élément (105) d'attache de la virole à un ressort spiral étant exclusivement situé sur la première partie et un élément

(106) de liaison de la virole à l'axe de balancier étant essentiellement, voire exclusivement, situé sur la deuxième partie.

13. Procédé de fabrication d'un ensemble monolithique selon la revendication 12, dans lequel on réalise le ressort spiral sur une partie différente de celle où se trouvent les surfaces d'appui de la virole contre l'axe de balancier.
14. Procédé de fabrication selon la revendication 13, dans lequel on utilise comme matériau de départ une tranche SOI dont la couche de SiO_2 a une épaisseur supérieure à 3 microns.
15. Oscillateur comprenant un ensemble monolithique selon l'une des revendications 1 à 12 et un axe de balancier à section circulaire.
16. Mouvement horloger ou pièce d'horlogerie comprenant un ensemble monolithique selon l'une des revendications 1 à 12 ou comprenant un oscillateur selon la revendication précédente.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

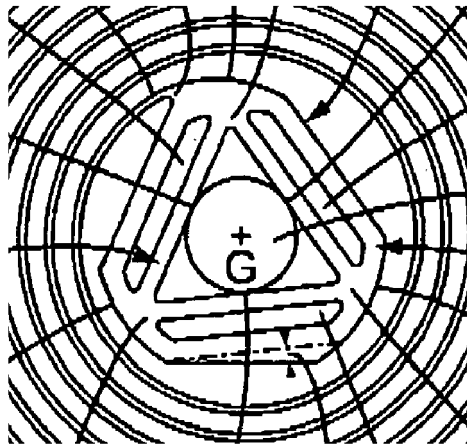


Fig. 1
(art antérieur)

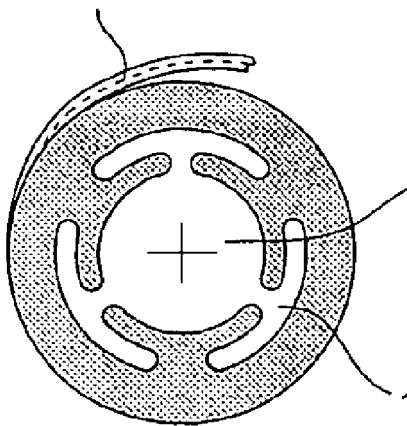


Fig. 2
(art antérieur)

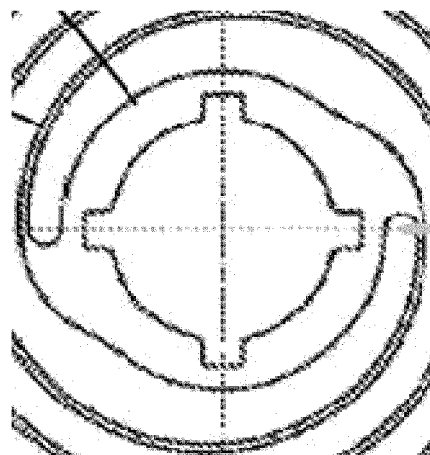


Fig. 3
(art antérieur)

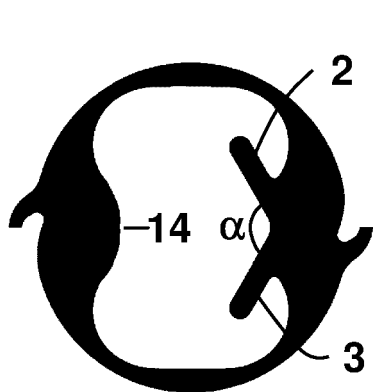
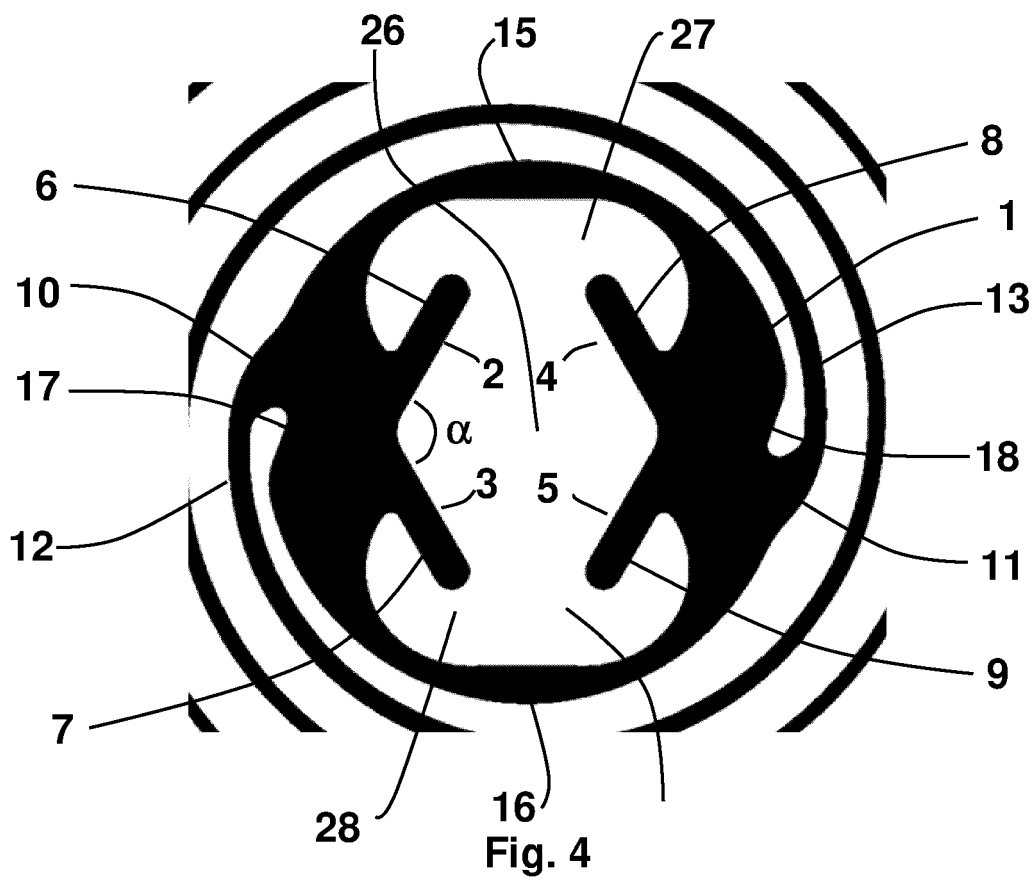


Fig. 5

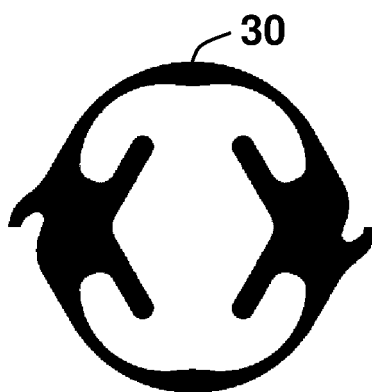


Fig. 6

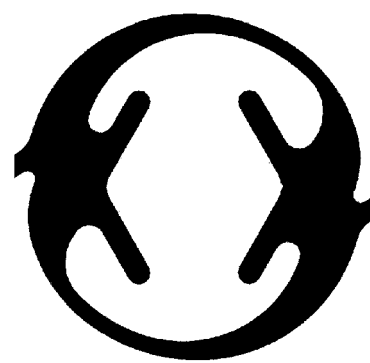


Fig. 7

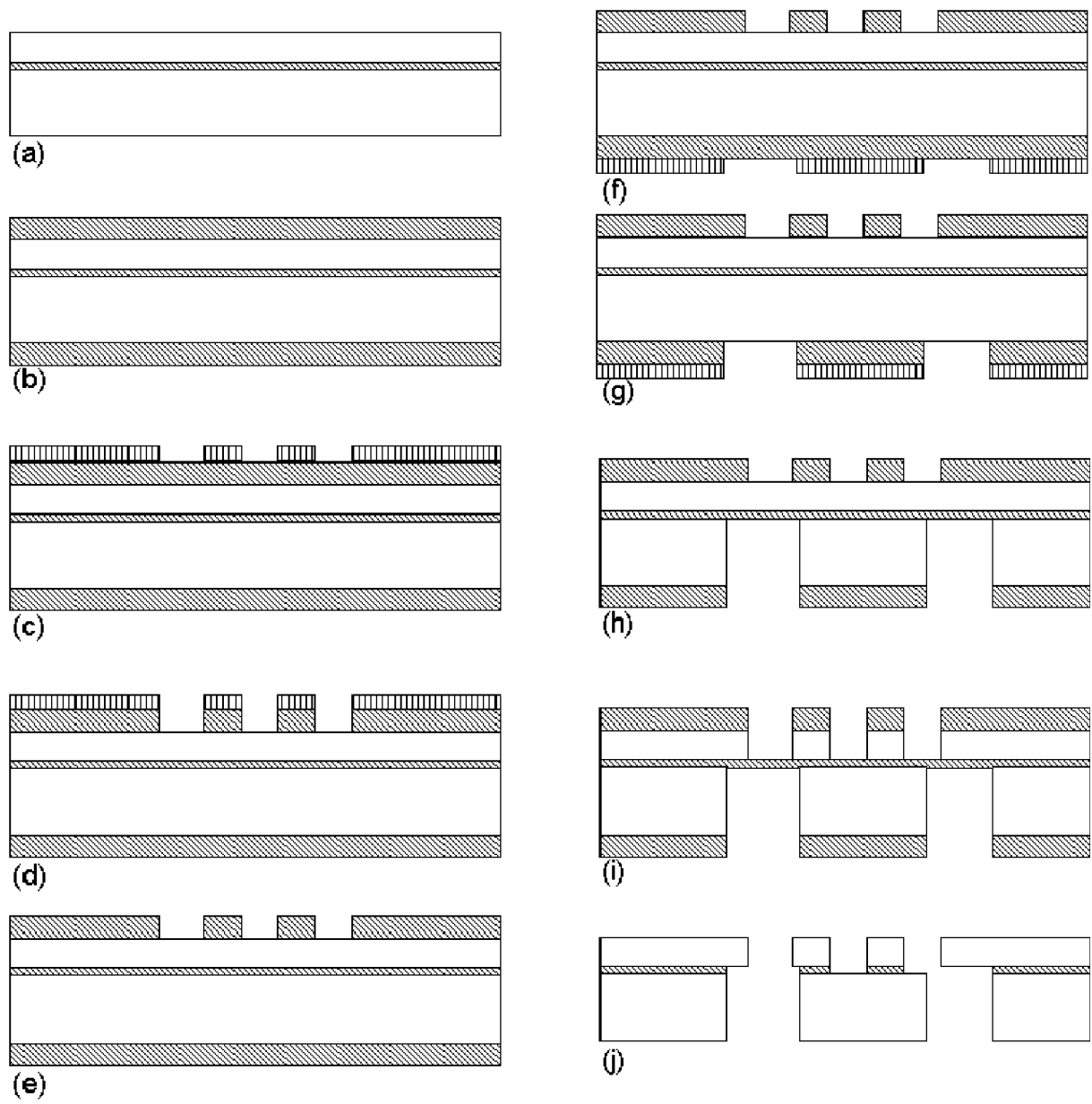


Fig. 8

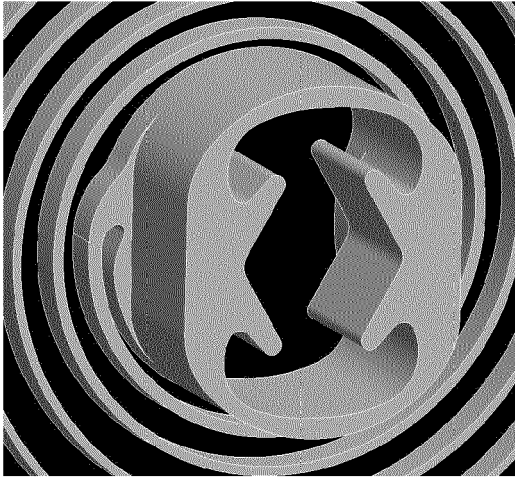


Fig. 9

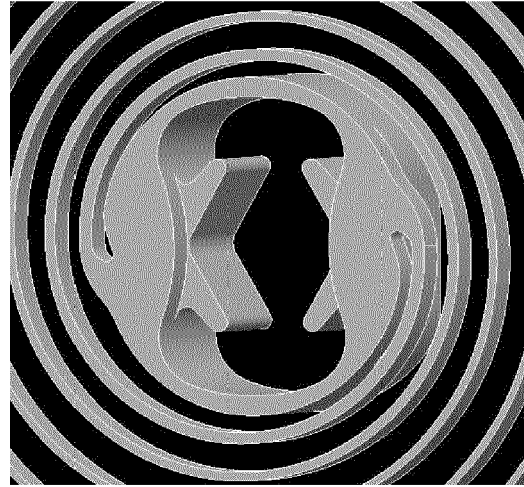


Fig. 10

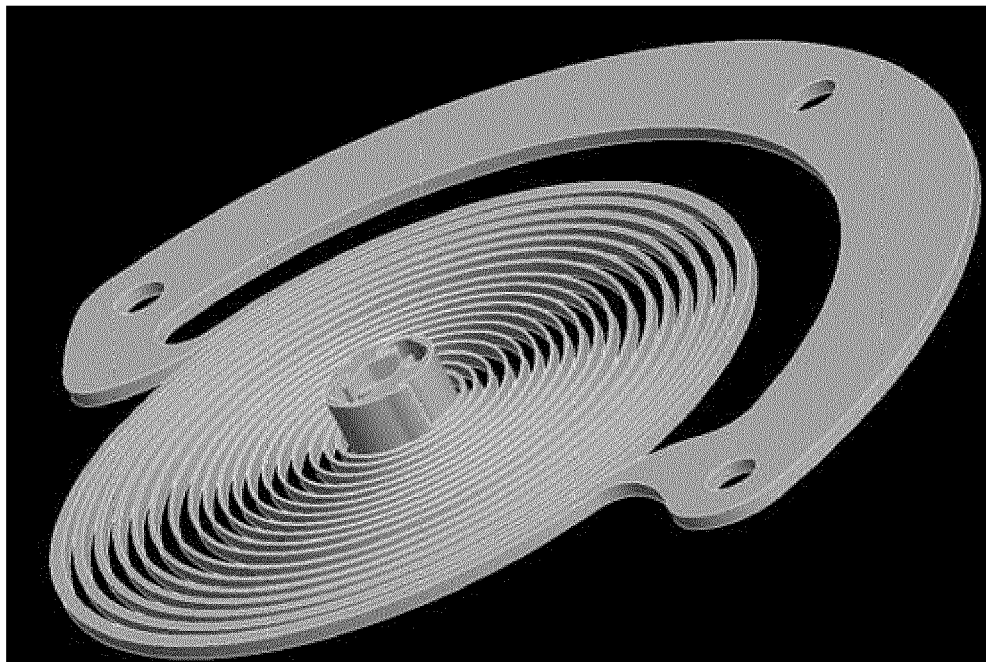


Fig. 11

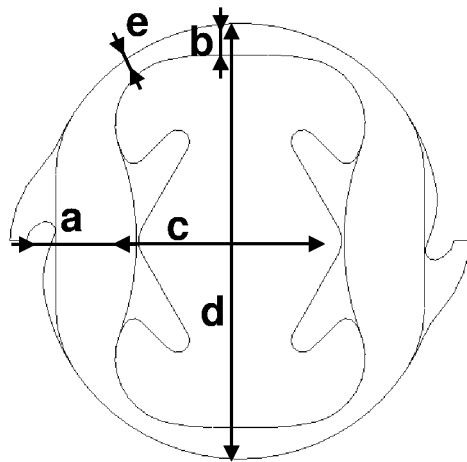


Fig. 12

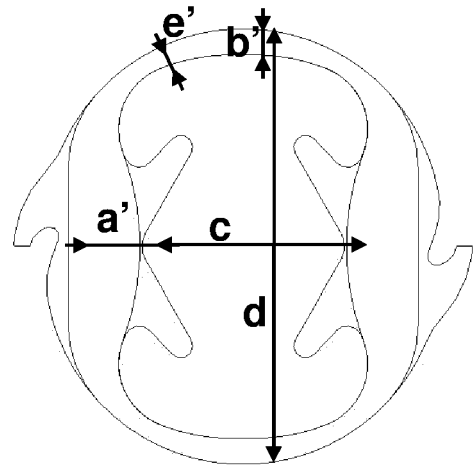


Fig. 13

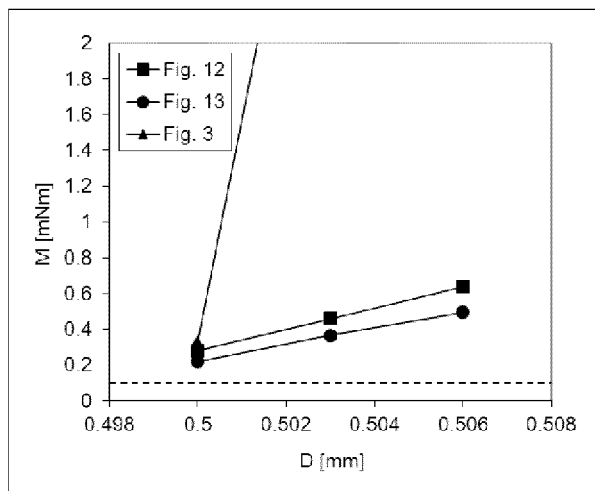


Fig. 14

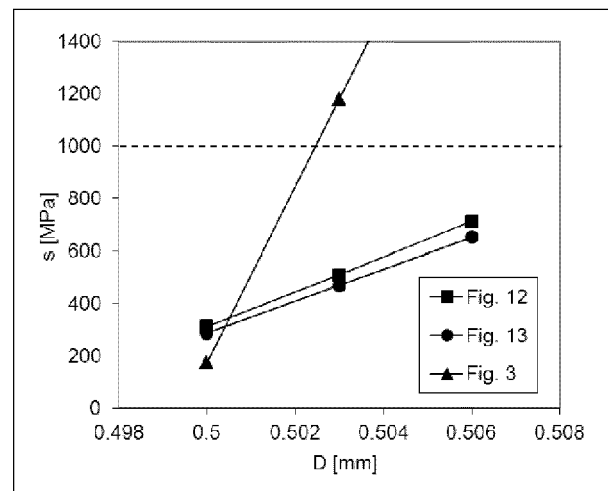


Fig. 15

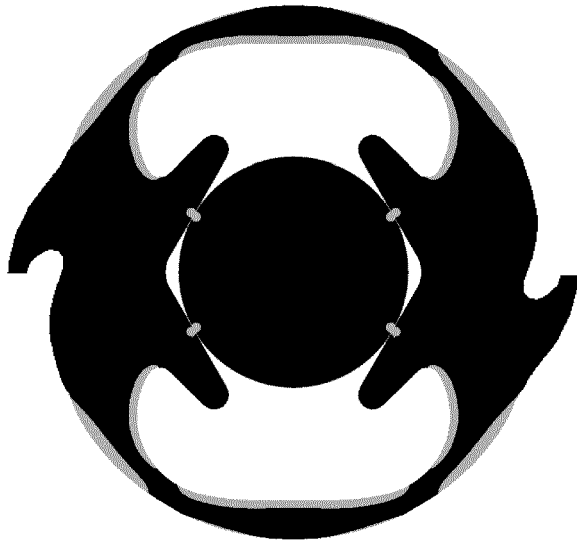


Fig. 16

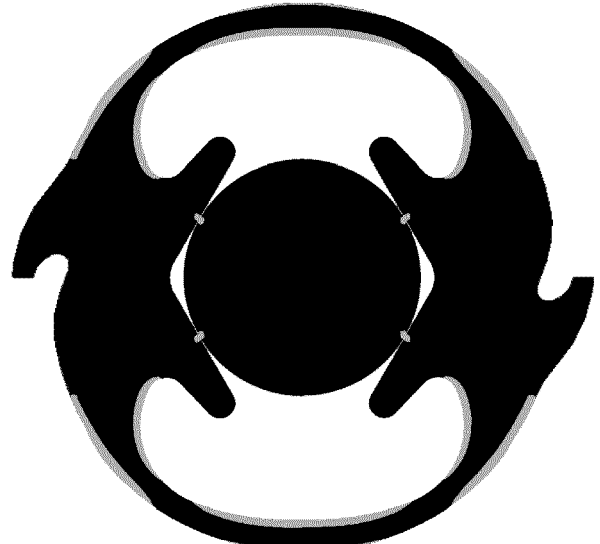


Fig. 17

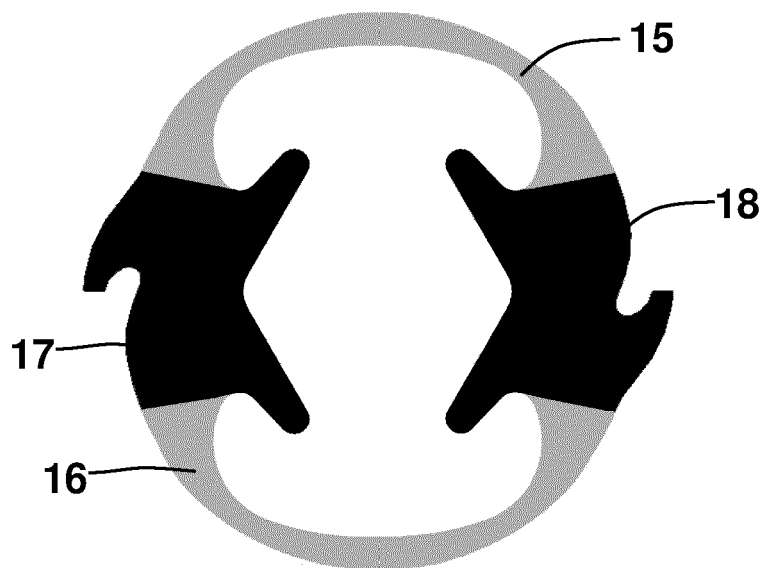


Fig. 18

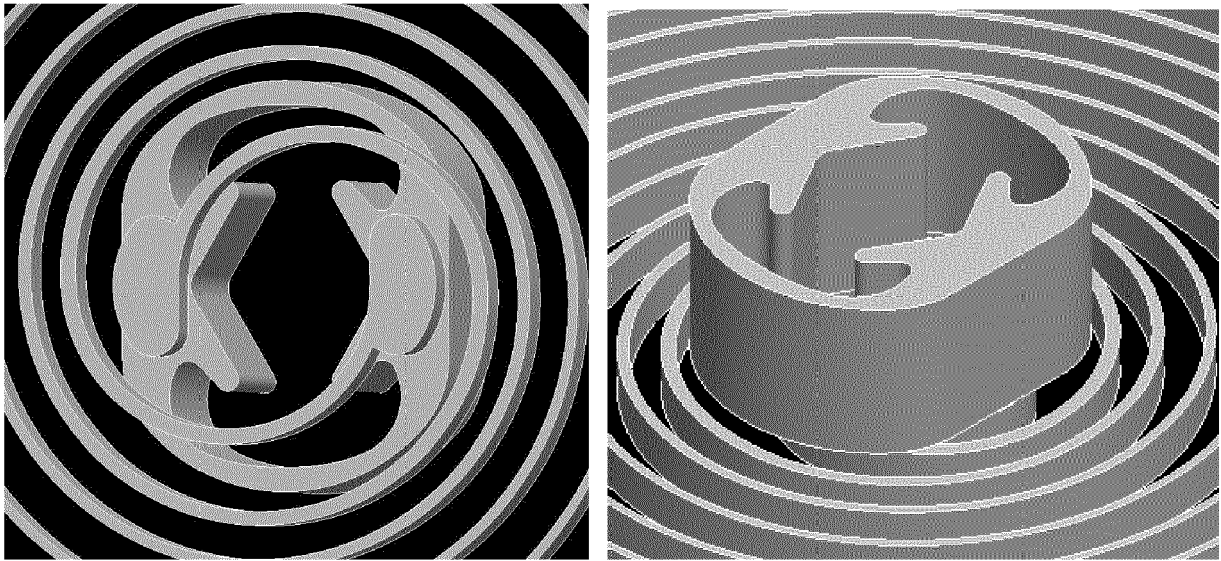


Fig. 19

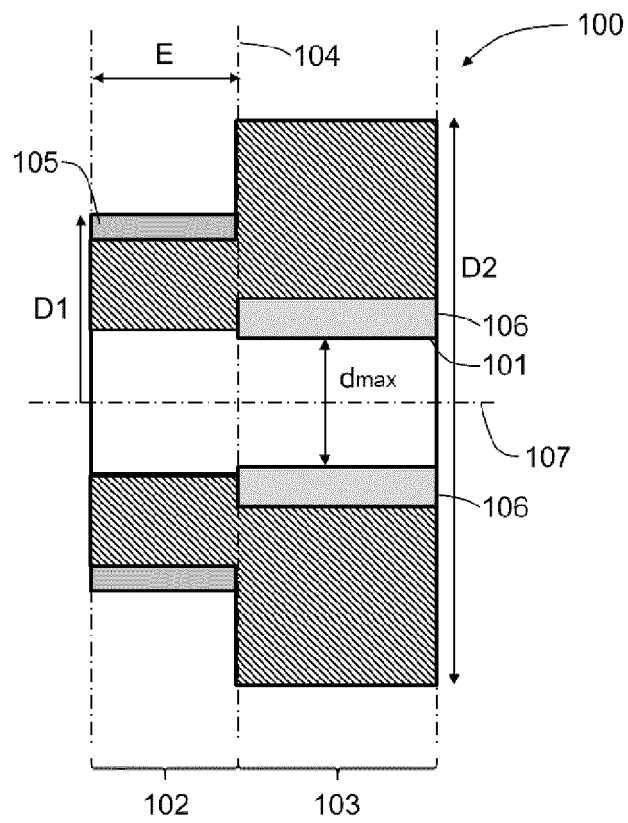


Fig. 20

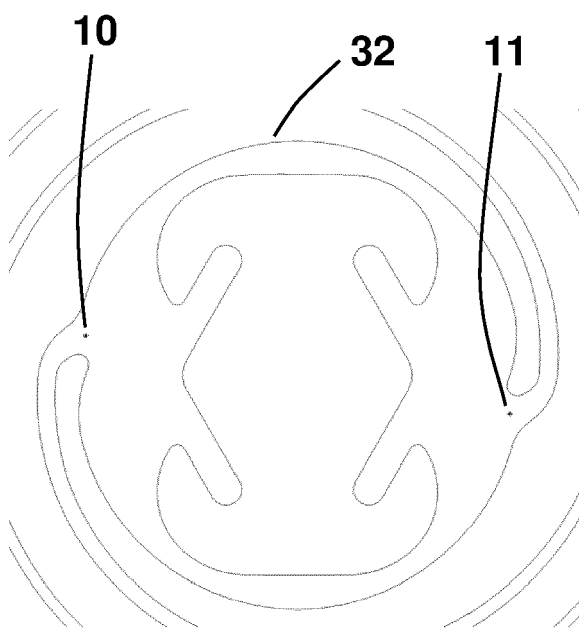


Fig. 21

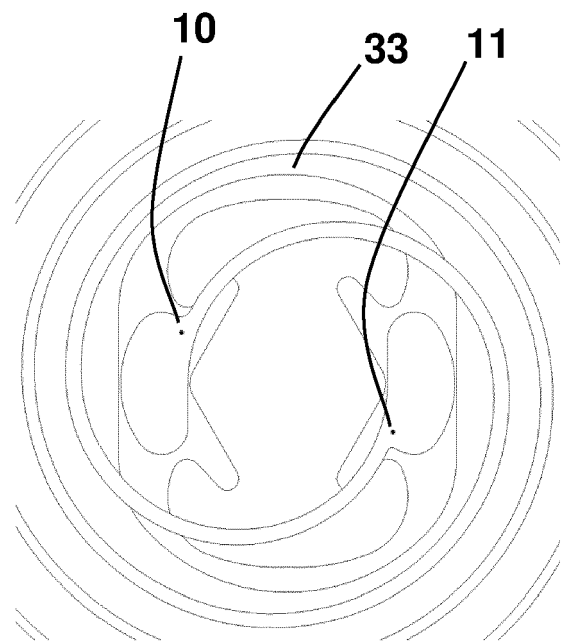


Fig. 22



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 23 17 3087

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	EP 1 818 736 A1 (SWATCH GROUP RES & DEV LTD [CH]) 15 août 2007 (2007-08-15)	1, 2, 4-7, 11, 15, 16	INV. G04B17/34
Y	* abrégé; figure 4 * * alinéa [0018]; figure 4 *	12-14	
X, D	WO 2011/026725 A1 (MANUF ET FABRIQUE DE MONTRES ET CHRONOMETRES ULYSSE NARDIN LE LOCLE S) 10 mars 2011 (2011-03-10) * figure 1 *	1, 3, 8-10, 15, 16	
X, D	EP 1 655 642 A2 (ETA SA MFT HORLOGERE SUISSE [CH]) 10 mai 2006 (2006-05-10) * alinéa [0027]; figure 10 *	1, 2, 4-7, 11, 15, 16	
Y, D	EP 2 104 007 A1 (NIVAROX SA [CH]) 23 septembre 2009 (2009-09-23) * alinéas [0014], [0035], [0036]; revendications 1, 3, 4, 5, 6; figures 11, 16, 17 *	12-14	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 28 juin 2023	Examineur Pirozzi, Giuseppe
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		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	

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

EP 23 17 3087

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.

28-06-2023

10

15

20

25

30

35

40

45

50

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1818736	A1	15-08-2007	AT 445177 T	15-10-2009
			CN 101379445 A	04-03-2009
			EP 1818736 A1	15-08-2007
			EP 1984794 A1	29-10-2008
			HK 1129468 A1	27-11-2009
			JP 5243272 B2	24-07-2013
			JP 2009526215 A	16-07-2009
			KR 20080092921 A	16-10-2008
			TW 200801868 A	01-01-2008
			US 2010061192 A1	11-03-2010
			WO 2007090806 A1	16-08-2007

WO 2011026725	A1	10-03-2011	AU 2010291399 A1	09-02-2012
			CH 701783 A1	15-03-2011
			CN 102472996 A	23-05-2012
			EP 2476028 A1	18-07-2012
			ES 2431071 T3	25-11-2013
			JP 5507690 B2	28-05-2014
			JP 2013504048 A	04-02-2013
			KR 20120056801 A	04-06-2012
			RU 2011149975 A	20-10-2013
			SG 176685 A1	30-01-2012
			US 2012106303 A1	03-05-2012
			US 2014254330 A1	11-09-2014
			US 2014254331 A1	11-09-2014
			WO 2011026725 A1	10-03-2011

EP 1655642	A2	10-05-2006	AT 486304 T	15-11-2010
			CN 1745341 A	08-03-2006
			EP 1445670 A1	11-08-2004
			EP 1593004 A2	09-11-2005
			EP 1655642 A2	10-05-2006
			EP 2175328 A2	14-04-2010
			HK 1084737 A1	04-08-2006
			JP 5122073 B2	16-01-2013
			JP 5389999 B2	15-01-2014
			JP 2006516718 A	06-07-2006
			JP 2013015534 A	24-01-2013
			KR 20050098881 A	12-10-2005
			TW 200426547 A	01-12-2004
			US 2006055097 A1	16-03-2006
			US 2015277382 A1	01-10-2015
			US 2019107809 A1	11-04-2019
			WO 2004070476 A2	19-08-2004

EP 2104007	A1	23-09-2009	EP 2104007 A1	23-09-2009

EPO FORM P0460

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

55

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

EP 23 17 3087

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.

28-06-2023

10

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
		TW 201001103 A	01-01-2010
		WO 2009115470 A1	24-09-2009

15

20

25

30

35

40

45

50

EPO FORM P0460

55

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 1826634 A [0005]
- EP 1513029 A [0006] [0017] [0018]
- EP 2003523 A [0006] [0017] [0018]
- EP 1655642 A [0007] [0017] [0019] [0046] [0065]
- WO 2011026275 A [0008]
- WO 2011026725 A [0017] [0020]
- EP 2151722 A1 [0022]
- EP 1835339 A [0046]
- EP 2104007 A [0046]
- EP 1422436 A [0049]