

(19)



(11)

EP 2 175 328 A2

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
14.04.2010 Bulletin 2010/15

(51) Int Cl.:
G04B 17/06 (2006.01) G04B 17/34 (2006.01)
G04D 3/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **10151818.1**

(22) Date de dépôt: **02.02.2004**

(84) Etats contractants désignés:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR

• **Trümpy, Kaspar**
4500, Soleures (CH)

(30) Priorité: **06.02.2003 EP 03075362**

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

(62) Numéro(s) de document de la (des) demande(s) initiale(s) en application de l'article 76 CBE:
04707219.4 / 1 593 004

(71) Demandeur: **ETA SA Manufacture Horlogère**
Suisse
2540 Grenchen (CH)

Remarques:

Cette demande a été déposée le 27-01-2010 comme demande divisionnaire de la demande mentionnée sous le code INID 62.

(72) Inventeurs:
• **Conus, Thierry**
2543, Lengnau (CH)

(54) **Spiral de résonateur balancier-spiral et son procédé de fabrication**

(57) Le spiral (10) comporte des spires de section rectangulaire ($h \times e$), dont le pas p et/ou l'épaisseur e peut varier depuis la courbe à l'intérieur (11) jusqu'à la courbe à l'extérieur (14), ou dont l'enroulement peut s'écarter du tracé d'une spirale parfaite. La courbe à l'in-

térieur (11) peut en outre être prolongée par une rondelle autobloquante (17) permettant une fixation sans jeu du spiral sur l'axe du balancier.

Le spiral est fabriqué par photolithographie et croissance galvanique, ou par micro-usinage d'un matériau amorphe ou cristallin, tel qu'une plaquette de silicium.

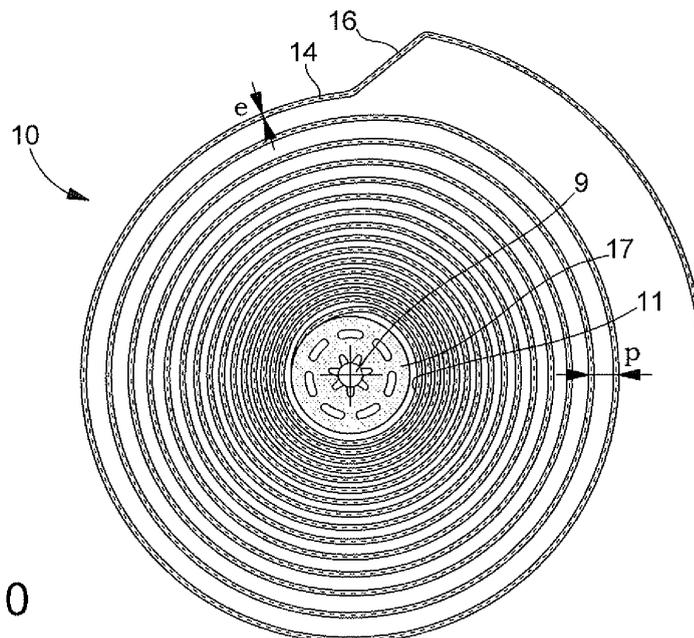


Fig.10

EP 2 175 328 A2

Description

[0001] La présente invention a pour objet un spiral plat de résonateur balancier-spiral obtenu par un procédé de fabrication permettant d'améliorer l'isochronisme en agissant d'une part sur des paramètres de construction du spiral en tant que tel, d'autre part sur un mode de fixation sur l'axe de balancier permettant de réduire l'écart géométrique inhérent aux modes de fixation usuels entre le point d'origine de la spirale d'Archimède et l'axe de rotation du balancier. Dans la description qui suit, on entend par isochronisme, les écarts de marche en fonction des variations d'amplitude d'oscillation du balancier, ainsi que les écarts de marche entre la position horizontale et les positions verticales de la montre.

[0002] De façon connue un spiral, ayant des spires de section et de pas uniformes, permet, par une conformation particulière de la courbe à l'intérieur et de la courbe à l'extérieur dans le plan du spiral ou le plus souvent dans des plans différents, d'obtenir un développement concentrique du spiral et d'avoir un déplacement du centre de masse du spiral et une variation de l'inertie du spiral au cours du développement minimisant les perturbations de marche en fonction de l'amplitude et des positions du spiral par rapport au vecteur gravité. Outre le fait que la réalisation d'un tel spiral exige une grande habileté, l'encombrement en hauteur constitue un inconvénient certain pour son utilisation dans des montres bracelets devant avoir, pour des raisons évidentes d'esthétique, une épaisseur la moins grande possible.

[0003] Pour cette raison on préfère encore utiliser un spiral plat, tel que celui représenté à la figure 1. Un tel spiral est fabriqué de façon connue par estrapadage à partir d'un fil ou d'une bande métallique de section constante sur toute sa longueur, et possède au repos un pas constant entre les spires. Comme on le voit sur la figure 1, la courbe à l'intérieur est fixée, par exemple par soudeuse laser, sur une virole 20, chassée sur l'axe 9 d'un balancier 8.

[0004] Par rapport à cet état de la technique, en ce qui concerne le pas entre les spires, il convient toutefois de mentionner le brevet CH 465 537, déposé en 1966, dans lequel est décrit un procédé permettant de fabriquer à partir d'une bande ou d'un fil métallique de section constante, enroulé dans le sillon d'une matrice, puis recuit et trempé, des spiraux ayant une configuration quelconque, en particulier avec un pas variable. A la meilleure connaissance de la demanderesse, aucun produit de ce type n'a été mis sur le marché, ce qui permet de supposer que le procédé de fabrication n'était, techniquement ou économiquement, pas satisfaisant.

[0005] En ce qui concerne la variation de l'épaisseur d'une bande métallique enroulée, on peut mentionner le brevet GB 1020 456 qui décrit la fabrication d'un ressort de barillet par soudures bout à bout de lames ayant des sections croissantes depuis le centre jusqu'à la périphérie. Un tel ressort est conçu, à encombrement égal, pour augmenter la réserve de marche, mais il est bien évident

qu'en appliquant ce procédé de fabrication à un spiral, la présence de soudures ne permettrait pas d'avoir un développement concentrique et d'obtenir un isochronisme reproductible d'un spiral à l'autre.

5 **[0006]** Ce même principe avait d'ailleurs déjà été proposé dans un brevet US 209 642 de 1878 pour améliorer l'isochronisme d'un spiral construit avec une spire à l'intérieur de plus faible section. Comme on le verra dans la description détaillée, l'expérience contredit cette affirmation.

10 **[0007]** L'invention a donc pour objet un spiral plat et des procédés de fabrication par micro-usinage ou croissance galvanique, permettant de choisir de façon commode les paramètres de construction les plus favorables en vue d'améliorer l'isochronisme par la forme du spiral ainsi que par les moyens de fixation.

15 **[0008]** A cet effet l'invention concerne un spiral plat, formé d'une lame composée d'une succession de spires ayant entre elles un pas "p", pour un mécanisme réglant à balancier, ledit spiral étant obtenu par un procédé de fabrication qui permet de se rapprocher d'un isochronisme parfait. Les spires de section rectangulaire sont formées en un seul matériau continu depuis la courbe à l'intérieur jusqu'à la courbe à l'extérieur, mais présentent, sur certaines portions comprises entre l'attache au centre et l'attache à l'extérieur, une section "s" non uniforme et/ou possèdent une ou plusieurs portions conformées en dehors du tracé d'une spirale parfaite. L'expression "section non uniforme" signifie que, pour une lame ayant 20 une hauteur "h" constante, l'épaisseur "e" d'une portion choisie peut être soit supérieure, soit inférieure à l'épaisseur du reste de la lame constituant le spiral.

25 **[0009]** Comme cela sera expliqué plus loin dans la description détaillée, le procédé de fabrication fait appel aux micro-techniques, tel que la photolithographie et l'électrodéposition d'un métal ou d'un alliage, ou le micro-usinage d'une plaquette d'épaisseur "h" réalisé en un matériau amorphe ou cristallin tel que du silicium sous forme monocristalline ou polycristalline.

30 **[0010]** Selon un premier mode de réalisation, la section "s" des spires augmente progressivement depuis la courbe à l'extérieur jusqu'à la courbe à l'intérieur.

35 **[0011]** Selon un deuxième mode de réalisation, qui peut être combiné avec le premier mode de réalisation, le pas "p" entre les spires diminue régulièrement depuis la courbe à l'extérieur jusqu'à la courbe à l'intérieur.

40 **[0012]** Selon encore un autre mode de réalisation, il est possible de sélectionner une portion de spire déterminée et de faire localement varier la largeur de lame pour agir sur d'autres paramètres favorables à l'isochronisme. Cette augmentation peut être réalisée par exemple sur la courbe à l'intérieur, sur la courbe à l'extérieur ou en même temps sur les deux courbes, ou en de multiples autres endroits sur d'autres portions du spiral.

45 **[0013]** Il est également possible d'obtenir un spiral ayant une portion de spire s'écartant de la courbe d'une spirale parfaite, en ayant par exemple une courbe à l'intérieur de type Grossmann.

[0014] L'invention offre en outre l'avantage de pouvoir, en même temps que le spiral en tant que tel, fabriquer le moyen de fixation sur l'axe de balancier, ce moyen de fixation étant formé par une rondelle autoblocante ayant au centre, par exemple, un contour en étoile et comportant des évidements dans son pourtour pour lui conférer une élasticité suffisante au montage et éviter un écart entre le point d'origine de la spirale d'Archimède et l'axe de rotation du balancier.

[0015] Pour un spiral en métal ou alliage, le procédé de fabrication consiste fondamentalement à appliquer la technique LIGA pour former un moule correspondant au profil souhaité par le spiral. Compte-tenu des propriétés des photorésists actuellement disponibles sur le marché, il est possible d'ajuster l'épaisseur de la couche de photorésist pour obtenir toute la gamme des spiraux avec des hauteurs de lame allant jusqu'à quelques dixièmes de millimètre.

[0016] Pour un spiral en un matériau amorphe ou cristallin, le procédé consiste fondamentalement à effectuer une gravure d'une plaquette dudit matériau à travers des masques.

[0017] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description de différents exemples de réalisation donnés à titre illustratif et non limitatif en référence aux dessins annexés dans lesquels:

- la figure 1 représente un balancier-spiral de l'art antérieur;
- la figure 2 est une représentation agrandie du spiral de la figure 1 ;
- la figure 3A correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec le spiral représenté à la figure 2;
- la figure 3B correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec un autre spiral de l'art antérieur;
- la figure 4 représente un premier mode de réalisation d'un spiral selon l'invention;
- la figure 5 correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec le spiral de la figure 4;
- la figure 6 représente un deuxième mode de réalisation d'un spiral selon l'invention;
- la figure 7 correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec le spiral de la figure 6;
- la figure 8 représente un troisième mode de réalisation d'un spiral selon l'invention;
- la figure 9 correspond à un diagramme d'isochronisme obtenu avec le spiral de la figure 8;
- la figure 10 représente un mode de fixation d'un spiral selon l'invention, et
- les figures 10A à 10E représentent d'autres formes de fixation au centre.

[0018] La figure 1, partiellement arrachée, représente un balancier-spiral de l'art antérieur évoqué en préambule. Ses caractéristiques serviront de référence pour montrer les progrès significatifs apportés par l'invention au niveau de l'isochronisme. Le spiral 10 a l'extrémité de

sa courbe au centre 11 fixée de façon classique sur une virole 20 chassée sur l'axe 9 du balancier 8 pivoté entre la platine 7 et le coq 6. Le dispositif réglant comporte en outre de façon connue un porte-piton 5 permettant de fixer la courbe à l'extérieur 14 du spiral 10 et éventuellement une raquette 4 pourvue de goupilles 3 et d'une queue de raquette 2 en regard d'une graduation 1. Sur la figure 2, qui est une représentation agrandie du spiral 10 seul, on voit que ledit spiral est formé de 14 spires ayant une section rectangulaire uniforme, par exemple de 0,05 x 0,30 mm depuis la courbe au centre 11 jusqu'à la courbe à l'extérieur 14, et que les spires présentent entre elles un pas constant p . Le point de fixation de la courbe au centre 11 est situé à une distance r du centre de pivotement du spiral, et celui de la courbe à l'extérieur 14, à une distance R , avant le coude 16. Dans cet exemple, r et R ont respectivement pour valeurs 0,57 mm et 2,46 mm. Ces valeurs de r et R , ainsi que nombre de spires, seront les mêmes dans la suite de la description, sauf indications contraires.

[0019] En se référant maintenant à la figure 3A on a représenté le diagramme d'isochronisme d'un spiral ayant les caractéristiques sus-indiquées. On a porté en abscisses l'amplitude d'oscillation du balancier exprimée en degrés par rapport à sa position d'équilibre. En ordonnées on a reporté l'écart de marche exprimé en seconde par jour. Ce diagramme comporte cinq courbes correspondant aux positions usuelles de mesures avec le balancier-spiral, horizontal (courbe 1), puis vertical (courbes 2 à 5, par rotation de 90° d'une courbe à l'autre). Le tracé en pointillés correspond à l'enveloppe de toutes les positions les plus défavorables. L'appréciation de l'écart de marche s'effectue traditionnellement en prenant en considération l'écart maximum de l'enveloppe pour une amplitude comprise entre 200° et 300°. Sur le diagramme de la figure 3A, on observe que cet écart maximum, avec ce spiral de référence de l'art antérieur, est de 4,7 s/j pour une amplitude de 236°.

[0020] A la figure 3B on a représenté le diagramme obtenu avec un spiral (non représenté) ayant les caractéristiques mentionnées dans le brevet US 209 642 cité en préambule, à savoir avec une épaisseur de lame variant entre 0,046 mm pour la courbe à l'extérieur 14 et 0,036 mm pour la courbe à l'intérieur 11. Contrairement à ce qu'on peut attendre d'après l'enseignement dudit brevet on observera que l'écart maximum a augmenté jusqu'à 7,7 s/j pour une amplitude de 230°.

[0021] En se référant maintenant aux figures 4 et 5 on décrit ci-après un premier mode de réalisation d'un spiral dont la fabrication par micro-usinage (photolithographie et croissance galvanique, ou gravure d'un matériau amorphe ou cristallin permet d'obtenir une géométrie favorable à l'isochronisme. Comme on peut le voir, le pas p entre une spire et la suivante diminue au fur et à mesure qu'on se rapproche du centre du spiral. Inversement, la section augmente depuis la courbe à l'extérieur 14 jusqu'à la courbe à l'intérieur 11. Etant donné que les procédés de fabrication confèrent à la lame une hauteur

constante, la variation de section correspond en fait à une variante de l'épaisseur qui passe de 0,036 mm pour la courbe à l'extérieur 14 à 0,046 mm pour la courbe à l'intérieur 11.

[0022] Sur le diagramme représenté à la figure 5, on voit que l'écart maximum est abaissé à 2,8 s/j pour une amplitude de 242°. On obtiendrait encore un résultat favorable sur cet écart maximum en agissant uniquement, soit sur le pas p , soit sur l'épaisseur e de la lame.

[0023] Les figures 6 et 7 correspondent à une deuxième mode de réalisation de type "Michel" pour la courbe à l'extérieur 14 et pour la courbe à l'intérieur 11. Les spires ont entre elles un pas constant et une section constante correspondant à une épaisseur constante de 0,042 mm, à l'exception de deux portions de spires pour lesquelles l'épaisseur est portée à 0,056 mm :

- une portion 12 de la courbe à l'intérieur 11 sur un secteur angulaire d'environ 80° dont la partie médiane se trouve sensiblement à - 110° d'un axe de référence Ox, et
- une portion 15 de la courbe à l'extérieur 14 sur un secteur angulaire d'environ 20° dont la partie médiane se trouve sensiblement à + 115° de l'axe de référence Ox.

[0024] Sur le diagramme représenté à la figure 7 on voit que l'écart maximum n'est plus que de 1,8 s/j. La valeur de la surépaisseur et les positionnements sur les spires ne sont donnés ci-dessus qu'à titre illustratif, et il est bien évident que l'homme de métier peut choisir d'avoir un plus grand nombre de zones de surépaisseur en différents endroits.

[0025] Les figures 8 et 9 correspondent à un troisième mode de réalisation dans lequel la courbe à l'intérieur 11 est de type Grossmann 13, c'est-à-dire en ayant une géométrie telle que celle décrite dans l'ouvrage "Théorie générale de l'horlogerie" de L. Defossez. Une telle géométrie est très délicate à obtenir par déformation d'une lame métallique. Le procédé de fabrication selon l'invention permet par contre d'obtenir très facilement une telle configuration sans l'intervention d'un personnel hautement qualifié. Le diagramme représenté à la figure 9 montre que l'écart maximum à 300° n'est que de 2,1 s/j.

[0026] Bien évidemment, compte tenu de la liberté de configuration que donnent les procédés de fabrication selon l'invention, il est possible de combiner les modes de réalisations précédemment décrits pour obtenir un spiral selon l'invention ayant un isochronisme amélioré.

[0027] A la figure 10 on a représenté un spiral correspondant au premier mode de réalisation (figure 4) dans lequel la virole 20 est remplacée par une rondelle autobloquante 17 formée en même temps que le spiral 10. Cette rondelle 17 présente en son centre un contour 19 tel qu'il permet de bloquer sans jeu l'axe 9 du balancier 8 en ayant une certaine élasticité procurée par des lumières 18 réparties autour du contour de blocage 19 représenté en étoile à la figure 10. Les figures 10A à 10E

montrent d'autres conformations possibles de la rondelle autobloquante 17 avec un contour de blocage 19 en triangle, en carré, hexagonal, circulaire ou en ogive. Lorsqu'on réalise l'ensemble spiral-rondelle autobloquante par photolithographie et croissance galvanique on peut avantageusement, au moyen d'une étape supplémentaire, réaliser ladite rondelle autobloquante 17 avec une épaisseur supérieure à la hauteur de la lame pour obtenir une meilleure tenue du spiral 10 sur l'axe 9 du balancier.

[0028] Un spiral selon l'invention en un matériau amorphe ou cristallin tel que du silicium peut être fabriqué en adaptant les procédés de micro-usinage déjà utilisés par exemple pour la fabrication de circuits intégrés ou d'accéléromètres à partir d'une plaquette de silicium. On peut notamment se référer aux procédés décrits dans les brevets US 4 571 661 et US 5 576 250 concernant des accéléromètres. Le procédé consiste fondamentalement en les étapes suivantes :

- appliquer une plaquette de silicium sur un substrat en créant une interface en SiO₂ isolante;
- amincir la plaquette jusqu'à la hauteur "h" de lame désirée selon la méthode décrite par C. Harendt et al. ("Wafer bonding and its application to silicon-on-insulator fabrication" Technical Digest MNE'90, 2nd Workshop, Berlin, November 90, p. 81-86);
- former par photolithographie un masquage correspondant au contour de spiral désiré;
- effectuer la gravure de la plaquette de silicium jusqu'au substrat, selon des procédés connus, telle qu'une attaque chimique par voie humide, un usinage à sec par plasma, ou une combinaison des deux; et
- séparer le spiral du substrat.

[0029] Compte-tenu des très petites dimensions d'un spiral, il est évidemment possible et avantageux de les fabriquer par lot à partir d'une unique plaquette de silicium.

[0030] Pour fabriquer un spiral selon l'invention en métal ou en alliage, on fait appel à la technique LIGA connue depuis le milieu des années 70. Dans une première étape le procédé consiste fondamentalement à étaler sur un substrat préalablement revêtu d'une couche sacrificielle un photorésist positif ou négatif sur une épaisseur correspondant à la hauteur "h" de lame désirée et former au moyen d'un masque par photolithographie et attaque chimique une structure en creux correspondant au contour désiré pour le spiral. Dans une deuxième étape, on remplit ladite structure en creux d'un métal ou d'un alliage métallique soit par électrodéposition comme indiqué par exemple dans le brevet US 4 661 212, soit par compression et frittage de nanoparticules, comme indiqué par exemple dans la demande de brevet US 2001/0038803.

[0031] Dans une dernière étape on libère le spiral du substrat par élimination de la couche sacrificielle.

Revendications

1. Mouvement horloger comprenant un résonateur balancier-spiral dont le spiral est monté sur un axe (9) de balancier (8) pivotant entre une platine (7) et un coq (6), ledit spiral (10) étant formé d'une lame composée d'une succession de spires ayant entre elles un pas "p", l'extrémité de la courbe à l'intérieur (11) étant rendue solidaire de l'axe (9) de balancier (8) et l'extrémité de la courbe à l'extérieur (14) étant fixée au coq (6) ou à une pièce solidaire de celui-ci, les spires étant formées d'une seule bande depuis la courbe à l'intérieur (11) jusqu'à la courbe à l'extérieur (14) **caractérisé en ce qu'**une portion de la courbe à l'extérieur (14) présente une section plus grande que celle de la lame formant toutes les autres spires et **en ce que** la courbe à l'intérieur a une conformation de type Grossmann. 5
10
15

2. Mouvement selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la courbe à l'intérieur (11) est prolongée par une rondelle autobloquante (17) formée en une même pièce que la lame et agissant comme une virole pour positionner ledit spiral sur l'axe (9) du balancier (8), permettant ainsi de maîtriser la distance et l'orientation du point d'origine de la spirale d'Archimède par rapport à l'axe de rotation du balancier (8) 20
25

3. Mouvement selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le spiral est formé en silicium sous forme monocristalline ou polycristalline. 30

4. Mouvement selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** que le spiral est formé en un matériau métallique ou un alliage métallique. 35

5. Mouvement selon la revendication 4 dépendante de la revendication 2, **caractérisé en ce que** la rondelle autobloquante (17) a une épaisseur supérieure à la hauteur "h" de la lame. 40

45

50

55

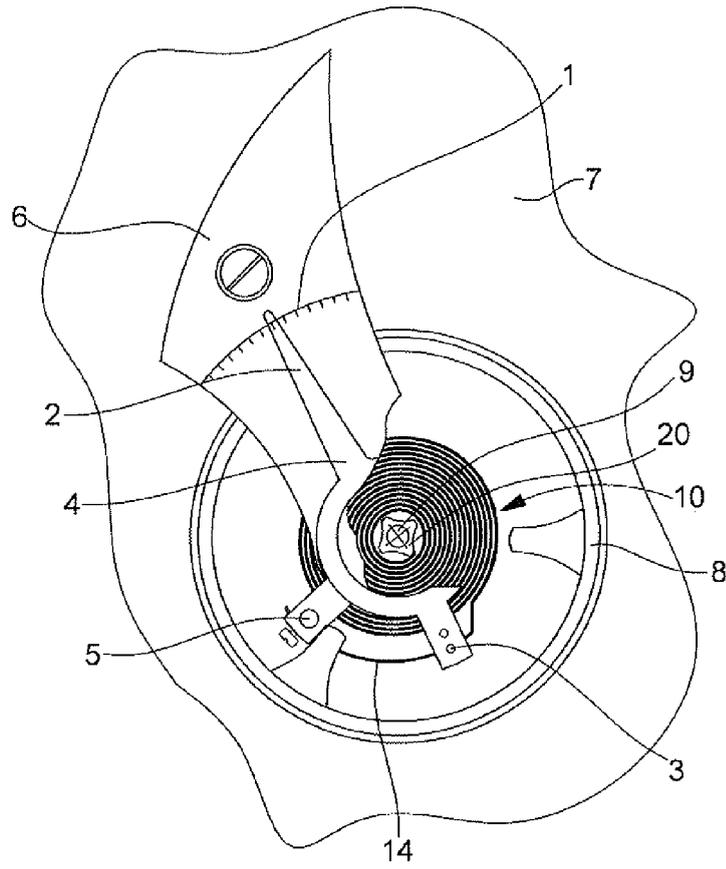


Fig.1

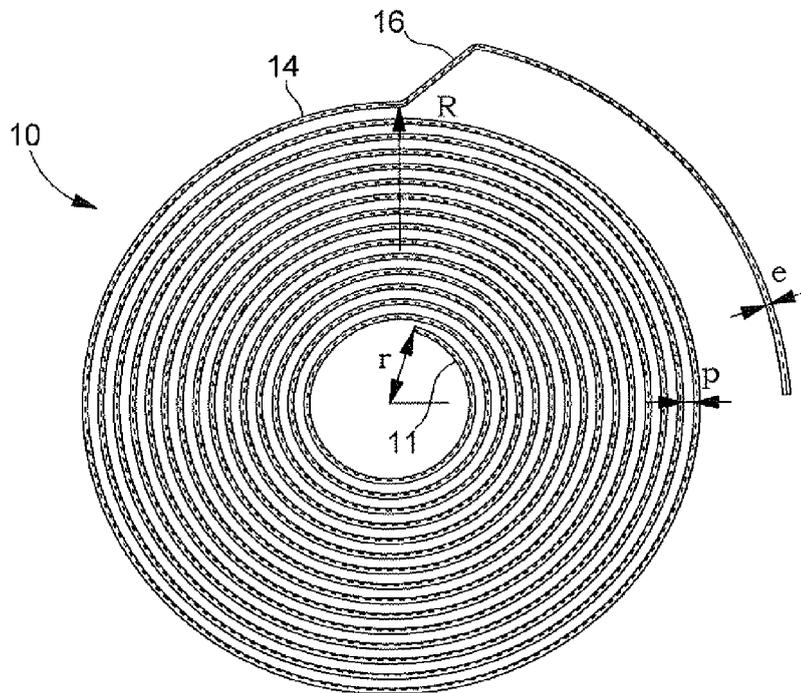


Fig.2

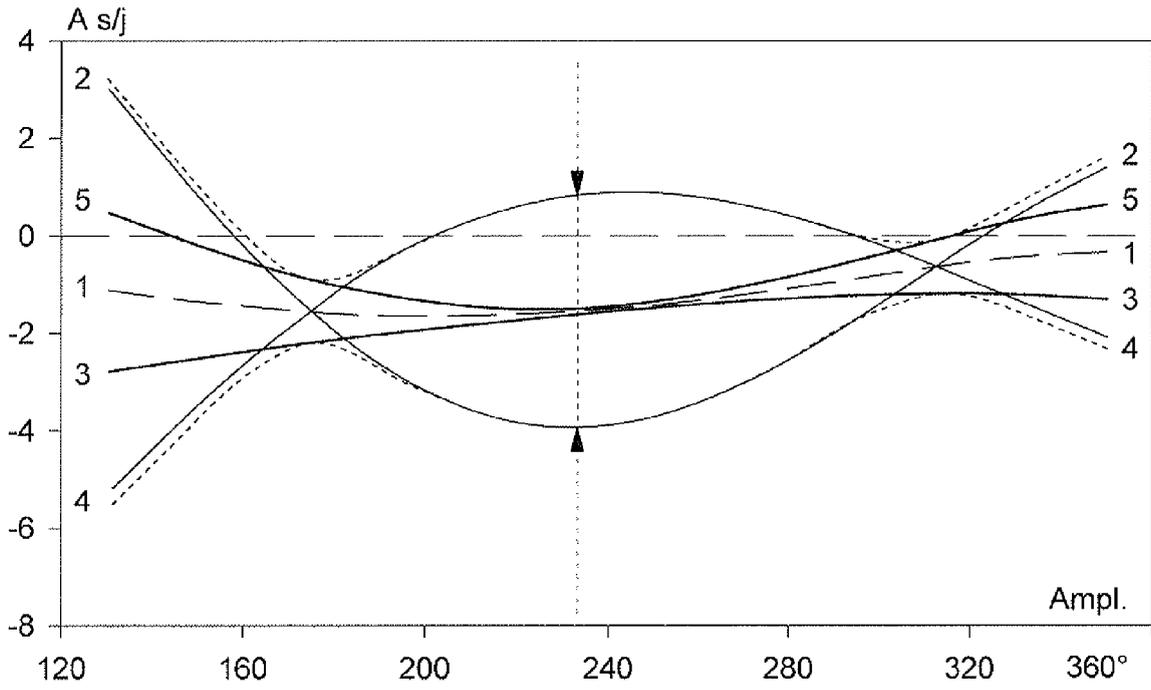


Fig.3a

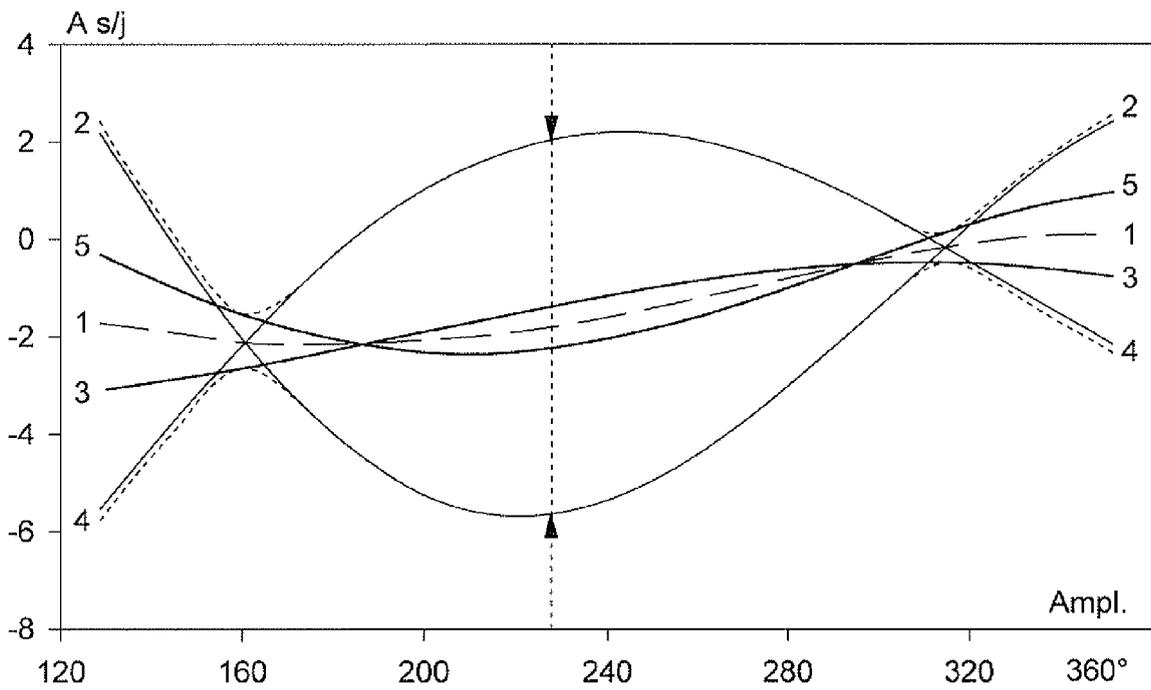


Fig.3b

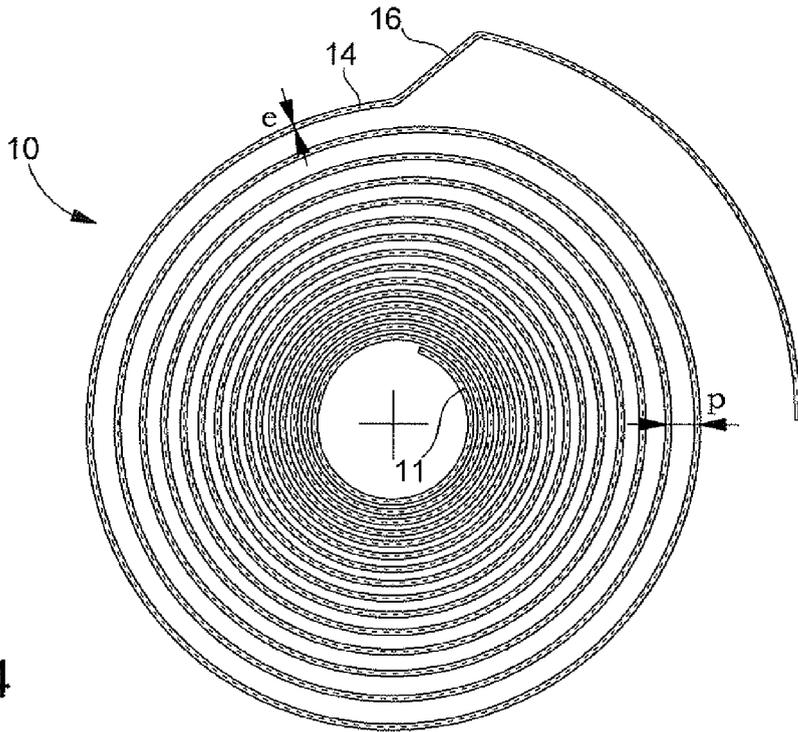


Fig.4

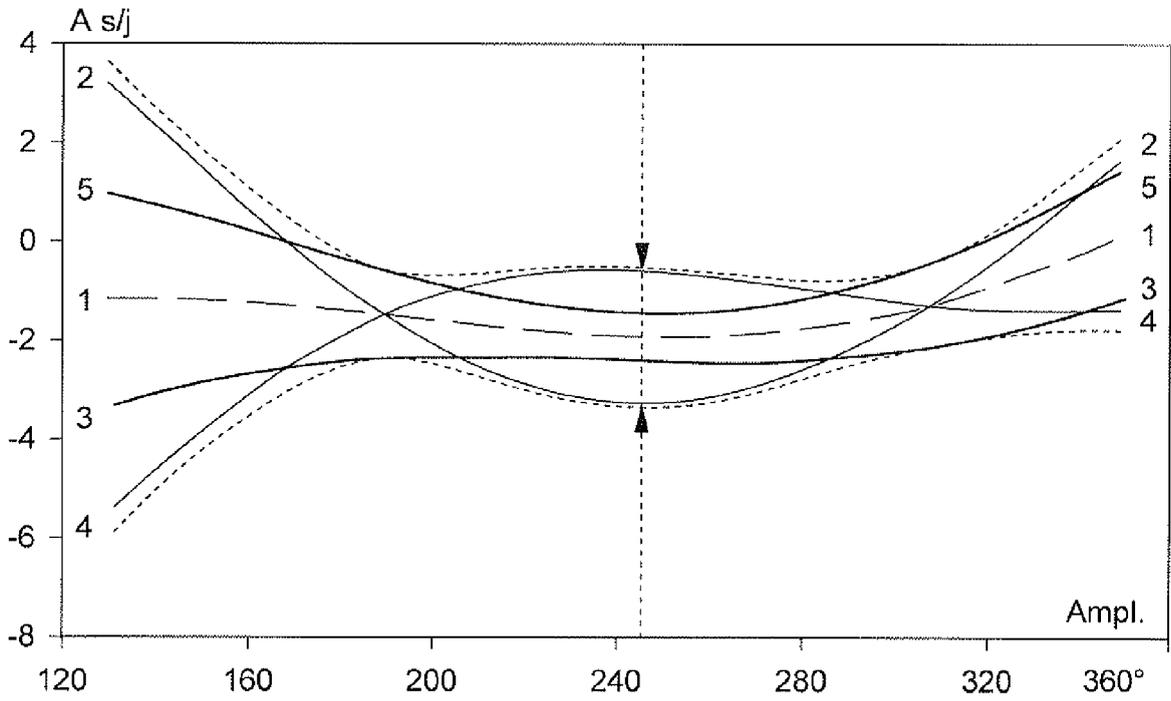


Fig.5

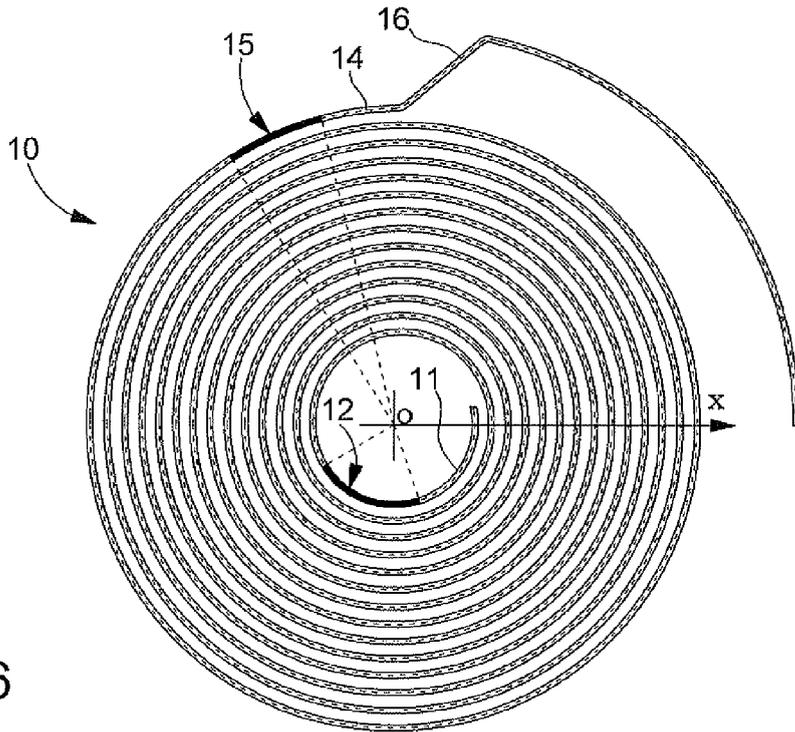


Fig. 6

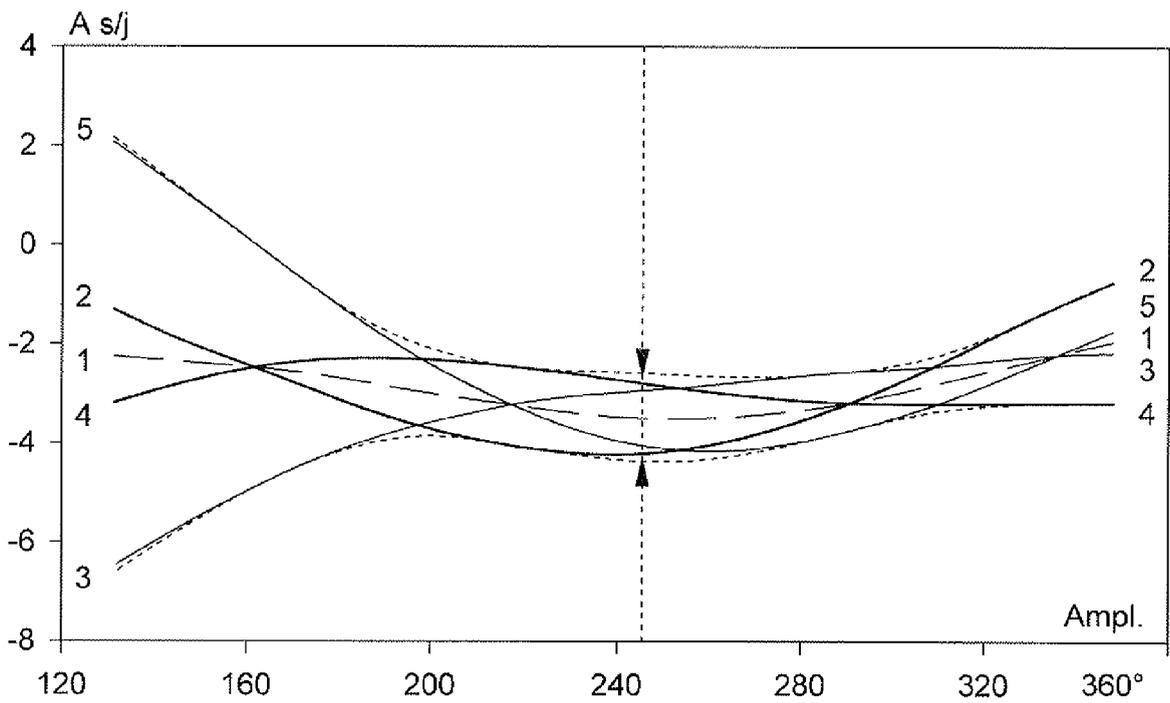


Fig. 7

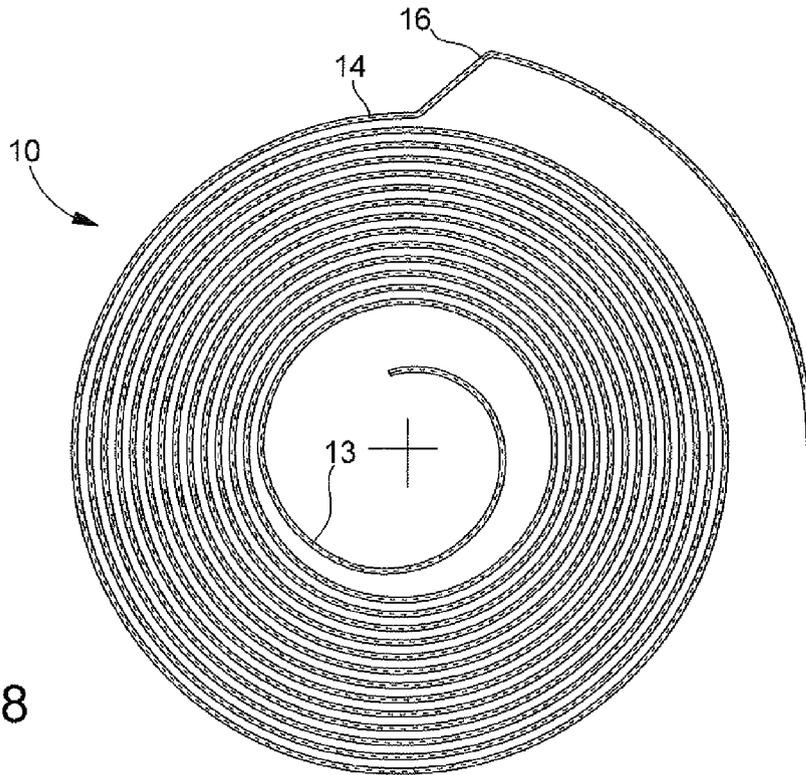


Fig.8

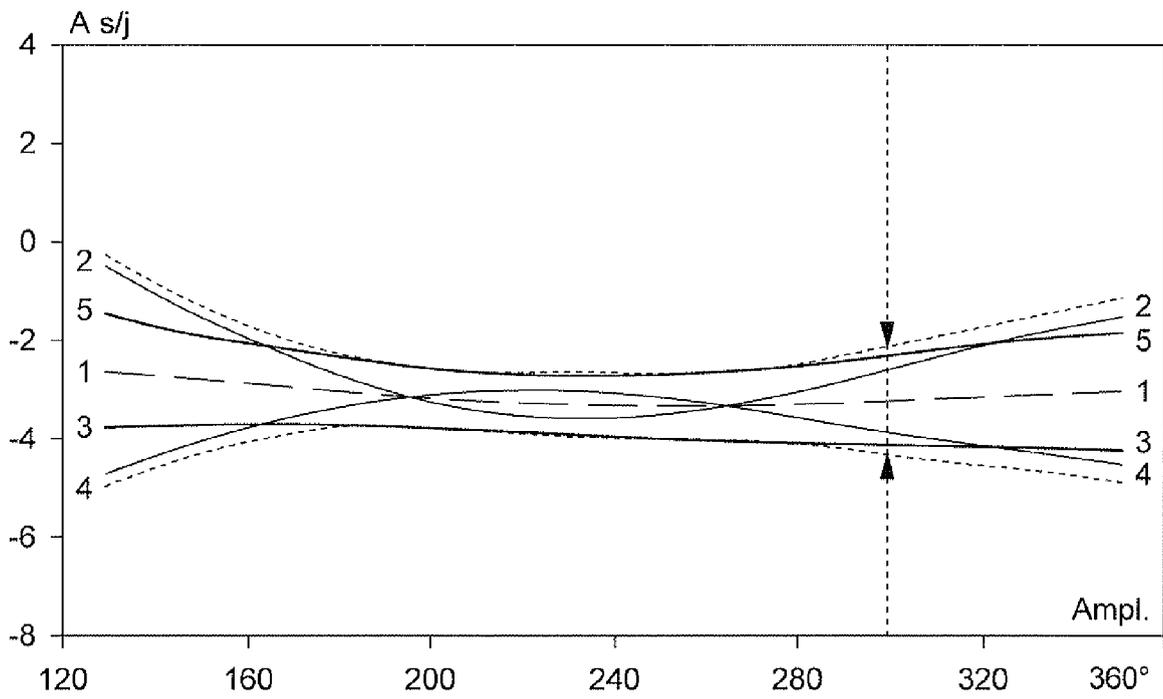


Fig.9

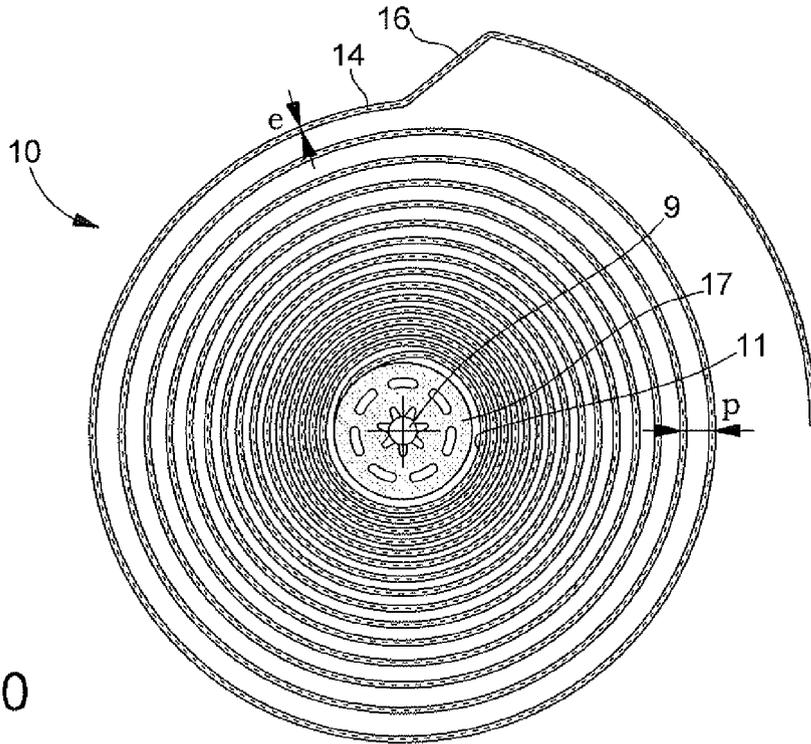


Fig.10

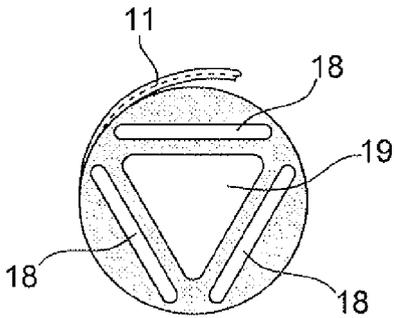


Fig.10A

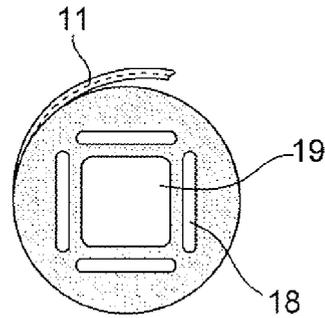


Fig.10B

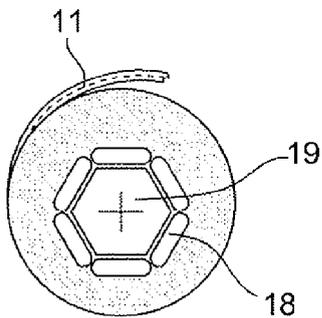


Fig.10C

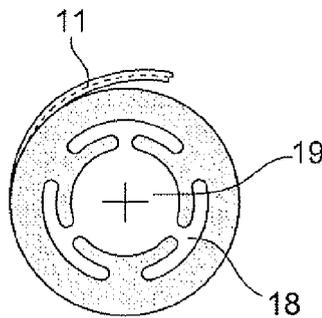


Fig.10D

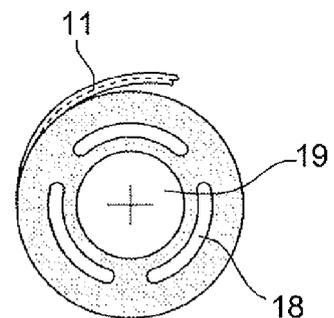


Fig.10E

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

- CH 465537 [0004]
- GB 1020456 A [0005]
- US 209642 A [0006] [0020]
- US 1878 A [0006]
- US 4571661 A [0028]
- US 5576250 A [0028]
- US 4661212 A [0030]
- US 20010038803 A [0030]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **C. Harendt et al.** Wafer bonding and its application to silicon-on-insulator fabrication. *Technical Digest MNE'90*, Novembre 1990, 81-86 [0028]