



DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
23.06.2021 Bulletin 2021/25

(51) Int Cl.:
G04B 1/14 (2006.01) G04B 17/06 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **19218414.1**

(22) Date de dépôt: **20.12.2019**

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
**BA ME
KH MA MD TN**

(72) Inventeur: **JEANNERET, Sylvain**
2013 Colombier (CH)

(74) Mandataire: **Micheli & Cie SA**
Rue de Genève 122
Case Postale 61
1226 Genève-Thônex (CH)

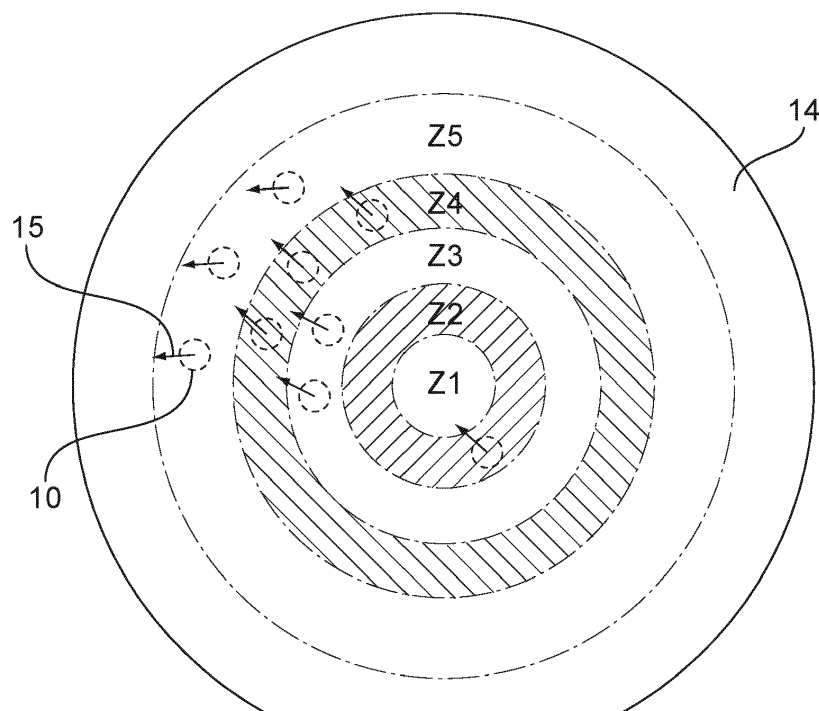
(71) Demandeur: **Patek Philippe SA Genève**
1204 Genève (CH)

(54) **PROCEDE DE FABRICATION DE RESSORTS HORLOGERS ET MASQUE DE GRAVURE POUR UN TEL PROCEDE**

(57) Le procédé de fabrication de ressorts horlogers selon l'invention comprend une étape consistant à graver les ressorts horlogers (10) dans une plaque (14) en matériau anisotrope. La gravure est effectuée de telle ma-

nière que les ressorts horlogers (10) aient des orientations différentes dans la plaque (14) pour réduire leur dispersion de raideur. L'invention porte aussi sur un masque de gravure pour la mise en œuvre de ce procédé.

Fig.4



Description

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication de ressorts horlogers. Par le terme « ressort » on entend tout élément déformable élastiquement pour accueillir de l'énergie et/ou produire une force ou un mouvement. Des exemples de ressort horloger sont les spiraux destinés à équiper des balanciers, les ressorts de rappel de bascule, de levier ou de marteau, les sautoirs ou les guidages flexibles.

[0002] La présente invention concerne plus particulièrement la fabrication de ressorts horlogers par gravure d'une plaque de matériau. Il est en effet maintenant bien connu dans l'horlogerie d'utiliser des techniques de gravure telles que gravure au laser, gravure au plasma, gravure ionique réactive profonde (dite DRIE) ou gravure humide pour fabriquer en grand nombre et de manière précise des composants horlogers. Le matériau de gravure le plus courant est le silicium. Plusieurs types de silicium ont été proposés comme matériau de gravure dans l'horlogerie, notamment le silicium monocristallin orienté suivant l'axe cristallographique <100> (cf. p.ex. le brevet EP 1422436), le silicium monocristallin orienté suivant l'axe cristallographique <111> (cf. p.ex. le brevet EP 2215531), le silicium monocristallin orienté suivant l'axe cristallographique <110> (cf. p.ex. le brevet EP 3056948) et le silicium polycristallin (cf. p.ex. la demande de brevet US 2018/0142749). Le silicium <111> et le silicium polycristallin sont isotropes. Le silicium <100> et le silicium <110> sont anisotropes. Le silicium <100> est le plus couramment utilisé.

[0003] Actuellement, sur une plaque de matériau de gravure on grave généralement plusieurs centaines de composants. Bien que les géométries de ces composants soient théoriquement identiques, en pratique les caractéristiques de gravure ne sont pas parfaitement homogènes sur toute la plaque. Les ressorts fabriqués dans une telle plaque ne peuvent donc pas avoir tous la même raideur. Cette dispersion de raideur oblige ainsi, par exemple, les fabricants horlogers à classer les spiraux en fonction de leur raideur et ensuite à les appairer avec des balanciers eux-mêmes classés en fonction de leur inertie afin d'obtenir la fréquence d'oscillation souhaitée. Le nombre de classes de spiraux par plaque de matériau de gravure peut être de plusieurs dizaines, ce qui impose de gérer des stocks importants de spiraux. De manière générale, la dispersion de raideur que connaissent les ressorts horlogers d'un même lot pose des problèmes en termes de précision de fonctionnement, que ce soit pour des oscillateurs mécaniques ou pour des systèmes de rappel.

[0004] La présente invention vise à atténuer la dispersion de raideur de ressorts horlogers obtenus à partir d'une même plaque de matériau de gravure.

[0005] A cette fin, il est proposé un procédé de fabrication de ressorts horlogers, comprenant une étape consistant à graver les ressorts horlogers dans au moins une partie de l'épaisseur d'une plaque, la plaque étant en un

matériau anisotrope dans ladite au moins une partie de l'épaisseur, caractérisé en ce que la gravure est effectuée de telle manière que les ressorts horlogers aient des orientations différentes dans la plaque pour réduire leur dispersion de raideur.

[0006] L'invention propose en outre un masque de gravure comprenant un dessin gravé représentatif de ressorts horlogers, caractérisé en ce que dans le dessin gravé les ressorts horlogers ont des orientations différentes de telle sorte que par la gravure d'au moins une partie, en matériau anisotrope, de l'épaisseur d'une plaque à travers le masque de gravure on puisse obtenir des ressorts horlogers dont la dispersion de raideur est réduite.

[0007] Des modes de réalisation particuliers de l'invention sont définis dans les revendications dépendantes annexées.

[0008] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée suivante faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est un diagramme représentant le module d'élasticité ou module de Young du silicium dans le plan (100) en fonction de l'orientation par rapport aux axes cristallographiques ;
- la figure 2 est une vue de dessus d'un spiral horloger gravé dans une plaque de matériau de gravure ;
- la figure 3 est un diagramme représentant le nombre de spiraux horlogers obtenus à partir d'une même plaque de matériau de gravure en fonction de leur raideur ;
- la figure 4 montre schématiquement une plaque de matériau dans laquelle sont gravés des spiraux horlogers ;
- la figure 5 montre des étapes successives d'un procédé de fabrication de spiraux horlogers selon l'invention.

[0009] Le procédé selon l'invention utilise un matériau de gravure anisotrope et exploite cette anisotropie pour réduire la dispersion de raideur de ressorts horlogers de même géométrie et de même taille. Le silicium <100> couramment utilisé dans l'horlogerie, de même que d'autres matériaux utilisés ou utilisables comme le silicium <110>, le saphir ou le carbure de silicium, est anisotrope en ce sens que le module d'élasticité varie en fonction de l'orientation par rapport aux axes cristallographiques. A titre d'illustration, le diagramme de la figure 1 représente le module d'élasticité du silicium monocristallin dans le plan (100) en fonction des directions cristallographiques. On peut voir notamment que le module d'élasticité varie entre une valeur minimum et une valeur maximum sur un angle de 45°.

[0010] Si l'on prend comme exemple de ressort horloger un spiral 10 tel qu'illustré à la figure 2, on constate que si son nombre de tours n'est pas un nombre entier (en excluant la ou les éventuelles parties intermédiaires

rigides, non actives, comme la portion renforcée 11), alors le module élastique moyen du matériau le long du spiral diffère selon l'orientation du spiral dans la plaque dans laquelle il est gravé. Il est donc possible de régler la raideur du spiral en choisissant une orientation particulière, comme cela est suggéré au paragraphe 62 du brevet EP 3056948 B1.

[0011] L'enseignement du brevet EP 3056948 B1 ne tient cependant pas compte de l'inhomogénéité de gravure dans une même plaque. En orientant les spiraux d'une même plaque dans une direction particulière, on leur donne une raideur moyenne mais on ne règle pas le problème de la dispersion de raideur. La figure 3 montre, au niveau du repère 12, une courbe de dispersion typique, en cloche, définissant un nombre N de classes de spiraux. L'objectif de l'invention est de réduire le nombre de classes, en d'autres termes de resserrer la courbe en cloche 12, comme montré par le pointillé 13.

[0012] L'invention repose sur l'observation selon laquelle l'inhomogénéité de gravure, et donc la dispersion de raideur, se répète d'une plaque de matériau de gravure à la suivante lorsqu'on garde les paramètres du procédé de gravure inchangés. Comme montré à la figure 4, on peut identifier sur la plaque de matériau de gravure, désignée par 14, différentes zones Z1, Z2, Z3, etc. correspondant à des raideurs différentes. Dans le cas d'une gravure au plasma, en particulier d'une gravure ionique réactive profonde, les zones sont circulaires et concentriques.

[0013] Par exemple, une zone Z2 et une zone Z4 peuvent contenir des spiraux ayant sensiblement la raideur souhaitée et correspondant donc à une classe située au milieu de la courbe de dispersion 12, tandis que des zones Z1, Z3, Z5... peuvent contenir des spiraux ayant des raideurs différentes de la raideur souhaitée et différentes d'une zone à l'autre. Dans chaque zone Zi les raideurs sont sensiblement identiques et appartiennent à la même classe. Selon l'invention, aucune mesure n'est prise concernant les spiraux des zones Z2 et Z4 qui ont la raideur souhaitée. En ce qui concerne les autres zones, en revanche, on oriente différemment les spiraux dans la plaque afin de modifier leur raideur et de la rapprocher de la valeur de raideur souhaitée.

[0014] Ainsi, dans une zone Zi donnée les spiraux ont la même orientation mais l'orientation varie en fonction de la zone Zi où ils se trouvent, comme le montre schématiquement la figure 4. L'orientation est définie par exemple par la demi-droite orientée 15 partant du centre géométrique du spiral et passant par l'extrémité externe de la partie active du spiral, comme illustré à la figure 2. Les différences d'orientation entre les spiraux des différentes zones dépendent des paramètres de gravure. La différence maximale d'orientation peut être de 45°. Elle est typiquement d'au moins 10°, voire d'au moins 20°, voire encore d'au moins 30°.

[0015] En pratique, les spiraux sont attachés à la plaque 14 par un ou des ponts de matière laissés pendant la gravure, par exemple un pont de matière 16 au niveau

de leur extrémité extérieure. La raideur d'un spiral donné peut être mesurée en couplant le spiral à un balancier d'inertie prédéterminée et en mesurant la fréquence de l'ensemble balancier-spiral, ceci alors que le spiral est encore attaché à la plaque 14 ou après son détachement. L'orientation à donner à chaque spiral peut être calculée en fonction de la raideur mesurée par rapport à la raideur souhaitée et en fonction de la géométrie du spiral et de l'anisotropie du module d'élasticité du matériau de gravure.

[0016] Un exemple de mise œuvre d'un procédé de fabrication de spiraux horlogers selon l'invention, avec du silicium comme matériau de gravure, est montré à la figure 5.

[0017] A une première étape (figure 5(a)), on se munit d'une plaque 1 en matériau de type silicium sur isolant connu sous l'acronyme SOI (Silicon-On-Insulator). La plaque 1 comprend une couche supérieure de silicium 2, une couche inférieure de silicium 3 et, entre les deux, une couche intermédiaire d'oxyde de silicium 4. Le silicium est anisotrope, c'est-à-dire monocristallin de type <100> ou <110>.

[0018] A une deuxième étape (figure 5(b)), on dépose sur la couche supérieure de silicium 2 une couche de laque photosensible 5 et on structure cette couche 5 par photolithographie. Plus précisément, on expose la couche de laque photosensible 5 à des rayons ultraviolets à travers un masque 6 comprenant une plaque 6a transparente aux ultraviolets et une structure à transférer 6b portée par la plaque 6a, la plaque 6a étant typiquement en verre ou en quartz et la structure à transférer 6b étant typiquement en chrome. Puis la couche de laque photosensible 5 est développée et cuite (figure 5(c)). A l'issue de ces opérations, la couche de laque photosensible 5 présente la même forme que la structure 6b et constitue à son tour un masque, ladite forme correspondant à celle d'un lot de spiraux à fabriquer.

[0019] A une étape suivante (figure 5(d)), on grave la couche supérieure de silicium 2 à travers le masque de laque photosensible 5 par gravure ionique réactive profonde dite DRIE (Deep Reactive Ion Etching) afin de former les spiraux dans cette couche 2. La gravure est arrêtée par la couche intermédiaire d'oxyde de silicium 4, permettant ainsi de définir une épaisseur précise pour les spiraux. Le nombre de spiraux est typiquement d'au moins cent, de préférence d'au moins cinq cents, de préférence encore d'au moins six cents. Ce nombre dépend de la taille de la plaque 1 (typiquement de 150 ou 200 mm de diamètre) et de la taille des spiraux.

[0020] Le masque de laque photosensible 5 est ensuite éliminé par gravure chimique ou gravure plasma (figure 5(e)).

[0021] A une étape suivante (figure 5(f)), on libère de la plaque 1 une plaque 8 formée par tout ou partie de la couche supérieure de silicium 2 gravée. Cette plaque 8 contient une structure de base et les spiraux attachés à la structure de base par des ponts de matière laissés lors de la gravure.

[0022] Puis les spiraux peuvent être soumis à divers traitements avant d'être libérés de la plaque 8. On peut par exemple modifier leurs dimensions, par oxydation-désoxydation ou autre, pour que la raideur moyenne des spiraux dans la plaque 8 ait une valeur prédéterminée (mise en fréquence), puis les oxyder pour améliorer leur résistance mécanique et les thermocompenser.

[0023] Pour plus de détails sur la mise en œuvre de chacune des étapes décrites ci-dessus, on pourra se reporter à la demande de brevet WO 2019/180596 dont le contenu est incorporé à la présente demande par renvoi.

[0024] On notera par ailleurs qu'une variante peut consister à remplacer la plaque SOI 1 par une simple plaque de silicium anisotrope et à graver les spiraux dans toute l'épaisseur de la plaque.

[0025] Conformément à la présente invention, dans le dessin gravé que constitue la structure 6b du masque de gravure 6, et donc dans la couche supérieure de silicium 2 puis dans la plaque 8, les spiraux ont des orientations différentes choisies en fonction de l'anisotropie du matériau de gravure (silicium de la couche 2) pour réduire leur dispersion de raideur, c'est-à-dire resserrer la courbe en cloche 12, selon le principe exposé plus haut. On obtient ainsi un lot de spiraux plus homogène en termes de raideur, ce qui permet de réduire sensiblement le nombre de classes et donc d'alléger la gestion du stock de spiraux. L'opération d'appairage des spiraux avec des balanciers est rendue plus facile et peut même n'être plus nécessaire.

[0026] Au lieu d'être sous la forme d'une plaque 6a portant une structure à transférer 6b, le masque de gravure 6 pourrait être une plaque opaque aux ultraviolets et gravée sur toute son épaisseur (masque perforé ou « shadow mask »).

[0027] La présente invention n'est pas limitée à des spiraux. Elle peut s'appliquer à tout type de ressort horloger, par exemple à des ressorts de rappel de bascule, de levier ou de marteau, à des sautoirs, à des guidages flexibles, en particulier à des guidages flexibles d'oscillateur sans pivots. Le ressort horloger dans l'invention, notamment dans le cas des guidages flexibles, peut être une partie d'un composant monolithique.

Revendications

1. Procédé de fabrication de ressorts horlogers, comprenant une étape consistant à graver les ressorts horlogers dans au moins une partie de l'épaisseur d'une plaque (1, 14), la plaque (1, 14) étant en un matériau anisotrope dans ladite au moins une partie de l'épaisseur, **caractérisé en ce que** la gravure est effectuée de telle manière que les ressorts horlogers aient des orientations différentes dans la plaque (1, 14) pour réduire leur dispersion de raideur.
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'à** la fin de l'étape de gravure, des zones (Z1-Z5)

de la plaque (1, 14) comprennent chacune plusieurs ressorts horlogers, **en ce que** les ressorts horlogers dans chaque zone (Z1-Z5) ont la même orientation et **en ce que** l'orientation des ressorts horlogers varie en fonction des zones (Z1-Z5) où ils se trouvent.

3. Procédé selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** les zones (Z1-Z5) sont circulaires et concentriques.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce qu'**au moins cent, de préférence au moins cinq cents, de préférence au moins six cents, ressorts horlogers sont gravés dans la plaque (1).
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la différence maximale d'orientation entre les ressorts horlogers dans la plaque (1) est d'au moins 10°, de préférence d'au moins 20°, de préférence d'au moins 30°, de préférence d'au moins 45°.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** les ressorts horlogers sont des spiraux, des ressorts de rappel de bascule, de levier ou de marteau, des sautoirs ou des guidages flexibles.
7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** le matériau anisotrope est du silicium.
8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** l'étape de gravure est une étape de gravure au plasma, de préférence une étape de gravure ionique réactive profonde.
9. Masque de gravure (6) comprenant un dessin gravé (6b) représentatif de ressorts horlogers, **caractérisé en ce que** dans le dessin gravé (6b) les ressorts horlogers ont des orientations différentes de telle sorte que par la gravure d'au moins une partie, en matériau anisotrope, de l'épaisseur d'une plaque (1) à travers le masque de gravure (6) on puisse obtenir des ressorts horlogers dont la dispersion de raideur est réduite.

Fig.1

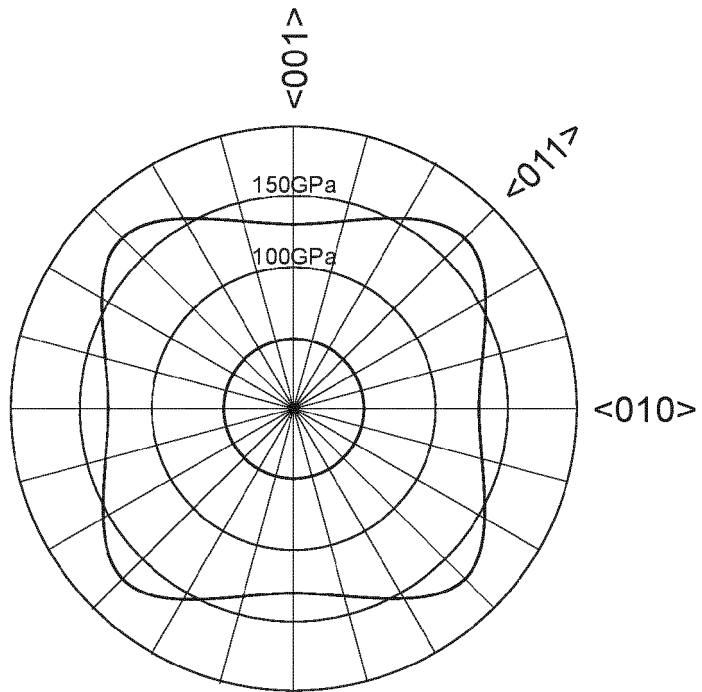


Fig.2

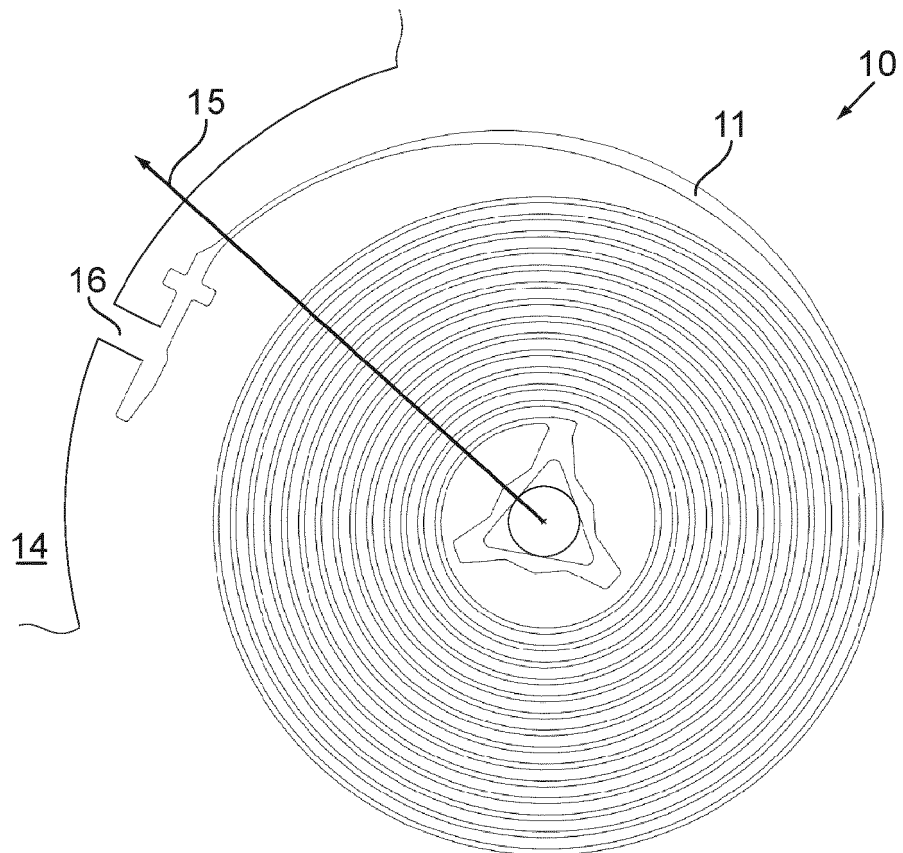


Fig.3

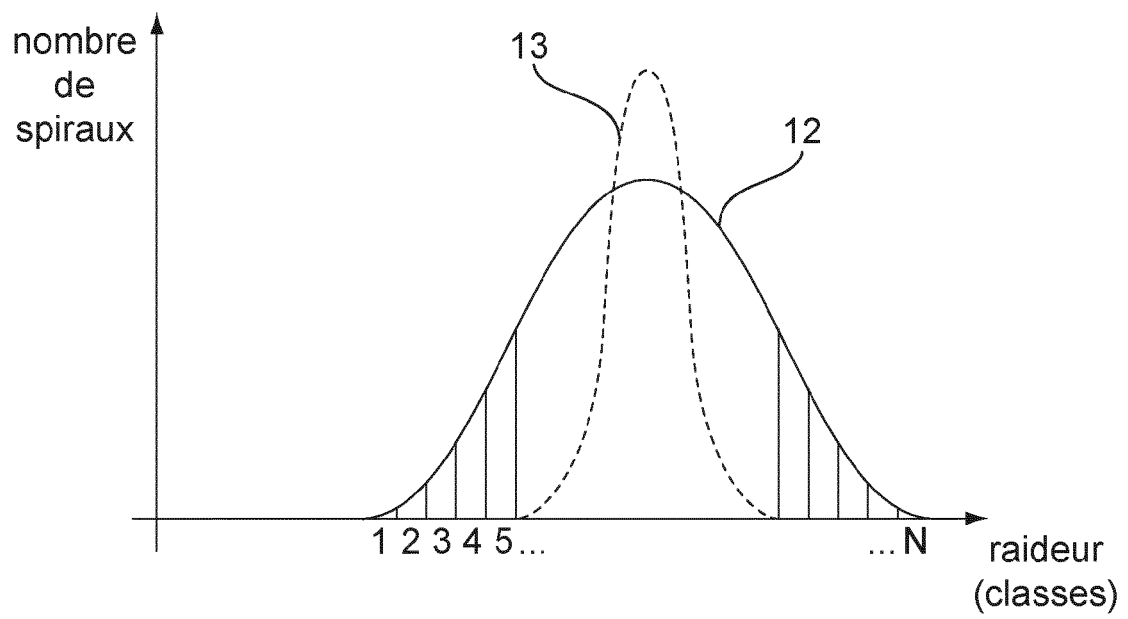


Fig.4

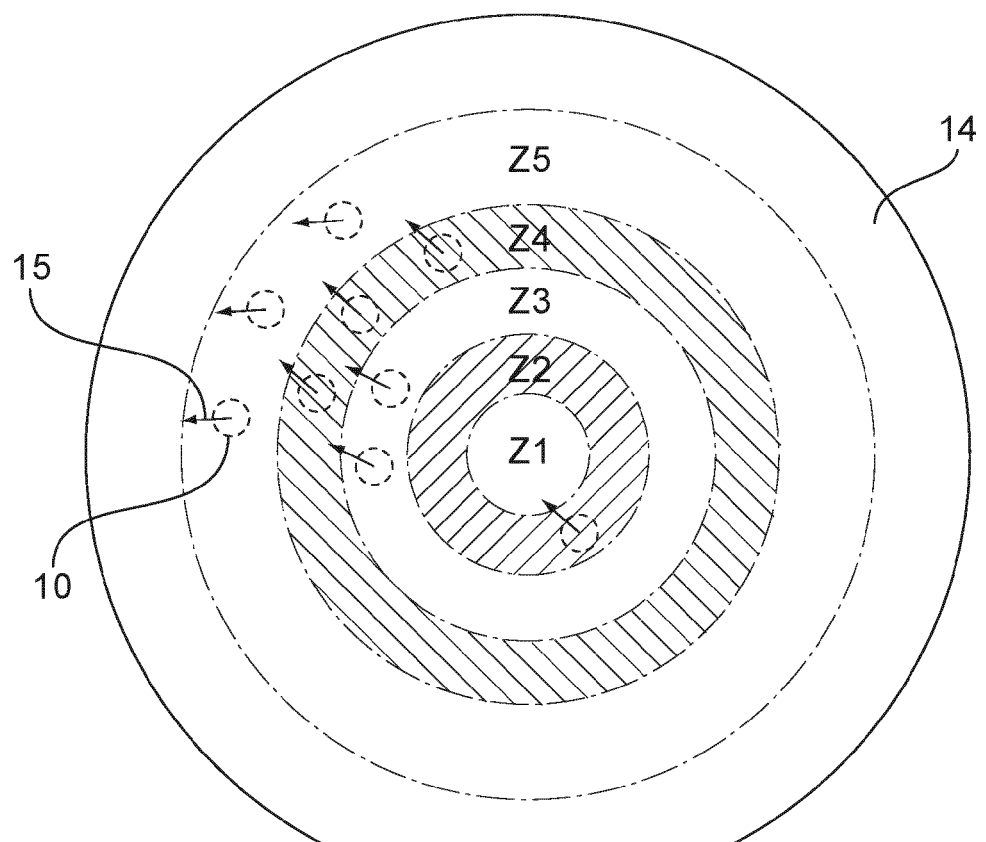
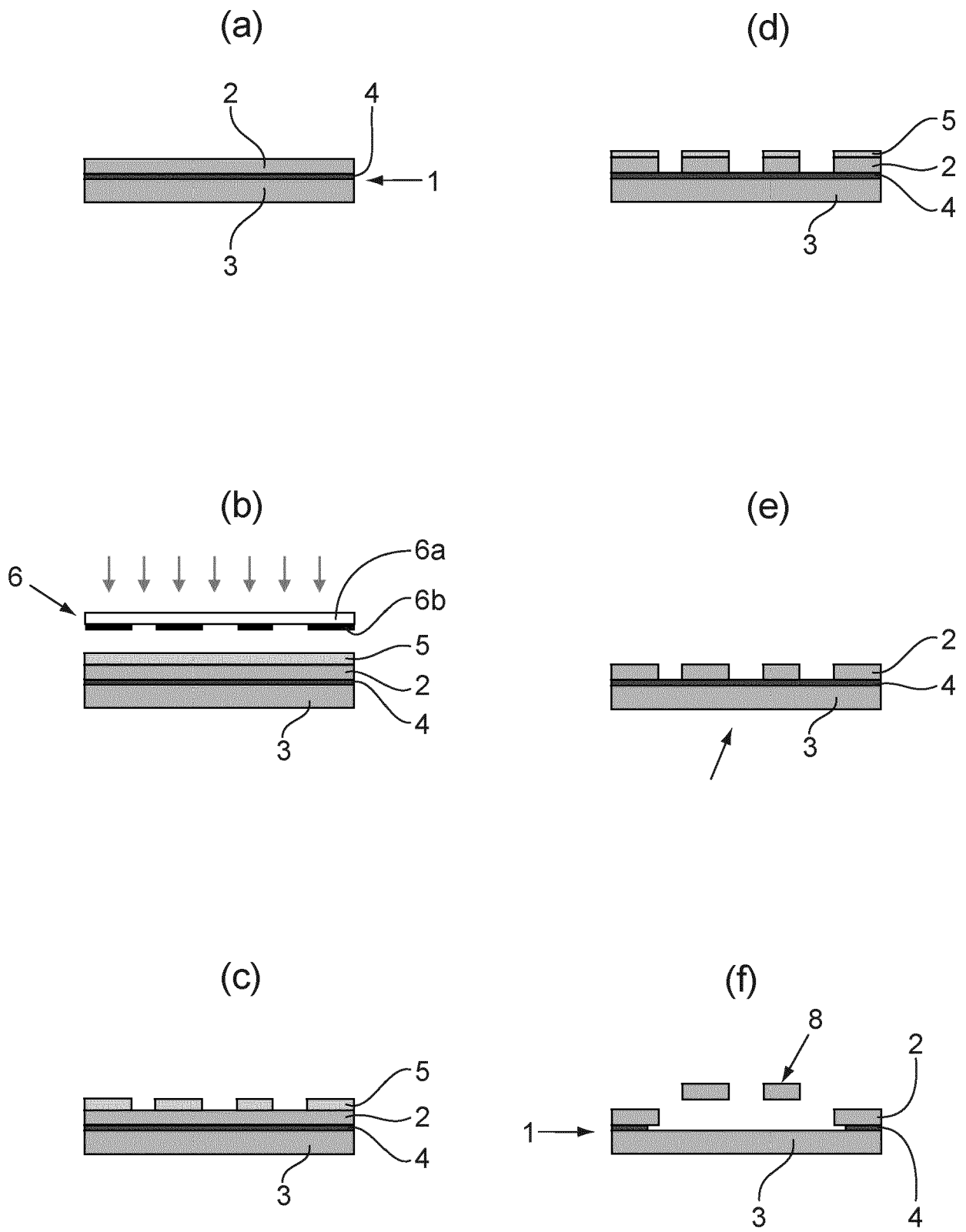


Fig.5





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 19 21 8414

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

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 3 285 124 A1 (RICHEMONT INT SA [CH]) 21 février 2018 (2018-02-21)	1,6-8	INV.
A	* alinéas [0041] - [0044]; figure 4 * * alinéas [0055] - [0056] * * alinéa [0064] *	2-5,9	G04B1/14 G04B17/06
A,D	EP 3 056 948 A1 (MASTER DYNAMIC LTD [CN]) 17 août 2016 (2016-08-17) * alinéas [0060] - [0064]; revendication 7 *	1-9	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G04B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		10 juin 2020	Sigrist, Marion
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			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 19 21 8414

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.

10-06-2020

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 3285124 A1	21-02-2018	AUCUN	
EP 3056948 A1	17-08-2016	CH 710795 A2	31-08-2016
		CN 105892259 A	24-08-2016
		EP 3056948 A1	17-08-2016
		HK 1209578 A2	01-04-2016
		HK 1222462 A1	30-06-2017
		HK 1224386 A1	18-08-2017
		TW 201702439 A	16-01-2017
		US 2016238994 A1	18-08-2016
		WO 2016131377 A1	25-08-2016

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 1422436 A [0002]
- EP 2215531 A [0002]
- EP 3056948 A [0002]
- US 20180142749 A [0002]
- EP 3056948 B1 [0010] [0011]
- WO 2019180596 A [0023]