



(11)

EP 4 741 947 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
13.05.2026 Bulletin 2026/20

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
G04B 17/06 (2006.01) G04B 17/28 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **24211345.4**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
G04B 17/066; G04B 17/28

(22) Date de dépôt: **07.11.2024**

(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 ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
GE KH MA MD TN

(72) Inventeurs:
• **CHABLOZ, David**
1228 Plan-les-Ouates (CH)
• **SAROUFIM, Elie**
1004 Lausanne (CH)

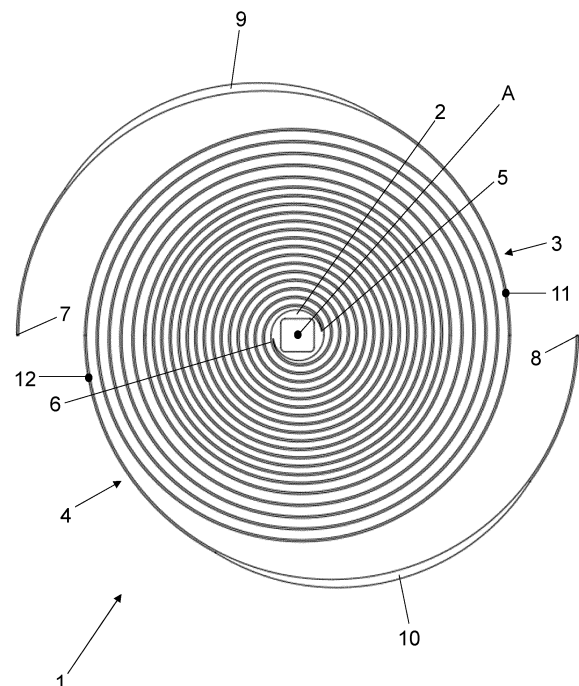
(71) Demandeur: **PATEK PHILIPPE SA GENEVE**
1204 Genève (CH)

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

(54) **SPIRAL POUR RÉSONATEUR HORLOGER**

(57) Le spiral pour résonateur horloger selon l'invention comprend une virole (2) présentant un axe géométrique (A) et un nombre entier N, supérieur ou égal à 2, de lames élastiques (3, 4) coplanaires enroulées en spirales depuis et autour de la virole (2) et s'étendant jusqu'à des extrémités extérieures (7, 8). Les N lames élastiques (3, 4) sont agencées selon une symétrie de rotation d'ordre N autour de l'axe géométrique (A). Le spiral est caractérisé en ce que, pour chacune des lames élastiques (3, 4), sur au moins une portion de la lame s'étendant d'un premier point situé sur la deuxième spire de la lame comptée depuis la virole (2) à un deuxième point (11, 12) situé sur la spire extérieure de la lame, la rigidité de la lame est constante et le pas est croissant, et sur une portion (9, 10) de la spire extérieure de la lame située entre le deuxième point (11, 12) et l'extrémité extérieure (7, 8) de la lame, la rigidité de la lame est plus grande que sur ladite portion de la lame, cette portion (9, 10) de la spire extérieure étant agencée pour rendre le développement de la lame plus concentrique pendant les oscillations du spiral.

Fig. 1



EP 4 741 947 A1

Description

[0001] La présente invention concerne un spiral, ou ressort-spiral, pour résonateur horloger, c'est-à-dire un spiral destiné à servir de ressort de rappel à un balancier d'une pièce d'horlogerie.

[0002] Dans une pièce d'horlogerie mécanique, le résonateur balancier-spiral est la base de temps. Le balancier oscille à une certaine fréquence en étant ramené périodiquement dans une position d'équilibre par le spiral. Ses oscillations sont entretenues par un échappement. La fréquence d'oscillation du balancier dépend du moment d'inertie du balancier et de la raideur du spiral. Ainsi, pour obtenir la fréquence souhaitée, on associe lors de l'assemblage un balancier d'une certaine inertie avec un spiral d'une certaine raideur, opération appelée « appairage ».

[0003] On sait que le développement d'un spiral classique (en forme de spirale d'Archimède) pendant les oscillations du balancier est excentrique. En d'autres termes, le centre de gravité du spiral se déplace pendant les oscillations du balancier. Ceci affecte la précision du résonateur. En effet, le développement excentrique engendre des forces latérales entre les pivots de l'axe de balancier et les paliers dans lesquels ils tournent, forces latérales qui varient en fonction de l'amplitude d'oscillation et modifient la fréquence. En outre, le développement excentrique ajoute une perturbation dans les positions verticales, liée au poids du spiral et aux déplacements du centre de gravité. Cette perturbation varie elle aussi avec l'amplitude d'oscillation et diffère selon la position verticale dans laquelle se trouve le résonateur.

[0004] Plusieurs solutions ont été proposées pour rendre le développement d'un spiral plus concentrique, à savoir notamment munir le spiral d'une courbe terminale qui sort du plan du spiral pour ramener le centre de gravité sur l'axe de rotation (spiral Breguet), rigidifier une portion de la spire extérieure du spiral (brevet EP 1473604) ou faire varier la rigidité et le pas du spiral le long de sa lame (brevet EP 2299336). Ces solutions permettent de réduire, mais pas de supprimer, l'excentricité du développement du spiral.

[0005] D'autres solutions ne cherchent pas à rendre le développement du spiral concentrique mais à compenser les forces latérales qu'exerce le spiral sur l'axe de balancier en superposant au spiral un autre spiral identique enroulé dans le sens inverse ou décalé de 180°. Le brevet FR 2447571 décrit un tel agencement dans lequel les deux spiraux sont des spiraux Breguet décalés de 180°. Le montage de deux spiraux superposés sur l'axe de balancier produit sur ce dernier des efforts ou moments de flexion qui ne se compensent pas. De plus, l'appairage avec le balancier pour obtenir la fréquence désirée est rendu difficile car il nécessite de gérer la combinaison de deux raideurs. Enfin, la superposition de deux spiraux, comme la courbe terminale d'un spiral Breguet, augmente l'encombrement en hauteur du résonateur.

[0006] Les inconvénients de l'agencement à deux spiraux superposés ont été résolus dans l'état de la technique en remplaçant les deux spiraux par un spiral double plan réalisé sous la forme de deux lames coplanaires identiques enroulées l'une dans l'autre et décalées de 180°, ou plus généralement par un spiral multiple plan comprenant N lames coplanaires enroulées les unes dans les autres et agencées selon une symétrie de rotation d'ordre N. On trouve des exemples de tels spiraux doubles ou multiples dans les brevets CH 700812 et EP 2154583 notamment. La difficulté, toutefois, avec ces spiraux est de faire en sorte que les différentes lames ne se touchent pas pendant le développement du spiral. Pour cela, le brevet EP 2154583 propose deux solutions. L'une d'elles, dans le contexte d'un spiral double, consiste à placer les points d'encastrement des extrémités extérieures des deux lames hors du plan du spiral de façon que les lames forment deux cônes symétriques de part et d'autre du plan du spiral, ce qui fait perdre la majeure partie des avantages du spiral double. L'autre solution proposée, pour un spiral double ou multiple, consiste à faire varier le pas des spires et l'épaisseur de lame sur toute la longueur de chaque lame. La variation de l'épaisseur des lames modifie la raideur du spiral, ce qui nécessite d'augmenter sensiblement le diamètre externe de la spirale, rendant impossible la réalisation d'un résonateur compact.

[0007] La présente invention vise à remédier, au moins en partie, aux inconvénients susmentionnés de l'état de la technique, et propose à cette fin un spiral selon la revendication 1, un résonateur horloger selon la revendication 12 et une pièce d'horlogerie selon la revendication 13. Des modes de réalisation particuliers sont définis dans les revendications dépendantes.

[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 représente un spiral selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 représente un spiral selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 représente un spiral selon un troisième mode de réalisation de l'invention.

[0009] Les spiraux illustrés sur les figures 1 à 3, désignés respectivement par les repères 1, 1' et 1'', sont monobloc et réalisés typiquement par un procédé utilisant la technique d'électroformage LIGA (Lithographie, Galvanisierung und Abformung), la technique de gravure ionique réactive profonde DRIE (Deep Reactive Ion etching) ou une technique de moulage. Selon le procédé utilisé, les spiraux 1, 1' et 1'' sont en métal ou alliage, en silicium, en silicium recouvert d'une couche de dioxyde de silicium, en quartz, en verre, en céramique (p. ex. carbure de silicium) ou en verre métallique, par exemple.

[0010] Chaque spiral 1, 1', 1'' comprend dans sa partie

centrale une virole 2 destinée à être fixée sur l'axe d'un balancier d'une pièce d'horlogerie telle qu'une montre. Depuis et autour de la virole 2 sont enroulées en spirales, l'une dans l'autre, deux lames élastiques 3, 4 identiques et coplanaires. Chaque lame 3, 4 s'étend ainsi d'une extrémité intérieure 5, 6 jointe à la virole 2 à une extrémité extérieure 7, 8 destinée à être fixée au bâti de la pièce d'horlogerie par l'intermédiaire d'un piton. Chaque lame 3, 4 comprend plusieurs spires, parmi lesquelles une spire intérieure (première spire complète depuis la virole 2), une spire extérieure (première spire complète depuis l'extrémité extérieure 7, 8) et des spires intermédiaires. La virole 2 et les deux lames 3, 4 ont un axe géométrique commun A. Les deux lames 3, 4 sont décalées angulairement de 180° autour de l'axe A, autrement dit elles sont symétriques l'une de l'autre dans une symétrie de rotation d'ordre 2 autour de l'axe A.

[0011] Chaque lame 3, 4 présente une section transversale constante, donc une rigidité constante, sur toute sa longueur à l'exception d'une portion 9, 10 de sa spire extérieure qui présente une épaisseur plus grande que celle du reste de la lame. Cette portion rigidifiée 9, 10 est telle que décrite dans le brevet EP 1473604. Sa position sur la spire extérieure, sa longueur et son épaisseur sont choisies pour que le développement (contractions et expansions) de la lame lors des oscillations de l'axe de balancier soient sensiblement concentriques et en tout cas plus concentriques que si la portion 9, 10 n'avait pas été rigidifiée. Comme décrit également dans ledit brevet EP 1473604, une partie terminale de la spire extérieure comprenant typiquement tout ou partie de la portion rigidifiée 9, 10 peut être écartée de l'avant-dernière spire par rapport au tracé de la spirale pour éviter que l'avant-dernière spire puisse toucher la spire extérieure ou le piton lors de grandes expansions de la lame.

[0012] Le pas d'enroulement de chaque lame 3, 4 est croissant au moins sur une portion de la lame s'étendant d'un premier point situé sur la deuxième spire comptée depuis la virole 2 à un deuxième point situé sur la spire extérieure, ce deuxième point étant de préférence situé dans les deux tiers de la spire extérieure les plus proches de l'extrémité extérieure 7, 8, de préférence encore dans la moitié de la spire extérieure la plus proche de l'extrémité extérieure 7, 8, en longueur angulaire mesurée depuis l'axe A. La croissance du pas peut être stricte ou s'effectuer par palier(s). Dans l'exemple de la figure 1, le pas est constant sur plusieurs spires à partir de la virole 2, puis croît strictement sur environ une spire, puis reste à une valeur constante sur plusieurs spires jusqu'à un point 11, 12 de la spire extérieure situé avant la portion rigidifiée 9, 10. Dans l'exemple de la figure 2, le pas croît strictement depuis la virole 2 au moins jusqu'à un point 13, 14 de la spire extérieure situé avant la portion rigidifiée 9, 10. Dans l'exemple de la figure 3, le pas est constant sur plusieurs spires à partir de la virole 2, puis croît strictement sur plusieurs spires au moins jusqu'à un point 15, 16 de la spire extérieure situé avant la portion rigidifiée 9, 10. Dans chacun des modes de réalisation,

néanmoins, le pas pourrait être plus grand sur la spire intérieure que sur les spires intérieures suivantes. Par ailleurs, la spire intérieure de chaque lame 3, 4 pourrait avoir un pas variable (par exemple pour former une courbe Grossmann) et/ou une rigidité variable (par exemple pour former une portion rigidifiée), comme proposé dans le brevet EP 2917787. Toutefois, donner à la spire intérieure la même rigidité et le même pas que ceux des spires intérieures suivantes (comme dans les exemples des figures 1 et 3) ou la même rigidité que celle des spires intérieures suivantes et un pas qui évolue de la même manière que celui des spires intérieures suivantes (comme dans l'exemple de la figure 2) facilite la conception du spiral.

[0013] La combinaison des portions rigidifiées 9, 10 et du pas croissant des lames 3, 4 permet d'éviter que les deux lames 3, 4 se touchent pendant le développement des spires suffisant pour éviter que les deux lames 3, 4 s'attirent et se collent l'une à l'autre. Ces avantages sont obtenus sans nuire à la compacité du spiral, qui garde une épaisseur de lame constante sauf au niveau des portions rigidifiées 9, 10, permettant d'atteindre l'ordre de grandeur de raideur souhaité sans augmenter le diamètre externe du spiral. De plus, la symétrie du spiral rend le résonateur balancier-spiral isochrone (sa fréquence d'oscillation est sensiblement indépendante de l'amplitude d'oscillation) et diminue les écarts de marche du résonateur entre les différentes positions verticales (les écarts de marche entre les positions verticales ne sont plus que la conséquence d'un balourd sur la serge du balancier). Par sa structure plane, et qui reste plane pendant son fonctionnement, et par sa symétrie, le spiral selon l'invention n'exerce pas sur l'axe de balancier de forces ou de moments de force qui ne sont pas compensés. Enfin, l'appairage du spiral avec un balancier peut s'effectuer de la même manière que pour un résonateur balancier-spiral classique.

[0014] Dans des variantes, on pourrait modifier l'agencement des portions rigidifiées 9, 10 pour compenser un défaut d'isochronisme dû à l'échappement, conformément à l'enseignement du brevet précité EP 2917787.

[0015] Une alternative à l'augmentation de l'épaisseur des lames pour l'obtention des portions rigidifiées 9, 10 serait d'augmenter la hauteur des lames. Les portions 9, 10 pourraient aussi être rigidifiées autrement que par l'agrandissement de la section transversale des lames, par exemple par un traitement thermique ou par un dopage du matériau.

[0016] Le nombre de lames coplanaires du spiral selon l'invention n'est pas limité à deux. De manière générale, le spiral selon l'invention comprend un nombre entier N de lames, supérieur ou égal à 2, ces lames étant agencées autour de l'axe géométrique A selon une symétrie de rotation d'ordre N.

Revendications

1. Spiral (1 ; 1' ; 1'') pour résonateur horloger, comprenant une virole (2) présentant un axe géométrique (A) et un nombre entier N, supérieur ou égal à 2, de lames élastiques (3, 4) coplanaires enroulées en spirales depuis et autour de la virole (2) et s'étendant jusqu'à des extrémités extérieures (7, 8), les N lames élastiques (3, 4) étant agencées selon une symétrie de rotation d'ordre N autour de l'axe géométrique (A), **caractérisé en ce que**, pour chacune des lames élastiques (3, 4) :
 - sur au moins une portion de la lame s'étendant d'un premier point situé sur la deuxième spire de la lame comptée depuis la virole (2) à un deuxième point (11, 12 ; 13, 14 ; 15, 16) situé sur la spire extérieure de la lame, la rigidité de la lame est constante et le pas est croissant,
 - sur une portion (9, 10) de la spire extérieure de la lame située entre le deuxième point (11, 12 ; 13, 14 ; 15, 16) et l'extrémité extérieure (7, 8) de la lame, la rigidité de la lame est plus grande que sur ladite portion de la lame, cette portion (9, 10) de la spire extérieure étant agencée pour rendre le développement de la lame plus concentrique pendant les oscillations du spiral.
2. Spiral (1 ; 1'') selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le pas présente une première valeur constante sur au moins plusieurs spires complètes comptées depuis le premier point.
3. Spiral (1 ; 1'') selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** le pas présente la première valeur constante aussi de la virole (2) au premier point.
4. Spiral (1) selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** le pas présente une deuxième valeur constante, supérieure à la première valeur constante, sur au moins une spire complète après lesdites plusieurs spires complètes comptées depuis le premier point.
5. Spiral (1) selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** le pas présente la deuxième valeur constante au moins jusqu'au deuxième point (11, 12).
6. Spiral (1'') selon la revendication 2 ou 3, **caractérisé en ce que** le pas est strictement croissant au moins sur plusieurs spires complètes après lesdites plusieurs spires complètes comptées depuis le premier point et au moins jusqu'au deuxième point (15, 16).
7. Spiral (1') selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le pas est strictement croissant au moins sur ladite portion de la lame.
8. Spiral (1') selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** le pas est strictement croissant au moins de la virole (2) au deuxième point (13, 14).
9. Spiral (1 ; 1' ; 1'') selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** le pas est croissant au moins de la virole (2) au deuxième point (11, 12 ; 13, 14 ; 15, 16).
10. Spiral (1 ; 1' ; 1'') selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** la rigidité de la lame est constante au moins de la virole (2) au deuxième point (11, 12 ; 13, 14 ; 15, 16).
11. Spiral (1 ; 1' ; 1'') selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** le deuxième point (11, 12 ; 13, 14 ; 15, 16) est situé dans les deux tiers de la spire extérieure les plus proches de l'extrémité extérieure (7, 8), de préférence dans la moitié de la spire extérieure la plus proche de l'extrémité extérieure (7, 8), en longueur angulaire mesurée depuis l'axe géométrique (A).
12. Résonateur horloger comprenant un balancier et un spiral (1 ; 1' ; 1'') selon l'une quelconque des revendications 1 à 11.
13. Pièce d'horlogerie comprenant un résonateur horloger selon la revendication 12.

Fig. 1

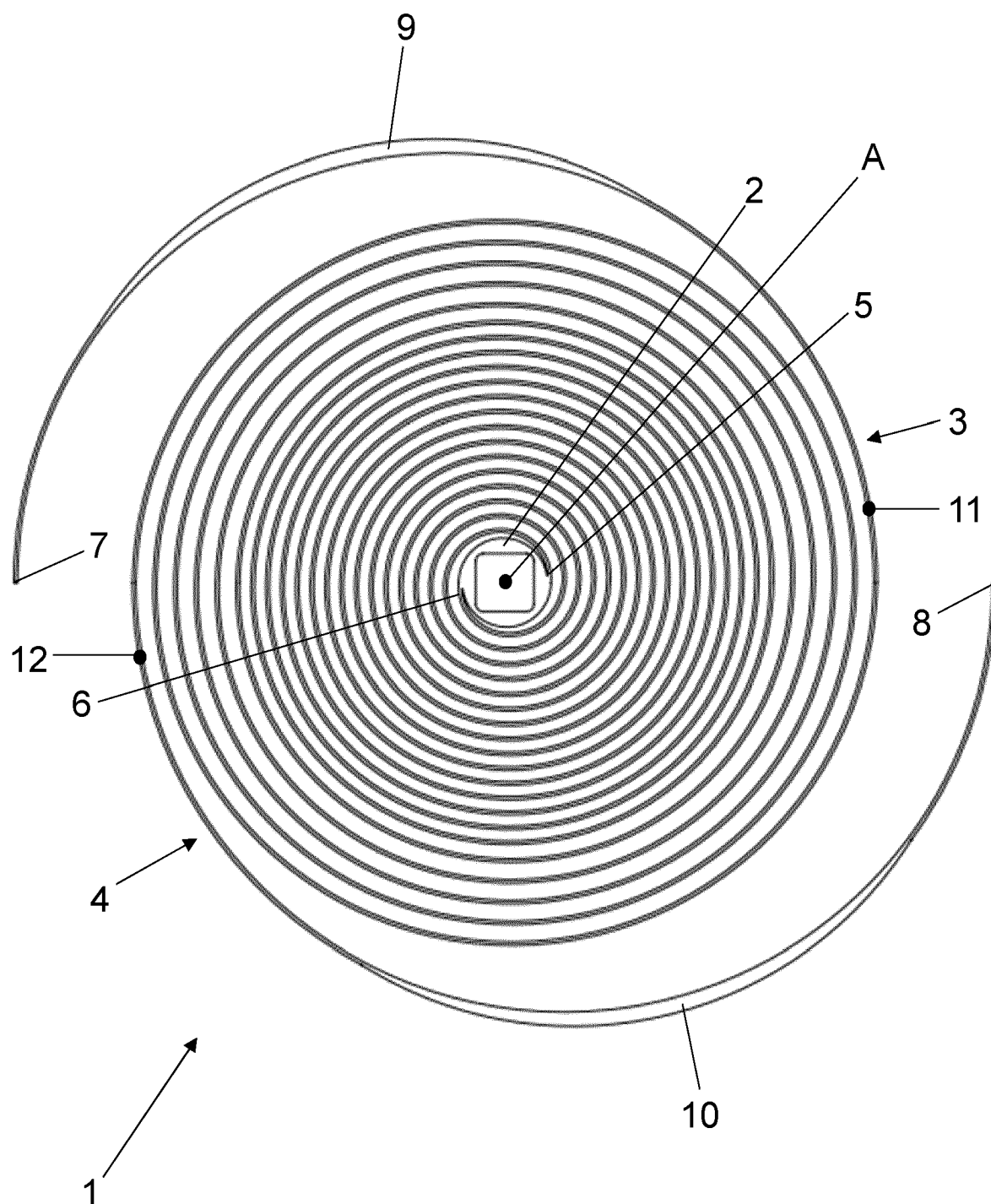


Fig. 2

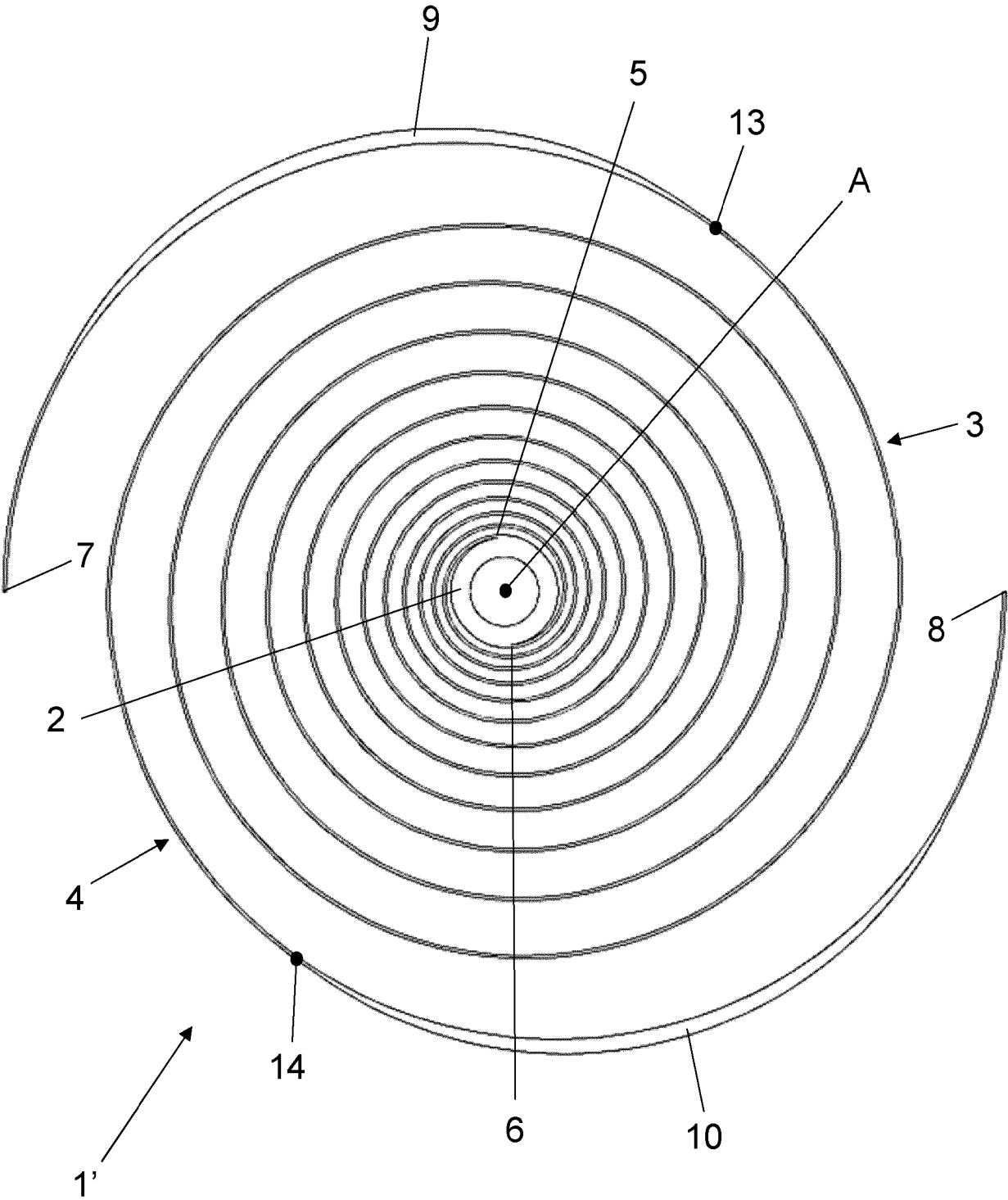
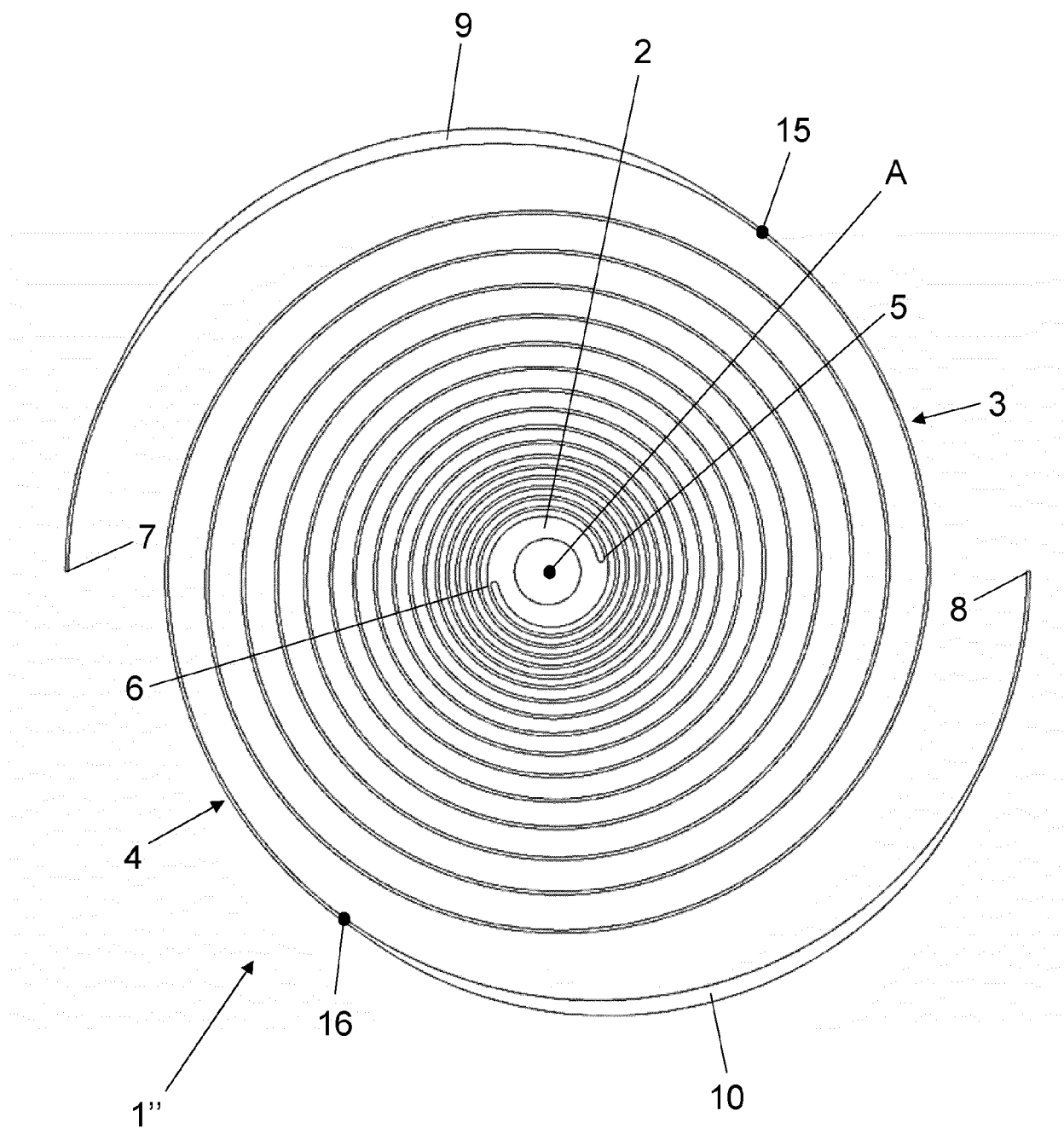


Fig. 3





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 24 21 1345

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 2 687 917 A2 (MASTER DYNAMIC LTD [CN]) 22 janvier 2014 (2014-01-22)	1-3,7, 9-13	INV. G04B17/06
A	* alinéas [0143] - [0146], [0091], [0082]; figure 13 *	4-6,8	G04B17/28
			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		26 mars 2025	Cavallin, Alberto
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 24 21 1345

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.

26-03-2025

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2687917 A2	22-01-2014	EP 2687917 A2	22-01-2014
		US 2014022873 A1	23-01-2014

EPO FORM P0460

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- EP 1473604 A [0004] [0011]
- EP 2299336 A [0004]
- FR 2447571 [0005]
- CH 700812 [0006]
- EP 2154583 A [0006]
- EP 2917787 A [0012] [0014]