

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) CH 721 422 A2

(51) Int. Cl.: G04B 17/06 (2006.01)
G04D 7/10 (2006.01)

Demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) **DEMANDE DE BREVET**

(21) Numéro de la demande: 001425/2023

(22) Date de dépôt: 19.12.2023

(43) Demande publiée: 30.06.2025

(71) Requéant:
Nivarox-FAR S.A., Avenue du Collège 10
2400 Le Locle (CH)

(72) Inventeur(s):
Pierre Cusin, 1423 Villars-Burquin (CH)
Geoffrey Chassin, 25500 Morteau (FR)

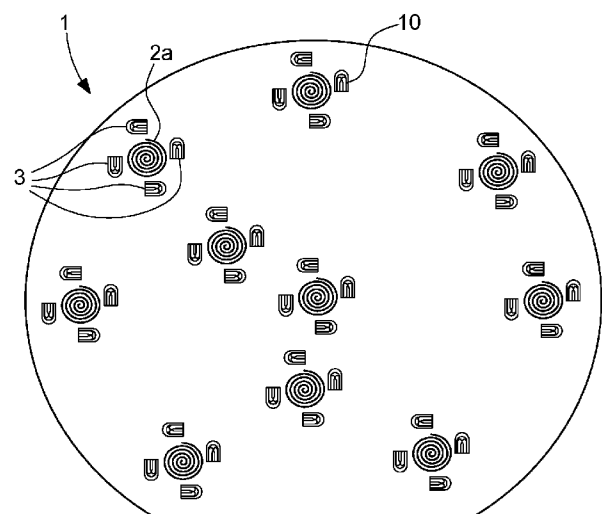
(74) Mandataire:
ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA,
Faubourg de l'Hôpital 3
2001 Neuchâtel (CH)

(54) **Procédé de fabrication d'un lot de ressorts spiraux d'horlogerie**

(57) L'invention concerne un procédé de fabrication d'un lot de spiraux horlogers (2a) dont les raideurs ont une moyenne comprise dans une plage prédéterminée, comportant les étapes suivantes :

- former dans une plaquette (1) les spiraux horlogers selon des dimensions différentes des dimensions nécessaires pour obtenir le lot de spiraux horlogers (2a) dont les raideurs ont la moyenne comprise dans ladite plage prédéterminée;
- former dans la plaquette (1) des systèmes (3) d'indication d'une raideur de référence pour la détermination des raideurs des spiraux horlogers (2a) dont la moyenne est comprise dans ladite plage prédéterminée;
- déterminer les raideurs desdits systèmes (3) formés ;
- calculer une correction dimensionnelle à appliquer aux spiraux horlogers formés, à partir des raideurs desdits systèmes (3) déterminées;
- modifier les dimensions des spiraux horlogers formés, à partir d'une correction dimensionnelle calculée pour l'obtention du lot de spiraux horlogers (2a) dont les raideurs

ont la moyenne comprise dans ladite plage prédéterminée.



Description

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention se rapporte au domaine de la fabrication de pièces pour l'horlogerie. L'invention concerne plus particulièrement un procédé de fabrication d'un lot de spiraux horlogers dont les raideurs ont une moyenne comprise dans une plage prédéterminée.

Arrière-plan technologique

[0002] Dans l'état de la technique, il est connu d'utiliser des procédés de fabrication de spiraux horlogers dans des plaquettes qui mettent en œuvre des techniques de gravure telles que la gravure au laser, la gravure au plasma, la gravure ionique réactive profonde dite DRIE ou encore la gravure humide.

[0003] Toutefois, on constate que la mise en œuvre de tels procédés engendre classiquement une dispersion géométrique entre les spiraux horlogers formés tous selon un même motif dans une même plaquette.

[0004] Pour pallier ces inconvénients, des solutions sont proposées dans l'état de la technique en particulier dans les brevets EP3181938 et EP 3181939 qui décrivent des procédés de fabrication de spiraux.

[0005] Dans le brevet EP 3181938 le procédé de fabrication comprend les étapes suivantes : a) on forme un spiral dans des dimensions supérieures aux dimensions nécessaires pour obtenir un spiral d'une raideur prédéterminée, b) on détermine la raideur du spiral formé lors de l'étape a) par mesure de la fréquence du spiral couplé avec un balancier doté d'une inertie prédéterminée, c) on calcule l'épaisseur de matière à retirer pour obtenir le spiral d'une raideur prédéterminée et d) on retire du spiral formé lors de l'étape a) l'épaisseur de matière calculée, les étapes b), c) et d) pouvant être répétées pour améliorer encore la qualité dimensionnelle.

[0006] Dans le brevet EP 3181939, le procédé de fabrication comprend les étapes suivantes: a) on forme un spiral dans des dimensions inférieures aux dimensions nécessaires pour obtenir un spiral d'une raideur prédéterminée, b) on détermine la raideur du spiral formé lors de l'étape a) par mesure de la fréquence du spiral couplé avec un balancier doté d'une inertie prédéterminée, c) on calcule l'épaisseur de matière manquante pour obtenir le spiral d'une raideur prédéterminée et d) on modifie le spiral formé lors de l'étape a) pour compenser l'épaisseur de matière manquante, les étapes b), c) et d) pouvant être répétées pour améliorer encore la qualité dimensionnelle.

[0007] De tels procédés peuvent être améliorés notamment afin de limiter les contaminations de la plaquette qui peuvent être engendrées lors de l'étape de mesure qu'ils mettent en œuvre.

[0008] Dans ces conditions, on comprend qu'il existe un besoin de trouver des solutions devant conduire à une telle amélioration.

Résumé de l'invention

[0009] Un but de la présente invention est de proposer un procédé de fabrication d'un lot de spiraux horlogers permettant de répondre aux besoins précités.

[0010] Un autre but est d'améliorer la précision de la fabrication du lot de spiraux horlogers dont les raideurs ont une moyenne dans une plage prédéterminée.

[0011] L'invention concerne un procédé de fabrication d'un lot de spiraux horlogers dont les raideurs ont une moyenne comprise dans une plage prédéterminée, comportant les étapes suivantes:

- a) former dans une plaquette les spiraux horlogers selon des dimensions différentes des dimensions nécessaires pour obtenir le lot de spiraux horlogers dont les raideurs ont la moyenne comprise dans ladite plage prédéterminée ;
- b) former dans la plaquette des systèmes d'indication d'une raideur de référence pour la détermination des raideurs des spiraux horlogers dont la moyenne est comprise dans ladite plage prédéterminée ;
- c) déterminer les raideurs desdits systèmes formés ;
- d) calculer d'une correction dimensionnelle à appliquer aux spiraux horlogers formés, à partir des raideurs desdits systèmes déterminées ;
- e) modifier les dimensions des spiraux horlogers formés, à partir d'une correction dimensionnelle calculée pour l'obtention du lot de spiraux horlogers dont les raideurs ont la moyenne comprise dans ladite plage prédéterminée.

[0012] Dans d'autres modes de réalisation :

- les étapes de formation du lot de spiraux horlogers et desdits systèmes sont réalisées par gravure, notamment par gravure ionique réactive profonde ;
- à l'étape de formation chaque système est réalisé dans la plaquette pour un spiral du lot de spiraux horlogers ;
- l'étape de formation desdits systèmes prévoit la réalisation dans la plaquette d'une pluralité d'éléments oscillants constituant chaque système entourant le spiral avec lequel ce système est associé dans la plaquette ;
- l'étape de formation desdits systèmes prévoit la réalisation dans la plaquette d'un unique élément oscillant constituant chaque système à proximité du spiral avec lequel ce système est associé dans la plaquette ;
- l'étape de détermination comprend une sous-étape d'estimation d'au moins une fréquence de résonance de chaque système associé à un spiral du lot de spiraux horlogers ;
- l'étape de détermination comprend une sous-étape définition de la raideur de chaque système à partir d'un dispositif électronique exécutant un algorithme pour le calcul de cette raideur sur la base de la fréquence de résonance estimée ;
- la raideur définie pour chaque système est la raideur d'un de ses éléments oscillants, la raideur moyenne de tous ses éléments oscillants ou la raideur moyenne d'un échantillon de ses éléments oscillants ;
- l'étape de calcul comprend une sous-étape de détermination à partir de la raideur déterminée d'une épaisseur de matière à ajouter ou à retirer à au moins une dimension du spiral du lot de spiraux horlogers ;
- l'élément oscillant à la forme d'un diapason.

Brève description des figures

[0013] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation particulier de l'invention, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des figures annexées, parmi lesquelles :

- la figure 1 est une vue schématique d'une plaquette comprenant un lot de spiraux horlogers ayant été formés en même temps notamment par gravure tous dans cette plaquette, selon des modes de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 est une vue à plus grande échelle d'un élément oscillant d'un système d'indication d'une raideur de référence, ce système étant compris dans la plaquette représentée sur la figure 1, selon les modes de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 est une vue schématique d'une section d'une lame du spiral fabriqué à partir du procédé, la section ayant des dimensions nécessaires pour obtenir le lot de spiraux horlogers dont les raideurs ont la moyenne comprise dans la plage prédéterminée, selon des modes de réalisation de l'invention ;
- la figure 4 est une vue schématique d'une section d'une lame du spiral formé dans la plaquette à partir du procédé, la section ayant des dimensions supérieures aux dimensions de la section de lame de spiral fabriqué illustrée sur la figure 3, selon des modes de réalisation de l'invention ;
- la figure 5 est une vue schématique d'une section d'une lame du spiral formé dans la plaquette à partir du procédé, la section ayant des dimensions inférieures aux dimensions de la section de lame de spiral fabriqué illustrée sur la figure 3, selon des modes de réalisation de l'invention, et
- la figure 6 est un logigramme relatif à un procédé fabrication d'un lot de spiraux horlogers dont les raideurs ont une moyenne comprise dans une plage prédéterminée, selon des modes de réalisation de l'invention.

Description détaillée de l'invention

[0014] La figure 6 montre une représentation schématique du procédé de fabrication d'un lot ou d'un ensemble de spiraux horlogers 2a dont les raideurs ont une moyenne comprise dans une plage prédéterminée. Un tel procédé vise à assurer une très haute précision dimensionnelle des spiraux 2a fabriqués et, incidemment, à garantir une raideur plus précise de ces spiraux 2a.

[0015] Sur la figure 1, un lot de spiraux horlogers 2b, 2c est formé dans une plaquette 1. Dans ce lot, chaque spiral 2b, 2c comporte une virole destinée à être solidarisée à un arbre pivotant. Ce spiral horloger 2b, 2c comprend également un brin élastiquement flexible se raccordant par une extrémité sur la virole et enroulé selon une spirale de manière à former plusieurs spires consécutives, dont la dernière est prolongée par un segment d'attache destiné à être attaché à un pont de balancier fixe, par exemple par l'intermédiaire d'un piton.

[0016] Un tel procédé comprend une étape de formation 20 dans la plaquette 1 des spiraux horlogers 2b, 2c selon des dimensions E, E3, H2, H3 différentes des dimensions E1, H1 nécessaires pour obtenir le lot de spiraux horlogers 2a dont les raideurs ont la moyenne comprise dans la plage prédéterminée.

[0017] Lors de cette étape 20, les spiraux 2b, 2c sont formés dans la plaquette 1 de matière. Ces spiraux 2b, 2c sont formés de préférence simultanément dans cette plaquette 1. La formation de ces spiraux 2a, 2c dans la plaquette 1 peut être réalisée par gravure par exemple par gravure ionique réactive profonde, par gravure laser, par gravure chimique ou encore par gravure mettant en œuvre un faisceau d'ions focalisés. On notera que ces spiraux 2b, 2c ont de préférence des géométries similaires.

[0018] Ces spiraux horlogers 2b, 2c formés dans cette plaquette 1, ont des lames ayant des sections 4b, 4c de dimensions E2, H2, E3, H3 - caractérisées par une hauteur H1, H2, H3 et une épaisseur E1, E2, E3 de cette section 4a, 4b, 4c lorsqu'une telle lame est de forme polygonale - qui sont différentes des dimensions E1, H1 nécessaires pour obtenir le lot de spiraux horlogers 2a dont les raideurs ont la moyenne comprise dans la plage prédéterminée. Autrement dit, la lame de chaque spiral 2b, 2c peut avoir une section 4b, 4c dont les dimensions E2, H2, E3, H3 sont supérieures ou inférieures aux dimensions E1, H1 nécessaires de la section 4a de la lame du spiral 2a fabriqué qui permet d'obtenir une raideur dans la moyenne comprise dans la plage prédéterminée.

[0019] Dans le contexte de ce procédé, la plaquette 1 est fabriquée de préférence en silicium dopé ou non. Ce silicium peut être un silicium monocristallin, polycristallin ou amorphe. De plus, ce silicium peut être d'orientation {1,1,1}, {-1,1,1}, {1,-1,1}, {-1,-1,1} pour lesquels le modèle de Young du silicium est le plus important. De manière alternative, cette plaquette 1 peut être fabriquée en quartz, verre, de céramique, en métal ou en alliage.

[0020] On notera que lors de cette étape de formation 20 les spiraux horlogers 2b, 2c formés peuvent avoir :

- des dimensions E2, H2 supérieures aux dimensions E1, H1 nécessaires pour obtenir le lot de spiraux horlogers 2a dont les raideurs ont la moyenne comprise dans la plage prédéterminée, c'est-à-dire une hauteur H2 de la lame et/ou une épaisseur E2 de la lame supérieure (s) à la hauteur H1 et/ou l'épaisseur E1 (s) de la lame des spiraux horlogers 2a dont les raideurs ont la moyenne comprise dans la plage prédéterminée ;
- des dimensions E3, H3 inférieures aux dimensions E1, H1 nécessaires pour obtenir le lot de spiraux horlogers 2a dont les raideurs ont la moyenne comprise dans la plage prédéterminée, c'est-à-dire une hauteur H3 de la lame et/ou une épaisseur E3 de la lame inférieure (s) à la hauteur H1 et/ou l'épaisseur E1 de la lame des spiraux horlogers 2a dont les raideurs ont la moyenne comprise dans la plage prédéterminée.

[0021] Le procédé comprend aussi une étape de formation 21 dans la plaquette 1, des systèmes d'indication d'une raideur de référence 3, pour la détermination des raideurs des spiraux horlogers 2a dont la moyenne est comprise dans la plage prédéterminée. Cette étape 21 est réalisée dans la même plaquette 1 comprenant les spiraux horlogers 2b, 2c formés et ce, de préférence simultanément à l'étape de formation 20 de ces spiraux 2b, 2c. Lors de cette étape 21, un système 3 est formé dans la plaquette 1 pour chaque spiral 2b, 2c du lot de spiraux horlogers formés. Ce système 3 est constitué d'au moins un élément oscillant 10 qui est agencé à proximité immédiate du spiral 2b, 2c correspondant. Comme pour l'étape de formation 20 des spiraux 2b, 2c, l'élément oscillant 10 de chaque système 3 est formé de préférence par gravure. On notera qu'il peut y avoir dans cette plaquette 1 autant de système 3 que de spiraux 2b, 2c et la hauteur de l'élément oscillant 10 est similaire à celui de la plaquette 1 et donc à celui des spiraux 2b, 2c. De manière alternative, cette plaquette 1 peut comprendre un échantillon minimum de système 3 permettant d'obtenir une bonne représentation des raideurs sur cette plaquette 1.

[0022] Ainsi que nous l'avons vu, ce système 3 comprend de préférence une pluralité d'éléments oscillants 10. Un tel élément 10 comprend au moins une lame et peut s'étendre essentiellement de manière rectiligne. Cet élément 10 comprend une extrémité d'attache 5a et au moins une extrémité libre 5b, 5c. Cet élément 10 a une forme géométrique et des dimensions qui sont différentes de celles d'un spiral de cette plaquette 1, à l'exception bien sûr de la hauteur comme nous l'avons précisé précédemment.

[0023] Chaque élément oscillant 10 est compris dans une ouverture 9 réalisée dans la plaquette 1. Cette ouverture 9 définit un espace dans lequel l'élément oscillant 10 peut exécuter librement un mouvement d'oscillation mécanique commandé/contrôlé.

[0024] En particulier, cet élément oscillant 10 comprend une extrémité d'attache 5a et deux extrémités libres 5b, 5c. En effet, cet élément oscillant 10 comprend une tige/tronc 6 pourvu (e) de l'extrémité d'attache 5a. Cette tige 6 s'étend de manière rectiligne dans l'ouverture 9 et comporte dans son prolongement deux bras 7, 8 formant deux lames flexibles, ou deux branches flexibles, qui sont repliées le long de la tige 6. Plus précisément, de tels bras 7, 8 sont agencés dans l'ouverture 9 en étant situés à proximité de la tige 6 et sont dans cette configuration essentiellement parallèles à cette dernière. Ces deux bras 7, 8 sont reliées entre elles en formant la lettre „U“ et comportent chacune une extrémité libre de l'élément oscillant 10. On notera que ces bras 7, 8 peuvent avoir chacune une épaisseur similaire ou sensiblement similaire à celle du spiral.

[0025] Dans cet élément oscillant 10, la tige 6 est plus rigide que les deux bras 7, 8 qui la constituent. De plus ces bras 7, 8 ont une longueur comprise entre 1 mm et 2 mm, de préférence 1,5 mm. Ces bras 7, 8 ont une épaisseur comprise entre 10 et 60 μm , de préférence 30 μm .

[0026] En outre, cet élément oscillant 10 a une forme générale d'un diapason ou est un diapason.

[0027] Ainsi que nous l'avons précisé précédemment, chaque élément oscillant 10 est choisi pour permettre un découplage optimal de l'effet d'encastrement sur des fréquences de résonance. En effet, lors d'excitations harmoniques, il y a un effet non négligeable de l'encastrement sur la fréquence de résonance. Dans le cas de cet élément oscillant 10, il y a un découplage important entre cet encastrement et la fréquence de résonance des bras 7, 8. La corrélation entre la fréquence de résonance et la raideur devient indépendante de la qualité de la gravure de l'encastrement.

[0028] Ceci n'est pas le cas pour un élément oscillant constitué d'une lame présentant une section variable le long de sa direction principale rectiligne et se terminant, à son extrémité distale, par une portion de section localement agrandie formant masse. Dans une telle configuration, la variation de l'épaisseur de lame entraîne une modification de l'encastrement et donc de la résonance. La corrélation requiert ici de prendre en compte l'impact de cet encastrement ce qui induit une complexité qui est inexistante dans le procédé selon l'invention mettant en œuvre un élément oscillant 10 tel qu'un diapason. De plus, cette lame est pourvue d'angles fermés dont la formation dans une plaquette par gravure ionique réactive profonde requiert la mise en œuvre d'opérations complexes. Dans ces conditions, on comprend qu'il peut donc y avoir une grande variabilité sur chacun de ces angles, ce qui modifie la fréquence de résonance. A titre d'exemple, une variation de l'ordre de 2 μm sur le rayon du congé de l'encastrement, entraîne une différence de prédiction de l'épaisseur de gravure de la lame rectiligne de l'ordre de 20 nm. En outre pour cette lame et d'autres types de lames d'ailleurs différentes du diapason, les côtes sur la fabrication de l'encastrement sont un obstacle à l'obtention d'une bonne corrélation fréquence-raideur.

[0029] Lors de cette étape 21, les éléments oscillants 10 de chaque système 3 associé à un spiral 2b, 2c, sont agencés dans la plaquette 1 dans le pourtour de ce spiral 2b, 2c et en particulier dans le voisinage immédiat de ce spiral 2b, 2c. Ainsi la pluralité d'éléments oscillants 10 du système 3, est formée dans la plaquette 1 en entourant le spiral 2b, 2c auquel il est associé.

[0030] On notera que l'agencement de ces éléments oscillants 10 de chaque système 3 dans cette plaquette 1 est de préférence réalisé de manière que ses bras 7, 8 soient placés de sorte que le module d'Young soit à son maximum ou minimum et ce, en particulier lorsque cette plaquette 1 est fabriquée à base de silicium. En effet, le silicium étant anisotrope cet agencement permet d'éviter la variabilité du module d'Young en fonction de l'angle lors de la détermination de la raideur. De plus on privilégiera le maximum du module d'Young pour augmenter la précision de la corrélation entre la raideur et la fréquence mesurée.

[0031] On notera que lors de cette étape 21, lesdits systèmes 3 sont configurés pour que la moyenne des raideurs des spiraux horlogers 2b, 2c réalisés dans la plaquette 1, soit dans la plage prédéterminée.

[0032] En outre, un tel élément oscillant 10 est configuré de manière que sa raideur puisse être déterminée facilement à partir d'un dispositif électronique de détermination de raideurs de ces systèmes 3. Ce dispositif électronique qui est mis en œuvre par ce procédé, comprend de manière non limitative et non exhaustive :

- une unité de traitement telle qu'un ordinateur ;
- un module d'entraînement/de déclenchement d'un mouvement d'oscillation mécanique dans le corps d'un élément oscillant 10 autour de sa position d'équilibre stable ;
- un module de mesure d'une fréquence de résonance de l'élément oscillant 10 en mouvement d'oscillation mécanique.

[0033] L'unité de traitement de ce dispositif électronique comprend au moins un processeur et des éléments de mémoires. Cette unité de traitement est apte à exécuter des instructions pour la mise en œuvre d'un programme d'ordinateur visant par exemple à assurer le pilotage/contrôle des modules d'entraînement et de mesure et aussi des opérations de calcul/traitement lors desquelles au moins un algorithme, archivé dans les éléments de mémoire, est mis en œuvre. Cet algorithme peut comprendre un algorithme d'apprentissage automatique et/ou des formules mathématiques. Cet algorithme est apte à mettre en œuvre un modèle prédictif ou un modèle de simulation permettant de déterminer la raideur d'un système 3 à partir d'une mesure de sa fréquence de résonance.

[0034] On notera qu'un tel élément oscillant 10 est assimilable à un diapason dans le sens où il vibre à une fréquence stable malgré l'évolution de certains paramètres liés notamment à l'encastrement et au processus de fabrication. Cette fréquence stable varie selon un seul et unique paramètre déterminé ici la raideur.

[0035] L'un des paramètres de l'élément oscillant 10 fait varier de façon significative la fréquence de résonance de sorte que l'influence des autres paramètres est négligeable.

[0036] Le procédé comprend par la suite une étape de détermination 22 des raideurs desdits systèmes 3 associés aux spiraux 2b, 2c formés dans la plaquette 1. Une telle étape 22 comprend une sous-étape d'estimation 23 d'au moins

une fréquence de résonance de chaque système 3 associé à son spiral 2b, 2c. Durant cette sous-étape 23, au moins un élément oscillant 10 d'au moins un système 3 est entraîné dans un mouvement d'oscillation mécanique autour de sa position d'équilibre stable. Lors de ce mouvement, la fréquence de résonance de cet élément oscillant 10 est alors déterminée lors d'une phase de mesure 24.

[0037] Dans ce mode de réalisation de l'invention, les fréquences de résonance de tous les éléments oscillants 10 du système 3, sont mesurées et une moyenne de ses fréquences est alors calculée pour correspondre à la fréquence de résonance de ce système 3. Dans ce contexte, cette fréquence moyenne déterminée, est considérée comme représentative de la fréquence de chacun des éléments oscillants 10 de ce système 3.

[0038] De manière alternative, la fréquence de résonance mesurée du système 3 peut être une fréquence de résonance d'un seul de ses éléments oscillants 10 ou une fréquence de résonance d'un échantillon de ses éléments oscillants 10.

[0039] Une fois la fréquence de résonance estimée, cette étape 22 comprend une sous-étape définition 25 de la raideur de chaque système 3 lors de laquelle sous-étape 25, le dispositif électronique exécute l'algorithme pour le calcul de cette raideur à partir de la fréquence de résonance estimée du système 3.

[0040] Le procédé comprend par la suite une étape de calcul 26 d'une correction dimensionnelle à appliquer à chaque spiral 2b, 2c du lot de spiraux horlogers à partir de la raideur déterminée pour le système 3 qui lui est associé. Lors de cette étape 26, une quantification de la correction dimensionnelle à appliquer au spiral 2b, 2c est alors déterminée.

[0041] Pour ce faire, cette étape 26 comprend une sous-étape de détermination 27 à partir cette raideur déterminée, d'une épaisseur *e* de matière à ajouter ou à retirer à au moins une dimension du spiral 2b, 2c du lot de spiraux horlogers formés lors de l'étape de formation 20 pour obtenir le lot de spiraux horlogers 2a dont les raideurs ont la moyenne comprise dans la plage prédéterminée.

[0042] Cette correction dimensionnelle correspond effectivement à une épaisseur *e* de matière à retirer ou à ajouter sur le spiral 2b, 2c afin de faire varier au moins une de ses dimensions E2, H2, E3, H3 à savoir :

- uniquement la hauteur H2, H3 de sa lame, ou
- uniquement l'épaisseur E2, E3 de cette lame, ou
- à la fois cette hauteur H2, H3 et cette épaisseur E2, E3.

[0043] Cette correction dimensionnelle peut être apportée sur une ou plusieurs longueurs distinctes de la lame ou sur toute la longueur de la lame de ce spiral 2b, 2c.

[0044] Une telle sous-étape 27 permet ainsi par la détermination de la correction dimensionnelle de participer au façonnement d'une géométrie de ce spiral 2b, 2c qui va lui conférer une raideur qui sera comprise dans la plage prédéterminée.

[0045] Le procédé comprend ensuite une étape de modification 28 des dimensions E2, E3, H2, H3 des spiraux horlogers 2b, 2c à partir d'une correction dimensionnelle calculée pour l'obtention du lot de spiraux horlogers 2a dont les raideurs ont la moyenne dans la plage prédéterminée.

[0046] Dans ce contexte, si les dimensions E2, H2 des spiraux 2b sont supérieures aux dimensions E1, H1 nécessaires pour obtenir le lot de spiraux horlogers 2a dont les raideurs ont la moyenne comprise dans la plage prédéterminée, cette étape 28 comprend alors une sous-étape de retrait de matière 29 en fonction de l'épaisseur *e* de matière calculer à retirer. Un tel retrait peut alors être réalisé lors d'un processus d'oxydation puis de désoxydation de ces spiraux 2b bien connu de l'état de la technique. Une telle sous-étape 29 vise à réduire les dimensions de la section 4b de la lame de ce spiral 2b sur une longueur donnée ou sur toute la longueur de cette lame.

[0047] Lorsque les dimensions E3, H3 des spiraux 2c sont inférieures aux dimensions E1, H1 nécessaires pour obtenir le lot de spiraux horlogers 2a dont les raideurs ont la moyenne comprise dans la plage prédéterminée, cette étape 28 comprend alors une sous-étape d'ajout de matière 30 en fonction de l'épaisseur *e* de matière calculer à ajouter. Un tel ajout de matière peut alors être réalisé lors de processus bien connu de l'état de la technique tels que l'oxydation thermique, la croissance galvanique, le dépôt physique en phase vapeur, le dépôt chimique en phase vapeur, le dépôt en couche atomique ou toute autre processus additif. Une telle sous-étape 30 vise à augmenter les dimensions E3, H3 de la section 4c de la lame de ce spiral 2c sur une longueur donnée ou sur toute la longueur de cette lame.

[0048] Ainsi un tel procédé permet de corriger avec une grande précision apportée par lesdits systèmes d'indication d'une raideur de référence 3, les erreurs dimensionnelles de spiraux fabriqués par de tels procédés mettant en œuvre des technologies de photolithographie et/ou de gravure DRIE.

Nomenclature

[0049]

- 1 Plaquette comprenant au moins un spiral
- 2a Spiral fabriqué

- 2b Spiral formé dans la plaquette avec une section de dimensions supérieures à celles de la section du spiral fabriqué
- 2c Spiral formé dans la plaquette avec une section de dimensions inférieures à celles de la section du spiral fabriqué
- 3 Système d'indication d'une raideur de référence
- 4a Section de spiral fabriqué
- 4b Section de spiral formé de dimensions supérieures à celles de la section du spiral fabriqué
- 4c Section de spiral formé de dimensions inférieures à celles de la section du spiral fabriqué
- 5a Extrémité d'attache de l'élément oscillant
- 5b Première extrémité libre de l'élément oscillant
- 5c Deuxième extrémité libre de l'élément oscillant
- 6 Tige/Tronc de l'élément oscillant
- 7 Premier bras flexible de l'élément oscillant
- 8 Deuxième bras flexible de l'élément oscillant
- 9 Ouverture dans laquelle est agencé l'élément oscillant
- 10 Élément oscillant

Revendications

1. Procédé de fabrication d'un lot de spiraux horlogers (2a) dont les raideurs ont une moyenne comprise dans une plage prédéterminée, comportant les étapes suivantes :
 - a) former (20) dans une plaquette (1) les spiraux horlogers (2b, 2c) selon des dimensions différentes des dimensions nécessaires pour obtenir le lot de spiraux horlogers (2a) dont les raideurs ont la moyenne comprise dans ladite plage prédéterminée ;
 - b) former (21) dans la plaquette (1) des systèmes (3) d'indication d'une raideur de référence pour la détermination des raideurs des spiraux horlogers (2a) dont la moyenne est comprise dans ladite plage prédéterminée ;
 - c) déterminer (22) les raideurs desdits systèmes (3) formés ;
 - d) calculer (26) d'une correction dimensionnelle à appliquer aux spiraux horlogers (2b, 2c) formés, à partir des raideurs desdits systèmes (3) déterminées ;
 - e) modifier les dimensions des spiraux horlogers (2b, 2c) formés, à partir d'une correction dimensionnelle calculée pour l'obtention du lot de spiraux horlogers (2a) dont les raideurs ont la moyenne comprise dans ladite plage prédéterminée.
2. Procédé selon la revendication précédente dans lequel les étapes de formation (20, 21) du lot de spiraux horlogers (2b, 2c) et desdits systèmes (3) sont réalisées par gravure, notamment par gravure ionique réactive profonde.
3. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel à l'étape de formation (21) chaque système (3) est réalisé dans la plaquette (1) pour un spiral du lot de spiraux horlogers (2b, 2c).
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape de formation (21) desdits systèmes (3) prévoit la réalisation dans la plaquette (1) d'une pluralité d'éléments oscillants (10) constituant chaque système (3) entourant le spiral (2b, 2c) avec lequel ce système (3) est associé dans la plaquette (1).
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'étape de formation (21) desdits systèmes (3) prévoit la réalisation dans la plaquette (1) d'un unique élément oscillant (10) constituant chaque système (3) à proximité du spiral (2b, 2c) avec lequel ce système (3) est associé dans la plaquette (1).
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape de détermination (22) comprend une sous-étape d'estimation (23) d'au moins une fréquence de résonance de chaque système (3) associé à un spiral du lot de spiraux horlogers (2b, 2c).
7. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel l'étape de détermination (22) comprend une sous-étape définition (25) de la raideur de chaque système (3) à partir d'un dispositif électronique exécutant un algorithme pour le calcul de cette raideur sur la base de la fréquence de résonance estimée.
8. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel la raideur définie pour chaque système (3) est la raideur d'un de ses éléments oscillants (10), la raideur moyenne de tous ses éléments oscillants (10) ou la raideur moyenne d'un échantillon de ses éléments oscillants (10).
9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape de calcul (26) comprend une sous-étape de détermination (27) à partir de la raideur déterminée d'une épaisseur (e) de matière à ajouter ou à retirer à au moins une dimension du spiral (2b, 2c) du lot de spiraux horlogers (2b, 2c).
10. Procéder selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'élément oscillant (10) à la forme d'un diapason.

Fig. 1

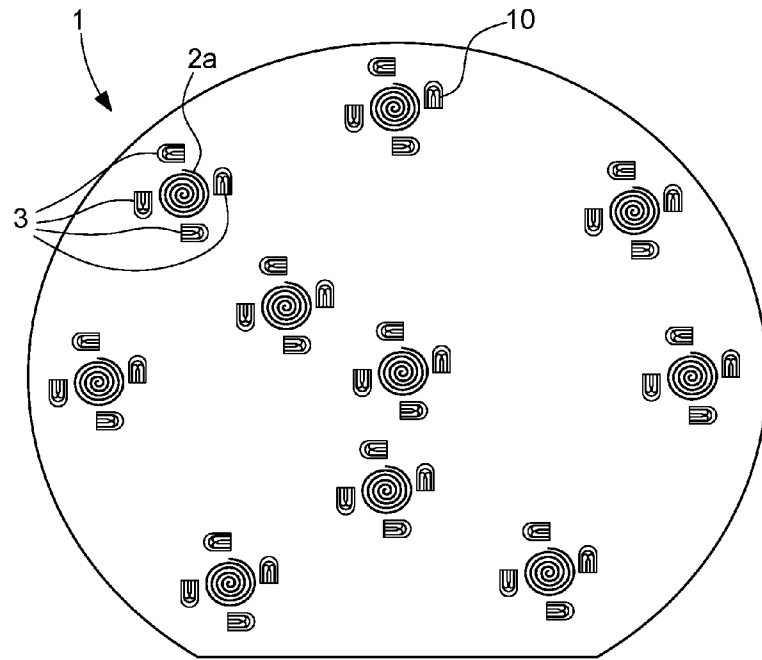


Fig. 2

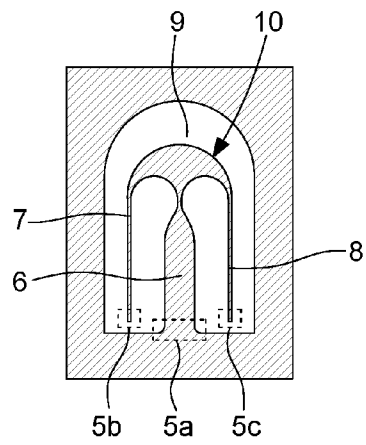


Fig. 3

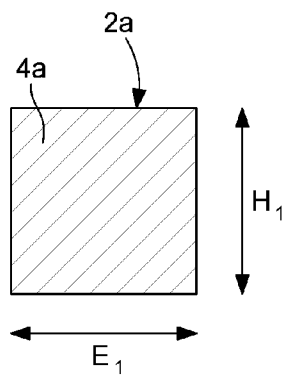


Fig. 4

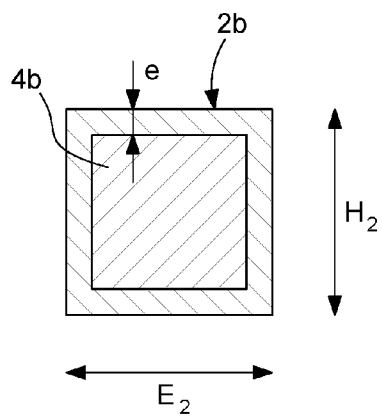


Fig. 5

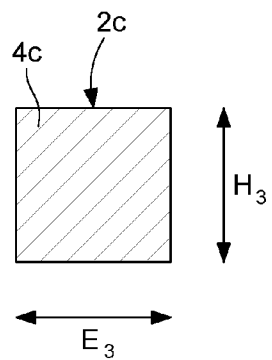


Fig. 6

