

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) CH 718 065 A2

(51) Int. Cl.: G04B 1/14 (2006.01)
G04B 17/04 (2006.01)
G04B 1/16 (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: 70566/21

(22) Date de dépôt: 16.11.2021

(43) Demande publiée: 31.05.2022

(30) Priorité: 17.11.2020 EP 20208118.8

(71) Requérant:
Patek Philippe SA Genève, Rue du Rhône 41
1204 Genève (CH)

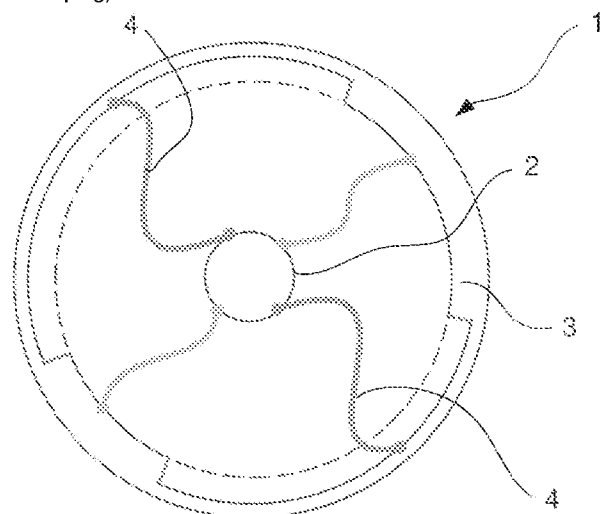
(72) Inventeur(s):
Coline Jiguet, 1228 Plan-les-Ouates (CH)
Sébastien Perseguers, 1228 Plan-les-Ouates (CH)

(74) Mandataire:
BOVARD SA Neuchâtel Conseils en propriété
intellectuelle, Rue des Noyers 11
2000 Neuchâtel (CH)

(54) **Procédé de fabrication d'une lame ressort d'un organe horloger et ladite lame ressort.**

(57) La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une lame ressort (4) d'un organe horloger (1) pivotant autour d'un axe de pivotement et soumis à un couple exercé par au moins une lame ressort (4), ledit organe horloger (1) comprenant au moins une partie mobile rotative agencée pour pouvoir pivoter autour de son axe de pivotement, ladite lame ressort (4) étant agencée pour travailler dans une plage prédéfinie de positions angulaires prises par l'extrémité de la lame ressort (4) associées à la partie mobile rotative lors d'un déplacement angulaire d'au moins ladite extrémité de la lame ressort (4), comprenant les étapes de : a) déterminer des objectifs à atteindre par ladite lame ressort (4) ; b) déterminer des paramètres fixes relatifs à la lame ressort (4) ; c) déterminer des paramètres variables relatifs à la lame ressort (4) ; d) se munir d'un substrat dans un matériau à partir duquel la lame ressort (4) est réalisée pour répondre aux objectifs prédéterminés à l'étape a) et aux paramètres fixes et variables prédéterminés aux étapes b) et c) ; e) générer des formes géométriques de la lame ressort (4) f) calculer numériquement pour chaque forme géométrique de lame ressort (4) générée à l'étape e) au moins le couple, la contrainte et l'espace occupé par la déformée ; g) sélectionner, à partir des résultats des calculs de l'étape f), les meilleures formes géométriques admissibles obtenues à l'étape e) et optimiser lesdites formes géométriques admissibles pour identifier les paramètres variables qui permettent d'obtenir la forme de lame ressort (4) qui se rapproche le plus des objectifs prédéterminés à l'étape a), les paramètres d'optimisation étant choisis parmi les paramètres

variables prédéterminés à l'étape c) ; h) former dans ledit substrat au moins une lame ressort (4) présentant la forme obtenue à l'étape g).



Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une lame ressort d'un organe horloger agencé pour pouvoir pivoter autour d'un axe de pivotement et soumis à un couple exercé par au moins une lame ressort, ledit organe horloger comprenant un moyeu centré sur l'axe de pivotement et une serge reliés par ladite lame ressort, au moins l'un du moyeu et de la serge étant une partie mobile rotative agencée pour pouvoir pivoter autour de son axe de pivotement, ladite lame ressort étant agencée pour travailler dans une plage prédéfinie de positions angulaires prises par l'extrémité de la lame ressort associée à la partie mobile rotative lors d'un déplacement angulaire d'au moins ladite extrémité de la lame.

[0002] La présente invention concerne également une lame ressort obtenue par ledit procédé.

Etat de la technique

[0003] Les lames ressorts sont traditionnellement utilisées dans le domaine de l'horlogerie mécanique en association avec différents organes horlogers de fonction différentes, tels qu'un barillet, un oscillateur ou un sautoir.

[0004] De telles lames ressorts, utilisées dans un barillet ou associées à un sautoir, présentent classiquement des raideurs positives, la géométrie de la lame générant un couple qui augmente avec le déplacement angulaire de la lame lorsqu'une partie mobile de l'organe horloger auquel la lame est associée, pivote sur elle-même, autour de son axe de pivotement. Par exemple, dans le cas d'un barillet, la lame ressort ou ressort de barillet présente classiquement une forme de spirale, enroulée sur elle-même lorsque le ressort de barillet est logé dans le tambour de barillet pour faire en général de 8 à 10 tours du désarmage à l'armage complet du ressort, et une forme d'un S retourné lorsqu'il est hors du tambour de barillet. Le déroulement de la lame cherchant à reprendre sa forme initiale produit l'énergie nécessaire au fonctionnement du mouvement horloger alimenté par le barillet. Une telle lame présentant une raideur positive, le couple délivré par le barillet n'est pas constant, ce qui affecte l'isochronisme du mouvement horloger.

[0005] De même, si l'organe horloger est un sautoir associé à une lame ressort de raideur positive, le couple généré par la lame augmente lorsque la partie mobile du sautoir pivote sur elle-même, affectant le fonctionnement dudit organe horloger. En effet, une augmentation linéaire du couple à partir d'un certain déplacement implique que la consommation d'énergie devient inutile au fonctionnement. De plus, cet effort superflu crée également des frottements et de l'usure.

[0006] Des solutions ont été développées pour proposer des lames ressorts présentant des formes géométriques permettant d'obtenir la raideur adéquate sur une plage prédéterminée de positions angulaires prises par l'une des extrémités de la lame ressort lors d'un déplacement angulaire d'au moins ladite extrémité de la lame ressort lorsque la partie mobile de l'organe horloger auquel ladite extrémité de la lame est associée, pivote sur elle-même, autour de son axe de pivotement. Plus particulièrement, la demanderesse a développé des lames ressorts dont la forme géométrique est une courbe de Bézier d'ordre 7 définie par un ensemble des points de coordonnées (x ; y) et des points de contrôle Q_0 à Q_6 tels que décrits dans la publication WO 2018/146639, utilisées par exemple dans des barillets ou associées à des sautoirs afin de contrôler la raideur des lames ressorts et donc le couple généré. Par exemple, la publication WO 2018/146639 décrit l'utilisation de lames formées selon la courbe de Bézier telle que définie ci-dessus dans des unités monolithiques empilées constituant un barillet, chaque unité comprenant une serge et un moyeu reliés par lesdites lames. Le barillet obtenu permet d'avoir un couple constant sur une plage de déplacement angulaire de la serge ou du moyeu de 21° environ. Il est souhaitable de pouvoir augmenter cette plage de déplacement angulaire. Par ailleurs, les courbes de Bézier peuvent générer des points de rebroussement ou de boucles qui doivent être évités pour obtenir des lames physiquement satisfaisantes. De plus, l'optimisation avec une courbe de Bézier en augmentant le nombre de points de contrôle est délicate car l'ajout de nouveaux points de contrôle modifie l'allure générale de la courbe.

[0007] Lorsqu'elle est utilisée dans un oscillateur, la lame ressort ou ressort spiral présente la forme d'une spirale d'Archimède, dont le centre est fixé sur l'axe de l'oscillateur au moyen d'une virole. Cela impose d'avoir un oscillateur avec un axe de pivotement physique, agencé pour pivoter dans des pierres, ce qui crée du frottement et donc du plat pendu. Des solutions permettant de supprimer l'axe de pivotement physique ont donc été proposées. Par exemple, des oscillateurs à guidage flexible, sans pivot, utilisant des lames élastiques, ont été développés. Une autre possibilité est de remplacer le spiral par des lames flexibles liant la serge et le moyeu de l'oscillateur. Cela n'est toutefois possible que si on dispose d'un système de lames capables de générer un couple parfaitement linéaire de faible pente sur une plage de positions angulaires qui est fonction de la fréquence d'oscillation de l'oscillateur qui doit être atteinte.

[0008] La présente invention a pour but de proposer un nouveau procédé de fabrication d'une lame ressort d'un organe horloger permettant de pallier, au moins en partie, les inconvénients précités.

Divulgation de l'invention

[0009] A cet effet, l'invention concerne un procédé de fabrication d'une lame ressort d'un organe horloger agencé pour pouvoir pivoter autour d'un axe de pivotement et soumis à un couple exercé par au moins une lame ressort, ledit organe horloger comprenant un moyeu centré sur l'axe de pivotement et une serge reliés par ladite lame ressort, au moins l'un du moyeu et de la serge étant une partie mobile rotative agencée pour pouvoir pivoter autour de son axe de pivotement,

ladite lame ressort étant agencée pour travailler dans une plage prédéfinie de positions angulaires prises par l'extrémité de la lame ressort associée à la partie mobile rotative lors d'un déplacement angulaire d'au moins ladite extrémité de la lame ressort, comprenant les étapes de :

- a) déterminer des objectifs à atteindre par ladite lame ressort selon la fonction de l'organe horloger, lesdits objectifs étant au moins l'allure de la raideur correspondant au couple exercé par la lame ressort sur au moins une partie de ladite plage prédéfinie de positions angulaires, l'énergie fournie ou le couple exercé, la contrainte maximale le long de la lame ressort par rapport à la limite élastique de ladite lame ressort, et l'absence d'interaction entre les lames ressorts quand il y a plusieurs lames ;
 - b) déterminer des premiers paramètres fixes relatifs à la lame ressort ;
 - c) déterminer des plages de recherche de premiers paramètres variables relatifs à la lame ressort ;
- les premiers paramètres fixes et les premiers paramètres variables étant choisis parmi le groupe comprenant la hauteur de la lame ressort, la limite élastique, le module de Young de la lame ressort, les distances entre l'axe de pivotement de l'organe horloger et les extrémités de la lame ressort, l'épaisseur de la lame ressort, et le nombre de lames ressorts ;
- d) se munir d'un substrat dans un matériau à partir duquel la lame ressort est réalisée pour répondre aux objectifs prédéterminés à l'étape a) et aux premiers paramètres fixes et variables prédéterminés aux étapes b) et c) ;
 - e) générer des formes géométriques de la lame ressort selon la fonction de l'organe horloger, ladite forme géométrique de la lame ressort à l'état neutre étant une courbe définie par l'équation (1):

$$\begin{cases} x(r) = r \cdot \cos(\theta(r)), \\ y(r) = r \cdot \sin(\theta(r)), \\ \theta(r) = \sum_{k=1}^n \frac{A_k}{2} \cdot (1 - \cos(k\pi \cdot u)) + B_1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot u\right) + B_2 \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot u\right)\right), \end{cases} \quad (1)$$

avec $u = (r_{\max} - r)/(r_{\max} - r_{\min}) \in [0,1]$

pour tout rayon $r_{\min} \leq r \leq r_{\max}$,

où

$r_{\min}$ est la distance entre l'axe de pivotement de l'organe horloger et l'extrémité de la lame ressort liée au moyeu et $r_{\max}$ est la distance entre l'axe de pivotement de l'organe horloger et l'extrémité de la lame ressort liée à la serge,

B_1 et B_2 sont les angles entre les extrémités de la lame ressort et leurs points d'accroche respectivement à $r_{\max}$ et $r_{\min}$, B_1 et B_2 constituant des deuxièmes paramètres variables dont les plages de recherche sont comprises entre -90° et $+90^\circ$,

n est un nombre entier supérieur à 1 et inférieur ou égal à 20, n constituant un deuxième paramètre fixe prédéterminé définissant le nombre total de courbures présentées par ladite courbe,

les coefficients A_k représentent des amplitudes angulaires et constituent des troisièmes paramètres variables dont les plages de recherche sont comprises entre -90° et $+90^\circ$;

où les coefficients A_k , B_1 et B_2 sont tels que la forme géométrique de la lame ressort à l'état neutre est enroulée sur un angle inférieur à 360° et est différente d'une spirale ;

chaque forme géométrique de lame ressort étant générée en choisissant de manière aléatoire des valeurs pour les premiers paramètres variables et pour les coefficients A_k , B_1 et B_2 dans leurs plages de recherche, et en tenant compte des valeurs des premiers et deuxième paramètres fixes prédéterminés;

- f) calculer numériquement pour chaque forme géométrique de lame ressort générée à l'étape e) au moins le couple exercé par ladite lame ressort en fonction du déplacement angulaire de l'extrémité de la lame ressort associée à la partie mobile rotative de l'organe horloger, la contrainte appliquée sur l'organe horloger en fonction du déplacement angulaire de l'extrémité de la lame ressort associée à la partie mobile rotative de l'organe horloger, et l'espace occupé par la déformée de la lame ressort lors du déplacement angulaire de l'extrémité de la lame ressort associée à la partie mobile rotative de l'organe horloger sur au moins une partie de ladite plage prédéfinie;

- g) sélectionner, à partir des résultats des calculs de l'étape f), les meilleures formes géométriques admissibles qui permettent d'obtenir des lames ressorts qui répondent le plus possible aux objectifs prédéterminés à l'étape a) et optimiser par un système informatique lesdites meilleures formes géométriques admissibles répondant à l'équation (1) pour identifier les valeurs des premiers paramètres variables ainsi que les valeurs des coefficients A_k , B_1 et B_2 qui permettent d'obtenir la forme de lame ressort pour laquelle ladite lame ressort se rapproche le plus des objectifs prédéterminés à l'étape a),

les paramètres d'optimisation étant choisis parmi les premiers paramètres variables prédéterminés à l'étape c) ainsi que les coefficients A_k , B_1 et B_2 ,

h) former dans ledit substrat au moins une lame ressort présentant la forme obtenue à l'étape g).

[0010] Un tel procédé permet d'obtenir une lame présentant la forme géométrique appropriée pour avoir une raideur prédéterminée sur une plage prédéfinie de positions angulaires, et adaptée aux caractéristiques imposées à la lame et aux conditions de fonctionnement de l'organe horloger auquel elle est associée. Les courbes obtenues sont physiquement satisfaisantes, évitant notamment de manière certaine tout problème de point de rebroussement ou de boucle pour chaque courbe. En effet, la paramétrisation polaire $x(r)$ et $y(r)$ utilisée pour décrire la forme des lames ressorts implique que ladite lame-ressort, à l'état libre, relie le moyeu à la serge de manière monotone, c'est-à-dire sans rebroussement radial. Les portions de lames sont tangentes, sans discontinuité dans la forme. De plus, elles permettent une optimisation par itération en augmentant n , les coefficients A_k étant indépendants.

[0011] La présente invention concerne également une lame ressort obtenue par le procédé défini ci-dessus, à l'exception des lames ressorts dont la forme géométrique est une courbe de Bézier qui ne permet pas de répondre aux objectifs à atteindre prédéterminés selon la fonction de l'organe horloger en fonction des paramètres fixes et variables prédéterminés, et en particulier la courbe de Bézier d'ordre 7 décrite dans la publication WO 2018/146639, définie par les points de contrôle Q_n définis ci-dessous et présentant une épaisseur de 60 μm :

Variables	Coordonnées x [mm]	Coordonnées y [mm]
Q_0	0.756625	0.653875
Q_1	1.87325	1.619
Q_2	2.8125	-0.59125
Q_3	3.4375	0.4535
Q_4	3.75	1.032875
Q_5	4.375	0
Q_6	5	0

ainsi que la courbe de Bézier d'ordre 7 décrite dans la publication EP 3 598 243 d'épaisseur égale à 90 μm et définie par les points de contrôle Q_n définis ci-dessous :

Variables	Coordonnées x [mm]	Coordonnées y [mm]
Q_0	1.51325	1.30775
Q_1	3.7465	3.238
Q_2	5.625	-1.1825
Q_3	6.875	0.907
Q_4	7.5	2.06575
Q_5	8.75	0
Q_6	10	0

Brève description des dessins

[0012] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée suivante de différents modes de réalisation de l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs, et faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématisée d'un organe horloger comprenant quatre lames ressorts obtenues selon l'invention ;
- la figure 2 est une vue d'un barillet comprenant des lames ressorts fabriquées selon l'invention, en position de repos ;
- la figure 3 est une vue du barillet de la figure 2, en position d'armage ;
- la figure 4 est une vue agrandie schématisée du barillet de la figure 2, montrant une forme géométrique de la lame ressort selon l'invention en position de repos ;
- la figure 5 est une représentation graphique du couple généré par le barillet représenté sur les figures 2 et 3 en fonction de la position angulaire des lames ressorts de la figure 4 ;

- les figures 6 et 7 sont des vues schématisées d'un organe horloger comprenant une lame ressort présentant une autre forme géométrique obtenue selon l'invention, respectivement en position de repos et après un déplacement angulaire de 18 ;
- la figure 8 est une représentation graphique du couple généré par la lame ressort représentée sur les figures 6 et 7 en fonction de la position angulaire de la lame ressort ;
- les figures 9 et 10 sont des vues schématisées d'un organe horloger comprenant une lame ressort présentant une autre forme géométrique obtenue selon l'invention, respectivement en position de repos et après un déplacement angulaire de 36,8 ;
- la figure 11 est une représentation graphique d'un couple généré par une lame ressort en fonction de la position angulaire de la lame ressort permettant d'obtenir un effet bistable ;
- la figure 12 est une représentation graphique du couple généré par une combinaison de différentes lames ressorts en fonction de la position angulaire des lames ressorts ;
- la figure 13 est une vue schématisée d'un oscillateur comprenant des lames ressorts présentant une autre forme géométrique obtenue selon l'invention ;
- les figures 14 et 15 sont des vues schématisées de l'oscillateur de la figure 13, montrant une seule lame respectivement après un déplacement angulaire de -35° et après un déplacement angulaire de +35 ; et
- la figure 16 est une représentation graphique du couple généré par la lame ressort représentée sur les figures 14 et 15 en fonction de la position angulaire de la lame ressort.

Modes de réalisation de l'invention

[0013] La présente invention concerne un procédé de fabrication d'une lame ressort destinée à être associée à un organe horloger, comprenant au moins une partie mobile, et notamment une partie rotative agencée pour pouvoir pivoter sur elle-même autour d'un axe de pivotement, et soumis au couple exercé par ladite lame ressort.

[0014] D'une manière générale, et en référence à la figure 1, l'organe horloger 1 comprend un moyeu 2, centré sur l'axe de pivotement, et une serge 3 reliés par plusieurs bras élastiques sous la forme de lames ressorts 4 uniformément réparties autour du moyeu 2. Comme on le verra ci-après, les lames ressorts 4 peuvent être toutes identiques ou différentes. Il est bien sûr possible de n'avoir qu'une seule lame ressort 4, selon la fonction de l'organe horloger 1. Le moyeu 2, la serge 3 et les lames ressorts 4 constituent une unité, qui peut être réalisée de préférence de manière monolithique, d'une seule pièce. L'organe horloger 1 peut comprendre une ou plusieurs unités, identiques ou différentes.

[0015] Une extrémité de la lame ressort 4 est fixée solidairement au moyeu 2, l'autre extrémité de la lame ressort 4 étant fixée solidairement à la serge 3. A cet effet, l'organe horloger 1 et ses lames ressorts 4 sont de préférence réalisés de manière monolithique. Toutefois, les lames ressorts 4 peuvent également être rapportées et fixées à la serge 3 et au moyeu 2.

[0016] Selon l'application à laquelle est destiné l'organe horloger 1, l'un du moyeu 2 et de la serge 3 constitue la partie mobile rotative, agencée pour pouvoir pivoter autour de son axe de pivotement, l'autre restant fixe. Il est également possible d'avoir des applications avec les deux parties mobiles.

[0017] Des exemples spécifiques de tels organes horlogers seront donnés ci-après.

[0018] La lame ressort 4 est agencée pour travailler dans une plage prédéfinie de positions angulaires α prises par l'extrémité de la lame ressort 4 qui est associée à la partie mobile rotative, de l'organe horloger 1 lors d'un déplacement angulaire d'au moins ladite extrémité de la lame ressort 4 lorsque ladite partie mobile de l'organe horloger 1 pivote sur elle-même, autour de son axe de pivotement, d'un angle α à partir d'une position neutre pour laquelle $\alpha=0$, et dans laquelle toutes les lames ressorts 4 sont au repos, à l'état neutre. De telles positions angulaires α sont appelées traditionnellement angles d'armage.

[0019] Dans la présente invention, le déplacement d'au moins ladite extrémité de la lame ressort 4 est un déplacement angulaire, ladite plage prédéfinie de positions prises par ladite extrémité de la lame ressort 4 étant une plage prédéfinie de positions angulaires, mais il est bien évident que tout autre type de déplacement peut être considéré, tel qu'un déplacement elliptique, linéaire ou courbe.

[0020] Conformément à l'invention, la lame ressort 4 est fabriquée selon un procédé qui comprend une étape a) consistant à déterminer des objectifs à atteindre par ladite lame ressort 4 selon la fonction de l'organe horloger 1.

[0021] Lesdits objectifs à atteindre selon la fonction de l'organe horloger 1 sont par exemple l'allure de la raideur correspondant au couple exercé par la lame ressort 4 sur au moins une partie de ladite plage prédéfinie de positions angulaires, une valeur de l'énergie fournie ou du couple exercé par la lame (ou de l'énergie totale fournie ou du couple global s'il y a plusieurs lames), la liberté des liaisons (lame encastree ou pivotée, afin de choisir le modèle de simulation), la contrainte maximale le long de la lame ressort qui ne doit pas dépasser la limite élastique de ladite lame ressort, l'absence d'interaction entre les lames quand il y a plusieurs lames, les tolérances sur les objectifs à atteindre, etc. Les objectifs à atteindre peuvent être pondérés par différents poids que l'on choisit en fonction de l'importance de l'objectif à atteindre.

[0022] Puis, conformément à l'invention, le procédé comprend une étape b) consistant à déterminer les valeurs des premiers paramètres fixes relatifs à la lame ressort 4 et une étape c) consistant à déterminer des plages de recherche ou de variation de premiers paramètres variables relatifs à la lame ressort 4.

[0023] Les premiers paramètres fixes et variables sont choisis parmi le groupe comprenant la hauteur de la lame ressort 4, la limite élastique, le module de Young de la lame ressort 4, liés au matériau de la lame 4, la distance ($r_{\min}$ ou $r_{\max}$ tel que définis ci-dessous selon l'agencement) entre l'axe de pivotement de l'organe horloger 1 et l'extrémité de la lame ressort 4 qui reste fixe, c'est-à-dire l'extrémité de la lame ressort 4 qui est solidaire de la partie fixe de l'organe horloger 1, l'épaisseur de la lame ressort 4, la distance ($r_{\min}$ ou $r_{\max}$ tels que définis ci-dessous selon l'agencement) entre l'axe de pivotement de l'organe horloger 1 et l'extrémité de la lame ressort 4 qui se déplace angulairement, c'est-à-dire l'extrémité de la lame ressort 4 qui est solidaire de la partie mobile de l'organe horloger 1, et le nombre de lames ressorts 4 qui doit être un nombre entier réel.

[0024] Avantageusement, les premiers paramètres fixes et les premiers paramètres variables sont tous ceux du groupe défini ci-dessus et uniquement ceux-ci.

[0025] Selon la fonction de l'organe horloger 1 et les objectifs à atteindre, les premiers paramètres fixes pour une application peuvent être des premiers paramètres variables pour une autre application.

[0026] Par exemple, selon la fonction de l'organe horloger 1 et les objectifs à atteindre, les premiers paramètres fixes peuvent être choisis par exemple parmi le groupe comprenant la hauteur de la lame ressort 4, la limite élastique et le module de Young de la lame ressort 4, liés au matériau de la lame, et la distance ($r_{\min}$ ou $r_{\max}$ selon l'agencement) entre l'axe de pivotement de l'organe horloger 1 et l'extrémité de la lame ressort 4 qui reste fixe, c'est-à-dire l'extrémité de la lame ressort 4 qui est solidaire de la partie fixe de l'organe horloger 1, et les premiers paramètres variables relatifs à la lame ressort 4 selon la fonction de l'organe horloger 1 peuvent être choisis par exemple parmi le groupe comprenant l'épaisseur de la lame ressort 4, la distance ($r_{\min}$ ou $r_{\max}$ selon l'agencement) entre l'axe de pivotement de l'organe horloger 1 et l'extrémité de la lame ressort 4 qui se déplace angulairement, c'est-à-dire l'extrémité de la lame ressort 4 qui est solidaire de la partie mobile de l'organe horloger 1, et le nombre de lames ressorts 4.

[0027] Avantageusement, les premiers paramètres fixes sont tous ceux du groupe défini ci-dessus et uniquement ceux-ci, et les premiers paramètres variables sont tous ceux du groupe défini ci-dessus et uniquement ceux-ci.

[0028] Puis, conformément à l'invention, le procédé comprend une étape d) consistant à se munir d'un substrat dans un matériau à partir duquel la lame ressort 4 est réalisée pour répondre aux objectifs prédéterminés à l'étape a) et aux premiers paramètres fixes et variables prédéterminés aux étapes b) et c). Ledit matériau est par exemple du métal, un alliage métallique, du silicium, un plastique, un verre minéral ou un verre métallique.

[0029] Puis, conformément à l'invention, le procédé comprend une étape e) consistant à générer des formes géométriques de la lame ressort 4 selon la fonction de l'organe horloger 1, ladite forme géométrique de la lame ressort 4 à l'état neutre étant une courbe définie par l'équation (1):

$$\begin{cases} x(r) = r \cdot \cos(\theta(r)), \\ y(r) = r \cdot \sin(\theta(r)), \\ \theta(r) = \sum_{k=1}^n \frac{A_k}{2} \cdot (1 - \cos(k\pi \cdot u)) + B_1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot u\right) + B_2 \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot u\right)\right), \end{cases} \quad (1)$$

avec $u = (r_{\max} - r)/(r_{\max} - r_{\min}) \in [0,1]$

pour tout rayon $r_{\min} \leq r \leq r_{\max}$,

où

$r_{\min}$ est la distance entre l'axe de pivotement de l'organe horloger et l'extrémité de la lame ressort 4 liée au moyeu 2 et $r_{\max}$ est la distance entre l'axe de pivotement de l'organe horloger 1 et l'extrémité de la lame ressort 4 liée à la serge 3,

B_1 et B_2 sont les angles entre les extrémités de la lame ressort 4 et leurs points d'accroche respectivement à $r_{\max}$ et $r_{\min}$, et plus particulièrement B_1 est l'angle entre l'extrémité de la lame ressort 4 au point d'accroche à $r_{\max}$ et la paroi de la serge 3 et B_2 est l'angle entre l'extrémité de la lame ressort 4 au point d'accroche à $r_{\min}$ et la paroi du moyeu 2; B_1 et B_2 constituant des deuxième paramètres variables dont les plages de recherche sont comprises entre -90° et $+90^\circ$,

n est un nombre entier supérieur à 1 et inférieur ou égal à 20, n constituant un deuxième paramètre fixe prédéterminé définissant le nombre total de courbures présentées par ladite courbe ; et

les coefficients A_k sont des amplitudes angulaires et constituent des troisième paramètres variables dont les plages de recherche sont comprises entre -90° et $+90^\circ$;

où les coefficients A_k , B_1 et B_2 sont tels que la forme géométrique de la lame ressort 4 à l'état neutre est enroulée sur un angle inférieur à 360° et est différente d'une spirale ;

chaque forme géométrique de lame ressort étant générée en choisissant de manière aléatoire, par exemple uniforme, des valeurs pour les premiers paramètres variables et des valeurs pour les coefficients A_k , B_1 et B_2 dans leurs plages de recherche, et en tenant compte des valeurs des premiers et deuxième paramètres fixes prédéterminés.

[0030] Puis, conformément à l'étape f) du procédé selon l'invention, on calcule numériquement, par simulation, pour chaque forme géométrique de lame ressort 4 générée à l'étape e) au moins le couple exercé par ladite lame ressort 4 en fonction du déplacement angulaire de l'extrémité de la lame ressort 4 associée à la partie mobile rotative de l'organe horloger 1, la contrainte appliquée sur l'organe horloger 1 en fonction du déplacement angulaire de l'extrémité de la lame ressort 4 associée à la partie mobile rotative de l'organe horloger 1, et l'espace occupé par la déformée de la lame ressort 4 lors du déplacement angulaire de l'extrémité de la lame ressort 4 associée à la partie mobile rotative de l'organe horloger 1 sur au moins une partie de ladite plage prédéfinie.

[0031] Toutes les équations pour modéliser le système défini ci-dessus pour effectuer l'étape f) sont connues de l'homme du métier. Ces équations pour tester les formes de lame générées à l'étape e) en déterminant le couple et la contrainte en fonction du déplacement angulaire et l'espace occupé par la déformée mettent notamment en relation le couple généré, la longueur et l'épaisseur de la lame, la déformation de la lame et le moment quadratique, et peuvent être trouvées dans tout programme de modélisation, tel que Matlab.

[0032] Puis, conformément à l'étape g) du procédé selon l'invention, on sélectionne, à partir des résultats des calculs de l'étape f), les meilleures formes géométriques admissibles, c'est-à-dire celles qui permettent d'obtenir des lames ressorts 4 qui répondent le plus possible aux valeurs des objectifs prédéterminés à l'étape a) et on optimise à l'aide d'un système informatique lesdites meilleures formes géométriques admissibles répondant à l'équation (1) pour identifier les valeurs des premiers paramètres variables ainsi que les valeurs des coefficients A_k , B_1 et B_2 qui permettent d'obtenir la forme de lame ressort 4 pour laquelle ladite lame ressort 4 se rapproche le plus des objectifs prédéterminés à l'étape a), les paramètres d'optimisation étant choisis parmi les premiers paramètres variables prédéterminés à l'étape c) ainsi que les coefficients A_k , B_1 et B_2 .

[0033] La sélection des meilleures formes géométriques admissibles par rapport aux valeurs des objectifs prédéterminés à l'étape a) peut se faire en attribuant un score par objectif à chaque forme de lame générée à partir des résultats des calculs de l'étape f), la hauteur des scores dépendant d'avoir atteint ou non l'objectif, le score étant d'autant plus mauvais que le résultat du calcul numérique est loin des objectifs. Lors du calcul du score total attribué à une forme de lame prenant en compte tous les objectifs, des poids peuvent être attribués aux différents objectifs en fonction de leur importance. Les formes des lames ressorts générées à l'étape e) et testées à l'étape f) sont classées en fonction des scores finaux obtenus.

[0034] L'optimisation peut se faire par une optimisation globale suivie d'une optimisation locale.

[0035] Ainsi, l'étape e) consiste à procéder à des tirs aléatoires permettant de générer un ensemble de points dans tout l'espace des paramètres variables, et l'étape g) consiste à sélectionner les points les plus intéressants, c'est-à-dire ceux qui permettent de générer les meilleures formes de lame admissibles par rapport aux objectifs à atteindre, en sélectionnant les formes qui présentent les meilleurs scores attribués, et à effectuer par exemple une optimisation globale des formes de lame les plus intéressantes pour obtenir un ensemble de bonnes géométries de lame de départ, qui ont potentiellement des propriétés différentes, et ensuite à effectuer une optimisation locale de manière robuste par itération pour converger vers la meilleure forme géométrique solution par rapport aux valeurs des objectifs à atteindre. De nombreux algorithmes peuvent être utilisés pour l'étape d'optimisation locale, tel que l'algorithme du simplexe. On peut utiliser par exemple pour l'optimisation globale la fonction „bayesopt“ de Matlab et pour l'optimisation locale la fonction „fminsearch“.

[0036] Si l'étape g) ne permet pas d'identifier de solution, le processus doit être repris en augmentant par exemple les plages de recherche des premiers paramètres variables à l'étape c) et les coefficients A_k à l'étape e).

[0037] De préférence, n est tel que $1 < n \leq 15$, préférentiellement $1 < n \leq 10$, et plus préférentiellement $1 < n \leq 7$. Avantageusement n est >3 , et plus préférentiellement $3 < n < 7$.

[0038] L'augmentation de n permet de décrire des géométries de lames ressorts de plus en plus complexes, sans avoir de points de rebroussement.

[0039] Puis, le procédé de l'invention comprend l'étape h) qui consiste à former dans le substrat choisi à l'étape d) au moins une lame ressort 4 présentant la forme obtenue à l'étape g).

[0040] Si l'organe horloger 1 et les lames ressorts 4 forment une pièce monolithique, l'étape h) consiste à former ladite pièce monolithique dans le substrat choisi. La lame ressort ou la pièce monolithique est formée par usinage ou par la technique LIGA, notamment dans le cas où elle est réalisée en métal ou alliage, par gravure ionique réactive profonde (DRIE), notamment dans le cas où elle est réalisée en silicium, par moulage, notamment dans le cas où elle est réalisée en plastique, ou en verre métallique, ou par découpe laser, notamment dans le cas où elle est en verre minéral.

[0041] Le procédé selon l'invention permet avantageusement de réaliser des lames ressorts de forme géométrique optimisée selon la fonction de l'organe horloger auquel elle est associée et selon le but recherché. Une telle lame ressort selon l'invention est avantageusement enroulée sur elle-même sur un angle inférieur à 360° et est différente d'une spirale. La lame ressort peut présenter une section constante, par exemple une épaisseur constante, ou une section variable, par exemple une épaisseur variable, c'est-à-dire qui varie le long de la lame ressort.

[0042] Selon un premier mode de réalisation, la forme géométrique de la lame ressort 4 est générée selon l'étape e) et optimisée selon l'étape g) de sorte que ladite lame ressort 4 présente une raideur sensiblement nulle, c'est-à-dire génère un couple sensiblement constant, sur au moins une partie de la plage prédéfinie. On considère que le couple est

sensiblement constant pour un écart inférieur à 10%, de préférence inférieur à 5% entre la valeur maximale et minimale du couple sur cette plage angulaire.

[0043] Dans ce cas, l'organe horloger peut être par exemple un barillet, tel que représenté sur les figures 2 et 3. Ledit barillet comporte au moins une unité comprenant un moyeu 2, une serge 3, et au moins une lame ressort 4, ici une pluralité de lames ressorts 4, reliant le moyeu 2 et la serge 3. Dans la configuration représentée, le moyeu 2 est la partie mobile, sa paroi définissant le rayon intérieur $r_{\min}$ à laquelle est fixée l'extrémité de la lame ressort 4 qui se déplace angulairement d'un angle α lorsque le moyeu 2 pivote sur lui-même. La serge 3 est la partie fixe, sa paroi définissant le rayon extérieur $r_{\max}$ à laquelle est fixée l'extrémité de la lame ressort 4 qui reste fixe. Un tel barillet peut être agencé pour être armé par le centre et se vider par l'extérieur. De préférence, l'unité est réalisée de manière monolithique, d'une seule pièce. Le barillet peut comprendre une ou plusieurs unités, de préférence monolithiques, empilées, et reliées en série par exemple. D'une manière avantageuse, le diamètre maximal de chaque unité est sensiblement égal au diamètre du mouvement qui comprend ledit barillet, afin d'avoir une unité qui présente le diamètre maximal le plus grand possible.

[0044] Dans ce cas, les lames ressorts 4 présentent une forme géométrique obtenue selon l'étape g) déterminée pour présenter une raideur sensiblement nulle, et donc un couple sensiblement constant, sur une plage de positions angulaires la plus grande possible.

[0045] Les objectifs prédéterminés à atteindre par la lame ressort 4 appliquée à un barillet sont relatifs notamment à l'énergie du barillet, en recherchant par exemple une énergie supérieure à 110 mJ. D'autres objectifs prédéterminés peuvent également être pris en considération, tels que la contrainte maximale le long de la lame ressort 4 qui ne doit pas dépasser la limite élastique de ladite lame ressort 4, ainsi que l'absence d'interaction entre les lames ressorts 4 et/ou l'angle de rotation imposé pour éviter d'avoir une solution où le couple à transmettre serait trop grand.

[0046] Le procédé selon l'invention permet d'obtenir une lame ressort 4 de forme géométrique représentée sur la figure 4, liant le moyeu 2 et la serge 3.

[0047] Cette forme est obtenue selon les étapes e) f) et g) en prenant en compte les objectifs prédéterminés liés au barillet (couple constant, angle de rotation du barillet (i.e. déplacement angulaire de la lame), énergie, contrainte maximale inférieure à la limite élastique, absence d'interaction entre les lames ressorts, correspondant à l'écartement minimum entre les lames, etc...), dont les valeurs sont résumées dans le tableau 1 ci-dessous, comme paramètres fixes, la hauteur de la lame ressort, le rayon extérieur $r_{\max}$, le module de Young, la limite élastique de la lame ressort, et le nombre n , dont les valeurs sont résumées dans le tableau 2 ci-dessous, et comme paramètres variables, l'épaisseur de la lame ressort, le rayon intérieur $r_{\min}$, les coefficients A_k , les angles B_1 et B_2 des extrémités des lames ressorts 4 avec les points d'accroche, et le nombre de lames ressorts 4, dont les plages de recherche sont résumées dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 1

[0048]

Objectifs	Valeurs
Energie [mJ]	Maximiser l'énergie >> 110
Angle de rotation [°]	>70°
Minimiser les contraintes	< 0.95 * Limite élastique
Conditions sur les lames	Pas d'interaction entre les lames = Ecartement minimum entre les lames de 0.05 mm

Tableau 2

[0049]

Paramètres Fixes	Valeurs
Hauteur (mm)	0.2
$r_{\max}$ (mm)	13.5
Module de Young (GPa)	81
Limite élastique (MPa)	2100
Nombre n de A_k	7

Tableau 3

[0050]

Paramètres Variables	Plage de recherche
$r_{\min}$ (mm)	[0.5; 3]
Epaisseur (μm)	[139.6, 151.4, 118.8, 161.5, 220.2]
A_k ($^\circ$), $n = 7$	A1 [-90; +90] A2 [-60; +60] A3 [-45; +45] A4 [-30; +30] A5 [-20; +20] A6 [-10; +10] A7 [-10; +10]
B ($^\circ$) ($[B_2, B_1]$)	B1 [-10; +10] B2 [-10; +10]
Nombre de lames	

[0051] Des formes de lame ressort sont générées selon l'étape e) à partir des valeurs fixes et variables des tableaux 2 et 3, puis les simulations sont réalisées selon l'étape f). Les meilleures formes géométriques candidates qui répondent le plus possible aux objectifs fixés du tableau 1 sont sélectionnées parmi les formes obtenues à l'étape e) en fonction des résultats obtenus après l'étape f) et optimisées selon l'étape g) en prenant en compte notamment les valeurs de l'angle de rotation du barillet et de l'énergie du tableau 1 comme objectifs à atteindre.

[0052] La lame ressort 4 de la figure 4 est une lame en verre métallique dont l'épaisseur varie, qui présente la forme obtenue correspondant aux paramètres optimisés selon l'étape g) indiqués dans le tableau 4 ci-dessous :

Tableau 4

[0053]

Paramètres optimisés	Valeurs
$r_{\min}$ (mm)	2.269
Epaisseur (μm)	[139.368, 150.972, 118.850, 160.688, 220.956]
A_k ($^\circ$), $n = 7$	[-61.606, 39.272, -18.198, 8.213, -2.500, -2.760, -1.561]
B ($^\circ$) ($[B_2, B_1]$)	[91.11, 17.514]
Nombre de lames max	63

[0054] La forme géométrique de la lame ressort 4 obtenue correspond à la représentation graphique dans un repère orthonormé de l'ensemble des points définis par les couples de coordonnées (x,y) tels que :

$$x(r) = r \cdot \cos(\theta(r)),$$

$$y(r) = r \cdot \sin(\theta(r)),$$

[0055] Des valeurs des couples de coordonnées (x, y) sont données dans le tableau 5 ci-dessous pour la fibre neutre de la lame ressort (A_k):

Tableau 5

[0056]

Fibre neutre	
x [mm]	y [mm]
13.5	0
13.087	-0.127
12.728	-0.377
12.374	-0.632
11.974	-0.803
11.547	-0.748
11.183	-0.507
10.854	-0.219
10.507	0.047
10.103	0.204
9.675	0.141
9.294	-0.072
8.935	-0.322
8.561	-0.548
8.153	-0.7
7.719	-0.751
7.282	-0.754
6.85	-0.813
6.447	-0.982
6.084	-1.225
5.745	-1.501
5.412	-1.784
5.076	-2.064
4.729	-2.331
4.369	-2.579
3.994	-2.803
3.602	-2.997
3.195	-3.157
2.775	-3.276
2.344	-3.348
1.907	-3.367

1.472	-3.322
1.053	-3.201
0.672	-2.989
0.378	-2.668
0.243	-2.256

[0057] Le barillet obtenu comprend, selon la forme optimisée, 63 lames ressorts 4. D'une manière avantageuse, le nombre de lames ressorts 4 est choisi pour être un nombre pair afin que lesdites lames ressorts 4 s'opposent et permettent d'avoir une meilleure rotation, chaque effort (x ; y) résiduel de lame trouvant son opposé. Le nombre de lames ressorts 4 peut être de 62 par exemple.

[0058] Le barillet obtenu présente une énergie totale de 149.7 mJ, soit environ 1.5 fois l'énergie d'un barillet standard, qui est d'environ 100 mJ. Il est donc possible d'utiliser le barillet selon l'invention avec une seule unité de lames ressorts 4. Il est bien évident qu'il est possible d'augmenter cette énergie en modifiant l'épaisseur des lames ressorts 4 ou en utilisant plusieurs unités empilées.

[0059] En position de repos, le barillet présente la configuration de la figure 2 puis il est armé d'un angle de 93° par rapport à l'état neutre, comme représenté sur la figure 3, soit un déplacement angulaire du moyeu 2 et de l'extrémité de la lame ressort 4 à $r_{\min}$, solidaire du moyeu 2, d'un angle α de 93°, l'autre extrémité de la lame ressort 4 à $r_{\max}$, solidaire de la serge 3 restant fixe. La figure 5 représente les résultats d'une simulation de l'évolution du couple des lames ressorts 4 de la figure 4 dans le barillet des figures 2 et 3 en fonction du déplacement angulaire α de son moyeu 2 par rapport à la serge 3. La figure 5 montre que la lame ressort 4 obtenue selon l'invention permet d'avoir un couple constant pour un déplacement angulaire α de 17,5° à 91.1° de sorte qu'un couple constant est obtenu sur un angle de 73.6°.

[0060] La raideur de la lame ressort 4 est la dérivée du couple, de sorte que sur la plage angulaire [17,5, 91.1], la raideur de ladite lame ressort 4 est sensiblement nulle.

[0061] La lame ressort 4 selon l'invention permet d'armer le barillet par une simple rotation d'un angle de 90° environ.

[0062] Le barillet peut être intégré dans tout mouvement d'horlogerie mécanique, la transmission de l'énergie au rouage de finissage étant adaptée en conséquence.

[0063] La forme géométrique des lames ressorts 4 selon l'invention peut être générée et optimisée selon les étapes e) à g) pour avoir un certain couple sensiblement constant sur une plage angulaire différente, selon la fonction de l'organe horloger et le but recherché.

[0064] Les figures 6 et 7 montrent une autre forme de lame obtenue selon l'invention, à l'état neutre (figure 6) puis après un déplacement angulaire de 18° par rapport à l'état neutre du moyeu 2 et de l'extrémité de la lame ressort 4 à $r_{\min}$ (figure 7).

[0065] La figure 8 montre que la lame ressort de la figure 6 permet d'obtenir une montée rapide du couple, puis un couple constant sur une plage angulaire de 14°, entre un angle α de 2° à 16°. Une telle lame ressort permet une facilité de montage grâce à un préarmage nécessitant moins de rotation de l'organe horloger qui la comporte.

[0066] Selon un deuxième mode de réalisation, la forme géométrique de la lame ressort 4 est générée selon l'étape e) et optimisée selon l'étape g) de sorte que ladite lame ressort 4 présente une raideur négative sur au moins une partie de la plage prédéfinie, qui peut être recherchée selon la fonction de l'organe horloger.

[0067] Selon un autre mode de réalisation, la forme géométrique de la lame ressort 4 est générée selon l'étape e) et optimisée selon l'étape g) de sorte que ladite lame ressort 4 présente un couple mixte positif et négatif sur au moins une partie d'une plage prédéfinie de positions variant dans un même sens positif ou négatif, et notamment sur au moins une partie d'une plage prédéfinie d'angles de même signe, de manière à obtenir un effet bistable.

[0068] Les figures 9 et 10 montrent une telle forme géométrique de lame obtenue selon l'invention, à l'état neutre (figure 9) puis après un déplacement angulaire de 36.8° par rapport à l'état neutre du moyeu 2 et de l'extrémité de la lame ressort 4 à $r_{\min}$ (figure 10).

[0069] La figure 11 montre que le couple généré par une autre lame ressort (non représentée) permet d'obtenir un effet bistable, le changement se faisant à 20°, avec une position à 0° et une position à 35°. On peut utiliser une première butée positionnée à 10° pour définir la première position comme une position d'armage, et une deuxième butée positionnée à 30° pour définir la deuxième position de l'effet bistable.

[0070] Selon un autre mode de réalisation, la forme géométrique de la lame ressort 4 est générée selon l'étape e) et optimisée selon l'étape g) de sorte que ladite lame ressort 4 présente une raideur positive sur au moins une partie d'une plage prédéfinie de positions variant dans des sens opposés, et notamment sur au moins une partie d'une plage prédéfinie d'angle négatifs et positifs, de manière à obtenir un couple linéaire bidirectionnel.

[0071] Selon le but recherché, l'organe horloger 1 peut comprendre une ou plusieurs lames ressorts 4 de forme géométrique selon l'étape g) identique ou différente.

[0072] Notamment, l'organe horloger 1 peut comprendre au moins deux lames ressorts 4 disposées dans un même plan et de formes géométriques obtenues selon l'étape g) déterminées pour présenter des raideurs prédéterminées sur au moins une partie de ladite plage prédéfinie, lesdites raideurs s'additionnant, de sorte que les efforts au centre se compensent. Deux lames ressorts seront disposées l'une en face de l'autre, trois lames ressorts seront disposées à 120° l'une de l'autre, etc...

[0073] Par exemple, dans le cas de deux lames identiques disposées l'une en face de l'autre, les raideurs vont s'additionner en se compensant, de sorte que les efforts aux points d'accroche se compensent.

[0074] Dans le cas de deux (ou plus) lames différentes, les raideurs vont s'additionner permettant d'obtenir un organe horloger à couple linéaire ou à couple constant.

[0075] Dans une autre variante avantageuse, les deux lames ressorts 4 présentent respectivement, sur au moins une même partie d'une plage prédéfinie de positions variant dans un même sens positif ou négatif, et notamment sur au moins une même partie d'une plage prédéfinie d'angles de même signe, des raideurs prédéterminées de sorte que, lesdites raideurs s'additionnant, l'organe horloger 1 est bistable sur au moins ladite partie de plage prédéfinie.

[0076] Par exemple, si on utilise deux mêmes lames ressorts 4, permettant chacune de générer un couple positif puis négatif asymétrique sur au moins une partie d'une plage prédéfinie d'angles de même signe, comme représenté sur les courbes 10 et 12 de la figure 12, les deux lames étant armées et l'une des lames étant retournée, les couples desdites lames s'additionnent pour obtenir un couple selon la courbe 14 et créer un comportement bistable. Des butées sont prévues pour définir les deux positions de l'effet bistable. L'organe horloger 1 ainsi obtenu est bistable sur la plage ainsi délimitée.

[0077] En utilisant une pluralité de lames ressorts 4 présentant une raideur positive sur au moins une partie de la plage prédéfinie d'angle négatifs et positifs, de manière à obtenir un couple linéaire bidirectionnel, il est possible de réaliser un oscillateur comportant au moins une unité comprenant un moyeu 2 et une serge 3 reliés par au moins une lame ressort 4, et de préférence une pluralité de lames ressorts 4, comme représenté sur la figure 13. De préférence, l'unité est réalisée de manière monolithique, d'une seule pièce. L'oscillateur peut comprendre une ou plusieurs unités, de préférence monolithiques, empilées.

[0078] Les lames ressorts 4 présentent une forme géométrique obtenue selon l'étape g) déterminée pour présenter une raideur positive correspondant à un couple linéaire de faible pente sur une plage angulaire prédéfinie de positions variant dans des sens opposés, et notamment sur une plage angulaire prédéfinie d'angles négatifs et positifs, ladite plage étant fonction de la fréquence d'oscillation de l'oscillateur qui est souhaitée.

[0079] Les figures 14 et 15 montrent une telle forme géométrique de lame obtenue selon l'invention, après un déplacement angulaire de -35° par rapport à l'état neutre du moyeu 2 et de l'extrémité de la lame ressort 4 à $r_{\min}$ (figure 14) puis après un déplacement angulaire de +35° par rapport à l'état neutre du moyeu 2 et de l'extrémité de la lame ressort 4 à $r_{\min}$ (figure 15).

[0080] La figure 16 montre que la lame ressort correspondant aux figures 14 et 15 permet d'obtenir un faible couple linéaire bidirectionnel lorsque le déplacement angulaire α varie entre -35° et +35°, particulièrement adapté à une utilisation dans un oscillateur ayant une fréquence de 50 Hz.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une lame ressort (4) d'un organe horloger (1) agencé pour pouvoir pivoter autour d'un axe de pivotement et soumis à un couple exercé par au moins une lame ressort (4), ledit organe horloger (1) comprenant un moyeu (2) centré sur l'axe de pivotement et une serge (3) reliés par ladite lame ressort (4), au moins l'un du moyeu (2) et de la serge (3) étant une partie mobile rotative agencée pour pouvoir pivoter autour de son axe de pivotement, ladite lame ressort (4) étant agencée pour travailler dans une plage prédéfinie de positions angulaires prises par l'extrémité de la lame ressort (4) associée à la partie mobile rotative lors d'un déplacement angulaire d'au moins ladite extrémité de la lame ressort (4), comprenant les étapes de :
 - a) déterminer des objectifs à atteindre par ladite lame ressort (4) selon la fonction de l'organe horloger (1), lesdits objectifs étant au moins l'allure de la raideur correspondant au couple exercé par la lame ressort (4) sur au moins une partie de ladite plage prédéfinie de positions angulaires, l'énergie fournie ou le couple exercé, la contrainte maximale le long de la lame ressort (4) par rapport à la limite élastique de ladite lame ressort (4), et l'absence d'interaction entre les lames ressorts (4) quand il y a plusieurs lames ;
 - b) déterminer des premiers paramètres fixes relatifs à la lame ressort (4) ;
 - c) déterminer des plages de recherche de premiers paramètres variables relatifs à la lame ressort (4) ;
 les premiers paramètres fixes et variables étant choisis parmi le groupe comprenant la hauteur de la lame ressort (4), la limite élastique, le module de Young de la lame ressort (4), les distances entre l'axe de pivotement de l'organe horloger (1) et les extrémités de la lame ressort (4), l'épaisseur de la lame ressort (4), et le nombre de lames ressorts (4) ;

d) se munir d'un substrat dans un matériau à partir duquel la lame ressort (4) est réalisée pour répondre aux objectifs prédéterminés à l'étape a) et aux premiers paramètres fixes et variables prédéterminés aux étapes b) et c) ;
 e) générer des formes géométriques de la lame ressort (4) selon la fonction de l'organe horloger (1), ladite forme géométrique de la lame ressort (4) à l'état neutre étant une courbe définie par l'équation (1):

$$\begin{cases} x(r) = r \cdot \cos(\theta(r)), \\ y(r) = r \cdot \sin(\theta(r)), \\ \theta(r) = \sum_{k=1}^n \frac{A_k}{2} \cdot (1 - \cos(k\pi \cdot u)) + B_1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} \cdot u\right) + B_2 \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot u\right)\right), \end{cases} \quad (1)$$

avec $u = (r_{\max} - r)/(r_{\max} - r_{\min}) \in [0,1]$

pour tout rayon $r_{\min} \leq r \leq r_{\max}$,

où

$r_{\min}$ est la distance entre l'axe de pivotement de l'organe horloger (1) et l'extrémité de la lame ressort (4) liée au moyeu (2) et $r_{\max}$ est la distance entre l'axe de pivotement de l'organe horloger (1) et l'extrémité de la lame ressort (4) liée à la serge (3),

B_1 et B_2 sont les angles entre les extrémités de la lame ressort (4) et leurs points d'accroche respectivement à $r_{\max}$ et $r_{\min}$, B_1 et B_2 constituant des deuxième paramètres variables dont les plages de recherche sont comprises entre -90° et $+90^\circ$,

n est un nombre entier supérieur à 1 et inférieur ou égal à 20, n étant un deuxième paramètre fixe prédéterminé définissant le nombre total de courbures présentées par ladite courbe;

les coefficients A_k sont des amplitudes angulaires et constituent des troisième paramètres variables dont les plages de recherche sont comprises entre -90° et $+90^\circ$;

où les coefficients A_k , B_1 et B_2 sont tels que la forme géométrique de la lame ressort (4) à l'état neutre est enroulée sur un angle inférieur à 360° et est différente d'une spirale ;

chaque forme géométrique de lame ressort étant générée en choisissant de manière aléatoire des valeurs pour les premiers paramètres variables et pour les coefficients A_k , B_1 et B_2 dans leurs plages de recherche, et en tenant compte des valeurs des premiers et deuxième paramètres fixes prédéterminés;

f) calculer numériquement pour chaque forme géométrique de lame ressort (4) générée à l'étape e) au moins le couple exercé par ladite lame ressort (4) en fonction du déplacement angulaire de l'extrémité de la lame ressort (4) associée à la partie mobile rotative de l'organe horloger (1), la contrainte appliquée sur l'organe horloger (1) en fonction du déplacement angulaire de l'extrémité de la lame ressort (4) associée à la partie mobile rotative de l'organe horloger (1), et l'espace occupé par la déformée de la lame ressort (4) lors du déplacement angulaire de l'extrémité de la lame ressort (4) associée à la partie mobile rotative de l'organe horloger (1) sur au moins une partie de ladite plage prédéfinie ;

g) sélectionner, à partir des résultats des calculs de l'étape f), les meilleures formes géométriques admissibles qui permettent d'obtenir des lames ressorts (4) qui répondent le plus possible aux objectifs prédéterminés à l'étape a) et optimiser par un système informatique lesdites meilleures formes géométriques admissibles répondant à l'équation (1) pour identifier les valeurs des premiers paramètres variables ainsi que les valeurs des coefficients A_k , B_1 et B_2 qui permettent d'obtenir la forme de lame ressort (4) pour laquelle ladite lame ressort (4) se rapproche le plus des objectifs prédéterminés à l'étape a), les paramètres d'optimisation étant choisis parmi les premiers paramètres variables prédéterminés à l'étape c) ainsi que les coefficients A_k , B_1 et B_2 ;

h) former dans ledit substrat au moins une lame ressort (4) présentant la forme obtenue à l'étape g).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que n est tel que $1 < n \leq 7$, et plus préférentiellement $3 < n \leq 7$.
3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la forme géométrique de la lame ressort (4) est générée selon l'étape e) et optimisée selon l'étape g) de sorte que ladite lame ressort (4) présente une raideur sensiblement nulle sur au moins une partie de la plage prédéfinie.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la forme géométrique de la lame ressort (4) est générée selon l'étape e) et optimisée selon l'étape g) de sorte que ladite lame ressort (4) présente une raideur négative sur au moins une partie de la plage prédéfinie.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la forme géométrique de la lame ressort (4) est générée selon l'étape e) et optimisée selon l'étape g) de sorte que ladite lame ressort (4) présente un couple mixte positif et négatif sur au moins une partie d'une plage prédéfinie de positions variant dans un même sens positif ou négatif.
6. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la forme géométrique de la lame ressort (4) est générée selon l'étape e) et optimisée selon l'étape g) de sorte que ladite lame ressort (4) présente une raideur positive sur au moins une partie d'une plage prédéfinie de positions variant dans des sens opposés.

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les premiers paramètres fixes sont choisis parmi le groupe comprenant la hauteur de la lame ressort (4), la limite élastique, le module de Young de la lame ressort (4), la distance entre l'axe de pivotement de l'organe horloger (1) et l'extrémité de la lame ressort (4) qui reste fixe, et en ce que les premiers paramètres variables sont choisis parmi le groupe comprenant l'épaisseur de la lame ressort (4), l'angle des extrémités des lames ressorts (4) avec les points d'accroche, la distance entre l'axe de pivotement de l'organe horloger (1) et l'extrémité de la lame ressort (4) qui se déplace angulairement, et le nombre de lames ressorts (4).
8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'organe horloger (1) est un barillet comportant au moins une unité comprenant un moyeu (2), une serge (3), et au moins une lame ressort (4) reliant le moyeu (2) et la serge (3), ladite lame ressort (4) présentant une forme géométrique obtenue selon l'étape g) déterminée pour présenter une raideur sensiblement nulle sur une plage de positions la plus grande possible.
9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'organe horloger (1) comprend une seule lame ressort (4) de forme géométrique obtenue selon l'étape g).
10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'organe horloger (1) comprend au moins deux lames ressorts (4) disposées dans un même plan et de formes géométriques obtenues selon l'étape g) déterminées pour présenter des raideurs prédéterminées sur au moins une partie de ladite plage prédéfinie, lesdites raideurs s'additionnant.
11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce que les deux lames ressorts (4) présentent respectivement, sur au moins une même partie d'une plage prédéfinie de positions variant dans un même sens positif ou négatif, des raideurs prédéterminées pour que l'organe horloger soit bistable sur au moins ladite partie de la plage prédéfinie.
12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'organe horloger (1) est un oscillateur comportant au moins une unité comprenant un moyeu (2), une serge (3), et au moins une lame ressort (4) reliant le moyeu (2) et la serge (3), ladite lame ressort (4) présentant une forme géométrique obtenue selon l'étape g) déterminée pour présenter une raideur positive sur une plage de positions variant dans des sens opposés.
13. Lame ressort (4) obtenue par le procédé selon l'une des revendications 1 à 12, à l'exception des lames ressorts dont la forme géométrique est une courbe de Bézier d'ordre 7 d'épaisseur égale à 60 μm et définie par les points de contrôle Q_n :

Variables	Coordonnées x [mm]	Coordonnées y [mm]
Q_0	0.756625	0.653875
Q_1	1.87325	1.619
Q_2	2.8125	-0.59125
Q_3	3.4375	0.4535
Q_4	3.75	1.032875
Q_5	4.375	0
Q_6	5	0

et à l'exception des lames ressorts dont la forme géométrique est une courbe de Bézier d'ordre 7 d'épaisseur égale à 90 μm et définie par les points de contrôle Q_n :

Variables	Coordonnées x [mm]	Coordonnées y [mm]
Q_0	1.51325	1.30775
Q_1	3.7465	3.238
Q_2	5.625	-1.1825
Q_3	6.875	0.907
Q_4	7.5	2.06575
Q_5	8.75	0

CH 718 065 A2

Variables	Coordonnées x [mm]	Coordonnées y [mm]
Q_6	10	0

14. Lame ressort (4) selon la revendication 13, caractérisée en ce que n est > 3 .

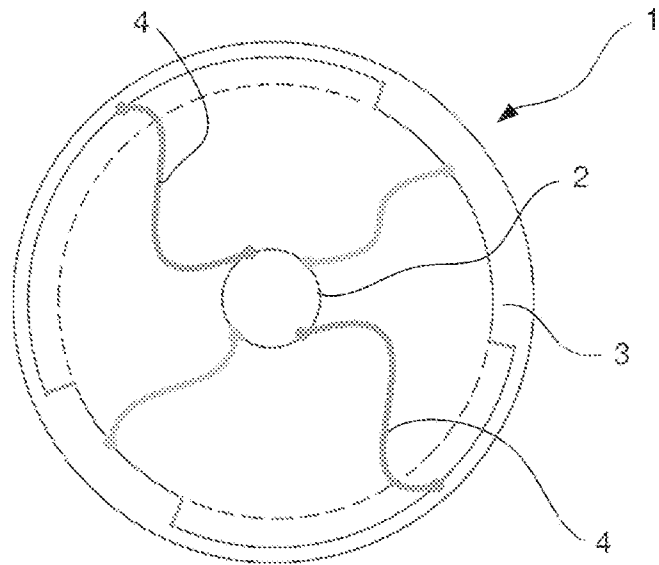


Fig. 1

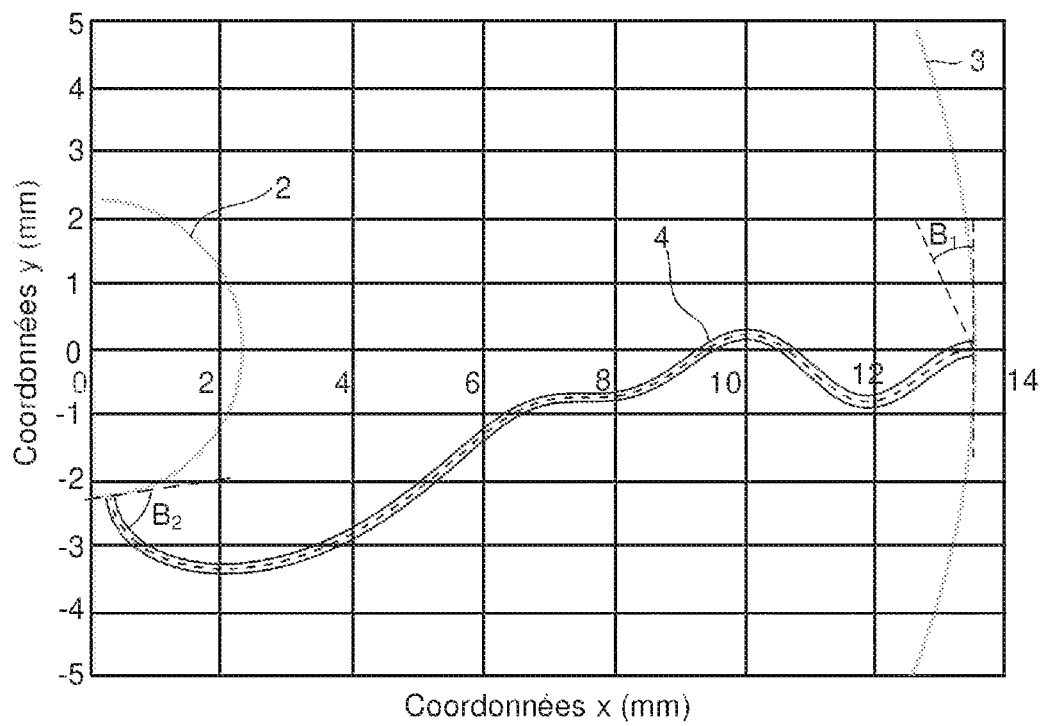


Fig. 4

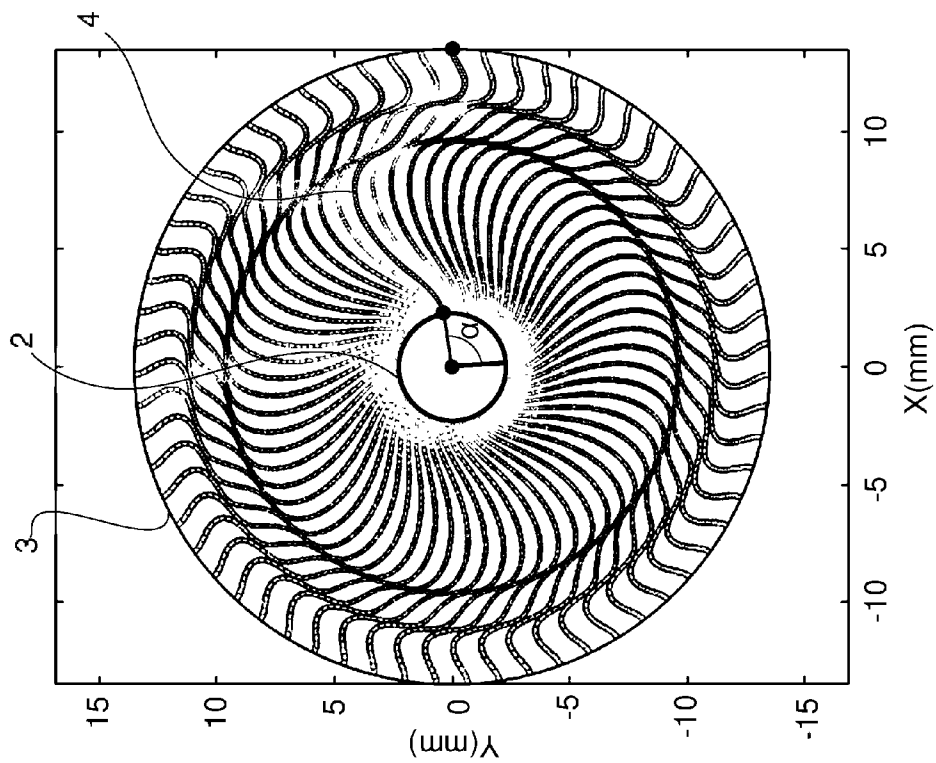


Fig. 3

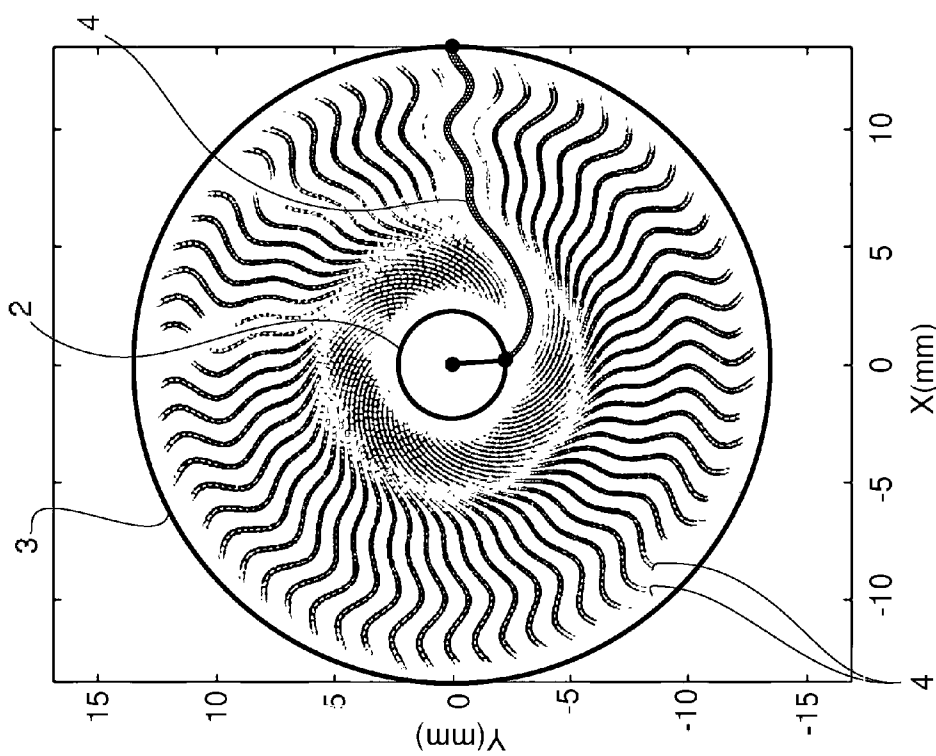
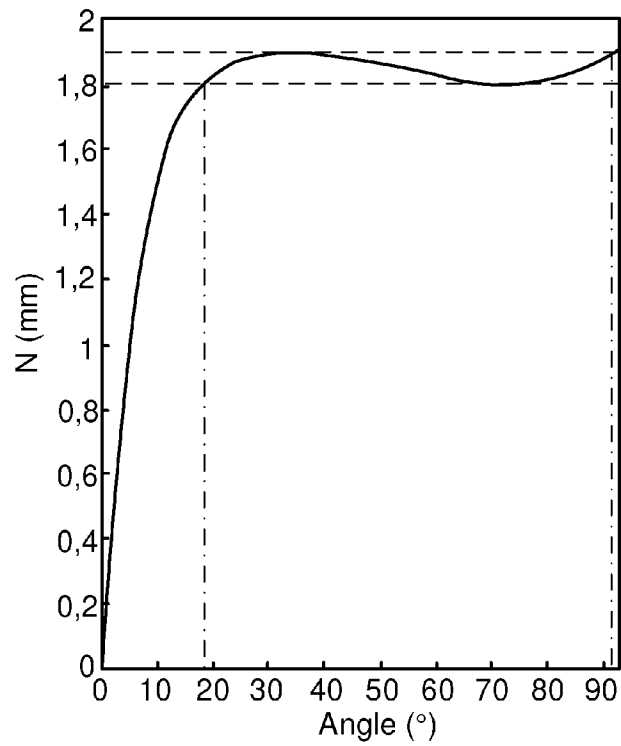
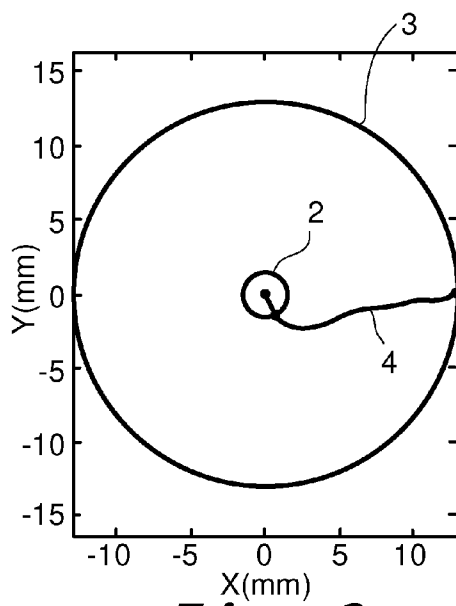
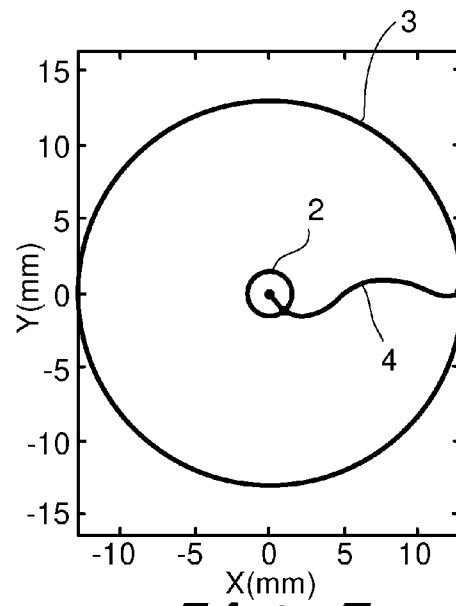
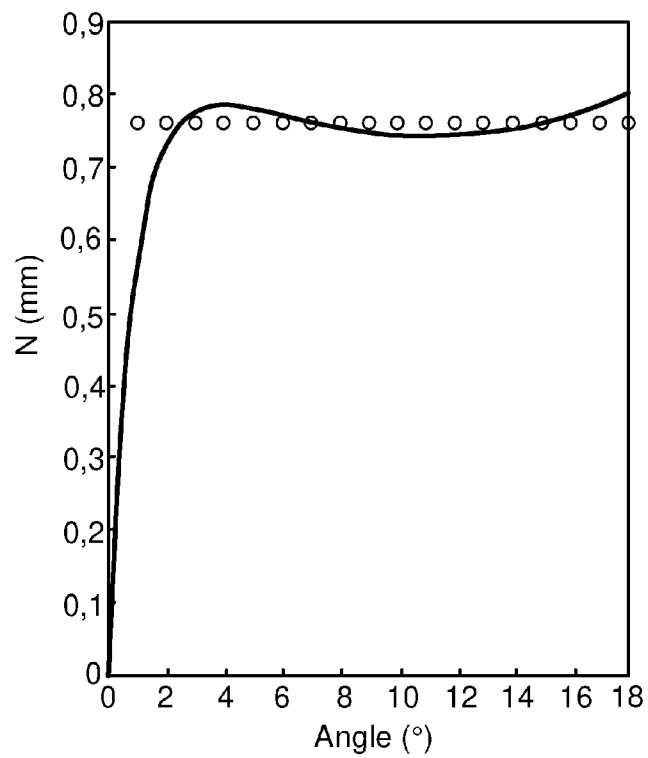
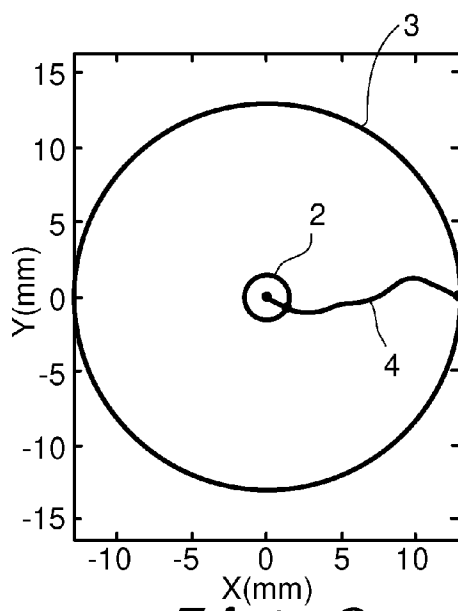
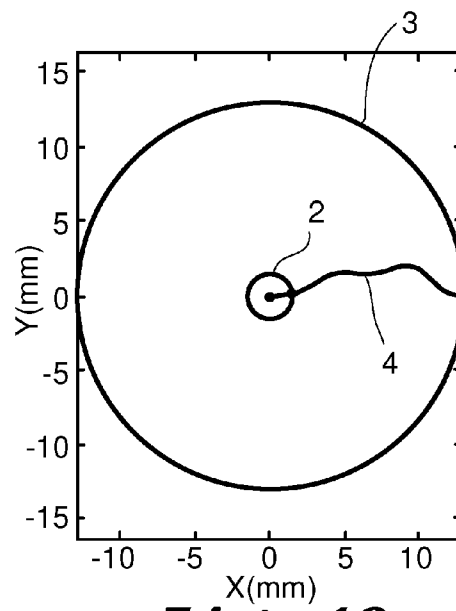
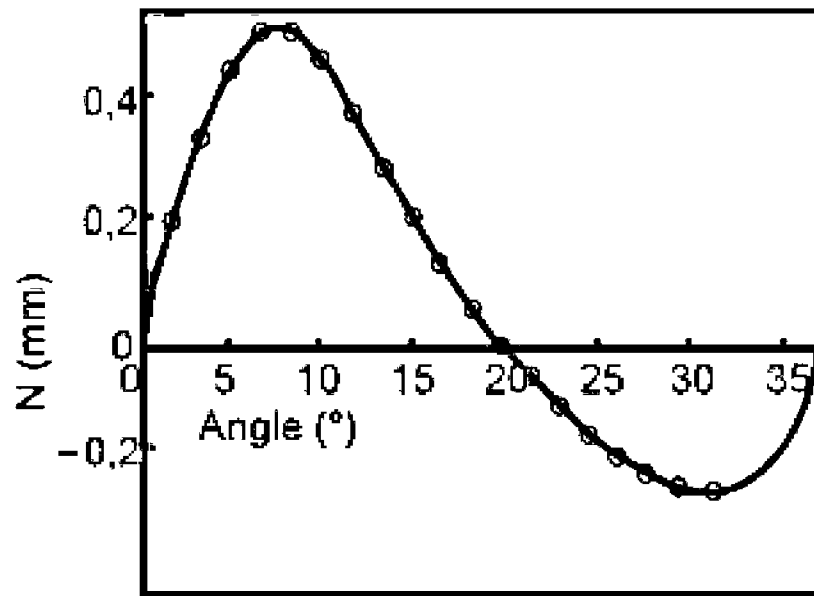
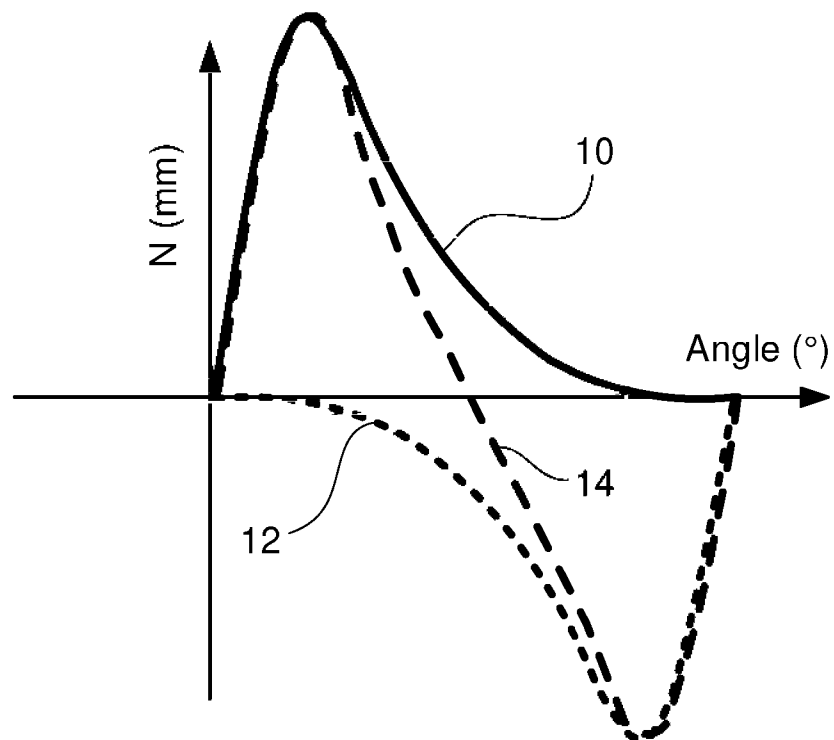


Fig. 2

**Fig. 5****Fig. 6****Fig. 7**

**Fig. 8****Fig. 9****Fig. 10**

***Fig. 11******Fig. 12***

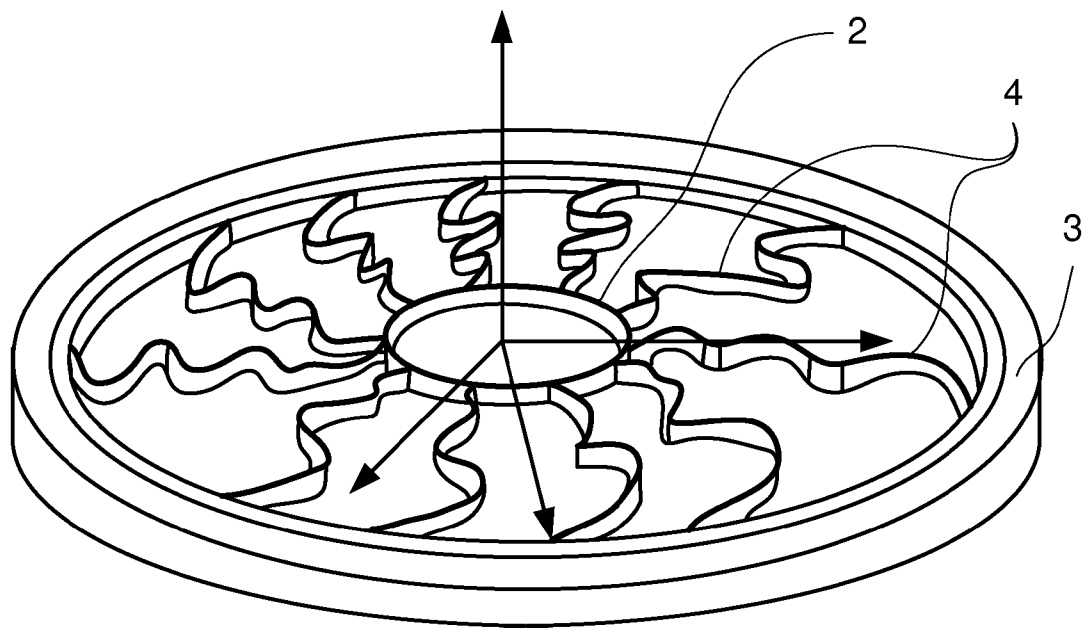


Fig. 13

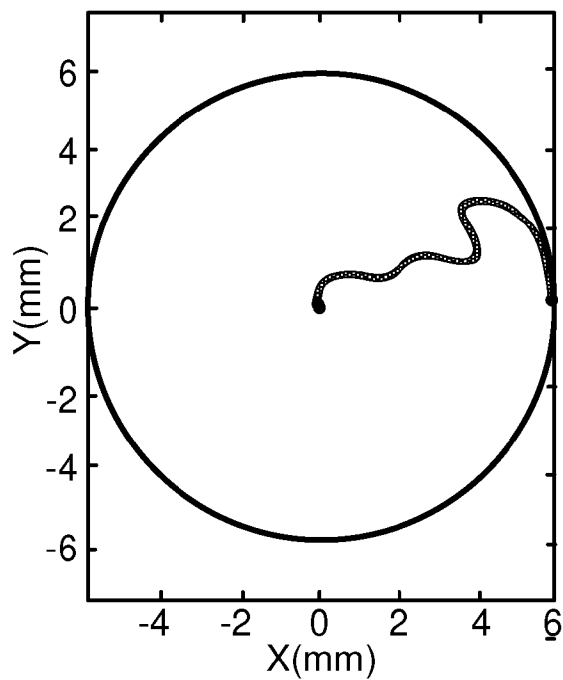


Fig. 14

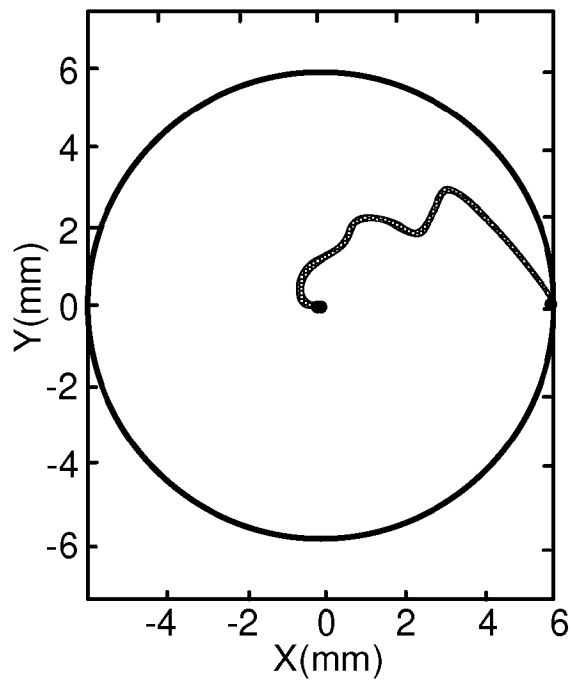
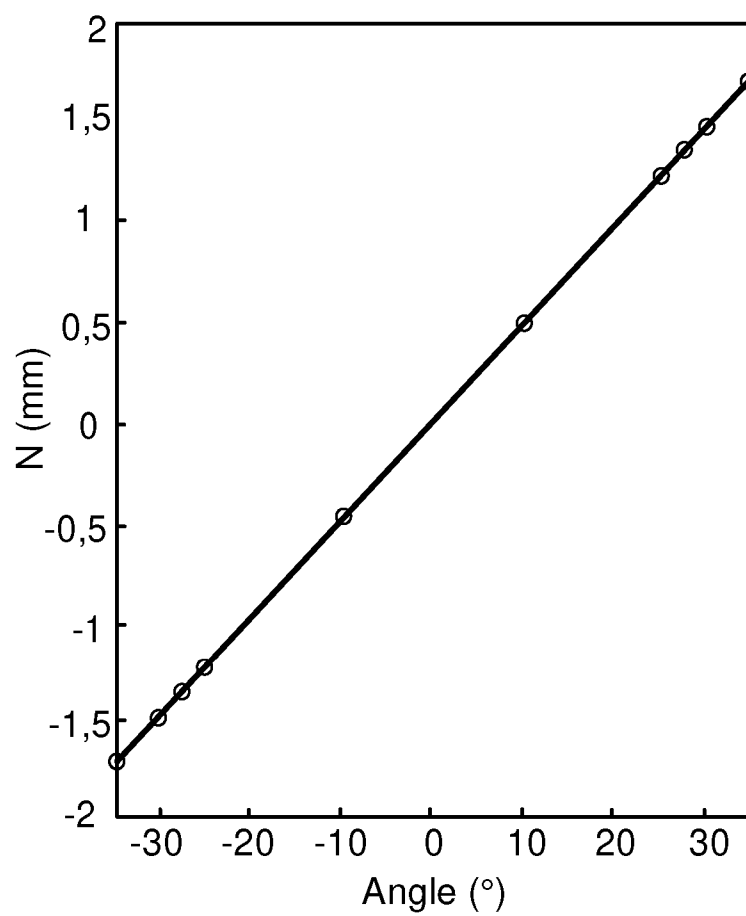


Fig. 15

***Fig. 16***