(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 1 519 250 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
30.06.2010 Bulletin 2010/26

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

(21) Numéro de dépôt: **03021787.1**

(22) Date de dépôt: **26.09.2003**

(54) **Résonateur balancier-spiral thermocompensé**

Spiralfeder-Unruh-Resonator mit Thermokompensation

Thermally compensated balance-hairspring resonator

(84) Etats contractants désignés:
CH DE FR GB IT LI

(43) Date de publication de la demande:
30.03.2005 Bulletin 2005/13

(73) Titulaire: **ASULAB S.A.**
2074 Marin (CH)

(72) Inventeurs:
- **Hessler, Thierry**
  1020 Renens (CH)
- **Dinger, Rudolf**
  2024 Saint-Aubin (CH)

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

(56) Documents cités:
EP-A- 0 732 635 **EP-A- 1 302 821**
US-A1- 2003 011 119

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 1 519 250 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Description

[0001] La présente invention à pour objet un résonateur balancier-spiral thermocompensé permettant de réduire l'écart thermique de marche diurne d'un mouvement horloger mécanique à un niveau comparable à celui d'une montre électronique à quartz.

[0002] Il est bien connu que l'écart de marche diurne d'un mouvement mécanique dépend essentiellement des organes réglants, et notamment du balancier-spiral dont la fréquence d'oscillation peut être influencée par des variations des facteurs extérieurs, tels qu'un changement de température ou la présence d'un champ magnétique. La température agit notamment à la fois sur le moment d'inertie du balancier et sur la constante élastique du spiral, et modifie la fréquence du balancier-spiral qui est en effet fonction de ces deux paramètres.

[0003] En ce qui concerne le balancier, il est généralement réalisé un alliage amagnétique tels que le glucydur, faisant que le mouvement oscillatoire du balancier ne peut pas être perturbé par la proximité de matériaux magnétiques. Pour minimiser l'influence de la température sur le moment d'inertie du balancier, c'est-à-dire en fait sur la variation de son rayon de giration, de très nombreux dispositifs ont été proposés dès les années 1900, ces dispositifs étant essentiellement basés sur le principe du balancier bimétallique coupé.

[0004] Ces dispositifs ne seront pas décrits plus avant, étant donné que l'invention ne concerne pas des caractéristiques géométriques du balancier en tant que tel.

[0005] En ce qui concerne le spiral, on a déjà depuis longtemps, d'une façon encore considérée comme satisfaisante, minimisé les écarts de marche dus aux variations de température en les fabriquant dans des alliages dont l'élasticité reste pratiquement constante dans la gamme de températures usuelles d'utilisation. Il s'agit notamment d'alliages fer-nickel contenant également du chrome et du titane comme durcissants ainsi que divers autres éléments (C, Mo, Be, etc). De tels alliages, bien connus sous les dénominations telles que l'"Elinvar" permettent, dans la meilleure qualité d'obtenir un écart de marche de $\pm$ 0,6 seconde par degré en 24h, mais peuvent encore être sensibles à l'effet d'un champs magnétique. De plus leur fabrication fait appel à des procédés métallurgiques complexes ne permettant pas de garantir une reproductibilité parfaite des caractéristiques recherchées, de sorte qu'il est encore nécessaire de procéder à l'appairage du balancier et du spiral lors du montage.

[0006] Le document EP 732 635 divulgue une pièce de micro-mécanique en silicium mono ou polycristallin et son procédé de fabrication qui permet de remplacer un matériau du type « Elinvar ». La pièce est photostructurée sur une plaque de silicium et peut comprendre un revêtement extérieur au moins partiel du type à structure de diamant destiné à s'exonérer de moyens de lubrification.

[0007] L'invention a pour but de pallier aux inconvénients de l'art antérieur précité en procurant un balancier-spiral présentant un écart de marche encore plus faible en raison notamment d'un spiral réalisé en un matériau amagnétique dont les coefficients de dilatation et la variation thermique du module d'élasticité permettent, lors de la fabrication, d'adapter la constante élastique dudit spiral au moment d'inertie du balancier.

[0008] On rappellera que la constante élastique du spiral, autrement désignée par "couple unitaire du spiral" répond à la formule I :

$$C = \frac{Ehe^3}{12L} \qquad (I)$$

dans laquelle E est le module d'élasticité, h la hauteur du spiral, e son épaisseur et *L* sa longueur développée. La fréquence du balancier-spiral peut être reliée à la formule I par la formule II :

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{C}{I}} \qquad (II)$$

dans laquelle I représente le moment d'inertie du balancier, correspondant à la formule III :

$$I = mr^2 \qquad (III)$$

dans laquelle m représente la masse et r le rayon de giration qui dépend évidemment du coefficient de dilatation a du balancier.

[0009] A cet effet l'invention concerne un résonateur balancier-spiral pour mouvement horloger mécanique comportant un spiral de constante élastique C et un balancier de moment d'inertie I dans lequel le spiral est formé de spires de hauteur h réalisées à partir d'un monocristal de quartz d'axes cristallographiques x, y, z, l'axe x, étant l'axe électrique et l'axe y l'axe mécanique, la hauteur h des spires ayant sensiblement la même orientation que l'axe cristallographique z, la lame de quartz étant découpée selon un plan x, y' formant un angle θ avec le plan x, y perpendiculaire à l'axe cristallographique z. Plus précisément l'angle θ peut varier entre + 25° et - 25°, de préférence entre + 10° et - 15°, ce qui permet de faire varier la constante élastique du spiral sans en modifier la géométrie.

[0010] Grâce à cette conception du spiral, il est ainsi possible d'adapter très simplement la constante élastique dudit spiral (formule I) au coefficient de dilatation linéaire a du balancier, qui modifie le moment d'inertie (formule III) dudit balancier, afin que la fréquence (formule II) du résonateur balancier-spiral soit thermocompensée.

[0011] L'utilisation du quartz pour la fabrication d'un spiral offre également l'avantage, outre ses excellentes caractéristiques thermiques, de posséder aussi d'excel-

lentes propriétés mécaniques et chimiques, en particulier au niveau du vieillissement, de l'oxydation et de la sensibilité aux champs magnétiques.

[0012] L'invention concerne également un procédé de fabrication d'un tel spiral consistant à :

- découper dans un barreau de quartz d'axes cristallographiques x y z une lame dont l'épaisseur sera éventuellement amincie à une hauteur *h* désirée pour les spires ;
- former par photolithographie à la surface de la lame un masque dont le contour délimite la forme désirée pour le spiral,
- effectuer une gravure par voie humide ou par voie sèche pour éliminer le quartz se trouvant à l'extérieur du contour créé, et libérer le spiral.

[0013] La technique de photolithographie et gravure permet, d'une part de former dans la lame de quartz, en même temps que le spiral en tant que tel, son attache à l'extérieur et la virole de fixation au centre, d'autre part de choisir librement d'autres paramètres du spiral tels que l'épaisseur e des spires ou leur pas, en un point quelconque de son développement.

[0014] Pour modifier le couple élastique du spiral et l'adapter au coefficient de dilatation linéaire d'un balancier donné, la lame de quartz est découpée selon un plan formant un angle $\pi/2 - \theta$ par rapport à l'axe cristallographique z, soit de façon équivalente en formant par rotation autour de l'axe x, un angle θ par rapport à la direction de la hauteur h du spiral.

[0015] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description qui suit, faite à titre illustratif et non limitatif en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- les figures 1 et 2 représentent les étapes essentielles du procédé de fabrication d'un spiral en quartz selon l'invention;
- la figure 3 est un graphique représentant l'écart de marche en fonction de la température d'un spiral en quartz selon l'invention, avec une courbe de comparaison, et
- la figure 4 est un graphique comparable à celui de la figure 3 dans lequel le spiral est réalisé à partir de lames de quartz découpées selon différents angles de coupe.

[0016] A la figure 1 on a représenté la première étape du procédé de fabrication d'un spiral selon l'invention. Cette étape consiste à prendre un barreau de quartz 1 ayant pour axes cristallographiques x y z, et à découper une lame 3 ayant pour épaisseur la hauteur *h* désirée pour la lame 3, par exemple de quelques dixièmes millimètres. La hauteur *h* désirée précise peut également être obtenue en découpant une ébauche qu'on soumet ensuite de façon connue à une opération d'usinage par des moyens chimiques, physiques ou physico-chimiques pour amincir la lame jusqu'à la hauteur *h*. Cette lame est découpée selon un plan x y' formant un angle θ avec le plan x y perpendiculaire à l'axe cristallographique z, c'est-à-dire par rotation du plan x y d'un angle θ autour de l'axe x.

[0017] Comme on peut le voir sur la figure 2 représentant une portion de cette même lame 3 à plat, la direction de la hauteur *h* selon l'axe z' forme un angle θ avec l'axe cristallographique z.

[0018] La figure 2 représente également schématiquement, pour une portion agrandie de spiral près de la courbe au centre, les étapes suivantes du procédé. Ces étapes consistent, selon des procédés connus pour la fabrication de micro-structures, à former par photolithographie un masque permettant de délimiter le contour 5 du spiral, et de définir à l'extérieur dudit contour des zones 7 devant être éliminées pour créer le spiral.

[0019] Le procédé de photolithographie et gravure permet, si on le souhaite, de former en même temps l'attache à l'extérieur et l'attache au centre, c'est-à-dire une virole venant de matière avec le spiral. Il permet aussi de choisir librement d'autres paramètres du spiral pour en améliorer ses performances, tels que l'épaisseur des spires et/ou leur pas, et ceci en un point quelconque du développement du spiral.

[0020] L'élimination des zones 7 situées à l'extérieur du contour peut être effectuée selon des procédés connus, par exemple pour la fabrication des diapasons des montres électroniques. On peut effectuer une attaque par voie humide en particulier une attaque chimique au moyen d'un mélange d'acide fluorhydrique et de fluorure d'ammonium (HF/NH_4F). On peut également effectuer une attaque par voie sèche, en faisant par exemple appel à la technique de gravure ionique réactive.

[0021] En se référant maintenant à la figure 3, on a représenté l'écart de marche en secondes par jour en fonction de la température pour un spiral en quartz (courbe a) lorsque le balancier est réalisé en un matériau ayant un coefficient de dilatation $\alpha = 14\ 10^{-6}\ K^{-1}$ et un diapason de montre électronique (courbe b), tous les deux fabriqués avec un angle $\theta = 2°$. On a également représenté par des traits verticaux la gamme de températures à retenir à fin de comparaison selon les normes COSC (Contrôle Officiel Suisse des Chronomètres), à savoir entre + 8°C et + 38°C. On peut observer que les courbes a et b sont très proches l'une de l'autre dans la gamme COSC, l'écart maximum à partir du point de retournement 10 ayant respectivement pour valeurs $\Delta a = 0{,}5s/j$ et $\Delta b = 1{,}2s/j$.

[0022] La figure 4 représente un faisceau de courbes donnant l'écart de marche en fonction de la température et montrant comment il est possible, par une simple variation de l'angle θ d'obtenir un écart de marche minimum avec des balanciers ayant différents coefficients de dilatation, comme indiqué dans le tableau 1 ci-après :

Tableau 1

	coefficient de dilatation α	Angle θ
courbe d	5.10^{-6} K^{-1}	- 14,6°
courbe e	10.10^{-6} K^{-1}	- 7°
courbe f	15.10^{-6} K^{-1}	+ 7°

La courbe g correspond au diapason d'une montre électronique pris comme référence.

[0023] On peut observer que, dans la gamme COSC couvrant 30°C, l'écart maximum est d'environ Δmax = -0,6s/j, soit encore de l'ordre de 0,02 seconde par degré en 24h, valeur très inférieure à celle qu'on peut obtenir avec un spiral métallique de la meilleure qualité.

Revendications

1. Résonateur balancier-spiral comportant un spiral (5) de constante élastique C et un balancier de moment d'inertie I, le spiral (5) étant formé de spires de hauteur *h* réalisées dans une lame (3) de quartz découpée dans un monocristal de quartz cristallisé (1) selon des axes cristallographiques x, y et z, l'axe x étant l'axe électrique et y étant l'axe mécanique **caractérisé en ce que** la lame (3) de quartz est découpée selon un plan x, y' formant un angle θ avec le plan x, y perpendiculaire à l'axe cristallographique z, l'angle θ ayant une valeur comprise entre + 25° et - 25° afin de modifier le couple élastique du spiral (5) sans modifier sa géométrie.

2. Résonateur balancier-spiral selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'angle θ a une valeur comprise entre +10° et -15° afin d'obtenir un écart de marche (Δa, Δb, Δmax) minimum.

3. Résonateur balancier-spiral selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'attache extérieure et la virole du spiral sont réalisées dans la même lame (3) de quartz avec le spiral (5) afin de former une pièce unique.

4. Mouvement horloger mécanique **caractérisé en ce qu'**il comporte un résonateur balancier-spiral conforme à l'une des revendications précédentes.

5. Procédé de fabrication d'un résonateur balancier-spiral selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le spiral (5) de hauteur h est obtenu en effectuant les étapes consistant à :

   - découper dans un monocristal de quartz (1) d'axes cristallographiques x y z, l'axe x étant l'axe électrique et y l'axe mécanique, une lame (3) selon un plan x, y' formant un angle θ avec le plan x, y perpendiculaire à l'axe cristallographique z, l'angle θ ayant une valeur comprise entre + 25° et - 25° afin de modifier le couple élastique du spiral (5) sans modifier sa géométrie;
   - former par photolithographie à la surface de la lame (3) un masque permettant de délimiter le contour désiré pour le spiral (5) ; et
   - effectuer une gravure pour éliminer le quartz se trouvant à l'extérieur du contour du spiral (7), et libérer le spiral (5).

6. Procédé selon la revendication 5, **caractérisé en ce qu'**il comporte une étape d'amincissement de la lame (3) avant l'étape de formation par photolithographie afin d'adapter l'épaisseur de ladite lame à la hauteur h voulue du spiral (5).

7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, **caractérisé en ce que** la gravure permettant d'éliminer le quartz situé à l'extérieur du contour du spiral (7) est effectuée par voie humide.

8. Procédé selon la revendication 7, **caractérisé en ce que** ladite élimination du quartz est effectuée par attaque chimique au moyen d'un mélange HF/NH_4F.

9. Procédé selon la revendication 5 ou 6, **caractérisé en ce que** la gravure permettant d'éliminer le quartz situé à l'extérieur du contour du spiral (7) est effectuée par voie sèche.

10. Procédé selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** ladite élimination du quartz est effectuée par gravure ionique réactive.

11. Procédé selon l'une des revendications 5 à 10, **caractérisé en ce que** les étapes de photolithographie et gravure permettent de former en même temps que le spiral son attache à l'extérieur, la virole de fixation au centre et de choisir d'autres paramètres de construction tels que l'épaisseur des spires ou leur pas.

12. Procédé selon l'une des revendications 5 à 11, **caractérisé en ce que** les valeurs limites de l'angle de coupe θ permettent d'adapter la constante élastique du spiral obtenu au coefficient de dilatation d'un balancier.

13. Procédé selon l'une des revendications 5 à 12, **caractérisé en ce que** l'appairage de la constante élastique C du spiral et du moment d'inertie I du balancier, en ce qui concerne leurs caractéristiques thermiques, est effectué en choisissant une valeur appropriée de l'angle θ.

Claims

1. Sprung balance resonator including a balance-spring (5) with an elasticity constant C and a balance with a moment of inertia I, the balance-spring (5) being formed of coils of height *h* made in a quartz strip (3) cut from a single quartz monocrystal crystallised (1) along crystallographic axes x, y and z, axis x being the electrical axis and y being the mechanical axis, **characterised in that** the quartz strip (3) is cut along a plane x, y' forming an angle θ with the plane x, y perpendicular to crystallographic axis z, the angle θ having a value comprised between +25° and -25° in order to alter the elastic torque of the balance-spring (5) without altering its geometry.

2. Sprung balance resonator according to claim 1, **characterised in that** the angle θ has a value comprised between +10° and -15° in order to obtain a minimum variation of rate (Δa, Δb, Δmax).

3. Sprung balance resonator according to any of the preceding claims, **characterised in that** the exterior attachment and the collet of the spring are formed in the same quartz strip (3) together with the balance-spring (5) in order to form a single piece.

4. Mechanical watch movement **characterised in that** it includes a sprung balance resonator according to any of the preceding claims.

5. Method of manufacturing a sprung balance resonator according to any of the preceding claims, **characterised in that** the balance-spring (5) height h is obtained by carrying out the steps of:

   - cutting, from a quartz monocrystal (1) with crystallographic axes x y z, axis x being the electrical axis and axis y the mechanical axis, a strip (3) along a plane x, y' forming an angle θ with the plane x, y perpendicular to crystallographic axis z, said angle θ being able to vary between +25° and -25° in order to alter the elasticity constant of the balance-spring (5) without altering its geometry;
   - forming a mask, whose contour delimits the desired shape of the balance-spring (5), by photolithography at the surface of the strip (3); and
   - etching to remove the quartz located outside the contour created (7), and releasing the balance-spring (5).

6. Method according to claim 5, **characterised in that** it further includes a step of making thinner the strip (3) before the step of forming by photolithography in order to fit the thickness of said strip to a desired height h of the balance-spring (5).

7. Method according to claim 5 or 6, **characterised in that** the etching for removing the quartz located outside the contour of the balance-spring (7) is carried out by a wet method.

8. Method according to claim 7, **characterised in that** said quartz removing is made with a chemical attack by means of an HF/NH_4F solution.

9. Method according to claim 5 or 6, **characterised in that** the etching for removing the quartz located outside the contour of the balance-spring (7) is carried out by a dry method.

10. Method according to claim 9, **characterised in that** said quartz removing is made by reactive ion etching.

11. Method according to any of claims 5 to 10, **characterised in that** the photolithography and etching steps allow the balance-spring's attachment to the exterior and the centre fixing ring or collet to be formed at the same time as the balance-spring and other construction parameters to be chosen such as the thickness of the coils or their pitch.

12. Method according to any of claims 5 to 11, **characterised in that** the limit values of cutting angle θ allow the elasticity constant of the obtained balance-spring to be adapted to the thermal expansion coefficient of a balance.

13. Sprung balance resonator according to any of claims 5 to 12, **characterised in that** the elasticity constant C of the balance-spring and the moment of inertia I of the balance are matched, as regards their thermal features, by selecting an appropriate value for angle θ.

Patentansprüche

1. Spiralunruh-Resonator, der eine Spirale (5) mit Elastizitätskonstante C und eine Unruh mit Trägheitsmoment I umfasst, wobei die Spirale (5) aus Windungen mit einer Höhe h gebildet ist, die in einem Quarzplättchen (3) verwirklicht sind, das in einem kristallisierten Quarzeinkristall (1) längs der Kristallachsen x, y und z verwirklicht ist, wobei die x-Achse die elektrische Achse ist und die y-Achse die mechanische Achse ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Quarzplättchen (3) in einer Ebene x, y' ausgeschnitten ist, die mit der Ebene x, y senkrecht zu der Kristallachse z einen Winkel θ bildet, wobei der Winkel θ einen Wert im Bereich von +25° bis -25° hat, um das elastische Drehmoment der Spirale (5) zu modifizieren, ohne ihre Geometrie zu modifizieren.

2. Spiralunruh-Resonator nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Winkel θ einen Wert im Bereich von +10° bis -15° hat, um einen minimalen Gangabstand (Δa, Δb, Δmax) zu erhalten.

3. Spiralunruh-Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die äußere Befestigung und die Spiralrolle im selben Quarzplättchen (3) mit der Spirale (5) verwirklicht sind, um ein einziges Teil zu bilden.

4. Mechanisches Uhrwerk, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen Spiralunruh-Resonator nach einem der vorhergehenden Ansprüche enthält.

5. Verfahren zum Herstellen eines Spiralunruh-Resonators nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Spirale (5) mit einer Höhe h dadurch erhalten wird, dass die Schritte ausgeführt werden, die darin bestehen:

   - in einem Quarzeinkristall (1) mit Kristallachsen x, y, z, wobei die x-Achse die elektrische Achse ist und die y-Achse die mechanische Achse ist, ein Plättchen (3) in einer Ebene x, y', die mit der Ebene x, y senkrecht zu der Kristallachse z einen Winkel θ bildet, auszuschneiden, wobei der Winkel θ einen Wert im Bereich von +25° bis -25° besitzt, um das elastische Drehmoment der Spirale (5) zu modifizieren, ohne ihre Geometrie zu modifizieren;
   - durch Photolithographie auf der Oberfläche des Plättchens (3) eine Maske zu bilden, die ermöglicht, den gewünschten Umriss der Spirale (5) zu begrenzen, und
   - eine Ätzung auszuführen, um den Quarz, der sich außerhalb des Umrisses der Spirale (7) befindet, zu entfernen und um die Spirale (5) freizugeben.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen Schritt des Verdünnens des Plättchens (3) vor dem Photolithographiebildungsschritt umfasst, um die Dicke des Plättchens an die gewünschte Höhe h der Spirale (5) anzupassen.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ätzen, das das Entfernen des außerhalb des Umrisses der Spirale (7) vorhandenen Quarzes ermöglicht, auf feuchtem Weg ausgeführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Entfernung des Quarzes durch chemischen Angriff mittels eines HF/NH_4F-Gemisches erfolgt.

9. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Ätzen, das das Entfernen des außerhalb des Umrisses der Spirale (7) befindlichen Quarzes ermöglicht, auf trockenem Weg erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Entfernen des Quarzes durch reaktives Ionenätzen erfolgt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Schritte der Photolithographie und des Ätzens ermöglichen, gleichzeitig mit der Spirale ihre äußere Befestigung und die Befestigung der Spiralrolle im Zentrum zu bilden und andere Konstruktionsparameter wie etwa die Dicke der Windungen oder ihre Schrittweite zu wählen.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Grenzwerte des Schnittwinkels θ ermöglichen, die elastische Konstante der erhaltenen Spirale an den Dehnungskoeffizienten der Unruh anzupassen.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Paarung der elastischen Konstante C der Spirale und des Trägheitsmoments I der Unruh hinsichtlich ihrer thermischen Eigenschaften in der Weise ausgeführt wird, dass ein geeigneter Wert des Winkels θ gewählt wird.

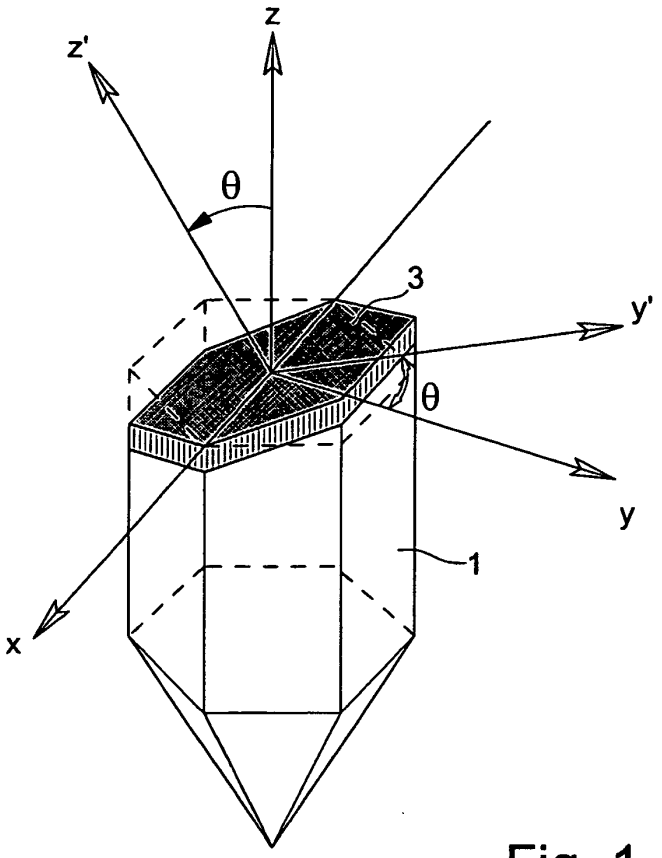


Fig. 1

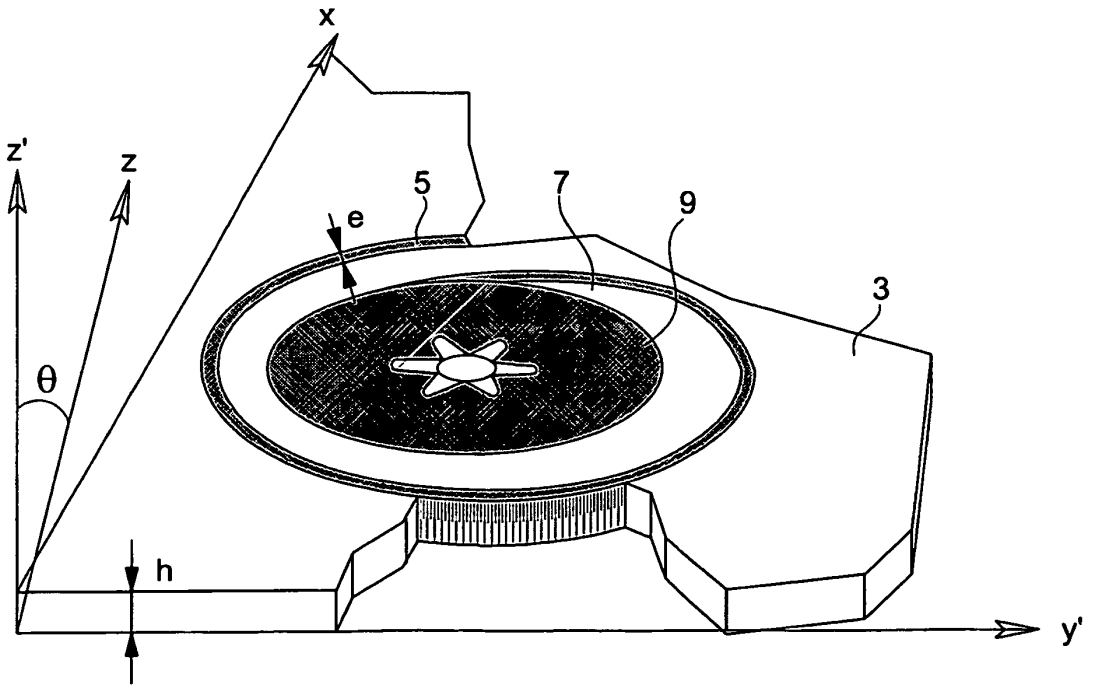


Fig. 2

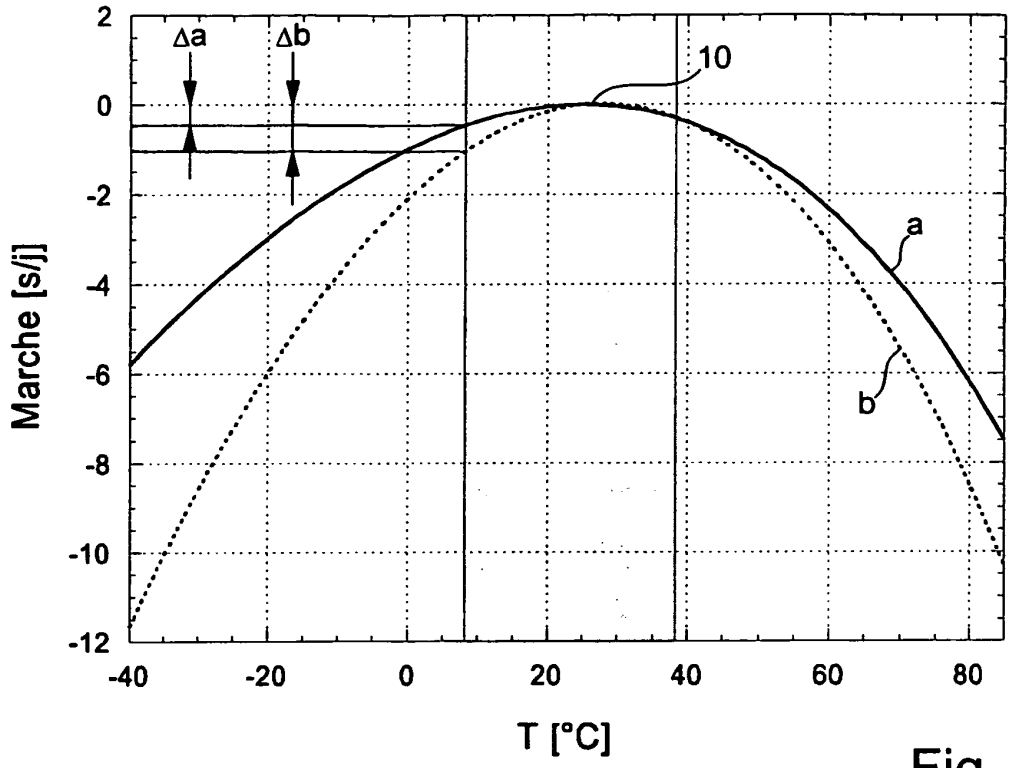

Δa
Δb
10
a
b
Marche [s/j]
T [°C]
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
-40
-20
0
20
40
60
80

Fig. 3

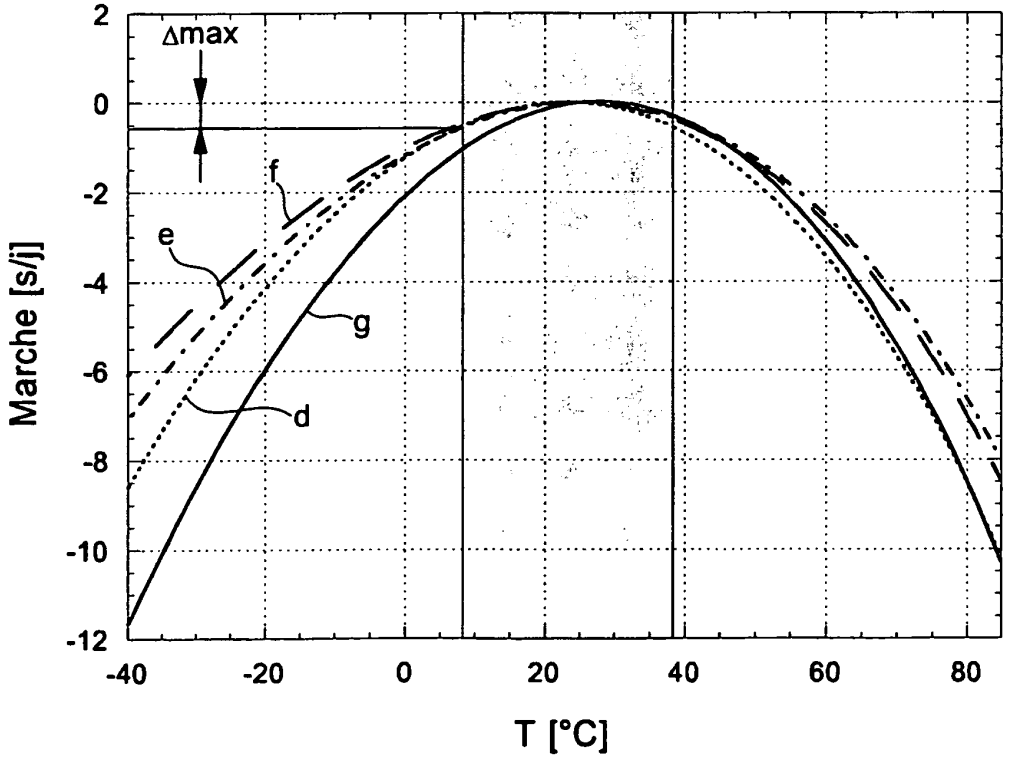

Δmax
f
e
g
d
Marche [s/j]
T [°C]
2
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
-40
-20
0
20
40
60
80

Fig. 4

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- EP 732635 A **[0006]**