

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) CH 707 630 B1

(51) Int. Cl.: G04B 17/06 (2006.01)
G04B 17/22 (2006.01)

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

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

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 00272/14

(22) Date de dépôt: 25.02.2014

(43) Demande publiée: 29.08.2014

(30) Priorité: 25.02.2013 JP 2013-034703
25.02.2013 JP 2013-034704

(24) Brevet délivré: 15.04.2019

(45) Fascicule du brevet publié: 15.04.2019

(73) Titulaire(s):
Seiko Instruments Inc., 8, Nakase 1-chome, Mihama-ku
Chiba-shi, Chiba (JP)

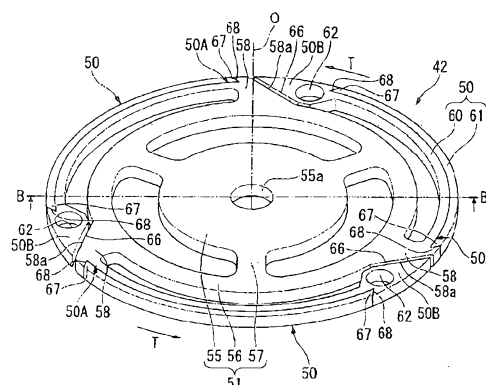
(72) Inventeur(s):
Takashi Niwa, Chiba-shi, Chiba (JP)
Masahiro Nakajima, Chiba-shi, Chiba (JP)
Takuma Kawauchiya, Chiba-shi, Chiba (JP)
Hisashi Fujieda, Chiba-shi, Chiba (JP)
Manabu Shinke, Chiba-shi, Chiba (JP)

(74) Mandataire:
BOVARD SA, Conseils en propriété intellectuelle
Optingenstrasse 16
3000 Berne 25 (CH)

(54) **Balancier de type à compensation de température, mouvement de pièce d'horlogerie, pièce d'horlogerie mécanique et procédé de fabrication d'un tel balancier.**

(57) L'invention concerne un balancier à compensation de température comprenant un arbre de balancier (41) qui tourne autour d'un axe de rotation (O), et une roue de balancier (42) comportant une pluralité de parties bi-matière (50) qui sont disposées à la suite dans une direction circonférentielle autour de l'axe de rotation (O) et qui s'étendent selon une forme d'arc le long de la direction circonférentielle autour de l'axe de rotation (O), et des éléments de connexion (51) qui connectent radialement chacune des parties bi-matière (50) à l'arbre de balancier (41), où la partie bi-matière (50) est un corps multicouche dont un premier élément (60) et un deuxième élément (61), disposé radialement plus vers l'extérieur que le premier élément (60), se recouvrent en se succédant radialement, dont une extrémité dans la direction circonférentielle est une extrémité fixe (50A) connectée à l'élément de connexion (51) et dont l'autre extrémité dans la direction circonférentielle est une extrémité libre (50B), le premier élément (60) est réalisé en un matériau choisi parmi une céramique, le silicium (Si), le carbure de silicium (SiC), le dioxyde de silicium (SiO₂), le saphir, l'alumine (Al₂O₃), le zircon (ZrO₂), le carbone vitreux (C) et un métal, notamment l'Invar, et le deuxième élément (61) est réalisé en un métal ayant un coefficient de dilatation thermique différent de celui du matériau du premier élément (60).

L'invention concerne également un procédé de fabrication d'un tel balancier ainsi qu'un mouvement et une pièce d'horlogerie comportant un tel balancier.



Description

Arrière-plan de l'invention

1. Domaine de l'invention

[0001] La présente invention se rapporte à un balancier à compensation de température, un mouvement de pièce d'horlogerie, une pièce d'horlogerie mécanique et un procédé de fabrication du balancier à compensation de température.

2. Description de l'art antérieur

[0002] Un régulateur pour une pièce d'horlogerie mécanique est généralement constitué de manière à comprendre un balancier et un ressort. Un tel balancier est un élément qui oscille en tournant de manière cyclique dans un sens puis dans le sens contraire autour d'un axe d'un arbre de balancier, et il est important que son cycle d'oscillation soit réglé dans une valeur de réglage prédéterminée. En effet, la marche de la pièce d'horlogerie mécanique (valeur indiquant si la pièce d'horlogerie est rapide ou lente) varie si le cycle d'oscillation sort de la valeur de réglage. Cependant, le cycle d'oscillation est susceptible de varier en raison de différentes causes, et par exemple, il varie aussi en raison d'un changement de température.

[0003] Ici, un cycle d'oscillation cycle T décrit ci-dessus est exprimé par l'équation suivante (1).

[Equation 1]

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}} \quad \cdot \cdot \cdot (1)$$

[0004] Dans l'équation (1), le moment d'inertie du balancier est la lettre I et la raideur du ressort spiral est la lettre K. Par conséquent, si le moment d'inertie du balancier ou la raideur du ressort spiral varie, le cycle d'oscillation varie aussi.

[0005] Ici, un métal utilisé pour le balancier est généralement un matériau dont le coefficient de dilatation linéaire est positif et qui se dilate en raison d'une augmentation de température. Par conséquent, la roue de balancier est élargie radialement pour augmenter le moment d'inertie. De plus, puisque le module de Young d'un acier qui est généralement utilisé pour le ressort spiral a un coefficient de température négatif, une augmentation de température amène la raideur à baisser.

[0006] Comme décrit ci-dessus, en cas d'augmentation de la température, le moment d'inertie augmente en conséquence et la raideur du ressort spiral baisse. Par conséquent, comme le montre l'Equation (1) décrite ci-dessus, le cycle d'oscillation du balancier présente la caractéristique d'être plus court à basse température et d'être plus long à haute température. Pour cette raison, comme caractéristique de température de la pièce d'horlogerie, la pièce d'horlogerie est rapide à basse température et lente à haute température.

[0007] Par conséquent, afin d'améliorer les caractéristiques de température du cycle d'oscillation du balancier, les deux méthodes suivantes sont connues.

[0008] Dans la première méthode connue, au lieu de donner à la roue de balancier la forme circulaire d'une boucle complètement fermée, la roue de balancier est divisée de manière à être faite de parties en forme d'arc, et chacune des parties en forme d'arc est une partie bimétal où des plaques de métal faites de matériaux avec des coefficients de dilatation thermique différents l'un de l'autre sont liées ensemble radialement, réglant de cette manière les parties en forme d'arc dont une extrémité dans la direction circonférentielle est une extrémité fixe et dont l'autre extrémité dans la direction circonférentielle est une extrémité libre (se référer à JP-B-43-26 014 (document de brevet 1)).

[0009] Généralement, comme décrit ci-dessus, la roue de balancier est agrandie radialement en raison de la dilatation lors d'une augmentation de la température, ce qui augmente le moment d'inertie effectif. Cependant, selon la première méthode, lors d'une augmentation de la température, les parties bimétal en forme d'arc sont déformées vers l'intérieur de manière à déplacer le côté d'extrémité libre radialement vers l'intérieur, en raison d'une différence dans le coefficient de dilatation thermique. Ceci permet à un diamètre moyen de la roue de balancier d'être réduit radialement et permet au moment effectif d'inertie d'être diminué. Donc, il est possible d'amener les caractéristiques de température du moment d'inertie à avoir une pente négative. Par conséquent, il est possible de changer le moment d'inertie afin de contrebalancer un effet de la température sur le ressort spiral, ce qui permet que le cycle d'oscillation du balancier soit moins dépendant de la température.

[0010] La deuxième méthode est une méthode où un coefficient de température du module de Young au voisinage d'une gamme de température de fonctionnement (par exemple, 23 °C ± 15 °C) de la pièce d'horlogerie est amené à avoir des caractéristiques positives en employant un matériau élastique constant tel que du Coelivar comme matériau du ressort spiral.

[0011] Selon cette seconde méthode, dans la gamme de température de fonctionnement, il est possible d'annuler le changement affectant le moment d'inertie du balancier en fonction de la température en contrebalançant le coefficient de

dilatation linéaire de la roue de balancier et le coefficient de dilatation linéaire du ressort spiral, ce qui permet que le cycle d'oscillation du balancier soit moins dépendant de la température.

[0012] Incidemment, dans la première méthode décrite ci-dessus, les parties bimétal en forme d'arc sont formées en liant les plaques de métal radialement vers l'intérieur et les plaques de métal radialement vers l'extérieur ayant un coefficient de dilatation thermique différent l'une de l'autre, et comme exemple de procédé de liaison, il y a le brasage et le sertissage. Cependant, dans ces procédés, la finition dépend d'une condition de liaison et analogue de sorte qu'il est difficile d'assurer une précision constante sur la forme. De plus, puisque les parties en forme d'arc présentent la forme de deux plaques de métal, lors de l'accomplissement du brasage et du sertissage, ou lors de la réalisation de chacune des parties en forme d'arc par découpage, il est possible que les deux plaques de métal soient déformées élastiquement.

[0013] Pour ces raisons, il est difficile de finir les parties bimétal en forme d'arc en obtenant une haute précision sur leur forme, et donc, l'ajustement du moment inertiel et le réglage d'un degré de compensation de température sont susceptibles de ne pas être stables. En outre, un matériau à base de fer tel que l'invar (matériau à dilatation thermique basse) est généralement employé comme matériau pour la plaque de métal disposée radialement vers l'intérieur, et cela conduit à un problème de génération de rouille à moins qu'un placage et analogue ne soient effectués. Par conséquent, la fabrication demande du travail, ce qui laisse une marge d'amélioration.

[0014] En outre, dans le second procédé décrit ci-dessus, il existe la possibilité que quand la fabrication du ressort spiral utilise un matériau élastique constant tel que le Coelinvar, un coefficient de température du module de Young peut varier grandement selon la composition pendant un procédé de fusion et différentes conditions de fabrication pendant un procédé de traitement thermique ou semblable. Par conséquent, une procédure de contrôle de fabrication stricte est requise, ne facilitant de cette manière pas la production du ressort spiral. En conséquence, dans certains cas, il est difficile d'obtenir que le coefficient de température du module de Young soit positif au voisinage de la gamme de température de fonctionnement de la pièce d'horlogerie.

Résumé de l'invention

[0015] La présente invention est réalisée au vu d'un tel contexte, et un but de celle-ci est de proposer un balancier à compensation de température qui soit excellent en termes de précision de la forme, puisse être fabriqué de manière stable quant au travail de correction de température attendu, soit peu enclin à rouiller et puisse être fabriqué de manière efficace tout en supprimant qu'une force externe non nécessaire (tension) y soit appliquée; et un mouvement de pièce d'horlogerie l'incluant; une pièce d'horlogerie mécanique et un procédé de fabrication du balancier à compensation de température.

[0016] La présente invention prévoit un balancier selon la revendication 1 pour résoudre les problèmes ci-dessus.

[0017] (1) Le balancier à compensation de température selon la présente invention comprend un arbre de balancier qui tourne autour d'un axe de rotation, ainsi qu'une roue de balancier qui a une pluralité de parties bi-matière et des éléments de connexion qui connectent radialement chaque partie de la pluralité de parties bi-matière à l'arbre de balancier. Les parties bi-matière sont disposées à la suite dans une direction circonférentielle autour de l'axe de rotation et s'étendent selon une forme d'arc le long de la direction circonférentielle autour de l'axe de rotation. La partie bi-matière est un corps multicouche dont un premier élément et un deuxième élément, disposé radialement plus vers l'extérieur que le premier élément, se recouvrent en se succédant radialement, dont une extrémité dans la direction circonférentielle est une extrémité fixe connectée à l'élément de connexion et dont l'autre extrémité dans la direction circonférentielle est une extrémité libre. Le premier élément peut notamment être réalisé en une céramique. Le deuxième élément est réalisé en un métal ayant un coefficient de dilatation thermique différent de celui du premier élément.

[0018] Selon le balancier à compensation de température de l'invention, si une température est changée, la partie bi-matière est courbée radialement et déformée avec l'extrémité fixe comme point de départ, en raison d'une différence de coefficient de dilatation thermique entre le premier élément et le deuxième élément, ce qui permet à l'extrémité libre de la partie bi-matière de se déplacer radialement vers l'intérieur ou vers l'extérieur. De cette manière, il est possible de changer une position de l'extrémité libre de la partie bi-matière dans une direction radiale. Ceci permet au diamètre moyen de la roue de balancier d'être réduit radialement ou augmenté, et donc, il est possible de changer le moment d'inertie pour l'équilibrage général en changeant la distance à partir de l'axe de rotation de l'arbre de balancier. En conséquence, une pente des caractéristiques de température concernant le moment d'inertie peut être changée, et donc, il est possible d'effectuer une correction de température.

[0019] Lorsque le premier élément de la partie bi-matière est réalisé en une céramique, il est possible d'empêcher que la partie bi-matière soit déformée élastiquement, et donc, même si l'extrémité libre répète le fait de se déformer en raison de la correction de température, il est possible de réaliser une partie bi-matière ayant une précision stable dans le temps.

[0020] Comme décrit ci-dessus, puisque la partie bi-matière peut être formée avec une excellente précision sur sa forme pour empêcher la déformation élastique, un travail de correction de température peut être effectué de manière stable comme désiré, et si bien qu'il est possible de réaliser un balancier de haute qualité qui n'est pas susceptible de varier quant à un taux fonction du changement de température et qui est excellent en termes de compensation de température.

[0021] En outre, la forme de la partie bi-matière peut être ajustée, permettant de cette manière une plus grande liberté dans le choix de la forme de la partie bi-matière. Par exemple, la quantité de la compensation de température peut être

réglée en augmentant un déplacement. En outre, le premier élément est fait de matériau céramique, n'étant ainsi pas susceptible de rouiller, même si un placage n'est pas effectué. En conséquence, il n'y a pas besoin d'une étape de placage, ce qui permet au premier élément d'être fabriqué de manière efficace.

[0022] En outre, dans la partie bi-matière comprenant le premier élément et le deuxième élément qui se recouvrent radialement l'un l'autre, puisque le premier élément côté intérieur est formé d'un matériau céramique, une déformation thermique du premier élément causée par le changement de température est supprimée, en sorte que la déformation de la partie bi-matière qui est associée au changement de température est supprimée pour être basse, et il est possible d'obtenir une quantité d'ajustement désirée sur le moment d'inertie. En d'autres termes, puisque l'élément côté intérieur de la partie bi-matière est fait du matériau céramique et non de métal, il est possible de concevoir une quantité de déformation de l'extrémité libre de la partie bi-matière sans envisager trop de quantité de déformation thermique de l'élément côté intérieur.

[0023] En conséquence, la correction de température avec le moment d'inertie peut être facilement effectuée, ce qui permet d'améliorer la précision de la correction.

[0024] (2) Dans le balancier à compensation de température selon l'invention, il est préférable que le premier élément et l'élément de connexion soient d'un seul tenant l'un avec l'autre en étant faits de silicium ou de céramique, et que le deuxième élément soit une partie électroformée faite du métal ayant le coefficient de dilatation thermique différent de celui du premier élément.

[0025] Lorsque l'élément de connexion et le premier élément constitutif de la partie bi-matière dans la roue de balancier sont d'un seul tenant l'un avec l'autre en étant fait de silicium, par exemple, il est possible de former l'élément de connexion et le premier élément d'un seul tenant l'un avec l'autre avec une excellente précision sur la forme, à partir d'un substrat de silicium en utilisant une technologie de fabrication de semiconducteur (technologie incluant une technique de photolithographie et une technologie de traitement de l'érosion). D'ailleurs, l'utilisation de la technologie de fabrication de semiconducteur permet à l'élément de connexion et au premier élément d'être formés dans une forme minuscule désirée sans y appliquer une force externe non nécessaire. En attendant, le deuxième élément formant la partie bi-matière est la partie électroformée, pouvant de cette manière se lier au premier élément au moyen d'un travail facile consistant simplement à répartir le métal par moulage par électroformage. Par conséquent, contrairement à une méthode de brasage ou de sertissage comme dans l'art antérieur, toujours sans appliquer de force externe non nécessaire au premier élément, le deuxième élément peut y être lié. Par conséquent, en plus d'empêcher la déformation élastique de la partie bi-matière, il est possible de former la partie bi-matière avec une excellente précision sur la forme.

[0026] (3) Dans le balancier à compensation de température selon l'invention, il est préférable que le deuxième élément ait une deuxième partie de solidarisation qui est solidarisée avec une première partie de solidarisation formée dans le premier élément, et que l'une des première et deuxième parties de solidarisation pénètre dans l'autre partie de solidarisation parmi ces première et deuxième parties de solidarisation de manière à renforcer la solidarisation entre les premier et deuxième éléments.

[0027] Lorsque tel est le cas, la force de liaison entre le premier élément et le deuxième élément peut être améliorée par la solidarisation de la première partie de solidarisation et la deuxième partie de solidarisation, ce qui permet qu'une fiabilité opérationnelle de la partie bi-matière soit améliorée. En outre, la solidarisation entre les deux parties de solidarisation détermine une position du deuxième élément selon la direction circonférentielle par rapport au premier élément, si bien que le deuxième élément peut être lié à une zone menée par le premier élément. A cet égard également, il est possible d'améliorer la fiabilité opérationnelle comme la partie bi-matière.

[0028] (4) Dans le balancier à compensation de température selon l'invention, il est préférable que le premier élément et le deuxième élément soient liés au moyen d'une couche d'alliage.

[0029] Lorsque tel est le cas, le premier élément et le deuxième élément sont liés par la couche d'alliage, si bien qu'il est possible d'améliorer la force de liaison entre les deux éléments, et il est possible d'améliorer la fiabilité opérationnelle comme la partie bi-matière.

[0030] Dans le balancier à compensation de température selon l'invention, il est préférable qu'une masselotte soit prévue à l'extrémité libre de la partie bi-matière.

[0031] Lorsque tel est le cas, la masse de l'extrémité libre de la partie bi-matière peut être augmentée par la masselotte, si bien que, pour un certain déplacement de l'extrémité libre selon la direction radiale, il est possible d'effectuer plus efficacement la correction de température avec le moment d'inertie. Par conséquent, la capacité de compensation de température peut être améliorée davantage.

[0032] (5) Dans le balancier à compensation de température selon l'invention, il est préférable que le premier élément et l'élément de connexion soient faits d'un matériau choisi parmi Si, SiC, SiO₂, Al₂O₃, ZrO₂ et C.

[0033] Lorsque tel est le cas, comme un matériau choisi parmi Si, SiC, SiO₂, Al₂O₃, ZrO₂ ou C est employé, permettant de cette manière le procédé de gravure, en particulier permettant que le procédé de gravure à sec soit de préférence exécuté. Par conséquent, il est possible de former l'élément de connexion et le premier élément plus facilement et plus efficacement, avec ainsi des possibilités d'améliorer encore l'efficacité de fabrication.

[0034] (6) Dans le balancier à compensation de température selon l'invention, il est préférable que le deuxième élément soit fait d'un matériau choisi parmi Au, Cu, Ni, un alliage de Ni, Sn et un alliage de Sn.

[0035] Lorsque tel est le cas, quand le matériau métallique Au, Cu, Ni, l'alliage de Ni, Sn ou l'alliage de Sn est employé, il est donc possible de répartir en douceur le métal par moulage par électroformage et de former de manière efficace le deuxième élément. Par conséquent, il est possible d'améliorer encore l'efficacité de fabrication.

[0036] (7) Dans le balancier à compensation de température selon la présente invention, il est préférable que la partie bi-matière devienne graduellement plus fine en épaisseur le long de la direction radiale en allant depuis la région d'extrémité fixe vers la région d'extrémité libre.

[0037] Lorsque tel est le cas, puisque la partie bi-matière devient graduellement plus fine en épaisseur le long de la direction radiale quand on va depuis le côté d'extrémité fixe vers le côté d'extrémité libre, la partie bi-matière est encline à se déformer quand on va depuis le côté d'extrémité fixe en direction du côté d'extrémité libre. Spécifiquement, quand on va en direction du côté d'extrémité libre, la partie bi-matière se déforme de manière à être basculée radialement. Par conséquent, une quantité de variation selon la direction radiale (ci-après, désigné simplement par une quantité de variation en rayon) du côté d'extrémité libre de la partie bi-matière devient importante comparée à la quantité de variation en rayon du côté d'extrémité fixe. En conséquence, la quantité de variation en rayon du côté d'extrémité libre peut être augmentée tout en maintenant l'épaisseur du côté d'extrémité fixe. Ainsi, il est possible d'assurer en premier l'intensité et d'assurer la quantité nécessaire de correction de température du moment d'inertie.

[0038] Par conséquent, il est possible d'empêcher la partie bi-matière d'être déformée élastiquement ou d'être endommagée en raison d'un choc et d'effectuer de manière stable un travail de correction de température comme voulu, et ainsi, il est possible de proposer un balancier de haute qualité qui n'est pas susceptible de varier s'agissant d'un taux fonction du changement de température et qui est excellent en termes de compensation de température.

[0039] (8) Dans le balancier à compensation de température selon l'invention, le premier élément peut être disposé radialement plus vers l'intérieur que le deuxième élément et être d'un seul tenant avec l'élément de connexion en étant fait de silicium ou de céramique. Au moins le premier élément parmi le premier élément et le deuxième élément peut devenir graduellement plus fin en épaisseur le long de la direction radiale en allant du côté d'extrémité fixe vers le côté d'extrémité libre.

[0040] Lorsque c'est le cas, le balancier peut être fabriqué par une technologie de fabrication de semi-conducteur telle qu'une technique de photolithographie en formant l'élément de connexion et le premier élément avec du silicium. Dans ce cas, comparé au cas où l'élément de connexion ou le premier élément serait fait au moyen d'un procédé mécanique, un balancier de haute précision offrant un haut degré de liberté quant à la forme peut être proposé. En outre, il est possible de former l'élément de connexion et le premier élément plus facilement et plus efficacement, avec ainsi des possibilités d'améliorer encore l'efficacité de fabrication.

[0041] Ensuite, puisqu'au moins le premier élément parmi le premier élément et le deuxième élément est formé de manière à être graduellement plus fin en allant de l'extrémité fixe en direction de l'extrémité libre, même dans un cas de fabrication du premier élément en utilisant du silicium ou une céramique qui est un matériau fragile, il est possible d'assurer d'abord l'intensité sur le côté d'extrémité fixe et d'assurer la quantité de variation en rayon.

[0042] (9) Dans le balancier à compensation de température selon l'invention, le ratio de l'épaisseur du premier élément selon la direction radiale sur l'épaisseur du deuxième élément selon la direction radiale peut être constant depuis la région d'extrémité fixe jusqu'à la région d'extrémité libre.

[0043] Lorsque tel est le cas, un degré de déformation du premier élément et du deuxième élément devient uniforme de l'extrémité fixe à l'extrémité libre sur la base du coefficient de dilatation thermique et du module de Young. En d'autres termes, il est possible d'empêcher le degré de déformation fonction d'une différence du ratio d'épaisseur d'être altéré. Donc, il est possible de déformer de manière stable la partie bi-matière, et une longueur de la partie bi-matière le long de la direction circonférentielle a la possibilité d'être réglée selon la quantité de correction de température nécessaire du moment d'inertie.

[0044] (10) Dans le balancier à compensation de température selon l'invention, une masselotte peut être prévue à l'extrémité libre de la partie bi-matière.

[0045] Lorsque tel est le cas, puisque la masse de l'extrémité libre de la partie bi-matière peut être augmentée par la masselotte, par rapport à la quantité de variation en rayon de l'extrémité libre, il est possible d'effectuer de manière plus efficace la correction de température du moment d'inertie. Par conséquent, la capacité de compensation de température peut être encore améliorée.

[0046] (11) Un mouvement de pièce d'horlogerie selon l'invention inclut, premièrement, un barillet de mouvement qui a une source d'énergie, deuxièmement, une roue de rouage qui transfère une force rotationnelle du barillet de mouvement, troisièmement, un mécanisme d'échappement qui commande les rotations de la roue de rouage et, quatrièmement, un mécanisme réglant prévu pour régler la cadence du mécanisme d'échappement, ce mécanisme réglant comportant un balancier à compensation de température selon l'invention.

[0047] Le mouvement de pièce d'horlogerie selon l'invention est prévu avec le balancier à compensation de température ayant la haute capacité de compensation de température comme décrit ci-dessus, si bien qu'il est possible de fournir un mouvement de pièce d'horlogerie de haute qualité ayant peu d'erreurs affectant sa fréquence.

[0048] (12) Une pièce d'horlogerie mécanique selon l'invention inclut le mouvement de pièce d'horlogerie selon l'invention.

[0049] La pièce d'horlogerie mécanique selon l'invention est prévue avec le mouvement de pièce d'horlogerie décrit ci-dessus, si bien qu'il est possible de proposer une pièce d'horlogerie mécanique de haute qualité ayant peu d'erreurs affectant la fréquence.

[0050] (13) Un procédé de fabrication selon l'invention est un procédé de fabrication du balancier à compensation de température. Il comprend une étape de gravure, une étape de moulage par électroformage et une étape de suppression. Dans l'étape de gravure, par gravure après mise en place de masque par photolithographie, une pièce semi-finie est fabriquée à partir d'un substrat en un matériau tel qu'un matériau céramique de manière à comprendre les premiers éléments, les éléments de connexion et une paroi de guidage de moulage et de manière que les premiers éléments soient connectés aux éléments de connexion, que la paroi de guidage de moulage et l'un des premiers éléments délimitent entre eux un espace ouvert de moulage et que la paroi de guidage de moulage soit connectée à ce premier élément. Dans l'étape de moulage par électroformage, un métal s'accumule dans l'espace ouvert de moulage, sur la pièce semi-finie, par moulage par électroformage, de manière à former le deuxième élément et de manière que soit obtenue la partie bi-matière dans laquelle le premier élément et le deuxième élément se recouvrent en se succédant radialement et sont liés. Dans l'étape de suppression, la paroi de guidage de moulage est retirée du premier élément.

[0051] Dans le procédé de fabrication du balancier à compensation de température selon l'invention, il est possible de réaliser l'effet d'actionnement similaire au balancier à compensation de température décrit ci-dessus. En d'autres termes, puisque la partie bi-matière peut être formée avec une excellente précision sur la forme tout en évitant la déformation élastique, il est possible d'effectuer de manière stable le travail de correction de température comme voulu. Par conséquent, il est possible de fournir un balancier de haute qualité qui n'est pas susceptible de varier concernant la fréquence en fonction du changement de température et qui est excellent en termes de capacité de compensation de température.

[0052] Particulièrement, au moment de l'étape de fabrication du substrat, en plus de l'élément de connexion et du premier élément, la pièce semi-finie est formée auquel la paroi de guidage de moulage est connectée pour lui être intégrée. Par conséquent, l'espace ouvert de moulage défini entre la paroi de guidage de moulage et le premier élément peut être formé avec une excellente précision sur la forme. Ensuite, au moment de l'étape de moulage par électroformage, le deuxième élément est formé par croissance du métal dans l'espace ouvert de moulage, ce qui permet au deuxième élément d'être formé avec une excellente précision sur la forme. De ce fait, il est possible d'obtenir la partie bi-matière de haute qualité ayant une forme désirée. De cette manière, il est possible de produire plus manifestement l'effet de réglage décrit ci-dessus.

[0053] (14) Dans le procédé de fabrication du balancier à compensation de température selon l'invention, il est préférable qu'il y ait en outre une étape de traitement thermique dans laquelle la pièce semi-finie ayant la partie bi-matière formée dedans est traitée thermiquement pendant une durée prédéterminée dans une ambiance de température prédéterminée, après l'étape de moulage par électroformage.

[0054] Lorsque tel est le cas, puisque le traitement thermique est effectué après la formation de la partie bi-matière par liaison du deuxième élément au premier élément au moyen du moulage par électroformage, il est possible de déposer le métal formant le deuxième élément qui est la partie électroformée le long d'une interface de liaison par rapport au premier élément, et donc, il est possible de former la couche d'alliage entre le premier élément et le deuxième élément en utilisant ce dépôt. De cette façon, le premier élément et le deuxième élément peuvent être liés l'un à l'autre par la couche d'alliage, ce qui permet à la force de liaison des deux éléments d'être améliorée. Par conséquent, il est possible d'améliorer la fiabilité opérationnelle comme la partie bi-matière.

[0055] Selon la présente invention, il est possible de fournir un balancier à compensation de température qui est excellent en termes de précision sur la forme, puisse opérer de manière stable dans le travail de correction de température comme voulu, ne soit pas enclin à rouiller, puisse être fabriqué de manière efficiente tout en supprimant qu'il lui soit appliqué une force externe non nécessaire (contraintes), et qui présente une capacité de compensation de température améliorée.

Brève description des dessins

[0056]

- La fig. 1 illustre un mode de réalisation selon la présente invention et est un diagramme de configuration d'un mouvement d'une pièce d'horlogerie mécanique.
- La fig. 2 est une vue en perspective d'un balancier (balancier à compensation de température) configurant le mouvement illustré à la fig. 1.
- La fig. 3 est une vue en coupe prise le long de la ligne A-A illustrée à la fig. 2.
- La fig. 4 est une vue en perspective d'une roue de balancier constitutive du balancier illustré à la fig. 2.

- La fig. 5 est une vue en coupe prise le long de la ligne B-B illustrée à la fig. 4.
- La fig. 6 est une vue du processus au moment de la fabrication de la roue de balancier illustrée à la fig. 4, et est une vue en coupe illustrant un état où un film d'oxyde de silicium est formé sur un substrat de silicium.
- La fig. 7 est une vue en coupe illustrant un état où une partie de rainure en forme d'arc est formée sur le film d'oxyde de silicium, à partir de l'état illustré à la fig. 6.
- La fig. 8 est une vue en perspective et illustre le même état que la fig. 7.
- La fig. 9 est une vue en coupe illustrant un état où une structure de masquage est formée sur le film d'oxyde de silicium, à partir de l'état illustré à la fig. 7.
- La fig. 10 est une vue en perspective qui illustre le même état que la fig. 9.
- La fig. 11 est une vue de dessus qui illustre le même état que la fig. 9.
- La fig. 12 est une vue en coupe illustrant un état avec la structure de masquage comme masque et avec le film d'oxyde de silicium enlevé de manière sélective, à partir de l'état illustré à la fig. 9.
- La fig. 13 est une vue en perspective qui illustre le même état que la fig. 12.
- La fig. 14 est une vue en coupe illustrant un état avec la structure de masquage et le film d'oxyde de silicium comme masque et avec un enlèvement de manière sélective du substrat de silicium, à partir de l'état illustré à la fig. 12.
- La fig. 15 est une vue en perspective qui illustre le même état que la fig. 14.
- La fig. 16 est une vue en coupe illustrant un état où la structure de masquage est enlevée et une pièce semi-finie est formée, à partir de l'état illustré à la fig. 14.
- La fig. 17 est une vue en perspective qui illustre le même état que la fig. 16.
- La fig. 18 est une vue en coupe illustrant un état subséquent où la pièce semi-finie illustrée à la fig. 16 est retournée et elle est collée sur une couche d'adhésion d'un premier substrat de support.
- La fig. 19 est une vue en perspective qui illustre le même état que la fig. 18.
- La fig. 20 est une vue en coupe illustrant un état où il se produit une accumulation d'or dans un espace ouvert de moulage de la pièce semi-finie, par moulage par électroformage, et la formation d'un deuxième élément, à partir de l'état illustré à la fig. 18.
- La fig. 21 est une vue en perspective qui illustre le même état que la fig. 20.
- La fig. 22 est une vue en coupe illustrant un état où, à partir de l'état illustré à la fig. 20, la pièce semi-finie est détachée du premier substrat de support, est retournée à nouveau, puis est collée sur la couche d'adhésion d'un deuxième substrat de support.
- La fig. 23 est une vue en coupe illustrant un état où une paroi de guidage de moulage est enlevée, à partir de l'état illustré à la fig. 22.
- La fig. 24 est une vue en perspective illustrant un état où le deuxième substrat de support est détaché, à partir de l'état illustré à la fig. 23.
- La fig. 25 est une vue en coupe illustrant un état où le film d'oxyde de silicium est enlevé, à partir de l'état illustré à la fig. 24.
- La fig. 26 est une vue en perspective qui illustre le même état que la fig. 25.
- La fig. 27 est une vue en perspective illustrant un exemple de modification de la roue de balancier selon l'invention.
- La fig. 28 est une vue en perspective illustrant un exemple de modification du balancier selon l'invention.
- La fig. 29 est une vue de dessus, agrandie, et représente une partie bi-matière du balancier illustré à la fig. 28.
- La fig. 30 est une vue en perspective illustrant un autre exemple de modification du balancier selon l'invention.

- La fig. 31 est une autre vue de dessus, agrandie, et représente une partie bi-matière du balancier illustré à la fig. 30.
- La fig. 32 illustre un exemple de combinaison d'un matériau du premier élément et d'un matériau du deuxième élément qui forment la partie bi-matière selon l'invention et illustre la température la plus appropriée pour un traitement thermique dans chacune des combinaisons.
- La fig. 33 est une vue en plan, agrandie, d'une partie bi-matière.
- La fig. 34 est un graphique représentant la variation d'un rayon ΔR (mm) en fonction d'un angle θ (deg) concernant la partie bi-matière.

Description détaillée des modes de réalisation préférés

[0057] Ci-après, un mode de réalisation selon la présente invention va être décrit en référence aux dessins.

Configuration de pièce d'horlogerie mécanique, mouvement de pièce d'horlogerie et balancier à compensation de température

[0058] Comme illustré à la fig. 1, une pièce d'horlogerie mécanique 1 selon le présent mode de réalisation est une montre ou analogue, et elle est configurée pour inclure un mouvement (mouvement de pièce d'horlogerie) 10 et un boîtier (non illustré) qui reçoit le mouvement 10.

Configuration du mouvement

[0059] Le mouvement 10 comprend une plaque principale 11. Un cadran (non illustré) est agencé sur un côté arrière de la plaque principale 11. Une roue de rouage insérée sur un côté avant du mouvement 10 est appelée une roue de rouage avant 28 et une roue de rouage insérée sur un côté arrière du mouvement 10 est appelée une roue de rouage arrière.

[0060] Un trou de guidage de tige de remontoir 11a est formé dans la plaque principale 11 et une tige de remontoir 12 y est insérée de manière rotative. La tige de remontoir 12a une position déterminée de manière axiale par un dispositif de commutation ayant un levier de réglage 13, une bascule 14, un ressort de bascule 15 et un sautoir de levier de réglage 16. En outre, un pignon de remontoir 17 est disposé de manière rotative dans un axe de guidage de la tige de remontoir 12.

[0061] Dans une telle configuration, par exemple, si la tige de remontoir 12 est tournée dans un état où la tige de remontoir 12 est située dans une première position de tige de remontoir (étape zéro) la plus proche d'un côté interne du mouvement 10 selon la direction de l'axe de rotation, le pignon de remontoir 17 est tourné via la rotation d'un pignon baladeur (non illustré). Ensuite, si le pignon de remontoir 17 est tourné, une roue de couronne 20 engrenant avec elle est tournée. Ensuite, si la roue de couronne 20 est tournée, une roue à rochet 21 engrenant avec elle est tournée. En outre, si la roue à rochet 21 est tournée, un ressort principal (source d'énergie; non illustré) reçu dans un barillet de mouvement 22 est enroulé.

[0062] La roue de rouage avant 28 du mouvement 10 est configurée pour ne pas comprendre seulement le barillet de mouvement 22, mais aussi un mobile de centre 25, un troisième mobile 26 et un deuxième mobile 27, et elle remplit une fonction de transfert de la force rotationnelle du barillet de mouvement 22. En outre, un mécanisme d'échappement 30 et un mécanisme de réglage de vitesse 31, réglant chacun la rotation de la roue de rouage avant 28, sont agencés sur le côté avant du mouvement 10.

[0063] Le mobile de centre 25 engrène avec le barillet de mouvement 22. Le troisième mobile 26 engrène avec le mobile de centre 25. Le deuxième mobile 27 engrène avec le troisième mobile 26.

[0064] Le mécanisme d'échappement 30 est un mécanisme commandant la rotation de la roue de rouage avant 28 décrite ci-dessus et inclut une roue d'échappement 35 engrenant avec le deuxième mobile 27 et inclut une fourche de palette 36 amenant la roue d'échappement 35 à échapper pour être tournée de manière régulière.

[0065] Le mécanisme de réglage de vitesse 31 est un mécanisme réglant une vitesse du mécanisme d'échappement 30 et inclut un balancier (balancier à compensation de température) 40.

Configuration du balancier

[0066] Comme illustré aux fig. 2 et 3, le balancier 40 inclut un arbre de balancier 41 tournant (tourne de manière pivotante) autour d'un axe (axe de rotation) O, une roue de balancier 42 assujettie à l'arbre de balancier 41 et un ressort spiral (ressort de balancier) 43. Le balancier 40 est un élément tournant dans un sens et dans le sens contraire autour de l'axe O avec un cycle d'oscillation constant par l'énergie transmise depuis le ressort spiral 43.

[0067] Dans le mode de réalisation, une direction orthogonale à l'axe O est appelée une direction radiale et une direction tournant autour de l'axe O est appelée une direction circonférentielle.

[0068] L'arbre de balancier 41 est un corps d'axe qui s'étend verticalement le long de l'axe O, et une extrémité supérieure et une extrémité inférieure sont soutenues de manière pivotante par un élément tel qu'une plaque principale ou un pont

de balancier (aucun n'est illustré) configurant le mouvement 10. Une partie substantiellement intermédiaire de l'arbre de balancier 41 dans la direction verticale est une partie de large diamètre 41a ayant le diamètre le plus large. En outre, dans l'arbre de balancier 41, un double plateau 45 cylindrique est monté de manière externe et coaxiale avec l'axe O sur une partie positionnée en-dessous de la partie de diamètre large 41a. Le double plateau 45 a une partie annulaire 45a faisant saillie radialement vers l'extérieur, et une cheville d'impulsion 46 pour l'oscillation de la fourche de palette 36 est fixée à la partie 45a.

[0069] Par exemple, le ressort spiral 43 est un ressort spiral plat qui est enroulé en forme de spirale dans un seul plan, et son extrémité interne est fixée à une partie positionnée en-dessus de la partie de large diamètre 41a dans l'arbre de balancier 41 par un collet 47. Ensuite, le ressort spiral 43 joue un rôle de stockage de l'énergie transmise du deuxième mobile 27 à la roue d'échappement 35 et de transmission de l'énergie à la roue de balancier 42 comme décrit ci-dessus.

[0070] Le ressort spiral 43 du mode de réalisation est formé d'un matériau d'acier ordinaire ayant un coefficient de température avec le module de Young négatif et une caractéristique de ce ressort spiral 43 est que la raideur de ressort est abaissée par une augmentation de température.

[0071] Comme illustré sur les fig. 4 et 5, la roue de balancier 42 inclut trois parties bi-matière 50 qui sont disposées autour de l'axe O de l'arbre de balancier 41 le long de la direction circonférentielle et un élément de connexion 51 qui se connecte respectivement et radialement à ces trois parties bi-matière 50 et à l'arbre de balancier 41.

[0072] L'élément de connexion 51 est agencé de manière coaxiale avec l'axe O et inclut une plaque de connexion circulaire 55 qui a un trou d'axe 55a formé à son centre, un anneau de connexion 56 qui entoure la plaque de connexion circulaire 55 en étant espacée avec un intervalle depuis l'extérieur dans la direction radiale et trois ponts de connexion 57 qui connectent une partie de périphérie externe de la plaque de connexion circulaire 55 et une partie de périphérie interne de l'anneau de connexion 56.

[0073] Ensuite, l'élément de connexion 51 est fixé à la partie de large diamètre 41a de l'arbre de balancier 41 par le trou d'essieu 55a, par ajustement serré par exemple, en étant attaché de cette manière pour être intégré par rapport à l'arbre de balancier 41.

[0074] Une partie de périphérie externe de l'anneau de connexion 56 a trois saillies de soutien 58 qui font saillie radialement vers l'extérieur. Ces trois saillies de soutien 58 sont disposées de manière uniforme en étant espacées avec un intervalle constant dans la direction circonférentielle. En outre, dans chacune des saillies de soutien 58, une surface de basculement 58a est formée qui est graduellement basculée en direction d'un côté (direction de la flèche T illustrée à la fig. 4) dans la direction circonférentielle comme étant radialement vers l'extérieur depuis la partie de périphérie externe de l'anneau de connexion 56.

[0075] Le pont de connexion 57 est un élément qui connecte radialement la plaque de connexion circulaire 55 et l'anneau de connexion 56 et disposé de manière uniforme en étant espacé avec un intervalle constant le long de la direction circonférentielle. Dans l'exemple illustré, trois des ponts de connexion 57 et trois des saillies de soutien 58 sont agencés avec un décalage entre eux selon la direction circonférentielle. Cependant, l'agencement n'est pas limité à ce cas.

[0076] La partie bi-matière 50 est un corps multicouche dans lequel un premier élément 60 positionné radialement vers l'intérieur et un deuxième élément 61 positionné radialement vers l'extérieur du premier élément 60 se recouvrent mutuellement et radialement pour être liés l'un à l'autre. La partie bi-matière 50 est formée selon une forme de ceinture s'étendant dans une forme d'arc le long de la direction circonférentielle. Ensuite, la partie bi-matière 50 est disposée dans un état où l'anneau de connexion 56 est pourvu d'un intervalle radialement vers l'extérieur et agencé le long de la direction circonférentielle, et une seule extrémité dans la direction circonférentielle est une extrémité fixe 50A connectée à l'élément de connexion 51.

[0077] Spécifiquement, l'extrémité fixe 50A de la partie bi-matière 50 est connectée à une surface opposée de la surface de basculement 58a dans la direction circonférentielle dans la saillie de soutien 58 faisant saillie depuis l'anneau de connexion 56. Ensuite, la partie bi-matière 50 s'étend depuis la saillie de soutien 58 dans la direction de la flèche T le long de la direction circonférentielle. De cette façon, trois parties bi-matière 50 sont disposées de manière uniforme dans la direction circonférentielle.

[0078] En outre, l'autre extrémité de la partie bi-matière 50 dans la direction circonférentielle est une extrémité libre 50B qui est déplaçable radialement en raison d'une déformation de courbure provoquée par un changement de température. L'extrémité libre 50B est constituée principalement du premier élément 60 et conformée de manière à être plus large radialement que les autres parties de la partie bi-matière 50, en faisant saillie radialement vers l'intérieur.

[0079] De cette façon, l'extrémité libre 50B est conçue pour présenter une plus grande masse que les autres parties de la partie bi-matière 50. De plus, un trou de poids 62 est formé dans l'extrémité libre 50B du mode de réalisation, et une masselotte 65 (se référer aux fig. 2 et 3) est attachée dans le trou de poids 62 par ajustement serré par exemple. Par conséquent, l'extrémité libre 50B est conçue pour être suffisamment plus lourde que les autres parties au sein de la partie bi-matière 50 en ce que le poids de la masselotte 65 y est prévue.

[0080] Comme illustré sur les fig. 2 et 3, la masselotte 65 est illustrée dans un cas où une tige 65a qui est insérée dans le trou de poids 62 et une tête 65b qui est exposée sur une surface supérieure de l'extrémité libre 50B sont formés pour constituer un rivet.

[0081] En outre, comme illustré à la fig. 4, une partie de l'extrémité libre 50B tournée radialement vers l'intérieur oppose la surface de basculement 58a de la saillie de soutien 58, et elle est de cette manière une surface de basculement opposée 66 qui est basculé avec un basculement de la surface de basculement 58a.

[0082] Incidemment, comme illustré sur les fig. 4 et 5, la partie bi-matière décrite ci-dessus 50 est formée en recouvrant radialement le premier élément 60 et le deuxième élément 61 pour être en couches, et ces éléments sont formés de matériaux ayant des coefficients de dilatation thermique différents l'un de l'autre.

[0083] Spécifiquement dans le mode de réalisation, le premier élément 60 positionné radialement vers l'intérieur est formé de silicium qui est un matériau à expansion thermique basse.

Entre-temps, le deuxième élément 61 positionné radialement vers l'extérieur est un matériau à haute expansion thermique, dont le coefficient de dilatation thermique est plus haut que celui du premier élément 60, et il est réalisé en un métal permettant le moulage par électroformage, de l'or (Au) étant utilisé dans le mode de réalisation.

[0084] Par conséquent, quand la température augmente, le deuxième élément 61 se dilate thermiquement plus que le premier élément 60, et donc, la partie bi-matière 50 est courbée et déformée de manière à provoquer que l'extrémité libre 50B se déplace radialement vers l'intérieur avec l'extrémité fixe 50A comme point de départ.

[0085] En outre, le premier élément 60 du mode de réalisation est formé pour être monobloc avec l'élément de connexion 51. Par conséquent, similaire au premier élément 60, l'élément de connexion 51 est aussi fait de silicium. C'est-à-dire, dans la roue de balancier 42 configurant le balancier 40, l'élément de connexion 51 et le premier élément 60 sont faits de silicium, et seul le deuxième élément 61 est fait d'or.

[0086] D'ailleurs, ce deuxième élément 61 est une partie formée par moulage par électroformage et il est étroitement lié au premier élément 60 pendant le processus de dépôt de l'or par le moulage par électroformage. De plus, aux deux extrémités du deuxième élément 61 selon la direction circonférentielle, un coin en forme de V (deuxième partie de solidarisation) 67 dans une vue en plan est prévu qui s'étend graduellement dans la direction circonférentielle en allant radialement vers l'intérieur comme pour être lié à une partie concave en forme de V (première partie de solidarisation) 68 dans une vue en plan qui est formée sur le côté du premier élément 60 dans un état de solidarisation avec.

[0087] De cette façon, le deuxième élément 61 est lié de manière à être positionné par rapport au premier élément 60 selon la direction circonférentielle.

Méthode de correction de température

[0088] Ensuite, une méthode de correction de température avec le moment d'inertie avec le balancier 40 va être décrite.

[0089] Selon le balancier 40 du mode de réalisation, comme illustré à la fig. 2, si la température est changée, la partie bi-matière 50 est courbée radialement et déformée avec l'extrémité fixe 50A comme point de départ, en raison d'une différence entre le coefficient de dilatation thermique du premier élément 60 et le coefficient de dilatation thermique du deuxième élément 61, permettant de cette manière à l'extrémité libre 50B de la partie bi-matière 50 de se déplacer radialement vers l'intérieur ou vers l'extérieur. En d'autres termes, quand la température augmente, la partie bi-matière 50 est courbée et déformée radialement vers l'intérieur, permettant de cette manière à l'extrémité libre 50B de se déplacer radialement vers l'intérieur. Quand la température baisse, l'extrémité libre 50B peut au contraire se déplacer radialement vers l'extérieur.

[0090] Par conséquent, il est possible de réduire radialement ou d'élargir un diamètre moyen de la roue de balancier 42, et donc, il est possible de changer le moment inertiel pour l'équilibrage général 40 en changeant une distance depuis l'axe O de l'arbre de balancier 41. En d'autres termes, quand la température augmente, le diamètre moyen de la roue de balancier 42 est réduit radialement de manière que le moment d'inertie est diminué. Quand la température baisse, le diamètre moyen de la roue de balancier 42 augmente radialement de manière que le moment d'inertie est augmenté. De cette façon, il est possible de changer une pente des caractéristiques de température du moment d'inertie vers une pente négative. Par conséquent, il est possible d'effectuer la correction de température.

[0091] En d'autres termes, même s'il est prévu avec le ressort spiral 43 duquel le module de Young a le coefficient de température négatif, au moment de l'augmentation de température, le moment d'inertie peut être réduit simultanément avec une diminution du module de Young du ressort spiral 43, et donc, il est possible de maintenir de manière constante le cycle d'oscillation du balancier 40. Par conséquent, il est possible d'effectuer la correction de température. En outre, au moment d'une baisse de température, le moment d'inertie peut être augmenté simultanément avec une augmentation du module de Young du ressort spiral 43, et donc, il est encore possible de maintenir de manière constante le cycle d'oscillation du balancier 40. Par conséquent, il est possible d'effectuer la correction de température.

[0092] Ici, des caractéristiques additionnelles du procédé de correction de température seront décrites sur les fig. 33 et 34. Comme illustré à la fig. 33, dans la partie bi-matière 50 selon le mode de réalisation, une épaisseur T_1 d'une partie positionnée du côté de l'extrémité fixe 50A le long de la direction radiale est épaisse comparé à une épaisseur T_2 d'une

partie positionnée du côté de l'extrémité libre 50B, et la partie bi-matière 50 devient graduellement plus fine en allant depuis le côté d'extrémité fixe 50A en direction du côté d'extrémité libre 50B dans sa totalité.

[0093] Dans le mode de réalisation, chaque épaisseur du premier élément 60 et le deuxième élément 61 qui sont décrits ci-dessus devient graduellement plus fine en allant depuis le côté d'extrémité fixe 50A en direction du côté d'extrémité libre 50B. Dans l'exemple illustré, dans le premier élément 60, une épaisseur de la partie positionnée du côté de l'extrémité fixe 50A est S_{11} et une épaisseur de la partie positionnée du côté d'extrémité libre 50B est S_{21} ($S_{11} > S_{21}$). En outre, dans le deuxième élément 61, une épaisseur de la partie positionnée du côté de l'extrémité fixe 50A est S_{12} et une épaisseur de la partie positionnée du côté de l'extrémité libre 50B est S_{22} ($S_{12} > S_{22}$).

[0094] En outre, dans la partie bi-matière 50, le rapport de l'épaisseur du premier élément 60 sur l'épaisseur du deuxième élément 61 au même endroit le long de la direction circonférentielle est réglé de manière uniforme d'un bout à l'autre de la partie bi-matière 50 dans la direction circonférentielle. Dans ce cas, par exemple, le rapport d'épaisseur (S_{11} to S_{12}) au niveau de l'extrémité fixe 50A et le rapport d'épaisseur (S_{21} to S_{22}) au niveau de l'extrémité libre 50B sont réglés pour être égaux (se référer à l'Equation (2) suivante).

[Equation 2]

$$\frac{S_{11}}{S_{12}} = \frac{S_{21}}{S_{22}} \quad \cdot \cdot \cdot (2)$$

[0095] Si le module de Young du premier élément 60 est E_1 , et le module de Young du deuxième élément 61 est E_2 , il est préférable que le rapport de l'épaisseur S_1 (par exemple, S_{11} , S_{12}) du premier élément 60 sur l'épaisseur S_2 (par exemple, S_{21} , S_{22}) du deuxième élément 61 au même endroit le long de la direction circonférentielle dans la partie bi-matière 50 soit réglé pour satisfaire l'Equation (3). De cette façon, la quantité de déformation dans la direction radiale à une position arbitraire de la partie bi-matière 50 le long de la direction circonférentielle peut être augmentée.

[Equation 3]

$$\frac{S_1}{S_2} = \sqrt{\frac{E_2}{E_1}} \quad \cdot \cdot \cdot (3)$$

[0096] La fig. 34 est un graphique représentant une quantité de variation du rayon ΔR (mm) en fonction de l'angle θ (deg) dans la partie bi-matière 50.

[0097] Dans un angle central autour de l'axe O, l'angle θ ayant une ligne droite comme ligne de référence (O deg.) connectant l'extrémité fixe 50A et l'axe O dans la partie bi-matière 50 est un angle formé par un arc depuis la ligne de référence vers une position arbitraire de la partie bi-matière 50 le long de la direction circonférentielle. En outre, à une position arbitraire de la partie bi-matière 50 le long de la direction circonférentielle, la quantité de changement affectant le rayon ΔR est un composant radial en direction de l'axe O hors des vecteurs de changement (par exemple, H_1 , H_2) qui sont depuis une position initiale (trait continu sur le dessin) vers une position changée (trait d'axe sur le dessin). Sur le graphique représenté à la fig. 34, la partie bi-matière 50 décrite ci-dessus du mode de réalisation est représentée en traits continus, et la partie bi-matière 50 s'étendant depuis l'extrémité fixe 50A vers l'extrémité libre 50B à la même épaisseur que l'extrémité fixe 50A (par exemple, T_1) du mode de réalisation est représentée en traits pointillés à titre d'exemple de comparaison.

[0098] Ici, comme illustré sur les fig. 33 et 34, selon le mode de réalisation, puisque l'épaisseur de la partie bi-matière 50 devient graduellement plus fine en allant depuis le côté d'extrémité fixe 50A vers le côté d'extrémité libre 50B de manière à être susceptible d'être courbée et déformée en allant depuis le côté d'extrémité fixe 50A vers le côté d'extrémité libre 50B. Spécifiquement, au moment de l'augmentation de température, la partie bi-matière 50 se déforme de manière à être basculée radialement vers l'intérieur en allant vers le côté d'extrémité libre 50B. Par conséquent, une quantité de changement affectant le rayon ΔR_2 du côté d'extrémité libre 50B (par exemple, centre de la masselotte 65) de la partie bi-matière 50 devient importante comparé à une quantité de changement affectant un rayon ΔR_1 du côté d'extrémité fixe 50A.

[0099] En conséquence, dans la partie bi-matière 50 du mode de réalisation, il est entendu que la quantité de changement affectant un rayon ΔR_2 du côté d'extrémité libre 50B peut être augmentée comparé à l'exemple comparatif tout en maintenant l'épaisseur du côté d'extrémité fixe 50A.

[0100] En outre, selon le mode de réalisation, puisque le vecteur de changement H_2 de l'extrémité libre 50B est orienté en direction de l'axe O conformément au changement de température, en d'autres mots, puisque la partie bi-matière 50 se déforme comme pour être roulé vers l'axe O depuis un côté d'extrémité de pointe où l'extrémité libre 50B est présente, il est possible d'augmenter la quantité de changement affectant un rayon ΔR comparé à un cas où elle serait dans l'épaisseur uniforme. Par conséquent, il est possible d'assurer de manière effective la quantité de changement affectant un rayon ΔR_2 dans une longueur d'arc limitée de la partie bi-matière 50.

[0101] De cette façon, selon le balancier 40 du mode de réalisation, puisque la partie bi-matière 50 devient graduellement plus fine depuis le côté d'extrémité fixe 50A vers le côté d'extrémité libre 50B, il est possible d'assurer la quantité de changement dans un rayon ΔR_2 sur le côté d'extrémité libre 50B tout en assurant l'épaisseur sur le côté d'extrémité fixe 50A. Par conséquent, il est possible d'assurer d'abord l'intensité de la partie bi-matière 50 et d'assurer la quantité de correction de température nécessaire du moment d'inertie.

[0102] En conséquence, il est possible d'empêcher la partie bi-matière 50 d'être déformée élastiquement ou d'être endommagée en raison d'un choc et d'effectuer de manière stable un travail de correction de température comme prévu, et donc, il est possible de fournir un balancier de haute qualité 40 qui n'est pas susceptible de varier dans un taux influencé par le changement de température et qui est excellent en termes de capacité de compensation de température.

[0103] Particulièrement, dans le mode de réalisation, le balancier 40 peut être réalisé par une technologie de fabrication de semi-conducteur telle qu'une technique de photolithographie en formant l'élément de connexion 51 et le premier élément 60 utilisant le silicium. Dans ce cas, comparé à un cas de fabrication de l'élément de connexion 51 ou le premier élément 60 par un traitement mécanique, un balancier de haute précision 40 ayant un haut degré de liberté dans la forme peut être prévu. De plus, puisqu'il est possible de former l'élément de connexion 51 et le premier élément 60 plus facilement et de manière plus efficace, il est susceptible en outre d'améliorer l'efficacité de fabrication.

[0104] Ensuite, puisqu'au moins le premier élément 60 entre le premier élément 60 et le deuxième élément 61 est formé de manière graduellement plus fine qu'il est depuis le côté d'extrémité fixe 50A vers le côté d'extrémité fixe 50B, même dans un cas de formation du premier élément 60 utilisant le silicium qui est un matériau fragile, il est possible d'assurer d'abord l'intensité sur le côté d'extrémité fixe 50A et d'assurer la quantité de changement du rayon.

[0105] Par ailleurs, puisque le taux d'épaisseur du premier élément 60 et le deuxième élément 61 dans la direction radiale est uniforme depuis le côté d'extrémité fixe 50A jusqu'à l'extrémité libre 50B, un degré de déformation du premier élément 60 et le deuxième élément 61 devient uniforme depuis l'extrémité fixe 50A jusqu'à l'extrémité libre 50B sur la base du coefficient de dilatation thermique et des modules de Young E_1 et E_2 . En d'autres termes, il est possible d'empêcher le degré de déformation influencé par une différence du taux d'épaisseur d'être dévié. Donc, il est possible de déformer de manière stable la partie bi-matière 50, et une longueur de la partie bi-matière 50 le long de la direction circonférentielle est susceptible d'être réglée selon la quantité de correction de température nécessaire du moment d'inertie.

Procédé de fabrication de balancier

[0106] Ensuite, un procédé de fabrication du balancier 40 va être décrit en référence aux dessins.

[0107] Le procédé de fabrication du balancier 40 inclut une étape de fabrication de l'arbre de balancier 41, une étape de fabrication de la roue de balancier 42, une étape de fabrication du ressort spiral 43 et une étape pour combiner l'arbre de balancier 41, la roue de balancier 42 et le ressort spiral 43 pour être intégrés les uns aux autres. Ici, l'étape de fabrication de la roue de balancier 42 sera décrite particulièrement en détail.

[0108] D'abord, comme illustré sur la fig. 6, après la préparation d'un substrat de silicium 70 qui devient l'élément de connexion 51 et le premier élément 60 ensuite, un film d'oxyde de silicium (SiO_2) 71 est formé sur sa surface avant. A ce moment, le substrat en silicium 70 plus épais que la roue de balancier 42 est employé. En outre, le film d'oxyde de silicium 71 est formé par un procédé tel que le procédé de dépôt chimique en phase vapeur par plasma (PCVD) ou l'oxydation thermique par exemple.

[0109] Afin de simplifier la description ici, un cas sera décrit comme exemple dans lequel seulement une des roues de balancier 42 est fabriquée depuis le substrat de silicium en forme de carré 70 dans une vue en plan. Cependant, une pluralité de roues de balancier 42 peut être fabriquée de manière simultanée, en préparant un substrat de silicium en forme de plaque.

[0110] Ensuite, comme illustré sur les figures 7 et 8, une partie du film d'oxyde de silicium 71 est enlevée de manière sélective par dépolissage, et trois parties de rainure en forme d'arc 72 sont formées pour être agencées en étant espacées avec un intervalle dans la direction circonférentielle. Les parties de rainures 72 sont des rainures pour la formation d'une paroi de guidage de moulage 70A qui doit être formée ensuite et formée pour être positionné plus radialement vers l'extérieur que le deuxième élément 61.

[0111] Ensuite, comme illustré sur les figures 9 à 11, après la formation d'un photorésistant dans une zone vers l'intérieur entourée par trois des parties de rainure 72 sur le film d'oxyde de silicium 71, le photorésistant est modelé pour former des structures de masquage 73. A ce moment, la structure de masquage 73 est formée pour avoir une configuration comprenant un corps principal de structure de masquage 73A qui est modelé le long de la forme de l'élément de connexion 51 et le premier élément 60 et comprenant un motif 73B pour la paroi de guidage de moulage qui est inséré dans chacune des trois parties de rainure 72 et desquelles deux extrémités dans la direction circonférentielle sont connectées à la structure de masquage 73.

[0112] Le photorésistant peut être formé par un procédé commun tel que le revêtement par centrifugation et le revêtement par pulvérisation. En outre, la structure de masquage 73 peut être formée par le modelage du photorésistant par le procédé commun tel qu'une technique de photolithographie.

[01113] Ensuite, comme illustré sur les figures 12 et 13, dans le film d'oxyde de silicium 71, une zone qui n'est pas masquée par la structure de masquage 73 est enlevée de manière sélective. Spécifiquement, le film d'oxyde de silicium 71 est enlevé par gravure mouillée employant une solution aqueuse d'acide fluorhydrique ou par le traitement de gravure par gravure sèche tel que gravure par ions réactifs (RIE).

[01114] De cette façon, il est possible de laisser le film d'oxyde de silicium 71 seulement sous la structure de masquage 73, permettant de cette manière au film d'oxyde de silicium 71 d'être modelé dans une forme le long de la structure de masquage 73.

[01115] Ensuite, comme illustré sur les fig. 14 et 15, dans le substrat de silicium 70, la zone qui n'est pas masquée par la structure de masquage 73 et le film d'oxyde de silicium 71 est supprimé de manière sélective. Spécifiquement, le substrat de silicium 70 est supprimé par opération de gravure qui est une gravure sèche telle que la gravure ionique réactive profonde (DRIE).

[01116] De cette façon, il est possible de laisser le substrat de silicium 70 seulement sous la structure de masquage 73 et le film d'oxyde de silicium 71, permettant de cette manière au substrat de silicium 70 d'être modelé dans une forme le long de la structure de masquage 73.

[01117] Particulièrement, dans le substrat de silicium modelé 70, la partie restant sous le motif 73B pour une paroi de guidage de moulage fonctionne comme la paroi de guidage de moulage 70A.

[01118] Ensuite, comme illustré sur les figures 16 et 17, la structure de masquage 73 qui est utilisée comme masque est supprimée. Comme procédé d'enlèvement, par exemple, une gravure sèche par un acide nitrique fumant et une gravure sèche employant un plasma à oxygène peuvent être illustrées.

[01119] Selon les étapes décrites ci-dessus, le substrat de silicium 70 est traité par la technologie de semi-conducteur de manière que trois des premiers éléments 60 soient connectés à l'élément de connexion 51 à intégrer avec cela, et la pièce semi-finie 75 peut être obtenue dans lequel la paroi de guidage de moulage 70A qui définit un espace ouvert de moulage S entre lui-même et chacun des premiers éléments 60 est connecté à chacun des premiers éléments 60 pour être intégré avec eux (en conséquence, chacune des étapes décrites ci-dessus configure l'étape de traitement pour le substrat de l'invention).

[0120] Après la formation de la pièce semi-finie 75, le deuxième élément 61 est formé par dépôt d'or dans l'espace ouvert de moulage S, par un moulage par électroformage, et l'étape de moulage par électroformage est effectuée pour former la partie bi-matière 50 dans laquelle le premier élément 60 et le deuxième élément 61 sont liés l'un à l'autre. L'étape de moulage par électroformage sera décrite spécifiquement.

[0121] Premièrement, comme illustré sur les figures 18 et 19, après la préparation d'un premier substrat de soutien 80 auquel une couche adhésive 80C est collée, par exemple par une couche d'électrode 80B sur un substrat de corps principal 80A, la pièce semi-finie 75 est tournée à l'envers pour inciter le film d'oxyde de silicium 71 modelé à être laminé sur la couche adhésive 80C. Dans l'exemple illustré, la pièce semi-finie 75 et le premier substrat de soutien 80 sont collés ensemble à tel point que le film d'oxyde de silicium 71 est intégré à l'intérieur de la couche adhésive 80C.

[0122] Il n'y a pas de limite particulière pour la couche d'adhésion 80C. Cependant, il est préférable d'utiliser le photorésistant par exemple. Dans ce cas, le photorésistant est collé dans un état pâteux, et ensuite, le photorésistant peut être traité jusqu'à ce que le photorésistant ne soit plus dans l'état pâteux.

[0123] Ensuite, après que le collage a été effectué, comme illustré à la fig. 18, dans la couche adhésive 80C, des parties qui communiquent avec l'espace ouvert de moulage S de la pièce semi-finie 75 sont supprimées de manière sélective. De cette façon, il est possible d'exposer la couche d'électrode 80B à l'intérieur de l'espace ouvert de moulage S.

[0124] A ce moment, par exemple, quand la couche adhésive 80C est le photorésistant, il est possible d'effectuer facilement le travail de suppression sélective par la technique de photolithographie.

[0125] Ensuite, comme illustré sur les figures 20 et 21, le moulage par électroformage est effectué en utilisant la couche d'électrode 80B, l'or se dépose de manière graduelle depuis la couche d'électrode 80B, dans l'espace ouvert de moulage S, l'intérieur de l'espace ouvert de moulage S est rempli, et ensuite, une partie électroformée 81 est générée dans la mesure où l'espace ouvert de moulage S se remplit. Ensuite, cette partie électroformée 81 est meulée pour être dans une seule surface avec la pièce semi-finie 75. Ceci permet à la partie électroformée 81 d'être le deuxième élément 61, et donc, il est possible de former la partie bi-matière 50 dans laquelle le premier élément 60 et le deuxième élément 61 sont liés l'un à l'autre.

[0126] Dans l'accomplissement du meulage, le substrat en silicium 70 de la pièce semi-finie 75 peut être meulé en même temps.

[0127] A cette étape, l'étape de moulage par électroformage prend fin. Sur les figures 20 et 21, une illustration des éléments de configuration générale (réservoir de moulage par électroformage et analogue) nécessaire pour le moulage par électroformage est omise.

[0128] Après que le moulage par électroformage se termine, l'étape de suppression est effectuée pour supprimer la paroi de guidage de moulage 70A depuis le premier élément 60.

[0129] L'étape de suppression va être décrite spécifiquement.

[0130] D'abord, comme illustré à la fig. 22, après la préparation d'un deuxième substrat de soutien 85 dans lequel la couche adhésive 85B est formée sur le corps principal de substrat 85A, la pièce semi-finie 75 qui est détachée depuis le premier substrat de support 80 est retournée à nouveau. Ensuite, dans le substrat de silicium 70, une surface sur un côté opposé à un côté où le film d'oxyde de silicium 71 est formé est laminé sur la couche adhésive 85B.

[0131] Ensuite, comme illustré sur la fig. 23, seulement la paroi de guidage de moulage 70A est supprimée de manière sélective depuis la pièce semi-finie 75. Spécifiquement, dans la pièce semi-finie 75, une zone autre que la paroi de guidage de moulage 70A est couverte avec un masque (non illustré) depuis le dessus par exemple, et la paroi de guidage de moulage 70A qui n'est pas masquée est supprimée par l'opération de gravure réalisée par une gravure sèche telle que la gravure ionique réactive profonde (DRIE).

[0132] A cette étape, l'étape de suppression prend fin.

[0133] Ensuite, comme illustré à la fig. 24, après que le deuxième substrat de support 85 est détaché, comme illustré sur les figures 25 et 26, le film d'oxyde de silicium restant 71 est supprimé par une gravure mouillée utilisant le BHF par exemple.

[0134] Le film d'oxyde de silicium 71 ne doit pas nécessairement être supprimé mais il est de préférence supprimé. De plus, sur les figures 25 et 26, puisque l'épaisseur de film du film d'oxyde de silicium 71 est exagérée dans le dessin, une différence d'étape est générée entre le premier élément 60 et le deuxième élément 61. Cependant, la quantité de la différence d'étape est insignifiante (par exemple, approximativement 1 μm), étant de cette manière pratiquement équivalente en n'ayant pas la différence d'étape entre le premier élément 60 et le deuxième élément 61 comme illustré à la fig. 3.

[0135] Ensuite, finalement, la masselotte 65 est fixée pour être dans le trou de poids 62 par l'ajustement serré, et donc, il est possible de fabriquer la roue de balancier 42 illustrée à la fig. 2.

[0136] Ci-après, comme décrit précédemment, l'arbre de balancier 41 et le ressort spiral 43 qui sont fabriqués séparément sont assemblés pour être intégrés avec la roue de balancier 42, complétant de cette manière la fabrication du balancier 40.

Effet d'actionnement

[0137] Comme décrit ci-dessus, selon le balancier 40 du mode de réalisation, le premier élément 60 de la partie bi-matière 50 est formée de silicium empêchant de cette manière la partie bi-matière 50 d'être déformée élastiquement. Même si la déformation de l'extrémité libre 50B est répétée en raison de la correction de température, il est possible de former la partie bi-matière 50 avec une précision stable dépendant du temps.

[0138] En outre, dans la partie bi-matière 50 configurée pour inclure le premier élément 60 et le deuxième élément 61 qui se chevauchent radialement l'un avec l'autre, puisque le premier élément vers l'intérieur 60 est formé de silicium, la déformation thermique du premier élément 60 provoquée par le changement de température est supprimée, et donc, la déformation de la partie bi-matière 50 qui est associée au changement de température est supprimée pour être basse, et il est possible d'obtenir un volume d'ajustement désiré dans le moment d'inertie. En d'autres termes, puisque l'élément vers l'intérieur de la partie bi-matière 50 est fait de silicium, il est possible de concevoir un volume de déformation de l'extrémité libre 50B de la partie bi-matière 50 sans considérer excessivement le volume de déformation thermique de l'élément vers l'intérieur. Par conséquent, la correction de température avec le moment d'inertie peut être effectuée facilement, permettant de cette manière une précision de correction à améliorer.

[0139] En outre, en assurant une gamme d'ajustement du moment d'inertie désiré, puisque le volume de déformation de l'extrémité libre 50B de la partie bi-matière 50 peut être réduit, une ouverture (espace interposé par la partie bi-matière 50 et l'élément de connexion 51 entre eux) entourant l'extrémité libre 50B peut être réduite, permettant de cette manière au balancier 40 d'être formé avec une haute densité.

[0140] En conséquence, il est possible d'assurer une rigidité désirée dans le balancier qui est formé de silicium.

[0141] En outre, puisque la partie bi-matière 50 hautement dense est formée seulement sur la périphérie extrinsèque, il est possible de réduire le poids total et d'obtenir le moment d'inertie désiré. En d'autres termes, le silicium est utilisé pour réduire le poids du balancier 40, et donc, il est possible de réduire un choc appliqué à l'arbre de balancier 41 quand la pièce d'horlogerie est diminuée. En conséquence, la quantité d'occurrence dans la courbure de l'arbre de balancier ou la rupture de l'arbre de balancier est supprimée, et il est possible d'améliorer la fiabilité comme une pièce d'horlogerie.

[0142] En outre, dans la roue de balancier 42, l'élément de connexion 51 et le premier élément 60 sont formés du silicium pour être intégrés l'un avec l'autre, il est possible de former l'élément de connexion 51 et le premier élément 60 à intégrer l'un avec l'autre avec une précision de forme excellente à partir du substrat de silicium 70, en utilisant une technologie de fabrication de semi-conducteur (technologie incluant une technique de photolithographie et une technologie de traitement de gravure). De plus, l'utilisation de la technologie de fabrication de semi-conducteur permet à l'élément de connexion 51 et au premier élément 60 d'être formés dans une forme de minute désirée sans appliquer une force externe non nécessaire à cela.

[0143] Entre-temps, le deuxième élément 61 configurant la partie bi-matière 50 est la partie électroformée, pouvant de cette manière être liée au premier élément 60 par un travail facile de dépôt seulement de l'or par le moulage par électroformage. Par conséquent, contrairement à un procédé de brasage ou de sertissage dans l'art antérieur, encore sans appliquer la force externe non nécessaire au premier élément 60, le deuxième élément 61 peut être relié à celui-ci. Par conséquent, en plus d'empêcher la déformation élastique de la partie bi-matière 50, il est possible de former la partie bi-matière 50 avec une excellente précision de forme. En outre, le silicium n'est pas susceptible d'être déformé élastiquement. Sur ce point également, il est possible d'empêcher la déformation élastique de la partie bi-matière 50.

[0144] Comme décrit ci-dessus, puisque la partie bi-matière 50 peut être formée avec l'excellente précision de forme en empêchant la déformation élastique, le travail de correction de température peut être effectué de manière stable comme prévu, et donc, il est possible de fournir un balancier de haute qualité 40 qui n'est pas susceptible de varier dans la quantité influencée par le changement de température et qui est excellent en termes de capacité de compensation de température.

[0145] En outre, la forme de la partie bi-matière 50 peut être réglée, permettant de cette manière un degré de liberté dans la forme de la partie bi-matière 50 à améliorer. Par exemple, le volume de la compensation de température est susceptible d'être réglé en augmentant le déplacement.

[0146] Par ailleurs, lors de la fabrication de la roue de balancier 42, en plus de l'élément de connexion 51 et du premier élément 60, la pièce semi-finie 75 est formée auquel la paroi de guidage de moulage 70A est formée pour être intégrée avec. Par conséquent, l'espace ouvert de moulage S défini entre la paroi de guidage de moulage 70A et le premier élément 60 peut être formé avec une excellente précision de forme. Ensuite, au moment du moulage par électroformage, le deuxième élément 61 est formé en faisant croître l'or dans l'espace ouvert de moulage S, permettant de cette manière au deuxième élément 61 d'être formé avec une excellente précision de forme. En conséquence, il est possible d'obtenir la partie bi-matière 50 de haute qualité ayant la forme désirée.

[0147] De cette façon, il est possible d'exposer plus nettement l'actionnement décrit ci-dessus.

[0148] En outre, l'élément de connexion 51 et le premier élément 60 sont faits de silicium, n'étant de cette manière pas susceptible de rouiller, même si un plaquage n'est pas effectué. En outre, le deuxième élément 61 est formé d'or, étant de cette manière une excellente prévention de la rouille. Selon ceci, il n'y a pas besoin d'une étape de plaquage, permettant de cette manière la fabrication efficace.

[0149] En outre, puisque le premier élément 60 et le deuxième élément 61 configurant la partie bi-matière 50 sont engagés l'un avec l'autre par la solidarisation du coin 67 et de la partie concave 68 également, l'intensité de liaison entre elles peut être améliorée, permettant de cette manière à la fiabilité opérationnelle comme la partie bi-matière 50 d'être améliorées. En outre, la solidarisation entre elle détermine une position du deuxième élément 61 dans la direction circonférentielle par rapport au premier élément 60, et donc, le deuxième élément 61 peut être lié à la zone menée par le premier élément 60. Sur ce point également, il est possible d'améliorer la fiabilité opérationnelle comme la partie bi-matière 50.

[0150] Le mouvement 10 selon le mode de réalisation est prévu avec le balancier à compensation de température 40 décrit ci-dessus ayant la capacité de compensation à haute température, et donc, il est possible de fournir un mouvement de haute qualité ayant peu d'erreurs affectant la fréquence.

[0151] Par ailleurs, selon la pièce d'horlogerie mécanique 1 du mode de réalisation qui est prévu avec le mouvement 10, il est possible de prévoir une pièce d'horlogerie de haute qualité ayant peu d'erreurs affectant la fréquence.

Exemple de modification

[0152] Dans le mode de réalisation, bien que la masselotte 65 soit prévue à l'extrémité libre 50B de la partie bi-matière 50, la masselotte 65 n'est pas obligatoire et peut être omise. Cependant, puisque le poids de l'extrémité libre 50B peut être augmenté en fournissant la masselotte 65, la correction de température avec le moment d'inertie peut être effectuée de manière plus efficace par rapport à la quantité de changement de l'extrémité libre 50B dans la direction radiale, et donc, il est susceptible d'être amélioré quant à la capacité de compensation de température.

[0153] Une forme de la masselotte 65 peut être déterminée par le poids de la masselotte 65 et la quantité du moment d'inertie qui est requise pour la masselotte 65.

[0154] En outre, en fournissant la masselotte 65, la masselotte 65 n'est pas limitée à celle qui est fixée pour être dans le trou de poids 62 comme dans le mode de réalisation par l'ajustement serré et peut être changée de manière libre.

[0155] Par exemple, comme illustré à la fig. 27, une partie électroformée dans laquelle l'or s'accumule dans le trou de poids 62 par le moulage par électroformage peut être fournie comme masselotte 90.

[0156] Dans ce cas, une partie de la couche d'adhésion 85B est supprimée au moment de la fabrication, et lorsqu'on expose la couche d'électrode 80B à l'espace ouvert de moulage S, la couche d'adhésion 85B de la partie correspondant à la masselotte 62 est supprimée de manière simultanée avec l'exposition de la couche d'électrode 80B. Ensuite, lors de la formation du deuxième élément 61 en or par le moulage par électroformage, la masselotte 90 peut être formée en déposant simultanément l'or dans le trou de poids 62.

[0157] De cette façon, le deuxième élément 61 et la masselotte 90 peuvent être formés simultanément par une étape de moulage par électroformage, et donc, il est possible en outre d'améliorer l'efficacité de fabrication. De plus, il est possible de former la masselotte 90 sans appliquer la force externe à l'extrémité libre 50B de la partie bi-matière 50, étant de cette manière plus préférable.

[0158] De plus, dans le mode de réalisation ci-dessus, bien qu'un cas soit décrit dans lequel les parties de coin 67 prévues sur les deux extrémités du deuxième élément 61 dans la direction circonférentielle sont dans un état d'être engagées avec la partie concave 68 sur le côté de premier élément 60, et le premier élément 60 et le deuxième élément 61 sont liés l'un à l'autre, la solidarisation du coin 67 et la partie concave 68 n'est pas obligatoire et peut être omise. Cependant, puisque la solidarisation améliore l'intensité de liaison et permet au deuxième élément 61 d'être régulé pour ne pas retirer le premier élément 60 et d'être déplacé ni radialement ni de manière circonférentielle par rapport au premier élément 60, il est préférable de prévoir la solidarisation entre eux.

[0159] A la place du coin 67 et de la partie concave 68, un élément de solidarisation différent peut être prévu pour le premier élément 60 et le deuxième élément 61, ou à la place du coin 67 et de la partie concave 68, un élément de solidarisation différent peut être ajouté au premier élément 60 et au deuxième élément 61.

[0160] Par exemple, comme illustré sur les figures 28 et 29, deux parties concaves de solidarisation (première partie de solidarisation) 91 qui sont radialement ouvertes vers l'extérieur sur la partie périphérique externe du premier élément 60 peuvent être prévues en étant espacées avec un intervalle dans la direction circonférentielle, et deux parties convexes de solidarisation (deuxième partie de solidarisation) 92 qui font saillie radialement vers l'intérieur sur la partie interne de périphérie du deuxième élément 61 et s'engagent avec la partie concave de solidarisation 91 peuvent être prévues en étant espacées avec un intervalle dans la direction circonférentielle.

[0161] De cette façon, il est possible d'améliorer l'intensité de liaison entre le premier élément 60 et le deuxième élément 61 en ajoutant en outre des parties concaves de solidarisation 91 et des parties convexes de solidarisation 92, étant de cette manière plus préférable. Le nombre de parties concaves de solidarisation 91 et de parties convexes de solidarisation 92 n'est pas limité à deux.

[0162] De plus, comme illustré sur les figures 30 et 31, le premier élément 60 et le deuxième élément 61 peuvent être liés l'un avec l'autre par une couche d'alliage 95.

[0163] Lors de la formation de la couche d'alliage 95, après que le deuxième élément 61 est formé par l'étape de moulage par électroformage, une étape de traitement thermique est effectuée, dans laquelle la pièce semi-finie 75 ayant la partie bi-matière 50 formée dedans est traitée thermiquement durant une période prédéterminée à une atmosphère à température prédéterminée. Il est possible de déposer l'or formant le deuxième élément 61 qui est la partie électroformée le long d'une interface de liaison par rapport au premier élément 60 en effectuant le traitement thermique d'une telle façon, et donc, il est possible de former la couche d'alliage 95 entre le premier élément 60 et le deuxième élément 61 en utilisant ce dépôt.

[0164] Même dans ce cas, il est aussi possible d'améliorer l'intensité de liaison entre le premier élément 60 et le deuxième élément 61. Par conséquent, il est possible d'améliorer la fiabilité opérationnelle comme la partie bi-matière 50.

[0165] Au moment d'être effectué, le traitement thermique peut être effectué à n'importe quel moment aussi longtemps que c'est après l'étape de moulage par électroformage. Le traitement thermique peut être effectué avant la suppression de la paroi de guidage de moulage 70A ou peut être effectué après la suppression de celle-ci. Cependant, puisque la couche d'alliage 95 est aussi formée entre la paroi de guidage de moulage 70A et le deuxième élément 61 par le traitement thermique, il est préférable que le traitement thermique soit effectué après la suppression de la paroi de guidage de moulage 70A.

[0166] En outre, dans le cas du mode de réalisation décrit ci-dessus, puisque le premier élément 60 est fait de silicium et que le deuxième élément 61 est fait d'or, il est possible d'effectuer le traitement thermique à une température d'environ 1000 °C. De plus, le traitement thermique peut aussi être effectué dans l'atmosphère. Cependant, afin d'empêcher une oxydation, il est préférable d'effectuer le traitement thermique sous vide, dans du gaz argon ou dans de l'azote.

[0167] Un domaine technique de l'invention n'est pas limité au mode de réalisation décrit ci-dessus, et des modifications variées peuvent être ajoutées à cela sans sortir du cadre de l'invention.

[0168] Par exemple, dans le mode de réalisation décrit ci-dessus, il est prévu trois parties bi-matière 50. Cependant, leur nombre peut être deux ou peut être supérieur à quatre. Même dans ces cas, il est possible de réaliser l'effet d'actionnement similaire en disposant de manière similaire chacune des parties bi-matière 50 dans la direction circonférentielle. En outre, une forme de l'élément de connexion 51 est seulement un exemple et peut être modifiée de manière appropriée.

[0169] En outre, dans le mode de réalisation décrit ci-dessus, un matériau élastique constant tel que l'Elinvar comme le matériau du ressort spiral 43 peut être employée, et le deuxième élément 61 dans la partie bi-matière 50 peut être formé d'un métal ayant un coefficient de dilatation thermique plus bas que le premier élément 60 formé du matériau céramique. Même dans ce cas, il est aussi possible d'ajuster minutieusement les caractéristiques de température du moment d'inertie comme pour annuler le coefficient de température positif du ressort spiral 43.

[0170] En outre, dans le mode de réalisation décrit ci-dessus, le silicium est employé pour former l'élément de connexion 51 et le premier élément 60 configurant la roue de balancier 42. Cependant, le matériau n'est pas limité au silicium.

[0171] Par exemple, comme de la céramique, du carbure de silicium (SiC), du dioxyde de silicium (SiO₂), du saphir, de l'alumine (Al₂O₃), du zircon (ZrO₂), du carbone vitreux (C) et analogue peuvent être employés. Même si l'un de ceux-ci est employé, il est possible d'effectuer le traitement de gravure, particulièrement, possible d'effectuer préférablement le traitement de gravure sec. Par conséquent, il est possible de former plus facilement et plus efficacement l'élément de connexion 51 et le premier élément 60, et donc, il est susceptible en outre d'améliorer l'efficacité de fabrication. De plus, par exemple, le premier élément 60 peut être formé d'un métal autre que le matériau céramique. Par exemple, un alliage ayant un coefficient de dilatation thermique haut tel que l'Invar peut être utilisé.

[0172] Il est préférable que le matériau céramique dans le mode de réalisation ait une propriété d'isolation avec une haute résistance électrique. En outre, sur la surface frontale de l'élément de connexion 51 et le premier élément 60, un film de revêtement tel qu'un film d'oxyde ou un film de nitrure peut être traité, par exemple.

[0173] En outre, l'or est employé pour former le deuxième élément 61 configurant la roue de balancier 42. Cependant, le matériau n'est pas limité à l'or aussi longtemps que le deuxième élément 61 a un coefficient de dilatation thermique différent (préférablement plus large) que celui du premier élément 60 et est un métal qui peut être sujet au moulage par électroformage.

[0174] Par exemple, Au, Ni, un alliage de Ni (tel que Ni-Fe), Sn, un alliage de Sn (tel que Sn-Cu) et analogue peuvent être employés. Même si un de ces éléments est employé, il est possible de faire croître doucement le métal par le moulage par électroformage, permettant de cette manière au deuxième élément 61 d'être formé de manière efficace. En outre, par exemple, le deuxième élément 61 peut être un matériau ayant un coefficient de dilatation thermique plus haut que le métal et l'alliage décrits ci-dessus. Par exemple, l'acier inoxydable, le laiton et analogue ayant un coefficient de dilatation thermique plus haut que l'Invar décrit ci-dessus peuvent être utilisés.

[0175] Particulièrement, même si l'un de ces matériaux en métal décrit ci-dessus est employé, il est possible de former la couche d'alliage 95 par le traitement thermique. Dans un tel cas, le silicium (Si) et le carbure de silicium (SiC) sont particulièrement préférables pour être combinés comme le matériau céramique pour le côté du premier élément 60.

[0176] Dans un cas ayant la combinaison décrite ci-dessus, la fig. 32 représente des températures thermiques de traitement préférable au moment de l'étape de traitement thermique. Il est possible de former la couche d'alliage 95 qui est suffisante pour améliorer l'intensité de liaison en effectuant le traitement thermique aux températures thermiques de traitement représentées à la fig. 32.

[0177] Dans le mode de réalisation, bien que la masselotte 65 soit prévue à l'extrémité libre 50B de la partie bi-matière 50, la masselotte 65 n'est pas obligatoire et peut être omise. Cependant, puisque le poids de l'extrémité libre 50B peut être augmenté en munissant la masselotte 65, la correction de température avec le moment d'inertie peut être effectuée plus efficacement par rapport à la quantité de changement dans un rayon de l'extrémité libre 50B, et donc, il est susceptible d'être amélioré dans la capacité de compensation de température.

[0178] Une forme de la masselotte 65 peut être déterminée par le poids de la masselotte 65 et le volume du moment d'inertie qui est requis pour la masselotte 65.

[0179] De plus, lors de la création de la masselotte 65, la masselotte 65 n'est pas limitée à celle fixée pour être dans le trou de poids 62 comme dans le mode de réalisation par l'ajustement serré et peut être changé de manière libre. Par exemple, une partie électroformée faite d'or déposé dans le trou de poids 62 par un moulage par électroformage peut être prévu comme masselotte.

[0180] En outre, dans le mode de réalisation, la configuration est décrite dans laquelle le premier élément 60 et le deuxième élément 61 deviennent graduellement plus fins comme étant le côté d'extrémité fixe 50A vers le côté d'extrémité libre 50B. Cependant, sans être limité à cela, il est applicable aussi longtemps que l'épaisseur totale de la partie bi-matière 50 devient graduellement plus fine comme étant depuis le côté d'extrémité fixe 50A vers le côté d'extrémité libre 50B. C'est-à-dire, au moins seul l'un des premier et deuxième éléments 60 et 61 (le premier élément 60 de préférence) peut être formé pour être graduellement plus fin comme étant depuis le côté d'extrémité fixe 50A vers le côté d'extrémité libre 50B dans la configuration.

[0181] Par ailleurs, le premier élément 60 et le deuxième élément 61 peuvent être égaux l'un à l'autre en épaisseur, ou seulement l'un peut être plus épais que l'autre. Cependant, il est préférable d'inciter le matériau avec le module de Young haut à être plus fin, entre le premier élément 60 et le deuxième élément 61.

[0182] En outre, dans le mode de réalisation décrit ci-dessus, un cas est décrit dans lequel le taux d'épaisseur du premier élément 60 au deuxième élément 61 est réglé de manière uniforme dans toute la partie bi-matière 50 dans la direction circonférentielle. Cependant, sans être limité à cela, il peut être réglé pour inciter le taux d'épaisseur à changer le long de la direction circonférentielle.

[0183] En outre, quand le premier élément 60 est formé d'un métal ayant le coefficient de dilatation thermique bas tel que l'Invar, autre que le matériau céramique, et le deuxième élément 61 est formé d'acier inoxydable, le laiton ou semblable ayant le grand coefficient de dilatation thermique, il est possible de former des formes externes de cela par l'usinage, la gravure, l'usinage au laser et analogue. En outre, le premier élément 60 et le deuxième élément 61 peuvent être formés

séparément, et le premier élément 60 et le deuxième élément 61 peuvent être liés par ajustement, collage, soudage ou semblable.

[0184] Comme décrit ci-dessus, il est possible de créer un balancier à compensation de température qui assure d'abord une intensité et peut assurer la quantité de correction de température nécessaire du moment d'inertie, un mouvement de pièce d'horlogerie qui est prévu avec le même et une pièce d'horlogerie mécanique.

[0185] De plus, dans une gamme sans sortir du cadre de l'invention, il est possible de remplacer de manière appropriée les éléments de configuration dans le mode de réalisation décrit ci-dessus avec des éléments de configuration bien connus, et chacun des exemples de modification décrits ci-dessus peuvent être combinés de manière appropriée.

Revendications

1. Balancier à compensation de température comprenant:
un arbre de balancier (41) qui tourne autour d'un axe de rotation (O);
et
une roue de balancier (42) comportant une pluralité de parties bi-matière (50) qui sont disposées à la suite dans une direction circonférentielle autour de l'axe de rotation (O) et qui s'étendent selon une forme d'arc le long de la direction circonférentielle autour de l'axe de rotation (O) et des éléments de connexion (51) qui connectent radialement chacune des parties bi-matière (50) à l'arbre de balancier (41),
où la partie bi-matière (50) est un corps multicouche dont un premier élément (60) et un deuxième élément (61), disposé radialement plus vers l'extérieur que le premier élément (60), se recouvrent en se succédant radialement, dont une extrémité dans la direction circonférentielle est une extrémité fixe (50A) connectée à l'élément de connexion (51) et dont l'autre extrémité dans la direction circonférentielle est une extrémité libre (50B),
le premier élément (60) est réalisé en un matériau choisi parmi une céramique, le silicium (Si), le carbure de silicium (SiC), le dioxyde de silicium (SiO₂), le saphir, l'alumine (Al₂O₃), le zircone (ZrO₂), le carbone vitreux (C) et un métal notamment l'invar, et
le deuxième élément (61) est réalisé en un métal ayant un coefficient de dilatation thermique différent de celui du matériau du premier élément (60).
2. Balancier à compensation de température selon la revendication 1,
où le premier élément (60) et l'élément de connexion (51) sont d'un seul tenant l'un avec l'autre en étant faits en céramique ou en silicium, et
le deuxième élément (61) est une partie électroformée faite du métal ayant le coefficient de dilatation thermique différent de celui du matériau du premier élément (60).
3. Balancier à compensation de température selon la revendication 1 ou 2,
où le deuxième élément (61) a une deuxième partie de solidarisation (92) qui est solidarisée avec une première partie de solidarisation (91) formée dans le premier élément (60), l'une des première et deuxième parties de solidarisation (91, 92) pénétrant dans l'autre partie de solidarisation parmi ces première et deuxième parties de solidarisation (91, 92) de manière à renforcer la solidarisation entre les premier et deuxième éléments (60, 61).
4. Balancier à compensation de température selon la revendication 1 ou 2,
où le premier élément (60) et le deuxième élément (61) sont liés au moyen d'une couche d'alliage (95).
5. Balancier à compensation de température selon l'une des revendications 1 à 4,
où le premier élément (60) et l'élément de connexion (51) sont faits d'un matériau choisi parmi Si, SiC, SiO₂, Al₂O₃, ZrO₂ et C.
6. Balancier à compensation de température selon l'une des revendications 1 à 5,
où le deuxième élément (61) est fait d'un matériau choisi parmi Au, Cu, Ni, un alliage de Ni, Sn et un alliage de Sn.
7. Balancier à compensation de température selon l'une des revendications 1 à 6,
où la partie bi-matière (50) devient graduellement plus fine en épaisseur le long de la direction radiale en allant depuis la région d'extrémité fixe vers la région d'extrémité libre.
8. Balancier à compensation de température selon la revendication 7,
où le premier élément (60) est disposé radialement plus vers l'intérieur que le deuxième élément (61) et est d'un seul tenant avec l'élément de connexion (51) en étant fait de céramique ou de silicium, et
au moins le premier élément (60) parmi le premier élément (60) et le deuxième élément (61) devient graduellement plus fin en épaisseur le long de la direction radiale en allant depuis la région d'extrémité fixe vers la région d'extrémité libre.
9. Balancier à compensation de température selon la revendication 7 ou 8,
où le ratio de l'épaisseur du premier élément (60) selon la direction radiale sur l'épaisseur du deuxième élément (61) selon la direction radiale est constant depuis la région d'extrémité fixe jusqu'à la région d'extrémité libre.
10. Balancier à compensation de température selon l'une des revendications 1 à 4 et 7 à 9,
où une masselotte (65) est prévue à l'extrémité libre (50B) de la partie bi-matière (50).

11. Mouvement de pièce d'horlogerie comprenant:
 - un barillet de mouvement (22) qui comprend une source d'énergie;
 - une roue de rouage qui transfère une force rotationnelle du barillet de mouvement (22);
 - un mécanisme d'échappement (30) qui commande les rotations de la roue de rouage; et
 - un mécanisme réglant (31) prévu pour régler la cadence du mécanisme d'échappement (30), ce mécanisme réglant (31) comportant un balancier à compensation de température (40) selon la revendication 1.
12. Pièce d'horlogerie mécanique comprenant:
 - le mouvement de pièce d'horlogerie (10) selon la revendication 11.
13. Procédé de fabrication du balancier à compensation de température (40) selon la revendication 1, comprenant:
 - une étape de gravure qui est effectuée dans un substrat en un matériau choisi parmi une céramique, le silicium (Si), le carbure de silicium (SiC), le dioxyde de silicium (SiO₂), le saphir, l'alumine (Al₂O₃), le zircon (ZrO₂) et le carbone vitreux (C), et dans laquelle, par gravure après mise en place de masque par photolithographie, une pièce semi-finie (75) est fabriquée à partir du substrat de manière à comprendre les premiers éléments (60), les éléments de connexion (51) et une paroi de guidage de moulage (70A) et de manière que les premiers éléments (60) soient connectés aux éléments de connexion (51), que la paroi de guidage de moulage (70A) et l'un des premiers éléments (60) délimitent entre eux un espace ouvert de moulage (S) et que la paroi de guidage de moulage (70A) soit connectée à ce premier élément (60);
 - une étape de moulage par électroformage dans laquelle un métal s'accumule dans l'espace ouvert de moulage (S), sur la pièce semi-finie (75), par moulage par électroformage, de manière à former le deuxième élément (61) et de manière que soit obtenue la partie bi-matière (50) dans laquelle le premier élément (60) et le deuxième élément (61) se recouvrent en se succédant radialement et sont liés; et
 - une étape de suppression dans laquelle la paroi de guidage de moulage (70A) est retirée du premier élément (60).
14. Procédé de fabrication du balancier à compensation de température (40) selon la revendication 13, comprenant en outre:
 - une étape de traitement thermique dans laquelle la pièce semi-finie (75) ayant la partie bi-matière (50) formée dedans est traitée thermiquement pendant une durée prédéterminée dans une ambiance de température prédéterminée, après l'étape de moulage par électroformage.

Fig.1

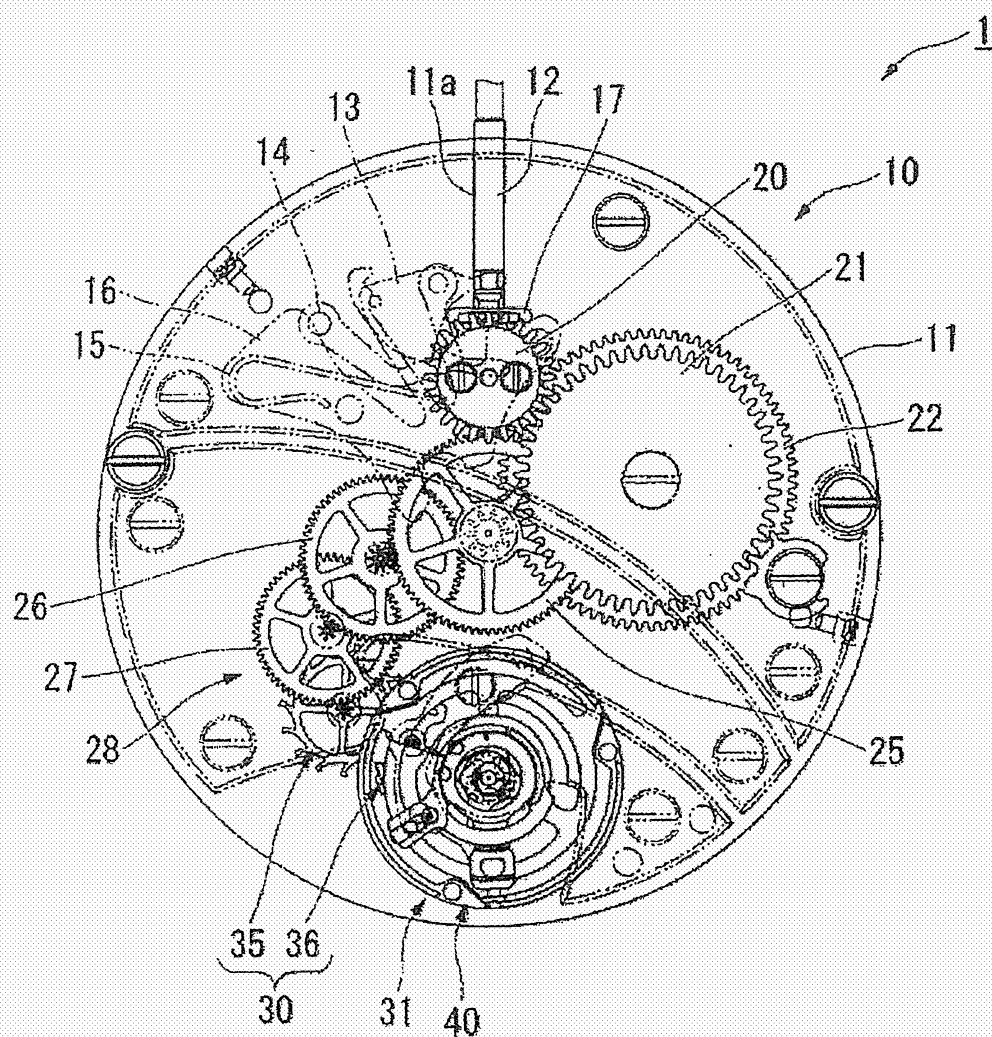


Fig.2

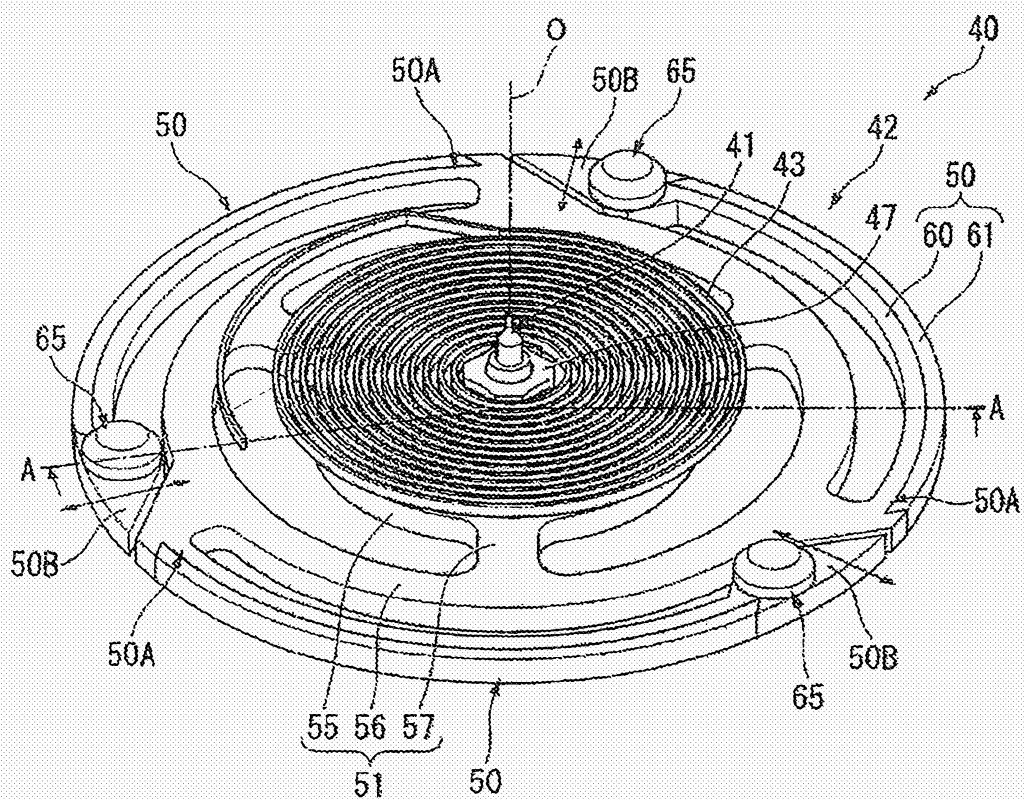


Fig.3

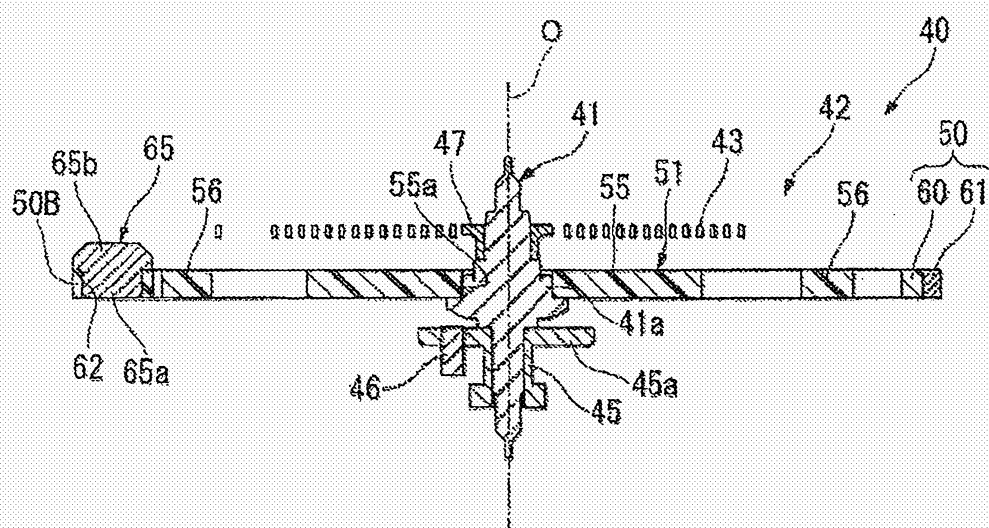


Fig.4

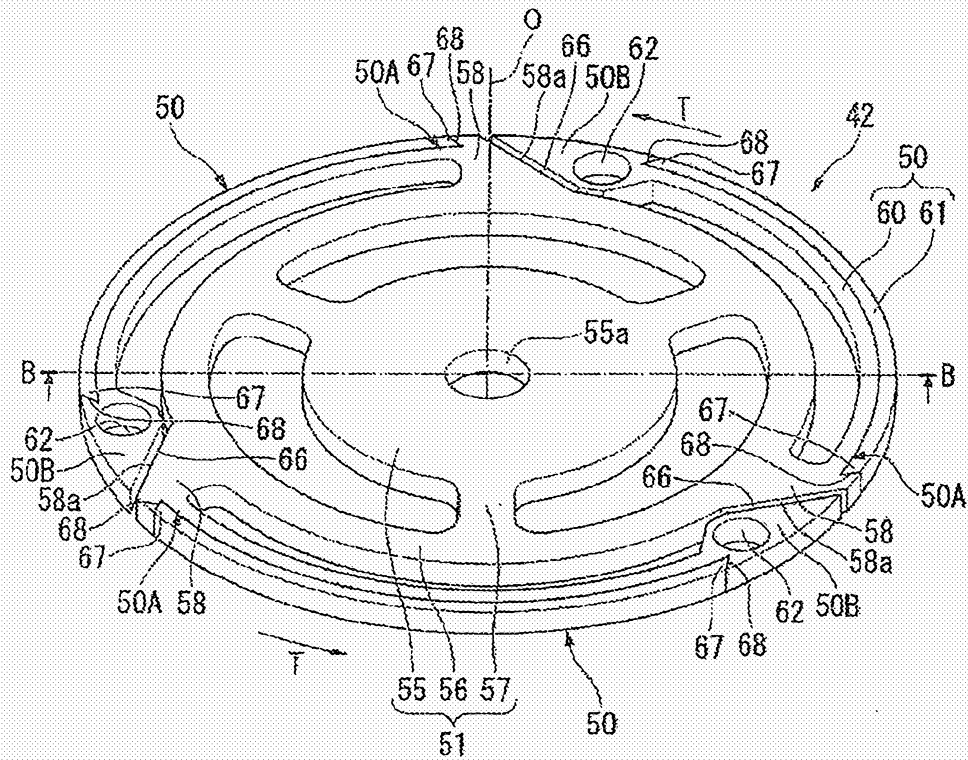


Fig.5

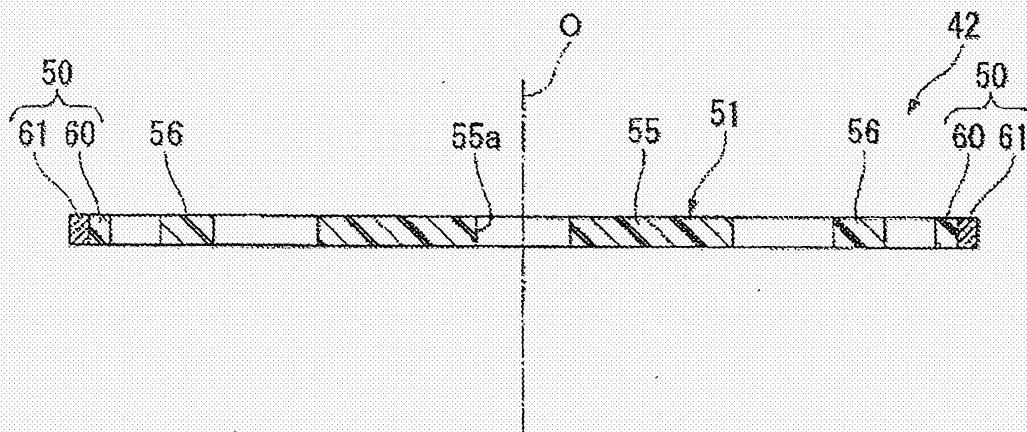


Fig.6

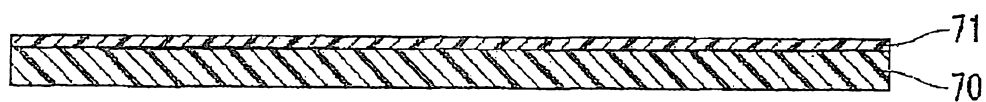


Fig.7

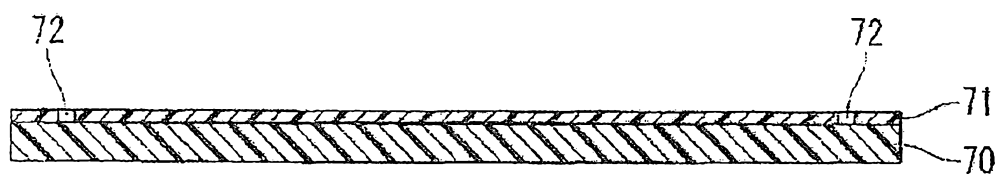


Fig.8

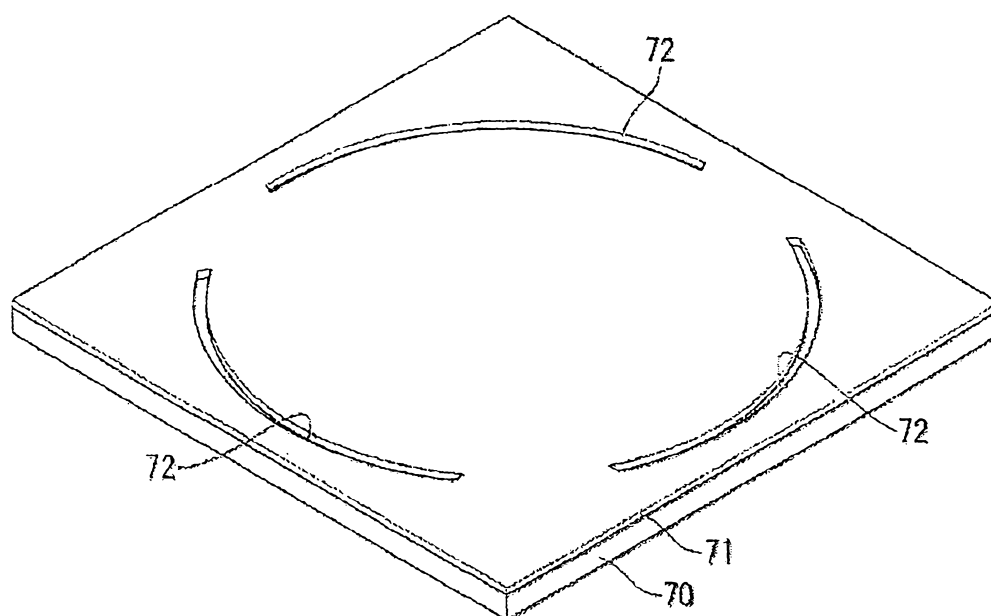


Fig.9

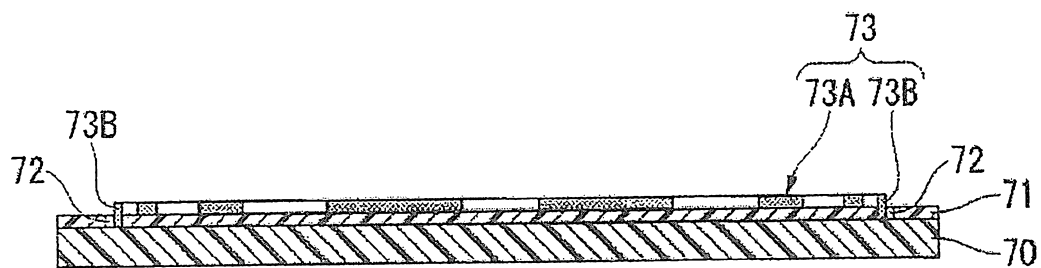


Fig.10

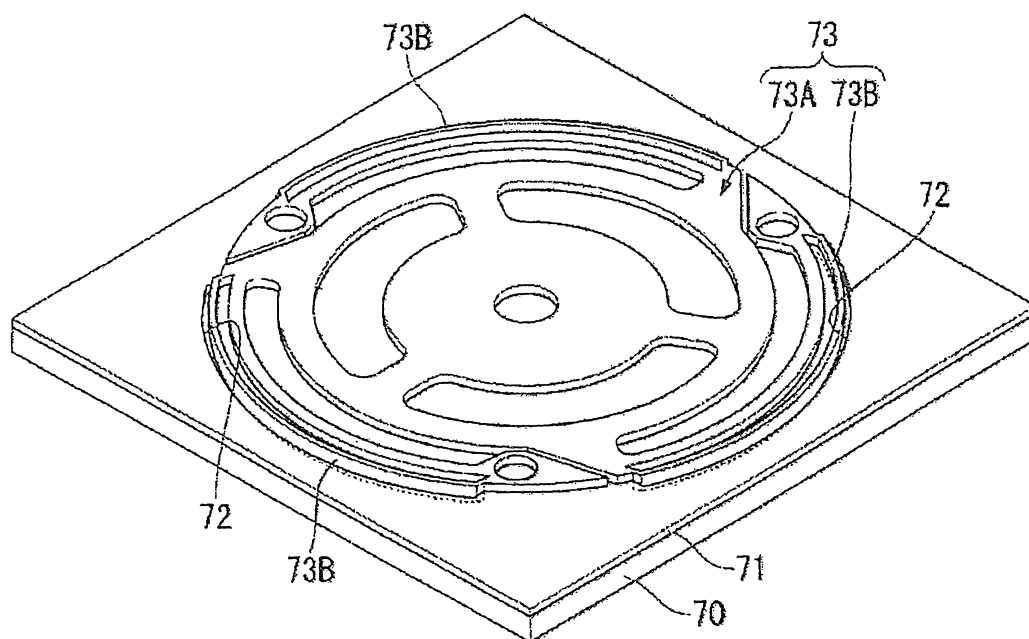


Fig. 11

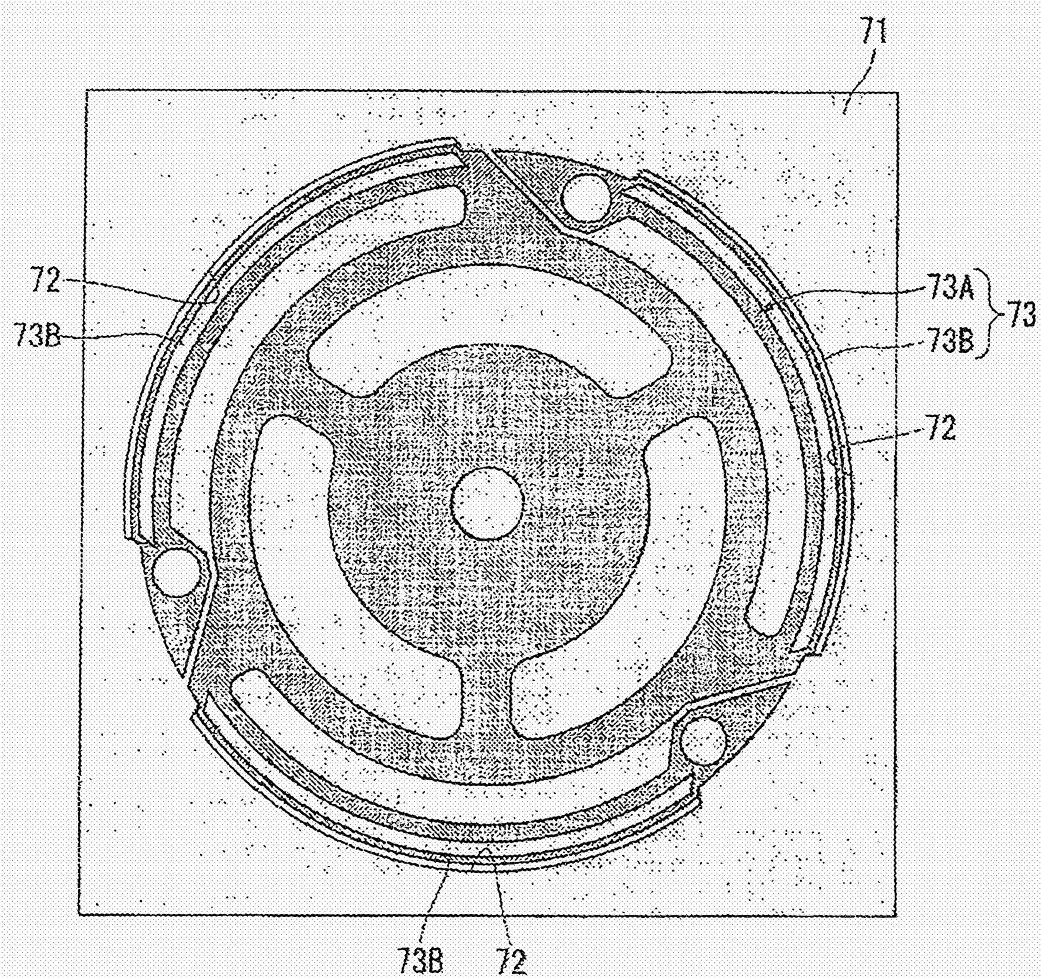


Fig. 12

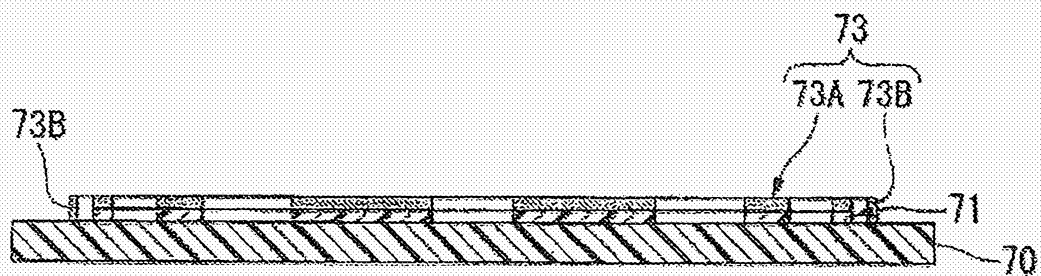


Fig.13

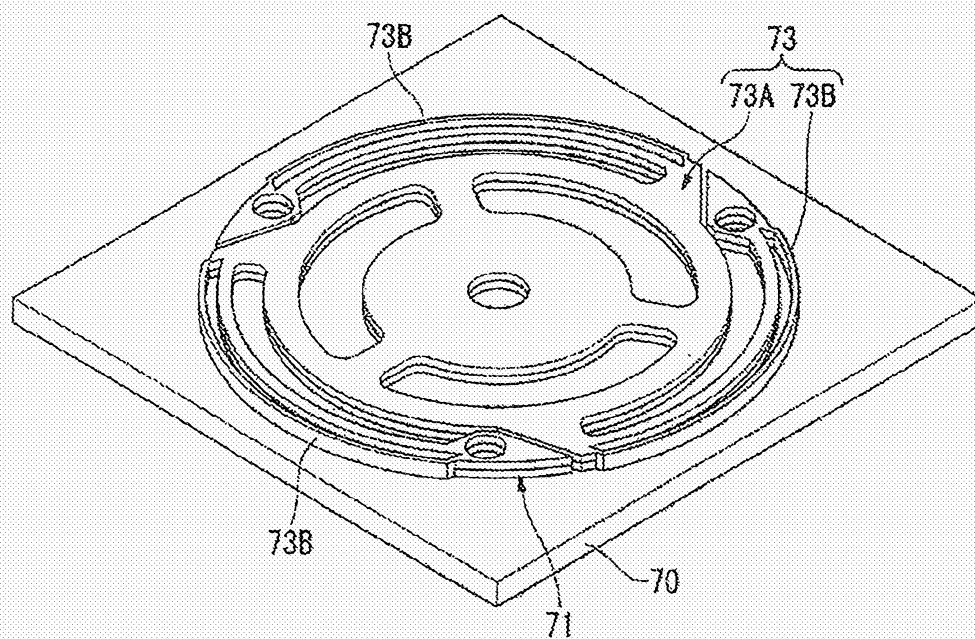


Fig.14

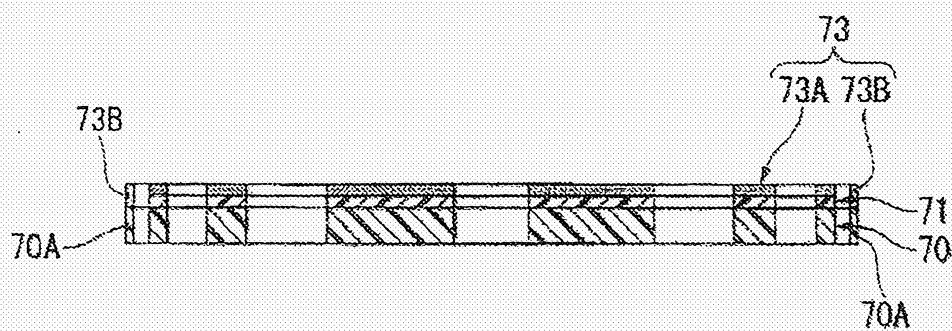


Fig.15

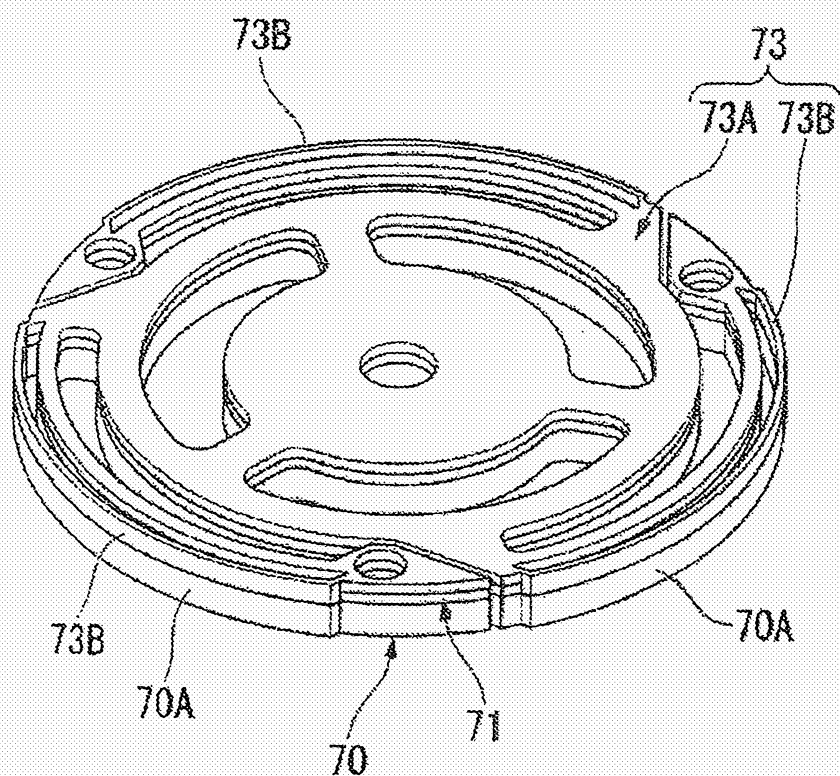


Fig.16

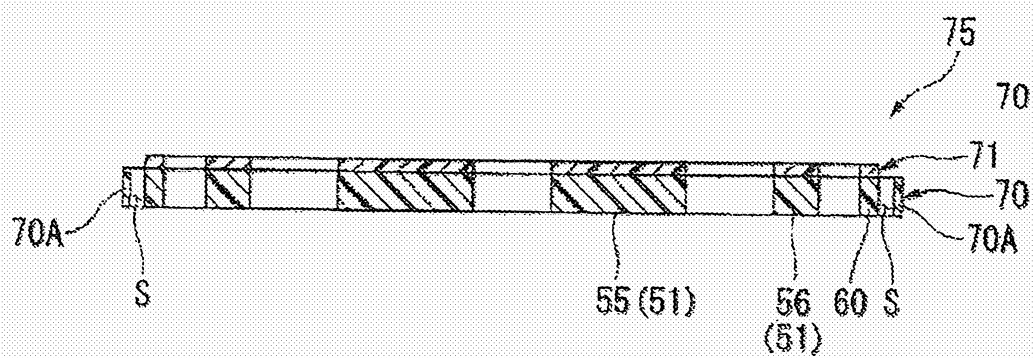


Fig.17

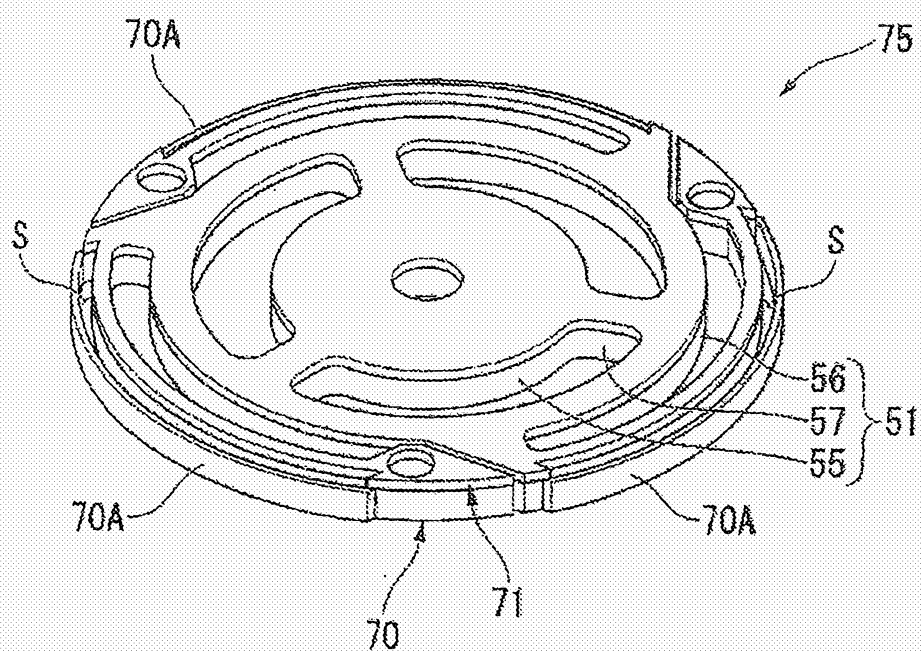


Fig.18

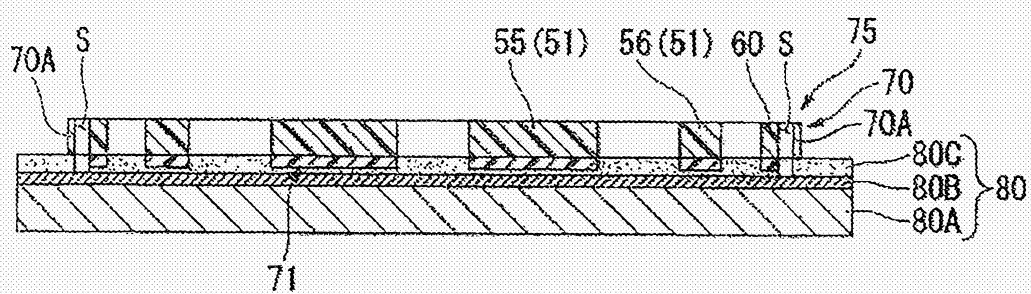


Fig.19

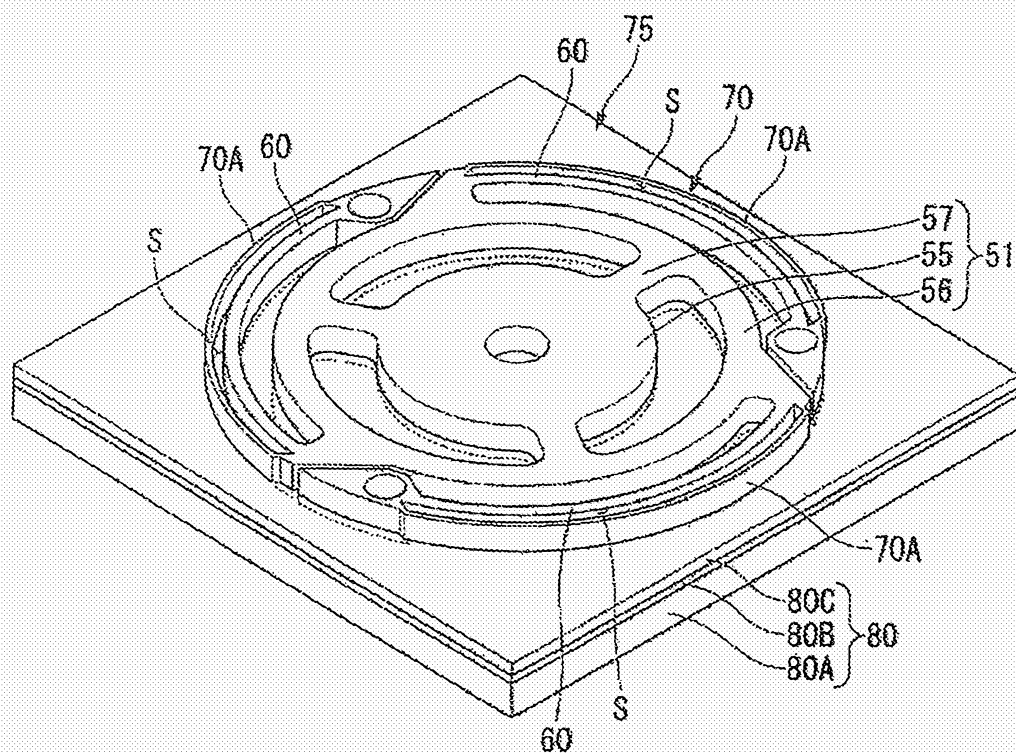


Fig.20

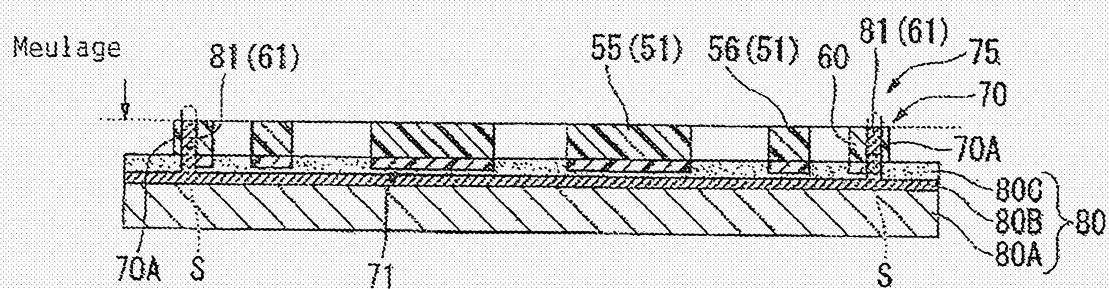


Fig.21

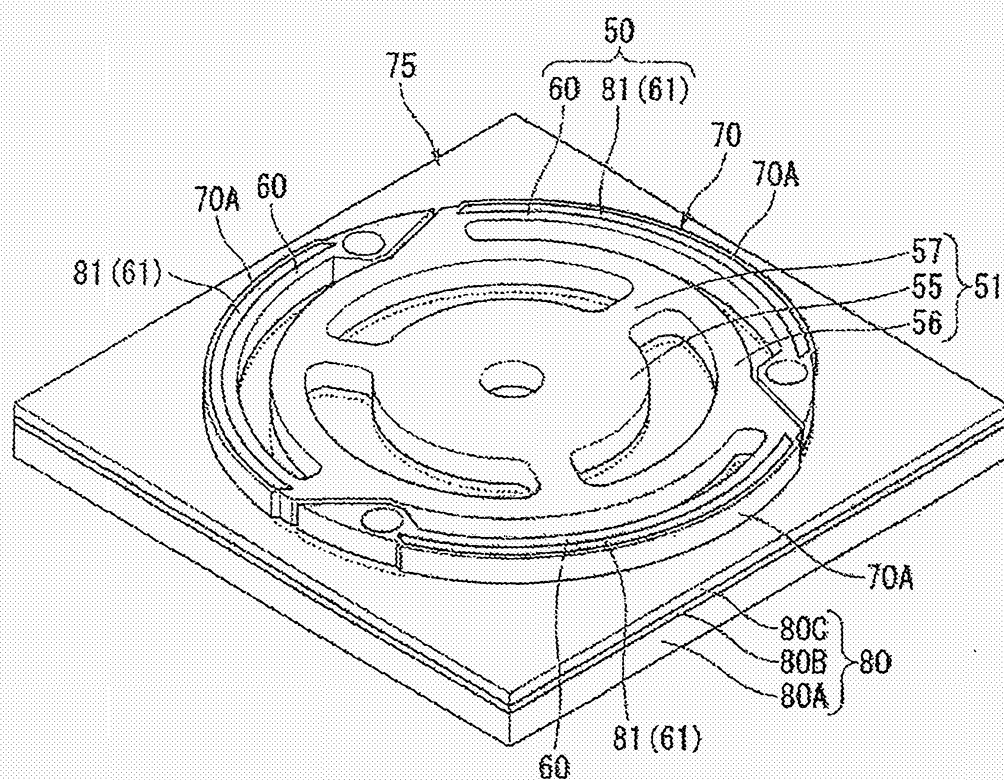


Fig.22

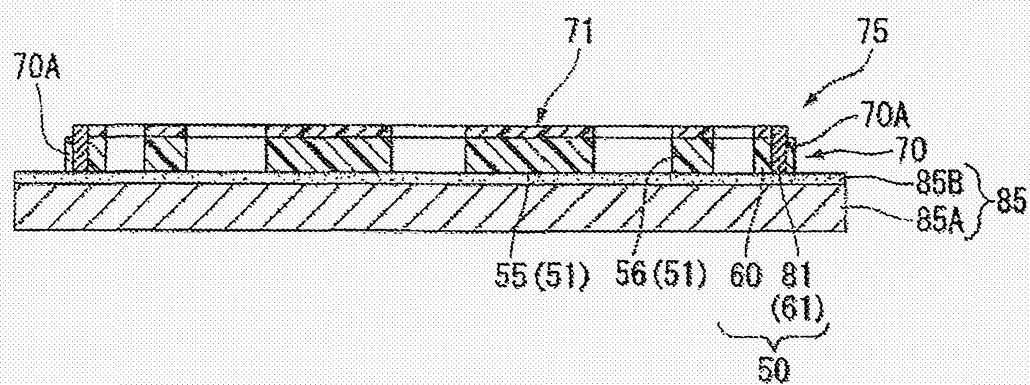


Fig.23

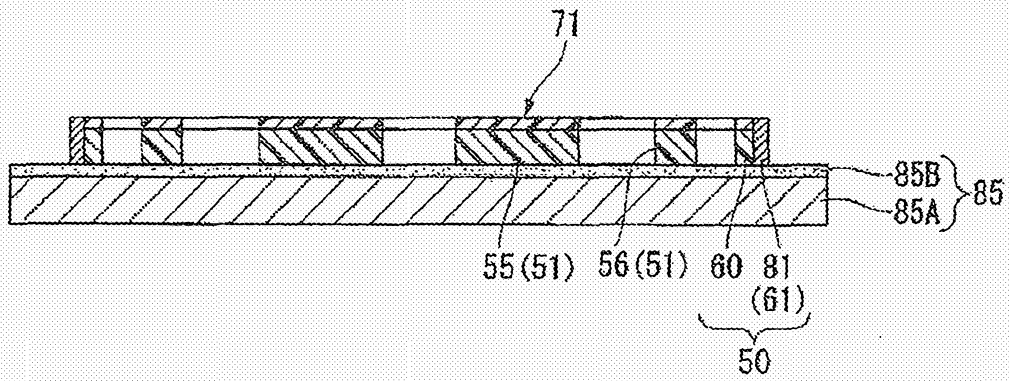


Fig.24

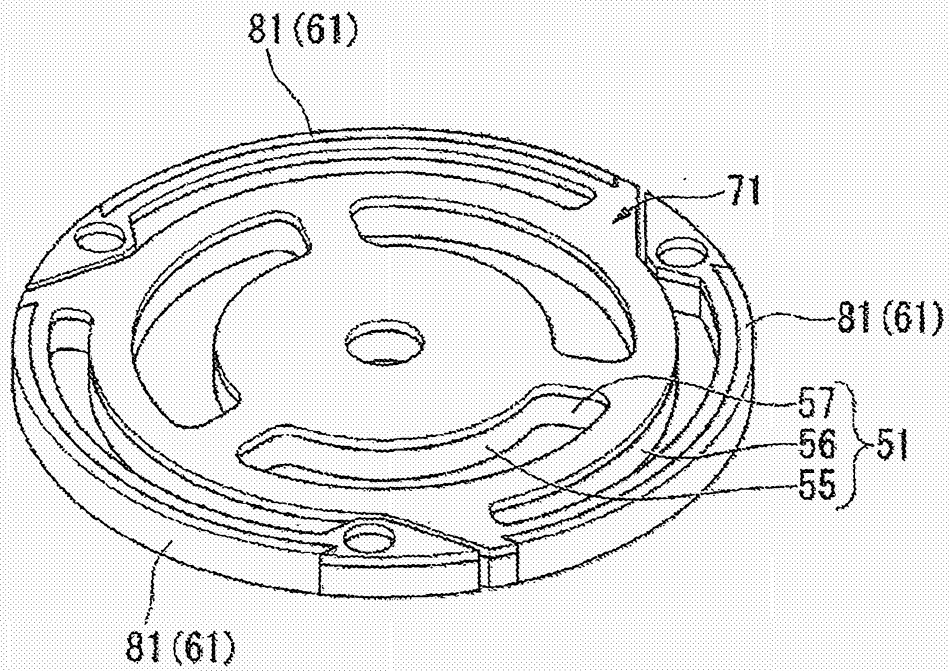


Fig.25

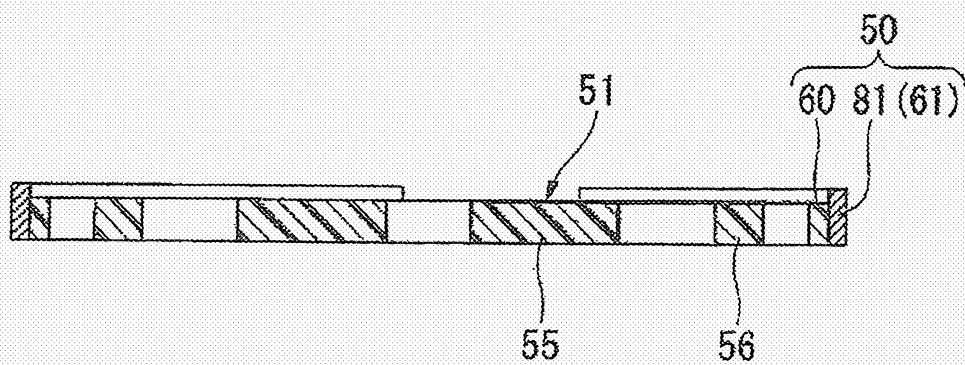


Fig.26

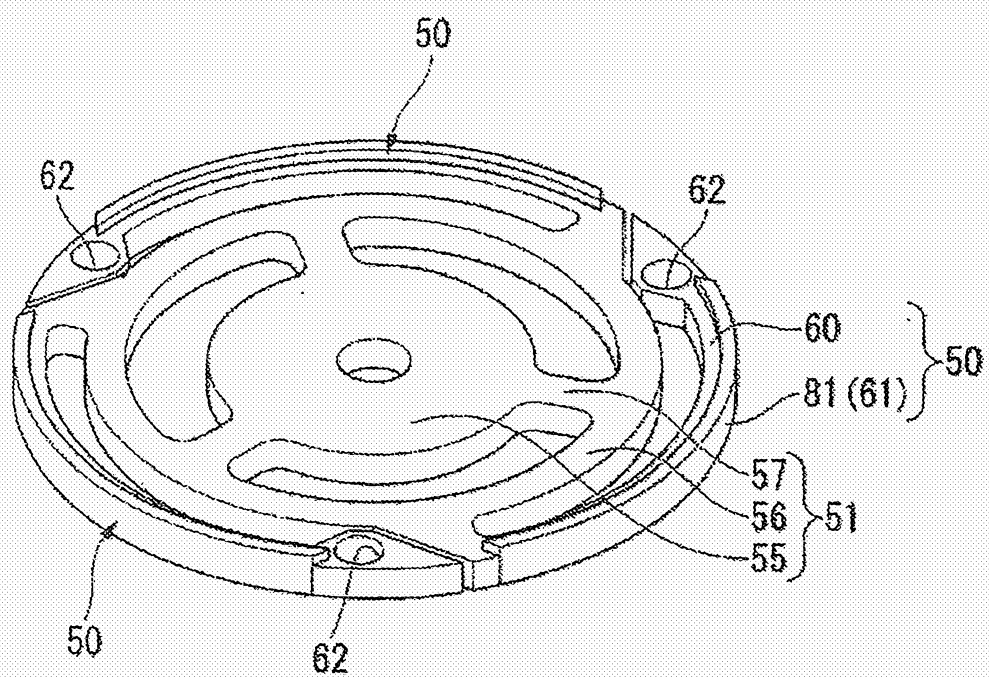


Fig.27

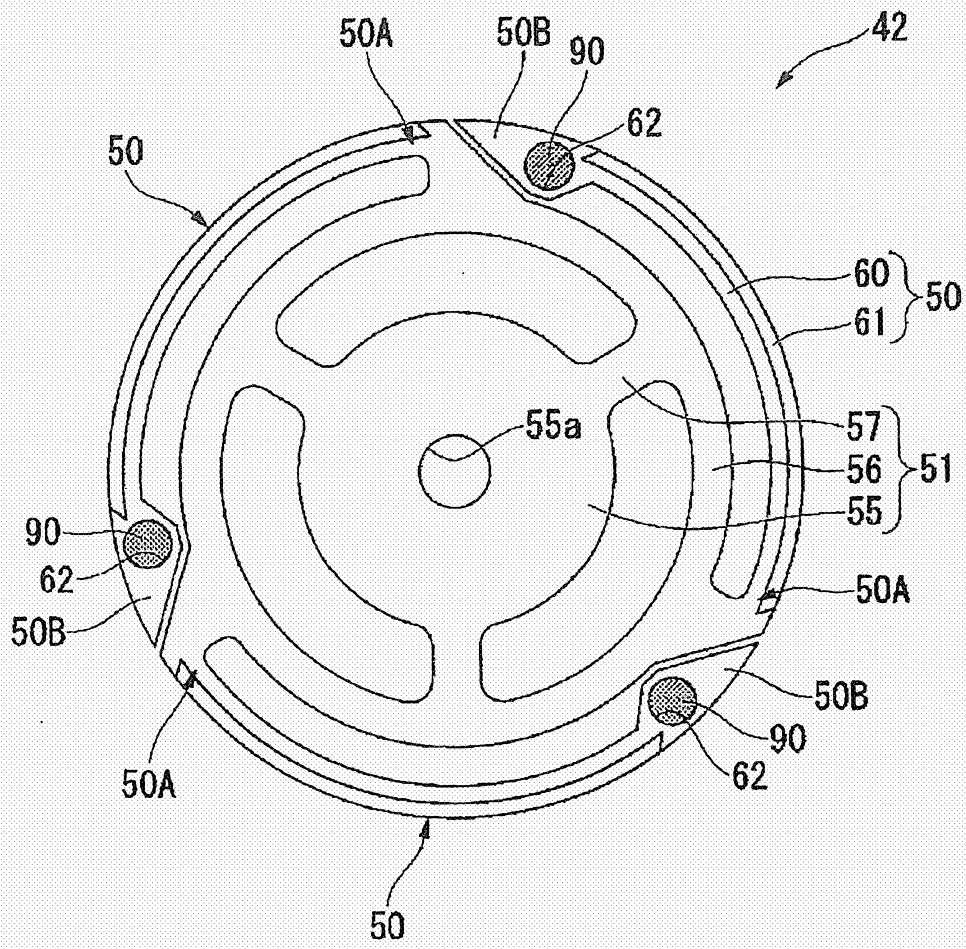


Fig.28

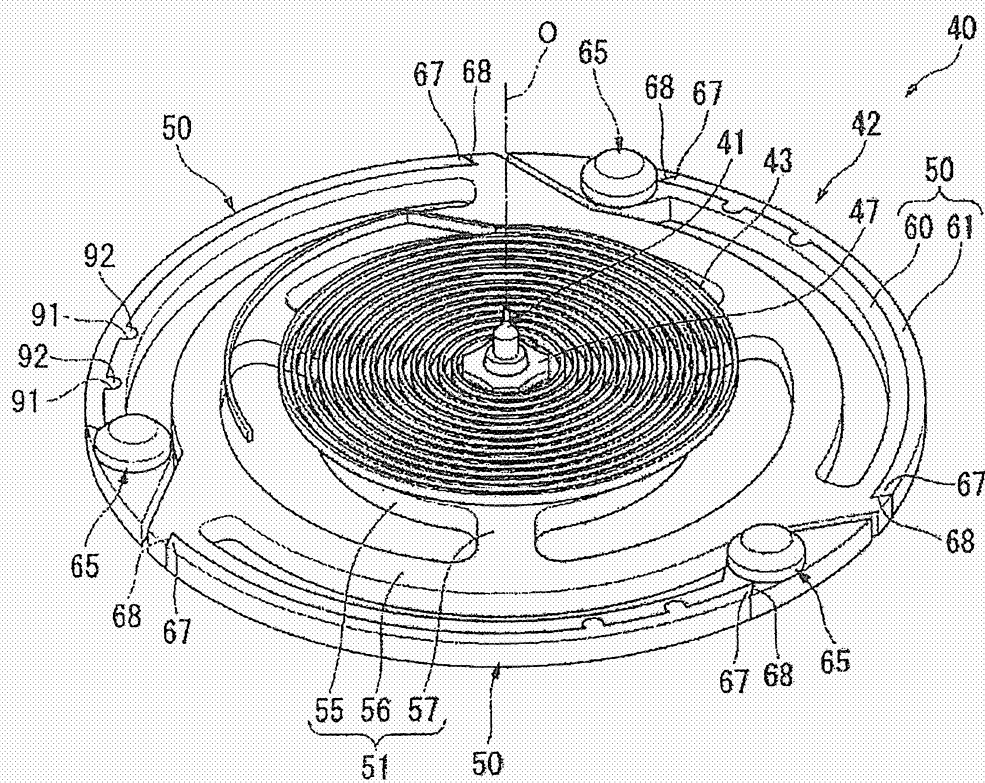


Fig.29

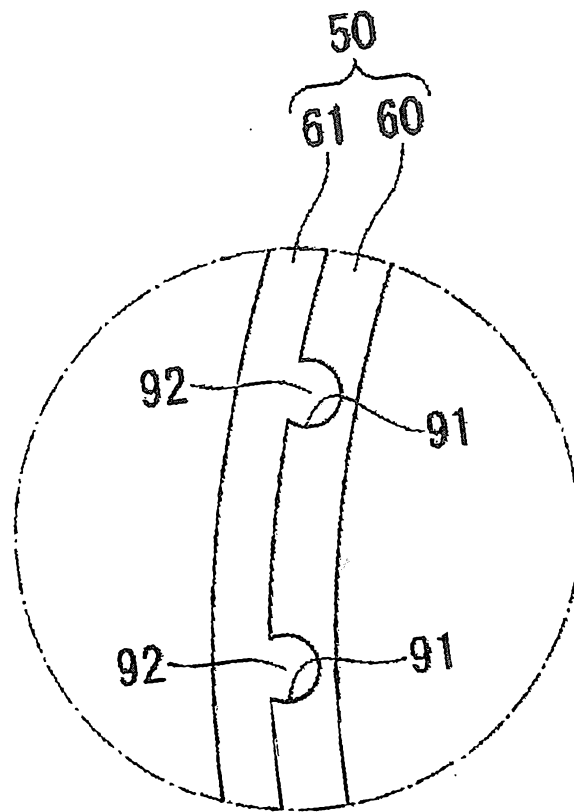


Fig.30

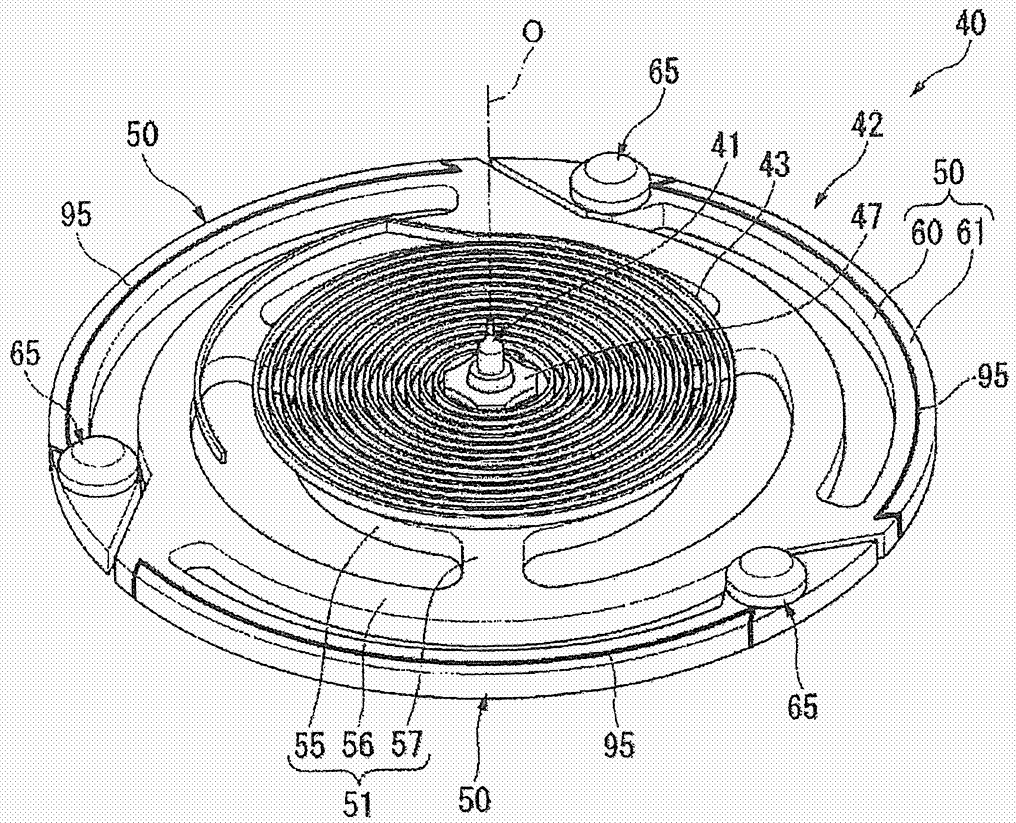


Fig.31

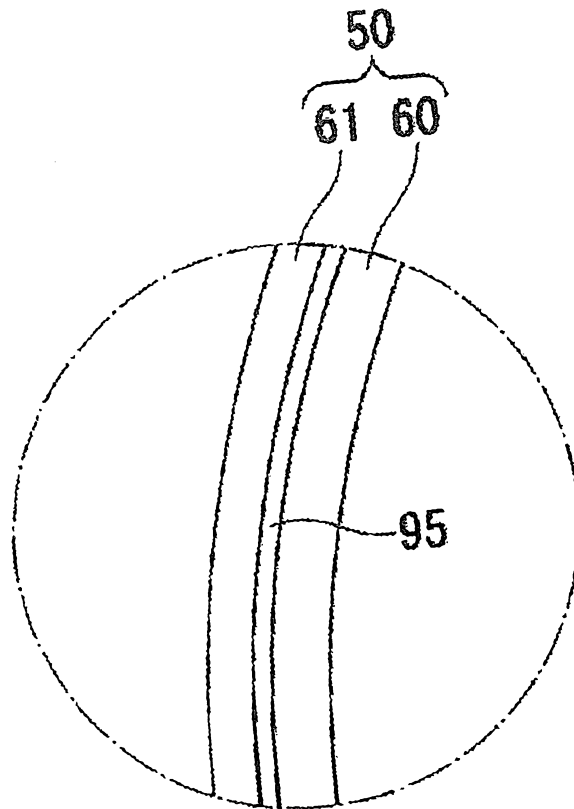


Fig. 32

Matériau en céramique du premier élément	Matériau métallique du second élément					
	Au	Cu	Ni	Alliage de Ni	Sn	Sn-Cu
Si	APPROX. 1 000°C	500°C ~	900 ~ 1100°C	900 ~ 1100°C	700 ~ 900°C	500°C ~
SiC	APPROX. 1 000°C	500°C ~	900 ~ 1100°C	900 ~ 1100°C	700 ~ 900°C	500°C ~

Fig.33

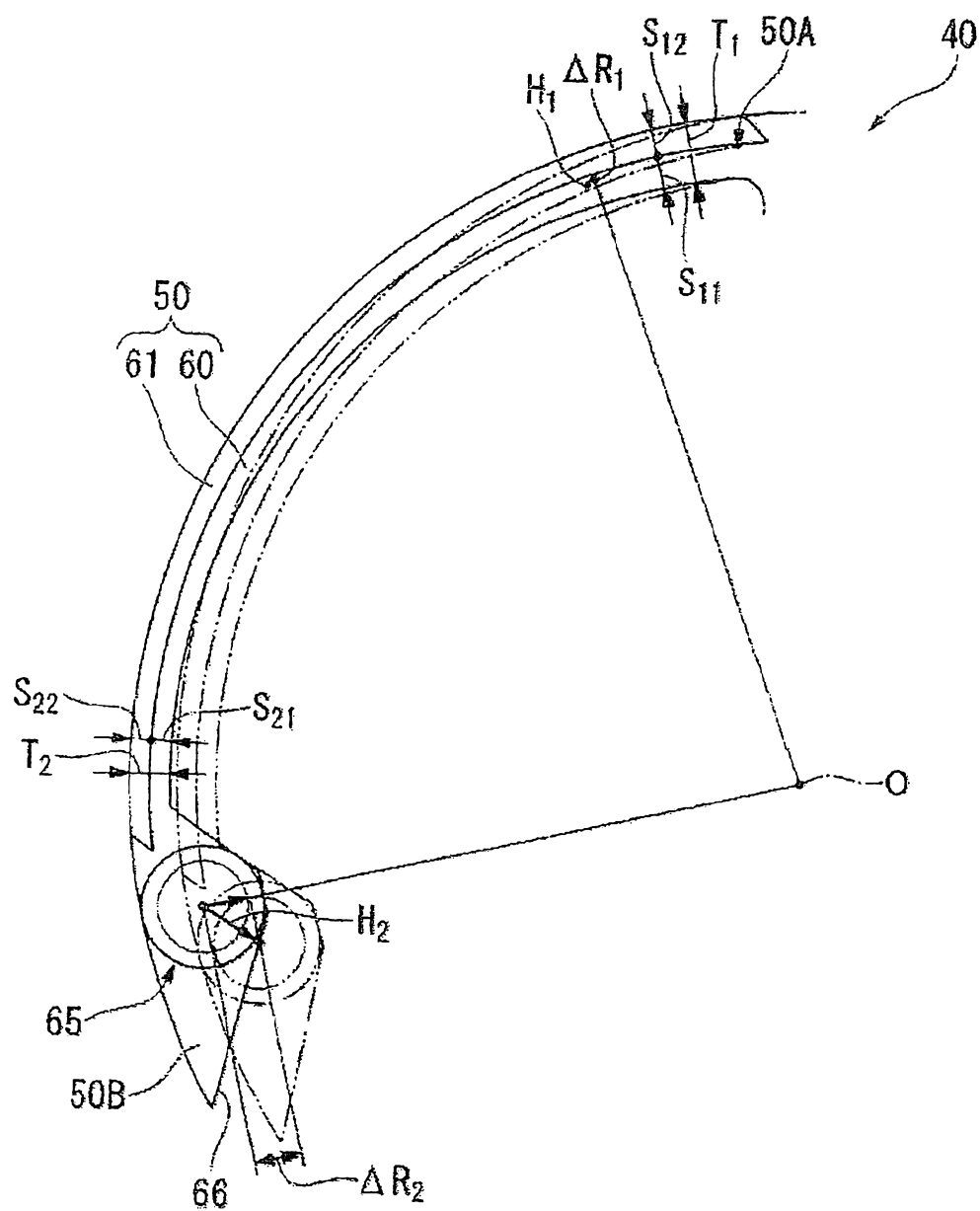
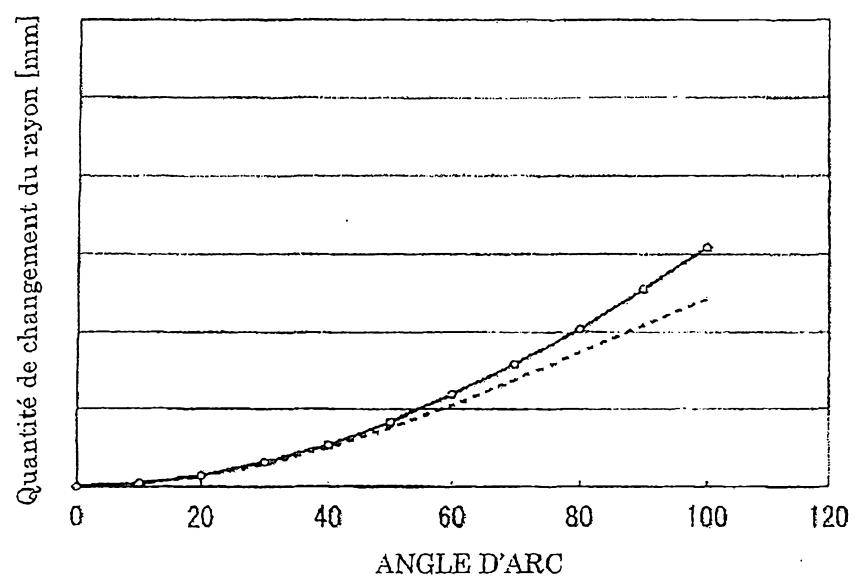


Fig.34



Equation 1

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{K}} \quad \dots (1)$$

Equation 2

$$\frac{S_{11}}{S_{12}} = \frac{S_{21}}{S_{22}} \quad \dots (2)$$

Equation 3

$$\frac{S_1}{S_2} = \sqrt{\frac{E_2}{E_1}} \quad \dots (3)$$