

CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **708 067 B1**

(51) Int. Cl.: **F16F** **1/10** (2006.01)
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: 02921/12

(22) Date de dépôt: 22.10.2008

(24) Brevet délivré: 28.11.2014

(45) Fascicule du brevet publié: 28.11.2014

(62) Demande scindée de: 01664/08

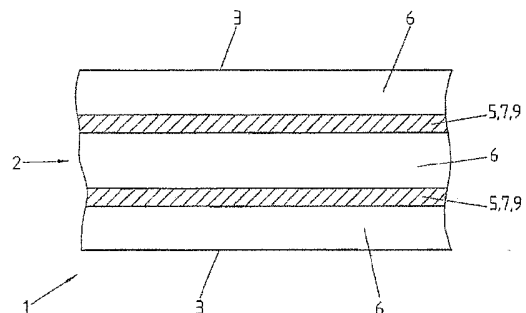
(73) Titulaire(s):
Richemont International SA, Route des Biches 10
1752 Villars-sur-Glâne (CH)

(72) Inventeur(s):
Eric Klein, 2000 Neuchâtel (CH)

(74) Mandataire:
P&TS SA, Av. J.-J. Rousseau 4 P.O. Box 2848
2001 Neuchâtel (CH)

(54) **Ressort spiral de montre autocompensé.**

(57) Ressort spiral (1) destiné à équiper un oscillateur mécanique balancier-spiral de mouvement d'horlogerie ou autre instrument de précision, et comportant un barreau (2) en silicium comprenant une surface extérieure (3), et présentant un premier coefficient thermique du module de Young (CTE), caractérisé en ce que le ressort spiral (1) comporte en outre de la matière pour compenser au moins partiellement le premier CTE du silicium et caractérisé en ce que la matière est ajoutée soit sous la forme d'un revêtement (4, 8) comprenant un métal ou un alliage et couvrant au moins partiellement la surface extérieure (3) du ressort spiral (1); soit à l'intérieur de la surface extérieure (3) de silicium du ressort spiral (1).



Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un spiral pour oscillateur mécanique balancier-spiral de mouvement d'horlogerie ou autre instrument de précision. Plus particulièrement, la présente invention concerne un ressort spiral autocompensé.

Etat de la technique

[0002] L'organe régulateur des montres mécaniques est conventionnellement composé d'un volant d'inertie, appelé balancier et d'un ressort en spirale, appelé spiral ou ressort spiral, fixé par une extrémité sur l'axe du balancier et par l'autre extrémité sur un pont, appelé coq, dans lequel pivote l'axe du balancier. Plus précisément, le ressort spiral équipant, à ce jour, les mouvements de montres mécaniques est une lame métallique élastique de section rectangulaire enroulée sur elle-même en spirale d'Archimède et comportant de 12 à 15 tours.

[0003] Le balancier-spiral oscille autour de sa position d'équilibre (ou point mort). Lorsque le balancier quitte cette position, il arme le spiral. Cela crée un couple de rappel qui, lorsque le balancier est libéré, le fait revenir à sa position d'équilibre. Comme il a acquis une certaine vitesse, donc une énergie cinétique, il dépasse son point mort jusqu'à ce que le couple contraire du spiral l'arrête et l'oblige à tourner dans l'autre sens. Ainsi, le spiral régule la période d'oscillation du balancier.

[0004] La précision des montres mécaniques dépend de la stabilité de la fréquence propre de l'oscillateur formé du balancier-spiral. Lorsque la température varie, les dilatations thermiques du spiral et du balancier, ainsi que la variation du module de Young du spiral, modifient la fréquence propre de cet ensemble oscillant, perturbant la précision de la montre.

[0005] La plupart des méthodes proposées pour compenser ces variations de fréquence sont basées sur la considération que cette fréquence propre dépend exclusivement du rapport entre la constante du couple de rappel exercé par le spiral sur le balancier et le moment d'inertie de ce dernier, comme indiqué dans la relation suivante:

$$F = 1/2\pi (C/I)^{0.5} \quad (1)$$

où:

F = la fréquence propre de l'oscillateur,

C = la constante du couple de rappel exercé par le spiral de l'oscillateur, et

I = le moment d'inertie du balancier de l'oscillateur.

[0006] Par exemple, depuis la découverte des alliages à base de Fe-Ni possédant un coefficient thermique du module de Young (ci-après CTE) positif, la compensation thermique de l'oscillateur mécanique est obtenue en ajustant le CTE du spiral en fonction des coefficients de dilatation thermique du spiral et du balancier. En effet, en exprimant le couple et l'inertie à partir des caractéristiques du spiral et du balancier, puis en dérivant l'équation (1) par rapport à la température, on obtient la variation thermique de la fréquence propre:

$$1/F \, dF/dT = 1/2 (1/E \, dE/dT + 3C_s - 2C_b) \quad (2)$$

où:

$1/E \, dE/dT = \text{CTE}$: est le coefficient thermique du module de Young du spiral,

C_s = le coefficient de dilatation thermique du spiral, et

C_b = le coefficient de dilatation thermique du balancier.

[0007] En ajustant le terme d'autocompensation $A = 1/2 (CTE + 3C_s)$ à la valeur du coefficient de dilatation thermique du balancier C_b , il est possible d'annuler l'équation (2). Ainsi, la variation thermique de la fréquence propre de l'oscillateur mécanique peut être éliminée. Dans l'équation (2), le CTE du spiral est en pratique beaucoup plus élevé que son coefficient de dilatation thermique, et ce dernier peut être négligé.

[0008] Actuellement, on utilise des alliages complexes, tant par le nombre des composants que par les procédés métallurgiques utilisés dans le but d'obtenir une autocompensation des variations du module d'élasticité du métal en combinant deux influences contraires: celle de la température et celle de la magnétocontraction (contraction des corps magnétiques sous l'effet de l'aimantation).

[0009] Cependant, les spiraux composés de ces alliages sont difficiles à fabriquer. Tout d'abord, en raison de la complexité des procédés utilisés pour réaliser les alliages, les propriétés mécaniques intrinsèques du métal ne sont pas constantes d'une production à l'autre. Ensuite, le réglage de l'organe régulateur, qui est la technique permettant de faire en sorte que la montre indique en tout temps l'heure la plus juste, est fastidieux et long. Cette opération nécessite de nombreuses interventions manuelles et beaucoup de pièces défectueuses doivent être éliminées. Pour ces raisons, la production est coûteuse et le maintien d'une qualité constante est un défi permanent.

[0010] Dans le document JP 6 117 470, un ressort en forme de spiral est réalisé en silicium monocristallin. Il est dimensionné de manière à avoir un couple de rappel constant, pour fournir un appareil de mesure électrique de grande précision. Toutefois, ce document est muet quant à la stabilité thermique de la constante du couple de rappel de ce ressort. Il ne peut donc être utilisé directement comme ressort spiral dans une pièce d'horlogerie.

[0011] Dans le document DE 10 127 733, un ressort spiral est fabriqué en silicium monocristallin revêtu de dioxyde de silicium de sorte à obtenir une bonne stabilité de la forme du spiral avec des variations de température. La stabilité thermique de la constante du couple de rappel de ce ressort n'est non plus pas mentionnée dans ce document.

[0012] Le CTE du silicium est fortement influencé par la température et une compensation de cet effet est nécessaire pour son utilisation dans des applications horlogères. En effet, le CTE du silicium est de l'ordre de $-60 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ et la dérive thermique d'un ressort spiral en silicium est ainsi d'environ 155 secondes/jour, pour une variation de température de 23°C $\pm 15^{\circ}\text{C}$. Cela le rend incompatible avec les exigences horlogères qui sont de l'ordre de 8 secondes/jour.

[0013] Le document EP1 422 436 décrit un ressort spiral découpé dans une plaque (001) de silicium monocristallin. Le spiral comporte une couche de SiO_2 , présentant un CTE opposé à celui du silicium et formée autour de la surface extérieure du spiral, afin de minimiser la dérive thermique de l'ensemble balancier-spiral.

[0014] Cependant, la présence d'une couche relativement épaisse, autour de 6% la largeur du ressort spiral, résulte dans un spiral avec un état de surface foncé et mat, ayant un aspect inesthétique.

Bref résumé de l'invention

[0015] Un but de la présente invention est de proposer un dispositif de ressort spiral exempt des limitations de l'état de la technique.

[0016] Un autre but de l'invention est de proposer un ressort spiral destiné à équiper un oscillateur mécanique balancier-spiral de mouvement d'horlogerie ou autre instrument de précision, formé d'un ressort spiral en silicium comportant une surface extérieure et ayant un premier coefficient thermique du module de Young (CTE) compensé.

[0017] Selon l'invention, ces buts sont atteints notamment par un ressort spiral selon le préambule de la revendication 1, le ressort spiral comportant en outre de la matière ajoutée sous forme d'au moins un élément de dopage dans le silicium pour compenser au moins partiellement le premier coefficient thermique du module de Young du barreau.

[0018] Encore selon un autre mode de réalisation de l'invention, la matière est ajoutée sous la forme d'une ou plusieurs couches de silicium dopé, à l'intérieur de la surface extérieure de silicium du ressort spiral.

[0019] Encore selon un autre mode de réalisation de l'invention, le ressort spiral compensé comporte un revêtement de diamant ou DLC (diamond-like carbon) couvrant au moins partiellement sa surface extérieure.

[0020] Cette solution présente notamment l'avantage par rapport à l'art antérieur d'obtenir un spiral en silicium dont la sensibilité aux variations thermiques et aux champs magnétiques est minimisée. De plus, les spiraux en silicium sont facilement usinables et conformables, et permettent des coûts de fabrication faibles. Le ressort spiral de l'invention ne nécessite pas la présence d'une couche relativement épaisse d'oxyde sur sa surface extérieure peut avoir un aspect de surface esthétique.

Brève description des figures

[0021] Des exemples de mise en œuvre de l'invention sont indiqués dans la description illustrée par les figures annexées dans lesquelles:

[0022] la fig. 1 illustre un ressort spiral selon l'invention;

[0023] la fig. 2a montre un segment du ressort spiral en coupe longitudinale selon un mode de réalisation de l'invention;

[0024] la fig. 2a montre un segment du ressort spiral en coupe transversale selon un mode de réalisation de l'invention;

[0025] la fig. 3 montre un segment du ressort spiral selon un autre mode de réalisation de l'invention; et

[0026] la fig. 4 représente un segment du ressort spiral encore selon un autre mode de réalisation de l'invention.

Exemple(s) de mode de réalisation de l'invention

[0027] Le spiral de l'invention, représenté aux fig. 1 à 4, comporte un barreau 2 comprenant une surface extérieure 3, et découpé en spiral dans une plaque en silicium à l'aide d'un procédé d'usinage humide ou sec, tel que l'usinage par plasma ou par le procédé DRIE (Deep Reaction Ion Etching). Le silicium peut être monocristallin, avec une orientation telle que (001), (111) ou autre, ou encore être polycristallin. Le silicium possède un premier coefficient thermique du module de Young (CTE) négatif et est amagnétique. Le barreau a de préférence une section rectangulaire.

[0028] Dans l'exemple des fig. 2a et 2b, qui montrent un segment du ressort spiral 1 en coupe longitudinale et transversale, respectivement, de la matière est ajoutée sous la forme d'un revêtement 4 composé d'un métal ou d'un alliage métallique, et couvrant au moins partiellement la surface extérieure 3 du ressort spiral 1. Dans cet exemple, le revêtement 4 est composé d'un alliage Fe- 36%Ni possédant un deuxième CTE sensiblement positif de manière à compenser le premier CTE du silicium. Préférentiellement, l'alliage est de type Invar® et contient certaines impuretés telles que, par exemple, le carbone et le chrome. Le revêtement 4 possède un deuxième CTE de signe opposé au premier CTE du silicium de manière à compenser, au moins partiellement, le premier CTE du silicium.

[0029] Le revêtement 4 peut également être composé d'autres types d'alliages. Par exemple, un alliage de type Elinvar (Fe- 36%Ni- 12%Cr), ou encore de type Kovar (Fe- 28%Ni- 18%Co) peuvent être employés, dans la mesure où le revêtement 4, composé d'un de ces alliages, permet de compenser au moins partiellement le premier CTE du silicium.

[0030] Dans un autre exemple, le ressort spiral 1 en silicium est revêtu au moins partiellement sur sa surface extérieure 3 d'un alliage à base de niobium et de zirconium, par exemple, Nb- 5%–25%Zr.

[0031] Dans un autre exemple, le ressort spiral 1 est revêtu au moins partiellement sur sa surface extérieure 3 d'un revêtement 4 en métal inoxydable et amagnétique tel que l'or, le platine, le rhodium, le palladium, etc., ayant un deuxième CTE sensiblement positif.

[0032] L'alliage ou le métal peut être réalisé par un procédé de déposition en phase vapeur tel que la déposition PVD, mais peut également être effectué au moyen de divers procédés connus, tels que le sputtering, l'implantation ionique ou le dépôt électrolytique.

[0033] Dans un autre exemple illustré à la fig. 3, qui montre un segment du ressort spiral 1 en coupe longitudinale, le ressort spiral 1 comporte de la matière ajoutée sous la forme d'une ou plusieurs couches métalliques 5, deux dans l'exemple de la fig. 3, située dans le volume du ressort spiral 1, à l'intérieur de la surface extérieure 3 de silicium. Dans cette configuration, chacune des couches métalliques 5 est séparée de l'autre par du silicium 6. Les couches métalliques 5 possèdent un deuxième CTE de signe contraire à celui du CTE du silicium de sorte à compenser au moins partiellement le premier CTE du silicium. Le nombre et l'épaisseur des couches métalliques 5 peuvent être déterminés de manière à compenser au moins partiellement le premier CTE du silicium.

[0034] Encore dans un autre exemple, le ressort spiral 1 comporte de la matière ajoutée sous la forme d'une ou plusieurs couches d'oxyde 7 selon la configuration de la fig. 3. Chacune des couches d'oxyde 7 a un deuxième CTE de signe opposé au premier CTE du silicium, de manière à compenser, au moins partiellement, le premier CTE du silicium. Dans cette configuration, l'oxyde se trouve à l'intérieur de la surface extérieure 3, permettant au ressort spiral 1 de présenter une surface 3 en silicium libre d'une couche d'oxyde épaisse et inesthétique.

[0035] De façon alternative, un revêtement d'oxyde 8 peut également être ajouté de manière à couvrir au moins partiellement la surface extérieure du ressort spiral 1.

[0036] L'oxyde peut être du SiO₂, oxyde de zirconium, ou tout autre oxyde permettant d'obtenir une ou des couches 7 ou un revêtement 8 apte à compenser au moins partiellement le premier CTE du silicium. La ou les couches 7 ou revêtements 8 peuvent également être du nitrure de silicium ou carbure de silicium.

[0037] L'oxyde peut être formé à l'aide de diverses techniques connues comprenant, par exemple, l'oxydation thermique, la déposition en phase vapeur, l'implantation ionique, l'hydrolyse à la flamme, etc.

[0038] Par exemple, le ressort spiral 1 ayant la configuration de la fig. 3 peut être formé en déposant, alternativement, le silicium avec un procédé LPCVD, et l'oxyde avec un procédé PECVD. Le silicium peut également être formé par un procédé PVD.

[0039] Dans une variante du mode de réalisation, l'oxyde est dopé de sorte à modifier le deuxième CTE de l'oxyde, en ajustant le niveau de dopage de celui-ci. L'élément de dopage peut comprendre un élément non métallique comme le bore, le phosphore, l'azote, le carbone, etc., ou un élément métallique, ou encore une mixture de ces éléments. Le dopage peut être réalisé par un procédé de diffusion chimique ou par implantation ionique. Une étape de recuit peut être réalisée afin de densifier la couche 7 ou le revêtement 8 d'oxyde dopé.

[0040] Encore dans un autre mode de réalisation de l'invention, le ressort spiral 1 comporte de la matière ajoutée sous la forme d'un élément de dopage de sorte à produire une ou plusieurs couches de silicium dopé 9 selon la configuration de la fig. 3. Le niveau de dopage du silicium peut être ajusté de manière à modifier le deuxième CTE du silicium dopé de manière à compenser, au moins partiellement, le premier CTE du silicium.

[0041] Dans une variante du mode de réalisation, le silicium peut également être dopé dans une région couvrant au moins partiellement la surface extérieure du ressort spiral 1.

[0042] Dans une autre variante du mode de réalisation, la totalité du silicium du ressort spiral 1 est dopé.

[0043] Le silicium peut être dopé avec un élément non métallique comprenant, par exemple, le bore, le phosphore, l'azote, le carbone, etc., ou un élément métallique, tel que le Fe, Ni, Co, Zr, ou autres, ou encore une mixture de ces éléments. Le dopage peut être réalisé par un procédé de diffusion chimique ou par implantation ionique.

[0044] Encore dans un autre mode de réalisation illustré à la fig. 4, qui montre un segment du ressort spiral 1 en coupe longitudinale, le ressort spiral 1 est fabriqué, dans une première étape, en usinant une première couche de silicium (non représentée) par une technique connue de sorte à créer une ou plusieurs cavités (non représentées), par exemple non traversantes, dans l'épaisseur de cette première couche. Dans une deuxième étape, les cavités sont remplies d'un métal ou alliage, d'un d'oxyde ou de silicium dopé, de sorte à produire des structures 10 ayant un deuxième CTE de signe opposé au premier CTE du silicium. Dans une troisième étape, une deuxième couche de silicium (non représentée) est déposée sur la première couche de silicium comportant les structures 10. Les cavités peuvent être usinées avec une forme rectangulaire, sphérique ou autre, à l'aide d'un procédé d'usinage connu. Les étapes ci-dessus peuvent être répétées plus d'une fois, de manière à produire un ressort spiral 1 composite comportant plusieurs structures 10, deux rangées de plusieurs structures 10 dans l'exemple de la fig. 4, dans une matrice de silicium, capables de compenser, au moins

partiellement, le premier CTE du silicium. Les structures 10 sont disposées à l'intérieur de la surface extérieure 3 du ressort spiral 1.

[0045] Encore dans un autre mode de réalisation non représenté, le ressort spiral 1 comporte des couches 5, 7, 9 composée de matériaux différents, par exemple, une alternance de couches 7 composées d'un oxyde de nature différente d'une couche à l'autre, ou des couches d'oxydes 7 alternées avec des couches métalliques 5, etc.

[0046] Le ressort spiral 1 de l'invention peut également comporter un revêtement de diamant ou de DLC (non représenté) couvrant au moins partiellement la surface extérieure 3 ou le revêtement 4, 8. Un tel revêtement de diamant ou de DLC est avantageux pour ses propriétés mécaniques telles que dureté, faible coefficient de frottement, résistance aux chocs, ainsi qu'à des fins décoratives. Par exemple, le ressort revêtu de diamant ou de DLC sera ainsi moins cassant. La surface du revêtement en diamant ou en DLC peut être oxygénée, hydrogénée ou fluorée, ou encore dopée avec l'un ou une mixture des éléments déjà cités ci-dessus. Le revêtement en diamant ou en DLC peut être déposé directement sur le silicium ou sur une couche intermédiaire d'oxyde, par exemple de SiO_2 .

[0047] Il va de soi que la présente invention n'est pas limitée au mode de réalisation qui vient d'être décrit et que diverses modifications et variantes simples peuvent être envisagées par l'homme de métier sans sortir du cadre de la présente invention.

[0048] Par exemple, d'autres matériaux que ceux mentionnés ci-dessus peuvent également être ajoutés sous les formes et configurations décrites ci-dessus ou encore selon d'autres configurations; dans la mesure où ces matériaux et configurations soient capables de compenser au moins partiellement le premier CTE du silicium.

[0049] Encore dans un autre mode de réalisation de l'invention non représenté, le ressort spiral 1 est fabriqué dans un matériau composite comportant au moins deux matériaux ayant un premier et deuxième CTE opposés, respectivement où la matière ajoutée prend, par exemple, la forme d'une trame dans la matrice de silicium.

[0050] Le ressort spiral 1 peut également être composé d'une matrice métallique constituée d'un alliage tel que l'Invar®, l'Elinvar ou le Kovar, et comprenant des particules de silicium et/ou d'un oxyde, tel que le SiO_2 , le nitrure de silicium ou le carbure de silicium. Les particules, ayant un CTE sensiblement opposé à celui de la matrice, peuvent prendre la forme de sphères, lamelles ou avoir toutes autres formes.

Numéros de référence employés sur les figures

[0051]

- 1 spiral
- 2 barreau
- 3 surface extérieure du barreau
- 4 revêtement métallique
- 5 couche métallique
- 6 silicium
- 7 couche d'oxyde
- 8 revêtement d'oxyde
- 9 couche de silicium dopé
- 10 structure

CTE coefficient thermique du module de Young

Revendications

1. Ressort spiral (1) destiné à équiper un oscillateur mécanique balancier-spiral de mouvement d'horlogerie ou autre instrument de précision, et comportant un barreau (2) en silicium comprenant une surface extérieure (3), le barreau présentant un premier coefficient thermique du module de Young CTE, caractérisé en ce que le ressort spiral (1) comporte de la matière ajoutée sous forme d'au moins un élément de dopage dans le silicium pour compenser au moins partiellement le premier coefficient thermique du module de Young du barreau.
2. Ressort spiral selon la revendication 1, dans lequel ledit au moins un élément de dopage comprend un élément non métallique.
3. Ressort spiral selon la revendication 2, dans lequel ledit au moins un élément de dopage comprend le bore, le phosphore, l'azote, et/ou le carbone.

4. Ressort spiral selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel ledit au moins un élément de dopage comprend un élément métallique.
5. Ressort spiral selon la revendication 4, dans lequel ledit au moins un élément de dopage comprend le Fe, le Ni, le Co, et/ou le Zr.
6. Ressort spiral selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel le niveau de dopage du silicium est ajusté de manière à modifier le CTE du silicium dopé.
7. Ressort spiral selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel une région couvrant au moins partiellement la surface extérieure du ressort spiral (1) est dopée.
8. Ressort spiral selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel la totalité du silicium du ressort spiral (1) est dopée.
9. Ressort spiral selon l'une des revendications 8, comportant un revêtement de diamant ou DLC, couvrant au moins partiellement la surface extérieure (3) du ressort spiral (1).
10. Pièce d'horlogerie comportant un ressort spiral selon l'une des revendications 1 à 9.
11. Procédé de fabrication d'un ressort spiral selon l'une des revendications de 1 à 9, comprenant une étape de doper le silicium à l'aide d'un procédé de diffusion chimique.
12. Procédé de fabrication d'un ressort spiral selon l'une des revendications de 1 à 9, comprenant une étape de doper le silicium à l'aide d'un procédé d'implantation ionique.

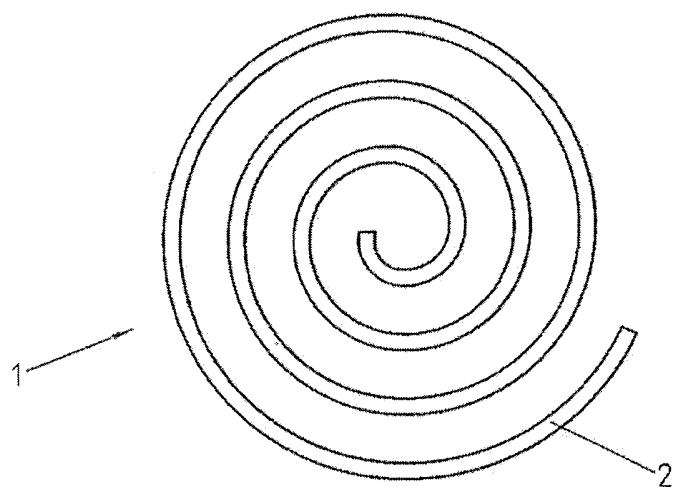


Fig. 1

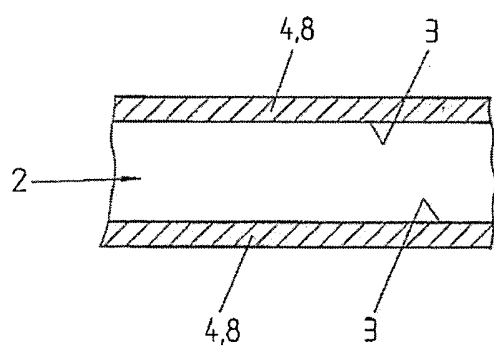


Fig. 2a

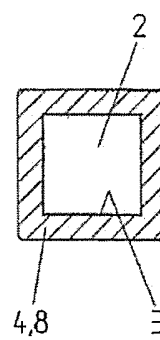


Fig. 2b

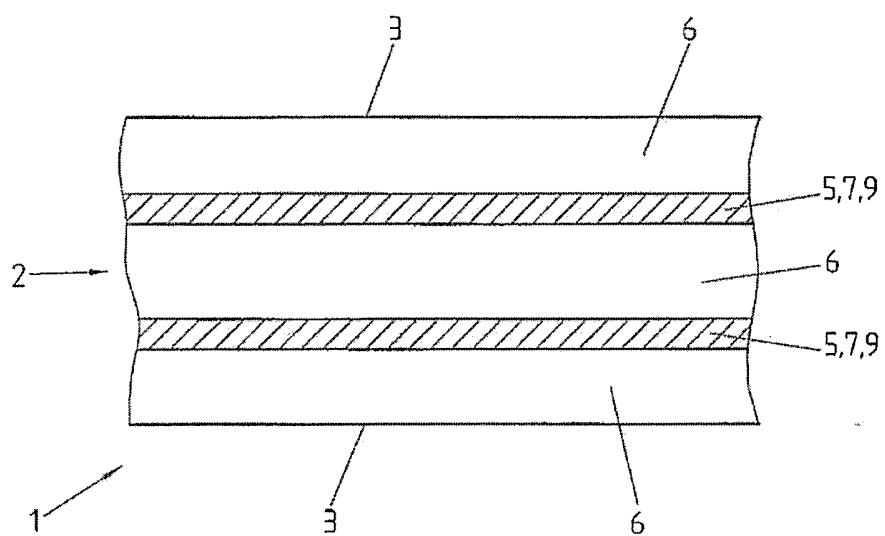


Fig. 3

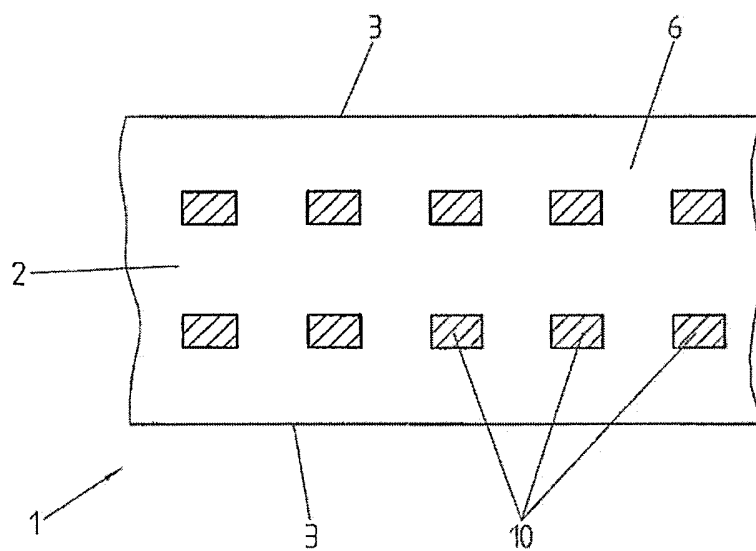


Fig. 4