

CONFÉDÉRATION SUISSE  
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑪ CH 656 044 G A3

⑤① Int. Cl.4: H 03 H 9/215  
G 04 F 5/06

**Demande de brevet déposée pour la Suisse et le Liechtenstein**  
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

⑫ **FASCICULE DE LA DEMANDE** A3

⑳ Numéro de la demande: 2130/83

㉒ Date de dépôt: 20.04.1983

㉓ Priorité(s): 20.04.1982 JP 57-65703

㉔ Demande publiée le: 13.06.1986

㉖ Fascicule de la demande  
publié le: 13.06.1986

㉗ Requérent(s):  
Kabushiki Kaisha Daini Seikosha, Tokyo (JP)

㉘ Inventeur(s):  
Takahashi, Kunihiro, Koto-ku/Tokyo-to (JP)

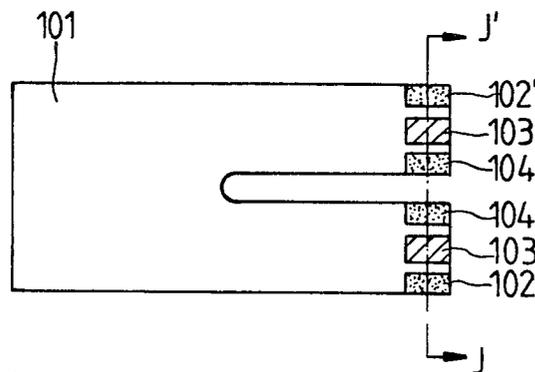
㉚ Mandataire:  
Bovard AG, Bern 25

㉛ Rapport de recherche au verso

⑤④ **Résonateur à diapason.**

⑤⑦ Afin de pouvoir être fabriqué en grandes séries et de façon aisée, le résonateur (101) utilisant un couplage élastique entre la vibration fondamentale du mode de flexion et la vibration fondamentale du mode de torsion, comprend des zones (102, 103, 104, 102', 103', 104'), à l'extrémité des bras, où des masses sont destinées à être ajoutées ou enlevées. Les masses (102, 102', 104, 104') situées près des bords, en direction de la largeur, au haut, des bras du diapason, affectent grandement la fréquence selon le mode de torsion. Par contre, les masses (103, 103') ajoutées ou enlevées au milieu de l'extrémité des bras n'affectent que peu la fréquence selon le mode de torsion, tout en affectant, autant que les masses déposées près des bords, la fréquence selon le mode de flexion.

Ce résonateur à diapason peut être ajusté avec une très grande précision et la différence des deux fréquences de flexion et de torsion peut également être aisément ajustée, ce qui permet un ajustage facile de la caractéristique fréquence-température.





**RAPPORT DE RECHERCHE  
RECHERCHENBERICHT**

Demande de brevet No.:  
Patengesuch Nr.:

2130/83

	<p align="center"><b>DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE</b></p> <p align="center">Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes Kennzeichnung des Dokuments, mit Angabe, soweit erforderlich, der massgeblichen Teile</p>	<p>Revendications con- cernées Betrifft Anspruch Nr.</p>
	<p>FR - A - 2 443 766 (SUWA SEIKOSHA)</p> <p>* ensemble *</p> <p align="center">-----</p>	<p>1-4</p>
<p>Domaines techniques recherchés Recherchierte Sachgebiete (INT. CL<sup>3</sup>)</p> <p align="center">G 04 F 5/06; H 03 H 9/21, 9/215</p>		
<p>Date d'achèvement de la recherche/Abschlussdatum der Recherche</p> <p align="center">26 février 1985</p>		

## REVENDICTIONS

1. Résonateur à diapason, dans lequel intervient, en fonctionnement, un couplage élastique entre un premier et un second mode de vibration, le premier mode étant celui de la vibration fondamentale de flexion et le second mode étant celui de la vibration fondamentale de torsion. caractérisé par la présence d'au moins trois masses séparées disposées au voisinage de l'extrémité libre des bras du diapason, trois d'entre elles étant le long d'une ligne dans la direction de largeur des bras du diapason, les dites masses occupant respectivement, deux types d'endroits qui sont:

a) des endroits médians pour lesquels la fréquence du mode de flexion change, lorsque les masses sont augmentées ou réduites, dans une mesure notablement plus grande que la fréquence du mode de torsion, ce qui permet un ajustage de la différence des dites fréquences et par là un ajustage de la caractéristique fréquence-température du résonateur à diapason,

b) des endroits de bords pour lesquels lors d'une augmentation ou d'une réduction des dites masses, les fréquences selon le mode de flexion et selon le mode de torsion changent approximativement dans la même mesure de façon que leur différence, et avec elle la caractéristique fréquence-température ne subissent aucun changement important.

2. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que des masses sont présentes, pour un ajustage, en des premiers endroits, voisins de l'extrémité libre des bras du diapason, et en des seconds endroits, plus éloignés de cette extrémité libre.

3. Résonateur selon l'une des revendications 1 à 2, caractérisé en ce qu'il est un résonateur en cristal de quartz.

4. Procédé pour ajuster la fréquence et la caractéristique fréquence-température d'un résonateur à diapason selon une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la caractéristique fréquence-température du mode de vibration principal est ajustée par adjonction ou enlèvement de masses dans les dits endroits a) au milieu de la direction de largeur de bras du diapason, au moins approximativement aux points nodaux de la vibration fondamentale du mode de torsion, et en ce que la fréquence de la vibration fondamentale du mode de flexion est ajustée par addition ou enlèvement de masses disposées aux dits endroits b), situés sur le bord des dits bras, dans leur direction de largeur.

La présente invention concerne un résonateur à diapason utilisant un couplage élastique entre un premier et un second mode de vibration, le premier mode étant celui de la vibration fondamentale de flexion et le second mode étant celui de la vibration fondamentale de torsion. Elle concerne plus particulièrement la position des masses pour l'ajustage des fréquences des deux modes.

On a récemment proposé un résonateur à quartz à diapason ayant une caractéristique fréquence-température utilisant un couplage élastique entre un mode de vibration de flexion et un mode de vibration de torsion. Ce résonateur à quartz à diapason a attiré l'attention du public étant donné qu'il a pu servir de résonateur à quartz pour des montres-bracelets de haute précision, capables de présenter une bonne marche annuelle à fréquence relativement basse.

Afin d'améliorer la caractéristique fréquence-température du mode de vibration à la flexion, en utilisant le couplage élastique entre les deux modes, la différence de

fréquence (qui sera désignée ci-après par  $\delta f$ ) des deux modes, doit être établie à une valeur adéquate. Si la longueur et la largeur des bras du diapason sont respectivement  $l$  et  $w$ , et si l'épaisseur de résonateur est  $t$ , la fréquence du mode de flexion (qui sera désignée ci-après par  $f_F$ ) et la fréquence du mode de vibration de torsion (qui sera désignée ci-après par  $f_T$ ) sont respectivement proportionnelles à  $w/l^2$  et  $t/(lw)$ . De ce fait, pour établir  $\delta f$  à la valeur adéquate, c'est l'épaisseur  $t$  du résonateur qui sera établie à une valeur adéquate. Toutefois, étant donné que l'importance de la modification de  $f_T$  en fonction de l'épaisseur  $t$  est extrêmement grande, il est pratiquement impossible d'établir  $\delta f$  à la valeur voulue uniquement en agissant sur l'épaisseur  $t$ .

C'est pour cette raison que l'ajustement de  $\delta f$  a été recherché aussi par addition ou réduction de masses sur le résonateur à diapason. L'ajustement de fréquence par addition ou réduction de masse a deux buts; à savoir premièrement l'ajustement de la fréquence à la valeur désirée, par établissement de la fréquence  $f_F$  du mode de flexion qui est le mode principal, et deuxièmement l'ajustement de fréquence par ajustage de la différence de fréquence  $\delta f$  entre le mode de flexion et le mode de torsion. Dans le dernier cas, il est désirable que la fréquence de l'un des modes ne change presque pas tandis que celle de l'autre mode change fortement lors de l'addition ou de la réduction de masses.

Pour expliquer les choses, on considérera déjà, anticipant sur la nomenclature des figures qui sera donnée plus loin, les fig. 1 et 2 qui illustrent les choses de façon classique. La fig. 1 montre une forme d'exécution classique des positions de masses ajoutées ou enlevées sur un résonateur à quartz à diapason utilisant un couplage électrique entre un mode de vibration secondaire (seconde harmonique) à la flexion et un mode de vibration fondamentale à la torsion. On voit en 11 le résonateur à quartz à diapason, en 12 et 13 des masses ajoutées ou enlevées aux extrémités des bras du diapason, et en 14 et 15 des masses ajoutées ou enlevées en une position  $l'$  qui se situent à une distance de  $0,77l$  depuis le fond de la forme de fourche, si la longueur des bras est  $l$ .  $x$ ,  $y'$  et  $z'$  sont respectivement les directions de la largeur, de la longueur et de l'épaisseur du résonateur, et ces indications se rapportent également aux directions typiques du cristal,  $x$  étant l'axe électrique,  $y$  étant l'axe mécanique et  $z$  étant l'axe optique. L'axe  $y'$  a subi une rotation autour de l'axe  $x$  et l'axe  $z'$  a subi également une rotation autour de l'axe  $x$ .

La fig. 2 représente le déplacement dans la direction  $x$  de la vibration secondaire (deuxième harmonique) du mode de flexion, sur une ligne AB représentant la longueur d'un bras du diapason de la fig. 1. Si la longueur des bras du diapason est  $l$ , le déplacement à la position  $l'$ , distante du point A d'approximativement  $0,77l$ , est égal à zéro. En conséquence,  $f_T$  peut être fortement modifié avec seulement une faible modification de  $f_F$  par addition ou enlèvement des masses 15 et 14 montrées à la fig. 1.

La longueur des bras d'un résonateur à quartz à diapason utilisant un couplage entre la vibration secondaire (harmonique) du mode de flexion et la vibration fondamentale du mode de torsion doit, toutefois, être plus grande que celle des bras d'un résonateur à quartz à diapason utilisant le couplage entre la vibration fondamentale du mode de flexion et la vibration fondamentale du mode de torsion, si les fréquences de chacun des modes de flexion sont les mêmes. De plus, l'épaisseur du résonateur doit être plus grande pour établir le couplage élastique entre le mode de flexion et le mode de torsion. En conséquence, la méthode consistant à utiliser un couplage électrique entre la vibration secondaire (harmonique) du mode de flexion et la vibration fondamentale du mode de torsion est désavantageuse en ce que les

dimensions du résonateur deviennent plus grandes et en ce qu'il faut davantage de temps pour fabriquer le résonateur par attaque chimique utilisant la photolithographie. Ces résonateurs anciennement proposés n'étaient donc pas très favorables pour une production en grandes séries.

L'exposé FR-2 443 766 illustre un tel résonateur de l'art antérieur. Cet exposé concerne un résonateur à quartz du type à diapason à couplage de mode, un mode étant celui de la vibration fondamentale de flexion ( $F_0$ ) ou celui du premier harmonique supérieur de flexion ( $F_1$ ) et l'autre mode étant celui de la vibration fondamentale de torsion ( $T_0$ ).

L'utilisation de l'harmonique ( $F_1$ ) fournissait certains avantages électriques, par contre l'utilisation de la vibration fondamentale de flexion fournit d'importants avantages du point de vue des dimensions et de la fabrication. C'est un résonateur à couplage de mode employant la vibration fondamentale de flexion que la présente invention vise à perfectionner.

Le résonateur selon FR-A 2 443 766 comprenait des masses d'ajustage (8, 9 fig. 6) disposées à différents endroits de la longueur du bras de diapason. Toutefois, cet exposé antérieur ne propose nullement de distinguer différentes localisations transversales des masses d'ajustage. Les masses 8 et 9 se trouvent du reste aux points nodaux de la vibration de flexion et il n'est nulle part question d'utiliser le point nodal de la vibration de torsion. La réalisation d'un résonateur ajusté de cette manière antérieurement connue pose différents problèmes de construction et de fabrication, qu'on peut saisir en considérant les figs. 6 et 10 de cet exposé antérieur. La possibilité de réaliser un résonateur de petites dimensions, en utilisant les deux fréquences fondamentales  $F_0$  et  $T_0$ , implique un mode d'ajustage plus précis et plus économique avec des endroits de modification de masse plus rassemblés. Pour cela la présente invention fera appel, d'une façon que ne suggère pas l'art antérieur, à la distinction transversale d'endroits de masses de réglage, faisant intervenir la notion de points nodaux de la vibration fondamentale de torsion.

Le but de la présente invention est de fournir un résonateur à diapason à couplage de mode plus avantageux que ce que connaissait l'art antérieur, l'invention visant en particulier à fournir un résonateur à diapason utilisant un couplage entre la vibration fondamentale du mode de flexion et la vibration fondamentale du mode de torsion dans lequel l'ajustement de  $\delta f$  soit aisé.

L'invention atteint le but visé par la présence des caractères énoncés dans la première revendication annexée.

Les revendications dépendantes définissent des formes particulières de l'objet de l'invention qui sont avantageuses quant à leurs conditions de fabrication, leur précision, leur fiabilité, etc.

Le dessin annexé illustre, à titre d'exemple et comparativement à ce que connaissait l'art antérieur, des formes d'exécution de l'objet de l'invention; dans ce dessin:

la fig. 1 est une vue en plan d'un résonateur à quartz à diapason présentant des positions de masses classiques,

la fig. 2 est un diagramme représentant l'état du déplacement (classique) du mode de flexion en vibration secondaire (harmonique),

la fig. 3 est une vue en plan d'un résonateur à diapason utilisant un couplage élastique entre la vibration fondamentale à la flexion et la vibration fondamentale à la torsion, conformément à la conception proposée par l'invention,

la fig. 4 est un diagramme représentant la dimension du déplacement en direction d'épaisseur dans le mode de torsion,

la fig. 5 représente l'état du déplacement dans le mode de vibration à la torsion sur une section des bras du diapason,

les fig. 6 et 8 sont des vues en plan représentant les positions de masses ajoutées ou enlevées sur le résonateur à quartz à diapason,

les fig. 7 et 9 sont des diagrammes représentant les modifications de fréquences dans le mode de flexion et dans le mode de torsion dans le cas où des masses sont ajoutées aux positions représentées aux figs. 6 et 8,

la fig. 10 est une vue en plan d'un résonateur à quartz à diapason constituant une forme d'exécution de la conception particulière proposée,

les fig. 11 et 12 sont des vues en coupe selon la ligne J-J de la fig. 10, pour deux variantes d'exécution, et

les fig. 13 et 14 sont des vues en plan représentant respectivement d'autres formes d'exécution conformes à la conception particulière proposée par l'invention.

Les fig. 1 et 2, relatives à l'art antérieur, ayant déjà été brièvement traitées, on considérera maintenant la fig. 3 qui représente une vue en plan d'un résonateur à quartz à diapason utilisant un couplage élastique entre la vibration fondamentale d'un mode de flexion et la vibration fondamentale d'un mode de torsion. On voit en 31, un résonateur à quartz à diapason dont les axes  $x$ ,  $y'$  et  $z'$  sont définis similairement à ceux de la fig. 2.

La fig. 4 représente le déplacement  $uz'$  dans la direction de l'épaisseur de la vibration selon le mode de torsion le long d'une ligne CDE représentée à la fig. 3.  $Uz'$  est le déplacement le plus grand parmi les trois composantes de déplacement du mode de torsion. La fig. 4 montre que la position à laquelle  $f_T$  se modifie le plus par addition ou réduction de masses se situe au voisinage de l'extrémité du bras de diapason.

La fig. 5 montre l'état du déplacement de la vibration selon le mode de torsion en une section de l'extrémité des bras. Une ligne en traits pleins indique la forme de la section à l'extrémité des bras et une ligne en traits pointillés indique l'état de déplacement du mode de torsion. La fig. 5 montre que  $uz'$  est grand à l'endroit des bords dans la direction de la largeur des bras, c'est-à-dire aux points F, G, G' et F', tandis que  $uz'$  est petit au voisinage du milieu en direction de largeur. En conséquence, une modification de  $f_T$  peut être attendue comme étant plus grande à l'endroit des bords dans la direction de la largeur que dans le milieu dans cette direction de largeur des bras de diapason, lors de l'addition ou de l'enlèvement d'une quantité égale de masses.

la fig. 6 montre les positions 61, 61' des masses ajoutées ou enlevées au résonateur à quartz à diapason utilisant un couplage élastique entre la vibration fondamentale du mode de flexion et la vibration fondamentale du mode de torsion. La position à laquelle les masses sont ajoutées ou enlevées sur les bras est  $l'' = l/5$ , endroit distant du haut ou de l'extrémité des bras de diapason si la longueur des bras est  $l$ .

La fig. 7 montre l'importance des modifications de  $f_T$  et  $f_F$  lorsque les masses sont déposées à l'endroit  $l''$ , par évaporation ou par une méthode similaire. A la fig. 6, les abscisses représentent les positions H, I, H' et I' dans la direction de l'axe  $x$  au haut des bras de la forme de diapason montrée à la fig. 6. Les ordonnées représentent la déviation de fréquence  $\delta f/f$  de  $f_F$  et de  $f_T$ . Les courbes 71 et 72 représentent respectivement l'importance des modifications  $f_F$  et  $f_T$ . Les valeurs des modifications concernant  $f_F$  et  $f_T$  sont calculées par la méthode des éléments finis.

La fig. 7 montre clairement que l'importance de la modification concernant  $f_F$  ne dépend presque pas de la position des masses dans la direction de largeur des bras, tandis que la fréquence  $f_T$  ne change presque pas du fait des masses disposées au milieu mais change grandement du fait

des masses disposées aux deux bords, dans la direction de la largeur des bras.

La fig. 8 est une vue en plan d'un résonateur à quartz à diapason utilisant un couplage élastique entre la vibration fondamentale du mode de flexion et la vibration fondamentale du mode de torsion.  $x$ ,  $y'$  et  $z'$  sont définis similairement aux axes représentés à la fig. 1. La direction de largeur des bras du diapason est divisée en trois régions, 81 et 81', 82 et 82' et 83 et 83'.

La fig. 9 représente l'état des changements de  $f_F$  et  $f_T$  lorsque des masses sont déposées sur les trois régions des bras de diapason le long de leur direction longitudinale. A la fig. 9, les abscisses représentent la direction de longueur des bras du diapason, c'est-à-dire les positions dans la direction  $y'$  de la fig. 8. Les extrémités des bras sont à la position 1 et le creux entre les bras est à la position zéro. Les ordonnées indiquent la déviation de fréquences  $\delta f/f$  concernant  $f_F$  et  $f_T$ . Les modifications de  $f_F$  et  $f_T$  sont également calculées par la méthode des éléments finis, similairement au cas de la fig. 7.

Sur cette figure, la courbe 91 représente l'évolution de  $f_F$  pour l'apport de masses sur les trois régions divisées selon la largeur des bras, comme représenté à la fig. 8, et cette courbe montre que les changements concernant  $f_F$  présentent seulement de petites différences dans les trois régions. La courbe 92 représente la déviation de fréquence de  $f_F$  lorsque les masses sont déposées sur les deux bords en direction de largeur des bras du diapason, dans les zones 81, 81' et 83, 83', représentées à la fig. 8. La courbe 93 représente la déviation de  $f_T$  lorsque les masses sont déposées dans la zone centrale en direction de la largeur des bras du diapason, c'est-à-dire en 82, 82', comme indiqué à la fig. 8.

La fig. 9 montre clairement que les positions des masses auxquelles le changement de  $f_T$  est maximum sont les bords, en direction de la largeur, à l'endroit de l'extrémité des bras. Par ailleurs, la position des masses à laquelle le rapport de déviation des fréquences  $f_T$  et  $f_F$  ( $\delta f_T/f_T$ ) / ( $\delta f_F/f_F$ ) est minimum se situe au milieu dans la direction de la largeur, au haut (ou à l'extrémité) des bras. Selon la conception proposée,  $f_T$  est ajustée par addition ou réduction de masses aux bords en direction de la largeur à l'endroit du haut des bras, tandis que  $f_F$  est ajustée par addition ou réduction de masses au milieu en direction de la largeur, au haut des bras. Par le premier ajustement,  $f_T$  change fortement tandis que le second ajustement susmentionné modifie  $f_F$  sans changer  $f_T$ . En conséquence, la dispersion concernant  $f_T$  provenant de la dispersion affectant l'épaisseur du résonateur peut être ajustée (compensée) par les masses aux bords en direction de la largeur du haut des bras du diapason, et, simultanément,  $f_F$  et la différence entre  $f_F$  et  $f_T$  sont ajustées aux valeurs désirées respectives par les masses au milieu, en direction de la largeur du haut des bras.

Les fig. 7 et 9 considérées ensemble, montrent bien qu'il existe sur chaque bras du diapason un endroit de la longueur  $l$ , situé non loin de l'extrémité libre, où les masses provoquent des déviations de fréquence qui sont égales pour la fréquence de flexion  $f_F$  et la fréquence de torsion  $f_T$ . Le dépôt ou l'enlèvement de masses à ces endroits là ne modifie donc pas la différence entre les deux fréquences (de flexion et de torsion), différence dont dépend, comme on l'a dit, la caractéristique fréquence-température. Ceci fournit, comme mentionné en liaison avec les formes d'exécution suivantes, la possibilité de régler la fréquence sans toucher à la caractéristique fréquence-température.

La fig. 10 est une vue en plan d'un résonateur à quartz à diapason constituant une forme d'exécution de la conception particulière proposée. Sur le résonateur à quartz à diapason 101, on voit des positions de masses 102, 102', 104 et 104' où des masses sont ajoutées ou enlevées pour l'ajustage de  $f_T$ ,

tandis qu'on voit en 103 et 103' des positions de masses où des masses sont ajoutées ou enlevées pour ajuster simultanément  $\delta f$  et  $f_F$ .

La fig. 11 est une vue en coupe de l'extrémité des bras, selon la ligne J-J' de la fig. 10. On voit les bras 111 et 112 du diapason de cristal de quartz, sur lesquels se trouvent des masses de base 113 et 113' faites de Cr, d'Au, ou d'un matériau similaire. En 114, 114', 116 et 116' se trouvent les masses que l'on augmente ou que l'on réduit pour ajuster  $f_T$  qu'en 115 et 115' se trouvent les masses que l'on augmente ou que l'on réduit pour ajuster  $f_F$  et  $\delta f$ .

La fig. 12 est une vue en coupe à travers l'extrémité des bras du diapason, également selon la ligne J-J' de la fig. 10. La variante selon la fig. 12 diffère de celle de la fig. 11 par le fait que des masses sont ajoutées ou enlevées sur les deux surfaces des extrémités des bras. Les masses augmentées ou diminuées, d'une part sur les bords, et d'autre part au milieu, en direction de la largeur du bras de diapason, ont le même effet qui a été expliqué dans le cas de la fig. 11.

Aussi bien la forme d'exécution de la conception proposée qui est représentée à la fig. 11 que celle qui est représentée à la fig. 12, montrent que les portions principales des masses ajoutées ou enlevées sur la masse de base ont déposées séparément sur les bords et au milieu relativement à la direction de la largeur des bras. Par ce fait, le positionnement des masses peut être effectué d'une façon précise aussi bien s'il s'agit d'ajouter des masses par dépôt par évaporation (ou par une autre méthode équivalente) que s'il s'agit de diminuer les masses, à l'aide d'un rayon laser (ou par une méthode équivalente). De cette façon, les ajustements de  $f_F$  et  $f_T$  sont effectués de façon aisée.

Concernant les formes d'exécution des fig. 10 à 12, on note que, en correspondance avec ce qui ressort de la fig. 9, les masses marginales sont 102, 102', 114, 114', 116, 116' à la fig. 11, (non référencées à la fig. 12) peuvent être disposées de façon à provoquer les mêmes modifications des deux fréquences  $f_F$  et  $f_T$ . Dans ce cas, on ajustera avec avantage d'abord la caractéristique fréquence-température (à l'aide des masses médianes 103, 103'), puis la fréquence principale  $f_F$  (et en parallèle avec elle la fréquence  $f_T$ ), sans que la caractéristique fréquence-température, préalablement établie, soit modifiée. Un cheminement d'ajustage du même type va du reste être expliqué en liaison avec la forme d'exécution de la fig. 13, qui permet un ajustage en trois temps: la fréquence approximative, puis la caractéristique fréquence-température, puis la fréquence exacte, sans changement de la caractéristique fréquence-température.

La fig. 13 est une vue en plan d'une autre forme d'exécution correspondant également à la conception particulière proposée. Sur un résonateur à quartz à diapason 131, se trouvent des endroits 132, 132', 134 et 134' sur lesquels des masses sont ajoutées ou enlevées, aux bords en direction de la largeur, à l'extrémité des bras. Des endroits 133 et 133' sont ceux auxquels des masses sont ajoutées ou enlevées au milieu, relativement à la largeur du bras, à l'endroit de l'extrémité des bras. Des masses ajoutées ou enlevées en d'autres positions encore, 135, 135', 136 et 136' ont la propriété d'être capables de modifier  $f_F$  et  $f_T$  sans changer la caractéristique fréquence-température, étant donné que la déviation des fréquences  $f_F$  et  $f_T$  est alors pratiquement la même, comme cela ressort de la fig. 9. Ainsi, dans le cas où la fréquence  $f_F$  ne se trouve pas établie à la valeur désirée, malgré que la caractéristique fréquence-température a déjà été améliorée par addition ou enlèvement de masses à l'endroit des extrémités des bras, il est encore possible de modifier la fréquence  $f_F$  pour l'amener à la valeur désirée,

sans changer la caractéristique fréquence-température, par addition ou enlèvement des masses aux positions 135, 135', 136, 136'.

La fig. 14 est une vue en plan représentant encore une autre forme d'exécution d'un résonateur à diapason conforme à la conception particulière proposée. Sur un résonateur à quartz 141 se trouvent des endroits 142, 142', 144 et 144', sur lesquels des masses sont ajoutées ou enlevées, aux bords en direction de la largeur à l'extrémité des bras, des positions 143 et 143' étant prévues pour ajouter ou enlever des masses au milieu en direction de la largeur à l'extrémité des bras. La fréquence  $f_T$  ne se modifie pratiquement pas tandis que la fréquence  $f_F$  se modifie fortement par adjonction ou enlèvement de masses en d'autres positions encore, moins proches des extrémités des bras, 145 et 145'. Ainsi, dans le cas où la fréquence  $f_F$  ne peut pas être ajustée à la valeur désirée par adjonction ou enlèvement de masses aux extrémités des bras, des masses peuvent être ajoutées ou enlevées aux endroits 145 et 145', pour permettre d'établir  $f_F$  à la valeur désirée.

Il y a lieu de noter que, bien que les formes d'exécution susmentionnées aient illustré le cas d'un résonateur à quartz,

à titre d'exemple, le matériau utilisable pour le résonateur ne se restreint pas au cristal de quartz, puisque les considérations ci-dessus peuvent être appliquées également à des résonateurs faits d'autres matériaux.

5 Comme cela vient d'être illustré en détail, un résonateur à diapason utilisant un couplage élastique entre la vibration fondamentale d'un mode de flexion et la vibration fondamentale d'un mode de torsion, selon la conception particulière proposée par l'invention, présente la particularité évidente et avantageuse de rendre possible l'ajustement de  $\delta f$ , ce par quoi une bonne caractéristique fréquence-température de la vibration selon le mode de flexion peut être réalisée dans le cas d'une production en grandes séries. De plus, la conception particulière proposée par l'invention permet de réduire les dimensions du résonateur à diapason 15 puisque c'est la vibration fondamentale du mode de vibration à la flexion qui est utilisée, ce qui rend le résonateur particulièrement adéquat pour une production en série, notamment lorsqu'il est fabriqué par photo-lithographie, 20 comme cela est le cas des résonateurs à quartz, étant donné que la petitesse de l'épaisseur favorise la fabrication du résonateur de cette manière.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 1

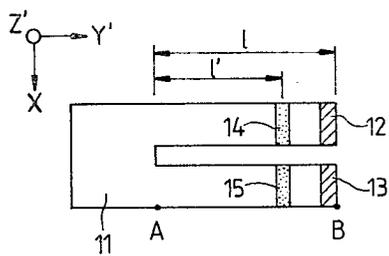


FIG. 2

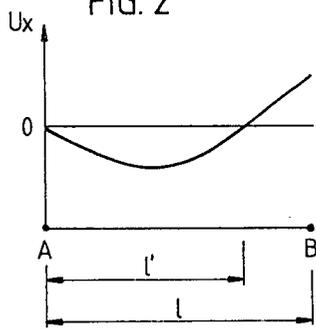


FIG. 3

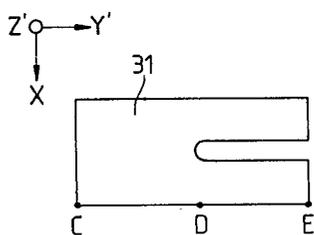


FIG. 4

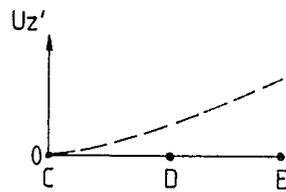


FIG. 5

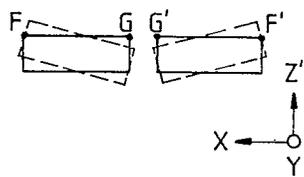


FIG. 6

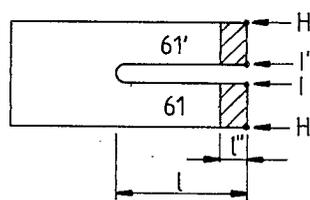


FIG. 13

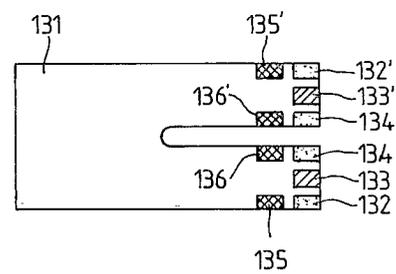


FIG. 14

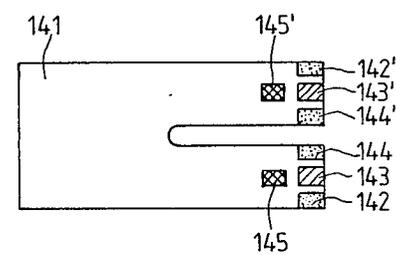


FIG. 7

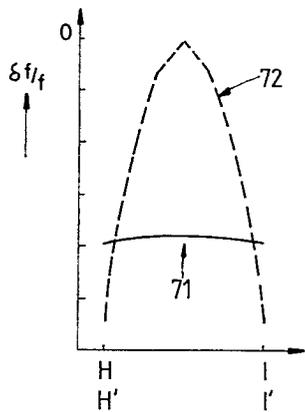


FIG. 8

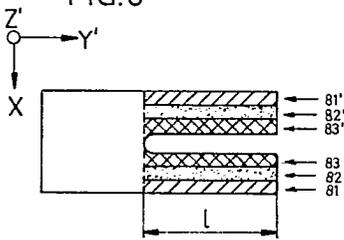


FIG. 9

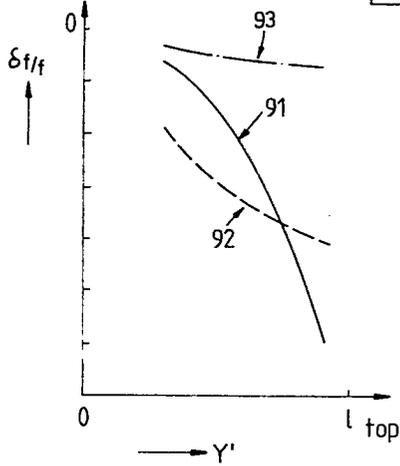


FIG. 10

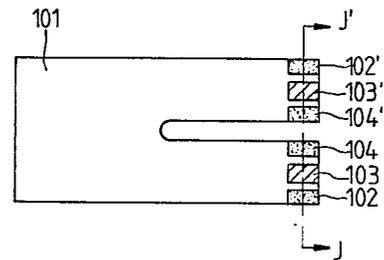


FIG. 11

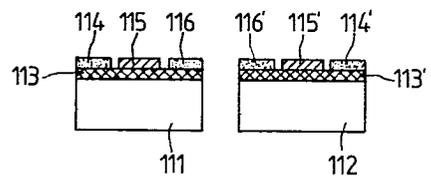


FIG. 12

