



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑤① Int. Cl.<sup>3</sup>: G 04 C  
G 04 F  
H 03 H

3/12  
5/06  
9/21

**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

⑪

**627 907 G**

⑳ Numéro de la demande: 3165/78

㉔ Date de dépôt: 22.03.1978

㉓ Priorité(s): 22.03.1977 JP 52-31423

㉒ Demande publiée le: 15.02.1982

㉒ Fascicule de la demande  
publié le: 15.02.1982

㉒ Requêteur(s):  
Kabushiki Kaisha Daini Seikosha, Tokyo (JP)

㉒ Inventeur(s):  
Hirofumi Kawashima, Tokyo (JP)

㉒ Mandataire:  
Bovard & Cie., Bern

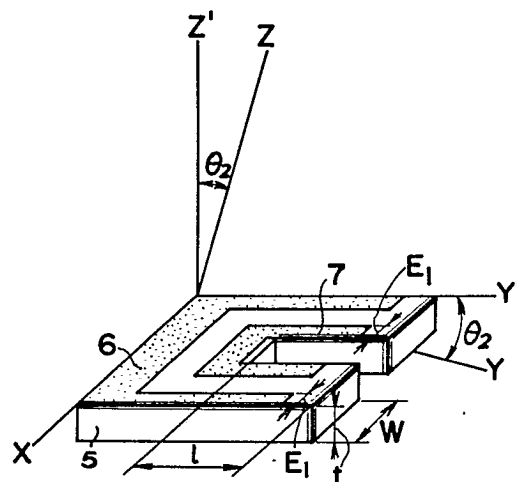
OCTROOI  
ONGEWIJZIGD  
VERLEEND

㉒ Rapport de recherche au verso

㉒ **Vibreux à diapason au tantalate de lithium, procédé de fabrication de celui-ci.**

㉒ En vue de permettre sa réalisation en des dimensions extrêmement petites tout en lui assurant une bonne stabilité de fréquence, ce vibreur comprend un corps de vibreur (5) sur lequel sont disposées des électrodes d'excitation (6 et 7). Le plan du vibreur a subi autour de l'axe X une rotation d'un angle ( $\theta_2$ ) compris entre 48 et 55°. La largeur (W) des bras du vibreur en forme de diapason est plus grande que l'épaisseur (t). Le vibreur convient particulièrement pour une utilisation dans une montre électronique.

Il peut être fabriqué avantageusement par une méthode d'attaque chimique.





# RAPPORT DE RECHERCHE RECHERCHENBERICHT

Demande de brevet No.:  
Patentgesuch Nr.:

CH 3165/78

I.I.B. Nr.:

HO 13 152

Documents considérés comme pertinents Einschlägige Dokumente		
Catégorie Kategorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes. Kennzeichnung des Dokuments, mit Angabe, soweit erforderlich, der massgeblichen Teile	Revendications con- cernées Betrifft Anspruch Nr.
	DE - A - 2 410 010 (KINSEKISHA LABORA- TORY LTD.) * les figures; de page 1, ligne 1 à page 2, ligne 9; de page 3, ligne 1 à page 4, ligne 4; page 5, lignes 18-27 *	1-3
	FR - A - 2 075 375 (WESTERNELECTRIC) * figure 1; de page 3, ligne 31 à page 4, ligne 33; de page 5, ligne 28 à page 6, ligne 30 *	1, 2
	& US - A - 3 601 639	
P	JP - A - 52 120694 (SUWA SEIKOSHA) * la totalité de l'abrégé *	1-5
P	JP - A - 52 128094 (SUWA SEIKOSHA) * La totalité de l'abrégé *	1-5
-----		
<p>Domaines techniques recherchés Recherchierte Sachgebiete (INT. CL.<sup>2</sup>)</p> <p>H 03 H 9/00 H 03 H 3/00 G 04 F 5/06</p>		
<p>Catégorie des documents cités Kategorie der genannten Dokumente:</p> <p>X: particulièrement pertinent von besonderer Bedeutung A: arrière-plan technologique technologischer Hintergrund O: divulgation non-écrite nichtschriftliche Offenbarung P: document intercalaire Zwischenliteratur T: théorie ou principe à la base de l'invention der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: demande faisant interférence kollidierende Anmeldung L: document cité pour d'autres raisons aus andern Gründen angeführtes Dokument &amp;: membre de la même famille, documen correspondant Mitglied der gleichen Patentfamilie; übereinstimmendes Dokument</p>		

Etendue de la recherche/Umfang der Recherche

Revendications ayant fait l'objet de recherches  
Recherchierte Patentansprüche: ensemble

Revendications n'ayant pas fait l'objet de recherches  
Nicht recherchierte Patentansprüche:

Raison:  
Grund:

Date d'achèvement de la recherche/Abschlussdatum der Recherche

Examineur I.I.B./I.I.B. Prüfer

## REVENDECATIONS

1. Vibreur à diapason, au tantalate de lithium, travaillant à la flexion, présentant un facteur de couplage électromécanique  $k$  situé entre 0,04 et 0,1, et découpé dans une plaque en coupe Z tournée d'un angle de 48 à 55° autour de l'axe X, caractérisé en ce que la largeur (W) des bras du diapason est plus grande que leur épaisseur (t), cette largeur (W) étant inférieure à 0,5 mm.

2. Vibreur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la largeur (E) des électrodes disposées sur les bras du diapason est inférieure au tiers de la largeur (W) de ces bras.

3. Vibreur selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend, sur chacune des surfaces de dessus et de dessous de chaque bras du diapason, deux électrodes qui sont disposées symétriquement sur lesdites surfaces.

4. Procédé de fabrication du vibreur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on le découpe par attaque chimique.

La présente invention concerne un vibreur à diapason au tantalate de lithium travaillant à la flexion, présentant un facteur de couplage électromécanique  $k$  situé entre 0,04 et 0,1 et découpé dans une plaque en coupe Z tournée d'un angle de 48 à 55° autour de l'axe X. Elle concerne également son procédé de fabrication.

Les publications antérieures DE N° 2410010 et FR N° 2075375 suggèrent des vibreurs correspondant approximativement à cette définition générique. Toutefois, ils ne fournissent pas d'indication quant à une manière particulièrement avantageuse de configurer et dimensionner le vibreur pour une exécution miniature présentant une excellente stabilité de fréquence.

Actuellement, on utilise en général des cristaux de quartz en tant que vibreurs piézo-électriques pour les montres électroniques. La raison en est qu'un cristal de quartz forme un cristal unique ayant une très petite proportion d'impuretés et une haute stabilité chimique. Mais cela ne suffit pas pour permettre de façon très avantageuse une utilisation en tant que vibreur pour montre, du fait que le cristal de quartz présente un facteur de couplage électromécanique relativement faible. Il se révèle en effet peu adéquat que le facteur de couplage électromécanique  $k$  d'un vibreur à cristal de quartz travaillant à la flexion, du type actuellement en usage, ait une valeur aussi faible qu'approximativement 0,04 et qu'ainsi la courbe de variation capacité-fréquence n'ait qu'une pente assez faible. Cet inconvénient sera du reste expliqué plus loin en liaison avec les fig. 1 à 4.

Le principal but de cette invention est de fournir un vibreur miniature au tantalate de lithium, travaillant à la flexion et présentant une haute stabilité de fréquence, obtenue par une mesure selon laquelle un facteur de couplage électromécanique adéquat procède d'un dimensionnement avantageux, particulièrement étudié.

Conformément à l'invention, ce but est atteint par la présence des caractères énoncés dans la première revendication annexée.

On note que, conjointement, une caractéristique de température particulièrement bonne est atteinte par sélection d'un angle de coupe adéquat de la plaquette de vibreur.

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 perspective d'un vibreur de type connu, travaillant à la flexion et ayant la forme d'un diapason,

la fig. 2 représente schématiquement la disposition des électrodes sur le vibreur à diapason de la fig. 1,

la fig. 3 est un schéma représentant un circuit oscillateur établi à l'aide d'un vibreur à diapason tel que celui de la fig. 1,

la fig. 4 est un diagramme représentant la caractéristique «valeur de capacité variable/valeur de la fréquence» d'un vibreur à diapason

à cristal de quartz dont le facteur de couplage électromécanique est de 0,04,

la fig. 5 est un diagramme représentant la caractéristique de température d'un vibreur à diapason à cristal de quartz de type connu,

la fig. 6 est une vue en perspective d'un vibreur à  $\text{LiTaO}_3$ , donnée dans un but explicatif en liaison avec une analyse théorique du fonctionnement d'un tel vibreur, conformément à l'invention,

la fig. 7 est une vue en perspective d'un vibreur à diapason à  $\text{LiTaO}_3$ , conforme à l'invention,

la fig. 8 montre schématiquement la disposition des électrodes sur le vibreur de la fig. 7,

la fig. 9 est un schéma du circuit équivalent audit vibreur au  $\text{LiTaO}_3$ ,

la fig. 10 est un diagramme illustrant la caractéristique «valeur de la capacité variable/valeur de la fréquence» du vibreur selon l'invention, à  $\text{LiTaO}_3$ , travaillant à la flexion,

la fig. 11 est une vue en perspective d'une autre forme d'exécution d'un vibreur selon l'invention, travaillant à la flexion, et

la fig. 12 représente schématiquement la disposition et la connexion des électrodes sur le vibreur à diapason, à  $\text{LiTaO}_3$ , travaillant à la flexion, selon la fig. 11.

Le vibreur connu, représenté en perspective à la fig. 1, est un vibreur à cristal de quartz qui comprend un corps 1 en forme de diapason et des électrodes 2 et 3 qui sont disposées, pour l'exciter, sur les surfaces supérieure, inférieure et latérale du vibreur. Les axes X, Y et Z représentés à la fig. 1 sont respectivement les axes électrique, mécanique, optique. La fig. 2 montre, sur une vue en coupe à travers ce vibreur à diapason à cristal de quartz, la direction, indiquée par des flèches, des champs électriques qui s'établissent lorsqu'une tension négative charge les électrodes 2 tandis qu'une tension positive charge les électrodes 3 sur les bras du diapason. La composante de champ électrique nécessaire pour exciter le vibreur à quartz est celle qui existe dans la direction de l'axe X, et l'on voit que cette composante de champ électrique selon l'axe X est relativement forte seulement à proximité des surfaces latérales des bras du diapason. Par contre, on voit que cette composante de champ électrique selon l'axe X devient proportionnellement plus faible à l'approche de la portion centrale des bras et qu'elle est égale à zéro au centre de ceux-ci. L'énergie pour exciter ce bras de diapason est donc en pratique faible. Lorsque le vibreur à cristal de quartz comprenant cette construction d'électrodes représentée à la fig. 2 est excité, le facteur de couplage électromécanique  $k$  de ce vibreur est d'approximativement 0,04, ce qui est très faible comparé à ce qui se présente avec d'autres matériaux piézo-électriques.

La fig. 3 montre un circuit oscillateur, en construction en circuit intégré MOS, une résistance de réaction  $R_f$  et un vibreur à cristal de quartz 4 étant connectés entre la gate et le drain d'un transistor amplificateur, c'est-à-dire entre l'entrée et la sortie d'un amplificateur. Un condensateur variable  $C_G$  est connecté sur l'entrée de l'amplificateur tandis qu'une résistance  $R_D$  et un condensateur  $C_D$  sont connectés en série sur la sortie de l'amplificateur, les deux condensateurs  $C_G$  et  $C_D$  étant mis à la masse par leur autre électrode.

La fig. 4 montre les variations de la fréquence de résonance du vibreur à diapason à cristal de quartz, dans le circuit oscillateur de la fig. 3, dans le cas où le facteur  $k$  de couplage électromécanique du vibreur est d'approximativement 0,04. Le paramètre représenté par la coupe de la fig. 4 concerne la possibilité d'accorder la fréquence.

La possibilité d'accorder la fréquence d'un vibreur à diapason à cristal de quartz actuellement utilisé s'établit dans un domaine de fréquence qui s'étend approximativement sur 40,5/1 000 000 de la fréquence de résonance du vibreur, lorsqu'un condensateur ajustable (correspondant au condensateur  $C_G$  dans l'oscillateur comme celui de la fig. 3) varie de 10 pF à 50 pF. Cependant, ce domaine de variation est faible pour un vibreur destiné à une montre, étant donné que, bien que le vibreur à cristal de quartz puisse être fabriqué d'une façon améliorée pour présenter toujours la même fréquence de résonance requise, il y a en pratique des fluctuations considérables à

ce sujet, de sorte que, pour obtenir la fréquence de résonance nécessaire, il faut que celle-ci soit ajustée à l'aide du condensateur variable ( $C_G$ ). Cela présente l'inconvénient qu'un vibreur à cristal de quartz ne peut pas toujours être mis à la fréquence de résonance requise s'il présente un domaine de possibilités d'accord de fréquence relativement étroit en même temps qu'une large marge de fluctuations possibles. Pour cette raison, le domaine de possibilités d'accord de fréquence d'un vibreur devrait de préférence être élargi dans une certaine mesure.

La fig. 5 montre la courbe température-fréquence de résonance d'un vibreur à diapason à cristal de quartz, et l'on voit que cette courbe est une courbe quadratique à convexité tournée vers le haut, le coefficient de température quadratique étant dans ce cas  $-0,045 \text{ PPM}/(^{\circ}\text{C}^2)$  (valeur négative), valeur qui est relativement plus élevée que celles qui sont rencontrées avec d'autres modes de vibration. La théorie indique que ce coefficient de température quadratique est le plus faible lorsque la direction en longueur du bras du vibreur est parallèle à l'axe Y, l'épaisseur du vibreur étant parallèle à l'axe Z pour une plaque Z. Cette valeur est approximativement de  $-0,045/(^{\circ}\text{C}^2)$ , comme le montre la fig. 5.

L'invention fait appel à un vibreur piézo-électrique à cristal constitué de tantalate de lithium, et elle permet avec celui-ci de fournir une solution au problème des inconvénients précédemment mentionnés, en améliorant l'angle de coupe et la construction des électrodes du vibreur. On a en effet constaté que l'angle de coupe le plus favorable pour avoir la meilleure caractéristique de température pouvait être connu au moyen d'une recherche concernant le coefficient linéaire  $\alpha$  et le coefficient quadratique  $\beta$  de la coupe de température, recherche qui met en œuvre une analyse théorique de la courbe température-fréquence de résonance. De plus, cette voie a permis d'obtenir un domaine de possibilités d'accord de fréquence optimal, compte tenu des dimensions du vibreur.

L'objet de l'invention sera maintenant décrit en liaison avec les fig. 6 et suivantes du dessin.

La fig. 6 montre les axes cristallins d'un monocristal de  $\text{LiTaO}_3$ , X, Y et Z étant respectivement les axes électrique, mécanique et optique. On a considéré que le vibreur à  $\text{LiTaO}_3$  représenté à la fig. 6, en forme de barreau et travaillant à la flexion, était coupé directement, c'est-à-dire avait sa longueur  $l$  parallèle à l'axe Y, son épaisseur  $t$  parallèle à l'axe Z et sa largeur  $W$  parallèle à l'axe X. Lorsque ce vibreur effectue de lui-même une vibration de flexion, l'équation de sa fréquence de vibration se présente comme suit:

$$f = \frac{m^2}{2\pi \cdot 2\sqrt{3}} \frac{W}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \sqrt{I}$$

à condition que

$$I = \left\{ 1 + \frac{1}{3} \left( \frac{mw}{2l} \right)^2 \left( 1 + \frac{1}{k_1} S_{44} E \right) \right\}^{-1}$$

Dans cette expression  $m$  est une constante,  $W$  est la largeur,  $l$  est la longueur,  $E$  est la rigidité élastique,  $\rho$  est la densité,  $k_1$  est une constante et  $S_{44}$  est la souplesse élastique.

La fréquence  $f(T)$  d'un vibreur de flexion à  $\text{LiTaO}_3$ , à des températures arbitrairement établies, comme par exemple à la température ambiante de  $25^{\circ}\text{C}$ , peut être exprimée par une approximation quadratique, faisant appel à l'expansion de Taylor, de la façon suivante:

$$f(T) = f(25) \{ 1 + \alpha (T - 25) + \beta (T - 25)^2 \} \quad (2)$$

$\alpha$  et  $\beta$  étant les coefficients, respectivement linéaire et quadratique, des variations de fréquence en fonction des variations de température, ces coefficients pouvant être définis comme suit:

$$\alpha = \left[ \frac{\delta f(T)}{\delta T} \right]_{25, f(25)} \quad (3)$$

$$\beta = \left[ \frac{\delta^2 f(T)}{\delta T^2} \right]_{25, [2 f(25)]} \quad (4)$$

4

ce qui permet de poser, en effectuant une transformation à l'aide de l'équation (1):

$$\alpha = \frac{1}{2} \left( \frac{\dot{E}}{E} - \frac{\dot{\rho}}{\rho} + \frac{\dot{I}}{I} \right) + \frac{\dot{W}}{W} - 2 \frac{\dot{l}}{l} \quad (5)$$

Le marquage  $\dot{\phantom{x}}$  indique une valeur différentielle par rapport à la température

$$\left( \cdot \equiv \frac{\delta}{\delta T} \right).$$

Les valeurs suivantes sont données dans l'expression (5):

$$\frac{\dot{\rho}}{\rho} = - \left( \frac{\dot{x}}{x} + \frac{\dot{y}}{y} + \frac{\dot{z}}{z} \right),$$

$$\frac{\dot{W}}{W} = (1 - N_1^2) \frac{\dot{x}}{x} + N_1^2 \frac{\dot{z}}{z},$$

$$\frac{\dot{\rho}}{\rho} = (1 - N_2^2) \frac{\dot{x}}{x} + N_2^2 \frac{\dot{z}}{z},$$

$$\frac{\dot{I}}{I} = 2(I - 1) \frac{\dot{W}}{W} - 2(I - 1) \frac{\dot{l}}{l} - \left( 1 - I - \frac{m^2}{12} I \frac{W^2}{l^2} \right) \frac{\dot{E}}{E}$$

Les valeurs

$$\frac{\dot{x}}{x}, \frac{\dot{y}}{y} \text{ et } \frac{\dot{z}}{z}$$

représentent respectivement les coefficients de dilatation linéaire selon l'axe X, l'axe Y et l'axe Z. Lorsque la direction de coupe du vibreur a subi une rotation d'un angle  $\theta$  autour de l'axe X, les valeurs résultantes de  $\alpha$  correspondent à  $N_2 = \sin \theta$  et  $N_1 = 0$ , ce dont on déduit que  $\alpha$  peut être recherché pour tout angle  $\theta$  établi à volonté, et que la valeur de  $\beta$  peut également parfaitement être recherchée par la même méthode. Du calcul de valeurs résultantes effectué dans le cadre de la présente invention, on peut tirer que la valeur de l'angle de coupe  $\theta$ , qui donne  $\alpha = 0$  pour un rapport de dimensions des côtés du vibreur  $W/l = 0,12$ , se situe à l'intérieur d'un domaine d'approximativement  $51,19$  à  $51,21^{\circ}$ , cas dans lequel la valeur de  $\beta$  est alors d'approximativement  $4,8 \times 10^{-8}/^{\circ}\text{C}^2$ . Cette valeur d'angle de coupe qui rend  $\alpha = 0$  devient proportionnellement plus grande au fur et à mesure que le rapport dimensionnel des côtés  $W/l$  devient plus petit, la valeur de  $\beta$  tendant, quant à elle, à devenir plus petite.

Inversement, lorsque le rapport dimensionnel des côtés  $W/l$  devient plus grand, l'angle de coupe  $\theta$  qui rend  $\alpha = 0$  devient plus petit tandis que  $\beta$  devient plus grand. Enfin, dans ce calcul approximatif, en admettant la condition selon laquelle ledit rapport  $W/l$  est égal à zéro, on obtient un angle de coupe  $\theta$  rendant  $\alpha$  égal à zéro qui se situe dans le domaine d'approximativement  $51,95^{\circ}$  à  $51,97^{\circ}$ , tandis que, dans les mêmes conditions, la valeur de  $\beta$  est  $4,1 \times 10^{-8}/^{\circ}\text{C}^2$ .

Si l'on prend en considération la température maximale qui risque de se présenter dans le cas d'une utilisation dans une montre, typiquement dans une montre-bracelet, et si l'on considère les caractéristiques de fréquence, de dimensions et de températures, on constate que l'angle de coupe du vibreur au  $\text{LiTaO}_3$  est limité à l'intérieur d'un domaine d'approximativement  $48$  à  $55^{\circ}$ .

L'analyse théorique ci-dessus a été faite relativement au type de vibreur à deux extrémités libres, mais les conclusions peuvent naturellement également être maintenues dans le cas d'un vibreur encastré à une extrémité ( $I = 0$ ).

La fig. 7 représente en perspective un vibreur à diapason au  $\text{LiTaO}_3$ , et l'on voit qu'il comprend un corps de vibreur 5 de tantalate de lithium, qui porte une électrode d'excitation 6 et une autre électrode d'excitation 7, des électrodes d'excitation similaires étant disposées sur l'autre face du vibreur (d'une façon non visible). Sur la fig. 7 sont indiquées également la longueur  $l$  des bras du

diapason, l'épaisseur  $t$  de ceux-ci et la largeur  $E_1$  des électrodes, de même que la largeur  $W$  des bras du diapason. L'angle de coupe  $\theta$  est sélectionné entre approximativement 48 et 55°, de la manière expliquée dans l'analyse théorique précédente.

La fig. 8 représente la disposition des électrodes sur le vibreur de la fig. 7, de même que le schéma de branchement de ces électrodes. Les points 8 et 9 sont les points de connexion des groupes d'électrodes.

Si le point de connexion 8 est chargé d'un potentiel positif tandis que le point de connexion 9 est chargé d'un potentiel négatif, les champs électriques s'établissent dans les directions marquées par des flèches, et, si l'on considère l'un des bras, on voit que les composantes du champ électrique dans la direction  $Y'-Z'$  sont dans deux directions opposées dans les deux parties marginales du bras, symétriquement par rapport au centre de celui-ci, de sorte que la moitié gauche du bras recevra une contrainte d'expansion tandis que sa moitié droite recevra une contrainte de contraction, ce qui va pousser le bras à fléchir. Si une tension alternative est établie sur les points de connexion 8 et 9, le vibreur à diapason au  $\text{LiTaO}_3$  sera aisément amené à vibrer d'une façon permanente.

La fig. 9 représente le circuit équivalent du vibreur à diapason au  $\text{LiTaO}_3$ . Sur ce schéma,  $L_0$  est l'inductance motionnelle,  $C_0$  est la capacitance motionnelle,  $R_0$  correspond à l'impédance du cristal, et  $C_1$  est la capacité entre les deux connexions électriques. Si l'on cherche à établir la relation entre la forme du vibreur et la valeur  $L_0$  avec la disposition des électrodes représentée à la fig. 7, on obtient:

$$L_0 \propto \frac{t^3}{W^3} \quad (6)$$

Ainsi, l'inductance  $L_0$  est inversement proportionnelle au cube de la largeur  $W$  du bras du diapason, directement proportionnelle au cube de la longueur  $l$  de ce bras, et également proportionnelle à l'épaisseur  $t$  de celui-ci. Il résulte que  $L_0$  devient plus grand lorsque  $W$  devient plus petit, c'est-à-dire, en d'autres termes, lorsque le rapport de capacité  $C_1/C_0$  devient plus grand. De plus, la relation suivante existe entre ce rapport de capacité  $C_1/C_0$  et le facteur  $k$  de couplage électromécanique:

$$\frac{C_1}{C_0} = \frac{\pi^2}{8} \left( \frac{1 - k^2}{k^2} \right) \quad (7)$$

A l'aide des équations (6) et (7), le facteur  $k$  de couplage électromécanique peut facilement être remplacé par la valeur  $W$ .

La fig. 10 montre les courbes caractéristiques «valeur de la capacité variable/valeur de la fréquence», et l'on voit que la variation de fréquence par unité de capacité devient plus grande lorsque la valeur  $k$  ( $k_1$ ,  $k_2$  et  $k_3$ ) devient plus grande. Il y a lieu d'indiquer que, du fait que l'on a, avec le vibreur à cristal de tantalate de lithium ( $\text{LiTaO}_3$ ), un facteur  $k$  de couplage électromécanique notablement plus grand dont résulte, pour un même domaine de variations de capacité, une plus grande variation de la fréquence que dans le cas d'un vibreur à cristal de quartz ( $\text{SiO}_2$ ) qui a un facteur  $k$  de couplage électromécanique beaucoup plus faible, il peut se produire des décalages de fréquence qui risquent d'être la cause d'une oscillation instable. L'invention a toutefois résolu ce problème en rendant le facteur  $k$  de couplage électromécanique du vibreur au  $\text{LiTaO}_3$  du type particulier selon l'invention plus petit que ce même facteur tel qu'il est établi pour des vibreurs au  $\text{LiTaO}_3$  présentement connus. Cela signifie que, pour les vibreurs destinés à être utilisés dans des montres, le facteur  $k$  de couplage électromécanique du vibreur au  $\text{LiTaO}_3$  est rendu plus petit et est de ce fait apte à maintenir une oscillation stable du vibreur, cela impliquant que ce facteur de couplage  $k$  est rabaisé jusqu'à se trouver dans le domaine de 0,04 à 0,1 (4-10%). Selon l'invention, ladite valeur de  $k$  peut être obtenue en ajustant la largeur des bras de la forme de diapason et, pratiquement,

cela est réalisable pour des largeurs de bras inférieures à 0,5 mm. Avec la méthode susmentionnée, le facteur de couplage électromécanique  $k$  subit une amélioration par le biais d'un changement de la dimension des bras du diapason, mais cette amélioration pourrait également être obtenue par une modification des électrodes d'excitation disposées sur les bras du diapason.

A la fig. 7, l'impédance du cristal  $R_0$  devient élevée lorsque la largeur  $E_1$  des électrodes d'excitation devient graduellement plus faible. La relation entre cette impédance  $R_0$  et ledit facteur de couplage  $k$  s'établit comme étant  $R_0 \propto 1/K^2$ , et cela montre que ce facteur de couplage  $k$  peut être rendu petit en réponse au fait que la largeur  $E_1$  des électrodes devient plus faible. On a constaté que ce facteur de couplage  $k$  pouvait être amené à se situer dans le domaine de 0,04 à 0,1 (4-10%) en rendant ladite largeur  $E_1$  des électrodes inférieure à un tiers de la largeur  $W$  des bras du diapason.

La fig. 11 montre en perspective un vibreur à diapason au  $\text{LiTaO}_3$ , dans lequel un corps de vibreur 10, fait de  $\text{LiTaO}_3$  et ayant la forme d'un diapason, porte sur une face une électrode d'excitation 11 et une autre électrode d'excitation 12, l'autre face des bras du diapason étant recouverte sur toute sa surface d'une électrode de mise à la terre (non visible à la fig. 11). L'angle de coupe  $\theta$  est sélectionné dans le domaine de 48 à 55°.

La fig. 12 représente la disposition et le branchement des électrodes du vibreur de la fig. 11, les points 13 et 14 étant respectivement les points de connexion des électrodes tandis que la connexion 15 représente la mise à la masse de l'électrode arrière. Ainsi, ce sont trois électrodes qui amènent le facteur  $k$  de couplage électromagnétique à être petit, en rendant petite l'intensité du champ électrique. Ainsi, comme précédemment mentionné, le facteur de couplage électromécanique optimal peut être obtenu à la valeur voulue en maintenant la dimension de largeur de bras  $W$  à une certaine valeur inférieure à 0,5 mm et en donnant à la largeur d'électrode  $E_1$  une valeur ne dépassant pas le tiers de la largeur  $W$ .

Par ailleurs, le vibreur au tantalate de lithium peut être aisément fabriqué à l'aide d'une technique d'attaque chimique en utilisant une forte solution alcaline, de sorte que le vibreur présente des propriétés supérieures dans le cas où il est fabriqué en de très petites dimensions.

Comme on l'a décrit, l'invention permet d'obtenir un vibreur au tantalate de lithium ( $\text{LiTaO}_3$ ) fonctionnant à la flexion et ayant une caractéristique de température similaire à celle d'un vibreur à cristal de quartz — ou même encore meilleure qu'elle. Cette performance résulte d'une analyse théorique des conditions de fonctionnement d'un tel vibreur, et on remarque que celui-ci peut également être produit sous la forme d'un vibreur au tantalate de lithium travaillant à la flexion de dimensions extrêmement petites, ce qui n'empêche pas que ce vibreur présente un coefficient quadratique de température particulièrement faible dû au fait que le rapport dimensionnel des côtés  $W/l$  est rendu plus petit. D'autre part, le coefficient de couplage électromécanique de ce vibreur au  $\text{LiTaO}_3$  peut être rendu plus petit en diminuant la largeur des bras du diapason ou alors en sélectionnant une largeur adéquatement réduite pour les électrodes disposées sur ces bras. Une telle diminution de facteur de couplage électromécanique est autorisée par le fait qu'à la base un tel vibreur présente un coefficient de couplage électromécanique qui est beaucoup plus élevé que celui que l'on a, par exemple, avec un cristal de quartz.

Ainsi, avec ce vibreur au  $\text{LiTaO}_3$  travaillant à la flexion, on obtient un domaine de possibilités d'accord de fréquence convenant pour une utilisation dans une montre — typiquement une montre-bracelet — et, en même temps, on peut assurer une haute stabilité de fréquence. De plus, le vibreur au  $\text{LiTaO}_3$  travaillant à la flexion selon l'invention peut être fabriqué sous une forme adéquate par des opérations d'attaque chimique, ce qui permet de le fournir à faible coût.

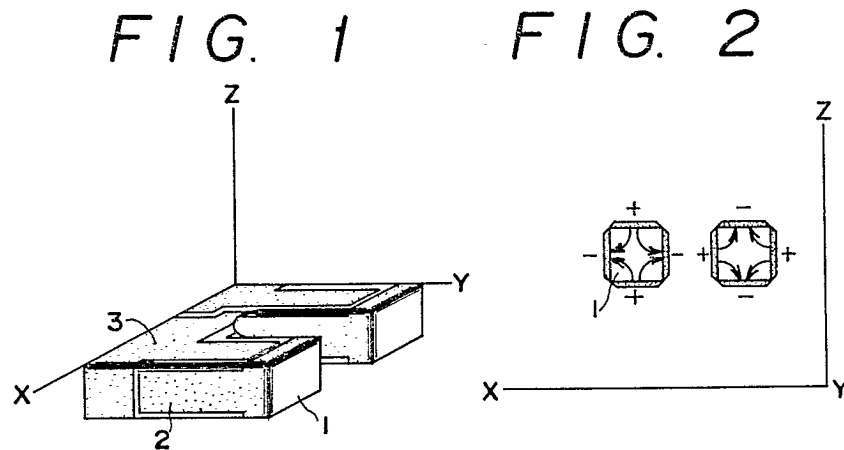
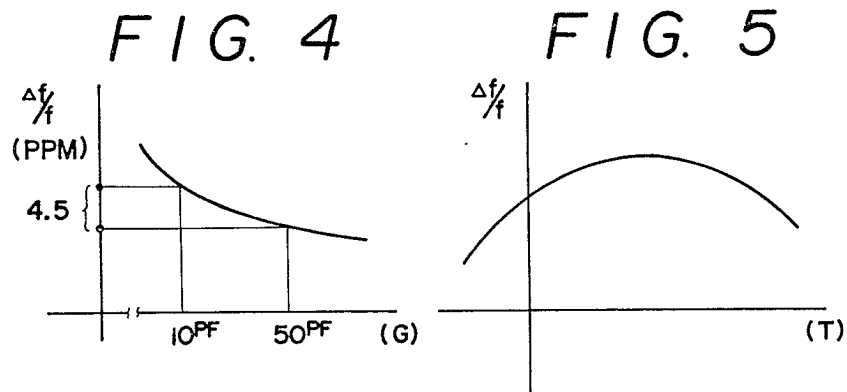
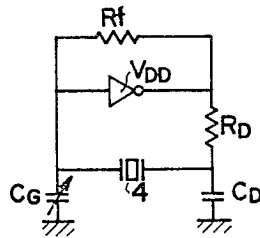
**FIG. 3**

FIG. 6

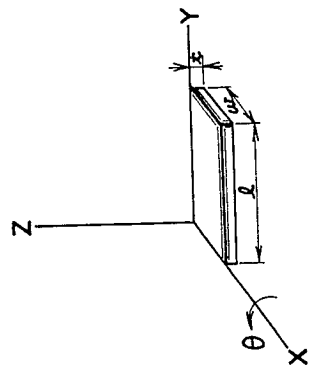


FIG. 7

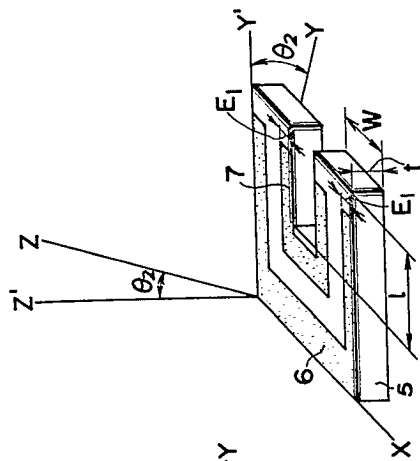


FIG. 10

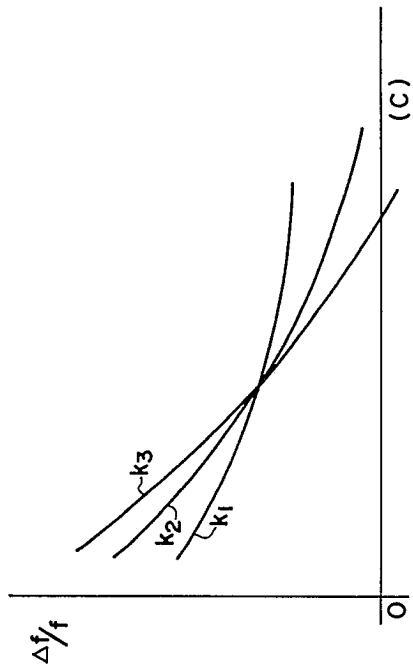


FIG. 8

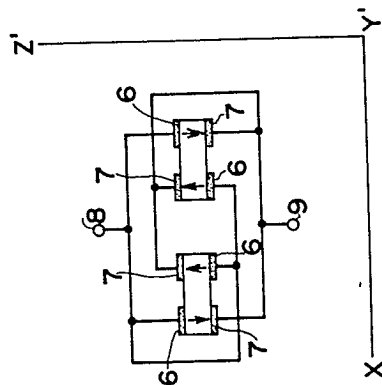


FIG. 9

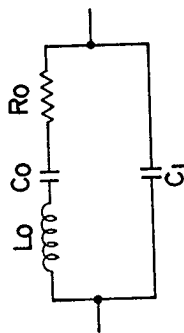


FIG. 11

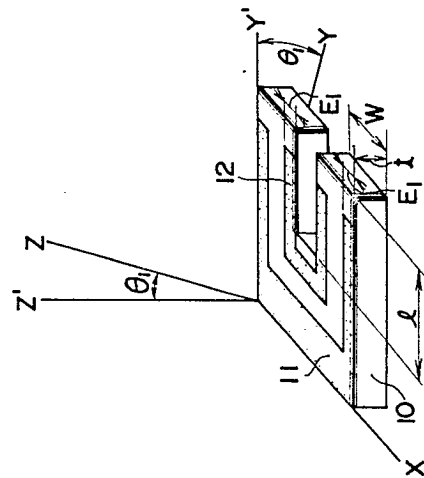


FIG. 12

