



CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑤① Int. Cl.³: H 03 B 5/32
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

⑪

636 496 G

②① Numéro de la demande: 13187/78

②② Date de dépôt: 27.12.1978

③① Priorité(s): 27.06.1978 JP 53-77614

④② Demande publiée le: 15.06.1983

④④ Fascicule de la demande
publié le: 15.06.1983

⑦① Requêteur(s):
Kabushiki Kaisha Daini Seikosha, Tokyo (JP)

⑦② Inventeur(s):
Hideo Hoshi, Koto-ku/Tokyo (JP)
Shiro Mitsugi, Koto-ku/Tokyo (JP)
Hiroichi Teruyama, Koto-ku/Tokyo (JP)
Hideo Tabata, Koto-ku/Tokyo (JP)

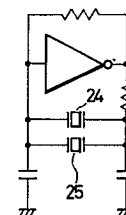
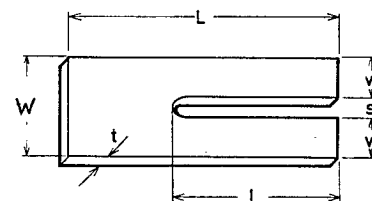
⑦④ Mandataire:
Bovard AG, Bern 25

⑤⑥ Rapport de recherche au verso

⑤④ Circuit oscillateur à résonateurs à quartz.

⑤⑦ Dans le but d'obtenir une très bonne caractéristique fréquence/température, le circuit oscillateur comprend deux résonateurs à quartz à diapason (24, 25), en parallèle. Au moins un de ces résonateurs présente des particularités géométriques bien particulières, relatives à ces dimensions d'épaisseur (t) de largeur de bras (w) et d'espace entre les bras (s). Ce dernier doit être égal ou supérieur à l'épaisseur, ou alors il doit être égal ou supérieur au quart de la largeur du bras. Les fréquences de sommet des caractéristiques individuelles de chaque résonateur sont approximativement les mêmes. Par contre les températures de ces sommets sont différentes.

Ce circuit oscillateur, dont la caractéristique fréquence/température est pratiquement plate dans le domaine d'utilisation usuelle, convient particulièrement pour équiper une montre-bracelet électronique.



636 496 G



Bundesamt für geistiges Eigentum
Office fédéral de la propriété intellectuelle
Ufficio federale della proprietà intellettuale

RAPPORT DE RECHERCHE RECHERCHENBERICHT

Demande de brevet No.:
Patentgesuch Nr.:

CH 13 187/78

I.I.B. Nr.:

HO 13874

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.
	FR - A - 2 178 269 (STATEK) * figures 1,2,3,4; de page 2, ligne 14 - page 3, ligne 3; de page 4, ligne 21 - page 5, ligne 13; de page 9, ligne 24 - page 10, ligne 14; page 13, lignes 1-23; page 14, lignes 31-35 * & CH - A - 555 555 & CH - A - 556 621 --	1,3,4,9
	FR - A - 2 362 532 (SUWA SEIKOSHA) * figures 1,9,10; de page 1, ligne 40 - page 5, ligne 4 * --	2-4
	GB - A - 972 700 (KINSEKISHA KENKYUSO) * en entier * --	1-3
P	IEEE TRANSACTIONS ON SONICS AND ULTRASONICS, vol. SU-25, no. 4, juillet 1978 NEW YORK (US) Y. TOMIKAWA: "Analysis of electrical equivalent circuit elements of piezotuning forks by the finite element method" pages 206-212 * en entier * --	1-3
P	PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 2, no. 150, 15 décembre 1978 page 9637 E 78 & JP - A - 53 - 118 995 (CITIZEN TOKEI K.K.) (17 octobre 1978) * en entier * -----	1,9
Domaines techniques recherchés Recherchierte Sachgebiete (INT. CL.2) H 03 H G 04 F		
Catégorie des documents cités Kategorie der genannten Dokumente: 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 &: membre de la même famille, document correspondant Mitglied der gleichen Patentfamilie; übereinstimmendes Dokument		
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		
12 décembre 1980		

REVENDECATIONS

1. Circuit oscillateur caractérisé en ce qu'il comprend deux résonateurs à quartz à diapason connectés en parallèle, au moins un de ces résonateurs satisfaisant à une des équations $s/t \geq 1$, $s/w \geq 0,25$, w , t et s étant respectivement la largeur d'un bras, l'épaisseur du diapason et l'espace entre les bras.

2. Circuit oscillateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'au moins un des dits résonateurs satisfaisant à une dite équation est commandé par un champ électrique parallèle à ses surfaces principales.

3. Circuit oscillateur résonateur selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'au moins un dit résonateur satisfaisant à une dite équation est muni d'électrodes sur ses surfaces principales et au moins sur certaines de ses surfaces latérales.

4. Circuit oscillateur selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'au moins un dit résonateur satisfaisant à une dite équation, au une épaisseur située entre 50 et 100 microns permettant une découpe par attaque photo-chimique.

5. Circuit oscillateur selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les deux résonateurs ont une caractéristique fréquence/température quadratique, présentant un sommet de fréquence, les fréquences respectives de sommet étant au moins approximativement les mêmes et les températures respectives de sommet étant différentes.

6. Circuit oscillateur selon la revendication 5, caractérisé en ce que les dites températures respectives de sommet se situent respectivement en dessous et en dessus de la température ambiante de 20 °C.

7. Circuit oscillateur selon la revendication 5, caractérisé en ce que les dites températures respectives de sommet se situent respectivement en dessous de 0 °C et en dessus de 40 °C.

La présente invention concerne un circuit oscillateur à résonateurs à quartz.

Les circuits oscillateurs à quartz sont aujourd'hui d'un usage courant, notamment comme oscillateurs fournissant la base de temps standard dans les montres-bracelets électroniques.

Toutefois, on n'avait jamais proposé de constituer un circuit oscillateur comprenant deux résonateurs à quartz, tout particulièrement dans le cas où l'un et l'autre des résonateurs présentent des particularités qui, sans être forcément identiques pour les deux résonateurs, se trouvent particulièrement bien adaptées à une combinaison efficace en parallèle des deux résonateurs. De plus, naturellement, aucune proposition concrète n'avait été formulée concernant les particularités adéquates de deux ou d'au moins un de deux résonateurs susceptibles d'être groupés dans un circuit oscillateur.

Les exposés antérieurs FR-A-2 178 269 et FR-A-2 362 532 sont représentatifs de l'état de la technique.

Ces deux publications antérieures représentent des résonateurs à cristal de quartz à diapason, de petite dimension, aptes à être introduits dans le circuit oscillateur d'une montre-bracelet électronique, par exemple. Ces résonateurs étaient fort minces, l'exposé FR-A-2 362 532 indiquant que le résonateur est «fabriqué par photogravure», tandis que l'exposé FR-A-2 178 269 mentionne la possibilité de fabriquer le résonateur «par voie micro-lithographique», ces deux dénominations désignant des méthodes au moins similaires, sinon identiques. L'exposé FR-A-2 158 269 indique des di-

mensions, et par là des rapports de dimensions, concernant l'épaisseur et la largeur totale de la forme de diapason du résonateur proposé. L'art antérieur ainsi constitué ne comprend toutefois pas d'indication relative à l'espace entre les bras du diapason et aux rapports de cette dimension avec l'épaisseur ou la largeur du bras du diapason. Bien sûr, les figures de ces publications antérieures peuvent éventuellement donner à ce sujet quelques indications, mais qui ne sont alors guère expressives.

De toute façon, on ne trouve, dans toutes les publications antérieures citées, aucune proposition ou suggestion relative à la constitution d'un circuit oscillateur comprenant deux résonateurs à quartz à diapason. Dans ces conditions, il est clair que cet art antérieur ne saurait proposer non plus, dans le but d'obtenir une très bonne caractéristique fréquence/température, l'utilisation, dans un circuit oscillateur, de deux résonateurs à quartz à diapason dont un au moins et de préférence les deux, présente des rapports de dimensions particuliers quant à la largeur d'un bras, l'espace entre les bras et l'épaisseur.

Dans le cadre de l'art antérieur cité, un circuit oscillateur fournissant une excellente caractéristique fréquence/température, et utilisant pour cela deux résonateurs à quartz à diapason répondant à des conditions bien particulières, n'avait pas été réalisé.

Le but de la présente invention est de fournir un circuit oscillateur à quartz meilleur que ceux que connaissait l'art antérieur, notamment en ce qui concerne sa caractéristique fréquence/température.

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

Par ailleurs, la présence, dans des formes d'exécution de l'objet de l'invention, des caractères énoncés dans les revendications dépendantes annexées permet d'atteindre le but visé dans des conditions particulièrement avantageuses du point de vue du coût, des performances et de la facilité de fabrication et d'utilisation.

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. 1A et 1B sont des vues, respectivement en plan et en section droite, d'un résonateur à quartz à diapason, muni d'électrodes, d'un type présentement d'un usage courant,

la fig. 2 est un schéma représentant le circuit équivalent d'un résonateur à quartz,

la fig. 3 est un diagramme représentant la caractéristique fréquence/température d'un résonateur à quartz du type à diapason,

la fig. 4 est une vue schématique illustrant l'effet résiduel, à l'endroit du fond de l'encoche séparant deux branches d'un diapason, du procédé de fabrication par attaque photo-chimique de ce diapason,

la fig. 5 est un diagramme montrant la relation existant entre la valeur maximale de la caractéristique fréquence/température d'un résonateur à quartz à diapason et l'angle de coupe Θ de ce résonateur à diapason,

la fig. 6 est un diagramme montrant la relation entre la valeur du maximum de la caractéristique fréquence/température d'un résonateur à quartz à diapason et l'épaisseur t de ce diapason, pour un vibreur à quartz à diapason de type classique,

la fig. 7 est un diagramme représentant la relation entre l'erreur de position à laquelle un résonateur à quartz à diapason est sujet et l'épaisseur t d'un résonateur à quartz à diapason,

les fig. 8a et 8b sont des dessins schématiques servant à établir les conditions de détermination de l'erreur de position d'un résonateur à cristal de quartz à diapason,

la fig. 9 est une vue schématique en perspective d'un résonateur à quartz à diapason, destinée à permettre l'identification des dimensions d'un résonateur à quartz à diapason,

la fig. 10 est un diagramme représentant la tendance de l'évolution de la température maximum T_0 de la caractéristique fréquence/température, lorsque le rapport s/t de l'espace s entre les bras du diapason et l'épaisseur t de celui-ci varie,

la fig. 11 est un diagramme représentant la manière dont tend à évoluer la valeur maximum T_0 de la caractéristique fréquence/température d'un résonateur à quartz à diapason lorsque le rapport s/w de l'espace s entre les bras du diapason à la largeur w d'un bras de diapason varie,

la fig. 12 est un diagramme représentant, avec l'épaisseur t d'un diapason en paramètre, la relation entre la température maximum T_0 de la caractéristique fréquence/température et l'espace s entre les bras d'un résonateur à quartz à diapason,

les fig. 13A et 13B représentent, respectivement en plan et en section droite, la forme extérieure et l'agencement d'une partie des électrodes d'un résonateur à quartz à diapason pourvu d'électrodes de commande sur ses surfaces principales et sur au moins certaines de ses surfaces latérales,

la fig. 14 est un diagramme représentant la relation entre l'effet d'augmentation ΔT_0 de la température maximum de la caractéristique fréquence/température d'un résonateur à diapason à quartz et l'espace s entre les bras du diapason, dans le cas où des électrodes latérales sont utilisées, l'épaisseur t intervenant comme paramètre,

la fig. 15 est un diagramme représentant la relation entre la température T_{0M} de la caractéristique fréquence/température d'un résonateur à quartz à diapason et l'espace s entre les bras de ce dernier, lorsque des électrodes latérales sont prévues, l'épaisseur t intervenant comme paramètre,

la fig. 16 est un schéma d'un circuit oscillateur conforme à l'invention utilisant deux résonateurs à quartz à diapason dont les paramètres sont sélectionnés de la manière proposée par l'invention et

la fig. 17 est un diagramme représentant la caractéristique fréquence/température dans le cas du circuit oscillateur particulier selon la fig. 16.

La forme et la construction des électrodes d'un résonateur à quartz qui est actuellement d'un usage courant, principalement dans des montres-bracelets électroniques, est représentée aux fig. 1A et 1B. Sur l'un des bras résonnants 1a d'un résonateur à diapason 1, se trouve disposée une électrode 2a qui suit les portions marginales de ce bras 1a et qui s'étend également sur la portion médiane de l'autre bras. Par ailleurs, l'autre bras 1b du résonateur en forme de diapason est muni d'une électrode 2b qui suit ses portions marginales et qui constitue une électrode médiane sur l'autre bras. Ainsi, les électrodes marginales d'un bras résonnant constituent l'électrode médiane de l'autre bras résonnant, sur une face principale du diapason, les deux électrodes ainsi présentes sur une face étant respectivement les électrodes 2a et 2b. Ainsi l'électrode médiane du bras résonnant 1a et les électrodes marginales de l'autre bras résonnant 1b sont interconnectées pour former l'électrode 2b et deux électrodes, respectivement 2a et 2b, sont utilisées comme formant une paire d'électrodes.

On comprend bien en considérant la fig. 1b que les électrodes correspondantes sont disposées sur les deux faces principales opposées du résonateur à quartz en forme de diapason. Les électrodes des surfaces avant et arrière sont connectées ensemble principalement pour fournir les connexions d'électrodes sur chacune des deux surfaces principales. La

forme d'un tel résonateur et de ses électrodes est actuellement rendue extrêmement petite par l'emploi de la technique d'obtention par attaque photo-chimique.

Le résonateur qui vient d'être considéré est d'un usage répandu et les dimensions extrêmement petites de ce résonateur à cristal de quartz, c'est-à-dire la longueur totale L plus petite que 6 mm et la largeur totale W plus petite que 1 mm, présente certains désavantages en ce qui concerne le rendement de fabrication (pourcentage de diapason utilisable), et également en ce qui concerne la fiabilité à long terme, ceci s'expliquant de la façon suivante:

(1) Si le résonateur est réalisé en extrêmement petites dimensions, de façon à permettre la fabrication d'une montre-bracelet petite et mince, la résistance équivalente R_1 du circuit équivalent du résonateur à quartz, circuit équivalent qui est représenté à la fig. 2, augmente, ce qui fait augmenter en même temps la consommation de courant; et, par ailleurs, il se produit également une augmentation de la dispersion des valeurs obtenues pour R_1 , et partant, une perte de rendement de fabrication

(2) La dispersion de fabrication concernant la température maximum T_0 de la caractéristique fréquence/température, représentée par la courbe 3 de la fig. 3, augmente, ce qui fait que la rentabilité de fabrication diminue d'autant.

(3) Si la configuration des bras du diapason formant le résonateur à quartz est obtenue par le procédé d'attaque photo-chimique, l'attaque photo-chimique de la portion en forme de fourchette du diapason laisse inévitablement des traces telles que celles qui sont représentées par une ligne oblique 4a de la fig. 4, et un phénomène de non-linéarité, de même qu'une perte de fiabilité à long terme, résulte de cette imperfection, du fait qu'elle introduit une concentration locale de la contrainte.

Par ailleurs, deux résonateurs à quartz semblables au résonateur à quartz de la fig. 1 peuvent être incorporés, en parallèle, dans un circuit oscillant (voir fig. 16) et la caractéristique fréquence/température, en particulier la température T_0 à laquelle le coefficient de température devient zéro peut être amenée à varier moyennant un changement d'angle de coupe, pour l'un et/ou pour l'autre des vibreurs ou résonateurs 1. De cette façon, une caractéristique plate telle que la courbe 26 montrée à la fig. 17, peut être obtenue, en faisant coïncider les fréquences auxquelles se présentent les maximum de température T_0 en établissant les températures T_0 respectives l'une à une valeur basse T_{0B} et l'autre à une valeur haute T_{0H} , ce qui élargit la caractéristique fréquence/température de l'agencement servant de source de signal de temps standard, par exemple dans une montre-bracelet.

Toutefois, la valeur que la pratique permet de donner à la température T_{0H} (pour le résonateur ayant le sommet de sa courbe à la température élevée) n'est pas encore suffisamment haute. Ceci provient du fait que, lorsque la température T_0 présentant le maximum auquel le coefficient de température est nul se trouve modifiée par un changement de l'angle de coupe, la valeur de cette température, en fonction de l'angle de coupe, est donnée par la fonction représentée par la courbe 7 de la fig. 5, laquelle présente un maximum T_{0M} . Aucune modification de l'angle de coupe ne permet donc de donner à T_0 une valeur supérieure à T_{0M} . On peut toutefois encore modifier cette valeur T_{0M} qui est la valeur maximale que l'on peut conférer à la température T_0 (de la pointe de la caractéristique fréquence/température) par un simple changement de l'angle de coupe. Il faut, pour cela, modifier l'épaisseur du résonateur. La courbe 8 de la fig. 6 montre la relation entre la valeur maximale T_{0M} et l'épaisseur t . On voit que plus cette épaisseur t est petite, plus la valeur T_{0M} est élevée. La courbe 8 illustre le cas d'une fréquence de résonateur située approximativement à 32 kHz,

qui est actuellement la fréquence la plus couramment utilisée.

Il faut, par ailleurs, remarquer que, lorsque deux résonateurs sont incorporés, il est nécessaire de rendre chaque résonateur très petit, de sorte qu'un résonateur peut, par exemple, présenter une longueur totale d'approximativement 4 mm, une largeur W d'approximativement 0,6 mm, et un espace s entre ses bras plus petit que $100\ \mu$. En ce qui concerne l'espace s entre les bras, puisque la température de pointe de caractéristique T_o ne change pas lors d'un changement de cet espace s entre les bras, la valeur $s \leq 100\ \mu$ est simplement sélectionnée en vue de donner au résonateur de petites dimensions. La longueur totale L , la largeur totale W , l'épaisseur t et l'espace s entre les bras d'un résonateur seront définis plus loin en liaison avec la fig. 10. Comme le montre la courbe 8 de la fig. 6, la valeur maximale possible T_{oM} pour la température T_o de pointe de caractéristique, peut être rendue élevée pour autant que l'épaisseur t soit très petite. Toutefois, dans ce cas, l'erreur de position maximale δ devient rapidement plus grande, comme cela est montré par la courbe 9 de la fig. 7 (où l'on ne voit qu'une faible valeur d'épaisseur t implique une forte erreur de position δ). Cette erreur de position δ est définie par $\delta = (f_A - f_B)/f_A$, la fréquence f_A étant la fréquence dans le cas où l'axe Z' est dirigé dans la direction opposée à la gravité, comme le montre la fig. 8A et la fréquence f_B étant la fréquence dans le cas où l'axe Z' est dirigé dans la même direction que la gravité, comme le montre la fig. 8B. Il est donc clair que, dans un appareil pouvant être mis en différentes positions, comme c'est le cas par exemple d'une montre-bracelet électronique, l'erreur de position δ doit être maintenue relativement faible, de sorte que l'épaisseur t ne peut pas être rendue trop faible. Par exemple, si une montre-bracelet doit assurer une précision de 10 s par année, son erreur de position δ ne doit pas dépasser 4×10^{-7} , ce qui fait que l'épaisseur ne peut pas être inférieure à une valeur donnée (environ $52\ \mu$ selon la courbe 9 de la fig. 7). Si l'épaisseur ne peut pas être inférieure à cette valeur, la fig. 6 montre que la valeur T_{oM} ne peut pas se situer au-dessus de 38°C . D'autre part, pour réaliser une montre-bracelet assurant une précision de 10 s par année, par le moyen précité consistant à utiliser deux résonateurs (voir fig. 17) il serait nécessaire que la température T_{oH} de celui des résonateurs qui présente le sommet de sa courbe à température élevée soit supérieure à 40°C . Ainsi, la condition selon laquelle l'erreur de position δ doit être dans les limites de 4×10^{-7} (et qui implique que T_{oH} ne soit pas supérieur à 38°C) ne peut pas être satisfaite, en même temps que la condition selon laquelle la caractéristique de température doit être assez plate pour maintenir la précision désirée (et qui implique que T_{oH} soit supérieur à 40°C). Un résonateur ayant une petite erreur de position δ et présentant en même temps une caractéristique fréquence-température suffisamment bonne jusqu'à une température élevée n'était donc pas réalisable, bien qu'il eût été le bienvenu.

Un des buts que vise la présente invention est donc justement d'améliorer les caractéristiques d'un résonateur à quartz destiné à une montre-bracelet électronique et en particulier de diminuer la résistance équivalente et la dispersion des caractéristiques de température d'un tel résonateur. C'est également un but visé par l'invention que de fournir un résonateur à quartz ayant des dimensions extrêmement petites tout en maintenant son erreur de position à l'intérieur du domaine de 4×10^{-7} , en même temps que sa température de maximum de caractéristique se situe au-dessus de 40°C , dans le cas où une pluralité de résonateurs à quartz sont électriquement connectés en parallèle pour améliorer la caractéristique fréquence/température de l'oscillateur. La manière

dont l'invention atteint ces buts sera maintenant décrite en liaison avec les fig. 9 et suivantes.

La fig. 9 définit les dimensions de chacune des parties d'un résonateur en forme de diapason. La longueur totale, la largeur totale, l'épaisseur, la largeur d'un bras résonnant, la longueur d'un bras résonnant et l'espace entre les deux bras résonnants du résonateur à diapason sont désignés respectivement par les symboles L , W , t , w , l et s .

La fig. 10 montre, sur la base de résultats mesurés, comment la valeur de température T_o du sommet de la caractéristique fréquence-température varie en fonction du rapport s/t de l'espace s entre les bras à l'épaisseur t . Comme le montre la courbe 11 de cette fig. 10, plus l'espace s entre les bras devient large par rapport à l'épaisseur t , c'est-à-dire plus le rapport s/t devient grand, plus la température T_o du sommet de la caractéristique augmente en tendant vers une valeur d'asymptote. De la même manière, la courbe 12 de la fig. 11 montre, sur la base de résultats mesurés, comment la température T_o du sommet de la caractéristique varie en fonction du rapport s/w de l'espace s entre les bras à la largeur w des bras, l'épaisseur t restant la même.

Cette courbe 12 montre que, plus l'espace s entre les bras est grand par rapport à la largeur w d'un bras, plus la température T_o de sommet de caractéristique devient élevée. On voit également que lorsque ce rapport s/w augmente dans une certaine proportion, la valeur de la température de sommet T_o tend vers une valeur d'asymptote. Les courbes 11 et 12 des fig. 10 et 11 illustrent la tendance générale de la température T_o de sommet de la caractéristique et la famille de courbes représentée à la fig. 12 en donne le détail. Les courbes de la fig. 12 correspondent au cas où la largeur w d'un bras résonnant est approximativement égal à $0,25\ \text{mm}$. La courbe 13 représente la température de sommet lorsque l'épaisseur t est de $50\ \mu$, et l'on voit qu'une valeur T_o égale à 40°C peut être obtenue dans un domaine de dimensions où l'espace s entre les bras est de $160\ \mu$, ce qui, d'une façon au moins approximative, réalise le but initialement visé. D'autre part, les courbes 14 et 15 correspondent aux cas où l'épaisseur t est respectivement 80 et $100\ \mu$. Dans ces deux derniers cas, la température de sommet de caractéristique augmente également avec l'espace s entre les bras, mais une valeur de 40°C ne peut pas être atteinte.

On considérera maintenant les fig. 13A et 13B qui montrent un résonateur muni d'électrodes de commande sur ses surfaces latérales. La vue en plan de la fig. 13A est semblable à celle de la fig. 1A. Par contre, comme le montre la fig. 13B qui représente une vue en coupe selon la ligne Y-Y' de la fig. 13A, des électrodes 17as et 17bs sont disposées de façon adhérente sur les surfaces latérales du résonateur, de façon à établir une conduction électrique avec les électrodes marginales des surfaces principales des bras résonnants. Les électrodes latérales 17as et 17bs sont déposées, de façon à y adhérer, sur les surfaces latérales d'un résonateur semblable à celui que montre la fig. 1, ce dépôt étant effectué par évaporation, par giclage ou par un autre moyen analogue utilisant des masques, de façon que le film métallique adhère seulement aux surfaces latérales du résonateur. On obtient, par les électrodes latérales 17as et 17bs, une diminution de la résistance électrique équivalente, par une augmentation de l'efficacité de la commande, et de cette façon une augmentation de la température de sommet de caractéristique peut être obtenue. Les courbes 18, 19 et 20 de la fig. 14 montrent le gain T_o que l'adjonction des électrodes latérales permet de réaliser sur la température T_o de sommet de caractéristique fréquence/température. Sur la fig. 14, la valeur ΔT_o représente la différence entre la température de sommet T_{o1} avant que les électrodes latérales aient été disposées et amenées à adhérer sur les faces latérales et la température de sommet T_{o2}

après que ces électrodes latérales aient été disposées et amenées à adhérer. On a donc $\Delta T_o = T_{o2} - T_{o1}$. La courbe 18 illustre le cas où l'épaisseur t est $50\ \mu$, la température de sommet augmentant alors de 4°C lorsque l'espace s entre les bras devient supérieur à $50\ \mu$, mais augmentant dans une mesure notablement moindre lorsque l'espace entre les bras est inférieur à $50\ \mu$. La courbe 19 illustre le cas où l'épaisseur t est de $80\ \mu$. Dans le domaine où l'espace s est supérieur à $80\ \mu$, la température de maximum de caractéristique subit une augmentation ΔT_o d'approximativement 8°C . La courbe 20 illustre le cas où l'épaisseur t est de $100\ \mu$ et elle montre que la température de maximum monte d'approximativement 8°C , dans le domaine où la distance s entre les bras est supérieure à $100\ \mu$. Il est entendu que l'angle de coupe est chaque fois choisi de façon que, toutes choses égales par ailleurs, la température de sommet T_o soit le plus élevé possible. To vaut donc ToM. La fig. 15 représente la caractéristique ToM/s similairement à la fig. 12, mais dans le cas où les électrodes latérales ont été établies sur le résonateur, l'épaisseur t étant en paramètre. La courbe 21 illustre le cas où l'épaisseur t est de $50\ \mu$, et l'on voit que dans le domaine où l'espace s entre les bras est de $80\ \mu$, une valeur ToM égale ou supérieure à 40°C peut être obtenue. De la même manière, les courbes 22 et 23 montrent que si l'épaisseur t est de 80 ou de $100\ \mu$, une valeur ToM égale ou supérieure à 40° peut être obtenue dans le domaine où l'espace s entre les bras dépasse respectivement 100 et $120\ \mu$.

On va considérer maintenant les conditions pour l'obtention d'un résonateur ayant une erreur de position $\delta = 4 \times 10^{-7}$ et une valeur ToM atteignant au moins 40°C . L'erreur de position δ est produite par la flexion du résonateur causée par son poids, et une méthode pour prévenir l'erreur de position ne peut pas être trouvée ailleurs que dans des mesures relatives à l'épaisseur t , puisqu'il s'agit ici d'un problème fondamental. On voit donc que le fait d'avoir une épaisseur t égale ou supérieure à $50\ \mu$ constitue une condition à satisfaire absolument. Par ailleurs, en vue d'obtenir une valeur ToH égale ou supérieure à 40°C avec un vibreur (ou un résonateur) dont l'épaisseur t est supérieure à $50\ \mu$, l'espace s entre les bras doit être d'au moins approximativement $100\ \mu$. L'épaisseur maximale de résonateur qui peut être admissible pour permettre une production en grande série par la méthode d'attaque photo-chimique peut être admise comme étant approximativement $200\ \mu$. En vue d'obtenir une valeur ToM égale ou supérieure à 40°C alors que l'épaisseur t est approximativement $200\ \mu$, l'espace s entre les bras doit être supérieur à $200\ \mu$, chose qui, à défaut d'être montrée par la fig. 15, peut être déduite des considérations y relatives. Ainsi, pour un résonateur ayant une épaisseur praticable, les buts primaires de la présente invention, à savoir une diminution de l'erreur de position et une augmentation de la température de maximum de caractéristique fréquence/température, peuvent être simultanément atteints par la satisfaction des conditions selon lesquelles l'épaisseur t doit être supérieure à $50\ \mu$, l'espace s entre les bras doit être supérieur à $100\ \mu$, et le rapport s/t entre ces deux grandeurs doit être égal ou supérieur à 1.

Puisqu'il est prévu d'incorporer une paire de résonateurs dans une montre-bracelet, chacun de ces résonateurs devra avoir de petites dimensions. Une longueur totale L de $5\ \text{mm}$, de même qu'une largeur totale W de $1\ \text{mm}$ seront les dimensions maximales admissibles. Dans le cas d'un résonateur ayant des dimensions plus petites que ces dimensions-là, tout ce qui vient d'être décrit et mentionné peut être appliqué. Ainsi, la largeur d'un bras résonnant sera de $0,4\ \text{mm}$ au maximum. En d'autres termes, si l'on considère que l'espace s entre les bras ne doit pas être plus grand que $100\ \mu$, aussi bien la condition $s/w > 0,25$ que la condition $s/t \geq 1$ seront satisfaites. En outre, afin d'obtenir une montre-bracelet encore plus précise ayant un écart de marche annuel inférieur à $5\ \text{sec}$, une diminution de l'erreur de position et une augmentation de la valeur ToM pourront simultanément être atteintes. De plus, les conditions posées par une production en grandes séries par le procédé d'attaque photo-chimique seront également remplies, puisque l'épaisseur t sera située dans le domaine de 70 à $150\ \mu$, l'espace s entre les bras étant supérieur à $120\ \mu$ et la condition selon laquelle le rapport s/t doit être supérieur à $1,5$ étant aussi satisfaite.

Les fig. 16 et 17 représentent respectivement le schéma d'un circuit oscillateur à deux résonateurs et un diagramme représentant la caractéristique fréquence/température de ce circuit oscillateur. Ce circuit utilise un résonateur 25, à température de maximum de caractéristique élevée ToH, correspondant à ce qui vient d'être décrit, de même qu'un résonateur, 24, à température de maximum de caractéristique de basse ToL. La caractéristique fréquence/température de chacun de ces deux résonateurs 24 et 25 est représentée à la fig. 17 par les courbes 24a et 25a. Ici, on a par exemple ToM $= 42^\circ\text{C}$ et ToL $= -10^\circ\text{C}$, ce qui est réalisé par des résonateurs dont la longueur totale L est d'approximativement $0,7\ \text{mm}$. Etant donné que le circuit oscillateur de la fig. 16 comprend deux résonateurs connectés en parallèle, on obtient une caractéristique globale fréquence/température extrêmement plate, illustrée à la fig. 17 par la courbe 26, qui peut être obtenue par un ajustage du circuit effectué dans des conditions optimales. Par exemple, la variation de fréquence entre 0 et 40°C sera dans le domaine de $2\ \text{PPM}$, ce qui constitue une caractéristique de température extrêmement bonne.

Par l'adoption du résonateur selon la présente invention, la condition d'une erreur de position ne dépassant pas 4×10^{-7} , et la condition de température de maximum de caractéristique élevée ToH $\geq 40^\circ\text{C}$, sont simultanément satisfaites, dans le cas d'un résonateur de dimensions extrêmement petites dont la longueur totale L est inférieure à $5\ \text{mm}$ et dont la largeur totale W est inférieure à $1\ \text{mm}$. De plus, dans le cas d'un circuit oscillateur conforme à la présente invention utilisant deux exemplaires d'un résonateur du type en question, une caractéristique fréquence/température très plate peut aisément être obtenue dans le domaine de 4 à 38°C . Enfin, une montre-bracelet électronique extrêmement précise, dont l'obtention constituait un but général primaire de la présente invention, peut être réalisée.

FIG. 1A

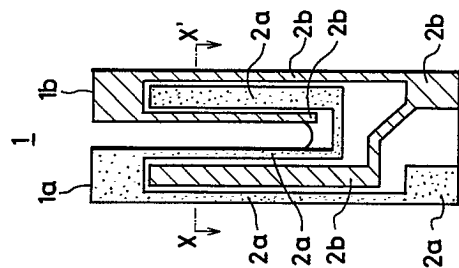


FIG. 1B

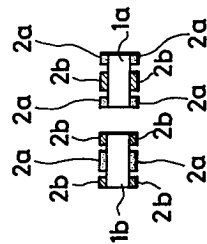


FIG. 4

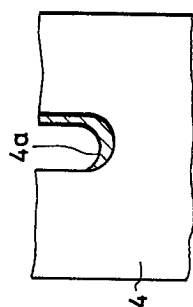


FIG. 5

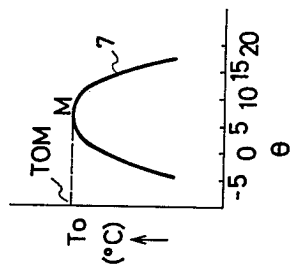


FIG. 3

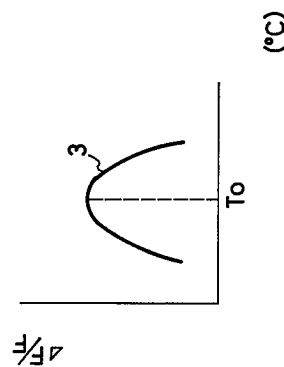


FIG. 6

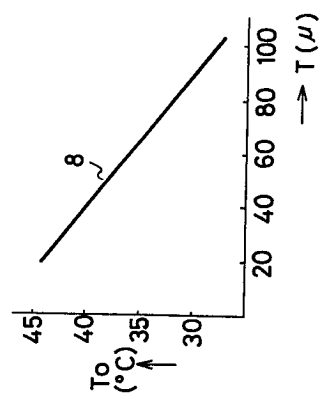


FIG. 7

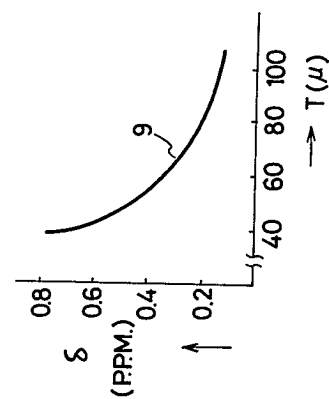


FIG. 2

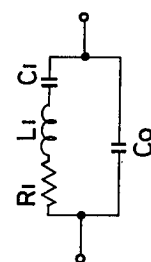


FIG. 8A FIG. 8B

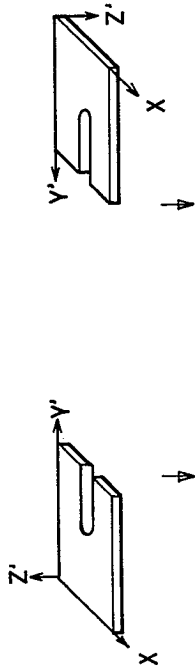


FIG. 10 FIG. 11

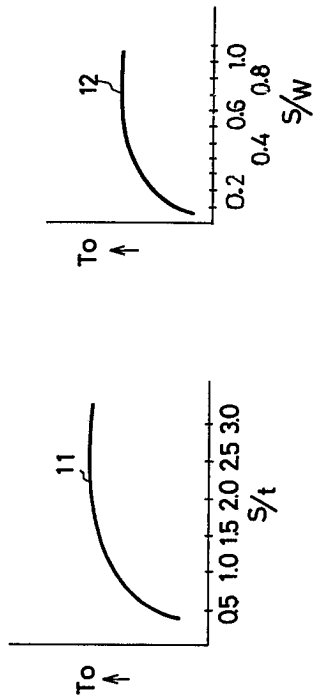


FIG. 9

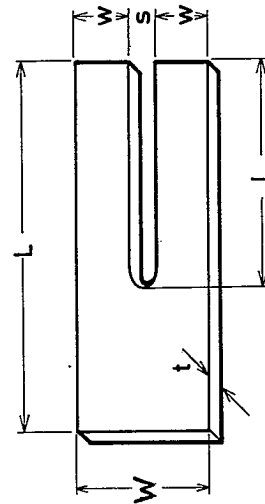


FIG. 12

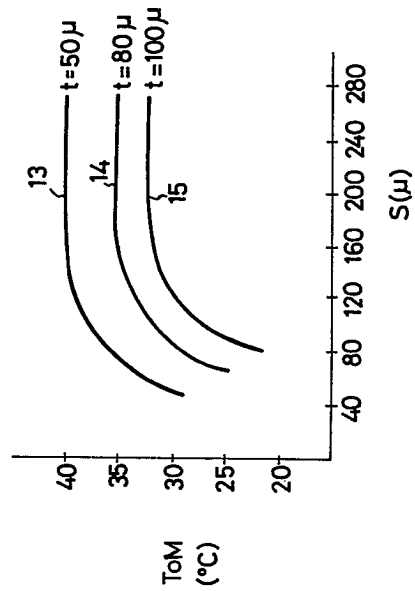


Figure 1 is a line graph showing the relationship between the temperature difference ΔT_0 (in $^{\circ}\text{C}$) on the y-axis and the parameter S (in μ) on the x-axis. The y-axis ranges from 3 to 12 with increments of 2. The x-axis ranges from 40 to 240 with increments of 40. Three curves are plotted, corresponding to different times t :

- The top curve is labeled $t = 100 \mu$. A bracket on this curve indicates a value of 20 on the y-axis.
- The middle curve is labeled $t = 80 \mu$. A bracket on this curve indicates a value of 19 on the y-axis.
- The bottom curve is labeled $t = 50 \mu$. A bracket on this curve indicates a value of 18 on the y-axis.

All three curves show an increasing trend of ΔT_0 as S increases, with the rate of increase appearing to level off at higher values of S .

FIG. 17

