

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

⑪ N° de publication :
(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 477 803

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

⑫

N° 81 03611

⑮ Résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes.

⑯ Classification internationale (Int. Cl. ³). H 03 H 9/21, 9/205.

⑰ Date de dépôt..... 24 février 1981.

⑱ ⑳ ㉑ Priorité revendiquée : Japon, demandes de brevets, 4 mars 1980, n° 26958/80; 16 octobre 1980, n° 144827/80, au nom de la demanderesse.

㉒ Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — «Listes » n° 37 du 11-9-1981.

㉓ Déposant : Société dite : KABUSHIKI KAISHA SUWA SEIKOSHA, résidant au Japon.

㉔ Invention de : Shigeru Kogure, Eishi Momosaki et Minoru Inoue.

㉕ Titulaire : *Idem* ㉓

㉖ Mandataire : Cabinet Flechner,
63, av. des Champs-Élysées, 75008 Paris.

La présente invention concerne un résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes, et elle porte plus particulièrement sur la forme d'une électrode à proximité du sommet d'une branche de diapason.

5 Dans une montre électronique classique, on utilise un résonateur à quartz du type diapason qui emploie le mode de flexion d'une lame en coupe X à +5°. Ce résonateur à quartz du type diapason est avantageux en ce qui concerne la précision de marche du fait que la caractéristique fréquence-
10 température est représentée par une parabole à la température ambiante. En outre, il présente également l'avantage d'avoir une faible consommation, du fait que la fréquence est basse. Cependant, même en utilisant ce résonateur, la précision de marche est d'environ vingt secondes par mois.

15 Ainsi, pour améliorer encore davantage la précision de marche et pour réaliser une montre électronique pouvant fonctionner longtemps, on a réalisé un résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes dont la caractéristique fréquence-température est une courbe cubique, avec
20 une fréquence basse, à la température ambiante.

Le résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes est décrit en détail dans les demandes de brevet JA 53-23903, 53-149499 et 53-149500.

Dans le résonateur à quartz du type diapason à
25 couplage de modes correspondant à l'invention, on utilise un premier partiel du mode de flexion en tant que vibration principale et on utilise une vibration fondamentale du mode de torsion en tant que vibration secondaire. La figure 1 montre l'aspect externe du résonateur à quartz du type dia-
30 pason à couplage de modes classique. La référence 1 désigne le résonateur, la référence 2 désigne des broches de support, la référence 3 désigne de la soudure et la référence 4 désigne une embase. L'axe X est un axe électrique, l'axe Y' est un axe mécanique correspondant à une rotation par rapport à
35 l'axe électrique et l'axe Z' est un axe optique correspondant à une rotation par rapport à l'axe électrique. Comme le montre la figure 1, les branches du diapason sont orientées dans la direction de l'axe Y'. La fréquence est d'environ

200 kHz.

On désigne par f_F la fréquence de résonance du premier partiel du mode de flexion (F_1) et par f_T la fréquence de résonance de la vibration fondamentale du mode de torsion (T_0). f_F et f_T sont ainsi les valeurs à la température de 20°C. La différence entre f_F et f_T est désignée par $\Delta f = f_F - f_T$. La caractéristique fréquence-température du résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes est déterminée par Δf . Lorsque Δf a la valeur spécifiée Δf_0 , on obtient une caractéristique fréquence-température qui est une courbe cubique à la température ambiante. Dans la fabrication en grande série du résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes, on se trouve en présence du problème de la dispersion des fréquences f_F et f_T , à cause de la variation inévitable des dimensions externes des résonateurs en fabrication en grande série. Ceci entraîne une dispersion sur Δf et la caractéristique fréquence-température devient finalement différente. On se trouve en outre en présence du problème qui consiste en ce que la fréquence de résonance de la vibration principale ne prend pas une valeur fixe, de la même manière que dans le cas du résonateur à un seul mode. Ainsi, pour fabriquer en grande série le résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes, il est essentiel d'ajuster la caractéristique fréquence-température et la fréquence de résonance de la vibration principale.

L'invention a pour but d'ajuster la caractéristique fréquence-température et d'ajuster la fréquence de résonance f_F à la valeur désirée f_{F0} .

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre de modes de réalisation et en se référant aux dessins annexés sur lesquels :

La figure 1 montre l'aspect du résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes classique.

La figure 2 montre la distribution d'amplitude du mode de flexion (F_1) et du mode de torsion (T_0).

La figure 3 montre le procédé d'ajustage de Δf et f_F par dépôt.

La figure 4 montre le procédé d'ajustage de Δf et

f_F par laser.

La figure 5 montre l'électrode 8 destinée à l'ajustage de Δf et l'électrode 9 destinée à l'ajustage de f_F disposées à proximité du sommet de la branche de diapason.

5 La figure 6 montre l'électrode en forme de triangle posé sur un sommet qui est destinée à l'ajustage de f_F .

La figure 7 montre l'état dans lequel la pellicule métallique est déposée sous la forme d'une bande longue et étroite.

10 La figure 8 montre les valeurs f_F et f_T obtenues avec des largeurs 10', 11', 12' et 13' correspondant aux largeurs 10, 11, 12 et 13 représentées sur la figure 7.

La figure 9 montre la différence des variations de la caractéristique fréquence-température entre le cas du
15 dépôt de la pellicule métallique sur l'un des plans de la branche de diapason et le cas du dépôt de la pellicule métallique sur les deux plans de la branche de diapason.

La figure 10 représente un autre mode de réalisation de l'invention.

20 La figure 11 représente encore un autre mode de réalisation de l'invention.

La figure 12 est destinée à l'explication de l'opération d'ajustage de f_F et de Δf .

25 La figure 13 montre l'électrode destinée à effectuer l'ajustage fin de f_F , une fois que cet ajustage fin a été effectué.

Les figures 14 et 15 sont des dessins destinés à l'explication de la forme de l'électrode destinée à l'ajustage fin de f_F .

30 La figure 16 est un dessin destiné à l'explication de la différence entre le plan +Z' et le plan -Z'.

Les figures 17, 18, 19 et 20 montrent d'autres modes de réalisation correspondant à l'invention.

35 La figure 21 montre la forme de l'électrode destinée à l'ajustage fin de f_F .

On se reportera maintenant à la figure 2 qui montre la distribution de l'amplitude de déplacement de F_1 dans la direction X, soit U_X , et la distribution des angles de tor-

sion de T_0 , soit γ , par rapport à l'axe de la branche de diapason. Les références A, B, C, D et E portées sur l'axe des abscisses correspondent respectivement aux parties A, B, C, D et E qui sont représentées sur la figure 1.

5 Du fait que la partie D correspond au noeud de vibration de F_1 , si on dépose une pellicule métallique sur la partie D ou si on enlève la pellicule déposée par application d'un faisceau laser, f_F ne varie que faiblement tandis que f_T diminue ou augmente fortement.

10 Si on désigne par P l'ajustage par dépôt de pellicule métallique et si on désigne par P' l'ajustage effectué par enlèvement de pellicule métallique au moyen du faisceau laser, l'état de Δf et f_F après ajustage est celui qui est représenté sur les figures 3 et 4. La figure 3 montre le cas
15 du dépôt de la pellicule métallique et la figure 4 montre le cas de l'enlèvement de la pellicule métallique par application du faisceau laser. Sur les figures 3 et 4, la fréquence f_F est décalée à partir de l'état initial 5 vers l'état intermédiaire 6 en effectuant l'ajustage P ou P' et, dans
20 cet état intermédiaire, Δf est ajustée à la valeur optimale Δf_0 . Dans l'état intermédiaire 6, f_F n'est pas ajustée à la valeur désirée f_{FO} .

Il est maintenant nécessaire d'ajuster f_F à f_{FO} en maintenant Δf à Δf_0 . Il existe un procédé qui consiste à
25 déposer simplement la pellicule métallique entre les régions E et D représentées sur les figures 1 et 2, ou à enlever simplement la pellicule déposée par application du faisceau laser mais, avec ce procédé, Δf change et ne conserve donc pas la valeur Δf_0 pendant l'ajustage faisant passer de f_F à
30 f_{FO} .

La figure 5 montre un mode de réalisation de la forme de l'électrode à proximité du sommet de la branche de diapason du résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes qui correspond à l'invention.

35 Les références E et D portées sur la figure 5 correspondent aux références E et D portées sur les figures 1 et 2. La référence 8 désigne la pellicule d'électrode qui est formée au noeud D de F_1 et sur laquelle on effectue les

ajustages P et P' qui sont représentés sur les figures 3 et 4.

L'électrode 8 est appelée électrode pour l'ajustage de Δf . La référence 9 désigne l'électrode destinée à ajuster f_F à f_{FO} en maintenant Δf à Δf_0 , et cette électrode a la forme d'un triangle posé sur un sommet. On appelle l'électrode 9 électrode pour l'ajustage de f_F . Si on dépose en outre la pellicule métallique sur la partie en forme de triangle posé sur le sommet de l'électrode d'ajustage de f_F , 9, ou si on enlève la pellicule métallique de la partie en forme de triangle posé sur le sommet de l'électrode d'ajustage de f_F , 9, par application du faisceau laser, on peut ajuster f_F à f_{FO} en maintenant Δf à Δf_0 .

Les ajustages mentionnés ci-dessus sont représentés par Q sur la figure 3 et par Q' sur la figure 4. La référence 7 désigne l'état dans lequel Δf et f_F sont finalement ajustés respectivement à Δf_0 et f_{FO} .

On va maintenant indiquer la raison pour laquelle on utilise la forme en triangles posés sur le sommet, comme il est indiqué en 9, pour l'électrode d'ajustage de f_F . On désigne ici également par l'expression "triangle posé sur le sommet" la forme dans laquelle le sommet inférieur d'un triangle est tronqué, comme il est représenté sur la figure 6. Entre E et D, la variation de U_X est élevée mais la variation de \mathcal{Z} est faible, comme le montre la figure 2. En outre, le déplacement produit par \mathcal{Z} est plus faible près du centre de la branche de diapason et il est plus élevé au bord de la branche de diapason. U_X a des valeurs pratiquement égales au centre comme au bord de la branche de diapason.

Lorsque la pellicule de métal est déposée sur la partie hachurée avec les lignes obliques 14 sur la figure 7, avec des largeurs respectives 10, 11, 12 et 13, les variations Δf_F et Δf_T de f_F et f_T sont celles qui sont représentées sur la figure 8.

Ainsi, lorsque la pellicule métallique est déposée avec une largeur 12, la diminution de f_F est égale à la diminution de f_T . Autrement dit, il existe une largeur de

dépôt de la pellicule métallique pour laquelle la diminution de f_F est égale à la diminution de f_T . Lorsqu'on change la position de la partie 14 sur laquelle est effectué le dépôt, il existe une largeur pour laquelle Δf_F est égale à Δf_T , dans une certaine position changée. Du fait que U_X diminue rapidement lorsque la position de la partie 14 s'approche de D, la largeur pour laquelle Δf_F devient égale à Δf_T devient également faible. Du fait que U_X a une valeur élevée si la position de la partie 14 sur laquelle le dépôt est effectué s'approche de E, la largeur pour laquelle Δf_F devient égale à Δf_T devient grande. Ainsi, la forme de l'électrode d'ajustage de f_F correspond au triangle posé sur un sommet.

Les références 10', 11', 12' et 13' portées sur la figure 8 correspondent ainsi respectivement aux cas dans lesquels la pellicule métallique est déposée avec les largeurs 10, 11, 12 et 13 représentées sur la figure 7. En outre, Δf_F et Δf_T montrent la différence entre la fréquence lorsque la pellicule métallique est déposée et la fréquence lorsque la pellicule n'est pas déposée.

Les raisons indiquées ci-dessus font qu'on peut augmenter f_F et f_T de la même quantité lorsqu'on enlève de la pellicule métallique par application du faisceau laser pour ajuster f_F .

Pour ajuster Δf et f_F , on peut ajuster Δf par dépôt et on peut ajuster f_F par application du faisceau laser. De façon similaire, on peut ajuster Δf par application du faisceau laser et on peut ajuster f_F par dépôt.

Lorsqu'on effectue l'ajustage par application du faisceau laser, il est intéressant d'effectuer préalablement un dépôt ou un revêtement épais avec la pellicule métallique sur l'électrode d'ajustage de Δf ou sur l'électrode d'ajustage de f_F , ou sur les deux, afin d'augmenter la valeur de l'ajustage.

Le noeud de F_1 se trouve dans la partie située vers 0,2 à partir du sommet de la branche de diapason, si on désigne par 1 la longueur de la branche de diapason. Il est alors nécessaire que l'électrode 8 destinée à l'ajustage

de Δf soit disposée dans une plage allant de 0,1 à 0,4 à partir du sommet de la branche de diapason et que l'électrode d'ajustage de f_F soit disposée dans la partie allant de 0 à 0,2.

5 Il est en outre nécessaire que l'électrode de réglage de Δf et l'électrode de réglage de f_F soient fixées sur la face avant comme sur la face arrière de la branche de diapason. La raison en est la suivante. La variation de la caractéristique fréquence-température qui résulte de la
10 dispersion en fabrication est représentée sur la figure 9 sur laquelle on a porté en ordonnée la variation (Δ) de f_F lorsque la température varie de 0°C à 40°C et on a porté en abscisse Δf . Les cercles pleins représentent Δ en fonction de Δf . Lorsqu'on dépose la pellicule métallique sur l'élec-
15 trode d'ajustage de Δf du plan -Z' du résonateur ayant la caractéristique qui correspond au point 16, la caractéristique fréquence-température change de la manière qui est indiquée par la flèche 18. Lorsqu'on effectue en ce qui concerne le plan +Z' une opération identique à celle indiquée
20 ci-dessus, la caractéristique fréquence-température change de la manière qui est indiquée par la flèche 19. Lorsqu'on dépose la pellicule métallique sur l'électrode de réglage de Δf sur le plan -Z' et sur le plan +Z', la caractéristique fréquence-température change de la manière qu'indique la
25 flèche 20.

Lorsqu'une opération identique à celle indiquée ci-dessus est effectuée uniquement pour le plan -Z', uniquement pour le plan +Z' ou à la fois pour le plan +Z' et le plan -Z' du résonateur ayant la caractéristique qui corres-
30 pond au point 17, la caractéristique fréquence-température change selon les manières qui sont respectivement indiquées par les flèches 21, 22 et 23. Lorsque la pellicule métallique est déposée uniquement sur l'électrode de réglage de Δf de l'un des plans, la variation Δ du résonateur qui est
35 représenté par le point 16 ainsi que la variation Δ du résonateur qui est représenté par le point 17 diminuent fortement mais les valeurs de Δf sont différentes lorsque $\Delta \approx 0$. Cependant, lorsque la pellicule métallique est déposée

sur l'électrode de réglage de Δf des deux plans, la variation Δ des deux résonateurs diminue fortement lorsque Δf est égal à Δf_0 , comme le montrent les flèches 20 et 23. Ceci constitue un avantage important du fait qu'on peut ajuster la

5 caractéristique fréquence-température en définissant Δf dans la fabrication en grande série.

Ainsi, lorsque la pellicule métallique d'ajustage de Δf qui a été ajustée préalablement est enlevée à l'aide du faisceau laser, on peut obtenir la caractéristique

10 fréquence-température désirée, correspondant à la courbe cubique, pour Δf_0 , en enlevant la pellicule métallique sur les deux plans.

Il est nécessaire que l'électrode d'ajustage de f_F soit placée sur les deux plans (le plan +Z et le plan -Z)

15 de la branche de diapason et que les pellicules métalliques soient déposées ou enlevées sur les deux plans. Si l'opération indiquée ci-dessus n'est pas effectuée sur les deux plans, la caractéristique fréquence-température se décale, même si on ajuste f_F à f_{F0} en maintenant Δf à Δf_0 . En

20 d'autres termes, la valeur de Δf pour laquelle on obtient la caractéristique fréquence-température correspondant à une courbe cubique n'est pas Δf_0 . Ainsi, il est nécessaire que l'électrode d'ajustage de Δf et l'électrode d'ajustage de f_F soient disposées sur les deux plans et que l'opération

25 d'ajustage soit effectuée sur les deux plans.

La figure 10 représente un autre mode de réalisation de l'invention. La référence 24 désigne l'électrode d'ajustage de Δf et la référence 25 désigne l'électrode d'ajustage de f_F .

30 La référence 25 montre que l'électrode qui est formée en tant qu'électrode d'ajustage de f_F n'occupe que la partie inférieure de l'électrode d'ajustage de f_F , en forme de triangle posé sur le sommet, qui est représentée sur la figure 5.

35 Comme il a été indiqué précédemment, on peut ajuster les paramètres f_F et Δf du résonateur à quartz du type diapason à couplage de mode en disposant l'électrode d'ajustage de Δf comme l'électrode d'ajustage de f_F sur les deux

plans, à proximité du sommet de la branche de diapason. On peut ainsi augmenter la productivité de la fabrication en grande série.

On se reportera maintenant à la figure 11 qui
 5 représente un mode de réalisation de la forme des électrodes de la branche de diapason correspondant à l'invention. L'électrode 5 dessinée avec les marques (⋆⋆⋆) est une électrode d'excitation, l'électrode 6 dessinée avec les marques (|||||) est une électrode d'ajustage grossier de f_F , l'élec-
 10 trode 7 dessinée avec les marques (⊗⊗⊗) est une électrode d'ajustage de Δf et l'électrode 8 dessinée avec les marques (≡) est une électrode d'ajustage fin de f_F . L'axe Y' est parallèle à la plus grande dimension des branches du diapason. Sur l'axe Y', la base des branches du résonateur à
 15 quartz du type diapason est désignée par 0 et leurs extrémités sont désignées par 1. On peut ajuster f_F à f_{F0} et on peut ajuster Δf à Δf_0 en utilisant l'électrode 6 pour l'ajustage grossier de f_F , l'électrode 7 pour l'ajustage de Δf et l'électrode 8 pour l'ajustage fin de f_F . Le principe
 20 et le procédé utilisés sont expliqués ci-après.

En retournant maintenant à la figure 2, on note que la valeur de U_x présente un ventre de vibration au milieu de la branche de diapason, un noeud de vibration dans la partie D et atteint un maximum au sommet de la branche de
 25 diapason. La valeur de \mathcal{T} atteint un maximum au sommet de la branche de diapason et diminue de façon monotone vers la base de la branche. L'électrode 6 pour l'ajustage grossier de f_F , l'électrode 7 pour l'ajustage de Δf et l'électrode 8 pour l'ajustage fin de f_F sont respectivement disposées dans
 30 les parties qui correspondent aux régions 9, 10 et 11. La figure 12 montre les transitions de f_F et f_T lorsqu'on ajuste f_F et Δf en utilisant les électrodes mentionnées ci-dessus. On a porté les étapes d'ajustage sur l'axe des abscisses et la fréquence sur l'axe des ordonnées. Les éta-
 35 pes I, II, III et IV de l'axe des abscisses correspondent respectivement à l'état initial, à l'état après l'ajustage grossier de f_F , à l'état après l'ajustage de Δf et à l'état terminé. Les références A_1 , A_2 et A_3 désignent respectivement

l'opération d'ajustage grossier de f_F , l'opération d'ajustage de Δf et l'opération d'ajustage fin de f_F .

On va tout d'abord expliquer l'opération A_1 qui correspond à l'ajustage grossier de f_F . L'électrode 6 pour 5 l'ajustage grossier de f_F se trouve dans la région 9 dans laquelle les valeurs de U_x comme de \mathcal{Z} sont élevées. Ainsi, les valeurs de f_F et f_T augmentent lorsqu'on enlève une partie de l'électrode située dans la région 9, par application du faisceau laser. Lorsque f_F atteint une valeur inférieure d'environ 100 ppm à f_{F0} , l'opération A_1 correspondant 10 à l'ajustage grossier de f_F est terminée et l'ajustage passe à l'étape II, c'est-à-dire à l'état après ajustage grossier de f_F .

On effectue ensuite l'opération A_2 correspondant 15 à l'ajustage de Δf . L'électrode 7 pour l'ajustage de Δf est dans la région 10 dans laquelle U_x est très faible et \mathcal{Z} est élevé. De ce fait, f_F n'augmente que faiblement et f_T augmente fortement lorsqu'on enlève une partie de l'électrode dans la région 10 par application du faisceau laser. 20 Lorsque Δf atteint Δf_0 , l'opération A_2 correspondant à l'ajustage de Δf est terminée et l'étape d'ajustage passe à l'étape III, c'est-à-dire l'état après ajustage de Δf . On effectue enfin l'opération A_3 correspondant à l'ajustage fin de f_F . Dans cet ajustage fin, il est nécessaire d'ajuster f_F 25 à f_{F0} en maintenant Δf à Δf_0 . On utilise ainsi l'électrode ayant la forme particulière qui est représentée sur la figure 11. La figure 13 montre le sommet des branches de diapason lorsqu'on ajuste l'électrode pour réaliser l'ajustage fin de f_F par application du faisceau laser. La référence 12 désigne 30 l'électrode d'ajustage fin de f_F et la référence 13 désigne la trace formée après enlèvement d'une partie de l'électrode par application du faisceau laser. Dans l'opération A_3 correspondant à l'ajustage fin de f_F , on enlève une partie de l'électrode dans la direction de la largeur de la branche 35 de diapason, comme le montre la figure 13. Lorsqu'on enlève une partie de l'électrode comme il a été indiqué précédemment, on peut ajuster f_F à f_{F0} en maintenant Δf à Δf_0 , du fait que f_F et f_T varient toujours de quantités égales.

L'étape d'ajustage passe alors à l'état achevé IV dans lequel f_F correspond à f_{F0} et dans lequel la caractéristique fréquence-température est une courbe cubique à la température ambiante.

- 5 On va maintenant expliquer la raison pour laquelle on utilise l'électrode 8 ayant la forme particulière représentée en tant qu'électrode d'ajustage fin de f_F . Dans la région 11, la variation de U_X est grande mais la variation de \mathcal{Z} est faible, comme le montre la figure 2. Ainsi,
- 10 l'amplitude générée par \mathcal{Z} est plus faible dans la partie proche du centre de la branche de diapason et est plus grande au bord de la branche de diapason. U_X a approximativement la même valeur près du centre de la branche de diapason ou au bord de la branche de diapason. Lorsqu'on dépose la
- 15 pellicule métallique dans la partie 16 hachurée avec des lignes obliques, avec des largeurs 12', 13', 14 et 15 indiquées sur la figure 14, les variations Δf_F de f_F et Δf_T de f_T ont les valeurs qui sont indiquées sur la figure 15. Ainsi, lorsqu'on dépose la pellicule métallique avec la
- 20 largeur 14, les diminutions de f_F et f_T deviennent mutuellement égales. En d'autres termes, il existe une largeur de la pellicule métallique pour laquelle les diminutions de f_F et f_T deviennent mutuellement égales. Lorsqu'on modifie la position de la partie 16 où on effectue le dépôt, dans la
- 25 direction longitudinale de la branche de diapason, il existe une largeur pour laquelle les variations Δf_F et Δf_T deviennent mutuellement égales. Lorsque la position de la partie 16 sur laquelle on effectue le dépôt s'approche de D, la largeur pour laquelle Δf_F et Δf_T sont égales diminue du fait
- 30 que U_X diminue rapidement. Lorsque la position de la partie 16 sur laquelle on effectue le dépôt s'approche de E, la largeur pour laquelle Δf_F et Δf_T sont égales augmente du fait que U_X est élevé. Ainsi, l'électrode 8 pour le réglage fin de f_F a la forme qui est indiquée sur la figure 11. Les
- 35 points 12", 13", 14' et 15' sur la figure 15 correspondent alors respectivement aux cas dans lesquels la pellicule métallique est déposée avec les largeurs 12', 13', 14 et 15 sur la figure 14. Δf_F et Δf_T sont les différences entre la

fréquence dans le cas où on dépose la pellicule métallique et la fréquence dans le cas où on ne dépose pas la pellicule métallique.

Les raisons indiquées ci-dessus font qu'on peut
5 augmenter f_F et f_T de valeurs égales par application du faisceau laser et enlèvement d'une partie de l'électrode d'ajustage fin de f_F .

Si on prend la valeur 1 pour la longueur de la
branche de diapason, chaque électrode doit être placée dans
10 la partie indiquée ci-dessous, définie à partir du sommet de la branche de diapason :

Electrode d'ajustage fin de f_F : 0 à 0,2,

Electrode d'ajustage de Δf : 0,1 à 0,4,

Electrode d'ajustage grossier de f_F : 0,3 à 0,5.

15 De plus, les trois sortes d'électrodes mentionnées ci-dessus doivent être fixées avec la même épaisseur de pellicule sur les faces avant et arrière de la branche de diapason. La raison en est indiquée ci-après.

La figure 16 montre la variation de la caractéristique
20 fréquence-température qui résulte de la dispersion en fabrication et, sur cette figure, la variation (Δ) de f_F entre 0°C et 40°C est portée le long de l'axe des ordonnées, tandis que Δf est portée le long de l'axe des abscisses. Les cercles pleins montrent Δ en fonction de Δf . Lorsqu'on
25 enlève uniquement l'électrode d'ajustage de Δf du plan -Z' du résonateur ayant la caractéristique qui correspond au point 17, par application du faisceau laser, Δ varie de la manière qu'indique la flèche 19, et lorsqu'on n'enlève que l'électrode d'ajustage de Δf du plan +Z', par application
30 du faisceau laser, Δ varie de la manière qu'indique la flèche 18. Lorsqu'on enlève les électrodes d'ajustage de Δf du plan -Z' comme du plan +Z', par application du faisceau laser, Δ varie de la manière qu'indique la flèche 20. Lorsqu'on effectue la même opération seulement pour le plan
35 -Z', seulement pour le plan +Z' ou pour les deux plans +Z' et -Z' du résonateur ayant la caractéristique qui correspond au point 21, Δ varie de la manière qu'indiquent respectivement les flèches 23, 22 ou 24. Lorsqu'on enlève uniquement

l'électrode d'ajustage de Δf de l'un des plans, les valeurs de Δf pour lesquelles Δ est nulle ne sont pas les mêmes pour le résonateur qui correspond au point 21 et pour le résonateur qui correspond au point 17. Cependant, lorsqu'on enlève
 5 les électrodes d'ajustage de Δf des deux plans, en appliquant le faisceau laser, la valeur de Δ est nulle lorsque Δf est égale à Δf_0 , dans les deux résonateurs correspondant aux points 21 et 17, comme le montrent les flèches 20 et 24. Ceci constitue un avantage important du fait qu'on peut
 10 ajuster la caractéristique fréquence-température en agissant sur Δf au cours de la fabrication en grande série. Les principes indiqués ci-dessus peuvent être appliqués à l'électrode d'ajustage grossier de f_F ou à l'électrode d'ajustage fin de f_F .

15 La figure 17 représente un autre mode de réalisation de l'invention. La référence 25 désigne une électrode d'excitation, la référence 26 désigne une électrode d'ajustage grossier de f_F , la référence 27 désigne une électrode d'ajustage de Δf et la référence 28 désigne une électrode
 20 d'ajustage fin de f_F . L'électrode 26 destinée à l'ajustage grossier de f_F , l'électrode 27 destinée à l'ajustage de Δf et l'électrode 28 destinée à l'ajustage fin de f_F sont respectivement situées dans les régions 11, 10 et 9 indiquées sur la figure 2. La forme de l'électrode 8 destinée
 25 à l'ajustage fin de f_F qui est représentée sur la figure 11 et la forme de l'électrode 28 destinée à l'ajustage fin de f_F qui est représentée sur la figure 17 sont inversées dans la grande dimension de la branche de diapason, du fait que U_X est élevé au sommet du diapason pour l'électrode 8
 30 destinée à l'ajustage fin de f_F et que U_X est élevé dans la partie de base du diapason pour l'électrode 28 destinée à l'ajustage fin de f_F . On peut effectuer l'ajustage de Δf et f_F par le procédé indiqué en relation avec la figure 12. Les électrodes doivent être placées dans les positions res-
 35 pectives suivantes :

Electrode d'ajustage grossier de f_F : 0 à 0,2,
 Electrode d'ajustage de Δf : 0,1 à 0,4,
 Electrode d'ajustage fin de f_F : 0,2 à 0,5.

La figure 18 représente un autre mode de réalisation de l'invention. La référence 29 désigne l'électrode d'excitation de la vibration, la référence 30 désigne l'électrode d'ajustage de Δf et la référence 31 désigne l'électrode d'ajustage fin de f_F . Ce mode de réalisation ne permet d'ajuster qu'un résonateur ayant une dispersion ne dépassant pas 100 ppm vis à vis de f_{F0} sans ajustage grossier de f_F , du fait qu'il ne comporte pas d'électrode d'ajustage grossier de f_F . Cependant, on peut également mettre en oeuvre ce procédé en définissant les dimensions pour faire en sorte que la valeur moyenne de la dispersion de f_F résultant du processus de fabrication soit égale à f_{F0} . Les électrodes doivent être placées de la manière suivante :

- Electrode d'ajustage fin de f_F : 0 à 0,2,
- Electrode d'ajustage de Δf : 0,1 à 0,5.

La figure 19 représente un autre mode de réalisation de l'invention. La référence 32 désigne l'électrode d'excitation, la référence 33 désigne l'électrode d'ajustage fin de f_F , la référence 34 désigne l'électrode d'ajustage de Δf et l'électrode d'ajustage grossier de f_F est supprimée. Chaque électrode doit être placée de la manière suivante :

- Electrode d'ajustage fin de f_F : 0,2 à 0,5,
- Electrode d'ajustage de Δf : 0,1 à 0,4.

La figure 20 représente un autre mode de réalisation de l'invention. La référence 35 désigne l'électrode d'excitation, les références 36 et 38 désignent les électrodes d'ajustage fin de f_F et la référence 37 désigne l'électrode d'ajustage de Δf . Dans ce mode de réalisation, il y a deux électrodes d'ajustage fin de f_F et l'ajustage fin de f_F peut être effectué de façon encore plus précise en découpant tour à tour deux électrodes d'ajustage fin de f_F , par application du faisceau laser. Chaque électrode doit être placée de la manière suivante :

- Electrodes d'ajustage fin de f_F : 0 à 0,2 et 0,2 à 0,5,
- Electrode d'ajustage de Δf : 0,1 à 0,4.

La figure 21 montre la forme de l'électrode d'ajustage fin de f_F . Il y a deux formes : (a) et (b). Les angles

θ et θ' indiqués vont de 30° à 80° . Les côtés 39 et 40 sont normalement des lignes courbes, comme le montre la figure 13, mais ils sont dessinés sous la forme de lignes droites sur les figures 11, 13, 14, 17, 18, 19 et 20, du fait que
 5 les courbures sont faibles. La forme qui est représentée sur la figure 21 est appelée "triangle" et θ et θ' sont appelés "angles entre la ligne oblique et la direction de la largeur de la branche de diapason".

Il est bon que le métal soit préalablement déposé,
 10 pulvérisé ou plaqué avec une épaisseur élevée sur l'électrode d'ajustage grossier de f_F , l'électrode d'ajustage fin de f_F et l'électrode d'ajustage de Δf pour que le procédé d'ajustage indiqué ci-dessus puisse être mis en oeuvre efficacement.

15 Dans les explications précédentes concernant l'invention, on a indiqué que tous les ajustages étaient effectués par application d'un faisceau laser. On peut cependant effectuer les ajustages par dépôt ou en procédant simultanément par dépôt et par application d'un faisceau
 20 laser.

Dans les explications qui précèdent, on définit la caractéristique fréquence-température au moyen de Δf , mais on peut également la définir au moyen de R (avec $R \equiv f_T/f_F$, f_F et f_T désignant les valeurs à 20°C).

25 On a alors : $f_F \approx f_T$, du fait que $\Delta f \ll f_F$, et la forme de l'électrode d'ajustage fin de f_F est approximativement identique à celle de l'électrode du cas dans lequel on définit la caractéristique fréquence-température au moyen de Δf . Par exemple, $f \approx 4$ kHz, lorsque $f_F \approx 200$ kHz.

30 Comme il a été indiqué précédemment, dans le résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes utilisant le couplage du premier partiel du mode de flexion et de la vibration fondamentale du mode de torsion, on peut faire en sorte que l'électrode d'ajustage grossier de f_F et
 35 l'électrode d'ajustage de Δf soient disposées à proximité du sommet de la branche de diapason, et on ajuste f_F et Δf de façon à les faire correspondre aux valeurs fixées f_{F0} et Δf_0 . L'invention permet d'augmenter la productivité de la

fabrication du résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes. En outre, l'utilisation dans une montre électronique du résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes correspondant à l'invention permet d'obtenir une
5 montre fonctionnant longtemps et ayant une précision élevée.

Le principe de l'invention peut évidemment être également adapté à un résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes utilisant d'autres modes. Ainsi, ce principe peut être mis en oeuvre en disposant sur la branche de
10 diapason l'électrode d'ajustage de la fréquence de résonance de la vibration principale et l'électrode d'ajustage de la caractéristique fréquence-température de la vibration principale. On entend par vibration principale le mode de vibration dont l'oscillation est utilisée en pratique dans le
15 circuit oscillateur.

Il va de soi que de nombreuses modifications peuvent être apportées au dispositif décrit et représenté, sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDEICATIONS

1. Résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes utilisant le couplage de deux modes de vibration différents, caractérisé en ce qu'il comporte une électrode d'ajustage de f_F et une électrode d'ajustage de Δf , en désignant par f_F la fréquence de l'un des modes de vibration, par f_T la fréquence de l'autre mode de vibration et par Δf la différence entre les deux fréquences f_F et f_T .

2. Résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes selon la revendication 1, dans lequel la vibration fondamentale du mode de torsion est couplée au premier partiel du mode de flexion, caractérisé en ce qu'il comporte une électrode en forme de triangle posé sur un sommet, dans la partie comprise entre 0 et 0,2 à partir du sommet de la branche de diapason, et une électrode rectangulaire dans la partie comprise entre 0,1 et 0,4, sur les deux plans de la branche de diapason, la longueur de cette branche de diapason étant prise égale à 1.

3. Résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes selon la revendication 1, dans lequel la vibration fondamentale du mode de torsion est couplée au premier partiel du mode de flexion, ce résonateur comprenant une électrode en forme de triangle posé sur un sommet dans la partie comprise entre 0 et 0,2 à partir du sommet de la branche de diapason et une électrode rectangulaire dans la partie comprise entre 0,1 et 0,4, sur les deux plans, la longueur de la branche de diapason étant prise égale à 1, caractérisé en ce que l'électrode en forme de triangle posé sur un sommet et l'électrode rectangulaire sont partiellement enlevées par application d'un faisceau laser, dans le but d'ajuster la caractéristique fréquence-température et la fréquence d'oscillation.

4. Résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes selon la revendication 1, dans lequel la vibration fondamentale du mode de torsion est couplée au premier partiel du mode de flexion, ce résonateur comprenant une électrode en forme de triangle posé sur un sommet dans la partie

comprise entre 0 et 0,2 à partir du sommet de la branche de diapason et une électrode rectangulaire dans la partie comprise entre 0,1 et 0,4, sur les deux plans, la longueur de la branche de diapason étant prise égale à 1, caractérisé en ce que l'électrode en forme de triangle posé sur un sommet et l'électrode rectangulaire sont déposées sous la forme d'une pellicule métallique dans le but d'ajuster la caractéristique fréquence-température et la fréquence d'oscillation.

5
10
15
20
25
30
35

5. Résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes selon la revendication 1, dans lequel la vibration fondamentale du mode de torsion est couplée au premier partiel du mode de flexion, ce résonateur comprenant une électrode en forme de triangle posé sur un sommet dans la partie comprise entre 0 et 0,2 à partir du sommet de la branche de diapason et une électrode rectangulaire dans la partie comprise entre 0,1 et 0,4, sur les deux plans, la longueur de la branche de diapason étant prise égale à 1, caractérisé en ce que l'électrode en forme de triangle posé sur un sommet ou l'électrode rectangulaire est déposée sous la forme d'une pellicule métallique et l'autre électrode est partiellement enlevée par application d'un faisceau laser, dans le but d'ajuster la caractéristique fréquence-température et la fréquence d'oscillation.

6. Résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes selon la revendication 1, dans lequel la vibration fondamentale du mode de torsion est couplée au premier partiel du mode de flexion, ce résonateur comprenant une électrode en forme de triangle posé sur un sommet dans la partie comprise entre 0 et 0,2 à partir du sommet de la branche de diapason et une électrode rectangulaire dans la partie comprise entre 0,1 et 0,4, sur les deux plans, en prenant la longueur de la branche de diapason égale à 1, caractérisé en ce que l'électrode en forme de triangle posé sur un sommet ou l'électrode rectangulaire, ayant été déposée ou plaquée préalablement sous la forme d'une pellicule métallique épaisse, est partiellement enlevée par application d'un faisceau laser, tandis que l'autre électrode est déposée

sous la forme de la pellicule métallique, afin d'ajuster la caractéristique fréquence-température et la fréquence d'oscillation.

5 7. Résonateur à quartz du type diapason à couplage
de modes selon la revendication 1, dans lequel la vibration
fondamentale du mode de torsion est couplée au premier par-
tiel du mode de flexion, ce résonateur comprenant une élec-
trode en forme de triangle posé sur un sommet dans la partie
comprise entre 0 et 0,2 à partir du sommet de la branche de
10 diapason et une électrode rectangulaire dans la partie com-
prise entre 0,1 et 0,4, sur les deux plans, la longueur de
la branche de diapason étant prise égale à 1, caractérisé
en ce que l'électrode en forme de triangle posé sur un
sommet comme l'électrode rectangulaire ayant été déposées
15 ou plaquées préalablement sous la forme d'une pellicule
métallique épaisse sont partiellement enlevées par applica-
tion d'un faisceau laser dans le but d'ajuster la caracté-
ristique fréquence-température et la fréquence d'oscilla-
tion.

20 8. Résonateur à quartz du type diapason à couplage
de modes, caractérisé en ce qu'il comporte, sur la branche
de diapason, une électrode d'ajustage de la fréquence de
résonance d'une vibration principale et une électrode
d'ajustage de la caractéristique fréquence-température de
25 la vibration principale.

9. Résonateur à quartz du type diapason à couplage
de modes selon la revendication 8, utilisant le premier
partiel du mode de flexion et la vibration fondamentale du
mode de torsion, caractérisé en ce qu'il comporte sur la
30 branche de diapason une électrode d'ajustage de f_F et une
électrode d'ajustage de Δf ($\equiv f_F - f_T$), ou une électrode
d'ajustage de R ($\equiv f_T/f_F$) en désignant par f_F la fréquence
de résonance du mode de flexion et par f_T la fréquence de
résonance du mode de torsion à 20°C.

35 10. Résonateur à quartz du type diapason à cou-
plage de modes selon la revendication 9, caractérisé en ce
qu'il comporte une électrode en forme de triangle posé sur
un sommet destinée à l'ajustage fin de f_F , située dans la

région comprise entre 0 et 0,2, une électrode d'ajustage de Δf ou une électrode d'ajustage de R dans la région comprise entre 0,1 et 0,4 et une électrode d'ajustage grossier de f_F dans la région comprise entre 0,3 et 0,5 à partir du sommet 5 de la branche de diapason, la longueur totale de la branche de diapason du résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes étant prise égale à 1.

11. Résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes selon la revendication 9, caractérisé en ce 10 qu'il comporte une électrode d'ajustage grossier de f_F dans la région comprise entre 0 et 0,2 à partir du sommet de la branche de diapason, une électrode d'ajustage de Δf ou une électrode d'ajustage de R dans la région comprise entre 0,1 et 0,4 et une électrode triangulaire d'ajustage fin de f_F 15 dans la région comprise entre 0,2 et 0,5, la longueur totale de la branche de diapason du résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes étant prise égale à 1.

12. Résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes selon la revendication 9, caractérisé en ce 20 qu'il comporte une électrode triangulaire d'ajustage fin de f_F dans la région comprise entre 0 et 0,2 à partir du sommet de la branche de diapason, et une électrode d'ajustage de Δf dans la région comprise entre 0,1 et 0,5 ou une électrode d'ajustage de R dans la région comprise entre 0,1 et 0,5, 25 la longueur totale de la branche de diapason du résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes étant prise égale à 1.

13. Résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes selon la revendication 9, caractérisé en ce 30 qu'il comporte une électrode triangulaire d'ajustage fin de f_F dans la région comprise entre 0,2 et 0,5 à partir du sommet de la branche de diapason, et une électrode d'ajustage de Δf ou une électrode d'ajustage de R dans la région comprise entre 0,1 et 0,4 à partir du sommet de la branche 35 de diapason, la longueur totale de la branche de diapason du résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes étant prise égale à 1.

14. Résonateur à quartz du type diapason à coupla-

- ge de modes selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comporte une électrode triangulaire d'ajustage fin de f_F dans la région comprise entre 0 et 0,2 ainsi que dans la région comprise entre 0,2 et 0,5 à partir du sommet de la
- 5 branche de diapason, et une électrode d'ajustage de Δf ou une électrode d'ajustage de R dans la région comprise entre 0,1 et 0,4 à partir du sommet de la branche de diapason, la longueur totale du résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes étant prise égale à 1.
- 10 15. Résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes selon l'une quelconque des revendications 9, 10, 12 ou 14, caractérisé en ce que l'angle entre une ligne oblique de l'électrode triangulaire d'ajustage fin de f_F , située dans la région comprise entre 0 et 0,2 à partir du
- 15 sommet de la branche de diapason, et la direction de la largeur de la branche de diapason est compris entre 30° et 80° , la longueur totale de la branche de diapason du résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes étant prise égale à 1.
- 20 16. Résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes selon l'une quelconque des revendications 9, 11, 13 ou 14, caractérisé en ce que l'angle entre une ligne oblique de l'électrode triangulaire d'ajustage fin de f_F , située dans la région comprise entre 0,2 et 0,5 à partir du
- 25 sommet de la branche de diapason, et la direction de la largeur de la branche de diapason est compris entre 30° et 80° , la longueur totale de la branche de diapason du résonateur à quartz du type diapason à couplage de modes étant prise égale à 1.

PL. 1/5

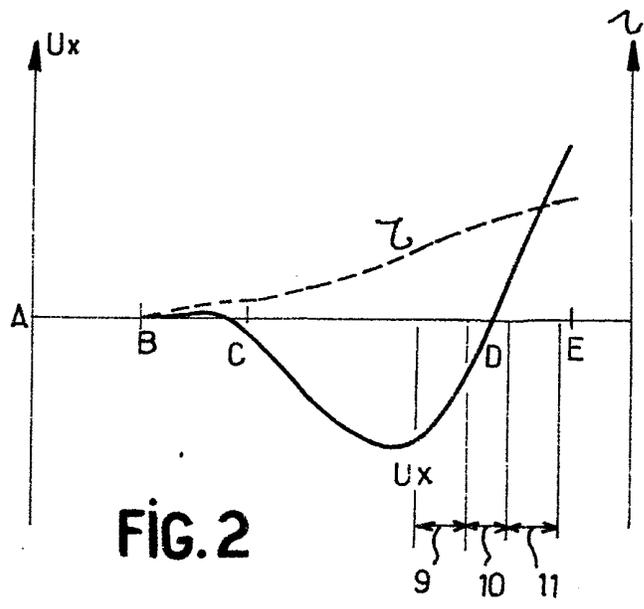
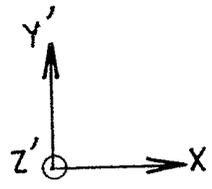
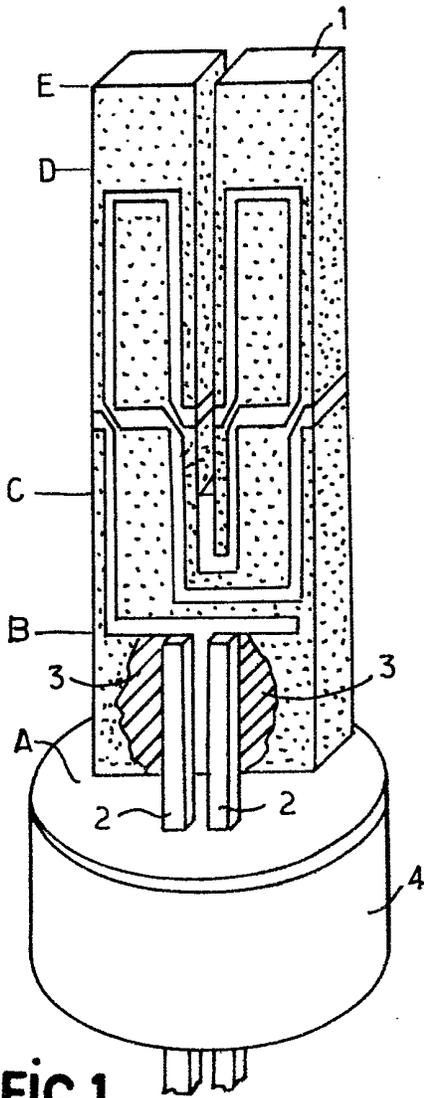


FIG. 1

FIG. 2

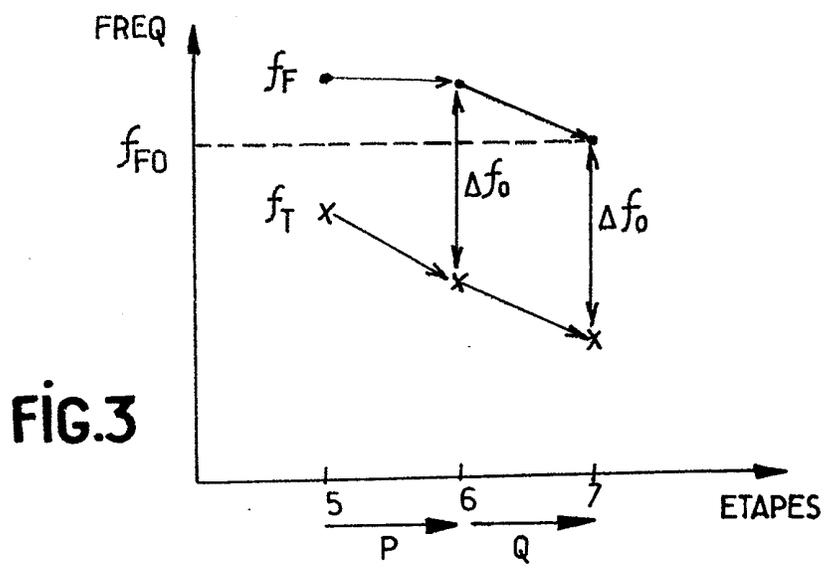


FIG. 3

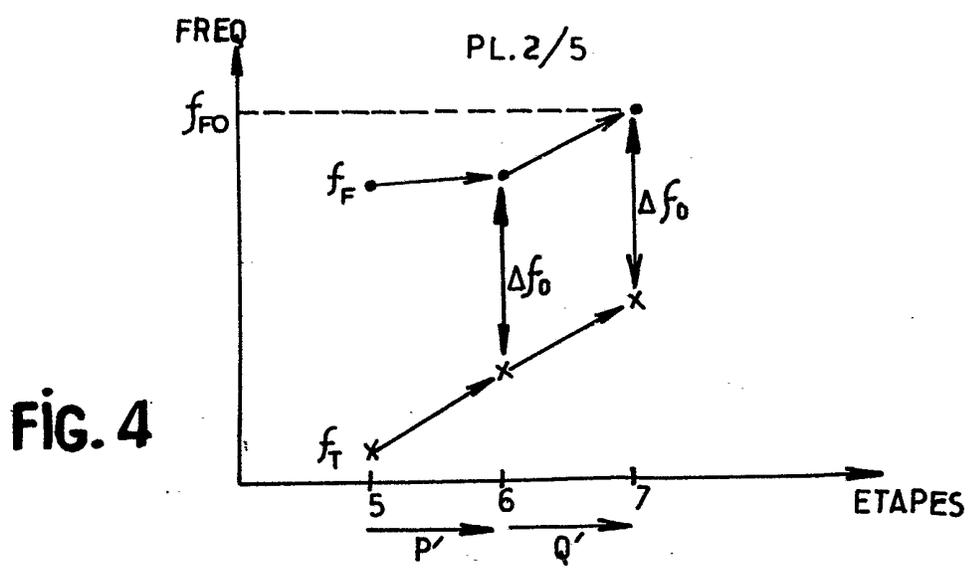


FIG. 4

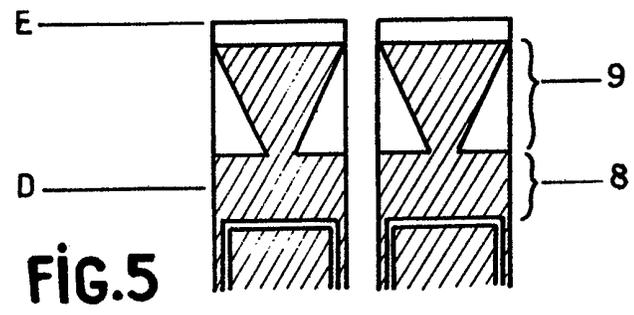


FIG. 5

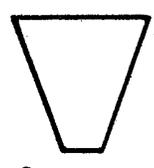


FIG. 6

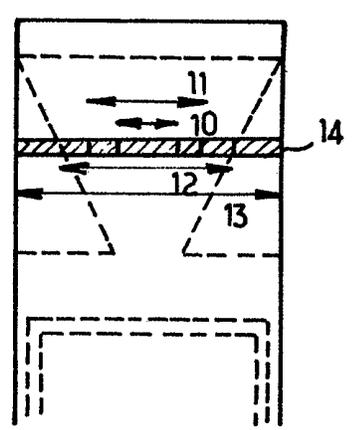


FIG. 7

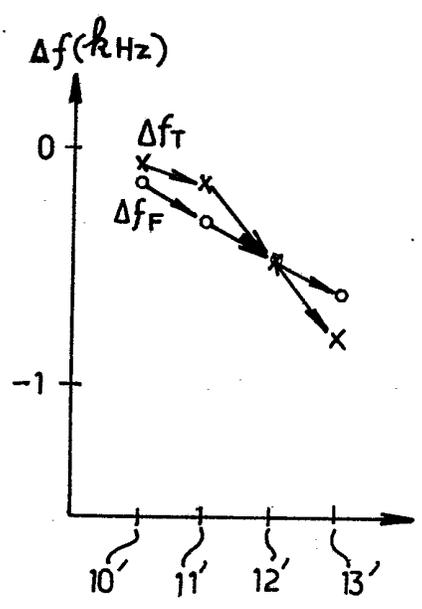
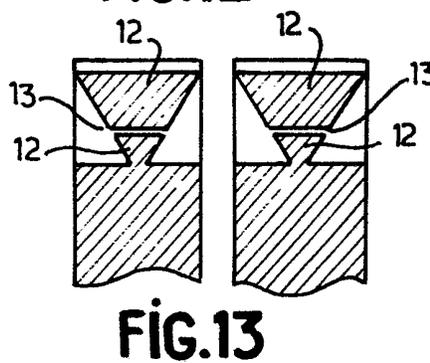
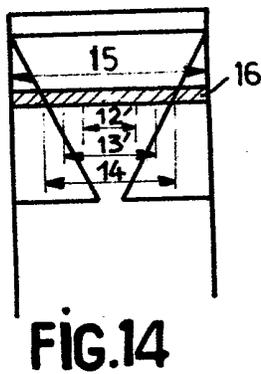
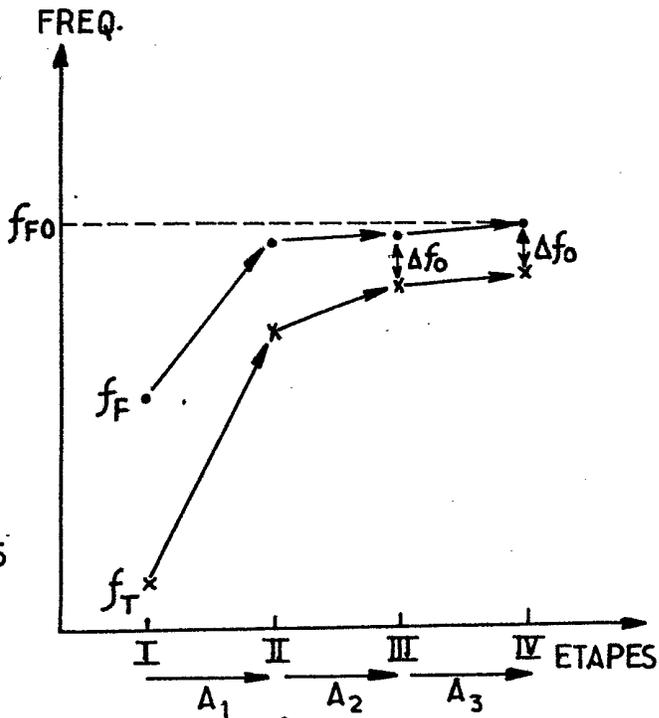
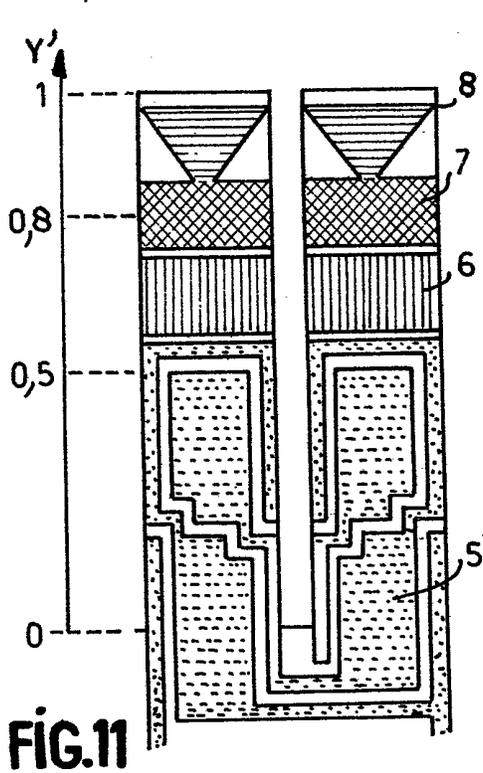
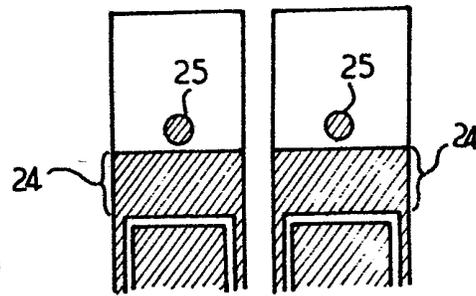
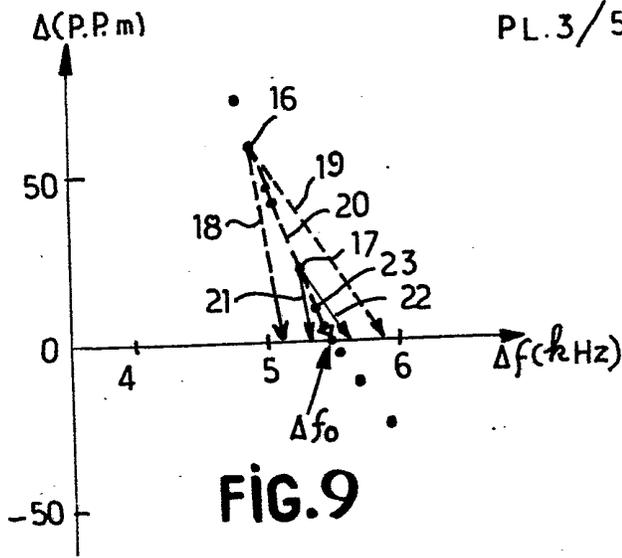


FIG. 8

PL.3/5



PL. 4/5

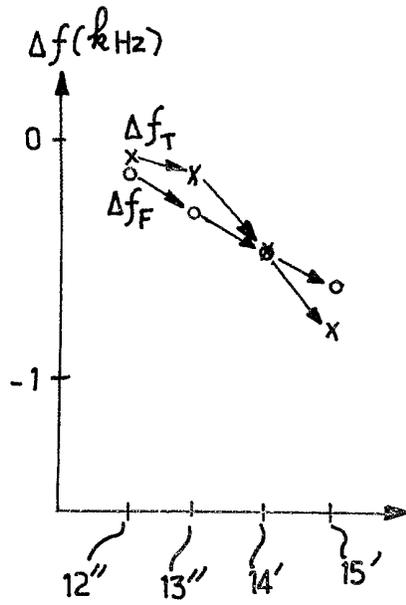


FIG. 15

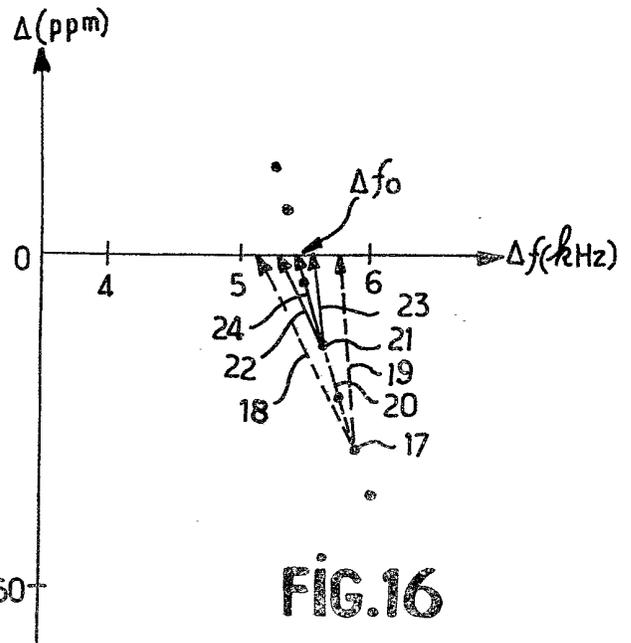


FIG. 16

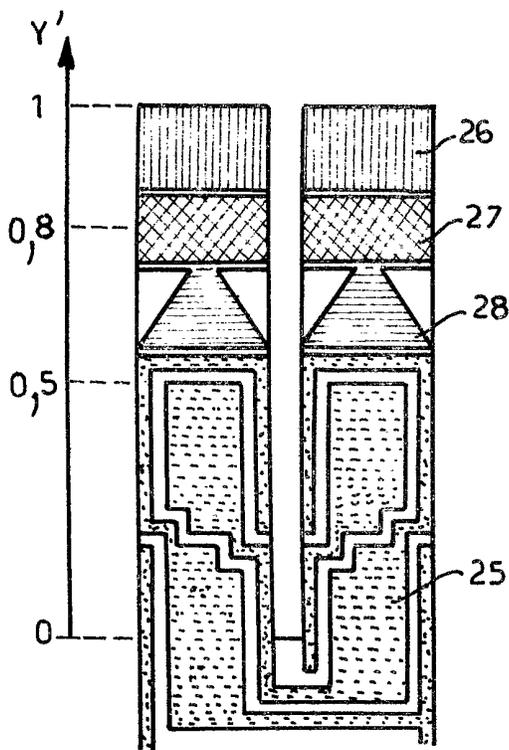


FIG. 17

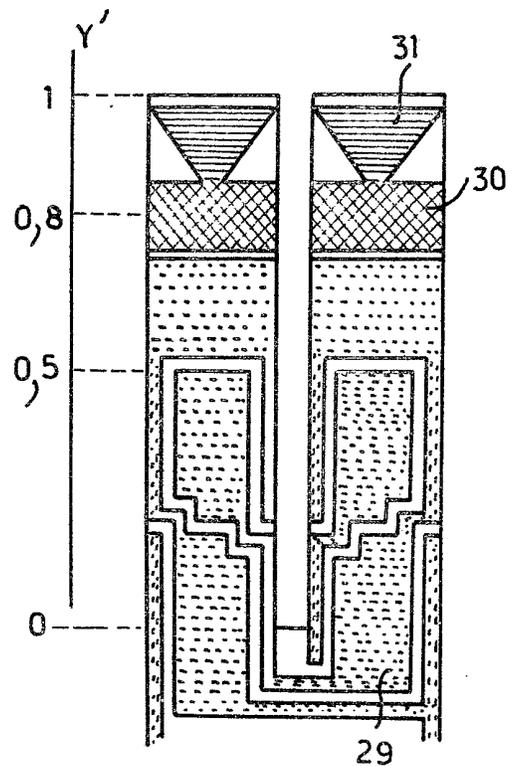


FIG. 18

PL.5/5

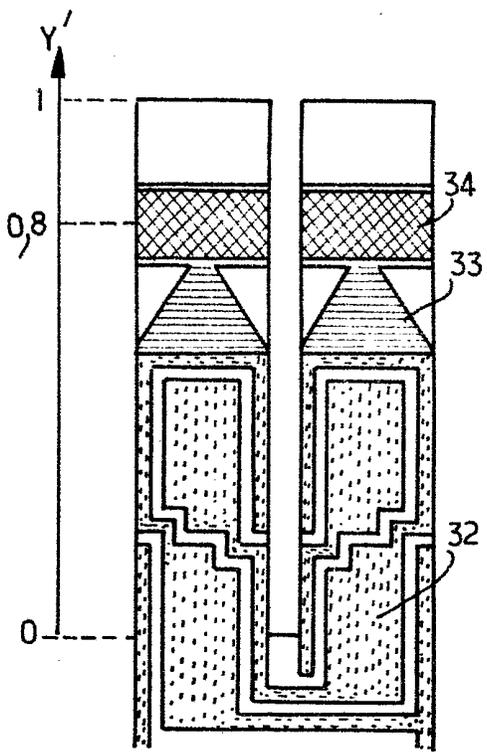


FIG. 19

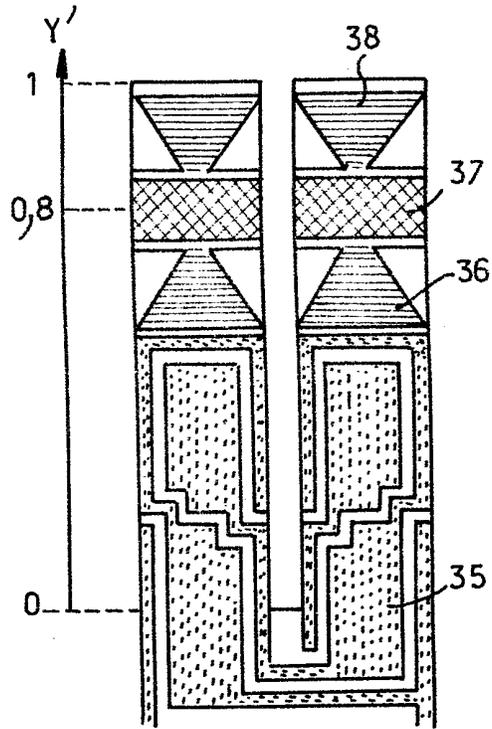
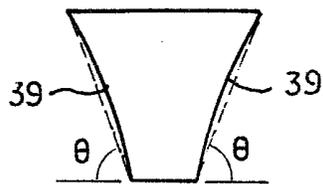
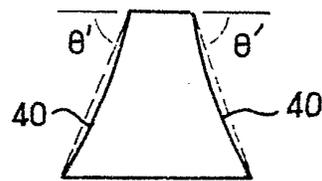


FIG. 20



(a)

FIG. 21



(b)