

CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑪ CH 654 975 G A3

⑤① Int. Cl.: H 03 H 9/215
G 04 F 5/06

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

⑫ FASCICULE DE LA DEMANDE A3

⑳ Numéro de la demande: 2706/81

㉔ Date de dépôt: 24.04.1981

㉚ Priorité(s): 24.04.1980 JP 55-54811
28.10.1980 JP 55-150958

㉜ Demande publiée le: 27.03.1986

㉞ Fascicule de la demande
publié le: 27.03.1986

㉟ Requéran(s):
Kabushiki Kaisha Suwa Seikosha, Tokyo (JP)

㊱ Inventeur(s):
Kogure, Shigeru, Suwa-shi/Nagano-ken (JP)

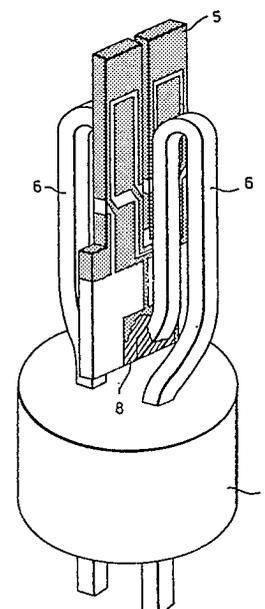
㊴ Mandataire:
Bovard AG, Bern 25

㊶ Rapport de recherche au verso

⑤④ Résonateur à diapason à cristal de quartz, du type à couplage de modes de vibration, procédé de fabrication de celui-ci.

⑤⑦ Dans le but d'améliorer la précision de la fréquence d'oscillation et d'améliorer également la caractéristique fréquence-température, le résonateur comprend un élément résonateur à diapason à cristal de quartz du type à couplage de modes de vibration (5) qui est relié mécaniquement et galvaniquement à un socle (7) par des pièces-support (6) liées en un endroit (8) de la base du diapason. Les pièces-support (6) ainsi que la base du diapason sont établies avec une forme et une dimension telles que le couplage entre la base du diapason et ses parties-support (6), de même que le couplage entre ces dernières et le socle soit très faible, de façon que la vibration ne soit pas transmise au socle. La base présente à cet effet des parties élargies et rétrécies. La forme des parties-support (6) est déterminée en tenant compte des conditions propres de vibration de celles-ci de façon que les endroits de montage interviennent en des points nodaux.

Le résonateur à quartz du type en question est avantageusement utilisable en tant qu'élément de référence de temps dans une montre électronique, notamment une montre-bracelet électronique.





RAPPORT DE RECHERCHE
RECHERCHENBERICHT

Demande de brevet No.:
Patentgesuch Nr.:
CH 27 06/81

Catégorie Kategorie	<p align="center">DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE</p> <p align="center">Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes Kennzeichnung des Dokuments, mit Angabe, soweit erforderlich, der massgeblichen Teile</p>	Revendications con- cernées Betrifft Anspruch Nr.
A	PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 1, no. 116, 4 octobre 1977, page 4522 E 77 & JP - A - 52 48 485 (KINSEKISHA KENKYUSHO K.K.) (18-4-1977)	1-4, 10, 12 1-4, 10, 11
A	PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, vo. 1, no. 145, 11 novembre 1977, page 7344 E 77 & JP - A - 52 83 191 (SUWA SEIKOSHA K.K.) (11-7-1977)	
A	GB-A-2 006 520 (K.K. SUWA SEIKOSHA) * figures 25, 26; page 4, ligne 89 - page 5, ligne 52 *	13-16, 18, 20- 22
A	US-A-3 683 213 (STATEK CORP.) * figures 4, 4A, 6; colonne 4, ligne 33 - colonne 6, ligne 40; colonne 6, lignes 62-64 *	7, 8, 13, 15, 20 , 22
A	PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 3, no. 28 (E-96), 9 mars 1979, page 132 E 96 & JP - A - 54 72 85 (SUWA SEIKOSHA K.K.) (19-01-1979)	5, 8, 16, 19
A	PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 4, no. 32 (E-2) (514), 19 mars 1980 & JP - A - 55 4175 (SUWA SEIKOSHA) (12-1-1980)	5, 8, 16, 18
P,A	FR-A-2 443 766 (K.K. SUWA SEIKOSHA) * figures 1, 10; page 1, ligne 3 - page 2, ligne 15; page 13, ligne 27 - page 14, ligne 8 *	5, 8, 14, 16, 18, 21
P,A	DE-A-2 947 721 (K.K. SUWA SEIKOSHA) * figures 1, 19-27, 32, 33; page 2, ligne 6 - page 3, ligne 10; page 4, lignes 3-16; page 25, ligne 3 - page 26, ligne 15; page 27, ligne 23 - page 29, ligne 4 *	1, 3-5, 7-9, 11, 13, 14, 16, 18, 20-22
Domaines techniques recherchés Recherchierte Sachgebiete (INT. CL ³)		
H03H, G04F		Examineur OEB/EPA Prüfer
Date d'achèvement de la recherche/Abschlussdatum der Recherche 12-12-1983		

REVENDEICATIONS

1. Résonateur à diapason à cristal de quartz, du type à couplage de modes de vibration, comprenant un élément résonateur comportant une base et des bras qui s'étendent depuis cette base, cet élément résonateur ayant plusieurs modes de vibration dont au moins deux, respectivement de torsion et de flexion sont couplés, caractérisé en ce que la dite base du résonateur comprend: une première portion ayant des projections qui s'étendent latéralement vers l'extérieur sur les côtés de la dite base, cette première portion avec les dites projections s'étendant sur la partie supérieure de la base, n'atteignant pas les bas de la base, et une seconde portion, ayant une largeur plus petite que la dite première portion avec ses projections, établie dans la partie inférieure de la dite base, cette seconde portion, moins large, étant tenue par des pièces-supports pour l'élément résonateur et qui sont, à leur autre extrémité, connectés à un socle de montage.

2. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'élément résonateur présente (fig. 18A), respectivement, pour son épaisseur T, pour la longueur LB de sa base, pour la largeur complète WB de sa base avec les dites projections et la longueur en relief latéral B de chaque dite projection, sur la dite première portion à la partie supérieure de sa base, pour la largeur WC des deux retraits latéraux égaux sur la dite seconde portion à la partie inférieure de sa base, et pour la hauteur LC de cette seconde portion, les dimensions suivantes:

T	≅	200 microns
LB	=	500 à 2000 microns
WB	=	300 à 1500 microns
B	=	10 à 150 microns
LC	=	30 à 1000 microns
WC	=	10 à 350 microns.

3. Résonateur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il est agencé de façon à utiliser, pour les deux modes de vibration couplés, la première harmonique au-dessus de la fondamentale d'une vibration de flexion et une vibration de torsion.

4. Procédé de fabrication du résonateur selon l'une des revendications 1-3, caractérisé en ce que, pour obtenir l'élément résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes, on utilise un processus photo-lithographique.

La présente invention concerne un résonateur à diapason à cristal de quartz, du type à couplage de modes de vibration, elle concerne également un procédé de fabrication de ce résonateur.

Un résonateur à diapason à cristal de quartz, du type à couplage de modes de vibration est apte à améliorer la caractéristique fréquence de résonance/température de la vibration selon l'un des deux différents modes de vibration. En d'autres termes, un tel résonateur doit permettre une diminution de la variation de la fréquence de résonance en fonction de la température, ceci par le couplage des deux modes de vibration.

Dans le résonateur à cristal de quartz à diapason du type à couplage de modes, concerné par la présente invention, des modes de vibration respectivement de flexion et de torsion sont utilisés, parmi d'autres possibles, pour constituer les deux modes de vibration devant être couplés. Lorsque ces deux modes de vibration sont couplés, la caractéristique fréquence de résonance-température de la vibration de

flexion est améliorée. Si un tel résonateur est utilisé dans une pièce d'horlogerie électronique, c'est-à-dire une montre électrique, et typiquement une montre-bracelet électronique, la précision de la mesure du temps peut être largement améliorée. Un résonateur à diapason à cristal de quartz du type à couplage de modes, utilisant le couplage entre une vibration de flexion et une vibration de torsion, est décrit en détail dans les demandes de brevets japonaises ouvertes au public nos 116 191/79, 75 325/80, et 75 326/80.

La vibration fondamentale ou une harmonique peut être utilisée pour la vibration de flexion. Du point de vue de l'amélioration de la mesure du temps dans une montre électronique, il est préférable d'utiliser une harmonique. Ceci est dû au fait que le vieillissement de la fréquence de résonance est plus petit, du fait que la valeur Q de l'harmonique est en général plus haute que celle de la vibration fondamentale. Cela est dû également au fait que l'harmonique varie moins que la vibration fondamentale, bien que la fréquence de résonance puisse subir de petites variations en fonction de la direction du résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes par rapport à la direction de la gravité.

Bien que les harmoniques présentent les deux avantages susmentionnés, la fréquence de résonance croît d'une telle façon qu'il est naturel d'utiliser la plus basse (que l'on dénommera ci-après première harmonique, ayant donc pratiquement le double de la fréquence fondamentale). De ce choix résulte que, lorsqu'un résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes est utilisé dans une montre électronique, on n'a pas à subir une trop importante augmentation de la consommation d'énergie.

Il convient tout d'abord de définir d'une façon à la fois générale et concrète, un résonateur à diapason à cristal de quartz, du type à couplage de modes, dans lequel la première harmonique d'une vibration de flexion est couplée avec une vibration fondamentale de torsion. Ceci peut être fait le plus commodément en prenant l'exemple du résonateur représenté à la fig. 1 (anticipant ici sur la nomenclature des figures qui sera fournie plus loin).

Sur la fig. 1, qui montre la façon dont se présente un résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes correspondant à l'objet des demandes de brevets japonaises précédemment mentionnées, l'élément qui constitue à proprement parler le résonateur (ou vibreur) à diapason à cristal de quartz à couplage de modes est désigné par le signe de référence 1. Sur cette figure, on voit également des pièces support 2 qui tiennent le résonateur à quartz à diapason 1 et qui établissent en même temps la conduction électrique avec les électrodes. En 3, on voit la soudure de l'élément sur les pièces support 2, lesquelles sont montées dans et sur un socle enfichable 4. Les axes X, Y' et Z' représentent, à cette figure 1, respectivement l'axe électrique du cristal de quartz, l'axe mécanique, à la suite d'une certaine rotation autour de l'axe électrique et l'axe optique, également à la suite d'une certaine rotation autour de l'axe électrique. Ces axes montrent les directions des axes cristallins selon lesquels le résonateur à cristal de quartz à diapason à couplage de modes 1 est coupé dans une pièce de cristal de quartz; on voit que l'axe X est parallèle à la direction de la largeur du résonateur à cristal de quartz, que l'axe Y' est parallèle à la direction longitudinale de ce résonateur, tandis que l'axe Z' est parallèle à la direction de l'épaisseur de ce résonateur. La fréquence d'oscillation est de préférence de 200 KHz et la différence des deux fréquences de résonance est de l'ordre de 4 à 5 KHz. Par ailleurs, les angles de coupe concrets sont décrits dans les demandes de brevets japonaises ouvertes au public précédemment mentionnées nos 75 325/80 et 75 326/80.

D'une façon générale, la valeur Q de la première harmonique de la vibration de flexion est plus élevée que celle de la vibration fondamentale. Toutefois, puisque le déplacement de la portion de base est important dans le résonateur à cristal à diapason à quartz à couplage de modes, il s'est avéré difficile d'obtenir d'une façon naturelle une valeur Q élevée de la première harmonique, avec le mode de support représenté à la fig. 1. En conséquence, il était difficile d'obtenir un avantage naturel lié à l'emploi de la première harmonique, à savoir le fait que le vieillissement de la fréquence de résonance est très faible.

Les déplacements dans les directions des axes X, Y' et Z' sur la portion de base sont respectivement dénommés UX, UY' et UZ'. Dans le résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes, les déplacements UY' et UZ' sont particulièrement forts. Relativement à UX, UY' est supérieur de deux ou trois ordres de grandeur, et UZ' est supérieur d'un ordre de grandeur. Puisque la portion de base dans laquelle UY' et UZ' sont élevés se trouve supportée à l'aide des deux-pièces support 2, comme le montre la fig. 1, le résonateur à cristal de quartz a tendance à faire du socle 4 une source de vibration. De ce fait, lorsque d'autres objets matériels sont en contact avec le socle, une friction intervient entre ce dernier et l'autre objet matériel, de sorte que de l'énergie vibratoire se trouve perdue, sous forme de ce que l'on nomme «pertes acoustiques». Il en résulte une diminution de la valeur Q et une augmentation de la valeur CI. Dans le cas où les pertes acoustiques sont relativement fortes, l'amplitude de vibration et la fréquence d'oscillation s'avèrent notablement instables.

En d'autres termes, le défaut résidait dans le fait même que des pertes acoustiques intervenaient.

La caractéristique d'un résonateur à cristal de quartz, et spécialement celle d'un résonateur à cristal de quartz du type à diapason, est, comme on l'a vu, soumise à l'influence de la structure de support de l'élément résonateur. C'est pour cette raison que des études et expériences ont été sérieusement menées pour améliorer la structure de support et obtenir un résonateur présentant des dimensions plus réduites et moins influencé par les impulsions de choc. Actuellement, le fait de supporter la portion de base d'un résonateur par un ressort-support résilient est considéré comme adéquat. Toutefois, ceci présente un désavantage notable dans le cas où une telle structure de support conventionnel est utilisée pour un résonateur à diapason à couplage de modes, comme dans la présente invention. Du moment que deux types de mode de vibration, l'un à la flexion l'autre à la torsion, sont couplés, le déplacement en position est grand sur la portion de base du résonateur. De ce fait, des pertes de vibration interviennent et des variations de fréquence sont engendrées si les membres-supports sont directement fixés à la portion de base. Ainsi, des résonateurs d'une structure conventionnelle, et dans lesquels des modes de vibration à la flexion et à la torsion sont couplés, ne sont pas adéquats pour être mis sur le marché.

Selon cette invention, le déplacement de position est diminué et il devient alors possible de fixer un résonateur directement. Le mode de vibration à la flexion induit le plus grand déplacement dans la direction de la longueur du résonateur à diapason. Il est connu que ce déplacement peut être diminué en prévoyant des portions en projection sur le résonateur. En fait, une telle structure de la portion de base contribue à diminuer le déplacement. Toutefois, on rencontre bien des difficultés pour appliquer cette structure à un résonateur à diapason du type à couplage de modes, tel que celui de l'invention, dans lequel le mode de vibration autre que le mode à la flexion est un mode de vibration à la torsion. Dans ce cas, plus la portion de base est large, plus le

déplacement causé par le mode de vibration à la torsion est grand.

L'invention vise à diminuer le déplacement provoqué par le mode de vibration à la torsion dans la portion de base du résonateur et elle propose une structure selon laquelle, en plus des portions en projection s'étendant latéralement depuis les deux côtés de la portion de base, une autre partie de cette portion de base, plus étroite, est établie des deux côtés de la partie la plus basse de la portion de base.

Avec la structure ainsi proposée, le déplacement provoqué aussi bien par le mode de vibration à la flexion que par le mode de vibration à la torsion est petit sur la partie basse de la portion de base, de sorte que des ressorts-supports peuvent y être fixés. Au contraire, aucune des publications antérieures citées ne divulgue la structure susmentionnée, ni n'indique l'effet avantageux qu'elle implique.

Ci-après, on commente les différences qui existent entre l'invention et les publications antérieures citées.

La publication JP-A-52 48 485 concerne un vibreur à diapason fonctionnant à la flexion et elle est dirigée sur le fait que la perte de vibration est réduite sans égard à la valeur de H (distance entre le socle et la partie recourbée du fil conducteur) par la définition d'une configuration d'un arrangement de fil conducteur qui remplit la condition

$$f = K W/L^2 \quad (40 \leq K \leq 140).$$

Au contraire, l'invention s'occupe d'un résonateur à diapason à couplage de modes dans lequel la quantité de perte de vibration peut varier avec la valeur de H. Selon l'invention, en vue d'élargir la portion exempte de perte de vibration en fonction de la valeur de H, la base du vibreur (ou élément résonateur) comprend une portion munie de projections latérales et une portion moins large située sur le bas de la base du résonateur à diapason à couplage de modes. Une telle structure n'est en aucun cas divulguée dans la publication antérieure considérée de sorte que notre invention s'en distingue tout à fait.

S'il est vrai qu'une forme d'exécution proposée par la publication française FR-A-2 443 766 se rapproche d'une forme d'exécution de la demande de brevet, il existe une différence complète entre l'une et l'autre du point de vue de la conception à la base de la réalisation. Il n'y a toutefois pas correspondance directe entre cette configuration et l'objet de l'invention selon la revendication 1.

On tient toutefois à établir les différences entre l'objet de l'invention et la publication antérieure FR-A-2 443 766.

Le résonateur montré à la fig. 6 de ce brevet peut paraître à première vue d'une configuration similaire au résonateur selon l'invention. Toutefois, il faut considérer la différence des buts poursuivis et la différence des dimensions des résonateurs. Le but poursuivi dans la publication antérieure citée est d'ajuster la fréquence et la caractéristique de température du résonateur tandis que le but de l'invention est de maîtriser les pertes de vibration. Ainsi, selon la revendication 20 de l'exposé de brevet on doit avoir:

$$LB = 500-2000 \mu\text{m}$$

$$LC = 30 \sim 1000 \mu\text{m}$$

et la relation

$$\frac{LC}{LB} \leq \frac{1000}{2000} = 0,5$$

doit être satisfaite. Ces conditions sont clairement représentées au dessin de la présente demande de brevet.

Par contre, la fig. 6 de la publication antérieure considérée montre spécifiquement que LC/LB est plus grand que 0,5.

Ainsi, bien qu'il y ait une certaine similitude de forme entre le résonateur selon l'invention et l'objet de la publication antérieure, il existe une différence de dimension entre eux qui est impliquée par le fait que les deux propositions visent des buts tout à fait différents.

Le but de la présente invention est, notamment, de diminuer les pertes acoustiques relatives à la vibration de flexion et les pertes acoustiques relatives à la vibration de torsion.

Conformément à l'invention, le but est atteint par la présence des caractères énoncés dans les revendications indépendantes annexées.

Les revendications dépendantes définissent des formes d'exécution particulièrement avantageuses qui concrétisent de façon adéquate et économique les avantages du résonateur à diapason, en fournissant des solutions avantageuses des points de vue constructif et/ou fonctionnel, de même que du point de vue de la facilité de production.

Le dessin annexé illustre, à la suite d'une représentation de l'art antérieur fournie par la première figure, des formes d'exécution de l'objet de l'invention; dans ce dessin:

la fig. 1 montre comment se présente un résonateur à diapason à cristal de quartz du type à couplage de modes, en une exécution antérieurement connue,

la fig. 1A est une vue schématique servant à expliquer le mécanisme des pertes acoustiques,

la fig. 2 montre la façon dont se présente une forme d'exécution d'un résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes, d'un genre intéressant à connaître, mais qui ne correspond pas en fait à la conception particulière proposée par l'invention,

la fig. 3 présente respectivement une vue de côté, une vue en élévation et une vue en perspective du résonateur selon la fig. 2,

la fig. 4 est un diagramme illustrant les variations de fréquence d'un résonateur relativement aux paramètres S, (longueur droite de la pièce-support),

la fig. 5 illustre des formes qui pourraient être données à un résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes,

la fig. 6 est un diagramme représentant la variation de fréquence du résonateur relativement au paramètre S, lorsqu'un résonateur comme celui représenté à la fig. 5 est supporté par une pièce-support,

la fig. 7 représente une autre forme d'exécution possible de la pièce-support pour un résonateur,

la fig. 8 est un dessin en perspective destiné à représenter les dimensions de la pièce-support,

la fig. 9 montre comment se présente une autre forme d'exécution possible d'un résonateur d'un genre similaire,

la fig. 10 est une vue explicative de fonctionnement,

les figs 11, 12 et 13 illustrent, respectivement, par des vues de devant et des vues de côté, d'autres formes de réalisation possibles pour un résonateur,

la fig. 14 est une vue en perspective permettant de définir les dimensions de chacune des parties de la pièce-support pour les différentes réalisations selon les figs 11 à 13 de la forme d'exécution générale selon la fig. 9,

les figs 15 et 16 montrent comment peut se présenter un résonateur se rapprochant de la conception proposée, sous d'autres formes d'exécution générales,

la fig. 17A représente la configuration d'un résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes muni d'une portion convexe à l'endroit de sa base,

la fig. 17B est un diagramme représentant la façon dont le paramètre λ' de la vibration de flexion et de la vibration de torsion dépend de la largeur de la portion convexe B,

la fig. 18A représente la configuration d'un résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes, muni, conformément à l'invention, d'une portion convexe à la partie supérieure de sa base et d'une portion concave à la partie inférieure de cette base,

la fig. 18B montre la façon dont le paramètre λ' de la vibration de flexion et de la vibration de torsion dépend de la largeur de la portion concave VC à la partie inférieure de la base du diapason selon 18A,

la fig. 19 est un diagramme comprenant plusieurs courbes qui illustrent le déplacement des points 14 et 15 et la variation de la fréquence du résonateur d'un résonateur ayant par exemple la forme représentée à la fig. 18A.

La fig. 1 ayant été déjà considérée dans les propos préliminaires, il y a lieu de considérer maintenant, préalablement à la description détaillée des formes d'exécution, la fig. 1A qui est une vue explicative de la raison pour laquelle la valeur Q décroît et les pertes acoustiques augmentent lorsqu'est utilisée la manière de supporter l'élément résonateur qui est montrée à la fig. 1. A la fig. 1A, on voit l'élément résonateur proprement dit 35, les pièces-supports 36 et le socle (fiche) 37. Des flèches 38 représentent la vibration du résonateur à diapason dans la portion de base du diapason tandis que des flèches 39 représentent la vibration dans le socle.

Comme on le voit sur cette fig. 1A, lorsque l'amplitude de vibration de la portion de montage (à la portion de base) est grande, le résonateur transforme le socle en une source de vibration. Ainsi, si l'amplitude de vibration de la portion de montage est élevée, la perte d'énergie de vibration est élevée et la valeur Q décroît. De plus, conformément à la théorie des vibrations, lorsqu'une masse est ajoutée à un endroit où l'amplitude de vibration n'est pas nulle, c'est-à-dire où la masse équivalente n'est pas infinie, la fréquence du système de vibration diminue. En fait, lorsqu'une autre masse est ajoutée au socle 37, la fréquence de résonance du résonateur 35 diminue. Si la masse ajoutée au socle 37 se meut d'une façon instable, la fréquence de résonance du résonateur 35 est corrolairement instable. C'est de cette façon que se présente le mécanisme par lequel des pertes acoustiques interviennent dans un résonateur selon l'art antérieur, du type représenté à la fig. 1.

La fig. 2 représente la façon dont un résonateur peut se présenter dans une forme d'exécution. Sur cette fig. 2, on voit un élément 5 qui constitue le résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes proprement dit. On voit également des pièces-support 6, un socle (ou une fiche) 7, et on voit également en 8 que de la soudure est utilisée pour connecter les pièces-support 6 au résonateur à diapason en question, à la fois pour le tenir mécaniquement et pour établir la nécessaire conduction avec les électrodes. La raison pour laquelle on peut obtenir, avec le résonateur selon la conception proposée, une meilleure stabilité, une amélioration de la valeur Q, de même qu'une meilleure stabilité de l'amplitude de vibration et de la fréquence d'oscillation, peut s'expliquer comme suit; en liaison avec la fig. 3.

Sur la fig. 3, qui représente des vues de côté, en élévation et en perspective d'une forme d'exécution du résonateur à cristal de quartz à diapason à couplage de modes, on voit l'élément résonateur lui-même 9 monté par des pièces-support 10 sur un socle 13. Des portions de montage 11 et 12 se présentent respectivement aux endroits où les pièces-support sont liées à l'élément résonateur 9 et aux endroits où ces pièces sont liées au socle 13. Le vibreur à diapason à cristal de quartz selon la fig. 3 est différent du vibreur 5 de la fig. 2, par la forme de la portion de base, aucune portion

convexe n'étant établie dans le côté de cette base. Tout d'abord, il s'agit de considérer clairement le résonateur selon la fig. 3.

Il est évident que l'élément résonateur 9 constituant le résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes est fait d'un matériau vibrant et que les pièces-support 10 peuvent également constituer un matériau vibrant. Lorsque deux matériaux vibrants sont connectés à l'endroit d'une portion de montage, un couplage intervient entre leurs deux vibrations.

La fig. 4 représente ce couplage. Le paramètre S porté en abscisse à la fig. 4, correspond à la dimension S représentée à la fig. 3 et représente la longueur de la portion droite de la pièce-support. En ordonnée, le diagramme de la fig. 4 représente la variation de fréquence du résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes. Plus précisément, la ligne en trait plein représente la variation de la fréquence du résonateur lorsque le paramètre S est modifié. Si la portion de montage 11 est complètement fixée, aucun couplage n'intervient et la fréquence du résonateur à cristal de quartz se maintient constante indépendamment de la valeur du paramètre S. Toutefois, en pratique, étant donné que la portion de montage 11 vibre assez fortement, le couplage avec les pièces-support augmente et la fréquence du résonateur à cristal de quartz varie lorsque le paramètre S (longueur droite de la pièce-support) varie. Ainsi, lorsque le déplacement de vibration de la portion de montage est fort, même si la vibration diminue quelque peu à l'endroit des pièces-support, cette vibration est transmise au socle et ce dernier vibre. En conséquence, lorsqu'un objet vient à toucher le socle, une friction intervient entre cet objet et le socle et il en résulte une perte d'énergie vibratoire, provoquant une diminution de la valeur Q et une augmentation de la valeur CI. De plus, comme la vibration du système contenant les pièces-support et le socle change, la fréquence du vibreur à cristal de quartz, couplé avec le membre-support change également. De telles pertes acoustiques se présentent principalement dans les zones où le couplage est le plus intense, zones qui sont indiquées par des traits pointillés à la fig. 4. Ainsi, si la distance S est adaptée au voisinage de S1, S2, et S3, le résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes est amélioré dans une mesure plus grande que cela est le cas avec la forme d'exécution représentée à la fig. 1.

On a les valeurs UY', UZ' et UX pour les déplacements de vibration dans la portion de montage du résonateur à cristal de quartz. En ce qui concerne UZ' et UX, si la largeur, l'épaisseur et la longueur des pièces de support sont adéquatement choisies, ces valeurs UZ' et UX' peuvent être établies au voisinage de zéro dans la portion de montage des pièces support 12. Ceci signifie que, en ce qui concerne les déplacements de vibration dans les directions des axes Z' et X, la portion de montage des pièces-support 12 peut être établie comme un point nodal de vibration. Par contre, en ce qui concerne UY', la portion de montage des pièces-support 12 ne peut pas être établie comme point nodal de la vibration. Et ceci entraîne une vibration du socle. Ainsi, puisque le déplacement UY' est le plus grand de tous, il provoque un couplage plus intense du résonateur à cristal de quartz et des pièces-support. En conséquence, en vue de réduire ce couplage-là de façon à éviter la transmission de la vibration au socle, il est bon de rendre petit le déplacement UY' de la portion support 11.

La fig. 5 montre une forme de vibreur apte à rendre faible le déplacement UY' de la portion de montage 11. En (a) la fig. 5 montre un résonateur muni d'une portion convexe rectangulaire 14, ayant une largeur B1, sur la

portion de base du diapason. En (b) la fig. 5 montre un résonateur muni d'une portion convexe inclinée 15, ayant une largeur B2 sur la portion de base du diapason. En (c) la fig. 5 montre un résonateur dans lequel les coins intérieurs des bras du diapason sont taillés angulairement sur une longueur (dimensions selon la longueur du diapason) B3. B1 vaut la moitié ou moins de la moitié de la largeur W d'un bras de diapason, B2 vaut $\frac{2}{3}$ ou moins de $\frac{2}{3}$ de la largeur B d'un bras du diapason et B3 vaut $\frac{1}{5}$ ou moins de $\frac{1}{5}$ de la longueur L du bras de diapason. Si les valeurs B1, B2 et B3 situées dans ce domaine sont utilisées pour les pièces-support, comme représenté aux figs 2 et 3, le déplacement UY' de la portion de montage 11 peut être rendu plus petit, c'est-à-dire qu'il peut être ramené au même ordre de grandeur que le déplacement UX. Inversement, si B1, B2 et B3 sont établis à des valeurs supérieures à celles des domaines susmentionnés, l'importance du déplacement UY' augmente. Par ailleurs, concernant la forme du vibreur, la combinaison de la configuration (a) et de la configuration (c) ou la combinaison entre la configuration (b) et la configuration (c) est possible. Un vibreur ayant une des formes montrées à la fig. 5 peut aisément être fabriqué par un processus photo-lithographique.

La fig. 6 est un diagramme montrant la variation de fréquence du résonateur à cristal de quartz par rapport au paramètre S, lorsque le résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes de la fig. 5 est supporté par les pièces-support représentées aux figs 2 et 3. Le déplacement UY' de la portion de montage 11 diminue dans une mesure telle que le couplage entre le résonateur (vibreur) à cristal de quartz et les pièces-support diminue. En particulier, dans les domaines du paramètre S désigné par 21, 22 et 23 à la fig. 6, le couplage diminue extrêmement et la fréquence du résonateur à cristal de quartz conserve pratiquement une valeur constante. C'est seulement lorsque la fréquence de résonance des pièces-support approche de celle du résonateur à cristal de quartz qu'un couplage intervient, comme cela est montré en 17, 18, 19 et 20 à la fig. 6. Dans les domaines 21, 22 et 23, puisque le déplacement de vibration de la portion de montage des pièces-support 12 est petit, et puisque le couplage entre les pièces-support 12 et le résonateur à cristal de quartz diminue, et qu'il n'y a pratiquement pas de pertes acoustiques. Dans les domaines 17, 18, 19 et 20, puisque le couplage entre les pièces-support et le résonateur à cristal de quartz est important, le socle vibre d'une façon relativement forte, et des pertes acoustiques interviennent.

Par ailleurs, dans les domaines 21, 22 et 23, la fréquence ne se modifie pas même si la portion de montage des pièces-support 12 est rendue plus frêle pour amortir les secousses pouvant se produire lors d'une chute ou de circonstances analogues. Cela signifie que, dans les domaines 21, 22 et 23, le vibreur ou résonateur à cristal de quartz n'est pas affecté par les secousses, sans plus d'ennui.

La fig. 7 représente une forme d'exécution de pièce-support présentant une forme différente de celle des pièces-support des figs 2 et 3.

Les dimensions des pièces-support vont être indiquées maintenant en se référant à la fig. 8. La hauteur de la pièce-support est représentée par l et l', l'épaisseur de la pièce-support est représenté par d et d', la largeur intérieure est W1 et W'1 et la largeur extérieure est W2 et W'2. Ces dimensions varient selon le matériau constituant les pièces-support et selon les dimensions du résonateur devant être supporté. Dans le cas où l'épaisseur du vibreur ou résonateur est 200 microns (0,2 mm) ou moins et en admettant que les pièces-support soient faites d'acier au carbone, les dimensions respectives sont les suivantes:

l, l'	= 1,0 à 4,5 mm
$W1, W'1$	= 0,1 à 0,3 mm
$W2, W'2$	= 0,1 à 0,3 mm
d, d'	= 0,1 à 0,3 mm.

Dans le cas où l'épaisseur du vibreur à cristal est de 200 microns (0,2 mm) ou moins, et où les pièces support sont faites de kovar, les dimensions respectives sont les suivantes:

l, l'	= 2,5 à 5,0 mm
$W1, W'1$	= 0,15 à 0,3 mm
$W2, W'2$	= 0,15 à 0,3 mm
d, d'	= 0,15 à 0,3 mm.

Il ressort de ce que l'on vient d'indiquer qu'un résonateur dont différentes possibilités de réalisation ont été décrites plus haut, présente moins de pertes acoustiques et est moins affecté par les secousses provenant de chute ou d'autres incidents analogues. Un tel résonateur peut être fabriqué en supportant le résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes avec des pièces-support comprenant une portion pliée à 180°. Ces vibreurs ou résonateurs comprennent le résonateur pourvu, dans sa portion de base, d'une portion convexe rectangulaire ayant la moitié ou moins de la moitié de la largeur d'un bras de diapason, le vibreur pourvu, dans sa portion de base, d'une portion convexe inclinée ayant une largeur de $\frac{2}{3}$ ou de moins de $\frac{2}{3}$ du bras du diapason, et le vibreur dans lequel les coins intérieurs des extrémités des bras du diapason sont taillés à un angle sur une longueur de $\frac{1}{5}$ ou de moins de $\frac{1}{5}$ de la longueur du bras de diapason. Si un résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes est adapté pour présenter une fréquence de résonance d'approximativement 200 KHz, la valeur Q se situe aux environs de 300 000 ou plus tandis que la valeur CI évolue aux environs de 2 K Ω ou moins, ceci signifie qu'il est possible de fabriquer un résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes présentant un faible vieillissement de fréquence.

On va considérer maintenant une autre forme générale d'exécution d'un résonateur d'un genre similaire, en liaison avec les figs 9 et suivantes.

A la fig. 9 on voit un résonateur à diapason à cristal de quartz et à couplage de modes 110, qui est supporté par des pièces-support 111 fixées dans un socle 113, ces pièces-support étant fixées à la base du diapason avec de la soudure 112. Les dimensions des pièces-support peuvent être respectivement représentées comme suit: La longueur des portions droites est S, l'épaisseur est t, la largeur intérieure est W1 et la largeur extérieure est W2. En 114, on voit l'endroit de contact entre les pièces-support et le socle; 115 représente un point sur la tranche de la base du socle.

La fig. 10, qui comprend quatre parties, (a), (b), (c) et (d) montre en (a) la variation de la fréquence de la vibration de flexion et la variation de fréquence de la vibration de torsion en fonction du paramètre S relatif au dimensionnement des parties-support, étant admis que la forme et les dimensions de ces parties-support restent constantes à l'exception de la longueur de leurs parties rectilignes. La courbe 116 représente la variation de la fréquence de la vibration de flexion et la courbe 117 représente la variation de fréquence de la vibration de torsion. L'axe des ordonnées porte les variations des fréquences par rapport au paramètre S. En (b), la fig. 10 représente le déplacement qui intervient à l'endroit 114 (fig. 9), en fonction du paramètre S. L'axe des ordonnées représente la valeur relative lorsque le déplacement maximum à l'extrémité des bras du diapason est considéré comme ayant la valeur 1. La courbe 118 montre le déplacement de la vibration à la flexion et la courbe 119 montre le déplacement

de la vibration de torsion. En (c), la fig. 10 représente la quantité de déplacement à l'endroit 115 (fig. 9) toujours en fonction du paramètre S. L'axe des ordonnées porte les mêmes indications que celui de la partie (b). La courbe 120 représente le déplacement de la vibration de flexion tandis que la courbe 121 représente le déplacement de la vibration de torsion. En (d), la fig. 10 représente la valeur λ en fonction du paramètre S. Si l'on dénomme f_{FREE} la fréquence du socle 113 en situation complètement libre et si l'on dénomme f_{CLAMP} la fréquence du socle 113 en situation complètement pincée, on obtient la valeur λ en posant l'expression:

$$\lambda = \frac{f_{FREE} - f_{CLAMP}}{f_{CLAMP}} \quad (1)$$

La courbe 122 représente la valeur λ relative à la vibration de flexion tandis que la courbe 123 représente la valeur λ relative à la vibration de torsion. L'axe des abscisses est à la même échelle pour les quatre parties (a), (b), (c) et (d) de la fig. 10. Si l'on considère la partie (a) de cette figure, on voit que la variation des lignes incurvées est petite dans les zones S1 et S2 même si des variations du paramètre S interviennent. Par contre, dans les zones autres que les zones S1 et S2, la variation de fréquence est extrêmement grande et des sauts de fréquence se présentent. Si la portion de montage du résonateur (c'est-à-dire la portion à laquelle les pièces-support 111 sont reliées à l'élément résonateur à l'aide de soudure) est complètement fixe, la fréquence est constante indépendamment de S. Toutefois, dans la réalité, du fait de la vibration de cette portion, un couplage se présente entre les pièces-support et l'élément résonateur. On observe que, dans les zones où interviennent des sauts de fréquence, le couplage entre les pièces-support et le résonateur s'accroît d'une façon particulièrement intense. D'autre part, dans les zones S1 et S2, la variation de fréquence est petite du fait que le couplage entre les pièces-support et l'élément résonateur diminue notablement. Si l'on considère maintenant la partie (b) de la fig. 10, on voit que le déplacement à l'endroit 114 de contact entre les pièces-support et le socle est petit dans les zones S1 et S2 tandis qu'il augmente de façon abrupte en dehors de ces zones. En d'autres termes, dans les zones où le couplage entre l'élément résonateur et les pièces-support est faible, l'endroit 114 est pratiquement un nœud (endroit d'amplitude minima, voire nulle) tandis que dans les zones où le couplage est fort, l'endroit 114 est pratiquement un ventre (endroit où l'amplitude est maximum).

En considérant la partie (c) de la fig. 10, on voit que le déplacement à l'endroit 115 du socle décroît également dans la zone où l'endroit de contact 114 est approximativement un nœud, tandis qu'il augmente abruptement dans les zones où le point de contact 114 constitue approximativement un ventre. Ceci est bien naturel si l'on considère que le socle est mis en vibration par les parties-support et que l'endroit de contact 114 se situe à l'endroit de jonction entre les parties-support et le socle. En correspondance avec les parties (a) et (c) de la fig. 10, il apparaît que les zones où l'amplitude de vibration du socle est petit sont celles où le couplage entre les parties-support et l'élément résonateur est faible. Même si le paramètre S varie, la variation de fréquence reste faible. Dans les zones où l'amplitude de vibration du socle est grande, le couplage est fort et la fréquence varie abruptement en fonction de S. Si la valeur de ce paramètre S se situe dans les zones S1 ou S2, l'amplitude de vibration du socle est petite. En fait, dans le système vibratoire complet comprenant l'élément résonateur, les

parties-support et le socle, la masse équivalente du socle augmente. En conséquence, même si d'autres masses sont ajoutées au socle, la variation de fréquence du système complet est extrêmement faible. Ceci signifie que les pertes acoustiques sont aussi extrêmement faibles. Au contraire, lorsque la valeur du paramètre S se situe hors des zones S1 et S2, l'amplitude de vibration du socle est forte. En conséquence, si d'autres masses sont ajoutées à celle du socle, la fréquence du système vibratoire complet décroît fortement, c'est-à-dire que des pertes acoustiques apparaissent qui diminuent ou affectent fortement la fréquence du résonateur. Comme cela est représenté à la fig. 10 (c), lorsque le déplacement intervenant dans le socle est petit relativement à la vibration de flexion et à la vibration de torsion, c'est-à-dire dans les zones S1 et S2, les pertes acoustiques peuvent être favorablement empêchées, à l'égard des deux modes de vibration. Cela est représenté par la partie (d) de la fig. 10. Dans le cas où une autre masse se trouve ajoutée à celle du socle 113, les conditions de liaison qui se trouvent réalisées en pratique se situent entre les conditions où le socle 113 est complètement libre et celles où il est complètement fixé, c'est-à-dire solidement maintenu. Ainsi, dans le cas où λ est petit, même si une autre masse est ajoutée à celle du socle 113, la variation de fréquence est petite relativement au cas où aucune autre masse n'est ajoutée. En ce cas, des pertes acoustiques sont faibles. Il ressort de la fig. 10 (d) que l'effet relatif à la vibration de flexion (courbe 122) et l'effet relatif à la vibration de torsion (courbe 123) sont extrêmement petits dans les zones S1 et S2. Ceci signifie que les pertes acoustiques peuvent être favorablement empêchées relativement aux deux modes de vibration.

Les figs 11, 12 et 13 représentent d'autres variantes d'exécution. Dans ces figures, la partie (a) est une vue de devant et la partie (b) est une vue de côté. Le résonateur (c'est-à-dire l'élément résonateur) à diapason à cristal de quartz à couplage de modes est représenté respectivement en 124, 127 et 130, sur ces trois figures. Similairement, les parties-support sont visibles respectivement en 125, 128 et 131, et le socle respectivement en 126, 129 et 132. Dans ces variantes d'exécution, le principe selon lequel les pertes acoustiques sont éliminées (ou très fortement réduites) est le même qui a été décrit en liaison avec la fig. 10. Toutes les parties-support (111, 125, 128 et 131 respectivement des figs. 9, 11, 12 et 13, qui constituent des formes d'exécution de la conception proposée, ont la même forme représentée à la fig. 14. Ces parties-support comprennent une portion 133 qui est courbée à 180° . Pour la hauteur h de la portion recourbée de ces pièces-support, de même que pour leur largeur intérieure $W1$, leur largeur extérieure $W2$, et leur épaisseur t , les dimensions suivantes se sont avérées avantageuses:

$$\begin{aligned} h &= 400 \text{ à } 2600 \text{ microns} \\ W1 \text{ et } W2 &= 100 \text{ à } 200 \text{ microns} \\ t &= 100 \text{ à } 400 \text{ microns.} \end{aligned}$$

Dans le cas des figs 9 et 11, deux pièces-support ayant une portion recourbée sont attachées sur un côté seulement du résonateur, c'est-à-dire sur seulement une des deux faces principales du résonateur. Dans le cas des figs 12 et 13, les deux pièces-support munies d'une portion recourbée sont disposées respectivement sur chacune des surfaces principales de l'élément résonateur. Dans les deux cas, les effets sont les mêmes en ce qui concerne la prévention des pertes acoustiques. Par surface principale du résonateur, on entend les faces du résonateur sur lesquelles apparaît la forme des deux bras de diapason.

Par ailleurs, l'effet est identique si une pluralité de portions sont recourbées selon les angles donnés.

La fig. 15 représente une autre forme d'exécution similaire. On y voit un résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes 134, fixé par des pièces-support 135 à un socle 136, à l'aide de soudures 137. L'élément résonateur est supporté par deux pièces-support qui ne comprennent pas de portion recourbée. La raison pour laquelle les pertes acoustiques peuvent également être empêchées respectivement à la vibration de flexion et à la vibration de torsion est la même que dans le cas de pièces-support ayant une portion recourbée à 180° . Dans le cas de la fig. 15, c'est la longueur l qui correspond au paramètre S de la fig. 10. La fig. 16 représente une variante du résonateur de la fig. 15. On y voit en 137 un élément résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de mode, en 138 des pièces-support et en 139 un socle. Les pièces-support sont soudées à l'élément résonateur en 140. Dans cette forme d'exécution, les deux parties-support 138 sont reliées respectivement à chacune des surfaces principales de l'élément résonateur. L'effet obtenu est identique à celui qu'on obtient avec la forme d'exécution selon la fig. 15, en ce qui concerne la prévention des pertes acoustiques. Pour l'épaisseur t des parties-support, de même que pour la largeur W et pour la longueur l , laquelle est la distance entre le bas du résonateur et le socle, il s'est avéré avantageux de prévoir les dimensions suivantes:

$$\begin{aligned} W &= 0,05 \text{ à } 0,3 \text{ mm} \\ t &= 0,05 \text{ à } 0,3 \text{ mm} \\ l &= 0,2 \text{ à } 1,0 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Dans les formes d'exécution susmentionnées, les pertes acoustiques relatives à la vibration de flexion et à la vibration de torsion peuvent être supprimées à un degré tel qu'une application pratique ne pose pas de problème. Toutefois, si l'on considère la dispersion intervenant dans le procédé de fabrication, il est nécessaire de supprimer dans une mesure encore plus grande les pertes acoustiques et d'améliorer encore la valeur Q . Dans ce but, le déplacement de la portion de montage du résonateur doit être diminuée.

L'obtention de cette performance, visée par l'invention, sera considérée en liaison avec les figs 17 et 18. La fig. 17 représente un élément résonateur à diapason à cristal de quartz, du type à couplage de modes de vibration, 141, proche de celui proposé par l'invention, qui comprend une portion convexe, c'est-à-dire une portion en relief, en sur-épaisseur, 143, sur sa partie de base (c'est-à-dire sur sa partie autre que les deux bras de diapason). La longueur de la portion de base est dénommée LB , la largeur étant WB , et la largeur de la portion convexe étant B . La portion de montage est visible en 142. La fig. 17 (b) représente la valeur λ' par rapport à B . Si la fréquence dans le cas où la portion de montage 142 est totalement libre est dénommée f_{FREE} , tandis que la fréquence dans le cas où cette portion est complètement pincée, fixée, est dénommée f_{CLAMP} , λ' est donné par l'expression:

$$\lambda' = \left| \frac{f_{\text{FREE}} - f_{\text{CLAMP}}}{f_{\text{CLAMP}}} \right| \dots \dots \dots (2)$$

La courbe 145 représente la façon dont λ' dépend de B en ce qui concerne la vibration de flexion, et la courbe 145 représente cette même dépendance en ce qui concerne la vibration de torsion. A la partie (b) de la fig. 17, on peut constater que, relativement à la vibration de flexion, un

minimum de valeur λ' se présente en une position particulière BO tandis que, en ce qui concerne la vibration de torsion, λ' augmente en même temps que B augmente. Concernant les deux modes, il est nécessaire d'avoir

$$\lambda' \leq 1 \text{ ppm} \quad (3)$$

La satisfaction de cette condition s'avère très difficile avec la forme d'élément résonateur représentée à la fig. 17 (a).

C'est la raison pour laquelle il convient plutôt de considérer la forme de l'élément résonateur de la fig. 18 (a) conforme à la conception particulière proposée par l'invention. On y voit que le résonateur est muni d'une portion convexe, c'est-à-dire d'une portion en saillie, en relief, sur une certaine largeur B seulement dans la partie supérieure de la portion de base, tandis qu'une portion concave, c'est-à-dire une portion en retrait, d'une profondeur WC et d'une longueur LB est prévue dans la partie inférieure de la portion de base. La hauteur de la portion de base est dénommée LB et sa largeur est dénommée WB. La fig. 18 (b) représente l'évolution de la valeur de λ' avec la variation de WC lorsque LB, WB et B sont les valeurs correspondant au minimum de la courbe 144 représentée à la fig. 17 (b), tandis que LC est modifié jusqu'à une valeur convenable. Les courbes 147 et 148 de la fig. 18 (b) montrent respectivement la façon dont λ' dépend de WC. On voit sur les courbes de la fig. 18 (b) que lorsque WC est plus grand que WC_0 , la condition (3) est satisfaite relativement aux deux modes de vibration. Ainsi, le fait que la différence entre la fréquence dans le cas où la portion de montage est complètement libre et la fréquence dans le cas où cette portion est complètement pincée est faible, signifie que le déplacement dans cette portion de montage est petit. Ceci correspond à ce qui a été décrit en liaison avec les parties (c) et (d) de la fig. 10, à savoir que le déplacement intervenant dans le socle peut être considéré comme très petit (négligeable) dans les zones où λ est petit. En conséquence, lorsque la forme de la fig. 18 (a) est donnée à l'élément résonateur, le déplacement intervenant dans la portion de montage décroît relativement aux deux modes de vibration, et le couplage entre l'élément résonateur et les pièces-support devient plus faible que dans le cas des figs 9, 11, 12, 13, 15, et 16. En ce qui concerne la partie (a) de la fig. 10, les courbes 116 et 117 sont plus «douces». Si l'on se rapporte aux parties (b) et (c), de la fig. 10, les valeurs minimales des courbes 118, 119, 120, et 121 sont plus faibles. Par ailleurs, en considérant l'analogie avec la partie (d) de la fig. 10, on observe que les zones du paramètre S où λ est petit subissent une extension et que les pertes acoustiques peuvent être pratiquement éliminées d'une façon parfaite. D'autre part, le fait que la zone de valeurs du paramètre S dans laquelle on a une faible valeur de λ soit étendue par rapport au cas de la fig. 10 (b), signifie qu'aucune perte acoustique ne se produit, même si une petite dispersion intervient dans le processus de fabrication. Ceci est efficace et avantageux pour une production en grandes séries.

Ce qui précède est illustré à la fig. 19 où le déplacement aux points 114 et 115 et la variation de fréquence du résonateur sont représentés pour le cas d'un résonateur ayant la forme montrée à la fig. 18 (a). La fig. 19 comprend quatre parties (a), (b), (c) et (d) qui correspondent respectivement aux parties (a), (b), (c) et (d) de la fig. 10. D'autre part, les courbes 116', 117', 118', 119', 120', 121', 122' et 123' correspondent respectivement aux courbes 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122 et 123. S1' et S2' correspondent également à S1 et S2, respectivement. On peut voir à la fig. 19 que S1' et S2' sont des zones plus larges que S1 et S2 de la fig. 10, et que les valeurs minimum 118', 119', 120' et 121' sont plus

faibles que les valeurs 118, 119, 120 et 121, respectivement. Ces effets sont similairement obtenus dans le cas des méthodes de support représentées aux figs 11, 12, 13, 15 et 16. Dans les zones S1' et S2', λ est pratiquement égal à zéro et les pertes acoustiques peuvent être pratiquement éliminées de façon parfaite à l'égard des deux modes de vibration. Les zones S1' et S2' sont de 400 à 500 microns, ce qui est suffisant pour absorber les dispersions du processus de fabrication. On a pu constater expérimentalement qu'on avait $\lambda \leq 0,5$ ppm par rapport à la vibration de flexion et $\lambda \leq 5$ ppm par rapport à la vibration de torsion, et qu'aucun ennui ne se présentait dans l'application pratique.

Le résonateur (ou plus exactement l'élément résonateur) ayant une épaisseur de 200 microns ou de moins de 200 microns, les dimensions de chacune de ses parties sont les suivantes:

LB	=	500 à 2000 microns
WB	=	400 à 1500 microns
B	=	30 à 150 microns
LC	=	100 à 1000 microns
WC	=	30 à 350 microns.

De plus, le résonateur ayant la forme représentée à la fig. 18 (a) peut être aisément fabriqué par un procédé photo-lithographique.

Lorsque le résonateur ayant la forme de la fig. 18 (a) est supporté par la méthode de support décrite ci-dessus, la valeur Q de chacune des vibrations, c'est-à-dire de la vibration à la flexion et de la vibration à la torsion, se situe aux environs de 300 000 ou plus. D'autre part, la valeur CI de la vibration à la flexion se situe approximativement à 2 K Ω , ou même en dessous de cette valeur. Ceci provient de ce que le déplacement dans la portion de montage est très faible.

Puisque le résonateur présente seulement une très faible acoustique, qu'il a une valeur Q de 300 000 et qu'il présente une fréquence d'oscillation élevée de 22 KHz, le vieillissement de fréquence devient favorable, c'est-à-dire faible. Ceci permet une grande amélioration de la précision de mesure du temps lorsque le résonateur selon la conception proposée est utilisé dans une montre électronique, compte tenu conjointement de son excellente caractéristique fréquence-température. L'erreur de mesure du temps est de quelques secondes par année. De plus, si ce résonateur est utilisé dans une montre électronique, l'important accroissement de la consommation d'énergie peut être éliminé compte tenu de la faible valeur de CI relativement à la vibration de flexion (2 K Ω). Ce résonateur est donc également avantageux en termes d'une longue durée de vie de la pile. Si la fréquence d'oscillation du résonateur, utilisée dans une montre électronique, est de 200 KHz, le total du courant d'oscillation et du courant de division de fréquence se situe dans le domaine de 0,5 à 0,8 micro-Ampères.

Il faut noter également que la méthode de support et la forme (ou configuration) du résonateur à diapason à cristal de quartz du type à couplage de modes de vibration, selon la conception illustrée dans la présente description, s'avèrent fort efficace également pour un résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes utilisant un mode de vibration autre que la première harmonique d'une vibration de flexion.

Ainsi donc, lorsque le résonateur à diapason à cristal de quartz à couplage de modes de vibration, conforme à la conception proposée (revendication 1 annexée) est adapté pour être utilisé dans une montre-bracelet électronique, cette dernière peut être réalisée de façon qu'elle présente une faible consommation d'énergie, c'est-à-dire une longue durée de vie de pile, avec une très haute précision.

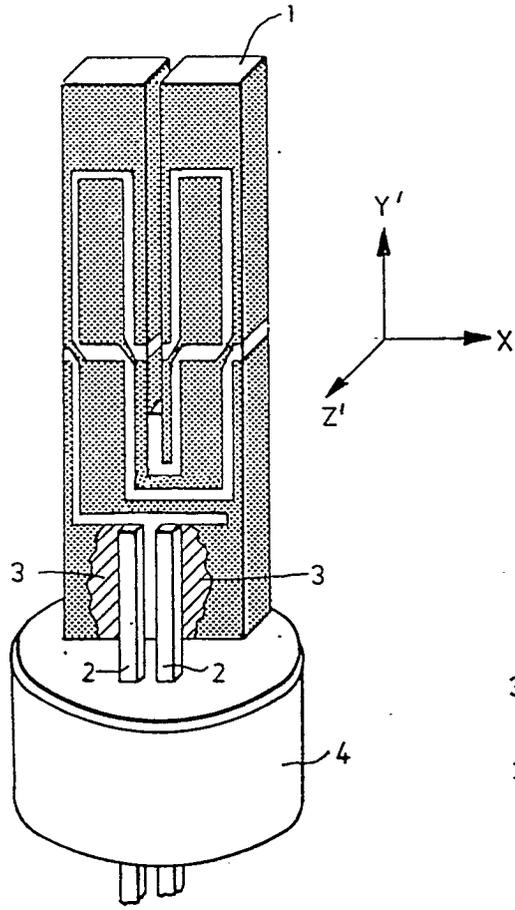


FIG. 1

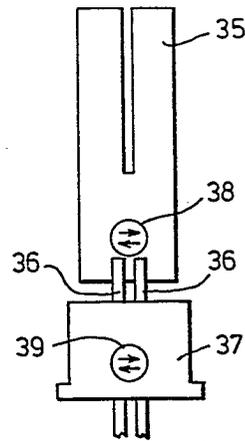


FIG. 1A

FIG. 2

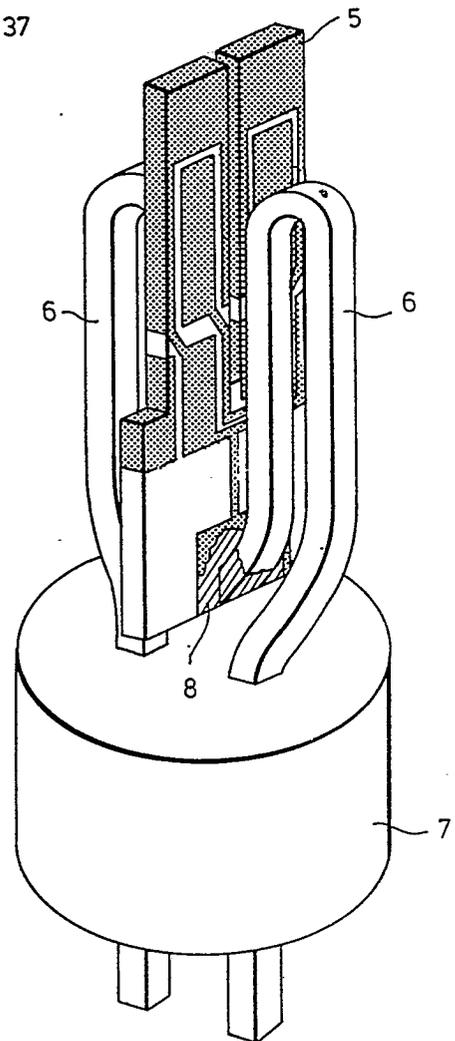


FIG. 3

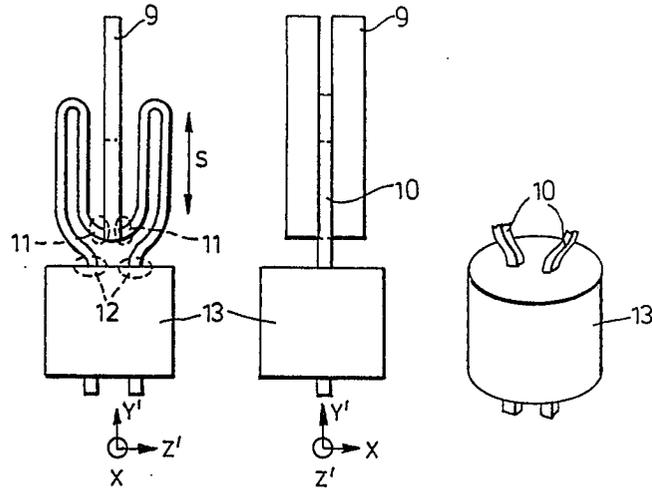


FIG. 4

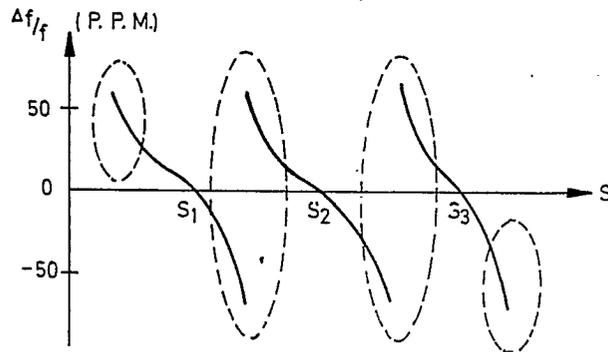


FIG. 5

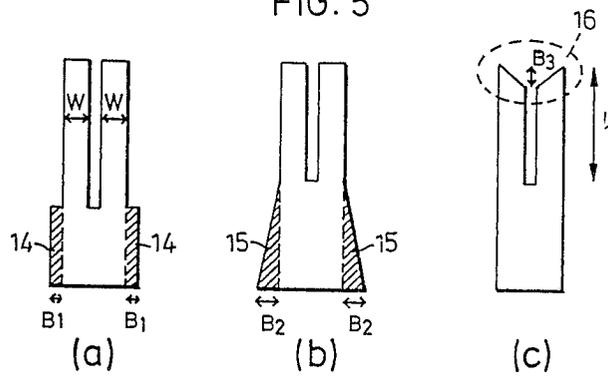


FIG. 6

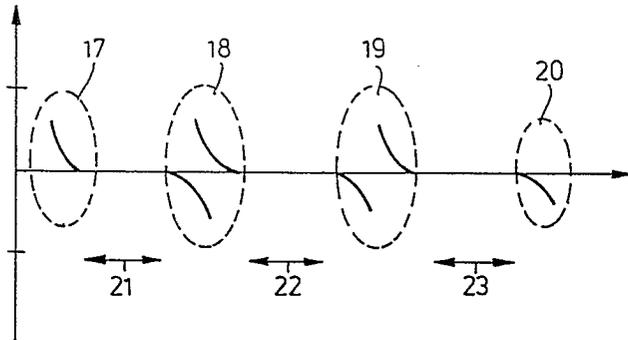


FIG. 7

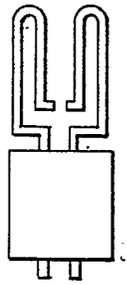


FIG. 8

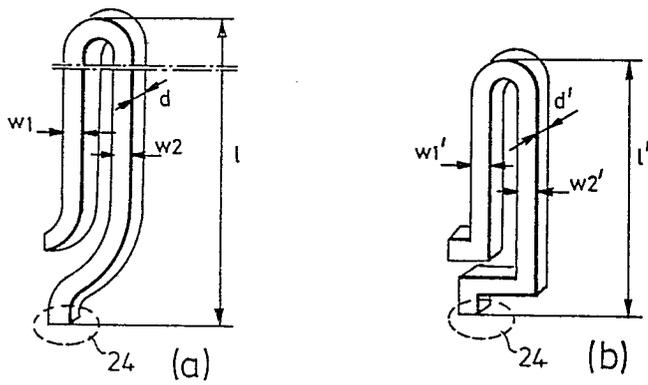


FIG. 9

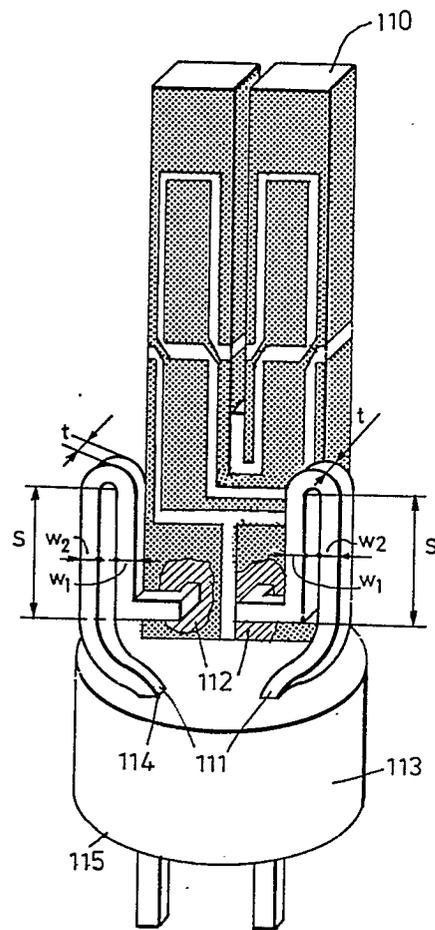


FIG. 10

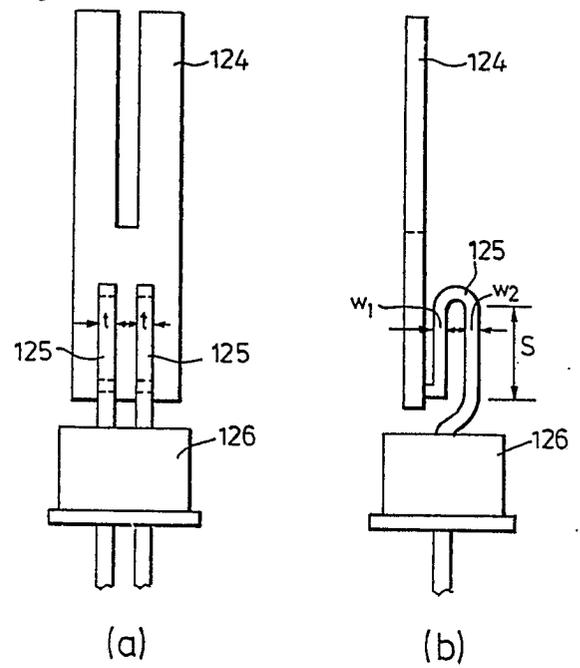
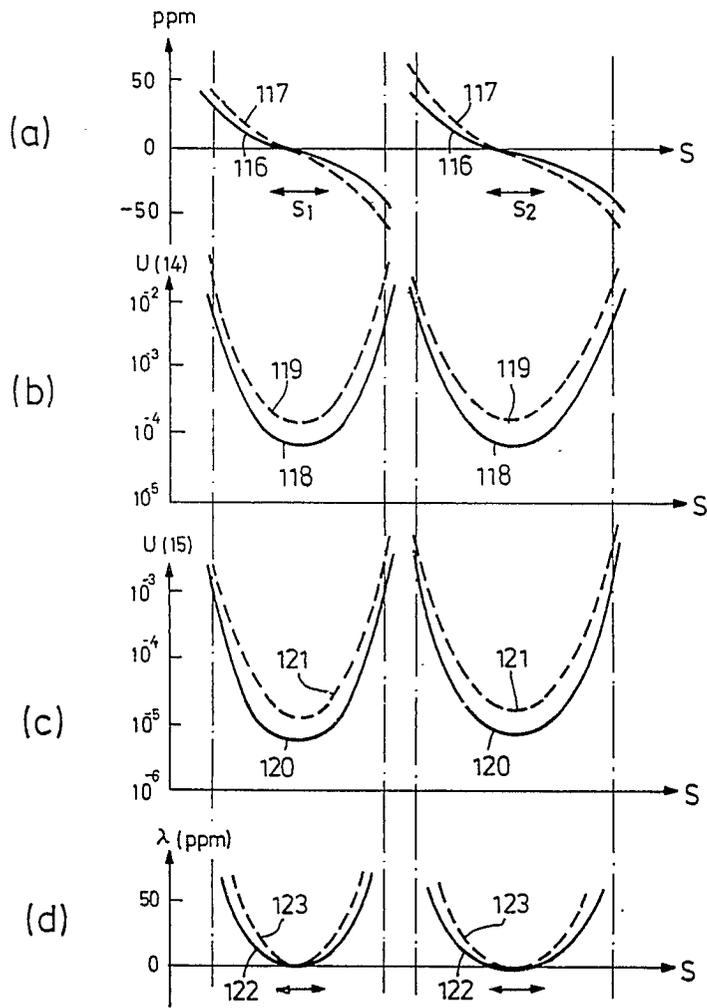


FIG. 11

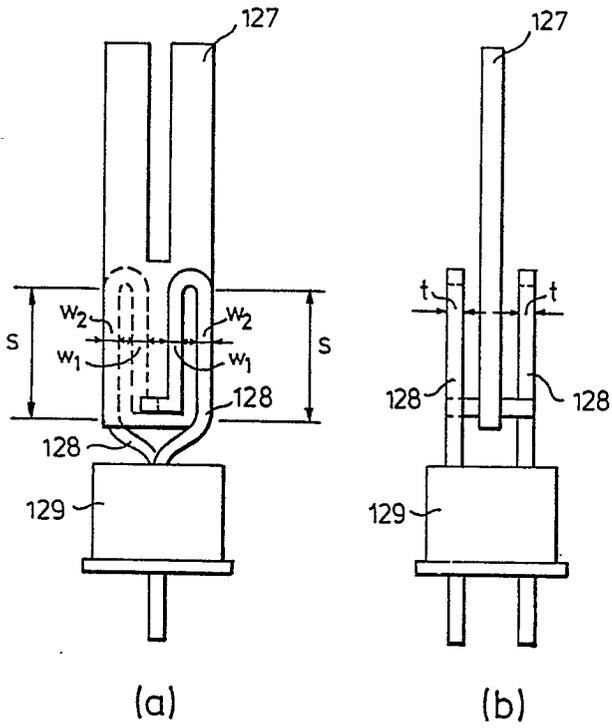


FIG. 12

FIG. 13

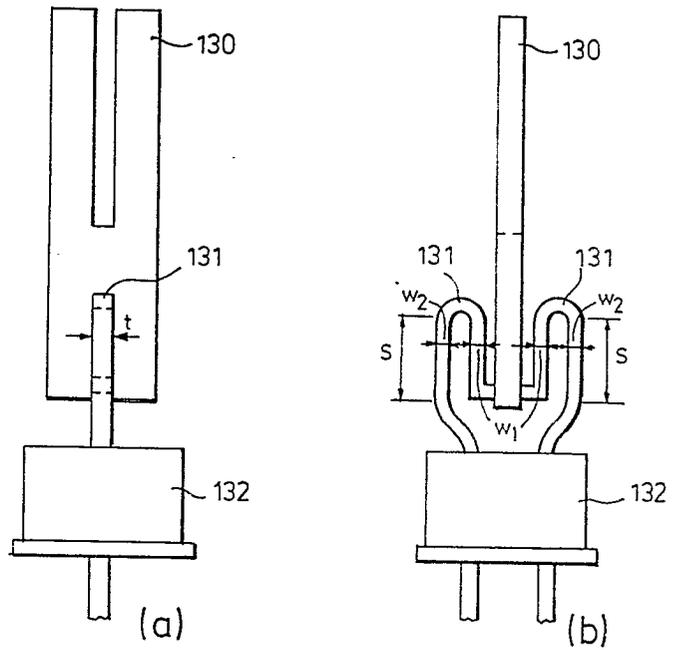


FIG. 14

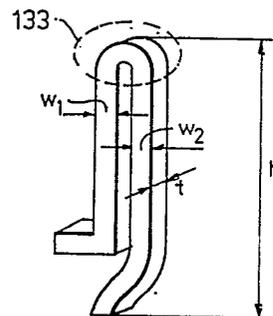


FIG. 15

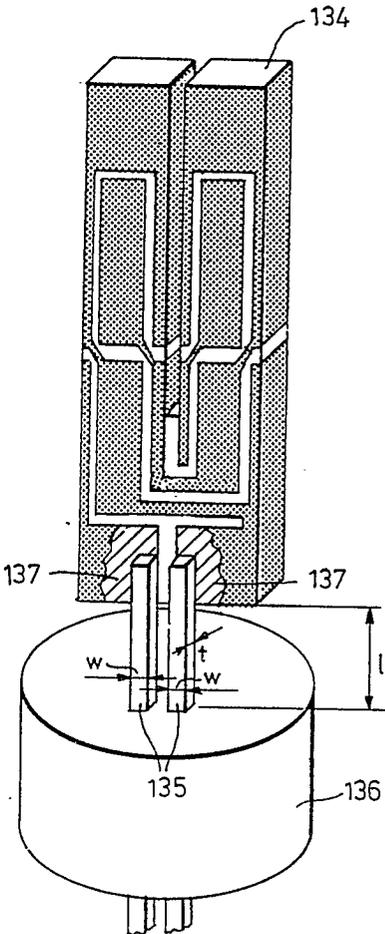
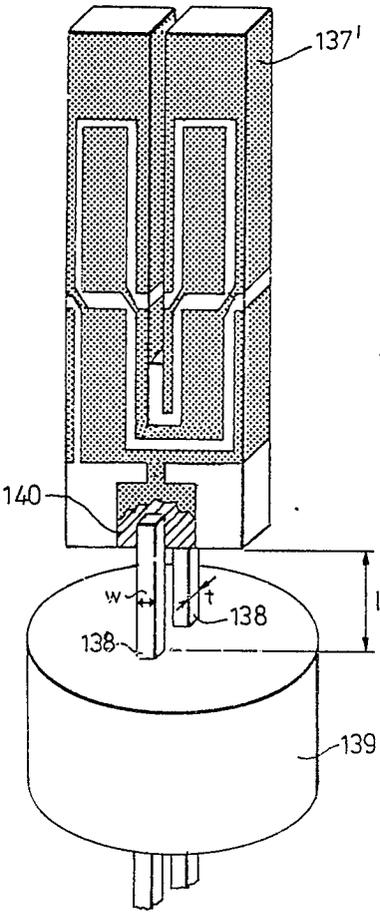


FIG. 16



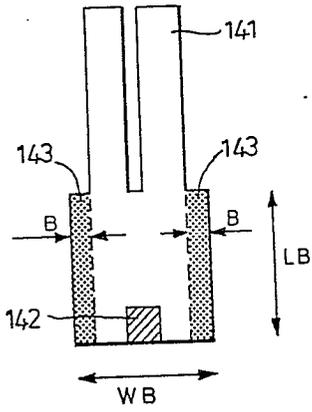


FIG. 17A

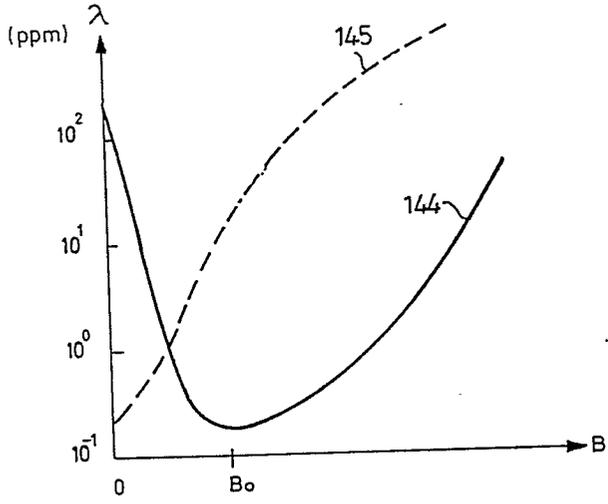


FIG. 17B

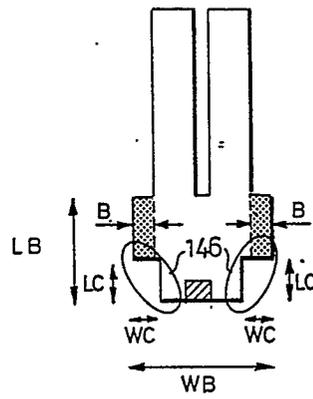


FIG. 18A

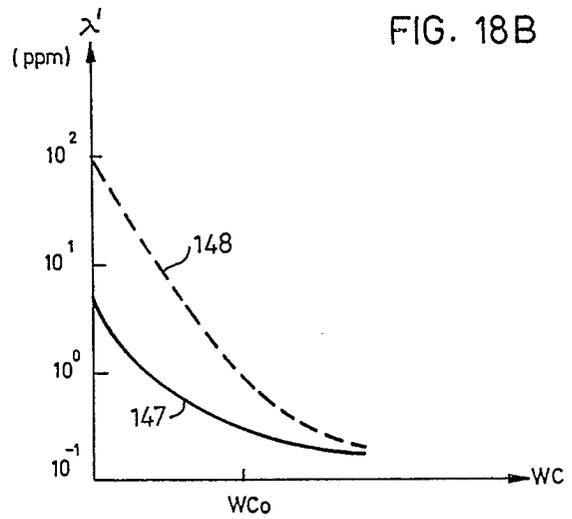


FIG. 18B

FIG. 19

