



CONFÉDÉRATION SUISSE

OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

 (51) Int. Cl.³: H 03 H
G 04 F

 9/19
5/06

Demande de brevet déposée pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(12) FASCICULE DE LA DEMANDE A3

(11)

639 529 G

(21) Numéro de la demande: 11431/79

(22) Date de dépôt: 21.12.1979

 (30) Priorité(s): 21.12.1978 JP 53-160737
22.12.1978 JP 53-160571

(42) Demande publiée le: 30.11.1983

 (44) Fascicule de la demande
publié le: 30.11.1983

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

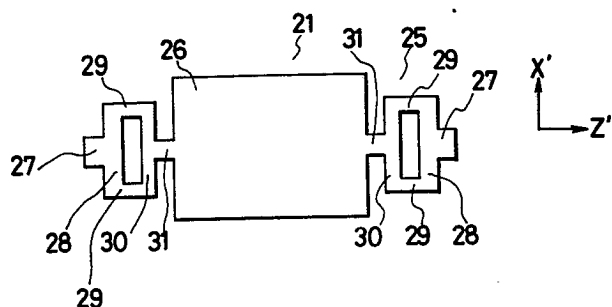
 (72) Inventeur(s):
Hirochika Sato, Koto-ku/Tokyo (JP)

 (74) Mandataire:
Bovard AG, Bern 25

(56) Rapport de recherche au verso

(54) Résonateur piézo-électrique à mode de vibration de contour.

(57) Dans le but de permettre une réalisation de très petites dimensions présentant des caractéristiques électriques de bonne qualité et stables, le résonateur comprend une portion vibrante (21) et au moins une portion support (25) qui sont en une seule pièce, étant reliées par une partie en pont (31). La portion support comprend une partie de fixation (27) solidaire d'une partie d'atténuation (28) reliée par au moins une partie de connexion (29) à une partie élastique (30), cette dernière étant connectée à la portion vibrante (21) par la partie en pont (31). Ce résonateur élimine l'effet des distorsions et réduit très fortement les pertes d'énergie. Il convient particulièrement pour une montre-bracelet à quartz de petites dimensions.





RAPPORT DE RECHERCHE RECHERCHENBERICHT

Demande de brevet No.:
Patentgesuch Nr.:
CH 11 431/79

HO 13976

Documents considérés comme pertinents Einschlägige Dokumente		
Catégorie Kategorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes. Kennzeichnung des Dokuments, mit Angabe, soweit erforderlich, der massgeblichen Teile	Revendications con- cernées Betrifft Anspruch Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 1, no. 152, 7 décembre 1977, page 7917 E 77 & JP - A - 52 091 679 (DAINI SEIKOSHA K.K.) (2 août 1977)	1-3, 8
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 1, no. 152, 7 décembre 1977, page 7915 E 77 & JP - A - 52 091 671 (DAINI SEIKOSHA K.K.) (2 août 1977)	1-3, 8
A	<u>FR - A - 2 266 374</u> (S.S.I.H.M.S.)	4-7
A	<u>DE - A - 2 636 578</u> (DAINI SEIKOSHA) -----	1
Rapport de recherche établi sur la base des dernières revendications transmises avant le commencement de la recherche. Der Recherchenbericht wurde mit Bezug auf die letzte, vor der Recherche übermittelte, Fassung der Patentansprüche erstellt.		
Domaines techniques recherchés Recherchierte Sachgebiete (INT. CL.) H 03 H G 04 F		
Catégorie des documents cités Kategorie der genannten Dokumente X: particulièrement pertinent von besonderer Bedeutung A: arrière-plan technologique technologischer Hintergrund O: divulgation non-écrite nichtschriftliche Offenbarung P: document intercalaire Zwischenliteratur T: théorie ou principe à la base de l'invention der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: demande faisant interférence kollidierende Anmeldung D: document cité dans la demande in der Anmeldung angeführtes Dokument L: document cité pour d'autres raisons aus andern Gründen angeführtes Dokument		
&: membre de la même famille, document correspondant. Mitglied der gleichen Patentfamilie; übereinstimmendes Dokument		
Etendue de la recherche/Umfang der Recherche		
Revendications ayant fait l'objet de recherches Recherchierte Patentansprüche: alle Revendications n'ayant pas fait l'objet de recherches Nicht recherchierte Patentansprüche: Raison: Grund:		
Dat. d'achèvement de la recherche/Abschlussdatum der Recherche 15 juin 1982		

REVENDEICATIONS

1. Résonateur piézo-électrique à mode de vibration de contour, comprenant une portion vibrante et au moins une portion support faisant une pièce avec la portion vibrante par le moyen d'une partie en pont, des films d'électrode étant disposés sur les deux surfaces principales de la pièce, caractérisé en ce que chaque portion support consiste en une partie élastique (30) interconnectée avec ladite portion vibrante (26), une partie d'atténuation (28) faite d'une pièce avec ladite partie élastique (30) et ne se déplaçant que d'une façon minime et une partie de fixation (27) destinée à être fixée à une pièce-support.

2. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite partie de fixation (27), pour sa fixation à la pièce-support, elle-même disposée dans un boîtier qui entoure l'élément résonateur, se projette depuis ladite partie d'atténuation (28), ladite portion-support étant fixée par sa dite partie de fixation (27) à ladite pièce-support au moyen de matériaux de scellement comprenant la soudure et les éléments de même nature, cette portion-support établissant en même temps la conduction électrique avec une structure conductrice disposée sur ladite pièce-support ou avec cette pièce-support elle-même.

3. Résonateur selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que ladite portion support est établie sur le côté court de la portion vibrante.

4. Résonateur selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que ladite partie de fixation est établie au moins approximativement au milieu de ladite partie d'atténuation.

5. Résonateur selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que la relation entre la largeur (W_0) de la partie en pont qui connecte la portion vibrante et la portion support et la largeur (W) de la portion vibrante satisfait l'expression: $0,015 \leq (W_0/W) \leq 0,200$.

La présente invention concerne un résonateur piézo-électrique à mode de vibration de contour, comprenant une portion vibrante et au moins une portion support faisant une pièce avec la portion vibrante par le moyen d'une partie en pont, des films d'électrode étant disposés sur les deux surfaces principales de la pièce. L'invention vise la réalisation d'un résonateur à quartz miniature à mode de vibration de contour, et elle concerne plus particulièrement l'angle de coupe, les dimensions, la forme et la construction d'électrode de ce résonateur.

Le mode de «vibration de contour», est un mode de vibration largement connu. Cette désignation indique d'une façon générale qu'il s'agit d'une vibration dont la fréquence de résonance dépend des déformations planaires qui sont extrêmement supérieures à la dimension d'épaisseur, et d'une vibration dans laquelle le résonateur est sujet à des déformations planaires telles que l'extension, le cisaillement planaire ou la flexion. Concernant ce mode de vibration de contour, on se référera avantageusement à l'article de R. Bechmann, Post Office Research Station, Dollis Hill, London, paru en pages 323 à 337 de la publication britannique «Proc. Phys. Soc. B, 1950».

Le but de la présente invention est notamment de miniaturiser le résonateur du type en question, de réduire l'impédance du cristal, et d'améliorer la caractéristique fréquence/température par une combinaison adéquate de l'angle de coupe, des dimensions, de la forme et de la construction d'électrode du résonateur à quartz à mode de vibration de contour.

Au moins une forme d'exécution particulière de l'objet de l'invention vise de plus à fournir un résonateur à quartz

6. Résonateur selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que la relation entre la largeur (W_1) de ladite partie élastique et la largeur (W_2) de ladite portion d'atténuation, conjointement avec l'espace (W_3) entre la partie élastique et la partie d'atténuation satisfait les conditions:

$$0,3 \leq (W_1/W_2) \leq 1,2$$

$$W_1 \leq 1,5 \times W_0$$

$$0,2 \leq (W_1/W_3) \leq 2,0.$$

7. Résonateur selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que la relation entre la longueur (L_1) et la largeur (W_1) de ladite partie élastique satisfait l'expression $5 \leq (L_1/W_1) \leq 25$.

8. Résonateur selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce que la relation entre le côté long (L) et le côté court (W) de ladite portion vibrante satisfait l'expression $0,8 \leq (W/L) \leq 1,0$.

9. Résonateur selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce qu'il est fait d'un cristal de quartz ayant un angle de coupe impliquant une rotation d'une plaque Y autour de l'axe électrique X d'un angle de 45° à 65° , suivi d'une rotation de la plaque Y de $\pm 40^\circ$ à 50° dans le plan de la surface principale de cette plaque.

10. Résonateur selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce qu'un film d'électrode de métal qui est disposé sur la surface principale de ladite portion vibrante est réduit ou enlevé par rapport à son épaisseur sur les autres parties, à proximité de ladite partie en pont.

11. Résonateur selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce qu'un film d'électrode, de métal qui est disposé sur la surface principale de ladite portion vibrante est élargi par rapport à son épaisseur sur les autres parties, à proximité de ladite partie en pont.

miniature à mode de vibration de contour qui soit d'un assemblage facile.

Récemment l'électronisation des montres-bracelets a connu un développement important et, en particulier, les montres-bracelets à quartz comprenant, comme source de fréquence standard, un résonateur à quartz à diapason travaillant à la flexion, sont devenues en pratique d'un usage courant. La caractéristique fréquence/température d'un résonateur à quartz à diapason travaillant à la flexion est une courbe quadratique et il est difficile d'assurer, avec un tel résonateur, une fréquence hautement précise et stable dans un large domaine de température. De ce fait, un condensateur au titanate de barium, dont la capacité varie en fonction de la température, est le plus souvent utilisé comme moyen de compensation de température, chose qui a permis d'obtenir en pratique une montre-bracelet à quartz d'une précision remarquablement élevée. Toutefois, dans le cas de ces montres-bracelets à quartz là, la précision est sujette à des limitations, étant donné que le condensateur de compensation de température doit être ajusté à la caractéristique de température du résonateur à quartz pour une valeur optimale, avec un inconvénient non négligeable consistant en ce que la capacité du condensateur de compensation de température se modifie avec le temps (vieillessement).

Ainsi, en vue de remédier aux désavantages susmentionnés, on s'est intéressé à la réalisation d'une montre-bracelet à quartz comprenant un cristal de quartz en coupe AT, lequel présente une caractéristique fréquence/température selon une courbe du troisième degré (courbe cubique). Dans le cas d'un résonateur à quartz en coupe AT, se présentent toutefois de nombreuses vibrations parasites autres que la vibra-

tion de cisaillement d'épaisseur utilisée comme fréquence de base, et ces vibrations parasites ont des effets néfastes sur les diverses caractéristiques du résonateur. Ainsi, en vue de séparer les vibrations parasites de la vibration principale (vibration de cisaillement d'épaisseur), on a dû sélectionner d'une façon optimale les dimensions et l'angle de coupe de la plaque de cristal de quartz, ce qui requerrait cependant une précision de fabrication extrêmement élevée. Il est à noter qu'à l'heure actuelle les exigences susmentionnées n'ont pas encore été satisfaites d'une façon avantageuse du point de vue industriel, c'est-à-dire en ce qui concerne le nombre d'heures de travail nécessaire, le rendement technique et économique, et d'autres facteurs similaires. En particulier, il s'est avéré très difficile de satisfaire les exigences en question dans le cas d'un résonateur à quartz en coupe AT de format miniature, convenant adéquatement à une utilisation dans une montre-bracelet. Par ailleurs, on n'a pas encore proposé de méthode par laquelle le résonateur à quartz puisse être supporté d'une façon qui prévient des modifications des vibrations parasites provoquées par le support du résonateur, qui prévient également une détérioration de l'impédance du cristal (CI), et qui assure aussi une résistance suffisante à l'égard des chocs.

Compte tenu des différents problèmes évoqués ci-dessus, une montre-bracelet comprenant, comme standard de fréquence, un résonateur à quartz en coupe AT n'a guère pu, jusqu'à présent, être mise sur le marché.

Par ailleurs, un résonateur à quartz en coupe GT présente également une courbe fréquence/température cubique, et qui est différente de celle du résonateur à quartz en coupe AT. Le résonateur en coupe GT n'a, jusqu'à présent, guère été utilisé, bien que son usage puisse être considéré comme connu. En tous les cas, on n'a jamais utilisé un tel résonateur à quartz en coupe GT dans une montre-bracelet.

Par exemple, une plaque de cristal de quartz en coupe GT ayant une fréquence standard de 100 KHz présente des dimensions particulièrement grandes, le côté long, le côté court, et l'épaisseur, ayant par exemple respectivement des dimensions de 38,4 mm, 32,9 mm et 3 mm. Par ailleurs, étant donné que l'angle de coupe du résonateur en coupe GT est un angle spécifique, une meule de grandes dimensions est nécessaire à sa fabrication, et il en résulte que le coût d'une plaque de cristal de quartz en coupe GT est extrêmement élevé. En outre, puisqu'une plaque de cristal de quartz en coupe GT est de dimensions assez grandes, elle doit être supportée par une méthode connue sous le nom de «méthode de support multi-points», méthode qui consiste à connecter quatre à huit fils support fixés sur deux à quatre portions (au total 4 à 8 portions) sur les deux surfaces du résonateur, aux points nodaux de la plaque de cristal de quartz, compte devant être tenu des questions de solidité. Les points de soudure sont établis sur les fils conducteurs supports en des positions où la perte d'énergie vibratoire du résonateur est minimum.

En tant que documents de l'art antérieur, on a cité les exposés JP-A-52 091 679 (abstract), JP-A-52 091 671 (abstract), FR-A-2 266 374 et DE-A-2 636 578. Toutefois, ces documents sont cités uniquement comme «arrière-plan technologique» et chacun des objets qu'ils divulguent n'atteint le but visé par la présente invention.

Pour mieux comprendre l'art antérieur et les problèmes y relatifs auxquels l'invention vise à fournir une solution, il y a lieu, anticipant sur la nomenclature des figures qui sera énoncée plus loin, de se référer déjà au dessin annexé, et tout d'abord à la fig. 1 qui illustre la méthode de support «multi-points». Sur cette figure, on voit qu'une plaque de cristal de quartz 1 est supportée par la fixation d'une extrémité de fils conducteurs 2, tels que des fils munis d'une tête ou des moyens équivalents, perpendiculairement à la plaque de cristal de quartz, et la fixation de l'autre extrémité de ces fils

a d'autres fils ou barres supports verticaux 3. En fait, des points d'argent sont établis aux positions de support de la plaque de cristal de quartz 1 par brasage ou brûlage, ensuite de quoi les fils supports 2 sont fixés perpendiculairement à la plaque, à ces points d'argent, au moyen de cônes de soudure 5a. Les autres extrémités des fils supports 2 sont fixées relativement à un substrat 6 par fixation aux fils ou barres conductrices 3, par des points de soudure 5b, de façon à établir en même temps une liaison conductrice avec les circuits extérieurs. Les fils supports 2 doivent être positionnés d'une façon ajustée de manière telle que les pointes des cônes de soudure 5a se situent sur des nœuds de vibration à la fréquence de vibration. En conséquence, des billes de soudure 4 sont ajustées de la manière montrée à la fig. 1, de façon que les pointes des cônes de soudure constituent en même temps des nœuds de vibration pour la vibration des fils supports. Ce processus subtil et difficile doit être appliqué pour chacun de tous les fils supports 2. De plus, une limitation supplémentaire apparaît dans le dimensionnement du résonateur à quartz en coupe GT, en ce sens que, concernant la direction d'épaisseur, il existe un risque que les cônes de soudure subissent une nouvelle fusion lorsque la position des billes de soudure d'ajustement de nœuds de vibration est ajustée, l'élimination de ce risque imposant une occupation excessive de place. Dans le cadre d'une amélioration du résonateur connu de la fig. 1, on a réalisé un résonateur miniature en coupe GT dont le côté long, le côté court et l'épaisseur ont respectivement des dimensions de 8,03 mm, 9,37 mm et 0,65 mm, cette version améliorée permettant une réduction du nombre de fils supports.

Cette forme d'exécution dans laquelle le nombre des fils supports de la plaque de cristal de quartz est réduit est représentée à la fig. 2.

La méthode de support appliquée dans le cas de la fig. 2 est exactement la même que celle qui est appliquée dans le cas de la fig. 1, à ceci près que les fils supports 2 sont fixés au centre de chacune des surfaces principales de la plaque de cristal de quartz 1. Avec cette méthode, puisque le nombre des fils supports est moins élevé que dans le cas de la fig. 1, ce dont résulte une simplification de l'ajustement des billes de soudure 4, on peut réaliser une certaine économie d'encadrement.

De ce qui précède, on déduit que la méthode classique d'établissement des fils supports pour les résonateurs à quartz représentés aux figs 1 et 2 présente les désavantages suivants: (1) le processus d'assemblage du résonateur à quartz est compliqué et délicat, de sorte que son rendement industriel n'est pas bon; (2) un espace relativement large est requis, ce qui fait qu'un résonateur à quartz assemblé par cette méthode des fils supports n'est pas apte à être appliqué dans une montre-bracelet, qui requiert que le résonateur à quartz soit de dimensions miniatures. Une autre raison qui s'oppose à l'utilisation de cette méthode pour le résonateur à quartz d'une montre-bracelet consiste en ce que la fabrication d'une montre-bracelet doit pouvoir être réalisée en grande série, ce qui n'est pas possible compte tenu de l'inconvénient (1) susmentionné.

En vue de remédier aux désavantages présentés par la méthode de support au moyen de fils supports, la portion vibrante du résonateur à quartz peut être faite en une pièce avec une portion support, comme cela est illustré par la fig. 3. Dans ce cas, la plaque de cristal de quartz est supportée d'une façon aisée et une miniaturisation est possible en prévoyant la portion support au voisinage de la ligne nodale de vibration de la portion vibrante. Sur la fig. 3, une portion vibrante 11 et une portion support 12 sont réalisées en une seule pièce par attaque photo-chimique d'une plaque en coupe GT. Le côté long, le côté court et l'épaisseur de la portion vibrante 11 sont respectivement 4,9 mm, 4,2 mm et 0,04 mm,

la fréquence étant de 780 KHz. La portion support 12 est connectée à la portion vibrante 11 à proximité de la ligne nodale 15 et la fixation de la portion support 12 à un membre-support (non représenté) est schématisée par la présence de hachures obliques au dessin de la fig. 3. Simultanément, un film d'électrode 13a sur la face avant et un film d'électrode 13b sur la face arrière de la portion vibrante 11 sont mis en conduction avec des éléments de circuit extérieur. Bien que cette méthode soit avantageuse comparée à la méthode de support par fils des figs 1 et 2, en ce qui concerne la simplicité du processus et la production en masse, elle présente encore l'inconvénient d'un certain encombrement de la portion support, et il reste désirable – et nécessaire – d'arriver à une miniaturisation plus importante de cette portion support.

En effet, bien que la plaque de cristal de quartz représentée à la fig. 3 permette les dimensions plus petites que celles qui étaient exigées dans le cas des montages selon les figs 1 et 2, une place excessive est malgré tout toujours utilisée par cette forme de réalisation de la fig. 3, étant donné la grande dimension de la portion support 12. Ceci rend la plaque de cristal de quartz représentée à la fig. 3 inadéquate pour une utilisation dans une montre-bracelet. De plus, puisque l'énergie de vibration de la portion vibrante est transmise au membre support même si les dimensions et la forme de cette dernière sont optimales, des pertes d'énergie de vibration interviennent et il en résulte un accroissement de l'impédance de cristal, une détérioration de la résistance à la pression, et une dispersion de la caractéristique fréquence/température. Par ailleurs, les conditions d'élasticité du couplage entre la vibration du long côté et la vibration du côté court, couplage qui conditionne les caractéristiques de la plaque en coupe GT, changent du fait de la présence des portions supports, ce dont résulte des modifications non désirées des caractéristiques du résonateur à quartz.

La présente invention a pour but de fournir un résonateur piézo-électrique à mode de vibration de contour du type précédemment défini qui ne présente pas les inconvénients susmentionnés de la technique antérieure.

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

Les revendications dépendantes définissent des formes d'exécution particulièrement avantageuses de l'objet de l'invention, notamment quant à l'optimisation et la miniaturisation du dimensionnement du résonateur, quant à l'optimisation de sa construction, quant aux questions d'économie et de rendement aussi bien du point de vue technique que du point de vue économique, et également quant à sa facilité et la rationalisation des conditions de fabrication.

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

les figs 1 et 2 montrent schématiquement la construction d'un résonateur à quartz en coupe GT connu, utilisant une méthode de support connue faisant appel à des fils,

la fig. 3 est une vue en plan d'un résonateur à quartz en coupe GT connu comprenant une portion support et une portion vibrante faite d'une seule pièce,

les figs 4 et 5 sont des schémas représentant les angles de coupe dans le cas d'un résonateur constituant une forme d'exécution de la présente invention,

la fig. 6 est un diagramme représentant la relation entre le rapport de côtés et la fréquence dans un résonateur conforme à la conception proposée,

les figs 7, a, b et c, montrent schématiquement un exemple de résonateur conforme à la conception particulière proposée,

les figs 8 et 9 sont des vues en plan de formes d'exécution du résonateur selon la conception proposée,

les figs 10, a, b et c montrent le principe du résonateur selon la conception proposée,

les figs 11a, b, c, d sont des vues en plan représentant respectivement différentes autres formes d'exécution du résonateur selon la conception particulière proposée,

les figs 12 et 13 représentent encore d'autres formes d'exécution du résonateur conforme à la conception proposée,

la fig. 14 représente un perfectionnement susceptible d'être apporté au résonateur en question,

la fig. 15 représente la distribution des déplacements dans un résonateur du type proposé,

les figs 16 et 17 montrent encore d'autres formes d'exécution du résonateur selon la conception proposée,

la fig. 18 est une vue en perspective représentant un résonateur du type en question utilisé d'une façon expérimentale,

la fig. 19 est une vue en coupe montrant la manière dont est supporté le résonateur piézo-électrique du type en question, représenté plus concrètement à la fig. 18,

la fig. 20 est un diagramme montrant le résultat expérimental de mesures de la caractéristique fréquence/température,

la fig. 21 représente une autre forme de réalisation de la méthode de support du résonateur piézo-électrique conforme à la conception proposée,

les figs 22 et 23 sont des vues respectivement en plan et en coupe d'une autre forme d'exécution encore du résonateur du type proposé,

les figs 24, 25 et 26 illustrent la méthode de fabrication du résonateur piézo-électrique en question et de la capsule de celui-ci, d'une façon conforme à l'enseignement proposé,

la fig. 27 est une vue en coupe montrant un résonateur piézo-électrique du type proposé avec son agencement de support, et

les figs 28 et 29 illustrent le principe de la structure de support selon la conception proposée.

Les figs 1 à 3 ayant déjà été considérées dans le cadre de la discussion de l'art antérieur, on va décrire maintenant le résonateur à quartz conforme à la conception particulière proposée, en liaison avec les figs 4 et suivantes.

Les figs 4 et 5 représentent l'angle de coupe du résonateur à quartz à mode de vibration de contour du type particulier proposé. Les axes X, Y et Z sont, respectivement l'axe électrique, l'axe mécanique et l'axe optique de la plaque de cristal de quartz, les ' (prime) indiquant que le résonateur a subi une rotation. Une plaque de cristal de quartz 20 constituée d'une plaque Y ayant subi une rotation d'un angle Ψ de 45° à 65° autour de l'axe X, représentée à la fig. 4, subit encore une rotation Θ de $\pm 40^\circ$ à 50° à l'intérieur du plan de ces surfaces principales (plans X-Z'), comme le montre la fig. 5.

Conformément à l'analyse de vibration en deux dimensions, les relations de chacun des constituants de la constante élastique du cristal de quartz peuvent être énoncées comme suit:

$$(1) C'_{11} = C'_{33}, C'_{15} = C'_{35}$$

$$(2) C'_{11}, C'_{33}, C'_{13} = C'_{15}, C'_{35}$$

Dans ces relations l'indication ' (prime) indique à nouveau les valeurs dont la coordonnée est transformée. De plus, puisque C'_{55} est négligeable compte tenu de la constante piézo-électrique, il faut noter que les vibrations dans les directions de l'axe X' et de l'axe Z'' sont excitées dans le cas où l'épaisseur de la plaque est suffisamment mince. En conséquence, les caractères du résonateur sont affectés par la constante élastique de deux vibrations longitudinales, les re-

lations susmentionnées y relatives étant représentées à la fig. 6.

Sur cette fig. 6, le rapport de côtés r représente le rapport dimensionnel du côté court au côté long, étant entendu que la dimension du côté court est constante tandis que celle du côté long est modifiée. Le diagramme de la fig. 6 montre que la fréquence de vibration 22 du côté court et la fréquence de vibration 23 du long côté sont couplées dans la région 24 d'un certain domaine de rapports de côtés. Les valeurs $\Psi = 51,5^\circ$, $\Theta = 45^\circ$ et $r = 0,85$, dans les figs 4 à 6, sont utilisées pour une plaque de cristal de quartz en coupe GT classique. Lorsque la caractéristique fréquence/température, calculée par l'équation de fréquence obtenue par l'analyse de vibration, est établie par calcul en utilisant Ψ , Θ et r comme paramètres, on constate qu'une excellente caractéristique fréquence/température est réalisable dans un large domaine de ces paramètres.

Les résultats susmentionnés sont très importants pour un résonateur consistant en une portion vibrante et une portion support constituées en une seule pièce par le moyen de ponts. Cela signifie que, puisque la valeur obtenue par calcul théorique concerne le cas d'une vibration libre, les conditions aux frontières (boundary conditions) sont différentes de ce que fournit le calcul dans le cas où le résonateur consiste en une portion vibrante et une portion support faites en une seule pièce, les valeurs de paramètres Ψ , Θ et r , qui fournissent ladite excellente caractéristique fréquence/température, sont décalées. Tenant compte de ce fait, il est indiqué de chercher à réaliser cette très bonne caractéristique fréquence/température dans un large domaine de températures. De plus, même si le résonateur à quartz est de dimensions miniatures, c'est-à-dire si le côté court de sa portion vibrante est inférieur à 5 mm, il existe une possibilité que les valeurs de paramètres subissent des décalages pour diverses raisons. A cet égard, les caractéristiques susmentionnées s'avèrent avantageuses.

Les domaines de chacun des paramètres selon les calculs théoriques précédemment mentionnés seront $\Psi = 40^\circ$ à 70° , $\Theta = 40^\circ$ à 50° et $r = 0,80$ à $1,00$.

Subséquentement, après que les caractéristiques d'un résonateur comportant des portions supports de différentes formes, telles que les montrent les figs 7a, 7b et 7c, aient été relevées par voie d'essais expérimentaux, il a été possible de constater divers faits nouveaux qui seront expliqués ci-après.

Un résonateur 21 consistant en une portion support 25 et une portion vibrante 26 est fait d'une seule pièce. Bien que les figs 7a, 7b et 7c montrent des formes d'exécution typiques, il y a lieu de noter que différentes autres formes de portion support, ayant différentes dimensions et différentes formes, sont également utilisées à titre expérimental. En outre, la méthode de support de la fig. 11 est rapprochée de la méthode de support par fils représentée aux figures précédentes, pour traiter les effets des méthodes de support d'une façon égale. En combinant chacun des paramètres, un résonateur à quartz ayant une très bonne caractéristique fréquence/température et une faible impédance de cristal est réalisée pour autant que les paramètres suivants soient combinés:

$$\Psi = 45^\circ \text{ à } 65^\circ$$

$$\Theta = \pm (40^\circ \text{ à } 50^\circ)$$

$$r = 0,8 \text{ à } 1,00.$$

En considérant les choses plus en détail, puisque le paramètre actif efficace pour le fonctionnement du résonateur selon la conception proposée est le champ électrique dans la direction de l'axe Y, ce paramètre devient faible lorsque Ψ devient important, ce qui fait que l'efficacité d'excitation en fonctionnement diminue. Toutefois, lorsque Ψ est inférieur à 65° , le résonateur à quartz n'est pas influencé dans une grande mesure par le champ électrique dans la direction de l'axe

Y et il existe seulement une petite différence entre la forme d'exécution représentée et un type de vibreur classique en ce qui concerne l'impédance de cristal. Bien que le résonateur soit principalement découpé par attaque chimique lorsque la portion vibrante et la portion support sont faites en une seule pièce, le cristal de quartz présente la propriété que la direction Y est difficilement attaquée chimiquement du fait de son anisotropie, et le découpage par attaque chimique du résonateur demande une période de temps relativement longue lorsque Ψ est inférieur à 45° (le liquide d'attaque chimique est un mélange d'acide fluorhydrique et de fluorure d'ammonium (fluorine acid and ammonium fluoride)). L'expérience montre que la valeur optimale de Ψ se situe entre 45° et 65° . Ensuite, en ce qui concerne Θ , cet angle n'est pas nécessairement de 45° , comme mentionné précédemment, et les différentes caractéristiques du résonateur à quartz ne sont pas notablement affectées par la valeur de Θ . La tolérance concernant Θ est la même que la tolérance donnée par le calcul théorique, c'est-à-dire que l'on a $40^\circ \leq \Theta \leq 50^\circ$. Enfin, en ce qui concerne la caractéristique fréquence/température, si la valeur r se situe dans le domaine de $0,80$ à $1,00$, lorsque Ψ et Θ se situent dans les domaines susmentionnés, cette caractéristique fréquence de température se trouve excellente indépendamment des dimensions et des formes des portions supports ($r = W/L$, aux figs 7a, 7b et 7c).

Comme on l'a mentionné, chacun des paramètres Ψ , Θ et r donnés par les essais expérimentaux utilisant des échantillons tels que ceux représentés aux figs 7a, 7b et 7c, sont inclus dans le domaine de paramètres admissible donné par le calcul théorique précédemment effectué. En conséquence, les valeurs de paramètres conformes à la conception proposée se trouvent confirmées à la fois par l'expérience et par la théorie.

Les données montrent que le résonateur selon la conception proposée peut avoir différentes formes de portions supports qui satisfont également à chacune des spécifications requises, ceci par une combinaison adéquate de chacun des paramètres, ce qui donne au résonateur proposé une grande liberté de constitution de configuration (design).

On va maintenant décrire différentes formes d'exécution d'un résonateur miniature à quartz à mode de vibration de contour utilisant les paramètres susmentionnés.

La fig. 8 représente un tel résonateur à quartz miniature à mode de vibration de contour, conforme à la conception particulière proposée et la fig. 9 fournit les différentes désignations de dimensionnement de ce même résonateur. Ce résonateur à quartz en mode de vibration de contour 21 consiste en une portion vibrante 26 et une portion support 25, réalisées en une seule pièce par attaque chimique. Chacun des paramètres Ψ , Θ et r se situe à l'intérieur du domaine précédemment défini pour ce paramètre, et ces paramètres sont adéquatement combinés pour fournir une bonne caractéristique fréquence/température.

La largeur maximale du côté court W du résonateur est inférieure à 5 mm et l'épaisseur de ce résonateur est inférieure à 200 μm (0,2 mm). La valeur de l'épaisseur t a à nouveau été trouvée expérimentalement et théoriquement, en tenant compte de ce que plus l'épaisseur du résonateur augmente, plus l'aptitude au découpage par attaque chimique et la caractéristique fréquence/température se détériorent, du fait que la tendance au couplage élastique des deux vibrations longitudinales ne se développe que difficilement. La portion support 25 comprend une partie résiliente 30 qui est sujette à liaison avec la vibration de la portion vibrante 26, par l'intermédiaire de la partie en pont 31, une partie d'atténuation 28 connectée par ses deux extrémités à la partie résiliente 30 par l'intermédiaire de parties de connexion 29, et une partie de fixation 27 établie au milieu de la portion d'at-

ténuation 28 et fixée à un membre support ou un dispositif analogue. La largeur de la partie en pont 31, la largeur de la partie élastique 30, la largeur de la partie d'atténuation 28, la distance entre la partie résiliente et la partie d'atténuation, et la longueur de la partie résiliente 30 sont respectivement W_0 , W_1 , W_2 , W_3 et L_1 , comme le montre la fig. 9.

Le principe de la forme d'exécution selon les figs 8 et 9 sera expliqué maintenant en liaison avec la fig. 10.

La fig. 10 montre seulement un quart de la fig. 8, tenant compte de la symétrie. La fig. 10a est une vue à échelle légèrement élargie et montre d'une façon aisément compréhensible la situation du résonateur dans l'état exempt de vibration (pourvu que le rapport dimensionnel soit arbitrairement choisi). Les figs 10a, 10b et 10c sont élargies de façon que la distribution des déplacements obtenus par l'analyse de la vibration du côté long et la vibration du côté court, au moyen de la méthode par quantités élémentaires finies (Finite Element Method), puisse être aisément comprise (les lignes en pointillés «deux points un trait» montrent l'état déformé, notablement exagéré, et les lignes en traits pleins montrent l'état original). Conformément à ce que l'on voit au dessin, la vibration du côté long et la vibration du côté court de la portion vibrante 26 ne sont pas perturbées respectivement; en d'autres termes, le côté long et le côté court vibrent librement. Bien que la partie résiliente (ou partie élastique) 30 soit affectée (interconnectée) par la vibration de la portion vibrante 26, et de ce fait notablement déformée, le déplacement à l'endroit de la partie d'atténuation 28 est extrêmement petit et l'importance du déplacement est minimum à l'endroit de la partie de fixation 27.

Ainsi, le résonateur à quartz en mode de vibration de contour muni de la portion support conformément à la conception particulière proposée s'avère efficace puisque le désordre des modes de vibration dans la portion vibrante et les pertes de vibration par les pièces supports (ou des pièces équivalentes) sont extrêmement petites.

Dans le calcul théorique, la vibration du côté court (dans la direction de l'axe X') fournit une très bonne caractéristique fréquence/température, encore meilleure que celle de la vibration du côté long (dans la direction de l'axe Z''). De ce fait, il est préférable de prévoir la portion support 25 sur le côté court de la portion vibrante 26, plutôt que sur son côté long. Effectivement, il est préférable de ne pas prévoir de portion support sur le long côté, chose qui restreint la vibration du côté court.

Si l'analyse de la vibration par la méthode des quantités élémentaires finies (Finite Element Method) est poussée encore plus avant, on trouve que les vibrations dans la direction longitudinale de la portion support 25 (fig. 8) sont substantiellement parallèles au côté court du résonateur. Ceci est avantageux puisque cela évite qu'un encombrement excessif soit nécessaire dans le cas où les portions supports sont prévues sur le côté court, comme précédemment mentionné.

En recherchant la forme optimale du résonateur par analyse selon la méthode des quantités élémentaires finies, on trouve que le désordre des modes de vibration dans la portion vibrante et les pertes de vibration causées par la vibration des parties de fixation peuvent être éliminées ou en tous les cas très fortement réduites si les relations suivantes de chacune des dimensions W_0 , W_1 , W_2 , W_3 , L_1 , et les dimensions analogues, telles que représentées à la fig. 9, sont satisfaites. En fait, lorsque chacune des dimensions est modifiée, dans l'analyse par la méthode des quantités élémentaires finies, le mode de vibration de la portion vibrante et les conditions de vibration de la portion support apparaissent de la manière suivante:

(1) Si la relation entre la largeur W de la portion vibrante

et la largeur W_0 des parties en pont est représentée par $0,015 \leq (W_0/W) \leq 0,200$, la forme des portions supports est suffisamment élaborée pour prévenir le désordre de modes de la portion vibrante et l'augmentation de distorsions à l'endroit des parties en pont.

(2) Si la largeur W_1 de la partie élastique, la largeur W_2 de la partie d'atténuation, et la distance W_3 entre la partie élastique et la partie d'atténuation satisfont les équations: $0,3 \leq (W_1/W_2) \leq 1,2$, $W_1 \leq 1,5 \cdot W_0$, $0,2 \leq (W_1/W_3) \leq 2,0$, le désordre de modes de la portion de vibration et les pertes de vibration sont tout à fait suffisamment éliminés pour autant qu'on ait $0,015 \leq (W_0/W) \leq 0,200$ (relation précédemment trouvée). Si l'on considère les pertes de vibration d'une façon plus détaillée, on voit que l'importance du déplacement maximal à la portion vibrante étant 1,0, le déplacement de la portion de fixation est inférieur à 1×10^{-3} . Dans ce cas, selon le calcul, la différence de fréquence entre le cas où la portion de fixation est effectivement fixée et le cas où la portion de fixation est libre se situe substantiellement dans la limite de 1 PPM. Cela signifie que le déplacement de la portion de fixation est amené pratiquement à zéro par une combinaison adéquate de W_1 , W_2 , W_3 , W_0 et L_1 , et il en résulte que les pertes de vibration par la pièce support (ou par un élément analogue) sont éliminées.

(3) Si la relation entre la longueur L_1 de la partie d'atténuation (selon ce que montrent les figs 8 et 9) et la largeur W_1 de la partie élastique répond à la condition $5 \leq (L_1/W_1) \leq 25$, cela s'avère efficace pour prévenir le désordre de modes dans la portion vibrante, à côté de la relation citée en (1).

(4) Il s'avère efficace pour prévenir la perte de vibration que la portion de fixation se situe au centre de la portion d'atténuation, compte tenu de la symétrie du résonateur.

En appliquant les résultats susmentionnés au résonateur de la fig. 8, on obtient un résonateur d'excellente qualité, exempt de désordre de mode dans la portion vibrante et de pertes de vibration. Dans le cas où la largeur W du côté court de la portion vibrante est inférieure à 5 mm, une caractéristique suffisante est obtenue par de petites portions supports. En outre, le résonateur peut être conçu quant à sa forme et à sa structure avec toute liberté, dans une très grande variété et avec les dimensions désirées.

La fig. 11 représente d'autres formes d'exécution concernant les formes de la portion support du résonateur à quartz miniature en mode de vibration de contour selon la conception particulière proposée. Au dessin, on voit que la portion support 25 est faite d'une pièce avec la portion vibrante 26, ceci étant obtenu par la présence de la partie en pont 31, de la partie élastique 30, des parties de connexion 29, de la partie d'atténuation 28 et de la partie de fixation 27. Chacun des paramètres Ψ , Θ , r , de même que l'épaisseur de la plaque correspondent aux valeurs déterminées dans le cadre de la conception proposée.

La fig. 11a représente une forme d'exécution dans laquelle la portion support 25 est prévue seulement sur un côté.

La fig. 11b représente une forme d'exécution dans laquelle la partie élastique (ou résiliente) 30 et la partie d'atténuation 28 sont connectées par une seule partie de liaison 29. La fig. 11c représente une forme d'exécution dans laquelle la portion support comprend trois parties de connexion 29 entre la partie élastique 30 et la partie d'atténuation 29. Enfin, la fig. 11d représente le cas où la partie de fixation 27 et la partie d'atténuation 28 sont en un seul bloc. Bien que les formes de la portion support soient modifiées, le but principal visé par la conception proposée est atteint pour autant que chacune des conditions énoncées soit satisfaite.

La fig. 12 représente une autre forme d'exécution d'un résonateur à quartz en mode de vibration de contour. La fig. 13 représente une courbe selon la ligne A-A de la fig. 12.

Les différentes conditions relatives à la portion vibrante 26 et à la portion support 25 du résonateur 21 ne sont pas représentées sur ces figures, puisqu'elles ont déjà été suffisamment illustrées en liaison avec les figs 4 à 11. Un film d'électrode de métal 33, comme par exemple de l'or ou un métal équivalent, est disposé sur chacune des surfaces principales du résonateur 21, ce film s'étendant aussi bien aux deux surfaces de la portion vibrante 26 qu'aux deux surfaces de la portion support 25. Les films d'électrode 33a sur une surface (conventionnellement surface avant) de la portion vibrante 26 et des portions supports 25 sont connectées par l'intermédiaire de l'une des parties en pont 31, tandis que les films d'électrode 33b sur l'autre surface principale (conventionnellement surface arrière) de la portion vibrante 26 et des portions supports 25 sont connectés par l'intermédiaire de l'autre partie en pont 31.

Dans la construction susmentionnée, les parties de fixation 27 du résonateur sont mécaniquement et électriquement connectées en même temps au conducteur terminal et au membre support (non représenté), qui établit la conduction électrique jusqu'au circuit extérieur au résonateur (circuit d'oscillation), par l'intermédiaire de matériau de scellement tel que de la soudure ou un corps équivalent, ce par quoi sont réalisées d'excellentes propriétés de travail et une haute productivité en grandes séries. En vue d'assurer la fiabilité du processus de montage, les films d'électrode 33a et 33b disposés sur les deux surfaces principales du résonateur sont électriquement connectés à des parties de métal 34a et 34b (fig. 14) faites d'or ou d'un métal équivalent et disposées sur une certaine partie de la portion support (ou tout aussi bien sur toute la surface des portions supports), ce processus tirant avantage de la particularité des poudres métalliques de pouvoir être appliqué par projection sur les portions supports dans un mouvement circulaire, comme cela ressort de ce que montre la fig. 14.

La distribution du déplacement dans la direction du côté long (direction Z'') du résonateur du type proposé peut être recherchée par une analyse au moyen de la méthode des quantités élémentaires finies, de la manière précédemment expliquée en liaison avec la fig. 10. La fig. 15 représente le résultat de l'analyse de la distribution du déplacement, cette figure montrant un quart du résonateur et représentant en dessous, la courbe de déplacement relatif lorsque le déplacement maximum est 1,0. Comme on le voit au dessin, le déplacement de la portion vibrante 26 suit substantiellement une partie de courbe sinusoïdale, et une portion A située au voisinage de la partie en pont 31 subit une distorsion importante qui peut être observée. En vue de prévenir les effets néfastes de la distorsion, le film d'électrode est enlevé aux environs de la partie en pont, comme cela est représenté à la fig. 16, ou alors l'épaisseur du film d'électrode est augmentée aux environs de cette partie en pont, comme le montre la fig. 17.

Dans le cas représenté à la fig. 16, le film d'électrode 33 disposé sur la portion vibrante 26 est enlevé sur une partie 36, au voisinage de la partie en pont 31, afin de prévenir par là l'effet de la polarisation électrique provoquée par une distorsion anormale.

Dans le cas représenté à la fig. 17, le film d'électrode 33 disposé sur la portion vibrante 26 et sur les portions supports 25 est rendu plus épais sur des parties 37 situées au voisinage des parties en pont 31, de façon à prévenir la distorsion. Par les moyens susmentionnés, l'effet néfaste de la distorsion illustrée à la fig. 15 est éliminé.

Il y a lieu de noter que la forme et les dimensions proposées pour la portion support ne sont pas limitées au résonateur à quartz précédemment mentionné et peuvent s'appli-

quer également à tout autre résonateur piézo-électrique à mode de vibration de contour.

La conception proposée ayant été illustrée en liaison avec le dessin, on va considérer maintenant quelques résultats expérimentaux.

Les figs 18 et 19 sont des vues générales du résonateur selon la conception en question, la fig. 20 et la table 2 qui sera donnée ci-après montrent chacune les caractéristiques y relatives.

Le résonateur selon les figs 18 et 19 présente chacun des paramètres $\Psi = 56$, $\Theta = 45^\circ$ et $r = 0,88$, le côté court W et l'épaisseur ayant respectivement 1,4 mm et 80 μm (0,08 mm).

Chacune des dimensions illustrées à la fig. 9 fait l'objet d'une mention dans la table 1 ci-après.

Table 1

		dimension (mm)
20	W	1,6
	L	1,41
	W_0	0,12
	W_1	0,08
	W_2	0,10
25	W_3	0,08
	L_1	0,92

Table 2

	(KHz) frequence	(Ω) R_0	(H) L_0	(fF) C_0
30	$\bar{x}$	2,265	80	1,76
				2,80
35	σ		25	0,01
				0,02

Le boîtier du résonateur est composé de trois couches 40, 41 et 42, comme le montrent les figs 18 et 19. La plaque 40 au niveau moyen et la plaque 42 au niveau supérieur sont munies de trous de dimensions convenables pour fournir un espace vide à l'intérieur de la capsule formée par le boîtier et une portion en gradins pour supporter le résonateur 21 est établie par les plaques 40 et 42. Chaque partie de fixation 27 du résonateur 21 est directement fixée sur une portion en gradins. Ensuite, les films d'électrodes conducteurs 38a et 38b, d'or ou d'un matériau équivalent, sont disposés sur la surface des portions en gradins où le résonateur est supporté, puis ils sont fixés par évaporation, impression ou une méthode analogue. Ces films conducteurs 38a et 38b conduisent jusqu'à une partie de la surface inférieure de la plaque 41, en suivant les surfaces latérales extérieures des plaques 40 et 41. Le résonateur 21 est placé sur la plaque 40 de façon que ses parties de fixation 27 soient en contact avec les films d'or 38a et 38b disposés sur la plaque 40, ces parties de fixation étant ensuite fixées par un matériau de scellement électroconducteur 47a et 47b, par exemple de la soudure ou un matériau analogue, ceci fournissant à la fois la fixation mécanique et la connexion électrique avec les films d'électrode 33a et 33b disposés sur les deux faces du résonateur 21. Comme cela ressort clairement de la fig. 19, les films conducteurs 38a et 38b sont électriquement connectés l'un avec le film d'électrode d'excitation 33a disposé sur la face avant du résonateur 26 et l'autre avec le film d'électrode d'excitation 33b disposé sur la face arrière du résonateur 26. Lorsqu'une tension alternative par laquelle les films d'or 38a et 38b se trouvent à des polarités différentes, est appliquée à ces films conducteurs 38a et 38b, un champ électrique dans la direction de

l'épaisseur de la plaque est appliqué à la portion vibrante du résonateur 21, ce qui amène celui-ci à vibrer. Les caractéristiques de vibration de l'unité de résonateur ainsi testée, lesquelles sont mesurées par la méthode de transmission, sont représentées dans la table 2 ci-dessus, tandis que la caractéristique fréquence/température relevée est représentée à la fig. 20.

Sur la table 2, R_0 est la résistance-série équivalente, et C_0 est l'inductance équivalente. Le nombre de résonateurs expérimentés était de dix pièces. Comme cela est clairement montré par le résultat de ce test expérimental, chacune des caractéristiques présentées était excellente, et la structure de support s'est avérée tout à fait adéquate, malgré le fait que le résonateur était de dimensions très petites, comparativement aux résonateurs de type classique.

Dans le cas d'une autre forme d'exécution, illustrée à la fig. 21, des pièces guides 50 ont été établies aux extrémités des parties de fixation 27. Les autres explications relatives à la fig. 21 sont omises du fait que, à l'exception de ce qui concerne ces pièces guides 50, toutes les conditions sont identiques à celles qui ont été discutées en liaison avec les figs 18 et 19. Les pièces guides 50 sont faites en une pièce avec les parties de fixation 27 et elles sont guidées dans l'intérieur de trous ménagés dans la plaque de céramique 42, la partie de fixation étant ainsi automatiquement positionnée par ces pièces guides 50 lorsque le résonateur est mis en place. Etant donné que les parties de fixation des portions supports du résonateur selon la conception proposée ne se déplacent pratiquement pas, les pièces guides n'ont pas d'influence néfaste sur les caractéristiques du résonateur. Si nécessaire, les pièces guides 50 peuvent être séparées des parties de fixation par des portions amincies en forme d'encoche 51 ménagées sur des parties de fixation 27, après que celles-ci ont été fixées par des points de soudure 47a et 47b. Comme le résonateur selon cette forme d'exécution peut, du fait de l'aide apportée par les portions de guidage, être très facilement mis en place, par comparaison à ce qu'il en était de la forme d'exécution selon les figs 18 et 19, une automatisation du processus de montage du résonateur devient particulièrement aisée avec cette forme d'exécution.

Les figs 22 et 23 représentent d'autres formes d'exécution de la conception en question, dans lesquelles un membre-support est également fait du même matériau piézo-électrique que le résonateur. La fig. 22 est une vue en plan de cette forme d'exécution et la fig. 23 est une vue en coupe selon la ligne A-A de la fig. 22. La portion vibrante 26 et la portion support 25 sont faites en une seule pièce à l'aide de parties en pont 31a, 31b, avec l'angle de coupe et les dimensions prédéterminées voulues. Ensuite, les parties de fixation 27 des portions-supports 25 sont munies de parties-cadre 21a, ayant une dimension de largeur prédéterminée, et entourant le résonateur 21. Un film d'or 60 est disposé sur les deux côtés de ce cadre 21a, sur une épaisseur d'approximativement 2 μ m. Une portion de base 62 est faite du même matériau piézo-électrique que le résonateur 21. Un film d'or (non représenté) disposé sur la surface avant de la base 62, et un film d'or (non représenté) disposé sur la surface arrière de la portion-cadre 21a sont amenés en adhésion au moyen de soudure ou d'un agent équivalent, de façon à fixer et à sceller ensemble la base 62 et le résonateur 21 (par l'intermédiaire du cadre 21a). Ensuite, un couvercle 61, fait du même matériau piézo-électrique que le résonateur, portant un film d'or (non représenté) est disposé de façon que son film d'or, correspondant au film d'or 60 de la base 62, vienne en adhésion avec le film formé sur la portion-cadre 21a, cette liaison étant assurée par de la soudure ou un moyen équivalent. Les électrodes d'excitation 33a et 33b disposées sur les surfaces principales du résonateur 21, sont tirées

jusqu'à l'extérieur et se projettent depuis la portion-cadre 21a, sur laquelle est fixé, tel qu'il est, le couvercle 61. Le couvercle 61, pour scellement sous vide, est omis à la fig. 22. Contre certaines parties de ce couvercle, de même que contre certaines parties de la base 62, est réalisée une faible attaque photochimique de creusage et non de découpage (half etchings), en vue d'établir une portion évidée permettant le scellement du résonateur 21.

Afin de mieux faire comprendre, d'une façon détaillée, cette forme d'exécution, le processus d'assemblage du résonateur est illustré en liaison avec les figs 24, 25 et 26 qui illustrent le processus de fabrication et d'assemblage du résonateur.

Trois couches de plaque piézo-électrique, respectivement représentées aux figs 24, 25 et 26, sont traitées par groupes par un procédé utilisant la technique photolithographique. La fig. 25 montre un certain nombre de plaques piézo-électriques 62 disposées en lignes, au moyen de portions de connexion 75 établies toutes en une fois sur un cadre 74 par les techniques conjuguées de la photographie et de l'attaque chimique (photolithographie), ces plaques étant tirées d'une plaque générale piézo-électrique 73. Ensuite, les portions 63a sont à demi attaquées chimiquement, sur plusieurs dizaines de microns en profondeur, et des films d'or 60b sont disposés par évaporation autour des portions 63a. Ensuite, la portion vibrante 26, les portions de support 25 et le cadre 21a formés en un seul corps, comme cela est montré à la fig. 24, se trouvent réalisés en colonnes dans le cadre 71, ces portions étant tenues par les portions de liaison 75 à la plaque piézo-électrique de départ 70, ceci en utilisant les techniques susmentionnées. Ensuite, les films d'électrode 33a et 33b pour la vibration et l'extraction, de même que le film d'or 60a, sont disposés sur le résonateur par giclage et évaporation. Ensuite, un couvercle 61, fabriqué à partir d'une plaque générale piézo-électrique 76 représentée à la fig. 26 se trouve connecté avec un cadre 77 à l'aide de portions de connexion 78. Des portions en creux 63b, d'une profondeur située entre quelques microns et quelques dizaines de microns sont prévues et un film d'or 60c est disposé sur un des côtés du couvercle 61, par semi-attaque chimique. Les trois pièces piézo-électriques sont amenées en superposition l'une avec l'autre, pour former une série d'unités semblable à ce que montrent les figs 22 et 23. Ensuite, par application de chaleur et de pression aux films d'or 60a, 60b et 60c, disposés sur les plaques piézo-électriques respectives amenées en superposition l'une avec l'autre, les trois couches de plaques piézo-électriques sont soudées et sont simultanément scellées. Ensuite, les unités formées chacune des trois parties de plaques piézo-électriques superposées sont séparées respectivement par brisement des portions de connexion 72, 75 et 78, ce qui peut se faire à l'aide d'une très faible contrainte lors de la phase finale du processus. Ainsi, les formes d'exécution et modes de mise en œuvre de fabrication présentés aux figs 22, 23, 24, 25 et 26 s'avèrent très efficaces pour permettre une production en grandes séries et à faible coût, étant donné que le procédé d'assemblage du résonateur, non seulement n'est plus une opération délicate, mais peut encore être effectué pour un grand nombre de pièces, c'est-à-dire qu'un nombre élevé de résonateurs peut être ainsi fabriqué simultanément dans un même processus.

De plus, puisque les deux extrémités du résonateur sont supportées, la flexion provoquée par un choc est petite et l'espace nécessaire dans le boîtier est extrêmement réduit. De plus, puisque le résonateur n'est pas nécessairement établi sur le cadre, l'espace dans la direction de l'épaisseur (c'est-à-dire l'espace entre le résonateur et les parois intérieures du boîtier) peut être très petit, ce qui permet la production d'un résonateur considérablement miniaturisé.

On va considérer maintenant la fig. 27 représentant une forme d'exécution d'un résonateur monté sur une pièce-support telle qu'une plaque ressort ayant de l'élasticité.

L'épaisseur du résonateur doit être réduite puisqu'il est fait par la technique photo-lithographique. Toutefois, on pourrait craindre que le résonateur se brise ou que sa fréquence se modifie dans une large mesure sous l'effet d'un choc si ce résonateur est monté sur un matériau élastique du fait de la puissance de flexion appliquée au résonateur lorsque la flexibilité du matériau élastique aux deux extrémités du résonateur est différente. La forme d'exécution représentée à la fig. 27 vise à éliminer le risque susmentionné, par le fait que la flexibilité du matériau support aux deux extrémités du résonateur est constamment pratiquement la même. Les électrodes d'excitation ont été omises sur la fig. 27 dans un but de simplification. Le résonateur 21 est mis dans un boîtier fermé par un processus comprenant l'étape de remplissage par une masse de verre 82 d'une embase cylindrique 81 de cuivre, de façon à établir une liaison hermétique, puis l'étape d'introduction et de traversée de connexion terminale de plaques conductrices 83a, 83b, faites d'un matériau comprenant du cuivre, à travers la base cylindrique 81 munie du remplissage de verre, la liaison entre celui-ci et les connexions conductrices étant étanches, et l'étape d'introduction avec pression de l'embase cylindrique 81 munie des conducteurs terminaux 83a, 83b dans une douille cylindrique 80 faite de nickel et d'argent. Le résonateur 21 se trouve fixé aux conducteurs terminaux 83a et 83b par un matériau de scellement électriquement conducteur 84a, 84b, par exemple de la soudure, par ses parties de fixation 27a, 27b, établies à l'extrémité de ses portions supports 25a et 25b.

On a volontairement omis ici les explications concernant la connexion électriquement conductrice entre les conducteurs terminaux 83a et 83b et les électrodes d'excitation du résonateur 21 d'une part et le circuit extérieur d'autre part, de même que l'on a omis la représentation des électrodes d'excitation, étant donné que le principe est exactement le même ici que dans le cas des formes d'exécution représentées aux figs 18, 19, 22 et 23.

Chacun des conducteurs terminaux est établi et dimensionné de façon que la flexibilité du conducteur terminal 83a au point de fixation de la partie de fixation 27a et la flexibilité du conducteur terminal 83b au point de fixation avec la partie de fixation 27b soient substantiellement égales. Une partie 85, à l'extrémité du conducteur terminal 83a, est prévue de façon à ajuster la flexibilité. On va considérer maintenant la flexibilité même des conducteurs terminaux. En admettant, ce qui est pratiquement juste, que le conducteur terminal peut être considéré comme une pièce en porte-à-faux à l'extrémité de laquelle se trouve montée une charge, la flexibilité y_1 de l'extrémité du levier peut être établie par la formule suivante (un utilisant les marquages visibles à la fig. 28):

$$y_1 = \frac{P}{3EI} l^3 = \frac{Pl^3}{3E} \cdot \frac{12}{bt^3} = \left(\frac{4P}{E}\right) \cdot \left[\frac{1}{b} \left(\frac{l}{t}\right)^3\right] \dots (1)$$

Dans cette formule, E représente le module de Young, et P représente la charge concentrée. On voit que la flexibilité à l'extrémité du levier en porte-à-faux peut être ajustée en modifiant la longueur l, la largeur b et l'épaisseur t. L'équation (1) indique que la méthode la plus simple pour ajuster la flexibilité de l'extrémité chargée est de modifier la valeur de l/t. Par ailleurs, pour le cas où la charge est montée au milieu de la longueur du levier, la flexibilité y_2 à l'extrémité du levier est représentée par la formule suivante:

$$y_2 = \frac{Pa^2}{6EI} (3l-a) = \frac{P}{6E} a^2 \cdot (3l-a) \cdot \frac{12}{bt^3} = \left(\frac{2P}{E}\right) \cdot \left[\frac{1}{bt^3} \cdot a^2 (3l-a)\right] \dots (2)$$

cette formule supposant qu'il existe une certaine longueur depuis le point de support jusqu'au point de charge, comme le représente la fig. 29. On voit que y_2 change d'une façon variable en fonction de la position chargée et des dimensions du levier. La valeur P, dans les équations (1) et (2) peut être modifiée par addition de la charge additionnée 85 représentée à la fig. 27. Ainsi, il existe différentes méthodes pour faire varier la flexibilité, toutes n'étant pas mentionnées ici. Au cours des études susmentionnées, différentes méthodes ont été appliquées pour l'ajustage de la flexibilité des conducteurs terminaux, dans le cas des formes d'exécution conformes à la conception proposée. Ces méthodes choisies comprennent l'adjonction d'une charge additionnelle comme cela est représenté à la fig. 27, la méthode de modification des dimensions du conducteur terminal et la méthode d'égalisation de la longueur depuis le scellement cuivre-verre jusqu'à la partie de fixation, et de chacune des dimensions y relatives.

La conception particulière proposée vient d'être illustrée en liaison avec différentes formes d'exécution. Les particularités du résonateur selon cette conception particulière peuvent être résumées de la façon suivante:

(1) Des caractéristiques particulièrement bonnes et stables (faible dispersion) sont réalisées étant donné que la structure de support rend minimum les pertes d'énergie du résonateur piézo-électrique à mode de vibration de contour.

(2) La résistance aux chocs est extrêmement bonne étant donné que le résonateur est supporté rigide du fait de sa faible perte d'énergie.

(3) Un résonateur à faible perte d'énergie est réalisé même si les portions supports sont petites, puisque celles-ci sont établies sur les côtés courts de la portion vibrante, le résonateur est aisément miniaturisé.

(4) Comme cela ressort clairement de (1) et (2), l'assemblage du résonateur est facile et une production en grandes séries est possible.

(5) La conception de forme (design) est possible dans le cadre d'une très grande variété du fait de la combinaison des paramètres de la portion support dans le domaine établi pour chacune des dimensions.

(6) Un résonateur à quartz présentant les caractéristiques désirées peut être réalisé puisque le degré de liberté concernant l'angle de coupe et le rapport de dimension est grand.

(7) Un résonateur ayant une excellente caractéristique fréquence/température est réalisé par une combinaison adéquate de l'angle de coupe et du rapport de dimension, après que la forme et les dimensions de la portion support ont été déterminées.

(8) Le désordre de mode de la portion vibrante, qui risquerait de se produire du fait que la portion support et la portion vibrante sont faites en une seule pièce est aisément éliminé en modifiant la composition des électrodes dans la mesure nécessaire et d'une façon adéquate.

(9) Lorsque les deux portions supports sont établies à chacune des extrémités de la portion vibrante, l'effet de flexion provoqué par des chocs est faible et le boîtier du résonateur peut être établi à de très petites dimensions, compte tenu également de la particularité mentionnée en (3).

De tout ce qui précède, il ressort que le résonateur piézo-électrique à mode de vibration de contour du type particulier selon la conception proposée présente de très nombreux avantages du point de vue industriel.

FIG. 1

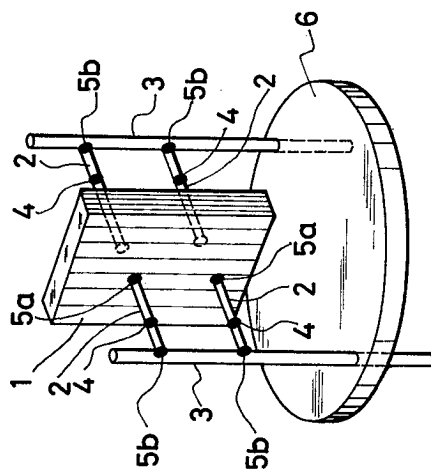


FIG. 2

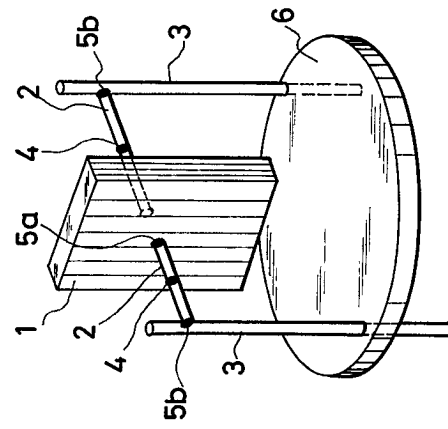


FIG. 3

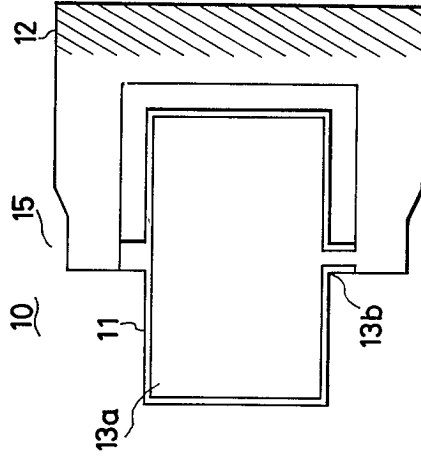


FIG. 4

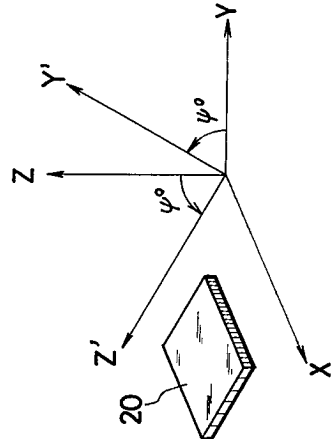


FIG. 5

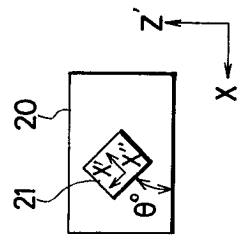


FIG. 6

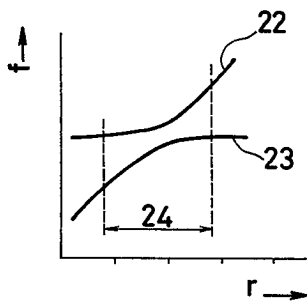


FIG. 7(a) FIG. 7(b)

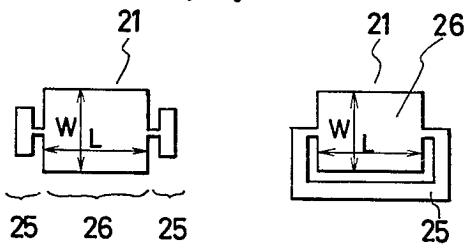


FIG. 7(c)

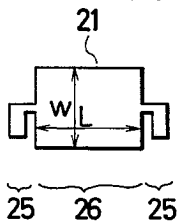


FIG. 8

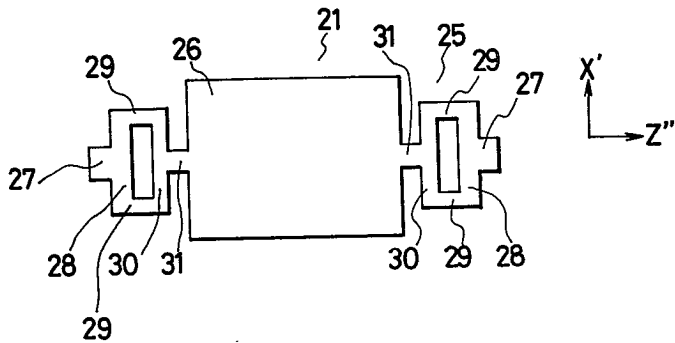


FIG. 9

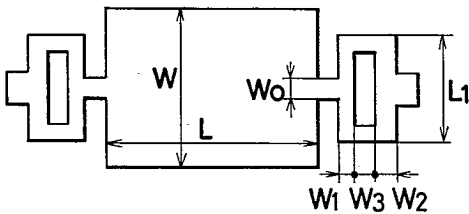


FIG. 10(a)

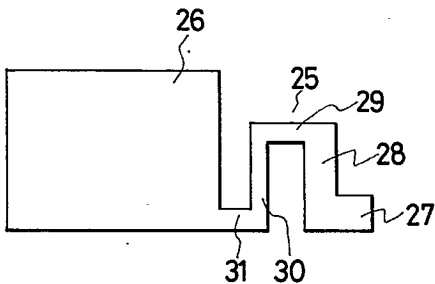


FIG. 10(b)

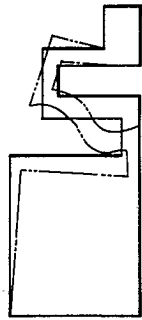


FIG. 10(c)

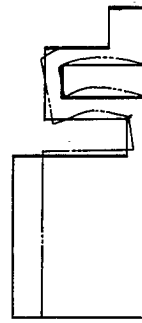


FIG. 11(a)

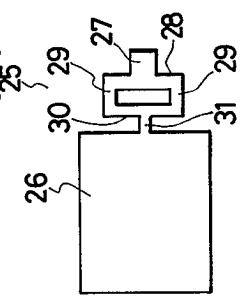


FIG. 11(b)

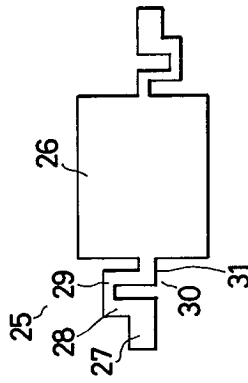


FIG. 11(c)

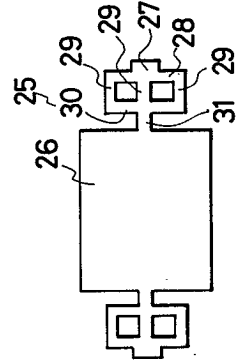


FIG. 11(d)

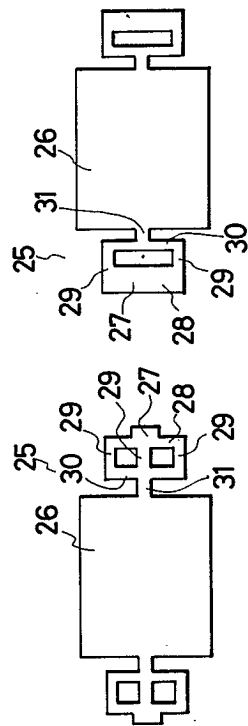


FIG. 12

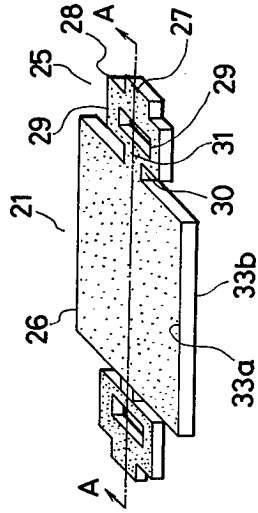


FIG. 13

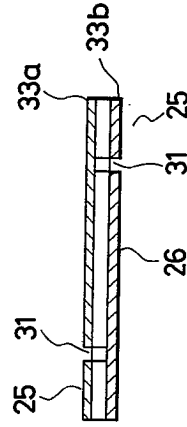


FIG. 14

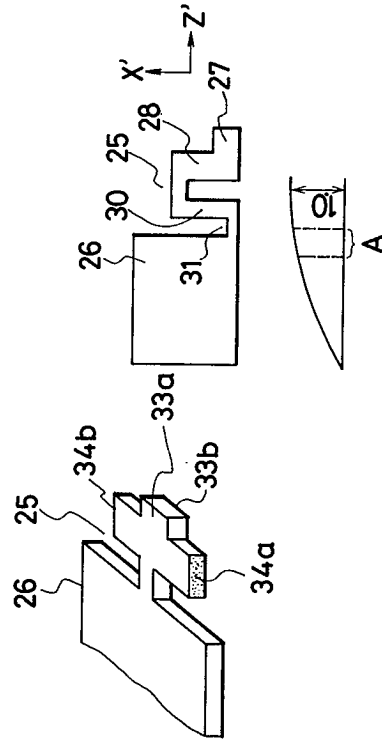


FIG. 15

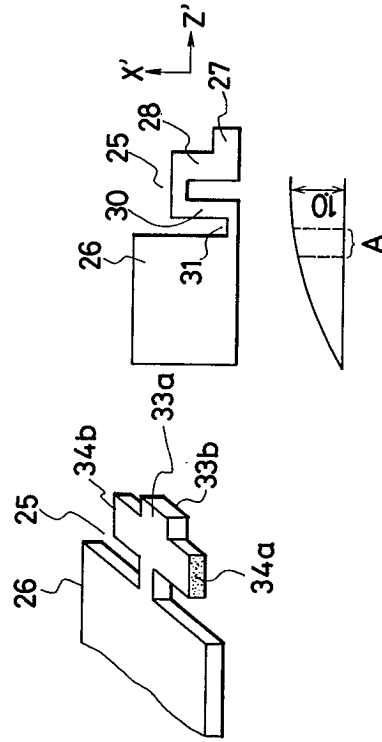


FIG. 19

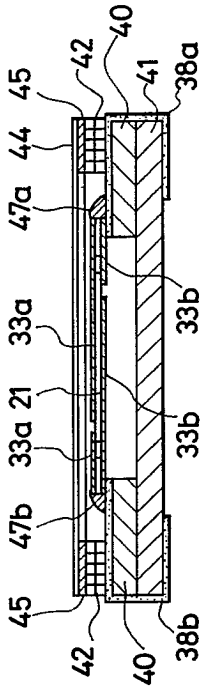


FIG. 16

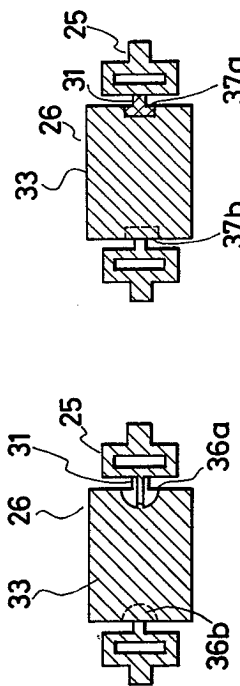


FIG. 17

FIG. 21

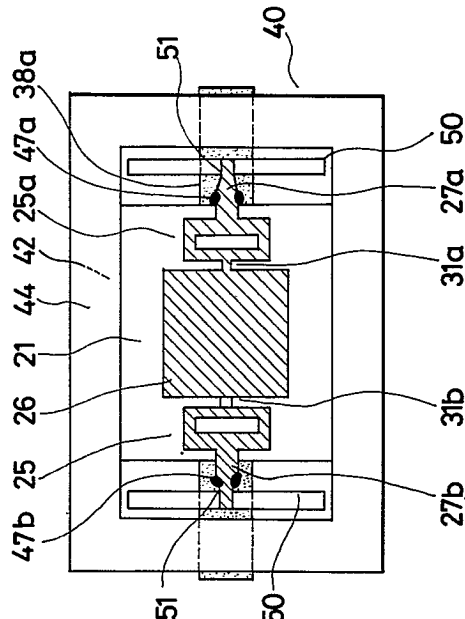


FIG. 18

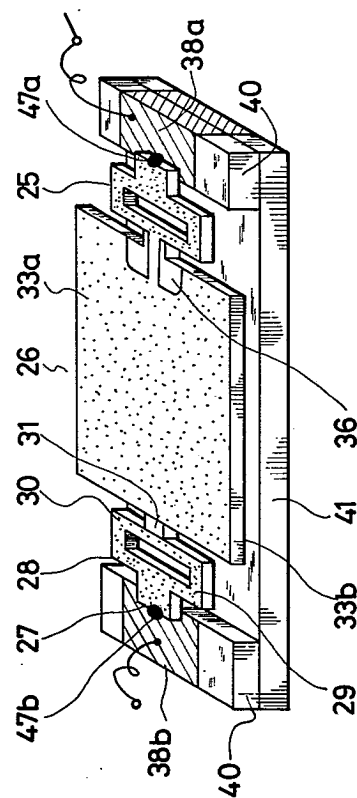


FIG. 20

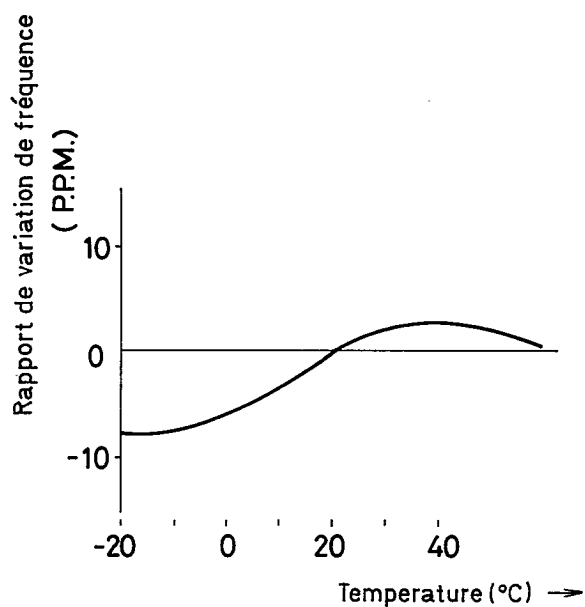


FIG. 22

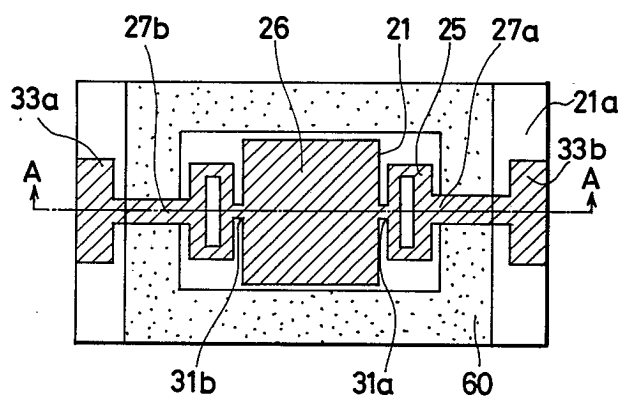


FIG. 23

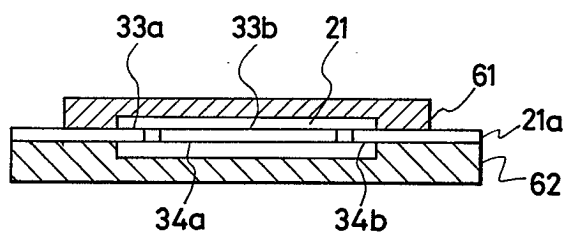


FIG. 24

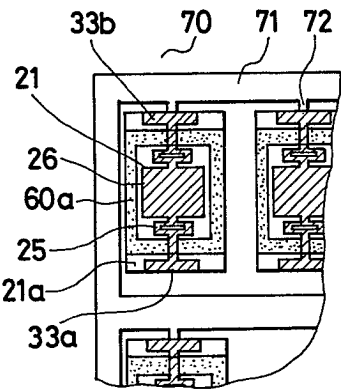


FIG. 25

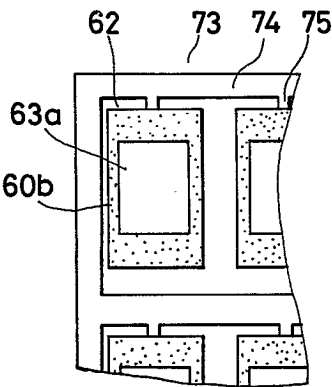


FIG. 26

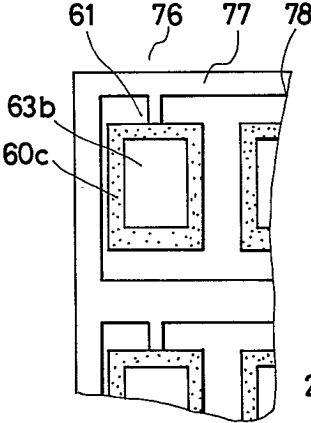


FIG. 27

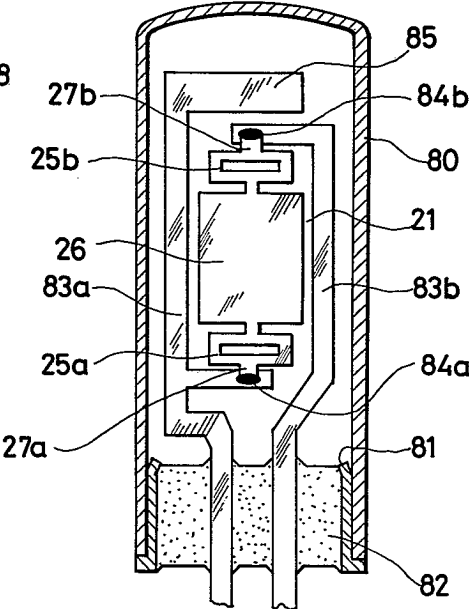


FIG. 28

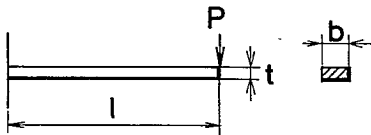


FIG. 29

