

CONFÉDÉRATION SUISSE  
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

⑤1 Int. Cl.<sup>3</sup>: G 04 C 3/12  
H 01 L 41/22  
H 03 B 5/32



**Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein**  
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

⑫ **FASCICULE DU BREVET** B5

⑪

**631 855**

Les pièces techniques diffèrent du fascicule de la demande no 7429/74

②1 Numéro de la demande: 7429/74

⑦3 Titulaire(s):  
Kabushiki Kaisha Suwa Seikosha, Tokyo (JP)

②2 Date de dépôt: 30.05.1974

⑦2 Inventeur(s):  
Kikuo Oguchi, Suwa-gun/Nagano-ken (JP)  
Akio Shimoji, Suwa-shi/Nagano-ken (JP)  
Toshiaki Ogata, Suwa-shi/Nagano-ken (JP)

④2 Demande publiée le: 15.08.1977

⑦4 Mandataire:  
Bovard & Cie., Bern

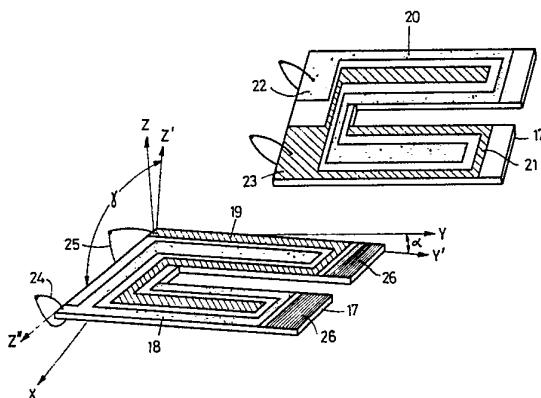
④4 Fascicule de la demande  
publié le: 15.08.1977

⑤6 Rapport de recherche au verso

④5 Fascicule du brevet  
publié le: 15.09.1982

⑥4 Résonateur pour instrument horométrique, procédé de fabrication de celui-ci.

⑥5 Au moins une paire d'électrodes (18, 19, 20, 21) est formée sur chacune des faces de l'élément vibrant (17). Celui-ci est apte à entrer en vibration de flexion en réponse à l'application d'une tension entre les dites électrodes formant une même paire. Ces électrodes sont disposées sur une même face pour une dite paire et sur l'autre face pour l'autre dite paire. Une électrode de chaque dite paire étant médiane et disposée sur un axe d'une partie de l'élément vibrant. L'autre est marginale et est disposée pour suivre deux bords d'une partie allongée de l'élément vibrant (17).





# RAPPORT DE RECHERCHE

## RECHERCHENBERICHT

Demande de brevet No.:  
Patentgesuch Nr.:

7 429/74

I.I.B. Nr.:  
HO 11 084

Documents considérés comme pertinents Einschlägige Dokumente		Revendications concernées Betrifft Anspruch Nr.
Catégorie Kategorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes. Kennzeichnung des Dokuments, mit Angabe, soweit erforderlich, der massgeblichen Teile	
	<p><u>US - A - 3 683 213 (STAUDTE)</u>            * col.5, lignes 19-45; col.6, lignes 58 à col.7,            ligne 18; col.1, lignes 32 à 37; fig. 5 *</p> <p><u>DE - A - 1 247 415 (PHILIPS)</u>            * page 1, col.1, ligne 43 à col. 2, ligne 43;            col.3, ligne 25 à col.4, ligne 5; fig. 1 et 3*</p> <p>Documents opposés en cours d'opposition :</p> <p><u>Piezoelectricity, by W.G. Cady</u>            * page 447, fig. 88, cas A, E ou G *</p> <p><u>Electronic Industries &amp; Tele-Tech. oct. 1956</u>            article de Dr. R. Bechmann et Dr. D. Hale            * page 52, fig. 2a *</p> <p><u>Proceedings of the 22nd Annual Symposium on Frequency Control</u>            * pages 229 et 230, fig. 4, lignes 9 et 10 *</p> <p><u>Handbook of piezoelectric crystals for radio equipment designers</u>            John P. Buchanan, oct. 1956            * pages 22 et 23; fig. 1 à 19 (B) et (E) *</p>	1,2,5,6
		1
		1
		1
		1, 2
		2
		<p><b>Catégorie des documents cités</b>  <b>Kategorie der genannten Dokumente:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>X: particulièrement pertinent von besonderer Bedeutung</li> <li>A: arrière-plan technologique technologischer Hintergrund</li> <li>O: divulgation non-écrite nichtschriftliche Offenbarung</li> <li>P: document intercalaire Zwischenliteratur</li> <li>T: théorie ou principe à la base de l'invention der Erfundung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze</li> <li>E: demande faisant interférence kollidierende Anmeldung</li> <li>L: document cité pour d'autres raisons aus andern Gründen angeführtes Dokument</li> <li>&amp;: membre de la même famille, document correspondant Mitglied der gleichen Patentfamilie; übereinstimmendes Dokument</li> </ul>

### Etendue de la recherche/Umfang der Recherche

Revendications ayant fait l'objet de recherches  
Recherchierte Patentansprüche:

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

Raison:  
Grund:

## REVENDICATIONS

1. Résonateur pour instrument horométrique comprenant un élément vibrant fait d'une plaque de cristal en quartz, caractérisé en ce qu'au moins une paire d'électrodes est formée sur chacune des faces de l'élément vibrant qui sont parallèles au plan de vibration, de manière telle que l'élément vibrant à cristal de quartz soit apte à entrer en vibration de flexion en réponse à l'application d'une tension entre les électrodes formant une même dite paire disposées sur une face pour une dite paire et sur l'autre face pour l'autre dite paire, une électrode de chaque dite paire étant médiane, disposée sur un axe central longitudinal d'une partie allongée de l'élément vibrant, tandis que l'autre est marginale et est dédoublée pour suivre les deux bords de cette partie allongée.

2. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'épaisseur de la dite plaque de cristal de quartz ne dépasse pas 0,5 mm, l'orientation de coupe de cette plaque étant définie par rapport au plan d'une plaque en coupe X, par une première rotation, faite autour de l'axe X, d'un angle situé dans le domaine de 0° à 10°, puis par une deuxième rotation, faite autour d'un axe Y' résultant de la dite première rotation appliquée à l'axe Y, d'un angle situé dans le domaine de 70° à 90°.

3. Résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une partie de l'élément vibrant qui n'est pas en relation avec sa vibration est fixée par adhésion à un élément support qui supporte directement l'élément vibrant fait de cristal de quartz.

4. Résonateur selon la revendication 1, dont l'élément vibrant est un vibreur à diapason fait d'une plaque de cristal de quartz, caractérisé en ce que des électrodes destinées à l'application d'un champ électrique sont établies sur au moins une surface des branches du diapason de manière telle que deux électrodes d'une branche et une électrode de l'autre branche soient interconnectées en court-circuit, une électrode restante de la première branche et deux électrodes restantes de l'autre branche étant également connectées entre elles en court-circuit.

5. Procédé de fabrication du résonateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'élément vibrant est fabriqué en la dite plaque de cristal de quartz par la technique d'attaque photo-chimique.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'élément vibrant est fabriqué sous la forme d'un diapason par la technique d'attaque photo-chimique.

---

La présente invention concerne un résonateur pour instrument horométrique comprenant un élément vibrant fait de cristal de quartz, elle concerne également un procédé de fabrication de ce résonateur.

Récemment, les montres-bracelets électroniques ont subi un développement remarquable, et, en particulier, les montres-bracelets à cristal de quartz sont devenues rapidement d'un usage pratique. Il va sans dire que les montres-bracelets à cristal de quartz ont comme base de temps des résonateurs à cristal de quartz qui utilisent un mode de vibration à la flexion et qui sont du type à barre à extrémités libres ou du type à diapason. Ces résonateurs sont réalisés en coupe X+5° ou en coupe NT, lorsqu'ils sont découpés dans du cristal naturel. On emploie classiquement pour fabriquer les éléments vibrants de ces résonateurs un usinage mécanique à l'aide d'une meule coupante à

diamant, ou un usinage supersonique (ou usinage à ultra-sons), ou encore un autre procédé du même genre. Dans la plupart des cas, l'élément qui forme le vibreur est supporté par des fils support adhérant directement à cet élément, et qui constituent le plus souvent en même temps les fils conducteurs électriques reliant l'élément vibrant.

On a également développé récemment un procédé d'usinage chimique de l'élément vibrant, procédé dans lequel la forme de cet élément et la configuration des électrodes sont établies par la technique d'attaque photochimique. La coupe NT du cristal étant alors utilisée, comme cela est décrit dans l'exposé de brevet japonais N° 48-3575. Une manière particulière de supporter un élément vibrant mince en coupe NT est également développée, des parties du vibreur non en relation avec la vibration de celui-ci étant, selon cette manière de faire, amenées directement en adhésion contre un support.

Chacun des éléments vibrants fabriqués selon ces différentes méthodes d'usinage présente des avantages et des désavantages quant à ses dimensions, ses performances, sa plus ou moins grande facilité de fabrication, de montage, et de mise en place à l'endroit d'utilisation ; il n'est donc pas erroné de dire que le type de vibreur à cristal de quartz le plus favorable pour une montre-bracelet n'a pas encore été trouvé.

Certains vibreurs à cristal de quartz, en particulier ceux du type à coupe X+5°, ont l'avantage de pouvoir être facilement connectés à un circuit oscillateur du fait de leur faible impédance dynamique et de pouvoir fournir, lorsqu'ils sont utilisés dans une montre-bracelet, une base de temps de haute précision du fait que le point d'inflexion de leur caractéristique «température/fréquence de résonance», c'est-à-dire le point de la courbe représentant cette caractéristique où la fréquence ne varie pas, ou varie le moins, lorsque des petites variations de température se produisent, se situe fort près de la température ambiante normale. Dans ce type de vibreur, on doit cependant utiliser la méthode de fixation faisant appel à des fils métalliques conducteurs. De plus, ce type de vibreur présente le désavantage de ne pas pouvoir être fabriqué avec une épaisseur aussi faible ou plus faible qu'un demi-millimètre, ce qui est gênant pour sa fabrication. En effet, il ne peut être fabriqué que par une méthode onéreuse, la méthode avantageuse de l'attaque photo-chimique étant notamment exclue pour ce type de vibreur. Les possibilités de miniaturisation des dimensions sont donc ainsi relativement limitées. En outre, comme le vibreur est supporté par des fils métalliques support qui doivent être soudés sur des parties étroites des électrodes, les opérations de fabrication sont fort compliquées.

Certains autres éléments vibrants à cristal de quartz, notamment ceux du type à coupe NT, ont l'avantage de pouvoir être fabriqués par le procédé avantageux de l'attaque photochimique, procédé qui permet une fabrication en grandes séries. La méthode de fixation qui fait appel à des fils métalliques supports ne peut pas être utilisée, mais la méthode comportant l'adhésion directe à un support est par contre praticable. On peut ainsi fixer l'élément vibrant en faisant adhérer directement une surface de cet élément, par une partie sans relation avec la vibration, en un endroit où se trouve une électrode arrière qui est amenée à adhérer au support en faisant appel à un alliage à basse température de fusion ou à un agent adhésif conducteur. Ces autres éléments vibrants ont donc l'avantage de pouvoir être de dimensions réduites et de présenter de meilleures possibilités de fabrication et de montage, comparativement aux éléments du premier type considérés précédemment. Ces autres éléments vibrants ont par contre le désavantage de ne pas présenter un très bon rendement, une éventuelle amélioration de ce rendement ne pouvant par ailleurs se faire qu'au détriment des qualités de stabilité de fréquence en fonction de la température, c'est-à-dire moyennant un déplacement défavorable du point d'inflexion de la courbe caractéristique «température/fréquence de résonance», au sens précédemment défini pour le premier type de vibreurs considérés (coupe X+5°).

Le but de la présente invention est de fournir un résonateur à cristal de quartz amélioré, réunissant les avantages des deux types précités d'éléments vibrants antérieurement connus en évitant leurs désavantages, ce but étant en particulier de fournir un tel résonateur à cristal de quartz pratiquement utilisable qui ait un haut rendement et des dimensions extrêmement petites, spécialement une très faible épaisseur, et dont le montage et le raccordement soient faciles, les possibilités d'atteindre ce but étant recherchées dans l'utilisation d'une nouvelle méthode pour appliquer le champ électrique.

Conformément à l'invention, le résonateur comprenant un élément vibrant fait d'une plaque de cristal en quartz, caractérisé en ce qu'au moins une paire d'électrodes est formée sur chacune des faces de l'élément vibrant qui sont parallèles au plan de vibration, de manière telle que l'élément vibrant à cristal de quartz soit apte à entrer en vibration de flexion en réponse à l'application d'une tension entre les électrodes formant une même dite paire disposées sur une face pour une dite paire et sur l'autre face pour l'autre dite paire, une électrode de chaque dite paire étant médiane, disposée sur un axe central longitudinal d'une partie allongée de l'élément vibrant, tandis que l'autre est marginale et est dédoublée pour suivre les deux bords de cette partie allongée.

Le dessin annexé illustre, comparativement à des vibrateurs à cristal de quartz connus, des formes d'exécution de l'objet de l'invention; dans ce dessin:

la fig. 1 représente une forme d'exécution d'un vibrateur à diapason à cristal de quartz connu, du type à coupe X + 5°, fabriqué par un procédé mécanique classique et tenu en place à l'aide de fils de manière classique;

la fig. 2 représente schématiquement la configuration des électrodes du vibrateur de la fig. 1 et illustre le mode de fonctionnement de ce vibrateur;

la fig. 3 représente une autre forme d'exécution d'un vibrateur à diapason à cristal de quartz connu, du type à coupe NT, fabriqué par le processus d'attaque photochimique connu pour un vibrateur à quartz en coupe NT, l'élément vibrant étant supporté par adhésion directe;

la fig. 4 représente schématiquement la configuration des électrodes du vibrateur de la fig. 3 et illustre le mode de fonctionnement de ce vibrateur;

les fig. 5a et 5b représentent en perspective, vu respectivement depuis l'avant et depuis l'arrière, un élément vibrant à diapason à cristal de quartz qui présente une configuration particulière des électrodes constituant une forme d'exécution de l'objet de l'invention;

la fig. 6 représente schématiquement la configuration des électrodes de l'élément vibrant selon la fig. 5, raccordées à deux fils de connexion, et illustre le mode de fonctionnement de cet élément vibrant;

la fig. 7 est une vue explicative de la manière dont est supporté l'élément vibrant de la fig. 5;

la fig. 8 représente schématiquement la configuration des électrodes dans le cas où leur ensemble est raccordé à trois connexions;

les fig. 9, 9a et 9b illustrent la fabrication de l'élément vibrant selon l'invention pour la technique d'attaque photochimique;

les fig. 10a et 10b représentent en perspective, vu respectivement depuis une face et depuis l'autre, un élément vibrant à diapason ayant une autre configuration d'électrode constituant une forme d'exécution de l'objet de l'invention, et

la fig. 11 représente schématiquement la configuration des électrodes de l'élément vibrant selon la fig. 10 et montre la manière dont ces électrodes sont raccordées.

On considérera d'abord, en liaison avec les fig. 1 à 4, un vibrateur à diapason à cristal de quartz travaillant à la flexion et ayant une coupe X + 5°, vibrateur qui peut être fabriqué mécaniquement et dont le mode de fixation utilise des fils métalliques

conducteurs, et ensuite un vibrateur à diapason à cristal de quartz travaillant à la flexion et ayant une coupe NT, ce vibrateur-là pouvant être fabriqué par attaque chimique et pouvant être supporté en faisant appel à une adhésion directe.

La fig. 1 représente une forme d'exécution d'un vibrateur à cristal de quartz en forme de diapason, travaillant à la flexion, d'un type connu pouvant être fabriqué mécaniquement et qui est tenu (ou supporté) par des fils conducteurs. La fig. 2 représente la configuration des électrodes de ce vibrateur, l'angle  $\alpha$  représenté à la fig. 1 étant admis comme égal à zéro sur la fig. 2 pour simplifier son illustration. Sur ces figures, on voit un vibrateur 1 du type à diapason travaillant à la flexion et ayant une coupe X + 5°, et des électrodes 2 et 3. Un fil support respectivement 4 et 5 est attaché à chacune des électrodes au moyen d'un sondage ou d'un moyen analogue pour supporter le vibrateur. En même temps, ces fils supports 4 et 5 connectent électriquement les électrodes 2 et 3 avec les circuits extérieurs. Les axes X, Y et Z sont respectivement les axes électrique, mécanique et optique du cristal de quartz. Le vibrateur à cristal de quartz 1 est formé à partir d'une plaque en coupe Z d'un angle  $\alpha$  autour de l'axe X, cet angle  $\alpha$  étant situé dans le domaine allant de 0° à 10° et étant en général de 5°. En admettant que les électrodes 2 et 3 du vibrateur reçoivent respectivement des tensions positive et négative, des champs électriques correspondant à ce que montrent les flèches incurvées de la fig. 2 se trouvent établis dans le cristal de quartz. Les composantes transversales de ces champs, c'est-à-dire les composantes de ces champs dans la direction de l'axe électrique X, provoquent une contrainte dans le cristal de quartz. Dans une même branche du diapason, les composantes selon l'axe X des champs électriques ont différentes directions du côté droit et du côté gauche de la branche. Il en résulte qu'une contrainte d'expansion est provoquée de l'autre côté. Ainsi, une vibration symétrique de flexion est engendrée dans le vibrateur 1 lorsque les électrodes reçoivent un signal de tension alternative. L'avantage de ce type de vibrateur réside en ce qu'il peut être aisément connecté à un circuit oscillateur du fait de sa faible impédance dynamique, et en ce qu'il est apte à fournir une base de temps de haute précision lorsqu'il est utilisé dans une montre-bracelet du fait que le point d'infexion de sa courbe de température, c'est-à-dire le point de sa caractéristique «température/fréquence de résonance» où la fréquence ne varie pas, ou varie le moins, pour de petites variations de température, se situe au voisinage de la température ambiante normale. Par contre, ce type de vibrateur présente le désavantage de nécessiter des électrodes latérales dont la disposition requiert un processus d'usinage divisé lors de sa fabrication. En conséquence, il est impossible de donner au vibrateur une épaisseur égale ou inférieure à un demi-millimètre compte tenu des questions de fabrication. Il en résulte que lorsque la plaque de cristal de quartz plate doit être coupée pour recevoir la forme d'un diapason, aucun processus autre qu'un processus mécanique utilisant une meule coupante à diamant, un usinage à ultra-sons ou un autre usinage du même genre ne peut être utilisé, et il est impossible d'appliquer le procédé par attaque chimique faisant appel à l'acide fluorhydrique ou à un autre agent du même genre. Une réduction de dimension de ce type de vibrateur se heurte donc à certaines limites. Par ailleurs, comme le vibrateur est supporté par des fils conducteurs supports qui doivent être soudés sur des portions étroites des électrodes, le procédé de fabrication se trouve notablement compliqué.

La fig. 3 représente une forme d'exécution d'un vibrateur à cristal de quartz à diapason, dont l'élément vibrant travaille à la flexion et à une coupe NT, cet élément vibrant pouvant être fabriqué par la méthode connue d'attaque photochimique et pouvant être supporté par adhésion directe à un support. La fig. 4 montre la configuration des électrodes de l'élément vibrant de la fig. 3. Sur la fig. 4, l'épaisseur du diapason est représentée à une mesure plus grande que sa mesure réelle en comparaison avec la largeur des branches du diapason, et, par ailleurs, l'angle  $\alpha$

indiqué à la fig. 3 est admis sur la fig. 4 comme étant égal à zéro afin de simplifier l'illustration. Sur les deux figures, les axes X, Y et Z sont respectivement les axes électrique, mécanique et optique. Leur vibreur est formé dans une plaque obtenue quant à son plan de coupe, par rotation d'une plaque en coupe X, tout d'abord d'un angle  $\alpha$  autour de l'axe X et ensuite d'un angle  $\beta$  autour d'un axe Y', lequel est un axe imaginaire établi par rotation de l'axe Y autour de l'axe X d'une quantité égale à l'angle  $\alpha$ . Ce dernier est choisi dans le domaine allant de  $0^\circ$  à  $10^\circ$ , l'angle  $\beta$  étant choisi dans le domaine allant de  $50^\circ$  à  $70^\circ$  ou de  $-50^\circ$  à  $-70^\circ$ . Sur les fig. 3 et 4, on voit l'élément vibreur 6 du type à diapason travaillant à la flexion et qui est établi en coupe NT, comme précédemment indiqué. On voit également, sur chaque branche du diapason, une électrode intérieure de face avant 7, une électrode extérieure de face avant 8 et une unique électrode de face arrière 9 (visible seulement à la fig. 4 et non à la fig. 3). Comme cela est clairement visible au dessin, ce type d'élément vibreur ne comporte pas d'électrode latérale, de sorte qu'il peut être formé d'une très fine plaque de cristal de quartz. En conséquence, il présente l'avantage selon lequel sa forme de diapason, de même que la forme des électrodes, peuvent être formées par la méthode de fabrication chimique faisant appel à la technique d'attaque photochimique, chose qui permet de réaliser en grandes séries un élément vibreur de petites dimensions et surtout un élément vibreur ultramince.

L'élément vibreur très petit et très mince obtenu par la méthode photochimique ne peut pas être, comme celui de la fig. 1, supporté au moyen de fils conducteurs supports; par contre, on peut lui appliquer la méthode de fixation par adhérence directe. C'est ainsi qu'une partie de la surface arrière de l'élément vibreur 6, partie sans relation avec la vibration de l'élément vibreur et présentant une partie de l'unique électrode arrière, est amenée en adhésion directe avec un support conducteur 10, à l'aide d'un alliage ayant une température de fusion très basse ou à l'aide d'un agent adhésif conducteur. Ainsi, les dimensions totales de l'élément vibreur peuvent être réduites et ses conditions de fabrication et de montage sont améliorées comparativement au mode de montage utilisant les fils conducteurs supports. Sur la fig. 3, les conducteurs 13 et 14 sont des conducteurs extérieurs, des fils conducteurs fins 11 et 12 étant prévus pour connecter respectivement l'électrode 7 au fil extérieur 13 et l'électrode 8 au fil extérieur 14, ces connexions étant établies par la technique de jonction de fils conducteurs (wire-bonding technique). L'unique électrode arrière 9 est connectée électriquement à l'extérieur par l'intermédiaire du support conducteur 10. Le vibreur ainsi constitué est donc du type à trois connexions.

Comme on l'a mentionné, ce vibreur à cristal de quartz présente l'avantage de ne comprendre qu'un élément vibreur de très petites dimensions et de pouvoir être produit et usiné en grandes séries et d'une manière aisée, étant donné que l'élément vibreur est fabriqué par traitement photochimique d'une mince plaque de cristal de quartz en coupe NT, et est supporté par la méthode de l'adhésion directe. Par contre, ce vibreur présente certains désavantages du point de vue rendement, désavantages qui peuvent s'expliquer de la manière suivante: Si l'on admet que l'électrode de commande 8 et l'électrode commune 9 reçoivent respectivement une tension positive et une tension négative, on voit que des champs électriques, représentés en 15 sur la fig. 4, s'établissent à l'intérieur du cristal de quartz. La composante 16 dans la direction de l'axe électrique X provoque une contrainte dans le cristal de quartz et engendre une flexion symétrique des branches du diapason qui, comme celui des fig. 1 et 2, se met à vibrer si l'on applique aux électrodes un signal de tension alternative. Toutefois, le champ effectif 16 est extrêmement petit comparativement au champ 15 correspondant à la tension appliquée entre les électrodes, la composante qui est efficace pour provoquer la flexion étant égale seulement à la valeur du champ provoqué par

l'application de la tension multipliée par le cosinus de l'angle  $\beta$ . L'impédance dynamique du vibreur se trouve donc élevée.

Cette impédance dynamique croît de manière inversement proportionnelle à  $\cos^2\beta$ , comme le montrent aussi bien le calcul que l'expérience. L'inverse du carré de ce cosinus est égal approximativement à 8,5 lorsque  $\beta$  est un angle de  $70^\circ$  par rapport à une plaque de coupe X, il devient égal à 15 lorsque cet angle est de  $75^\circ$ , et il prend une valeur infinie lorsque cet angle est de  $90^\circ$ . Etant donné que le point d'infexion de la courbe caractéristique 10 «température/fréquence de résonance» se déplace vers les températures plus élevées pour une augmentation de l'angle  $\beta$  et vers les températures plus basses pour une diminution de l'angle  $\beta$ , la position de ce point d'infexion relativement à la température est cantonnée à une valeur relativement basse puisque l'angle  $\beta$  est généralement établi à  $70^\circ$  ou moins, afin que l'impédance dynamique ne devienne par trop élevée, conformément à ce qui a été précédemment mentionné. Ainsi, bien qu'il soit avantageux du point de vue de la réduction des dimensions et de la production en grandes séries, le vibreur à coupe NT convient mal pour des 20 pièces d'horlogerie, étant donné qu'il présente une impédance dynamique trop haute tandis que le point d'infexion de sa caractéristique «température/fréquence de résonance» est favorablement bas.

On retient des considérations détaillées qui viennent d'être 25 faites que le vibreur connu à coupe X + 5° a l'avantage d'avoir une impédance dynamique basse et un point de relative stabilité de fréquence en fonction de la température suffisamment haut, mais qu'il présente le désavantage d'être difficilement réalisable en dimensions réduites, spécialement sous forme très mince, ses 30 possibilités de fabrication et de montage n'étant pas bonnes du fait qu'il est nécessaire d'utiliser un procédé de fabrication mécanique puisque le procédé par attaque chimique ne peut pas être appliqué, et du fait que l'on utilise pour le maintien en place la méthode faisant appel à des fils conducteurs. Par ailleurs, on 35 retient que le vibreur connu à coupe NT présente l'avantage de pouvoir être aisément rendu très mince, de pouvoir être fabriqué par le processus d'attaque photochimique et de pouvoir être monté par la méthode d'adhésion directe sur un support, mais qu'il présente le désavantage d'avoir une impédance dynamique 40 élevée et un point de relative stabilité de fréquence en fonction de la température situé à une température trop basse.

Classiquement, les coupes X + 5° et NT étaient considérées comme correspondant à deux méthodes de coupe différentes, étant donné que les façons dont on leur appliquait les champs 45 électriques étaient toujours différentes. Toutefois, en ce qui concerne l'angle de coupe, on peut les considérer comme correspondant à des méthodes de coupe presque équivalentes. A vrai dire, leurs différences du point de vue angle se résument en ce que l'angle  $\beta$  est de  $90^\circ$  pour la coupe X + 5 et  $50^\circ$  à  $70^\circ$  (ou  $-50^\circ$  50 à  $-70^\circ$ ) pour la coupe NT. Ces deux types de coupe correspondent à une manière d'effectuer la coupe en ce qui concerne l'angle de coupe, bien qu'ils soient considérés de manière séparée du fait de la différence des agencements de fonctionnement électrique qu'ils emploient. La conception qui correspond à l'invention fait appel à une combinaison de ces deux types de vibreur, et elle utilise les avantages qui leur sont propres pour établir une nouvelle manière d'appliquer le champ électrique.

Les fig. 5a et 5b représentent en perspective l'élément vibrant d'un résonateur selon l'invention, vu respectivement depuis 60 l'avant et depuis l'arrière. La fig. 6 montre la configuration à deux connexion des électrodes de l'élément vibrant selon la fig. 5. La fig. 7 représente une forme d'exécution du résonateur dans laquelle l'élément vibrant de la fig. 5 est supporté par adhésion sur un support. Sur la fig. 6, l'angle  $\alpha$  visible à la fig. 5a a été admis 65 comme étant égal à zéro afin de simplifier l'illustration. Sur les fig. 5a, 5b, 6 et 7, on voit en 17 un élément vibrant à cristal de quartz du type à diapason conforme à la conception particulière ci-décrise, en 18, 19, 20 et 21, des électrodes disposées sur les deux

faces de l'élément vibrant, et en 22 et 23, des portions d'électrode servant à la fixation du diapason et qui sont connectées aux électrodes 20 et 21, et en 24 et 25, des fils de connexions reliant respectivement les électrodes 18 aux électrodes 20 et les électrodes 19 aux électrodes 21, ce par quoi on obtient un vibreur du type à deux connexions. On voit, d'autre part, des portions 26 de film métallique fin formé à la manière d'électrode et servant à l'ajustage de fréquence, ajustage pour lequel la fréquence de résonance de l'élément vibrant est modifiée par irradiation du film fin à l'aide d'un faisceau laser qui provoque l'enlèvement par évaporation de parties de métal dans ces régions. Les portions 26 sont, dans la forme d'exécution représentée, séparées des électrodes, mais il n'y aurait aucun inconvenient à les laisser en liaison électrique avec les électrodes 18 ou 19. Les axes X, Y et Z sont respectivement les axes électrique, mécanique et optique du cristal de quartz. L'élément vibrant à cristal de quartz est formé dans une plaque de quartz obtenue par rotation d'une plaque en coupe X d'abord d'un angle  $\alpha$  autour de l'axe X et ensuite d'un angle  $\gamma$  autour d'un axe Y' qui est un axe Y imaginaire engendré par la rotation égale à l'angle  $\alpha$ . Cet angle  $\alpha$  se situe dans le domaine de  $0^\circ$  à  $10^\circ$ , et l'angle  $\gamma$  se situe dans le domaine de  $70^\circ$  à  $90^\circ$ , ou de  $-70^\circ$  à  $-90^\circ$ , domaine dans lequel on obtient une courbe caractéristique température/fréquence de résonance avantageuse, et c'est là une chose intéressante puisque l'angle  $\gamma$  pourra avoir à la limite une valeur qui peut se présenter aussi avec une coupe NT. En admettant que des tensions respectivement positive et négative soient appliquées aux fils de connexion 24 et 25, chaque électrode recevra une de ces tensions, en correspondance avec le câblage représenté au dessin, et des champs électriques se trouveront appliqués à l'intérieur du cristal de quartz de la manière représentée par les flèches incurvées sur la fig. 6. Comme dans ce cas les contraintes engendrées seront de directions inverses dans les parties respectivement intérieures et extérieures des branches du diapason, une vibration symétrique de flexion se trouvera excitée dans l'élément vibrant en forme de diapason, pour autant que des tensions alternatives soient appliquées aux fils 24 et 25. Comme, dans le cas de l'élément vibrant selon la fig. 6 les champs électriques auront dans la direction de l'axe X des composantes plus grandes que dans le cas d'électrodes classique illustré à la fig. 4, l'élément vibrant selon la fig. 6 vibrera efficacement et aura une impédance dynamique notablement diminuée comparativement à ce qu'il en est avec une coupe NT classique. Par ailleurs, comme dans le cas du vibreur selon les fig. 5 à 7, qui correspond à la conception particulière en question, on n'a pas d'électrode latérale à disposer sur les tranches de l'élément vibrant, la plaque de cristal de quartz dont est fait cet élément pourra être très mince, d'une épaisseur égale ou inférieure à 0,5 mm. Ainsi le procédé d'usinage chimique par attaque photochimique peut être utilisé lorsque la mince plaque de cristal de quartz doit être coupée pour prendre la forme de diapason et lorsque les électrodes sont formées. En conséquence, les dimensions de l'élément vibrant (et du résonateur complet y compris le support) peuvent être encore réduites, l'épaisseur étant en particulier fortement diminuée, et le vibreur peut être produit aisément en grandes séries.

Les fig. 9, 9a et 9b illustrent un mode de mise en œuvre du procédé de fabrication de l'élément vibrant par la méthode d'attaque photochimique. Sur la fig. 9, on voit une mince plaque de cristal de quartz 33 dont l'épaisseur est égale ou inférieure à 0,5 mm et dont la surface est rectifiée comme un miroir, une attaque photochimique étant appliquée à cette plaque pour former des diapasons. En l'occurrence, une pluralité de vibreurs à diapason à cristal de quartz sont produits simultanément. Les fig. 9a et 9b illustrent la manière d'appliquer le processus chimique utilisant l'attaque photochimique pour établir la forme des électrodes et du diapason, ces figures correspondant à des coupes selon la ligne AA' de la fig. 9. On voit sur la fig. 9a qu'une substance photographique résistante 35 est laissée aux endroits corres-

pondant à la forme des électrodes pour l'attaque photochimique de films métalliques 34 déposés ou appliqués par revêtement sur les surfaces avant et arrière de la mince plaque de cristal de quartz. Les parties 36 de film non couvertes de la substance photorésistante sont enlevées à l'aide d'un acide tel que l'acide chlorhydrique.

Les électrodes sont ainsi formées d'abord sur la mince plaque de cristal de quartz. Ensuite, comme le montre la fig. 9b, une substance photographique résistante 37 est appliquée de manière à ne subsister que sur les portions de surface correspondant à la forme des diapasons, le contour des zones où subsiste cette substance 37 étant, comme dans le cas de la substance 35 dans la phase de fabrication illustrée par la fig. 9a, délimité par une action photochimique. Les parties du cristal de quartz 38 qui ne sont pas couvertes avec la substance photographique résistante 37 sont enlevées par voie chimique, à l'aide par exemple d'acide fluorhydrique ou d'un agent équivalent, afin de former les parties en forme de diapason.

Les éléments vibrants de dimensions extrêmement petites produits par ce procédé d'attaque chimique peuvent être supportés selon la méthode de fixation très favorablement exploitable qui fait appel à l'adhésion directe, méthode qui est illustrée à la fig. 7, de même qu'à la fig. 3.

Toutefois, l'agencement selon la fig. 7 est différent de celui selon la fig. 3 et l'on voit que l'élément vibrant à cristal de quartz en forme de diapason à deux connexions selon la fig. 7, élément que les fig. 5 et 6 montrent isolément, est supporté de manière aisée à l'aide d'un support 27 en forme de bloc à deux surfaces supérieures situées dans un même plan et séparées par une rainure, support qui est fait d'un matériau non conducteur tel qu'une matière céramique ou une matière analogue. Des éléments ou revêtements conducteurs 28 et 29 sont disposés sur les surfaces supérieures du support 27, étant suffisamment isolés l'un de l'autre par la rainure qui sépare ces surfaces supérieures. L'élément vibrant 17 est supporté par une fixation adhérente à ces éléments ou revêtements conducteurs à l'aide d'un alliage de soudure à température de fusion basse, ou à l'aide d'un agent adhésif conducteur, ou encore d'une autre manière analogue, de façon telle que, pour la fixation de l'élément vibrant, la partie d'électrode 22 soit fixée et connectée à l'élément conducteur 28 et la partie d'électrode 23 soit fixée et connectée à l'élément conducteur 29. De plus, l'électrode de face avant 18 est connectée à l'électrode de face arrière 20 par le fil connecteur 24 et l'élément conducteur 28, et similairement l'électrode de face avant 19 est connectée à l'électrode de face arrière 21 par le fil conducteur 25 et l'élément conducteur 29. De cette manière, on obtient une structure de vibreur à deux connexions, des fils 30 et 31 connectant chaque électrode avec l'extérieur. Il ne serait du reste pas nécessaire que les voies de conduction 24 et 25 soient des fils conducteurs; elles pourraient également consister en des points de soudure d'un alliage à basse température de fusion ou en des traces d'agent adhésif conducteur. Il serait également possible de prévoir des électrodes de connexion traversant la tranche de l'élément vibrant à l'endroit marqué sur la fig. 7 par les lignes en traits pointillés 32, et à l'endroit qui lui fait face sur la branche opposée, non visible sur la fig. 7.

Bien que, dans la forme d'exécution qui vient d'être décrite, les électrodes soient connectées pour constituer un vibreur du type à deux connexions, il est également possible de former un vibreur du type à trois connexions en utilisant les électrodes 19 et 21 comme électrodes de points communs, l'électrode 20 comme électrode d'entraînement et l'électrode 18 comme électrode de détection. Les fig. 10a et 10b représentent une autre forme d'exécution d'un élément vibrant pour un résonateur du type particulier en question, ces deux figures représentant cet élément vibrant en perspective, respectivement vu depuis l'avant et vu depuis l'arrière. La fig. 11 montre la configuration des électrodes de l'élément vibrant selon la fig. 10. Sur ces figures, on voit un

élément vibrant à diapason à cristal de quartz 39 ayant la même orientation de coupe que l'élément vibrant de la fig. 5a, des électrodes de face avant 41, 42, 43 et 44, des électrodes de face arrière 45 et 46, et des portions d'électrode 47 et 48 servant à fixer l'élément vibrant similairement aux portions d'électrode 22 et 23 de la fig. 5b, ces portions d'électrode 47 et 48 contribuant donc au maintien en place et à la connexion de l'élément vibrant par la méthode d'adhésion directe représentée à la fig. 7. Sur la fig. 10a, on voit encore deux portions métallisées similaires à des électrodes 49 qui servent à l'ajustage de la fréquence similairement aux portions 26 de la fig. 5a. Avec le vibreur ayant la configuration d'électrodes représentées aux fig. 10 et 11, on peut établir un filtre à une entrée et une sortie en utilisant les électrodes de face avant 41 et 44, interconnectées, et les électrodes de face avant 42 et 43, interconnectées en tant qu'une paire d'électrodes de détection, et les deux électrodes de face arrière 45 et 46 en tant qu'une paire d'électrodes d'entraînement. On peut également constituer un filtre à une entrée et deux sorties en utilisant les électrodes de face arrière 45 et 46 en tant qu'une paire d'électrodes d'entraînement, les deux électrodes de face avant 41 et 42 en tant qu'une première paire d'électrodes de détection et les deux électrodes de face avant 43 et 44 en tant qu'une autre paire d'électrodes de détection.

Il va sans dire que la conception particulière qui vient d'être

esquissée peut être appliquée aussi à un vibreur à cristal de quartz travaillant à la flexion du type «barreau à extrémités libres», ou d'un quelconque autre type, bien que la description qui vient d'être faite ait considéré le cas d'un vibrateur à cristal de quartz travaillant à la flexion du type à diapason.

Comme on l'a mentionné, cette conception particulière réunit les avantages des deux types de vibreurs classiques, en coupe X + 5 et en coupe NT, ceci étant réalisé par l'utilisation d'une nouvelle manière d'appliquer le champ électrique à l'élément vibrant. Le vibreur selon la conception particulière en question se distingue par une impédance dynamique basse et un point d'inflexion de la courbe caractéristique «température/fréquence de résonance» situé au voisinage de la température ambiante normale. En outre, cette conception ne nécessite pas la présence d'électrodes latérales sur les tranches du vibreur, ce qui rend ce dernier apte à être produit par un procédé chimique dans lequel une mince plaque de cristal de quartz dont la surface est rectifiée comme un miroir est traitée par la technique de l'attaque photochimique. D'autre part, l'élément vibrant peut être supporté par adhésion directe. Tout ceci convient particulièrement pour une production en grandes séries et fournit un résonateur de petites dimensions et de forme mince. En ce qui concerne son excitation, le vibreur peut constituer soit un vibreur du type à deux connexions, soit un vibreur du type à trois connexions.

FIG. 1

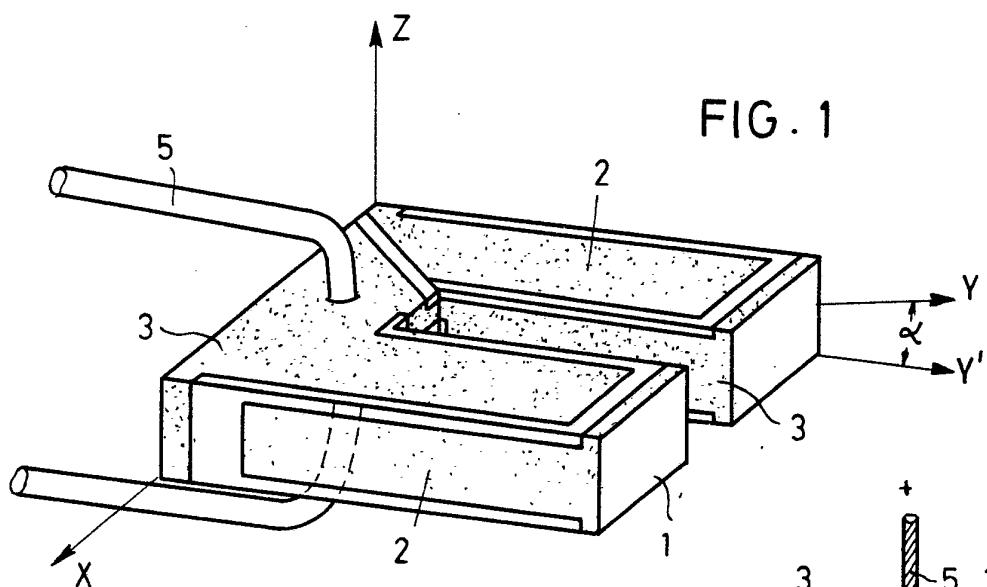


FIG. 2

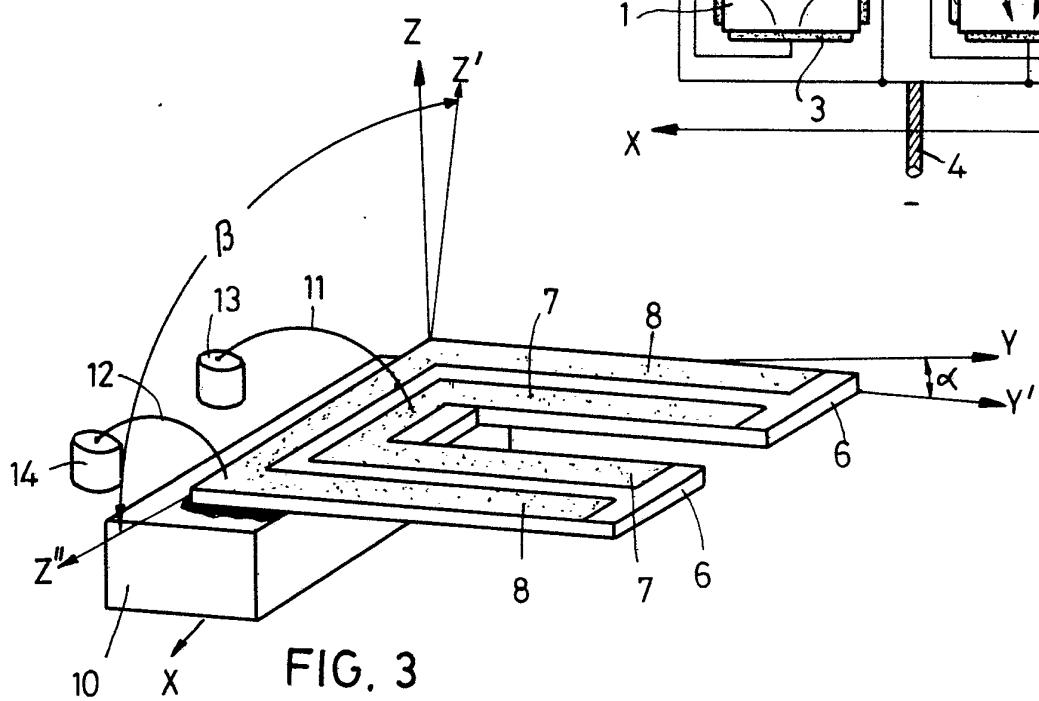
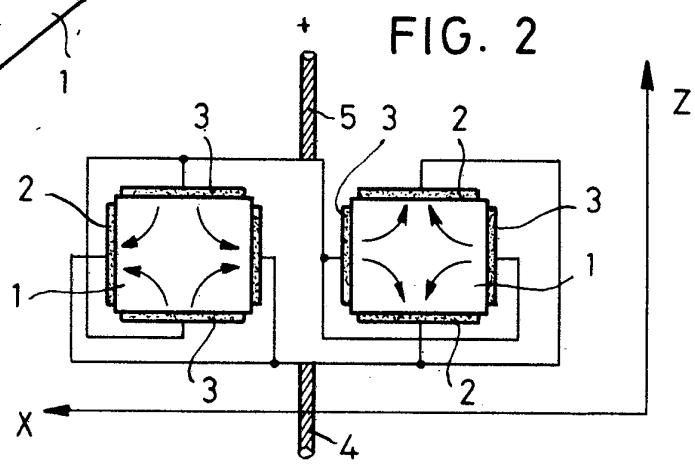


FIG. 3

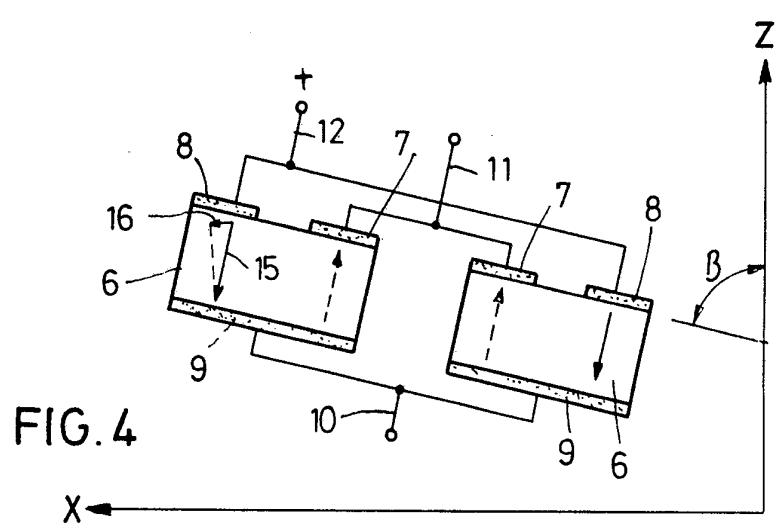
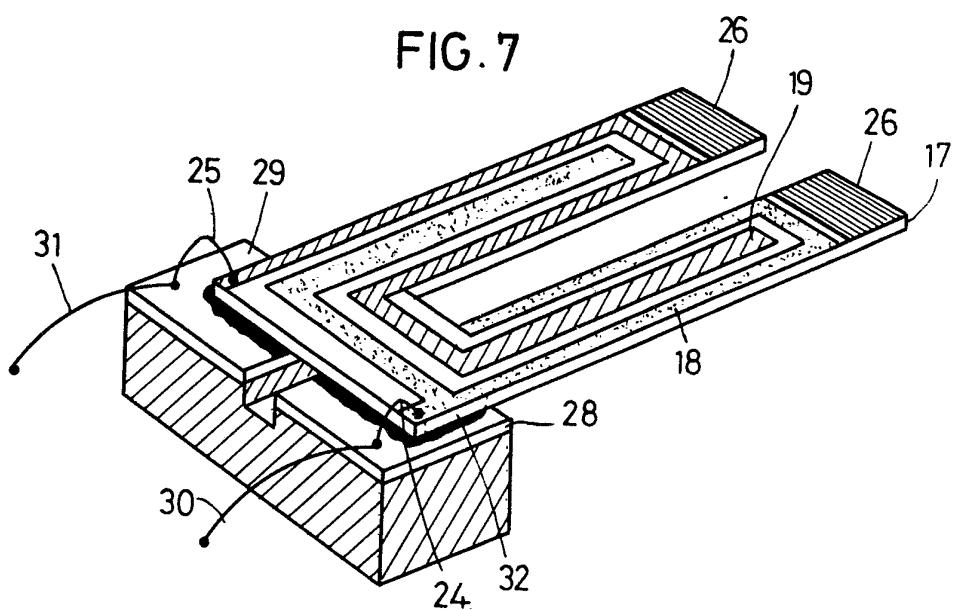
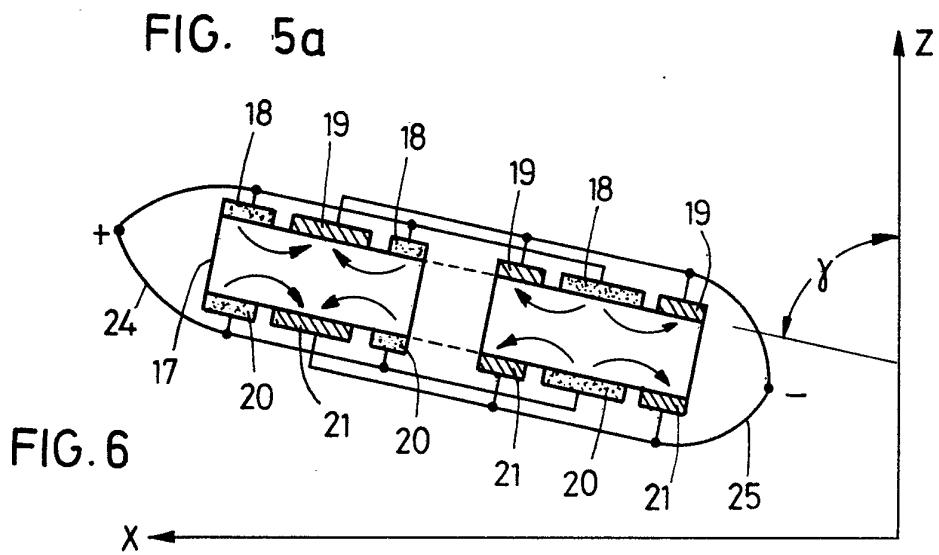
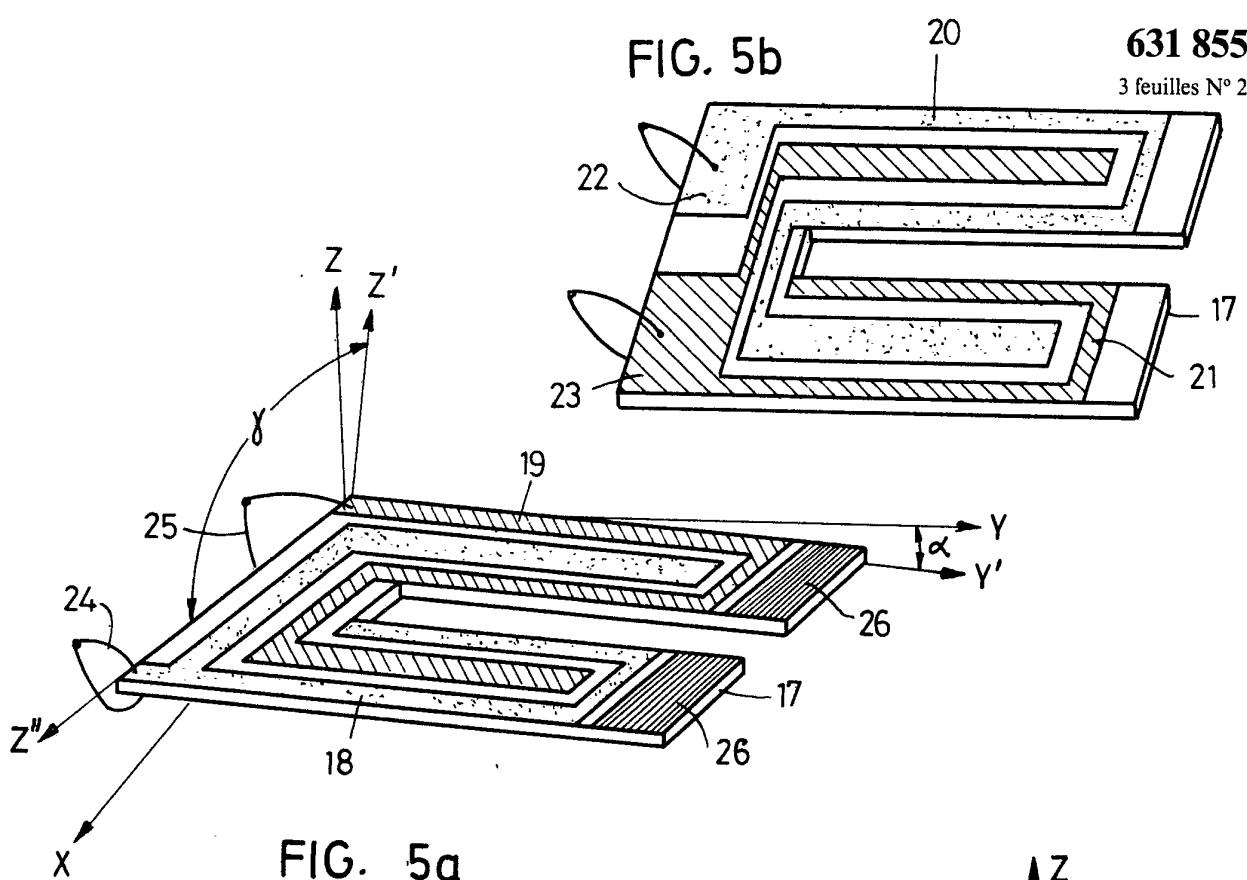
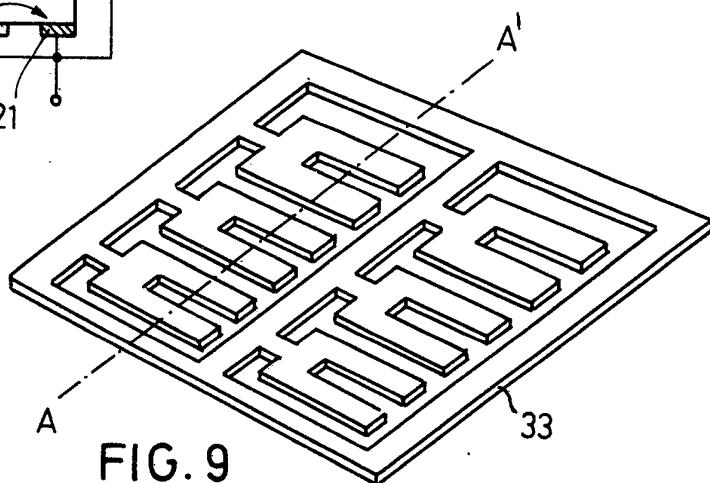
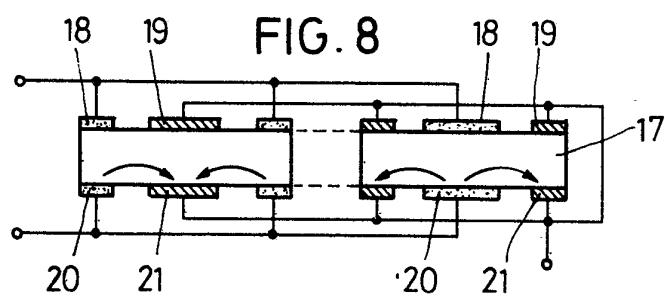
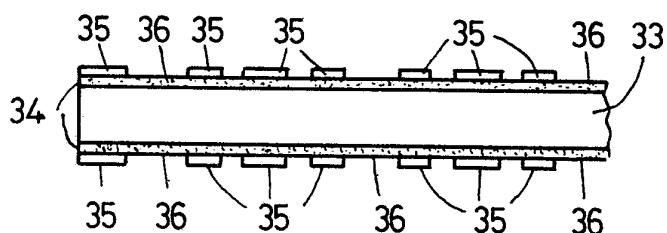
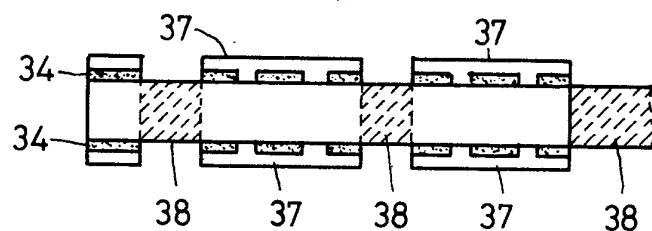
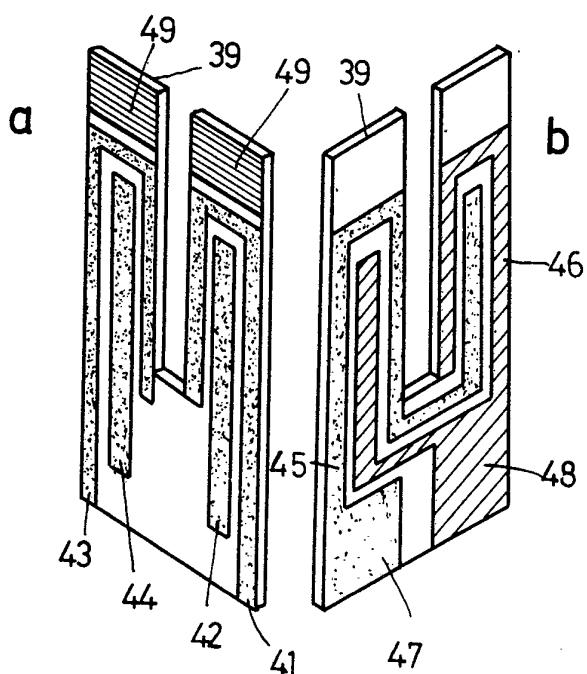


FIG. 4

**631 855**  
3 feuilles N° 2



**FIG. 9a****FIG. 9b****FIG. 10****FIG. 11**