

⑫

**DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

⑰ Numéro de dépôt: 83810250.7

⑸ Int. Cl.<sup>3</sup>: G 01 L 9/08, G 01 B 7/16

⑱ Date de dépôt: 09.06.83

⑲ Priorité: 01.07.82 FR 8211717

⑴ Demandeur: ASULAB S.A., Faubourg du Lac 6, CH-2501 Bienne (CH)

⑳ Date de publication de la demande: 18.01.84  
Bulletin 84/3

⑵ Inventeur: Dinger, Rudolf, Charrières 7, CH-2024 St-Aubin (CH)

㉑ Etats contractants désignés: CH DE GB LI

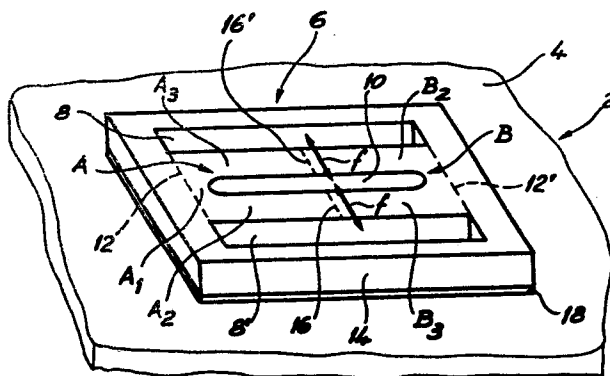
⑶ Mandataire: Barbeaux, Bernard et al, c/o ASUAG - Société Générale de l'Horlogerie Suisse S.A. 6, Faubourg du Lac, CH-2501 Bienne (CH)

㉒ **Elément sensible pour capteur de contraintes et capteur en faisant application.**

㉓ L'invention concerne un élément sensible pour capteur de contraintes, qui est peu sensible à la température.

L'élément sensible comprend un élément support, de préférence constitué par une plaque mince (4), sur lequel est fixé un résonateur piézo-électrique (6) qui a de préférence la forme d'un double diapason. Les déformations de l'élément support (4) sont transmises au résonateur (6) ce qui en modifie la fréquence de résonance.

Application à la réalisation de capteurs de pression.



**EP 0 098 796 A1**

ESA 120 EP

BB/ek/g

ELEMENT SENSIBLE POUR CAPTEUR DE CONTRAINTES ET CAPTEUR EN  
FAISANT APPLICATION

La présente invention a pour objet un élément sensible pour capteur de contraintes et un capteur de pression en faisant application.

Par capteur de contraintes il faut entendre soit un appareil qui  
5 permet de mesurer une force à laquelle il est soumis soit encore un  
appareil qui permet de mesurer une contrainte mécanique ou une  
pression.

Pour la mesure de la pression atmosphérique et des changements  
de pression à l'aide d'un dispositif sous forme portative tel qu'un  
10 altimètre, on peut utiliser plusieurs effets. En général une capsule  
dans laquelle règne le vide et ayant des faces parallèles constituées  
par des membranes très élastiques sert de détecteur ou senseur.  
Dans un altimètre de type usuel la déformation du fond de la cap-  
sule due à la pression extérieure est amplifiée et transformée méca-  
15 niquement en un mouvement rotatif d'une aiguille par un train de  
roues dentées.

D'autre part on trouve actuellement sur le marché des capteurs  
piézo-résistifs constitués d'une membrane en cristal de silicium dans  
laquelle sont formées des résistances par diffusion. Lorsqu'une  
20 différence de pression existe entre les deux faces de la membrane la  
déformation qui en résulte provoque une variation de la résistance.

Habituellement on réalise simultanément quatre résistances de façon à obtenir un circuit de mesure en forme de pont compensé en température, toutes les résistances ayant le même coefficient de température.

5        Tous ces détecteurs sont relativement coûteux car ils nécessitent un ajustage individuel très soigné. En outre la grandeur physique mesurée est transformée en une autre grandeur qui est analogique : angle ou variation de résistance. Récemment on a proposé dans la littérature (IEEE transaction on industrial elec-  
10    tronics and control instrumentation, volume IECI 25, numéro 1 février 1978, pages 29 à 38), de réaliser des capsules de détection de pression selon un montage en résonateur. La membrane sensible constitue un diaphragme vibrant et l'on exploite la fréquence de résonance de la capsule couplée à un oscillateur électronique, cette  
15    fréquence variant avec la pression extérieure appliquée à la capsule. Cependant la construction d'une telle capsule résonnante est très délicate et elle ne se prête pas à une production économique en très grande série.

Par ailleurs il est connu par la demande européenne no 50.307  
20    de réaliser un capteur de force à partir d'un résonateur à quartz. Un tel capteur pourrait en principe mesurer également des pressions. Mais un tel senseur ne résoud par le problème lié à l'effet de température.

Un premier but de l'invention est de fournir un élément sensible  
25    pour capteur de contraintes qui, tout en permettant d'obtenir une information sous forme quasi-digitale, permet d'éliminer les effets thermiques tout en ayant une très bonne sensibilité.

Un deuxième but de l'invention est de fournir un capteur de pression utilisant un tel élément sensible et qui permette de mesurer des pressions avec une grande résolution sans effet thermique parasite sensible.

5 Ces buts sont atteints grâce au fait que l'élément sensible selon l'invention comporte un élément support en un matériau présentant un coefficient de dilatation thermique  $\alpha$ , un résonateur piézo-électrique allongé et des moyens de fixation du résonateur sur la plaque pour transmettre au résonateur les contraintes appliquées  
10 audit élément support, le résonateur ayant une coupe telle que son coefficient de dilatation thermique soit sensiblement égal au coefficient  $\alpha$  de l'élément support.

Lorsqu'on veut mesurer une pression, l'élément support est une plaque qui est soumise à cette pression. La contrainte qui en résulte est transmise au résonateur. Sous l'effet de cette contrainte le  
15 résonateur voit sa fréquence propre modifiée de façon très sensible en fonction de la contrainte à laquelle il est soumis. De plus le choix de la coupe du résonateur permet de réduire très sensiblement l'effet de température sur la fréquence propre ce qui autorise  
20 à s'affranchir d'un ensemble particulier de compensation thermique.

De préférence le résonateur a une structure dite en "double diapason" travaillant en flexion. Cette notion sera explicitée ultérieurement.

Selon un mode de mise en oeuvre encore préféré de l'élément  
25 sensible le résonateur est réalisé en quartz et la plaque qui est métallique présente un coefficient de dilatation thermique compris entre  $7,5$  et  $13,7 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ .

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description qui suit de plusieurs modes de mise en oeuvre de l'invention donnés à titre d'exemple non limitatif. La description se réfère au dessin annexé  
5 dans lequel :

- la figure 1 est une vue en perspective simplifiée d'un premier mode de réalisation de l'élément sensible selon l'invention;
- la figure 2 est une vue de dessus du résonateur de l'élément sensible de la figure 1 montrant les métallisations formant les électrodes du résonateur;
- la figure 3 est une vue en perspective montrant l'angle de coupe  $\theta$  du résonateur des figures 1 et 2;
- la figure 4 est une courbe montrant les variations de la température d'inversion du quartz en fonction de l'angle de coupe  $\theta$  de la figure 3;
- la figure 5 est une vue en coupe verticale d'une variante de réalisation de l'élément sensible de la figure 1;
- la figure 6 est une vue partielle d'un capteur de pression permettant de mesurer une pression absolue;
- la figure 7 est un schéma du circuit électronique de traitement des signaux délivrés par le résonateur de la figure 6 pour afficher une pression;
- la figure 8 est un graphique montrant la variation de fréquence en fonction de la contrainte appliquée à un élément sensible tel que celui de la figure 1;
- la figure 9 est un graphique montrant l'influence de la température sur les variations de fréquence pour un élément

sensible non conforme à l'invention c'est-à-dire de type classique; et

- la figure 10 montre en vue de dessus, un deuxième mode de réalisation du résonateur de l'élément sensible selon l'invention.

La figure 1 montre un premier mode de réalisation d'un élément sensible 2 selon l'invention. L'élément sensible se compose essentiellement d'un élément support formé ici par une plaque mince 4 sur laquelle est fixé un résonateur piézo-électrique 6 du type "double diapason". Plus précisément le résonateur a un contour extérieur sensiblement rectangulaire et il comporte deux fentes longitudinales 8 et 8' et une fente centrale 10 de longueur plus réduite. Les fentes 8, 8' ainsi que les lignes en pointillées 12 et 12' isolent une région centrale d'un cadre périphérique rectangulaire 14. La région centrale constitue le résonateur proprement dit qui est l'équivalent de deux diapasons A et B dont les extrémités libres des branches seraient réunies deux à deux. On voit aisément que dans la région centrale la fente 10, les pointillés 12 et 12' et les pointillés 16 et 16' définissent effectivement le contour de deux diapasons. Par exemple, pour le diapason A, on trouve une base A1 qui est solidaire du cadre 14 et des bras A2 et A3. De même pour le diapason B on trouve une base B1 et des bras B2 et B3. Les extrémités libres des bras A2 et B3 sont réunies ainsi que les extrémités libres des bras A3 et B2. Une couche de colle ou de soudure 18 permet de fixer le résonateur 6 sur la plaque 4 par l'intermédiaire du cadre 14. Ainsi les contraintes ou déformations de la plaque 4 sont transmises intégralement au résonateur 6. Le

résonateur constitué par le double diapason est excité pour vibrer en mode principal de flexion comme cela est symbolisé par les flèches  $f$ .

A titre d'exemple le résonateur 6 a une épaisseur de 125 microns, une longueur totale de 5 mm et une largeur totale de 1,3 mm. En outre la largeur totale des diapasons, c'est-à-dire la distance entre les fentes 8 et 8', est de l'ordre de 430 microns, la largeur de chaque bras est de l'ordre de 155 microns et la longueur totale  $L$  des bras du double diapason, c'est-à-dire la longueur de la fente centrale 10, est de 3,4 mm.

La figure 2 montre un mode possible de réalisation des électrodes pour exciter le double diapason en flexion. Pour simplifier la description de ces électrodes on appellera  $C_1$  le barreau formant les bras B2 et A3 des diapasons et  $C_2$  le barreau constitué par les bras A2 et B3 des diapasons. On appellera  $xx'$  la ligne qui passe par les traits en pointillés 16 et 16' et qui définit ainsi la séparation entre les deux diapasons, et 6a la face supérieure du résonateur, la face inférieure de ce même résonateur n'étant pas visible sur la figure 2. On appellera flancs les côtés des barreaux  $C_1$  et  $C_2$  qui sont perpendiculaires au plan de la figure 2 et donc à la face supérieure 6a du résonateur. En outre on appellera  $d_1$  le flanc externe du barreau  $C_1$  tandis que son flanc interne sera référencé  $d_2$ . De même, pour le barreau  $C_2$  le flanc externe est référencé  $d_3$  et son flanc interne  $d_4$ . Chaque barreau porte sur sa face supérieure une électrode centrale symétrique par rapport à la ligne  $xx'$  et des électrodes d'extrémité qui sont disposées à cheval sur une extrémité du barreau et sur la base A1 ou B1 des diapasons. On appellera 20a l'électrode centrale du barreau  $C_1$  disposée sur la face

supérieure de ce barreau et 20'a l'électrode correspondante pour le barreau C2.

On appellera 22a et 24a les électrodes disposées aux extrémités de la face supérieure du barreau  $C_1$ , et 22'a et 24'a les électrodes  
5 disposées aux extrémités du barreau  $C_2$ . Il faut comprendre que sur la face inférieure des barreaux C1 et C2 on trouve des électrodes identiques à celles qui sont disposées sur la face supérieure et faisant face à celles-ci. Chaque barreau comporte également des électrodes disposées sur ses flancs. On trouve une électrode sur  
10 chaque flanc au droit de chaque paire d'électrodes disposées sur les faces supérieures et inférieures. Sur les flancs d1 et d2 on trouve des électrodes latérales centrales 20b et des électrodes d'extrémité 22b et 24b. Pour simplifier la figure ces électrodes latérales sont représentées simplement par un trait plus fort. En ce qui concerne  
15 le barreau C2 on trouve également sur ses flancs d3 et d4 des électrodes centrales 20'b et des électrodes d'extrémité 22'b et 24'b. Ainsi on trouve dans la région centrale de chaque barreau deux paires d'électrodes se faisant respectivement face et à chaque extrémité du barreau également deux paires d'électrodes se faisant  
20 respectivement face. A titre d'exemple la longueur de barreau l intéressée par une électrode d'extrémité est légèrement inférieure au quart de la longueur L totale d'un barreau. Plus précisément le rapport entre ces deux longueurs vaut de préférence 0,23.

Pour exciter le résonateur il faut appliquer une différence de  
25 potentiel entre les électrodes. Sur la figure 2 on a représenté par le signe + les électrodes reliées à une première borne de la source de tension et par le signe - les électrodes reliées à la deuxième borne de la source de tension. Les électrodes appartenant à une



même paire se faisant face sont portées au même potentiel. En particulier le potentiel des électrodes non représentées sur la face inférieure des barreaux est identique à celui des électrodes représentées sur la face supérieure et leur faisant face. En outre si  
5 deux électrodes d'une même paire sont portées à un premier potentiel les deux électrodes de la deuxième paire disposées au même niveau du barreau sont portées au potentiel opposé. Enfin si les électrodes supérieure et inférieure centrales sont portées à un premier potentiel les électrodes d'extrémité supérieure et inférieure  
10 sont portées au potentiel opposé.

On n'a pas représenté sur la figure 2 les interconnexions qui permettent de porter effectivement les différentes électrodes au potentiel requis. Il faut observer que, compte-tenu du nombre élevé d'électrodes, il est difficile de réunir entre elles les différentes  
15 électrodes à un même potentiel à l'aide de métalisations directement déposées sur le matériau piézo-électrique. C'est pourquoi il peut être intéressant de n'exciter que certaines de ces électrodes. Par exemple on peut exciter seulement les électrodes centrales ou seulement les électrodes d'extrémité. Il faut observer que dans ce cas la  
20 capacité dynamique du résonateur complet est divisée par deux. On peut encore exciter les électrodes centrales et une partie des électrodes d'extrémité.

Selon une caractéristique particulièrement importante de l'invention le résonateur 6 est taillé selon une coupe telle que le coefficient de dilatation thermique du matériau piézo-électrique qui le  
25 constitue, selon la direction d'application de la contrainte, c'est-à-dire selon la direction des barreaux C1 et C2, soit identique ou très peu différent du coefficient de dilatation thermique du matériau

constituant la plaque mince 4. Sur la figure 3 on a représenté de façon simplifiée le résonateur 6 repéré par rapport aux axes X, Y et Z du quartz, le résonateur étant bien sûr taillé dans ce même matériau. On appelle X', Y' et Z' les axes du résonateur après son  
 5 taillage. Selon le mode de coupe de la figure 3 les axes X', Y' et Z' se déduisent des axes X, Y et Z par une rotation d'un angle  $\theta$  autour de l'axe X. Le coefficient de dilatation thermique  $\alpha'$  du quartz est différent selon que l'on considère la dilatation selon l'axe X ou Y du quartz ou selon la direction Z du quartz. Dans le pre-  
 10 mier cas le coefficient vaut sensiblement 13,7 ppm/°C et dans le deuxième cas il vaut sensiblement 7,5 ppm/°C. Le coefficient de dilatation thermique  $\alpha'$  du résonateur selon la direction d'application des contraintes est donc donné par la relation suivante en fonction de l'angle  $\theta$  de coupe :

$$15 \quad \alpha' = 7,5 + (13,7 - 7,5) \cos^2 \theta \text{ [ppm/°C]}$$

Il apparaît ainsi qu'en choisissant l'angle de coupe de façon convenable on peut donner au coefficient  $\alpha'$  toutes les valeurs comprises entre 7,5 et 13,7 ppm/°C. Il existe un grand nombre de métaux dont les coefficients de dilatation thermique sont compris  
 20 entre ces deux valeurs. On peut citer en particulier :

Acier "normal" AISI 1020	$\alpha = 12,1$ ppm/°C
Fonte grise ASTM A48-48	$\alpha = 12,1$ ppm/°C
Hastelloy C	$\alpha = 11,3$ ppm/°C
Inconel	$\alpha = 13,3$ ppm/°C
25 Nickel	$\alpha = 11,9$ ppm/°C

Il faut cependant observer qu'il est intéressant d'avoir un angle de coupe  $\theta$  relativement faible pour deux raisons principales. Si l'angle  $\theta$  est faible, d'une part, on reste très proche d'une coupe

Z, ce qui est favorable pour l'attaque chimique permettant de tailler le quartz, d'autre part, cela est favorable du point de vue thermique. Il est bien connu que les résonateurs à quartz ont une caractéristique de variation relative de fréquence en fonction de la température qui, dans le cas d'un résonateur en flexion ou en allongement de coupe du type Z, a sensiblement la forme d'une parabole. Le sommet de cette parabole, habituellement appelé point d'inversion, correspond à une température dite température d'inversion ( $T_i$ ). La figure 4 montre les variations de cette température d'inversion en fonction de l'angle  $\theta$ . On voit que, pour des angles  $\theta$  compris entre 0 et 14 degrés, la température d'inversion reste comprise entre 0 et 42 degrés Celsius. Pour diminuer au maximum l'effet de température il est intéressant que la température d'inversion soit comprise dans la plage de température d'utilisation normale du résonateur. Les températures comprises entre 0 et 42 degrés correspondent à cette définition. A titre d'exemple, pour un angle de coupe  $\theta$  égal à 11 degrés, ce qui donne une température d'inversion de 25 degrés, le coefficient  $\alpha'$  de dilatation vaut 13,47. En outre avec un angle  $\theta$  faible on a une meilleure excitation du résonateur. Pour toutes ces raisons il est donc intéressant de se situer dans une plage voisine du maximum 13,7.

Il va de soit que, au lieu d'effectuer une rotation autour de l'axe X, on pourrait également effectuer une rotation autour de l'axe Y, la relation entre le coefficient  $\alpha'$  et l'angle  $\theta$  restant la même. On pourrait bien entendu également combiner une rotation autour de l'axe X puis une rotation autour de l'axe Y', l'angle  $\theta$  restant l'angle entre les axes Z et Z'. Là encore la relation entre  $\alpha'$  et  $\theta$  demeure la même.

On sait qu'un diapason fonctionne de façon plus stable lorsqu'il est placé dans une enceinte dans laquelle règne un vide relativement poussé. Donc, si l'élément sensible représenté sur la figure 1 est monté dans un capteur de pression comportant une région  
5 maintenue sous vide et que le résonateur est situé dans cette région, il n'est pas nécessaire de modifier la structure de l'élément sensible par rapport à celle qui est représentée sur la figure 1. Si, au contraire, le résonateur se trouve dans une zone où il règne la pression atmosphérique ou plus généralement la pression à mesurer,  
10 il est intéressant de modifier l'élément sensible comme cela est représenté sur la figure 5. Selon ce mode de réalisation, le résonateur 6 est enfermé dans un boîtier étanche. Ce boîtier consiste en la plaque 4 elle-même, en le cadre 14 du résonateur qui est collé ou soudé sur la plaque par la couche 18, et en un couvercle 30 dont la  
15 périphérie est collée ou soudée sur le cadre 14. Bien entendu le couvercle 30 est réalisé avec le même matériau que la plaque 4 pour éviter les problèmes de dilatation thermique différentielle.

La figure 8 montre les effets d'une force sur un élément sensible constitué par un résonateur du type décrit précédemment collé  
20 sur un élément support formé par une plaque allongée d'Inconel dont l'épaisseur est de 300 microns et dont la longueur est de 100 mm et la largeur de 5.0 mm. La courbe de la figure 8 donne la variation de fréquence  $f$  en fonction de la force appliquée à la plaque métallique. On voit qu'on obtient une bonne linéarité entre 0  
25 et 4 kg (Force). Cela donne une sensibilité de 1.200 Hz par kg. Compte tenu des dimensions de la plaque métallique 4 et du résonateur cela donne une sensibilité de  $2,5 \cdot 10^{-8}$ /Hz pour le rapport entre la variation de la longueur relative et la variation de

fréquence. On voit donc qu'on obtient une très bonne sensibilité. Ce mode de réalisation de l'élément support est bien adapté au cas d'un élément sensible pour mesurer une force. Une extrémité de la plaque est fixe et la force à mesurer est appliquée à l'autre extré-  
5 mité de la plaque.

La courbe représentée sur la figure 9, qui donne la fréquence, pour le même échantillon, exprimée en Hz en fonction de la température, met bien en lumière l'effet parasite très important résultant du fait que les coefficients de dilatation thermique sont différents  
10 pour le résonateur et pour la plaque métallique en Inconel. Bien que les coefficients de dilatation thermique soient relativement peu différents (13,3 et 13,7) on voit que la sensibilité à la température est supérieure à 100 ppm/°C dans les régions les plus favorables. On comprend qu'en taillant le résonateur de telle manière que les  
15 coefficients de dilatation thermique du résonateur et de la plaque soient les mêmes cet effet thermique est supprimé. On évite ainsi le défaut essentiel couramment rencontré dans les capteurs de pression. Bien entendu il demeure la variation de fréquence du résonateur lui-même en fonction de la température. Cependant il faut  
20 rappeler que cet effet de température est seulement de l'ordre de  $35 \cdot 10^{-9}/^{\circ}\text{C}^2$ . Cet effet thermique parasite est donc négligeable si on le rapporte à la sensibilité de l'élément résonnant sous l'effet de la contrainte.

La figure 6 illustre en coupe verticale le montage de l'élément  
25 sensible de la figure 1 dans un capteur de pression. La plaque mince a alors la forme d'un disque dont le diamètre est par exemple de 20 mm.

L'appareil de mesure de pression est constitué par un boîtier formé d'un fond 32 et d'un couvercle 34. La périphérie de la plaque mince 4 de l'élément sensible est fixée de façon étanche entre les deux parties du boîtier. Des joints tels que 36 et 38 peuvent assurer cette étanchéité. La plaque mince 4 sépare l'intérieur du boîtier en une première chambre 40 qui est maintenue sous un vide poussé et en une deuxième chambre 42 qui communique par un conduit 44 avec l'enceinte dans laquelle on veut mesurer la pression. Le fond 32 est percé d'une traversée 46 dans laquelle est introduit un joint isolant et étanche 48 qui est traversé par un ensemble de conducteurs 50 reliés aux électrodes d'excitation du résonateur 6. A l'extérieur du boîtier, les conducteurs 50 arrivent dans un circuit de traitement et d'alimentation 52 qui commande des moyens d'affichage 54 de la valeur de la pression. On comprend aisément que dans un tel capteur de pression c'est la face libre de la plaque 4 qui est soumise à la pression à mesurer, son autre face, c'est-à-dire celle qui porte le résonateur, étant tournée vers l'enceinte 40 sous vide. La pression régnant dans la chambre 42 déforme la plaque 4 ce qui engendre l'application de contraintes au résonateur 6. Comme cela était expliqué précédemment en mesurant la variation de fréquence propre du résonateur due à la pression on peut en déduire de façon linéaire la pression absolue régnant dans la chambre 42.

Pour faire une mesure de pression relative il suffit de mettre l'enceinte 40 à la pression atmosphérique. L'élément sensible doit alors avoir la structure représentée sur la figure 5.

La figure 7 donne un mode de réalisation possible pour le circuit 52. Les conducteurs 50 sortant du boîtier 32, 34 sont reliés

à l'entrée d'un circuit d'entretien 60 de type classique qui délivre à sa sortie un signal de fréquence  $f_M$  correspondant à la fréquence de vibration du résonateur compte tenu de la pression régnant dans la partie supérieure 34 du boîtier. La sortie du circuit d'entretien 60 est reliée à l'une des entrées d'une porte ET 62 dont la sortie est reliée à l'entrée d'horloge CK d'un compteur 64. Le circuit 52 comprend également un générateur de signaux 66 qui délivre par exemple un signal de durée 100 millisecondes avec une période de 1 seconde. La sortie 66a du générateur 66 est reliée d'une part à la deuxième entrée de la porte 62 et d'autre part à l'entrée d'un circuit de détection 68 qui délivre sur sa sortie 68a une impulsion à l'apparition d'un front de descente des signaux délivrés par le générateur 66. Les sorties d'état du compteur 64 sont reliées aux entrées d'une mémoire commandable 70 munie d'une entrée d'activation En. La sortie 68a du circuit détecteur 68 est reliée à un point D par l'intermédiaire de deux inverseurs 72 et 74 qui ont pour but d'introduire un retard, par exemple de l'ordre de 10 microsecondes. Le point D est relié, d'une part, à l'entrée de remise à zéro du compteur 64 référencée CL par l'intermédiaire des deux inverseurs 76 et 78, qui ont également pour but d'introduire un retard et, d'autre part, à l'entrée d'activation En de la mémoire commandable 70. Les signaux de sortie de la mémoire commandable 70 sont appliqués à l'entrée d'un circuit de calcul 80 muni de moyens d'introduction de paramètres 82. La sortie du circuit de calcul attaque un décodeur 84 qui commande lui-même les moyens d'affichage 54.

Le fonctionnement du circuit 52 découle clairement de la description précédente. Les impulsions du signal de fréquence  $f_M$  sortant du circuit d'entretien 60 incrémentent le compteur 64

pendant la durée du signal périodique délivré par le générateur 66. A la fin de chaque signal délivré par le générateur 66, le circuit détecteur 68 délivre une impulsion qui est appliquée à l'entrée d'activation En de la mémoire commandable 70. Le contenu du comp-  
5 teur 64 est donc transféré dans la mémoire 70 puis le compteur 64 est remis à zéro par son entrée CL. La mémoire 70 contient donc sous forme binaire un nombre qui représente le nombre d'impulsions du signal  $f_M$  pendant la durée du signal délivré par le générateur 60, c'est-à-dire, par exemple, pendant 100 millisecondes. Ce nombre  
10 est traité par le circuit de calcul 80 pour délivrer un nombre qui est directement représentatif de la pression. Le circuit de calcul est simple puisque la relation entre la fréquence  $f_M$  et la pression est linéaire dans la plage de fonctionnement du dispositif. Le circuit de calcul a simplement pour but de soustraire un nombre donné corres-  
15 pondant à l'étalonnage de l'appareil et de diviser le nombre en résultant par un coefficient constant lié à la précision avec laquelle on veut afficher la pression. Ce fonctionnement correspond au cas de la mesure d'une pression absolue. La valeur de la pression est toujours positive. Dans le cas d'une mesure de pression relative, la  
20 pression mesurée peut être positive ou négative, c'est-à-dire que la valeur de  $\frac{df}{f}$  peut être positive ou négative. Il est alors nécessaire que le circuit de calcul 80 comporte des moyens pour faire cette discrimination de signe. Il faut également que ces moyens envoient vers le circuit de décodage 84 une information de signe.

25 Il apparaît qu'ainsi le capteur de pression qui utilise l'élément sensible selon l'invention a une structure très simple du fait que, en particulier, il n'est pas nécessaire d'éliminer l'effet de température.



L'élément sensible peut également servir à mesurer des contraintes mécaniques correspondant à des déformations de pièces sous l'effet de charges. Dans ce sens l'élément sensible remplace ce qui est appelé habituellement une "jauge de contrainte". Cela signifie  
5 que l'élément support, c'est-à-dire la plaque mince, est collé sur une face de la pièce à tester. Pour s'affranchir des problèmes de dilatation thermique différentielle il faut bien sûr que l'élément support présente le même coefficient de dilatation thermique que la  
10 pièce à tester. La solution la plus simple est bien sûr de réaliser l'élément support, c'est-à-dire la plaque mince, avec le même matériau que la pièce. Les exemples de matériaux donnés précédemment montrent que les matériaux de construction habituels (acier, fonte etc.) entrent bien dans ce cadre.

En outre l'épaisseur de l'élément support dépend bien sûr de la  
15 grandeur physique à mesurer et de l'intensité de cette grandeur. L'épaisseur de la plaque formant l'élément support peut être avantageusement comprise entre 100 et 2'000 microns.

Il va de soit que d'autres résonateurs que celui qui est représenté sur la figure 1 peuvent être utilisés pour réaliser l'élément  
20 sensible. Par exemple sur la figure 10 on a représenté un autre résonateur convenant pour l'élément sensible. Il s'agit d'un barreau 100 réalisé par exemple en quartz et qui est encastré à ses deux extrémités dans un cadre 102. Bien entendu le barreau 100 et le cadre 102 sont obtenus à partir d'une même plaquette de quartz  
25 attaquée chimiquement. Le barreau 100 est excité pour qu'à un même instant le demi-barreau 100a travaille en contraction et que le demi-barreau 100b travaille en allongement. Pour cela les flancs 103 et 104 du barreau 100 sont munis d'électrodes. Le demi-barreau

100a est muni des électrodes 106 et 106' tandis que le demi-barreau 100b est muni des électrodes 108 et 108'. Les électrodes 106 et 108' sont reliées entre elles par une métallisation 110 réalisée sur la face inférieure du barreau et sont alimentées par une borne 112. De  
5 même les électrodes 106' et 108 sont reliées entre elles par une métallisation 114 réalisée sur la face supérieure du barreau et sont reliées à une borne de connection 116. Ce résonateur est fixé sur la plaque 4 et il est taillé de telle manière que son coefficient de dilatation thermique soit identique à celui de la plaque 4. Ce résultat est bien sûr obtenu par une coupe adéquate comme cela a été  
10 expliqué précédemment. L'élément sensible de la figure 10 peut être complété par un couvercle, comme cela a été représenté sur la figure 5 pour l'élément sensible de la figure 1. Pour cela le couvercle est collé de façon étanche sur la face supérieure du cadre  
15 102, sa face inférieure étant collée sur la plaque 4.

Il faut encore ajouter que, bien entendu, la plaque 4 qui est en contact avec le milieu dont on veut mesurer la pression doit être réalisée en un matériau qui est compatible avec ce milieu. En particulier il devra éventuellement pouvoir résister à la corrosion. On  
20 comprend qu'il est toujours possible pour satisfaire à cette condition d'utiliser pour la plaque mince 4 une plaque de quartz dont la coupe est la même que celle du résonateur lui-même.

RE V E N D I C A T I O N S

1. Elément sensible pour capteur de contraintes caractérisé en ce qu'il comprend :

- un élément support (4) présentant un coefficient de dilatation thermique  $\alpha$ ;
- 5 - un résonateur piézo-électrique allongé (6, 100) muni d'électrodes 20a à 24'b ou 106, 106', 108, 108'; et
- des moyens de fixation (18) dudit résonateur (6, 100, 102) sur ledit élément support (4) pour transmettre audit résonateur dans le sens de sa longueur, les contraintes  
10 appliquées audit élément support, ledit résonateur ayant une coupe telle que son coefficient de dilatation thermique dans le sens de sa longueur soit sensiblement égal à la valeur  $\alpha$ .

2. Elément selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit  
15 résonateur (6) a une forme sensiblement rectangulaire et est muni d'une fente centrale (10) longitudinale, la longueur de la fente étant inférieure à celle du résonateur pour former une base ( $A_1$ ,  $B_1$ ) à chaque extrémité de celui-ci, les deux bases étant raccordées par deux barreaux parallèles ( $C_1$ ,  $C_2$ ) séparés par ladite fente (10) et  
20 en ce que les électrodes (20a à 24'b) sont disposées pour faire vibrer ledit résonateur selon un mode principal de flexion.

3. Elément selon la revendication 2, caractérisé en ce que les moyens de fixation comprennent en outre un cadre (14) entourant ledit résonateur, ledit résonateur étant raccordé audit cadre par ses  
25 bases ( $A_1$ ,  $B_1$ ), ledit résonateur et ledit cadre (14) étant taillés

dans une même plaquette de matériau piézo-électrique, ledit cadre (14) étant fixé sur ledit élément support (4).

4. Élément selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit résonateur a la forme d'un barreau (100) muni d'électrodes (106, 5 106', 108, 108') pour produire un allongement d'une moitié (100a) dudit barreau selon le sens de sa longueur pendant que l'autre moitié (100b) subit un raccourcissement, et en ce que lesdits moyens de fixation comprennent en outre un cadre (102) fixé sur ledit élément support (4), les extrémités dudit barreau étant 10 solidaires dudit cadre (102), ledit barreau (100) et ledit cadre (102) étant taillés dans une même plaquette de matériau piézo-électrique.

5. Élément selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ledit résonateur (6, 100) est en quartz et en ce que le coefficient  $\alpha$  de dilatation thermique dudit élément support 15 (4) est compris entre 7,5 et  $13,7 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ .

6. Élément selon la revendication 5, caractérisé en ce que ledit résonateur a ses faces principales perpendiculaires à un axe Z' qui fait un angle  $\theta$  avec l'axe Z du quartz, l'angle  $\theta$  étant défini par la relation

$$20 \quad \cos^2 \theta = \frac{\alpha - 7,5}{13,7 - 7,5}$$

dans laquelle  $\alpha$  est exprimé en ppm/ $^{\circ}\text{C}$ .

7. Élément selon la revendication 6, caractérisé en ce que ledit coefficient  $\alpha$  est compris entre 13 et 13,7 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ .

8. Élément sensible selon l'une quelconque des revendications 3 25 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un couvercle (30) présentant sensiblement le même coefficient de dilatation thermique que le résonateur et fixé par sa périphérie de façon étanche sur ledit cadre (14, 102), et en ce que ledit cadre (14, 102) est fixé de

façon étanche sur ledit élément support (4), l'enceinte limitée par ledit courvercle (30), ledit cadre (14, 102) et une partie dudit élément support (4) et dans laquelle est logé ledit résonateur (6) étant maintenue sous vide.

- 5        9. Capteur de pression caractérisé en ce qu'il comprend :
- un boîtier (32, 34);
  - un élément sensible (6', 100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 dans lequel ledit élément support est une plaque mince (4) fixée de façon étanche audit boîtier
  - 10        (32, 34) pour séparer celui-ci en une première (40) et une deuxième (40) chambre;
  - des moyens (44) pour appliquer la pression à mesurer dans ladite première chambre (42); et
  - des moyens (52) pour appliquer des tensions aux électrodes
  - 15        dudit élément sensible et pour recueillir un signal électrique dont la fréquence dépend de ladite pression.

10. Capteur selon la revendication 9, caractérisé en ce que ladite deuxième chambre (40) est maintenue sous vide.

20

25

1/4

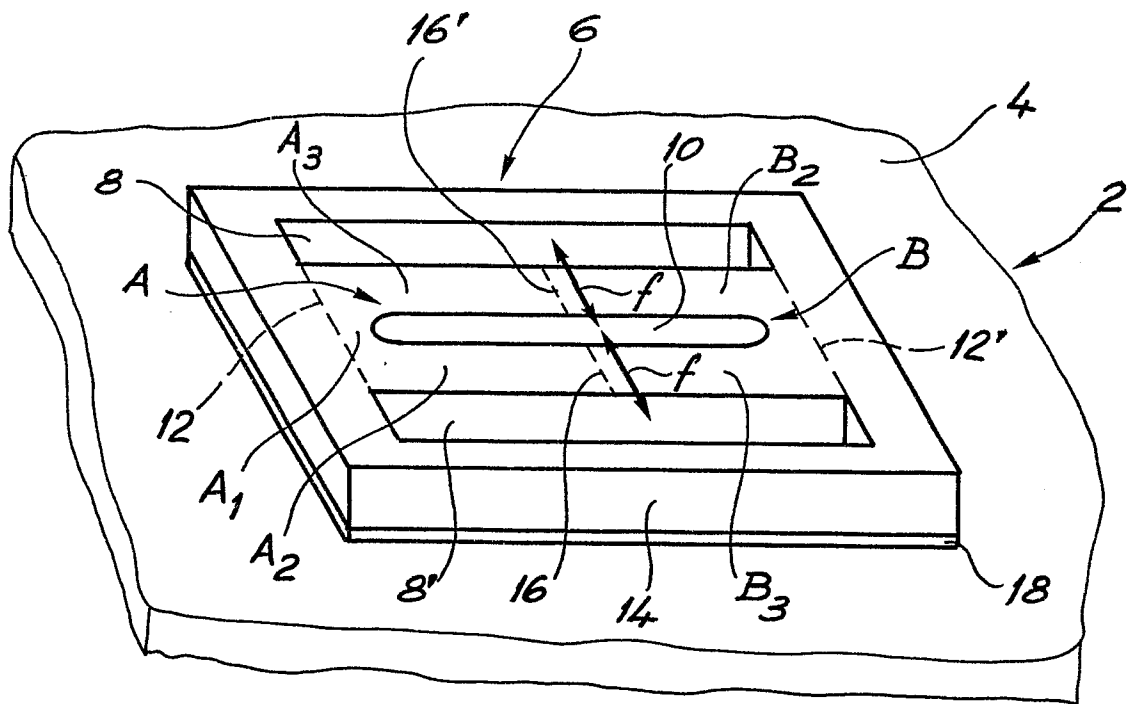


Fig. 1

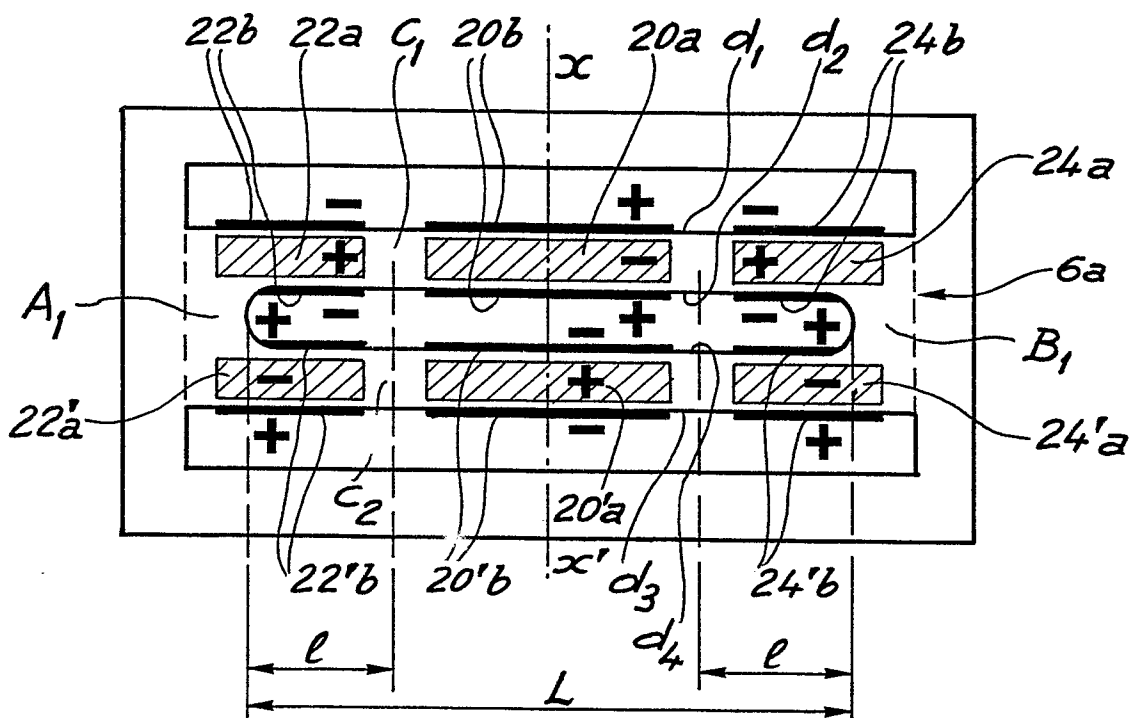


Fig. 2

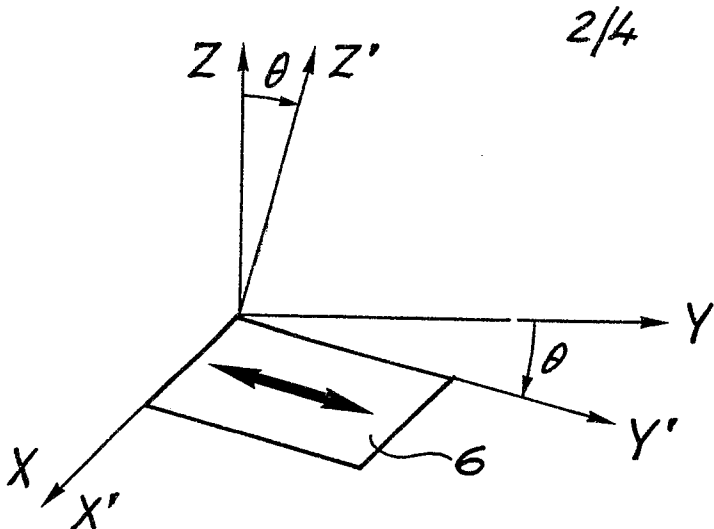


Fig. 3

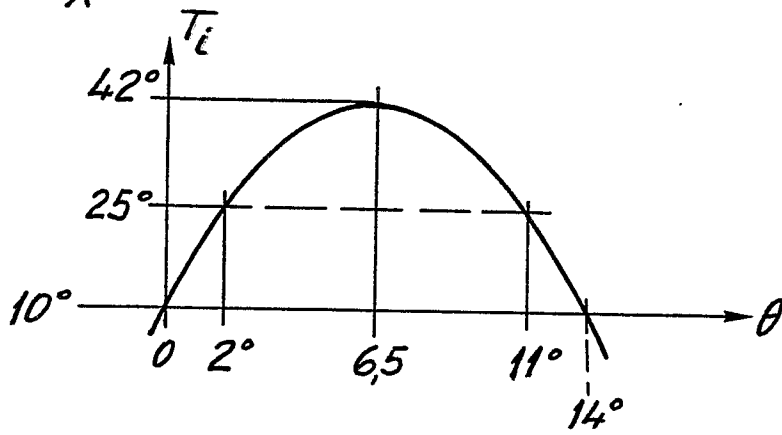


Fig. 4

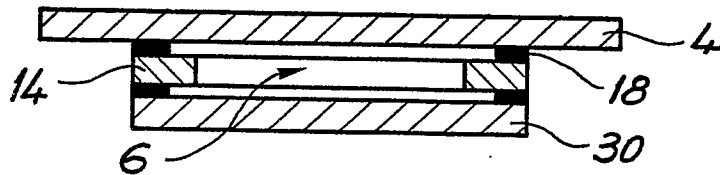


Fig. 5

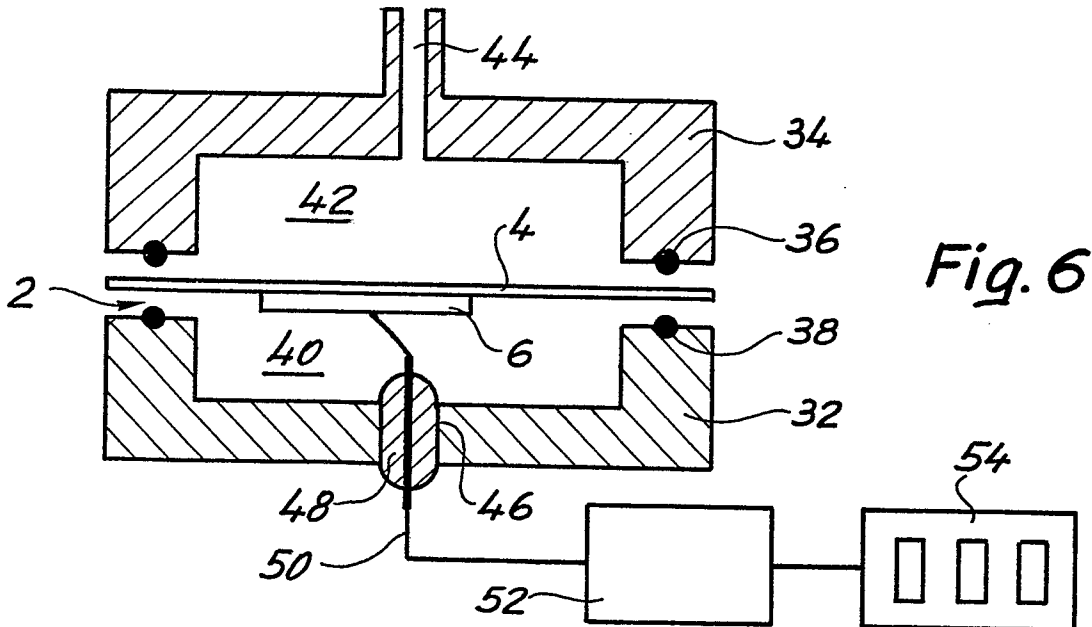


Fig. 6

3/4

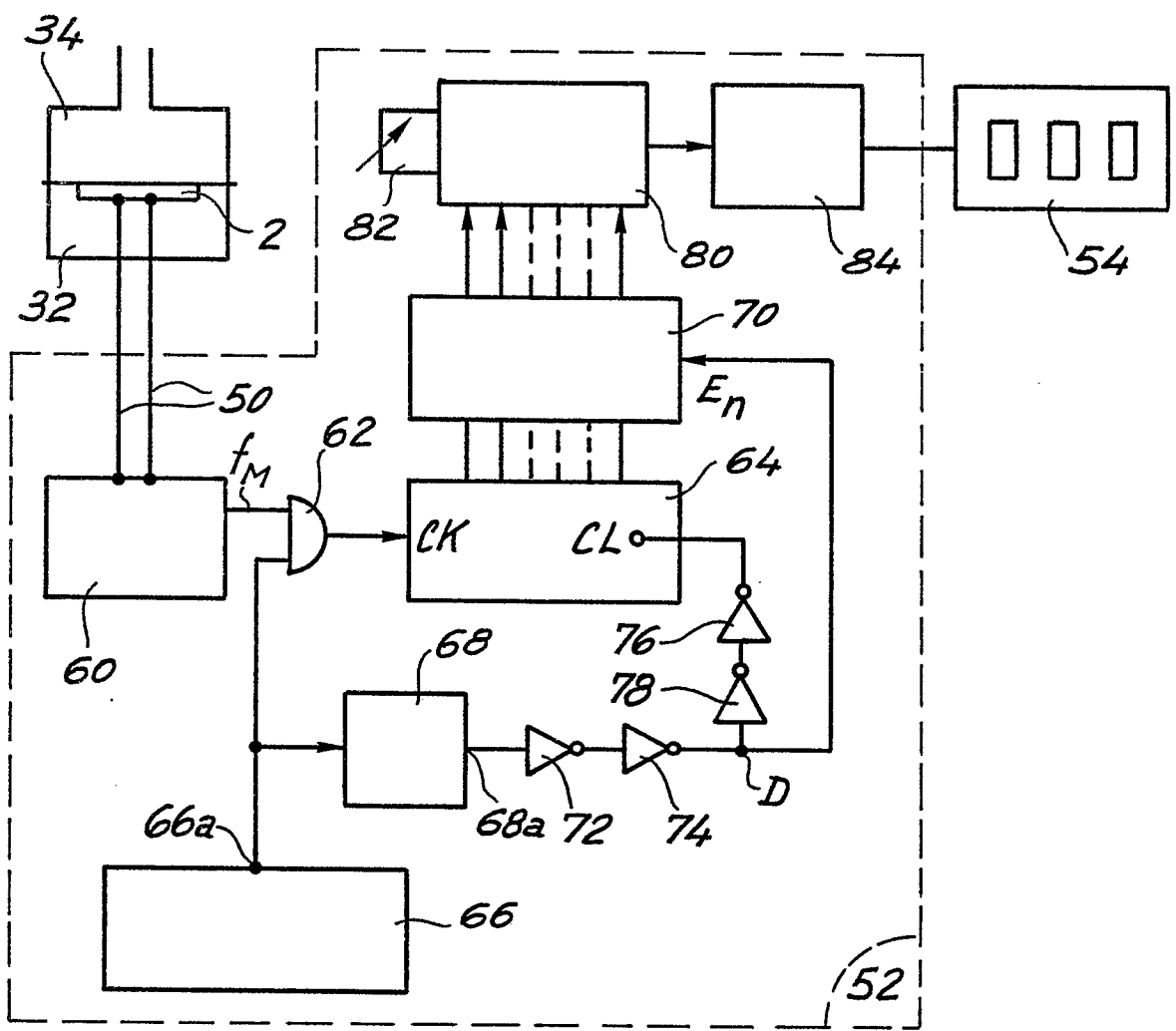


Fig. 7

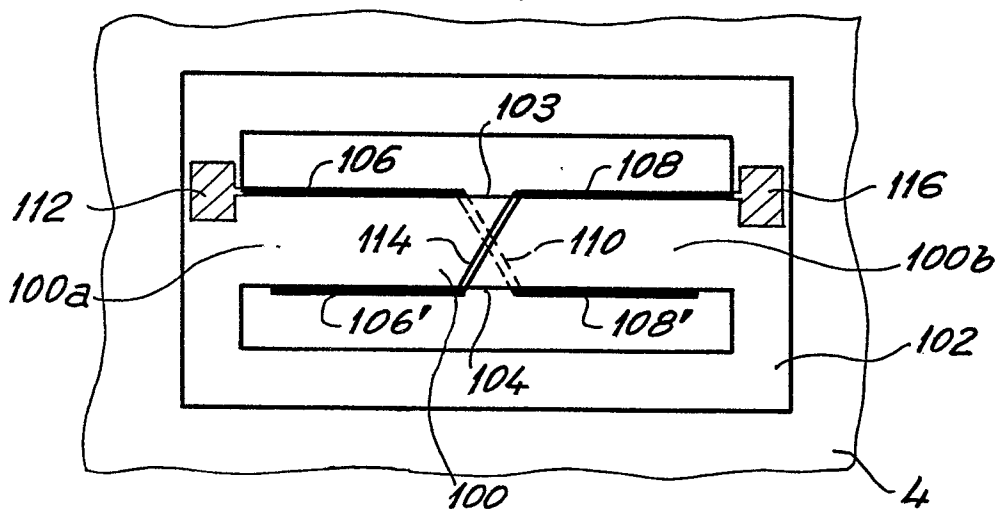
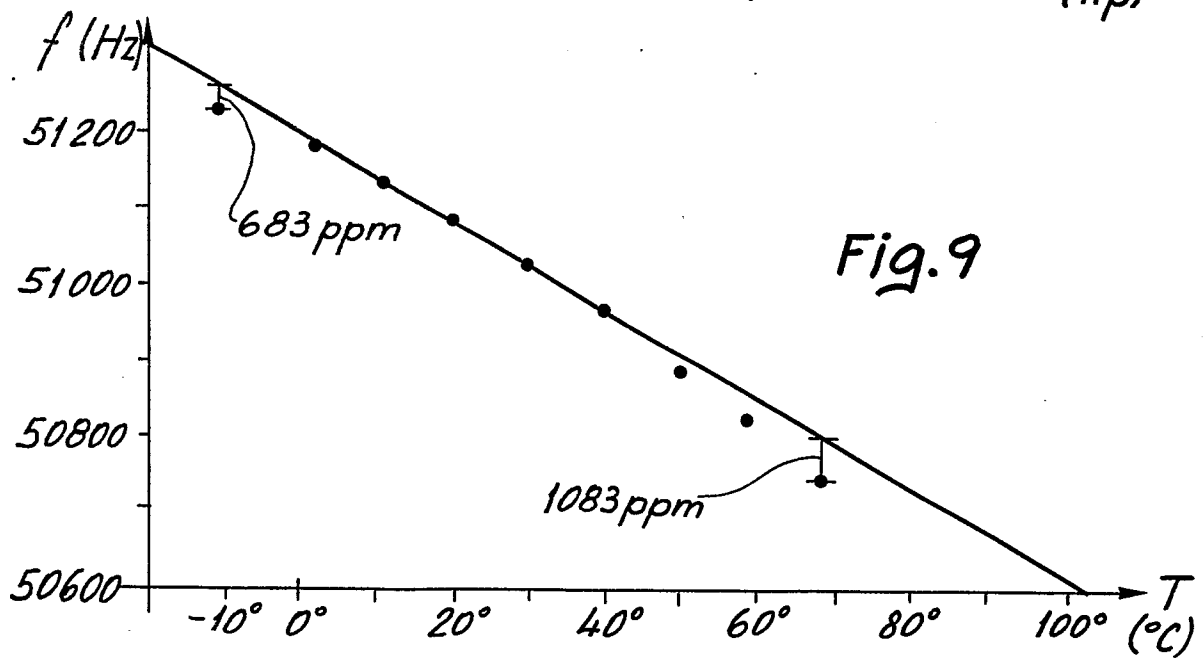
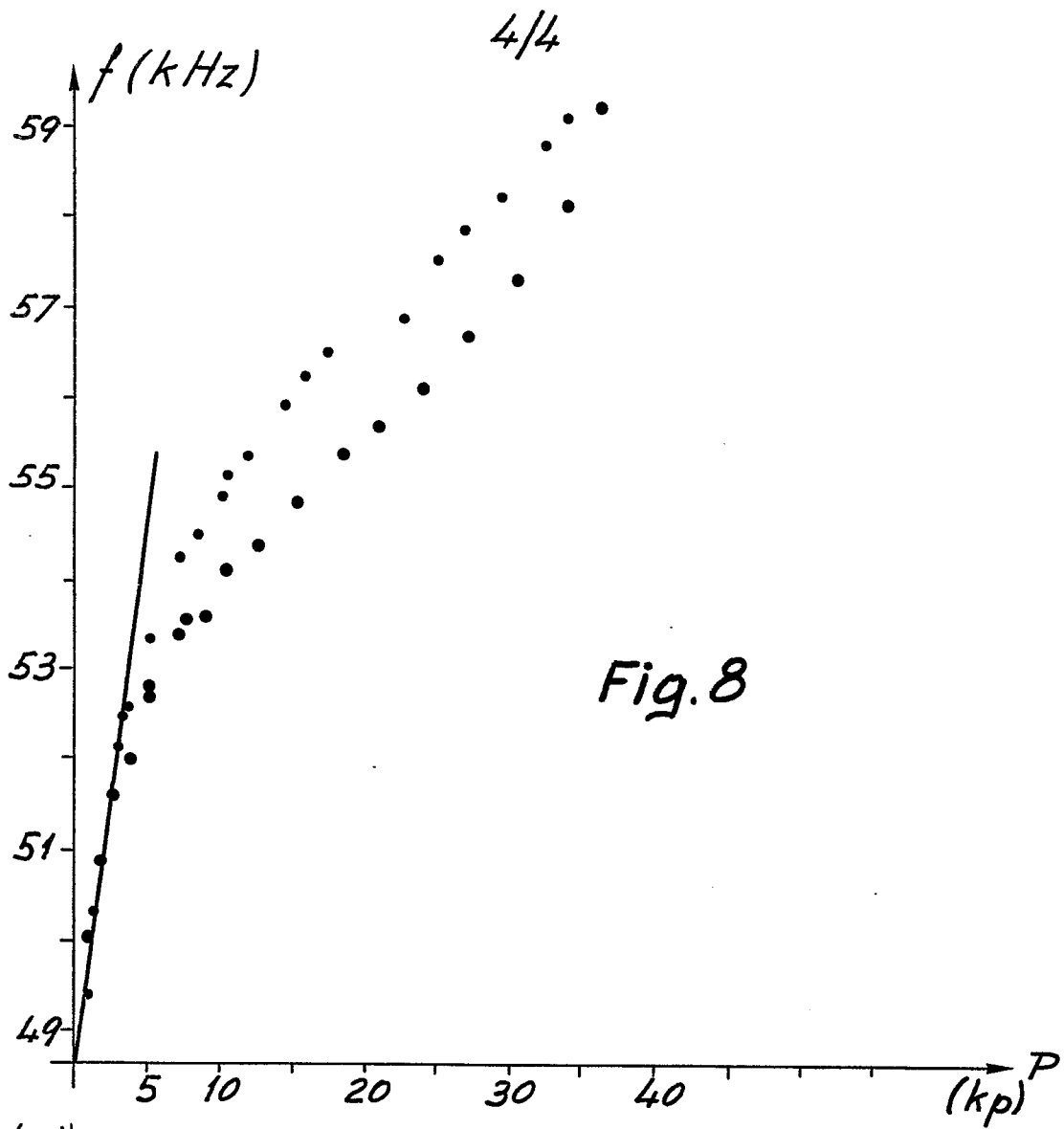


Fig. 10







DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 3)
A	PATENTS ABSTRACTS OF JAPAN, vol. 5, no. 146 (P-80)[818], 16 septembre 1981, Tokyo, JP. & JP - A - 56 79221 (HOKUSHIN DENKI SEISAKUSHO K.K.) 29-06-1981 * En entier *	1,2,9	G 01 L 9/08 G 01 B 7/16
A	--- US-A-4 148 530 (R. CALDERARA) * Résumé; figure 2 * -----	1,6	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 3)
			G 01 L 1 G 01 L 7 G 01 L 9 G 01 L 11 G 01 L 19 G 01 L 21 G 01 L 23 G 01 B 17 G 01 B 7 G 01 P 15
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 03-10-1983	Examineur VAN ASSCHE P.O.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	