

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 11388

(54) Résonateur à ondes acoustiques de surface.

(51) Classification internationale (Int. Cl. ³). H 03 H 9/25.

(22) Date de dépôt..... 10 juin 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : Japon, demandes de brevets, 13 juin 1980, n° 78941/1980 et 13 décembre 1980, n° 175242/1980, au nom de la demanderesse.

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 51 du 18-12-1981.

(71) Déposant : Société dite : NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE PUBLIC CORPORATION, rési-
dant au Japon.

(72) Invention de : Takehiko Uno et Hiromichi Jumonji.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Flechner,
63, av. des Champs-Élysées, 75008 Paris.

La présente invention concerne un résonateur à ondes acoustiques de surface qui a une taille réduite, un Q élevé et une faible résistance de résonance.

Les résonateurs à ondes acoustiques de surface comprennent de façon générale un substrat piézoélectrique, une paire de réflecteurs d'ondes acoustiques de surface, du type réseau, qui sont formés sur le substrat et un transducteur interdigité qui est formé sur le substrat entre les réflecteurs. Les ondes acoustiques de surface se propagent entre les deux réflecteurs, en résonnant à une certaine fréquence, et cette résonance est couplée à un circuit électrique par l'intermédiaire de bornes. Les résonateurs à ondes acoustiques de surface décrits ci-dessus sont appelés résonateurs du type "cavité". On sait parfaitement que dans les résonateurs à ondes acoustiques de surface du type cavité de l'art antérieur, le Q et la résistance de résonance R_1 dépendent d'une valeur absolue maximale $|\Gamma|_{\max}$ du coefficient de réflexion Γ d'un réflecteur et de la conductance de rayonnement G_a d'un transducteur et satisfont les relations suivantes :

$$Q \approx 1/(1 - |\Gamma|_{\max}^2) \quad (1)$$

et

$$R_1 = \frac{1 - |\Gamma|_{\max}}{2 |\Gamma|_{\max} G_a} \quad (2)$$

Il en résulte donc que pour obtenir un résonateur à ondes acoustiques de surface ayant un Q élevé et un R_1 faible, le coefficient de réflexion $|\Gamma|_{\max}$ doit être aussi proche que possible de l'unité et que la conductance de rayonnement G_a doit être augmentée jusqu'à la valeur la plus élevée possible. De ce fait, les réflecteurs comme le transducteur nécessitent un nombre d'électrodes extrêmement élevé. Lorsqu'un substrat consiste en un cristal de quartz ayant une moindre aptitude à la réflexion des ondes acoustiques de surface à cause de sa piézoélectricité, on utilise généralement 500 à 1000 électrodes de réflecteur, ce qui fait qu'il s'est avéré difficile de réaliser des réso-

nateurs à ondes acoustiques de surface ayant une taille réduite.

Pour faire disparaître cet inconvénient, il a été proposé un procédé consistant à augmenter le coefficient de réflexion en formant des réseaux périodiques de sillons à la surface du substrat.

Les résonateurs à ondes acoustiques de surface du type cavité de l'art antérieur sont conçus de façon que la résonance soit obtenue à une fréquence f_R (qu'on appellera ici "fréquence centrale du réflecteur"), à laquelle le coefficient de réflexion $|\Gamma|$ du réflecteur devient maximal. La résonance est également affectée par l'écartement entre le transducteur et le réflecteur, ce qui fait que l'écartement est l'un des plus importants critères de conception. Il est également bien connu qu'on obtient un écartement optimal par l'équation suivante :

$$l_1 + l_2 = (n/2 + 1/4) \lambda \quad (3)$$

dans laquelle l_1 est l'écartement entre le transducteur et l'un des deux réflecteurs ;

l_2 est l'écartement entre le transducteur et l'autre réflecteur ;

n est un entier positif ; et

λ est la longueur d'onde des ondes acoustiques de surface à la fréquence de résonance.

Ainsi, dans la conception des résonateurs à ondes acoustiques de surface de l'art antérieur, les écartements entre le transducteur et les réflecteurs sont déterminés par l'équation (3), si bien qu'on obtient la résonance à la fréquence centrale f_R du réflecteur.

Dans la conception des résonateurs à ondes acoustiques de surface, les caractéristiques des réflecteurs ont jusqu'à présent retenu davantage l'attention que celles du transducteur et ont fait l'objet d'études détaillées. Il n'existe cependant aucun document technique concernant particulièrement les caractéristiques du transducteur. Les inventeurs ont donc effectué des études et des expériences approfondies sur la dépendance vis-à-vis de la fréquence du

coefficient de réflexion des réflecteurs et de la conductance de rayonnement acoustique du transducteur, dans le résonateur à ondes acoustiques de surface de l'art antérieur, dans lequel la période des électrodes du transducteur est égale à la période des électrodes du réflecteur. Les résultats ont montré que la fréquence centrale du réflecteur f_R est séparée d'une fréquence f_T (qu'on appelle "fréquence centrale du transducteur") à laquelle la conductance de rayonnement acoustique devient maximale. On a ainsi : $f_T < f_R$. On a trouvé en outre que la conductance de rayonnement acoustique G_a diminue considérablement par rapport à sa valeur maximale, aux fréquences proches de la fréquence centrale f_R du réflecteur.

Ces faits observés montrent que dans les résonateurs à ondes acoustiques de surface de l'art antérieur, la réponse en fréquence du transducteur n'est pas pleinement utilisée. Par conséquent, et comme le montre aisément l'équation (2), pour diminuer la résistance de résonance R_1 , la diminution de la conductance de rayonnement G_a à la fréquence de résonance doit être compensée par l'augmentation du coefficient de réflexion. De ce fait, les réflecteurs doivent avoir un grand nombre d'électrodes.

Il a d'autre part été proposé de munir le réflecteur d'un réseau périodique de sillons afin de permettre une augmentation du coefficient de réflexion. Cependant, la dépendance de la conductance acoustique du transducteur vis-à-vis de la fréquence n'est toujours pas pleinement utilisée, si bien que le nombre d'électrodes du réflecteur ne peut pas être réduit dans la mesure désirée. Il en résulte qu'il n'est pas possible de donner une taille réduite aux résonateurs à ondes acoustiques de surface de l'art antérieur.

Compte tenu de ce qui précède, l'un des buts de l'invention est de réaliser un résonateur à ondes acoustiques de surface dans lequel la dépendance vis-à-vis de la fréquence de la conductance de rayonnement acoustique d'un transducteur soit pleinement utilisée, de façon à diminuer la résistance de résonance, à augmenter la valeur du Q , à

donner un rapport de capacité faible et à permettre de réaliser le résonateur à ondes acoustiques de surface avec une taille réduite et de le monter d'une manière simple.

L'invention a également pour but de réaliser un résonateur à ondes acoustiques de surface dans lequel le rapport entre la période des électrodes du transducteur et la période des électrodes des réflecteurs soit optimisé, afin que la fréquence centrale f_R des réflecteurs puisse être amenée en coïncidence avec la fréquence centrale f_T du transducteur.

L'invention a également pour but de réaliser un résonateur à ondes acoustiques de surface dans lequel la fréquence centrale f_R des réflecteurs soit égale à la fréquence centrale f_T du transducteur et dans lequel les écartements entre le transducteur et les réflecteurs soient choisis de façon que les conditions de résonance soient satisfaites à la fréquence centrale $f_R (= f_T)$.

L'invention a également pour but de réaliser un résonateur à ondes acoustiques de surface dans lequel un substrat piézoélectrique soit fixé seulement en deux points, afin que les efforts créés par le montage soient réduits au minimum, ceci ayant pour effet d'améliorer la résistance aux vibrations et aux chocs, ainsi que la caractéristique de vieillissement de la fréquence.

En résumé, conformément à l'invention, deux réflecteurs d'ondes acoustiques de surface, chacun d'eux consistant en un réseau périodique d'électrodes et un réseau périodique de sillons, sont formés sur une surface d'un substrat piézoélectrique en étant mutuellement séparés par une distance appropriée; et un transducteur à ondes acoustiques de surface consistant en une structure d'électrodes interdigitée et en un réseau périodique de sillons est intercalé entre les réflecteurs. Dans cette configuration, l'invention est caractérisée par le fait que la période L_T des électrodes du transducteur et la période L_R des électrodes des réflecteurs sont choisies de façon à satisfaire la relation suivante :

5.

$$\frac{1 - C_{2T} - C_{1T} - C_{1T} / (0,35q_T^2 + 0,3q_T + 0,2)}{1 - C_{2R}} \leq L_T / L_R \leq \frac{1 - C_{2T} - C_{1T}}{1 - C_{2R}}$$

dans laquelle :

C_{1T} : est le terme de désadaptation acoustique à la frontière entre la partie munie d'électrodes et la partie dépourvue d'électrodes du transducteur, et est donné par :

$$C_{1T} = |1 - Z_2 / Z_1| / \pi ,$$

avec :

Z_2 = impédance acoustique de la partie munie d'électrodes, et

Z_1 = impédance acoustique de la partie dépourvue d'électrodes ;

C_{2T} : est la diminution de fréquence due à la structure périodique du transducteur ;

C_{2R} : est la diminution de fréquence due à la structure périodique du réflecteur ; et

$q_T = \pi C_{1T} N$, en désignant par N le nombre de paires de doigts d'électrodes dans le transducteur.

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

La figure 1 est une vue en perspective d'un résonateur à ondes acoustiques de surface du type cavité ;

La figure 2 est une coupe d'un réflecteur à réservoir de sillons ;

La figure 3 montre les relations entre la fréquence, d'une part, et le coefficient de réflexion $|\Gamma|$ d'un résonateur à ondes acoustiques de surface de l'art antérieur, ainsi que la conductance de rayonnement acoustique G_a du transducteur de ce résonateur, d'autre part ;

Les figures 4A et 4B montrent les relations entre les paramètres $|\Gamma|$ et G_a de résonateurs à ondes acoustiques de surface correspondant à l'invention ;

La figure 5 est une coupe d'un premier mode de réalisation de l'invention ;

La figure 6 montre les caractéristiques de réso-

nance de résonateurs à ondes acoustiques de surface de l'invention, chacun d'eux ayant un substrat en quartz, et de résonateurs de l'art antérieur, en fonction de l'écartement entre le transducteur et le réflecteur ;

5 La figure 7 montre les caractéristiques de résonance du résonateur à ondes acoustiques de surface de l'invention, obtenues théoriquement et expérimentalement, en fonction du rapport L_T/L_R , dans lequel L_T désigne la période des électrodes du transducteur et L_R désigne celle
10 du réflecteur ;

La figure 8 montre les caractéristiques de résonance du résonateur à ondes acoustiques de surface en quartz correspondant à l'invention, en fonction de la profondeur des sillons ;

15 La figure 9 est une coupe d'un second mode de réalisation de l'invention, dans lequel la profondeur des sillons dans les réflecteurs est différente de la profondeur des sillons dans un transducteur ;

La figure 10 montre les caractéristiques de
20 résonance du second mode de réalisation, en fonction de l'écartement entre le réflecteur et le transducteur ;

La figure 11 est une coupe d'un troisième mode de réalisation de l'invention dans lequel la profondeur des sillons est égale à zéro et l'épaisseur des électrodes dans les réflecteurs est différente de l'épaisseur
25 des électrodes dans un transducteur ;

La figure 12 montre les caractéristiques de résonance du troisième mode de réalisation, en fonction de l'écartement entre le réflecteur et le transducteur ;

30 La figure 13 est une coupe d'un quatrième mode de réalisation de l'invention qui comporte deux transducteurs de façon à constituer un résonateur à ondes acoustiques de surface à deux accès ;

La figure 14 est une vue de dessus du quatrième
35 me mode de réalisation ;

La figure 15 montre les caractéristiques de résonance du quatrième mode de réalisation en fonction du rapport L_T/L_R ; et

La figure 16 est une représentation utilisée pour l'explication d'une structure de montage destinée au montage d'un résonateur à ondes acoustiques de surface correspondant à l'invention encapsulé dans un boîtier.

De façon générale, comme le montre la figure 1, les résonateurs à ondes acoustiques de surface comprennent deux réflecteurs d'ondes acoustiques de surface, 2 et 3, chacun d'eux consistant en un grand nombre d'électrodes de réflecteur, formant un réseau, disposées à la surface d'un substrat 1 ; et un transducteur interdigité 4 qui est placé entre les réflecteurs à ondes acoustiques de surface 2 et 3 et qui consiste en un grand nombre de paires de doigts d'électrodes équidistants. La résonance obtenue en faisant propager des ondes acoustiques de surface entre les réflecteurs 2 et 3 est couplée à un circuit électrique par des bornes 5 et 5'. Pour améliorer le coefficient de réflexion, des sillons périodiques 6 sont formés à la surface du substrat 1, comme le montre la figure 2.

La figure 3 montre les relations entre la fréquence et le coefficient de réflexion $|\Gamma|$, ainsi que la conductance de rayonnement acoustique normalisée G_a/G_N , lorsque la période des doigts du transducteur 4 et la période des électrodes du réflecteur à réseau des figures 2 et 3 sont égales à L (voir la figure 1). G_N est une valeur de référence qui est déterminée en fonction du substrat et du nombre de paires de doigts d'électrodes dans le transducteur 4. On a ainsi la relation :

$$G_N = 1,435 \omega_o C_s N^2 K^2$$

dans laquelle: ω_o est la fréquence centrale du transducteur 4,

C_s est une capacité électrostatique par paire de doigts d'électrode,

N est le nombre de paires de doigts d'électrodes, et

K est le coefficient de couplage électromécanique du substrat 1 pour les ondes acoustiques de surface.

La figure 3 montre que la fréquence centrale f_R du réflecteur est supérieure à la fréquence centrale f_T du transducteur, c'est-à-dire qu'on a $f_T < f_R$. La conductance normalisée G_a/G_N est inférieure à l'unité à proximité de la fréquence f_R et elle est inférieure à la moitié de sa valeur maximale. La fréquence de résonance du résonateur à ondes acoustiques de surface coïncide avec la fréquence centrale f_R du réflecteur, et on voit donc que dans les résonateurs à ondes acoustiques de surface de l'art antérieur, la sélectivité de fréquence du transducteur n'est pas pleinement utilisée.

L'invention est basée sur les analyses de l'art antérieur décrites précédemment. Conformément à l'invention, la fréquence centrale f_R du réflecteur coïncide avec la fréquence centrale f_T du transducteur, comme le montre la figure 4A. Selon une variante, représentée sur la figure 4B, la période des paires de doigts ou d'électrodes d'un transducteur est choisie de façon que la fréquence centrale f_T du transducteur se trouve dans une plage prédéterminée, dans laquelle le coefficient de réflexion aussi bien que la conductance de rayonnement peuvent avoir des valeurs élevées à proximité de la fréquence centrale f_R du réflecteur.

En outre, conformément à l'invention, le transducteur est séparé des réflecteurs par une distance telle que les conditions de résonance puissent être satisfaites à une fréquence $f = f_R (= f_T)$.

La figure 5 représente, en coupe, un mode de réalisation préféré d'un résonateur à ondes acoustiques de surface conforme à l'invention. Un substrat 11 est constitué par un cristal piézoélectrique et consiste par exemple en un substrat de quartz en coupe ST. Chacun des réflecteurs 12 et 13 est constitué non seulement par un grand nombre d'électrodes périodiques d'une épaisseur h_{mR} , mais également par un grand nombre de sillons périodiques de profondeur h_{gR} , les sillons étant formés par une opération d'attaque par plasma ou une opération analogue. Les réflecteurs 12 et 13 ont donc une structure métal-sillon.

Un transducteur 14 présente également une structure métal-sillon et il est constitué par des doigts d'électrodes périodiques d'une épaisseur h_{mT} et par des sillons périodiques d'une profondeur h_{gT} . Pour faire coïncider la fréquence centrale f_R des réflecteurs 12 et 13 avec la fréquence centrale f_T du transducteur 14, le rapport L_T/L_R , dans lequel L_T désigne la période des électrodes du transducteur 14 et L_R désigne la période des électrodes des réflecteurs 12 et 13, est déterminé sur la base des résultats des analyses qu'on décrira ci-après.

La fréquence centrale f_R des réflecteurs 12 et 13 est légèrement inférieure à une fréquence de référence qui dépend de la période L_R des électrodes des réflecteurs et de la vitesse de propagation (vitesse de phase) V_S des ondes acoustiques de surface le long de la surface libre du substrat, et qui est donnée par la relation suivante :

$$f_O = V_S/L_R \quad (4)$$

La fréquence centrale s'exprime par la relation suivante :

$$f_R = (1 - C_{2R}) F_S/L_R \quad (5)$$

dans laquelle C_{2R} représente une diminution de fréquence produite par les effets perturbateurs dûs à la structure périodique métal-sillon. On utilise le suffixe R pour indiquer que cette valeur est associée aux réflecteurs 12 et 13. C_{2R} s'exprime également sous la forme :

$$C_{2R} = C_{2E_R} + C_{2M_R} \quad (6)$$

dans laquelle C_{2E_R} est l'effet électrique, et

C_{2M_R} est l'effet mécanique.

Le terme d'effet mécanique correspond à la diminution de la vitesse de phase qui est due à l'effet de charge par la masse des électrodes ainsi qu'à l'effet de stockage d'énergie dû à la discontinuité en échelon des sillons. Le terme C_{2M_R} dépend des matières du substrat et des électrodes, de l'épaisseur des électrodes et de la profondeur des sillons. Comme l'indiquent Koyamada et col. dans l'article "Analysis of SAW Resonators Using Long IDT's and Their Applications",

The Transactions of the Institute of Electronics and Communication Engineers of Japan, J60-A, N° 9, pages 085-812, 1977 N° 9, qu'on désignera ci-après par "Référence (I)", l'admittance d'un résonateur à ondes acoustiques de surface du type à cavité s'exprime par la relation :

$$Y = j\omega NC_S + (2jG_N q / NL_T) \left\{ \frac{(1+p)(1-r_1')}{(pe^{-1} + e) - r_1'(e^{-1} + pe)} \cdot \frac{\sin \varphi}{\varphi} - 1 \right\} \quad (7)$$

dans laquelle ω est la pulsation

N est le nombre de paires d'électrodes du transducteur,

10 C_S est la capacité électrostatique par paire d'électrodes du transducteur,

G_N est la valeur de référence de la conductance de rayonnement acoustique, qui dépend du nombre de paires d'électrodes et du substrat,

15

$$p = (\beta_m - (\delta + kC_{2T}) / C_{1T}) \quad (8)$$

$$q = (\delta + kC_{2T} + kC_{1T})^{-1} \quad (9)$$

$$\varphi = \beta_m NL / 2 \quad (10)$$

$$e = \exp(-j\varphi) \quad (11)$$

20

$$r_1' = \Gamma \exp(-2jkL) \quad (12)$$

avec

$$\delta = k - k_0 \quad (13)$$

$$\beta_m = \sqrt{(\delta + kC_{2T})^2 - (kC_{1T})^2} \quad (14)$$

$$k_0 = 2\pi / L_T \quad (15)$$

$$k = 2\pi f / V_s \quad (16)$$

25

C_{1T} = terme de désadaptation acoustique à la frontière entre la partie munie d'électrodes et la partie dépourvue d'électrodes du transducteur, ce terme s'exprimant par la relation :

$$C_{1T} = |1 - Z_2 / Z_1| / \pi,$$

dans laquelle Z_2 est l'impédance acoustique de la partie munie d'électrodes et Z_1 est l'impédance acoustique de la partie dépourvue d'électrodes. Le suffixe T est ajouté pour indiquer que C_{1T} est la valeur associée au transducteur 14.

C_{2T} = diminution de fréquence due à la structure périodique du transducteur.

On peut obtenir la conductance de rayonnement du transducteur 14 à partir de l'admittance lorsque les réflecteurs 12 et 13 sont supprimés, seul le transducteur 14 demeurant ainsi sur le substrat 11. En reportant $\Gamma = 0$ dans l'équation (12), on obtient $r'_1 = 0$. On peut donc récrire l'équation (7) pour obtenir les équations suivantes :

$$Y = G_a + j(\omega N C_s + B_a) \quad (17)$$

$$G_a = G_N \left| \frac{1+P}{e+Pe^{-1}} \right|^2 \frac{\sin^2 \varphi}{\varphi^2} \quad (18)$$

$$B_a = \frac{G_N}{\varphi} \frac{1+P}{1-P} \left\{ \left| \frac{1+P}{e+Pe^{-1}} \right| \frac{\sin 2\varphi}{2\varphi} - 1 \right\} \quad (19)$$

L'équation (18) donne la conductance de rayonnement du transducteur 14. On ne peut pas obtenir d'une manière simple la fréquence centrale de G_a , mais on peut en obtenir une approximation en introduisant un paramètre η exprimé par l'équation (20).

$$\eta = (F - (1 - C_{1T} - C_{2T}))/C_{1T} \quad (20)$$

avec :

$$F = f L_T / V_s \quad (f = \text{fréquence}) \quad (21)$$

Par conséquent, β_m , φ et p s'expriment de la manière suivante en fonction de η .

$$\beta_m = k_0 C_{1T} \sqrt{\eta^2 - 2\eta} \quad (22)$$

$$\varphi = q_T \sqrt{\eta^2 - 2\eta} \quad (23)$$

$$p \approx 1 - \eta \sqrt{\eta^2 - 2\eta} \quad (24)$$

On reporte les équations (22) (23) et (24) dans l'équation (18) de façon à obtenir la valeur de η_T pour laquelle G_a/G_N devient maximal. η_T est alors déterminé presque exclusivement par q_T et s'exprime par la relation suivante :

$$\eta_T \approx -1/(0,7q_T^2 + 0,56q_T + 0,43) \quad (25)$$

D'après les équations (20), (21) et (25), la fréquence centrale f_T du transducteur, pour laquelle G_a/G_N devient maximal, est donnée par la relation :

$$f_T = (1 - C_{2T} - C_{1T} - C_{1T}/(0,7q_T^2 + 0,56q_T + 0,43))V_s/L_T \quad (26)$$

$$\text{dans laquelle } q_T = \pi C_{1T}N \quad (27)$$

en désignant par N le nombre de paires d'électrodes du transducteur.

D'après les équations (5) et (26), le rapport L_T/L_R doit satisfaire l'équation suivante :

$$\frac{L_T}{L_R} = \frac{1 - C_{2T} - C_{1T} - C_{1T}/(0,7q_T^2 + 0,56q_T + 0,43)}{1 - C_{2R}} \quad (28)$$

afin que la fréquence centrale f_R des réflecteurs coïncide avec la fréquence centrale f_T du transducteur. Lorsque le substrat 11 consiste en un substrat de quartz en coupe ST, et lorsque les électrodes sont constituées par une couche mince d'aluminium, on a :

$$C_{2R} \approx 4,33 \times 10^{-4} + 4,23 \times 10^{-2}(h_{mR}/L_R) + 7,9(h_{mR}/L_R)^2 + 10,8(h_{gR}/L_R)^2 + 18,5(h_{mR}/L_R)(h_{gR}/L_R) \quad (29)$$

$$C_{2T} \approx 4,33 \times 10^{-4} + 4,23 \times 10^{-2}(h_{mT}/L_T) + 7,9(h_{mT}/L_T)^2 + 10,8(h_{gT}/L_T)^2 + 18,5(h_{mT}/L_T)(h_{gT}/L_T) \quad (30)$$

et

$$C_{1T} = 6,25 \times 10^{-4} + 0,12(h_{mT}/L_T) + 0,172(h_{gT}/L_T) \quad (31)$$

Ces valeurs résultent des expériences effectuées par les inven-

teurs.

Du fait que la période L_R ou L_T des électrodes est presque égale à la longueur d'onde λ des ondes acoustiques de surface, on peut récrire les équations (29), (30) et (31) sous la forme :

$$C_{2R} \simeq 4,33 \times 10^{-4} + 4,23 \times 10^{-2}(h_{mR}/\lambda) + 7,9(h_{mR}/\lambda)^2 + 10,8(h_{gR}/\lambda)^2 + 18,5(h_{mR}/\lambda)(h_{gR}/\lambda) \quad (32)$$

$$C_{2T} \simeq 4,33 \times 10^{-4} + 4,23 \times 10^{-2}(h_{mT}/\lambda) + 7,9(h_{mT}/\lambda)^2 + 10,8(h_{gT}/\lambda)^2 + 18,5(h_{mT}/\lambda)(h_{gT}/\lambda) \quad (33)$$

et

$$C_{1T} \simeq 6,25 \times 10^{-4} + 0,12(h_{mT}/\lambda) + 0,172(h_{gT}/\lambda) \quad (34)$$

En reportant les équations (27), (32), (33) et (34) dans l'équation (28) et en reportant en outre le nombre N de paires d'électrodes du transducteur, l'épaisseur h_{mR} des électrodes d'aluminium dans les réflecteurs, la profondeur h_{gR} des sillons, et l'épaisseur h_{mT} des électrodes d'aluminium et la profondeur h_{gT} des sillons dans le transducteur, on peut obtenir le rapport L_T/L_R nécessaire. Du fait que C_{2R} , C_{2T} et C_{1T} sont de l'ordre de 10^{-3} , le rapport L_T/L_R est légèrement inférieur à l'unité.

Il est cependant extrêmement difficile en pratique de déterminer exactement le rapport L_T/L_R conformément à l'équation (28) et il n'est pas obligatoire de le faire. Lorsqu'on a $G_a/G_N \geq 1$ à la fréquence centrale f_R , comme il est représenté sur la figure 4B, les caractéristiques des résonateurs peuvent être considérablement améliorées comme on va maintenant le décrire en détail.

Les équations (11), (18), (23) et (24) permettent d'obtenir deux racines η_1 et η_2 qui rendent le rapport G_a/G_N égal à l'unité, et ces racines s'expriment de la façon suivante :

$$\eta_1 = 0 \quad (35)$$

et

$$\eta_2 \simeq -1/(0,35q_T^2 + 0,3q_T + 0,2) \quad (36)$$

Les équations (20), (21), (35) et (36) permettent d'obtenir les fréquences f_1 et f_2 pour lesquelles $G_a/G_N = 1$. On a ainsi :

$$f_1 = (1 - C_{2T} - C_{1T}) V_S / L_T \quad (37)$$

5 et

$$f_2 = (1 - C_{2T} - C_{1T} - C_{1T} / (0,35q_T^2 + 0,3q_T + 0,2)) V_S / L_T \quad (38)$$

Par conséquent, la plage de fréquence pour laquelle $G_a/G_N \geq 1$ s'exprime par la relation suivante :

$$(1 - C_{2T} - C_{1T} - C_{1T} / (0,35q_T^2 + 0,3q_T + 0,2)) V_S / L_T \leq f \leq (1 - C_{2T} - C_{1T}) \times V_S / L_T \quad (39)$$

10

On peut déterminer le rapport L_T/L_R par la condition selon laquelle la fréquence centrale f_R des réflecteurs, donnée par l'équation (5), est comprise dans la plage de fréquence donnée par l'équation (39), c'est-à-dire :

$$15 \quad \frac{1 - C_{2T} - C_{1T} - C_{1T} / (0,35q_T^2 + 0,3q_T + 0,2)}{1 - C_{2R}} \leq L_T / L_R \leq \frac{1 - C_{2T} - C_{1T}}{1 - C_{2R}} \quad (40)$$

Il en résulte donc que lorsque le rapport L_T/L_R est déterminé conformément à l'équation (40), la condition

$G_a/G_N \geq 1$ est satisfaite à la fréquence centrale f_R du réflecteur. On peut donc réaliser un résonateur à ondes

20 acoustiques de surface ayant une faible résistance de résonance.

Une valeur optimale obtenue par l'équation (26) satisfait naturellement l'équation (40).

On va maintenant décrire les critères de conception pour la détermination de la distance ou de l'écartement entre le transducteur 14 et les réflecteurs 12 et 13, lorsque le rapport L_T/L_R est déterminé sur la base de l'équation (40). On décrira tout d'abord la condition de résonance d'un résonateur à ondes acoustiques de surface du type cavité. La condition de résonance s'exprime par la relation suivante :

$$2 \pi (N + \frac{11}{\lambda} + \frac{12}{\lambda}) - \phi_R - \phi_T = m \pi \quad (41)$$

- dans laquelle : l_1 et l_2 désignent la distance entre l'axe de l'électrode la plus intérieure du réflecteur 12 ou 13 et l'axe de l'électrode la plus extérieure du transducteur 14, c'est-à-dire la distance ou l'écartement entre le transducteur 14 et les réflecteurs 12 et 13, comme il est représenté sur la figure 5 ;
- ϕ_R est le déphasage des ondes de surface lorsqu'elles sont réfléchies ;
- ϕ_T est le déphasage des ondes de surface lorsqu'elles se propagent dans le transducteur ; et
- m est un entier positif.
- On sait que ϕ_R devient égal à $\pi/2$ à la fréquence centrale f_R du réflecteur 12 ou 13. Le déphasage du transducteur 14 s'obtient de la manière suivante. Conformément à la Référence (I), le coefficient de transmission du transducteur 14 comportant un nombre N de paires de doigts ou d'électrodes s'exprime par la relation suivante :

$$T = (1 - p^2)/(e^2 - p^2/e^2) \quad (42)$$

dans laquelle p et e sont respectivement donnés par les équations (8) et (11). Par conséquent, le déphasage ϕ_T s'exprime par la relation suivante :

$$\phi_T = \text{tg}^{-1}(\text{Im}(T)/\text{Re}(T)) \quad (43)$$

dans laquelle $\text{Im}(T)$ est la partie imaginaire de T , et $\text{Re}(T)$ est la partie réelle de T .

- Le déphasage $\phi_T(f_T)$ du transducteur a sa fréquence centrale f_T s'obtient à partir des équations (23), (24), (25), (42) et (43) et sa valeur approchée est donnée par l'équation :

$$\phi_T(f_T) \simeq (0,3 + 0,55 q_T) \pi \quad (44)$$

- En reportant l'équation (41) dans l'équation (44), on obtient la relation suivante pour la condition de résonance à la fréquence $f_R (= f_T)$:

$$l_1 + l_2 \approx ((5n + 4)/10 + 0,28 q_T) \lambda \quad (45)$$

en désignant par n un entier positif.

De plus, on doit choisir les écartements l_i de façon que la charge électrique induite par l'onde acoustique de surface soit captée efficacement par les doigts d'électrodes du transducteur. Par conséquent, la condition la plus souhaitable pour l_i s'exprime par la relation :

$$l_i = ((5n_i + 4)/20 + 0,14 q_T) \lambda \quad (46)$$

dans laquelle n_i est un entier positif et $i = 1$ ou 2 .

n et n_2 doivent être tous deux pairs ou impairs, mais ils ne sont pas obligatoirement égaux.

En pratique, on peut obtenir des caractéristiques de résonance satisfaisantes même lorsqu'on fait varier l_1 et l_2 sur une plage relativement étendue à partir de la valeur fournie par l'équation (46). Par conséquent, on peut choisir les valeurs de l_i de façon à permettre de réaliser de la manière la plus simple les motifs pour les masques destinés à la formation des électrodes.

La figure 6 montre les relations entre l'écartement entre le récepteur et le transducteur, et la caractéristique de résonance lorsque $l_1 = l_2$ et $n_1 = n_2 = 3$. Les courbes en trait continu montrent les caractéristiques des résonateurs à ondes acoustiques de surface conformes à l'invention, tandis que les courbes en pointillés montrent celles des résonateurs à ondes acoustiques de surface de l'art antérieur. La valeur normalisée l/λ (avec $l = l_1 = l_2$) est portée en abscisse ; le facteur Q et le rapport de capacité Υ sont portés en ordonnée du côté gauche ; et le facteur de mérite M_f est porté en ordonnée du côté droit. M_f et Υ sont définis par les relations :

$$M_f = 1/\omega_o C_o R_1$$

$$\Upsilon = C_o/C_1$$

dans lesquelles: ω_o est la pulsation de résonance ;

C_o est la capacité parallèle ;

R_1 est la résistance de résonance ; et

C_1 est la capacité série équivalente.
Le tableau 1 présente les critères de conception.

TABLEAU 1

	Substrat	Electrode	M	N	h_m/λ	h_g/λ
5	quartz en coupe ST	aluminium	210	80	0,008	0,017

Remarques: M = nombre d'électrodes dans un réflecteur,
N = nombre de paires de doigts d'électrodes dans un transducteur, et

10 h_m/λ et h_g/λ ont la même valeur dans le réflecteur et le transducteur.

Les équations (32), (33), (34), et (27), donnent :

$$C_{2R} = C_{2T} = 6,91 \times 10^{-3}$$

$$C_{1T} = 4,51 \times 10^{-3}$$

15 $q_T = 1,133$

En reportant ces valeurs dans l'équation (4), on obtient :

$$0,9908 \leq L_T/L_R \leq 0,9955 \quad (48)$$

L'équation (28) donne une valeur optimale, c'est-à-dire :

$$L_T/L_R = 0,993 \quad (49)$$

20 Le résonateur à ondes acoustiques de surface conforme à l'invention dont les courbes caractéristiques sont représentées en trait continu sur la figure 6 satisfait l'équation (40). Les valeurs des constantes équivalentes sont calculées à partir de la caractéristique d'admittance, qui
25 est mesurée aux bornes 15 et 15' de la figure 5. Dans ce cas, l'atténuation de propagation des ondes acoustiques de surface est prise en considération dans le calcul et la constante d'atténuation α_λ par longueur d'onde est prise égale à :

30 $\alpha_\lambda = 2 \times 10^{-4} \quad (50)$

Les symboles X sur la figure 6 correspondent à des résultats expérimentaux pour Q, M_f et Y d'un résonateur à ondes

acoustiques de surface à 145 MHz qui est décrit en détail ci-après. La figure 6 montre que les caractéristiques des résonateurs à ondes acoustiques de surface conformes à l'invention sont améliorées sur une plage étendue de $1/\lambda$, en comparaison du résonateur à ondes acoustiques de surface de l'art antérieur.

La figure 7 montre la relation entre le rapport L_T/L_R et les caractéristiques du résonateur à ondes acoustiques de surface conforme à l'invention, ainsi que les critères de conception présentés dans le tableau 1, lorsque $l = l_1 = l_2 = 1,0 \lambda$. On voit que lorsque le rapport L_T/L_R est compris dans la plage donnée par l'équation (40), on obtient des caractéristiques excellentes et uniformes.

On va maintenant décrire un exemple de fabrication d'un résonateur à ondes acoustiques de surface à 145 MHz, avec les critères de conception donnés par le tableau 1. Le tableau 2 indique sa configuration d'électrodes.

TABLEAU 2

M	L_R (μm)	N (paires)	L_T (μm)	L_T/L_R	W (μm)	l (μm)
210	21,60	80	21,44	0,9926	880	21,62

Remarques: W est la longueur des doigts des électrodes. Le rapport $L_T/L_R = 0,9926$ satisfait l'équation (48). On forme des électrodes d'aluminium à la surface d'un substrat de quartz en coupe ST, par un traitement de dépôt et de photo-gravure, et on forme les sillons par attaque du substrat au moyen d'un traitement d'attaque par plasma faisant intervenir le gaz CF_4 . La vitesse d'attaque de l'aluminium est inférieure au vingtième de celle du quartz, et les électrodes d'aluminium peuvent être utilisées comme masque pour la formation des sillons.

Sur la figure 8, les courbes en trait continu montrent la dépendance, vis-à-vis de la profondeur des sillons, des caractéristiques de résonance obtenues par le

calcul, tandis que les résultats obtenus dans les expériences effectuées dans l'atmosphère sont indiquées par \odot et \bullet . Dans le cas des critères de conception qui sont indiqués dans le tableau 1, on a $h_g/\lambda = 0,017$ et les caractéristiques de résonance varient très peu au voisinage de cette valeur. Après formation des sillons, les résonateurs sont scellés sous vide. On a également porté sur la figure 8 les résultats expérimentaux sous vide, désignés par les symboles X, qui correspondent aux résultats expérimentaux indiqués sur la figure 6.

Le tableau 3 compare le résonateur à ondes acoustiques de surface de l'invention et le résonateur à ondes acoustiques de surface de l'art antérieur.

TABLEAU 3

	M	N (paires)	Q	R_1 en Ω	γ	M_f	Fréquence de résonance en MHz
invention (1)	210	80	29 600	21,2	1.830	16,2	145 (environ)
art antérieur (2)	1 000	80	22 000	38,2	2.550	8,6	145
art antérieur (3)	300	80	17 400	55,4	2 580	6,7	130

Remarques: (1) $h_m/\lambda = 0,008$ et $h_g/\lambda = 0,0175$

(2) électrodes d'aluminium seulement et $h_m/\lambda \approx 0,08$

(3) électrodes d'aluminium et sillons et : $h_m/\lambda = 0,01$ et $h_g/\lambda = 0,016$.

Le tableau 3 montre que le résonateur à ondes acoustiques de surface conforme à l'invention a d'excellentes caractéristiques, bien qu'il ait un nombre d'électrodes de réflecteur (M) inférieur à celui des résonateurs de l'art antérieur.

Dans certains cas, pour les besoins de la fabrication des masques, il est préférable que l'épaisseur h_{mR} des électrodes de réflecteur soit différente de l'épaisseur h_{mT}

des électrodes de transducteur, et également que la profondeur h_{gR} des sillons de réflecteur soit différente de la profondeur h_{gT} des sillons de transducteur. Par exemple, dans le cas d'un résonateur à 200 MHz avec un substrat en quartz en coupe ST, la longueur d'onde est approximativement de $15,8 \mu\text{m}$. Par conséquent, lorsque le rapport entre la largeur des doigts d'électrodes et l'écartement est égal à l'unité, la largeur des doigts (égale à l'écartement) est : $\lambda/4 = 3,95 \mu\text{m}$. On supposera qu'on utilise un masque original à l'échelle 20 et que la tolérance d'alignement soit de un micron. La largeur de doigt sur le motif d'électrodes réel peut alors être réglée par valeurs discrètes de $1/20 \mu\text{m}$, c'est-à-dire par incréments de $0,05 \mu\text{m}$. De ce fait, lorsque la largeur de doigt des électrodes de réflecteur est de $3,95 \mu\text{m}$, la largeur de doigt des électrodes de transducteur peut être de $3,90$, $3,85 \mu\text{m}$, et ainsi de suite. Lorsqu'on choisit la largeur de doigt de $3,90 \mu\text{m}$ pour les électrodes de transducteur, on a $L_T/L_R = 0,987$. Si on utilise les critères de conception indiqués dans le tableau 1, le rapport L_T/L_R considéré ci-dessus n'est pas à l'intérieur de la plage donnée par l'équation (48), c'est-à-dire que le rapport ne satisfait pas une condition optimale déterminée conformément à l'invention. On peut cependant parvenir à une condition optimale lorsque le réflecteur et le transducteur ont des épaisseurs d'électrodes différentes et des profondeurs de sillons différentes, comme il est décrit en détail ci-après.

Dans un autre mode de réalisation, représenté sur la figure 9, les électrodes de transducteur ont la même épaisseur que les électrodes de réflecteur, mais la profondeur des sillons de transducteur est différente de la profondeur des sillons de réflecteur. Par exemple, les électrodes d'aluminium ont la même épaisseur, c'est-à-dire $h_{mR} = h_{mT} = (h_m) = 0,008 \lambda$; et la profondeur h_{gT} des sillons de transducteur est de $0,022 \lambda$, tandis que la profondeur h_{gR} est de $0,013 \lambda$.

En reportant ces valeurs dans l'équation (40), on a :

$$0,985 \leq L_T/L_R = 0,990$$

Ainsi, le rapport $L_T/L_R = 0,987$ satisfait l'équation (40).

La figure 10 montre les caractéristiques de résonance du mode de réalisation qui est représenté sur la figure 9. On voit que le mode de réalisation de la figure 9 présente des caractéristiques de résonance presque similaires à celles représentées sur la figure 6.

On va maintenant considérer la figure 11 pour décrire un autre mode de réalisation de l'invention, dans lequel la période des électrodes est la même dans le transducteur et dans les réflecteurs, mais dans lequel les électrodes de transducteur et de réflecteur ont des épaisseurs différentes, c'est-à-dire $h_{mT} \neq h_{mR}$, et il n'y a pas de sillons, c'est-à-dire $h_g = 0$. On suppose que $M = 210$; $N = 80$, $h_{mR} = 0,023 \lambda$; $h_{mT} = 0,01 \lambda$; et $h_g = 0$. L'équation (40) donne alors :

$$0,9976 \leq L_T/L_R \leq 1,002$$

Il est donc possible de rendre L_T égal à L_R .

La figure 12 montre les caractéristiques de résonance de ce mode de réalisation. On voit que ses caractéristiques sont excellentes en comparaison du résonateur à ondes acoustiques de surface de l'art antérieur.

On va maintenant considérer les figures 13 et 14 pour décrire un quatrième mode de réalisation de l'invention, c'est-à-dire un résonateur à ondes acoustiques de surface du type à deux accès. Comme pour les résonateurs à ondes acoustiques de surface à un seul accès décrits précédemment, la fréquence centrale des réflecteurs 42 et 43 coïncide avec celle des transducteurs 44 et 46. Ainsi, L_T et L_R sont déterminés à partir de l'équation (40). L'écartement entre les réflecteurs 42 et 43 et les transducteurs 44 et 46 est déterminé de façon à satisfaire la relation (51) ci-dessous :

$$\frac{10n+11}{20} L_t \leq l_1 + l_2 + l_3 \leq \left(\frac{10n+11}{20} + 0,6 \right) L_T \quad (51)$$

dans laquelle : l_1 est l'écartement entre le transducteur 44 et le réflecteur 42 ;

l_2 est l'écartement entre le transducteur 46 et le réflecteur 43 ; et

l_3 est l'écartement entre les transducteurs 44 et 46.

5 Par conséquent, la somme des écartements devient :

$$(0,5n + 0,55) L_T \leq 1 \leq (0,5n + 1,15) L_T \quad (51')$$

La figure 15 montre les caractéristiques de résonance du résonateur à ondes acoustiques de surface à deux accès qui est représenté sur les figures 13 et 14, lorsque

10 $h_{mR} = h_{mT} = 0,008 \lambda$, $h_{gR} = h_{gT} = 0,017 \lambda$, $N_1 = N_2$, les nombres de paires de doigts d'électrodes dans les transducteurs 44 et 46 sont égaux à 80, $l_1 = l_2 = 1,0 \lambda$ et $l_3 = 4,0 \lambda$. On voit que les caractéristiques de résonance sont très supérieures à celles du résonateur à ondes acoustiques de surface à deux accès de l'art antérieur, dans lequel $L_T/L_R =$
15 $1,0$ et $l_1 = l_2 = 7/8 \lambda$.

On peut faire en sorte que les résonateurs à ondes acoustiques de surface de l'invention aient une taille très réduite et soient légers. De ce fait, on peut
20 les monter en deux points, de façon que les efforts dûs au montage du substrat soient négligeables, comme on va le décrire en détail en considérant la figure 16. Un résonateur désigné globalement par la référence 56 est constitué par un substrat piézoélectrique 51, des réflecteurs
25 52 et 53 et un transducteur 54 formés sur une surface du substrat 51. Des bornes sont disposées aux points médians des grands côtés et des broches de sortie 58 et 58' sortent d'une embase 57 et sont respectivement connectées aux bornes 55 et 55' par des fils de connexion 59 et 59'. Les fils
30 de connexion 59 et 59' sont reliés aux bornes 55 et 55' par une pâte conductrice de l'électricité ou par une technique de soudage appropriée. Le résonateur 56 est ainsi supporté en deux points (55, 55') par les fils de connexion 59 et 59'. Le résonateur 56 et les fils de connexion 59 et 59'
35 sont scellés dans un boîtier hermétique 60.

Du fait que les résonateurs conformes à l'invention peuvent être réalisés de façon à avoir une taille réduite et à être légers, comme décrit précédemment, on peut les

monter en deux points seulement, comme le montre la figure 16. De ce fait, ils présentent une résistance élevée aux vibrations et aux chocs. En outre, on peut améliorer le vieillissement de la fréquence. De plus, on peut employer pour le boîtier 60 les boîtiers de faible taille qui sont fabriqués en grande série, c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire d'employer un boîtier conçu spécialement. Il en résulte que les résonateurs à ondes acoustiques de surface conformes à l'invention peuvent être fabriqués à moindre coût.

On peut obtenir des avantages importants en appliquant les résonateurs à ondes acoustiques de surface conformes à l'invention à des oscillateurs et des filtres de faible taille fonctionnant dans les bandes métrique et décimétrique.

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

REVENDECATIONS

1. Résonateur à ondes acoustiques de surface du type comportant une paire de réflecteurs d'ondes acoustiques de surface qui sont séparés mutuellement d'une distance appropriée sur un substrat piézoélectrique, chacun d'eux comprenant une structure d'électrodes du type réseau et un réseau périodique de sillons ; et un transducteur d'ondes acoustiques de surface qui est intercalé entre les deux réflecteurs d'ondes acoustiques de surface et qui
 10 consiste en une structure d'électrodes interdigitées et en un réseau périodique de sillons, caractérisé en ce que la période L_T des électrodes du transducteur d'ondes acoustiques de surface et la période L_R des électrodes des réflecteurs d'ondes acoustiques de surface sont choisies de façon
 15 à satisfaire la relation suivante :

$$\frac{1 - C_{2T} - C_{1T} - C_{1T} / (0,35q_T^2 + 0,3q_T + 0,2)}{1 - C_{2R}} \leq L_T / L_R \leq \frac{1 - C_{2T} - C_{1T}}{1 - C_{2R}}$$

dans laquelle :

C_{1T} : est le terme de désadaptation acoustique à la frontière entre la partie munie d'électrodes et la partie
 20 dépourvue d'électrodes du transducteur d'ondes acoustiques de surface et ce terme est donné par la relation :

$C_{1T} = |1 - Z_2 / Z_1| / \pi$, dans laquelle :
 Z_2 est l'impédance acoustique de la partie munie
 25 d'électrodes, et
 Z_1 est l'impédance acoustique de la partie dépourvue d'électrodes ;

C_{2T} : est la diminution de fréquence due à la structure périodique du transducteur d'ondes acoustiques de surface ;
 30

C_{2R} : est la diminution de fréquence due à la structure périodique du réflecteur d'ondes acoustiques de surface ; et

$q_T = \pi C_{1T} N$, en désignant par N le nombre de paires de
 35 doigts d'électrodes dans le transducteur d'ondes acoustiques de surface.

2. Résonateur à ondes acoustiques de surface selon la revendication 1, caractérisé en ce que le substrat piézoélectrique consiste en un substrat en quartz en coupe ST ; les électrodes des réflecteurs et du transducteur d'ondes acoustiques de surface sont en aluminium ; et les paramètres C_{2R} , C_{2T} et C_{1T} sont respectivement donnés par les équations suivantes :

$$C_{2R} \approx 4,33 \times 10^{-4} + 4,23 \times 10^{-2} (h_{mR}/L_R) + 7,9 (h_{mR}/L_R)^2 + 10,8 (h_{gR}/L_R)^2 + 18,5 (h_{mR}/L_R) (h_{gR}/L_R)$$

$$C_{2T} \approx 4,33 \times 10^{-4} + 4,23 \times 10^{-2} (h_{mT}/L_T) + 7,9 (h_{mT}/L_T)^2 + 10,8 (h_{gT}/L_T)^2 + 18,5 (h_{mT}/L_T) (h_{gT}/L_T)$$

$$C_{1T} = 6,25 \times 10^{-4} + 0,12 (h_{mT}/L_T) + 0,172 (h_{gT}/L_T)$$

dans lesquelles :

h_{mR} : est l'épaisseur des électrodes dans les réflecteurs d'ondes acoustiques de surface ;

h_{gR} : est la profondeur des sillons dans les réflecteurs d'ondes acoustiques de surface ;

h_{mT} : est l'épaisseur des électrodes dans le transducteur d'ondes acoustiques de surface ; et

h_{gT} : est la profondeur des sillons dans le transducteur d'ondes acoustiques de surface.

3. Résonateur à ondes acoustiques de surface selon la revendication 2, caractérisé en ce que la profondeur h_{gR} des sillons des réflecteurs d'ondes acoustiques de surface et/ou la profondeur h_{gT} des sillons du transducteur d'ondes acoustiques de surface sont égales à zéro.

4. Résonateur à ondes acoustiques de surface selon l'une quelconque des revendications 1, 2 ou 3, caractérisé en ce que l'écartement l_1 entre le transducteur d'ondes acoustiques de surface et l'un des deux réflecteurs d'ondes acoustiques de surface, et l'écartement l_2 entre le transducteur d'ondes acoustiques de surface et l'autre réflecteur d'ondes acoustiques de surface sont déterminés par l'équation suivante :

$$l_i = \left(\frac{5n_i + 4}{20} + 0,14q_T \right) \lambda$$

dans laquelle : n_i est un entier positif ; et
 $i = 1$ et 2

- 5 Résonateur à ondes acoustiques de surface à
 5 deux accès du type comportant une paire de réflecteurs
 d'ondes acoustiques de surface qui sont mutuellement séparés d'une distance appropriée sur un substrat piézoélectrique, chacun d'eux étant constitué par une structure d'électrodes du type réseau et par un réseau périodique de sillons;
 10 lons; et deux transducteurs d'ondes acoustiques de surface qui sont intercalés entre les deux réflecteurs
 d'ondes acoustiques de surface, chacun d'eux comprenant une structure d'électrodes interdigitées et un réseau périodique de sillons, caractérisé en ce que la période
 15 L_T des électrodes des transducteurs d'ondes acoustiques de surface et la période L_R des électrodes des réflecteurs d'ondes acoustiques de surface sont choisies de façon à satisfaire la relation suivante :

$$\frac{1 - C_{2T} - C_{1T} - C_{1T} / (0,35q_T^2 + 0,3q_T + 0,2)}{1 - C_{2R}} \leq L_T / L_R \leq \frac{1 - C_{2T} - C_{1T}}{1 - C_{2R}}$$

- 20 dans laquelle :

C_{1T} : est le terme de désadaptation acoustique à la frontière entre la partie munie d'électrodes et la partie dépourvue d'électrodes du transducteur d'ondes acoustiques de surface et ce terme est donné par la relation :

- 25 $C_{1T} = \left| 1 - Z_2 / Z_1 \right| / \pi$, dans laquelle :

Z_2 est l'impédance acoustique de la partie munie d'électrodes, et

- 30 Z_1 est l'impédance acoustique de la partie dépourvue d'électrodes ;

C_{2T} : est la diminution de fréquence due à la structure périodique du transducteur d'ondes acoustiques de surface ;

C_{2R} : est la diminution de fréquence due à la structure pé-

riodique du réflecteur d'ondes acoustiques de surface; et

$q_T = \pi C_{1T} N$, en désignant par N le nombre de paires de doigts d'électrodes dans chacun des transducteurs d'ondes acoustiques de surface.

6. Résonateur à ondes acoustiques de surface à deux accès selon la revendication 5, caractérisé en ce que le substrat piézoélectrique consiste en un substrat de quartz en coupe ST; les électrodes des transducteurs et des réflecteurs d'ondes acoustiques de surface sont en aluminium; et les paramètres C_{2R} , C_{2T} et C_{1T} sont respectivement donnés par les relations suivantes :

$$C_{2R} \simeq 4,33 \times 10^{-4} + 4,23 \times 10^{-2} (h_{mR}/L_R) + 7,9 (h_{mR}/L_R)^2 \\ + 10,8 (h_{gR}/L_R)^2 + 18,5 (h_{mR}/L_R) (h_{gR}/L_R)$$

$$C_{2T} \simeq 4,33 \times 10^{-4} + 4,23 \times 10^{-2} (h_{mT}/L_T) + 7,9 (h_{mT}/L_T)^2 \\ + 10,8 (h_{gT}/L_T)^2 + 18,5 (h_{mT}/L_T) (h_{gT}/L_T)$$

$$C_{1T} = 6,25 \times 10^{-4} + 0,12 (h_{mT}/L_T) + 0,172 (h_{gT}/L_T)$$

dans lesquelles :

h_{mR} : est l'épaisseur des électrodes dans les réflecteurs d'ondes acoustiques de surface ;

h_{gR} : est la profondeur des sillons dans les réflecteurs d'ondes acoustiques de surface ;

h_{mT} : est l'épaisseur des électrodes dans les transducteurs d'ondes acoustiques de surface ; et

h_{gT} : est la profondeur des sillons dans les transducteurs d'ondes acoustiques de surface.

7. Résonateur à ondes acoustiques de surface à deux accès selon l'une quelconque des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que l'écartement l_1 entre l'un des deux réflecteurs d'ondes acoustiques de surface et l'un des deux transducteurs d'ondes acoustiques de surface, l'écartement l_2 entre l'autre réflecteur d'ondes acoustiques de surface et l'autre transducteur d'ondes acoustiques de surface et

l'écartement l_3 entre les deux transducteurs d'ondes acoustiques de surface sont déterminés de façon à satisfaire la relation suivante :

$$\frac{10n + 11}{20} L_T \leq l_1 + l_2 + l_3 \leq \left(\frac{10n + 11}{20} + 0,6 \right) L_T$$

5 dans laquelle n est un entier positif.

8. Résonateur à ondes acoustiques de surface, caractérisé en ce que la période L_T des électrodes d'un transducteur d'ondes acoustiques de surface et la période L_R des électrodes d'un réflecteur d'ondes acoustiques de surface ou de réflecteurs d'ondes acoustiques de surface
10 sont choisies de façon à satisfaire la relation suivante :

$$\frac{1 - C_{2T} - C_{1T} - C_{1T} / (0,35q_T^2 + 0,3q_T + 0,2)}{1 - C_{2R}} \leq L_T / L_R \leq \frac{1 - C_{2T} - C_{1T}}{1 - C_{2R}}$$

dans laquelle :

C_{1T} : est le terme de désadaptation acoustique à la frontière entre la partie munie d'électrodes et la partie
15 dépourvue d'électrodes du transducteur d'ondes acoustiques de surface et ce terme est donné par la relation :

$$C_{1T} = \left| 1 - Z_2 / Z_1 \right| / \pi, \text{ dans laquelle :}$$

20 Z_2 est l'impédance acoustique de la partie munie d'électrodes, et

Z_1 est l'impédance acoustique de la partie dépourvue d'électrodes ;

C_{2T} : est la diminution de fréquence due à la structure périodique du transducteur d'ondes acoustiques de surface ;
25

C_{2R} : est la diminution de fréquence due à la structure périodique du réflecteur d'ondes acoustiques de surface , et

30 $q_T = \pi C_{1T} N$, en désignant par N le nombre de paires de doigts d'électrodes dans le transducteur d'ondes acoustiques de surface;

une paire de bornes sont fixées pratiquement aux points

médians des grands côtés respectifs d'un substrat piézoélectrique sur lequel les réflecteurs et le transducteur d'ondes acoustiques de surface sont formés et ces bornes sont reliées électriquement au transducteur d'ondes acoustiques de surface ; des fils de connexion partant d'une embase sont reliés électriquement aux bornes respectives de la paire de bornes, grâce à quoi le substrat piézoélectrique est supporté en deux points par les fils de connexion; et le substrat piézoélectrique ainsi que les deux fils de connexion sont encapsulés dans un boîtier qui est à son tour scellé hermétiquement sur l'embase.

FIG. 1

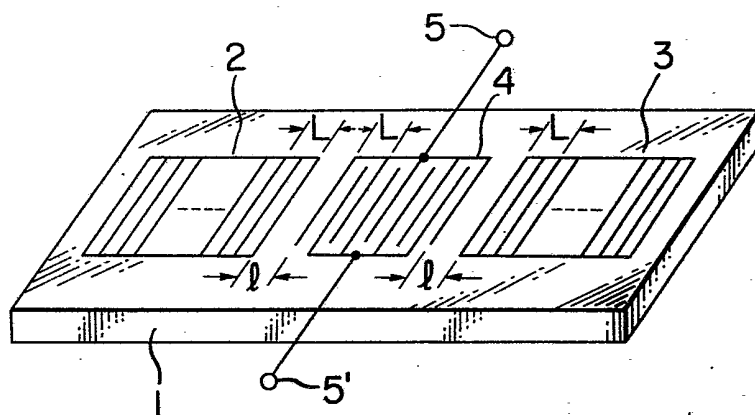


FIG. 2

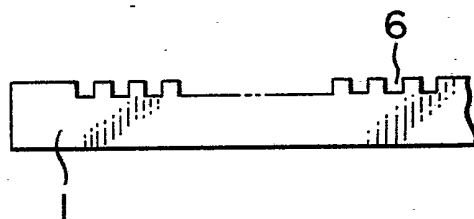


FIG. 3

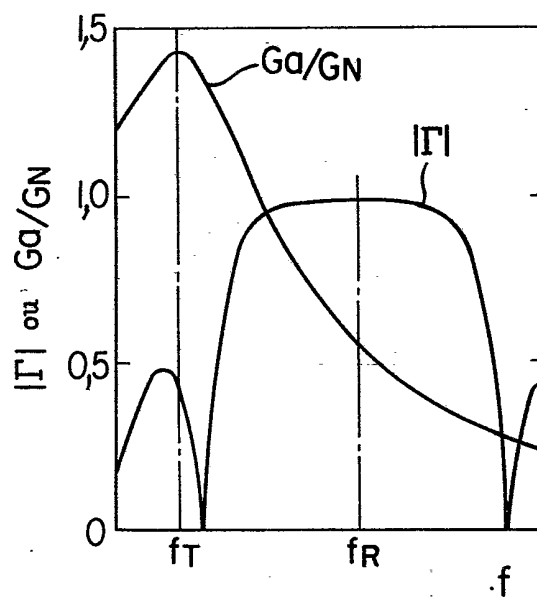


FIG. 4A

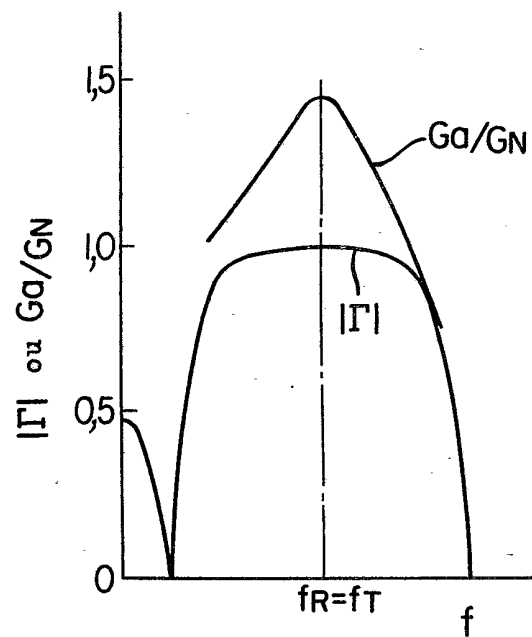


FIG. 4B

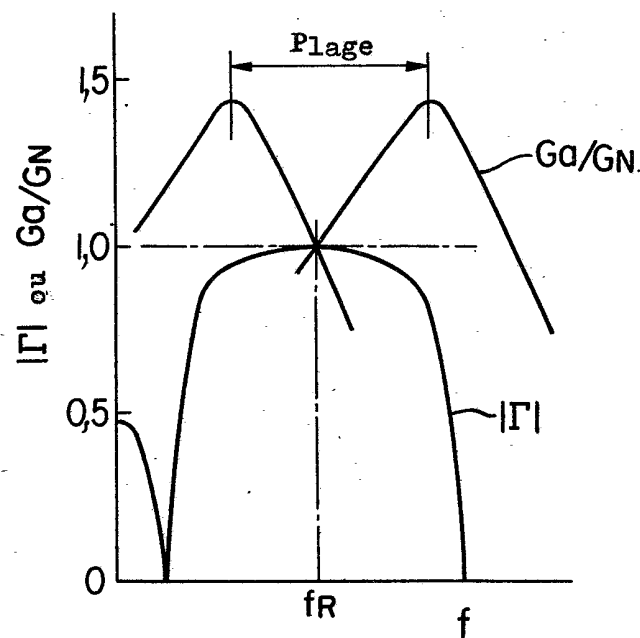


FIG. 5

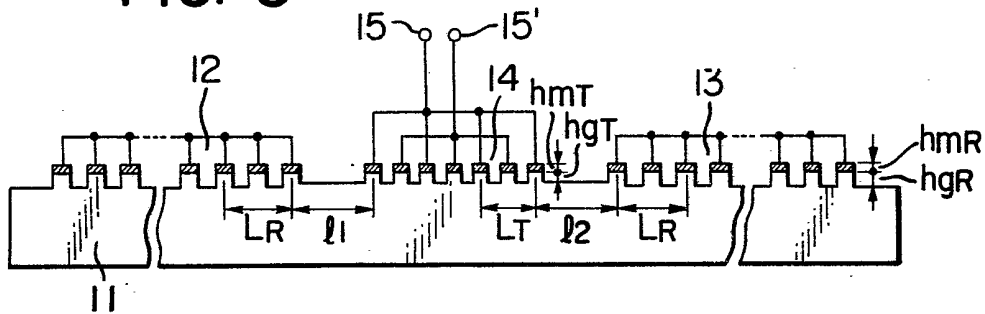


FIG. 6

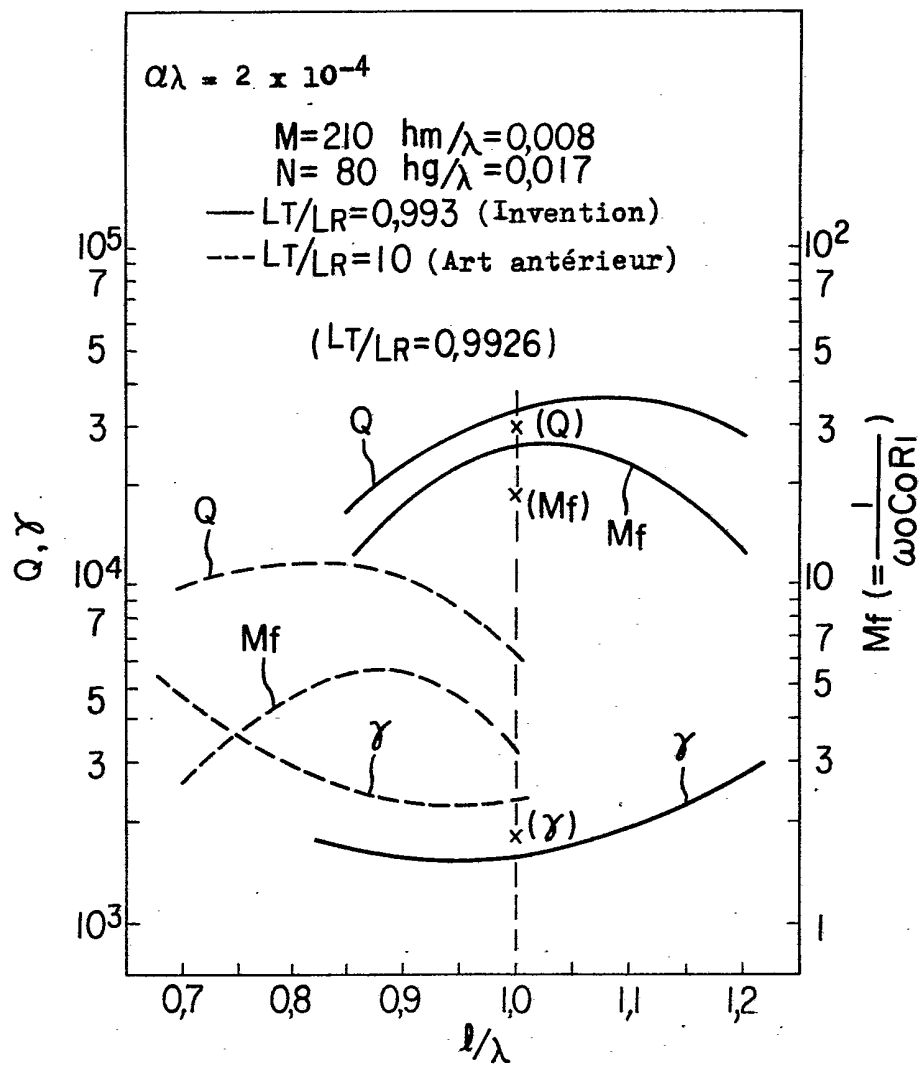


FIG. 7

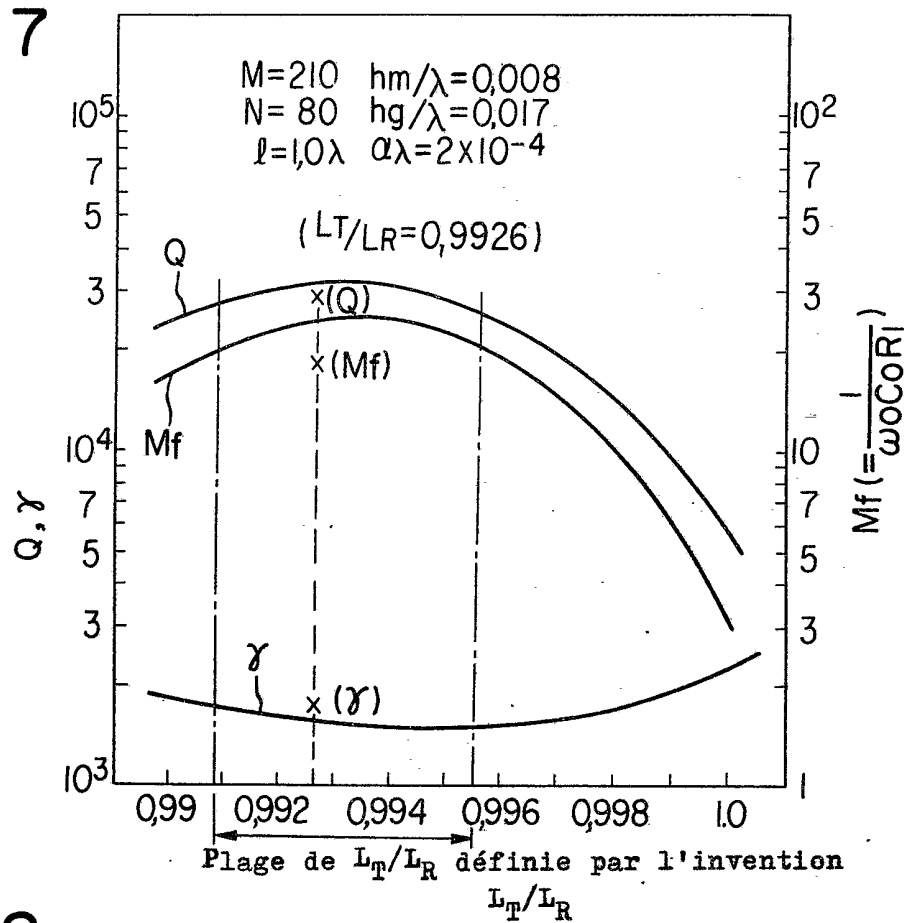


FIG. 8

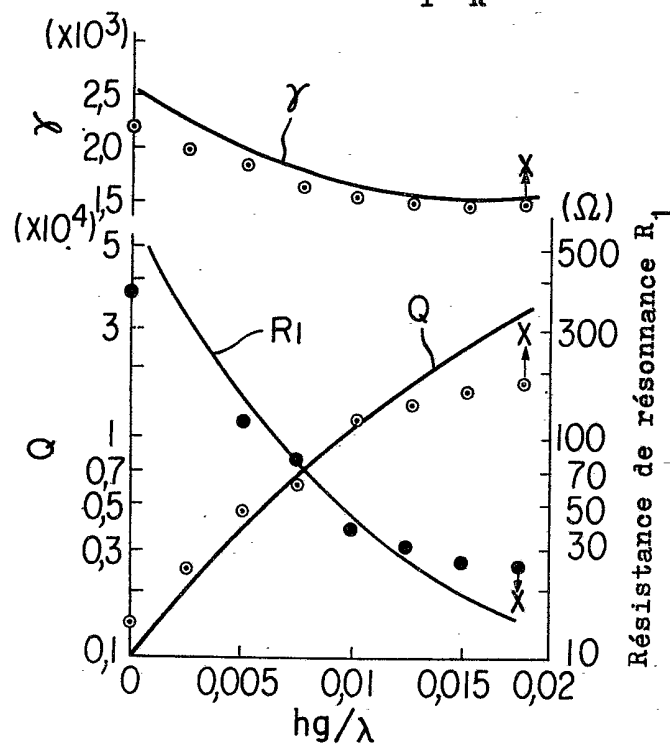


FIG. 9

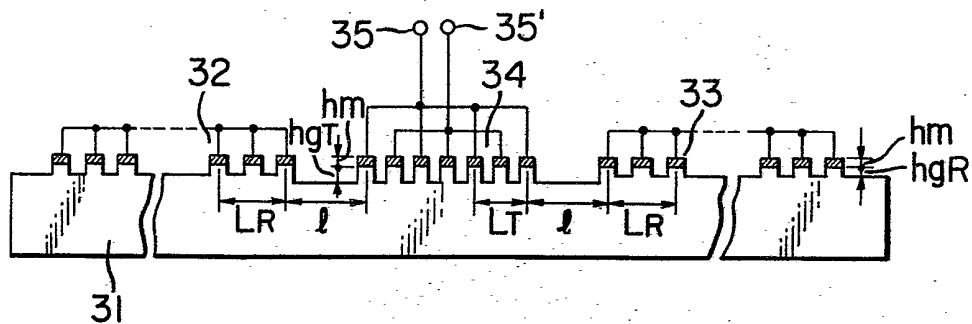
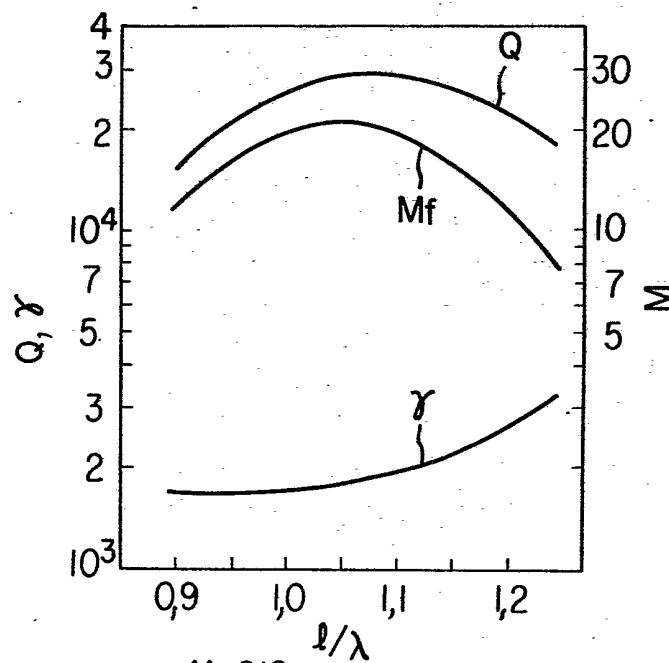


FIG. 10



$$\begin{aligned}
 M &= 210 \\
 N &= 80 \\
 LT/LR &= 0.987 \\
 \alpha\lambda &= 2 \times 10^{-4} \\
 hm/\lambda &= 0.008 \\
 (hg/\lambda)_{\text{TRANSD}} &= 0.022 \\
 (hg/\lambda)_{\text{REFL}} &= 0.013
 \end{aligned}$$

FIG. 11

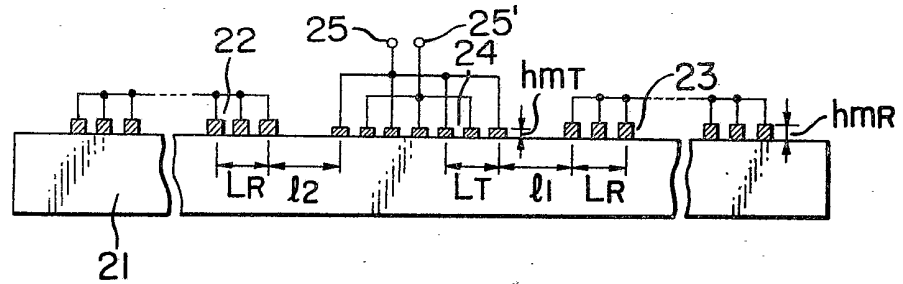


FIG. 12

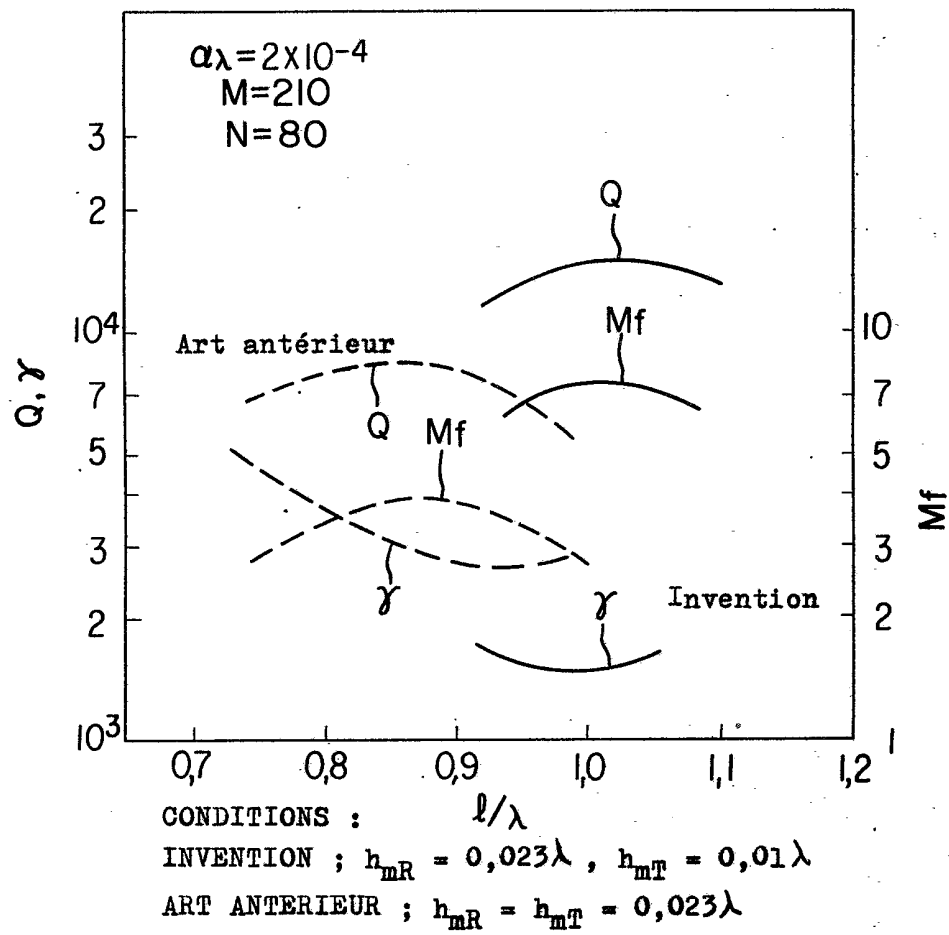


FIG. 13

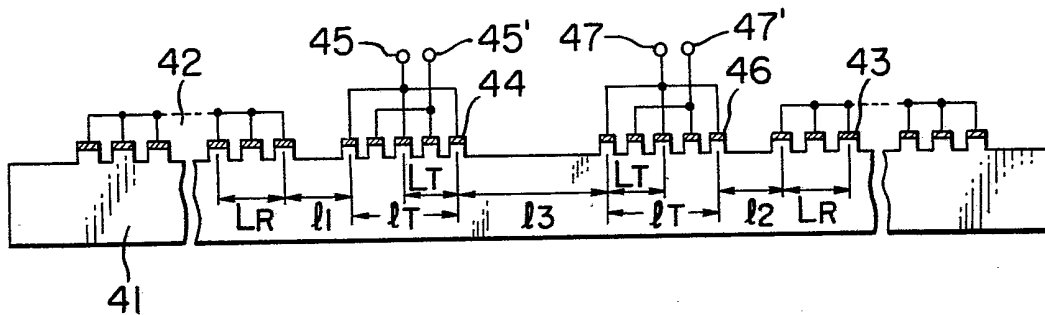


FIG. 14

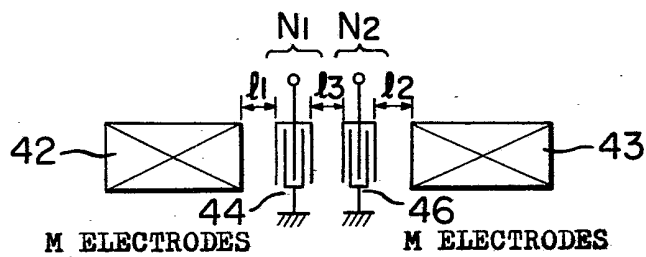


FIG. 16

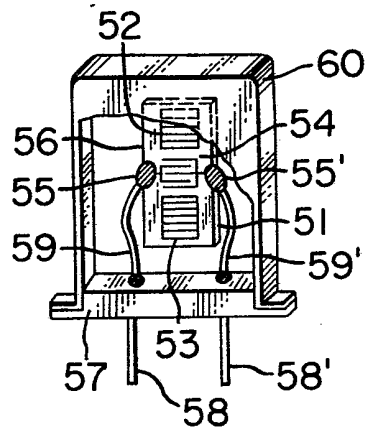
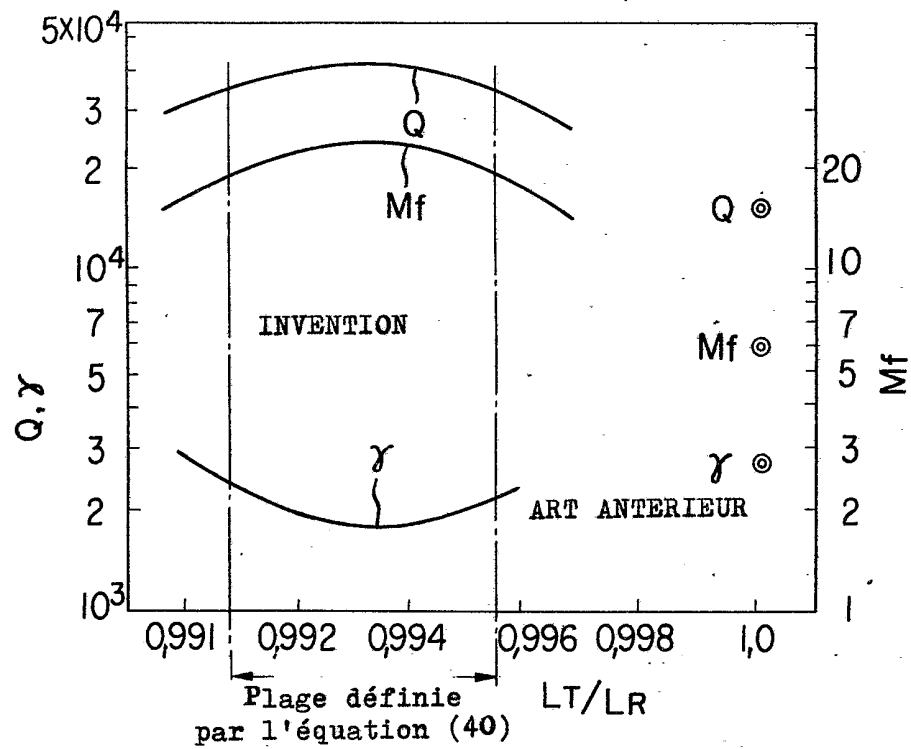


FIG. 15



CONDITIONS :

$$h_{mR} = h_{mT} = 0,008\lambda \quad h_{gR} = h_{gT} = 0,017\lambda$$

$$N_1 = N_2 = 80 \text{ PAIRES}, M = 210$$

$$l_3 = 4,0\lambda$$

$$\text{INVENTION ; } l_1 = l_2 = 1,0\lambda$$

$$\text{ART ANTERIEUR ; } l_1 = l_2 = 7/8\lambda$$