

12

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

21 Numéro de dépôt: 84201200.7

51 Int. Cl.⁴: **G 10 K 11/02**

22 Date de dépôt: 20.08.84

30 Priorité: 31.08.83 FR 8313986

43 Date de publication de la demande:
22.05.85 Bulletin 85/21

84 Etats contractants désignés:
DE FR GB SE

71 Demandeur: Laboratoires d'Electronique et de Physique Appliquée L.E.P.
3, Avenue Descartes
F-94450 Limeil-Brévannes(FR)

84 Etats contractants désignés:
FR

71 Demandeur: N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken
Groenewoudseweg 1
NL-5621 BA Eindhoven(NL)

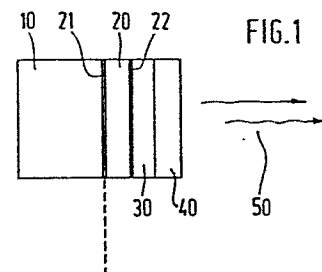
84 Etats contractants désignés:
DE GB SE

72 Inventeur: Mequio, Claude Robert
Société Civile S.P.I.D. 209 rue de l'Université
F-75007 Paris(FR)

74 Mandataire: Landousy, Christian et al,
Société Civile S.P.I.D. 209, Rue de l'Université
F-75007 Paris(FR)

54 Transducteur ultrasonore.

57 Transducteur ultrasonore comprenant un substrat (10) constituant un milieu arrière, une couche de matériau piézoélectrique et une ou plusieurs couches d'adaptation (30, 40) dont l'impédance acoustique a une valeur comprise entre celle du matériau piézoélectrique et celle du milieu avant de propagation (50). La ou les couches d'adaptation sont placées uniquement entre le matériau piézoélectrique et le milieu avant de propagation, le milieu arrière (10) a une valeur d'impédance acoustique suffisamment élevée par rapport à celle du matériau piézoélectrique pour pouvoir être considéré comme rigide, et l'épaisseur de la couche de matériau piézoélectrique est égale au quart de la longueur d'onde associée à la fréquence de résonance du transducteur.



TRANSDUCTEUR ULTRASONORE

La présente invention concerne un transducteur ultrasonore comprenant un substrat constituant un milieu arrière, une couche de matériau piézoélectrique et une ou plusieurs couches d'adaptation dont l'impédance acoustique a une valeur comprise entre celle du matériau piézoélectrique et celle d'un milieu avant de propagation.

Un transducteur ultrasonore est constitué essentiellement, de façon classique, d'un substrat constituant un milieu arrière d'absorption ou de réflexion, d'une couche de matériau piézoélectrique équipée d'électrodes sur ses faces avant et arrière et d'au moins une couche d'adaptation d'impédance acoustique, placée devant le matériau piézoélectrique, entre celui-ci et le milieu de propagation. Des transducteurs de ce type sont notamment décrits dans l'article "The effects of backing and matching on the performance of piezoelectric ceramic transducers" de G. Kossoff, paru dans la revue IEEE Transactions on sonics and ultrasonics, volume SU-13, mars 1966, pages 20 à 30. La mise en place d'une ou de plusieurs de ces couches d'adaptation a pour effet principal d'améliorer la sensibilité des transducteurs et contribue également à augmenter leur largeur de bande.

On rappellera ici que les transducteurs ultrasonores utilisés en échographie doivent réunir deux qualités principales au niveau de la transduction : non seulement une bonne sensibilité (car l'augmentation du rapport signal-sur-bruit facilite le traitement des signaux reçus) mais aussi un amortissement suffisant (car la brièveté de la réponse impulsionnelle conditionne la résolution axiale).

Le but de l'invention est de proposer un transducteur ultrasonore conciliant de façon simple les exigences de sensibilité et d'amortissement.

A cet effet une première réalisation du transducteur ultrasonore conforme à l'invention est caractérisée en ce que la ou les couches d'adaptation sont placées entre le matériau piézoélectrique et

le milieu avant de propagation, en ce que le milieu arrière a une valeur d'impédance acoustique suffisamment élevée par rapport à celle du matériau piézoélectrique pour pouvoir être considéré comme rigide, et en ce que l'épaisseur de la couche de matériau piézoélectrique est
5 égale au quart de la longueur d'onde associée à la fréquence de résonance du transducteur.

Une deuxième réalisation du transducteur ultrasonore conforme à l'invention est caractérisée en ce que les couches d'adaptation sont placées en nombre identique de part et d'autre du matériau piézo-
10 électrique, les couches situées symétriquement deux à deux ayant la même valeur d'impédance acoustique et la même épaisseur, en ce que le milieu arrière a une valeur d'impédance acoustique sensiblement égale à celle du milieu avant de propagation, et en ce que l'épaisseur de la couche de matériau piézoélectrique est égale à la moitié de la longueur d'onde
15 associée à la fréquence de résonance du transducteur, de façon que la structure soit symétrique par rapport au plan médian de la couche de matériau piézoélectrique.

Les particularités et avantages de l'invention vont être maintenant décrits ci-dessous plus en détail en se référant aux figures
20 1 et 2, données à titre d'exemples non limitatifs et qui montrent deux réalisations de transducteurs conformes à l'invention.

La première réalisation, représentée sur la figure 1, consiste en un transducteur ultrasonore à vibration en mode d'épaisseur, composé d'un substrat 10 constituant le milieu arrière de transducteur, d'une couche 20 de matériau piézoélectrique recouverte sur ses faces
25 avant et arrière de feuilles métalliques 21 et 22 constituant des première et deuxième électrodes (reliées de façon connue à un circuit de polarisation non représenté qui fournit le potentiel d'excitation), et, entre cette couche 20 et le milieu avant de propagation 50, de deux
30 couches 30 et 40 d'adaptation d'impédance acoustique (dites couches interférentielles quart d'onde).

Dans cette première structure selon l'invention, le substrat 10 présente par rapport à la couche 20 de matériau piézoélectrique une valeur d'impédance acoustique très nettement supérieure, et suffisamment
35 élevée en tout cas pour que ce substrat puisse être considéré comme rigide relativement au matériau piézoélectrique, c'est-à-dire comme un

milieu arrière à déformation nulle. En outre, l'épaisseur de la couche 20 est égale au quart de la longueur d'onde associée à la fréquence de résonance du transducteur. Enfin, si l'on veut optimiser le transfert d'énergie de la couche 20 de matériau piézoélectrique vers le milieu avant de propagation 50, les valeurs des impédances de cette couche 20, des couches d'adaptation 30 et 40 et du milieu de propagation forment, considérées dans cet ordre, une suite décroissante, par exemple et de façon non limitative une suite arithmétique ou géométrique.

Pour comprendre maintenant comment la première structure ainsi décrite présente à la fois une bonne sensibilité et un excellent amortissement, on imagine (voir la figure 2) un deuxième transducteur ultrasonore, totalement symétrique, comprenant un substrat 10 servant de milieu arrière, une couche 20 de matériau piézoélectrique d'épaisseur égale à la moitié de la longueur d'onde associée à la fréquence de résonance du transducteur, et deux couches 30,40 d'adaptation d'impédance acoustique d'une part entre le milieu arrière et le matériau piézoélectrique et d'autre part entre ce matériau et le milieu avant de propagation 50. Dans cette deuxième structure, les valeurs des impédances acoustiques forment de même une suite décroissante à partir de celle du matériau piézoélectrique et ces valeurs ainsi que les épaisseurs des couches 30, 40 d'adaptation sont symétriques de part et d'autre de ce matériau. Les tests et simulations effectués avec une structure ainsi constituée montrent que le spectre (ou module de la transformée de Fourier) de la réponse électrique en mode échographique à une excitation électrique de type impulsionnel et de durée effective égale au temps de vol dans le matériau piézoélectrique (le temps de vol est la durée du parcours des ondes ultrasonores d'une face à l'autre du matériau piézoélectrique vibrant suivant son épaisseur égale à la moitié de la longueur d'onde ultrasonore à la fréquence d'émission du transducteur est de forme gaussienne ; par suite, l'enveloppe de la réponse électrique est également gaussienne et cette réponse s'amortit rapidement. Par ailleurs, de la symétrie de la structure, il résulte que les déformations sur les deux faces du matériau piézoélectrique sont identiques (puisque ces deux faces sont, acoustiquement, chargées de façon identique) et que, par suite, la déformation est nulle dans le plan médian de ce matériau. La partie de la deuxième structure qui se trouve située d'un seul côté

de ce plan médian est donc équivalente à un milieu arrière infiniment rigide, c'est-à-dire à déformation nulle. Un tel milieu est assez facilement réalisable si le matériau piézoélectrique choisi ne possède pas une impédance acoustique trop élevée : d'où la proposition de la première structure, dite à symétrie virtuelle et comprenant donc un milieu arrière rigide, une couche piézoélectrique ayant une épaisseur égale à un quart de ladite longueur d'onde, et les couches d'adaptation d'impédance acoustique, cette structure présentant les mêmes caractéristiques d'amortissement que la deuxième structure totalement symétrique mais une sensibilité améliorée.

Les essais et simulations réalisés (dans d'égales conditions électriques d'émission et de réception) ont montré la possibilité d'obtenir effectivement diverses structures répondant aux objectifs de l'invention (sensibilité et amortissement simultanément satisfaisants). Dans le cas où le matériau piézoélectrique est une céramique ferroélectrique de type PZT-5 (matériau piézoélectrique à base de zirconate titanate de plomb : voir l'ouvrage "Physical Acoustics, Principles and Methods", de Warren P. Mason, Vol.1, partie A, page 202), on peut citer les exemples suivants (exemples à deux couches d'adaptation d'impédance acoustique) :

(1) première structure (à symétrie virtuelle) :

(a) impédances (en $\text{kg/cm}^2 \cdot \text{sec} \times 10^6$) :

- milieu arrière : 1000 (simulation)
- matériau piézoélectrique : 30
- première couche d'adaptation : 4
- deuxième couche d'adaptation : 1,8
- milieu avant de propagation : 1,5

(b) résultats obtenus :

- indice de sensibilité = -10,03 dB
- largeur de bande relative à -6 dB = 55 %
- durée de réponse à -20 dB = 7,6 τ
- durée de réponse à -40 dB = 8,9 τ

(On rappellera ici que la sensibilité est caractérisée par un indice de sensibilité dont l'expression en dB est du type $20 \log V_S/V_{REF}$ où V_{REF} est pour un générateur d'impédance interne adaptée à sa charge la tension permettant l'émission d'une impulsion résonnante rectangulaire et où V_S

est la tension crête-à-crête de la réponse, et que l'amortissement est généralement caractérisé par la largeur de bande relative à -6 dB dF/F du spectre fondamental, exprimée en % et dans laquelle dF est l'écart entre les points où l'amplitude électrique est à -6 dB sous le maximum et F la fréquence centrale correspondant audit maximum. Cependant, cette

5 dernière information est insuffisante pour caractériser complètement l'amortissement puisqu'elle ne tient compte ni de la forme, qui peut être irrégulière, du spectre fondamental ni de la présence d'harmoniques supérieurs qui perturbent la fin des échos, et elle est complétée par deux

10 autres indicateurs temporels qui sont les durées de la réponse électrique à -20 dB et à -40 dB (ces points à -20 et -40 dB étant définis par les instants auxquels l'amplitude crête-à-crête est devenue inférieure respectivement au dixième et au centième de sa valeur initiale) à une impulsion résonnante rectangulaire de durée τ , ces durées étant normées

15 c'est-à-dire exprimées par référence audit temps de vol τ .)

(2) deuxième structure, à symétrie totale, duale de la précédente :

(a) impédances :

- milieu arrière : 1,5
- 20 - couches d'adaptation : 1,8 et 4
- matériau piézoélectrique : 30
- couche d'adaptation : 4 et 1,8
- milieu avant de propagation : 1,5

(b) résultats obtenus :

- 25 - indice de sensibilité : -13 dB
- largeur de bande relative à -6 dB = 53 %
- durée de réponse à -20 dB = 7,79 τ
- durée de réponse à -40 dB = 9,8 τ

Dans le cas où le matériau piézoélectrique est du polyfluorure de vinylidène, on peut citer de même les exemples suivants (exemples à

30 une couche d'adaptation d'impédance acoustique) :

(3) première structure (à symétrie virtuelle) :

(a) impédances :

- milieu arrière : 46
- 35 - matériau piézoélectrique : 4,6
- couche d'adaptation : 1,8
- milieu avant de propagation : 1,5

(b) résultats obtenus :

- indice de sensibilité = -19,66 dB
- largeur de bande relative à -6 dB = 82 %
- durée de réponse à -20 dB = 5,4 τ
- durée de réponse à -40 dB = 7,8 τ

5

(4) deuxième structure, à symétrie totale, duale de la précédente :

(a) impédances :

- milieux arrière et avant : 1,5
- couches d'adaptation arrière et avant : 1,8
- matériau piézoélectrique : 4,6

10

(b) résultats obtenus :

- indice de sensibilité = -23,8 dB
- largeur de bande relative à -6 dB = 75 %
- durée de réponse à -20 dB = 5,63 τ
- durée de réponse à -40 dB = 8 τ

15

La caractéristique essentielle de la structure à symétrie totale (figure 2) est un très bon amortissement. Les avantages de la structure à symétrie virtuelle (figure 1) sont, eux, les suivants : gain de 6 dB (au maximum) sur l'indice de sensibilité de la structure à symétrie totale, grâce à l'effet de "miroir acoustique" du milieu arrière rigide qui réfléchit toute l'énergie acoustique vers l'avant, maintien du même amortissement que celui, très satisfaisant, de la structure à symétrie totale, épaisseur du matériau piézoélectrique deux fois plus faible, pour une fréquence de travail donnée, qu'avec les transducteurs classiques à couche piézoélectrique en $\lambda/2$ (cette dernière caractéristique est importante pour des polymères piézoélectriques tels que le polyfluorure de vinylidène cité plus haut, qui sont difficiles à obtenir en fortes épaisseurs).

25

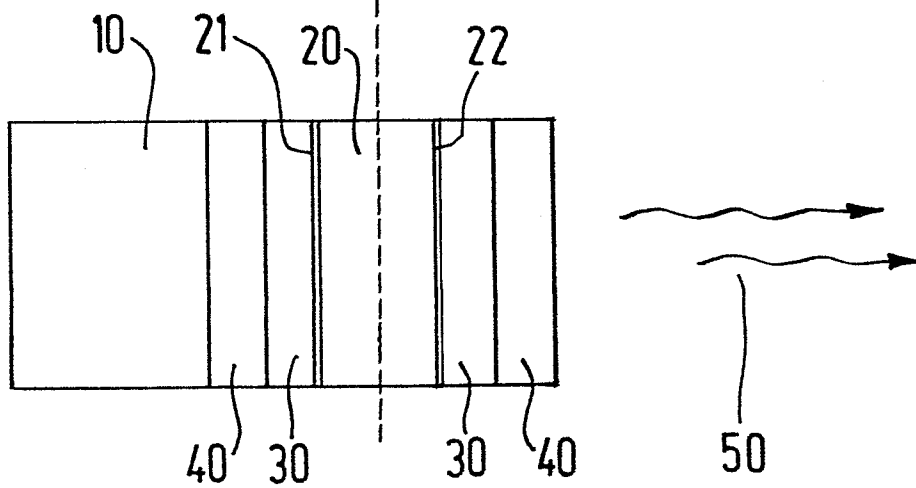
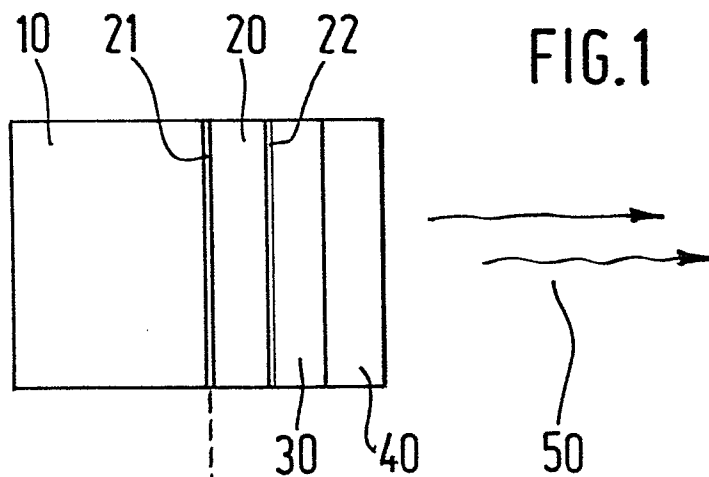
Bien entendu la présente invention n'est pas limitée aux exemples de réalisation décrits et représentés, à partir desquels des variantes peuvent être proposées sans pour cela sortir du cadre de l'invention, en particulier celles dans lesquelles on aurait choisi un nombre différent de couches d'adaptation d'impédance acoustique entre le matériau piézoélectrique et les milieux extrêmes.

30

35

REVENDEICATIONS :

1. Transducteur ultrasonore comprenant un substrat (10) constituant un milieu arrière, une couche de matériau piézoélectrique et une ou plusieurs couches d'adaptation (30,40) dont l'impédance
5 acoustique a une valeur comprise entre celle du matériau piézoélectrique et celle d'un milieu avant de propagation (50), caractérisé en ce que la ou les couches d'adaptation sont placées entre le matériau piézoélec-
trique et le milieu avant de propagation, en ce que le milieu arrière (10)
10 a une valeur d'impédance acoustique suffisamment élevée par rapport à celle du matériau piézoélectrique pour pouvoir être considéré comme rigide, et en ce que l'épaisseur de la couche de matériau piézoélectrique est égale au quart de la longueur d'onde associée à la fréquence de résonance du transducteur.
2. Transducteur ultrasonore comprenant un substrat (10)
15 constituant un milieu arrière, une couche de matériau piézoélectrique et une ou plusieurs couches d'adaptation (30,40) dont l'impédance acous-
tique a une valeur comprise entre celle du matériau piézoélectrique et celle d'un milieu avant de propagation (50), caractérisé en ce que les
couches d'adaptation sont placées en nombre identique de part et d'autre
20 du matériau piézoélectrique, les couches situées symétriquement deux à deux ayant la même valeur d'impédance acoustique et la même épaisseur, en ce que le milieu arrière (10) a une valeur d'impédance acoustique sensiblement égale à celle du milieu avant de propagation, et en ce que
l'épaisseur de la couche de matériau piézoélectrique est égale à la
25 moitié de la longueur d'onde associée à la fréquence de résonance du transducteur, de façon que la structure soit symétrique par rapport au plan médian de la couche de matériau piézoélectrique.
3. Transducteur selon l'une des revendications 1 et 2, carac-
térisé en ce que les valeurs des impédances de la couche de matériau
30 piézoélectrique, des couches d'adaptation d'impédance acoustique et du milieu avant de propagation forment, considérées dans cet ordre, une suite décroissante.





Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

0142178

Numéro de la demande

EP 84 20 1200

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Categorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl. 4)
Y	EP-A-0 015 886 (TORAY INDUSTRIES INC.) * Résumé; page 18, lignes 3-15; page 21, lignes 14-17; figures 1,5; revendications 1-3,16-20 *	1-3	G 10 K 11/02
Y	US-A-4 096 756 (G.H. ALPHONSE) * Colonne 6, lignes 1-29; colonne 6, ligne 62 - colonne 7, ligne 35; figures 1,4 *	1-3	
A	GB-A-2 035 010 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) * Page 1, ligne 111 - page 2, ligne 18; page 3, lignes 67-108; figures 2-4,7 *	1,3	
A	PROCEEDINGS ULTRASONICS SYMPOSIUM, 25-27 septembre 1978, pages 122-125, IEEE, Cherry Hill, New Jersey, USA; J.F. DE BELLEVAL et al.: "Improvement of ultrasonic transducers by using a multilayer front face" * Page 123, colonne 2, lignes 1-10; figure 3 *		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl. 4)
			G 10 K
Le présent rapport de recherche a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 18-12-1984	Examineur HAASBROEK J.N.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
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		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 & : membre de la même famille, document correspondant	