

⑫ **FASCICULE DE BREVET EUROPÉEN**

④⑤ Date de publication du fascicule du brevet :
03.01.90

⑤① Int. Cl.⁸ : **G 10 K 11/02**

②① Numéro de dépôt : **84201200.7**

②② Date de dépôt : **20.08.84**

⑤④ **Transducteur ultrasonore.**

③⑩ Priorité : **31.08.83 FR 8313986**

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

④⑤ Mention de la délivrance du brevet :
03.01.90 Bulletin 90/01

⑧④ Etats contractants désignés :
DE FR GB SE

⑤⑥ Documents cités :
EP-A- 0 015 886
GB-A- 2 035 010
US-A- 4 096 756
US-A- 4 427 914
PROCEEDINGS ULTRASONICS SYMPOSIUM, 25-27
septembre 1978, pages 122-125, IEEE, Cherry Hill,
New Jersey, USA; J.F. DE BELLEVAL et al.: "Improve-
ment of ultrasonic transducers by using a multilayer
front face"

⑦③ Titulaire : **LABORATOIRES D'ELECTRONIQUE ET DE**
PHYSIQUE APPLIQUEE L.E.P.
3, Avenue Descartes
F-94450 Limell-Brévannes (FR)
FR
N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken
Groenewoudseweg 1
NL-5621 BA Eindhoven (NL)
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)

EP 0 142 178 B1

Il est rappelé que : Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

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.

5 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
10 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
15 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.

20 A cet effet une première réalisation du transducteur ultrasonore conforme à l'invention se présente comme un transducteur ultrasonore comprenant un substrat constituant un milieu arrière, une couche de matériau piézoélectrique et une ou plusieurs couches d'adaptation placées entre le matériau piézoélectrique et le milieu avant de propagation, les valeurs des impédances de la couche de matériau piézoélectrique, des couches d'adaptation d'impédance acoustique et du milieu avant de propagation
25 formant, considérées dans cet ordre, une suite décroissante, caractérisé 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 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 se présente comme un
30 transducteur ultrasonore comprenant un substrat constituant un milieu arrière, une couche de matériau piézoélectrique et une ou plusieurs couches d'adaptation, les valeurs des impédances de la couche de matériau piézoélectrique, des couches d'adaptation d'impédance acoustique et du milieu avant de propagation formant, considérées dans cet ordre, une suite décroissante, caractérisé en ce que les couches d'adaptation sont placées en nombre identique de part et d'autre du matériau piézoélectrique,
35 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 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
40 piézoélectrique.

La demande de brevet européen publiée N° EP-A-0015886 décrit diverses réalisations de transduc-
teurs ultrasonores qui, toutes, comprennent d'une part une couche de matériau piézoélectrique et d'autre
part une ou plusieurs couches dites additionnelles, placées juste en avant et/ou arrière dudit matériau
piézoélectrique et qui ont une impédance acoustique égale à ou très voisine de celle de ce matériau. La
45 modélisation dite de Cook-Redwood, exposée pour la première fois par E. G. Cook, en 1956, dans la communication « Transient and steady-state response of ultrasonic piezoelectric transducers », IRE Conv. Record, 4, 1956, page 61-69, et généralisée par M. Redwood, permet cependant d'effectuer l'analyse mathématique des structures proposées dans ce document cité et de montrer que ces couches additionnelles jouent un rôle piézoélectrique. Cette analyse montre en effet que le régime des vibrations
50 ultrasonores s'établit non pas dans le seul matériau piézoélectrique, mais dans la cavité globale constituée par ce matériau et la ou les couches additionnelles. Ces couches augmentent artificiellement l'épaisseur du matériau piézoélectrique, et abaissent donc la fréquence de travail de celui-ci, pour rendre cette fréquence compatible avec la gamme des fréquences dans laquelle se situent les applications médicales. Elles jouent donc un rôle sans rapport avec le rôle d'amortissement tenu par les couches
55 d'adaptation d'impédance acoustique prévues dans la présente demande.

Les particularités et avantages de l'invention vont être maintenant décrits ci-dessous plus en détail en se référant aux figures 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
60 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 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 couches 30 et 40 d'adaptation d'impédance acoustique (dites couches interférentielles quart d'onde).

5 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 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.

10 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.

20 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) :

- 50 (a) impédances (en $\text{kg/cm}^2 \cdot \text{sec} \times 10^6$) :
- milieu arrière : 1 000 (simulation)
 - matériau piézoélectrique : 30
 - première couche d'adaptation : 4
 - deuxième couche d'adaptation : 1,8
 - milieu avant de propagation : 1,5
- 55 (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

60 (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

EP 0 142 178 B1

l'amplitude électrique est à -6 dB sous le maximum et F la fréquence centrale correspondant audit maximum. Cependant, cette 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

5 complétée par deux 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 (c'est-à-dire exprimées par

10

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

(a) impédances :

- milieu arrière : 1,5
- 15 — 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 :

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

25 Dans le cas où le matériau piézoélectrique est du polyfluorure de vinylidène, on peut citer de même les exemples suivants (exemples à une couche d'adaptation d'impédance acoustique) :

(3) première structure (à symétrie virtuelle) :

(a) impédances :

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

(b) résultats obtenus :

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

40

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

(a) impédances :

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

(b) résultats obtenus :

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

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).

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

65

d'adaptation d'impédance acoustique entre le matériau piézoélectrique et les milieux extrêmes.

Revendications

1. Transducteur ultrasonore comprenant un substrat (10) constituant un milieu arrière, une couche de matériau piézoélectrique (20) et une ou plusieurs couches d'adaptation (30, 40) placées entre le matériau piézoélectrique et le milieu avant de propagation (50), les valeurs des impédances de la couche de matériau piézoélectrique, des couches d'adaptation d'impédance acoustique et du milieu avant de propagation (50) formant, considérées dans cet ordre, une suite décroissante, caractérisé en ce que le milieu arrière (10) a une valeur d'impédance acoustique suffisamment élevée par rapport à celle du matériau piézoélectrique (20) pour pouvoir être considéré comme rigide, et en ce que l'épaisseur de la couche de matériau piézoélectrique (20) est égale au quart de la longueur d'onde associée à la fréquence de résonance du transducteur.

2. Transducteur ultrasonore comprenant un substrat (10) constituant un milieu arrière, une couche de matériau piézoélectrique (20) et une ou plusieurs couches d'adaptation (30, 40), les valeurs des impédances de la couche de matériau piézoélectrique (20), des couches d'adaptation d'impédance acoustique et du milieu avant de propagation (50) formant, considérées dans cet ordre, une suite décroissante, caractérisé en ce que les couches d'adaptation (30, 40) sont placées en nombre identique de part et d'autre du matériau piézoélectrique (20), 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 (50), et en ce que l'épaisseur de la couche de matériau piézoélectrique (20) est égale à la 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.

25 Claims

1. An ultrasonic transducer comprising a substrate (10) which constitutes a backing medium, a layer (20) of piezoelectric material, and one or more matching layers (30, 40) which are provided between the piezoelectric material and the propagation medium (50) in front, the impedance values of the layer of piezoelectric material, of the acoustic impedance matching layers, and of the propagation medium (50) in front forming a descending progression in this order, characterized in that the backing medium (10) has an acoustic impedance value which is sufficiently high with respect to that of the piezoelectric material (20) for the backing medium to be considered to be rigid, and in that the thickness of the layer (20) of piezoelectric material is equal to one quarter of the wavelength associated with the resonant frequency of the transducer.

2. An ultrasonic transducer comprising a substrate (10) which constitutes a backing medium, a layer (20) of piezoelectric material, and one or more matching layers (30, 40), the impedance values of the layer (20) of piezoelectric material, of the acoustic impedance matching layers, and of the propagation medium (50) in front forming a descending progression in this order, characterized in that an equal number of matching layers (30, 40) is provided on both sides of the piezoelectric material (20), the pair-wise symmetrically situated layers having the same acoustic impedance value and the same thickness, in that the backing medium (10) has an acoustic impedance value which is substantially equal to that of the propagation medium (50) in front, and in that the thickness of the layer (20) of piezoelectric material is equal to one half of the wavelength associated with the resonant frequency of the transducer, so that the structure is symmetrical with respect to the central plane of the layer of piezoelectric material.

Patentansprüche

1. Ultraschall-Wandler mit einem Substrat (10), bestehend aus einem hinteren Medium, einer Schicht piezoelektrischen Materials (20) und einer oder mehreren Anpassungsschichten (30, 40), angeordnet zwischen dem piezoelektrischen Material und dem vorderen Fortpflanzungsmedium (50), wobei die Impedanzwerte der piezoelektrischen Materialschicht, der Anpassungsschichten für die akustische Impedanz und des vorderen Fortpflanzungsmediums (50) in dieser Reihenfolge eine abfallende Reihe bilden, dadurch gekennzeichnet, daß das hintere Medium (10) einen akustischen Impedanzwert hat, der in bezug auf den des piezoelektrischen Materials (20) hoch genug ist, um als starr betrachtet zu werden, und daß die Dicke der piezoelektrischen Materialschicht (20) gleich einem Viertel der der Wandler-Resonanzfrequenz zugeordneten Wellenlänge ist.

2. Ultraschall-Wandler mit einem Substrat (10), bestehend aus einem hinteren Medium, einer Schicht piezoelektrischen Materials (20) und einer oder mehreren Anpassungsschichten (30, 40), wobei die Impedanzwerte der piezoelektrischen Materialschicht (20), der Anpassungsschichten für die akustische Impedanz und des vorderen Fortpflanzungsmediums (50) in dieser Reihenfolge eine abfallende Reihe bilden, dadurch gekennzeichnet, daß die Anpassungsschichten (30, 40) in gleicher Anzahl an beiden Seiten des piezoelektrischen Materials (20) angeordnet sind, wobei die je zwei und zwei symmetrisch angeordneten Schichten den gleichen akustischen Impedanzwert und die gleiche Dicke haben, daß das

EP 0 142 178 B1

hintere Medium (10) einen akustischen Impedanzwert im wesentlichen gleich dem des vorderen Fortpflanzungsmediums (50) hat, und daß die Dicke der piezoelektrischen Materialschicht (20) gleich der halben, der Wandler-Resonanzfrequenz zugeordneten Wellenlänge ist, derart daß die Struktur in bezug auf die Mittelebene der piezoelektrischen Materialschicht symmetrisch ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

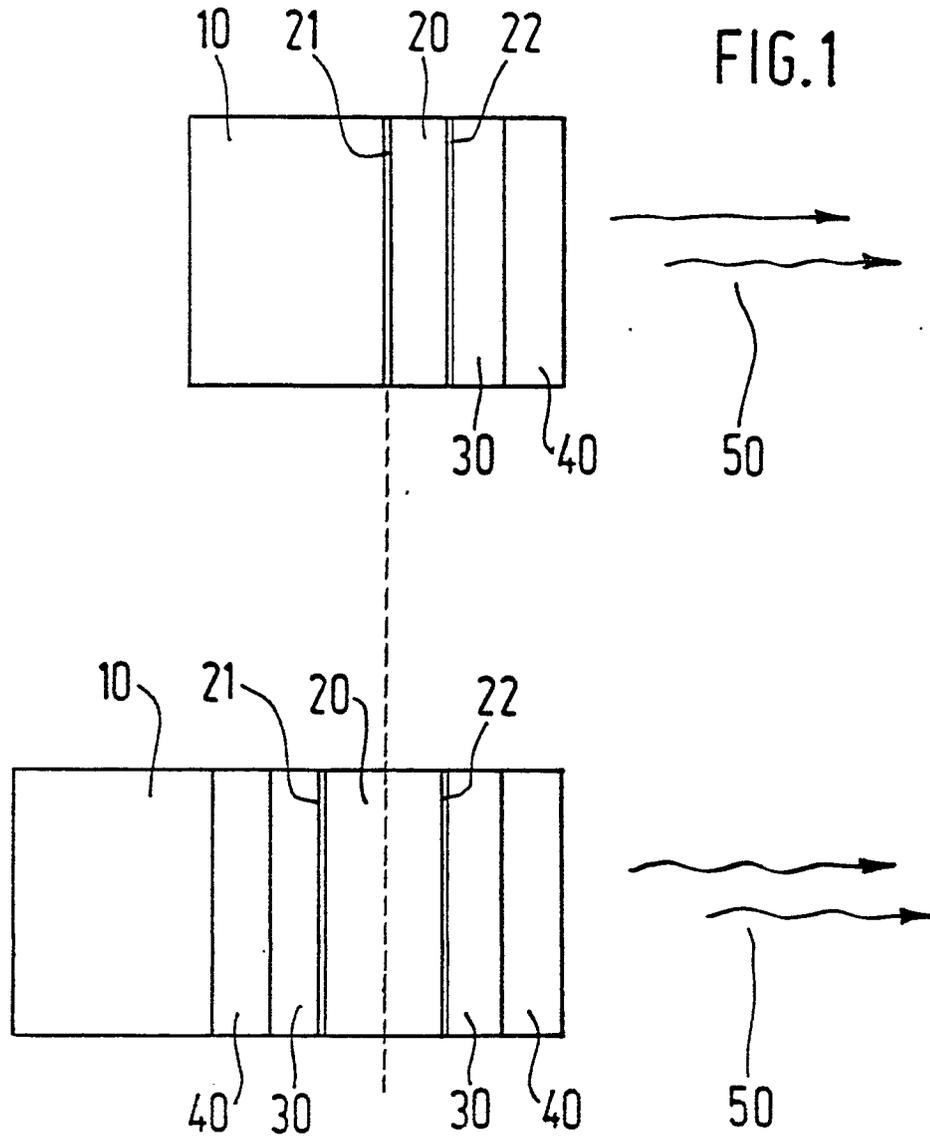


FIG.2