

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 769 988 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

23.09.1998 Bulletin 1998/39

(21) Numéro de dépôt: **95923401.4**

(22) Date de dépôt: **16.06.1995**

(51) Int. Cl.⁶: **B06B 1/06**, G10K 11/02

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR95/00800

(87) Numéro de publication internationale:
WO 96/01702 (25.01.1996 Gazette 1996/05)

(54) TRANSDUCTEUR ACOUSTIQUE MULTIFREQUENCES A BANDES LARGES

AKUSTISCHER BREITBANDWANDLER FÜR MEHRERE FREQUENZEN

WIDE-BAND MULTIFREQUENCY ACOUSTIC TRANSDUCER

(84) Etats contractants désignés:
DE DK GB NL

(30) Priorité: **08.07.1994 FR 9408474**

(43) Date de publication de la demande:
02.05.1997 Bulletin 1997/18

(73) Titulaire: **THOMSON CSF**
75008 Paris (FR)

(72) Inventeurs:

- **LE VERRIER, Bertrand**
F-92402 Courbevoie Cédex (FR)
- **ROUX, Gérard**
F-92402 Courbevoie Cédex (FR)
- **TARDY, Bruno**
F-92402 Courbevoie Cédex (FR)
- **RAMOS, Alphonse**
F-92402 Courbevoie Cédex (FR)

(74) Mandataire:
Desperrier, Jean-Louis et al
Thomson-CSF Propriété Intellectuelle,
13, Avenue du Président Salvador Allende
94117 Arcueil Cédex (FR)

(56) Documents cités:

EP-A- 0 285 482 **EP-A- 0 451 984**

- **IEEE TRANSACTIONS ON SONICS AND ULTRASONICS**, vol. SU-13, no. 1, Mars 1966
NEW YORK, USA, pages 20-31, G. KOSSOFF
'The Effects of Backing and Matching on the Performance of Piezoelectric Ceramic transducers'
- **IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS AND FREQUENCY CONTROL**, vol. UFFC-34, no. 1, Janvier 1987
NEW YORK US, pages 8-15, T. INOUE 'Design of Ultrasonic Transducers with Multiple Acoustic Matching Layers for Medical Applications'
- **ACUSTICA. INTERNATIONALE AKUSTISCHE ZEITSCHRIFT**, vol. 53, no. 2, Juin 1983
STUTTGART DE, pages 79-86, S. GRINDERSLEV
'Design Method and Experimental Result of a Matched Piezoelectric Transducer'
- **ELECTRONICS LETTERS**, vol. 22, no. 14, Juillet 1986
STEVENAGE GB, pages 758-759, G.A. STEEL ET AL. 'Tunable Sonar Transducer'
- **JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, SUPPLEMENTS**, vol. SUPPL.25, no. 25-1, 1985
TOKYO JA, pages 91-93, K. SAKAGUCHI ET AL.
'Wide-band Multi-layer Ultrasonic Transducers Made of Piezoelectric Films of Vinylidene Fluoride-Trifluoroethylene Copolymer'
- **IEEE TRANSACTIONS ON SONICS AND ULTRASONICS**, vol. SU-26, no. 2, Mars 1979
NEW YORK US, pages 75-81, J. SOUQUET ET AL. 'Design of Low-loss Wide-band Ultrasonic Transducers for Noninvasive Medical Application'

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).

EP 0 769 988 B1

Description

La présente invention se rapporte aux transducteurs acoustiques susceptibles de fonctionner sur plusieurs fréquences d'émission et/ou de réception avec des bandes passantes larges autour de ces fréquences. Il permet en imagerie sous-marine d'avoir une grande portée pour une fréquence basse, mais avec une faible résolution, et une grande résolution pour une fréquence haute, mais avec une faible portée. On utilise alors dans un premier temps le fonctionnement en fréquence basse pour repérer les objets que l'on veut identifier. Le bateau porteur du sonar équipé de ce type de transducteur s'approche ensuite de l'objet ainsi détecté, et lorsque l'on est suffisamment près, on utilise la fréquence haute, qui permet d'obtenir une image précise de cet objet.

Il est connu de la demande de brevet français numéro 8707814, déposée par la demanderesse le 4 juin 1987 et délivré le 9 décembre 1988 sous le numéro 2616240, ainsi que de la demande de brevet européen numéro 0285 482 déposée le 11 mars 1988 par la demanderesse, de fabriquer un transducteur acoustique multifréquences essentiellement destiné à être utilisé dans des usages médicaux, en insérant entre la lame piézoélectrique active et le réflecteur d'une sonde ordinaire, une lame de résonance à la fréquence de résonance naturelle de cette lame. On peut ainsi utiliser la sonde selon deux fréquences distinctes, dont l'une est sensiblement égale à la moitié de l'autre. Toutefois, ce système, s'il est bien adapté à l'imagerie médicale, en particulier pour utiliser une fréquence en imagerie et l'autre fréquence pour visualiser les flux sanguins, présente en imagerie sous-marine un certain nombre d'inconvénients. En particulier, la largeur de bande autour d'une des deux fréquences de résonance est relativement faible. Ceci n'est pas très important pour la fréquence utilisée pour visualiser les flux sanguins. En imagerie sous-marine, par contre, les traitements utilisés nécessitent d'avoir une grande largeur de bande pour les deux gammes de fréquence.

Pour pallier ces inconvénients, l'invention propose un transducteur acoustique multifréquences à bandes larges, du type comprenant une lame piézoélectrique émettrice d'impédance Z et résonnant en $\lambda/2$ à une fréquence fondamentale F_0 , une lame arrière d'impédance Z_3 et un support formant un réflecteur du type d'impédance sensiblement nulle, principalement caractérisé en ce que la lame arrière résonne en $\lambda/4$ à la fréquence F_0 pour permettre d'obtenir deux fréquences de résonance FA et FB du transducteur assemblé, et en ce que ce transducteur comprend en outre deux lames adaptatrices avant dont les impédances Z_1 et Z_2 sont données par les formules

$$Z_1 \cong Z_0^{3/5} \times Z^{2/5}$$

$$Z_2 \cong Z_0^{2/5} \times Z^{3/5}$$

et dont les épaisseurs leur permettent de résonner sensiblement en $\lambda/4$ pour respectivement chacune des fréquences FA et FB et d'être sensiblement transparentes pour les fréquences ne correspondant pas à leur résonance; ces épaisseurs étant optimisées à l'aide d'un modèle de type Mason.

Selon une autre caractéristique, la lame arrière est formée du même matériau que la lame active

Selon une autre caractéristique, le matériau constituant la couche active et la lame arrière est une céramique du type PZT pour laquelle Z est sensiblement égale à 21.10^6 ohms acoustiques, les lames d'adaptation ont respectivement pour impédance $Z_1 = 3.9.10^6$ ohms acoustiques et $Z_2 = 6.10^6$ ohms acoustiques, et les épaisseurs de ces lames sont respectivement égales à $e_1 = \lambda/2,16$ et $e_2 = \lambda/3,37$ pour la fréquence FA.

Selon une autre caractéristique, la lame active a une épaisseur telle qu'elle résonne en $\lambda/2$ à une fréquence de 250 kHz et que les deux fréquences d'émission pour lesquelles le transducteur est adapté sont sensiblement égales à 350 kHz et à 150 kHz.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la description suivante, présentée à titre d'exemple non limitatif en regard des figures annexées qui représentent:

- la Figure 1, une vue en coupe de la structure d'une antenne selon l'invention;
- la Figure 2, une vue en perspective des différentes couches constituant cette antenne, éclatées les unes par rapport aux autres; et
- la Figure 3, une vue en perspective d'un tel transducteur après découpe pour obtenir des colonnes nécessaires dans le cas d'une application à un sonar.

On a représenté sur la Figure 1, une coupe prise selon l'épaisseur d'un transducteur selon l'invention.

L'élément actif du transducteur est composé d'une lame de céramique piézoélectrique 201 qui résonne en $\lambda/2$ à une fréquence "naturelle" F_0 lorsqu'elle est isolée. Cette lame est fixée sur un support 203 par l'intermédiaire d'une lame arrière 202 qui résonne elle-même en $\lambda/4$ à F_0 . Le support 203 constitue lui-même un réflecteur du type à impédance sensiblement nulle, connu en particulier sous la dénomination anglo-saxonne de "backing" léger, ou de réflecteur mou. Pour obtenir une telle impédance sensiblement nulle avec un matériau suffisamment résistant pour soutenir le transducteur, on utilise selon l'art connu un matériau alvéolaire de densité faible.

L'addition à la lame en céramique piézoélectrique 201 de la lame arrière résonnante 202 permet d'obtenir pour l'ensemble deux fréquences de résonance FA et FB telles que FA est compris entre 1,5 FB et 3 FB. En outre $(FA+FB)/2=F_0$.

Afin d'améliorer le comportement du transducteur, en particulier son adaptation par rapport au milieu,

généralement de l'eau, dans lequel il doit émettre, ainsi que l'obtention de largeurs de bande suffisantes autour des deux fréquences de résonance FA et FB définies plus haut, on superpose sur la face avant émettrice de la lame 201 deux lames avant d'adaptation 204 et 205, chacune de type quart d'onde respectivement aux deux fréquences FA et FB.

En appelant Z l'impédance de la céramique piézoélectrique, Z0 l'impédance du milieu extérieur dans lequel les ondes acoustiques sont émises, et Z3 l'impédance de la lame arrière 202, on montre qu'un choix adéquat de l'impédance de la lame arrière, Z et Z0 étant en principe déterminées par des matériaux utilisés, permet de choisir le rapport de fréquences FA/FB. Ainsi, pour couvrir une plage FA/FB allant de 1,5 à 3, on est amené à choisir Z3 entre Z/6,2 et Z x 4,6.

On ne savait dans l'art précédent adapter qu'une seule des deux fréquences en utilisant une seule lame d'adaptation avant, sauf dans certains cas numériques particuliers, par exemple lorsque FA/FB = 3.

Pour adapter les deux fréquences, l'invention propose donc d'utiliser deux lames d'adaptation avant 204 et 205, en particularisant chaque lame pour une fréquence de manière à ce que l'une des lames adapte le dispositif pour l'une des fréquences et l'autre lame pour l'autre fréquence. En fait, compte tenu de ce que ces lames sont superposées, leurs comportements interfèrent entre eux, essentiellement dans la mesure où les lames ne sont pas complètement transparentes aux fréquences pour lesquelles elles ne sont pas adaptées.

On souhaite donc répondre simultanément à plusieurs critères:

- que chaque lame prise séparément réalise l'adaptation d'impédance à la fréquence qui lui est assignée;
- que la transmission de l'énergie acoustique émise par la céramique piézoélectrique 201 soit optimisée vers le milieu avant.

Les recherches des inventeurs ont abouti à déterminer les impédances des deux lames selon les deux formules suivantes:

$$Z1 \approx Z0^{3/5} \times Z^{2/5}$$

$$Z2 \approx Z0^{2/5} \times Z^{3/5}$$

En outre, l'invention propose que les épaisseurs des deux lames avant soient proches du quart de la longueur d'onde des fréquences FA et FB, et que leurs valeurs exactes soient obtenues à partir de l'utilisation d'un modèle bien connu, fondé sur les schémas équivalents publiés par W.P. MASON dans Physical Acoustics Principles and Methods 1964 - Academy Press.

A titre d'exemple de réalisation, on a utilisé une lame 202 en céramique piézoélectrique du type PZT

présentant une impédance sensiblement égale à 21.10^6 ohms acoustiques. L'épaisseur de la lame est choisie pour qu'elle résonne en $\lambda/2$ à une fréquence F0 = 250 kHz.

La lame arrière est prévue pour résonner en $\lambda/4$ à cette même fréquence, et l'invention propose à titre d'amélioration de fabriquer cette lame avec la même céramique, du type PZT, que celle utilisée pour la lame piézoélectrique active 201. Ceci permet de simplifier dans une grande mesure la fabrication du transducteur.

Dans ces conditions, on obtiendra pour les deux fréquences FA et FB, respectivement des valeurs sensiblement égales à 350 kHz et à 150 kHz. On constate bien que FO est sensiblement égale à (FA+FB)/2 et que en outre FA/FB est sensiblement égale à 2,33.

Les lames 204 et 205 sont réalisées, selon l'art connu, avec des matériaux dont la composition permet d'obtenir les impédances acoustiques souhaitées. Ces impédances seront choisies, conformément aux formules citées plus haut, pour avoir comme valeurs Z1 = $3,9.10^6$ ohms acoustiques et Z2 = 6.10^6 ohms acoustiques.

L'utilisation du modèle du type Mason pour définir les épaisseurs de ces deux lames donne des résultats, exprimés en longueur d'onde, égaux à:

$$\text{Pour FA}=350\text{kHz, } e1 = \lambda/2,16 \text{ et } e2 = \lambda/3,77$$

$$\text{Pour FB}=150\text{kHz, } e1 = \lambda/5,04 \text{ et } e2 = \lambda/8,81$$

On constate donc qu'effectivement pour chacune des fréquences choisies, la lame d'adaptation correspondante est d'une épaisseur sensiblement égale à $\lambda/4$, ce qui procure l'adaptation souhaitée, et qu'à l'autre fréquence, l'épaisseur des lames est proche de $\lambda/2$ pour l'une, et inférieur à $\lambda/8$ pour l'autre, ce qui les rend sensiblement transparentes aux ondes acoustiques pour les fréquences qu'elles ne doivent pas perturber.

Les variations par rapport à $\lambda/4$ et à $\lambda/2$ proviennent justement de l'interaction entre les différentes couches, dont l'effet est modélisé par le modèle de type Mason.

Les mesures effectuées sur un transducteur réalisé selon ces caractéristiques ont montré que les largeurs de bande obtenues étaient supérieures à 20% pour FA et supérieures à 50% pour FB, ce qui est tout à fait satisfaisant.

Pour réaliser un transducteur à partir de cette structure, on empile, comme représenté sur la Figure 2, une succession de lames des matériaux choisis avec les épaisseurs ainsi déterminées, en interposant en outre entre la céramique 201 et la couche 204 d'une part, et entre cette céramique et la couche 202 d'autre part, des électrodes 211 et 221 formées d'une fine couche métallique conductrice qui ne perturbe pas le fonctionnement acoustique de l'ensemble. Ces électrodes 211 et 221 sortent du sandwich de manière à être accessibles pour pouvoir les relier aux connexions délivrant le signal destiné à exciter la céramique 201. Ces différentes lames sont collées entre elles, et le sandwich ainsi obtenu est

ensuite découpé en colonnes comme représenté sur la Figure 3, afin d'obtenir la structure du transducteur nécessaire pour avoir une émission correcte des ondes acoustiques par la face avant, selon les techniques bien connues en sonar.

Revendications

1. Transducteur acoustique multifréquences à bandes larges, du type comprenant une lame piézoélectrique émettrice (201) d'impédance Z et résonnant en $\lambda/2$ à une fréquence fondamentale F0, une lame arrière (202) d'impédance Z3 et un support (203) formant un réflecteur du type d'impédance sensiblement nulle, caractérisé en ce que la lame arrière (202) résonne en $\lambda/4$ à la fréquence F0 pour permettre d'obtenir deux fréquences de résonance FA et FB du transducteur assemblé, et en ce que ce transducteur comprend en outre deux lames adaptatrices avant (204, 205) dont les impédances Z1 et Z2 sont données par les formules

$$Z1 \approx Z0^{3/5} \times Z^{2/5}$$

$$Z2 \approx Z0^{2/5} \times Z^{3/5}$$

et dont les épaisseurs leur permettent de résonner à des fréquences sensiblement en $\lambda/4$ pour respectivement chacune des fréquences FA et FB et d'être sensiblement transparentes pour les fréquences ne correspondant pas à leur résonance; ces épaisseurs étant optimisées à l'aide d'un modèle de type Mason.

2. Transducteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la lame arrière (202) est formée du même matériau que la lame active (201).
3. Transducteur selon la revendication 2, caractérisé en ce que le matériau constituant la couche active (201) et la lame arrière (202) est une céramique du type PZT pour laquelle Z est sensiblement égale à $21 \cdot 10^6$ ohms acoustiques, que les lames d'adaptation (204, 205) ont respectivement pour impédance $Z1 = 3,9 \cdot 10^6$ ohms acoustiques et $Z2 = 6 \cdot 10^6$ ohms acoustiques, et que les épaisseurs de ces lames sont respectivement égales à $e1 = \lambda/2,16$ et $e2 = \lambda/3,37$ pour la fréquence FA.
4. Transducteur selon la revendication 4, caractérisé en ce que la lame active (201) a une épaisseur telle qu'elle résonne en $\lambda/2$ à une fréquence de 250 kHz et que les deux fréquences d'émission pour lesquelles le transducteur est adapté sont sensiblement égales à 350 kHz et à 150 kHz.

Claims

1. Wideband multifrequency acoustic transducer, of the type comprising a piezoelectric emitter plate (201) of impedance Z and resonating in $\lambda/2$ mode at a fundamental frequency F0, a rear plate (202) of impedance Z3 and a support (203) forming a reflector of the type with substantially zero impedance, characterized in that the rear plate (202) resonates in $\lambda/4$ mode at the frequency F0 so as to make it possible to obtain two resonant frequencies FA and FB of the assembled transducer, and in that this transducer furthermore comprises two front matcher plates (204, 205) whose impedances Z1 and Z2 are given by the formulae

$$Z1 \approx Z0^{3/5} \times Z^{2/5}$$

$$Z2 \approx Z0^{2/5} \times Z^{3/5}$$

and whose thicknesses enable them to resonate at frequencies substantially in $\lambda/4$ mode for respectively each of the frequencies FA and FB and to be substantially transparent for the frequencies which do not correspond to their resonance; these thicknesses being optimized with the aid of a Mason type model.

2. Transducer according to Claim 1, characterized in that the rear plate (202) is formed from the same material as the active plate (201).
3. Transducer according to Claim 2, characterized in that the material constituting the active layer (201) and the rear plate (202) is a ceramic of the PZT type for which Z is substantially equal to 21×10^6 acoustic ohms, in that the matcher plates (204, 205) have respective impedances $Z1 = 3.9 \times 10^6$ acoustic ohms and $Z2 = 6 \times 10^6$ acoustic ohms, and in that the thicknesses of these plates are respectively equal to $e1 = \lambda/2.16$ and $e2 = \lambda/3.37$ for the frequency FA.
4. Transducer according to Claim 4, characterized in that the active plate (201) has a thickness such that it resonates in $\lambda/2$ mode at a frequency of 250 kHz and in that the two frequencies of emission for which the transducer is matched are substantially equal to 350 kHz and 150 kHz.

Patentansprüche

1. Breitband-Mehrfrequenzschallwandler des Typs, der ein piezoelektrisches Senderplättchen (201) mit Impedanz Z, das bei $\lambda/2$ mit einer Grundfrequenz F0 in Resonanz tritt, ein hinteres Plättchen (202) mit Impedanz Z3 sowie einen Träger (203) enthält, der einen Reflektor des Typs bildet,

dessen Impedanz im wesentlichen null ist, dadurch gekennzeichnet, daß das hintere Plättchen (202) bei $\lambda/4$ mit der Frequenz F_0 in Resonanz tritt, um zu ermöglichen, daß zwei Resonanzfrequenzen F_A und F_B des zusammengeführten Wandlers erhalten werden, und daß dieser Wandler außerdem zwei vordere Anpassungsplättchen (204, 205) umfaßt, deren Impedanzen Z_1 und Z_2 durch die Formeln

$$Z_1 \cong Z_0^{3/5} * Z^{2/5} \quad 10$$

$$Z_2 \cong Z_0^{2/5} * Z^{3/5}$$

gegeben sind und deren Dicken ihnen ermöglichen, daß sie für jede der Frequenzen F_A und F_B im wesentlichen bei $\lambda/4$ in Resonanz treten und für die Frequenzen, die nicht ihrer Resonanz entsprechen, im wesentlichen durchlässig sind, wobei diese Dicken mit Hilfe eines Modells des Mason-Typs optimiert sind. 20

2. Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das hintere Plättchen (202) aus demselben Werkstoff wie das aktive Plättchen (201) gebildet ist. 25
3. Wandler nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Werkstoff, der die aktive Schicht (201) und das hintere Plättchen (202) bildet, eine Keramik des PZT-Typs ist, für die Z im wesentlichen gleich $21 \cdot 10^6$ Ohm (akustisch) beträgt, daß die Anpassungsplättchen (204, 205) eine Impedanz $Z_1 = 3,9 \cdot 10^6$ Ohm (akustisch) bzw. $Z_2 = 6 \cdot 10^6$ Ohm (akustisch) besitzen und daß die Dicken dieser Plättchen gleich $e_1 = \lambda/2,16$ bzw. $e_2 = \lambda/3,37$ für die Frequenz F_A sind. 30 35
4. Wandler nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das aktive Plättchen (201) eine Dicke besitzt, derart, daß es bei $\lambda/2$ mit einer Frequenz von 250 kHz in Resonanz tritt und daß die Sendefrequenzen, an die der Wandler angepaßt ist, im wesentlichen gleich 350 kHz und 150 kHz sind. 40

45

50

55

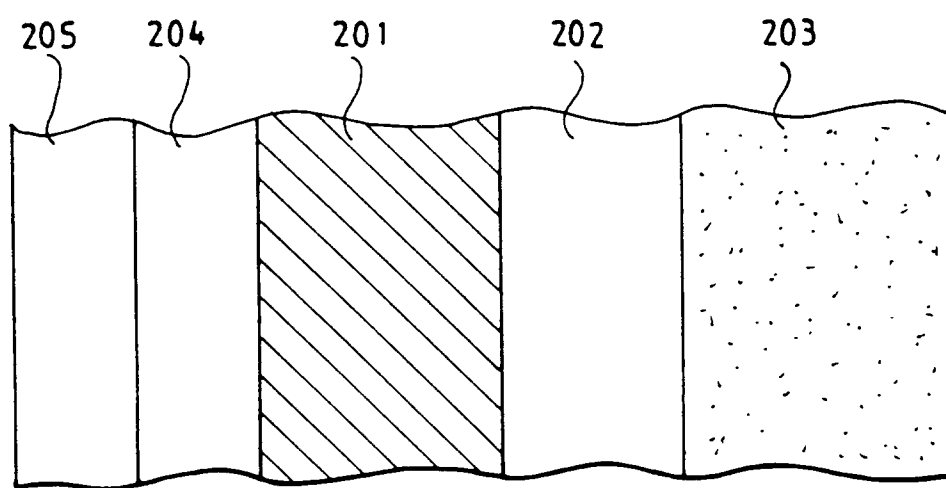


FIG.1

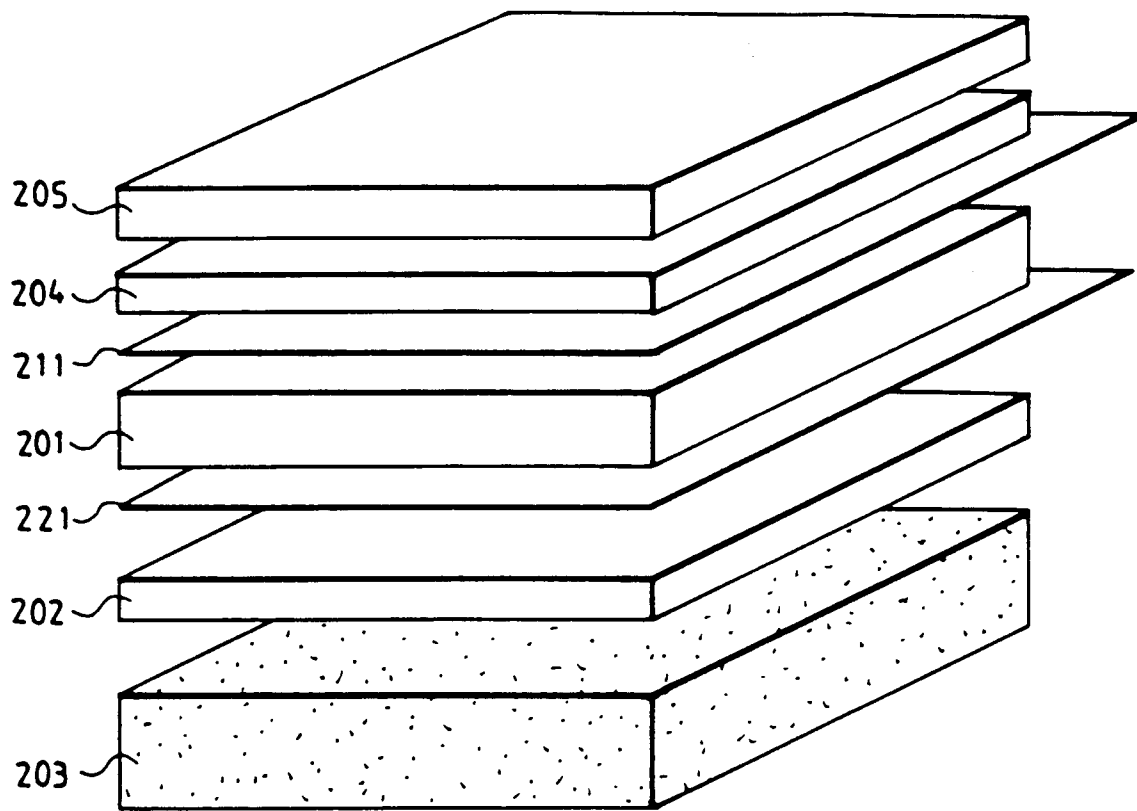


FIG. 2

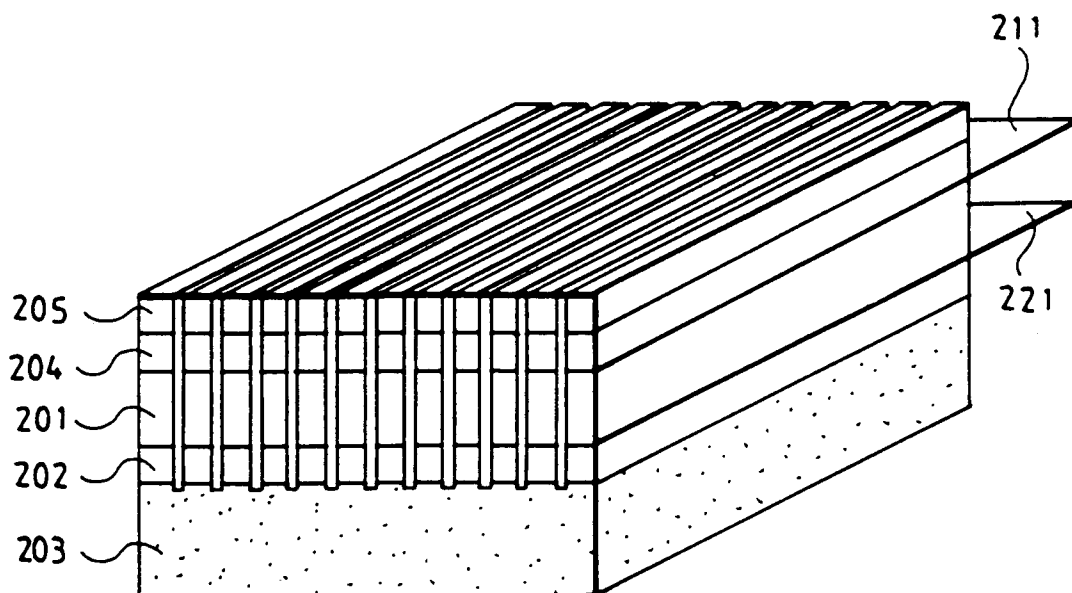


FIG. 3