

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

①1 N° de publication :

2 640 455

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

88 09302

⑤1 Int Cl⁵ : H 04 R 1/44; G 01 S 15/00.

①2

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 8 juillet 1988.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 24 du 15 juin 1990.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : Société dite : THOMSON-CSF, société
anonyme. — FR.

⑦2 Inventeur(s) : Michel Letiche, Thomson-CSF, SCPI.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Jean-Louis Desperrier, Thomson-CSF,
SCPI.

⑤4 Transducteur électroacoustique, utilisable notamment comme source d'ondes acoustiques pour les applications sous-marines.

⑤7 Ce transducteur électroacoustique présente une structure du type général dit *Tonpiz*, c'est-à-dire comportant un pavillon rayonnant 10, une masse arrière 20 et un moteur formé d'au moins un élément piézoélectrique 30 interposé entre le pavillon et la masse arrière et excité électriquement de manière à produire une vibration transmise au pavillon.

L'élément piézoélectrique y est soumis à un champ électrique de direction perpendiculaire à la direction principale de polarisation du matériau piézoélectrique, de manière à faire travailler celui-ci en mode cisaillement.

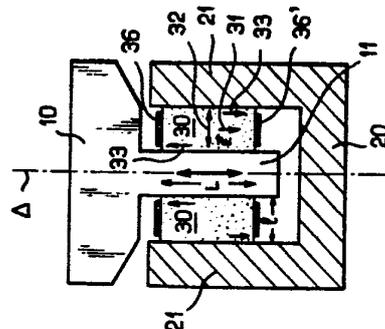
Selon l'invention :

— le pavillon et la masse arrière se terminent l'un en forme de pied rectiligne 11 et l'autre en forme de U logeant le pied entre des branches rectilignes 21, le pied et les branches s'étendant parallèlement à la direction longitudinale Δ du transducteur, et;

— le moteur est formé par des éléments piézoélectriques sensiblement parallélépipédiques placés entre les faces en regard du pied et de chaque branche, ces éléments étant pourvus d'électrodes 36, 36' créant un champ électrique parallèle à ladite direction longitudinale, et la forme de ces éléments piézoélectriques étant choisie de manière à privilégier la

déformation du matériau piézoélectrique essentiellement dans cette direction longitudinale.

Cette configuration permet d'abaisser considérablement la fréquence de résonance de l'ensemble, avec un volume et une masse modérés et un faible volume de matériau piézoélectrique.



FR 2 640 455 - A1

D

Transducteur électroacoustique, utilisable notamment comme source d'ondes acoustiques pour les applications sous-marines

5 La présente invention concerne un transducteur électroacoustique, utilisable notamment comme source d'ondes acoustiques pour les applications sous-marines telles que la détection des mines, la reconnaissance par sonar des fonds marins, ...

10 Le transducteur de la présente invention est du type dit *Tonpilz* ("champignon acoustique"), c'est-à-dire comportant essentiellement un pavillon rayonnant (d'où son nom), une masse arrière et un moteur formé d'au moins un élément piézoélectrique (généralement une céramique ou un empilement de céramiques) interposé entre le pavillon et la masse arrière et excité électriquement de manière à produire une vibration transmise au pavillon.

15 Un tel transducteur de type *Tonpilz* est décrit par exemple dans le FR-A-2 085 545.

20 Les transducteurs de ce type ont cependant un fonctionnement déficient et un rendement médiocre aux basses fréquences (c'est-à-dire à des fréquences de l'ordre de quelques kilohertz).

25 En effet, dans ces transducteurs la fréquence de résonance de l'ensemble masse/ressort formé d'une part par la masse arrière et le pavillon et d'autre part par l'élément piézoélectrique est donnée par l'expression suivante :

$$f_r = [1/2\pi] [(m_1+m_2) / (e \cdot m_1 m_2)]^{1/2}, \quad (1)$$

30 où e est l'élasticité totale du moteur (c'est-à-dire celle de l'élément piézoélectrique), m_1 la masse du pavillon et m_2 celle de la masse arrière.

On voit que, si l'on veut émettre à des fréquences basses, il faut augmenter l'élasticité e du moteur et, dans une moindre proportion, les masses m_1 et m_2 afin de repousser suffisamment bas la fréquence de résonance de l'ensemble masse/ressort.

35 Or l'élasticité e du moteur dépend de la forme et des dimensions des éléments piézoélectriques du moteur ainsi que du matériau piézoélectrique employé, cette élasticité étant donnée par l'expression :

$$e = (l/S) \cdot s, \quad (2)$$

40 où l est la longueur de l'élément piézoélectrique dans la direction de polarisation, S est la surface active — c'est-à-dire la surface de l'élément piézoélectrique en contact avec le pavillon et avec la masse arrière — et s est la compliance du matériau piézoélectrique utilisé.

45 On constate ainsi que, pour abaisser suffisamment la fréquence de résonance il faut avoir un rapport l/S élevé, c'est-à-dire des transducteurs

relativement longs — donc volumineux et lourds, car on ne peut pas trop diminuer S , à cause notamment de l'apparition dans le pavillon de modes parasites de rayonnement, résultant notamment de déformations en flexion de celui-ci. Tel est notamment le cas du transducteur décrit dans le FR-A-2 085 545 précité.

De plus, il faut que la puissance acoustique limite soit supérieure à la puissance de cavitation, ce qui amène toujours à un volume minimal de matériau céramique.

Par ailleurs, il existe pour tout élément piézoélectrique (notamment une céramique) deux modes de fonctionnement principaux, à savoir :

— le fonctionnement en compression-extension, lorsque la céramique est polarisée perpendiculairement aux électrodes (c'est-à-dire que la direction de polarisation propre au matériau piézoélectrique est parallèle au champ électrique créé par les électrodes).

Ce mode de fonctionnement est celui généralement utilisé pour les transducteurs Tonpiz (notamment celui du FR-A-2 085 545 précité).

La déformation du matériau piézoélectrique se fait alors essentiellement dans la direction du champ électrique, direction qui correspond, dans le brevet précité, à la direction longitudinale de la pile d'éléments piézoélectriques, cette déformation réalisant alors un mouvement relatif en rapprochement et en éloignement du pavillon et de la masse arrière, reliés aux deux extrémités opposées de la pile.

— le fonctionnement en cisaillement, lorsque le matériau piézoélectrique est polarisé parallèlement aux électrodes (c'est-à-dire que sa direction de polarisation est perpendiculaire au champ électrique créé par les électrodes).

Dans ce mode de fonctionnement, deux déformations sont possibles : l'une dans un sens perpendiculaire au champ électrique, et l'autre dans un sens parallèle à celui-ci, l'un ou l'autre type de déformation étant privilégié selon la forme donnée à l'élément.

On a constaté que, pour un même matériau piézoélectrique, la compliance s_{44} en mode cisaillement est très supérieure à la compliance s_{33} en mode compression — typiquement deux à trois fois supérieure.

Les coefficients de couplage k_{33} et k_{15} sont par ailleurs sensiblement les mêmes en mode compression et en mode cisaillement (ce coefficient définit le rendement de conversion d'énergie électrique en énergie mécanique (et réciproquement) que réalise le matériau piézoélectrique).

On peut donc être amené à penser que, pour fabriquer un transducteur ayant la même fréquence de résonance mais ayant un poids et un volume

plus réduits, ou pour fabriquer un transducteur ayant une fréquence de résonance plus basse à poids et volume égaux, on ait intérêt à utiliser les matériaux piézoélectriques en mode cisaillement, puisque l'on obtiendra une élasticité très supérieure (voir la relation 2 ci-dessus), tout en conservant un rendement de conversion sensiblement identique.

Une tentative en ce sens a été suggérée par le US-A-4 072 871, qui décrit un transducteur comportant des anneaux de matériau piézoélectrique travaillant en cisaillement et dans lesquels on privilégie la déformation dans le sens perpendiculaire au champ électrique.

Un certain nombre de pièces annulaires permettent de prendre en tenaille les éléments piézoélectriques en les reliant au pavillon et à la masse arrière tout en favorisant le mode cisaillement.

L'inconvénient principal de ce transducteur de l'art antérieur réside dans le fait que la surface active — au sens indiqué plus haut, c'est-à-dire la surface totale en contact (ici, en contact indirect) avec le pavillon et la masse arrière — est très élevée. Plus précisément, dans ce transducteur de l'art antérieur cette surface active est égale au produit de la circonférence de l'élément piézoélectrique annulaire par la hauteur de celui-ci. Il s'ensuit, d'après les explications données plus haut, qu'avec cette configuration de l'art antérieur l'élasticité e reste faible et donc que ce transducteur est mal adapté à la production ou à la réception des fréquences le plus basses.

Un autre inconvénient tient au fait que les électrodes, prises en sandwich entre les éléments piézoélectriques et les pièces annulaires reliées au pavillon ou à la masse arrière, sont donc en contact avec ces pièces annulaires, de sorte que ces dernières doivent être réalisées en un matériau non conducteur et ne peuvent donc pas faire partie intégrante du pavillon ou de la masse arrière, ce qui complique la structure et la réalisation du transducteur.

La présente invention a pour objet un transducteur permettant de s'affranchir de ces inconvénients, et qui puisse fonctionner à des fréquences très basses du fait d'une fréquence de résonance très faible (de l'ordre de quelques kilohertz), tout en procurant un gain considérable de volume du matériau piézoélectrique et un gain de masse pour le pavillon et la masse arrière.

On verra également que la structure de ce transducteur est extrêmement simple, ce qui permet de réaliser des appareils robustes et fiables et d'un coût très faible.

A cet effet, la présente invention propose un transducteur de type semblable au type Tonpitz précité, mais conçu pour travailler en mode cisaillement, et dont la structure permet d'utiliser des barreaux de matériau piézoélectrique pour lesquels on minimise la surface de contact

S, en privilégiant la déformation dans un sens parallèle au champ électrique — c'est-à-dire avec une configuration à l'opposé de celle du transducteur du US-A-4 072 871 précité.

5 Plus précisément, et de façon caractéristique de l'invention, le pavillon et la masse arrière se terminent l'un en forme de pied rectiligne et l'autre en forme de U logeant le pied entre des branches rectilignes, le pied et les branches s'étendant parallèlement à la direction longitudinale du transducteur, et d'autre part le moteur est formé par des éléments
10 piézoélectriques sensiblement parallélépipédiques placés entre les faces en regard du pied et de chaque branche, ces éléments étant pourvus d'électrodes créant un champ électrique parallèle à ladite direction longitudinale, et la forme de ces éléments piézoélectriques étant choisie de
15 manière à privilégier la déformation du matériau piézoélectrique essentiellement dans cette direction longitudinale.

De préférence c'est le pavillon qui se termine en forme de pied et la masse arrière qui se termine en forme de U.

Avantageusement, sur chaque élément piézoélectrique les électrodes sont disposées de part et d'autre de l'élément piézoélectrique en direction
20 longitudinale, respectivement sur les faces avant et arrière de celui-ci, et la largeur, en direction transversale, des électrodes avant et arrière est inférieure à la largeur de l'élément piézoélectrique dans cette même direction, ce qui laisse subsister une marge entre l'électrode et le pied et/ou
25 entre l'électrode et la branche du U, le pied et/ou la branche du U pouvant alors être formés d'un matériau métallique.

Très avantageusement, pour parvenir au mode de fonctionnement voulu, la longueur en direction longitudinale des éléments piézoélectriques est au moins le double de leur largeur en direction
30 transversale, et cette largeur en direction transversale des éléments piézoélectriques est au moins double de leur épaisseur dans la direction perpendiculaire à la direction longitudinale et à la direction transversale.

La structure de l'invention permet de prévoir aisément, le cas échéant, des moyens de précontrainte des éléments piézoélectriques en direction
35 transversale, avec par exemple un tirant passé dans des alésages alignés, orientés transversalement et formés respectivement dans le pied, les éléments piézoélectriques et les branches du U.

De préférence, la section du pavillon est au moins égale à dix fois la section de son pied.

40 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-dessous, faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

45 — la figure 1 est une vue perspective schématique du transducteur de la présente invention,

- la figure 2 est une vue en plan correspondant à la figure 1, illustrant la manière dont sont excités les éléments piézoélectriques,
- la figure 3 est un détail de la figure 2, illustrant les modes de vibration des éléments piézoélectriques,
- 5 — la figure 4 montre l'élément piézoélectrique isolé,
- la figure 5 est homologue de la figure 4, pour un élément piézoélectrique formé d'une pluralité de blocs céramiques de plus petite taille réunis et empilés, et
- 10 — la figure 6 montre un moyen de réaliser simplement la précontrainte des éléments piézoélectriques.

Le schéma de principe de la figure 1 montre le pavillon 10 prolongé en partie arrière par un pied 11 de section rectangulaire, la masse arrière 20 se terminant en partie avant par deux branches 21, avec les éléments piézoélectriques 30 interposés entre le pavillon 10 et la masse arrière 20.

Le diamètre du pavillon est généralement égal à une demi-longueur d'onde et, pour éviter les phénomènes de flexion, le rapport entre la surface du pavillon et celle de la section du pied reste inférieure à dix, ce qui permet d'avoir un volume minimal de l'ensemble pavillon-pied.

Le pavillon 10 vient se loger par son pied 11 entre les branches 21 de la masse arrière 20, et ces deux pièces sont couplées par l'intermédiaire des éléments piézoélectriques 30 formant le moteur du transducteur, ces éléments piézoélectriques étant en forme de barreau et étant placés entre les faces respectives en vis-à-vis du pied 11 et de chacune des branches 21.

Les éléments piézoélectriques 30 sont orientés de manière que leur direction principale de polarisation, indiquée par la flèche 32 de la figure 2, s'étende transversalement, c'est-à-dire dans la direction qui est perpendiculaire à l'axe longitudinal Δ du transducteur et qui s'étend dans un plan contenant le pied 11 et les branches 21 (plan qui est le plan de la figure, dans le cas de la figure 2).

Les éléments piézoélectriques sont soumis à un champ électrique E parallèle à la direction transversale Δ , c'est-à-dire dirigé selon une direction 31 perpendiculaire à la direction de polarisation 32.

Le fait que ces deux directions soient perpendiculaires permet, comme on l'a expliqué plus haut, de faire travailler le matériau piézoélectrique essentiellement en mode cisaillement.

Par ailleurs, on donne aux barreaux de céramique une forme allongée, avec une longueur L en direction longitudinale supérieure à la largeur l en direction transversale. Ceci permet, parmi celles des deux déformations possibles indiquées plus haut, de privilégier celle (indiquée par les flèches 33 et 33') qui a lieu dans une direction parallèle à la direction 31 du champ électrique E .

A cet effet, la longueur L de l'élément piézoélectrique est de préférence au moins égal à deux fois sa largeur l et cette largeur l est, en outre, au moins égale à deux fois l'épaisseur t (cotes portées figure 4).

La figure 3 explicite le fonctionnement du moteur, en illustrant les déformations dans un sens (flèche 33) et dans l'autre (flèche 33') de l'élément piézoélectrique travaillant en cisaillement. Ce système équivaut à un système masse/ressort où la masse est constituée par les masses m_1 et m_2 du pavillon et de la masse arrière, et le ressort par l'élément piézoélectrique présentant une élasticité propre e (qui, comme on l'a indiqué plus haut, est élevée en mode cisaillement). Ce système présente un lieu de points nodaux aligné sur la droite 37, droite dont la distance à l'axe longitudinal Δ sera déterminé par le rapport des masses m_1 et m_2 du pavillon et de la masse arrière.

On notera que, grâce à la configuration de l'invention, la vibration transversale (génératrice de modes parasites) est très faible du fait de la forme en barreau de l'élément piézoélectrique, barreau qui se trouve bloqué en direction transversale par les branches de la masse arrière et par le pied du pavillon.

La figure 4 montre le barreau isolé : les deux faces latérales 34 seront collées l'une au pied 11 du pavillon et l'autre à l'une des branches 21 de la masse arrière, et les faces avant et arrière 35,35' reçoivent les électrodes 36,36'.

Comme on le voit, ces électrodes sont "libres", c'est-à-dire qu'elles ne sont en contact avec aucun autre élément que le barreau de céramique. Leur largeur est légèrement inférieure à la largeur l du barreau, laissant subsister une marge évitant tout contact avec le pavillon 10 et la masse arrière 20.

De la sorte, ces deux éléments peuvent être réalisés sans difficulté en un matériau métallique massif et présenter chacun une structure monobloc.

Par ailleurs, l'élément piézoélectrique peut être obtenu, comme illustré figure 5, à partir de plusieurs pièces de céramique assemblées par collage avec toutes la même orientation de la direction de polarisation. Une électrode est alors prévue à chaque interface transversal, pour éviter d'avoir à polariser une longueur de matériau piézoélectrique trop importante.

En outre, on peut éventuellement précontraindre les éléments piézoélectriques au moyen d'une tige transversale 40 passée, comme illustré figure 6, dans une série d'alésages transversaux alignés formés dans chacune des deux branches 21, dans le pied 11 et dans chacun des éléments piézoélectriques 30. La tête 41 de la tige appuie sur la face extérieure de l'une des branches, tandis qu'un écrou 42, dont on ajuste le serrage en fonction de la précontrainte voulue, vient appuyer sur la face extérieure de l'autre branche.

Il convient de remarquer que la configuration que l'on vient de décrire

en détail est optimale mais n'est cependant pas limitative, et que d'autres configurations fonctionnant suivant le même principe pourraient être envisagées.

5 Ainsi, on pourrait prévoir que, en gardant la même structure, ce soit le pavillon qui porte les branches et la masse arrière qui porte le pied, toutes choses identiques par ailleurs. Cette configuration serait cependant moins intéressante, dans la mesure où elle diminuerait le poids de la masse arrière (que l'on doit chercher à rendre la plus lourde possible) et pourrait en outre produire des modes de rayonnement parasites.

10 De la même façon, bien que l'on décrive un système présentant deux branches, on pourrait aussi bien envisager, sans sortir du cadre de la présente invention, un système qui, tout en gardant une symétrie par rapport à l'axe longitudinal Δ , présente un nombre plus élevé de branches, ou même un système dans lequel les différentes branches entourant le pied soient jointives, formant un contour prismatique.

15 Cependant, en augmentant le nombre d'éléments piézoélectriques, on perd en élasticité du fait que l'on augmente la "surface active" définie plus haut.

20 On va maintenant décrire un exemple de réalisation, montrant les avantages procurés par rapport à un transducteur Tonpitz classique.

Exemple de réalisation

25 On a cherché à obtenir un transducteur qui soit optimisé en poids et en volume pour une fréquence de résonance et une bande de fréquence donnée.

Si on choisit par exemple :

- 30 — une fréquence de résonance de 3 kHz,
 — un diamètre de pavillon de 250 mm (une demi-longueur d'onde)
 — un coefficient de surtension mécanique $Q = 2$, et
 — un rapport entre la surface du pavillon et la surface de la partie où le moteur se raccorde au moteur (c'est-à-dire la section du moteur
 35 dans un Tonpitz classique, et la section du pied dans le transducteur de la présente invention) de 10 environ,

on obtient pour un transducteur Tonpitz classique optimisé en poids et en volume les caractéristiques suivantes :

- 40 — masse avant minimum : 2,2 kg
 — volume du matériau piézoélectrique : 840 cm³
 — masse du matériau piézoélectrique : 6,13 kg
 — masse avant : 3,44 kg
 45 — masse arrière : 10,95 kg
 (soit une masse totale de 20,52 kg)

Le moteur, constitué d'un empilement cylindrique, devra avoir un diamètre de 72,5 mm et une hauteur de 203,5 mm.

5 Un transducteur réalisé selon les enseignements de la présente invention donnera, pour les mêmes performances et le même matériau piézoélectrique, les valeurs suivantes :

	— masse avant minimum :	3,3 kg
	— volume du matériau piézoélectrique :	126 cm ³
10	— masse du matériau piézoélectrique :	0,92 kg
	— masse avant :	4,11 kg
	— masse arrière :	7,30 kg
	(soit une masse totale de 12,33 kg)	

15 Les dimensions données à l'élément piézoélectrique dans cet exemple sont $L = 96$ mm, $l = 38,5$ mm et $t = 17$ mm.

La masse avant sera avantageusement fabriquée dans un matériau léger tel que l'aluminium, et la masse arrière fabriquée dans un matériau dense et rigide tel que l'acier. Le collage des éléments piézoélectriques sera fait, de façon classique, au moyen d'une colle époxy dont la tenue mécanique sera au moins égale à l'effort crête auquel pourra être soumis le matériau piézoélectrique.

20 On observe un gain considérable — dans un rapport de 1 à 6,7 — sur le volume de matériau piézoélectrique nécessaire, donc une réduction importante du coût du transducteur.

25 On observe également une réduction à la fois de la masse totale du transducteur — dans un rapport voisin de 2 —, et de son encombrement, surtout grâce la hauteur réduite, du fait d'une hauteur moindre du moteur (longueur de barreau de 96 mm contre une hauteur d'empilement de 203,5 mm).

35

40

45

REVENDECATIONS

- 5 1. Un transducteur électroacoustique, comportant un pavillon rayonnant (10), une masse arrière (20) et un moteur formé d'au moins un élément piézoélectrique (30) interposé entre le pavillon et la masse arrière et excité électriquement de manière à produire une vibration transmise au pavillon,
- 10 dans lequel l'élément piézoélectrique est soumis à un champ électrique de direction perpendiculaire à la direction principale de polarisation du matériau piézoélectrique, de manière à faire travailler celui-ci en mode cisaillement,
- caractérisé en ce que :
- 15 — le pavillon et la masse arrière se terminent l'un en forme de pied rectiligne (11) et l'autre en forme de U logeant le pied entre des branches rectilignes (21), le pied et les branches s'étendant parallèlement à la direction longitudinale (Δ) du transducteur, et
- 20 — le moteur est formé par des éléments piézoélectriques sensiblement parallélépipédiques placés entre les faces en regard du pied et de chaque branche, ces éléments étant pourvus d'électrodes (36,36') créant un champ électrique parallèle à ladite direction longitudinale, et la forme de ces éléments piézoélectriques étant choisie de manière à privilégier la déformation du matériau piézoélectrique essentiellement dans cette direction longitudinale.
- 25
2. Le transducteur de la revendication 1, dans lequel le pavillon se termine en forme de pied et la masse arrière se termine en forme de U.
- 30 3. Le transducteur de l'une des revendications 1 et 2, dans lequel, sur chaque élément piézoélectrique, les électrodes sont disposées de part et d'autre de l'élément piézoélectrique en direction longitudinale, respectivement sur les faces avant et arrière (35,35') de celui-ci.
- 35 4. Le transducteur de la revendication 3, dans lequel la largeur, en direction transversale, des électrodes avant et arrière est inférieure à la largeur (l) de l'élément piézoélectrique dans cette même direction, de manière à laisser subsister une marge entre l'électrode et le pied et/ou entre l'électrode et la branche du U, le pied et/ou la branche du U pouvant alors être formés d'un matériau métallique.
- 40
5. Le transducteur de l'une des revendications 1 à 4, dans lequel la longueur (L) en direction longitudinale des éléments piézoélectriques est au moins le double de leur largeur (l) en direction transversale.
- 45 6. Le transducteur de l'une des revendications 1 à 5, dans lequel la

largeur (l) en direction transversale des éléments piézoélectriques est au moins double de leur épaisseur (t) dans la direction perpendiculaire à la direction longitudinale et à la direction transversale.

5 7. Le transducteur de l'une des revendications 1 à 6, comprenant des moyens (40,41,42) de précontrainte des éléments piézoélectriques en direction transversale.

10 8. Le transducteur de la revendication 7, dans lequel les moyens de précontrainte comportent un tirant (40) passé dans des alésages alignés, orientés transversalement et formés respectivement dans le pied, les éléments piézoélectriques et les branches du U.

15 9. Le transducteur de l'une des revendications 2 à 8, dans lequel la section du pavillon est au moins égale à dix fois la section de son pied.

20

25

30

35

40

45

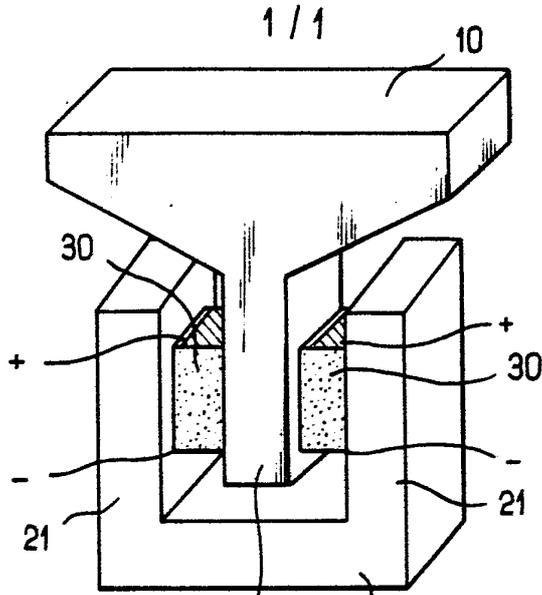


FIG. 1

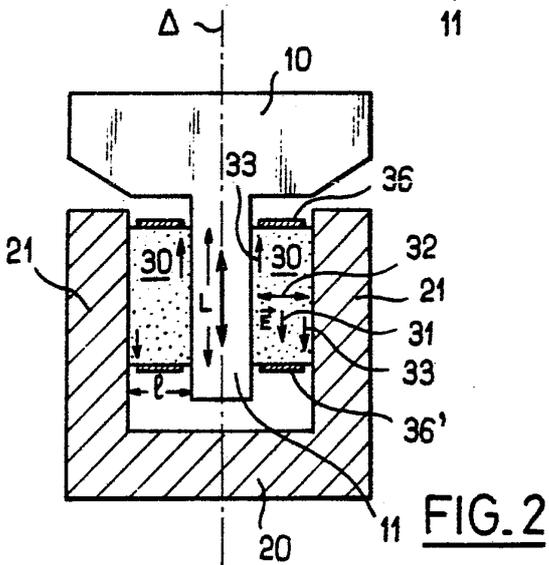


FIG. 2

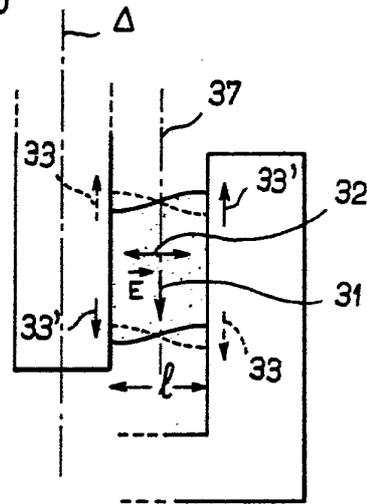


FIG. 3

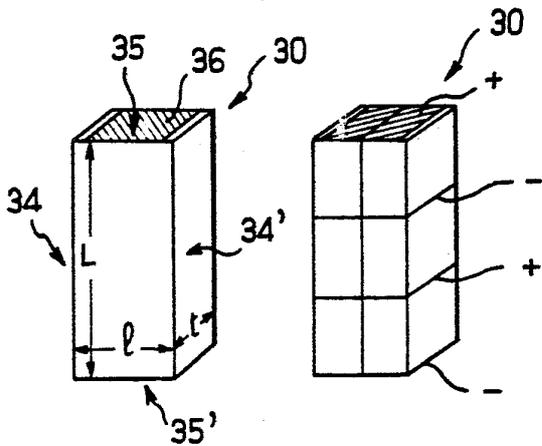


FIG. 4

FIG. 5

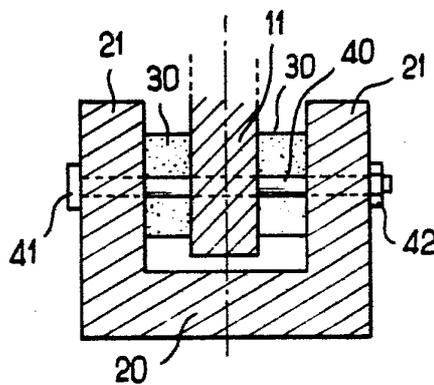


FIG. 6