

⑬ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

⑪ N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 548 457

⑫ N° d'enregistrement national :

83 11008

⑤① Int Cl⁴ : H 01 L 41/22.

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫② Date de dépôt : 1^{er} juillet 1983.

⑫③ Priorité :

⑫④ Date de la mise à disposition du public de la
demande : BOPI « Brevets » n° 1 du 4 janvier 1985.

⑫⑥ Références à d'autres documents nationaux appa-
rentés :

⑦① Demandeur(s) : *THERMOCOAX ET CIE, société en nom
collectif.* — FR.

⑦② Inventeur(s) : Gilles Bailleul et Patrick Coville.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : Christian Landousy.

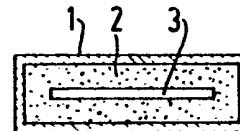
⑤④ Capteur piézoélectrique.

⑤⑦ Capteur piézoélectrique comprenant deux électrodes 1 et
3 métalliques isolées par un matériau piézoélectrique 2.

Le matériau piézoélectrique, obtenu par le mélange d'une
poudre céramique piézoélectrique avec une résine thermotur-
cissable ou thermoplastique, permet de réaliser des capteurs
de formes très diverses, adaptables à des utilisations très
variées.

Un capteur plat, réalisé selon l'invention, peut être utilisé
dans la détection d'intrus ou la mesure de pression entre deux
pièces mobiles. Un capteur cylindrique peut être utilisé dans la
mesure des variations de pression des fluides.

Application : détection des vibrations et des variations de
pression.



FR 2 548 457 - A1

CAPTEUR PIEZOELECTRIQUE

L'invention concerne un procédé de réalisation de cap-
teur piézoélectrique composé de deux électrodes métalliques isolées
par un matériau piézoélectrique. Les capteurs réalisés selon l'in-
vention trouvent leur application dans la détection des vibrations
05 et des variations de pression dans un domaine de températures com-
pris entre -80°C et +120°C.

Il est connu de réaliser des capteurs piézoélectriques
du type "VIBRACOAX", fabriqués par la Demanderesse, et constitués
d'une gaine cylindrique en cuivre et d'une électrode axiale égale-
10 ment en cuivre, isolées l'une de l'autre par une poudre céramique
piézoélectrique. Toute déformation élastique ou plastique de la
gaine extérieure se traduit par des contraintes sur la poudre
piézoélectrique, par la génération de charges électriques, et donc
par l'apparition d'une différence de potentiel entre la gaine et
15 l'électrode axiale.

Mais la sensibilité d'un tel capteur diminue de façon
irréversible lorsqu'il est soumis à des températures supérieures à
100°C du fait de la dépolarisation des grains piézoélectriques.

Il est également connu de réaliser des capteurs
20 comprenant d'autres matériaux piézoélectriques tels que des céra-
miques frittées du type PXE fabriquées par RTC-ELCOMA, ou tels que
des feuilles de polymères chargées en poudre piézoélectrique du
type décrit dans le brevet japonais n° 66912 D/37.

Mais, ces produits sont de forme figée, et l'adaptation
25 à une application autre que celle pour laquelle ils ont été prévus
à l'origine remet en cause toute leur conception. Par exemple, cha-
que nouvelle fabrication d'un capteur à céramique piézoélectrique,
destiné à un nouvel usage, suppose la mise en oeuvre de moyens
d'usinage non seulement pour la réalisation des électrodes
30 métalliques du capteur mais encore pour la céramique, ce qui vient
augmenter le coût de la fabrication. Par ailleurs, certains autres

matériaux piézoélectriques, tels que les feuilles piézoélectriques, sont d'une utilisation restreinte n'étant pas adaptables à toutes les formes de capteurs.

05 La présente invention vise à pallier ces inconvénients en fournissant un procédé de fabrication de capteurs tels que décrits dans le préambule, remarquable en ce que d'une part, l'une des électrodes présente une forme adéquate pour servir de moule au matériau piézoélectrique, lequel, étant composé d'une poudre piézoélectrique incorporée dans une résine thermodurcissable, vient remplir à froid le moule formé par cette première électrode, en ce
10 que, d'autre part, la seconde électrode est noyée dans le matériau piézoélectrique de manière à être isolée électriquement de la première électrode, et en ce que, enfin, l'ensemble ainsi constitué est porté à une température inférieure au point de Curie de la poudre piézoélectrique tandis qu'un champ électrique continu lui est
15 appliqué, de manière à polariser linéairement le matériau piézoélectrique, en même temps que se produit le durcissement de la résine.

20 Selon une variante de l'invention, la première électrode ne constitue qu'une partie du moule destiné à recevoir le matériau piézoélectrique, les autres parties du moule étant réalisées au moyen de pièces plastiques qui peuvent être ou non enlevées après durcissement de la résine.

25 Selon une autre variante, la seconde électrode constitue également une partie du moule.

Selon une autre variante du procédé de réalisation de capteur selon l'invention, le matériau piézoélectrique est composé d'une résine thermoplastique chargée de poudre piézoélectrique, le moulage du matériau piézoélectrique étant alors réalisé par injection à chaud, la polarisation du matériau piézoélectrique étant
30 également pratiquée à chaud à une température inférieure au point de Curie de la poudre piézoélectrique, et le durcissement de la résine étant obtenu par refroidissement après l'opération de polarisation.

35 Selon une réalisation préférentielle de l'invention le

matériau piézoélectrique est composé de 10 % de résine pour 90 % de poudre piézoélectrique.

05 Ainsi, dans des réalisations de capteurs selon l'invention, toutes les formes adaptées à des réalisations très diverses sont possibles, sans autre usinage què celui des pièces métalliques d'électrodes, ce qui réduit le coût de fabrication. D'autre part, la sensibilité de tels capteurs est améliorée dans le domaine des températures supérieures à 80°C. Et en particulier, la diminution de sensibilité du capteur au-delà de 80°C est totalement réversible.

10 La description suivante en se référant aux dessins annexés fera mieux comprendre comment l'invention est réalisée.

Les figures 1a et 1b montrent un capteur plat, réalisé selon l'invention, en coupe longitudinale et en vue du dessus respectivement.

15 Les figures 2a et 2b montrent respectivement une coupe longitudinale et une vue du dessus d'un capteur plat selon une seconde réalisation de l'invention.

20 Les figures 3a et 3b montrent respectivement une coupe longitudinale et une vue du dessus d'un capteur plat selon une troisième réalisation de l'invention.

Les figures 4a et 4b représentent en coupe longitudinale et en coupe transversale respectivement, un capteur cylindrique selon l'invention.

25 La figure 5 représente un tel capteur cylindrique adaptable autour d'une canalisation.

30 La figure 6a représente les directions de polarisation des grains de la poudre piézoélectrique, dans un matériau selon l'invention, avant le traitement thermique dans un champ électrique continu, et la figure 6b représente les directions de polarisation de la même poudre piézoélectrique après ce traitement.

La figure 7 représente la réponse en signal du capteur plat selon l'invention relative à un choc constant, en fonction de la température pour un matériau piézoélectrique donné.

35 Tel que représenté sur les figures 1 et 2, le capteur

plat comprend une première électrode 1 par exemple en cuivre qui sert de moule au matériau piézoélectrique 2. La seconde électrode 3 est noyée dans le matériau 2 et ainsi isolée de la première électrode 1.

05 Dans le but d'assurer la fonction de moule pour le matériau piézoélectrique, la première électrode du capteur plat peut présenter diverses formes. Dans le capteur représenté sur la figure 1, la première électrode 1 est prévue de la forme d'un parallélépipède rectangle, sans face supérieure. La face supérieure sert au
10 remplissage en matériau piézoélectrique 2, et à l'introduction de la seconde électrode 3. Cette dernière est prévue de dimensions appropriées pour que l'intervalle laissé entre les deux électrodes et empli de matériau piézoélectrique, isolant électriquement, soit suffisamment grand pour éviter les claquages électriques entre
15 elles. Une remontée 4 du matériau piézoélectrique par mouillage de l'électrode 3 est également favorable pour éviter les claquages, puisque cette remontée augmente la distance dans l'air, entre les deux électrodes.

Dans le capteur représenté sur la figure 2, la première
20 électrode 1 a la forme d'un parallélépipède rectangle, sans face supérieure et sans petites faces latérales. Les petites faces latérales sont réalisées par collage ou vissage de flasques 5 en un matériau isolant, plastique ou teflon par exemple, qui pourront être enlevées ou non après durcissement de la résine. Le matériau
25 piézoélectrique 2 isole les électrodes 1 et 3 l'une de l'autre. Les flasques 5 étant électriquement isolantes, l'électrode 3 peut présenter la même longueur que l'électrode 1.

Le capteur plat représenté sur la figure 3 a également la forme d'un parallélépipède rectangle. Les électrodes 1 et 3 sont
30 placées selon chacune des grandes faces latérales du parallélépipède. Sur la face inférieure 6 et les petites faces latérales 5 sont collées ou vissées des flasques en matériau isolant de manière à assurer l'étanchéité pendant l'opération de moulage. Ces flasques pourront également, éventuellement être enlevées après durcissement
35 de la résine.

Dans tous les capteurs plats d'un des types représentés sur les figures 1 à 3, les dimensions et les matériaux constitutifs du capteur sont adaptés au phénomène à détecter.

05 Le domaine d'application peut être celui des détecteurs de passage. Dans ce cas le capteur est enterré et placé sur le passage de piétons, voitures ou avions. Le capteur peut être utilisé ainsi à la détection d'intrus, au comptage des véhicules à l'ouverture ou fermeture des barrières.

10 Un tel capteur possède sur les capteurs classiquement utilisés pour les usages cités plus haut (tubes pneumatiques, pédales mécaniques) des avantages certains. Les capteurs selon l'invention peuvent en effet être rendus invisibles et non détectables, car ce sont des capteurs passifs réalisés en matériaux non magnétiques. De plus, leur constitution laisse présager une durée de vie
15 importante vis-à-vis de celle des capteurs classiques.

Le domaine d'application des capteurs plats comprend également la détection de position. Le capteur placé en un endroit judicieux entre deux pièces en mouvement transmet un signal lorsque les deux pièces viennent en contact. Il peut ainsi s'appliquer à la
20 détection de fermeture de portes (wagons SNCF ou RATP), à la détection de fermeture de moules pour injection ou emboutissage. Le signal émis peut encore indiquer la pression de fermeture.

Dans le type de capteur cylindrique représenté sur la figure 4, les deux électrodes 1 et 3 sont cylindriques, creusées et
25 coaxiales. Une des bases du cylindre est obturée, pendant le remplissage de matériau piézoélectrique 2, par une flasque isolante 5. L'autre base du cylindre est obturée ou non après le remplissage par une seconde flasque isolante 5, pour assurer l'étanchéité de l'ensemble, pendant l'opération de durcissage de la résine, suivant
30 la position que doit prendre le capteur par rapport au champ électrique continu auquel il est alors soumis. Ces flasques 5 pourront être enlevées après durcissage de la résine.

Les capteurs cylindriques, tels que représentés sur la figure 4, fonctionnent essentiellement en capteurs de variation de
35 pression. L'électrode centrale 3 est prévue creuse afin de recevoir

le fluide dont on veut mesurer la pression. Cette électrode 3 est raccordée aux canalisations dans lesquelles circule ce fluide par le moyen de deux raccords normalisés fixés à chacune de ses extrémités, ou par tout autre moyen adéquat. Toute variation de pression du fluide est transmise au matériau piézoélectrique et crée donc un signal qui est recueilli entre l'électrode centrale 3 (qui peut par exemple être à la masse électriquement) et l'électrode périphérique.

Les dimensions et les natures des matériaux de ces capteurs cylindriques sont choisis en fonction des pressions et des fluides à étudier. En particulier, les électrodes peuvent être réalisées en tout matériau conducteur de l'électricité et compatible avec le fluide intérieur.

Dans le cas où il n'est pas possible de raccorder le capteur directement sur la tuyauterie, on peut réaliser ce dernier en deux parties destinées à être serrées sur cette tuyauterie. La figure 5 montre en coupe transversale un tel capteur, ouvert en 12, serré sur un tuyau 11.

Le domaine d'application des capteurs cylindriques réalisés selon l'invention s'étend à la mesure des variations de pression à la sortie des pompes à injection pour moteur à explosion ou combustion interne, aux mesures de vitesse de rotation et contrôle de rotation de la pompe. Ce domaine s'étend également aux mesures de variation de pression sur les systèmes asservis hydrauliques ou pneumatiques comprenant le contrôle des efforts de préhension ou de position de robots. Il s'étend enfin à la détection des vibrations des canalisations.

La figure 6a montre la microstructure de la poudre piézoélectrique avant le traitement thermique dans un champ électrique continu. Du point de vue électrique, la céramique piézoélectrique, qui permet d'obtenir la poudre par broyage, peut être considérée comme composée de dipôles élémentaires. Ces dipôles élémentaires consistent en deux charges, l'une positive, l'autre négative, séparées par une petite distance comme il est montré sur la figure 6a. Chaque grain de céramique peut contenir plusieurs de ces dipôles.

Durant l'élaboration de la céramique, ces dipôles ne montrent aucune préférence pour une direction particulière, de sorte qu'ils se trouvent orientés de façon aléatoire dans chaque grain de poudre, dans l'ensemble de la poudre elle-même et dans le mélange
05 poudre-résine. Si une contrainte est appliquée au matériau ainsi réalisé, la somme des déplacements de charges est nulle, de sorte que, dans ces conditions, l'effet piézoélectrique est nul.

Pour obtenir un effet piézoélectrique dans le matériau, les dipôles doivent être d'abord orientés, ce qui est réalisé en
10 soumettant le matériau piézoélectrique à un fort champ électrique continu externe à une température aussi haute que peut le supporter la résine, température toutefois inférieure au point de Curie de la céramique. A cette température, les dipôles créés spontanément disparaissent et de nouveaux dipôles se forment, orientés parallè-
15 lement à la direction du champ électrique H comme le montre la figure 6b, en même temps qu'apparaît une élongation de la céramique dans la même direction. En réalité, les dipôles ne présentent jamais l'orientation idéale suggérée par la figure 6b, car la structure de la céramique ne permet que certaines rotations de dipôles
20 et la température utilisée dans le cas du support en résine reste éloignée de la température de Curie de la céramique.

Lorsque l'action du champ électrique externe cesse et que le matériau est refroidi, les dipôles ne peuvent aisément revenir à leur position d'origine, et il est obtenu une polarisation
25 rémanente de la céramique. Cette dernière présente un effet piézoélectrique permanent et peut convertir l'énergie mécanique en énergie électrique et inversement, de telle sorte que l'énergie électrique produite et disponible entre les électrodes, est proportionnelle à la pression appliquée par exemple.

Mais l'énergie électrique produite par un matériau
30 piézoélectrique dépend d'une part, du champ électrique auquel il a été soumis pour obtenir la polarisation rémanente, d'autre part, de la température à laquelle il a été soumis pendant l'opération, et, enfin de l'élasticité du matériau. Dans ces conditions, il est
35 nécessaire, avant d'utiliser les capteurs décrits plus haut, de

réaliser un étalonnage. A cet effet, le capteur est soumis aux chocs d'un "Mouton de Charpy" et les charges induites pour chaque choc d'intensité connue sont notées, pour constituer une courbe d'étalonnage, qui définit en même temps le domaine d'efficacité du capteur.

Selon une réalisation préférentielle du matériau piézo-électrique, ce dernier est constitué d'une poudre céramique PXE-5 de la Société RTC-ELCOMA dont le point de Curie est à 285°C et d'une résine ECCOBOND 104 de la Société Emerson et Cummings, ou bien d'une résine AY 105 de la Société CIBA-GEIGY. Pendant l'opération de polarisation, il est porté à une température comprise entre 100° et 250°, suffisante pour obtenir le durcissement de la résine et inférieure au point de Curie de la poudre piézoélectrique. Il est soumis d'autre part à un champ électrique de valeur supérieure à 1kV/mm et inférieure au champ électrique disruptif. D'une façon générale, la température et le champ électrique utilisés pour obtenir la polarisation sont choisis en fonction de la forme, des dimensions du capteur et du matériau piézoélectrique.

Or, les propriétés piézoélectrique se détériorent, et la sensibilité d'un capteur diminue, si ce dernier est soumis à des températures approchant la température à laquelle il a été soumis pour obtenir la polarisation rémanente. Dans le cas de capteurs réalisés selon l'invention, cette dépolarisation est parfaitement réversible, et le capteur retrouve la sensibilité d'origine lorsque la température diminue. Pour un capteur plat, réalisé selon l'invention, la courbe de réponse en fonction de la température à un choc constant de 32 g, donné par un "Mouton de Charpy" est représentée sur la figure 7. Cette courbe, donnée à titre d'exemple, n'est valable que dans le cas où le capteur est réalisé avec des matériaux bien définis (électrodes en cuivre, matériaux piézoélectriques, poudre PXE-5 et résine époxyde). Pour d'autres matériaux la forme de la courbe serait différente. La sensibilité d'un tel capteur commence à diminuer pour des températures supérieures à 60°. Mais le capteur reste efficace jusqu'à environ 120°C.

D'autre part, les effets de la polarisation d'origine

diminuent légèrement avec le temps. On peut considérer que pour des capteurs réalisés avec la poudre PXE-5, les pertes de sensibilité sont de l'ordre de 10 % au bout de 10^5 jours (environ 300 ans) en usage normal.

05 Ces résultats, ajoutés au fait que les électrodes des capteurs peuvent être réalisées en métaux tels que le cuivre, le nickel ou l'aluminium, laissent présager une grande solidité et une grande durée de vie pour ces capteurs, rendant leur emploi utile pour les mesures à effectuer dans des emplacements d'accès
10 difficile.

Il est manifeste enfin que l'application de l'invention dans les domaines cités plus haut, n'est pas limitative, et que de nombreuses variantes sont possibles sans sortir du cadre de la présente invention, tel que défini par les revendications ci-après
15 annexées.

REVENDICATIONS :

1. Procédé de réalisation d'un capteur piézoélectrique composé de deux électrodes métalliques isolées par un matériau piézoélectrique caractérisé en ce que d'une part, l'une des électrodes présente une forme adéquate pour servir de moule au matériau piézoélectrique, lequel, étant composé d'une poudre piézoélectrique incorporée dans une résine thermodurcissable, vient emplir, à froid, le moule formé par cette première électrode, et en ce que, d'autre part, la seconde électrode est noyée dans le matériau piézoélectrique de manière à être isolée électriquement de la première électrode, et en ce que, enfin, l'ensemble ainsi constitué est porté à une température inférieure au point de Curie de la poudre piézoélectrique, tandis qu'un champ électrique continu lui est appliqué, de manière à polariser linéairement le matériau piézoélectrique, en même temps que se produit le durcissement de la résine.
2. Procédé de réalisation d'un capteur piézoélectrique selon la revendication 1, caractérisé en ce que le matériau piézoélectrique est composé d'une résine thermoplastique chargée de poudre piézoélectrique, le moulage du matériau piézoélectrique étant alors réalisé par injection à chaud, la polarisation du matériau piézoélectrique étant également pratiquée à chaud à une température inférieure au point de Curie de la poudre piézoélectrique, et le durcissement de la résine étant obtenu par refroidissement après l'opération de polarisation.
3. Procédé de réalisation d'un capteur selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la première électrode ne constitue qu'une partie du moule destiné à recevoir le matériau piézoélectrique, les autres parties du moule étant réalisées au moyen de pièces plastiques qui peuvent être enlevées ou non après durcissement de la résine.
4. Procédé de réalisation d'un capteur selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la seconde électrode constitue également une partie du moule.
5. Capteur selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que sa forme est parallélépipédique.

6. Capteur selon l'une des revendications 1 à 5, caracté-
risé en ce que les deux électrodes sont cylindriques et coaxiales.
7. Capteur selon l'une des revendications 1 à 6, caracté-
risé en ce que le matériau piézoélectrique est composé de 10 %
05 de résine et de 90 % de poudre piézoélectrique.
8. Capteur selon l'une des revendications 1 ou 3 à 7, ca-
ractérisé en ce que la résine est choisie entre la résine ECCOBOND
104 de la Société Emerson et Cummings ou la résine AY 105 de la
société CIBA-GEIGY.
- 10 9. Capteur selon l'une des revendications 1 à 8, caracté-
risé en ce que la poudre piézoélectrique est de la poudre de céra-
mique PXE-5 de RTC-ELCOMA dont le point de Curie est de 285°C.
10. Procédé de réalisation d'un capteur selon l'une des re-
vendications 1 ou 3 à 9, caractérisé en ce que la polarisation du
15 matériau piézoélectrique est réalisée à une température suffi-
sante pour obtenir le durcissement de la résine et inférieure au
point de Curie de la poudre piézoélectrique, notamment entre 100°
et 250°C.
11. Procédé de réalisation d'un capteur selon l'une des re-
vendications 1 à 10, caractérisé en ce que la polarisation du maté-
20 riau piézoélectrique est réalisée dans un champ électrique su-
périeur à 1 kV/mm et inférieur au champ électrique disruptif.
12. Capteur selon l'une des revendications 1 à 11, carac-
térisé en ce que les électrodes sont réalisées en l'un des métaux
25 choisi parmi le cuivre, le nickel ou l'aluminium.

1/3

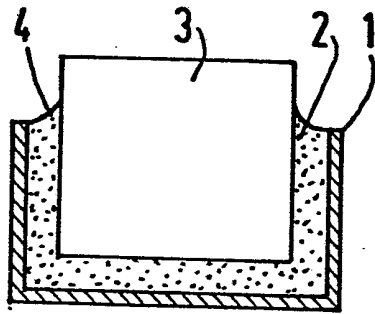


FIG. 1a

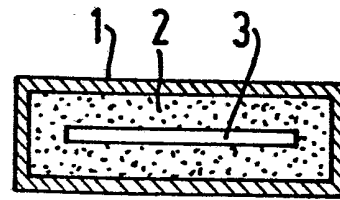


FIG. 1b

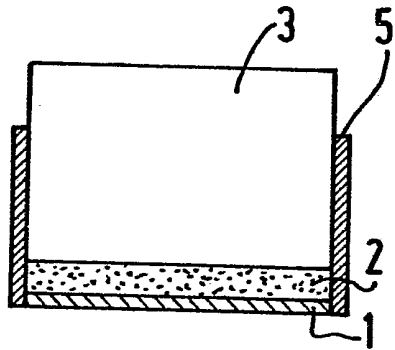


FIG. 2a

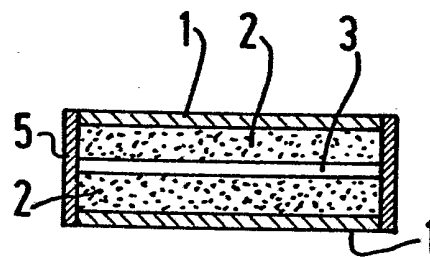


FIG. 2b

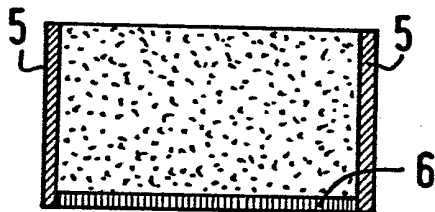


FIG. 3a

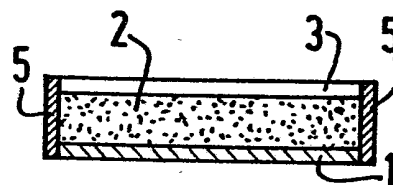


FIG. 3b

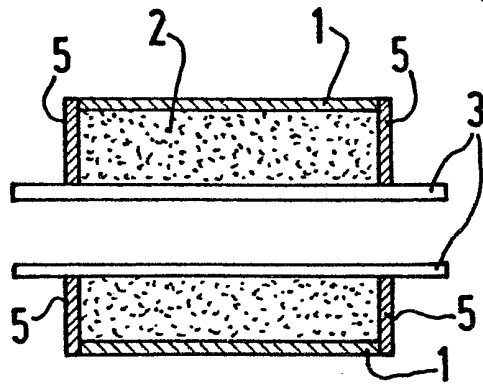


FIG. 4a

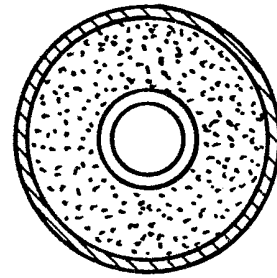


FIG. 4b

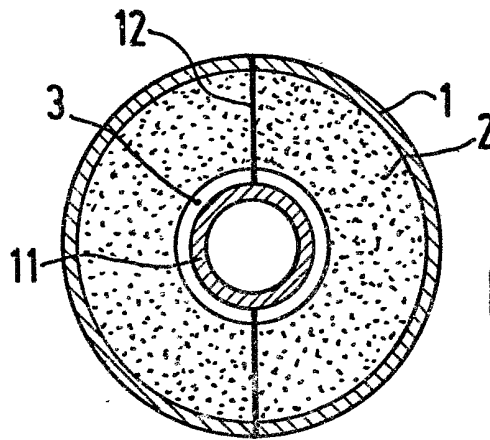


FIG. 5

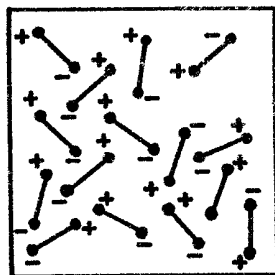


FIG. 6a

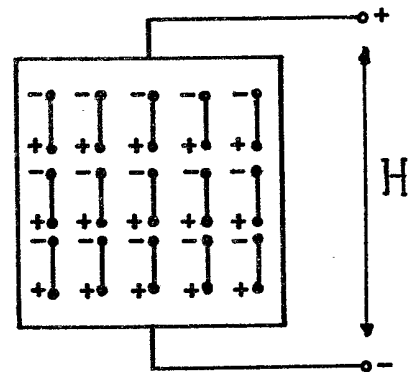


FIG. 6b

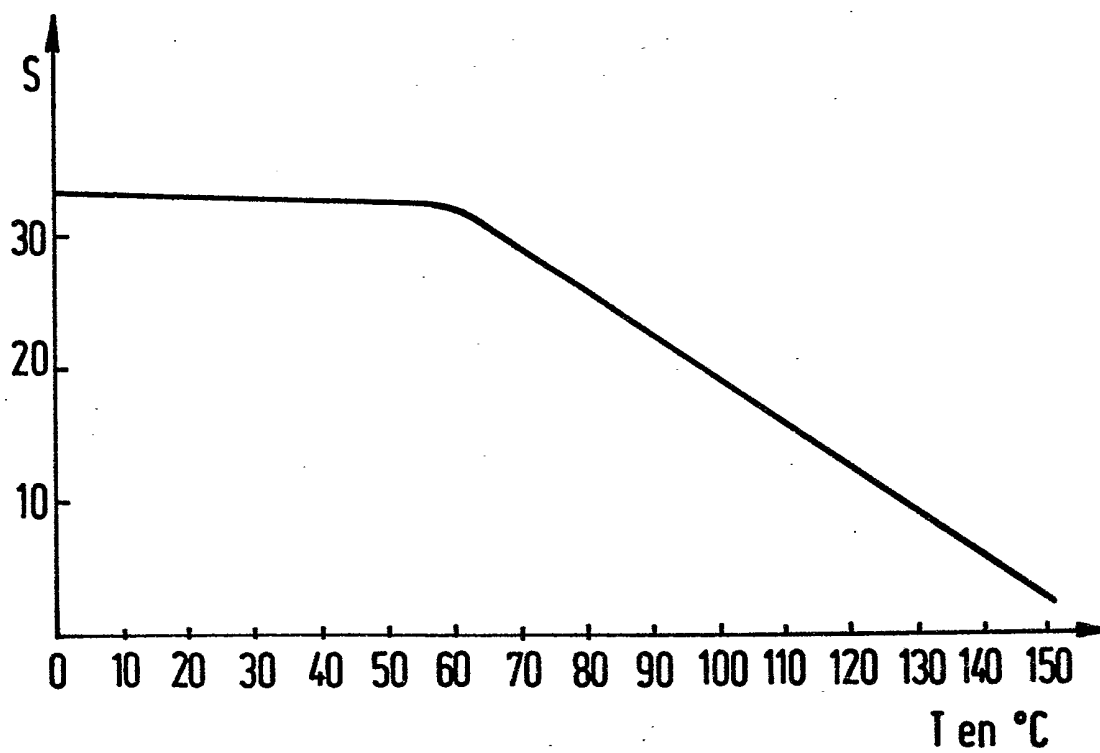


FIG.7