

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

**EP 0 799 097 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: **95942751.9**

(22) Date de dépôt: **15.12.1995**

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: **B06B 1/06**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/FR95/01676**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 96/20046 (04.07.1996 Gazette 1996/30)**

**(54) TRANSDUCTEUR ACOUSTIQUE EN ANNEAU PRECONTRAIT**

VORGESpanNTEN RING AKUSTISCHER WANDLER

ACOUSTIC TRANSDUCER SHAPED AS A PRESTRESSED RING

(84) Etats contractants désignés:  
**DE GB IT**

(30) Priorité: **23.12.1994 FR 9415587**

(43) Date de publication de la demande:  
**08.10.1997 Bulletin 1997/41**

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

(72) Inventeurs:  
• **EDOUARD, Marc**  
**F-92402 Courbevoie Cédex (FR)**  
• **LOUBIERES, Bernard**  
**F-92402 Courbevoie Cédex (FR)**

• **BOCQUILLON, Pascal**  
**F-92402 Courbevoie Cédex (FR)**  
• **LACOUR, Olivier**  
**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:  
**WO-A-95/30496**                      **DE-A- 3 542 741**  
**US-A- 3 043 967**                      **US-A- 3 230 505**

**EP 0 799 097 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 se rapporte aux transducteurs piézoélectriques présentant la forme d'un anneau et qui sont munis de moyens permettant de précontraindre cet anneau pour lui appliquer une contrainte de valeur déterminée. Elle concerne également les procédés qui permettent de mettre en oeuvre ces moyens pour appliquer ladite précontrainte à l'anneau.

On utilise fréquemment en acoustique sous-marine des transducteurs piézoélectriques qui permettent d'obtenir des ondes acoustiques, plus particulièrement des ondes acoustiques basse fréquence, à partir d'un signal électrique d'excitation. Une forme particulière d'un tel transducteur, plus spécialement adaptée à l'émission des ondes basse fréquence, est celle d'un tore à section rectangulaire, formé d'un ensemble de segments en céramique polarisés tête-bêche et assemblés par collage avec interposition d'une électrode entre chaque segment. Les segments ainsi excités se contractent et se dilatent au rythme des signaux électriques qui sont appliqués par les électrodes, et ce mouvement tangentiel des segments se traduit par une extension et une contraction radiale de l'anneau. Ce mouvement entraîne donc la production d'ondes acoustiques qui sont émises avec une symétrie radiale autour de l'axe de l'anneau dans le milieu, la mer généralement, dans lequel le transducteur est plongé.

Pour obtenir une puissance acoustique importante, les anneaux sont soumis à des contraintes piézoélectriques de forte amplitude et cet effet est d'autant plus marqué que la fréquence des ondes acoustiques à émettre est basse. Sous l'effet de ces contraintes, l'anneau tendrait à se disjoindre, tout d'abord au niveau des interfaces entre les différents segments et ensuite par rupture pure et simple des céramiques piézoélectriques à partir d'un certain niveau d'émission. Pour pallier cet inconvénient, on est amené à précontraindre l'anneau en le comprimant à l'aide de moyens qui lui appliquent des forces radiales dirigées vers le centre et réparties uniformément sur la surface extérieure de l'anneau. Ces contraintes radiales induisent des contraintes tangentielles qui tendent à maintenir les segments solidarisés entre eux et s'opposent à ce que naissent au sein des céramiques des contraintes de traction, auxquelles on sait que ce type de matériau est particulièrement fragile.

On a imaginé différentes sortes de dispositifs pour obtenir de telles contraintes. Ces méthodes consistent généralement à enrouler une sangle d'un matériau adéquat autour de l'anneau en tirant très fort sur les extrémités de cette sangle pour obtenir un freinage convenable. On trouvera des exemples de ces méthodes par exemple dans les brevets français N° 2 346 862 et 2 463 979.

Les méthodes ainsi utilisées présentent toutefois divers inconvénients.

En particulier la valeur finale de la précontrainte

ainsi obtenue fluctue dans de grandes limites de manière incontrôlable. Dans ces conditions, et comme le système n'est ni démontable ni réglable, on est conduit à mettre au rebut l'anneau en cours de construction alors qu'il en est à un stade très avancé de sa fabrication, ce qui entraîne une perte importante.

Par ailleurs, compte tenu des différents moyens permettant de tirer sur la sangle, ainsi que de la friction de celle-ci sur la surface des segments, les contraintes qui sont ainsi générées ne sont pas réparties uniformément et elles se concentrent généralement en un point particulier correspondant à l'empilage des côtes. Une telle irrégularité est une source de gêne importante, compte tenu de l'isotropie radiale que l'on cherche à obtenir pour le rayonnement acoustique.

D'autre part ces inconvénients sont d'autant plus importants que le diamètre de l'anneau est plus grand. Or le diamètre de l'anneau est directement relié à la fréquence d'émission souhaitée. Plus la fréquence désirée est basse, plus l'anneau doit être grand, et comme dans ce cas plus la puissance d'émission souhaitée est grande, plus la nécessité de la précontrainte est importante, et donc plus les inconvénients cités plus hauts prennent de l'importance.

Le document US-A- 3 043 967 divulgue un transducteur acoustique suivant le préambule de la revendication 1.

Ce transducteur utilise des cales en forme de coin, d'une part, pour relier les différents segments droits assemblés à partir d'empilements d'éléments piézoélectriques pour donner une courbure à l'ensemble, et d'autre part, pour fournir des surfaces d'électrode aux différents empilements.

Pour pallier les inconvénients de l'art antérieur, invention propose un transducteur acoustique en anneau précontraint, du type comprenant un ensemble de segments piézoélectriques disposés en forme d'anneau, groupés pour former des secteurs sensiblement identiques séparés par des cales en forme de coin, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des pièces d'extrémité fixées aux extrémités de ces secteurs pour délimiter entre eux des intervalles en forme de coin dont l'extrémité la plus étroite est dirigée vers l'intérieur de l'anneau, des cales de serrage en forme de coin adaptés à ces intervalles et placées dans ceux-ci, un anneau conformateur permettant de maintenir l'ensemble des secteurs, et des moyens de serrage permettant de faire glisser les cales de serrage vers l'intérieur de l'anneau pour précontraindre les segments par l'anneau conformateur.

Selon une autre caractéristique, le transducteur comprend en outre des jauges de contrainte fixées sur la face intérieure des secteurs pour permettre de mesurer les contraintes appliquées aux segments.

Selon une autre caractéristique, les moyens de serrage sont formés de vis fixées dans des trous ménagés dans la face interne des cales de serrage et munies de rondelles venant s'appuyer sur les pièces d'extrémité

des secteurs pour permettre d'exercer une traction sur les cales lorsqu'on visse les vis.

Selon une autre caractéristique, les intervalles subsistant d'une part entre les cales de serrage et l'anneau conformateur et d'autre part entre ces mêmes cales de serrage et les moyens de serrage sont bouchés avec un produit de remplissage lorsque le réglage est obtenu.

Selon une autre caractéristique la raideur dynamique de l'anneau conformateur est sensiblement dix fois plus faible que celle des segments piézoélectriques.

L'invention propose en outre un procédé de réglage d'un tel transducteur principalement caractérisé en ce que l'on serre progressivement les moyens de serrage en surveillant les indications données par les jauges de contrainte pour obtenir sur chaque secteur des contraintes identiques et égales à la valeur souhaitée.

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

- la figure 1, une vue en perspective cavalière d'un transducteur en anneau selon l'invention;
- la figure 2, une vue en perspective cavalière d'un coin de réglage de cet anneau; et
- la figure 3, une vue en perspective cavalière d'un secteur de l'anneau compris entre deux coins tels que ceux de la figure 2.

Dans l'exemple de réalisation représenté sur la figure 1, l'anneau piézoélectrique formant le transducteur est réalisé par assemblage d'un ensemble de segments élémentaires 101 ayant la forme de prismes à section trapézoïdale tout à fait semblables à ceux utilisés dans l'art connu.

Toutefois, selon l'invention, l'anneau est divisé en un ensemble de secteurs 102 sensiblement identiques réunissant des sous-ensemble de segments. A titre d'exemple, dans une réalisation pratique le diamètre de l'anneau est de l'ordre de 20 cm et il est divisé en 5 secteurs comportant chacun 8 segments.

On a représenté sur la figure 3 l'un de ces secteurs isolés. Il est formé de 8 segments élémentaires 101 en céramique piézoélectrique, du PZT par exemple. Ces segments sont collés entre eux avec interposition d'électrodes 103 qui permettent d'appliquer les tensions électriques d'excitation. Selon une technique connue, les segments sont polarisés tangentiellement alternativement dans des sens opposés. Les électrodes 103 sont réunies alternativement à des connexions 104 et 105 qui permettent d'appliquer aux électrodes ces tensions électriques.

En outre les extrémités du secteur sont munies de pièces métalliques collées sur les faces extérieures des segments extrêmes. Ces pièces métalliques sont en forme de coin et leurs faces latérales extérieures font un angle  $\alpha$  avec la direction du rayon de l'anneau, comme représenté sur la figure 1. Cet angle  $\alpha$  est tel que la lar-

geur du coin soit plus grande sur la surface intérieure de l'anneau que sur la surface extérieure de celui-ci.

Par ailleurs, on a en outre disposé sur la face intérieure du secteur au moins une jauge de contrainte 107, qui permet de mesurer les contraintes appliquées aux secteurs au niveau de cette face intérieure. Cette jauge de contrainte est par exemple réalisée sous la forme connue d'un film supportant des électrodes métalliques disposées de telle manière que l'extension ou la contraction de la surface sur laquelle la jauge est collée provoque une variation de résistance de ces électrodes selon une loi connue.

L'ensemble des 5 secteurs est disposé à l'intérieur d'un anneau conformateur 108 et qui permet de définir la forme et les dimensions de l'anneau piézoélectrique. Cet anneau est par exemple fabriqué en verre époxy avec une surface intérieure soigneusement polie.

Les dimensions des secteurs sont prévus pour qu'il subsiste un jeu entre les pièces métalliques des extrémités de deux secteurs adjacents. Ce jeu est comblé par des cales de réglage ayant la forme de coins 109. Ces cales, dont un exemplaire est représenté sur la figure 2, viennent donc se placer entre les secteurs et permettent de bloquer ces secteurs à l'intérieur de l'anneau conformateur 108. L'angle entre les deux faces latérales de ces cales est étudié pour correspondre à l'angle  $\alpha$  des pièces d'extrémités des secteurs, de telle manière que lorsque les cales sont en position ces faces extérieures viennent s'appliquer sur les faces extérieures de ces pièces d'extrémités avec un jeu angulaire aussi minime que possible, pour éviter des contraintes excessives aux points de contact entre les cales et les pièces d'extrémité.

Pour assurer l'assemblage de l'ensemble, les faces des cales 109 orientées vers l'intérieur de l'anneau sont munies de trous taraudés 110, ici au nombre de 3, qui permettent de recevoir des organes de serrage venant se visser dans ces trous en s'appuyant sur les faces des pièces d'extrémité 106 elles-mêmes orientées vers l'intérieur de l'anneau. Ces pièces de serrage peuvent être plus ou moins compliquées, mais dans l'exemple de réalisation représenté elles sont composées de vis 111 sur lesquelles sont enfilées des rondelles 112. Ces vis viennent se visser dans les trous taraudés, puis sur les rondelles, elles-mêmes appuyées sur les pièces 106. On exerce ainsi sur les cales en coin 109 une traction vers l'intérieur de l'anneau ce qui tend, compte tenu des angles  $\alpha$ , à écarter les secteurs 101 et à agrandir l'anneau formé par l'ensemble de ces secteurs et des cales. Sous cet effet d'élargissement l'anneau piézoélectrique vient appuyer fermement sur l'intérieur de l'anneau conformateur 108, ce qui, dans un premier temps, maintient l'ensemble des pièces en position.

L'assemblage ainsi obtenu ayant été vérifié, on peut, dans un deuxième temps, procéder à sa mise en précontrainte en serrant plus fort les vis. Sous cet effet, les cales de réglage 109 progressent vers le centre de l'anneau en augmentant l'écart  $e$  entre celles-ci et

l'anneau conformateur et donc en augmentant l'effort de pression des secteurs sur l'anneau conformateur. Par réaction ceci entraîne une précontrainte de ces secteurs par cet anneau conformateur. Le serrage se fait de manière classique en serrant progressivement les vis selon un ordre croisé jusqu'à ce que l'on obtienne la précontrainte voulue.

Pour s'assurer de la valeur et de l'uniformité de la précontrainte, l'invention propose d'utiliser les jauges de contrainte 107 décrites plus haut. Pour cela, celles-ci seront reliées à des moyens de mesure 113 qui permettent de déterminer la contrainte au niveau de ces jauges. La contrainte aux endroits où sont placés ces jauges indique, à un coefficient multiplicateur près connu, la contrainte globale appliquée aux céramiques formant chaque secteur. Les secteurs sont suffisamment petits pour que les contraintes ainsi obtenues et mesurées soient uniformément réparties. Dans le cas d'un anneau plus grand, on serait éventuellement amené à utiliser un nombre de secteurs plus important. Bien entendu le serrage des vis sera fait progressivement en vérifiant en permanence l'évolution des contraintes, de manière à obtenir la contrainte globale souhaitée et à minimiser au maximum les écarts entre les contraintes mesurée localement.

Lorsque le réglage définitif est obtenu, on peut éventuellement combler l'intervalle e entre les cales 109 et l'anneau conformateur 108, ainsi que l'intervalle résiduel éventuel entre les moyens de serrage et ces mêmes cales, avec un matériau de remplissage. Ce matériau de remplissage sera de préférence relativement élastique, du polyuréthane par exemple, de manière à pouvoir permettre des ajustements ultérieurs éventuels.

L'anneau conformateur 108 intervient bien entendu dans les caractéristiques acoustiques du transducteur ainsi réalisé, comme c'est d'ailleurs le cas dans les autres systèmes de précontrainte déjà connus. On a déterminé que pour obtenir des résultats corrects, en particulier ne perturbant pas de manière excessive le fonctionnement de l'anneau piézoélectrique, il était préférable d'utiliser un anneau conformateur dont la raideur dynamique soit environ dix fois plus faible que celle de l'anneau piézoélectrique en céramiques.

Par rapport aux systèmes connus de mise en précontrainte, ce dispositif est particulièrement facile à mettre en oeuvre et donc peu coûteux. En outre il est modulaire, ce qui permet le cas échéant de ne remplacer qu'un seul segment en cas d'avarie à celui-ci. Les contraintes sont réparties d'une manière remarquablement uniforme, et leurs variations au cours du temps est très faible. On peut tout à fait ajuster cette précontrainte, soit en fonction des conditions opérationnelles, soit pour corriger la dérive dans le temps. Par ailleurs l'assemblage est démontable, ce qui permet les réparations citées plus haut. Enfin les pièces métalliques 106 et 109 favorisent, le cas échéant, le drainage thermique, surtout lorsque l'anneau est sollicité par de très fortes puis-

sances électriques.

## Revendications

- 5 1. Transducteur acoustique en anneau précontraint, du type comprenant un ensemble de segments piézoélectriques (101) disposés en forme d'anneau, groupés pour former des secteurs (102) sensiblement identiques séparés par des cales (109) en forme de coin, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des pièces d'extrémité (106) fixées aux extrémités de ces secteurs pour délimiter entre eux des intervalles en forme de coin dont l'extrémité la plus étroite est dirigée vers l'intérieur de l'anneau, des cales de serrage (109) en forme de coin adaptés à ces intervalles et placées dans ceux-ci, un anneau conformateur (108) permettant de maintenir l'ensemble des secteurs, et des moyens de serrage (110-112) permettant de faire glisser les cales de serrage vers l'intérieur de l'anneau pour précontraindre les segments par l'anneau conformateur.
- 10
- 15
- 20
- 25 2. Transducteur selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des jauges de contrainte (107) fixées sur la face intérieure des secteurs pour permettre de mesurer les contraintes tangentielles appliquées aux segments.
- 30 3. Transducteur selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les moyens de serrage sont formés de vis (111) fixées dans des trous ménagés dans la face interne des cales de serrage (109) et munies de rondelles (112) venant s'appuyer sur les pièces d'extrémité (106) des secteurs pour permettre d'exercer une traction sur les cales lorsqu'on visse les vis.
- 35
- 40 4. Transducteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les intervalles subsistant d'une part entre les cales de serrage (109) et l'anneau conformateur (108) et d'autre part entre ces mêmes cales de serrage et les moyens de serrage (110-112) sont bouchés avec un produit de remplissage lorsque le réglage est obtenu.
- 45 5. Transducteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la raideur dynamique de l'anneau conformateur (208) est sensiblement dix fois plus faible que celle des segments piézoélectriques (101).
- 50 6. Procédé de réglage d'un transducteur selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, caractérisé en ce que l'on serre progressivement les moyens de serrage (110-112) en surveillant les indications données par les jauges de contrainte (107) pour obtenir sur chaque secteur des contraintes identiques et égales à la valeur souhaitée.
- 55

**Claims**

1. Prestressed annular acoustic transducer, of the type comprising a set of piezoelectric segments (101) arranged in the form of an annulus, grouped to form substantially identical sectors (102) separated by wedge-shaped keys (109) characterized in that it furthermore comprises end pieces (106) fixed to the ends of these sectors in order to delimit wedge-shaped gaps between them, the narrower end of the wedge pointing towards the inside of the annulus, wedge-shaped tightening keys (109) matched to these gaps and placed in them, a shaper annulus (108) making it possible to hold the set of sectors, and tightening means (110-112) allowing the tightening keys to be made to slide towards the inside of the annulus in order to pre-stress the segments by the shaper annulus.
2. Transducer according to Claim 1, characterized in that it furthermore comprises strain gauges (107) fixed to the inside face of the sectors to allow measurement of the shear stresses applied to the segments.
3. Transducer according to either one of Claims 1 and 2, characterized in that the tightening means are formed by screws (111) fixed in holes made in the inner face of the tightening keys (109) and fitted with washers (112) which bear on the end pieces (106) of the sectors so as to allow a tension to be exerted on the keys when the screws are screwed.
4. Transducer according to any one of Claims 1 to 3, characterized in that the gaps remaining on the one hand between the tightening keys (109) and the shaper annulus (108) and on the other hand between these same tightening keys and the tightening means (110-112) are plugged with a filler product when adjustment is effected.
5. Transducer according to any one of Claims 1 to 4, characterized in that the dynamic stiffness of the shaper annulus (208) is substantially ten times smaller than that of the piezoelectric segments (101).
6. Process for adjusting a transducer according to any one of Claims 2 to 5, characterized in that the tightening means (110-112) are progressively tightened while monitoring the readings given by the strain gauges (107) so as to obtain identical stresses equal to the desired value on each sector.

**Patentansprüche**

1. Vorgespannter Ring-Schallwandler des Typs, der eine Gruppe von piezoelektrischen Segmenten

(101) enthält, die in Ringform angeordnet und so gruppiert sind, daß sie im wesentlichen gleiche Sektoren (102) bilden, die durch keilförmige Klötze (109) getrennt sind, dadurch gekennzeichnet, daß er außerdem Endstücke (106), die an den Enden dieser Sektoren befestigt sind und zwischen sich keilförmige Zwischenräume begrenzen, wovon das schmale Ende zum Innenraum des Rings gerichtet ist, keilförmige Klemmklötze (109), die an diese Zwischenräume angepaßt und in ihnen angeordnet sind, einen Spannring (108), mit dem die Gesamtheit der Sektoren gehalten werden kann, sowie Klemmmittel (110-112) enthält, die ermöglichen, die Klemmklötze in den Innenraum des Rings gleiten zu lassen, um die Segmente durch den Spannring vorzuspannen.

2. Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß er außerdem Dehnungsmeßstreifen (107) enthält, die an der Innenfläche der Sektoren befestigt sind, um die Messung der an die Segmente angelegten tangentialen Beanspruchungen zu ermöglichen.

3. Wandler nach irgendeinem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Klemmmittel aus Schrauben (111) gebildet sind, die in Löchern befestigt sind, die in der Innenfläche der Klemmklötze (109) ausgebildet sind, und mit Unterlegscheiben (112) versehen sind, die sich an den Endstücken (106) der Sektoren abstützen, um die Ausübung eines Zugs auf die Klötze zu ermöglichen, wenn die Schrauben eingeschraubt werden.

4. Wandler nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenräume, die einerseits zwischen den Klemmklötzen (109) und dem Spannring (108) und andererseits zwischen diesen Klemmklötzen und den Klemmmitteln (110-112) vorhanden sind, mit einem Füllstoff verstopft werden, wenn die Einstellung erhalten worden ist.

5. Wandler nach irgendeinem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die dynamische Steifheit des Spannrings (208) im wesentlichen zehnmal geringer als diejenige der piezoelektrischen Segmente (101) ist.

6. Verfahren zum Einstellen eines Wandlers nach irgendeinem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Klemmmittel (110-112) progressiv geklemmt werden, wobei die Angaben überwacht werden, die von den Dehnungsmeßstreifen (107) ausgegeben werden, um in jedem Sektor völlig gleiche Beanspruchungen, die gleich dem gewünschten Wert sind, zu erhalten.

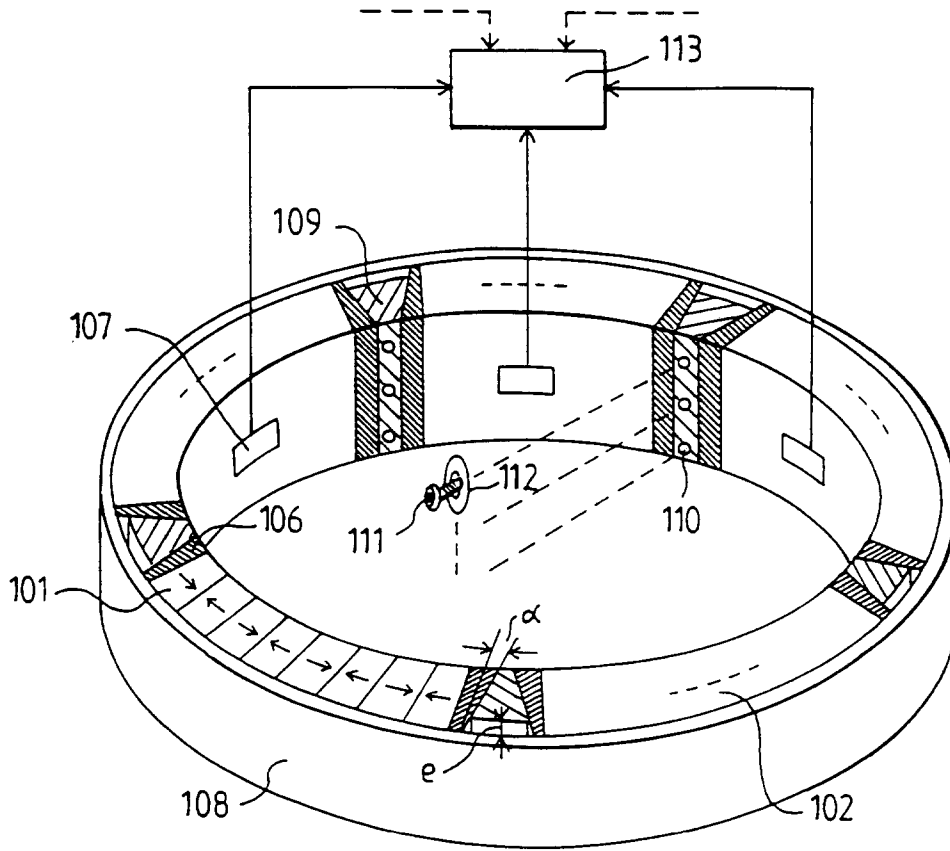


FIG. 1

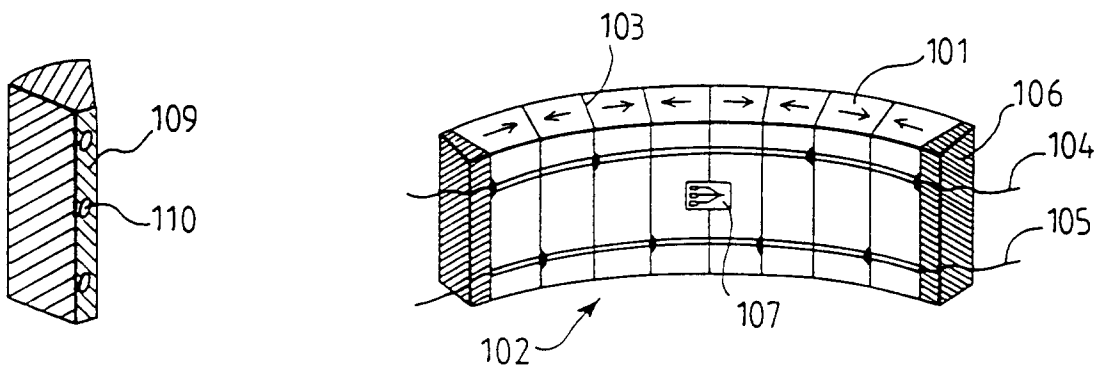


FIG. 2

FIG. 3