



12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **90118633.8**

51 Int. Cl.⁵: **B06B 1/06, G10K 11/00**

22 Anmeldetag: **28.09.90**

30 Priorität: **03.10.89 DE 3932959**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
10.04.91 Patentblatt 91/15

84 Benannte Vertragsstaaten:
BE DE FR GB IT

71 Anmelder: **Richard Wolf GmbH**
Pforzheimer Strasse 32
W-7134 Knittlingen(DE)

72 Erfinder: **Schäfer, Dagobert**
Erasmusweg 9

W - 7518 Bretten(DE)

Erfinder: **Krauss, Werner**

Beethovenstr. 84

W - 7134 Knittlingen(DE)

Erfinder: **Jaggy, Peter**

Weissdornweg 11

W - 7136 Ötisheim(DE)

Erfinder: **Wurster, Helmut**

Mozartstr. 20

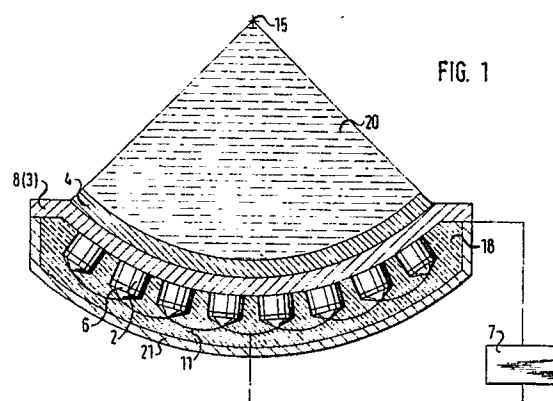
W - 7519 Oberderdingen(DE)

74 Vertreter: **Wilcken, Thomas, Dipl.-Ing. et al**
Musterbahn 1
W-2400 Lübeck(DE)

54 **Piezoelektrischer Wandler.**

57 Es ist ein piezoelektrischer Wandler zur Erzeugung fokussierter Ultraschall-Stoßwellen für die Applikation in der Lithotripsie beschrieben, dessen pulsweise abgegebenen Ultraschall-Stoßwellen über ein Koppelmedium (20) auf den Körper eines Patienten übertragbar sind. Er besteht aus einer Vielzahl von einzelnen, an die Pole eines Pulsgenerators (7) angeschlossenen piezoelektrischen Wandlerelementen (2) aus Keramik, die auf einem Träger (8) mosaikartig und seitlich voneinander elektrisch isoliert festgelegt sind, wobei der akustische Abschluß der wandlerelemente (2) im wesentlichen reflexionsfrei ist. Es wird vorgeschlagen, daß zwischen den Wandlerelementen (2) und dem Koppelmedium (20) ein Zwischenmedium aus zumindest einer Schicht (3,4,5) vorgesehen ist, dessen akustische Impedanz zwischen jener der Keramik der Wandlerelemente (2) und jener des Koppelmediums (20) liegt und daß die Dicke d der Schicht (3,4,5) bemessen ist, daß die Beziehung $d > \tau_k \cdot c_{LA}$ gilt, wobei τ_k die Laufzeit des

Schalls in der Piezokeramik der Wandlerelemente (2) und c_{LA} die Schallgeschwindigkeit in dem jeweiligen Zwischenmedium ist.



PIEZOELEKTRISCHER WANDLER

Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Wandler zur Erzeugung fokussierter Ultraschall-Stoßwellen für die Applikation in der Lithotripsie mit den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

Piezoelektrische Wandler sind grundsätzlich bekannt, beispielsweise aus der DE-PS 34 25 992. Auch die Verwendung eines Koppelmediums zur Ankopplung der Ultraschall-Stoßwellen an den Patientenkörper bei derartigen Wandlern ist hinlänglich bekannt.

Wenn die bekannten wandler zwar in der Praxis mit Erfolg in der Therapie eingesetzt werden, so stellt sich häufig das Problem, daß die Baumaße des Wandlers sehr groß sind, um die für die Desintegration des zu zerstörenden Konkrements erforderliche Energiedichte in seinem Fokus zu erhalten.

Die mit piezoelektrischen Materialien erzeugbaren Energiedichten sind sehr hoch, doch nur ein sehr geringer Teil der zur Verfügung stehenden Energie wird in der Praxis in das Koppelmedium (Wasser oder Öl) eingeleitet, da sich die schallerzeugende Keramik und das Wasser/Öl akustisch sehr stark voneinander unterscheiden.

Vor dem Hintergrund der vorstehenden Ausführungen ist es nun die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Wandler der eingangs erwähnten Art so weiterzubilden, daß die Energiedichte der von ihm erzeugten Ultraschall-Stoßwellen in seinem Fokus so groß ist, daß eine Reduzierung seiner Baumaße möglich ist.

Gelöst wird diese Aufgabe durch die Merkmale des Anspruchs 1. Demgemäß wird der bekannte Wandler so ausgebildet, daß zwischen den Wandlerelementen und dem Koppelmedium ein Zwischenmedium zumindest aus einer Schicht vorgesehen ist, dessen akustische Impedanz zwischen jener der Keramik der Wandlerelemente und jener des Koppelmediums liegt und daß die Dicke der Schicht so bemessen ist, daß die Beziehung $d > \tau_k \cdot c_{LA}$ gilt, wobei τ_k die Laufzeit des Schalls in der Piezokeramik der Wandlerelemente und c_{LA} die Schallgeschwindigkeit in dem jeweiligen Zwischenmedium ist.

Die Bemessung der Dicke der Schicht des Zwischenmediums kann vorliegend nicht anhand der Wellenlänge des Ultraschalls vorgenommen werden, da die vom Wandler erzeugten Ultraschall-Stoßwellen ein sehr breites Frequenzspektrum aufweisen. Insofern gibt eine Anpassung, wie aus der US-PS 415 6863 bekannt, für die vorliegende Aufgabenlösung nichts her. Dort ist nämlich lediglich vorgesehen, die Dicke einer Vergußmasse, welche die akustische Impedanz des Ankopplungsmediums (Wasser) aufweist, zu einem Viertel der Wellenlänge der von den Einzelschwingern ausgehenden Schallwellen zu bemessen. Vorliegend sind die Voraussetzungen für die Impedanzanpassung ganz andere. Hier ist nicht die Einzelfrequenz bzw. -wellenlänge, sondern die Laufzeit des Schalls durch das einzelne Wandlerelement die Grundlage aller Überlegungen.

Wird zwischen die aktive Oberfläche jedes piezoelektrischen Wandlerelements und das Koppelmedium einer Schicht des Zwischenmediums eingebracht, so muß diese zur Erzielung optimaler Resultate eine bestimmte Dicke und eine bestimmte akustische Impedanz aufweisen.

Da es vorliegend nicht um eine Resonanzabstimmung geht, ist die Dämpfung in den Zwischenschichten nicht von großer Bedeutung, solange diese nicht extreme Werte annimmt und die notwendige Dicke, welche durch die oben genannte Bemessungsvorschrift gegeben ist, nicht um ein Vielfaches überschritten wird.

Die zu wählende akustische Impedanz richtet sich nach den akustischen Gegebenheiten an der Grenzfläche zwischen den aktiven Wandlerelementen und der Schicht des Zwischenmediums bzw. nach den bekannten Schalldurchgangsfaktoren an der Grenzfläche zwischen zwei Medien unterschiedlicher akustischer Impedanz. In jedem Falle liegt sie zwischen jener der Keramik der Wandlerelemente und jener des Koppelmediums.

Die akustische Dicke der Schicht des Zwischenmediums muß größer sein als die der Keramik der Wandlerelemente.

Der Effekt, daß mehr Energie in das Koppelmedium gelangt, kann erhöht werden dadurch, daß mehrere Schichten von Zwischenmedien zwischen den Wandlerelementen und dem Koppelmedium vorgesehen sind, deren akustische Impedanzen von der ersten Schicht auf den Wandlerelementen her in Abstrahlungsrichtung der Ultraschall-Stoßwellen abnehmen.

Stets wird der Schall jede Grenzschicht nur teilweise passieren, weil ein Anteil immer reflektiert wird. Diese Reflexion wird stets weich sein, das heißt eine Phasenumkehr wird eintreten, da die Impedanz jedes Zwischenmediums größer ist als jene des nächsten bzw. des Wassers. Trifft der reflektierte Anteil des Schalls dann an die vorangegangene Grenzschicht, wird er hart, das heißt ohne Phasenumkehr, reflektiert und läuft dann teilweise in die nächste Schicht eines Zwischenmediums bzw. am Ende in das Koppelmedium ein.

Gemäß vorteilhafter Ausgestaltungen kann die Schicht bzw. können die Schichten der Zwischenmedien jeweils einem Wandlerelement, einheitlich allen Wandlerelementen gemeinsam oder gemischt

teilweise einheitlich gemeinsam und teilweise jeweils einem Wandlerelement zugeordnet sein.

Grundsätzlich läßt sich der geschilderte Aufbau des erfindungsgemäßen Wandlers realisieren bei selbstfokussierenden, also beispielsweise kalottenförmigen Wandlern, aber auch bei planaren Wandlern.

Bei letzteren kann vorteilhaft vorgesehen werden, daß zu mindest eine Schicht eines Zwischenmediums als akustische Linse ausgebildet ist. Diese Schicht übernimmt dann die Aufgabe der Fokussierung der Ultraschall-Stoßwellen auf den Fokus des Wandlers, so daß ein zusätzlicher Mehraufwand nicht betrieben werden muß.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform weist der Wandler in Abstrahlungsrichtung der Ultraschall-Stoßwellen eine Schicht eines Zwischenmediums auf den Wandlerelementen auf, die eine die Wandlerelemente elektrisch miteinander verbindende, diesen zugekehrte Oberfläche aufweist. Diese Oberfläche ist dann mit dem einen Pol des Pulsgenerators verbunden. Die erste Schicht wird damit als gemeinsame Elektrode für alle Wandlerelemente genutzt, wodurch sich nicht nur der Aufwand bislang erforderlicher Verdrahtung erheblich reduziert, sondern der Wandler insgesamt kompakter und störungsunanfälliger wird.

Diese vorteilhafte Weiterbildung kann dadurch in einfacher Weise realisiert werden, daß die erste Schicht massiv und metallisch ist. Hierzu eignet sich beispielsweise Aluminium, dessen akustische Impedanz den erwähnten Bedingungen entspricht.

Im Falle eines planaren Wandlers kann diese Ausführungsform vorteilhaft dadurch weitergebildet werden, daß die Schicht als massive, akustische Linse aufgebaut ist. Diese übernimmt dann wieder die Aufgabe der Fokussierung der Ultraschall-Stoßwellen auf den Wandlerfokus.

Jedes Wandlerelement weist ein sogenanntes Backing auf, dessen akustische Impedanz mindestens so groß ist wie jene der Keramik der einzelnen wandlerelemente. Diese Maßnahme sichert einen nahezu reflexionsfreien Abschluß der Wandlerelemente, so daß für die Lithotripsie unerwünschte negative Zugimpulse auf ein praktisch mögliches Mindestmaß beschränkt werden. Die Backings können so ausgebildet sein, daß der von der Keramik herkommende Schall an ihrer Rückseite so gestreut wird, daß er nicht im Fokus des Wandlers gebündelt wird. Dies kann beispielsweise durch Aufrauen der Rückseite der Backings oder durch entsprechende Formgebung zu beispielsweise einem Kegel erzielt werden.

Alle Wandlerelemente können aber auch mit einem gemeinsamen Backing für ihren reflexionsfreien Abschluß versehen sein.

Bei allen vorerwähnten Ausbildungen des Wandlers ist die Energiedichte der Ultraschall-Stoß-

wellen im Wandlerfokus gegenüber bisherigen Wandlern durch "passive" Maßnahmen erhöht worden durch die bessere Ankopplung der Ultraschall-Stoßwellen in das Koppelmedium, also durch die bessere Ausnutzung der von den wandlerelementen erzeugten Energie. Einige der beschriebenen Ausführungen gestatten aber auch zusätzlich zu dieser Maßnahme eine Erhöhung der Energiedichte im Wandlerfokus durch "aktive" Maßnahmen. Namentlich bezieht sich dies auf die Ansteuerung der Wandlerelemente durch höhere Spannungen. Dies war bislang in erster Linie aufgrund von Sicherheitsaspekten, aber auch mit Rücksicht auf die Standzeit des Wandlers nicht ohne weiteres möglich.

Demgemäß ist es bei einer vorteilhaften Weiterbildung des Wandlers vorgesehen, daß die Wandlerelemente mit dem elektrisch leitenden Träger mittels elektrisch leitender Befestigungsmittel verspannt sind, wobei der Träger mit dem anderen Pol des Pulsgenerators verbunden ist. Hierdurch wird die Ansteuerung der Wandlerelemente mit höheren Spannungen möglich, ohne daß die Wandlerelemente aus ihrer Verankerung platzen, wodurch ein irreparabler Schaden entstünde.

Eine höhere Ansteuerbarkeit mit höheren Spannungen, wodurch die Abgabeleistung des Wandlers aktiv erhöht wird, kann bei den weiter oben beschriebenen Ausführungsformen des Wandlers, bei denen die erste Schicht eines Zwischenmediums auf den Wandlerelementen massiv und metallisch ist und somit als eine Elektrode dient, dadurch erreicht werden, daß der durch die erste Schicht, dem gemeinsamen Backing, bzw. den Träger umrissene Raum mittels elektrisch nicht leitenden Seitenwänden flüssigkeits- und gasdicht abgeschlossen ist, und daß dieser Raum mit einem hochisolierenden Medium gefüllt ist. Als hochisolierendes Medium kann beispielsweise ein Gas, Öl oder auch ein fester Isolator in Betracht kommen.

Es ist auch möglich, den Wandler so auszubilden, daß eine elektrisch leitende erste Schicht den Träger bildet, welche mit dem einen Pol des Pulsgenerators verbunden ist, und daß dieser Träger mit einem Gehäuse einen flüssigkeits- und gasdicht abgeschlossenen Raum umschließt, welcher mit einem hochisolierenden Medium gefüllt ist. Auch hierdurch ergibt sich eine relative Erhöhung der Energiedichte der von dem Wandler erzeugten Ultraschall-Stoßwellen im Fokus durch einerseits eine höhere Abstrahlleistung und andererseits durch eine bessere Einkoppelung der Energie in das Koppelmedium.

Eine weitere Ausführungsform des Wandlers, bei dem aktiv und passiv für die Erhöhung der Energiedichte im Fokus gesorgt ist, ergibt sich, wenn die erste Schicht aus einem hoch isolieren-

den Vergußmaterial besteht, welches auch die Zwischenräume zwischen den Wandlerelementen ausfüllt. Hierbei übernimmt die erste Schicht sowohl die Aufgabe der Impedanzanpassung als auch die Aufgabe der seitlichen elektrischen Isolation der Wandlerelemente voneinander, wodurch der Wandler mit höheren Spannungen als bisher angesteuert werden kann.

Als Vergußmaterial eignen sich besonders Polyurethane Epoxigemische oder Silikone.

Die Erfindung wird anhand einiger Ausführungsbeispiele näher erläutert. Hierbei zeigt:

Figur 1 ein erstes Ausführungsbeispiel des Wandlers,

Figur 2 ein zweites Ausführungsbeispiel,

Figur 3 ein drittes Ausführungsbeispiel,

Figur 4 ein viertes Ausführungsbeispiel,

Figur 5 ein fünftes Ausführungsbeispiel,

Figur 6 ein sechstes Ausführungsbeispiel,

Figur 7 ein siebentes Ausführungsbeispiel,

Figur 8 ein achttes Ausführungsbeispiel,

und

Figur 9 ein neuntes Ausführungsbeispiel,

jeweils in schematischer Schnittansicht.

In den Zeichnungen sind gleiche Teile mit denselben Bezugszeichen versehen.

Figur 1 zeigt einen kalottenförmigen und damit selbstfokussierenden Wandler, der von den piezoelektrischen Wandlerelementen die erzeugte Ultraschall-Stoßwelle über ein Koppelmedium 20 auf den Fokus 15 bündelt. Die Wandlerelemente 2 sind mit ihrer aktiven Oberfläche an einem Träger 8 verhaftet.

Der Träger 8 ist im gezeigten Ausführungsbeispiel identisch mit der ersten Schicht 3, deren Dicke nach der Beziehung $d > \tau_k \cdot c_{LA}$ bemessen ist, wobei τ_k die Laufzeit des Schalls in der Piezokeramik der Wandlerelemente 2 und c_{LA} die Schallgeschwindigkeit in der Schicht 3 ist.

Auf die Schicht 3 ist eine weitere, der Impedanzanpassung dienenden Schicht 4 eines Zwischenmediums aufgebracht, dessen akustische Impedanz zwischen jener der Schicht 3 und jener des Koppelmediums 20 liegt. Für die Dicke der Schicht 4 gilt die obige Beziehung entsprechend, wobei hier c_{LA} die Schallgeschwindigkeit in der Schicht 4 ist.

Die Schicht 3 bzw. der Träger 8 ist hier massiv und metallisch, also elektrisch leitend. Er dient als eine gemeinsame Elektrode für alle wandlerelemente 2 und ist entsprechend mit dem einen Pol eines Pulsgenerators 7 verbunden. Der andere Pol des Generators 7 ist über eine Verdrahtung 11 am rückseitigen Ende der Wandlerelemente 2 über elektrisch leitende Einzelbackings 6 angeschlossen. Die kegelförmige Gestalt der Backings 6 bewirkt, daß von ihrer Rückseite herkommender Schall so gestreut wird, daß er nicht im Fokus 15 gebündelt

wird.

Als Material für die Schicht 3 bzw. den Träger 8 kommt vorliegend Aluminium in Betracht, wenn Wasser als Koppelmedium 20 Verwendung findet.

Die Ausbildung der ersten Schicht 3 als massiven Träger 8 ermöglicht es, daß dieser mit einem Gehäuse 21 einen flüssigkeits- und gasdichten Raum umschließt, der mit einem hochisolierenden Medium 18 gefüllt ist. Das Medium 18 verhindert einen Übersprung von Funken an den einzelnen Wandlerelementen 2 bei einer hohen, an die Elemente 2 gelegten Spannung. Dementsprechend kann dieser Wandler mit einer Spannung angesteuert werden, welche eine wesentlich höhere Abgabeleistung im Vergleich zu bekannten Wandlern ermöglicht.

Figur 2 zeigt eine Ausführungsform eines kalottenförmigen Wandlers, bei dem die Wandlerelemente 2 rückseitig mit elektrisch leitenden Einzelbackings 6 und mit einem elektrisch leitenden Träger 8 durch Schrauben 9 verspannt sind.

Auf den Wandlerelementen 2 sind zwei Schichten 3 und 4 von Zwischenmedien aufgebracht zur Anpassung der Impedanz an das nicht dargestellte Ankoppelmedium.

Die erste Schicht 3 ist elektrisch leitend. Sie wird zur Zuführung der Spannung vom Pulsgenerator 7 an die Wandlerelemente 2 genutzt. Der andere Pol des Generators 7 ist mit den Wandlerelementen 2 über den Träger 8, Schrauben 9 und Backings 6 verbunden.

Figur 3 zeigt einen planaren Wandler, bei dem die Wandlerelemente mit den Einzelbackings 6 durch Schrauben 9 mit dem Träger 8 verspannt sind. Die Anpassung der akustischen Impedanz wird hier durch drei Schichten 3,4 und 5 von Zwischenmedien auf den Wandlerelementen 2 erzielt, wobei selbstverständlich die eingangs genannten Bedingungen für deren akustische Impedanzen erfüllt sind.

Die Schicht 5 ist hier allen Wandlerelementen 2 gemeinsam zugeordnet. Sie ist darüber hinaus als akustische Linse ausgebildet, die gemeinsam mit der ersten Anpaßschicht(3) die Fokussierung der abgestrahlten Ultraschall-Stoßwellen bewerkstelligt. Figur 4 zeigt ebenfalls einen planaren Wandler, bei dem in Abstrahlungsrichtung der Ultraschall-Stoßwellen drei Schichten 3,4 und 5 von Zwischenmedien auf die wie schon in Verbindung mit dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 3 erläutert verspannten Wandlerelemente 2 aufgebracht sind. Hier ist die mittlere Schicht 4 als gemeinsame Schicht vorgesehen und als fokussierende Akustische Linse gestaltet.

Vorliegend umreißen elektrisch nichtleitende Seitenwände 16, der gemeinsame Träger 8 und die Schicht 4 einen flüssigkeits- und gasdichten Raum, der mit einem hochisolierenden Medium 18

gefüllt ist.

Eine ähnliche Ausführungsform zeigt im übrigen Figur 5. Hier sind allerdings alle Schichten 3,4 und 5 einheitlich für alle Wandlerelemente 2 gemeinsam vorgesehen, von denen die Schichten 4 und 5 eine Linsenfunktion innehaben.

Bei dem in Figur 6 gezeigten Ausführungsbeispiel weisen die Wandlerelemente ein gemeinsames Backing 14 auf, welches zudem den von der ersten Schicht 3 und den elektrisch nichtleitenden Seitenwänden 16 umrissenen Raum abschließt, in welchem sich ein hochisolierendes Medium 18 befindet. Die Rückseite des Backings 14 ist so gestaltet, daß an ihr reflektierter Schall nicht mehr im Fokus des Wandlers gebündelt wird. Alle Schichten 3 bis 6 sind gemeinsam für alle Wandlerelemente vorgesehen, wobei die Schichten 4 und 5 der Fokussierung der Ultraschall-Stoßwellen dienend als Linsen ausgebildet sind.

Wie Figur 7 zeigt, ist die Verwendung eines gemeinsamen Backings 14 auch bei einem kalottenförmigen Wandler möglich. Hier sind die Schichten 3 und 4 der Zwischenmedien jeweils einem Wandlerelement 2 zugeordnet.

In Figur 8 ist ein extremer Fall dargestellt, indem das piezokeramische Material 2 einstückig ist. Dieses ist durch ein Backing 14 rückseitig abgeschlossen. Die Impedanzanpassung erfolgt durch zwei Schichten 3 und 4 von Koppelmedien.

In Figur 9 ist schließlich eine besonders bevorzugte Ausführungsform des Wandlers dargestellt. Vorliegend ist nur eine Schicht 3 eines Zwischenmediums dargestellt. Die Schicht 3 besteht aus einem hochisolierenden Vergußmaterial, wofür beispielsweise Polyurethane, Epoxigemische oder Silikone verwendet werden können.

Das Vergußmaterial hat eine akustische Impedanz, die wieder zwischen jener der Keramik der Wandlerelemente 2 und jener des Koppelmediums 20 liegt. Mit ihm sind die Zwischenräume 22 zwischen den einzelnen Wandlerelementen 2 ausgefüllt.

Dieser Wandler kann aufgrund der Isolation mit höheren Spannungen angesteuert werden als bekannte Wandler. Darüber hinaus hat er den Vorteil, daß die Wandlerelemente 2 absolut wassergeschützt in der Vergußmasse eingebettet sind, wodurch sich eine überragende Störanfälligkeit des Wandlers ergibt.

Ansprüche

1. Piezoelektrischer Wandler zur Erzeugung fokussierter Ultraschall-Stoßwellen für die Applikation in der Lithotripsie, dessen pulsweise abgegebenen Ultraschall-Stoßwellen über ein Koppelmedium (20) an den Körper eines Patienten übertragbar sind,

bestehend aus einer Vielzahl von einzelnen, an die Pole eines Pulsgenerators (7) angeschlossenen piezoelektrischen Wandlerelementen (2) aus Keramik oder dergleichen, die auf einem Träger (8) mosaikartig und seitlich voneinander elektrisch isoliert festgelegt sind, wobei der akustische Abschluß der Wandlerelemente im wesentlichen reflexionsfrei ist,

dadurch gekennzeichnet,

10 daß zwischen den Wandlerelementen (2) und dem Koppelmedium (20) ein Zwischenmedium aus zumindest einer Schicht (3,4,5) vorgesehen ist, dessen akustische Impedanz zwischen jener der Keramik der Wandlerelemente (2) und jener des Koppelmediums (20) liegt, und

15 daß die Dicke der Schicht (3,4,5) so bemessen ist, daß die Beziehung $d > \tau_k \cdot c_{LA}$ gilt, wobei τ_k die Laufzeit des Schalls in der Piezokeramik der Wandlerelemente (2) und c_{LA} die Schallgeschwindigkeit in dem jeweiligen Zwischenmedium ist. (Figuren 1 - 9).

2. Piezoelektrischer Wandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Schichten (3,4,5) von Zwischenmedien zwischen den Wandlerelementen (2) und dem Koppelmedium (20) vorgesehen sind, deren akustische Impedanzen von der ersten Schicht (3) auf den Wandlerelementen (2) her in Richtung auf die Abstrahlungsrichtung der Ultraschall-Stoßwellen gesehen zum Koppelmedium (20) abnehmen. (Figuren 1 - 8).

3. Piezoelektrischer Wandler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht bzw. Schichten (3,4,5) der Zwischenmedien jeweils einem Wandlerelement (2) zugeordnet ist bzw. sind. (Figuren 2,7).

4. Piezoelektrischer Wandler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Schicht bzw. Schichten (3,4,5) einheitlich allen Wandlerelementen (2) gemeinsam zugeordnet ist bzw. sind. (Figuren 1,5,6,8,9)

5. Piezoelektrischer Wandler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichten (3,4,5) teilweise einheitlich gemeinsam und teilweise jeweils einem Wandlerelement (2) zugeordnet sind. (Figuren 3, 4).

6. Piezoelektrischer Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest ein Zwischenmedium (3,4, 5) als akustische Linse ausgebildet ist. (Figuren 3 - 6).

7. Piezoelektrischer Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die in Abstrahlungsrichtung der Ultraschall-Stoßwellen erste Schicht (3) auf den Wandlerelementen (2) eine die Wandlerelemente (2) elektrisch imteinander verbindende, diesen zugekehrte Oberfläche aufweist, welche mit dem einen Pol des Pulsgenerators (7) verbunden ist. (Figuren 1,2,5,6,8).

8. Piezoelektrischer Wandler nach einem der An-

sprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schicht (3) auf den Wandlerelementen (2) massiv und metallisch ist. (Figuren 1-8).

9. Piezoelektrischer Wandler nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Schicht (3) als eine massive, akustische Linse ausgebildet ist (Figuren 4-6).

10. Piezoelektrischer Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Wandlerelement ein Backing (6) aufweist, dessen akustische Impedanz mindestens so groß ist wie jene der Keramik der Wandlerelemente (2). (Figuren 1-8).

11. Piezoelektrischer Wandler nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Backings (6,14) so ausgebildet sind, daß der von der Rückseite der Backings her kommende Schall so gestreut wird, daß er nicht im Fokus gebündelt wird.

12. Piezoelektrischer Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein gemeinsames Backing (14) für alle Wandlerelemente (2) zu deren reflektionsfreiem Abschluß ausgebildet ist (Figuren 6,7,8).

13. Piezoelektrischer Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandlerelemente (2) mit dem elektrisch leitenden Träger (8) mittels elektrisch leitender Befestigungsmittel (9) verspannt sind, und daß der Träger (8) mit dem anderen Pol des Pulsgenerators (7) verbunden ist. (Figuren 2-5).

14. Piezoelektrischer Wandler nach Anspruch 7,8 oder 9 in Verbindung mit Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß der durch eine Schicht (3,4), dem gemeinsamen Backing (14), bzw. den Träger (8) umrissene Raum mittels elektrisch nicht leitenden Seitenwänden (16) flüssigkeits- und gasdicht abgeschlossen ist, und daß dieser Raum mit einem hoch isolierenden Medium (18) gefüllt ist. (Figuren 4,5,6).

15. Piezoelektrischer Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine elektrisch leitende erste Schicht (3) den Träger (8) bildet, welcher mit dem einen Pol des Pulsgenerators (7) verbunden ist, und daß dieser Träger (8) mit einem Gehäuse (21) einen flüssigkeits- und gasdicht abgeschlossenen Raum umschließt, welcher mit einem hoch isolierenden Medium (18) gefüllt ist. (Figur 1).

16. Piezoelektrischer Wandler nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Schicht (3) aus einem hoch isolierenden vergußmaterial besteht, welches auch die Zwischenräume (22) zwischen den Wandlerelementen (2) ausfüllt (Figur 9).

17. Piezoelektrischer Wandler nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Vergußmaterial aus Polyurethanen, Epoxigemischen oder Silikonen besteht.

5

10

15

20

25

30

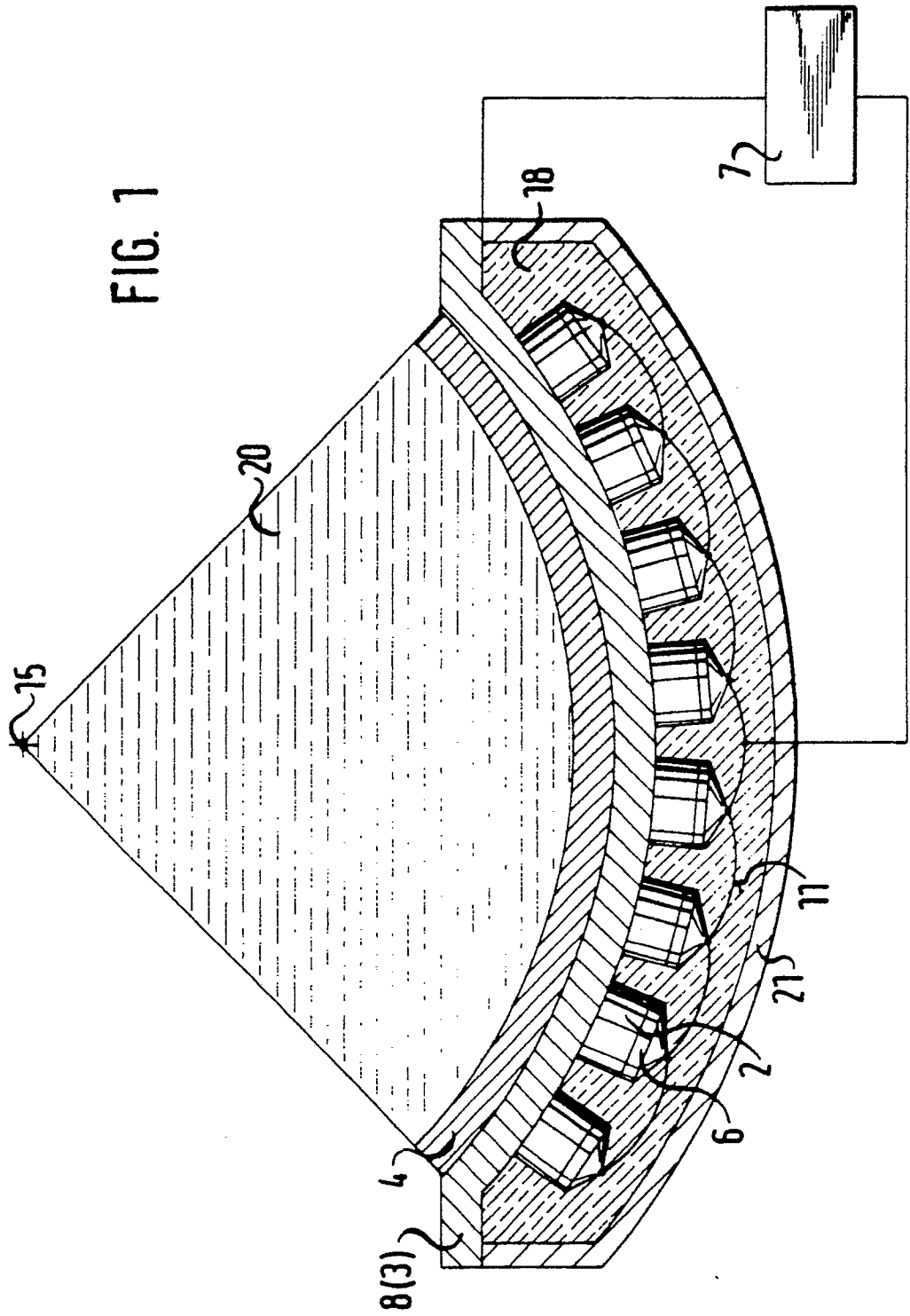
35

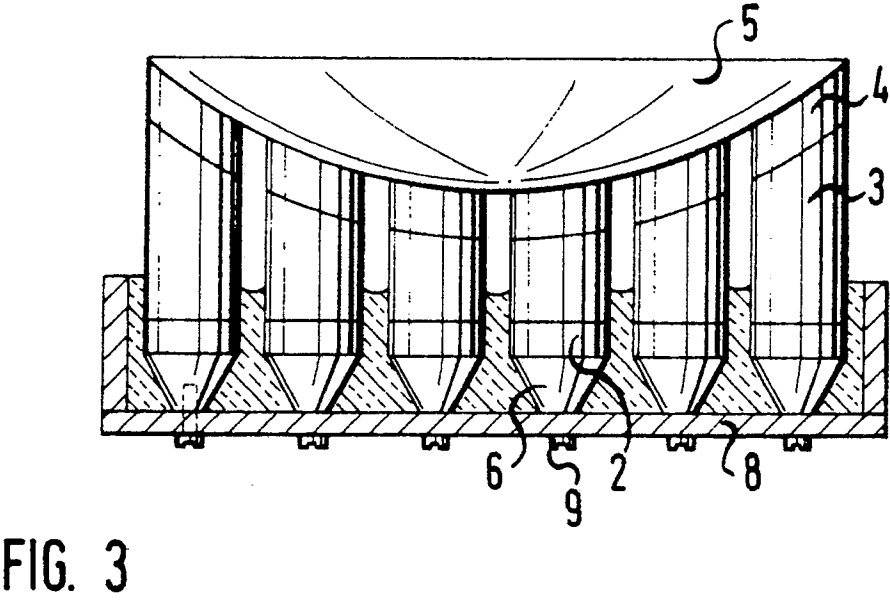
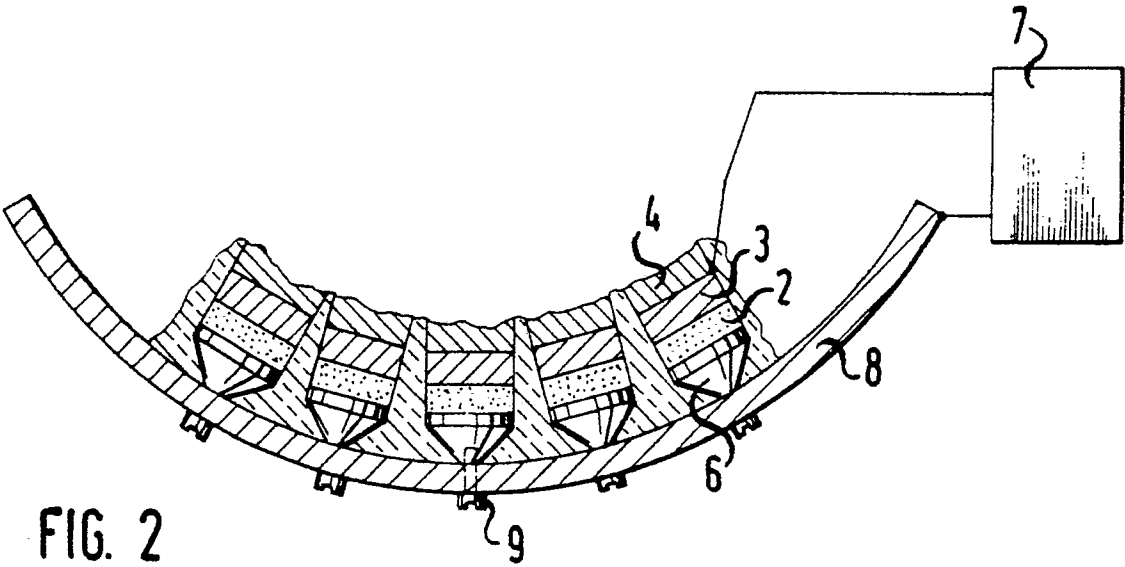
40

45

50

55





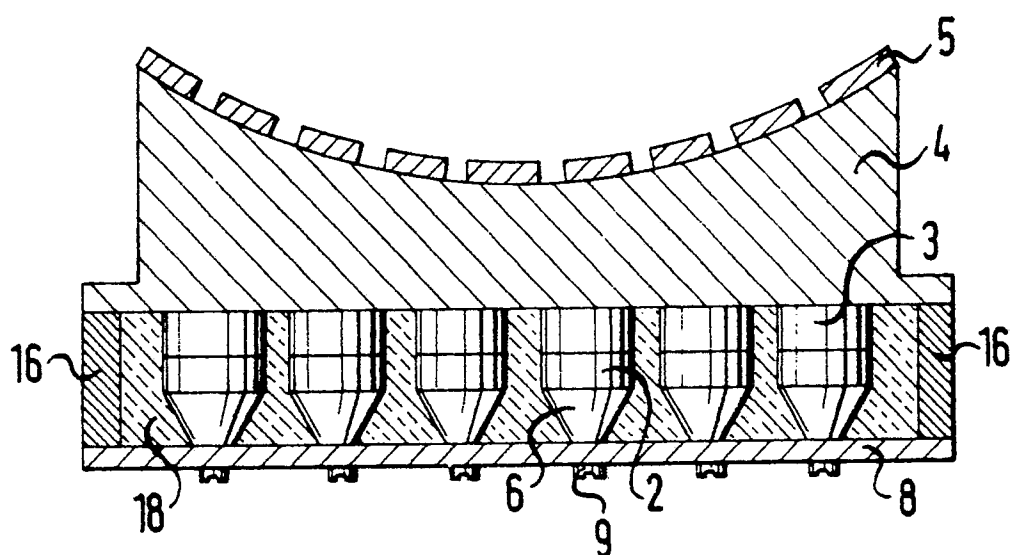


FIG. 4

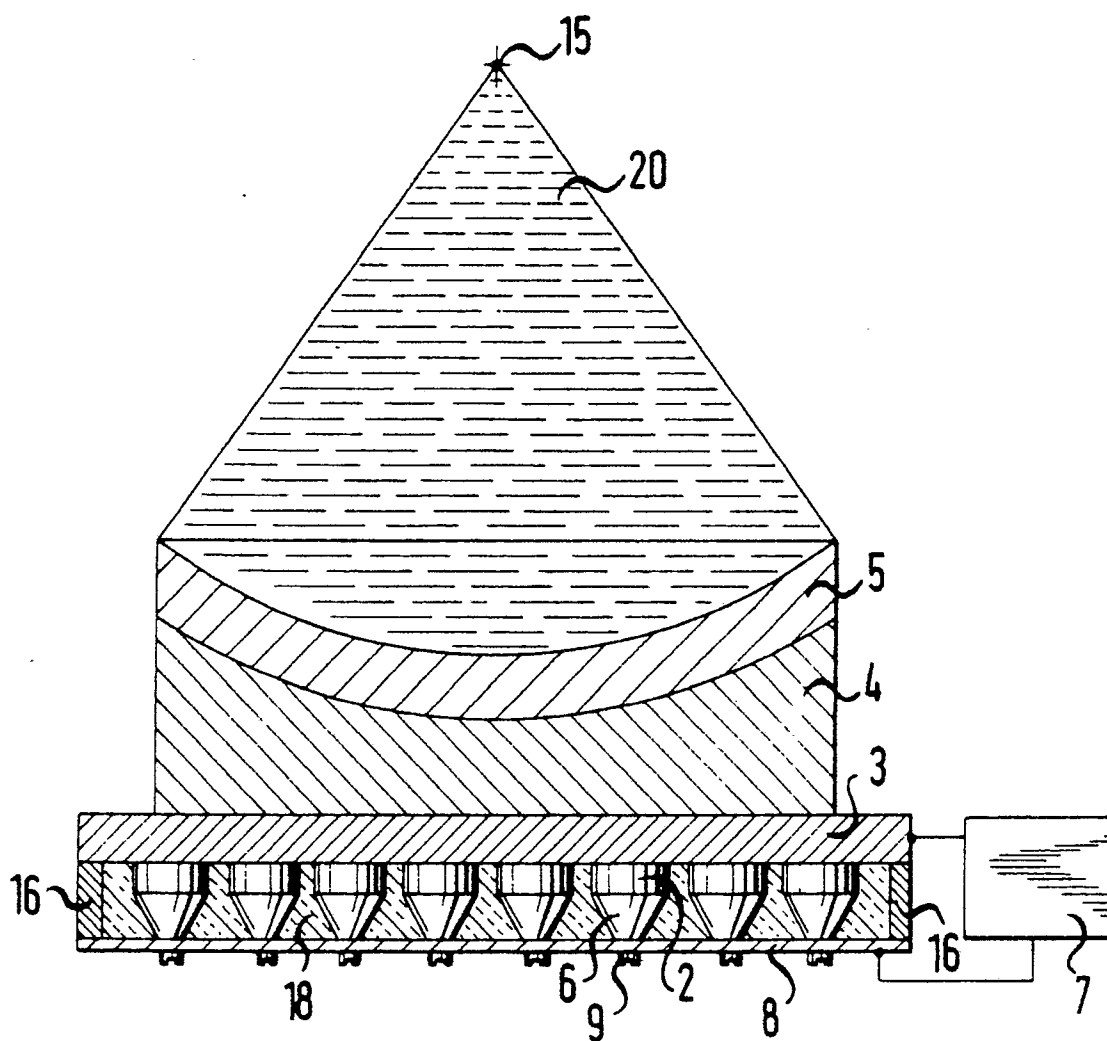


FIG. 5

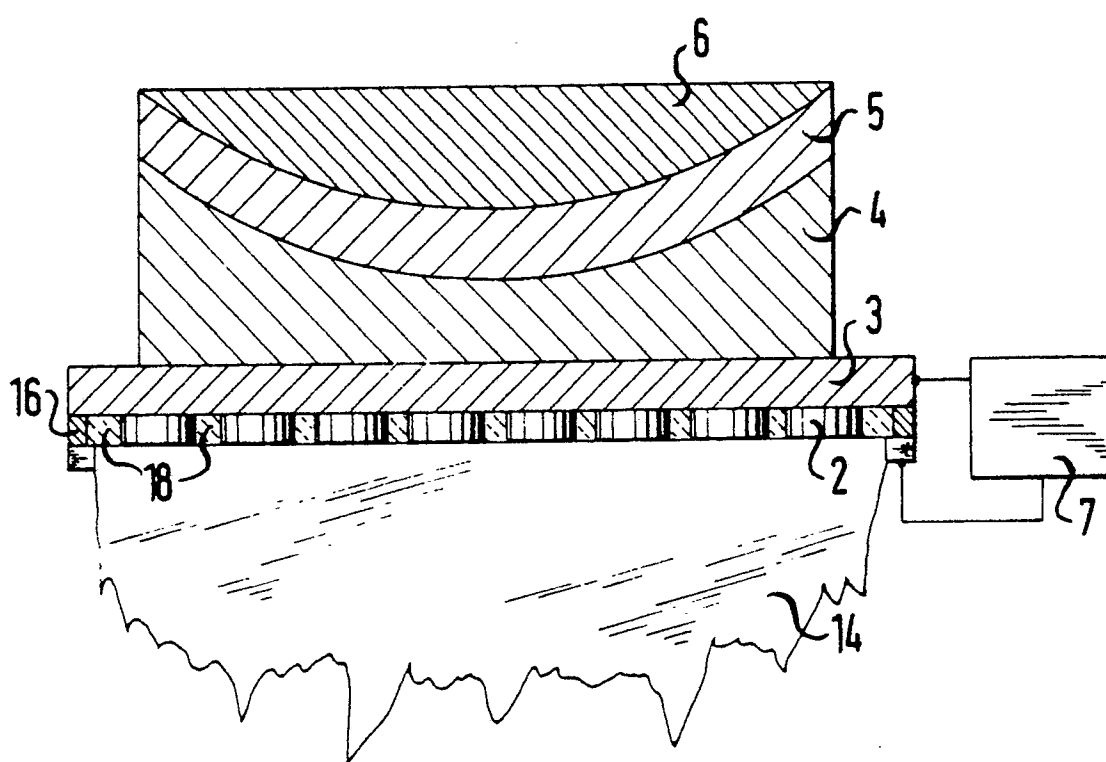


FIG. 6

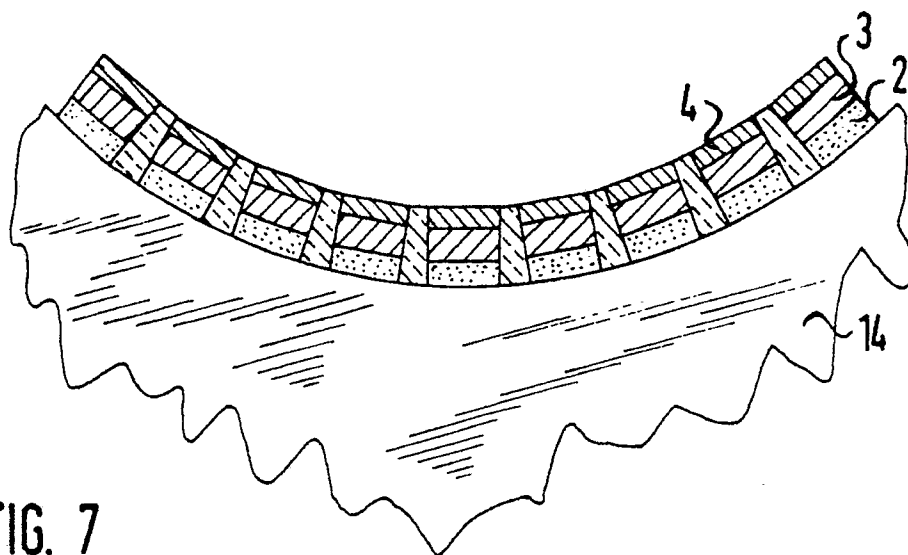


FIG. 7

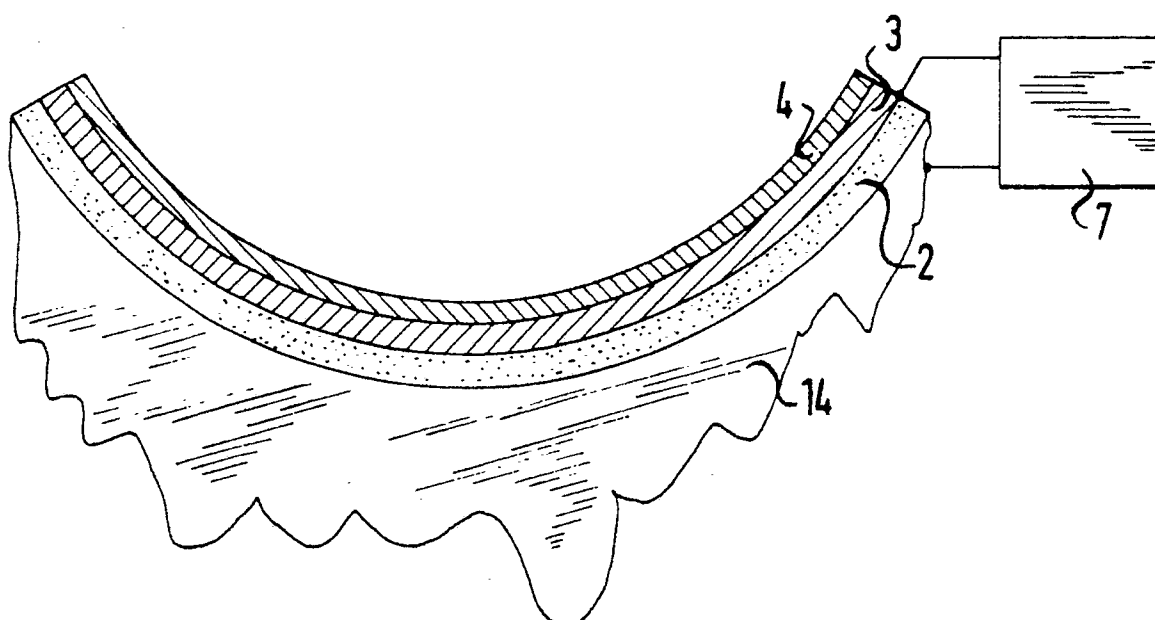


FIG. 8

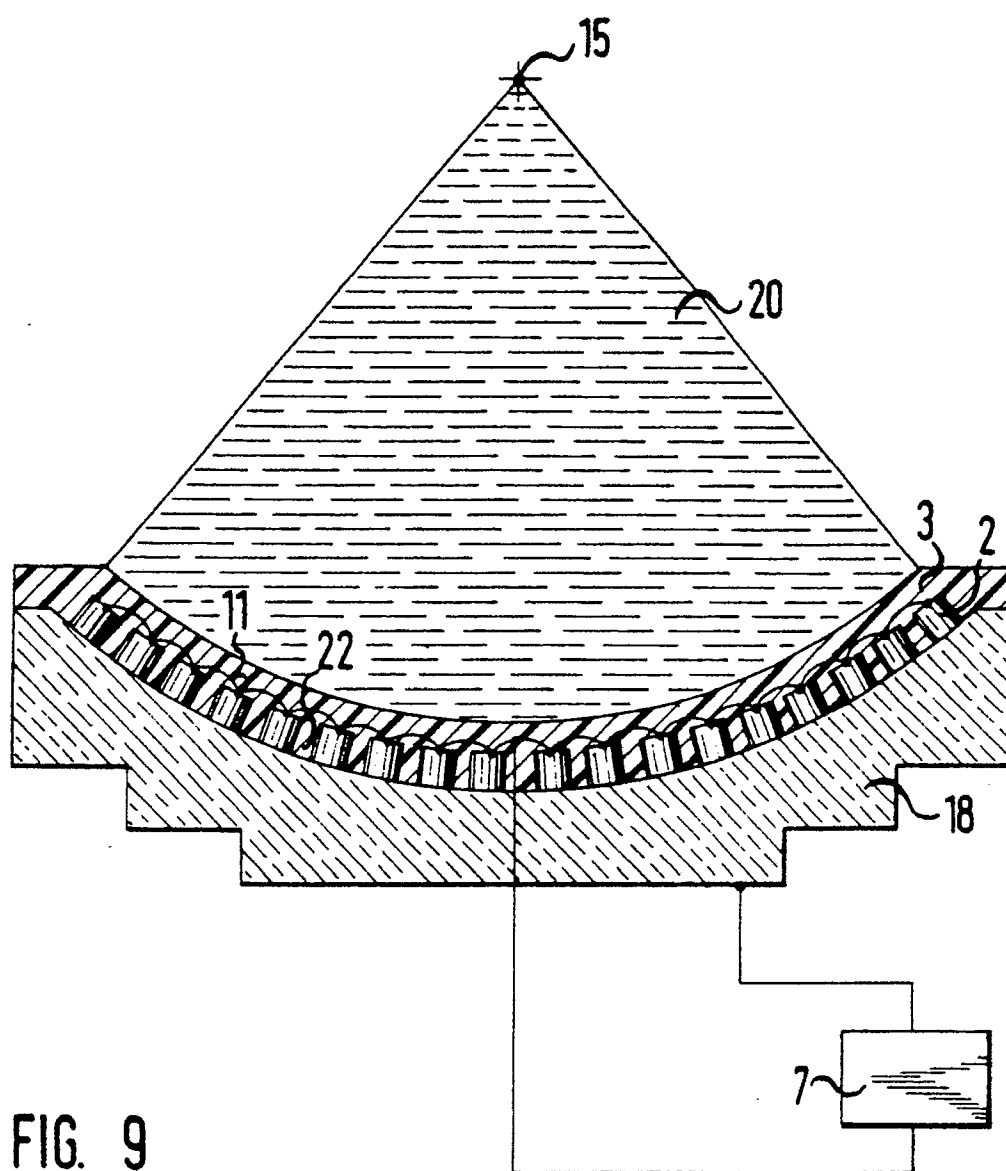


FIG. 9