

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 85109705.5

51 Int. Cl.⁴: G 10 K 11/02

22 Anmeldetag: 02.08.85

30 Priorität: 16.08.84 DE 3430161

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
12.03.86 Patentblatt 86/11

64 Benannte Vertragsstaaten:
AT DE FR GB NL

71 Anmelder: Siemens Aktiengesellschaft
Berlin und München Wittelsbacherplatz 2
D-8000 München 2(DE)

72 Erfinder: Kaarmann, Hans, Dr.
Eisenstrasse 15
D-8520 Buckenhof(DE)

72 Erfinder: Lubitz, Karl, Dr.
Röntgenstrasse 20
D-8012 Ottobrunn(DE)

72 Erfinder: Mohaupt, Jutta
Theresienstrasse 54 4
D-8000 München 2(DE)

72 Erfinder: Vogt, Martina
Ronhofer Weg 15
D-8510 Fürth(DE)

72 Erfinder: Wersing, Wolfram
Weidenweg 14
D-8011 Kirchheim(DE)

64 Poröse Anpassungsschicht in einem Ultraschallappikator.

57 Der Ultraschallwandler (1) ist mit zwei Anpassungsschichten (9, 11) ausgerüstet. Die erste Anpassungsschicht (9) schließt dabei an die piezoelektrischen Wandlerelemente (7) an und ist aus einem porösen, keramischen Material gefertigt. Sie hat eine Impedanz von ca. $12 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$. Die zweite Anpassungsschicht (11) mit einer Impedanz von ca. $4 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$ ist dem zu untersuchenden Gewebe zugewandt. Die Porosität in der ersten Anpassungsschicht (9) läßt sich bei der Herstellung einstellen. Dadurch kann auch die akustische Impedanz um den genannten Wert von $12 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$ feinstufig variiert werden. Vorteilhafterweise ist die poröse keramische erste Anpassungsschicht (9) aus einem piezoelektrischen Material gefertigt. Dadurch läßt sich ihr thermischer Ausdehnungskoeffizient gut an den der piezoelektrischen Wandlerelemente (7) anpassen.

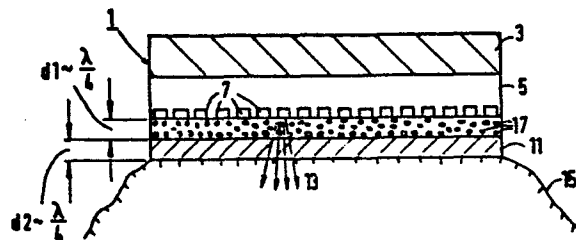


FIG 1

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
Berlin und München

Unser Zeichen
VPA **84P 3330 DE**

Poröse Anpassungsschicht in einem Ultraschallapplikator

5

Die Erfindung betrifft einen Ultraschallwandler mit einem piezoelektrischen Wandler, mit einer ersten Anpassungsschicht, die an den piezoelektrischen Wandler anschließt, und mit einer zweiten Anpassungsschicht, die auf der ersten Anpassungsschicht aufgebracht ist und im Ultraschallbetrieb einem zu untersuchenden Objekt zugewandt ist.

15 Ultraschallwandler der genannten Art werden verbreitet in der medizinischen Technik angewendet, um Aufschluß über die inneren Strukturen von Geweben und Organen in einem Patienten zu bekommen. Eine Schwierigkeit besteht dabei in der Einkopplung der Ultraschallwellen in den Patienten.

20

Der piezoelektrische Wandler medizinischer Ultraschallantennen umfaßt häufig einen Werkstoff, der eine relativ hohe akustische Impedanz aufweist. Materialien wie Keramiken aus Blei-Zirkonat-Titanat besitzen z.B. eine akustische Impedanz von ca. $30 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$. Die Haut und das Gewebe des Patienten dagegen besitzt lediglich einen akustischen Widerstand von ca. $1,5 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$. Um eine unerwünschte Reflexion an der Grenzschicht piezoelektrischer Wandler/menschliches Gewebe weitgehend zu vermeiden, wird zwischen Wandler und Gewebe eine Anpassungsschicht angeordnet.

35 Bisher wurde zur Transformation oder Anpassung der akustischen Impedanz des Keramik-Wandlers in bzw. an die des zu untersuchenden Objekts (z. B. menschliches Gewebe mit einer Impedanz von etwa $1,5 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$) eine einzige Anpassungsschicht aus einem Kunststoff mit einer

akustischen Impedanz von ca. $3 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ oder wenig mehr eingesetzt. Diese Anpassungsschicht hatte eine Dicke von $\lambda/4$. λ ist dabei die Wellenlänge, die entsprechend der Nennfrequenz des Ultraschallwandlers im Material vor-
5 liegt. Ein theoretisch günstiger Wert liegt bei $7 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$, wenn man von $30 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ (Keramik) auf $1,5 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ heruntertransformiert.

Diese Art der Anpassung mit einer einzigen Anpassungs-
10 schicht hat den Nachteil, daß sie nicht ausreichend breitbandig ist. Man ist deswegen zur Erzielung hoher Eindringtiefen und guter axialer Auflösung über einen großen Frequenzbereich hinweg bereits dazu übergegangen, eine erste und eine zweite Anpassungsschicht mit je
15 $\lambda/4$ Dicke vorzusehen (vgl. Biomedizinische Technik, Band 27, Heft 7-8, 1982, S. 182-185). Die akustischen Impedanzen dieser beiden Anpassungsschichten betragen ca. $12 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ für die dem piezoelektrischen Ultra-
schallwandler zugewandte erste Anpassungsschicht und ca.
20 $4,2 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ für die dem Gewebe oder Patienten zugewandte Anpassungsschicht. Auf diese Weise läßt sich eine wesentlich bessere Anpassung erzielen.

Materialien für die zweite Anpassungsschicht mit einer
25 akustischen Impedanz von etwa $4,2 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ lassen sich leicht finden oder fertigen. Es können dazu gängige Kunststoffe verwendet werden. Da die vorteilhaft einzusetzende akustische Impedanz der zweiten (Kunststoff-) Anpassungs-
schicht nur wenig von der Impedanz der Ultraschall-
30 Wandler-Keramik abhängt, ist die einmal gewählte Impedanz für alle PZT-Keramiken des Ultraschallwandlers gleichermaßen geeignet.

Ein Problem hingegen ist es, Materialien für die erste An-
35 passungsschicht zu finden, die eine mittlere akustische Impedanz besitzen sollte, welche wegen ihrer (theoretisch untermauerten) Abhängigkeit von der Impedanz der gerade

verwendeten Piezokeramik des piezoelektrischen Wandlers in gewissen Grenzen frei wählbar sein sollte. Sie sollte unter den genannten Gegebenheiten ca. $12 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ betragen. Mit natürlichen Materialien läßt sich eine
5 solche akustische Impedanz nur schwer erreichen. So z.B. liegen Gase und Flüssigkeiten im Bereich von 0 bis $4 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$. Oberhalb des letztgenannten Wertes existiert ein gewisses Loch, d.h. Materialien mit einer solchen Impedanz gibt es praktisch nicht, und die Werte
10 von Mineralien, Metallen usw. liegen erst wieder zwischen 14 und ca. $100 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$. Der hier angestrebte Bereich um ca. $12 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ist nur sehr schwer mit Hilfe von Glasverbindungen zu erreichen. So wird z.B. in der Regel in diesem Bereich Borosilikatglas eingesetzt. Der Einsatz
15 dieses und anderer Gläser bringt aber eine Reihe von Nachteilen mit sich. Glas läßt sich nur zeit- und geldaufwendig verarbeiten. Manche Gläser sind im interessierenden Impedanzbereich zudem noch giftig; ihre Bearbeitung ist daher kritisch. Für den Hersteller solcher Ultraschall-
20 wandler mit zwei Anpassungsschichten kommt noch eine zusätzliche Schwierigkeit bei der Beschaffung hinzu. Sie besteht darin, daß Glashersteller nur an großem Absatz von Glasmengen interessiert sind und wenig Initiative zeigen, Mengen in der Größenordnung von einigen Gramm zu
25 fertigen. Auch die Bereitschaft zur Entwicklung und Herstellung von anderen Gläsern mit den nötigen akustischen und mechanischen Eigenschaften ist gering.

Es wurde nun erkannt, daß gerade die erste Anpassungs-
30 schicht auf die Qualität des Ultraschallbildes entscheidenden Einfluß nimmt.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, für einen Ultraschall-
Wandler der eingangs genannten Art eine erste Anpassungs-
35 schicht anzugeben, die bei der Fertigung bezüglich ihrer

akustischen Impedanz leicht einstellbar ist und deren mechanische Eigenschaften eine verhältnismäßig leichte Verarbeitung ermöglichen.

- 5 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die erste Anpassungsschicht aus einem porösen piezokeramischen Material besteht, dessen Porosität so gewählt ist, daß sich bei einer Schichtdicke von $\lambda / 4$ eine vorgegebene akustische Impedanz mit einem Wert zwischen dem
- 10 des piezoelektrischen Wandlers und dem der zweiten Anpassungsschicht ergibt, wobei λ die Wellenlänge des Ultraschalls in der ersten Anpassungsschicht bei Nennfrequenz ist.
- 15 Dadurch, daß die akustische Impedanz des keramischen Materials von seiner Porosität abhängig ist, kann man die akustische Impedanz auf einfache Weise bei der Herstellung beeinflussen. Je nachdem, ob die Porenmenge und/oder die Porengröße gezielt erhöht oder erniedrigt wird,
- 20 ergibt sich eine kleinere bzw. größere akustische Impedanz. Ein Wert im kritischen Bereich um ca. $12 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ kann durch Variieren der Porosität gut eingestellt werden. Es hat sich als Vorteil erwiesen, eine ganze Reihe von z.B. 10 porösen keramischen Anpassungsschichten her-
- 25 zustellen, die den Bereich um $12 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ in Feinabstufungen von z.B. $0,2 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ abdecken. All diese Anpassungsschichten erhalten bezüglich ihrer akustischen Impedanz eine Schichtdicke von $\lambda / 4$. Anhand von Versuchen kann dann ermittelt werden, welche dieser gefertigten 10
- 30 Anpassungsschichten eine optimale Anpassung für den vorhandenen piezoelektrischen Wandler ergibt.

Da das Grundmaterial für die erste Anpassungsschicht ein keramischer Werkstoff ist, läßt sich dieser gut ver-

35 arbeiten. Er läßt sich leicht drehen, fräsen, kleben und schleifen.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung ergibt sich, wenn die vorgegebene akustische Impedanz der ersten Anpassungsschicht einen Gradienten aufweist, welcher in Richtung auf den piezoelektrischen Wandler eine positive Steigung besitzt. Durch diese Maßnahme läßt sich erreichen, daß die erste Anpassungsschicht einen kontinuierlichen Übergang der akustischen Impedanz von ca. $30 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ bis hinunter zu ca. $4 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$, dem Wert der zweiten Anpassungsschicht, gewährleistet. Dadurch wird der Ultraschallwandler in seinem Frequenzverhalten noch breitbandiger, als er ohnehin durch die Verwendung von zwei Anpassungsschichten ist.

Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen in Verbindung mit den Zeichnungen. Es zeigen:

Fig. 1 einen piezoelektrischen Wandler mit erster erfindungsgemäßer Anpassungsschicht,

Fig. 2 eine Darstellung des Verlaufs der akustischen Impedanz in Abhängigkeit von der Porenmenge und

Fig. 3 eine Anpassungsschicht mit kontinuierlich veränderter Porosität.

Figur 1 zeigt einen Ultraschallwandler 1, welcher insgesamt vier Schichten umfaßt: eine Dämpfungsschicht 3, eine Schicht 5, in welche eine Anzahl piezoelektrischer Wandlerelemente 7 eingebettet ist und die nachfolgend als "piezoelektrischer Wandler" bezeichnet wird, eine erste Anpassungsschicht 9 und eine zweite Anpassungsschicht 11. Die piezoelektrischen Wandlerelemente 7 strahlen impulsförmige akustische Wellen 13 im Ultraschallbereich in Richtung der ersten und zweiten Anpassungsschicht 9 bzw. 11 aus. Die akustischen Wellen 13 sollen möglichst ungehindert in ein zu untersuchendes Objekt, in diesem Fall in einen Patienten 15, eingekoppelt werden. Treffen die akustischen Wellen 13 beim Übergang zum Patienten 15 auf Grenzflächen von Materialien unterschiedlicher akustischer Impedanz, so werden sie an diesen zum Teil reflektiert, welches einen unerwünschten Nebeneffekt ergibt. Um dieses zu vermeiden, sind die beiden Anpassungsschichten 9, 11 vorgesehen. Die erste Anpassungsschicht 9 hat eine akustische Impedanz von ca. $12 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$, welches einen Mittelwert darstellt zwischen der Impedanz der piezoelektrischen Wandlerelemente 7 von ca. $Z_K = 30 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ und der Impedanz der zweiten Anpassungsschicht 11 von ca. $Z_2 = 4 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$. Die zweite Anpassungsschicht 11 wiederum liegt mit ihrem Wert Z_2 zwischen der akustischen Impedanz Z_1 der ersten Anpassungsschicht 9 und der akustischen Impedanz Z_g des Patientengewebes, die ungefähr $Z_g = 1,5 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$ beträgt. Als piezoelektrisches Wandlermaterial wird hier bevorzugt eine Keramik aus Blei-Zirkonat-Titanat verwendet. Diese hat einen relativ hohen Impedanzwert, nämlich $Z_K = 34 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{s}$.

Die Werte für die Anpassungsschichten 9, 11 errechnen sich näherungsweise aus den Formeln

$$Z_1 = (Z_K^2 \times Z_g)^{1/3} \text{ und}$$

$$Z_2 = (Z_K \times Z_g^2)^{1/3},$$

wobei Z_1 die akustische Impedanz der ersten Anpassungsschicht 9, Z_2 die Impedanz der zweiten Anpassungsschicht 11, Z_K die des piezoelektrischen Wandlers 7 und Z_g die des Gewebes an der Einkoppelstelle ist.

5

Die erste Anpassungsschicht 9 liegt mit dem angestrebten Wert Z_1 ihrer akustischen Impedanz in einem Bereich, der mit natürlichen Werkstoffen nur schwer zu erreichen ist. Aus diesem Grund umfaßt die erste Anpassungsschicht 9 ein Material vergleichsweise hoher Impedanz, das mit Hohlräumen oder Poren versehen ist, die das akustische Verhalten des gewählten Materials verändern, u.a. die Impedanz herabsetzen. Vorzugsweise wird als Material für die erste Anpassungsschicht 9 eine poröse Keramik gewählt. Sie läßt sich gut und leicht verarbeiten. Die Schichtdicke der Anpassungsschichten 9 und 11 beträgt jeweils $\lambda / 4$. λ ist dabei die Wellenlänge des Ultraschalls in den Anpassungsschichten 9, 11. Sie entspricht der Frequenz, mit der die piezoelektrischen Wandler 7 angeregt werden.

Es ist bei der Fertigung des Ultraschallwandlers 1 häufig von vorneherein nicht genau anzugeben, welchen Wert die akustische Impedanz der ersten Anpassungsschicht 9 aufweisen muß. Dieser Wert hängt unter anderem von der akustischen Impedanz Z_K der piezoelektrischen Wandlerelemente 7 selber ab, die eine gewisse Streubreite hat, und auch von der Impedanz der zweiten Anpassungsschicht 11, die bevorzugt aus Kunststoff besteht und in ihrem Wert auch variieren kann. Es ist deswegen wünschenswert, eine Anzahl erster Anpassungsschichten 9 zur Verfügung zu haben, deren akustischen Impedanzen eine Abstufung aufweisen. Es kann dann durch Versuche mit dem Ultraschallwandler 1 ermittelt werden, welche dieser Anpassungsschichten 9 geeignet ist, um in dem betreffenden Ultraschallwandler 1 fest und endgültig eingebaut zu werden.

Um diese Einstellung und Abstufung der akustischen Impedanz Z_1 zu erreichen, ist die erste Anpassungsschicht 9 mit gleichmäßig verteilten Poren 17 versehen. Die Poren 17 lassen sich bei der Herstellung in ihrer mittleren Dichte und/oder in ihrer Größe variieren, wodurch die akustische Impedanz Z_1 gezielt unterschiedliche Werte annimmt. Auf diese Weise kann ein Sortiment fein abgestufter erster Anpassungsschichten 9 gefertigt werden, aus welchen die günstigste dann ausgewählt wird.

10

Figur 2 zeigt ein Diagramm, in welchem die akustische Impedanz der ersten Anpassungsschicht 9 aufgetragen ist über dem Porenanteil oder der Porosität (in %) in der ersten Anpassungsschicht 9. Die erste Anpassungsschicht 9 besteht hier bevorzugt aus Blei-Zirkonat-Titanat-Keramik. Auch ein anderes Material mit Werten im angestrebten Impedanzbereich kann gewählt werden. Diagramm nach Figur 2 wird die angestrebte akustische Impedanz von etwa 12×10^6 kg/m²s bei einer Porosität von ungefähr 36 % erreicht. Durch Variieren dieser Prozentzahl im Bereich ± 2 % kann der Bereich der akustischen Impedanz z. B. zwischen 11 und 13×10^6 kg/m²s variiert werden. Durch kleine Änderungen in der Porosität, z.B. in der Größenordnung von 1 %, läßt sich hier also eine Feinabstufung der akustischen Impedanz Z_1 der ersten Anpassungsschicht 9 erreichen. Dies gilt im Prinzip auch für andere Materialien.

Die Frequenzkonstanten der verschiedenen in Frage kommenden komplexen Keramiksyste (Mischkristalle) auf der Basis von z.B. PbTiO_3 und PbZrO_3 , das mit einem zweiten komplexen Oxid wie z.B. $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3} \text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ mit eventuell zusätzlichen Dotierstoffen versetzt ist, unterscheiden sich nur wenig voneinander. Über die Einstellung der Porosität beim Herstellen kann daher für jede Wandler Keramikmasse eine erste Anpassungsschicht 9 mit der gewünschten akustischen Impedanz von ca. 12×10^6 kg/m²s hergestellt werden.

Die zuvor genannten komplexen Keramiksysteme haben alle-
samt den weiteren Vorteil, daß sie piezoelektrische
Eigenschaften besitzen. Dieses ist von Bedeutung insbe-
sondere bezüglich der thermischen Ausdehnung der ersten

5 Anpassungsschicht 9. Diese muß nämlich angepaßt sein an
diejenige der piezoelektrischen Wandlerelemente 7. Be-
stehen nun sowohl die piezoelektrischen Wandlerelemente
7 als auch die erste Anpassungsschicht 9 aus einem
piezokeramischen Material, so liegen ihre thermischen
10 Ausdehnungskoeffizienten so dicht beieinander, daß sich
die erste Anpassungsschicht 9 z.B. durch Zusatz von
Dotierstoffen in ihrer thermischen Ausdehnung den piezo-
elektrischen Wandlerelementen 7 anpassen läßt. Dadurch
werden mechanische Spannungen mit Rißbildung oder gar
15 Bruch an der Grenzschicht verhindert. Die poröse erste
Anpassungsschicht 9, die auf der Basis eines piezoelek-
trischen Materials gefertigt ist, liegt in ihrem
thermischen Ausdehnungskoeffizienten etwa zwischen 1 und
10 ppm/K.

20

Figur 3 zeigt eine erste Anpassungsschicht 9, in welcher
die Dichte der Poren 17 unterschiedlich verteilt ist.
Zur zweiten Anpassungsschicht 11 hin befinden sich mehr
Poren 17 als zur oberen Seite hin, die an den piezo-
25 elektrischen Wandler 5 anschließt. Diese unterschiedliche
Porendichte, d.h. die nach oben abnehmende Porenkonzen-
tration und/oder -größe, bewirkt auch eine unterschied-
liche akustische Impedanz, die sich im Verlaufe der er-
sten Anpassungsschicht 9 von oben nach unten hin ver-
30 ringert (Gradient). Es ist somit möglich, die erste
Anpassungsschicht 9 so zu gestalten, daß sie an ihrer
oberen Seite, also der Grenzschicht zum piezoelektri-
schen Wandler 7, eine akustische Impedanz Z_K von ca.
 30×10^6 kg/m²s aufweist und an ihrer unteren Seite, die
35 zur zweiten Anpassungsschicht 11 weist, eine akustische
Impedanz von ca. 4×10^6 kg/m²s besitzt. Es ist also

möglich, die erste Anpassungsschicht 9 so herzustellen, daß sich ihre akustische Impedanz Z_1 in Deckenrichtung kontinuierlich zwischen zwei gewünschten Werten ändert. Eine Anpassungsschicht 9 dieser Art mit einem Impedanz-
5 gradienten ergibt eine besonders breitbandige Anpassung.

Der Porositätsgradient kann z.B. dadurch erreicht werden, daß die Anpassungsschicht in einem Foliengießverfahren hergestellt wird. Dem Gießschlicker wird Perlpolymerisat
10 zugesetzt, welches sich aufgrund der Schwerkraft entmischt. Sowohl durch die Viskosität des Gießschlickers für die Folie der ersten Anpassungsschicht 9 als auch durch den Verlauf der anschließenden Sinterung können unterschiedliche Gradienten eingestellt werden.

15 Auch hier ist es wieder vorteilhaft, eine größere Anzahl von in ihrem Impedanzgradienten unterschiedlichen ersten Anpassungsschichten 9 zu fertigen und hinterher durch Versuch und Probieren zu entscheiden, welche von diesen
20 ersten Anpassungsschichten 9 die geeignete zum Einbau in den Ultraschallwandler 1 ist. Dieses experimentelle Auffinden der geeigneten ersten Anpassungsschicht 9 ist deswegen angebracht, weil eine Vielzahl von Kriterien berücksichtigt werden müssen, deren gegenseitige Einflüsse und
25 Wechselwirkungen nur im Versuch ermittelt werden können. So z.B. sollte für jede erste Anpassungsschicht 9 geprüft werden, wie sie sich auf die Empfindlichkeit des Ultraschallsenders oder -empfängers, auf die Pulsform des Sendeimpulses, auf dessen Pulslänge, auf Phasensprünge
30 usw. auswirkt. Neben diesen Kriterien, die die Bildqualität beeinflussen, ist noch der thermische Ausdehnungskoeffizient und die Schichtdicke der ersten Anpassungsschicht 9, die immer nur näherungsweise $\lambda/4$ entsprechen kann, entscheidend.

3 Figuren

10 Patentansprüche

Patentansprüche

1. Ultraschallwandler mit einem piezoelektrischen Wandler, mit einer ersten Anpassungsschicht, die an den piezoelektrischen Wandler anschließt, und mit einer zweiten Anpassungsschicht, die auf der ersten Anpassungsschicht aufgebracht ist und im Ultraschallbetrieb einem zu untersuchenden Objekt zugewandt ist, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß die
erste Anpassungsschicht (9) aus einem porösen piezo-
keramischen Material besteht, dessen Porosität so gewählt
ist, daß sich bei einer Schichtdicke (d_1) von $\lambda / 4$ eine
vorgegebene akustische Impedanz (Z_1) mit einem Wert
zwischen dem des piezoelektrischen Wandlers (5) und dem
der zweiten Anpassungsschicht (11) ergibt, wobei λ die
Wellenlänge des Ultraschalls in der ersten Anpassungs-
schicht (9) bei Nennfrequenz ist.
2. Ultraschallwandler nach Anspruch 1, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , daß das poröse Material
der ersten Anpassungsschicht (9) ein Mischkristall ist,
der PbTiO_3 und PbZrO_3 enthält.
3. Ultraschallwandler nach Anspruch 2, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , daß der Mischkristall
ein weiteres komplexes Oxid enthält.
4. Ultraschallwandler nach Anspruch 3, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , daß der Mischkristall
als komplexes Oxid $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ enthält.
5. Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 2 bis 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , daß der
Mischkristall einen zusätzlichen Dotierstoff enthält.

6. Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, daß die
akustische Impedanz (Z_1) der ersten Anpassungsschicht (9)
zwischen 11 und 13 kg/m²s liegt.
- 5
7. Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, daß die
vorgegebene akustische Impedanz (Z_1) der ersten Anpassungsschicht (9) einen Gradienten aufweist, welcher in
10 Richtung auf den piezoelektrischen Wandler (5) eine
positive Steigung besitzt.
8. Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, daß der
15 thermische Ausdehnungskoeffizient der ersten Anpassungsschicht (9) annähernd demjenigen des piezoelektrischen
Wandlers (5) entspricht.
9. Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
20 dadurch gekennzeichnet, daß die
zweite Anpassungsschicht (11) eine Dicke (d_2) von $\lambda/4$
besitzt und aus einem Kunststoff besteht.
10. Ultraschallwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
25 dadurch gekennzeichnet, daß die
erste und die zweite Anpassungsschicht (9, 11) zu einer
gemeinsamen porösen Anpassungsschicht zusammengefaßt
sind, deren Porenverteilung einen Gradienten aufweist.

1/2

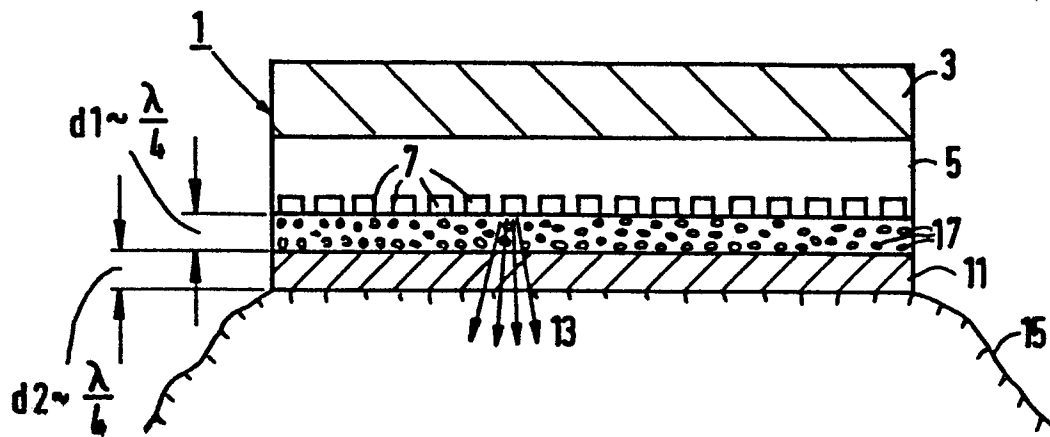


FIG 1

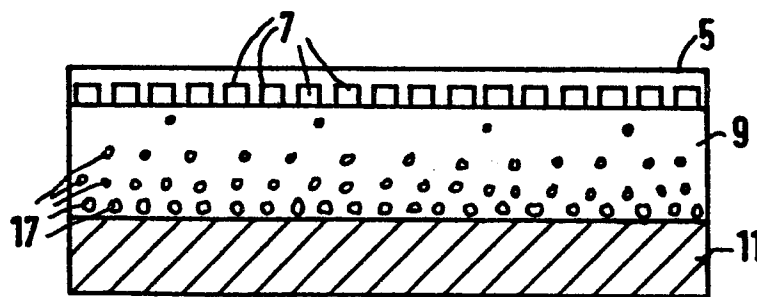


FIG 3

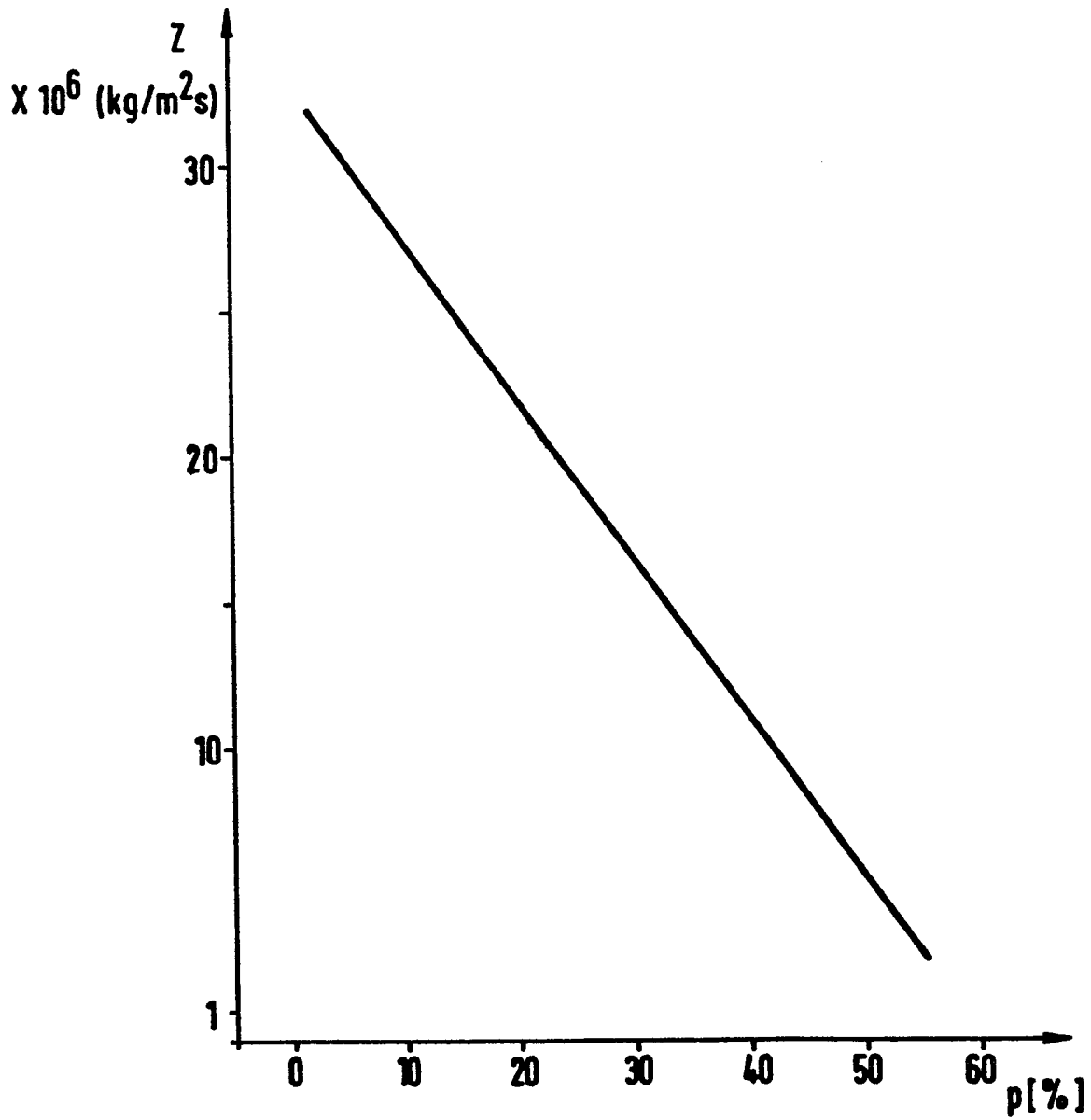


FIG 2



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

0173864

Nummer der Anmeldung

EP 85 10 9705

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 4)
Y	US-A-2 430 013 (C.W. HANSELL) * Spalte 7, Zeile 49 - Spalte 8, Zeile 24; Patentansprüche *	1,7,10	G 10 K 11/02
Y	--- GB-A-2 052 917 (HEWLETT PACKARD) * Seite 3, Zeilen 30-54; Ansprüche 1,4,5 *	1,7,10	
P,A	--- EP-A-0 119 855 (MATSUSHITA) * Zusammenfassung; Ansprüche 1,10 *	1,7	
A	--- US-A-4 217 684 (A.F. BRISKEN et al.) * Spalte 2, Zeile 54 - Spalte 3, Zeile 12; Figur 1 *	1,6,9	
A	--- FR-A- 900 298 (GEMA) * Seite 3, Zeilen 54-66 *	1	

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 21-11-1985	Prüfer HAASBROEK J.N.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTEN X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			