

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. Juli 2013 (18.07.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/104538 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:** Nicht klassifiziert
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2013/000054
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
10. Januar 2013 (10.01.2013)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2012 000 275.0
10. Januar 2012 (10.01.2012) DE
- (71) **Anmelder:** NICOLAY VERWALTUNG GMBH [DE/DE]; Graf-Zeppelin-Strasse 21, 72202 Nagold (DE).
- (72) **Erfinder:** MUZ, Edwin; Stämmesäckerstr. 3, 72762 Reutlingen (DE).
- (74) **Anwalt:** BARTELS & PARTNER; Lange Strasse 51, 70174 Stuttgart (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,

DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

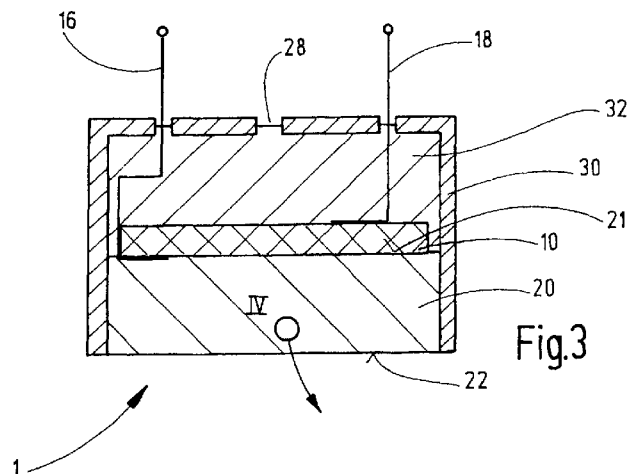
(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) **Title:** SOUND TRANSDUCER, IN PARTICULAR ULTRASONIC TRANSDUCER, AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) **Bezeichnung :** SCHALLWANDLER, INSBESONDERE ULTRASCHLLWANDLER, UND VERFAHREN ZU DESSEN HERSTELLUNG



(57) **Abstract:** The invention relates to a sound transducer, in particular an ultrasonic transducer, comprising a transducer element (10) for transducing an electric signal into sound waves and/or from sound waves into an electric signal, and comprising an adapter element (20) for adapting the acoustic impedance of the transducer element (10) to the acoustic impedance of the medium surrounding the transducer (1), the adapter element (20) having hollow bodies (34) that are embedded into a cured resin, characterised in that the adapter element (20) has an at least partially cured bismaleimide resin (36) and in that the hollow bodies (34) are embedded into the bismaleimide resin (36) and, together with the bismaleimide resin (36), form a bismaleimide resin-containing syntactic foam. The invention further relates to a method for producing a transducer of this kind.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2013/104538 A2



Die Erfindung betrifft einen Schallwandler, insbesondere Ultraschallwandler, mit einem Wandlerelement (10) zum Wandeln eines elektrischen Signals in Schallwellen und/oder von Schallwellen in ein elektrisches Signal und mit einem Anpassungselement (20) zum Anpassen der akustischen Impedanz des Wandlerelements (10) an die akustische Impedanz des den Schallwandler (1) umgebenden Mediums, wobei das Anpassungselement (20) in ein ausgehärtetes Harz eingebettete Hohlkörper (34) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass das Anpassungselement (20) mindestens teilweise ein ausgehärtetes Bismaleimidharz (36) aufweist, und dass die Hohlkörper (34) in das Bismaleimidharz (36) eingebettet sind und zusammen mit dem Bismaleimidharz (36) einen Bismaleimidharz-haltigen syntaktischen Schaum bilden, sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Schallwandlers.

Schallwandler, insbesondere Ultraschallwandler,
und Verfahren zu dessen Herstellung

Die Erfindung betrifft einen Schallwandler, insbesondere einen
Ultraschallwandler, mit einem Wandlerelement, beispielsweise einer
piezokeramischen Scheibe, und einer Anpassungsschicht, beispielsweise
einem syntaktischen Schaum, zum Betrieb als Sender oder Empfänger von
5 Ultraschallimpulsen, beispielsweise in einem gasförmigen Medium, sowie
ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Schallwandlers.

Ein piezokeramisches Wandlerelement kann nur einen geringen Teil der
Ultraschallleistung an die umgebende Luft abgeben, da die Grenzfläche
10 Keramik/Luft hierfür wenig durchlässig ist, wobei die Durchlässigkeit umso
geringer ist, je größer der Unterschied der akustischen Impedanz ist, die
sich aus dem Produkt der Dichte und der Schallgeschwindigkeit im
jeweiligen Werkstoff bzw. Medium errechnet. Aus dem Stand der Technik
ist die Verwendung einer oder mehrerer Anpassungsschichten bekannt,
15 wobei theoretisch die Anpassungsschicht dann optimal ist, wenn die
Schichtdicke ein ganzzahliges Vielfaches eines Viertels der Wellenlänge der
Schallwellen in der Anpassungsschicht beträgt und der akustische
Widerstand in der Anpassungsschicht gleich der Wurzel aus dem Produkt
der akustischen Impedanzen in den aneinander angrenzenden Medien ist,
20 beispielsweise der piezokeramischen Scheibe einerseits und der Luft
andererseits.

Aus der DE 25 37 788 A1 ist ein Ultraschallwandler zur Verwendung in einem Entfernungsmesser bekannt mit einem Wandlerelement zum Wandeln eines elektrischen Signals in Schallwellen. Mindestens eine Schallabstrahlfläche weist eine $\lambda/4$ -Schicht auf, deren akustische Impedanz einen Wert hat, der zwischen der akustischen Impedanz des Wandlerelements und der akustischen Impedanz des den Ultraschallwandler umgebenden Mediums liegt, wobei λ die Wellenlänge des erzeugten Ultraschalls in der $\lambda/4$ -Schicht ist. Die $\lambda/4$ -Schicht wird dadurch hergestellt, dass gläserne Hohlkugeln mit einem Durchmesser von etwa 0,1 mm mit Polystyrollack vermischt werden. Nach dem Trocknen des Lackes erhält man einen Schaumstoff mit einer Porengröße von etwa 0,1 mm und einer Dichte von etwa 0,3 g/cm³.

15 Aus der DE 10 2008 055 126 A1 ist ein Ultraschallwandler zum Einsatz in einem fluiden Medium bekannt, bei dem ein Anpasskörper aus einem gepressten oder porös gesinterten Polyimid hergestellt ist.

Aus der DE 695 05 430 T2 bzw. EP 0 667 646 B1 ist ein piezoelektrisches oder elektrostriktives Dünnelement bekannt, die Verformungen oder Krafteinwirkung in Form von Verkrümmungen oder Durch- bzw. Verbiegen hervorrufen oder detektieren können.

Aus der DE 101 35 414 C1 ist die Herstellung einer nicht-flachen Membran für elektroakustische Wandler bekannt, die eine Polymethacrylimidschaum aufweisende Kernschicht und mindestens eine Deckschicht aufweist.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Schallwandler sowie ein zugehöriges Herstellverfahren bereitzustellen, mit dem auf einfache Weise

eine noch bessere Anpassung des Wandlerelements an das den Schallwandler umgebende Medium erreicht werden kann.

Diese Aufgabe ist durch den im Anspruch 1 bestimmten Schallwandler und durch das im nebengeordneten Anspruch bestimmte Herstellverfahren
5 gelöst. Besondere Ausführungsarten der Erfindung sind in den Unteransprüchen bestimmt.

In einer Ausführungsart ist die Aufgabe gelöst durch einen Schallwandler,
10 bei dem das Anpassungselement mindestens teilweise ein ausgehärtetes Bismaleimidharz aufweist, vorzugsweise das verwendete Harz vollständig aus einem Bismaleimidharz besteht.

Bismaleimide weisen nach der Härtung eine hohe Temperaturbeständigkeit
15 auf. Die für das Anpassungselement verwendeten Hohlkörper werden in das Bismaleimidharz eingebettet und bilden zusammen mit dem Bismaleimidharz einen Bismaleimidharz-haltigen syntaktischen Schaum, der eine hervorragende Anpassung der akustischen Impedanz des Wandlerelements, beispielsweise einer piezoelektrischen Blei-Zirkon-
20 Titanat (PZT)-Keramik mit einer typischen akustischen Impedanz von $3 \cdot 10^7$ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, an die akustische Impedanz von Luft mit etwa $4 \cdot 10^2$ $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, bietet. Das so hergestellte Anpassungselement weist deutlich bessere Eigenschaften auf als die bisher bekannten Anpassungselemente oder $\lambda/4$ -Schichten.

25

In einer Ausführungsart weist der syntaktische Schaum eine Dichte von mehr als 110 und weniger als 220 kg/m^3 auf, insbesondere mehr als 130 und weniger als 200 kg/m^3 und vorzugsweise mehr als 150 und weniger als

180 kg/m³. Dadurch ist die Anpassung der akustischen Impedanzen weiter verbessert.

5 In einer Ausführungsart sind in dem syntaktischen Schaum mehr als 80 % der Hohlkörper, insbesondere mehr als 90 % und vorzugsweise mehr als 95 % der Hohlkörper mit einer Schicht des Bismaleimidharzes bedeckt. Die Schichtdicke kann weniger als 20 μ m betragen, insbesondere weniger als 12 μ m und vorzugsweise weniger als 8 μ m.

10 In einer Ausführungsart ist die Packungsdichte der Hohlkörper im Schaum weniger als 20 %, insbesondere weniger als 15 % und vorzugsweise weniger als 10 % geringer als im Ausgangsmaterial der Hohlkörper. Beispielsweise kann die Packungsdichte der Hohlkörper im Ausgangsmaterial 60 % betragen, im Schaum dagegen mehr als 48 %, 15 insbesondere mehr als 51% und vorzugsweise mehr als 54%.

In einer Ausführungsart beträgt die Dicke des Anpassungselements mehr als das Dreifache und weniger als das Zwanzigfache der Dicke des Wandlerelements, insbesondere mehr als das Fünffache und weniger als 20 das Fünfzehnfache und vorzugsweise mehr als das Achtfache und weniger als das Zwölffache. In einer Ausführungsart beträgt die Dicke des Wandlerelements weniger als 0,6 mm, insbesondere weniger als 0,4 mm und vorzugsweise weniger als 0,25 mm.

25 Ein syntaktischer Schaum mit einem oder mehreren der vorstehend genannten Parameter führt bei vergleichsweise geringem spezifischen Gewicht zu einer sehr guten Schallleitung und insgesamt zu einer sehr guten Anpassung der akustischen Impedanz. Darüber hinaus ist der Schaum und damit das Anpassungselement sehr gut wärmebeständig bis mindestens

200° C und daher auch heißdampfsterilisierbar, sowie chemikalienfest und weist eine hohe Steifigkeit auf.

In einer Ausführungsart ist die an das Wandlerelement angrenzende erste
5 Schallkoppelfläche des Anpassungselements und/oder die an das den
Schallwandler umgebende Medium angrenzende zweite Schallkoppelfläche
des Anpassungselements unbearbeitet, insbesondere mechanisch
unbearbeitet, beispielsweise nicht geschliffen oder gefräst. Untersuchungen
haben gezeigt, dass dadurch die Anpassung der akustischen Impedanz
10 weiter verbessert ist.

In einer Ausführungsart ist eine zwischen den beiden Schallkoppelflächen
angeordnete, insbesondere eine die beiden Schallkoppelflächen
verbindende Oberfläche des Anpassungselements konvex geformt.
15 Auch dadurch ist die akustische Anpassung weiter verbessert.

Der erfindungsgemäße Schallwandler kann insbesondere zur Messung der
Strömungsgeschwindigkeit eines Fluides, beispielsweise eines
Atemgasgemisches, eingesetzt werden. Hierzu werden Ultraschallimpulse
20 sowohl in Richtung der Strömung als auch entgegengesetzt gesendet, und
die Zeit, die jeweils zum Durchlaufen einer definierten Strecke notwendig
ist, wird gemessen. Aus der Laufzeitdifferenz kann die
Strömungsgeschwindigkeit berechnet werden. Mit Betriebsfrequenzen
zwischen 100 und 500 kHz kann eine sehr hohe Genauigkeit erzielt
25 werden. Ultraschall dieser Frequenz lässt sich auf einfache Weise mit Hilfe
einer Scheibe aus Piezokeramik erzeugen, die auf den beiden parallelen
Flächen mit einer Metallisierung versehen ist.

- Das Wandlerelement wird im Bereich seiner Resonanzfrequenz betrieben, die wesentlich durch die geometrischen Abmessungen bestimmt ist, im Falle einer Scheibe durch den Durchmesser und die Dicke. Wird an den Elektroden des Wandlerelements eine Wechselspannung angelegt, wird dieses zu Schwingungen angeregt und sendet Schallwellen aus. Umgekehrt kann an den beiden Elektroden eine dem Schalldruck proportionale Spannung abgegriffen werden, wenn Schallwellen auf das Wandlerelement auftreffen.
- 10 Der erfindungsgemäße Schallwandler weist nicht nur eine optimale Anpassung der akustischen Impedanz auf, sondern auch eine ausreichend hohe Temperaturbeständigkeit für die Anwendung der insbesondere in der Medizintechnik verwendeten Sterilisierungsverfahren. Besonders vorteilhaft ist außerdem, dass durch die Verwendung eines Bismaleimidharzes in Verbindung mit den vorzugsweise kugelförmigen Hohlkörpern, insbesondere Glashohlkörpern, eine geringe Dämpfung des Ultraschalls erreichbar ist. Durch die optimale Anpassung der akustischen Impedanz kommt es andererseits zu einem schnellen Abklingen der Schwingung nach Abschalten des elektrischen Anregungssignals, so dass Überlagerungen vermieden werden und eine hohe Pulsfolge erreichbar ist. Auf die im Stand der Technik zu diesem Zweck häufig eingesetzte rückseitige Bedämpfung des Wandlerelements, das sogenannte „Backing“, kann bei erfindungsgemäßen Schallwandlern verzichtet werden.
- 25 Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung eines Schallwandlerelements mit einem Wandlerelement und einem Anpassungselement, das Hohlkörper aufweist, die in ein Bismaleimidharz eingebettet sind. Das Bismaleimidharz kann in Form eines Pulvers, einer Paste oder einer Flüssigkeit vorliegen. Zur Herabsetzung der Viskosität wird

das Bismaleimidharz mit einem Lösungsmittel aufgeschlämmt und dann mit den Hohlkörpern vermischt. Danach wird das Lösungsmittel weitgehend verdampft und die so entstehende Paste wird bei Temperaturen von beispielsweise zwischen 150 und 180° C entsprechend den jeweiligen

5 Vorschriften des Harzlieferanten ausgehärtet bzw. vernetzt. Dabei ist vorteilhaft, wenn möglichst wenig zusätzliche Luft in den Schaum eingearbeitet wird. In einer Ausführungsart wird die Mischung aus Bismaleimidharz und Hohlkörpern bereits während und/oder nach dem Abdampfen des Lösungsmittels in eine Unterdruck-Kammer gebracht, um

10 ein Ausgasen von Luft und/oder das Abdampfen des Lösungsmittels zu beschleunigen.

In einer Ausführungsart kann ein noch nicht ausgehärteter Grünling des Anpassungselements separat in einer Form hergestellt werden,

15 gegebenenfalls auch in einer Form ausgehärtet werden, und anschließend mit dem Wandlerelement verbunden werden. Alternativ hierzu kann ein Grünling des Anpassungselements auf das Wandlerelement aufgesetzt werden und auf diesem ausgehärtet und insbesondere vernetzt werden und dabei gleichzeitig mit dem Wandlerelement fest verbunden werden.

20 Danach ist das Wandlerelement ohne weitere Nachbearbeitung betriebsbereit.

In einer Ausführungsart beträgt beim Aufschlämmen das Verhältnis der Masse des Bismaleimidharzes (ohne den Anteil des Lösungsmittels) zu der

25 Masse der Hohlkörper mehr als 0,8 und weniger als 1,9, insbesondere mehr als 1,0 und weniger als 1,7 und vorzugsweise mehr als 1,2 und weniger als 1,5. In einer Ausführungsart beträgt das Verhältnis der Masse von Bismaleimidharz zu der Masse der Hohlkörper, die aus Glashohlkugeln bestehen, zwischen 1,0 und 1,5, insbesondere zwischen 1,3 und 1,4.

- Als Glashohlkugeln können beispielsweise solche vom Typ K1 oder K11 verwendet werden, die von der Firma 3M als „Glass Bubbles“ angeboten werden. Die „wahre Dichte“ dieser Kugeln beträgt beispielsweise 125 bzw.
- 5 110 g/cm³. Die Packungsdichte beträgt 60 %, mithin beträgt die Schüttdichte zwischen 60 und 75 g/cm³. Die Dichte des Bismaleimidharzes beträgt etwa 1.000 g/cm³. Um die Glaskugeln vollständig und ohne Lufteinschlüsse in das Harz einzubetten, müsste das Masseverhältnis von Harzmasse zu Glaskugelmasse theoretisch etwa 5 betragen.
- 10 Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass sehr gute Ergebnisse bei einer Dichte des Schaums von 150 bis 180 g/cm³ erzielt werden, obgleich die akustische Impedanz in diesem Fall höher ist als die nach theoretischen Berechnungen optimale akustische Impedanz.
- 15 Die Glashohlkugeln sind mit einer Harzschicht von wenigen μm Dicke bedeckt, insbesondere weniger als 10 μm , und die Packungsdichte von etwa 60 % bleibt erhalten, insbesondere ist die Packungsdichte um weniger als 10 % gegenüber dem Ausgangsmaterial reduziert, vorzugsweise um weniger als 5 %. Wenn die Harzschicht sehr dünn ist, steigt die Dämpfung
- 20 des Schalls im Anpassungselement; bei dickeren Harzschichten nimmt die Dichte des Schaumes zu.

- Beim Aushärten bzw. Vernetzen ist der Grünling auf mindestens zwei einander gegenüberliegenden Flächen in Anlage an einem Formenelement.
- 25 Sofern der Grünling unmittelbar auf dem Wandlerelement ausgehärtet wird, kann das Wandlerelement, insbesondere dessen dem Anpassungselement zugewandte Oberfläche, eines der beiden Formelemente bilden. Auf diese Weise kann auch die Dicke des Anpassungselements auf einfache Weise reproduzierbar sehr genau hergestellt werden.

In einer Ausführungsart wird der Verbund aus Wandlerelement und Anpassungselement mittels eines Elastomers in einem Gehäuse des Schallwandlers festgelegt. Das Gehäuse kann beispielsweise aus einem
5 Polymerkunststoff bestehen, etwa Polyvinylidenfluorid (PVDF), und/oder topfförmig sein. Das Anpassungselement kann bündig mit dem Gehäuserand abschließen. Als Elastomer kann Silikonkautschuk eingesetzt werden, der beispielsweise über eine Öffnung in der Bodenfläche des Gehäuses in einen Hohlraum zwischen der Bodenfläche und dem
10 Wandlerelement eingespritzt wird und beim Aushärten auch die Anschlussleitungen an das Wandlerelement innerhalb des Gehäuses fixiert.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung, in der
15 unter Bezugnahme auf die Zeichnungen mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein.

- 20 Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung einen Schnitt durch ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Schallwandlers,
Fig. 2 zeigt einen Zustand im Verlauf der Herstellung des Schallwandlers, bei dem das Anpassungselement ausgehärtet und fest mit dem Wandlerelement verbunden ist,
25 Fig. 3 zeigt einen Schnitt durch den in ein Gehäuse eingesetzten Schallwandler, und
Fig. 4 zeigt in vergrößerter Darstellung einen Ausschnitt IV aus dem Anpassungselement der Fig. 3.

Die Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung einen Schnitt durch ein Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Schallwandlers 1 in einem noch nicht vollständig hergestellten Zustand. Der Schallwandler 1 weist ein Wandlerelement 10 auf, das im Ausführungsbeispiel durch eine piezoelektrische Keramikscheibe mit einem Durchmesser von 10 mm und einer Dicke von 0,2 mm gebildet ist. Die im Wesentlichen vom Durchmesser bestimmte Schwingfrequenz des Wandlerelements 10 beträgt etwa 200 kHz. Auf den einander gegenüberliegenden planparallelen Stirnflächen ist auf das Wandlerelement 10 jeweils eine elektrisch leitfähige und vorzugsweise metallische Kontaktschicht 12, 14 aufgebracht. Vor dem Verbinden des Anpassungselements 20 mit dem Wandlerelement 10 wird die erste Kontaktschicht 12 mittels einer ersten Anschlussleitung 16 elektrisch kontaktiert, insbesondere wird ein erster Anschlussdraht angelötet. Gleichzeitig oder zu einem späteren Zeitpunkt kann eine zweite Anschlussleitung 18 an der gegenüberliegenden zweiten Kontaktschicht 14 angebracht werden, insbesondere angelötet werden.

Das Anpassungselement 20 ist aus einem Bismaleimidharz mit darin eingebetteten Hohlkörpern, insbesondere Glashohlkugeln, in der Form eines syntaktischen Schaums gebildet. Im Ausführungsbeispiel ist das Anpassungselement 20 im Zustand der Fig. 1 noch ein Grünling, d. h. das Bismaleimidharz ist noch nicht vernetzt, so dass das Anpassungselement 20 noch nicht ausgehärtet ist. Für das Bismaleimidharz wurde ein Bismaleimid-Klebstoff vom Typ PX-305 der Firma Polymerics GmbH Berlin (www.polymeric.de) verwendet, dessen Viskosität durch Zugabe eines Lösungsmittels, beispielsweise Dichlormethan, herabgesetzt wird. Die so hergestellte Lösung kann auch als Zwischenschicht zwischen die zweite Kontaktschicht 12 und den Grünling des Anpassungselements 20 aufgetragen werden, um die Verbindung zwischen dem Wandlerelement

10 und dem Anpassungselement 20 zu verbessern. In die Lösung werden Glashohlkugeln, beispielsweise „Glass Bubbles“ vom Typ K1 der Firma 3M, eingerührt, und diese Ausschlämmung kann auf eine flache Schale ausgegossen werden. Nach dem Verdunsten des Lösungsmittels verbleibt
5 eine Schicht mit einer Dicke von beispielsweise 2,5 bis 3 mm, die bereits eine für die Weiterverarbeitung ausreichende Eigenstabilität aufweist. Aus dieser Schicht können in der gewünschten Form Grünlinge des Anpassungselements 20 ausgestochen oder ausgeschnitten werden und anschließend in Anlage an das Wandlerelement 10 gebracht werden.

10

Die Fig. 2 zeigt einen Zustand im Verlauf der Herstellung des Schallwandlers 1, bei dem das Anpassungselement 20 bereits vernetzt und fest mit dem Wandlerelement 10 verbunden ist. Das Anpassungselement 20 weist zwei Schallkoppelflächen 21, 22 auf, wobei eine Schallkoppelfläche
15 21 in dichter Anlage an dem Wandlerelement 10 ist und die gegenüberliegende Schallkoppelfläche 22 die Schallabstrahlfläche bzw. Schalleinstrahlfläche des Schallwandlers 1 bildet. Auch für den Fall, dass der Grünling des Anpassungselements 20 bereits vor dem Anbringen an dem Wandlerelement 10 ausgehärtet wird, bleiben die beiden
20 Schallkoppelflächen 21, 22 vorzugsweise unbearbeitet. Eine die beiden Schallkoppelflächen 21, 22 verbindende Oberfläche 24 des Anpassungselements 20, insbesondere die Mantelfläche des im Wesentlichen zylindrischen Anpassungselements 20 ist konvex geformt. Über die erste Anschlussleitung 16 ist ein elektrisch isolierender Schlauch
25 gelegt, um insbesondere beim Einbau des Schallwandlers 1 in ein Gehäuse 30 einen elektrischen Kurzschluss zu verhindern.

Die Fig. 3 zeigt einen Schnitt durch den in ein Gehäuse 30 eingesetzten Schallwandler 1. Das Gehäuse 30 besteht vorzugsweise aus einem

Kunststoff. Die beiden Anschlussleitungen 16, 18 sind nach außerhalb des Gehäuses 30 geführt und dort elektrisch kontaktierbar. Das Gehäuse 30 ist im Wesentlichen topfförmig, wobei der Schallwandler 1 so weit in das Gehäuse eingesetzt wird, dass die Schallkoppelfläche 22 des

5 Anpassungselements 20 im Wesentlichen bündig mit dem Rand des Gehäuses 30 abschließt. Auf einer der Schallkoppelfläche 22 gegenüberliegenden Bodenfläche weist das Gehäuse 30 Öffnungen für den Durchtritt der beiden Anschlussleitungen 16, 18 auf. Entweder über eine dieser Öffnungen oder über eine zusätzliche Öffnung 28 kann in den

10 zwischen dem Wandlerelement 10 und der Bodenfläche des Gehäuses 30 verbleibenden Hohlraum eine Füllmasse 32 eingebracht werden, mittels welcher das Wandlerelement 1 mechanisch fest und vorzugsweise auch fluiddicht in dem Gehäuse 30 festlegbar ist. Als Füllmasse 32 kann beispielsweise ein Silikonkautschuk verwendet werden.

15

Das Wandlerelement 10 ist von dem Gehäuse 30 beabstandet. Im Ausführungsbeispiel weist die Anordnung hierzu einen Ringspalt zwischen dem Wandlerelement 10 und dem Gehäuse 30 auf, der von der Füllmasse 32 ausgefüllt ist. Die Abmessung des Ringspalt ist in der Fig. 3 nicht

20 maßstäblich, insbesondere kann die Abmessung des Ringspalt kleiner sein als in der Fig. 3 dargestellt. Die Füllmasse 32 schließt bündig mit dem Wandlerelement 10 ab. Alternativ oder ergänzend kann auch zwischen dem Anpassungselement 20 und dem Gehäuse 30 mindestens abschnittsweise ein Ringspalt vorgesehen sein, der vorzugsweise ebenfalls

25 von der Füllmasse 32 ausgefüllt ist. In einer Ausführungsart kann die Füllmasse 32 an der Schallkoppelfläche 22 bündig mit dem Anpassungselement 20 abschließen. In diesem Fall kann durch den Ringspalt zwischen Anpassungselement 20 und Gehäuse 30 auch eine Einpassung eines von der Zylinderform abweichenden Anpassungselements

20, insbesondere eines in der Fig. 2 dargestellten tonnenförmigen Anpassungselements 20, in das Gehäuse 30 mit seiner zylindrischen Öffnung erfolgen.

- 5 Die Fig. 4 zeigt in vergrößerter Darstellung einen Ausschnitt IV aus dem Anpassungselement 20 im vernetzten Zustand der Fig. 3. Die Hohlkörper 34, im Ausführungsbeispiel Glashohlkörper, sind in das Bismaleimidharz 36 eingebettet. Die Wandung 38 der Hohlkörper 34 ist so dünn, dass die Dichte des Anpassungselements 20 ausreichend gering ist, um eine
- 10 optimale akustische Ankopplung des Wandlerelements 10 an das den Schallwandler 1 umgebende Medium zu gewährleisten. Die Außenoberfläche 40 der Wandung 38 ist mit einer vorzugsweise wenige μm dicken Schicht des Bismaleimidharzes 36 bedeckt, auch in den Bereichen, in welchen sich benachbarte Hohlkörper 34 sehr nahe kommen
- 15 oder sogar aneinander anliegen.

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Schallwandler (1), insbesondere Ultraschallwandler, mit einem Wandlerelement (10) zum Wandeln eines elektrischen Signals in Schallwellen und/oder von Schallwellen in ein elektrisches Signal und mit einem Anpassungselement (20) zum Anpassen der akustischen Impedanz des Wandlerelements (10) an die akustische Impedanz des den Schallwandler (1) umgebenden Mediums, wobei das Anpassungselement (20) in ein ausgehärtetes Harz eingebettete Hohlkörper (34) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Anpassungselement (20) mindestens teilweise ein ausgehärtetes Bismaleimidharz (36) aufweist, und dass die Hohlkörper (34) in das Bismaleimidharz (36) eingebettet sind und zusammen mit dem Bismaleimidharz (36) einen Bismaleimidharz-haltigen syntaktischen Schaum bilden.
2. Schallwandler (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der syntaktische Schaum eine Dichte von mehr als 110 und weniger als 220 kg/m³ aufweist, insbesondere von mehr als 130 und weniger als 200 kg/m³ und vorzugsweise von mehr als 150 und weniger als 180 kg/m³.
3. Schallwandler (1) nach Anspruch 1 oder einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mehr als 80 % der Hohlkörper (34), insbesondere mehr als 90 % und vorzugsweise mehr als 95 % der Hohlkörper (34) mit einer Schicht des Bismaleimidharzes (36) bedeckt sind, wobei die Schichtdicke weniger als 20 µm, insbesondere weniger als 12 µm und vorzugsweise weniger als 8 µm beträgt.

4. Schallwandler (1) nach Anspruch 1 oder einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke des Anpassungselements (20) mehr als das Dreifache und weniger als das
5 Zwanzigfache der Dicke des Wandlerelements (10) beträgt, insbesondere mehr als das Fünffache und weniger als das Fünfzehnfache und vorzugsweise mehr als das Achtfache und weniger als das Zwölffache.
- 10 5. Schallwandler (1) nach Anspruch 1 oder einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke des Wandlerelements (10) weniger als 0,6 mm beträgt, insbesondere weniger als 0,4 mm und vorzugsweise weniger als 0,25 mm.
- 15 6. Schallwandler (1) nach Anspruch 1 oder einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die an das Wandlerelement (10) angrenzende erste Schallkoppelfläche (21) und/oder die an das den Schallwandler (1) umgebende Medium angrenzende zweite Schallkoppelfläche (22) des Anpassungselements (20) unbearbeitet ist,
20 insbesondere mechanisch unbearbeitet ist.
7. Schallwandler (1) nach Anspruch 1 oder einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine zwischen den beiden Schallkoppelflächen (21, 22) angeordnete Oberfläche (24) des
25 Anpassungselements (20), insbesondere eine die beiden Schallkoppelflächen (21, 22) verbindende Oberfläche (24) des Anpassungselements (20), konvex geformt ist.

8. Verfahren zur Herstellung eines Schallwandlers (1), insbesondere eines Ultraschallwandlers, mit einem Wandlerelement (10) zum Wandeln eines elektrischen Signals in Schallwellen und/oder von Schallwellen in ein elektrisches Signal und mit einem
- 5 Anpassungselement (20) zum Anpassen der akustischen Impedanz des Wandlerelements (10) an die akustische Impedanz des den Schallwandler (1) umgebenden Mediums, wobei das Anpassungselement (20) Hohlkörper (34) aufweist, die in ein ausgehärtetes Harz eingebettet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- 10 die Hohlkörper (34) in einer Lösung aus einem Bismaleimidharz (36) und einem Lösungsmittel aufgeschlämmt werden, und dass durch Verdunsten des Lösungsmittels ein Grünling des Anpassungselements (20) gebildet wird, der unter Bildung eines Bismaleimidharz-haltigen Schaums ausgehärtet und beim Aushärten oder anschließend an das
- 15 Aushärten mit dem Wandlerelement (10) verbunden wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der Masse des Bismaleimidharzes (36) zu der Masse der Hohlkörper (34) beim Aufschlämmen mehr als 0,8 und weniger als
- 20 1,9 beträgt, insbesondere mehr als 1,0 und weniger als 1,7 und vorzugsweise mehr als 1,2 und weniger als 1,5.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Grünling des Anpassungselements (20) beim Aushärten auf
- 25 mindestens zwei einander gegenüberliegenden Flächen in Anlage an einem Formenelement ist.
11. Verfahren nach Anspruch 8 oder einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbund aus Wandlerelement (10)

und Anpassungselement (20) mittels eines Elastomers in einem Gehäuse (30) festgelegt wird.

