(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 1 911 530 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
22.07.2009 Patentblatt 2009/30

(51) Int Cl.:
B06B 1/06 *(2006.01)* ***G10K 9/122*** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **07405233.3**

(22) Anmeldetag: **13.08.2007**

(54) **Ultraschallwandler mit akustischer Impedanzanpassung**

Ultrasound converter with acoustic impedance adjustment

Transducteur à ultrasons doté d'une adaptation d'impédance acoustique

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **09.10.2006 CH 16072006**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
16.04.2008 Patentblatt 2008/16

(73) Patentinhaber: **Baumer Electric AG**
8500 Frauenfeld (CH)

(72) Erfinder: **Nölle, Christoph**
78462 Konstanz (DE)

(74) Vertreter: **Gachnang, Hans Rudolf**
Gachnang AG
Badstrasse 5
Postfach 323
8501 Frauenfeld (CH)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 116 823
EP-A- 1 430 838
WO-A-01/08237
DE-A1- 19 630 350
DE-A1- 19 742 294
DE-U1-7202004 002 10

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 911 530 B1

Beschreibung

[0001] Gegenstand der Erfindung ist ein Ultraschallwandler mit einer akustischen Impedanzanpassung gemäss Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] Ultraschallsensoren, die nach dem Puls-Echo-Prinzip arbeiten, eignen sich zur berührungslosen Erfassung von Objekten innerhalb eines Erfassungsbereichs. Ein Schallwandler bzw. Transducer erzeugt einen Burst bzw. ein kurzes Ultraschall-Wellenpaket. Dieses breitet sich entsprechend der Richtcharakteristik des Transducers in den Raum aus. Befindet sich ein Objekt innerhalb des Erfassungsbereichs des Sensors, wird in der Regel ein Teil der Schallwellen in Richtung des Transducers zurück reflektiert. Nach dem Aussenden des Ultraschallbursts wird der Transducer als Empfänger geschaltet und empfängt das am Objekt reflektierte Echosignal. Die Laufzeit bzw. die Dauer zwischen dem Aussenden des Bursts und dem Empfangen des Echos ist bei bekannter Schallgeschwindigkeit im Ausbreitungsmedium (z.B. Luft oder Wasser) ein Mass für den Abstand des Objekts vom Sensor. Bei Bedarf kann die Temperatur des Ausbreitungsmediums erfasst und z.B. anhand einer Zuordnungstabelle ein Korrekturfaktor berechnet werden, welcher die Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit im Ausbreitungsmedium kompensiert.

[0003] Bei alternativen Ausführungsformen können auch getrennte Sende- und Empfangswandler verwendet werden.

Verbreitet werden zum Erzeugen und Empfangen von Ultraschallsignalen piezokeramische Wandler eingesetzt. Eine Anpassschicht dient als akustischer Impedanzwandler zwischen der schallharten Piezokeramikscheibe und dem liquiden oder gasförmigen Ausbreitungsmedium. Die Dicke der Anpassschicht ist so bemessen, dass bei einer Resonanzfrequenz des Schwingungssystems ein möglichst grosser Teil der Schallenergie an das umgebende Medium übertragen wird. Im Idealfall entspricht die Dicke der Anpassschicht etwa einem Viertel der Resonanz-Wellenlänge in der Anpassschicht. Bei Transducern mit derartigen Anpassschichten wird die Piezokeramikscheibe koaxial mit der Anpassschicht verklebt. Dieser Verbund wird z.B. mit einem dämpfenden bzw. Schall absorbierenden PU-Schaum derart umschäumt, dass nur die frontseitige Abstrahlflächeradial frei bleibt.

[0004] In der Praxis haben sich Anpassschichten aus einem Verbund aus einer Epoxid-Matrix mit Mikro-Glashohlkugeln durchgesetzt. Im Vergleich zu Anpassschichten aus thermoplastischen Kunststoffen, Elastomeren oder silikonartigen Materialien haben diese den Vorteil einer besseren Temperaturstabilität: Temperaturänderungen haben weniger Einfluss auf Parameter wie Resonanzfrequenz, Wirkungsgrad, Richtcharakteristik und dergleichen.

[0005] Nachteilig bei Epoxid-Glashohlkugel-Anpassschichten sind der hohe Preis und die zum Teil ungenügende Homogenität des Ausgangsmaterials. Dieses ist in der Regel in Block- oder Plattenform oder in Gestalt von Stangen mit unterschiedlichem Durchmesser erhältlich. Durch mechanische Bearbeitung werden daraus scheibenartige Anpassschichten gefertigt.

[0006] Aus der DE-U-202004002107 ist ein Ultraschallwandler bekannt, bei dem ein piezokeramisches Wandlerelement mit einer Anpassschicht aus einem thermoplastischen Elastomer, z.B. einem z.B. einem Polyurethan-Elastomer, verbunden ist.

[0007] Die WO01/08237 offenbart einen Ultraschallwandler, der eine Anpassschicht aus Polyurethan haben kann, wobei auch Bläschen in der Anpassschicht eingeschlossen sein können. In diesem Dokument wird darauf hingewiesen, dass die akustische Impedanz bei unterschiedlichen Polyurethanen mit Shore-Härten im Bereich von 20A bis 85A (also weichelastische Polyurethane) nicht variiert.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen kostengünstig herstellbaren Ultraschallwandler mit einer ausreichend temperaturstabilen Anpassschicht zu schaffen.

[0009] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen kostengünstig herstellbaren Ultraschallwandler mit einer ausreichend temperaturstabilen Anpassschicht zu schaffen.

[0010] Diese Aufgabe wird gelöst durch einen Ultraschallwandler gemäss den Merkmalen des Patentanspruchs 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Ultraschallwandlers sind in den abhängigen Patentansprüchen beschrieben.

[0011] Beim erfindungsgemässen Ultraschallwandler umfasst die Anpassschicht aus einem Polyurethan-Hartschaum. Der Hartschaum kann als offenporiger oder geschlossenporiger Hartschaum ausgebildet sein. Alternativ kann der PU-Hartschaum eine mit Mikrohohlkugeln aus Glas oder Kunststoff gefüllte Matrix aus vernetztem Polyurethan umfassen. Solche Materialien sind als temperaturbeständige Hartschäume vor allem aus dem Modellbau bekannt. Im Handel sind Platten bzw. Blöcke mit unterschiedlichen Dichten (entsprechend der jeweiligen Befüllung bzw. der jeweiligen Ausbildung der Poren) erhältlich. Durch den hohen Vernetzungsgrad der Polyurethanmatrix ist dieser Werkstoff im Vergleich zu lediglich verketteten thermoplastischen Polyurethanen hart, leicht zu bearbeiten und temperaturstabil.

Anhand einer beispielhaften Figur wird die Erfindung im Folgenden näher beschrieben. Dabei zeigt

Figur 1 einen Längsschnitt durch einen Ultraschallwandler,

Figur 2 einen Längsschnitt durch einen Ultraschallwandler mit einer Schutzschicht.

[0012] Figur 1 zeigt schematisch einen Ultraschallwandler 1, kurz auch Wandler oder Transducer genannt. Er umfasst als Schwingkörper eine beidseitig metallisierte Piezokeramikscheibe 3, welche koaxial mit einer zylinder-oder scheibenartigen Anpassschicht 5 mit glei-

chem oder grösserem Durchmesser verklebt ist. Die Dikke d der Anpassschicht 5 ist vorzugsweise so bemessen, dass die Schallauskopplung des Ultraschallwandlers 1 an das Umgebungsmedium maximal ist. Dabei kann der Begriff "Schallauskopplung" z.B. als pro Zeiteinheit in den vorderen Halbraum oder alternativ in einen vorgebbaren Raumwinkel abgestrahlte Schallenergie interpretiert werden. In der Regel liegt die Haupt-Resonanzfrequenz des Ultraschallwandlers 1 und/oder des Verbundes aus Piezokeramikscheibe 3 und Anpassschicht 5 in der Grössenordnung der Radial-Resonanzfrequenz der freien Piezokeramikscheibe 3. Als Folge der Radialschwingung resultiert auch eine Dickenschwingung der Anpassschicht 5, welche für die Schallemission an die Umgebung verantwortlich ist. Je nach Resonanzfrequenz und Umgebungsmedium kann die Dicke d der Anpassschicht 5 also z.B. in einem Bereich von etwa 1mm bis etwa 5mm liegen. Die Anpassschicht 5 kann - wie in Figur 1 dargestellt - als kreisrunde Scheibe ausgebildet sein. Alternativ sind auch andere Formen möglich, z.B. rechteckige oder quadratische Platten oder Scheiben mit zusätzlichen Strukturen wie Absätzen, Ausnehmungen, Vertiefungen und dergleichen. Als Material für die Anpassschicht 5 wird ein Polyurethan-Hartschaum verwendet. Das Polyurethan bzw. die Polyurethanmatrix ist vernetzt und hat somit mindestens teilweise Eigenschaften eines Duroplasten. Insbesondere kann ein solches Material eine hohe Temperaturstabilität aufweisen. Der Begriff "Temperaturstabilität" bedeutet im weiteren Sinne die strukturelle und chemische Beständigkeit des Materials. Bis zu einer vorgegebenen Grenztemperatur dürfen diesbezüglich keine irreversiblen Änderungen der Materialbeschaffenheit auftreten. Im engeren Sinn kann der Begriff "Temperaturstabilität" bei einem Ultraschallwandler 1 so definiert werden, dass der Sensitivitätsverlust bis zur Grenztemperatur z.B. geringer als 50% ist (bezogen auf eine Referenzsensitivität bei Raumtemperatur). Als Sensitivität wird in diesem Zusammenhang das Spannungsverhältnis des Empfangssignals zum Sendesignal bezeichnet, wenn der Ultraschallwandler 1 mit einem Sendeburst angesteuert und anschliessend das zugehörige, an einem Referenzreflektor reflektierte Echo wieder empfangen wird. Die Sendefrequenz wird dabei konstant gehalten. Bei einer alternativen Definition wird die Sendefrequenz jeweils so optimiert, dass das empfangene Echosignal maximal ist.

Geeignete Polyurethan-Hartschäume sind z.B. unter der Bezeichnung Obomodulan (R) von der Firma Obo-Werke GmbH, Deutschland, erhältlich. Vorzugsweise wird ein Werkstoff mit einer Dichte zwischen etwa 400kg/m3 bis etwa 900kg/m3 verwendet. Besonders vorteilhaft ist der Obomodulan-Typ 652HT mit einer Dichte von etwa 650kg/m3. Die Anpassscheiben 5 können z.B. durch mechanische Bearbeitung von Standardplatten hergestellt werden. Die hohe Temperaturstabilität solcher Werkstoffe kann zum Teil bis zu 120°C und mehr betragen. Die geringe Änderung diverser Materialparameter wie z.B. der Wärmeausdehnungskoeffizienten und der Elastizitätsmodule in Abhängigkeit der Temperatur ermöglichen die Herstellung von temperaturstabilen Ultraschallsensoren 1, die bis zu Temperaturen von 70°C, 80°C, 100°C oder zum Teil auch darüber eingesetzt werden können. Dabei ist der Sensitivitätsverlust bezogen auf die Sensitivität bei Raumtemperatur (20°C bis 25°C) jeweils geringer als 50%.

[0013] Die hohe Temperaturstabilität wirkt sich auch positiv auf die Langzeitstabilität (geringe Alterung) der Ultraschallwandler 1 aus.

[0014] Der Verbund aus Piezokeramikscheibe 3 und Anpassschicht 5 ist mit Ausnahme einer frontseitigen Abstrahlfläche 8 innerhalb eines dosen- oder topfartigen Wandlergehäuses 9 in einen Dämpfkörper 7, beispielsweise einen Schall absorbierenden, weichen Polyurethanschaum, eingebettet. Das Wandlergehäuse 9 ist vorzugsweise ein mindestens teilweise metallbeschichtetes Kunststoffgehäuse oder ein metallisches Gehäuse, welches als elektromagnetische Abschirmung für die Piezokeramikscheibe 3 genutzt werden kann. Die Metallisierungen bzw. Elektroden der Piezokeramikscheibe 3 sind z.B. mittels gebondeter oder gelöteter Litzen oder Kabel mit Kontaktstellen am Wandlergehäuse 9 verbunden (nicht dargestellt). Alternativ können auch mit den Elektroden verbundene Anschlusskabel durch Öffnungen an der Rückseite des Wandlergehäuses 9 aus diesem herausgeführt sein (nicht dargestellt). Insbesondere bei offenporigen Hartschäumen können der Ultraschallwandler 1 oder die Anpassschicht 5 mindestens im Bereich der Abstrahlfläche 8 von einer Schutzschicht 11 überzogen sein, welche das Eindringen von Wasser, Dampf oder anderen Chemikalien in die Anpassschicht 5 verhindert. Figur 2 zeigt einen Längsschnitt durch einen Ultraschallwandler 1, bei dem die gesamte Frontseite und die Seitenwände des Wandlergehäuses 9 mit einer homogenen, dünnen Schutzschicht 11 überzogen sind. Solche Schutzschichten 11 können z.B. durch Anstreichen oder Aufsprühen eines geeigneten Lacks oder einer Farbe ausgebildet werden. Alternativ kann auch eine Imprägnierung der Anpassschicht 5 vorgesehen sein. Als besonders vorteilhaft erweist sich die Bedampfung mit einer dünnen Schicht aus Parylene oder einem anderen inerten Kunststoff. Die Dicke der Schutzschicht kann je nach Ausführung und Material sehr dünn sein, sodass der Einfluss auf die akustischen Eigenschaften des Wandlers 1 minimal ist. Die Dicke der Schutzschicht 11 kann z.B. im Bereich zwischen einigen wenigen Mikrometern bis einigen hundert Mikrometern liegen.

Patentansprüche

1. Ultraschallwandler (1) mit einer akustischen Impedanzanpassung zur Optimierung der Auskopplung von Schwingungen einer Piezokeramikscheibe (3) an ein Umgeburigsmedium, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Anpassschicht (5) aus einem vernetzten Polyurethan-Hartschaum mit der Piezo-

keramikscheibe (3) verbunden ist.

2. Ultraschallwandler (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hartschaum mit Hohlkugeln aus Glas oder Kunststoff oder mit einem andern leichten Füllstoff gefüllt ist.

3. Ultraschallwandler (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anpassschicht eine Dichte im Bereich von 400 kg/m3 bis 900kg/m3 aufweist.

4. Ultraschallwandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anpassschicht (5) bis mindestens 120°C temperaturstabil ist.

5. Ultraschallwandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensitivitätsänderung innerhalb eines Temperaturbereichs von Raumtemperatur bis zu einer Grenztemperatur von 70°C geringer als 50% ist.

6. Ultraschallwandler (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anpassschicht (5) oder der Ultraschallwandler (1) selbst zumindest im Bereich der Schallabstrahlfläche (8) mit einer Schutzschicht überzogen sind.

Claims

1. Ultrasound converter (1) with acoustic impedance matching for optimising the decoupling of vibrations of a piezo-ceramic disc (3) to an ambient medium, **characterized in that** a matching layer (5) made from a cross-linked polyurethane hard foam is connected to the piezo-ceramic disc (3).

2. Ultrasound converter (1) according to Claim 1, **characterized in that** the hard foam is filled with hollow balls made of glass or plastics material or with another light filler material.

3. Ultrasound converter (1) according to either of Claims 1 or 2, **characterized in that** the matching layer has a density in the range of between 400 kg/m^3 and 900 kg/m^3.

4. Ultrasound converter (1) according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the matching layer (5) is stable up to a temperature of at least 120°C.

5. Ultrasound converter (1) according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the change in sensitivity within a temperature range of between ambient temperature and a limit temperature of 70°C is less than 50%.

6. Ultrasound converter (1) according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the matching layer (5) or the ultrasound converter (1) itself are coated with a protective layer at least in the region of the sound radiating surface (8).

Revendications

1. Transducteur à ultrasons (1) doté d'une adaptation d'impédance acoustique pour optimiser le découplage de vibrations d'un disque piézocéramique (3) à un milieu environnant, **caractérisé en ce qu'**une couche adaptatrice (5) en une mousse dure de polyuréthane réticulé est reliée au disque piézocéramique (3).

2. Transducteur à ultrasons (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la mousse dure est remplie de billes creuses en verre ou en matière plastique ou d'une autre matière de remplissage légère.

3. Transducteur à ultrasons (1) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** la couche adaptatrice présente une densité comprise entre 400 kg/m^3 et 900 kg/m^3.

4. Transducteur à ultrasons (1) selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** la couche adaptatrice (5) est résistante à la température jusqu'à au moins 120 °C.

5. Transducteur à ultrasons (1) selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la variation de sensibilité à l'intérieur d'une plage de température comprise entre la température ambiante et une température limite de 70 °C est inférieure à 50%.

6. Transducteur à ultrasons (1) selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** la couche adaptatrice (5) ou le transducteur à ultrasons (1) lui-même sont recouverts d'une couche protectrice au moins dans la zone de la surface de rayonnement acoustique (8).

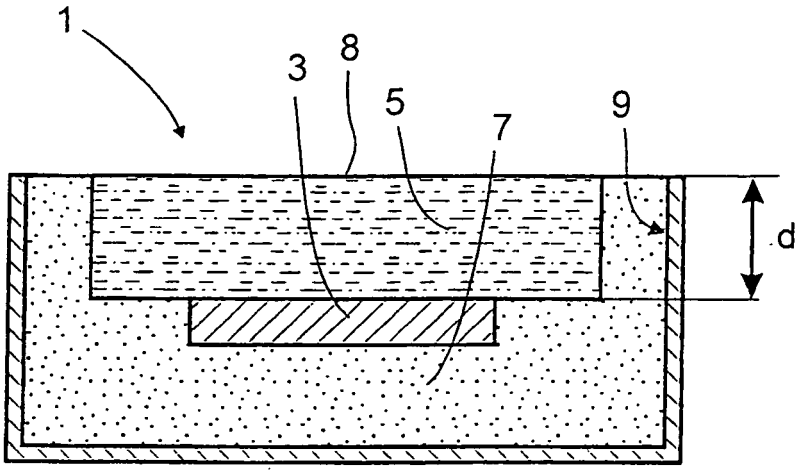


FIG. 1

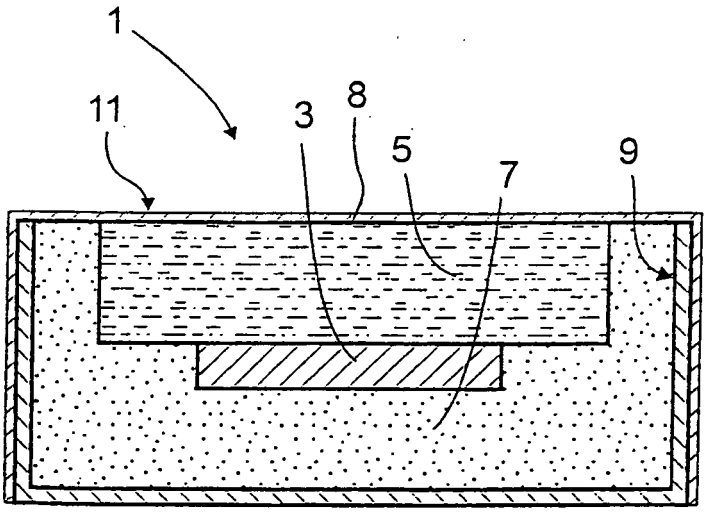


FIG. 2

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- DE 202004002107 U **[0006]**
- WO 0108237 A **[0007]**