



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 055 116 A1** 2010.07.01

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 055 116.3**

(22) Anmeldetag: **23.12.2008**

(43) Offenlegungstag: **01.07.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01F 1/66** (2006.01)

**G01P 5/24** (2006.01)

**G01N 29/00** (2006.01)

**H04R 17/00** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

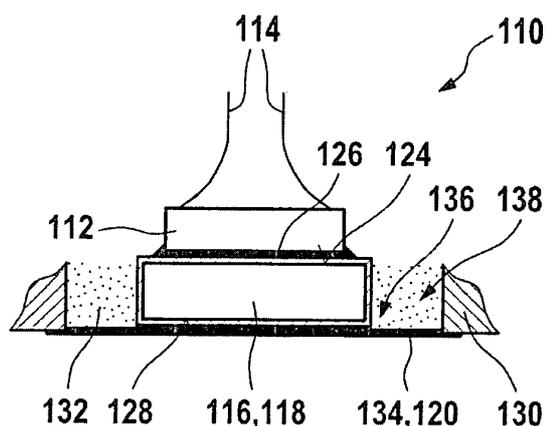
(72) Erfinder:

**Mueller, Roland, 71711 Steinheim, DE; Hueftle, Gerhard, 71546 Aspach, DE; Horstbrink, Michael, 70469 Stuttgart, DE; Lang, Tobias, 70193 Stuttgart, DE; Radwan, Sami, 70437 Stuttgart, DE; Kuenzl, Bernd, 71701 Schwieberdingen, DE; Wanja, Roland, 71706 Markgröningen, DE**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Ultraschallwandlers**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Ultraschallwandlers (110) zum Einsatz in einem fluiden Medium. Dabei wird mindestens ein piezoelektrisches Wandlerelement (112) direkt oder indirekt mit mindestens einem Anpasskörper (116) zur Begünstigung einer Schwingungskopplung zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement (112) und dem fluiden Medium verbunden. Es wird ein Anpasskörper (116) verwendet, welcher mindestens einen porösen Pressling (118) eines Polymers aufweist.



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung geht aus von bekannten Ultraschallwandlern, welche beispielsweise in Ultraschall-Durchflussmessern in der Verfahrenstechnik und/oder im Automobilbereich eingesetzt werden. Insbesondere im Ansaugtrakt und/oder Abgastrakt von Verbrennungsmotoren können derartige Durchflussmesser zur Volumenstrommessung, zur Massenstrommessung oder zur Geschwindigkeitsmessung eingesetzt werden. Insbesondere sind derartige Ultraschallwandler zur Strömungsmessung an Luft vorgesehen, wobei jedoch grundsätzlich auch andere fluide Medien, also Gase und/oder Flüssigkeiten, zum Einsatz kommen können. Im Automobilbereich können aus einer derartigen Ultraschall-Strömungsmessung Luftmengensignale und/oder Luftmassensignale innerhalb einer Systemsteuerung eines Verbrennungsmotors abgeleitet werden.

**[0002]** Typischerweise werden Ultraschallwandler eingesetzt, welche sowohl Ultraschallwellen in ein fluides Medium emittieren können als auch Ultraschallwellen aus dem fluiden Medium empfangen können. Dabei werden Ultraschallsignale üblicherweise durch das strömende fluide Medium von einem Emitter zu einem Empfänger übermittelt und dabei Laufzeit, Laufzeitdifferenzen, Phasen, Phasendifferenzen oder auch Kombinationen dieser und/oder anderer Messgrößen erfasst. Diese Messgrößen bzw. Signale werden durch die Strömung des fluiden Mediums beeinflusst. Aus dem Grad der Beeinflussung der Laufzeit lässt sich auf die Strömungsgeschwindigkeit des fluiden Mediums schließen. Verschiedene Messanordnungen und Auswertungsprinzipien sind möglich, beispielsweise Ultraschall-Durchflussmesser mit einem, zwei oder mehr Ultraschallwandlern. Beispiele von Ultraschallwandlern sind in DE 10 2007 010 500 A1, in DE 42 30 773 C1 sowie in EP 0 766 071 A1 dargestellt. Die in diesem Stand der Technik beschriebenen Ultraschallwandler können auch im Rahmen der vorliegenden Erfindung erfindungsgemäß modifiziert werden, so dass beispielsweise für mögliche Ausgestaltungen auf diese Druckschriften verwiesen werden kann.

**[0003]** Ein Problem vieler bekannter Ultraschall-Durchflussmesser liegt jedoch, zumindest bei gasförmigen Medien, in vergleichsweise geringen Ultraschall-Signalamplituden. Diese sind insbesondere dadurch bedingt, dass die von üblichen Ultraschallgebern, beispielsweise einer Piezokeramik, erzeugte Schwingungsenergie bei der Einkopplung in das zu messende Medium einen hohen akustischen Impedanzunterschied, in der Regel ca. einen Faktor  $6 \times 10^5$ , überwinden muss. Infolge dessen werden in der Regel näherungsweise 99,9995% der Schallenergie auf dem Weg von einer Piezokeramik in Luft an der entsprechenden Grenzfläche zurück reflektiert und sind für die Messung nicht nutzbar. Derselbe Reflexionsverlust tritt nochmals beim zweiten, empfangenden Wandlerelement auf, welches auch mit dem ersten Wandlerelement identisch oder baugleich sein kann. Um die akustische Kopplung zwischen Wandlerelement und dem zu messenden fluiden Medium zu verbessern, werden daher üblicherweise Anpasskörper, beispielsweise in Form einer oder mehrerer Anpassschichten, eingesetzt, welche eine Schwingungskopplung zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement und dem umgebenden fluiden Medium begünstigen. Bekannt sind beispielsweise Ultraschallwandler mit schallabstrahlenden Resonanz- oder Anpasskörpern, wie beispielsweise einer Metallmembran oder einer  $\lambda/4$ -Impedanzanpassschicht.

**[0004]** In M. I. Haller et al.: 1–3 Composites for Ultrasonic Air Transducers, IEEE 1992 Ultrasonics Symposium, 937 bis 939, wird ein Anpasskörper aus mikromechanisch hergestelltem Kapton® (ein Polyimid-Werkstoff der Firma DuPont) beschrieben. Dabei wird mittels eines Sauerstoffplasmas ein Säulen-Array aus Polyimid hergestellt. Das dort beschriebene mikromechanische Verfahren ist jedoch technisch äußerst aufwändig und in der Regel für Großserienanwendungen daher nicht geeignet.

**[0005]** Ultraschallwandler, insbesondere in den genannten Einsatzgebieten, müssen in der Regel einer Vielzahl von Randbedingungen genügen. Eine wichtige Anforderung besteht insbesondere in einer Medienresistenz der Ultraschallwandler, insbesondere hinsichtlich der fluiden Medien, in welchen die Ultraschallwandler eingesetzt werden sollen. So sollen Ultraschallwandler beispielsweise eine robuste Ultraschallluftmassenmessung, beispielsweise als Ersatz für oder Ergänzung zu herkömmlichen thermischen Luftmassenmessungen, darstellen und sollen ein Schlüsselement zur Erreichung harter Abgasnormen, wie beispielsweise der EU6-Abgasnorm, darstellen. Zu diesem Zweck müssen die Ultraschallwandler jedoch beispielsweise in einer Ansaugatmosphäre eines Kraftfahrzeugs einsetzbar sein, in welcher diese Umwelteinflüssen, einschließlich Feuchtigkeit, Öl, Staub, Kraftstoffen, Abgasanteilen und/oder weiteren Chemikalien ausgesetzt sind. Zusätzlich werden viele Ultraschallwandler in Bereichen eingesetzt, in welchen das fluide Medium unter hohem Druck steht. Beispielsweise kann ein Einsatz im Ansaugtrakt hinter Turboladern erfolgen, und es können beispielsweise Druckbelastungen von 2 bis 6 bar auftreten. Um eine derartige Medienresistenz und/oder Druckresistenz zu gewährleisten, sind aus dem Stand der Technik Ultraschallwandler bekannt, in welchen die schallab-

strahlende Fläche bzw. schallaufnehmende Fläche integraler Bestandteil eines Wandlergehäuses und/oder eines Strömungsrohrs ist. Als Beispiel sind die oben genannten Druckschriften EP 0 766 071 A1 und DE 42 39 773 C1 zu nennen.

**[0006]** Eine weitere Anforderung an übliche Ultraschallwandler ist eine thermische Stabilität. Ultraschallwandler können in sehr großen Temperaturbereichen eingesetzt werden. Auch hinsichtlich dieser Anforderung bietet die oben beschriebene Einkapselung durch ein entsprechendes Gehäuse zumindest weitgehend eine Lösung. Allerdings gerät die aus dem Stand der Technik bekannte Einkapselung in ein Gehäuse in vielen Fällen in einen Zielkonflikt einer dritten Anforderung, welche gleichzeitig zur Medien/Druckresistenz und zur thermischen Stabilität zu erfüllen ist, nämlich die Anforderung bzgl. geeigneter akustischer Eigenschaften. Diese akustischen Eigenschaften ihrerseits sind unterteilt in zwei Anforderungen, nämlich die Anforderung, dass eine gute Kopplung der Ultraschallwellen zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement und dem fluiden Medium erfolgen muss, zu welchem Zweck beispielsweise eine oder mehrere der oben beschriebenen Anpassschichten verwendet werden. Gleichzeitig sollte jedoch eine gute Entkopplung gegenüber Körperschallausbreitung gegeben sein, um beispielsweise das piezoelektrische Wandlerelement vor derartigen Körperschallausbreitungen, beispielsweise über ein Strömungsrohr oder Sensorgehäuse, zu schützen. Diese Körperschallausbreitungen können von externen Störquellen herrühren oder aber durch den gerade sendenden Ultraschallwandler verursacht werden und sich in dem gerade empfangenden Ultraschallwandler mit dem durch das fluide Medium übertragenen Schall überlagern und so zu Messfehlern führen. Ist jedoch die schallabstrahlende bzw. schallaufnehmende Fläche der Ultraschallwandler integraler Bestandteil des Wandlergehäuses und/oder des Strömungsrohrs, so ist eine derartige Entkopplung in der Regel nicht gegeben. Zur Körperschallentkopplung werden daher im Stand der Technik häufig Formteile oder Vergussbereiche aus Elastomermaterialien, Silikonmaterialien, Polyurethanmaterialien, flexibilisierten Epoxy-Materialien oder geschäumten Materialien eingesetzt. Diese Entkopplungsmaterialien werden in der Regel zwischen dem Ultraschallwandler und dem Strömungsrohr oder Sensorgehäuse eingebaut und sind ihrerseits den Medien direkt ausgesetzt. Von sich aus medien- bzw. feuchteresistentere Elastomere wie z. B. fluorierte Werkstoffe sind wiederum relativ hart und deshalb nur dann zur Entkopplung geeignet, wenn die Übergänge zwischen Entkopplungswerkstoff und Wandler bzw. Strömungsrohr bzw. Sensorgehäuse eine relativ kleine Querschnittsfläche aufweisen wie z. B. bei einem O-Ring, der in erster Näherung einen linienförmigen und damit kleinen Übergangsbereich ermöglicht. Derartige Einschränkungen bzgl. der Geometrie des Entkopplungselements führen allerdings zu einem unbefriedigenden Kompromiss bzgl. Entkopplungswirkung und Druckfestigkeit.

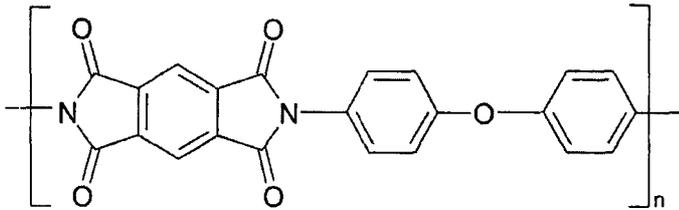
#### Offenbarung der Erfindung

**[0007]** Es werden daher Ultraschallwandler sowie Verfahren zur Herstellung von Ultraschallwandlern vorgeschlagen, welche den oben beschriebenen Zielkonflikt zumindest weitgehend lösen und sowohl medienresistente, druckresistente, thermisch stabile als auch akustisch geeignete Ultraschallwandler bereitstellen können. In einem ersten Aspekt wird ein Verfahren zur Herstellung eines Ultraschallwandlers zum Einsatz in einem fluiden Medium vorgeschlagen. Unter einem Ultraschallwandler wird dabei allgemein ein Element beschrieben, welches akustische Signale im Ultraschallbereich in ein fluides Medium emittieren bzw. akustische Signale aus dem fluiden Medium aufnehmen kann und in entsprechende elektrische Signale umwandeln kann. Diesbezüglich kann beispielsweise auf den oben dargestellten Stand der Technik verwiesen werden. Auch bezüglich des fluiden Mediums besteht eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten, wobei Gase und/oder Flüssigkeiten einsetzbar sind. Besonders bevorzugt ist die Verwendung in gasförmigen Medien, insbesondere in Luft, insbesondere in einem Ansaugtrakt und/oder Abgastrakt einer Brennkraftmaschine. Insofern kann der Ultraschallwandler beispielsweise in einem Ultraschall-Durchflussmesser eingesetzt werden.

**[0008]** Bei dem Verfahren wird mindestens ein piezoelektrisches Wandlerelement direkt oder indirekt mit mindestens einem Anpasskörper zur Begünstigung einer Schwingungskopplung zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement und dem fluiden Medium verbunden. Der Begriff des piezoelektrischen Wandlerelements ist dabei weit zu fassen und umfasst beispielsweise elektrisch-akustische Wandler, welche nach ferroelektrischen, elektrostatischen, magnetostriktiven, magnetoelektrischen Effekten oder Kombinationen dieser Effekte arbeiten können. Der Anpasskörper, welcher insbesondere eine oder mehrere Anpassschichten umfassen kann, weist eine akustische Impedanz auf, welche zwischen derjenigen des piezoelektrischen Wandlerelements, beispielsweise eines Piezomaterials des piezoelektrischen Wandlerelements, und derjenigen des fluiden Mediums liegt. Vorzugsweise erfolgt durch den Anpasskörper eine Impedanzanpassung, wobei beispielsweise Membranen und/oder  $\lambda/4$ -Schichten eingesetzt werden können. Auch bezüglich der Anpassschichten und deren Funktion kann beispielsweise auf den eingangs genannten Stand der Technik verwiesen werden.

**[0009]** Für eine optimale Impedanzanpassung müsste das Material oder die Materialkombination des An-

passkörpers, um die oben dargestellten akustischen Anforderungen optimal zu erfüllen, theoretisch eine Impedanz aufweisen, welche dem geometrischen Mittel der Impedanzen des piezoelektrischen Wandlerelements und des fluiden Mediums entspricht. Für den bevorzugten Einsatzzweck, nämlich die Verwendung von Luft als fluidem Medium, ergeben sich für typische Schallgeschwindigkeiten jedoch hieraus für die Dichte des Anpasskörpers bzw. des in dem Anpasskörper verwendeten Materials in vielen Fällen unrealistisch niedrige Werte, welche in der Regel zu wenig robusten Werkstoffen führen würden. Erfindungsgemäß wird daher vorgeschlagen, einen Anpasskörper zu verwenden, welcher mindestens einen porösen Pressling eines Polymers aufweist. Insbesondere hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn dieser poröse Pressling mindestens ein Polyimid umfasst, insbesondere ein Polyimid, welches keine feststellbare Glasübergangstemperatur aufweist. Beispielsweise lassen sich hierbei Polyimide einsetzen, welche unter dem Handelsnamen „Vespel®“ von DuPont erhältlich sind. Derartige Polyimide ohne feststellbare Glasübergangstemperatur haben beispielsweise die folgende chemische Struktur:



**[0010]** Dabei bezeichnet  $n$  eine ganze Zahl. Auch Derivate der genannten Polyimide lassen sich einsetzen, beispielsweise Derivate, bei welchen Wasserstoffe durch Substituenten ersetzt sind. Polyimide, insbesondere das genannte Vespel®, weisen insbesondere geringe oder keine Glasübergänge auf und sind beispielsweise dementsprechend in einem hohen Temperaturbereich einsetzbar. So lassen sich Polyimide beispielsweise in einem Temperaturbereich unterhalb von  $-100^{\circ}\text{C}$  noch einsetzen und sogar in einem Temperaturbereich noch oberhalb von  $300^{\circ}\text{C}$ . Zudem weisen Polyimide in der Regel gegenüber anderen Kunststoffen geringe thermische Ausdehnungskoeffizienten auf, so dass auch die Anforderungen hinsichtlich der oben dargestellten thermischen Stabilität durch die Verwendung von Polyimiden gut erfüllt werden können. Insbesondere kann bei Temperaturschockwechseln eine Belastung der piezoelektrischen Wandlerelemente stark vermindert werden. Gleichzeitig weisen Polyimide in aller Regel eine hohe Medienresistenz auf, beispielsweise der hinsichtlich der oben dargestellten Umwelteinflüsse.

**[0011]** Gleichzeitig kann durch Verwendung eines Presslings eine Anpassschicht mit relativ niedriger akustischer Impedanz hergestellt werden. Die Impedanz kann durch die Porosität des Presslings stark und über einen weiten Bereich beeinflusst werden, so dass beispielsweise auch eine stufenweise Impedanzanpassung durch Verwendung mehrerer Presslinge unterschiedlicher Porosität, beispielsweise in einem Schichtaufbau möglich ist. Besonders bevorzugt ist es, insbesondere bei der Verwendung von Polyimid und insbesondere Vespel®, wenn der poröse Pressling eine Dichte zwischen  $0,6$  und  $1,0 \text{ g/cm}^3$  aufweist, insbesondere eine Dichte bei ca.  $0,8 \text{ g/cm}^3$ . Derartige Dichten und die damit verbundenen entsprechenden Porositäten bzw. Porenanteile haben sich für die Impedanzanpassung insbesondere in einem Frequenzbereich zwischen  $30 \text{ kHz}$  und  $400 \text{ kHz}$ , beispielsweise im Bereich zwischen  $250 \text{ kHz}$  und  $300 \text{ kHz}$ , als besonders geeignet ergeben. Die Dicke der Presslinge kann für eine optimale Impedanzanpassung ungefähr als  $\frac{1}{4}$  oder  $\frac{3}{4}$  der in dem Material vorliegenden Ultraschallwellenlänge  $\lambda$  gewählt werden. Abhängig vom Messmedium, den umgebenden Geometrien und Materialien innerhalb des Ultraschallwandlers und Anforderungen bzgl. Temperaturgang oder spektraler Bandbreite erweisen sich meist nicht genau die genannten  $\frac{1}{4}$  oder  $\frac{3}{4}$   $\lambda$  als optimale Dicke, so dass sich ein Bereich von ca.  $0,5^* \text{ bis } 2^* \lambda$  als prinzipiell geeignet zeigt. Einer Abnahme der Schallgeschwindigkeit mit steigender Temperatur und entsprechender Amplitudenabnahme kann z. B. z. T. durch eine etwas reduzierte Schichtdicke des Presslings entgegengewirkt werden und umgekehrt. Die Schallgeschwindigkeit im Material des Anpasskörpers kann typischerweise in einem Bereich von ca.  $500 \text{ m/s}$  bis ca.  $3000 \text{ m/s}$  liegen. Im Fall von porösem Polyimid liegt die Schallgeschwindigkeit z. B. in einem Bereich von ca.  $500 \text{ m/s}$  bis ca.  $1500 \text{ m/s}$ . Beispielsweise können poröse Presslinge verwendet werden, welche eine Dicke zwischen  $0,5 \text{ mm}$  und  $1,5 \text{ mm}$ , insbesondere zwischen  $0,8$  und  $1,0 \text{ mm}$ , aufweisen.

**[0012]** Bei porösen Presslingen ergibt sich in vielen Fällen die technische Herausforderung, dass diese Medien aus der Umgebung aufnehmen. Diese Medienaufnahme, beispielsweise die Aufnahme flüssiger und/oder gasförmiger Medien, sowie gegebenenfalls eine Aufnahme von Verunreinigungen, kann jedoch zu Veränderungen der Eigenschaften der Anpasskörper führen. Insbesondere stellt sich diese Problematik, wenn das piezoelektrische Wandlerelement durch einen Klebprozess mit dem Anpasskörper verbunden wird. In diesem Fall kann beispielsweise Klebstoff in die Poren des Anpasskörpers bzw. des porösen Presslings eindringen, was die Stabilität der Klebung beeinträchtigen kann. Andererseits können eindringende Stoffe den dichteredu-

zierten Bereich mit der entsprechend reduzierten akustischen Impedanz verkleinern, wodurch sich die effektiv wirkende Dicke des Anpasskörpers verändert und somit auch deren Resonanzfrequenz und infolgedessen die Übertragungscharakteristik des Ultraschallwandlers. Auch aus dem fluiden Medium können jedoch Bestandteile, beispielsweise Verunreinigungen, in den Pressling eintreten, was ebenfalls Einfluss auf die Eigenschaften dieses porösen Presslings haben kann. Zur Lösung dieser Herausforderung wird in einer optionalen Variante des vorgeschlagenen Verfahrens mindestens eine Abdichtung eingebracht bzw. aufgebracht, welche eingerichtet ist, um den porösen Pressling zumindest teilweise abzudichten. Diese Abdichtung kann beispielsweise auf den porösen Pressling oder den Anpasskörper aufgebracht werden und diesen zumindest teilweise bedecken. Auch eine unvollständige Bedeckung ist jedoch grundsätzlich möglich. Weiterhin kann, alternativ oder zusätzlich, die Abdichtung auch nicht unmittelbar auf den Anpasskörper, beispielsweise den porösen Pressling, aufgebracht werden, sondern diesen lediglich indirekt abdichten, beispielsweise gegenüber dem fluiden Medium. Zu diesem Zweck kann beispielsweise eine Membran verwendet werden. Wiederum alternativ oder zusätzlich kann die Abdichtung auch eingerichtet sein, um neben dem porösen Pressling weitere Elemente des Ultraschallwandlers zumindest teilweise abzudichten, beispielsweise eine Gehäuseöffnung, über welche der piezoelektrische Wandler Ultraschallsignale mit dem fluiden Medium austauschen kann. Auch eine Abdichtung von Entkoppelelementen, welche der akustischen Entkopplung zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement und dem Gehäuse dienen können, kann erfolgen. Derartige Entkoppelelemente können beispielsweise eine Shore-A-Härte im Bereich von 10 bis 60 aufweisen, beispielsweise bei 25, sind jedoch in der Regel nicht oder nur schlecht medienresistent. Wiederum alternativ oder zusätzlich kann auch eine Abdichtung eines Dämpfungselements erfolgen, welches die Schwingung des Piezos nach einer kurzen Anregung möglichst schnell zur Ruhe bringt, damit diese potentielle Körperschallquelle auf einen Zeitbereich weit genug vor dem Empfangssignal durch das Fluid beschränkt bleibt. Mittels der vorgeschlagenen Abdichtung kann also, zusätzlich zu dem porösen Pressling, auch beispielsweise mindestens ein derartiges Entkopplungselement oder Dämpfungselement abgedichtet werden.

**[0013]** Diese Abdichtung kann also auf verschiedene Weise ausgestaltet sein. Wie oben dargestellt, kann diese Abdichtung beispielsweise die Verklebungsproblematik zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement und dem porösen Pressling zumindest vermindern oder beseitigen. Zu diesem Zweck kann die Abdichtung beispielsweise derart ausgestaltet sein, dass diese zumindest eine dem piezoelektrischen Wandlerelement zuweisende Seite des porösen Presslings bzw. des Anpasskörpers abdichtet. Alternativ oder zusätzlich können auch die oben beschriebene Kontaminationsproblematik, nach welcher der Pressling durch das fluide Medium kontaminiert werden kann, sowie die Anforderungen an die Druckdichtigkeit zumindest teilweise durch die Abdichtung gelöst werden. So kann, alternativ oder zusätzlich zu einer dem piezoelektrischen Wandlerelement zuweisenden Abdichtung, die Abdichtung alternativ oder zusätzlich auch eingerichtet sein, um zumindest eine dem fluiden Medium zuweisende Seite des porösen Presslings abzudichten. Die Abdichtung kann, wie oben angedeutet, auf verschiedene Weise ausgestaltet sein, wobei die Abdichtung auch unterschiedliche Arten von Abdichtungen kombiniert umfassen kann. Besonders bevorzugt ist es, wenn zur Herstellung der Abdichtung mindestens eine Beschichtung aufgebracht wird, beispielsweise direkt oder indirekt auf den porösen Pressling und/oder andere der oben beschriebenen abzudichtenden Bereiche bzw. Elemente des Ultraschallwandlers. Dabei kann die Abdichtung beispielsweise zumindest eine Oberfläche des porösen Presslings zumindest teilweise bedecken. Auch eine vollständige Bedeckung bzw. Abdichtung dieser mindestens einer Oberfläche oder aller Oberflächen des porösen Presslings ist denkbar.

**[0014]** Die Abdichtung kann über den genannten Abdichtungszweck hinaus auch noch, alternativ oder zusätzlich, anderen Zielsetzungen dienen. So kann die Abdichtung beispielsweise eine Anpassung der thermischen Ausdehnungskoeffizienten bewirken, beispielsweise zwischen dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des piezoelektrischen Wandlerelements und dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Anpasskörpers. Beispielsweise kann der thermische Ausdehnungskoeffizient des Materials des piezoelektrischen Wandlerelements typischerweise unterhalb von 10 ppm/K liegen. Der thermische Ausdehnungskoeffizient des porösen Presslings des Anpasskörpers kann beispielsweise bei mindestens 20 ppm/K oder darüber liegen. Die Abdichtung kann dementsprechend ein Material aufweisen, dessen thermischer Ausdehnungskoeffizient zwischen demjenigen des piezoelektrischen Wandlerelements und demjenigen des Anpasskörpers, insbesondere des porösen Presslings des Anpasskörpers, liegt. Vorzugsweise liegt der thermische Ausdehnungskoeffizient der Abdichtung näher an demjenigen des piezoelektrischen Wandlerelements als an demjenigen des Anpasskörpers. Weiterhin kann die Dicke der Abdichtung in der vom Anpasskörper zum piezoelektrischen Wandlerelement weisenden Richtung so gewählt werden, dass thermomechanische Alterungen des piezoelektrischen Wandlerelements auf ein gewünschtes Maß reduziert werden. Beispielsweise kann diese Dicke mindestens 0,5 mm betragen, vorzugsweise mindestens 1,0 mm und besonders bevorzugt mindestens 1,5 mm.

**[0015]** Die Beschichtung kann beispielsweise mindestens eine Polymerbeschichtung aufweisen. Derartige

Polymerbeschichtungen zur Abdichtung von verschiedenartigen Elementen sind aus dem Stand der Technik grundsätzlich bekannt. Besonders bevorzugt ist es, wenn derartige Polymerbeschichtungen aus dem Vakuum aufgebracht werden, da, im Gegensatz beispielsweise zu einer Flüssigphasenabscheidung, in diesem Fall eine Kontamination des porösen Presslings vermieden werden kann. Auch lassen sich auf diese Weise besonders dichte Beschichtungen herstellen, welche den oben beschriebenen Abdichteffekt besonders günstig gewährleisten. Insbesondere lassen sich auf diese Weise beispielsweise Parylene aufbringen, so dass es besonders bevorzugt ist, wenn die mindestens eine Beschichtung eine Parylene-enthaltende Beschichtung ist und/oder vollständig aus Parylene hergestellt ist. Parylene sind inerte, hydrophobe polymere Beschichtungsmaterialien, welche in der Regel durch Kondensation aus der Gasphase als porenfreie Polymerfilme auf ein Substrat aufgetragen werden können. Allgemein ist es im Rahmen der vorliegenden Erfindung besonders bevorzugt, wenn der optionale Polymerfilm, welcher die Beschichtung bildet oder Bestandteil der Beschichtung ist, porenfrei ausgestaltet ist. Beispielsweise Parylene lassen sich auf praktisch jedes Substratmaterial aufbringen. Ausgangsmaterial für die Erzeugung von Parylene-Beschichtungen sind di-para-Xylylen oder halogenierte Substituenten dieses Materials. Diese können verdampft werden und beispielsweise durch eine Hochtemperaturzone geleitet werden. Dabei kann sich ein hochreaktives Monomer bilden, welches ein Diradikal ist und welches auf einer Oberfläche eines zu beschichtenden Gegenstands zu einem Polymer abreagieren kann.

**[0016]** Alternativ oder zusätzlich zu einer Beschichtung kann die Abdichtung auch mindestens eine Folie umfassen. Wie oben dargestellt, kann diese Folie beispielsweise den porösen Pressling ganz oder teilweise bedecken. Weiterhin kann die Folie auch zusätzliche Elemente des Ultraschallwandlers ganz oder teilweise mit bedecken oder abdichten. So kann beispielsweise mit der mindestens einen Folie eine Öffnung eines Gehäuses, welche dem fluiden Medium zuweist, abgedichtet werden. Auf diese Weise kann beispielsweise auch eine Druckfestigkeit erzielt werden, insbesondere wenn durch eine Verengung oder einen zumindest Teilweisen Verschluss des Sensorgehäuses auf der dem fluiden Medium abgewandten Seite dafür gesorgt wird, dass sich das Innere des Wandlers sich bei Druckbelastung in diesem Bereich abstützen kann, so dass die Folie bzw. die Verbindung zwischen Folie und Gehäuse oder zwischen Folie und Anpasskörper möglichst wenig belastet wird. Weiterhin kann mindestens ein Entkopplungselement oder mindestens ein Dämpfungselement durch eine derartige Folie und/oder auch durch eine Beschichtung mit geschützt werden, da derartige Entkopplungs- oder Dämpfungselemente, welche unten näher beschrieben werden, in der Regel wenig medienresistent sind. Besonders bevorzugt ist die Verwendung von Kunststofffolien, beispielsweise wiederum Polyimid-Folien. So können beispielsweise Kapton®-Folien in der Abdichtung eingesetzt werden. Die Verwendung von Polyimid-Folien kann sich als besonders vorteilhaft in Zusammenarbeit mit einem Polyimid-Pressling erweisen, da aufgrund der ähnlichen Materialeigenschaften beispielsweise thermische Spannungen reduziert werden können.

**[0017]** Wie oben bereits mehrfach erwähnt, kann der Ultraschallwandler weiterhin mindestens ein Gehäuse umfassen. Zwischen dem Gehäuse und dem Anpasskörper und/oder dem piezoelektrischen Wandlerelement kann weiterhin mindestens ein Entkopplungselement eingebracht werden. Unter einem Entkopplungselement sind dabei allgemein Elemente zu verstehen, welche eingerichtet sind, um eine Körperschallübertragung zu dämpfen, in diesem Fall eine Körperschallübertragung zwischen dem Gehäuse und dem Anpasskörper und/oder dem piezoelektrischen Wandlerelement. Besonders bevorzugt ist es, wenn dieses Entkopplungselement, welches beispielsweise in Form eines Formlings und/oder einer Beschichtung und/oder einer Füllung in das Gehäuse eingebracht werden kann, relativ weich ausgestaltet ist. Beispielsweise kann das Entkopplungselement eine Shore-A-Härte von weniger als 60, vorzugsweise von weniger als 25 aufweisen. Beispielsweise lassen sich zu diesem Zweck Flüssigsilikone, andere Arten von Silikonen oder andere Arten von Elastomeren einsetzen. Da, wie oben beschrieben, viele der für das mindestens eine Entkopplungselement geeigneten Materialien eine in der Regel geringe Medienresistenz aufweisen ist es, wenn ein Entkopplungselement verwendet wird, besonders bevorzugt, wenn die oben beschriebene optionale Abdichtung in diesem Fall derart eingebracht wird, dass diese das Entkopplungselement zumindest teilweise gegenüber dem fluiden Medium abdichtet. Auf diese Weise lassen sich die oben beschriebenen Anforderungen hinsichtlich der akustischen Entkopplung und der Medienresistenz und/oder Druckresistenz besonders gut erfüllen.

**[0018]** Neben dem oben beschriebenen Verfahren in einer oder mehreren der beschriebenen Ausführungsformen wird weiterhin ein Ultraschallwandler zum Einsatz in einem fluiden Medium vorgeschlagen, welcher insbesondere nach dem beschriebenen Verfahren in einer oder mehreren der beschriebenen Verfahrensvarianten herstellbar oder hergestellt ist. Insofern kann für mögliche Ausgestaltungen des Ultraschallwandlers weitgehend auf die obige Beschreibung verwiesen werden. Der Ultraschallwandler umfasst mindestens ein piezoelektrisches Wandlerelement und mindestens einen Anpasskörper zur Begünstigung einer Schwingungskopplung zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement und dem fluiden Medium. Weiterhin umfasst der Anpasskörper mindestens einen porösen Pressling eines Polymers.

**[0019]** Weiterhin wurde bereits oben dargelegt, dass bei der Herstellung des Ultraschallwandlers eine Problematik bei einer unmittelbaren Verklebung zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement und dem Anpasskörper auftreten kann. Dort wurde vorgeschlagen, zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement und dem Anpasskörper mindestens eine Abdichtung einzubringen. Diese oben dargelegte optionale Ausgestaltung des oben beschriebenen Verfahrens kann auch bei anderen Arten von Anpasskörpern eingesetzt werden, welche nicht notwendigerweise einen porösen Pressling enthalten müssen. So wird weiterhin ein Ultraschallwandler zum Einsatz in einem fluiden Medium vorgeschlagen, insbesondere ein Ultraschallwandler gemäß der obigen Beschreibung und/oder hergestellt bzw. herstellbar gemäß einem Verfahren gemäß einer oder mehreren der oben beschriebenen Verfahrensvarianten, welcher mindestens ein piezoelektrisches Wandlerelement und mindestens einen Anpasskörper zur Begünstigung einer Schwingungskopplung zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement und dem fluiden Medium aufweist. Zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement und dem Anpasskörper ist mindestens eine Abdichtung eingebracht, wobei die Abdichtung eingerichtet ist, um ein Eindringen von Klebstoff in den Anpasskörper zumindest weitgehend zu verhindern. Bezüglich der möglichen Ausgestaltung der Abdichtung, beispielsweise als Beschichtung und/oder als Folie, kann auf die obige Beschreibung verwiesen werden. Der Anpasskörper kann wiederum porös ausgestaltet sein, kann jedoch auch auf andere Weise ausgestaltet sein. Beispielsweise kann bezüglich möglicher Materialien des Anpasskörpers auf die obige Beschreibung des Standes der Technik verwiesen werden. Beispielsweise lassen sich Kunststoffmaterialien einsetzen, welche eine Impedanz zwischen der Impedanz des piezoelektrischen Wandlers und des fluiden Mediums, beispielsweise der Luft, aufweisen. Beispiele sind Epoxid- und/oder Polyesterharze, beispielsweise mit einer Beimischung von Glashohlkugeln oder ähnlichem. Auch auf andere, aus dem Stand der Technik bekannte Materialien für Anpassschichten und/oder Anpasskörper kann verwiesen werden.

**[0020]** Insgesamt schlägt die vorliegende Erfindung also, zur Lösung der oben beschriebenen Zielkonflikte zur Erfüllung der verschiedenen Anforderungen, Maßnahmen vor, welche einzeln oder auch in Kombination realisiert werden können und welche insgesamt, insbesondere in Zusammenwirkung, eine erhöhte Medien- und Druckresistenz, eine hohe thermische Stabilität und gute akustische Eigenschaften bereitstellen.

**[0021]** Die erste, oben beschriebene Maßnahme, stellt die Verwendung eines porösen Presslings mindestens eines Polymers in dem Anpasskörper, beispielsweise als Anpassschicht, dar. Beispielsweise kann es sich dabei um gepresstes, poröses Polyimid handeln. Durch diese Maßnahme kann auf eine aufwändige mikromechanische Bearbeitung des Polyimid-Materials verzichtet werden, wie sie beispielsweise bei dem oben beschriebenen Artikel von M. I. Haller et al. erforderlich ist. Polyimid weist gegenüber herkömmlichen Epoxidharz-Glashohlkugel-Massen eine Reihe von Vorteilen hinsichtlich der Verarbeitung auf und lässt sich, durch entsprechende Beeinflussung des Pressvorgangs, mit maßgeschneiderten Impedanzeigenschaften ausstatten. Das Fehlen eines Glasübergangs beim Polyimid führt außerdem dazu, dass sich die Resonanzfrequenz des Anpasskörpers über den abzudeckenden Temperaturbereich des Ultraschallwandlers weniger ändert.

**[0022]** Als zweite, alternativ oder in Kombination einsetzbare Maßnahme, wurde eine Abdichtung vorgeschlagen, welche gemäß einer oder mehrerer der oben beschriebenen Optionen ausgeführt sein kann. Beispielsweise kann eine Abdichtungsschicht auf dem Anpasskörper auf der dem piezoelektrischen Wandler zugewandten Seite desselben angeordnet sein. Auch eine Anordnung an anderen Stellen ist jedoch grundsätzlich möglich. Eine Anordnung der Abdichtung zwischen dem Anpasskörper und dem piezoelektrischen Wandler ermöglicht jedoch eine größere Bandbreite hinsichtlich der Materialauswahl des Anpasskörper-Materials, wobei beispielsweise offenporiges Anpasskörpermaterial in der Weise abgedichtet werden kann, dass Klebstoff von der Verklebung mit dem piezoelektrischen Wandlerelement nicht oder nur geringfügig in das Anpasskörpermaterial versickern kann. Ein derartiges Versickern würde zu einer Verschlechterung der Klebung und geänderten akustischen Eigenschaften des Anpasskörpers führen, was sich durch die vorgeschlagene Abdichtung vermeiden lassen kann.

**[0023]** Als dritte Maßnahme, welche wiederum alternativ oder zusätzlich zu den beiden vorhergehenden Maßnahmen eingesetzt werden kann, lässt sich eine gemeinsame Abdichtung über dem Anpasskörper und einem Entkopplungselement und/oder einem Dämpfungselement einsetzen. Diese Abdichtung kann beispielsweise als Abdichtungsschicht, als Abdichtungsfolie oder als Kombination von Abdichtungen ausgestaltet sein, wie oben beschrieben wurde. Beispielsweise kann eine gemeinsame Abdichtungsschicht über dem Anpasskörper und dem Entkopplungs- und/oder Dämpfungselement hinweg verwendet werden, was wiederum eine höhere Breite hinsichtlich der Materialauswahl für den Anpasskörper, das Dämpfungselement und das optionale Entkopplungselement bedingen kann. Auf diese Weise können beispielsweise die akustischen und/oder thermischen Anforderungen, durch entsprechende Materialauswahl der einzelnen Elemente, optimal berücksichtigt werden. Derartige Materialien müssen in diesem Fall nicht notwendigerweise eine gute Medienresistenz aufweisen, da das fluide Medium vorzugsweise vollständig durch die Abdichtung von dem Anpasskörper

und/oder dem Entkopplungs- und/oder Dämpfungselement ferngehalten werden kann.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0024]** Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

**[0025]** Es zeigen:

**[0026]** [Fig. 1](#) ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Ultraschallwandlers mit einem Anpasskörper mit einer Beschichtung;

**[0027]** [Fig. 2](#) ein zweites Ausführungsbeispiel eines Ultraschallwandlers mit einem Anpasskörper mit einer Beschichtung und mit einer Abdichtungsfolie; und

**[0028]** [Fig. 3](#) ein drittes Ausführungsbeispiel eines Ultraschallwandlers mit einer Abdichtungsfolie zwischen einem piezoelektrischen Wandler und einem Anpassungskörper.

**[0029]** In den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) sind verschiedene erfindungsgemäße Ausgestaltungen eines Ultraschallwandlers **110** dargestellt. Der Ultraschallwandler **110** ist dabei jeweils in Schnittdarstellung von der Seite in einer stark schematisierten Form gezeigt. Über die gezeigten Elemente hinaus kann der Ultraschallwandler **110** weitere, nicht dargestellte Elemente umfassen. Der Ultraschallwandler **110** umfasst in den drei Beispielen jeweils ein piezoelektrisches Wandlerelement **112**, welches beispielsweise über Anschlusskontakte **114**, welche in den Figuren lediglich angedeutet sind, elektrisch kontaktiert werden kann, um das piezoelektrische Wandlerelement **112** mit elektrischen Signalen zu beaufschlagen bzw. elektrische Signale des piezoelektrischen Wandlerelements **112** abzufragen.

**[0030]** Weiterhin umfasst der Ultraschallwandler **110** in den in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) dargestellten Ausführungsbeispielen jeweils einen Anpasskörper **116**, beispielsweise einen aus einer oder mehreren Anpassschichten zusammengesetzten Anpasskörper **116**. Dieser Anpasskörper **116** wird erfindungsgemäß unter Verwendung eines porösen Presslings **118** eines Polymers hergestellt, wobei im Folgenden, ohne Beschränkung möglicher weiterer Ausgestaltungen des Polymers, angenommen wird, dass es sich um ein Polyimid handelt, insbesondere um ein Polyimid ohne Schmelzpunkt und/oder ohne feststellbare Glasübergangstemperatur. Besonders bevorzugt ist, wie oben dargestellt, die Verwendung von Vespel<sup>®</sup>, welches von DuPont erhältlich ist. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass insbesondere die Ausführungsbeispiele gemäß den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#), nämlich die Verwendung einer durchgehenden Abdichtungsfolie ([Fig. 2](#)) und die Verwendung einer Abdichtungsfolie zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement **112** und den Anpasskörper **116**, wie oben dargestellt, zwar insbesondere in Verbindung mit der Verwendung eines porösen Presslings **118** von Vorteil sind, jedoch grundsätzlich auch unabhängig von der Verwendung eines porösen Presslings **118** realisiert werden können. So können beispielsweise auch andere, aus dem Stand der Technik bekannte und üblicherweise für die Anpasskörper **116** verwendete Materialien eingesetzt werden. Im Folgenden wird die Erfindung jedoch unter Bezugnahme auf einen porösen Pressling **118** eines Polymers beschrieben.

**[0031]** Weiterhin weisen die Ultraschallwandler **110** in den Ausführungsbeispielen gemäß den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) jeweils eine Abdichtung **120** auf. Die Ausführungsbeispiele gemäß den Figuren unterscheiden sich jedoch in der Ausgestaltung dieser Abdichtung **120**. So umfasst die Abdichtung **120** in dem Ausführungsbeispiel gemäß den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) eine Beschichtung **122**, welche hier als den Anpasskörper **116** vollständig umschließende Beschichtung **122** dargestellt ist. Auch eine unvollständige Beschichtung ist jedoch grundsätzlich möglich. Insbesondere ist die Beschichtung **122** in dem in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellten Fall auf einer dem piezoelektrischen Wandlerelement **112** zuweisenden Oberfläche **124** des Anpasskörpers **116** aufgebracht. Wie oben dargestellt, kann diese Beschichtung **122** damit verhindern, dass Klebstoff einer Verklebung **126** zwischen piezoelektrischem Wandlerelement **112** und Anpasskörper **116** ins Innere des Anpasskörpers **116** eindringt, was die Verklebung **126** in ihren Eigenschaften verschlechtern würde und/oder die akustischen Eigenschaften des Anpasskörpers **116** beeinflussen könnte. Alternativ oder zusätzlich kann für die Verklebung **126** ein spezieller Klebstoff verwendet werden, dessen Viskosität so hoch und/oder Aushärtezeit so kurz bemessen ist, dass möglichst wenig Klebstoff in den Anpasskörper eindringen. Dieser Klebstoff kann dann die Rolle der Abdichtung **120** übernehmen bzw. mit dieser zusammengefasst werden. Ein solcher spezieller Klebstoff kann z. B. ein UV-aushärtender Klebstoff sein, der durch Bestrahlung eine schnelle Voraushärtung oder vollständige Aushärtung erfährt und damit den Anpasskörper abdichtet und dann optional unter Wärmeeinfluss vollständig ausgehärtet wird. Alternativ oder zusätzlich kann ein solcher Klebstoff heißthixotrop sein, d. h. wäh-

rend des gesamten Aushärte-Temperaturprofils eine ausreichend hohe Viskosität aufweisen, so dass der Klebstoff zwar die Poren des Ausgleichskörpers verschließt und abdichtet, aber nicht zu weit in den Ausgleichskörper hineinfließt.

**[0032]** Alternativ oder zusätzlich kann, wie ebenfalls in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellt, die Beschichtung **122** auch auf einer Oberfläche **128** angeordnet sein, welche im Betrieb des Ultraschallwandlers **110** dem fluiden Medium zuweist. Auf diese Weise kann beispielsweise eine Kontamination des Anpasskörpers **116** aus dem fluiden Medium heraus vermindert oder verhindert werden.

**[0033]** Sämtliche Ultraschallwandler **110** können weiterhin ein Gehäuse **130** aufweisen. Dieses Gehäuse **130** ist dabei lediglich in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) ansatzweise dargestellt, in [Fig. 1](#) hingegen weggelassen. Auch in dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 1](#) kann jedoch naturgemäß ein Gehäuse **130** vorhanden sein. Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 2](#), sowie optional auch bei den übrigen Ausführungsbeispielen, kann weiterhin mindestens ein Entkopplungselement **132** vorgesehen sein, welches lediglich bei dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 2](#) gezeigt ist. Dieses Entkopplungselement **132** ist zwischen das Gehäuse **130** und den Anpasskörper **116** und/oder das piezoelektrische Wandlerelement **112** eingebracht und vermindert eine Körperschallübertragung von dem Gehäuse **130** auf das piezoelektrische Wandlerelement **112** bzw. den Anpasskörper **116**. Beispielsweise kann dieses Entkopplungselement einen Verguss, einen Formkörper, eine Beschichtung oder eine Kombination der genannten Elemente und/oder anderer Elemente aufweisen. Beispielsweise kann das Entkopplungselement **132** aus einem vergleichsweise weichen Material hergestellt sein, beispielsweise einem Material mit einer Shore-A-Härte von 25 oder weniger. Beispielsweise kann das Entkopplungselement **132** ein Polyurethan, ein Silikon, ein Flüssigsilikon oder ähnliches umfassen. Weiterhin kann mindestens ein Dämpfungselement vorgesehen sein, welches den piezoelektrischen Wandler nach einer Schwingungsanregung möglichst schnell zur Ruhe bringt. Dieses kann beispielsweise ein Epoxy-Werkstoff, ein Polyurethan oder ein Silikon umfassen und kann weitere Stoffe enthalten wie z. B. gasförmige und/oder feste Füllstoffe.

**[0034]** Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 2](#) umfasst die Abdichtung **120**, alternativ oder zusätzlich zur Beschichtung **122**, weiterhin eine Folie **134**. Diese Folie **134** überspannt in dem dargestellten Ausführungsbeispiel eine gesamte Öffnung **136** des Gehäuses **130**, welche dem fluiden Medium zuweist. Somit deckt die Folie **134** in dem dargestellten Ausführungsbeispiel nicht nur den Anpasskörper **116** sondern auch das Entkopplungselement **132** und/oder das Dämpfungselement vollständig oder teilweise ab. Wie oben dargestellt, können durch diese Abdichtung mittels der Folie **134** also auch nicht-medienresistente Materialien für das Entkopplungselement **132** gewählt werden, bzw. die Anforderungen hinsichtlich der Medienresistenz für diese Materialien sinkt.

**[0035]** Auch bei dem in [Fig. 3](#) gezeigten Ausführungsbeispiel des Ultraschallwandlers **110** deckt eine Folie **134** als Abdichtung **120** bzw. als Teil einer Abdichtung **120** die Öffnung **136** des Gehäuses **130** vollständig oder zumindest teilweise ab. In diesem Fall ist jedoch, im Gegensatz zum Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 2](#), das piezoelektrische Wandlerelement **112** durch die Folie **134** von dem Anpasskörper **116** getrennt. Auf diese Weise wird, wie oben dargestellt, vorzugsweise verhindert, dass Klebstoff der Verklebung **126** in den Anpasskörper **116** eindringen kann. Auch in diesem Ausführungsbeispiel kann der Anpasskörper **116**, im Gegensatz zur unbeschichteten Darstellung gemäß [Fig. 3](#), auch eine Beschichtung **122** aufweisen, beispielsweise analog zu den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#). Weiterhin kann, analog zum Ausführungsbeispiel gemäß [Fig. 2](#), weiterhin auch wiederum mindestens ein Entkopplungselement **132** in das Gehäuse **130** eingebracht werden. Verschiedene Ausgestaltungen sind möglich.

**[0036]** Ein Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht insbesondere, wie oben dargestellt, in der Verwendung eines porösen Presslings **118**. Dieser poröse Pressling **118** kann beispielsweise ein Polyimid-Polymer umfassen. Optional können auch weitere Stoffe enthalten sein, die z. B. während des Herstellprozesses des Presslings erforderlich werden. Beispielsweise wurden Versuche mit einer porösen Variante des Werkstoffs Vespel® der Firma DuPont durchgeführt. Dieser Werkstoff ist kommerziell erhältlich und wird beispielsweise als hochtemperaturfester Leichtbaustoff und/oder als Dichtungswerkstoff in Flugzeugtriebwerken eingesetzt. Das Material hat hervorragende mechanische, thermische und akustische Eigenschaften. Im Gegensatz zu den üblichen Epoxid-Glashohlkugel-Anpassschichten hat Vespel® keinen Glasübergang, bei dem das Material erweichen würde. Vespel® ist chemisch absolut inert und stabil gegenüber einem extrem weiten Temperatureinsatzbereich, beispielsweise Temperaturen gegenüber weniger als -100°C und mehr als 300°C. Andererseits ist Vespel®, je nach Herstellparametern, vor allem in der für Ultraschallanwendungen benötigten dichtereduzierten Variante so offenporig, dass Klebstoff so weit im Material versickern kann, dass entweder die Klebung eine geringere Festigkeit aufweist, oder aber die Poren des Anpasskörpers **116** sich soweit füllen würden, dass sich die akustische Impedanz zu stark verändert. Zu diesem Zweck können, wie oben dargestellt, die verschiede-

nen Varianten der Abdichtung **120**, welche in den [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) dargestellt sind, eingesetzt werden, so dass sich die Verwendung derartiger Abdichtungen **120** besonders gut mit porösen Presslingen **118** aus Polyimiden, insbesondere Vespel<sup>®</sup>, kombinieren lässt. Auch ein Eindringen von Feuchtigkeit und/oder aggressiven Bestandteilen des fluiden Mediums, beispielsweise aus einer Ansaugatmosphäre eines Kraftfahrzeugs, ins Innere des Ultraschallwandlers **110** und/oder der angrenzenden Elektronik, lassen sich durch die Abdichtung **120** verhindern, beispielsweise durch die Abdichtungen gemäß den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#).

**[0037]** Zur Anwendung als akustische Impedanzanpassung einer Piezokeramik an Luft kann die Dichte des porösen Presslings **118** durch dessen Herstell- bzw. den Pressprozess gezielt eingestellt werden. Da sich die akustische Impedanz  $Z$  als Produkt aus der Schallgeschwindigkeit und der Dichte des Anpasskörper-Werkstoffs ergibt, lässt sich auf diese Weise auch die Impedanz über einen weiten Bereich einstellen. Für ebene, monospektrale Wellen würde eine Impedanz im geometrischen Mittel

$$Z_{\text{Anpass}} = \sqrt{Z_{\text{Piezo}} \cdot Z_{\text{Luft}}}$$

zwischen der Impedanz des Materials des piezoelektrischen Wandlerelements **112** ( $Z_{\text{Piezo}}$ ) und der Impedanz des fluiden Mediums ( $Z_{\text{Luft}}$ ), hier Luft, eine optimale Energieübertragung ergeben, falls der Anpasskörper **116** die Dicke einer Viertel Wellenlänge ( $\lambda/4$ ) der akustischen Wellen hat. Alternative Dicken für eine optimale Energieübertragung sind ungradzahlige Vielfache der Wellenlänge  $\lambda$ , allerdings werden die entsprechenden Resonanzen spektral immer schmaler. Für relativ kurze, spektral breitbandigere Ultraschallpulse und realistische, dreidimensionale Abmessungen des piezoelektrischen Wandlerelements **112** und des Anpasskörpers **116** können jedoch der optimale Impedanzwert und die optimale Schichtdicke des Anpasskörpers **116** hinsichtlich Energieübertragung und Wandlerbandbreite abweichend von dieser Rechnung völlig anders zu wählen sein, insbesondere wenn eine zusätzliche Schutzschicht verwendet wird. Entsprechende Zielwerte lassen sich beispielsweise über Musteraufbauten mit herkömmlichen Epoxid-Glashohlkugel-Materialien, im Vergleich mit unterschiedlichen Polyimid-Materialvarianten, empirisch ermitteln. Auch eine analytische oder semianalytische Bestimmung ist möglich, beispielsweise wie in der oben beschriebenen Veröffentlichung von M. I. Haller et al. aufgezeigt.

**[0038]** Für zylindrische piezoelektrische Wandlerelemente **112** mit den Abmessungen von beispielsweise 8 mm Durchmesser und 2 mm Dicke sowie einer Radial-Resonanzfrequenz in der Größenordnung von 200 kHz zeigen sich beispielsweise dichterduzierte Vespel<sup>®</sup>-Scheibchen als poröse Presslinge **118** mit einer Dichte von ca. 0,8 g/cm<sup>3</sup> und einer Dicke von ca. 0,8 bis 1,2 mm als vorteilhaft bezüglich der akustischen Anforderungen. Wird eine Piezokeramik auf ein Vespel<sup>®</sup>-Scheibchen aufgeklebt, dann kann jedoch, wie oben dargestellt, der Klebstoff so weit in das Scheibchen einsickern, dass die Stabilität der Klebung ungenügend wird bzw. dass sich die akustischen Eigenschaften des Anpasskörpers **116** zu stark verändern können. Zu diesem Zweck kann beispielsweise das Vespel<sup>®</sup>-Scheibchen und/oder der auf andere Weise ausgestaltete Anpasskörper **116** vor dem Verkleben mit der Beschichtung **122** versehen werden, beispielsweise einer Parylene-Beschichtung. Derartige Beschichtungen, welche vorzugsweise aus der Gasphase aufgebracht werden, beispielsweise mittels eines CVD-Verfahrens (CVD: Chemical Vapor Deposition, chemische Gasphasenabscheidung) sind dem Fachmann bekannt. Durch derartige Beschichtungen **122** als Teil von Abdichtungen **120** kann der Klebstoff einer Verklebung **126** an der Oberfläche des Anpasskörpers **116** gehalten werden.

**[0039]** Die Beschichtung **122**, insbesondere die Parylene-Beschichtung, kann auch, wie beispielsweise in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellt, auf der dem fluiden Medium zugewandten Seite bzw. Oberfläche **128** des Anpasskörpers **116** eingesetzt werden, um diese gegenüber aggressiven Medien abzudichten. Eine derartige Beschichtung **122** bzw. Abdichtung **120** kann sich auch, wie beispielsweise in [Fig. 2](#) dargestellt, über den Anpasskörper **116** hinaus erstrecken. So kann diese Beschichtung **122** bzw. Abdichtung **120** auch beispielsweise das piezoelektrische Wandlerelement **112** und/oder eine Entkopplungselement **132**, welches beispielsweise als Dämpfungselement eingesetzt wird, ganz oder teilweise mit abdecken und dadurch abdichten. Wie oben beschrieben, erfordert die Verwendung eines Entkopplungselements **132** für die meisten Anwendungen einen Kunststoff mit relativ geringen Shore-Härten, beispielsweise Shore-A-Härten im Bereich zwischen 25 und 30. Derartige Kunststoffe, beispielsweise Silikone, sind dann jedoch, wie oben dargestellt, zumeist wenig resistent gegenüber Wasser, Kraftstoffen oder anderen Bestandteilen einer Kraftfahrzeug-Ansaugatmosphäre. Die Folge kann beispielsweise eine Undichtigkeit, eine Quellung, eine Zersetzung oder eine Änderung der akustisch/mechanischen Eigenschaften sein. Fluorierte Silikone hingegen sind in vielen Fällen zu hart für eine effektive Entkopplung und meist nur als Formteile einsetzbar. Separate Formteile im Entkopplungselement **132** erhöhen jedoch in der Regel die Kosten und bedingen eine komplexere Fertigung, wodurch auch das Risiko entstehen kann, dass unerwünschte Medien an dem Formteil vorbeikriechen oder vorbeidiffundieren. Eine zusätzliche Abdichtung **120** in Form einer Beschichtung **122** und/oder einer Folie **134**, wie beispielsweise in den [Fig. 2](#) oder [Fig. 3](#) dargestellt, ermöglicht hingegen den Einsatz wenig resistenter Entkopplungsmaterialien, die

beispielsweise rein nach akustischen und/oder nach Fertigungsgesichtspunkten ausgewählt sein können. Der Begriff der Folie **134** ist in diesem Zusammenhang als Verallgemeinerung einer Beschichtung **122** zu sehen, so dass unter diesem Begriff beispielsweise freitragende Folien oder auch Beschichtungen **122** zu subsumieren sind, welche mehrere Bauelemente abdecken können.

**[0040]** Alternativ oder zusätzlich zu einer Beschichtung **122** aus Parylene kann auch beispielsweise Kapton<sup>®</sup> verwendet werden. Kapton<sup>®</sup> oder, verallgemeinert, Polyimide, kann beispielsweise wiederum in Form einer oder mehrerer Folien **134** eingesetzt werden. Auf diese Weise können, wie beispielsweise in [Fig. 2](#) dargestellt, der Anpasskörper **116** und das Entkopplungselement **132** gemeinsam abgedichtet werden. Insbesondere die Kombination von Vespel<sup>®</sup> und einer Kapton<sup>®</sup>-Folie kann aufgrund der chemischen Ähnlichkeit, insbesondere hinsichtlich thermischer und/oder thermomechanischer Eigenschaften, besonders vorteilhaft sein. Wird beispielsweise Kapton<sup>®</sup> als Abdichtung **120** und/oder als Bestandteil dieser Abdichtung **120** verwendet, dann darf dieses Material, beispielsweise in Form einer Folie **134**, bei der in [Fig. 3](#) dargestellten Verwendung zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement **112** und dem Anpasskörper **116** vorzugsweise eine Dicke von mehr als 100 µm aufweisen, weil in dieser Position, zusammen mit der Piezokeramik des piezoelektrischen Wandlerelements **112**, kein hoher Impedanz-Mismatch (Impedanzunterschied oder Impedanz-Fehlanpassung) besteht. Im Gegensatz dazu sollte die Folie **134** bei dem in [Fig. 2](#) dargestellten Ausführungsbeispiel, was auch bei mit einer Ausführungsform gemäß [Fig. 3](#) kombinierbar ist, vergleichsweise dünn sein und beispielsweise eine Dicke von weniger als 50 µm, vorzugsweise höchstens 25 µm aufweisen, um die akustische Impedanzanpassung nicht wieder zunichte zu machen.

**[0041]** Soll die Folie **134**, wie beispielsweise in [Fig. 2](#) dargestellt, hingegen über den Anpasskörper **116** hinausragen und beispielsweise einen mit dem Entkopplungselement **132** und/oder luftgefüllten Entkopplungsspalt **138** zwischen dem Gehäuse **130** und Anpasskörper **116** bzw. dem piezoelektrischen Wandlerelement **112** mit abdichten, dann sollte jedoch an dieser Stelle ebenfalls eine Folie **134** von vorzugsweise weniger als 25 µm eingesetzt werden, da sonst die Gefahr besteht, dass über diese Folie **134** eine erhöhte Menge an Körperschall übertragen werden kann. Die Folie **134**, beispielsweise ein Kapton<sup>®</sup>- und/oder Polyimid-Folie, kann beispielsweise selbstklebend ausgestaltet sein. So kann eine derartige Folie **134** beispielsweise vor einer Verbindung mit dem Anpasskörper **116** mit einem Klebstoff behandelt worden sein. Alternativ kann die Folie **134** jedoch auch ohne einen zusätzlichen Klebstoff und ohne eine Beschichtung **122**, beispielsweise eine Parylene-Beschichtung, aufgebracht werden, beispielsweise auf den Anpasskörper **116** und/oder weitere Elemente des Ultraschallwandlers **110**.

**[0042]** Wie oben dargestellt, lässt sich die Verwendung einer Abdichtung **120**, beispielsweise einer Folie **134** und/oder einer Beschichtung **122**, beispielsweise unter Verwendung von Kapton<sup>®</sup> und/oder Parylene, auch bei anderen Arten von Anpasskörpern **116** einsetzen als Anpasskörpern **116**, welche poröse Presslinge **118** einsetzen. So lassen sich derartige Abdichtungen **120** beispielsweise auch vorteilhaft bei Epoxid-Glashohlkugel-Anpasskörpern **120** einsetzen. Auch in diesem Fall können sich die Abdichtungen **120**, wie beispielsweise in [Fig. 2](#), auch über zusätzliche Elemente des Ultraschallwandlers **110**, beispielsweise Entkopplungselemente **132**, mit erstrecken.

**[0043]** Der Anpasskörper **120**, insbesondere eine Anpassschicht, kann auch im unausgehärteten Zustand mit dem piezoelektrischen Wandlerelement **112** und/oder mit der Abdichtung **120**, beispielsweise einer Folie **134**, in Kontakt gebracht werden. Dabei kann die Abdichtung **120** bzw. die Folie **134** auch als „verlorene Form“ oder als am Bauteil verbleibende Entformungshilfe für das Material des Anpasskörpers **116** dienen und im fertig aufgebauten Ultraschallwandler **110** das Entkopplungselement **132** mit abdecken. Auf diese Weise kann für ein medienresistentes Wandlerdesign gesorgt werden.

**[0044]** Die Abdichtung **120**, beispielsweise die Beschichtung **122** und/oder die Folie **134**, kann, alternativ oder zusätzlich zu den genannten Materialien Parylene und/oder Kapton<sup>®</sup> bzw. Polyimid, auch andere Materialien umfassen. So können, alternativ oder zusätzlich, auch beispielsweise ein oder mehrere Lackschichten und/oder andere Arten von Kunststoffen und/oder Metalle, beispielsweise dünne Metallschichten, eingesetzt werden. Zwar erfolgt in der Regel die Abstrahlung des Ultraschalls in das fluide Medium (beispielsweise Luft) hinein bzw. die Einstrahlung des Ultraschalls aus diesem fluiden Medium in den Ultraschallwandler **110** hinein letztendlich durch die für die Dichtheit sorgende und sich in der Regel damit bewegende Abdichtung **120** hindurch. Diese Abdichtung **120** ist jedoch nicht selbst als Resonanzkörper oder Anpasskörper **116** zu verstehen, wie dies beispielsweise in Wandlern der Fall ist, die beispielsweise eine fest mit dem Gehäuse **130** und/oder einem Strömungsrohr verbundene Abstrahlschicht aufweisen, die eine Membranresonanz oder Dickenschwingung zur verbesserten Schalleinkopplung ausführt. Die Abdichtung **120** ist somit vorzugsweise vollständig als ein von dem Gehäuse **130** separat ausgestaltetes Bauelement ausgeführt. Verläuft die Abdichtung **120** zwi-

schen dem piezoelektrischen Wandlerelement **112** und der dem Anpasskörper **116**, wie dies beispielsweise in [Fig. 3](#) der Fall ist, und erstreckt sich von dort aus über ein Entkopplungselement **132** hinweg, dann kann die abstrahlende Oberfläche des Anpasskörpers **116** beispielsweise besonders gut konturiert werden. So kann beispielsweise mittels Fasen die Abstrahlcharakteristik günstig beeinflusst werden. Eine an dieser Position angebrachte, elektrisch leitfähige und/oder leitfähig beschichtete Abdichtung **120** kann außerdem dazu verwendet werden, das piezoelektrische Wandlerelement **112** über eine Leitklebung und über die Abdichtung **120** mit einem metallischen Gehäuse **130** und/oder einer anderen Zuleitung elektrisch zu verbinden.

**[0045]** Das Gehäuse **130** kann grundsätzlich aus beliebigen, vorzugsweise harten Materialien hergestellt werden, beispielsweise Kunststoffen und/oder Metallen. Auch das Gehäuse **130** kann ganz oder teilweise von der Abdichtung **120** bedeckt sein. Falls der Ultraschallwandler **110**, beispielsweise in Form des Gehäuses **130**, metallische Materialien umfasst, so können diese ebenfalls durch die Abdichtung **120** auch in Richtung des fluiden Mediums, beispielsweise in Richtung der Luft, elektrisch isoliert werden, falls die Abdichtung **120** zumindest in diesem Bereich nicht leitfähig ist. Elektrisch leitfähige Gehäuse-Bestandteile und/oder eine elektrische leitfähige Schutzschicht in der Abdichtung **120** können gleichzeitig als EMV-Maßnahme, das heißt zur elektromagnetischen Abschirmung, dienen.

**[0046]** Der Ultraschallwandler **110** kann außer dem Anpasskörper **116** und der Abdichtung **120**, beispielsweise in Form der Folie **130** und/oder der Beschichtung **122**, weitere Schichten enthalten. So können, alternativ oder zusätzlich, beispielsweise mindestens ein thermisch/mechanisches und/oder akustisch wirkendes Ausgleichs- oder Stabilisierungselement zwischen der Abdichtung **120**, beispielsweise der Folie **134** und/oder der Beschichtung **122**, und dem piezoelektrischen Wandlerelement **112** oder zwischen der Abdichtung **120** und dem Anpasskörper **116** vorgesehen sein. Weiterhin kann, alternativ oder zusätzlich, der Ultraschallwandler **110** auch mit einem zusätzlichen Dämpfungselement ausgestattet werden. Beispielsweise kann ein verbleibender Innenraum des Gehäuses **130** durch einen Vergussstoff und/oder ein angedrücktes Elastomer zumindest teilweise ausgefüllt sein. Auf diese Weise kann der Ultraschallwandler beispielsweise rückseitig und/oder radial bedämpft werden.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102007010500 A1 [\[0002\]](#)
- DE 4230773 C1 [\[0002\]](#)
- EP 0766071 A1 [\[0002, 0005\]](#)
- DE 4239773 C1 [\[0005\]](#)

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- M. I. Haller et al.: 1–3 Composites for Ultrasonic Air Transducers, IEEE 1992 Ultrasonics Symposium, 937 bis 939 [\[0004\]](#)
- M. I. Haller et al. [\[0021\]](#)
- M. I. Haller et al. [\[0037\]](#)

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Herstellung eines Ultraschallwandlers (**110**) zum Einsatz in einem fluiden Medium, wobei mindestens ein piezoelektrisches Wandlerelement (**112**) direkt oder indirekt mit mindestens einem Anpasskörper (**116**) zur Begünstigung einer Schwingungskopplung zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement (**112**) und dem fluiden Medium verbunden wird, wobei ein Anpasskörper (**116**) verwendet wird, welcher mindestens einen porösen Pressling (**118**) eines Polymers aufweist.
2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei das Polymer mindestens ein Polyimid umfasst, insbesondere ein Polyimid, welches keine feststellbare Glasübergangstemperatur aufweist.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der poröse Pressling (**118**) eine Dichte zwischen 0,6 und 1,0 g/cm<sup>3</sup>, insbesondere bei 0,8 g/cm<sup>3</sup>, aufweist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der poröse Pressling (**118**) eine Dicke aufweist, welche zumindest näherungsweise  $\frac{1}{4}$  oder  $\frac{3}{4}$  der Ultraschallwellenlänge in dem porösen Pressling (**118**) beträgt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens eine Abdichtung (**120**) aufgebracht wird, wobei die Abdichtung (**120**) eingerichtet ist, um den porösen Pressling (**118**) zumindest teilweise abzudichten.
6. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Abdichtung (**120**) zumindest eine dem piezoelektrischen Wandlerelement (**112**) zuweisende Seite (**124**) des porösen Presslings (**118**) zumindest teilweise abdichtet.
7. Verfahren nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei die Abdichtung (**120**) zumindest eine dem fluiden Medium zuweisende Seite (**128**) des porösen Presslings (**118**) zumindest teilweise abdichtet.
8. Verfahren nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, wobei zur Herstellung der Abdichtung (**120**) mindestens eine Beschichtung (**122**) aufgebracht wird, wobei die Beschichtung (**122**) zumindest eine Oberfläche (**124**, **128**) des porösen Presslings (**118**) mindestens teilweise bedeckt.
9. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Beschichtung (**122**) mindestens eine Polymerbeschichtung aufweist, insbesondere eine im Vakuum aufgebrachte Beschichtung (**122**), insbesondere eine Parylene-enthaltende Beschichtung.
10. Verfahren nach einem der fünf vorhergehenden Ansprüche, wobei die Abdichtung (**120**) mindestens eine Folie (**134**) umfasst, insbesondere mindestens eine Kunststoffolie, insbesondere mindestens eine Polyimid-Folie.
11. Verfahren nach einem der sechs vorhergehenden Ansprüche, wobei der Ultraschallwandler (**110**) weiterhin mindestens ein Gehäuse (**130**) umfasst, wobei zwischen dem Gehäuse (**130**) und dem Anpasskörper (**116**) und/oder dem piezoelektrischen Wandlerelement (**112**) mindestens ein Entkopplungselement (**132**) und/oder ein Dämpfungselement eingebracht wird, wobei das Entkopplungselement (**132**) und/oder das Dämpfungselement eingerichtet sind, um eine Körperschallübertragung zwischen dem Gehäuse (**130**) und dem Anpasskörper (**116**) und/oder piezoelektrischen Wandlerelement (**112**) zu dämpfen, wobei die Abdichtung (**120**) derart aufgebracht wird, dass diese das Entkopplungselement (**132**) und/oder das Dämpfungselement zumindest teilweise gegenüber dem fluiden Medium abdichtet.
12. Ultraschallwandler (**110**) zum Einsatz in einem fluiden Medium, insbesondere herstellbar nach einem der vorhergehenden Ansprüche, umfassend mindestens ein piezoelektrisches Wandlerelement (**112**) und mindestens einen Anpasskörper (**116**) zur Begünstigung einer Schwingungskopplung zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement (**112**) und dem fluiden Medium, wobei der Anpasskörper (**116**) mindestens einen porösen Pressling (**118**) eines Polymers umfasst.
13. Ultraschallwandler (**110**) zum Einsatz in einem fluiden Medium, insbesondere gemäß dem vorhergehenden Anspruch, umfassend mindestens ein piezoelektrisches Wandlerelement (**112**) und mindestens einen Anpasskörper (**116**) zur Begünstigung einer Schwingungskopplung zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement (**112**) und dem fluiden Medium, wobei zwischen dem piezoelektrischen Wandlerelement (**112**) und

dem Anpasskörper (116) mindestens eine Abdichtung (120) eingebracht ist, wobei die Abdichtung (120) eingerichtet ist, um ein Eindringen von Klebstoff in den Anpasskörper (116) zumindest weitgehend zu verhindern.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

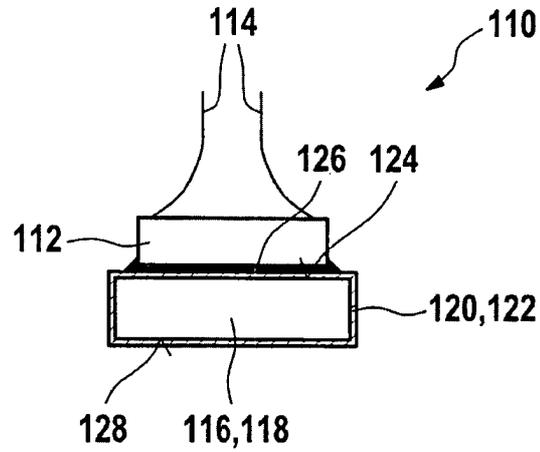


FIG. 1

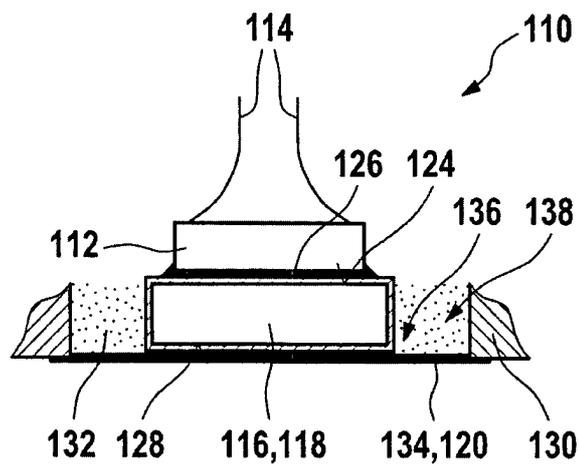


FIG. 2

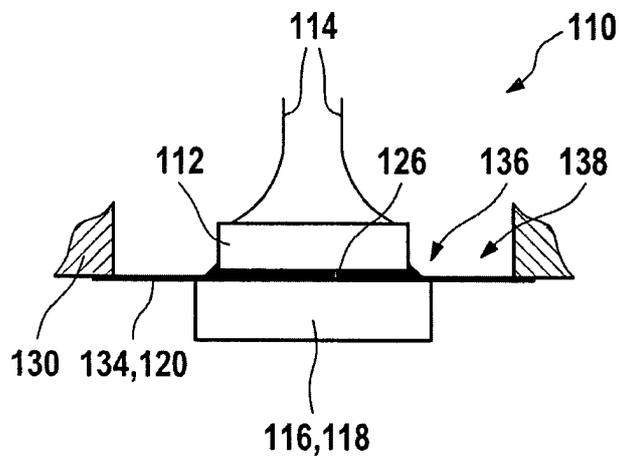


FIG. 3