



(10) **DE 10 2014 221 495 A1** 2016.04.28

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2014 221 495.5**

(22) Anmeldetag: **23.10.2014**

(43) Offenlegungstag: **28.04.2016**

(51) Int Cl.: **H04R 17/00** (2006.01)

H04R 31/00 (2006.01)

H04R 7/02 (2006.01)

G01F 1/66 (2006.01)

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

(72) Erfinder:

**Klamt, Guido, 70839 Gerlingen, DE; Hirth, Erhard,
74248 Ellhofen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

GB 2 282 931 A

US 2012 / 0 055 257 A1

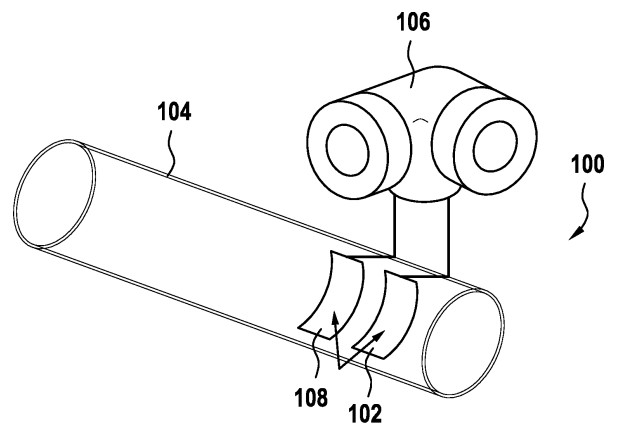
US 2014 / 0 182 382 A1

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Ultraschallwandler, Ultraschalldurchflussmesser und Verfahren zum Herstellen eines Ultraschallwandlers**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen Ultraschallwandler (102) mit einer ersten Elektrodenlage, einer auf der ersten Elektrodenlage angeordneten flexiblen Wandlerlage zum Wandeln einer elektrischen Spannung in Ultraschallwellen und/oder zum Wandeln von Ultraschallwellen in eine elektrische Spannung und einer zweiten Elektrodenlage, die an einer von der ersten Elektrodenlage abgewandten Seite der Wandlerlage angeordnet ist. Die Wandlerlage ist zumindest teilweise aus einem piezoelektrischen und/oder elektrostatisch aufladbaren Material gefertigt.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Ultraschallwandler, auf einen Ultraschalldurchflussmesser, auf ein Verfahren zum Herstellen eines Ultraschallwandlers, auf eine entsprechende Vorrichtung sowie auf ein entsprechendes Computerprogramm.

[0002] Durchfluss ist heute eine der wichtigsten Größen in der automatischen Prozesssteuerung. Die Durchflussmessung gewinnt durch die Weiterentwicklung der Durchflussmesstechnik für neue Anwendungsbereiche immer mehr an Bedeutung und betrifft täglich Wasser, Dampf, Druckluft, Erdgas, Erdöl, Lebensmittel, Chemikalien und Pharmazeutika in Millionen von Leitungen in der industriellen Produktion.

[0003] Ultraschallsysteme ermöglichen eine genaue und kostengünstige Durchflussmessung von außen, ohne Prozessunterbrechung. Die Durchflussmessung kann in beiden Fließrichtungen durchgeführt werden, wobei in der Regel keinerlei Druckverluste verursacht werden.

[0004] Übliche Systeme zur Volumendurchflussmessung mittels Ultraschall basieren beispielsweise auf piezokeramischen Ultraschallwandlern, die üblicherweise eine Bauhöhe von mehreren Millimetern aufweisen und als starre Gebilde realisiert sind. Ultraschallmesstechnik auf Basis piezokeramischer Wandler kann daher in der Regel nur an starren Leitungssystemen angebracht werden.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Vor diesem Hintergrund werden mit dem hier vorgestellten Ansatz ein Ultraschallwandler, ein Ultraschalldurchflussmesser, ein Verfahren zum Herstellen eines Ultraschallwandlers, weiterhin eine Vorrichtung, die dieses Verfahren verwendet, sowie schließlich ein entsprechendes Computerprogramm gemäß den Hauptansprüchen vorgestellt. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den jeweiligen Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung.

[0006] Der hier vorgeschlagene Ansatz schafft einen Ultraschallwandler mit folgenden Merkmalen: einer ersten Elektrodenlage; einer auf der ersten Elektrodenlage angeordneten flexiblen Wandlerlage zum Wandeln einer elektrischen Spannung in Ultraschallwellen und/oder zum Wandeln von Ultraschallwellen in eine elektrische Spannung, wobei die Wandlerlage zumindest teilweise aus einem piezoelektrischen und/oder elektrostatisch aufladbaren Material gefertigt ist; und

einer zweiten Elektrodenlage, die an einer von der ersten Elektrodenlage abgewandten Seite der Wandlerlage angeordnet ist.

[0007] Unter einem Ultraschallwandler kann ein Sensorelement verstanden werden, das der Umwandlung einer elektrischen Spannung in Ultraschallwellen sowie umgekehrt der Umwandlung von Ultraschallwellen in eine elektrische Spannung dient. Die Spannung kann insbesondere eine Wechselspannung sein. Unter einer ersten Elektrodenlage kann eine elektrisch leitfähige Lage zur Kontaktierung eines ersten Potenzialanschlusses verstanden werden. Unter einer zweiten Elektrodenlage kann eine elektrisch leitfähige Lage zur Kontaktierung eines zweiten Potenzialanschlusses verstanden werden. Beispielsweise können die Elektrodenlagen biegsame Metallelektroden sein. Die Wandlerlage kann beispielsweise auf der ersten Elektrodenlage aufliegen. Die zweite Elektrodenlage kann auf der Wandlerlage aufliegen oder auch beabstandet zur Wandlerlage angeordnet sein.

[0008] Unter einer flexiblen Lage kann in dieser vorliegend eine Schicht verstanden werden, die verformbar, insbesondere reversibel verformbar und/oder elastisch ist. Unter einer Wandlerlage kann eine dünne, biegsame Folie verstanden werden, die zumindest in Teilbereichen piezoelektrische Eigenschaften aufweist. Beispielsweise weist die Wandlerlage eine Dicke zwischen 0,01 mm und 1 mm auf. Alternativ oder zusätzlich kann die Folie zumindest in Teilbereichen elektrostatisch aufgeladen oder aufladbar sein. Ein elektrostatisch aufgeladenes oder aufladbares Material kann beispielsweise ein Elektret oder ein Piezoelektret sein. Je nach Ausführungsform kann die Wandlerlage beispielsweise aus einem elektrostatisch aufgeladenen Polymer als Elektret und, alternativ oder zusätzlich, aus einem piezoaktiven Polymer als piezoelektrischem Material gefertigt sein. Die Wandlerlage kann ausgebildet sein, um durch einfallende Ultraschallwellen zum Schwingen gebracht zu werden, wobei die Wandlerlage aufgrund einer damit einhergehenden Dickenänderung eine Wechselspannung erzeugen kann. Umgekehrt kann die Wandlerlage ausgebildet sein, um durch Anlegen einer Wechselspannung zum Schwingen gebracht zu werden und dadurch Ultraschallwellen zu erzeugen. Alternativ oder zusätzlich kann die Wandlerlage zusammen mit der ersten und der zweiten Elektrodenlage einen Plattenkondensator ausbilden, der als Ultraschallwandler fungiert. Dabei kann die zweite Elektrodenlage schwingbar an der Wandlerlage angeordnet sein. Beispielsweise kann die zweite Elektrodenlage zusätzlich mit einer geeigneten Schwingungsmembran mechanisch gekoppelt sein.

[0009] Der hier vorgestellte Ansatz beruht auf der Erkenntnis, dass es möglich ist, einen Ultraschallwandler mit einer biegsamen Folie als piezoelektri-

schem oder elektrostatisch aufgeladenem Element und somit mit einer möglichst flachen Bauform zu realisieren. Dadurch lässt sich der Ultraschallwandler an schwer zugänglichen Orten wie beispielsweise komplexen, eng bauenden Leitungssystemen in chemischen oder medizinischen Mikroreaktoren oder in Abfüll- oder Dosiervorrichtungen der Messtechnik einsetzen.

[0010] Neben der möglichen Verwendung in sehr kleinen Anlagen mit geringem Platzangebot, etwa Mikroreaktoren, die aufgrund ihrer im Vergleich zu konventionellen Reaktoren geringen Größe und der damit verbundenen Vorteile in der Analytik, der Verfahrenstechnik, aber auch in der Chemie und Biochemie Anwendung finden, kann ein solcher Ultraschallwandler auf Folienbasis aufgrund seiner Flexibilität auch auf flexiblen Leitungen angebracht werden.

[0011] Der Ultraschallwandler kann gemäß einer Ausführungsform mit einer flexiblen Trägerlage vorgesehen sein. Dabei kann die erste Elektrodenlage auf der Trägerlage angeordnet sein. Unter einer Trägerlage kann eine stabilisierende Lage aus einem dünnen, flexiblen Material wie etwa Kunststoff oder Papier verstanden werden. Die Trägerlage kann beispielsweise einseitig mit einem Klebstoff beschichtet sein. Mithilfe der Trägerlage kann der Ultraschallwandler wie ein Etikett sowohl auf starre Rohrleitungen als auch auf flexible Schläuche appliziert werden. Dabei bedeckt der Ultraschallwandler eine Oberfläche von nur wenigen Quadratzentimetern, beispielsweise zwischen 1 cm² und 10 cm². Eine Dicke des Ultraschallwandlers inklusive der Trägerschicht beträgt beispielsweise zwischen 1 mm und 5 mm. Somit weist der Ultraschallwandler eine im Wesentlichen vernachlässigbare räumliche Ausdehnung auf.

[0012] Ferner kann der Ultraschallwandler mit einer auf der zweiten Elektrodenlage aufliegenden Membran zum Ein- und/oder Auskoppeln der Ultraschallwellen vorgesehen sein. Unter einer Membran kann eine dünne, elastische Lage verstanden werden, die aufgrund ihrer Schwingungsfähigkeit zur Übertragung von Schallwellen, insbesondere von Ultraschallwellen, geeignet ist. Mithilfe der Membran kann die Leistungsfähigkeit des Ultraschallwandlers verbessert werden.

[0013] Es ist vorteilhaft, wenn die zweite Elektrodenlage in einem vorbestimmten Abstand zur Wandlerlage angeordnet ist, um einen Zwischenraum zwischen der zweiten Elektrodenlage und der Wandlerlage zu bilden. Unter einem Zwischenraum kann ein Luftspalt zwischen der zweiten Elektrodenlage und der Wandlerlage verstanden werden. Der Abstand sollte sehr gering sein und beispielsweise 5 µm, 10 µm, 30 µm oder 50 µm betragen. Durch den Zwischenraum wird eine Auslenkung der zweiten Elektrodenschicht ermöglicht.

[0014] Um den Zwischenraum gegenüber einer Außenumgebung des Ultraschallwandlers abzudichten, kann der Ultraschallwandler mit zumindest einem Dichtelement wie etwa einem Dichtring oder einer Dichtmasse vorgesehen sein. Das Dichtelement kann beispielsweise zwischen der ersten und der zweiten Elektrodenschicht angeordnet sein und gleichzeitig zur Abstützung der zweiten Elektrodenschicht dienen, um die zweite Elektrodenschicht in dem vorbestimmten Abstand zur Wandlerlage zu halten. Durch das Dichtelement kann der Ultraschallwandler im Bereich des Zwischenraums vor Umwelteinflüssen geschützt werden.

[0015] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann der Ultraschallwandler zumindest einen Abstandhalter aufweisen, der auf einer der zweiten Elektrodenlage zugewandten Seite der Wandlerlage angeordnet ist. Ein Abstandhalter kann ein an der Wandlerlage angebrachtes Distanzstück, etwa ein Plättchen oder ein Stift, sein. Durch den Abstandhalter kann verhindert werden, dass die zweite Elektrodenschicht im ausgelenkten Zustand die Wandlerlage berührt.

[0016] Vor Vorteil ist auch, wenn die Wandlerlage aus einem Kunststoff, insbesondere einem Polymer, gefertigt ist. Bei dem Polymer kann es sich etwa um ein piezoaktives Polymer oder ein elektrostatisch aufgeladenes Elektretpolymer handeln. Dadurch lässt sich der Ultraschallwandler besonders kostengünstig herstellen.

[0017] Der vorgeschlagene Ansatz schafft zudem einen Ultraschalldurchflussmesser mit zumindest einem Ultraschallwandler gemäß einer der hier beschriebenen Ausführungsformen. Unter einem Ultraschalldurchflussmesser kann im Allgemeinen ein Messgerät zum Messen eines Durchflusses eines Gases oder einer Flüssigkeit durch ein Rohr oder ein Gefäß verstanden werden. Ein Ultraschalldurchflusssensor auf Folienbasis gemäß dem vorgeschlagenen Ansatz bietet den Vorteil einer ultraflachen Bauweise, insbesondere wenn der Ultraschallwandler beispielsweise in Drucktechnik unter Verwendung piezoelektrischer Polymere oder sogenannter Elektrete auf dünnen flexiblen Materialien wie Kunststofffolien oder Papier als Trägerlage aufgebaut wird.

[0018] Der Ultraschalldurchflussmesser kann eine Manschette zum Umlegen um ein zu untersuchendes Körperteil aufweisen. Dabei kann der Ultraschallwandler in der Manschette angeordnet sein. Alternativ kann der Ultraschallwandler auch auf der Manschette oder bündig mit einer Oberfläche der Manschette angeordnet sein. Unter einem Körperteil kann beispielsweise ein Bein, ein Arm, eine Brust oder ein Bauch verstanden werden. Mithilfe der Manschette lässt sich der Ultraschalldurchflussmesser zur Ge-

fäßsonografie oder zur Herztonerfassung mit einem Herzton-Wehen-Schreiber verwenden.

[0019] Der Ultraschalldurchflussmesser kann zumindest eine Auswerteeinheit zum Auswerten von Daten des Ultraschallwandlers über eine vorbestimmte Zeitspanne aufweisen. Unter einer Auswerteeinheit kann eine Einheit zum Speichern, Verarbeiten und Auslesen der Daten des Ultraschallwandlers verstanden werden. Die Auswerteeinheit kann ausgebildet sein, um die Daten über eine vorbestimmte Zeitspanne von beispielsweise einer Stunde, 12 Stunden, 24 Stunden oder mehreren Tagen oder Wochen aufzuzeichnen. Beispielsweise kann der Ultraschallwandler mit einem Speicherchip als Auswerteeinheit versehen sein, wobei die Daten jeweils am Ende einer Messreihe ausgelesen werden können. Aufgrund der kompakten Bauform des Ultraschallwandlers lässt sich der Ultraschalldurchflussmesser bequem über längere Zeit am Körper tragen. Dadurch können medizinische Langzeituntersuchungen wie etwa Gefäßuntersuchungen mit deutlich verringertem Aufwand durchgeführt werden, da eine stationäre Aufnahme des Patienten in einer Arztpraxis oder einer Klinik entfallen kann.

[0020] Der hier vorgestellte Ansatz schafft ferner ein Verfahren zum Herstellen eines Ultraschallwandlers, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst: Bereitstellen einer flexiblen Wandlerlage zum Wandeln einer elektrischen Spannung in Ultraschallwellen und/oder zum Wandeln von Ultraschallwellen in eine elektrische Spannung, wobei die Wandlerlage zumindest teilweise aus einem piezoelektrischen und/oder elektrostatisch aufladbaren Material gefertigt ist, und/oder einer ersten Elektrodenlage und/oder einer zweiten Elektrodenlage; und Bilden eines Schichtverbunds aus der Wandlerlage, der ersten Elektrodenlage und der zweiten Elektrodenlage und/oder aus der Wandlerlage durch Aufbringen der ersten Elektrodenlage und der zweiten Elektrodenlage und/oder aus der ersten Elektrodenlage durch Aufbringen der Wandlerlage und der zweiten Elektrodenlage und/oder aus der zweiten Elektrodenlage durch Aufbringen der Wandlerlage und der ersten Elektrodenlage, wobei die Wandlerlage auf der ersten Elektrodenlage und die zweite Elektrodenlage an einer von der ersten Elektrodenlage abgewandten Seite der Wandlerlage angeordnet wird.

[0021] Gemäß einer Ausführungsform kann im Schritt des Bereitstellens ferner eine flexible Trägerlage bereitgestellt werden. Im Schritt des Bildens kann der Schichtverbund aus der Trägerlage, der Wandlerlage, der ersten Elektrodenlage und der zweiten Elektrodenlage gebildet werden. Zusätzlich oder alternativ kann der Schichtverbund aus der Trägerlage durch Aufbringen der Wandlerlage, der ersten Elektrodenlage und der zweiten Elektrodenlage, aus der Trägerlage und der ersten Elektrodenlage

durch Aufbringen der Wandlerlage und der zweiten Elektrodenlage oder aus der Trägerlage, der ersten Elektrodenlage und der Wandlerlage durch Aufbringen der zweiten Elektrodenlage gebildet werden. Der Schichtverbund kann so gebildet werden, dass die erste Elektrodenlage auf der Trägerlage angeordnet wird.

[0022] Auf diese Weise können in wenigen Verfahrensschritten mehrere Ultraschallwandler gleichzeitig nebeneinander auf der Trägerlage aufgebracht werden, etwa um einen Ultraschalldurchflussmesser in Form eines Sensorarrays herzustellen. Besonders kostengünstig lässt sich der Ultraschalldurchflussmesser herstellen, wenn der Schichtverbund in einem drucktechnischen Verfahren gebildet wird.

[0023] Der vorgestellte Ansatz schafft ferner eine Vorrichtung, die ausgebildet ist, um die Schritte einer Variante eines hier vorgestellten Verfahrens in entsprechenden Einrichtungen durchzuführen, anzusteuern bzw. umzusetzen. Auch durch diese Ausführungsvariante der Erfindung in Form einer Vorrichtung kann die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe schnell und effizient gelöst werden.

[0024] Unter einer Vorrichtung kann vorliegend ein elektrisches Gerät verstanden werden, das Signale verarbeitet und in Abhängigkeit davon Steuer- und/oder Datensignale ausgibt. Die Vorrichtung kann eine Schnittstelle aufweisen, die hard- und/oder softwaremäßig ausgebildet sein kann. Bei einer hardwaremäßigen Ausbildung können die Schnittstellen beispielsweise Teil eines sogenannten System-ASICs sein, der verschiedenste Funktionen der Vorrichtung beinhaltet. Es ist jedoch auch möglich, dass die Schnittstellen eigene, integrierte Schaltkreise sind oder zumindest teilweise aus diskreten Bauelementen bestehen. Bei einer softwaremäßigen Ausbildung können die Schnittstellen Softwaremodule sein, die beispielsweise auf einem Mikrocontroller neben anderen Softwaremodulen vorhanden sind.

[0025] Von Vorteil ist auch ein Computerprogrammprodukt oder Computerprogramm mit Programmcode, der auf einem maschinenlesbaren Träger oder Speichermedium wie einem Halbleiterspeicher, einem Festplattenspeicher oder einem optischen Speicher gespeichert sein kann und zur Durchführung, Umsetzung und/oder Ansteuerung der Schritte des Verfahrens nach einer der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen verwendet wird, insbesondere wenn das Programmprodukt oder Programm auf einem Computer oder einer Vorrichtung ausgeführt wird.

[0026] Der hier vorgestellte Ansatz wird nachstehend anhand der beigefügten Zeichnungen beispielhaft näher erläutert. Es zeigen:

[0027] Fig. 1 eine schematische dreidimensionale Darstellung eines Ultraschalldurchflussmessers gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0028] Fig. 2a, Fig. 2b, Fig. 2c schematische Darstellungen eines Ultraschallwandlers gemäß verschiedenen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung;

[0029] Fig. 3a, Fig. 3b schematische Darstellungen eines Ultraschallwandlers gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0030] Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Ultraschallwandlers gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

[0031] Fig. 5a, Fig. 5b, Fig. 5c schematische Darstellungen eines Ultraschalldurchflussmessers mit einer Mehrzahl von Ultraschallwandlern gemäß verschiedenen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung; und

[0032] Fig. 6 ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen eines Ultraschallwandlers gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung; und

[0033] Fig. 7 ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zum Durchführen eines Herstellungsverfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0034] In der nachfolgenden Beschreibung günstiger Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden für die in den verschiedenen Figuren dargestellten und ähnlich wirkenden Elemente gleiche oder ähnliche Bezugszeichen verwendet, wobei auf eine wiederholte Beschreibung dieser Elemente verzichtet wird.

[0035] Fig. 1 zeigt eine schematische dreidimensionale Darstellung eines Ultraschalldurchflussmessers **100** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Der Ultraschalldurchflussmesser **100** umfasst einen Ultraschallwandler **102**, der beispielhaft auf einem Teilabschnitt eines Rohrs **104** angebracht ist, um mithilfe von Ultraschallwellen einen Durchfluss eines flüssigen oder gasförmigen Mediums **105** in dem Rohr **104** zu messen. Der Ultraschallwandler **102** weist einen flexiblen Aufbau auf, der eine Anpassung des Ultraschallwandlers **102** an eine Krümmung des Rohrs **104** ermöglicht. Beispielsweise ist der Ultraschallwandler **102** auf das Rohr **104** aufgeklebt. In dem in Fig. 1 dargestellten Messaufbau weist der Ultraschallwandler **102** beispielhaft eine rechteckige Form auf. Der Ultraschalldurchflussmesser **100** kann auch als Folien-Ultraschalldurchflussmesser bezeichnet werden.

[0036] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel ist der Ultraschalldurchflussmesser **100** mit einem Durchflusszähler als Auswerteeinheit **106** ausgeführt, der mit dem Ultraschallwandler **102** gekoppelt ist, um den Durchfluss durch das Rohr **104** anzuzeigen.

[0037] Der in Fig. 1 gezeigte Ultraschalldurchflussmesser **100** umfasst ferner einen weiteren Ultraschallwandler **108**, der in geringem Abstand zum Ultraschallwandler **102** an dem Rohr **104** angebracht ist. Der weitere Ultraschallwandler **108** ist ebenfalls mit der Auswerteeinheit **106** verbunden.

[0038] Beispielhaft ist der Ultraschallwandler **102** angeordnet, um Ultraschallwellen zu erfassen, die von dem weiteren Ultraschallwandler **108** ausgesendet und an einer Innenwandfläche des Rohrs **104** reflektiert werden. Analog dazu ist der weitere Ultraschallwandler **108** angeordnet, um Ultraschallwellen zu erfassen, die von dem Ultraschallwandler **102** ausgesendet und an der Innenwandfläche reflektiert werden. Eine jeweilige Strecke der von den beiden Ultraschallwandlern **102**, **108** ausgesendeten Ultraschallwellen ist schematisch mit zwei Pfeilen markiert.

[0039] Die Fig. 2a bis Fig. 2c zeigen schematische Darstellungen eines Ultraschallwandlers **102** gemäß verschiedenen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung. Bei dem Ultraschallwandler **102** handelt es sich beispielsweise um einen Ultraschallwandler, wie er anhand von Fig. 1 beschrieben ist. Der Ultraschallwandler **102** weist einen schichtartigen Aufbau mit einer ersten Elektrodenlage **200** und eine der ersten Elektrodenlage **200** gegenüberliegend angeordneten zweiten Elektrodenlage **202**. Die beiden Elektrodenlagen **200**, **202** sind beispielsweise als flexible Metallelektroden realisiert. Zwischen den Elektrodenlagen **200**, **202** ist eine flexible Wandlerlage **204** angeordnet, die jeweils auf der ersten Elektrodenlage **202** aufliegt. Die Wandlerlage **204** ist zumindest teilweise aus einem piezoelektrischen Material gefertigt. Je nach Ausführungsform ist die Wandlerlage **204** alternativ oder zusätzlich aus einem elektrostatisch aufgeladenen oder aufladbaren Material gefertigt.

[0040] In allen drei Figuren weist der Ultraschallwandler **102** zusätzlich eine Trägerlage **206** auf, auf der jeweils die erste Elektrodenlage **200** aufliegt. Die Trägerlage **206** dient der Stabilisierung des Ultraschallwandlers **102** und ist ähnlich wie die Wandlerlage **204** aus einem flexiblen Material, beispielsweise Kunststoff oder Papier, gefertigt. Ferner ist die zweite Elektrodenlage **202** mit einer Membran **207** bedeckt, die dem Ein- und Auskoppeln von Ultraschallwellen dient. Aufgrund des folienbasierten Aufbaus ist der Ultraschallwandler **102** als Ganzes elastisch biegsam.

[0041] In Fig. 2a ist die zweite Elektrodenlage **202** in einem geringen Abstand zur Wandlerlage **204** angeordnet, sodass sich zwischen der Wandlerlage **202** und der zweiten Elektrodenlage **202** ein Luftspalt als Zwischenraum **208** ergibt. Die Wandlerlage **204** ist als Elektret realisiert. Die zweite Elektrodenlage **202** liegt auf einem Dichtelement **210** auf, das auf der Trägerlage **206** angeordnet ist, um den Zwischenraum **208** gegenüber einer Außenumgebung des Ultraschallwandlers **102** abzudichten. Die Wandlerlage **204** und die erste Elektrodenlage **200** sind innerhalb eines von dem Dichtelement **210** begrenzten Bereichs angeordnet. Beispielfhaft weisen die Wandlerlage **204** und die erste Elektrodenlage **200** je eine geringere Breite als die zweite Elektrodenlage **202** mit der darauf befindlichen Membran **207** auf. Zusätzlich ist auf einer der zweiten Elektrodenlage **202** zugewandten Oberfläche der Wandlerlage **204** eine Vielzahl von Abstandhaltern **212** angeordnet, die dazu dienen, eine Berührung der Wandlerlage **204** und der zweiten Elektrodenlage **202** zu verhindern.

[0042] In den Fig. 2b und Fig. 2c liegt die zweite Elektrodenlage **202** direkt auf der Wandlerlage **204** auf. Die Trägerlage **206**, die erste Elektrodenlage **200**, die Wandlerlage **204**, die zweite Elektrodenlage **202** und die Membran **207** bilden somit einen kompakten Schichtverbund ohne Zwischenräume. In Fig. 2b ist die Wandlerlage **204** als Piezoelektret realisiert.

[0043] In Fig. 2c sind die Elektrodenlagen **200**, **202** durch einen piezoelektrischen Polymerfilm als Wandlerlage **204**, beispielsweise aus Polyvinylidenfluorid, voneinander getrennt.

[0044] Gemäß den in den Fig. 2a bis Fig. 2c gezeigten Ausführungsbeispielen ist die erste Elektrodenlage **200** mit einem ersten Potenzialanschluss **214** und die zweite Elektrodenlage **202** mit einem zweiten Potenzialanschluss **216** kontaktiert, wobei die Potenzialanschlüsse **214**, **216** je von einer Wechselspannungsquelle **218** gespeist sind. In Fig. 2a sind die Elektrodenlagen **200**, **202** beispielhaft durch die Trägerlage **206** mit den Potenzialanschlüssen **214**, **216** kontaktiert. Dabei kann die zweite Elektrodenlage **202** zusätzlich über das Dichtelement **210** mit dem zweiten Potenzialanschluss **216** kontaktiert sein.

[0045] Durch Anlegen einer Wechselspannung an die Elektrodenlagen **200**, **202** wird die auf der zweiten Elektrodenlage **202** befindliche Membran **207** jeweils mittels der Wandlerlage **204** in hochfrequente Schwingungen versetzt, die sich in Form von Ultraschallwellen ausgehend von der Membran **207** ausbreiten. Analog wird umgekehrt in der Wandlerlage **204** eine Wechselspannung erzeugt, wenn die Membran **207** durch auf sie eintreffende Ultraschallwellen in hochfrequente Schwingungen versetzt wird.

[0046] Je nach Ausführungsform kann der Ultraschallwandler **102**, auch Folien-Ultraschallwandler genannt, prinzipiell auf zwei Arten aufgebaut sein.

[0047] Zum einen kann der Ultraschallwandler **102** mit einem piezoaktiven Polymer als Wandlerlage **204** realisiert sein, wie in Fig. 2c gezeigt. Das piezoaktive Polymer, beispielsweise Polyvinylidenfluorid (PVDF) oder das Copolymer Polyvinylidenfluorid-Trifluorethylen (P(VDF-TrFE)), ist in Form einer Folie beidseitig mit einer Metallelektrode **200**, **202** zur elektrischen Kontaktierung versehen. Durch Anlegen einer elektrischen Spannung dehnt sich das piezoaktive Polymer aus. Bei Anlegen einer hochfrequenten Wechselspannung führt das Material eine hochfrequente Dickenschwingung aus, die eine Ultraschallwelle erzeugt. Umgekehrt erzeugt eine auf die Folie **204** auftreffende Ultraschallwelle eine Dickenschwingung, die im Material eine Wechselspannung in entsprechender Frequenz, d. h. das Signal der Ultraschallmessung, erzeugt.

[0048] Zum anderen kann der Ultraschallwandler **102** als Elektretwandler ausgeführt sein, wie in Fig. 2a gezeigt. Elektrete sind Materialien, die dauerhaft elektrische Ladungsträger speichern können. Geeignete Materialien für eine als Elektret realisierte Wandlerlage **204** sind unter anderem Fluorpolymere, die als dünne, flexible Folien oder auch als Polymerlösungen verfügbar sind. Wird die Wandlerlage **204** elektrostatisch aufgeladen und ist dabei eine elastische, schwingungsfähige Membran **207** in definiertem Abstand zur aufgeladenen Wandlerlage **204** angeordnet, so wird ein Kondensator gebildet, der bei Anlegen einer Wechselspannung die elastische Membran **207** in Schwingung versetzt und bei Anlegen einer entsprechend hochfrequenten Wechselspannung eine Ultraschallwelle aussendet. Umgekehrt erzeugt eine auf die Membran **207** treffende Ultraschallwelle eine Wechselspannung in entsprechender Frequenz, die das Signal der Ultraschallmessung repräsentiert.

[0049] Ein Sensoraufbau des Ultraschallwandlers **102** beruht grundsätzlich darauf, dass durch Anlegen einer hochfrequenten Wechselspannung die Membran **207** in Schwingung versetzt wird und dabei Ultraschall erzeugt. Je nach Ausführungsform wird diese Schwingung durch die Wandlerlage **204** entweder durch einen Piezoeffekt, etwa unter Verwendung eines piezoaktiven Polymers wie Polyvinylidenfluorid, Polyvinylidenfluorid-Trifluoroethylen oder Poly-3,4-ethylendioxythiophen:Polystyrensulfonat (PEDOT:PSS), oder durch elektrostatische Kräfte, etwa unter Verwendung eines Elektrets wie elektrostatisch aufgeladene Polymere, z. B. Polytetrafluorethylen (PTFE), Perfluorethylenpropylen (FEP) oder Perfluoralkoxy-Polymere (PFA), oder auch unter Verwendung eines Piezoelektrets wie beispielsweise Emfit erzeugt.

[0050] Die Fig. 3a und Fig. 3b zeigen schematische Darstellungen eines Ultraschallwandlers **102** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Der Ultraschallwandler **102** entspricht dem in Fig. 2c gezeigten Ultraschallwandler. In Fig. 3a ist der Ultraschallwandler **102** in einem Ruhezustand gezeigt. Dabei liegt keine Wechselspannung an den Elektrodenlagen **200**, **202** an. In Fig. 3b liegt eine Wechselspannung an den Elektrodenlagen **200**, **202** an. Wie vorangehend beschrieben, ändert die Wandlerlage **204** alternierend ihre Dicke in Abhängigkeit von einer Frequenz der Wechselspannung. Dadurch werden Ultraschallschwingungen erzeugt. Eine Polarisationsrichtung in der Wandlerlage **204** ist jeweils mit Pfeilen gekennzeichnet.

[0051] Fig. 4 zeigt eine schematische Darstellung eines Ultraschallwandlers **102** gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Der Ultraschallwandler **102** entspricht im Wesentlichen dem in Fig. 2a gezeigten Ultraschallwandler, mit dem Unterschied, dass ein Verbund aus der ersten Elektrodenlage **200** und der Trägerlage **206** horizontal versetzt zu einem Verbund aus der zweiten Elektrodenlage **202** und der Membran **207** angeordnet ist.

[0052] Die Fig. 5a bis Fig. 5c zeigen schematische Darstellungen eines Ultraschalldurchflussmessers **100** mit einer Mehrzahl von Ultraschallwandlern **102** gemäß verschiedenen Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung. Lediglich beispielhaft sind verschiedene Anordnungen von Sensorelementen in einem Sensorarray mit 18 Ultraschallwandlern **102** als Einzelelementen dargestellt. Der Ultraschalldurchflussmesser **100** ist beispielsweise als ultraplatter Ultraschalldurchflusssensor in Drucktechnologie hergestellt. Im Gegensatz zu dem anhand von Fig. 1 beschriebenen Ultraschalldurchflussmesser sind die Mehrzahl der Ultraschallwandler **102** auf einer gemeinsamen Trägerfolie, hier der Trägerlage **206**, zu dem Sensorarray kombiniert. In Fig. 5a sind die Ultraschallwandler **102** in einer Reihe hintereinander angeordnet. In Fig. 5b sind die Ultraschallwandler **102** in drei Reihen und sechs Spalten arrangiert. In Fig. 5c sind die Ultraschallwandler **102** als Teil einer flexiblen Manschette **500** realisiert, die ausgeformt ist, um beispielsweise um einen Oberarm, ein Bein, einen Bauch oder einen sonstigen Körperteil gelegt zu werden. Das Sensorarray mit den Ultraschallwandlern **102** ist hier beispielhaft auf der Manschette **500** angeordnet. Dabei sind die Ultraschallwandler **102** in gleicher Weise wie in Fig. 5b angeordnet. Alternativ können die Ultraschallwandler **102** zusammen mit der Trägerlage **206** in die Manschette **500** eingearbeitet sein. Dabei kann die Trägerlage **206** als die Manschette **500** fungieren.

[0053] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel weist die Manschette **500** einen ersten Manschettenanschluss **502** und einen zweiten Manschettenan-

schluss **504** auf, die mit den jeweiligen Elektrodenlagen der Ultraschallwandler **102** kontaktiert sind. An die Manschettenanschlüsse **502**, **504** ist die Auswerteeinheit **106** angeschlossen, die eine Auswertelektronik umfasst und beispielsweise gleichzeitig als Wechselspannungsquelle dient. In Fig. 5c ist die Auswerteeinheit **106** beispielhaft als ein externes, mobiles Gerät dargestellt. Alternativ kann die Auswerteeinheit **106** in entsprechend verkleinerter Form, etwa als Speicherchip, auch in die Manschette **500** integriert sein. Die Auswerteeinheit **106** dient hier dem Speichern und Auslesen von Daten des Sensorarrays, die einen gemessenen Durchfluss durch das betreffende Körperteil repräsentieren. Beispielsweise ist die Auswerteeinheit **106** ausgebildet, um zum Durchführen von Langzeitmessungen über mehrere Stunden, Tage oder Wochen zusammen mit der Manschette **500** am Körper getragen zu werden.

[0054] Die Manschette **500** ist beispielsweise ähnlich einer Manschette eines Blutdruckmessgeräts ausgeführt. Durch einen dünnen Hydrogelfilm zwischen Manschette **500** und Haut kann eine gute Einkopplung des Ultraschalls gewährleistet werden.

[0055] Der Ultraschalldurchflussmesser **100** weist beispielsweise einen Frequenzbereich zwischen 1 MHz und 40 MHz sowie eine Leistung von 100 mW/cm² auf.

[0056] Geeignete Anwendungen in der Medizintechnik durch Anbringen des Ultraschalldurchflussmessers **100** am Körper sind beispielsweise Gefäßuntersuchungen in der Gefäßsonografie, Langzeittests oder die Langzeitüberwachung bei Schlaganfallpatienten oder bei Trombosegefahr, insbesondere bei älteren oder körperlich eingeschränkten Patienten, die Langzeitüberwachung kindlicher Herztöne während der Schwangerschaft, die endobronchiale Ultraschalldiagnostik (EBUS) von Lungenkarzinomen, Lymphomen oder anderer unklarer Lymphadenopathien sowie die Langzeitüberwachung von Risikopatienten zur Früherkennung.

[0057] Fig. 6 zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens **600** zum Herstellen eines Ultraschallwandlers gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Zunächst wird in einem Schritt **602** eine flexible Wandlerlage zum Wandeln einer elektrischen Spannung in Ultraschallwellen und/oder zum Wandeln von Ultraschallwellen in eine elektrische Spannung bereitgestellt, wobei die Wandlerlage zumindest teilweise aus einem piezoelektrischen und/oder elektrostatisch aufladbaren Material gefertigt ist. Je nach Ausführungsform wird zusätzlich oder alternativ eine erste Elektrodenlage oder eine zweite Elektrodenlage bereitgestellt.

[0058] In einem weiteren Schritt **604** wird ein Schichtverbund aus der Wandlerlage, der ersten

Elektrodenlage und der zweiten Elektrodenlage gebildet. Alternativ wird der Schichtverbund aus der Wandlerlage durch Aufbringen der ersten Elektrodenlage und der zweiten Elektrodenlage, aus der ersten Elektrodenlage durch Aufbringen der Wandlerlage und der zweiten Elektrodenlage oder aus der zweiten Elektrodenlage durch Aufbringen der Wandlerlage und der ersten Elektrodenlage gebildet. Das Bilden erfolgt so, dass die Wandlerlage auf der ersten Elektrodenlage und die zweite Elektrodenlage an einer von der ersten Elektrodenlage abgewandten Seite der Wandlerlage angeordnet wird.

[0059] Gemäß einem Ausführungsbeispiel wird im Schritt **602** zusätzlich eine flexible Trägerlage bereitgestellt. Entsprechend wird im Schritt **604** der Schichtverbund aus der Trägerlage, der Wandlerlage, der ersten Elektrodenlage und der zweiten Elektrodenlage gebildet. Alternativ wird der Schichtverbund aus der Trägerlage durch Aufbringen der Wandlerlage, der ersten Elektrodenlage und der zweiten Elektrodenlage, aus der Trägerlage und der ersten Elektrodenlage durch Aufbringen der Wandlerlage und der zweiten Elektrodenlage oder aus der Trägerlage, der ersten Elektrodenlage und der Wandlerlage durch Aufbringen der zweiten Elektrodenlage gebildet. Der Fertigungsschritt des Aufbringens wird beispielsweise in einem Druckverfahren durchgeführt.

[0060] Fig. 7 zeigt ein Blockschaltbild einer Vorrichtung **700** zum Durchführen eines Herstellungsverfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Die Vorrichtung dient beispielsweise der Durchführung eines Verfahrens zum Herstellen eines Ultraschallwandlers, wie es anhand von Fig. 6 beschrieben ist. Dazu umfasst die Vorrichtung **700** eine Einheit **702**, die ausgebildet ist, um einen Verfahrensschritt zum Bereitstellen der Wandlerlage, der ersten Elektrodenlage oder der zweiten Elektrodenlage durchzuführen, sowie eine Einheit **704**, die ausgebildet ist, um ansprechend auf die Durchführung des Verfahrensschritts zum Bereitstellen einen Verfahrensschritt zum Bilden eines Schichtverbunds zumindest aus der Wandlerlage und den beiden Elektrodenlagen durchzuführen.

[0061] Die beschriebenen und in den Figuren gezeigten Ausführungsbeispiele sind nur beispielhaft gewählt. Unterschiedliche Ausführungsbeispiele können vollständig oder in Bezug auf einzelne Merkmale miteinander kombiniert werden. Auch kann ein Ausführungsbeispiel durch Merkmale eines weiteren Ausführungsbeispiels ergänzt werden.

[0062] Ferner können die hier vorgestellten Verfahrensschritte wiederholt sowie in einer anderen als in der beschriebenen Reihenfolge ausgeführt werden.

[0063] Umfasst ein Ausführungsbeispiel eine „und/oder“-Verknüpfung zwischen einem ersten Merkmal

und einem zweiten Merkmal, so ist dies so zu lesen, dass das Ausführungsbeispiel gemäß einer Ausführungsform sowohl das erste Merkmal als auch das zweite Merkmal und gemäß einer weiteren Ausführungsform entweder nur das erste Merkmal oder nur das zweite Merkmal aufweist.

Patentansprüche

1. Ultraschallwandler (**102**) mit folgenden Merkmalen:

einer ersten Elektrodenlage (**200**);
einer auf der ersten Elektrodenlage (**200**) angeordneten flexiblen Wandlerlage (**204**) zum Wandeln einer elektrischen Spannung in Ultraschallwellen und/oder zum Wandeln von Ultraschallwellen in eine elektrische Spannung, wobei die Wandlerlage (**204**) zumindest teilweise aus einem piezoelektrischen und/oder elektrostatisch aufladbaren Material gefertigt ist; und
einer zweiten Elektrodenlage (**202**), die an einer von der ersten Elektrodenlage (**200**) abgewandten Seite der Wandlerlage (**204**) angeordnet ist.

2. Ultraschallwandler (**102**) gemäß Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine flexible Trägerlage (**206**), wobei die erste Elektrodenlage (**200**) auf der Trägerlage (**206**) angeordnet ist.

3. Ultraschallwandler (**102**) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, gekennzeichnet durch eine auf der zweiten Elektrodenlage (**202**) aufliegende Membran (**207**) zum Ein- und/oder Auskoppeln der Ultraschallwellen.

4. Ultraschallwandler (**102**) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Elektrodenlage (**202**) in einem vorbestimmten Abstand zur Wandlerlage (**204**) angeordnet ist, um einen Zwischenraum (**208**) zwischen der zweiten Elektrodenlage (**202**) und der Wandlerlage (**204**) zu bilden.

5. Ultraschallwandler (**102**) gemäß Anspruch 4, gekennzeichnet durch zumindest ein Dichtelement (**210**) zum Abdichten des Zwischenraums (**208**) gegenüber einer Außenumgebung des Ultraschallwandlers (**102**).

6. Ultraschallwandler (**102**) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, gekennzeichnet durch zumindest ein Abstandhalter (**212**), der auf einer der zweiten Elektrodenlage (**202**) zugewandten Seite der Wandlerlage (**204**) angeordnet ist.

7. Ultraschallwandler (**102**) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wandlerlage (**204**) aus einem Kunststoff, insbesondere einem Polymer, gefertigt ist.

8. Ultraschalldurchflussmesser (100) mit zumindest einem Ultraschallwandler (102) gemäß einem der vorangegangenen Ansprüche.

9. Ultraschalldurchflussmesser (100) gemäß Anspruch 8, gekennzeichnet durch eine Manschette (500) zum Umlegen um ein zu untersuchendes Körperteil, wobei der Ultraschallwandler (102) in und/oder an der Manschette (500) angeordnet ist.

10. Ultraschalldurchflussmesser (100) gemäß Anspruch 8 oder 9, gekennzeichnet durch zumindest eine Auswerteeinheit (106) zum Auswerten von Daten des Ultraschallwandlers (102) über eine vorbestimmte Zeitspanne.

11. Verfahren (600) zum Herstellen eines Ultraschallwandlers (102), wobei das Verfahren (600) folgende Schritte umfasst:

Bereitstellen (602) einer flexiblen Wandlerlage (204) zum Wandeln einer elektrischen Spannung in Ultraschallwellen und/oder zum Wandeln von Ultraschallwellen in eine elektrische Spannung, wobei die Wandlerlage (204) zumindest teilweise aus einem piezoelektrischen und/oder elektrostatisch aufladbaren Material gefertigt ist, und/oder einer ersten Elektrodenlage (200) und/oder einer zweiten Elektrodenlage (202); und

Bilden (604) eines Schichtverbunds aus der Wandlerlage (204), der ersten Elektrodenlage (200) und der zweiten Elektrodenlage (202) und/oder aus der Wandlerlage (204) durch Aufbringen der ersten Elektrodenlage (200) und der zweiten Elektrodenlage (202) und/oder aus der ersten Elektrodenlage (200) durch Aufbringen der Wandlerlage (204) und der zweiten Elektrodenlage (202) und/oder aus der zweiten Elektrodenlage (202) durch Aufbringen der Wandlerlage (204) und der ersten Elektrodenlage (200), wobei die Wandlerlage (204) auf der ersten Elektrodenlage (200) und die zweite Elektrodenlage (202) an einer von der ersten Elektrodenlage (200) abgewandten Seite der Wandlerlage (204) angeordnet wird.

12. Verfahren (600), gemäß Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Schritt des Bereitstellens (602) ferner eine flexible Trägerlage (206) bereitgestellt wird, wobei im Schritt des Bildens (604) der Schichtverbund aus der Trägerlage (206), der Wandlerlage (204), der ersten Elektrodenlage (200) und der zweiten Elektrodenlage (202) und/oder aus der Trägerlage (206) durch Aufbringen der Wandlerlage (204), der ersten Elektrodenlage (200) und der zweiten Elektrodenlage (202) und/oder aus der Trägerlage (206) und der ersten Elektrodenlage (200) durch Aufbringen der Wandlerlage (204) und der zweiten Elektrodenlage (202) und/oder aus der Trägerlage (206), der ersten Elektrodenlage (200) und der Wandlerlage (204) durch Aufbringen der zweiten Elektrodenlage (202) gebildet wird, wobei die erste

Elektrodenlage (200) auf der Trägerlage (206) angeordnet wird, insbesondere wobei der Schichtverbund in einem Druckverfahren gebildet wird.

13. Vorrichtung (700), die ausgebildet ist, um alle Schritte eines Verfahrens (600) gemäß Anspruch 11 oder 12 durchzuführen und/oder anzusteuern.

14. Computerprogramm, das dazu eingerichtet ist, alle Schritte eines Verfahrens (600) gemäß Anspruch 11 oder 12 durchzuführen und/oder anzusteuern.

15. Maschinenlesbares Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm nach Anspruch 14.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

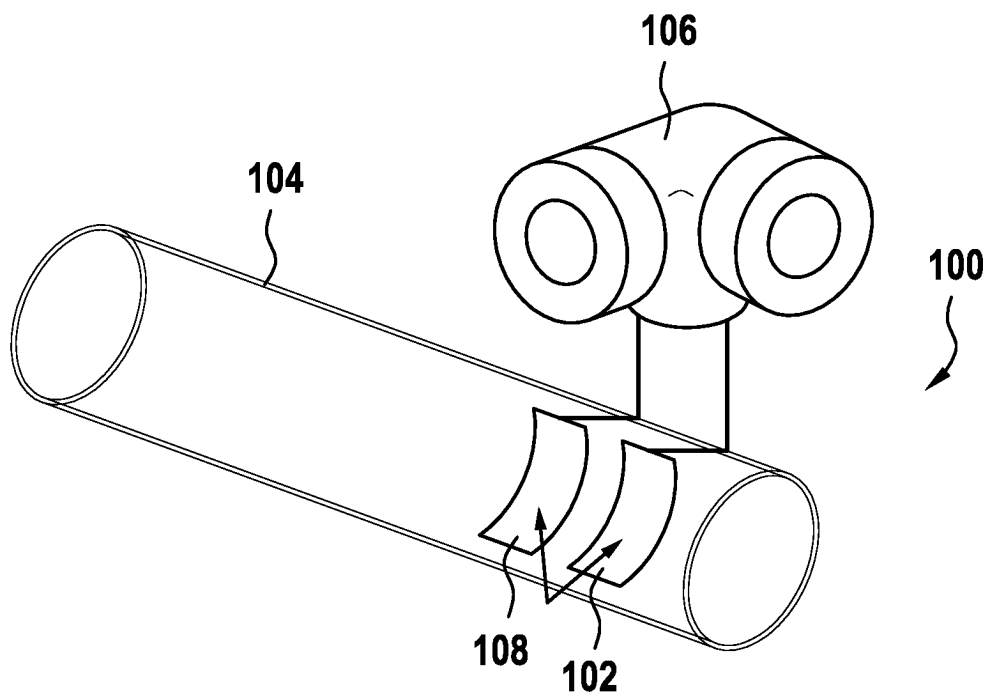


Fig. 2a

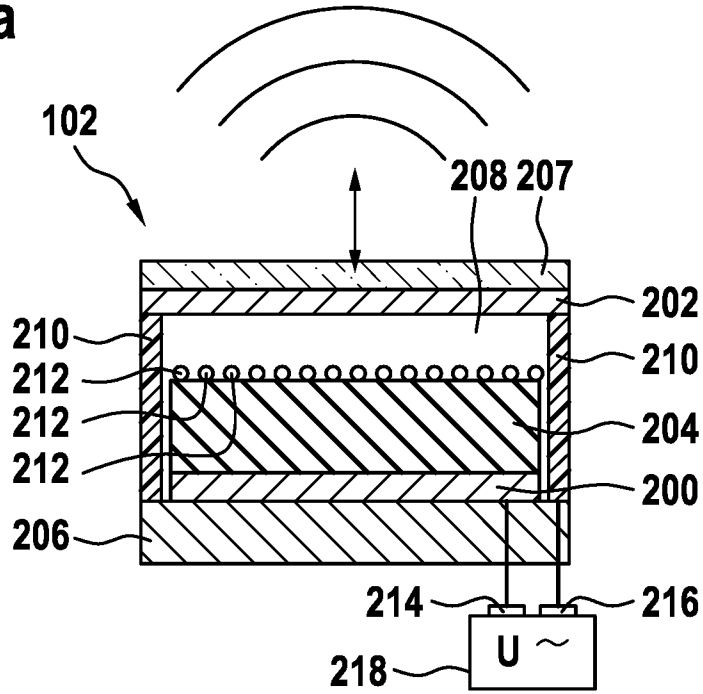


Fig. 2b

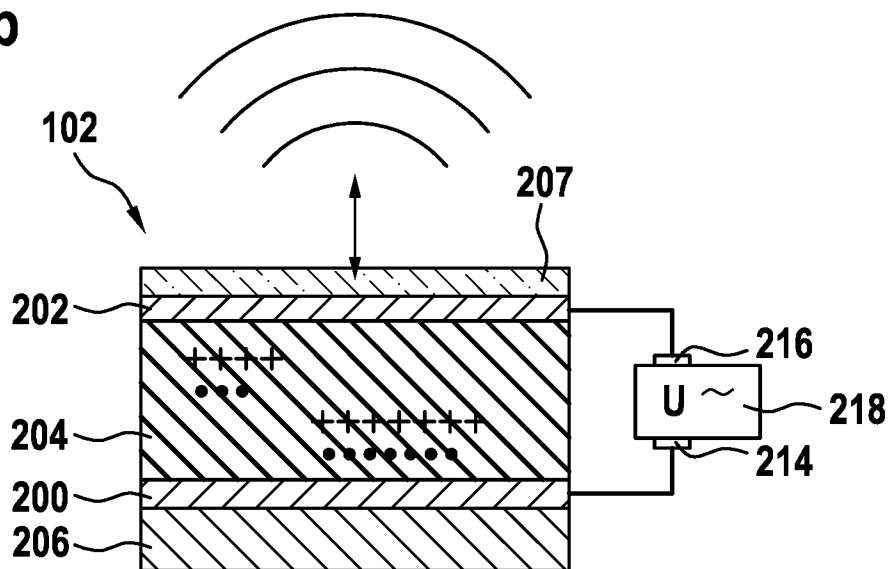


Fig. 2c

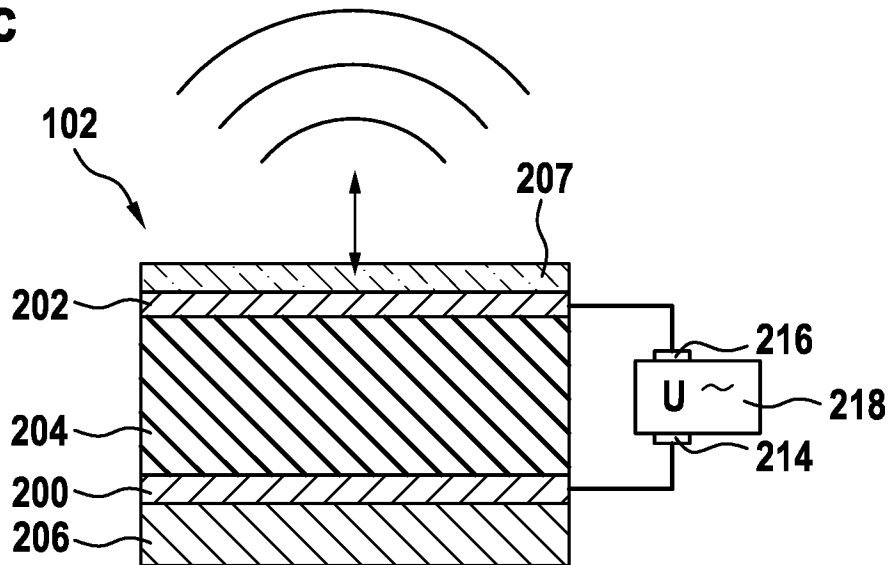


Fig. 3a

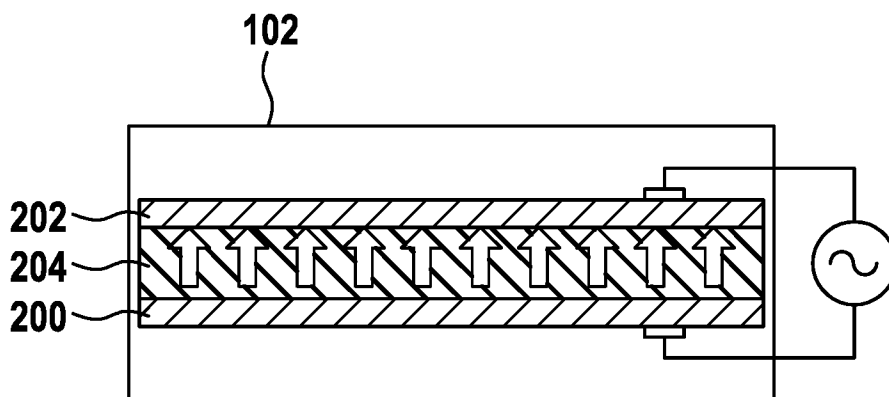


Fig. 3b

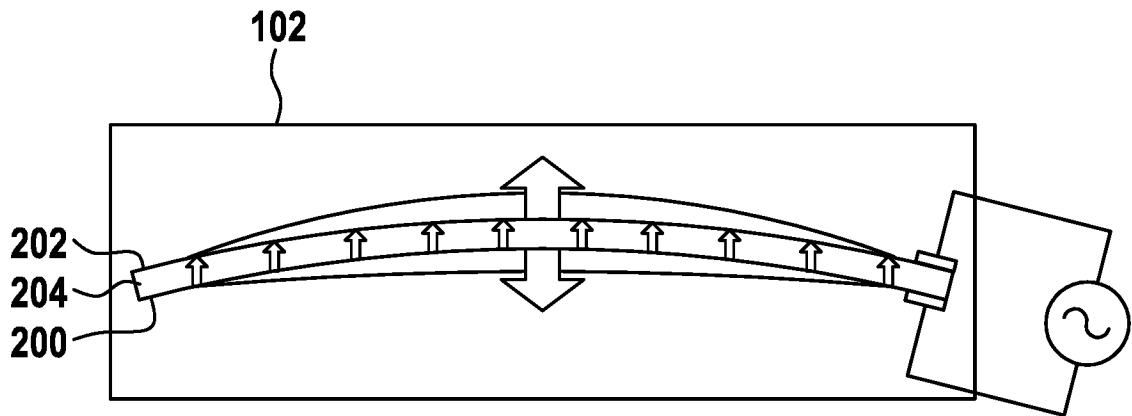


Fig. 4

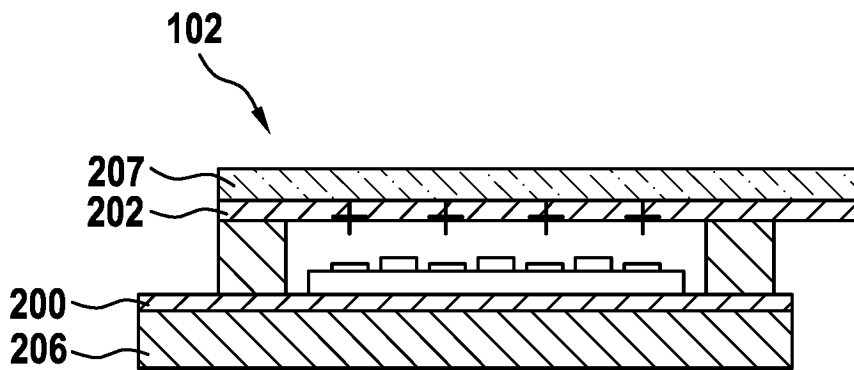


Fig. 5a

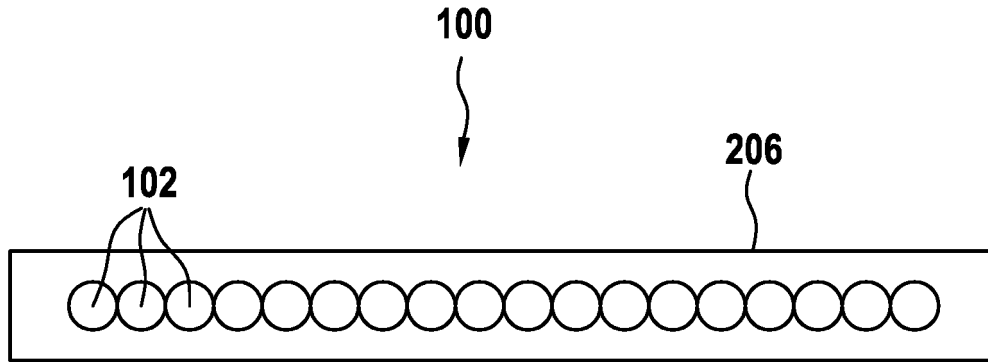


Fig. 5b

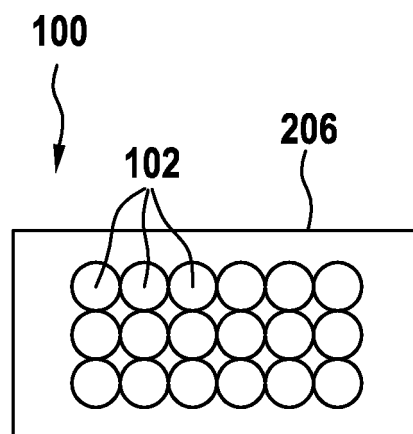


Fig. 5c

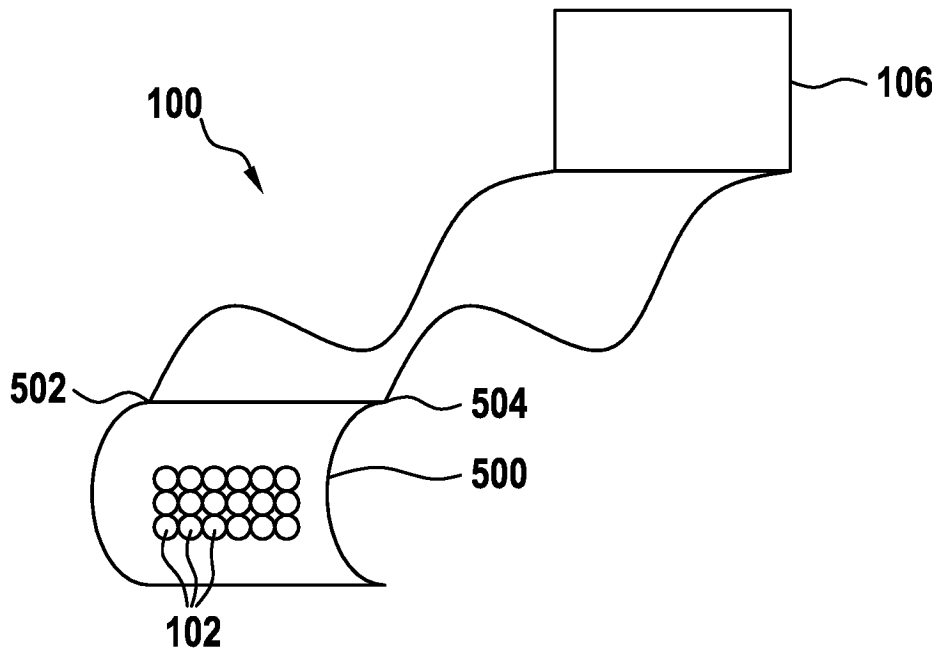


Fig. 6

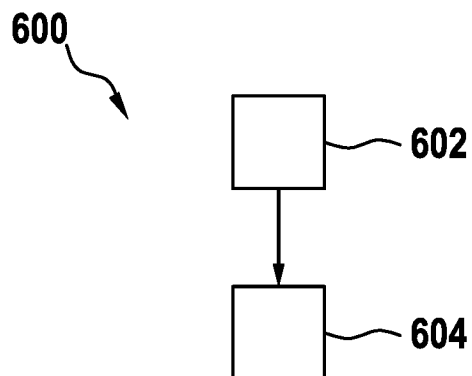


Fig. 7

