



(10) **DE 10 2010 049 301 A1** 2012.04.26

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 049 301.5**

(22) Anmeldetag: **22.10.2010**

(43) Offenlegungstag: **26.04.2012**

(51) Int Cl.: **H01L 41/047** (2006.01)

H01L 41/193 (2006.01)

H01L 41/083 (2006.01)

H02N 2/02 (2006.01)

F03G 7/08 (2006.01)

F16F 15/03 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80686, München,
DE**

(72) Erfinder:

**Kaal, William, Dipl.-Ing., 64293, Darmstadt, DE;
Herold, Sven, Dr.-Ing., 64823, Groß-Umstadt, DE;
Melz, Tobias, Dr.-Ing., 64285, Darmstadt, DE**

(74) Vertreter:

Rösler, Uwe, 81241, München, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US 6 543 110 B1

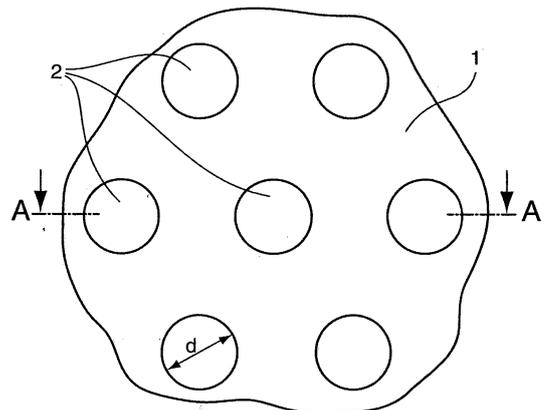
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Elektroaktiver Elastomerwandler**

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird ein elektroaktiver Elastomerwandler mit wenigstens einer elektroaktiven Elastomerschicht, die eine Ober- und Unterseite aufweist, sowie einem mit der Oberseite und einem mit der Unterseite zumindest bereichsweise flächig verbundenen, elektrisch leitfähigen Elektrodenkörper.

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die Elektrodenkörper jeweils eine der Elastomerschicht zugewandte Elektrodenoberfläche besitzen, in der wenigstens eine Ausnehmung vorhanden ist, der ein Flächenbereich zuordenbar ist, in dem kein Flächenverbund zwischen der Elastomerschicht und dem Elektrodenkörper besteht.



Beschreibung**Stand der Technik**

Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf einen elektroaktiven Elastomerwandler mit wenigstens einer elektroaktiven Elastomerschicht, die eine Ober- und Unterseite aufweist, sowie einem mit der Oberseite und einem mit der Unterseite zumindest bereichsweise flächig verbundenen, elektrisch leitfähigen Elektrodenkörper.

[0002] Elektroaktive Elastomerwandler sehen wenigstens zwei voneinander beabstandete, zumeist schichtförmig ausgebildete Elektrodenkörper vor, zwischen denen eine Schicht aus dielektrischem Elastomer eingebracht ist, das über sehr große Dehnungseigenschaften, typischerweise von über 300% verfügt. Sehr häufig sind derartige Elastomerwandler in Form eines Mehrschichtstapelverbundes aufgebaut, der sich aus einer Vielzahl von Elastomer- und Elektroden-schichten in jeweils abwechselnde Schichtabfolge zusammensetzt. In dem Stapelverbund befinden sich somit die aus dielektrischen Elastomer-material bestehenden Elastomerschichten jeweils in einem Flächenverbund zwischen je zwei Elektroden-schichten und bilden einen kapazitiven Stapelverbund. Durch Anlegen einer geeignet gewählten elektrischen Spannung an die Elektroden-schichten wirken zwischen den Elektroden-schichten anziehende elektrostatische Kräfte, durch die die Elastomerschichten, insbesondere in Dickenrichtung komprimiert werden. Durch den stapelförmigen Wandleraufbau summieren sich die Dickenänderungen aller im Mehrschichtstapelverbund vorgesehenen Elastomerschichten zu einer aktorisch nutzbaren Stellwegänderung. Andererseits führt eine mechanische Deformation eines derartigen Mehrschichtstapelverbundes in Dickenrichtung der einzelnen Elastomerschichten zu einer Kapazitätsänderung des kapazitiven Stapelverbundes, die der elektrischen Energieerzeugung bzw. eines elektrischen Signalabgriffes dient.

[0003] Derartige auf dem so genannten Maxwell'schen Spannungseffekt beruhende Elastomerwandler nutzen inkompressible Elastomere, die sich bei zwanghaften Formänderungen je nach Formgebung und Ausdehnungsmöglichkeiten mit gleich bleibendem Eigenvolumen deformieren. Um dem lateralen, d. h. in Flächenlängserstreckung orientierten Ausdehnungsvermögen von Elastomerschichten innerhalb eines Mehrschichtstapelverbundes Rechnung zu tragen, verfügen die eingesetzten Elektroden-schichten, die sich jeweils in einem Flächenhaftverbund mit den Elastomerschichten befinden, über laterale Ausdehnungseigenschaften.

[0004] Der WO 2007 029275 A1 ist ein stapelförmig aufgebauter Aktor auf Basis eines elektroaktiven Polymers zu entnehmen, mit einem bandförmig ausgebildeten elektroaktiven Polymer, dessen beide Bandoberflächen jeweils mit einer flächenelastischen Flächenelektrode kontaktiert sind und einen bandförmigen Schichtverbund bilden, der mäanderförmig unter Ausbildung einer Vielzahl von stapelförmig übereinander liegenden Schichtverbundlagen gefaltet ist. Durch Anlegen einer elektrischen Spannung an die Flächenelektroden wirken auf die einzelnen elektroaktiven Polymerschichtlagen in Schichtdickenrichtung komprimierende Kräfte, wodurch sich der Aktor in Schichtdickenrichtung zu den einzelnen Schichtverbundlagen kontrolliert zusammenziehen vermag.

[0005] Der Einsatz von dehnfähigen Elektroden-schichten für den Aufbau von stapelförmig aufgebauten Elastomermultischichtwandler unter Verwendung synthetischer dielektrischer Elastomerschichten geht auch aus einem Beitrag von Chuc, Nguyen Huu; Park, Jong Kil; Thuy, Doan Vu; Kim, Hyon Seok; Koo, Ja Choon; Lee, Youngkwan et al. (2007) : Multi-stacked Artificial Muscle Actuator Based on Synthetic Elastomer. In: Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International, S. 771-776 hervor. Der Artikel beschreibt insbesondere Elastomerwandlersysteme mit kreisringförmig oder rechteckförmig ausgebildeten Elastomer- sowie Elektroden-schichten.

[0006] Aus der US 2007/0114885 A1 ist ein elastomerer Vielschichtstapelaktor zu entnehmen, der als Elektroden-schichten dünne Metallschichten vorsieht, die materialbedingt zwar nicht dehnfähig sind, jedoch aufgrund einer welligen Struktur eine Verformung längs einer bevorzugten Raumachse ermöglichen.

[0007] Der Artikel von G. Kovac, L. Düring, S. Michel, G. Terrasi, „Stacked dielectric elastomer actuator for tensile force transmission, Sensor and Actuators A 155 (2009), S. 299–307, enthält einen repräsentativen Überblick über den Stand der Technik bezüglich elastomerer Stapelwandler, die allesamt die Verwendung von elastischen Elektroden-schichten vorsehen.

[0008] Die bekannten elektroaktiven Elastomerwandlersysteme ermöglichen aufgrund der flächenelastischen Eigenschaften sowohl der Elastomer- als auch der Elektroden-schichten zwar verhältnismäßig große Stellwege bzw. Schichtdickenänderungen, jedoch ist das dynamische Ansprech- bzw. Betriebsverhalten derartiger Elastomerwandler aufgrund der flächenelastischen Eigenschaften sowohl in Flächenlängserstreckung als auch in Dickenrichtung zu den einzelnen Schichten eingeschränkt. Dies betrifft insbesondere den Frequenzbereich, mit dem es möglich

ist, elektrische Energie bzw. elektrische Nutzsignale aus mechanischen Bewegungen, insbesondere aus Vibrationen mit Hilfe bekannter Elastomerwandler zu gewinnen.

Darstellung der Erfindung

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen elektroaktiven Elastomerwandler mit wenigstens einer elektroaktiven Elastomerschicht, die eine Ober- und Unterseite aufweist, sowie einem mit der Oberseite und einem mit der Unterseite zumindest bereichsweise flächig verbundenen, elektrisch leitfähigen Elektrodenkörper derart weiterzubilden, dass das dynamische Ansprechverhalten der vorzugsweise im Schichtverbund miteinander verbundenen Elastomerschichten und den jeweils dazwischen befindlichen Elektrodenkörper bzw. -schichten verbessert werden soll, es soll eine Umwandlung von mechanischer Schwingungsenergie in elektrische Energie auch bei höheren Schwingungsfrequenzen möglich sein. Umgekehrt gilt es gleichsam auch hochfrequente Stellwegänderungen in Form von Schichtdickenänderungen mittels entsprechend hochfrequenter elektrischer Spannungsanregung an den Elektrodenschichten zu realisieren.

[0010] Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Den Erfindungsgedanken in vorteilhafter Weise weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der weiteren Beschreibung insbesondere auf Bezugnahme auf die illustrierten Ausführungsbeispiele zu entnehmen.

[0011] Ein lösungsgemäßer elektroaktiver Elastomerwandler nach den Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruches 1 zeichnet sich dadurch aus, dass die Elektrodenkörper jeweils eine der Elastomerschicht zugewandte Elektrodenoberfläche besitzen, in der wenigstens eine Ausnehmung vorhanden ist, der ein Flächenbereich zuordenbar ist, in den kein Flächenverbund zwischen der Elastomerschicht und dem Elektrodenkörper besteht.

[0012] Der Begriff „Elektrodenkörper“ soll im Wesentlichen als schichtförmig ausgebildete Elektrode verstanden werden mit einer Schichtdicke, die nicht nur auf Größendimensionen von film- oder folienartig ausgebildeten Elektrodenschichten begrenzt sein soll, sondern auch makroskopische Schichtdicken dimensionen umfassen soll, wie sie bspw. bei üblichen Blechlagen auftreten. Im Unterschied zu bisherigen elastischen Elektrodenschichten, die einen möglichst vollständigen Flächenkontakt zu den jeweils anliegenden Elastomerschichten besitzen, sehen die lösungsgemäß ausgebildeten Elektrodenschichten Ausnehmungen in Form von Löcher oder Perforationen, die die Elektrodenschichten vollständig durchsetzen, oder zumindest konkave Mulden

vor, die als lokale Vertiefungen an wenigstens einer Elektrodenschichtoberfläche eingebracht sind.

[0013] In einer ersten bevorzugten Ausführungsform sehen die im stapelförmigen Schichtverbund vorgesehenen Elektrodenschichten Löcher bzw. Perforationen vor, wobei die Elektrodenschichten aus einem elektrisch gut leitenden metallischen Material bestehen und somit keine oder vernachlässigbar geringe flächenelastische Eigenschaften besitzen, d. h. die Elektrodenschichten sind zumindest in Flächenlängserstreckung dehnstarr. Der Begriff „dehnstarr“ ist derart zu verstehen, dass die jeweils zwischen den elektroaktiven Elastomerschichten befindlichen Elektrodenschichten aus einem elektrisch sehr gut leitfähigen Material, vorzugsweise Metall, wie Kupfer, Aluminium, Stahl, Nickel etc., bestehen, dessen E-Modul um wenigstens vier Größenordnungen größer ist als das E-Modul der elektroaktiven Elastomerschichten, die vorzugsweise aus Silikonen oder PU-Elastomeren bestehen. Wird an einem derart ausgebildeten, stapelförmigem Schichtverbund mechanischer Druck in Dickenrichtung des Stapelverbundes ausgeübt, der entweder durch eine äußere mechanische Last oder durch ein elektrisches Feld hervorgerufen sein kann, so ermöglichen die in den Elektrodenschichten vorgesehenen Löcher bzw. Perforationen jeweils ein lokales Eindringen des ansonsten inkompressiblen Elastomers, wodurch eine makroskopische Kompressibilität der gesamten Schichtstruktur in Dickenrichtung gewährleistet ist. Aufgrund der Flächensteifigkeit der einzelnen Elektrodenschichten wird das Ausdehnungsbestreben der zwischen den Elektrodenschichten eingebrachten Elastomerschichten in Flächenlängserstreckung weitgehend unterdrückt.

[0014] Alternativ zur Verwendung von gelochten oder perforierten Elektrodenschichten ist der Einsatz schichtförmig ausgebildeter Elektrodenkörper denkbar, die zumindest an der der Elastomerschicht zugewandten Elektrodenoberfläche eine konkave Ausnehmung bzw. konkave Form in Art einer in der Elektrodenoberfläche eingebrachten Mulde vorsieht. Die Mulde dient gleichsam wie die vorstehend bezeichneten Löcher oder Perforationen als Ausdehnungsraum, in den sich das inkompressible Elastomer der Elastomerschicht bei mechanischem Druck in Dickenrichtung lokal auszubreiten vermag.

[0015] Typische Lochdimensionen bzw. maximale Durchmesser der Ausnehmungen innerhalb der vorstehend beschriebenen schichtförmig ausgebildeten Elektrodenkörper liegen vorzugsweise in der gleichen Größenordnung wie die Schichtdicke der Elektrodenschicht bzw. des Elektrodenkörpers bzw. der Elastomerschicht.

[0016] Spezielle Anforderungen an die geometrische Ausgestaltung der Löcher bzw. der mul-

denförmigen Ausnehmung bestehen grundsätzlich nicht gleichwohl es vorteilhaft ist, insbesondere an den Übergangsbereichen von Loch und Elektrodenoberfläche bzw. an den Randbereichen der muldenförmigen Ausnehmungen bevorzugt runde Konturen vorzusehen, um Materialrisse innerhalb der Elastomerschicht zu vermeiden. Insbesondere das Vorsehen von runden Übergängen an den Loch- oder Muldenrändern trägt zu einer kontinuierlichen Flächenkontaktierung zwischen den Elastomerschichten und den Elektrodenoberflächen im Bereich ihrer Löcher bzw. Ausnehmungen bei, wodurch messbar große Kapazitätsänderungen bei kleinen Stellwegen, d. h. bei geringen Dickenänderungen die Folge sind, so dass eine Energiewandlung bei hohen Frequenzen ermöglicht wird. So ergibt sich insbesondere mit einer zunehmenden elektrischen Spannung bzw. einem zunehmenden, von außen auf eine Mehrfachstapelanordnung einwirkenden mechanischen Druck eine Vergrößerung der anliegenden Flächenbereiche der einzelnen Elastomerschichten an den Innenseiten der Löcher bzw. Ausnehmungen, wodurch die elektrische Kapazität sowie auch die mechanische Steifigkeit des Stapelverbundes zunimmt. Je nach geometrischer Ausprägung der Löcher bzw. Ausnehmungen lassen sich auf diese Weise progressive Steifigkeits- bzw. Kapazitätskennlinien entwerfen, so dass ein derart lösungsgemäß ausgebildeter elektroaktiver Elastomerwandler in bevorzugter Weise als adaptiver Tilger, d. h. Schwingungsdämpfungselement, eingesetzt werden kann, dessen resonantes Schwingungsverhalten durch quasistatische Ansteuerung des Steifigkeitsverhaltens gezielt verstellt bzw. einstellbar ist. Weitere Einzelheiten hierzu folgen in Verbindung mit der Erläuterung illustrierter Ausführungsformen.

[0017] Eine weitere ergänzende Möglichkeit zur vorteilhaften Ausbildung für einen lösungsgemäßen Elastomerwandler stellt die Befüllung der Löcher bzw. Ausnehmungen innerhalb der Elektrodenoberflächen bzw. Elektrodenkörper, die ein- oder beidseitig jeweils von Elastomerschichten begrenzt sind, mit Luft oder einem anderen kompressiblen Medium dar, wodurch ein weiterer Einfluss auf das Dehnungs- bzw. Steifigkeitsverhalten des Elastomerwandlers genommen werden kann. In einer weiteren Modifikation ist es ebenfalls denkbar, im Bereich der Löcher bzw. muldenförmigen Ausnehmungen der Elektrodenoberfläche bzw. Elektrodenkörper Vakuüm bzw. Unterdruck vorzusehen, um auf diese Weise eine mechanische Vorspannung der Elastomerschicht zwischen den beiden Elektroden vorzusehen.

[0018] Weitere Einzelheiten können der weiteren Beschreibung unter Bezugnahme auf die figürlich dargestellten Ausführungsbeispiele entnommen werden.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0019] Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

[0020] [Fig. 1a](#), b Draufsicht und Längsschnitt durch eine lösungsgemäß ausgebildete Elektrodenoberfläche,

[0021] [Fig. 2a](#), b Querschnittsdarstellungen durch eine Schichtanordnung bestehend aus zwei perforierten Elektrodenoberflächen mit einer zwischenliegenden Elastomerschicht ohne Druckeinwirkung a) sowie mit Druckeinwirkung b) in Schichtdickenrichtung,

[0022] [Fig. 3a](#), b, c, d Längsschnittdarstellungen durch einen lösungsgemäß ausgebildeten elektroaktiven Elastomerwandler mit gelochten Elektrodenoberflächen mit abgerundeten Lochkanten in unterschiedlichen Druckzuständen,

[0023] [Fig. 4a](#), b, c lösungsgemäß ausgebildeter elektroaktiver Elastomerwandler mit schichtförmigen Elektrodenkörpern, in denen konkave muldenförmig ausgebildete Ausnehmungen eingebracht sind, sowie

[0024] [Fig. 5](#) elektroaktiver Elastomerwandler zwischen zwei festen Gegenlagern.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

[0025] Der lösungsgemäß ausgebildete elektroaktive Elastomerwandler sieht in einer einfachsten Ausführungsform lediglich eine Elastomerschicht vor, die zwischen zwei mit Löchern oder Ausnehmungen versehene Elektrodenoberflächen eingebracht ist.

[0026] In [Fig. 1a](#) ist die Draufsicht auf einen Bereich einer mit Löchern **2** durchsetzten Elektrodenoberfläche **1** dargestellt, die vorzugsweise in Form eines Metallbleches oder einer Metallfolie ausgeführt sein kann. Die in die Elektrodenoberfläche **1** eingebrachten Löcher **2** sehen an ihren Lochrändern **2'** runde Konturen vor, wie dies aus der Längsschnittdarstellung gemäß [Fig. 1b](#) zu entnehmen ist. [Fig. 1b](#) stellt den Längsschnitt AA durch die in [Fig. 1a](#) dargestellte Schnittebene AA dar.

[0027] Die mit Löchern **2** durchsetzte Elektrodenoberfläche **1** weist typischerweise eine Schichtdicke von wenigstens einigen μm auf. Die Durchmesser d der in die Elektrodenoberfläche **1** eingebrachten Löcher **2** entsprechen in etwa jener der Elektrodenoberfläche oder der Elastomerschicht.

[0028] In [Fig. 2a](#) ist ein einfachstes Ausführungsbeispiel zur Realisierung eines lösungsgemäß ausgebildeten elektroaktiven Elastomerwandlers dargestellt. Zwischen zwei der vorstehend beschriebenen, mit Löchern **2** versehenen Elektrodenschichten **1u**, **1o** ist eine dielektrische Elastomerschicht **3** eingebracht, die mit beiden Elektrodenschichten innerhalb der jeweiligen Kontaktbereiche, d. h. die Elektrodenoberflächenbereiche, die die Löcher **2** umgeben, einen innigen Flächenhaftverbund eingehen. Die flächenhafte Fügung zwischen den einzelnen Elektrodenschichten **1u**, **1o** und der dazwischen befindlichen Elastomerschicht **3** gewährleistet, dass die miteinander verbundenen Schichten in Schichtlängserstreckung „unverschieblich“ verbunden sind. Ein entsprechender Haftverbund zwischen den innerhalb der Lochausnehmungen **1** befindlichen freien Oberflächenbereichen der Elastomerschicht **3** und den Elektrodenschichten **1u**, **1o** besteht nicht. Der in [Fig. 2a](#) im Querschnitt illustrierte Haftverbund zwischen den beiden Elektrodenschichten **1u**, **1o** und der dazwischen befindlichen Elastomerschicht **3** stellt einen Zustand dar, in dem keinerlei äußere Kräfte auf den Haftverbund einwirken. Demgegenüber sei in der Querschnittsdarstellung gemäß [Fig. 2b](#) angenommen, dass ein mechanischer Druck p in Dickenrichtung zur Elastomerschicht **3** einwirkt. Der mechanische Druck kann entweder durch eine äußere mechanische Last auf den Schichtverbund hervorgerufen sein oder aber durch ein elektrisches Feld verursacht sein, das durch eine entsprechende elektrische Vorspannung zwischen beiden Elektrodenschichten **1u**, **1o** hervorgerufen wird. Aufgrund der Inkompressibilität des dielektrischen Elastomers **3** sowie der Unterbindung einer in Flächenlängserstreckung orientierten Deformation der Elastomerschicht **3** durch den vorstehend skizzierten unverschieblichen Haftverbund zur oberen und unteren Elektrodenschicht **1o**, **1u** vermag sich das inkompressible Elastomer lediglich lokal in die innerhalb der Elektrodenschichten **1u**, **1o** vorgesehenen Löcher auszuweiten, wie dies durch die lokalen Deformationen **3'** der Elastomerschicht **3** anhand der [Fig. 2b](#) entnommen werden kann. Durch den Vorgang des lokalen Entweichens von oberflächennahen Elastomeranteilen in den Bereich der Löcher **2** innerhalb der einzelnen Elektrodenschichten **1o**, **1u** wird die Dicke D des in [Fig. 2b](#) dargestellten Gesamtschichtverbundes kompressionsbedingt reduziert ohne nennenswerte Ausdehnung der Elastomerschicht in Flächenlängserstreckung.

[0029] Der in [Fig. 2a](#) und [b](#) illustrierte Schichtverbund von jeweils einer Elastomerschicht **3** mit zwei gelocht oder perforiert ausgeführten Elektrodenschichten **1u**, **1o** kann in stapelförmiger Ausbildung mit einer Vielzahl weiterer Elastomer- und Elektrodenschichten kombiniert werden, um auf diese Weise einen vielschichtigen Stapelverbund zu erhalten, mit jeweils abwechselnder Schichtabfolge jeweils von

Elastomerschicht und perforierter Elektrodenschicht. In einer derartigen Mehrschichtabfolge führt durch Summation der Dickenänderungen aller Elastomerschichten bei einer entsprechenden mechanischen Druckwirkung gemäß [Fig. 2b](#) zu einer skalierbar makroskopischen Dickenänderung des gesamten Stapelverbundes, der im Falle einer Aktoranwendung als Aktorstellweg genutzt werden kann.

[0030] Je nach Anwendungs- und Einsatzzweck lässt sich der elektroaktive Elastomerwandler als Aktor oder Sensor betreiben. Im Falle eines Aktorbetriebes wird elektrische Energie gezielt in Bewegungsenergie umgesetzt, die sich letztlich in Form einer dynamischen Stellwegänderung auswirkt. In diesem Falle gilt es zwischen zwei Elektrodenschichten eine elektrische Spannung anzulegen, die zwischen beiden Elektrodenschichten zu einem elektrostatischen Feld führt, wodurch beide Elektrodenschichten aufgrund elektrostatischer Anziehungskräfte angezogen werden. Hierdurch wird die dazwischen befindliche Elastomerschicht in der vorstehend beschriebenen Weise komprimiert, wodurch sich der Stapelschichtverbund verglichen zur Ausgangsstapelhöhe bzw. -dicke reduziert. Aufgrund der materialinhärenten Flächensteifigkeit der gelochten bzw. perforierten Elektrodenschichten und einer damit verbundenen, weitgehend ausschließlich nur in Dickenrichtung der Elastomerschichten erfolgenden Deformierbarkeit der zwischen beiden Elektrodenschichten eingeschlossenen Elastomerschicht, können dynamische Stellweg- bzw. Dickenänderungen realisiert werden, die mit den bisher üblichen vergleichbaren Stapelaktoren, bei denen flächenelastische Elektrodenschichten eingesetzt sind, nicht erreichbar sind. Gleichwohl geringere Dickenänderungen und damit verbunden geringere Stellwegänderungen möglich sind, vermag der neuartige Elastomerwandler ungleich höherfrequente elektrische Spannungen in mechanische Dickenschwingungen umzusetzen als es bisher der Fall ist. Dies liegt vor allem darin begründet, dass die Elastomerschichten lediglich in den Bereichen der Ausnehmungen bzw. Löcher Deformationsarbeit verrichten und nicht wie bisher, längs ihres gesamten lateralen Umfangsbereiches.

[0031] Gilt es hingegen den lösungsgemäß ausgebildeten Elastomerwandler als Sensor zu betreiben, d. h. eine auf den Schichtverbund einwirkende mechanische Schwingungsenergie soll in elektrische Energie überführt werden, so trägt die dynamische Deformation der Elastomerschicht in den Bereichen der Löcher zu einer dynamischen Kontaktflächenveränderung zwischen der Elastomerschicht und den Elektrodenschichten bei. Da die Elektrodenschichten mit einer zwischenliegenden Elastomerschicht als Kondensatoranordnung angesehen werden kann, ändert sich mit unterschiedlichem Flächenkontakten zwischen der Elastomerschicht und den Elektrodenschichten die Kapazität der Kondensato-

ranordnung, wodurch letztlich eine messbare und an den Elektroden-schichten abgreifbare Spannungsänderung die Folge ist. Aufgrund der nahezu ausschließlichen Kompressibilität der Elastomerschicht in Dickenrichtung führen selbst kleine Dickenänderungen in der Elastomerschicht zu großen Kapazitätsänderungen, die messtechnisch in Form elektrischer Signale abgegriffen werden können. Ein besonders bedeutender Vorteil des lösungsgemäßen Elastomerwandlers stellt die Fähigkeit dar, hochfrequente mechanische Schwingungen mit kleinen Amplituden in elektrisch mess- bzw. erfassbare Signale umzuwandeln.

[0032] In [Fig. 3a](#) ist ein Teilquerschnitt durch ein Schichtaufbau illustriert, der vergleichbar mit der in [Fig. 2a](#) dargestellten Schichtabfolge ist, jedoch durch zwei weitere Elastomerschichten, d. h. eine obere und eine untere Elastomerschicht **3o**, **3u** in der dargestellten Weise ergänzt ist. Somit werden die perforierten Elektroden-schichten **1u**, **1o** jeweils beidseitig von Elastomerschichten **3u**, **3**, **3o** begrenzt und damit die Löcher **2** innerhalb der Elektroden-schichten **1u**, **1o** gasdicht begrenzt. Somit bietet sich die Möglichkeit innerhalb der Löcher **2** Luft oder ein anderes kompressibles Medium einzuschließen, denkbar wäre beispielsweise ein Medium mit einer hohen Dielektrizitätszahl, um die Ausprägung des elektrischen Feldes zwischen und innerhalb der einzelnen Elektroden-schichten zu verbessern. Alternativ hierzu könnte erwogen werden, innerhalb der durch die Elastomerschichten **3u**, **3**, **3o** eingeschlossenen Zwischenräume **2** Vakuum oder Unterdruck vorzusehen, beispielsweise indem der Vorgang des Fügens der einzelnen Schichten unter Vakuumbedingungen durchgeführt wird, um auf diese Weise eine mechanische Vorspannung zwischen den einzelnen Elastomerschichten zu erzielen. Eine derartige mechanische Vorspannung könnte bei einem Aktorbetrieb vorteilhaft eingesetzt werden, da auf diese Weise auch Zugkräfte aufgebracht werden können, ohne dabei den Flächenverbund voneinander zu trennen.

[0033] Geht man von der Schichtdarstellungen in [Fig. 3a](#) aus, bei der kein mechanischer Druck auf die Elastomerschichten einwirkt, so führt ein auf den Schichtverbund einwirkender mechanischer Druck p mit zunehmender Stärke, siehe Bildsequenzen **3b**, **3c**, zu einer zunehmenden Verformung der einzelnen Elastomerschichten jeweils innerhalb der Lochbereiche, wodurch der Flächenkontakt zwischen den Elastomerschichten **3u**, **3**, **3o** mit zunehmender Druckstärke p , P ebenfalls zunimmt. [Fig. 3d](#) illustriert die unterschiedlichen Berührflächen, die mit den Bilddarstellungen gemäß [Fig. 3a](#), [Fig. 3b](#), [Fig. 3c](#) korrespondieren. Mit zunehmendem mechanischem Druck p auf den Schichtverbund, bedingt durch eine zunehmende elektrische Spannung zwischen den einzelnen Elektroden-schichten bzw. eine zunehmende äußere Druckeinwirkung, ergibt sich eine zuneh-

mende Vergrößerung der anliegenden Flächen und damit verbunden eine zunehmende elektrische Kapazität bzw. mechanische Steifigkeit. Je nach geometrischer Ausprägung der Löcher **2** lassen sich auf dieser Weise progressive Steifigkeits-/bzw. Kapazitätskennlinien für den Schichtverbund entwerfen. Im Fall gemäß [Fig. 3c](#) ist der größte Flächenkontakt zwischen Elastomerschichten und Elektroden-schichten vorhanden, d. h. dieser Fall stellt die größte Kapazität sowie auch Steifigkeit dar. Demgegenüber besitzt der in [Fig. 3a](#) illustrierte Schichtverbund die geringste Steifigkeit bzw. den geringsten Flächenkontakt und damit verbunden die geringste Kapazität.

[0034] Alternativ zur Ausbildung der Elektroden-schichten bzw. -körper mit durchgehenden Löchern bzw. Perforationen ist es ebenso möglich, die Elektroden-schichten zumindest einseitig mit muldenartigen Ausnehmungen zu versehen. In [Fig. 4a](#) ist ein derartiger Elektrodenkörper **1'** in einer Querschnittsdarstellung gezeigt, der einseitig mit einer Elastomerschicht **3** verbunden ist. Der Elektrodenkörper **1'** weist eine strukturierte Oberfläche **1s** auf, in der muldenartige, konkave Ausnehmungen **4** eingebracht sind. In der in [Fig. 4a](#) dargestellten Ausführungsform weist der Elektrodenkörper **1'** eine der strukturierten Oberseite **1s** gegenüberliegende glatte Oberseite auf, die mit der Elastomerschicht **3** verbunden ist. Die Ausnehmungen **4** können durch Prägen oder Walzen in die Oberfläche des Elektrodenkörpers **1'** eingebracht werden. Durch die glatte Ausbildung der der strukturierten Oberfläche **1s** gegenüberliegenden Oberfläche des Elektrodenkörpers **1'** ist es möglich, die Elastomerschicht **3** durch Rakeln oder Sprühen aufzubringen. Auf diese Weise können sehr dünne Schichtdicken realisiert werden. Der in [Fig. 4a](#) dargestellte Schichtverbund stellt eine Art Halbzeug dar, das durch Übereinanderstapeln mit einem weiteren Halbzeug oder einer Vielzahl weiterer Halbzeuge zu einer Stapelanordnung zusammengefügt werden kann, wie dies aus den Querschnittsdarstellungen gemäß der [Fig. 4b](#) und c zu entnehmen ist. [Fig. 4c](#) stellt einen in beliebiger Fortsetzung erweiterbaren Elastomerwandler mit jeweils drei übereinander gefügten Halbzeugen gemäß [Fig. 4a](#) dar. Auch in diesem Fall vermögen die Elastomerschichten **3** jeweils in die konkaven Ausnehmungen der einzelnen Elektrodenkörper **1'** bei mechanischem Zwang auszuweichen.

[0035] Ein lösungsgemäß ausgebildeter Elastomerwandler ermöglicht aufgrund der jeweils flächenstarr bzw. dehnstarr ausgebildeten Elektrodenkörper einen direkten Anschluss an weitestgehend beliebige Peripheriekonturen **5**, wie dies aus [Fig. 5](#) zu entnehmen ist. So können Stapelwandler mit wenigen Schichten, wie im Falle der [Fig. 5](#) sogar mit nur einer einzigen Elastomerschicht **3** sinnvoll genutzt werden, zumal keine parasitären Randeffekte bei der Anbringung an periphere Halte- oder Stützkonturen auf-

treten. Damit ist ein entscheidender Vorteil gegenüber herkömmlichen, dehnseligen Elektroden gewährleistet.

[0036] Der lösungsgemäße Elastomerwandler ermöglicht eine technologisch einfache, robuste und kostengünstige Bauweise aufgrund des Einsatzes von flächenstarrten Elektroden, vorzugsweise in Form von Metallelektroden. Aufgrund der dehnseligen jeweils außen liegenden Randlektroden, vgl. [Fig. 5](#), können das Wandlersystem irritierende Spannungseffekte vollständig vermieden werden.

[0037] In besonderer Weise lässt sich der lösungsgemäß ausgebildete Elastomerwandler als Schwingungsdämpfungssystem in technische Systeme und Strukturen einsetzen, so beispielsweise insbesondere in der Automobiltechnik, Maschinen- und Anlagenbau. Auch und insbesondere eignet sich der lösungsgemäß ausgebildete Elastomerwandler zur Energiegewinnung aus Vibrationen, so genanntes Energy Harvesting

Bezugszeichenliste

1	Elektrodenschicht
1'	Elektrodenkörper
1u	untere Elektrodenschicht
1o	obere Elektrodenschicht
1s	Strukturierte Oberfläche
2	Loch
2'	Lochrand bzw. Lochrandbereich
3	Elastomerschicht
4	Nutförmige bzw. konkave Ausnehmung
5	Peripheriekontur

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

- WO 2007029275 A1 [\[0004\]](#)
- US 2007/0114885 A1 [\[0006\]](#)

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Chuc, Nguyen Huu; Park, Jong Kil; Thuy, Doan Vu; Kim, Hyon Seok; Koo, Ja Choon; Lee, Youngkwan et al. (2007): Multi-stacked Artificial Muscle Actuator Based an Synthetic Elastomer. In: Proceedings of the 2007 IEEE/RSJ International, S. 771-776 [\[0005\]](#)
- G. Kovac, L. Düring, S. Michel, G. Terrasi, „Stacked dielectric elastomer actuator for tensile force transmission, Sensor and Actuators A 155 (2009), S. 299–307 [\[0007\]](#)

Patentansprüche

1. Elektroaktiver Elastomerwandler mit wenigstens einer elektroaktiven Elastomerschicht, die eine Ober- und Unterseite aufweist, sowie einem mit der Oberseite und einem mit der Unterseite zumindest bereichsweise flächig verbundenen, elektrisch leitfähigen Elektrodenkörper, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektrodenkörper jeweils eine der Elastomerschicht zugewandte Elektrodenoberfläche besitzen, in der wenigstens eine Ausnehmung vorhanden ist, der ein Flächenbereich zuordenbar ist, in dem kein Flächenverbund zwischen der Elastomerschicht und dem Elektrodenkörper besteht.

2. Elektroaktiver Elastomerwandler nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektrodenkörper dehnstarr ist.

3. Elektroaktiver Elastomerwandler nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektrodenkörper ein E-Modul besitzt, das um wenigstens vier Größenordnungen größer ist als ein der Elastomerschicht zuordenbarer E-Modul ist.

4. Elektroaktiver Elastomerwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektrodenkörper als eine elektrisch leitende Schicht ausgebildet ist, und dass die wenigstens eine Ausnehmung in Form eines Loches oder einer Perforation, die die elektrisch leitende Schicht vollständig durchsetzt, ausgebildet ist.

5. Elektroaktiver Elastomerwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens eine Ausnehmung in der der Elastomerschicht zugewandten Elektrodenoberfläche des Elektrodenkörpers eine konkave Form besitzt, d. h. in Art einer in der Elektrodenoberfläche eingebrachte Mulde ausgebildet ist.

6. Elektroaktiver Elastomerwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektrodenkörper als Metallblech oder Metallfolie ausgebildet ist.

7. Elektroaktiver Elastomerwandler nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass das wenigstens eine Loch oder die wenigstens eine Perforation eine Durchmesserdimension besitzt, die einer der Elastomerschicht oder einer dem Elektrodenkörper zuordenbaren Schichtdicke entspricht.

8. Elektroaktiver Elastomerwandler nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens eine Mulde eine größte Durchmesserdimension besitzt, die einer der Elastomerschicht oder einer dem Elektrodenkörper zuordenbaren Schichtdicke entspricht.

9. Elektroaktiver Elastomerwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens eine Ausnehmung von einem Randbereich umgeben ist, der rund ausgebildet ist.

10. Elektroaktiver Elastomerwandler nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass eine beliebige Vielzahl stapelförmig übereinander angeordnete, elektroaktive Elastomerschichten vorgesehen ist, zwischen denen jeweils ein Elektrodenkörper eingebracht ist, der wenigstens einseitig zu den jeweils angrenzenden Elastomerschichten eine Elektrodenoberfläche mit wenigstens einer Ausnehmung vorsieht, in der ein kompressibles Gas enthalten oder Vakuum eingeschlossen ist.

11. Verwendung eines elektroaktiven Elastomerwandlers nach einem der Ansprüche 1 bis 10 als adaptiver Tilger, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen wenigstens zwei, wenigstens eine Elastomerschicht beidseitig begrenzenden Elektrodenkörpern eine elektrische Spannung anlegbar ist, durch die ein dem Elastomerwandler zuordenbares resonantes Schwingungsverhalten veränderbar ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

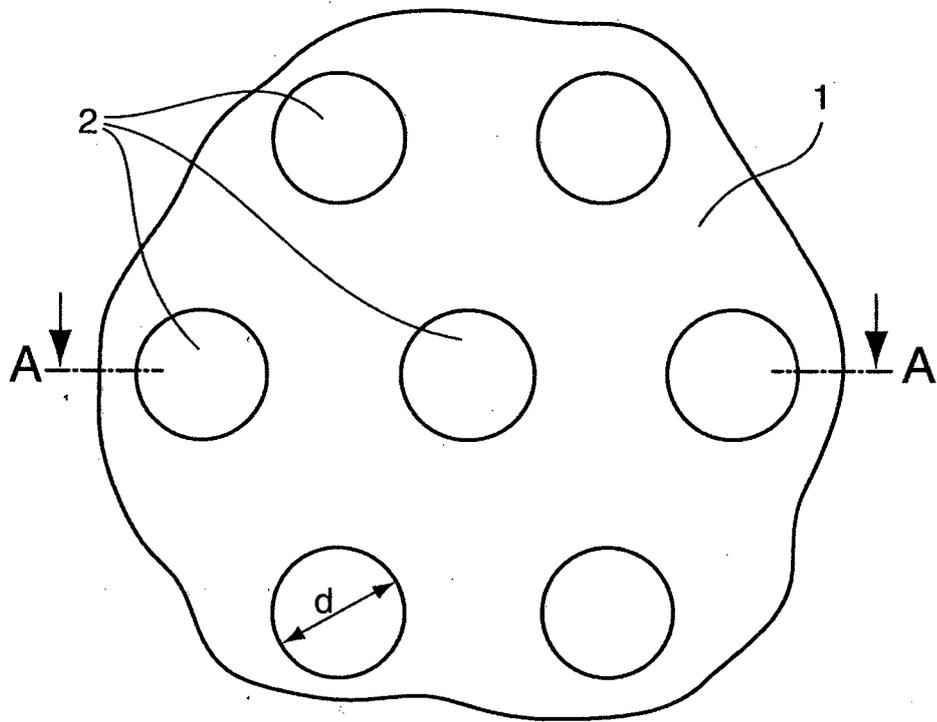


Fig. 1a

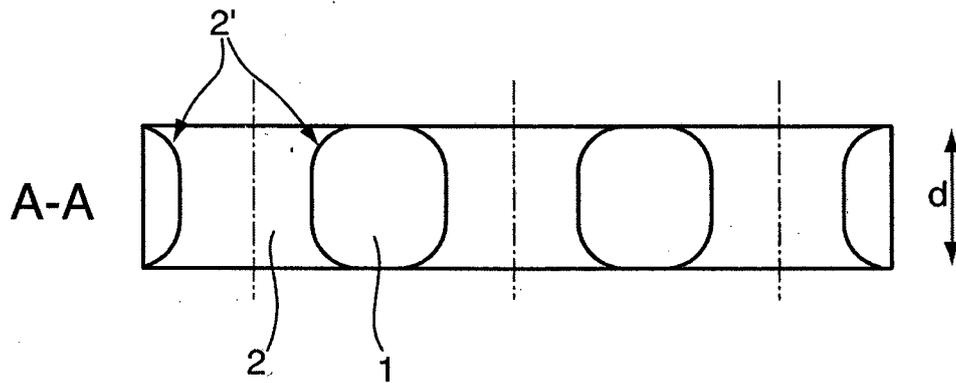


Fig. 1b

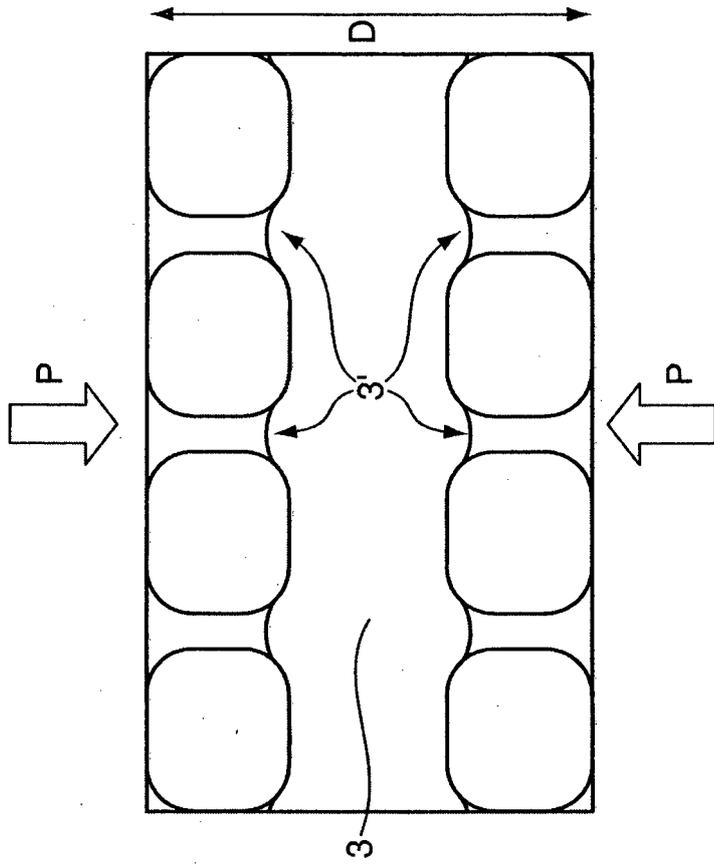


Fig. 2a

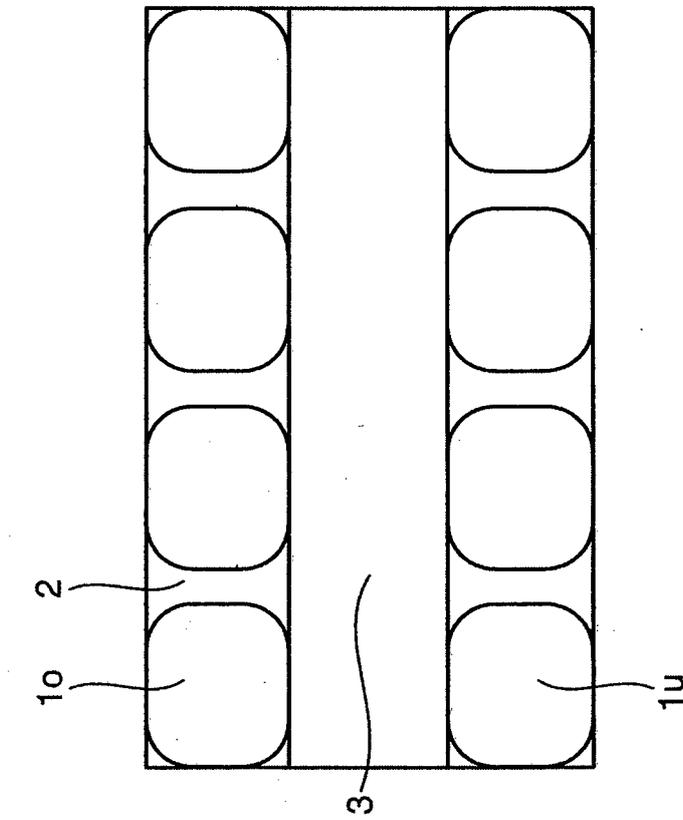
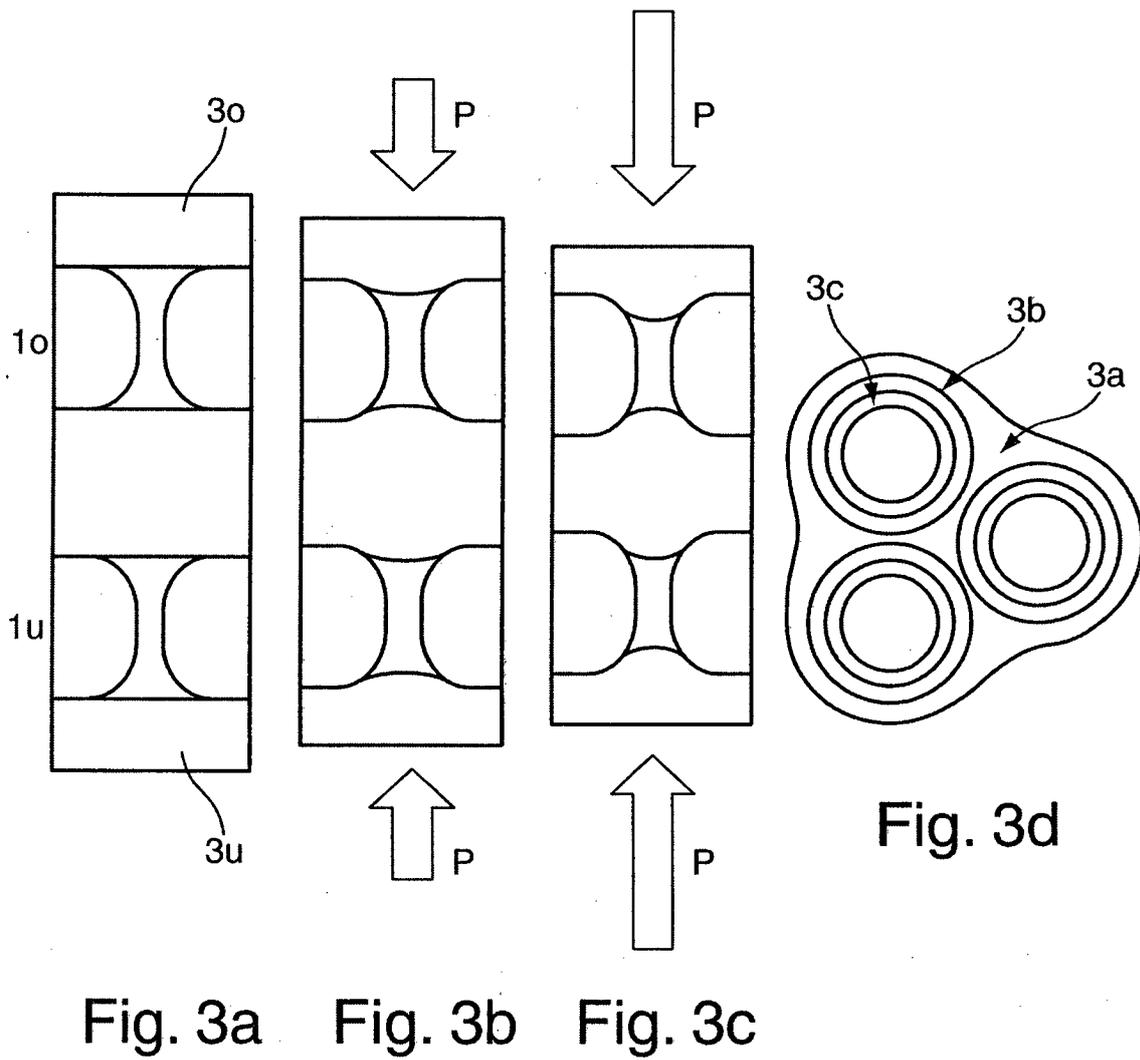


Fig. 2b



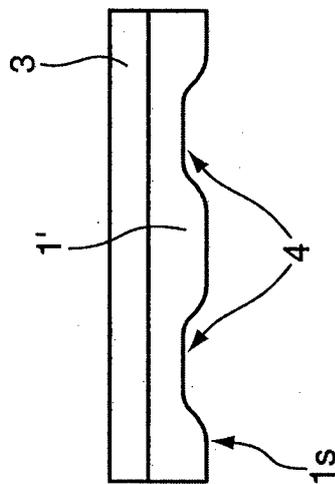


Fig. 4a

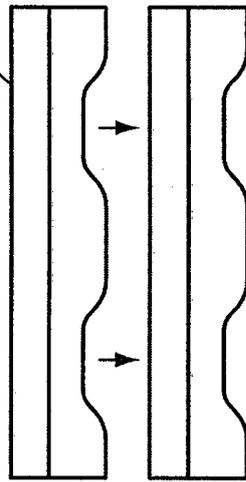


Fig. 4b

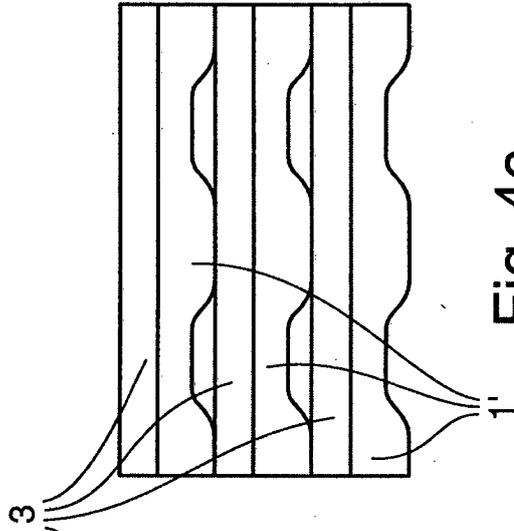


Fig. 4c

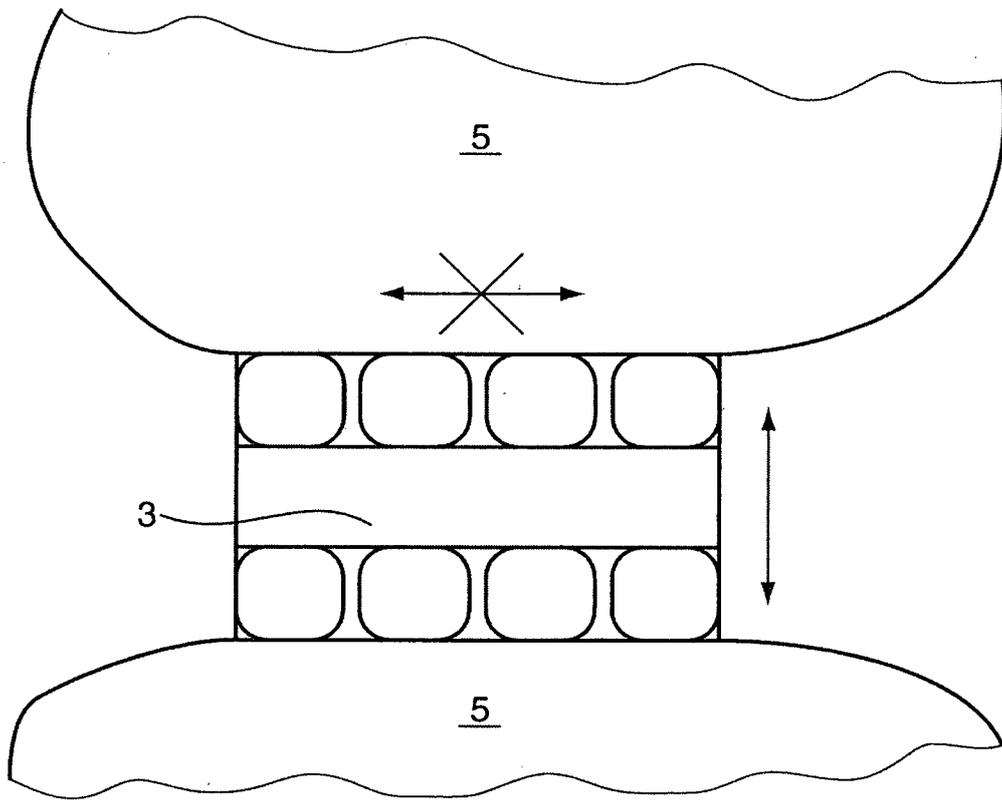


Fig. 5