(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2009 002 631 B4** 2015.08.20

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2009 002 631.2**
(22) Anmeldetag: **24.04.2009**
(43) Offenlegungstag: **04.11.2010**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **20.08.2015**

(51) Int Cl.: ***H02N 2/02*** (2006.01)
F16K 31/02 (2006.01)
H01L 41/047 (2006.01)
H01L 41/09 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Förg, Michael, 85354 Freising, DE; Lachner, Hubert, 85354 Freising, DE

(74) Vertreter:
engel patentanwaltskanzlei, 98527 Suhl, DE

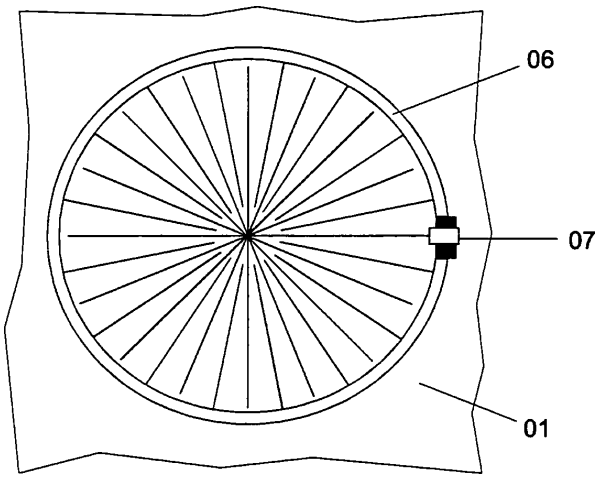
(72) Erfinder:
Schwesinger, Norbert, Prof. Dr., 98693 Ilmenau, DE; Pobering, Sebastian, 99084 Erfurt, DE; Zähringer, Sandy, 85221 Dachau, DE; Förg, Michael, 85354 Freising, DE; Lachner, Hubert, 85354 Freising, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	**36 18 107**	**A1**
US	**6 222 304**	**B1**
US	**7 290 336**	**B2**
US	**5 255 016**	**A**
EP	**0 914 563**	**B1**
EP	**0 841 708**	**A1**
JP	**H01-41283**	**A**

(54) Bezeichnung: **Piezoelektrischer Antrieb und Mikroventil mit einem solchen**

(57) Hauptanspruch: Piezoelektrischer Antrieb, insbesondere für Mikroventile, umfassend eine Verformungsschicht (04), welche auf einer Seite an eine piezoelektrische Schicht (01) gekoppelt ist, die zur elektrischen Versorgung mit mindestens einem Elektrodenpaar (03) aus zwei gegenpoligen Elektroden versehen ist, wobei die beiden gegenpoligen Elektroden des Elektrodenpaars (03) gemeinsam an der der Verformungsschicht (04) abgewandten Seite der piezoelektrischen Schicht (01) angeordnet sind, wobei sich die von den gegenpoligen Elektroden bedeckte Fläche im Wesentlichen bis zum äußeren Rand der piezoelektrischen Schicht (01) erstreckt, dadurch gekennzeichnet, dass die gegenpoligen Elektroden innerhalb einer kreisförmigen Fläche als radial verlaufende Streifen alternierender Polarität angeordnet sind.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Antrieb mit einer Verformungsschicht, welche auf einer Seite an eine piezoelektrische Schicht gekoppelt ist, die zur elektrischen Versorgung mit mindestens einem Elektrodenpaar aus zwei gegenpoligen Elektroden versehen ist. Ein solcher Antrieb eignet sich insbesondere aber nicht ausschließlich für die Verstellung eines Mikroventils, wobei dessen Membran die Verformungsschicht des piezoelektrischen Antriebs bildet.

[0002] Mikroventile und die zugehörigen Antriebe werden im Bereich der Mikrofluidik eingesetzt, um Flüssigkeits- oder Gasströme zu steuern. Die Mikroventile nehmen dabei üblicherweise nur einen geöffneten oder geschlossenen Zustand ein, sodass sie eine Ein-/Ausschaltfunktion erfüllen. Für die Steuerung einer Durchflussmenge können solche Mikroventile mit kurzen Zykluszeiten getaktet werden. Das Stellelement des Mikroventils wird dabei durch eine Membran gebildet, die bei entsprechender Auslenkung einen Ventilkanal freigibt bzw. schließt. Bei herkömmlichen Mikroventilen wird der Fluidweg durch den Ventilkanal normalerweise im nicht ausgelenkten Zustand der Membran unterbrochen. Zur Auslenkung der Membran ist ein Mikroantrieb erforderlich.

[0003] In der Mikrotechnik werden elektrostatische und piezoelektrische Antriebe verwendet. Piezoelektrische Antriebe basieren auf dem hinlänglich bekannten piezoelektrischen Prinzip, wobei durch Anlegen einer elektrischen Spannung an eine Piezokeramik eine Längenänderung im Material hervorgerufen wird. Bei der Nutzung des so genannten Längseffektes tritt eine als Antrieb nutzbare Verformung des Piezomaterials in einer Richtung auf, die mit der Richtung des elektrischen Feldes zwischen zwei gegenpoligen Elektroden übereinstimmt. Sogenannte Hochleistungspiezoelektrika (PZT), bei denen eine bezogen auf die Materialstärke relativ große Längenänderung feststellbar ist, basieren auf diesem Längseffekt, bei welchem die Polarisationsrichtung des Piezomaterials mit der elektrischen Feldrichtung übereinstimmt. Um beispielsweise eine Membran mit einem derartigen Antrieb zu bewegen, wird das Piezomaterial an einer Seite fest gelagert und an der anderen Seite mit der Membran verbunden.

[0004] Der erreichbare Verstellweg liegt bei diesen Anwendungen etwa bei 1/1000 der Dicke des Piezomaterials. Um einen mechanischen Hub von 1 µm zu erreichen, wird daher mindestens eine Piezomaterialdicke von 1 mm benötigt. Wenn ein größerer mechanischer Hub benötigt wird, steigt die Piezomaterialdicke entsprechend, was sich negativ für eine Anwendung dieser Antriebe in der Mikrotechnik auswirkt. Außerdem werden Ansteuerspannungen mit einer Feldstärke von etwa 3.000 V/mm zur Versorgung des Piezomaterials benötigt, die in mikrotechnischen Anwendungen schnell zu unerwünschten elektrischen Überschlägen führen können. Die für derartige Ansteuerspannungen benötigten Steuergeräte lassen sich in mikrotechnischen Lösungen kaum integrieren.

[0005] In der EP 0 914 563 B1 ist ein piezoelektrisch betätigtes Mikroventil beschrieben, welches sich den genannten piezoelektrischen Längseffekt zu Nutze macht. Dabei ist eine piezoelektrische Betätigungsvorrichtung an den Rahmen einer Aufhängungsvorrichtung gekoppelt. Die Aufhängungsvorrichtung trägt außerdem einen Stößel, der eine Durchlassöffnung im Ventil verschließt. Bei Spannungsbeaufschlagung der piezoelektrischen Betätigungsvorrichtung kommt es zu einer Längenänderung des Piezomaterials, die eine Verformung der Aufhängungsvorrichtung zur Folge hat, wodurch der Stößel senkrecht zur Längenänderung des Piezomaterials verschoben wird.

[0006] Piezoelektrische Materialien zeigen außerdem den so genannten Quereffekt, der eine Verformung des Piezomaterials senkrecht zur Richtung des elektrischen Feldes zwischen den Elektroden hervorruft. Beim Anlegen einer Spannung an das Piezomaterial zieht sich dieses quer zur Feldrichtung zusammen. Die durch den Quereffekt erreichbare Verformung ist in jedem Fall kleiner als 1/1000 der Piezomaterialausdehnung.

[0007] Die DE 36 18 107 A1 zeigt einen Tintenschreibkopf mit piezoelektrisch anregbarer Membran, wobei der Antrieb von dem erwähnten piezoelektrischen Quereffekt Gebrauch macht. Der Antrieb der Membran ist durch einen typischen Schichtenaufbau realisiert. Eine metallische Stützschicht ist an einem Grundsubstrat befestigt und erstreckt sich über eine flüssigkeitsführenden Kanalöffnung. Die metallische Stützschicht trägt eine polarisierte Schicht aus Piezokeramik auf der der Kanalöffnung abgewandten Seite. Die Stützschicht wirkt als Massenelektrode zum Aufbau des das Piezomaterial anregenden elektrischen Feldes. An der gegenüberliegenden Seite der Piezokeramik sind Ansteuerelektroden vorgesehen, welche eine lokal begrenzte Aktivierung des Piezomaterials ermöglichen. Das benötigte elektrische Feld baut sich somit zwischen der Massenelektrode und der jeweiligen Ansteuerelektrode auf, welche an gegenüberliegenden Seiten des Piezomaterials positioniert sind. Durch Ansteuerung der Elektroden kommt es zur Verformung der piezoelektrischen Keramikschicht und der daran befestigten metallischen Stützschicht, die als Membran wirkt. Durch die spezielle Anordnung der mehreren Ansteuerelektroden lässt sich eine Verformung der Stützschicht in Richtung zum Piezomaterial erreichen. Allerdings müssen dazu in bestimmten Bereichen Feldrichtungen aufgebaut werden, die entgegen der Polarisationsrichtung

im Piezomaterial gerichtet sind. Ein Betrieb von Piezomaterial gegen die Polarisationsrichtung führt erfahrungsgemäß zu einer Entpolarisierung des Piezomaterials, was mittelfristig einen Verlust der piezoelektrischen Eigenschaften zur Folge hat. Problematisch ist außerdem, dass die metallische Stützschicht unmittelbar in Kontakt mit der Flüssigkeit in dem zu steuernden Kanal steht, was zur Korrosion der Stützschicht und zu elektrischen Problemen führen kann. Für viele mikrotechnische Anwendungen ist ein derartiger Aufbau daher nicht gewünscht.

[0008] Die US 6,222,304 B1 zeigt einen schalenförmigen Wandler, der beispielsweise zur Bewegung eines flüssigen oder festen Mediums ausgebildet sein kann. Ein festes elektroaktives Medium, insbesondere ein piezoelektrisches Material mit einem bogenförmigen Abschnitt ist auf einem Träger aus Glas oder Silizium befestigt. Das piezoelektrische Material ist vorzugsweise über einer Pufferschicht aus ZrO_2 angeordnet, welche sich gemeinsam mit dem piezoelektrischen Material verformt. Das piezoelektrische Material wird durch zwei Elektroden bestromt, welche sich gemeinsam an der der Pufferschicht abgewandten Seite des elektroaktiven Mediums befinden. Die Elektroden sind in Form zweier schmaler Streifen ausgeführt, welche den Verformungsbereich beranden.

[0009] Die US 5,255,016 A beschreibt einen Druckkopf für einen Tintenstrahldrucker mit Vibrationsplatten, welche als Pumpen für die Tinte fungieren. Die Vibrationsplatten bestehen aus einem piezoelektrischen Material. Auf eine obere Oberfläche des piezoelektrischen Materials sind zwei Elektroden aufgebracht.

[0010] Die EP 0 841 708 A1 beinhaltet ein piezoelektrisches Element mit einem Aktuator umfassend einen vibrierenden Bereich und einen festen Bereich, einer piezoelektrischen Schicht, welche direkt an den vibrierenden Bereich gekoppelt ist und ein Elektrodenpaar, das an der dem vibrierenden Bereich abgewandten Seite der piezoelektrischen Schicht angeordnet ist. Die Elektroden können beispielsweise als spirale Struktur ausgebildet sein.

[0011] Aus der JP H01-41283 A ist ein piezoelektrisches Element mit einer als Metallplatte ausgebildeten Membran, einer mit der Membran verbundenen piezoelektrischen keramischen Platte und einem auf der der Membran abgewandten Seite der piezoelektrischen Platte angeordnetem Elektrodenpaar. Die Elektroden haben eine kammartige Struktur.

[0012] Die US 7,290,336 B2 zeigt eine piezoelektrische Auswurfeinrichtung mit einer ringförmigen Membran mit einer piezoelektrischen Schicht, auf deren von der Membran weg gerichteten Oberfläche eine Interdigitalelektrode angeordnet ist. Die Interdigitalelektrode umfasst eine Vielzahl von ersten Elektroden und zweiten Elektroden, wobei die ersten Elektroden entgegengesetzt zu den zweiten Elektroden polarisiert sind.

[0013] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, einen piezoelektrischen Antrieb bereit zu stellen, der sich insbesondere für mikrotechnische Anwendungen eignet und die Ankopplung einer piezoelektrischen Schicht an eine Verformungsschicht, insbesondere eine Membran gestattet, welche keine Elektrodenfunktion für die Ansteuerung des Piezomaterials übernehmen muss. Eine Teilaufgabe besteht darüber hinaus darin, ein Mikroventil mit einer Membran bereit zu stellen, wobei die Membran bei Aktivierung einer angekoppelten piezoelektrischen Schicht mit nennenswertem Hub verformbar ist und gleichzeitig aus einem Material besteht, welches nicht die Funktion einer Elektrode für die piezoelektrische Schicht übernimmt.

[0014] Diese Aufgabe wird zunächst durch einen piezoelektrischen Antrieb mit den Merkmalen des beigefügten Anspruchs 1 und des nebengeordneten Anspruchs 2 gelöst. Ein wesentliches Merkmal beider Antriebsvarianten ist, dass die beiden gegenpoligen Elektroden, die für den Aufbau eines sich durch das piezoelektrische Material erstreckenden elektrischen Feldes benötigt werden, auf ein und derselben Seite der piezoelektrischen Schicht angebracht sind und zwar an der der Verformungsschicht abgewandten Seite der piezoelektrischen Schicht. Die herkömmliche Schichtenstruktur, bei welcher die piezoelektrische Schicht zwischen zwei Elektrodenschichten eingeschlossen ist, wird aufgegeben. Durch die Anordnung der gegenpoligen Elektroden auf einer gemeinsamen Seite der piezoelektrischen Schicht kommt es zu einer Überlagerung von Längs- und Quereffekt, die eine flächenhafte Dehnung der piezoelektrischen Schicht zur Folge hat.

[0015] Der Antrieb gemäß Anspruch 1 zeichnet sich dadurch aus, dass die gegenpoligen Elektroden innerhalb einer kreisförmigen Fläche als radial verlaufende Streifen alternierender Polarität angeordnet sind. Die in Anspruch 2 verfolgte Variante des Antriebs zeichnet sich dadurch aus, dass die gegenpoligen Elektroden als sinusförmige Streifen alternierender Polarität angeordnet sind.

[0016] Eine bevorzugte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, dass die Elektroden die piezoelektrische Schicht im Wesentlich vollständig bedecken. Insbesondere ist es zweckmäßig, wenn die äußere Begrenzung der piezoelektrischen Schicht im Wesentlichen deckungsgleich mit der äußeren Begrenzung der aufgebrachten Elektroden ist. Es hat sich nämlich gezeigt, dass die gewünschte, nach Außen gerichtete Verformung der piezoelektrischen Schicht, die auf der den Elektroden gegenüberliegenden Seite

an die Verformungsschicht übertragen werden kann, vorwiegend in Bereichen entsteht, die von den Elektroden bedeckt sind. In Bereichen, die entfernt von den Elektroden liegen, lässt die nach Außen gerichtete Verformung der piezoelektrischen Schicht zunehmend nach. Bevorzugte Ausführungsformen besitzen daher eine piezoelektrische Schicht, die nicht mehr als die doppelte Breite der äußeren Elektrode über die von den Elektrodenstrukturen bedeckte Fläche hinausreicht. Ebenso ist es zweckmäßig, wenn die zwischen den gegenpoligen Elektroden verbleibenden Flächen, die nicht von einer Elektrode bedeckt sind, nicht größer als die durchschnittliche doppelte Breite der angrenzenden Elektroden ist. Es ist darauf hinzuweisen, dass die an der gegenüberliegenden Seite der piezoelektrischen Schicht angebrachte Verformungsschicht natürlich flächenmäßig größer sein kann als die piezoelektrische Schicht bzw. die von den Elektroden bedeckte Fläche.

[0017] Die Verformungsschicht kann vorzugsweise aus nicht elektrisch leitfähigem Material bestehen, da sie keine Elektrodenfunktion übernehmen muss. Damit kann an die Verformungsschicht auch mit aggressiven Medien in Kontakt kommen, ohne dass eine Korrosion der Elektroden befürchtet werden muss.

[0018] Bei Ansteuerung der Elektroden in Polarisationsrichtung dehnt sich die piezoelektrische Schicht aus, so dass eine daran angekoppelte Verformungsschicht oder Membran je nach Gestaltung der Elektroden entweder in Richtung zur piezoelektrischen Schicht oder auch von dieser weg verformt wird.

[0019] Die oben genannte Aufgabe wird darüber hinaus durch ein Mikroventil gemäß dem beigefügten Anspruch 10 gelöst. Die Membran des Mikroventils bildet zugleich die Verformungsschicht des genannten piezoelektrischen Antriebs. Durch die erwähnte Ausdehnung der piezoelektrischen Schicht bei Ansteuerung der Elektroden kann die Membran einen Ventilkanal bzw. Fluidweg freigeben und beim Abschalten der Versorgungsspannung sperren. Durch die Anordnung der Elektroden ist außerdem sichergestellt, dass sie nicht mit dem im Mikroventil geführten Fluid in Kontakt kommen.

[0020] Die gegenpoligen Elektroden können unterschiedlich strukturiert sein, wobei sie vorzugsweise in Form zahlreicher, nebeneinander verlaufender Streifen mit alternierender Polarität ausgebildet sind. Bei kreisförmigen piezoelektrischen Schichten verlaufen die Elektroden beispielsweise Strahlenförmig in radialer Richtung. Um einen möglichst gleichförmigen Feldstärkenverlauf zu erhalten, können zahlreiche Elektrodenabschnitte im Wesentlichen parallel zueinander verlaufen. Ein abschnittweise paralleler Elektrodenverlauf ist auch durch Verwendung von sinusförmigen Elektrodenstreifen erreichbar, welche die zu aktivierende Fläche des piezoelektrischen Materials bedecken.

[0021] Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist die piezoelektrische Schicht unmittelbar auf der Verformungsschicht aufgebracht. Dies gestattet eine verlustfreie Kraftübertragung und ermöglicht die Herstellung des piezoelektrischen Antriebs durch Verwendung von in der Mikrotechnik üblichen Verfahren.

[0022] Weitere Vorteile, Einzelheiten und Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen, unter Bezugnahme auf die Zeichnungen. Es zeigen:

[0023] Fig. 1 eine prinzipielle Querschnittsansicht des Grundaufbaus eines erfindungsgemäßen piezoelektrischen Antriebs;

[0024] Fig. 2 eine schematische Draufsicht auf eine piezoelektrische Schicht des Antriebs mit strahlenförmigem Verlauf von Elektroden, wobei eine der Elektrodengruppen über einen im Zentrum liegenden Anschluss kontaktiert ist;

[0025] Fig. 3 eine schematische Draufsicht auf eine zweite Ausführungsform der Elektrodenanordnung an der piezoelektrischen Schicht mit zwei im Außenbereich kontaktierten Elektrodengruppen;

[0026] Fig. 4 eine schematische Draufsicht auf eine dritte Ausführungsform der Elektrodenstruktur mit parallel zueinander verlaufenden Streifenelektroden;

[0027] Fig. 5 eine schematische Draufsicht einer vierten Ausführungsform der Elektrodenstruktur der piezoelektrischen Schicht mit streifenförmigen und keilförmigen Elektroden;

[0028] Fig. 6 eine schematische Draufsicht einer fünften Ausführungsform mit sinusförmigen Elektrodenstreifen;

[0029] Fig. 7 zwei prinzipielle Schnittansichten eines Mikroventils mit dem erfindungsgemäßen piezoelektrischen Antrieb in einer geöffneten und einer geschlossenen Stellung.

[0030] In **Fig.** 1 ist der prinzipielle Aufbau eines erfindungsgemäßen piezoelektrischen Antriebs im Querschnitt gezeigt. Als aktives Antriebselement agiert eine piezoelektrische Schicht **01**, die an ihrer Oberseite mindestens ein gegenpoliges Elektrodenpaar **03** zur Beaufschlagung mit einer Versorgungsspannung trägt. Es ist darauf hinzuweisen, dass ein wesentlicher Aspekt der Erfindung darin zu sehen ist, dass beide das Elektrodenpaar **03** bildende Elektroden an einer gemeinsamen Seite der piezoelektrischen Schicht angeordnet sind. Ein wie im Stand der Tech-

nik gegenüberliegendes Elektrodenpaar ist hier nicht vorgesehen. Vielmehr ist im dargestellten Beispiel an der den Elektroden abgewandten Seite der piezoelektrischen Schicht **01** unmittelbar eine Membran **04** angeordnet, die eine Verformungsschicht des Antriebs bildet. Die Elektroden sind bevorzugt als Gruppen aus zahlreichen Einzelelektrodenstreifen gebildet, die alternierend auf der zu aktivierenden Fläche der piezoelektrischen Schicht angebracht sind.

[0031] Die Membran **04** ist in ihrem Randbereich an einer Membranauflage **05** befestigt, die beispielsweise ringförmig gestaltet ist. Soweit der piezoelektrische Antrieb nicht in einem Mikroventil eingesetzt wird, können über die Verformungsschicht **04** andere Antriebsaufgaben erfüllt werden, beispielsweise die Positionierung eines optischen Elements.

[0032] Der piezoelektrische Antrieb ist in **Fig.** 1 in einem aktivierten Zustand dargestellt, d. h. über das Elektrodenpaar **03** wird die piezoelektrische Schicht **01** mit einer Versorgungsspannung beaufschlagt, wodurch eine flächenhafte Dehnung der piezoelektrischen Schicht **01** hervorgerufen wird. Dies führt zu einer Verformung der piezoelektrischen Schicht und der daran angekoppelten Membran **04** bzw. Verformungsschicht in Richtung zur piezoelektrischen Schicht. Diese Verformung wird durch Erzeugung eines inhomogenen elektrischen Feldes erreicht, welches aufgrund einer speziellen Strukturierung bzw. Anordnung der Elektroden aufgebaut wird. Dafür werden nachfolgend bevorzugte Ausführungsformen beschrieben. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass durch veränderte Anordnung zueinander und Strukturierung der Elektroden auch eine Verformung der piezoelektrischen Schicht und der daran angekoppelten Membran bzw. Verformungsschicht in entgegen gesetzter Richtung, also hin zur Verformungsschicht erreichbar ist, was ebenfalls im Rahmen der vorliegenden Erfindung liegt.

[0033] **Fig.** 2 zeigt in einer schematischen Draufsicht eine erste Ausführungsform der prinzipiellen Strukturierung des Elektrodenpaars an der Oberseite der piezoelektrischen Schicht **01**. Die zahlreichen Elektroden verlaufen hier als gerade Streifen im Wesentlichen radial zwischen dem Zentrum und dem Rand der piezoelektrischen Schicht **01** und der darunter liegenden Membran **04**. Die Elektroden sind zu zwei Gruppen unterschiedlicher Polarität zusammengefasst und können damit elektrisch als zwei in Abschnitte zergliederte Elektroden betrachtet werden. Jeder Elektrode erster Polarität liegt eine Elektrode zweiter Polarität gegenüber, sodass ein elektrisches Feld entsteht, wenn eine Versorgungsspannung angelegt wird. Aufgrund der Verteilung der einzelnen Elektroden ist dieses Feld weitgehend inhomogen. Die Elektroden bestehen aus elektrisch gut leitfähigem Material und können durch in der Mikrotechnik übliche Verfahren hergestellt werden.

[0034] Die aktive Fläche der piezoelektrischen Schicht **01** ist bei der in **Fig.** 2 gezeigten Ausführung kreisförmig ausgebildet, wobei der äußere Rand des aktiven Bereichs durch die darunter liegende Membranauflage **05** (**Fig.** 1) definiert ist, an welcher die Membran **04** eingespannt ist. Die ersten Elektroden des Elektrodenpaars **03** gehen von einer äußeren, kreisförmigen Kontaktierungsstelle **06** aus und die zweiten Elektroden gehen von einer im Zentrum der piezoelektrischen Schicht **01** angeordneten zweiten Kontaktierungsstelle **07** aus. Der minimale Elektrodenabstand zwischen den gegenpoligen Elektroden muss an jeder Stelle so groß sein, dass ein elektrischer Überschlag bei den verwendeten Versorgungsspannungen vermieden wird. Durch Erhöhung der alternierenden Elektrodenzahl und damit einhergehender Reduzierung des Elektrodenabstands kann die erforderliche Versorgungsspannung reduziert werden.

[0035] **Fig.** 3 zeigt eine zweite Ausführungsform der Strukturierung der Elektroden auf der piezoelektrischen Schicht **01**. Bei dieser Ausführung verläuft die erste Kontaktierungsstelle **06** wiederum kreisförmig am äußeren Rand des aktiven Bereichs der piezoelektrischen Schicht **01**. Die zweite Kontaktierungsstelle **07** ist vom Zentrum weg ebenfalls in den äußeren Randbereich verlagert. Von der zweiten Kontaktierungsstelle **07** wird das angelegte Spannungspotential zum Zentrum geführt und von dort an die mehreren zweiten Elektroden verteilt, die wiederum strahlenförmig nach außen und alternierend zu den ersten Elektroden verlaufen.

[0036] **Fig.** 4 zeigt eine dritte Ausführungsform strukturierter Elektroden auf der piezoelektrischen Schicht **01**. Anders als bei den beiden zuvor beschriebenen Ausführungsformen, bei denen die elektrischen Feldstärken zwischen den Elektroden vom Zentrum zum äußeren Rand hin aufgrund des größer werdenden Elektrodenabstandes abnehmen, können hier im wesentlichen gleich bleibende Feldstärken generiert werden. Dazu werden parallel verlaufende Streifenelektroden verwendet, die wiederum über erste und zweite Kontaktierungsstellen **06**, **07** an die Versorgungsspannung angelegt werden. Durch die Vielzahl der Elektrodenstreifen kommt es beim Anlegen der Versorgungsspannung zu einer piezoelektrischen Reaktion der unter den Elektroden liegenden Piezomaterialschicht. Aufgrund der Interaktionen zwischen piezoelektrischen Längs- und Quereffekt wird unter den Elektroden eine Flächendehnung hervorgerufen.

[0037] **Fig.** 5 zeigt eine vierte Ausführungsform der Elektrodenstruktur, bei welcher sich die gegenpoligen Elektroden wiederum an parallelen Grenzflächen gegenüberstehen. Dazu sind streifenförmige erste Elektroden ausgebildet, die mit der ersten Kontaktierungsstelle **06** verbunden sind, und zwischenliegen-

de keilförmige zweite Elektroden, die mit der zweiten Kontaktierungsstelle **07** verbunden sind.

[0038] Sofern anstelle einer piezoelektrischen Schicht und einer darunter liegenden kreisförmigen Membran eine andere Membrangeometrie bevorzugt wird, muss die Elektrodenstruktur angepasst werden. Es können ebenfalls streifenförmige Elektroden eingesetzt werden, die auf der aktiven Fläche der piezoelektrischen Schicht zu verteilen sind.

[0039] Fig. 6 zeigt dazu eine fünfte Ausführungsform der Elektrodenstruktur, die auf einer rechteckigen piezoelektrischen Schicht **01** angebracht ist, welche an eine ebenfalls rechteckige Membran angekoppelt ist. Wie bereits oben erwähnt wurde, lässt sich die Versorgungsspannung reduzieren, wenn möglichst viele parallel verlaufende Elektrodenabschnitte realisiert werden. In der dargestellten Ausführungsform geschieht dies durch sinusförmige Elektroden, die alternierend angeordnet sind und über die erste bzw. zweite Kontaktierungsstelle **06**, **07** versorgt werden. Damit sind große Feldstärken in Oberflächennähe erreichbar, die große Dehnungen der oberflächennahen Gebiete in der piezoelektrischen Schicht hervorrufen.

[0040] Durch die erfindungsgemäße Anordnung beider Elektrodengruppen auf ein und derselben Seite der piezoelektrischen Schicht wird ein inhomogenes elektrisches Feld aufgebaut. Diese inhomogene Feldverteilung führt zu unterschiedlichen Dehnungen und Kontraktionen im gesamten vom Feld durchdrungenen Bereich der piezoelektrischen Schicht. Wenn die Elektroden in der beschriebenen Weise angeordnet werden, dominiert der Längseffekt im Piezomaterial, was zu einer Dehnung dieser Gebiete führt. Die Dicke des piezoelektrischen Materials spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle, denn das erzeugte elektrische Feld dringt nur in geringe Tiefen des Piezomaterials vor, so dass in den nicht vom elektrischen Feld beeinflussten Materialbereichen kaum piezoelektrische Effekte auftreten.

[0041] Fig. 7 zeigt zwei Querschnittsansichten des prinzipiellen Aufbaus eines Mikroventils, welches den zuvor erläuterten piezoelektrischen Antrieb verwendet. In der Abb. A) ist das Mikroventil im geschlossenen Zustand gezeigt, während Abb. B) den geöffneten Zustand des Ventils zeigt. Die Membran **04** und die daran angebrachte piezoelektrische Schicht **01** überdecken einen Zulaufkanal **08** und einen Ablaufkanal **09** des Ventils. Im geschlossenen Zustand sind beide Kanäle durch die Membran **04** verschlossen, so dass kein Fluid zwischen dem Zulaufkanal und dem Ablaufkanal strömen kann. Bei Aktivierung der piezoelektrischen Schicht **01** kommt es zur beschriebenen Flächendehnung, so dass sich die Membran **04** in Richtung zur piezoelektrischen Schicht **01** wölbt und damit die Kanäle **08**, **09** freigibt. Ein zu steuerndes Fluid kann dann zwischen den Kanälen über einen sich ausbildenden Ventilraum **10** strömen.

[0042] Für den Fachmann ist ersichtlich, dass unter Verwendung des erfindungsgemäßen piezoelektrischen Antriebs unterschiedliche Mikroventile aufgebaut werden können. Ebenso ist der piezoelektrische Antrieb für andere Antriebsfälle einsetzbar.

Bezugszeichenliste

01	piezoelektrische Schicht
02	-
03	Elektrodenpaar
04	Membran / Verformungsschicht
05	Membranauflage
06	erste Kontaktierungsstelle
07	zweite Kontaktierungsstelle
08	Zulaufkanal
09	Ablaufkanal
10	Ventilraum

Patentansprüche

1. Piezoelektrischer Antrieb, insbesondere für Mikroventile, umfassend eine Verformungsschicht (**04**), welche auf einer Seite an eine piezoelektrische Schicht (**01**) gekoppelt ist, die zur elektrischen Versorgung mit mindestens einem Elektrodenpaar (**03**) aus zwei gegenpoligen Elektroden versehen ist, wobei die beiden gegenpoligen Elektroden des Elektrodenpaars (**03**) gemeinsam an der der Verformungsschicht (**04**) abgewandten Seite der piezoelektrischen Schicht (**01**) angeordnet sind, wobei sich die von den gegenpoligen Elektroden bedeckte Fläche im Wesentlichen bis zum äußeren Rand der piezoelektrischen Schicht (**01**) erstreckt, **dadurch gekennzeichnet,** dass die gegenpoligen Elektroden innerhalb einer kreisförmigen Fläche als radial verlaufende Streifen alternierender Polarität angeordnet sind.

2. Piezoelektrischer Antrieb, insbesondere für Mikroventile, umfassend eine Verformungsschicht (**04**), welche auf einer Seite an eine piezoelektrische Schicht (**01**) gekoppelt ist, die zur elektrischen Versorgung mit mindestens einem Elektrodenpaar (**03**) aus zwei gegenpoligen Elektroden versehen ist, wobei die beiden gegenpoligen Elektroden des Elektrodenpaars (**03**) gemeinsam an der der Verformungsschicht (**04**) abgewandten Seite der piezoelektrischen Schicht (**01**) angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet,** dass die gegenpoligen Elektroden als sinusförmige Streifen alternierender Polarität angeordnet sind.

3. Piezoelektrischer Antrieb nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Verformungsschicht (**04**) aus einem elektrisch nicht leitenden Material besteht.

4. Piezoelektrischer Antrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet,** dass die beiden gegenpoligen Elektroden durch zahlreiche nebeneinander verlaufende Streifen alternierender Polarität gebildet sind.

5. Piezoelektrischer Antrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet,** dass die beiden gegenpoligen Elektroden derart strukturiert sind, dass beim Anlegen einer Spannung eine Verformung der piezoelektrischen Schicht (**01**) in zur Lage der Verformungsfläche (**04**) entgegen gesetzten Richtung resultiert.

6. Piezoelektrischer Antrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet,** dass zahlreiche gegenpoligen Elektroden parallel zueinander verlaufend auf der der Verformungsschicht (**04**) abgewandten Seite der piezoelektrischen Schicht (**01**) angebracht sind.

7. Piezoelektrischer Antrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet,** dass zahlreiche gegenpoligen Elektroden so auf der der Verformungsschicht (**04**) abgewandten Seite der piezoelektrischen Schicht (**01**) angebracht sind, dass sich ein inhomogenes elektrisches Feld im oberflächennahen Bereich der piezoelektrischen Schicht (**01**) ausbildet.

8. Piezoelektrischer Antrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet,** dass sich die von den gegenpoligen Elektroden bedeckte Fläche im Wesentlichen bis zum äußeren Rand der piezoelektrischen Schicht (**01**) erstreckt.

9. Piezoelektrischer Antrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet,** dass die piezoelektrische Schicht (**01**) unmittelbar an der Verformungsschicht (**04**) angebracht ist.

10. Mikroventil mit einem piezoelektrischen Antrieb nach einem der Ansprüche 1 bis 9, mindestens einem Ventilkanal (**08**, **09**) und einer den Ventilkanal öffnenden oder schließenden Membran (**04**), wobei die Membran (**04**) zugleich die Verformungsschicht des piezoelektrischen Antriebs bildet.

11. Mikroventil nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Membran (**04**) bei nicht aktiviertem piezoelektrischen Antrieb im nicht verformten Zustand ist und den Ventilkanal (**08**, **09**) verschließt und zur Öffnung des Ventilkanals von diesem weg verformt wird durch Aktivierung des Antriebs.

12. Mikroventil nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet,** dass die piezoelektrische Schicht (**01**) des Antriebs auf der dem Ventilkanal (**08**, **09**) abgewandten Seite der Membran (**04**) angeordnet ist.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

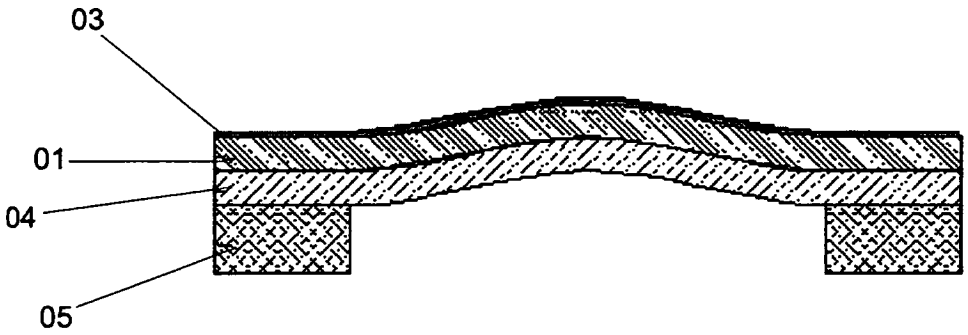


Fig. 1

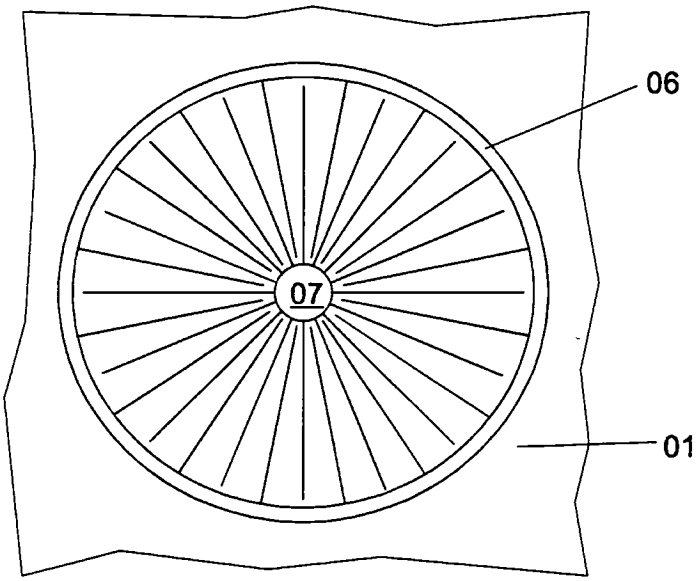


Fig. 2

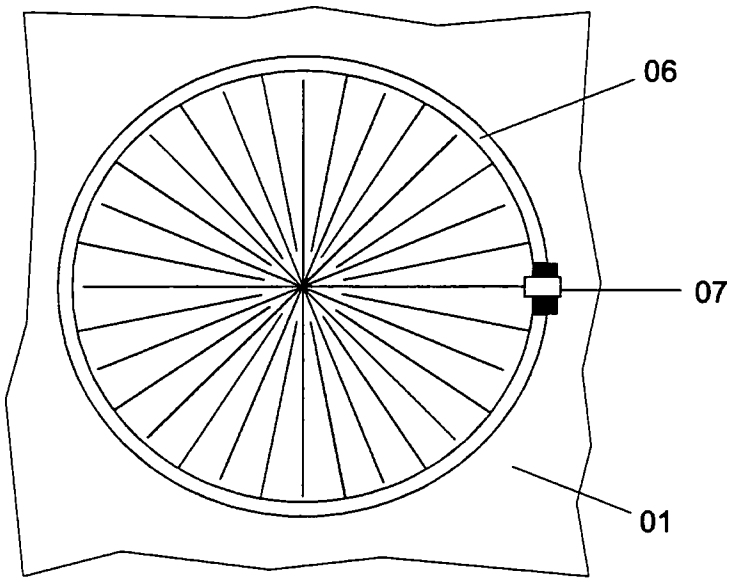


Fig. 3

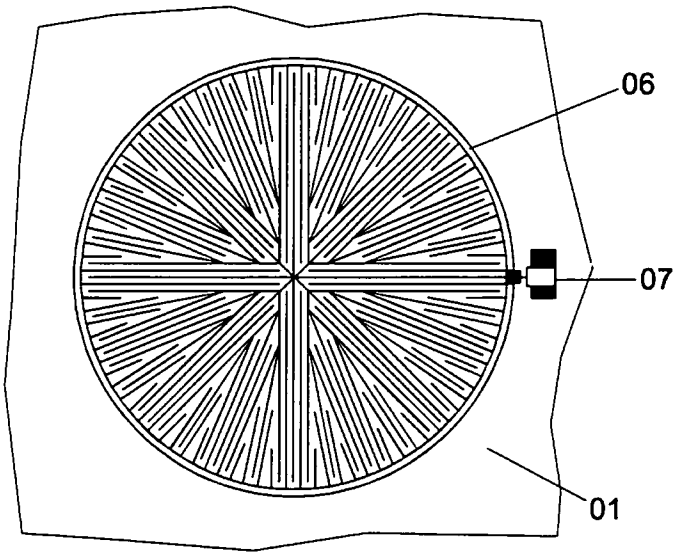


Fig. 4

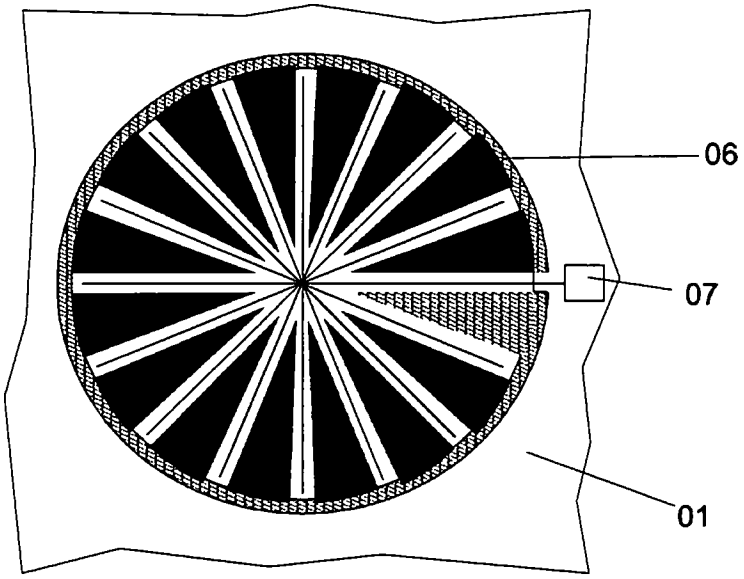


Fig. 5

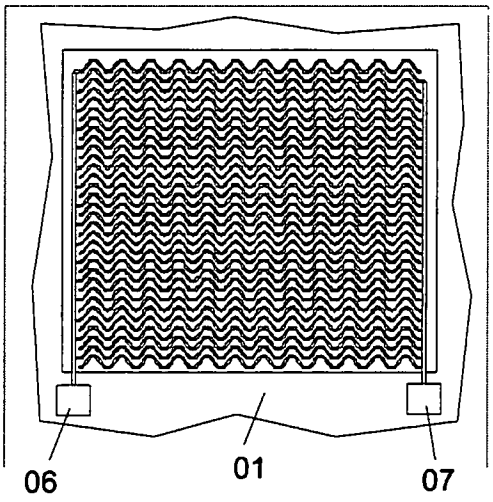


Fig. 6

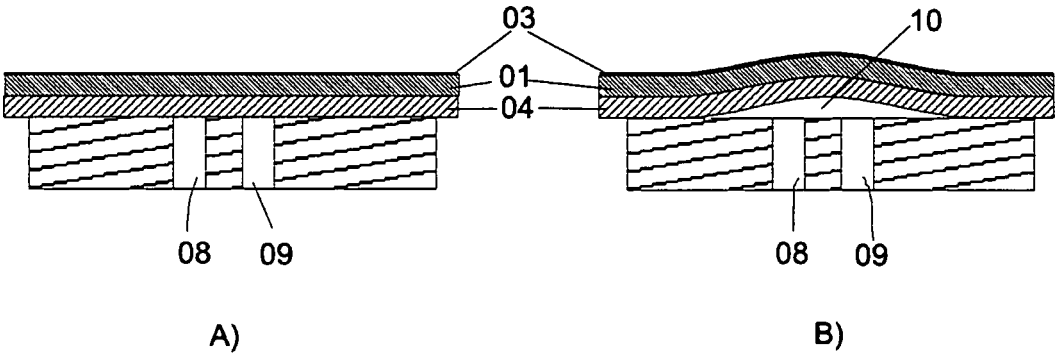


Fig. 7