



(10) **DE 10 2009 019 005 A1** 2010.11.04

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 019 005.8**

(22) Anmeldetag: **20.04.2009**

(43) Offenlegungstag: **04.11.2010**

(51) Int Cl.⁸: **H02N 2/18** (2006.01)

(66) Innere Priorität:

10 2009 019 000.7 15.04.2009

(71) Anmelder:

Taheripur, Mohammad Ali, Ghom, IR

(74) Vertreter:

**Hauck Patent- und Rechtsanwälte, 20354
Hamburg**

(72) Erfinder:

Takdehghan, Ghasem, Nazarabad Abyek, IR

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

DE 199 54 020 C2

DE 10 2005 046295 A1

DE 10 2005 025094 A1

DE 199 42 739 A1

US 58 69 189 A

**Menche, Jörg: Brownsche Teilchen mit inneren
Freiheitsgraden, Diplomarbeit an der Humboldt
Universität zu Berlin, Institut für Physik,
15.08.2005, S. 1-10**

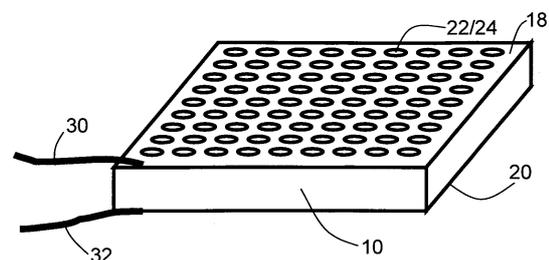
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Umwandlung der Brownschen Bewegungsenergie eines Fluids in elektrische Energie**

(57) Zusammenfassung: Vorrichtung zur Umwandlung der Brownschen Bewegungsenergie eines Fluids in elektrische Energie, mit

- einer elektrisch isolierenden Schicht, die eine Oberseite und eine Unterseite aufweist, zwischen denen eine Vielzahl von Durchgangskanälen ausgebildet ist,
- einer ersten elektrisch leitenden Schicht an der Oberseite der elektrisch isolierenden Schicht,
- einer zweiten elektrisch leitenden Schicht an der Unterseite der elektrisch isolierenden Schicht und
- einer Vielzahl piezoelektrischer Elemente, die jeweils in einem der Durchgangskanäle so angeordnet sind, dass sie mit der ersten elektrisch leitenden Schicht und mit der zweiten elektrisch leitenden Schicht in Kontakt stehen und dass mindestens eine Fläche des piezoelektrischen Elements frei liegt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Umwandlung der Brownschen Bewegungsenergie eines Fluids in elektrische Energie.

[0002] Eine bekannte Vorrichtung, die Wärme in elektrische Energie umwandeln kann, ist das sogenannte Thermoelement. Dieses besteht aus zwei unterschiedlichen und an einem Ende miteinander verbundenen Metallen. Thermoelemente dienen meist zur Temperaturmessung. Werden statt der Metalle unterschiedlich dotierte Halbleitermaterialien verwendet, spricht man von einem thermoelektrischen Generator. Dieser ist aufgebaut wie ein Peltier-Element und nutzt den sogenannten Seebeck-Effekt.

[0003] Andere bekannte Vorrichtungen können Licht in elektrische Energie umwandeln. Diese werden als Solarzellen oder Photovoltaikmodule bezeichnet und bestehen ebenfalls aus unterschiedlichen Halbleitermaterialien.

[0004] Davon ausgehend ist es die Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zur Umwandlung der Brownschen Bewegungsenergie eines Fluids in elektrische Energie zur Verfügung zu stellen sowie ein Verfahren zur Herstellung der Vorrichtung.

[0005] Diese Aufgabe wird gelöst durch die Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und durch das Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 19. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Vorrichtung und des Verfahrens sind in den sich jeweils anschließenden Unteransprüchen angegeben.

[0006] Die Vorrichtung zur Umwandlung der Brownschen Bewegungsenergie eines Fluids in elektrische Energie hat

- eine elektrisch isolierende Schicht, die eine Oberseite und eine Unterseite aufweist, zwischen denen eine Vielzahl von Durchgangskanälen ausgebildet ist,
- eine erste elektrisch leitende Schicht an der Oberseite der elektrisch isolierenden Schicht,
- eine zweite elektrisch leitende Schicht an der Unterseite der elektrisch isolierenden Schicht und
- eine Vielzahl piezoelektrischer Elemente, die jeweils in einem der Durchgangskanäle so angeordnet sind, dass sie mit der ersten elektrisch leitenden Schicht und mit der zweiten elektrisch leitenden Schicht in Kontakt stehen und dass mindestens eine Fläche des piezoelektrischen Elements frei liegt.

[0007] Das Fluid kann eine beliebige Flüssigkeit oder ein beliebiges Gas sein. Mit der Brownschen Bewegungsenergie des Fluids ist die Energie gemeint, die den Teilchen des Fluids aufgrund ihrer Wärmebewegung innewohnt. Weil bei der Erfindung

die Bewegung einzelner Teilchen bzw. weniger Teilchen des Fluids für den Energieumwandlungsprozess ausgenutzt wird, wird der lediglich für eine makroskopische Gesamtheit von Teilchen eines Fluids sinnvoll definierte Begriff „Wärme“ nicht verwendet, obwohl er mit der Brownschen Bewegung eng zusammenhängt.

[0008] Die Bereitstellung elektrischer Energie erfolgt bei der Erfindung durch Ausnutzung des piezoelektrischen Effekts. Ein piezoelektrisches Material, das diesen Effekt aufweist, bildet bei elastischer Verformung eine elektrische Polarisation aus, so dass elektrische Spannung erzeugt wird. Die Ausnutzung dieses Effekts ist für Kraft-, Druck- und Beschleunigungssensoren allgemein bekannt. Auch die Ausnutzung des umgekehrten Effekts, nämlich die Verformung eines Körpers aus einem piezoelektrischen Material beim Anlegen einer Spannung, ist in vielen Gebieten der Technik als Antriebs- und Verstellmechanismus allgemein bekannt.

[0009] Bei der Erfindung wird der piezoelektrische Effekt durch Verwendung einer Vielzahl sehr kleiner piezoelektrischer Elemente dadurch ausgenutzt, dass die Teilchen eines die Vorrichtung umgebenden Fluids auf die mindestens eine frei liegende Fläche eines piezoelektrischen Elements stoßen und zu einer Verformung des piezoelektrischen Elements führen. Durch diesen Stoß geben die Teilchen einen Teil ihrer Brownschen Bewegungsenergie an das piezoelektrische Element ab. Durch die Verformung des piezoelektrischen Elements entsteht eine elektrische Spannung, die über die erste und zweite elektrisch leitende Schicht, die jeweils mit dem piezoelektrischen Element in Kontakt stehen, abgeleitet wird.

[0010] Frei liegen der mindestens einer Fläche bedeutet, dass die Fläche einem die Vorrichtung umgebenden Fluid, insbesondere einem die piezoelektrischen Elemente umgebenden Fluid, derart ausgesetzt ist, dass ein Teilchen des Fluids bei einem Stoß auf die Fläche einen Teil seiner Bewegungsenergie an das piezoelektrische Element abgeben kann. Hierfür ist es vorteilhaft, wenn die frei liegende Fläche unmittelbar an das Fluid angrenzt.

[0011] Die Vorrichtung kann insbesondere zur Bereitstellung elektrischer Energie verwendet werden, die der Umgebung, beispielsweise der Luft, auf die genannte Weise entzogen wird. Die Vorrichtung kann wegen ihrer Fähigkeit, der Umgebung Wärme zu entziehen, auch zu Kühlzwecken eingesetzt werden.

[0012] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann in ganz unterschiedlichen Abmessungen hergestellt und sinnvoll genutzt werden. Denkbar sind ebenso sehr kleine Vorrichtungen, bei denen sich die Schichten in der Länge und Breite beispielsweise nur einen oder wenige Millimetern, gegebenenfalls auch nur

Bruchteile eines Millimeters, erstrecken. Derartige Vorrichtungen können als Energiequelle für transportable elektronische Geräte wie beispielsweise Mobiltelefone oder Uhren genutzt werden. Ebenfalls möglich sind größere Vorrichtungen, bei denen sich die Schichten in der Länge und Breite beispielsweise einen oder mehrere Zentimeter oder Meter erstrecken. Diese können insbesondere als Energiequelle für größere elektrisch betriebene Geräte oder auch stationär eingesetzt werden. Es können auch mehrere Vorrichtungen als Module ausgebildet sein, die elektrisch und/oder mechanisch miteinander verbindbar sind.

[0013] In einer Ausgestaltung sind die Abmessungen der jeweils mindestens einen Fläche so klein, dass die beim Stoß eines einzelnen Teilchens eines die Vorrichtung umgebenden Fluids auf die Fläche ausgelöste elektrische Reaktion des piezoelektrischen Elements über die elektrisch leitenden Schichten ableitbar ist. Das umgebende Fluid kann eine Flüssigkeit oder ein Gas, insbesondere die Umgebungsluft, sein. Die Größe der frei liegenden Fläche ist für das Erreichen des geschilderten Effekts eines Teilchenstoßes von Bedeutung. Ebenfalls von Bedeutung ist die Größe des piezoelektrischen Elements, das die frei liegende Fläche aufweist. Bevorzugt entspricht die frei liegende Fläche dem Querschnitt des piezoelektrischen Elements. Die Energieübertragung von den Teilchen des Fluids auf das piezoelektrische Element kann auch als Druckausübung des Fluids auf die frei liegende Fläche verstanden werden, wobei der Druck von einer Anzahl von Teilchen des Fluids, die innerhalb einer bestimmten Zeit auf die Fläche auftreffen, ausgeübt wird. Aufgrund der statistisch verteilten Bewegungen der Teilchen unterliegt der ausgeübte Druck Schwankungen, deren Ausprägung von der Größe der Fläche abhängig ist. Berechnungen für Luft als umgebendes Fluid haben ergeben, dass bei einer Fläche mit einem Durchmesser von 0,5 μm etwa 600 mal pro Stunde mit einer verwertbaren Druckzufuhr zu rechnen ist, während dieser Effekt bei einer Fläche mit einem Durchmesser von 5 μm nur einmal in 18 Monaten erreicht wird.

[0014] In einer Ausgestaltung weisen die piezoelektrischen Elemente an beiden Enden jeweils eine frei liegende Fläche auf. Bei dieser Anordnung der frei liegenden Flächen kann jedes piezoelektrische Element durch Teilchenstöße an der Oberseite und an der Unterseite aktiviert werden. Bevorzugt können die beiden frei liegenden Flächen der Querschnittsfläche des piezoelektrischen Elements entsprechen.

[0015] Gemäß einer Ausgestaltung erstrecken sich die Durchgangskanäle durch die erste elektrisch leitende Schicht und/oder durch die zweite elektrisch leitende Schicht hindurch. Die von den elektrisch leitenden Schichten gebildeten Wandungen der Durch-

gangskanäle stehen dann in Kontakt mit den piezoelektrischen Elementen, die in den Durchgangskanälen angeordnet sind. Es ist daher eine einfache Lösung für die Kontaktierung der piezoelektrischen Elemente gefunden, die zugleich zur Ausbildung frei liegender Flächen der piezoelektrischen Elemente an beiden Enden führen kann.

[0016] In einer Ausgestaltung sind die Durchgangskanäle zylindrisch. Sie haben demnach eine im Wesentlichen über ihre gesamte Länge gleichmäßige Querschnittsfläche, die beispielsweise quadratisch, vieleckig oder rund sein kann. Die Durchgangskanäle können insbesondere geradlinig verlaufen und eine Längsrichtung aufweisen, die im rechten Winkel zur Oberseite und Unterseite der elektrisch isolierenden Schicht angeordnet ist. Die in den Durchgangskanälen angeordneten piezoelektrischen Elemente können die Durchgangskanäle vollständig ausfüllen und eine korrespondierende Form aufweisen. Ein zylindrisches piezoelektrisches Element spricht besonders gut auf die Teilchenstöße an. Zylindrische Durchgangskanäle sind zudem einfacher zu fertigen.

[0017] In einer Ausgestaltung weisen die piezoelektrischen Elemente eine elektrische Polarisierung auf, die entlang einer Längsrichtung eines Durchgangskanals und/oder in einem Winkel zu einer der freiliegenden Flächen ausgerichtet ist. Genauer ist mit der Richtung der elektrischen Polarisierung diejenige Richtung gemeint, in der die piezoelektrischen Elemente durch Verformung elektrisch polarisierbar sind. Bevorzugt ist die elektrische Polarisierung jedes einzelnen piezoelektrischen Elements in der genannten Weise zu dem zugehörigen Durchgangskanal bzw. zu der zugehörigen frei liegenden Fläche ausgerichtet. Die Polarisationsrichtungen der piezoelektrischen Elemente können jedoch auch voneinander abweichen, wobei eine möglichst große Netto-Polarisation angestrebt wird. Die durch eine Verformung eines piezoelektrischen Elements hervorgerufene elektrische Spannung ist maximal, wenn die elektrische Polarisierung des Materials bzw. genauer die Richtung der Polarisierbarkeit in Richtung der Verformung verläuft. Gleichfalls bevorzugt ist eine Ausrichtung der Polarisierung derart, dass sie einer gedachten Verbindungslinie zwischen den Kontaktbereichen mit den beiden elektrisch leitenden Schichten entspricht.

[0018] In einer Ausgestaltung sind mindestens 10^4 Durchgangskanäle pro Quadratzentimeter der elektrisch isolierenden Schicht vorhanden. Bevorzugt sind mindestens 5×10^4 , 10^5 , 5×10^5 , 10^6 oder mehr Durchgangskanäle pro Quadratzentimeter vorhanden. Je mehr Durchgangskanäle bzw. piezoelektrische Elemente pro Fläche der Vorrichtung vorhanden sind, desto häufiger können Teilchenstöße zur Bereitstellung elektrischer Energie ausgenutzt werden.

[0019] In einer Ausgestaltung beträgt die größte Erstreckung der mindestens einen Fläche 5 μm oder weniger. Die größte Erstreckung der mindestens einen Fläche kann bevorzugt weniger als 2 μm , beispielsweise 0,5 μm bis 1 μm betragen. Ebenfalls denkbar ist eine größte Erstreckung der mindestens einen Fläche im Bereich von 0,2 μm bis 0,5 μm oder bis 1,5 μm .

[0020] In einer Ausgestaltung beträgt die Dicke der isolierenden Schicht 1 mm oder weniger. Beispielsweise kann die Dicke der isolierenden Schicht im Bereich von weniger als 500 μm , insbesondere im Bereich von 200 μm bis 500 μm , liegen. Auch noch wesentlich dünnere isolierende Schichten sind möglich, beispielsweise im Bereich weniger Mikrometer.

[0021] Gemäß einer Ausgestaltung beträgt die Dicke der ersten elektrisch leitenden Schicht und/oder der zweiten elektrisch leitenden Schicht 50 μm oder weniger. Beispielsweise kann sie im Bereich zwischen 10 μm und 30 μm liegen. Besonders bevorzugt ist eine Dicke von ungefähr 20 μm . Es können auch noch wesentlich dünnere Schichtdicken der elektrisch leitenden Schichten verwendet werden, beispielsweise im Bereich von 1 μm bis 5 μm , was herstellungstechnische Vorteile bieten kann. Denkbar ist insbesondere eine Dicke der elektrisch leitenden Schichten von ungefähr 3 μm .

[0022] In einer Ausgestaltung ist die elektrisch isolierende Schicht temperaturbeständig bis 170°C oder mehr. Auch die beiden elektrisch leitenden Schichten weisen bevorzugt mindestens diese Temperaturbeständigkeit auf. Die Temperaturbeständigkeit ist insbesondere von Vorteil bei der Herstellung der Vorrichtung im Hinblick auf das Anordnen eines piezoelektrischen Materials und auf das Ausbilden einer gewünschten elektrischen Polarisierung der piezoelektrischen Elemente durch Anlegen eines elektrischen Feldes bei erhöhter Temperatur.

[0023] In einer Ausgestaltung weist die isolierende Schicht Mica auf. Eine andere Bezeichnung für dieses Material ist Glimmer. Mica ist ein kostengünstiges und gut schichtweise spaltbares Material mit hervorragenden Isolationseigenschaften. Die isolierende Schicht kann insbesondere vollständig aus diesem Material bestehen.

[0024] In einer Ausgestaltung weist die erste elektrisch leitende Schicht und/oder die zweite elektrisch leitende Schicht Kupfer auf. Kupfer lässt sich gut schichtweise aufbringen und ist für seine hohe elektrische Leitfähigkeit bekannt. Bevorzugt können die elektrisch leitenden Schichten vollständig aus Kupfer bestehen. Es können alternativ andere ausreichend gut elektrisch leitfähige Schichten, beispielsweise Silber, Gold oder andere Metalle, verwendet werden.

[0025] In einer Ausgestaltung weist die Vorrichtung ein bei einer Betriebstemperatur der Vorrichtung flüssiges Material auf, das gleichzeitig die erste elektrisch leitende Schicht und/oder die zweite elektrisch leitende Schicht sowie das Fluid bildet. Die Betriebstemperatur der Vorrichtung kann insbesondere der Temperatur der Umgebungsluft entsprechen und beispielsweise im Bereich von -30°C bis +60°C liegen. Wie in einer weiteren Ausgestaltung vorgesehen, kann das flüssige Material dann beispielsweise Quecksilber sein. Quecksilber hat eine hohe elektrische Leitfähigkeit. Dass eine Fläche des piezoelektrischen Elements frei liegt, bedeutet bei diesen Ausgestaltungen, dass die Fläche dem flüssigen Material, das zugleich das die piezoelektrischen Elemente umgebende Fluid bildet, ausgesetzt ist.

[0026] Gemäß einer Ausgestaltung weisen die piezoelektrischen Elemente Polyvinylidenfluorid auf. Polyvinylidenfluorid, abgekürzt PVDF, ist ein transparenter, teilkristalliner, thermoplastischer Fluorkunststoff. Bekannte Handelsnamen sind Kynar und Dyneon. Es wird für unterschiedliche technische Anwendungen eingesetzt. Nach entsprechender Polarisierung durch Ausrichtung der kristallinen Bereiche weist das Material einen starken piezoelektrischen Effekt auf. Es ist daher besonders gut für die erfindungsgemäße Vorrichtung geeignet, denn es kann aufgrund seiner thermoplastischen Eigenschaften verflüssigt und in die Durchgangskanäle eingebracht werden. Zusätzlich kann die gewünschte Polarisationsrichtung nach dem Einbringen des Materials in die Durchgangskanäle hergestellt werden.

[0027] In einer Ausgestaltung sind die erste elektrisch leitende Schicht und/oder die zweite elektrisch leitende Schicht jeweils mit einem Kabel verbunden. Über die Kabel kann die elektrische Energie von der Vorrichtung abgeführt werden.

[0028] Gemäß einer Ausgestaltung sind mehrere Vorrichtungen in einem Abstand voneinander übereinander angeordnet. Der Abstand zwischen den Vorrichtungen ist bevorzugt so bemessen, dass eine ausreichende Wärmezufuhr zwischen den einzelnen Lagen Vorrichtungen erreicht werden kann. Die Wärmezufuhr kann durch Erzeugen einer Fluidströmung zwischen den einzelnen Lagen der Vorrichtung, beispielsweise durch einen Ventilator, erhöht werden. Durch die stapelweise Anordnung kann eine große Fläche der Vorrichtungen auf kleinem Raum angeordnet werden, so dass eine hohe Energieausbeute möglich ist.

[0029] Das erfindungsgemäße Verfahren gemäß Anspruch 19 dient zur Herstellung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18 und weist die folgenden Schritte auf, die bevorzugt, aber nicht notwendigerweise in der nachstehenden Reihenfolge ausgeführt werden müssen:

- Bereitstellen einer elektrisch isolierenden Schicht,
- Anordnen einer ersten elektrisch leitenden Schicht an der Oberseite der elektrisch isolierenden Schicht,
- Anordnen einer zweiten elektrisch leitenden Schicht an der Unterseite der elektrisch isolierenden Schicht,
- Ausbilden einer Vielzahl von Durchgangslöchern in der elektrisch isolierenden Schicht,
- Anordnen eines piezoelektrischen Materials in den Durchgangslöchern derart, dass eine Vielzahl piezoelektrischer Elemente entstehen, die jeweils mit der ersten elektrisch leitenden Schicht und mit der zweiten elektrisch leitenden Schicht in Kontakt stehen, wobei jeweils mindestens eine Fläche eines piezoelektrischen Elements freiliegt.

[0030] Zur Erläuterung der Merkmale und Vorteile des Verfahrens wird auf die obigen Ausführungen zu der korrespondierenden Vorrichtung verwiesen.

[0031] In einer Ausgestaltung werden die erste elektrisch leitende Schicht und die zweite elektrisch leitende Schicht vor dem Ausbilden der Durchgangskanäle auf der elektrisch isolierenden Schicht angeordnet und beim Ausbilden der Durchgangskanäle werden alle drei Schichten mit den Durchgangskanälen versehen. Somit werden Durchgangskanäle ausgebildet, die nach Einbringen eines piezoelektrischen Materials automatisch eine Kontaktierung mit den elektrisch leitenden Schichten und die Ausbildung von freiliegenden Flächen an der Oberseite und der Unterseite der Vorrichtung zur Folge haben. Dadurch vereinfacht sich das Herstellungsverfahren gegenüber anderen, ebenfalls denkbaren Verfahrensführungen, bei denen durch gesonderte Maßnahmen für die Kontaktierung der elektrisch leitenden Schichten und/oder das Ausbilden der frei liegenden Flächen gesorgt werden muss.

[0032] In einer Ausgestaltung erfolgt das Anordnen der elektrisch leitenden Schichten durch Abscheiden eines elektrisch leitenden Materials in einem Elektrolyseverfahren. Eine derartige Abscheidung ist auch unter der Bezeichnung galvanische Abscheidung geläufig. Grundsätzlich können die elektrisch leitenden Schichten durch ein beliebiges Verfahren hergestellt werden. Die Abscheidung in einem Elektrolyseverfahren stellt eine bewährte Technik mit gut kontrollierbaren Prozessparametern dar.

[0033] Gemäß einer Ausgestaltung erfolgt das Ausbilden der Durchgangskanäle durch ein Röntgentiefenlithographieverfahren. Durch die Röntgentiefenlithographie ist es möglich, lateral beliebig gestaltete Strukturen mit hohem Aspektverhältnis herzustellen. Höhen von mehr als 1 mm und ein laterales Auflösungsvermögen bis zu 0,2 µm wurden bereits erreicht. Es können Strukturen mit glatten und zueinan-

der parallelen Wänden erzeugt werden. Hierzu wird eine sehr durchdringende, intensive und parallele Röntgenstrahlung verwendet, wie sie ein Synchrotron zur Verfügung stellt. Die Strukturinformationen können mit Hilfe eines CAD-Systems erstellt und anschließend zur Ausbildung einer Maske verwendet werden, die den besonderen Anforderungen der harten Röntgenstrahlung gerecht wird. Ein „transparenter“ Träger der Maske kann durch eine sehr dünne Metallfolie, beispielsweise aus Titan oder Beryllium, gebildet werden und die abzudeckenden Bereiche können beispielsweise aus einer vergleichsweise dicken Goldschicht bestehen. Mittels Synchrotronstrahlung kann diese laterale Strukturinformation durch „Schattenwurf“ in die elektrisch isolierende Schicht übertragen werden. Die eindringende Strahlung verändert dabei das Material so, dass es mit einem geeigneten Lösungsmittel entfernt werden kann, wobei die Struktur aus dem unbestrahlten Material als Primärstruktur zurückbleibt.

[0034] Gemäß einer Ausgestaltung erfolgt das Anordnen des piezoelektrischen Materials durch Einsaugen des Materials in die Durchgangskanäle. Das piezoelektrische Material befindet sich dabei in einem plastisch verformbaren, bevorzugt flüssigen Zustand. Beispielsweise kann es an der Unterseite der Durchgangskanäle angeordnet und durch Erzeugen eines Vakuums an der Oberseite der Durchgangskanäle in diese eingesaugt werden. Mit dem genannten Verfahren ist es möglich, eine Vielzahl sehr kleiner Durchgangskanäle gleichzeitig zu füllen.

[0035] Gemäß einer Ausgestaltung wird ein thermoplastisches, piezoelektrisches Material bei einer Temperatur oberhalb seiner Schmelztemperatur eingebracht. Das Material kann beispielsweise Polyvinylidenfluorid sein, welches eine Schmelztemperatur von ca. 175°C aufweist. Voraussetzung ist eine entsprechende Temperaturbeständigkeit des Schichtmaterials, das die Durchgangskanäle aufweist.

[0036] In einer Ausgestaltung wird die Vorrichtung nach dem Anordnen des piezoelektrischen Materials in den Durchgangskanälen einem elektrischen Feld ausgesetzt, so dass die piezoelektrischen Elemente elektrisch in Richtung des Feldes polarisiert bzw. in dieser Richtung durch Verformung polarisierbar werden. Die Richtung des elektrischen Feldes kann dabei entsprechend der erwünschten Polarisationsrichtung gewählt werden. Beispielsweise kann dabei eine Feldstärke von 10⁶ Volt pro Meter oder mehr verwendet werden.

[0037] Gemäß einer Ausgestaltung wird das Verfahren so ausgeführt, dass die hergestellte Vorrichtung eines oder mehrere der Merkmale der Unteransprüche 2 bis 18 aufweist. Dies wird durch entsprechende Wahl der jeweiligen Verfahrensparameter oder -randbedingungen erreicht.

[0038] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von in drei Figuren dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

[0039] [Fig. 1](#) eine perspektivische Ansicht einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer vereinfachten Darstellung;

[0040] [Fig. 2](#) einen Ausschnitt einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einem Querschnitt senkrecht zur Richtung der Schichten;

[0041] [Fig. 3](#) einen Ausschnitt einer anderen erfindungsgemäßen Vorrichtung in einem Querschnitt senkrecht zur Richtung der Schichten.

[0042] Die in der [Fig. 1](#) gezeigte Vorrichtung besteht aus einer in der Mitte angeordneten, elektrisch isolierenden Schicht **10**, die eine Dicke von 500 µm aufweist. An der Oberseite der elektrisch isolierenden Schicht ist eine erste elektrisch leitende Schicht **18**, an der Unterseite der elektrisch isolierenden Schicht **10** eine zweite elektrisch leitende Schicht **20** angeordnet. Die beiden elektrisch leitenden Schichten **18**, **20** bestehen jeweils aus Kupfer mit einer Schichtdicke von 20 µm. Eine Vielzahl piezoelektrischer Elemente **22** ist rasterartig über die Fläche der Vorrichtung verteilt angeordnet. Die piezoelektrischen Elemente weisen jeweils an der Unterseite und an der Oberseite der Vorrichtung eine frei liegende Fläche **24** auf, die einem die Vorrichtung umgebenden Fluid ausgesetzt ist. Hinsichtlich der Anordnung und Anzahl der piezoelektrischen Elemente **22** ist die [Fig. 1](#) stark vereinfacht. In der Praxis kann die Vorrichtung beispielsweise Abmessungen von 10 cm × 10 cm aufweisen, wobei auf jedem Quadratzentimeter der Vorrichtung 10⁶ piezoelektrische Elemente angeordnet sind und die größte Erstreckung der beispielsweise annähernd kreisförmig ausgebildeten, frei liegenden Flächen **24** beispielsweise 1 µm beträgt. Mit der ersten elektrisch leitenden Schicht **18** an der Oberseite der Vorrichtung ist ein erstes Kabel **30**, mit der zweiten elektrisch leitenden Schicht **20** an der Unterseite der Vorrichtung ist ein zweites Kabel **32** verbunden.

[0043] An einem Prototypen einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit den oben beispielhaft genannten Abmessungen wurde eine elektrische Leistung von 0,163 Watt gemessen.

[0044] Anhand der [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) sollen mögliche Anordnungen der piezoelektrischen Elemente genauer erläutert werden. Eine erste Möglichkeit ist in der [Fig. 2](#) gezeigt. In dem Querschnitt sind zunächst die elektrisch isolierende Schicht **10**, die an der Oberseite **12** angeordnete, erste elektrisch leitende Schicht **18** und die an der Unterseite **14** angeordnete zweite elektrisch leitende Schicht **20** zu erkennen.

[0045] Durch die elektrisch isolierende Schicht **10** und die erste elektrisch leitende Schicht **18** hindurch erstrecken sich Durchgangskanäle **16**, die einen gleichmäßigen Querschnitt aufweisen und eine Längsrichtung, die senkrecht zum Verlauf der genannten Schichten angeordnet ist. Das in der Zeichnung unten angeordnete Ende der Durchgangskanäle **16** ist durch die zweite elektrisch leitende Schicht **20** verschlossen. Durchgängig sind die Durchgangskanäle **16** mithin lediglich hinsichtlich der elektrisch isolierenden Schicht **10** und der ersten elektrisch leitenden Schicht **18**. Die Durchgangskanäle **16** sind mit einem piezoelektrischen Material ausgefüllt, wodurch innerhalb jedes Durchgangskanals **16** ein piezoelektrisches Element **22** ausgebildet ist. An der Oberseite jedes piezoelektrischen Elements **22** befindet sich eine freiliegende Fläche **24**, die den Teilchen eines die Vorrichtung umgebenden Fluids ausgesetzt ist.

[0046] In der [Fig. 3](#) sind die gleichen Schichten dargestellt wie in der [Fig. 2](#) und mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Im Unterschied zur [Fig. 2](#) erstrecken sich die Durchgangskanäle **16** jedoch durch die elektrisch isolierende Schicht **10**, die erste elektrisch leitende Schicht **18** und auch durch die zweite elektrisch leitende Schicht **20** hindurch. Die Durchgangskanäle **16** sind ebenfalls mit einem piezoelektrischen Material ausgefüllt, so dass innerhalb jedes Durchgangskanals **16** ein piezoelektrisches Element **22** angeordnet ist. In der [Fig. 3](#) weist jedes piezoelektrische Element **22** zwei freiliegende Flächen **26** und **28** auf, die an der Oberseite bzw. an der Unterseite des piezoelektrischen Elements **22** ausgebildet sind. In der [Fig. 3](#) ist beispielhaft durch den Pfeil **34** die elektrische Polarisationsrichtung eines piezoelektrischen Elements **22** eingezeichnet. Diese verläuft entlang der Längsrichtung des zugehörigen Durchgangskanals **16**, senkrecht zum Verlauf der Schichten **10**, **18**, **20** und ebenfalls senkrecht zu den freiliegenden Flächen **26**, **28**.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Umwandlung der Brownschen Bewegungsenergie eines Fluids in elektrische Energie, mit

- einer elektrisch isolierenden Schicht (**10**), die eine Oberseite (**12**) und eine Unterseite (**14**) aufweist, zwischen denen eine Vielzahl von Durchgangskanälen (**16**) ausgebildet ist,
- einer ersten elektrisch leitenden Schicht (**18**) an der Oberseite (**12**) der elektrisch isolierenden Schicht (**10**),
- einer zweiten elektrisch leitenden Schicht (**20**) an der Unterseite (**14**) der elektrisch isolierenden Schicht (**10**), und
- einer Vielzahl piezoelektrischer Elemente (**22**), die jeweils in einem der Durchgangskanäle (**16**) so angeordnet sind, dass sie mit der ersten elektrisch leitenden

den Schicht **(18)** und mit der zweiten elektrisch leitenden Schicht **(20)** in Kontakt stehen und dass mindestens eine Fläche **(24)** des piezoelektrischen Elements **(22)** frei liegt.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Abmessungen der jeweils mindestens eine Fläche **(24)** so klein sind, dass die beim Stoß eines einzelnen Teilchens eines die Vorrichtung umgebenden Fluids auf die Fläche **(24)** ausgelöste elektrische Reaktion des piezoelektrischen Elements **(22)** über die elektrisch leitenden Schichten ableitbar ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Elemente **(22)** an beiden Enden jeweils eine frei liegende Fläche **(26, 28)** aufweisen.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Durchgangskanäle **(16)** durch die erste elektrisch leitende Schicht **(18)** und/oder durch die zweite elektrisch leitende Schicht **(20)** hindurch erstrecken.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Durchgangskanäle **(16)** zylindrisch sind.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Elemente **(22)** eine elektrische Polarisierung aufweisen, die entlang einer Längsrichtung eines Durchgangskanals **(16)** und/oder in einem Winkel zu einer der frei liegenden Flächen **(24)** ausgerichtet ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens 10^4 Durchgangskanäle pro Quadratcentimeter der elektrisch isolierenden Schicht vorhanden sind.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die größte Erstreckung der mindestens einen Fläche **(24, 26, 28)** $5\ \mu\text{m}$ oder weniger beträgt.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der isolierenden Schicht $1\ \text{mm}$ oder weniger beträgt.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der ersten elektrisch leitenden Schicht **(18)** und/oder der zweiten elektrisch leitenden Schicht **(20)** $50\ \mu\text{m}$ oder weniger beträgt.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrisch isolierende Schicht **(10)** temperaturbeständig bis 170°C oder mehr ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die isolierende Schicht Mica aufweist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die erste elektrisch leitende Schicht **(18)** und/oder die zweite elektrisch leitende Schicht **(20)** Kupfer aufweist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass sie ein bei einer Betriebstemperatur der Vorrichtung flüssiges Material aufweist, das gleichzeitig die erste elektrisch leitende Schicht **(18)** und/oder die zweite elektrisch leitende Schicht **(20)** sowie das Fluid bildet.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das bei einer Betriebstemperatur der Vorrichtung flüssige Material Quecksilber ist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Elemente **(22)** Polyvinylidenfluorid aufweisen.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die erste elektrisch leitende Schicht **(18)** und/oder die zweite elektrisch leitende Schicht **(20)** jeweils mit einem Kabel **(30, 32)** verbunden sind.

18. Vorrichtung bestehend aus mehreren Vorrichtungen nach einem der Ansprüche 1 bis 17, die in einem Abstand von einander übereinander angeordnet sind.

19. Verfahren zur Herstellung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 18 mit den folgenden Schritten:

- Bereitstellen einer elektrisch isolierenden Schicht **(10)**,
- Anordnen einer ersten elektrisch leitenden Schicht **(18)** an der Oberseite **(12)** der elektrisch isolierenden Schicht **(10)**,
- Anordnen einer zweiten elektrisch leitenden Schicht **(20)** an der Unterseite **(14)** der elektrisch isolierenden Schicht **(10)**,
- Erzeugen einer Vielzahl von Durchgangslöchern **(16)** in der elektrisch isolierenden Schicht **(10)**,
- Anordnen eines piezoelektrischen Materials in den Durchgangslöchern **(16)** derart, dass eine Vielzahl piezoelektrischer Elemente **(22)** entstehen, die mit der ersten elektrisch leitenden Schicht **(18)** und mit der zweiten elektrisch leitenden Schicht **(20)** in Kontakt stehen, wobei jeweils mindestens eine Fläche **(24)** eines piezoelektrischen Elements **(22)** frei liegt.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die erste elektrisch leitende Schicht **(18)** und die zweite elektrisch leitende Schicht **(20)** vor dem Erzeugen der Durchgangskanäle

näle auf der elektrisch isolierenden Schicht (**10**) angeordnet werden und beim Erzeugen der Durchgangskanäle (**16**) alle drei Schichten mit den Durchgangskanälen (**16**) versehen werden.

21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Anordnen der elektrisch leitenden Schichten (**18**, **20**) durch Abscheiden eines elektrisch leitenden Materials in einem Elektrolyseverfahren erfolgt.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Erzeugen der Durchgangskanäle (**16**) durch ein Röntgentiefenlithographieverfahren erfolgt.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass das Anordnen des piezoelektrischen Materials durch Einsaugen des Materials in die Durchgangskanäle (**16**) erfolgt.

24. Verfahren nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass ein thermoplastisches, piezoelektrisches Material bei einer Temperatur oberhalb seiner Schmelztemperatur eingebracht wird.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung nach dem Anordnen des piezoelektrischen Materials in den Durchgangskanälen (**16**) einem elektrischen Feld ausgesetzt wird, so dass die piezoelektrischen Elemente elektrisch in Richtung des Feldes polarisiert werden.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass es so ausgeführt wird, dass die hergestellte Vorrichtung eines oder mehrere der Merkmale der Unteransprüche 2 bis 18 aufweist.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

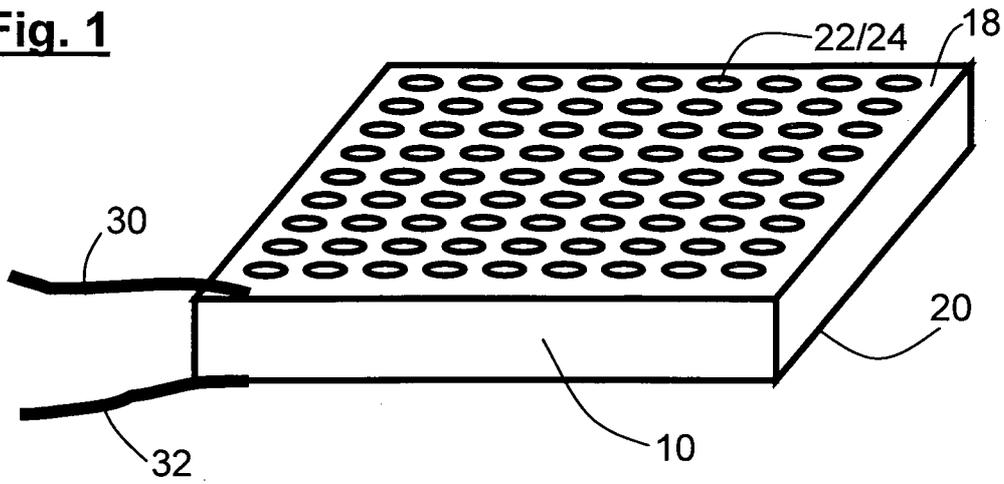


Fig. 2

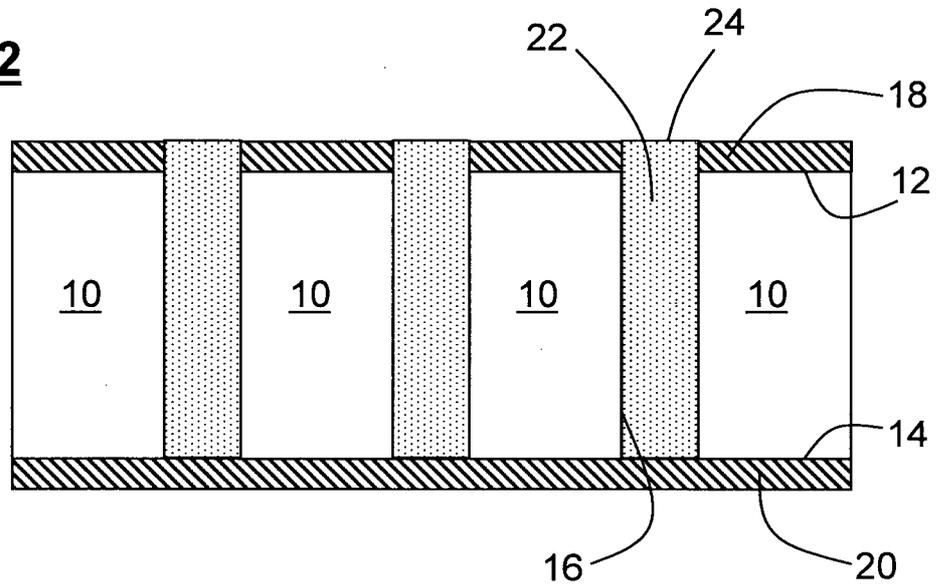


Fig. 3

