

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
28. Januar 2016 (28.01.2016)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/012020 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
H02N 2/00 (2006.01) *H01L 41/083* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2015/200409
- (22) Internationales Anmeldedatum:
21. Juli 2015 (21.07.2015)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2014 214 357.8 23. Juli 2014 (23.07.2014) DE
- (71) Anmelder: **PHYSIK INSTRUMENTE (PI) GMBH & CO. KG** [DE/DE]; Patentwesen, Auf der Römerstraße 1, 76228 Karlsruhe (DE).
- (72) Erfinder: **WISCHNEWSKIY, Wladimir**; Friedensstraße 14, 14712 Rathenow (DE). **WISCHNEWSKI, Alexej**; Robert-Koch-Straße 10, 76744 Wörth (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ULTRASONIC MOTOR

(54) Bezeichnung : ULTRASCHALLMOTOR

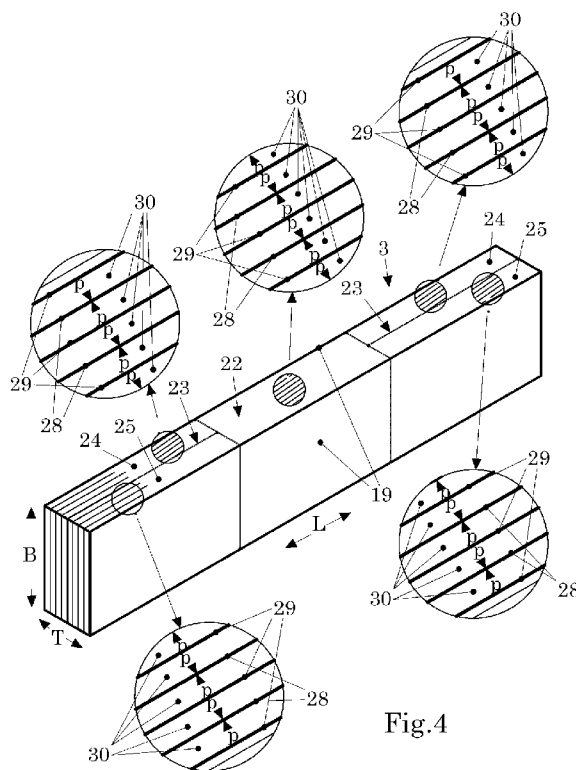


Fig.4

(57) Abstract: The invention relates to an ultrasonic motor comprising an ultrasonic actuator, functioning as a waveguide resonator, in the form of a rectangular piezo-electrical plate having two main surfaces that are largest in terms of area and side surfaces that join the main surfaces to one another, an element to be driven and an electrical activation device, wherein at least one friction element is arranged on at least one side surface of the ultrasonic actuator, and is in frictional contact with the element to be driven, and the piezo-electrical plate is divided into three parts along its longitudinal direction, wherein the central part forms a generator for an acoustic longitudinal standing wave, and the peripheral parts bordering the central part form generators for an acoustic bending standing wave, and each of the generators is electrically connected to the electrical activation device and can be electrically controlled, wherein each of the generators for an acoustic bending standing wave is divided, along the thickness direction of the piezo-electrical plate, into two equally sized and electrically separately controllable sub-generators, said sub-generators each having layers of activation electrodes, and layers of general electrodes, and layers of piezo-ceramics arranged therebetween.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/012020 A1

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)

Die Erfindung betrifft einen Ultraschallmotor, umfassend einen als Wellenleiter-Resonator fungierenden Ultraschallaktor in Form einer rechteckigen piezoelektrischen Platte mit zwei flächenmäßig größten Hauptflächen und die Hauptflächen miteinander verbindenden Seitenflächen, ein anzutreibendes Element und eine elektrische Erregervorrichtung, wobei an wenigstens einer Seitenfläche des Ultraschallaktors mindestens ein Friktionselement angeordnet ist, welches mit dem anzutreibenden Element in Friktionskontakt steht, und die piezoelektrische Platte entlang ihrer Längsrichtung in drei Teile unterteilt ist, wobei der zentrale Teil einen Generator für eine akustische Längsstehwelle bildet und die an den zentralen Teil angrenzenden peripheren Teile Generatoren für eine akustische Biegestehwelle bilden und jeder der Generatoren mit der elektrischen Erregervorrichtung verbunden und elektrisch ansteuerbar ist, wobei jeder der Generatoren für eine akustische Biegestehwelle entlang der Dickenrichtung der piezoelektrischen Platte in zwei gleichgroße und elektrisch separat ansteuerbare Teilgeneratoren unterteilt ist, und die Teilgeneratoren jeweils Schichten von Erregerelektroden und Schichten von allgemeinen Elektroden und dazwischen angeordnete Schichten von Piezokeramik aufweisen.

Beschreibung

Bezeichnung der Erfindung: Ultraschallmotor

- [0001] Die Erfindung betrifft einen Ultraschallmotor nach den Ansprüchen 1 bis 10.
- [0002] Aus der US 6,806,620 B1 ist ein Ultraschallmotor bekannt, bei welchem im Aktor die akustischen Biege- und Längsstellwellen mit Hilfe von zwei voneinander getrennten und unabhängigen Generatoren für diese Wellen erzeugt werden.
- [0003] Weiterhin sind beispielsweise aus der US 5,877,579 und der US 5,714,833 Ultraschallmotoren bekannt, bei denen in den Aktoren die akustischen Biege- und Längsstellwellen mit ein- und demselben Generator erzeugt werden.
- [0004] Bei diesen aus dem Stand der Technik bekannten Motoren wird in den Aktoren die akustische Biegestehwelle dadurch erzeugt, dass die piezoelektrische Platte über ihre Höhe bzw. Breite gebogen wird. Für das Biegen der piezoelektrischen Platte des Aktors über ihre Höhe ist eine entsprechend hohe elektrische Spannung erforderlich. Bei einer solchen Erregung der piezoelektrischen Platte treten in ihr hohe mechanische Verluste auf. Das verringert sowohl die maximale Bewegungsgeschwindigkeit des anzutreibenden Elements als auch die maximale vom Motor entwickelte Kraft und erhöht gleichzeitig die Verluste im Aktor des Motors. All das zusammen verringert die Leistungsfähigkeit und den Wirkungsgrad dieser Motoren.
- [0005] Aufgabe der Erfindung ist es daher, einen Ultraschallmotor bereitzustellen, der die vorgenannten Nachteile der aus dem Stand der Technik bekannten Ultraschallmotoren überwindet, und dementsprechend einen Ultraschallmotor mit erhöhter maximaler Bewegungsgeschwindigkeit und Kraft bei verringerten mechanischen Verlusten bereitstellt.
- [0006] Diese Aufgabe wird gelöst durch einen Ultraschallmotor nach Anspruch 1, wobei die sich daran anschließenden Unteransprüche mindestens zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen umfassen.
- [0007] Demnach wird von einem Ultraschallmotor ausgegangen, welcher einen als Wellenleiter-Resonator fungierenden Ultraschallaktor in Form einer rechteckigen piezoelektrischen Platte mit zwei flächenmäßig größten Hauptflächen und die Hauptflächen miteinander verbindenden Seitenflächen, ein anzutreibendes Element und eine elektrische Erregervorrichtung umfasst. Hierbei sind die Hauptflächen vorzugsweise parallel zueinander angeordnet, und es sind vorzugsweise vier Seitenflächen vorhanden, wovon zwei Seitenflächen kürzer als die übrigen beiden Seitenflächen sind.
- [0008] An wenigstens einer Seitenfläche des Ultraschallaktors ist mindestens ein Friktionselement angeordnet ist, welches mit dem anzutreibenden Element in Wirk- oder Friktionskontakt steht.
- [0009] Die piezoelektrische Platte ist entlang ihrer Längsrichtung, als in die Richtung der

größten Ausdehnung der piezoelektrischen Platte, in drei Teile unterteilt, wobei der zentrale oder mittlere Teil einen Generator für eine akustische Längsstehwelle bildet und die an den zentralen Teil angrenzenden peripheren Teile Generatoren für eine akustische Biegestehwelle bilden. Alle Generatoren sind hierbei mit der elektrischen Erregervorrichtung verbunden.

- [0010] Jeder der Generatoren für eine akustische Biegestehwelle ist entlang der Dickenrichtung der piezoelektrischen Platte, d.h. in Richtung der geringsten Ausdehnung der piezoelektrischen Platte, in zwei gleichgroße Teilgeneratoren unterteilt, wobei jeder der Teilgeneratoren einzeln oder separat elektrisch ansteuerbar ist und Schichten von Erregerelektroden, Schichten von allgemeinen Elektroden und dazwischen angeordneten Schichten von Piezokeramik aufweist.
- [0011] Es kann vorteilhaft sein, dass der Generator für die akustische Längsstehwelle Schichten von Erregerelektroden, Schichten von allgemeinen Elektroden und dazwischen angeordneten Schichten von Piezokeramik umfasst.
- [0012] Es kann ebenso vorteilhaft sein, dass der Generator für die akustische Längsstehwelle entlang der Dickenrichtung der piezoelektrischen Platte in zwei gleichgroße und elektrisch einzeln oder separat ansteuerbare Teilgeneratoren unterteilt ist, und jeder der Teilgeneratoren Schichten von Erregerelektroden, Schichten von allgemeinen Elektroden und dazwischen angeordneten Schichten von Piezokeramik aufweisen.
- [0013] Weiterhin kann es vorteilhaft sein, dass die Schichten von Erregerelektroden und die Schichten allgemeiner Elektroden und die Schichten von jeweils dazwischen angeordneter Piezokeramik parallel zu den Hauptflächen angeordnet sind.
- [0014] Zudem kann es vorteilhaft sein, dass das Verhältnis von Länge zu Dicke des Ultraschallaktors zwischen 9 und 11 liegt, so dass im Ultraschallaktor gleichzeitig die erste Mode der akustischen Deformationslängswelle und die dritte Mode der akustischen Deformationsbiegewelle gleicher Frequenz anregbar ist.
- [0015] Ferner kann es vorteilhaft sein, dass das Verhältnis von Breite zu Dicke des Ultraschallaktors zwischen 2 und 3 liegt.
- [0016] Außerdem kann es vorteilhaft sein, dass die in Dickenrichtung gesehen benachbarten Piezokeramikschichten entgegengesetzt gerichtet, d.h. antiparallel, polarisiert sind.
- [0017] Darüber hinaus kann es vorteilhaft sein, dass die elektrische Erregervorrichtung eine elektrische Zweiphasenspannung gleicher Frequenz zur unabhängigen symmetrischen Zweiphasenerregung des Generators für die akustische Längsstehwelle und der Generatoren für die akustische Biegestehwelle bereitstellt.
- [0018] Es kann ebenso von Vorteil sein, dass die elektrische Erregervorrichtung eine elektrische Einphasenspannung zur gleichzeitigen symmetrischen Erregung des Generators für die akustische Längsstehwelle und zur asymmetrischen Erregung der Generatoren für die akustische Biegestehwelle bereitgestellt.

- [0019] Schließlich kann es von Vorteil sein, dass die elektrische Erregervorrichtung eine elektrische Einphasenspannung zur gleichzeitigen asymmetrischen Erregung des Generators für die akustische Längsstehwelle und zu asymmetrischen Erregung der Generatoren für die akustische Biegestehwelle bereitstellt.
- [0020] Es zeigen in schematischer und nicht maßstäblicher Weise:
- [0021] Fig. 1: Eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallmotors
- [0022] Fig. 2: Eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallmotors
- [0023] Fig. 3: Darstellungen 15 bis 18: Unterschiedliche Ausführungsformen des Aktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors
- [0024] Fig. 4: Eine Ausführungsform des Aktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors
- [0025] Fig. 5: Eine weitere Ausführungsform des Aktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors
- [0026] Fig. 6: Darstellung einer Möglichkeit zur elektrischen Verbindung der Elektroden der Generatoren des Aktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors bei Verwendung einer Zweiphasenerregervorrichtung
- [0027] Fig. 7: Darstellung einer weiteren Möglichkeit zur elektrischen Verbindung der Elektroden der Generatoren des Aktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors bei Verwendung einer Zweiphasenerregervorrichtung
- [0028] Fig. 8: Darstellung einer Möglichkeit zur elektrischen Verbindung der Elektroden der Generatoren des Aktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors bei Verwendung einer Einphasenerregervorrichtung
- [0029] Fig. 9: Darstellung einer weiteren Möglichkeit zur elektrischen Verbindung der Elektroden der Generatoren des Aktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors bei Verwendung einer Einphasenerregervorrichtung
- [0030] Fig. 10: Darstellungen 35 und 36: elektrisch angeregte Regionen des Ultraschallaktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors bei einer Schaltung gemäß Fig. 6 und Fig. 7; Darstellungen 37 und 38: elektrisch angeregte Regionen des Ultraschallaktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors bei einer Schaltung gemäß Fig. 8; Darstellungen 39 und 40: elektrisch angeregte Regionen des Ultraschallaktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors bei einer Schaltung gemäß Fig. 9
- [0031] Fig. 11: Darstellungen 41 und 42: Phasen der maximalen Deformation der in dem Aktor eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors erzeugten Längsstehwelle
- [0032] Fig. 12: Darstellungen 43 und 44: Phasen der maximalen Deformation der in dem Aktor eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors erzeugten Biegestehwelle
- [0033] Fig. 13: Darstellung möglicher Bewegungsbahnen eines Punktes auf dem Friktionselement eines Aktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors bei einer Zweiphasenerregung

- [0034] Fig. 14: Darstellung möglicher Bewegungsbahnen eines Punktes auf dem Friktionselement eines Aktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors bei einer Einphasenerregung
- [0035] Fig. 15: Mögliche Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallmotors als Antrieb einer Linse in einem Mikroobjektiv
- [0036] Gemäß Fig. 1 umfasst die dort gezeigte mögliche Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Linear-Ultraschallmotors einen rechteckförmigen Ultraschallaktor 1, der gleichzeitig als Wellenleiter-Resonator 2 für eine akustische Stehwelle fungiert, in Form einer piezoelektrische Platte 3 mit einem an einer seinen Stirnflächen angeordneten Friktionselement 4. Der Ultraschallaktor weist hierbei zwei gegenüberliegend angeordnete und parallel zueinander verlaufende Stirnflächen auf, wobei die Stirnflächen durch die flächenmäßig kleinsten Seitenflächen des Ultraschallaktors gebildet sind. Das Friktionselement befindet sich in mechanischem (Friktions-)Kontakt mit einer Friktionsschicht 10, welche an einem anzutreibenden Element 11 in Form eines Stabes 13 derart angeordnet ist, dass sie die entsprechende Seitenfläche des anzutreibenden Elements vollständig bedeckt. Die Querschnittsfläche des Friktionselements verjüngt sich ausgehend von der Kontaktfläche zwischen der piezoelektrischen Platte und dem Friktionselement in Richtung der Friktionsschicht. Das anzutreibende Element ist linear beweglich über zwei Kugellager 12 gelagert.
- [0037] Der Ultraschallaktor 1 ist in der Halterung 5 des Gehäuses 6 so angeordnet, dass er längs der Führungsschienen 7 verschoben werden kann. Das Friktionselement 4 ist mit seiner Friktionsoberfläche 8 mit Hilfe der Feder 9 an die Friktionsschicht 10 des anzutreibenden Elements 11 angepresst.
- [0038] Fig. 2 zeigt eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Rotations-Ultraschallmotors, der sich geringfügig vom Aufbau des linearen Ultraschallmotors gemäß Fig. 1 unterscheidet, weshalb im Folgenden nur auf die entsprechenden Unterschiede eingegangen wird.
- [0039] Das anzutreibende Element 11 besitzt hier die Form einer runden Scheibe und stellt einen Rotor 14 dar, auf dessen äußeren Umfangsfläche die Friktionsschicht 10 angeordnet ist. Ein an dem Rotor angeordneter und mit diesem verbundener Schaft ist durch das Kugellager 12 drehbar gelagert.
- [0040] Die Darstellungen 15 bis 18 von Fig. 3 zeigen unterschiedliche Ausführungsvarianten für einen Ultraschallaktor 1 des erfindungsgemäßen Ultraschallmotors. Jeder der dort gezeigten Ultraschallaktoren umfasst zwei flächenmäßig größte Hauptflächen 19, zwei lange Seitenflächen 20 und zwei kurze Seitenflächen, welche Stirnflächen 21 bilden. Weiterhin weist jeder der in den Darstellungen 15 bis 18 gezeigten Ultraschallaktoren eine Länge L, eine Breite B und eine Dicke T auf.
- [0041] Jeder der in den Darstellungen 15 bis 18 gezeigten Ultraschallaktoren ist entlang

seiner Länge in drei Teile der Länge l unterteilt, wobei der zentrale Teil einen Generator 22 für eine akustische Längsstehwelle bildet und die an den zentralen Teil angrenzenden peripheren Teile Generatoren 23 für eine akustische Biegestehwelle bilden.

- [0042] Bei den Ultraschallaktoren gemäß den Darstellungen 15 und 16 sind die Generatoren 23 für eine akustische Biegestehwelle entlang der Dickenrichtung der piezoelektrischen Platte bzw. des Ultraschallaktors in zwei gleichgroße und elektrisch einzeln ansteuerbare Teilgeneratoren 24 und 25 unterteilt, wobei die Teilgeneratoren Schichten von Erregerelektroden, Schichten von allgemeinen Elektroden und dazwischen angeordneten Schichten von Piezokeramik aufweisen, wobei die allgemeinen Elektroden und die Erregerelektroden jedes Teilgenerators mit der elektrischen Erregervorrichtung verbunden sind.
- [0043] Bei den Ultraschallaktoren gemäß den Darstellungen 17 und 18 ist neben den Generatoren 23 für eine akustische Biegestehwelle auch der jeweilige Generator für eine akustische Längsstehwelle 22 entlang der Dickenrichtung der piezoelektrischen Platte bzw. des Ultraschallaktors in zwei gleichgroße und elektrisch einzeln ansteuerbare Generatorenteile 26 und 27 unterteilt, wobei jeder Generatorenteil Schichten von Erregerelektroden, Schichten von allgemeinen Elektroden und dazwischen angeordneten Schichten von Piezokeramik aufweist, und die allgemeinen Elektroden und die Erregerelektroden jedes Generatorenteils mit der elektrischen Erregervorrichtung verbunden sind.
- [0044] Während bei den Ultraschallaktoren gemäß den Darstellungen 15 und 17 nur an einer der beiden Stirnflächen 21 ein Friktionselement 4 angeordnet ist, befinden sich bei den Ultraschallaktoren gemäß den Darstellungen 16 und 18 an beiden Stirnflächen 21 jeweils ein Friktionselement 4. In allen Fällen besitzt das Friktionselement 4 eine rechteckige Form mit einer Friktionsoberfläche 8 an seinem freien Ende.
- [0045] In allgemeiner Weise wird für den Ultraschallaktor des erfindungsgemäßen Ultraschallmotor die Länge L der piezoelektrischen Platte 1 so gewählt, dass sie etwa gleich der halben Wellenlänge λ_1 der sich längs zur Länge L im Wellenleiter-Resonator 2 mit der Frequenz f_a sich ausbreitenden akustischen Längsdeformationswelle ist, so dass sich in der piezoelektrischen Platte 3 die erste Mode einer akustischen Längsstehwelle ausbildet.
- [0046] Die Frequenz f_a kann aus der Formel $f_a = N/L$ bestimmt werden, wobei N vom Typ der Piezokeramik abhängig ist. Für die Piezokeramik PIC 181 der Fa. PI Ceramic GmbH Keramische Technologien und Bauelemente, Lederhose (Thüringen), ist $N = 1278 \text{ Hz} \cdot \text{m}$.
- [0047] Weiterhin ist die Dicke T der piezoelektrischen Platte 3 des Ultraschallaktors 1 so gewählt, dass sich in der piezoelektrischen Platte 3 bei der Länge L eine akustische Deformationsstehwelle mit der gleichen Frequenz f_a ausbreitet, so dass sich in der pie-

zoelektrischen Platte 3 die dritte Mode einer akustischen Biegestehwelle ausbildet.

[0048] Die Dicke T der piezoelektrischen Platte 3 kann näherungsweise aus der Formel $T=L/k$ bestimmt werden, wobei $k=L/T$ zwischen 9 und 11 liegt. Die Breite B der piezoelektrischen Platte 3 kann sich im Bereich von $2T$ bis $3T$ bewegen.

[0049] Fig. 4 zeigt einen möglichen inneren Aufbau der piezoelektrischen Platte 3 bzw. des Ultraschallaktors 1 gemäß den Darstellungen 15 und 16 von Fig. 3, während Fig. 5 einen möglichen inneren Aufbau der piezoelektrischen Platte 3 bzw. des Ultraschallaktors 1 gemäß den Darstellungen 17 und 18 von Fig. 3 zeigt. Die Generatoren 22 und 23 der piezoelektrischen Platte 3 umfassen Erregerelektroden 28, allgemeine Elektroden 29 und jeweils zwischen diesen angeordnete Schichten von Piezokeramik 30. Dabei sind sowohl die Erregerelektroden, als auch die allgemeinen Elektroden parallel zu den Hauptflächen des Ultraschallaktors bzw. der piezoelektrischen Platte angeordnet. Benachbarte Piezokeramikschichten 30 sind entgegengesetzt gerichtet polarisiert, wobei die Polarisationsrichtung jeweils senkrecht zu den Elektroden 28 und 29 ist. Die Polarisationsrichtung ist in Fig. 4 jeweils mit einem Pfeil mit dem Index p gekennzeichnet.

[0050] Fig. 6 zeigt eine Möglichkeit zur elektrischen Verbindung der Elektroden der Generatoren eines Ultraschallaktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors gemäß Fig. 5 bei Verwendung einer Zweiphasenerregervorrichtung zur symmetrischen Zweiphasenerregung der Generatoren 22 und 23. Die angrenzenden Piezokeramikschichten 30 der Generatorenteile 24 und 25 haben hierbei die gleiche Polarisationsrichtung. Es ist möglich, dass die Polarisationsrichtung der Piezokeramikschichten 30 in den Teilgeneratoren 24 - bezogen auf die Piezokeramikschichten 30 in den Teilgeneratoren 25 - unterschiedlich ist. Ebenso ist es möglich, dass die Polarisationsrichtung der Piezokeramikschichten 30 in den Teilgeneratoren 26 - bezogen auf die Piezokeramikschichten 30 in den Teilgeneratoren 25 - unterschiedlich ist.

[0051] Fig. 6 zeigt ferner ein Blockschaltbild betreffend die Verbindung der Elektroden 28 und 29 der Generatoren 22 und 23 der piezoelektrischen Platte 3 mit einer elektrischen Zweiphasenerregervorrichtung 31.

[0052] Die elektrische Zweiphasenerregervorrichtung 31 besteht hierbei aus den Generatoren für die elektrischen Spannungen 32 und 33. Diese Generatoren stellen die elektrischen Wechselspannungen U_1 und U_2 mit gleicher Frequenz f_a bereit, die zueinander um den Winkel ϕ phasenverschoben sind.

[0053] Die Spannung U_1 ist über die Anschlüsse a, b an die Elektroden 28, 29 der Generatoren 22 angelegt, während die Spannung U_2 über die Anschlüsse d, c an die Elektroden 28, 29 der Generatoren 23 angelegt ist.

[0054] Fig. 7 zeigt eine weitere Möglichkeit zur elektrischen Verbindung der Elektroden der Generatoren eines Ultraschallaktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors

gemäß Fig. 5 bei Verwendung einer Zweiphasenerregervorrichtung zur symmetrischen Zweiphasenerregung der Generatoren 22 und 23.

- [0055] Fig. 7 zeigt ferner das Blockschaltbild betreffend die Verbindung der Elektroden 28 und 29 der Generatoren 22 und 23 mit der elektrischen Zweiphasenerregervorrichtung 31 der piezoelektrischen Platte 3. Die allgemeinen Elektroden 29 sind hier miteinander verbunden.
- [0056] Fig. 8 zeigt eine Möglichkeit zur elektrischen Verbindung der Elektroden der Generatoren eines Ultraschallaktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors gemäß Fig. 5 bei Verwendung einer Einphasenerregervorrichtung. Ferner zeigt Fig. 8 das Blockschaltbild betreffend die Verbindung der Elektroden 28 und 29 der Generatoren 22 und 23 des Ultraschallaktors mit der elektrischen Erregervorrichtung 31.
- [0057] Hierbei besteht die elektrische Erregervorrichtung 31 aus dem Generator 32, der die elektrische Wechselspannung U_1 bereitstellt. Diese Spannung wird über die Anschlüsse a und b an die Elektroden 28 und 29 des Generators 22 und über den Umschalter 34 und die Anschlüsse c an die Elektroden 28 und 29 der Teilgeneratoren 24 der Generatoren 23 gelegt, oder es werden über den Umschalter 34 die Anschlüsse d mit den Elektroden 28 und 29 der Teilgeneratoren 25 der Generatoren 23 verbunden.
- [0058] Die in Fig. 8 gezeigte elektrische Schaltung realisiert die symmetrische Erregung des Generators 22 und die asymmetrische Erregung der Generatoren 23.
- [0059] Fig. 9 zeigt eine weitere Möglichkeit zur elektrischen Verbindung der Elektroden der Generatoren eines Ultraschallaktors eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors gemäß Fig. 5 bei Verwendung einer Einphasenerregervorrichtung. Zudem zeigt Fig. 9 auch ein entsprechendes Blockschaltbild betreffend die die Verbindung der Elektroden 28 und 29 der Generatoren 22 und 23 des Ultraschallaktors mit der elektrischen Erregervorrichtung 31.
- [0060] Dabei wird die Spannung U_1 über den Umschalter 34 und die Anschlüsse a, d an die Elektroden 28 und 29 der Teilgeneratoren 24 der Generatoren 23 und an die Elektroden 28 und 29 des Teilgenerators 27 des Generators 22 gelegt. Möglich ist es auch, die Spannung U_1 über den Umschalter 34 und die Anschlüsse e, c an die Elektroden 28 und 29 der Teilgeneratoren 25 der Generatoren 23 und an die Elektroden 28 und 29 des Teilgenerators 27 des Generators 22 zu legen.
- [0061] Die in Fig. 9 gezeigte elektrische Schaltung ermöglicht die asymmetrische Erregung des Generators 22 und die asymmetrische Erregung der Generatoren 23.
- [0062] Die Darstellungen 35 und 36 von Fig. 10 verdeutlichen die elektrisch angeregten Regionen des Ultraschallaktors bzw. der Generatoren oder der Teilgeneratoren eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors bei Anwendung einer elektrischen Schaltung gemäß Fig. 6 und Fig. 7. Im Generator 22 liegt hierbei die Spannung U_1 an, während in den Generatoren 23 die Spannung U_2 anliegt. Da die Teilgeneratoren 24 und 25

bzw. das entsprechende piezoelektrische Material unterschiedliche Polarisationsrichtungen aufweisen bzw. aufweist, sind die Schraffuren dort unterschiedlich, obwohl das gleiche elektrische Potential in den unterschiedlichen Generatoranteilen vorliegt.

- [0063] Die Darstellungen 37 und 38 zeigen die elektrisch angeregten Regionen des Ultraschallaktors bzw. der Generatoren oder der Teilgeneratoren eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors bei einer Schaltung gemäß Fig. 8. Hier liegt sowohl am Generator 22, als auch an den entsprechenden Teilgeneratoren 24 und 25 der Generatoren 23 die Spannung U_1 an.
- [0064] Schließlich zeigen die Darstellungen 39 und 40 die elektrisch angeregten Regionen des Ultraschallaktors bzw. der Generatoren oder der Teilgeneratoren eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors bei einer Schaltung gemäß Fig. 9.
- [0065] Die Darstellungen 41 und 42 von Fig. 11 zeigen die Phasen der maximalen Deformation der in dem Aktor eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors erzeugten Längsstehwelle, während die Darstellungen 43 und 44 die Phasen der maximalen Deformation der in dem Aktor eines erfindungsgemäßen Ultraschallmotors erzeugten Biegestehwelle zeigen.
- [0066] Bei einer Zweiphasenerregung des Ultraschallaktors 1 durch die Spannungen U_1 und U_2 gemäß den Figuren 6 und 7 mit der Frequenz f_a werden in der piezoelektrischen Platte 3 gleichzeitig die zwei oben beschriebenen Stehwellen erzeugt, d.h. eine Längsstehwelle und eine Biegestehwelle. Durch die Überlagerung dieser Wellen bewegt sich das Friktionselement 4 gemäß Fig. 11 auf einer geschlossenen Bewegungsbahn 45, welche für den auf der Friktionsoberfläche 8 des Friktionselements 4 liegenden Punkt 49 die Form eines Kreises 46 oder die Form einer Ellipse 47 bzw. 48 haben kann.
- [0067] Die Form der Bewegungsbahn 45 und seine Neigung zur Friktionsschicht 10 des anzureibenden Elements 11 wird durch das Verhältnis der Amplitude der Spannungen U_1 und U_2 und dem Wert des Phasenverschiebungswinkels zwischen diesen Spannungen bestimmt.
- [0068] Bei einer Einphasenerregung des Ultraschallaktors 1 durch die Spannung U_1 gemäß den Figuren 8 und 9 mit der Frequenz f_a wird die Form der Bewegungsbahn des Friktionselements 4 und des Punktes 49 auf seiner Friktionsoberfläche durch den Wert k in den oben genannten Grenzen bestimmt. Dabei kann die in Fig. 14 dargestellte Bewegungsbahn die Form einer geneigten Linie 50 oder die Form einer schmalen Ellipse 51 haben.
- [0069] Im Ergebnis der akustischen Längsstehwelle bildet sich die Längskraft F_l , die die Friktionsoberfläche 8 des Friktionselements 4 an die Friktionsschicht 10 des anzureibenden Elements 11 anpresst und drückt. Diese Kraft bestimmt die Reibungskraft zwischen dem Friktionselement 4 und der Friktionsschicht 10 des anzureibenden Elements 11.

- [0070] Durch die akustische Biegestehwelle entsteht die Querkraft F_n , die das anzutreibende Element 11 in Bewegung versetzt. Diese Kraft entsteht durch das Biegen der piezoelektrischen Platte 3 des Ultraschallaktors 1 über seine Dicke T.
- [0071] Die Dicke T der piezoelektrischen Platte im erfindungsgemäßen Motor ist bedeutend kleiner als die Höhe der piezoelektrischen Platte bei bisher bekannten Ultraschallmotoren. Das ist durch die Anzahl der in der piezoelektrischen Platte 3 erzeugten akustischen Halbwellen - aufgrund der Ausbildung der ersten Mode der Längs-stehwelle und der dritten Mode der Biegestehwelle - bedingt.
- [0072] Für die Erzeugung einer Biegestehwelle im Ultraschallaktor 1 des erfindungsgemäßen Ultraschallmotors ist eine wesentlich geringere elektrische Energie erforderlich. Daher funktioniert der erfindungsgemäße Ultraschallmotor wesentlich effektiver als beispielsweise die aus den Patentschriften US 5,877,579, US 5,714,833 und US 6,806,620 B1 bekannten Ultraschallmotoren. Der erfindungsgemäße Ultraschallmotor benötigt weniger elektrische Energie, wodurch kleinere mechanische Verluste bei höheren Bewegungsgeschwindigkeiten des anzutreibenden Elements auftreten. Gleichzeitig ermöglicht der Motor höhere Bewegungskräfte.
- [0073] Fig. 15 zeigt eine mögliche Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallmotors als Antrieb einer Linse 53 in einem Mikroobjektiv 52 zur Scharfeinstellung der Abbildung eines optischen Gebers 54.

Ansprüche

- [Anspruch 0001] Ultraschallmotor, umfassend einen als Wellenleiter-Resonator fungierenden Ultraschallaktor in Form einer rechteckigen piezoelektrischen Platte mit zwei flächenmäßig größten Hauptflächen und die Hauptflächen miteinander verbindenden Seitenflächen, ein anzutreibendes Element und eine elektrische Erregervorrichtung, wobei an wenigstens einer Seitenfläche des Ultraschallaktors mindestens ein Friktionselement angeordnet ist, welches mit dem anzutreibenden Element in Friktionskontakt steht, und die piezoelektrische Platte entlang ihrer Längsrichtung in drei Teile unterteilt ist, wobei der zentrale Teil einen Generator für eine akustische Längsstehwelle bildet und die an den zentralen Teil angrenzenden peripheren Teile Generatoren für eine akustische Biegestehwelle bilden, und jeder der Generatoren mit der elektrischen Erregervorrichtung verbunden und elektrisch ansteuerbar ist, wobei jeder der Generatoren für eine akustische Biegestehwelle entlang der Dickenrichtung der piezoelektrischen Platte in zwei gleichgroße und elektrisch separat ansteuerbare Teilgeneratoren unterteilt ist, und die Teilgeneratoren jeweils Schichten von Erregerelektroden und Schichten von allgemeinen Elektroden und dazwischen angeordnete Schichten von Piezokeramik aufweisen.
- [Anspruch 0002] Ultraschallmotor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Generator für die akustische Längsstehwelle Schichten von Erregerelektroden und Schichten von allgemeinen Elektroden und dazwischen angeordneten Schichten von Piezokeramik umfasst.
- [Anspruch 0003] Ultraschallmotor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Generator für die akustische Längsstehwelle entlang der Dickenrichtung der piezoelektrischen Platte in zwei gleichgroße und elektrisch separat ansteuerbare Teilgeneratoren geteilt ist, und die Teilgeneratoren Schichten von Erregerelektroden, Schichten von allgemeinen Elektroden und dazwischen angeordneten Schichten von Piezokeramik aufweisen.
- [Anspruch 0004] Ultraschallmotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schichten von Erregerelektroden und die Schichten allgemeiner Elektroden und die Schichten von jeweils dazwischen angeordneter Piezokeramik parallel zu den Hauptflächen angeordnet sind.
- [Anspruch 0005] Ultraschallmotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhältnis von Länge zu Dicke des Ultraschallaktors zwischen 9 und 11 liegt, so dass im Ultraschallaktor gleichzeitig die erste Mode der akustischen Deformationslängswelle und die dritte Mode der aku-

stischen Deformationsbiegewelle gleicher Frequenz anregbar ist.

- [Anspruch 0006] Ultraschallmotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Verhältnis von Breite zu Dicke des Ultraschallaktors zwischen 2 und 3 liegt.
- [Anspruch 0007] Ultraschallmotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die in Dickenrichtung der piezoelektrischen Platte des Ultraschallaktors gesehen benachbarten Piezokeramiksichten entgegengesetzt gerichtet polarisiert sind.
- [Anspruch 0008] Ultraschallmotor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrische Erregervorrichtung eine elektrische Zweiphasenspannung gleicher Frequenz zur unabhängigen symmetrischen Zweiphasenerregung des Generators für die akustische Längsstedwelle und der Generatoren für die akustische Biegedwelle bereitstellt.
- [Anspruch 0009] Ultraschallmotor einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrische Erregervorrichtung eine elektrische Einphasenspannung zur gleichzeitigen symmetrischen Erregung des Generators der akustischen Längsstedwelle und zur asymmetrischen Erregung der Generatoren für die akustische Biegedwelle bereitgestellt.
- [Anspruch 0010] Ultraschallmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrische Erregervorrichtung eine elektrische Einphasenspannung zur gleichzeitigen asymmetrischen Erregung des Generators der akustischen Längsstedwelle und zur asymmetrischen Erregung der Generatoren für die akustische Biegedwelle bereitstellt.

[Fig.]

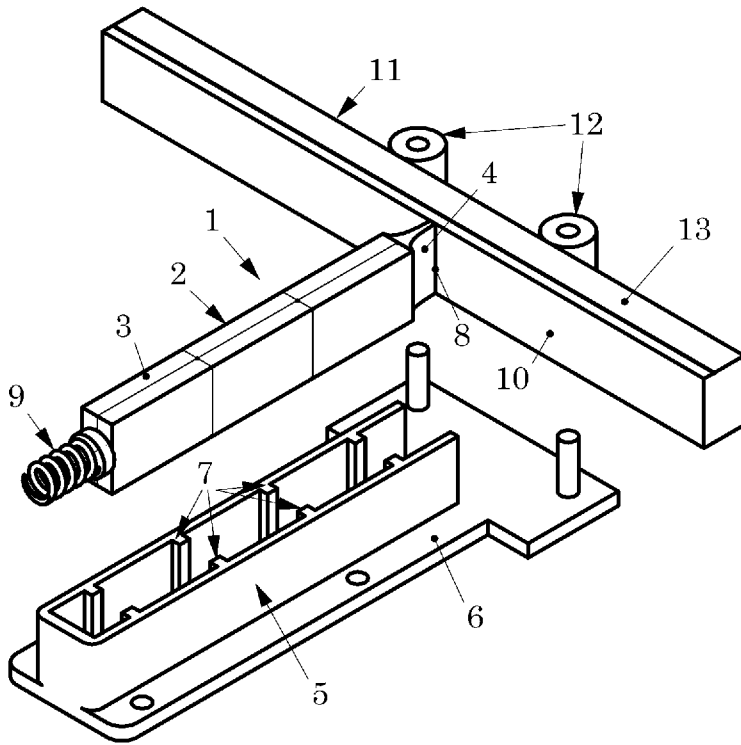


Fig.1

[Fig.]

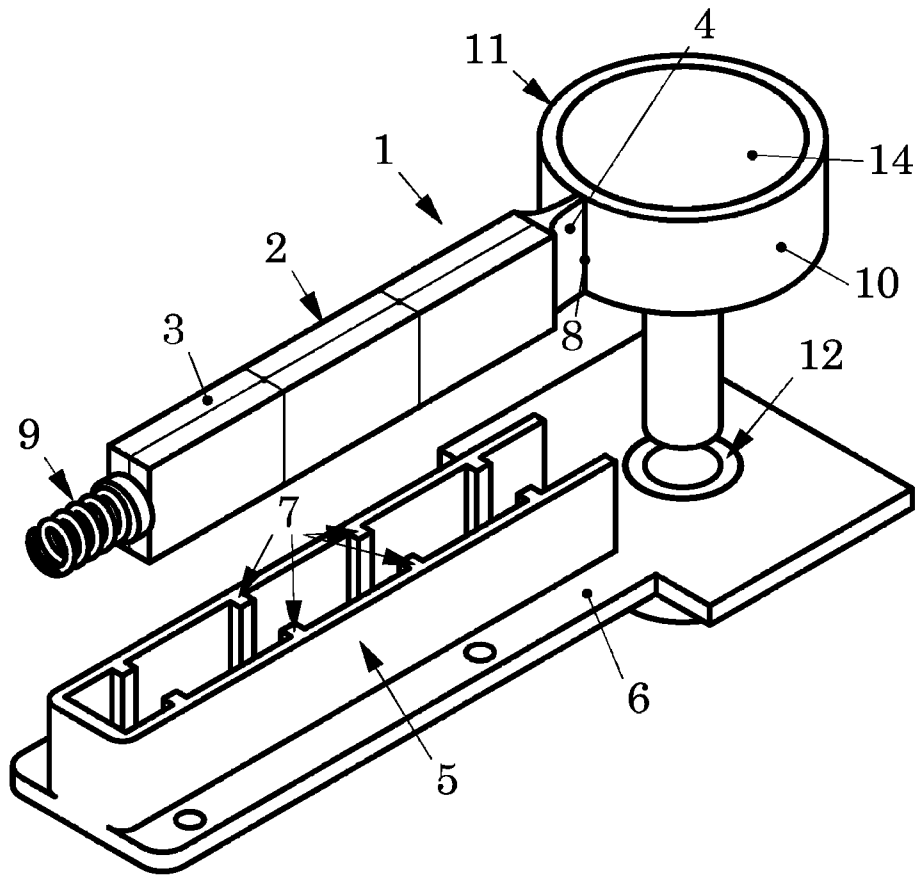


Fig.2

[Fig.]

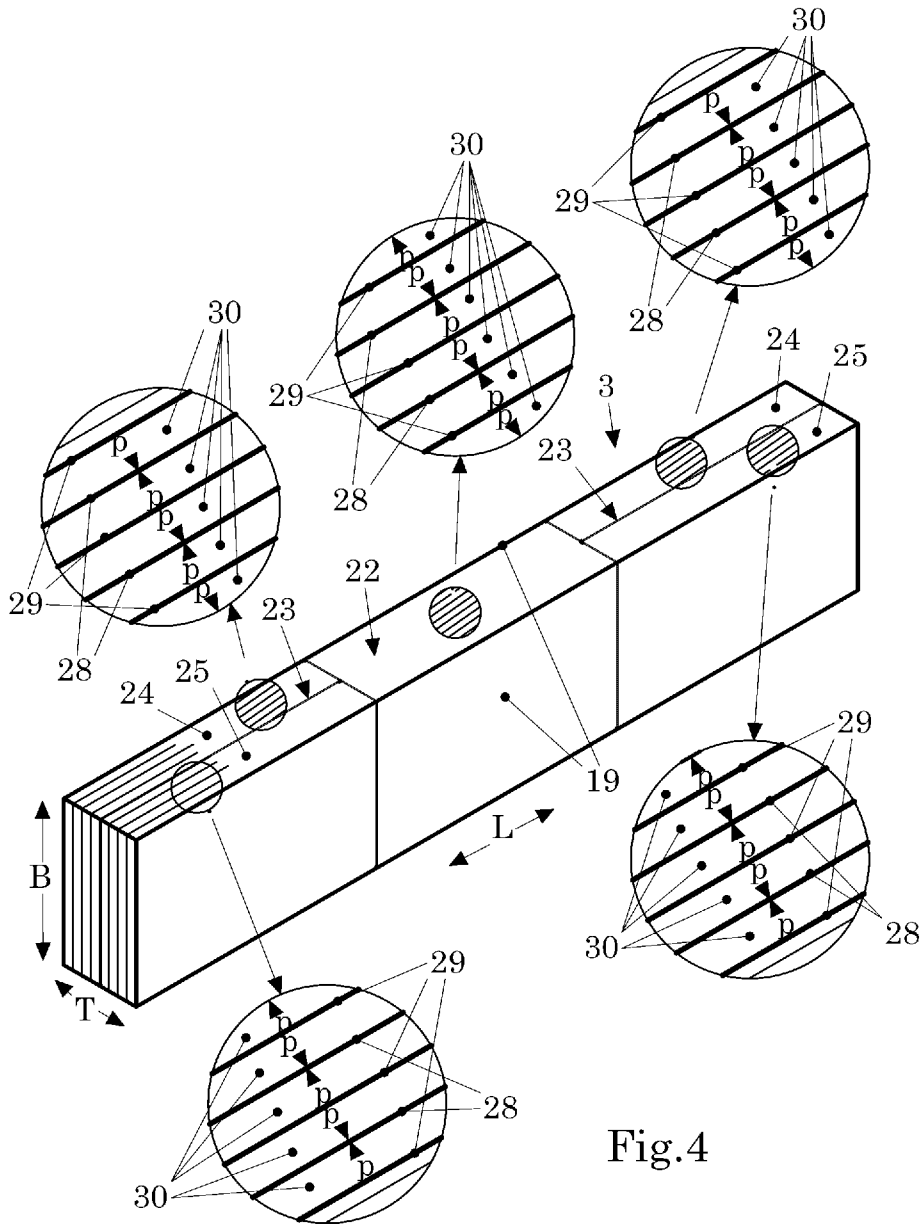


Fig.4

[Fig.]

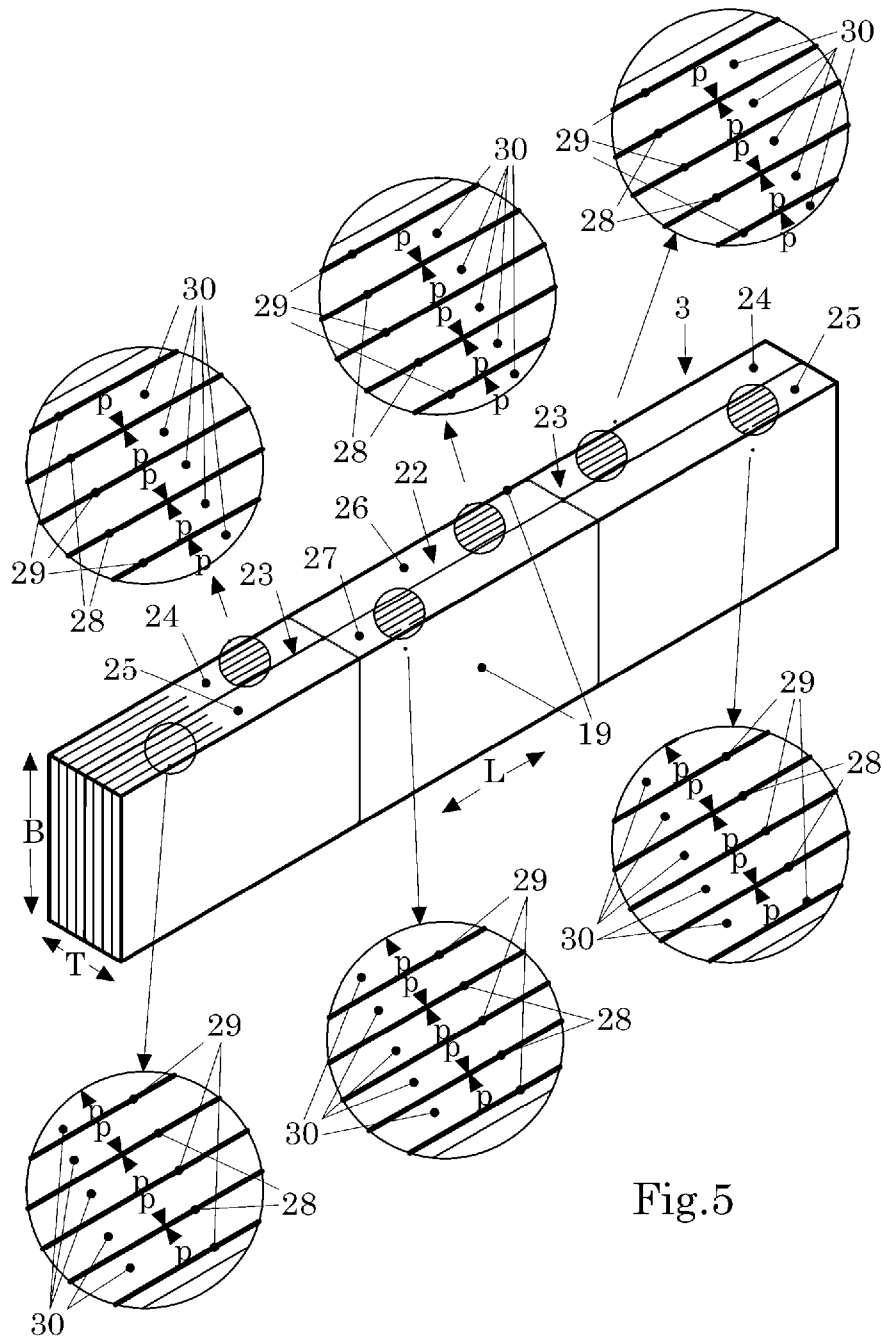


Fig.5

[Fig.]

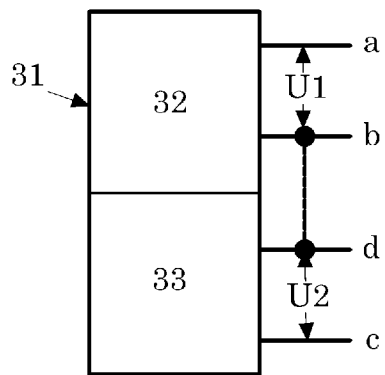
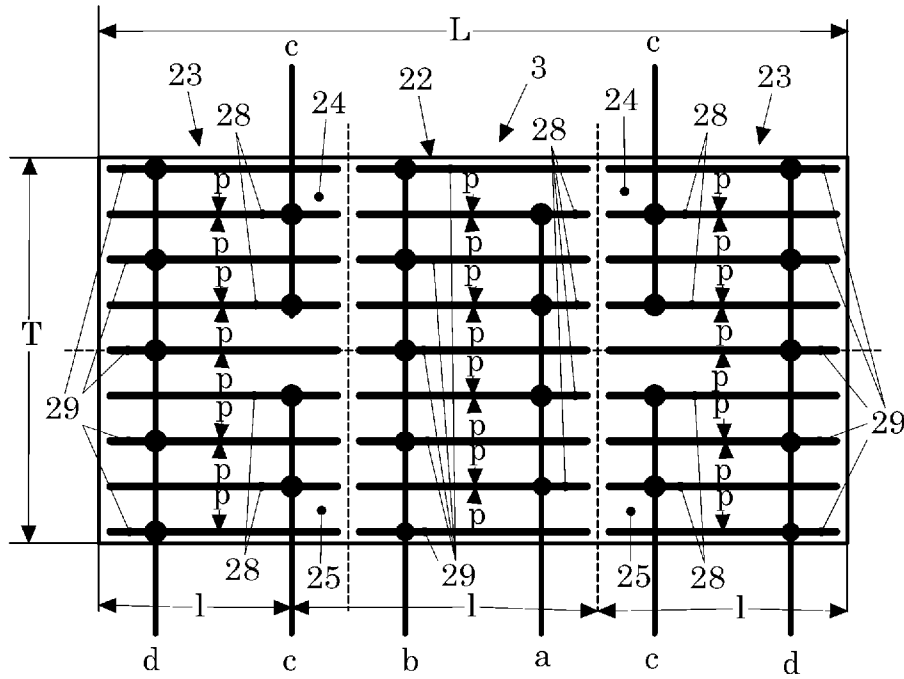


Fig.6

[Fig.]

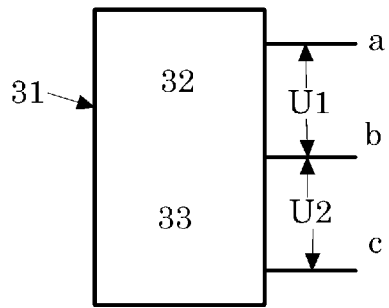
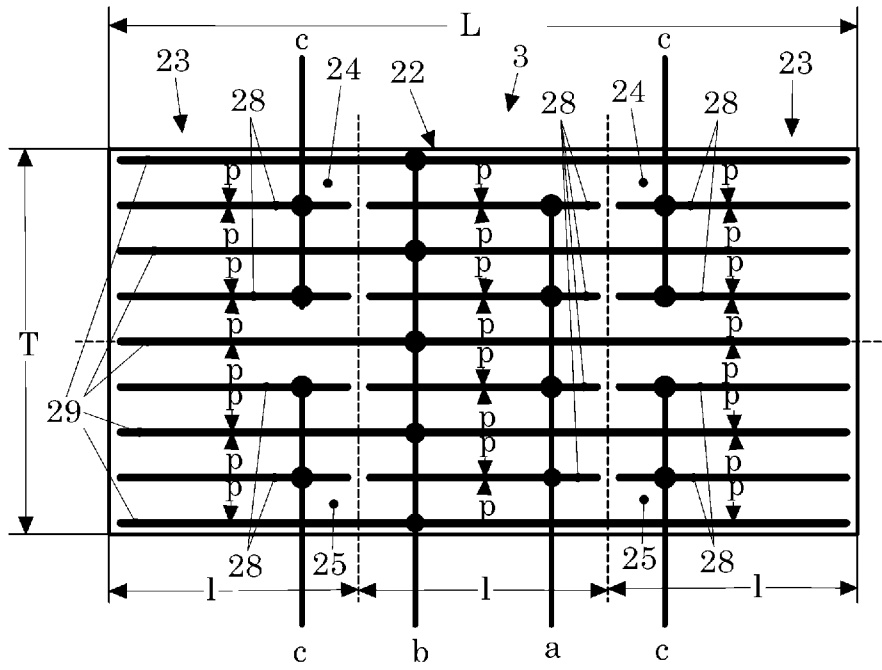


Fig.7

[Fig.]

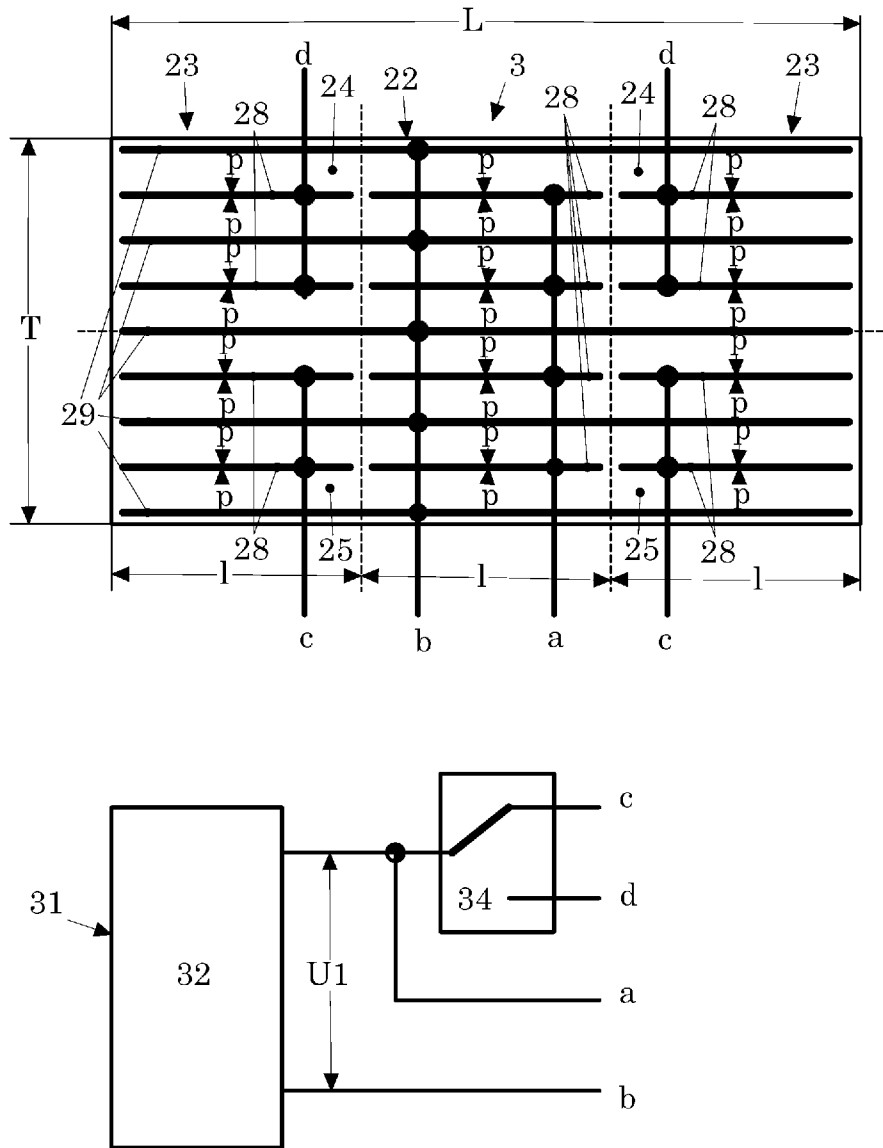


Fig.8

[Fig.]

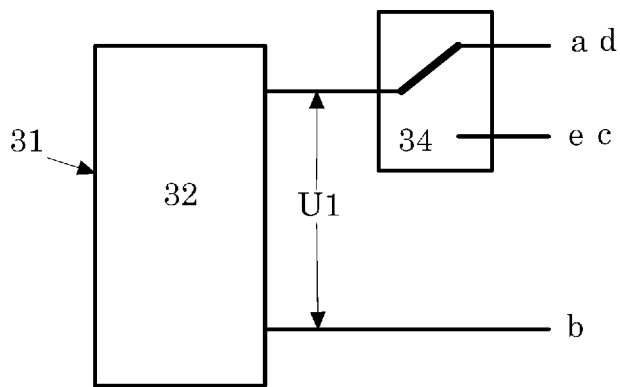
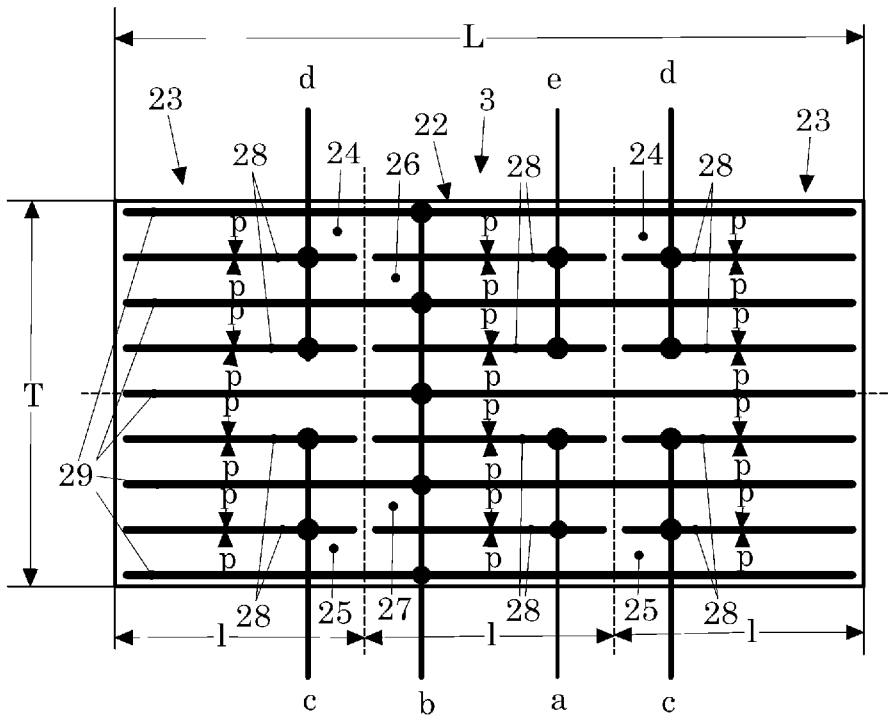


Fig.9

[Fig.]

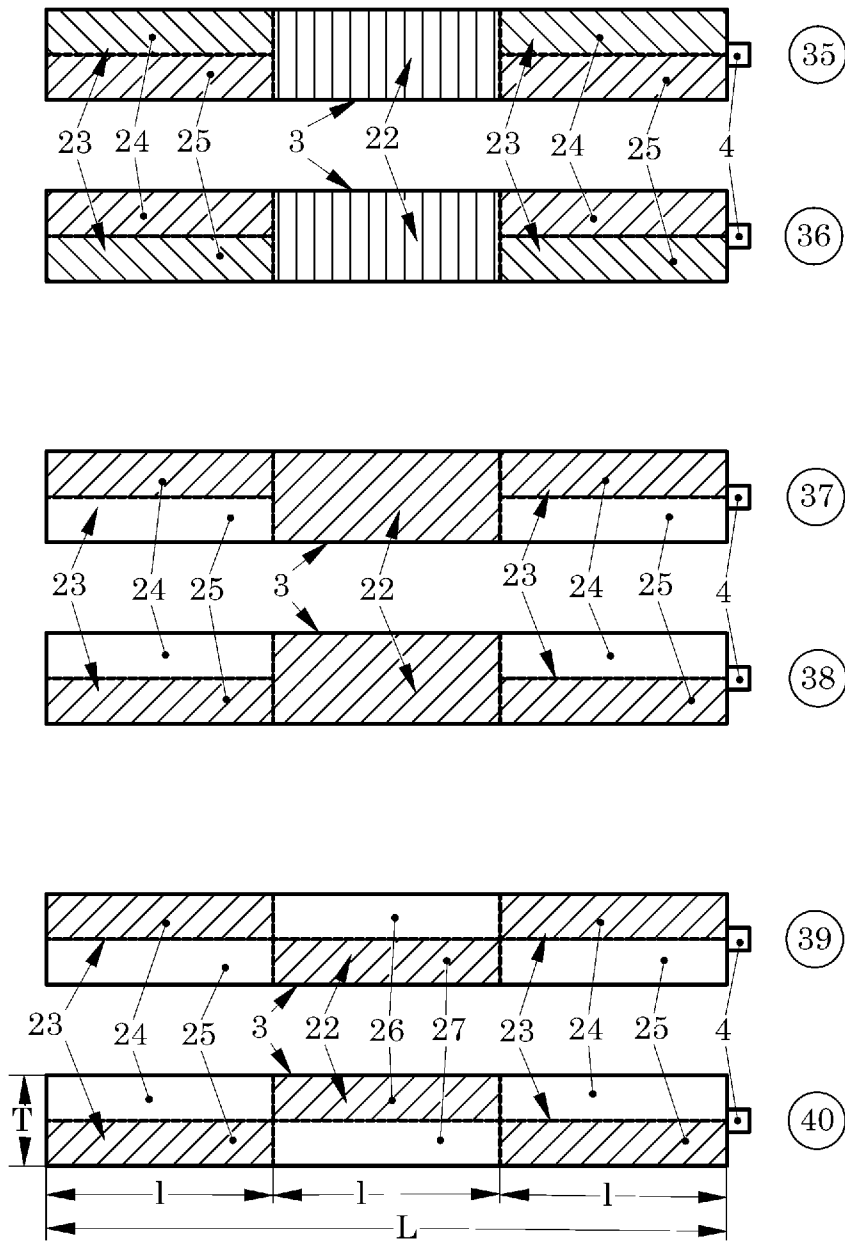


Fig.10

[Fig.]

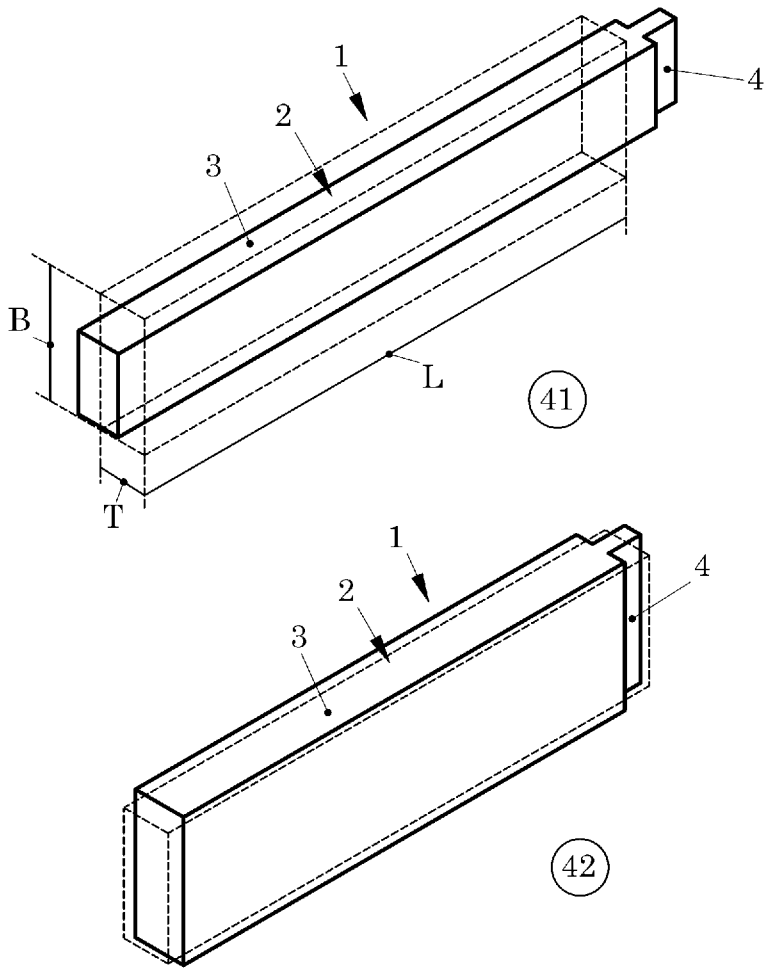


Fig.11

[Fig.]

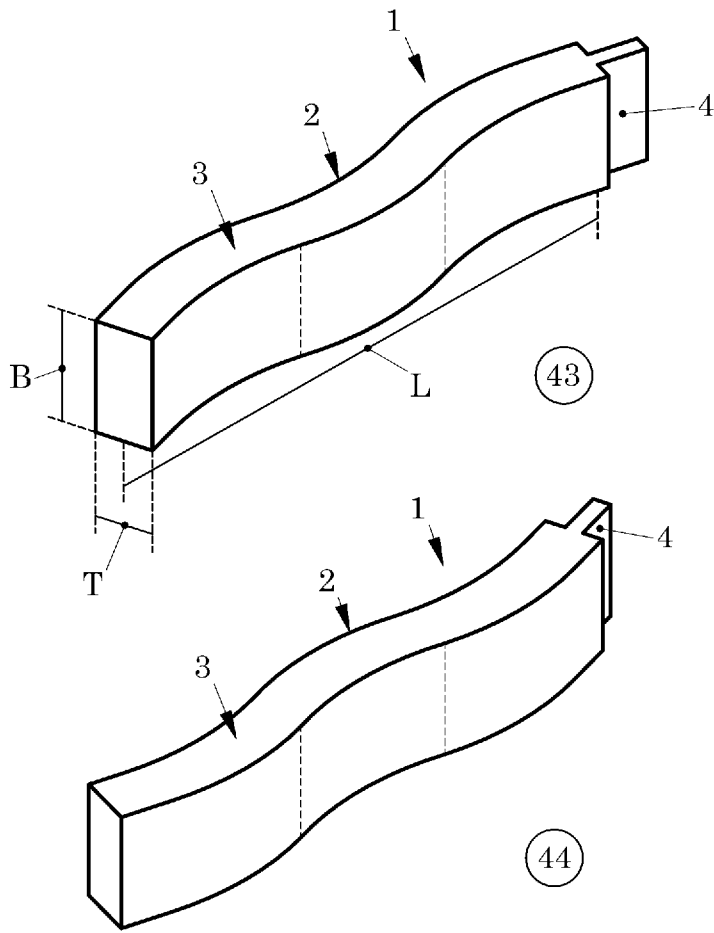


Fig.12

[Fig.]

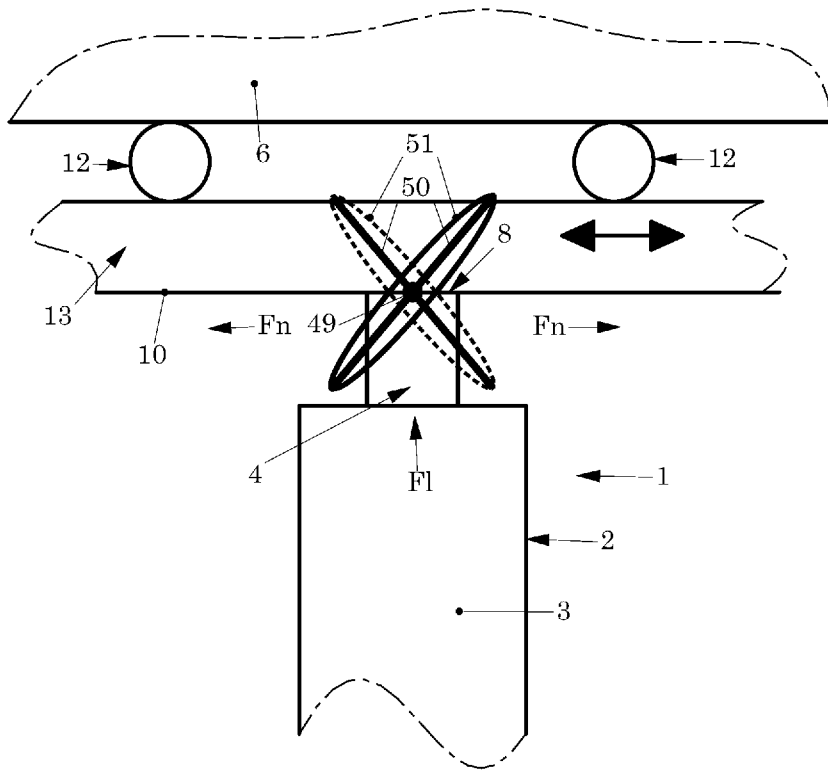


Fig.14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/DE2015/200409

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H02N2/00 H01L41/083
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01L H02N
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 199 38 954 A1 (PI CERAMIC GMBH KERAMISCHE TEC [DE]) 8 March 2001 (2001-03-08)	1,8-10
Y A	column 7, line 1 - column 10, line 9; figures 10-11	5,6 2-4,7
X	US 2008/122316 A1 (UE YOSHIHIRO [JP] ET AL) 29 May 2008 (2008-05-29) paragraph [0030] - paragraph [0038]; figures 3-4	1,2,4,7
Y	US 2006/238072 A1 (FUNAKUBO TOMOKI [JP]) 26 October 2006 (2006-10-26) paragraph [0048]	5,6

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 9 November 2015	Date of mailing of the international search report 20/11/2015
---	---

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Koskinen, Timo
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/DE2015/200409

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19938954	A1	08-03-2001	DE 19938954 A1 08-03-2001
			EP 1210759 A1 05-06-2002
			JP 4860862 B2 25-01-2012
			JP 2003507999 A 25-02-2003
			US 6806620 B1 19-10-2004
			WO 0113505 A1 22-02-2001

US 2008122316	A1	29-05-2008	EP 1928036 A2 04-06-2008
			JP 2008136318 A 12-06-2008
			US 2008122316 A1 29-05-2008

US 2006238072	A1	26-10-2006	CN 1855686 A 01-11-2006
			JP 4794897 B2 19-10-2011
			JP 2006311647 A 09-11-2006
			US 2006238072 A1 26-10-2006

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2015/200409

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. H02N2/00 H01L41/083 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) H01L H02N		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 199 38 954 A1 (PI CERAMIC GMBH KERAMISCHE TEC [DE]) 8. März 2001 (2001-03-08)	1,8-10
Y	Spalte 7, Zeile 1 - Spalte 10, Zeile 9;	5,6
A	Abbildungen 10-11	2-4,7
X	US 2008/122316 A1 (UE YOSHIHIRO [JP] ET AL) 29. Mai 2008 (2008-05-29) Absatz [0030] - Absatz [0038]; Abbildungen 3-4	1,2,4,7
Y	US 2006/238072 A1 (FUNAKUBO TOMOKI [JP]) 26. Oktober 2006 (2006-10-26) Absatz [0048]	5,6
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 9. November 2015		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts 20/11/2015
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Koskinen, Timo

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2015/200409

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
DE 19938954	A1	08-03-2001	DE 19938954 A1	08-03-2001
			EP 1210759 A1	05-06-2002
			JP 4860862 B2	25-01-2012
			JP 2003507999 A	25-02-2003
			US 6806620 B1	19-10-2004
			WO 0113505 A1	22-02-2001

US 2008122316	A1	29-05-2008	EP 1928036 A2	04-06-2008
			JP 2008136318 A	12-06-2008
			US 2008122316 A1	29-05-2008

US 2006238072	A1	26-10-2006	CN 1855686 A	01-11-2006
			JP 4794897 B2	19-10-2011
			JP 2006311647 A	09-11-2006
			US 2006238072 A1	26-10-2006
