



(10) **DE 10 2012 022 146 A1** 2014.05.15

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 022 146.0**

(22) Anmeldetag: **12.11.2012**

(43) Offenlegungstag: **15.05.2014**

(51) Int Cl.: **H02N 2/08** (2006.01)

**H01L 41/08** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG, 76228,  
Karlsruhe, DE**

(74) Vertreter:

**Schatt IP Patent- und Rechtsanwaltskanzlei,  
80331, München, DE**

(72) Erfinder:

**Wischnewskiy, Wladimir, Dr., 14712, Rathenow,  
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2004 059 429	B4
US	2008 / 0 073 999	A1
US	4 562 374	A
US	5 783 899	A
EP	0 601 671	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Ultraschallaktor für einen linearen Ultraschallmotor sowie linearer Ultraschallmotor mit einem Ultraschallaktor**

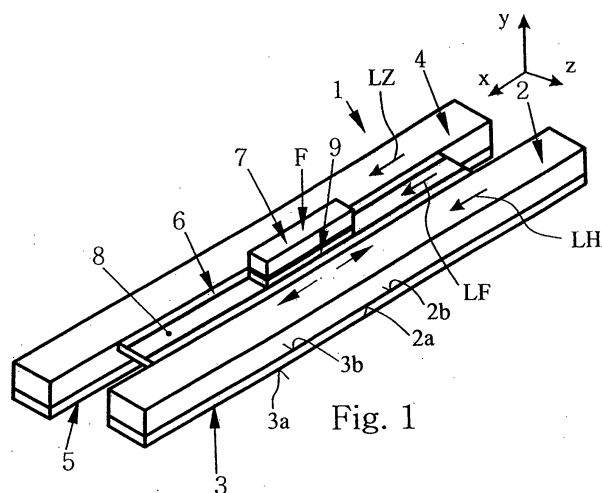
(57) Zusammenfassung: Ultraschallaktor (1) für einen linearen Ultraschallmotor zum Antrieb eines Stellelements (7), das in dem Ultraschallmotor zur Realisierung einer linearen Bewegung desselben mit einer vorbestimmten Kraft (F) auf zumindest eine Friktionsbahn (8) gedrückt wird, wobei der Ultraschallaktor (1) aufweist:

- zumindest einen Hauptwellenleiter-Resonator (2), mit dem jeweils zur Ausbildung einer akustischen Stehwelle ein Hauptgenerator (3) flächig verbunden ist,

- zumindest einen Zusatzwellenleiter-Resonator (4), mit dem jeweils zur Ausbildung einer akustischen Stehwelle ein Zusatzgenerator verbunden ist,

- zumindest einen Brückensteg (6), wobei jeder des zumindest einen Brückenstegs (6) jeweils einen des zumindest einen Hauptwellenleiter-Resonators (2) und jeweils einen des zumindest einen Zusatzwellenleiter-Resonators (4) wenigstens abschnittsweise miteinander verbindet und wobei an dem Brückensteg (6) wenigstens eine Friktionsbahn (8) oder Friktionsschiene (41) angeordnet ist,

wobei der zumindest eine Hauptwellenleiter-Resonator (2) und der zumindest eine Zusatzwellenleiter-Resonator (4) jeweils als offene lineare Wellenleiter ausgeführt sind und der zumindest eine Brückensteg (6) als Summenbildner der in den Haupt- und Zusatzwellenleiter-Resonatoren (2, 4) sich ausbreitenden akustischen Stehwellen wirkt, so dass der zumindest eine Brückensteg (6) als Erzeuger für eine Ersatzlaufwelle wirkt, die zum Antrieb des Stellelements (7) nutzbar ist.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Ultraschallaktor für einen linearen Ultraschallmotor sowie einen linearen Ultraschallmotor mit einem Ultraschallaktor.

**[0002]** Aus der US 4978882 und der US 5155407 sind Ultraschalllinearmotoren mit akustischen, in geschlossenen Wellenleitern sich ausbreitenden Laufwellen bekannt. Diese Wellenleiter haben eine ovale Form und weisen dabei zwei geradlinige und zwei abgerundete Abschnitte auf.

**[0003]** Aufgabe der Erfindung ist einen Ultraschallaktor für einen linearen Ultraschallmotor mit Ersatzlaufwellen bereitzustellen, der mit dem Ultraschallaktor mit möglichst geringen Abmessungen realisiert werden kann und mit dem die Maximalgeschwindigkeit des durch den Ultraschallmotor angetriebenen Elements, die Zugkraft des Ultraschallmotors, die mechanische Leistung des Ultraschallmotors und den Wirkungsgrad desselben erhöht sowie das Einsatzgebiet des Ultraschallmotors ausgeweitet werden kann.

**[0004]** Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Weitere Ausführungsformen sind in den auf diese rückbezogenen Unteransprüchen angegeben.

**[0005]** Nach der Erfindung ist ein Ultraschallaktor für einen linearen Ultraschallmotor mit Ersatzlaufwellen vorgesehen, der als Präzisions-Miniaturantrieb ausgeführt sein kann. Der erfindungsgemäße Ultraschallmotor kann als Antrieb in optischen Systemen, als Antrieb von präzisen technologischen Verschiebetischen oder von präzisen technologischen Positioniereinheiten und in weiteren Einrichtungen verwendet werden, in denen kleine Verschiebeschritte nötig sind sowie in hochpräzisen Positioniereinheiten, wenn schnelle Positionswechsel erforderlich sind.

**[0006]** Bei dem erfindungsgemäßen Ultraschallaktor ist der Verlauf des Wellenleiters derart vorgesehen, dass kein geradlinig verlaufender Abschnitt desselben notwendig ist, so dass der erfindungsgemäße Ultraschallmotor mit geringen Abmessungen realisiert werden kann.

**[0007]** Weiterhin ist bei dem erfindungsgemäßen Ultraschallaktor der Verlauf des Wellenleiters derart vorgesehen, dass kein kurvenförmig oder gekrümmt verlaufender Abschnitt des Wellenleiters notwendig ist, so dass die akustische Laufwelle durch die Form des Wellenleiters nicht verzerrt wird. Auf diese Weise werden die Entstehung einer größeren Inhomogenität der elliptischen Bewegungsbahn des geradlinigen Teils des ovalen Wellenleiters sowie daraus resultierende zusätzliche energetische Verluste im Friktionskontakt des Motors vermieden. Auf diese Weise

werden die maximale Geschwindigkeit des durch den erfindungsgemäßen Ultraschallmotor angetriebenen Elements, die maximale Zugkraft des erfindungsgemäßen Ultraschallmotors, seine mechanische Leistung und dessen Wirkungsgrad verbessert.

**[0008]** In der Konsequenz bietet sich ein großes Einsatzgebiet für den erfindungsgemäßen Ultraschallmotor an.

**[0009]** Jeder Hauptgenerator aktuiert einen an diesem angeordneten Hauptwellenleiter-Resonator derart, dass dieser Hauptlaufwellen erzeugt, während jeder Zusatzgenerator einen an diesem angeordneten Zusatzwellenleiter-Resonator derart aktuiert, dass dieser Ersatzlaufwellen erzeugt. Jeder Hauptwellenleiter-Resonator ist mit jedem des zumindest einen Zusatzwellenleiter-Resonators, der bei dem Ultraschallaktor vorgesehen ist, über einen Brückensteg bewegungsgekoppelt.

**[0010]** Der Hauptgenerator ist vorzugsweise platten- oder balkenförmig ausgebildet, und auch der Hauptwellenleiter-Resonator **2**, der Zusatzgenerator **5** und der Zusatzwellenleiter-Resonator **4** können in vorteilhafter Weise platten- oder balkenförmig ausgebildet sind. Der Hauptgenerator **3** und zumindest ein Zusatzgenerator **5** können jeweils auch aus mehreren Teil-Generatoren gebildet sein, die jeweils über die Längsrichtung eines Hauptwellenleiter-Resonators bzw. Zusatzwellenleiter-Resonators verteilt sind. Dabei können sowohl an einer in Bezug auf eine Höhenrichtung des Ultraschallaktors unteren Oberfläche, einer entgegen gesetzt zu dieser gelegenen oberen oder an beiden Oberflächen des jeweiligen Hauptwellenleiter-Resonators bzw. Zusatzwellenleiter-Resonators angebracht bzw. angeordnet sein.

**[0011]** Nach der Erfindung ist ein Ultraschallaktor für einen linearen Ultraschallmotor zum Antrieb eines Stellelements vorgesehen, das in dem Ultraschallmotor zur Realisierung einer linearen Bewegung desselben mit einer vorbestimmten Kraft auf zumindest eine Friktionsbahn gedrückt wird. Der Ultraschallaktor weist auf:

- zumindest einen Hauptwellenleiter-Resonator, mit dem jeweils zur Ausbildung einer akustischen Stehwelle ein Hauptgenerator flächig verbunden ist,
- zumindest einen Zusatzwellenleiter-Resonator, mit dem jeweils zur Ausbildung einer akustischen Stehwelle ein Zusatzgenerator verbunden ist,
- zumindest einen Brückensteg, wobei jeder des zumindest einen Brückenstegs jeweils einen des zumindest einen Hauptwellenleiter-Resonators und jeweils einen des zumindest einen Zusatzwellenleiter-Resonators wenigstens abschnittsweise miteinander verbindet und wobei an dem Brückensteg wenigstens eine Friktionsbahn oder Friktionsschiene angeordnet ist,

wobei der zumindest eine Hauptwellenleiter-Resonator und der zumindest eine Zusatzwellenleiter-Resonator jeweils als offene lineare Wellenleiter ausgeführt sind und der zumindest eine Brückensteg als Summenbildner der in den Haupt- und Zusatzwellenleiter-Resonatoren sich ausbreitenden akustischen Stehwellen wirkt, so dass der zumindest eine Brückensteg als Erzeuger für eine Ersatzlaufwelle wirkt, die zum Antrieb des Stellelements nutzbar ist.

**[0012]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass die Länge des Hauptwellen-Resonators gleich dem ganzzahligen Vielfachen der halben Wellenlänge der in ihm erzeugten akustischen Stehwelle beträgt, und die Länge des Zusatzwellen-Resonators gleich der Länge des Hauptwellenleiter-Resonators ist, wobei der Zusatzwellenleiter-Resonator bezogen auf den Hauptwellenleiter-Resonator räumlich um ein Viertel der Wellenlänge der erzeugten akustischen Stehwelle verschoben ist und die Länge des Brückenstegs um ein und ein Viertel der Wellenlänge der erzeugten akustischen Stehwelle kleiner als die Länge des Hauptwellenleiter-Resonators ist.

**[0013]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass der Ultraschallaktor zwei oder mehrere Hauptwellenleiter-Resonatoren und eine entsprechende Zahl von Zusatzwellenleiter-Resonatoren mit Brückenstegen, die das Stellelement in Bewegung versetzen, enthält.

**[0014]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass in den Haupt- und in den Zusatzwellenleitern-Resonatoren akustische Biege-Stehwellen oder akustische Longitudinalstehwellen oder akustische Steh-Scherwellen oder andere akustische Stehwellen gleicher Frequenz erzeugt werden, die sich längs der Länge der Resonatoren ausbreiten.

**[0015]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass die Breite jedes Brückensteges kleiner oder gleich der halben Wellenlänge der erzeugten akustischen Stehwelle ist.

**[0016]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass die Dicke jedes Brückensteges kleiner oder gleich einem Viertel der Wellenlänge der erzeugten Stehwelle ist.

**[0017]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass der Haupt- und der Zusatzwellenleiter-Resonator der akustischen Stehwellen als passive Wellenleiter-Resonatoren aus Metall, Metallkeramik, Oxidkeramik, Sital oder Glas ausgeführt sind und die Generatoren für die akustischen Wellen der mit diesen Resonatoren verbundenen Piezoelemente darstellen. Alternativ

dazu kann nach einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors vorgesehen sein, dass der Haupt- und der Zusatzresonator der akustischen Stehwellen als aktive Wellenleiter-Resonatoren aus Piezokeramik ausgeführt sind und die Generatoren der akustischen Wellen als auf die Oberfläche der piezoelektrischen Resonatoren aufgetragenen Elektroden ausgeführt sind oder dass diese im inneren dieser Resonatoren angeordnet sind.

**[0018]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass der Brückensteg aus dem gleichen Material wie der Haupt- und der Zusatzwellenleiter-Resonator besteht. Alternativ dazu kann nach einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors vorgesehen sein, dass der Brückensteg aus einem anderen Material wie der Haupt- und der Zusatzwellen-Resonator besteht.

**[0019]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass der Brückensteg mindestens eine Friktionsbahn oder Friktionsschiene aufweist.

**[0020]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass die Friktionsführungsschiene eine rechteckige Form oder eine dreieckige Form oder eine trapezförmige Form oder eine runde Form aufweist.

**[0021]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass die Friktionsbahn oder die Friktionsschiene Querschlitz aufweist.

**[0022]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass der Ultraschallaktor eine V- oder U-förmige Form aufweist.

**[0023]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass der Ultraschallaktor Fixierelemente aufweist, die zum einen mit den Wellenleiter-Resonatoren in den Minima ihrer Schwingungsgeschwindigkeiten und zum anderen mit einem Halter des Ultraschallaktors verbunden sind.

**[0024]** Alternativ dazu kann nach einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors vorgesehen sein, dass der Ultraschallaktor Fixierelemente aufweist, die zum einen mit den Stirnflächen der Wellenleiter-Resonatoren und zum anderen mit dem Halter des Ultraschallaktors verbunden sind.

**[0025]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass der Ultraschallaktor über die Stirnflächen der Wellenlei-

ter-Resonatoren mit dem Halter des Ultraschallaktors verbunden ist.

**[0026]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass der Halter des Ultraschallaktors einen ihn umfassenden Rahmen des Ultraschallaktors oder das Motorgehäuse darstellt.

**[0027]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass das Stellelement eine oder mehrere Friktionsschichten aufweist, die mit der Friktionsbahn oder mit der Friktionsführungsschiene in Wirkverbindung steht bzw. stehen.

**[0028]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass eine elektrische Erregervorrichtung zur elektrischen Erregung des Haupt- und des Zusatzgenerators zwei periodische Spannungen gleicher Frequenz bereitstellt, wobei diese gleich der Frequenz der erzeugten akustischen Welle ist und die zueinander um den Winkel  $+90$  Grad oder  $-90$  Grad phasenverschoben sind.

**[0029]** Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors ist vorgesehen, dass die elektrische Erregervorrichtung vier periodische Spannungen gleicher Frequenz bereitstellt, wobei diese gleich der Frequenz der erzeugten akustischen Welle ist und zwei von ihnen zueinander um den Winkel  $+90$  Grad oder  $-90$  Grad phasenverschoben sind und die zwei anderen gegenphasig zu diesen sind.

**[0030]** Nach einem weiteren Aspekt der Erfindung ist ein linearer Ultraschallmotor vorgesehen, der einen Ultraschallaktor nach der Erfindung und ein Stellelement aufweist, wobei das Stellelement durch den Ultraschallaktor in eine Linearbewegung versetzt werden kann, und der Ultraschallmotor weiterhin eine Führungsvorrichtung zum Führen des Stellelements in diesem aufweist.

**[0031]** Im Folgenden werden Ausführungsformen der Erfindung anhand der beiliegenden Figuren beschrieben, die zeigen:

**[0032]** **Fig. 1** eine erste Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors zur Verwendung für einen Ultraschallmotor mit einem Hauptwellenleiter-Resonator und einem Zusatzwellenleiter-Resonator und einem zwischen diesen gelegenen Brückensteg zum Antreiben eines Stellelements des Ultraschallmotors;

**[0033]** **Fig. 2** eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors mit einem Hauptwellenleiter-Resonator, zwei Zusatzwellenleiter-Resonatoren und zwei Brückenstegen;

**[0034]** **Fig. 3** eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors mit zwei Hauptwellenleiter-Resonatoren, zwei Zusatzwellenleiter-Resonatoren und drei Brückenstegen;

**[0035]** **Fig. 4** eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors mit zwei Hauptwellenleiter-Resonatoren, drei Zusatzwellenleiter-Resonatoren und vier Brückenstegen;

**[0036]** **Fig. 5** bis **Fig. 8** Darstellungen des Hauptwellenleiter-Resonators und des Zusatzwellenleiter-Resonators nach der **Fig. 1**, in denen Längen des Hauptwellenleiter-Resonators, des Zusatzwellenleiter-Resonators und des Brückenstegs relativ zueinander gezeigt sind;

**[0037]** **Fig. 9** bis **Fig. 12** Darstellungen der Hauptwellenleiter-Resonatoren und der Zusatzwellenleiter-Resonatoren nach der **Fig. 2**, in denen Längen der Hauptwellenleiter-Resonatoren, der Zusatzwellenleiter-Resonatoren und der Brückenstege relativ zueinander gezeigt sind;

**[0038]** **Fig. 13** eine Darstellung einer Ausführungsform eines Hauptwellenleiter-Resonators oder eines Zusatzwellenleiter-Resonators mit einem zugehörigen Generator, der aus piezoelektrischen Teilen gebildet ist;

**[0039]** **Fig. 14** bis **Fig. 19** Darstellungen verschiedener Ausführungsformen eines piezoelektrischen Teils, das zur Bildung eines Generators an einem Hauptwellenleiter-Resonator oder einem Zusatzwellenleiter-Resonator nach der **Fig. 13** verwendet werden kann;

**[0040]** **Fig. 20** eine Darstellung einer im Vergleich zur Darstellung der **Fig. 13** weiteren Ausführungsform eines Hauptwellenleiter-Resonators oder eines Zusatzwellenleiter-Resonators mit einem zugehörigen Generator, der aus piezoelektrischen Teilen gebildet ist;

**[0041]** **Fig. 21** bis **Fig. 23** Darstellungen weiterer Ausführungsformen eines piezoelektrischen Teils, das zur Bildung eines Generators an einem Hauptwellenleiter-Resonator oder einem Zusatzwellenleiter-Resonator nach der **Fig. 20** verwendet werden kann;

**[0042]** **Fig. 24** bis **Fig. 26** Darstellungen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors, die bezüglich der Zahl des Haupt- oder des Zusatzwellenleiter-Resonators mit der in der **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform des Ultraschallaktors vergleichbar ist;

**[0043]** **Fig. 27** und **Fig. 28** Darstellungen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ul-

traschallaktors, die bezüglich der Zahl des Haupt- oder des Zusatzwellenleiter-Resonators mit der in der **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform des Ultraschallaktors vergleichbar ist und diesem gegenüber in der Frontansicht eine V-Form bildet;

**[0044]** **Fig. 29** und **Fig. 30** Darstellungen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors, die bezüglich der Zahl des Haupt- oder des Zusatzwellenleiter-Resonators mit der in der **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform des Ultraschallaktors vergleichbar ist und diesem gegenüber in der Frontansicht eine V-Form bildet;

**[0045]** **Fig. 31** und **Fig. 32** Darstellungen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors, die bezüglich der Zahl des Haupt- oder des Zusatzwellenleiter-Resonators mit der in der **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform des Ultraschallaktors vergleichbar ist und diesem gegenüber in der Frontansicht eine U-Form bildet;

**[0046]** **Fig. 33** und **Fig. 34** Darstellungen einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors, die bezüglich der Zahl des Haupt- oder des Zusatzwellenleiter-Resonators mit der in der **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform des Ultraschallaktors vergleichbar ist und diesem gegenüber in der Frontansicht eine U-Form bildet;

**[0047]** **Fig. 35** eine Darstellung einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors, die bezüglich der Zahl des Haupt- oder des Zusatzwellenleiter-Resonators mit der in der **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform des Ultraschallaktors vergleichbar ist, wobei der Haupt- und der Zusatzwellenleiter jeweils als aktive Wellenleiter-Resonator ausgeführt ist;

**[0048]** **Fig. 36** bis **Fig. 39** verschiedene Ausführungsformen von Generatoren mit piezoelektrischen Teilen, die jeweils an einem Hauptwellenleiter-Resonator oder einem Zusatzwellenleiter-Resonator insbesondere bei einem Ultraschallaktor nach der **Fig. 20** verwendet werden können;

**[0049]** **Fig. 40** bis **Fig. 44** verschiedene Ausführungsformen eines Verbindungsschemas von Generatoren des Ultraschallaktors jeweils mit einer elektrischen Erregervorrichtung;

**[0050]** **Fig. 45** eine perspektivische Darstellung eines Hauptwellenleiter-Resonators oder eines Zusatzwellenleiter-Resonators in einer Phase mit maximaler Deformation zur Ausbreitung einer akustischen Biege-Stehwelle mit dem jeweiligen Resonator;

**[0051]** **Fig. 46** eine Seitenansicht eines Hauptwellenleiter-Resonators oder eines Zusatzwellenleiter-Resonators in dem in der **Fig. 45** gezeigten Zustand;

**[0052]** **Fig. 47** eine perspektivische Darstellung eines Hauptwellenleiter-Resonators oder eines Zusatzwellenleiter-Resonators in einer Deformationsphase für einen normalen Querschnitt des Ultraschallaktors **1** bei Erzeugung einer akustischen Biege-Stehwelle mit dem jeweiligen Resonator;

**[0053]** **Fig. 48** eine Seitenansicht eines Hauptwellenleiter-Resonators oder eines Zusatzwellenleiter-Resonators in dem in der **Fig. 47** gezeigten Zustand;

**[0054]** **Fig. 49** bis **Fig. 52** jeweils einen Querschnitt einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors in insgesamt zwei Deformationsphasen für einen normalen Querschnitt des Ultraschallaktors für den Fall der Ausbildung einer akustischen Biege-Stehwelle in einem Ultraschallaktor mit einem Hauptwellenleiter-Resonator oder einem Zusatzwellenleiter-Resonator nach der **Fig. 1**;

**[0055]** **Fig. 53** bis **Fig. 56** jeweils einen Querschnitt einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors in insgesamt zwei Deformationsphasen für einen normalen Querschnitt des Ultraschallaktors für den Fall der Ausbildung einer akustischen Längs-Stehwelle in einem Ultraschallaktor mit einem Hauptwellenleiter-Resonator oder einem Zusatzwellenleiter-Resonator nach der **Fig. 1**;

**[0056]** **Fig. 57** eine Darstellung zur Erklärung des Funktionsprinzips des Ultraschallaktors nach der Erfindung am Beispiel der Erzeugung von in einem Hauptwellenleiter-Resonator oder einem Zusatzwellenleiter-Resonator erzeugten akustischen Biegestehwellen;

**[0057]** **Fig. 58** bis **Fig. 61** Darstellungen einer Kombination eines Hauptwellenleiter-Resonators und eines Zusatzwellenleiter-Resonators eine Ausführungsform des Ultraschallaktors nach der **Fig. 1**, wobei der Ultraschallaktor jeweils einen Zustand maximaler Deformation einnimmt;

**[0058]** **Fig. 62** eine Darstellung einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors, der bezüglich der Zahl des Haupt- oder des Zusatzwellenleiter-Resonators mit der in der **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform des Ultraschallaktors vergleichbar ist, wobei der Ultraschallaktor Fixierelemente aufweist;

**[0059]** **Fig. 63** eine Darstellung einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors, der eine zum Ultraschallaktor nach der **Fig. 62** alternative Lösung ist und bezüglich der Zahl des Hauptwellenleiter-Resonators oder des Zusatzwellenleiter-Resonators mit der in der **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform des Ultraschallaktors vergleichbar ist, wobei der Ultraschallaktor Fixierelemente aufweist;

**[0060]** Fig. 64 eine Darstellung eines Rahmenteils zum Halten der Ausführungsform des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors nach der Fig. 1;

**[0061]** Fig. 65 eine Ausführungsform des Rahmenteils, die eine alternative Lösung zu dem in der Fig. 64 dargestellten Rahmenteil ist.

**[0062]** Der erfindungsgemäße Ultraschallaktor 1 ist für einen Ultraschallmotor vorgesehen. Der Ultraschallaktor 1, der in einer einfachen Ausführungsform in der Fig. 1 gezeigt ist, weist einen Hauptgenerator 3 und einen mit diesem verbundenen passiven Hauptwellenleiter-Resonator 2, sowie einen Zusatzgenerator 5 und einen mit diesem verbundenen passiven Zusatzwellenleiter-Resonator 4 auf. Der Ultraschallmotor ist aus dem Ultraschallaktor 1 und dem Stellelement 7 gebildet, das den Leistungsausgang des Ultraschallmotors und somit im Aktivzustand des Ultraschallmotors ein von dem Ultraschallaktor 1 angetriebenes Element darstellt. Weiterhin weist der Ultraschallmotor eine erste elektrische Erregervorrichtung für den Hauptgenerator 3 und eine zweite elektrische Erregervorrichtung für den Zusatzgenerator 5 auf. Alternativ können die erste und zweite elektrische Erregervorrichtung durch eine einzige elektrische Erregervorrichtung realisiert sein. In der Fig. 1 ist auch ein Koordinatensystem des Ultraschallaktors 1 mit einer Längsrichtung X, einer Breitenrichtung Y und einer Höhenrichtung Z gezeigt.

**[0063]** Ein Hauptgenerator ist in den Figuren generell mit dem Bezugszeichen „3“ und ein Hauptwellenleiter-Resonator ist in den Figuren generell mit dem Bezugszeichen „2“ versehen. Wie in der Fig. 1 gezeigt ist, ist der Hauptgenerator 3 platten- oder balkenförmig ausgebildet und weist eine in Bezug auf eine Höhenrichtung Z des Ultraschallaktors 1 untere Oberfläche 3a und eine entgegen gesetzt zu der unteren Oberfläche 3a orientierte obere Oberfläche 3b auf. Auch der Hauptwellenleiter-Resonator 2 ist platten- oder balkenförmig ausgebildet und weist eine in Bezug auf eine Höhenrichtung Z des Ultraschallaktors 1 untere Oberfläche 2a und eine entgegen gesetzt zu der unteren Oberfläche 2a orientierte obere Oberfläche 2b auf. Die untere Oberfläche 2a des Hauptwellenleiter-Resonators 2 ist flächig mit der oberen Oberfläche 3b des Hauptgenerators 3 verbunden, so dass bei einer entsprechenden dynamischen Verformung des Hauptgenerators 3 im Hauptwellenleiter-Resonator 2 eine entlang einer Längsrichtung desselben ausgebildete akustische Stehwelle erzeugt werden kann.

**[0064]** Der Ultraschallaktor 1 weist auch einen passiven Zusatzwellenleiter-Resonator 4 und einen Zusatzgenerator 5 auf, der den Zusatzwellenleiter-Resonator 4 zur Ausbildung einer Ersatzlaufwelle akkuiert. Ein Zusatzgenerator ist in den Figuren generell mit dem Bezugszeichen „5“ und ein Zusatzwel-

lenleiter-Resonator ist in den Figuren generell mit dem Bezugszeichen „4“ versehen. Der Zusatzgenerator 5 ist platten- oder balkenförmig ausgebildet und weist eine in Bezug auf eine Höhenrichtung Z des Ultraschallaktors 1 untere Oberfläche 5a und eine entgegen gesetzt zu der unteren Oberfläche 5a orientierte obere Oberfläche 5b auf. Auch der Zusatzwellenleiter-Resonator 4 ist platten- oder balkenförmig ausgebildet und weist eine untere Oberfläche 4a und eine entgegen gesetzt zu der unteren Oberfläche 4a orientierte obere Oberfläche 4b auf. Die untere Oberfläche 4a des Zusatzwellenleiter-Resonators 4 ist flächig mit der oberen Oberfläche 5b des Zusatzgenerators 5 verbunden, so dass bei einer entsprechenden dynamischen Verformung des Zusatzgenerators 5 im Zusatzwellenleiter-Resonator 4 eine entlang einer Längsrichtung desselben ausgebildete akustische Stehwelle erzeugt werden kann.

**[0065]** Der Hauptwellenleiter-Resonator 2 und der Zusatzwellenleiter-Resonator 4 sind jeweils als offene lineare Wellenleiter-Resonatoren ausgeführt, die aufgrund ihrer Beweglichkeit Wellen entlang ihrer jeweiligen Längsrichtung 11, 12 ausbilden können. An sich über die jeweilige Längsrichtung L1 bzw. L2 erstreckende Verbindungsabschnitte des Hauptwellenleiter-Resonators 2 bzw. des Zusatzwellenleiter-Resonators 4, die einander zugewandt sind, ist ein Brückensteg 6 angeordnet, so dass der Brückensteg 6 Bewegungen des Hauptwellenleiter-Resonators 2 und des Zusatzwellenleiter-Resonators 4 aufnehmen kann. In dem Brückensteg 6 kommt es dadurch bei der Bewegung des Hauptwellenleiter-Resonators 2 und des Zusatzwellenleiter-Resonators 4 zu einer Überlagerung der sich im Haupt- und im Zusatzwellenleiter-Resonator 2 und 4 ausbreitenden akustischen Stehwellen, so dass der Brückensteg 6 als Summenbildner für die beiden akustischen Stehwellen wirkt. Durch die Überlagerung der akustischen Stehwellen des Hauptwellenleiter-Resonators 2 und des Zusatzwellen-Resonators 4 in dem Brückensteg entsteht in dem Brückensteg eine akustische Ersatzlaufwelle, die zum Antrieb des Stellelements genutzt werden kann. Der Brückensteg 6 stellt somit einen Erzeuger für die akustische Ersatzlaufwelle dar.

**[0066]** Weiterhin weist der Brückensteg 6 eine Friktionsbahn 8 auf, mit der ein Stellelement 7 des Ultraschallmotors zur Ausführung einer linearen Bewegung angetrieben wird, indem dieses mit einer Kraft F auf die Friktionsschiene drückt. Stellelement 7 und Friktionsschiene stehen somit in Wirk- bzw. Friktionskontakt. Die Friktionsbahn 8 erstreckt sich als Bestandteil des Brückenstegs 6 zumindest abschnittsweise entlang der Längsrichtungen L1, L2 des Hauptwellenleiter-Resonators 2 und des Zusatzwellenleiter-Resonators 4. An dem Stellelement 7 ist eine Friktionsschicht 9 angebracht, mit welcher das Stellelement 7 an der Friktionsbahn 8 anliegt und mit welcher das Stellelement 7 in Wirkverbindung bzw. Friktions-

kontakt steht, so dass dieses bei Aktivierung der Generatoren **3**, **5** in eine Linear-Bewegung versetzt wird. Ein Brückensteg ist in den Figuren generell mit dem Bezugszeichen „**6**“, eine Friktionsbahn ist in den Figuren generell mit dem Bezugszeichen „**8**“ und eine Friktionsschicht ist in den Figuren generell mit dem Bezugszeichen „**9**“ versehen.

**[0067]** Der Ultraschall-Motor weist einen Rahmen oder ein Gehäuse (in den Figuren nicht gezeigt) auf, in welchem der Ultraschallaktor **1** gelagert ist. Der Ultraschallaktor **1** weist weiterhin eine am Rahmen oder am Gehäuse angeordnete Führungsvorrichtung auf, in der das angetriebene Element **7** in seiner vom Ultraschallaktor **1** bewirkten Bewegung relativ zum Rahmen bzw. Gehäuse geführt ist.

**[0068]** Bei einer Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Kraft **F**, mit der das Stellelement **7** auf die Friktionsschiene gedrückt wird, durch die Gewichtskraft des Stellelements **7** alleine bewirkt wird. In diesem Fall ist die Führungsvorrichtung derart ausgeführt, dass das Stellelement **7** an der Führungsvorrichtung mittels einer Aufnahmeeinrichtung gehalten wird, die das Stellelement **7** an der Führungsvorrichtung mit einem translatorischen Freiheitsgrad lagert, der eine Bewegung des Stellelements **7** quer zu seiner Längserstreckung oder der jeweils lokalen Längsrichtung **LF** der Friktionsbahn **8** zulässt, so dass das Stellelement **7** mit seiner Gewichtskraft auf die Friktionsbahn **8** gedrückt wird.

**[0069]** Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass an der Aufnahmeeinrichtung, an der das Stellelement **7** an der Führungsvorrichtung mit einem translatorischen Freiheitsgrad gelagert ist, der eine Bewegung des Stellelements **7** quer zur Längserstreckung oder der jeweils lokalen Längsrichtung **LF** der Friktionsbahn **8** zulässt, eine Vorspannvorrichtung wie z. B. eine Feder derart angebracht ist, dass diese das Stellelement **7** mit einer Federkraft quer zur Längserstreckung oder der jeweils lokalen Längsrichtung **LF** der Friktionsbahn **8** an diese andrückt, so dass das Stellelement **7** mit einer vorbestimmten Federkraft auf die Friktionsbahn **8** drückt. Dabei kann alternativ oder zusätzlich zu der Vorspannvorrichtung an der Führungsvorrichtung ein Magnet angebracht sein, wobei der Magnet derart an der Führungsvorrichtung angeordnet und das Stellelement **7** derart ferromagnetisch ausgeführt wirkt, dass das Stellelement **7** mit einer vorbestimmten Kraft auf die Friktionsbahn **8** gedrückt wird. Generell ist also bei diesen Ausführungsformen an der Führungsvorrichtung eine Krafterzeugungsvorrichtung angeordnet, die das Stellelement **7** mit einer vorbestimmten Kraft auf die Friktionsbahn **8** drückt.

**[0070]** Fig. 2 zeigt einen Ultraschallmotor mit einem Hauptwellenleiter-Resonator **2**, mit dem flächig ein

Hauptgenerator **3** verbunden ist, zwei Zusatzwellenleiter-Resonatoren **4**, die in der Fig. 2 konkret mit den Bezugszeichen **4-21** und **4-22** bezeichnet sind und mit denen flächig jeweils ein Zusatzgenerator **5-21** bzw. **5-22** verbunden ist, und zwei Brückenstege **6**, die in der Fig. 2 konkret mit den Bezugszeichen **6-21** und **6-22** bezeichnet sind. Dabei ist auf einer ersten Seite des Hauptwellenleiter-Resonators **2** ein erster Brückensteg **6-21** und an diesem wiederum ein erster Zusatzwellenleiter-Resonator **4-21** derart angeschlossen, dass der erste Brückensteg **6-21** zwischen dem Hauptwellenleiter-Resonator **2** und dem ersten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-21** gelegen ist. Weiterhin ist auf einer zweiten Seite des Hauptwellenleiter-Resonators **2**, die in Bezug auf die Richtung **Y** entgegengesetzt zu der ersten Seite gelegen ist, ein zweiter Brückensteg **6-22** und an diesem wiederum ein zweiter Zusatzwellenleiter-Resonator **4-22** derart angeschlossen, dass der zweite Brückensteg **6-22** zwischen dem Hauptwellenleiter-Resonator **2** und dem zweiten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-22** gelegen ist. Weiterhin ist auf jedem Brückensteg **6-21**, **6-22** eine Friktionsbahn **8-21** bzw. **8-22** angeordnet. Ebenso sind an dem Stellelement **7** zwei Friktionsschichten **9-21**, **9-22** derart angeordnet, dass im Betriebszustand des Stellelements **7** jeweils eine der Friktionsschichten **9-21**, **9-22** auf jeweils einer Friktionsbahn **8-21** bzw. **8-22** gelegen ist und mit dieser in Wirkverbindung bzw. Friktionskontakt steht.

**[0071]** Fig. 3 zeigt einen Ultraschallmotor mit zwei Hauptwellenleiter-Resonatoren **2**, zwei Zusatzwellenleiter-Resonatoren **4** und drei Brückenstege **6**, auf denen jeweils eine Friktionsbahn **8** angeordnet ist. Das Stellelement **7** weist drei Friktionsschichten **9** auf, die konkret auch mit den Bezugszeichen **9-31**, **9-32**, **9-33** versehen sind.

**[0072]** Im Einzelnen sind bei der in der Fig. 3 dargestellten Ausführungsform des Ultraschallaktors **1** in der **Y**-Richtung gesehen abwechselnd ein erster Hauptwellenleiter-Resonator **2-31**, ein erster Zusatzwellenleiter-Resonator **4-31**, ein zweiter Hauptwellenleiter-Resonator **2-31** und ein zweiter Zusatzwellenleiter-Resonator **4-32** angeordnet, so dass zwischen dem ersten und dem zweiten Hauptwellenleiter-Resonator **2-31**, **2-32** der erste Zusatzwellenleiter-Resonator **4-31** angeordnet ist. Mit den Hauptwellenleiter-Resonatoren **2-31**, **2-32** ist flächig jeweils ein Hauptgenerator **3-31** bzw. **3-32** verbunden und mit den Zusatzwellenleiter-Resonatoren **4-31** und **4-32** ist flächig jeweils ein Zusatzgenerator **5-31** bzw. **5-32** verbunden. Jeweils ein Hauptwellenleiter-Resonator und jeweils ein Zusatzwellenleiter-Resonator ist durch einen Brückensteg verbunden, so dass drei Brückenstege **6-31**, **6-32** und **6-33** vorgesehen sind.

**[0073]** Der erste Zusatzwellenleiter-Resonator **4-31** ist in Bezug auf die **Y**-Richtung seitlich in einer ersten Richtung (positive **Y**-Richtung) über einen ersten

Brückensteg **6-31** mit einer ersten Friktionsbahn **8-31** an dem ersten Hauptwellenleiter-Resonator **2-31** und seitlich in einer zweiten, entgegen gesetzt zu der ersten Richtung orientierten zweiten Richtung (negative Y-Richtung) mit einem zweiten Brückensteg **6-32** mit einer zweiten Friktionsbahn **8-32** an dem zweiten Hauptwellenleiter-Resonator **2-32** angeschlossen, so dass der erste Brückensteg **6-31** zwischen dem ersten Hauptwellenleiter-Resonator **2-31** und dem ersten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-31** gelegen ist. Weiterhin ist der zweite Hauptwellenleiter-Resonator **2-32** über den zweiten Brückensteg **6-32** an dem ersten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-31** und über den dritten Brückensteg **6-33** an dem zweiten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-32** angeschlossen, so dass der dritte Brückensteg **6-33** zwischen dem zweiten Hauptwellenleiter-Resonator **2-32** und dem zweiten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-32** gelegen ist.

**[0074]** Weiterhin weist das Stellelement **7** drei Friktionsschichten **9-31**, **9-32**, **9-33** auf, die derart angeordnet sind, dass im Betriebszustand des Stellelements **7** jeweils eine der Friktionsschichten **9-31**, **9-32**, **9-33** auf jeweils einer Friktionsbahn **8-31** bzw. **8-32** bzw. **8-33** gelegen ist und mit dieser in Wirkverbindung bzw. Friktionskontakt steht.

**[0075]** Fig. 4 zeigt einen Ultraschallmotor mit zwei Hauptwellenleiter-Resonatoren **2**, drei Zusatzwellenleiter-Resonatoren **4** und vier Brückenstegen **6**, auf denen jeweils eine Friktionsbahn **8** angeordnet ist. Das Stellelement weist vier Friktionsschichten **9** auf, die konkret auch mit den Bezugszeichen **9-41**, **9-42**, **9-43**, **9-44** versehen sind.

**[0076]** Im Einzelnen sind bei der in der Fig. 4 dargestellten Ausführungsform des Ultraschallaktors **1** in der Y-Richtung gesehen abwechselnd ein erster Hauptwellenleiter-Resonator **2-41**, ein erster Zusatzwellenleiter-Resonator **4-41**, ein zweiter Hauptwellenleiter-Resonator **2-42**, ein zweiter Zusatzwellenleiter-Resonator **4-42**, ein dritter Hauptwellenleiter-Resonator **2-43** und ein dritter Zusatzwellenleiter-Resonator **4-43** angeordnet. Dabei ist angeordnet: zwischen dem ersten und dem zweiten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-41**, **4-42** der erste Hauptwellenleiter-Resonator **2-41** und zwischen dem zweiten und dem dritten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-42**, **4-43** der zweite Hauptwellenleiter-Resonator **2-42**. Mit den Hauptwellenleiter-Resonatoren **2-41**, **2-42** ist flächig jeweils ein Hauptgenerator **3-41** bzw. **3-42** verbunden und mit den Zusatzwellenleiter-Resonatoren **4-41**, **4-42** und **4-43** ist flächig jeweils ein Zusatzgenerator **5-41** bzw. **5-42** verbunden. Jeweils ein Hauptwellenleiter-Resonator und jeweils ein Zusatzwellenleiter-Resonator ist durch einen Brückensteg verbunden, so dass vier Brückenstege **6-41**, **6-42**, **6-43** und **6-44** vorhanden sind.

**[0077]** Der erste Hauptwellenleiter-Resonator **2-41** ist in Bezug auf die Y-Richtung auf einer Seite in einer ersten Richtung (positive Y-Richtung) über einen ersten Brückensteg **6-41** mit der ersten Friktionsbahn **8-41** an dem ersten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-41** und auf einer zweiten Seite in einer zweiten, entgegen gesetzt zu der ersten Richtung orientierten zweiten Richtung (negative Y-Richtung) mit einem zweiten Brückensteg **6-42** mit einer zweiten Friktionsbahn **8-42** an dem zweiten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-42** angeschlossen, so dass der erste Brückensteg **6-41** zwischen dem ersten Hauptwellenleiter-Resonator **2-41** und dem ersten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-41** gelegen ist. Weiterhin ist der zweite Hauptwellenleiter-Resonator **2-42** in Richtung in einer ersten Richtung (positive Y-Richtung) über einen dritten Brückensteg **6-43** an dem zweiten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-42** und in einer zweiten, entgegen gesetzt zu der ersten Richtung orientierten zweiten Richtung (negative Y-Richtung) über den vierten Brückensteg **6-44** an dem dritten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-43** angeschlossen, so dass der dritte Brückensteg **6-43** zwischen dem zweiten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-42** und dem zweiten Hauptwellenleiter-Resonator **2-42** und der vierte Brückensteg **6-44** zwischen dem zweiten Hauptwellenleiter-Resonator **2-42** und dem dritten Zusatzwellenleiter-Resonator **4-43** und gelegen ist.

**[0078]** Weiterhin weist das Stellelement **7** vier Friktionsschichten **9-41**, **9-42**, **9-43** und **9-44** auf, die derart angeordnet sind, dass im Betriebszustand des Stellelements **7** jeweils eine der Friktionsschichten **9-41**, **9-42**, **9-43**, **9-44** auf jeweils einer Friktionsbahn **8-41** bzw. **8-42** bzw. **8-43** bzw. **8-44** gelegen ist und mit dieser in Wirkverbindung bzw. Friktionskontakt steht.

**[0079]** Auf der Basis der gezeigten Ausführungsformen ist nach der Erfindung somit generell ein Ultraschallaktor **1** für einen linearen Ultraschallmotor zum Antrieb eines Stellelements **7** vorgesehen, das in dem Ultraschallmotor zur Realisierung einer linearen Bewegung desselben mit einer vorbestimmten Kraft **F** auf zumindest eine Friktionsbahn **8** gedrückt wird. Dabei weist der Ultraschallaktor **1** auf:

- zumindest einen Hauptwellenleiter-Resonator **2**, mit dem jeweils zur Ausbildung einer akustischen Stehwelle ein Hauptgenerator **3** flächig verbunden ist,
- zumindest einen Zusatzwellenleiter-Resonator **4**, mit dem jeweils zur Ausbildung einer akustischen Stehwelle ein Zusatzgenerator verbunden ist,
- zumindest einen Brückensteg **6**, wobei jeder des zumindest einen Brückenstege **6** jeweils einen des zumindest einen Hauptwellenleiter-Resonators **2** und jeweils einen des zumindest einen Zusatzwellenleiter-Resonators **4** verbindet.

lenleiter-Resonators **4** wenigstens abschnittsweise miteinander verbindet und wobei an dem Brückensteg **6** wenigstens eine Friktionsbahn **8** oder eine Friktionsschiene **41** angeordnet ist,

wobei der zumindest eine Hauptwellenleiter-Resonator **2** und der zumindest eine Zusatzwellenleiter-Resonator **4** jeweils als offene lineare Wellenleiter ausgeführt sind und der zumindest eine Brückensteg **6** als Summenbildner der in den Haupt- und Zusatzwellenleiter-Resonatoren **2**, **4** sich ausbreitenden akustischen Stehwellen wirkt, so dass der zumindest eine Brückensteg **6** als Erzeuger für eine Ersatzlaufwelle wirkt, die zum Antrieb des Stellelements **7** nutzbar ist.

**[0080]** Die Ausführungsformen zeigen, dass der Ultraschallaktor **1** nach der Erfindung eine unterschiedliche Anzahl von Haupt- und Zusatzwellenleitern-Resonatoren **2** und **4** und eine entsprechende Zahl von Brückenstegen **6** aufweisen kann.

**[0081]** Die Fig. 5 zeigt eine allgemeine Ansicht des Ultraschallaktors **1** mit einem Hauptwellenleiter-Resonator **2**, einem an diesem angeordneten Hauptgenerator **3**, einem Zusatzwellenleiter-Resonator **4** und einem an diesem angeordneten Zusatzgenerator **5**. Die Fig. 6 zeigt den Ultraschallaktor **1** gemäß Fig. 5 in Draufsicht, während Fig. 7 die Seitenansicht des Ultraschallaktors **1** gemäß Fig. 5 zeigt. Die Fig. 8 zeigt den Ultraschallaktor **1** gemäß Fig. 5 von unten.

**[0082]** In der vorgeschlagenen Erfindung kann die Länge  $L_a$  des Hauptwellenleiters-Resonators **2** (siehe Fig. 6) ein ganzzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge  $\lambda$  der in ihm erzeugten akustischen Stehwelle sein, d. h.  $L_a = n\lambda/2$ , wobei  $n$  eine ganze Zahl **1**, **2**, **3**, **4**, **5** ... sein kann. Die Länge  $L_b$  des Zusatzwellenleiter-Resonators **4** ist gleich der Länge  $L_a$  der Hauptwellenleiter-Resonatoren **2**, d. h.  $L_a = L_b$ .

**[0083]** Die Breite  $W_a$  und  $W_b$  der Haupt- und der Zusatzwellenleiter-Resonatoren **2** und **4** sind kleiner oder gleich der halben Wellenlänge  $\lambda$  der erzeugten akustischen Welle, d. h.

$$W_a = W_b \leq \lambda/2.$$

**[0084]** Die Dicke  $T_a$  und  $T_b$  der Haupt- und der Zusatzwellenleiter-Resonatoren **2** und **4** sind kleiner oder gleich der halben Wellenlänge  $\lambda$  der erzeugten akustischen Welle, d. h.

$$T_a = T_b \leq \lambda/2.$$

**[0085]** Die Zusatzwellenleiter-Resonatoren **4** sind räumlich bzw. in X-Richtung in Bezug zu den Hauptwellenleiter-Resonatoren **2** um den Abstand  $d$  verschoben, der gleich einem Viertel der Wellenlänge der erzeugten akustischen Stehwelle ist, d. h.  $d = \lambda/4$ .

**[0086]** Die Brückenstege **6** können so ausgeführt sein, dass ihre Länge  $B$  kleiner als die Länge  $L_a$  des Hauptwellenleiters-Resonators ist, und zwar um  $1/4$  der Wellenlänge  $\lambda$  der erzeugten akustischen Stehwelle, d. h.  $L_a - B = 1,25 \lambda$ .

**[0087]** Die Breite  $C$  jedes Brückenstegs **6** kann so gewählt werden, dass sie kleiner oder gleich der halben Wellenlänge  $\lambda$  der erzeugten akustischen Stehwelle ist, d. h.  $C \leq \lambda/2$ .

**[0088]** Die Dicke  $t$  jedes Brückensteges **6** kann so ausgeführt sein, dass sie kleiner als die halbe Dicke  $T_a$  oder  $T_b$  der Wellenleiter-Resonatoren **2** und **4** ist, d. h.  $t < T_a/2 = T_b/2$ .

**[0089]** Die Fig. 9 zeigt eine allgemeine Ansicht eines Ultraschallaktors **1** mit einem Hauptwellenleiter-Resonator **2** und zwei Zusatzwellenleitern-Resonatoren **4**. Die Fig. 10 zeigt eine Draufsicht auf den Ultraschallaktor **1** gemäß Fig. 9. Die Fig. 11 zeigt die Seitenansicht des Ultraschallaktors **1** gemäß Fig. 9, und Fig. 12 zeigt den Ultraschallaktor **1** gemäß Fig. 9 in einer Ansicht von unten.

**[0090]** In der vorgeschlagenen Erfindung haben der Haupt- und der Zusatzwellenleiter-Resonator jeweils den gleichen konstruktiven Aufbau.

**[0091]** Die Fig. 13 zeigt eine der konstruktiven Ausführungsvarianten des Haupt- oder des Zusatzwellenleiters-Resonators **2**, **4**. In dieser Variante besteht der Haupt- oder der Zusatzwellenleiter-Resonator **2**, **4** aus dem mitschwingenden Stab oder der mitschwingenden Platte **19** und dem mit ihr oder mit ihm verbundenen Generator für die akustische Stehwelle **3** oder **5**.

**[0092]** Der Stab oder die Platte **19** können aus Metall wie z. B. Stahl, Bronze, Aluminium gefertigt sein. Sie können auch aus Oxidkeramik auf der Basis von Aluminiumoxid oder einer anderen harten, abriebfesten Keramik oder Metallkeramik hergestellt werden. Es ist auch möglich, sie aus harten, gegen hohe Temperaturen beständigen Polymerwerkstoffen, angefüllt mit harten Teilchen aus z. B. Glas, Aluminiumoxid, Zirkoniumoxid oder ähnlichem, gefertigt sein. Als Füllstoffe für den Polymerwerkstoff können auch harte, feste Fasern aus Glas, Kohlenstoff oder einem ähnlichen Material verwendet werden.

**[0093]** Die Generatoren **3** oder **5** der akustischen Stehwelle können als eine Reihe von Piezoelementen **20** ausgeführt sein, die unterschiedlich gepolt und mit dem mitschwingenden Stab oder der Platte **19** im Bereich maximaler mechanischer Schwingungen der sich in ihr ausbreitenden akustischen Stehwelle befestigt sind.

**[0094]** Die Piezoelemente **20** können als quer polarisierte Plättchen (siehe **Fig. 14**, **Fig. 15**), als längs polarisierte Plättchen (siehe **Fig. 16**, **Fig. 17**) oder als Multilayerpiezoelemente (siehe **Fig. 18**, **Fig. 19**) hergestellt sein. Dabei haben die Elektroden **23**, **24** die Anschlüsse **29**, **30**.

**[0095]** Die **Fig. 20** zeigt eine andere Variante für den Haupt- oder den Zusatzwellenleiter-Resonator **2** oder **4**. In dieser Variante ist der Generator der akustischen Welle **3** oder **5** als eine piezoelektrische Platte **32** ausgeführt.

**[0096]** In der **Fig. 21** besitzt die Platte **32** durchgehende Elektroden **23**, **24**, wobei aneinander angrenzende Bereiche der piezoelektrischen Platte **32** eine gegensätzlich gerichtete (Quer-)Polarisation aufweisen. In der **Fig. 22** haben aneinander angrenzende Bereiche der piezoelektrischen Platte **32** eine gleichgerichtete (Quer-)Polarisation. Hierbei gibt es einedurchgehende allgemeine Elektrode **23**, geteilte Elektroden **24**, **36**, die gegenphasig angesteuert werden, mit den entsprechenden gegenphasigen Anschlüsse **30** und **37**. Gemäß **Fig. 23** haben aneinander angrenzende Bereiche der piezoelektrischen Platte **32** eine gleichgerichtete (Längs-)Polarisation.

**[0097]** Die Generatoren **3** und **5** sind mit einem festen Kleber – z. B. auf Epoxidharzbasis oder einem anderen ähnlichen Kleber – mit den Wellenleitern-Resonatoren **2** und **4** verbunden.

**[0098]** In der vorschlagsgemäß ausgeführten Erfindung können die Brückenstege **6** als einzelne Teile ausgeführt sein, die miteinander verklebt oder verlötet oder auf den Seitenflächen der Wellenleiter-Resonatoren **2** und **4** aufgeklebt sind.

**[0099]** Die Brückenstege **6** können aus wärmebehandeltem Stahl oder Bronze, aus harter Oxidkeramik auf der Basis von Aluminiumoxid oder aus Metallkeramik gefertigt sein. Ferner können sie aus einem harten temperaturbeständigen Polymerwerkstoff, angereichert mit Teilchen eines harten Materials wie z. B. Glas, Aluminiumoxid, Zirkoniumoxid oder ähnlichem hergestellt sein. Als Füllmaterial für den Polymerwerkstoff können auch harte, feste Fasern aus Glas, Kohlenstoff und ähnlichen Materialien verwendet werden.

**[0100]** Die vorgeschlagene Erfindung berücksichtigt auch monolithisch mit den Resonatoren **2**, **4** hergestellte Brückenstege **6**, die aus dem gleichen Material gefertigt sind.

**[0101]** Zum Antrieb des Stellelements **7** weist der Brückensteg **6** eine Friktionsbahn **8** auf, die mittels seiner Friktionsoberfläche das mit dem Stellelement **7** in Wirkverbindung bzw. Friktionskontakt steht und dieses dadurch in Bewegung versetzt.

**[0102]** Die Friktionsbahn **8** wird als dünne Schicht aus einem haltbaren, abriebfesten Material auf die Oberfläche des Brückenstegs **6** aufgebracht. Als Werkstoff für die Friktionsbahn **8** kann eine Schicht eines haltbaren abriebfesten Glases oder eines Glases, angereichert mit Teilchen eines harten, abriebfesten Materials, verwendet werden. Es kann auch eine Schicht elektromechanisch oder chemisch abgeschiedenen Nickels und Chroms verwendet werden. Überdies kann eine aus der Plasmaphase abgeschiedene Schicht aus Aluminiumoxid oder Zirkoniumoxid aufgetragen werden oder eine Schicht, die kleine Diamantkristalle enthält, ausgeschieden aus der Gasphase, verwendet werden. Es können auch Schichten in Form dünner Beläge von CrN, CrCN, (Cr,W)N, (Cr,Al)N, NbN-CrN, TiN, TiCN, (Ti,Al)N, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und ähnlichen verwendet werden.

**[0103]** Die **Fig. 24** bis **Fig. 26** zeigen verschiedene Ansichten des Ultraschallaktors **1**, bei dem die Generatoren **3**, **5** und die Wellenleiter-Resonatoren **2**, **4** in einer Schichtstruktur ausgeführt sind, die aus zwei auf verschiedenen Seiten des mitschwingenden Stabs oder der Platte **19** (Resonatoren) angeordneten Piezoelementen **32** (Generatoren) besteht. Die **Fig. 25** zeigt die Seitenansicht eines solchen Ultraschallaktors **1**, und die **Fig. 26** den Ultraschallaktor **1** gemäß **Fig. 24** im zerlegten Zustand.

**[0104]** In der vorgeschlagenen Erfindung kann der Brückensteg **6** des Ultraschallaktors **1** eine Friktionsführungsschiene **41** aufweisen, die mit ihrer Friktionsoberfläche das Stellelement **7** in Bewegung versetzt und gleichzeitig seine geradlinige Bewegung gewährleistet.

**[0105]** Die Friktionsführungsschiene **41** kann eine rechteckige, eine dreieckige, eine trapezförmige, eine runde oder eine andere Form aufweisen, die die geradlinige Bewegung des Stellelements **7** gewährleistet (siehe **Fig. 25**).

**[0106]** Die Friktionsführungsschiene **41** kann aus dem gleichen Material wie der Brückensteg **6** hergestellt bzw. einstückig mit diesem ausgeführt sein (siehe **Fig. 24** bis **Fig. 26**). Außerdem kann die Friktionsführungsschiene **41** eine Platte darstellen, hergestellt aus einem harten abriebfesten Material, die mit dem Brückensteg **6** verbunden ist. Als Material für eine solche Friktionsführungsschiene **41** kann gehärteter Stahl, Keramik auf Aluminiumoxid- und Zirkoniumoxidbasis, Metallkeramik oder ähnliches verwendet werden.

**[0107]** Die Erfindung sieht auch die Ausführung eines Ultraschallaktors mit V-förmiger oder U-förmiger Form vor, dargestellt in den **Fig. 27** bis **Fig. 34**.

**[0108]** Beim erfindungsgemäßen Ultraschallaktor **1** können der Haupt- und Zusatzwellenleiter-Resona-

tor **2** und **4** für die akustischen Stehwellen als aktive Wellenleiter-Resonatoren **50** ausgeführt und beispielsweise vollständig aus piezokeramischer Keramik gefertigt sein, siehe **Fig. 35** bis **Fig. 39**. In solchen Wellenleitern-Resonatoren sind die Generatoren der akustischen Wellen **3** und **5** in Form von Elektroden **51**, **52**, **53** und einer Piezokeramikschrift zwischen ihnen ausgeführt. Die Elektroden **51**, **52**, **53** werden auf die Oberfläche der Wellenleiter-Resonatoren **50** aufgebracht oder im Inneren der Resonatoren angeordnet.

**[0109]** Der Brückensteg **6** wird durch Kleben mit einem harten Kleber, z. B. einem Kleber auf Epoxidharzbasis oder einem anderen ähnlichen Kleber, mit den Wellenleiter-Resonatoren **50** verbunden.

**[0110]** Die **Fig. 40** bis **Fig. 44** zeigen das Verbindungsschema der Generatoren **3** und **5** des Ultraschallaktors **1** mit der elektrischen Erregervorrichtung **55**.

**[0111]** Die elektrische Erregervorrichtung **55** stellt die zwei periodischen elektrischen Spannungen  $U_{a1}$  und  $U_{b1}$  mit gleicher Amplitude bereit, deren Frequenz gleich der Frequenz der in den Wellenleitern-Resonatoren **2** und **4** erzeugten akustischen Stehwellen ist. Die Spannungen  $U_{a1}$  und  $U_{b1}$  sind zueinander um den Winkel  $+90^\circ$  oder  $-90^\circ$  phasenverschoben.

**[0112]** Außerdem kann die elektrische Erregervorrichtung **55** die vier periodischen Spannungen  $U_{a1}$ ,  $U_{b1}$  und  $U_{a2}$ ,  $U_{b2}$  gleicher Frequenz bereitstellen. Die Spannungen  $U_{a1}$  und  $U_{b1}$  sind zueinander um den Winkel  $+90^\circ$  oder  $-90^\circ$  phasenverschoben und die Spannungen  $U_{a2}$  und  $U_{b2}$  sind gegenphasig zu den Spannungen  $U_{a1}$  und  $U_{b1}$ .

**[0113]** Die Spannungen  $U_{a1}$ ,  $U_{b1}$ ,  $U_{a2}$  und  $U_{b2}$  können eine Sinus-, eine Sägezahn-, eine Trapez-, eine Rechteckform haben oder auch jede andere Form aufweisen.

**[0114]** Die **Fig. 45** und **Fig. 46** zeigen die Phase mit maximaler Deformation des Wellenleiter-Resonators **2** oder **4** bei der Ausbreitung einer akustischen Biege-Stehwelle in diesem.

**[0115]** Die **Fig. 47** und **Fig. 48** zeigen die Phase mit maximaler Deformation des Wellenleiter-Resonators **2** oder **4** bei der Ausbreitung einer akustischen Längs-Stehwelle in diesem.

**[0116]** Die **Fig. 49** und **Fig. 50** zeigen zwei Deformationsphasen für einen normalen Querschnitt des Ultraschallaktors **1** bei Erzeugung einer akustischen Biege-Stehwelle im Wellenleiter-Resonator **2**. Die **Fig. 51** und **Fig. 52** zeigen zwei Deformationsphasen für einen normalen Querschnitt des Ultraschallaktors

**1** bei Erzeugung einer akustischen Biege-Stehwelle im Wellenleiter-Resonator **4**.

**[0117]** Die **Fig. 53** und **Fig. 54** zeigen zwei Deformationsphasen für einen normalen Querschnitt des Ultraschallaktors **1** bei Erzeugung einer akustischen Längs-Stehwelle im Wellenleiter-Resonator **2**, während die **Fig. 55** und **Fig. 56** in zwei Phasen mit maximaler Deformation für einen normalen Querschnitt des Ultraschallaktors **1** bei Erzeugung einer akustischen Längs-Stehwelle im Wellenleiter-Resonator **4** zeigen.

**[0118]** Aus den Deformationsdarstellungen der **Fig. 49** bis **Fig. 52** und **Fig. 53** bis **Fig. 56** ist erkennbar, dass die durch die Stehwelle hervorgerufene Deformation des Wellenleiters-Resonators **2** oder **4** zu einer Deformation des Brückenstegs **6** führt. Mit anderen Worten, die sich im Wellenleiter-Resonator **2** oder **4** ausbreitende akustische Welle wird teilweise auf den Brückensteg **6** übergeleitet. Dabei nimmt die Amplitude der im Brückensteg **6** sich ausbreitenden akustischen Welle langsam mit zunehmender Entfernung vom erregenden Wellenleiter-Resonator **2** oder **4** ab. Da der normale Querschnitt des Ultraschallaktors **1** symmetrisch zur Symmetrieachse  $S$  liegt, haben die in den Brückensteg **6** vom Wellenleiter-Resonator **2** übergehenden akustischen Stehwellen und die in den Brückensteg **6** vom Wellenleiter-Resonator **4** übergehenden akustischen Wellen längs zur Symmetrieachse  $S$  die gleiche Queramplitude.

**[0119]** Bei gleichzeitiger Erregung der Wellenleiter-Resonatoren **2** und **4** erfolgt im Brückensteg **6** eine Summierung der zwei in den Brückensteg **6** übergehenden akustischen Stehwellen des Hauptwellenleiters-Resonators **2** und des Zusatzwellenleiters-Resonators **4**. D. h. der Brückensteg **6** bildet einen Summenbildner für die in den Brückensteg übergehenden akustischen Stehwellen der Wellenleiter-Resonatoren **2**.

**[0120]** Da die Wellenleiter-Resonatoren **2** und **4** räumlich zueinander um den Abstand  $d$ , der gleich  $\lambda/4$  ist, verschoben sind, sind die im Brückensteg sich ausbreitenden akustischen Stehwellen ebenfalls räumlich zueinander um den Abstand  $\lambda/4$  verschoben.

**[0121]** Die akustischen Stehwellen werden in den Wellenleitern-Resonatoren **2** und **4** durch die periodischen Spannungen  $U_{a1}$   $U_{b1}$ , die zueinander um den Winkel  $+90^\circ$  oder um den Winkel  $-90^\circ$  Grad phasenverschoben sind, erzeugt, weshalb die durch diese Spannungen erzeugten akustischen Stehwellen ebenfalls zueinander um den Winkel  $+90^\circ$  Grad oder um den Winkel  $-90^\circ$  Grad phasenverschoben sind.

**[0122]** Die wie zuvor erläutert in den Wellenleiter-Resonatoren **2**, **4** erzeugten akustischen Stehwellen

überlagern sich im Brückensteg **6**, und im Ergebnis der Überlagerung bzw. Summierung dieser beiden Stehwellen bildet sich längs zur Symmetrieachse S eine Welle aus, die analoge Eigenschaften wie eine Laufwelle hat. Da diese Welle in einem offenen Wellenleiter entsteht, und nicht in einem geschlossenen oder einem unendlichen Wellenleiter, stellt diese Welle keine Laufwelle im klassischen Sinn dar, sondern ist eine Ersatzlaufwelle aufzufassen. Der Brückensteg **6** ist der Erzeuger für diese Ersatzlaufwelle.

**[0123]** Fig. 57 erläutert das Funktionsprinzip des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors am Beispiel der Erzeugung von in den Wellenleitern-Resonatoren **2** und **4** des Ultraschallaktors **1** erzeugten akustischen Biegestehwellen. In diesem Fall schwingen die Wellenleiter-Resonatoren **2** und **4** in den Ebenen XaZa und XbZb. Die Fig. 49a und Fig. 49b zeigen die Verteilung der Schwingungsamplituden auf den Achsen Xa und Xb. Die Fig. 57a und Fig. 57b zeigen die Deformation zu dem Zeitpunkt, bei der die Amplituden der beiden Stehwellen gleich sind. Die Minima der Schwingungsgeschwindigkeiten der in den Wellenleitern **2** und **4** erzeugten Stehwellen befinden sich auf den Linien Oa und Ob.

**[0124]** Durch die Transformation der Deformation der zwei akustischen Stehwellen aus den Wellenleitern-Resonatoren **2** und **4** in den Brückensteg **6** wird in dem Brückensteg **6** die in Fig. 57c dargestellte Ersatzlaufwelle erzeugt. Durch die Ausbildung dieser Welle bewegen sich die auf der Oberfläche des Brückenstegs **6** in der Ebene XoZo liegenden Punkte P auf kreisförmigen Bewegungsbahnen längs zur Symmetrieachse S(Xo). Bei einer Verschiebung nach rechts oder links, bezogen auf die Achse S, gehen die Bewegungsbahnen der Punkte auf der Oberfläche des Brückenstegs **6** in eine Ellipse über und anschließend in eine Linie (in der Zeichnung nicht dargestellt).

**[0125]** Für eine optimierte Funktion des erfindungsgemäßen Ultraschallaktors bzw. eines damit ausgestatteten Ultraschallmotors ist es vorteilhaft, dass die Breite F der Friktionsbahn **8** oder die Breite der Friktionsführungsschiene **41** kleiner oder gleich der halben Breite C des Brückenstegs **6** ist, d. h.  $F \leq 1/2C$ .

**[0126]** In diesem Fall übertragen die Punkte des Brückenstegs **6** (Friktionsbahn **8** oder Friktionsführungsschiene **41**) aufgrund des entsprechenden Friktionskontakts die Zugkraft optimal auf die Friktionsschicht **9** des Stellelements **7**. Bedingt durch die anliegende Zugkraft bewegt sich das Stellelement **7** in die eine oder andere Richtung.

**[0127]** Die Bewegungsrichtung wird durch die Bewegungsrichtung der Laufwelle bestimmt, d. h. durch die Phasenverschiebung zwischen den beiden akustischen Stehwellen.

**[0128]** Die Fig. 58 bis Fig. 61 zeigen die durch Simulation berechneten maximalen Deformationen des Ultraschallaktors **1** mit einem Haupt- und einem Zusatzwellenleiter-Resonator **2** und **4**.

**[0129]** Die Fig. 62 zeigt einen erfindungsgemäßen Ultraschallaktor **1**, der Fixierelemente **81** aufweist, die jeweils im Minimum der Schwingungsgeschwindigkeiten der Wellenleiter-Resonatoren **2** und **4** auf den Linien Oa und Ob angeordnet ist.

**[0130]** Fig. 63 zeigt einen erfindungsgemäßen Ultraschallaktor **1**, der Fixierelemente **81** aufweist, welche an den Stirnflächen **83** der Wellenleiter-Resonatoren **2** und **4** angeordnet sind.

**[0131]** Im erfindungsgemäßen Ultraschallmotor kann die Friktionsbahn **8** des Ultraschallaktors **1** oder Friktionsführungsschiene **41** die in den Fig. 62 und Fig. 63 dargestellten Querschlitz **84** aufweisen.

**[0132]** Die Fig. 64 und Fig. 65 zeigen zwei Befestigungsvarianten für den Ultraschallaktor **1**.

**[0133]** Im ersten Fall gemäß Fig. 64 bildet der Halter **87** des Ultraschallaktors **1** einen ihn umfassenden Rahmen oder das Motorgehäuse (Gehäuse nicht dargestellt), in dem er mittels der in den Punkten minimaler Schwingungsgeschwindigkeit der Wellenleiter-Resonatoren **2**, **4** angeordneten Fixierelemente **81** gehalten wird. Dabei sind der Halter **87** und die Fixierelemente **81** einstückig miteinander ausgebildet.

**[0134]** Im zweiten Fall gemäß Fig. 65 wird der Ultraschallaktor **1** mit den an den Stirnflächen **83** angeordneten Fixierelementen **81** der Wellenleiter-Resonatoren **2**, **4** im Halter **87** gehalten. Auch hier sind der Halter **87** und die Fixierelemente **81** einstückig miteinander ausgebildet.

**[0135]** Bei dem erfindungsgemäßen Ultraschallmotor hat – im Vergleich zu bekannten Ultraschallmotoren, die mit akustischen Laufwellen arbeiten – der Ultraschallaktor kleinere Abmessungen, wodurch auch der Motor selbst kleinere Abmessungen hat.

**[0136]** Zusätzlich hat der erfindungsgemäße Ultraschallaktor bedeutend kleinere inhomogene elliptische Bewegungsbahnen der Friktionsoberfläche, weshalb das Stellelement eine höhere maximale Bewegungsgeschwindigkeit hat. Der erfindungsgemäße Ultraschallaktor entwickelt zudem eine größere maximale Zugkraft. All das führt zu einer Erhöhung der mechanischen Leistung des Ultraschallmotors, d. h. der Wirkungsgrad des Ultraschallmotors erhöht sich, wodurch sich ein deutlich erweitertes Einsatzgebiet ergibt.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 4978882 [0002]
- US 5155407 [0002]

## Patentansprüche

1. Ultraschallaktor (1) für einen linearen Ultraschallmotor zum Antrieb eines Stellelements (7), das in dem Ultraschallmotor zur Realisierung einer linearen Bewegung desselben mit einer vorbestimmten Kraft (F) auf zumindest eine Friktionsbahn (8) gedrückt wird, wobei der Ultraschallaktor (1) aufweist:

- zumindest einen Hauptwellenleiter-Resonator (2), mit dem jeweils zur Ausbildung einer akustischen Stehwelle ein Hauptgenerator (3) flächig verbunden ist,
- zumindest einen Zusatzwellenleiter-Resonator (4), mit dem jeweils zur Ausbildung einer akustischen Stehwelle ein Zusatzgenerator verbunden ist,
- zumindest einen Brückensteg (6), wobei jeder des zumindest einen Brückenstegs (6) jeweils einen des zumindest einen Hauptwellenleiter-Resonators (2) und jeweils einen des zumindest einen Zusatzwellenleiter-Resonators (4) wenigstens abschnittsweise miteinander verbindet und wobei an dem Brückensteg (6) wenigstens eine Friktionsbahn (8) oder Friktionsschiene (41) angeordnet ist, wobei der zumindest eine Hauptwellenleiter-Resonator (2) und der zumindest eine Zusatzwellenleiter-Resonator (4) jeweils als offene lineare Wellenleiter ausgeführt sind und der zumindest eine Brückensteg (6) als Summenbildner der in den Haupt- und Zusatzwellenleiter-Resonatoren (2, 4) sich ausbreitenden akustischen Stehwellen wirkt, so dass der zumindest eine Brückensteg (6) als Erzeuger für eine Ersatzlaufwelle wirkt, die zum Antrieb des Stellelements (7) nutzbar ist.

2. Ultraschallaktor (1) nach dem Anspruch 1, wobei die Länge des Hauptwellen-Resonators (2) gleich dem ganzzahligen Vielfachen der halben Wellenlänge der in ihm erzeugten akustischen Stehwelle beträgt, und die Länge des Zusatzwellen-Resonators (4) gleich der Länge des Hauptwellenleiter-Resonators (2) ist, wobei der Zusatzwellenleiter-Resonator (4) bezogen auf den Hauptwellenleiter-Resonator (2) räumlich um ein Viertel der Wellenlänge der erzeugten akustischen Stehwelle verschoben ist und die Länge des Brückenstegs (6) um ein und ein Viertel der Wellenlänge der erzeugten akustischen Stehwelle kleiner als die Länge des Hauptwellenleiter-Resonators (2) ist.

3. Ultraschallaktor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Ultraschallaktor zwei oder mehrere Hauptwellenleiter-Resonatoren (2) und eine entsprechende Zahl von Zusatzwellenleiter-Resonatoren (4) mit Brückenstegen (6), die das Stellelement (7) in Bewegung versetzen, enthält.

4. Ultraschallaktor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei in den Haupt- und in den Zusatzwellenleitern-Resonatoren (2, 4) akustische Biege-Stehwellen oder akustische Longitudinalstehwel-

len oder akustische Steh-Scherwellen oder andere akustische Stehwellen gleicher Frequenz erzeugt werden, die sich längs der Länge der Resonatoren ausbreiten.

5. Ultraschallaktor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Breite jedes Brückensteges (6) kleiner oder gleich der halben Wellenlänge der erzeugten akustischen Stehwelle ist.

6. Ultraschallaktor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Dicke jedes Brückensteges (6) kleiner oder gleich einem Viertel der Wellenlänge der erzeugten Stehwelle ist.

7. Ultraschallaktor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Haupt- und der Zusatzwellenleiter-Resonator der akustischen Stehwellen als passive Wellenleiter-Resonatoren aus Metall, Metallkeramik, Oxidkeramik, Sital oder Glas ausgeführt sind und die Generatoren für die akustischen Wellen der mit diesen Resonatoren verbundenen Piezoelemente darstellen.

8. Ultraschallaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Haupt- und der Zusatzresonator der akustischen Stehwellen als aktive Wellenleiter-Resonatoren aus Piezokeramik ausgeführt sind und die Generatoren der akustischen Wellen als auf die Oberfläche der piezoelektrischen Resonatoren aufgetragenen Elektroden ausgeführt sind oder das diese im inneren dieser Resonatoren angeordnet sind.

9. Ultraschallaktor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Brückensteg aus dem gleichen Material wie der Haupt- und der Zusatzwellenleiter-Resonator besteht.

10. Ultraschallaktor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Friktionsführungsschiene (41) eine rechteckige Form oder eine dreieckige Form oder eine trapezförmige Form oder eine runde Form aufweist.

11. Ultraschallaktor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Friktionsbahn (8) oder die Friktionsschiene (41) Querschlitze (84) aufweist.

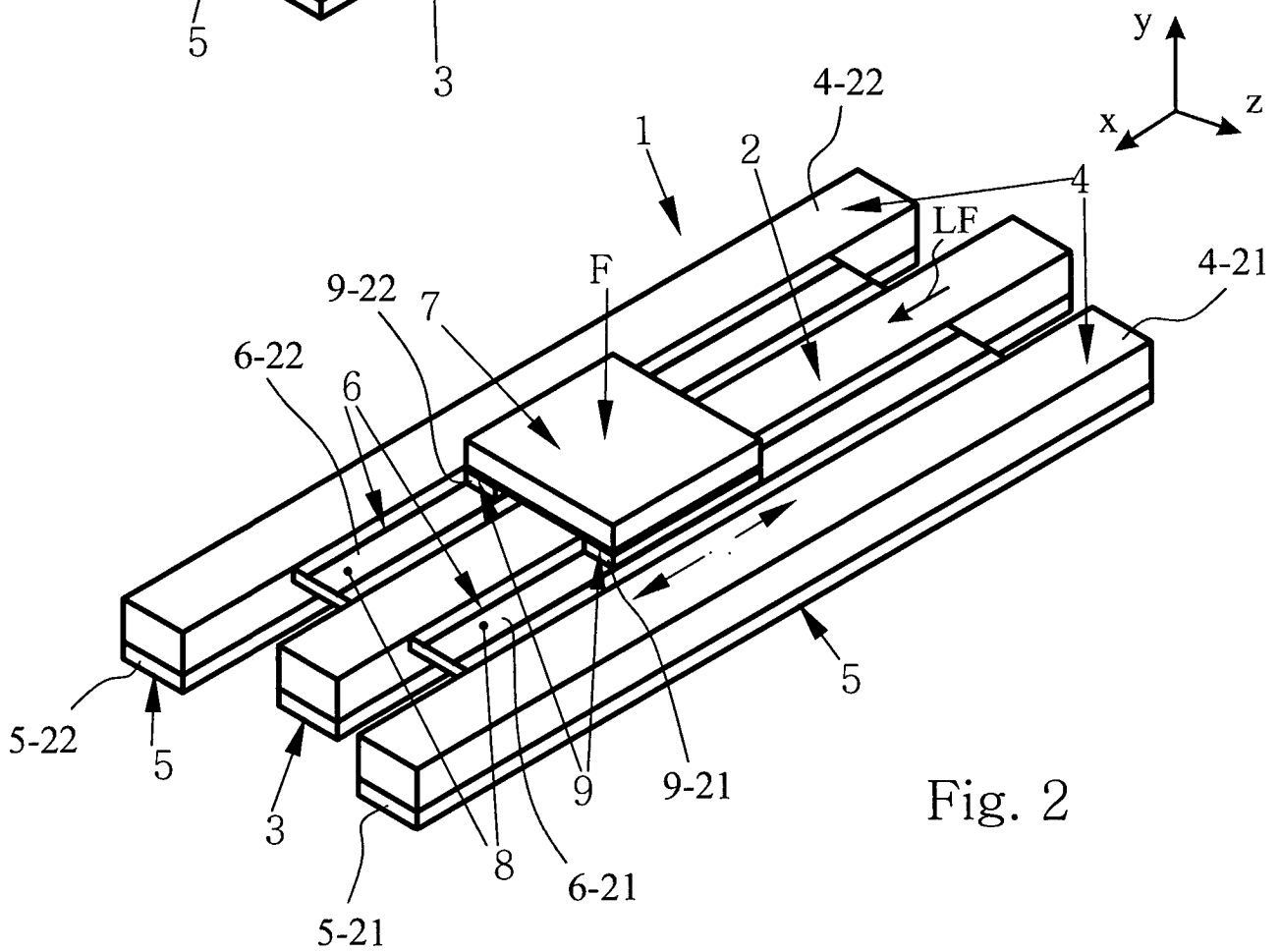
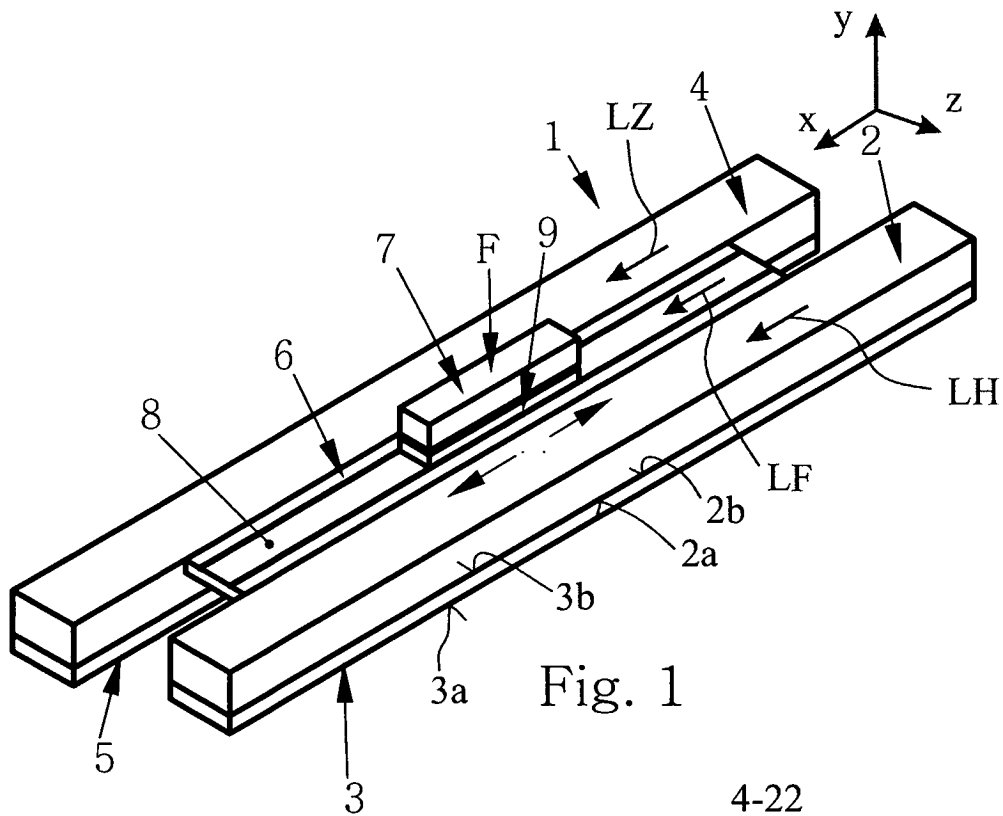
12. Ultraschallaktor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Stellelement (7) eine oder mehrere Friktionsschichten (9) aufweist, die mit der Friktionsbahn (8) oder mit der Friktionsführungsschiene (41) in Wirkverbindung steht bzw. stehen.

13. Linearer Ultraschallmotor, aufweisend einen Ultraschallaktor (1) nach einem der vorstehenden Ansprüche und ein Stellelement (7), das durch den Ultraschallaktor (1) in eine Linearbewegung versetzt werden kann, und eine Führungsvorrichtung zum

Führen des Stellelements (7) in dem Ultraschallmotor.

Es folgen 16 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



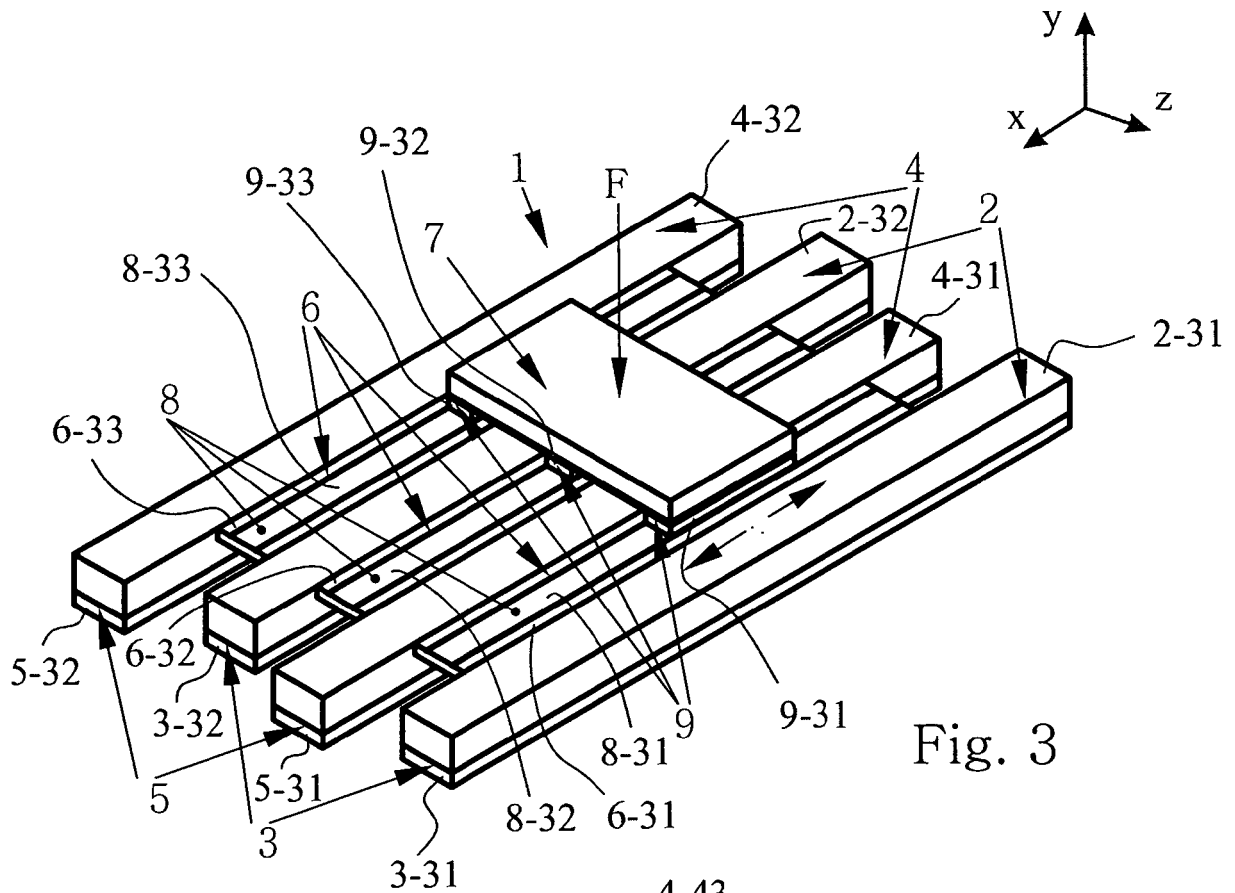


Fig. 3

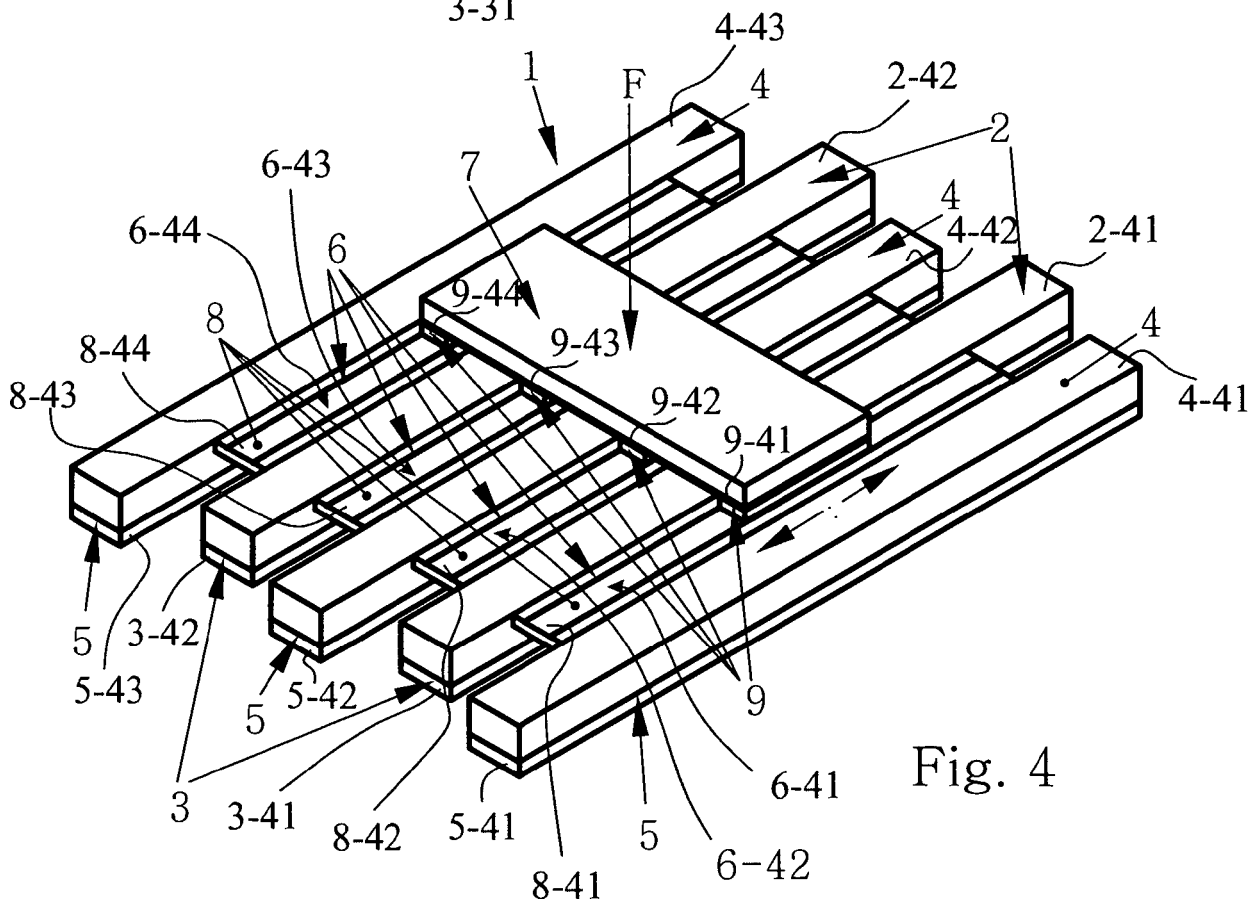


Fig. 4

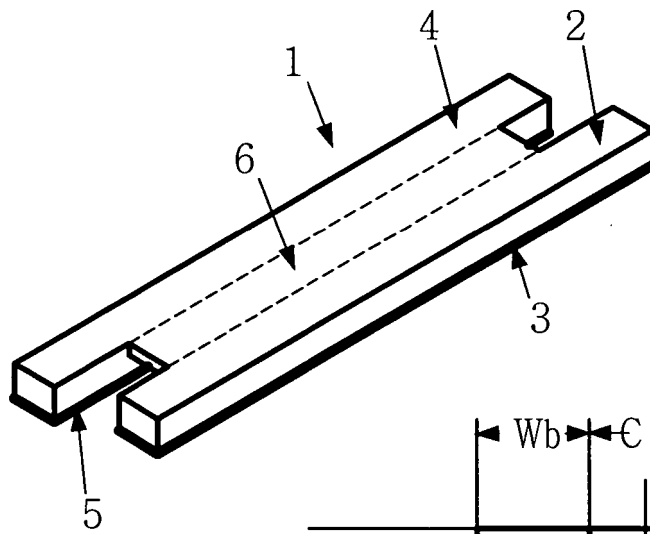


Fig. 5

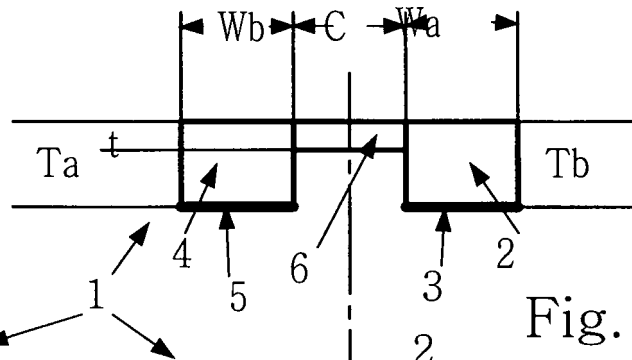


Fig. 7

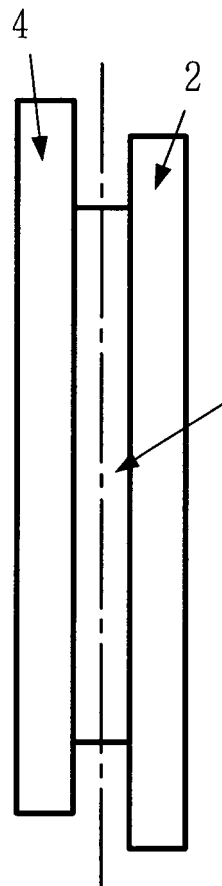


Fig. 8

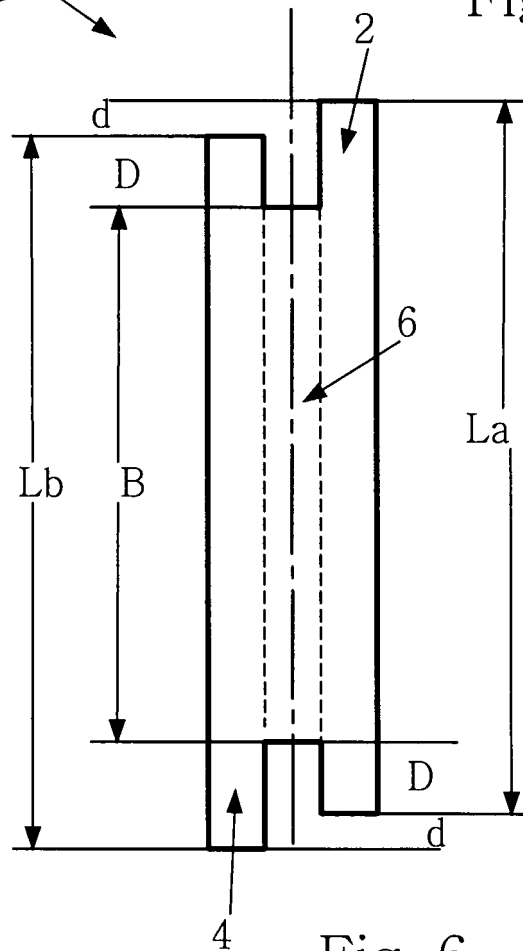
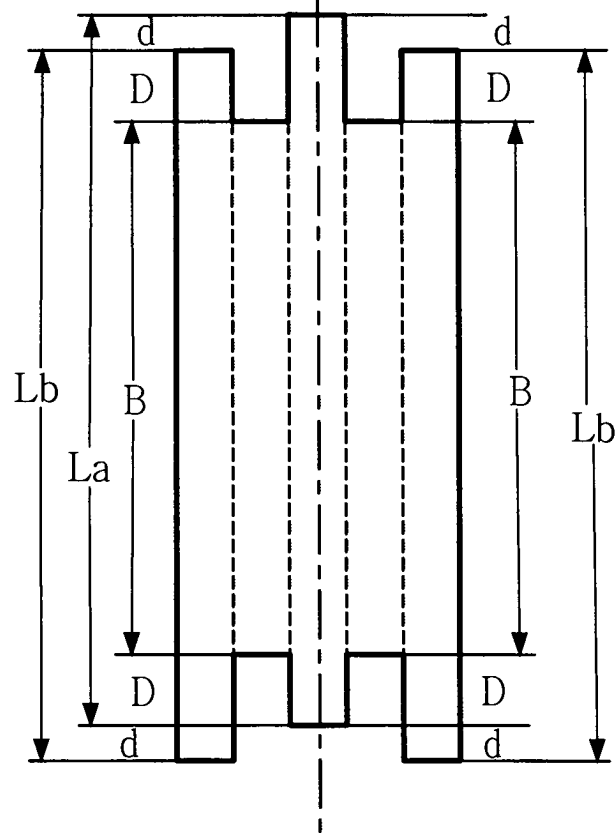
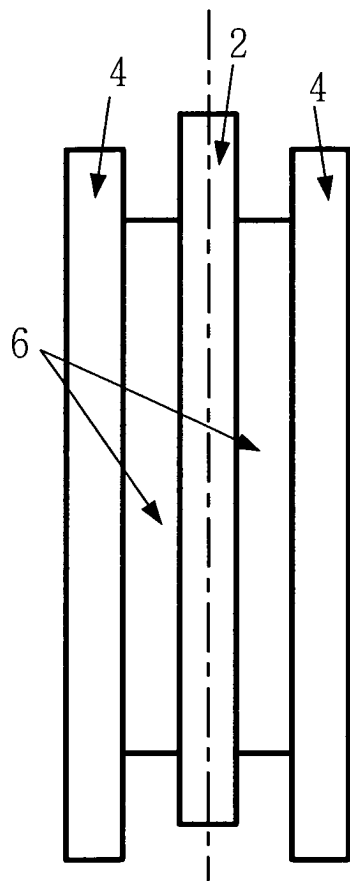
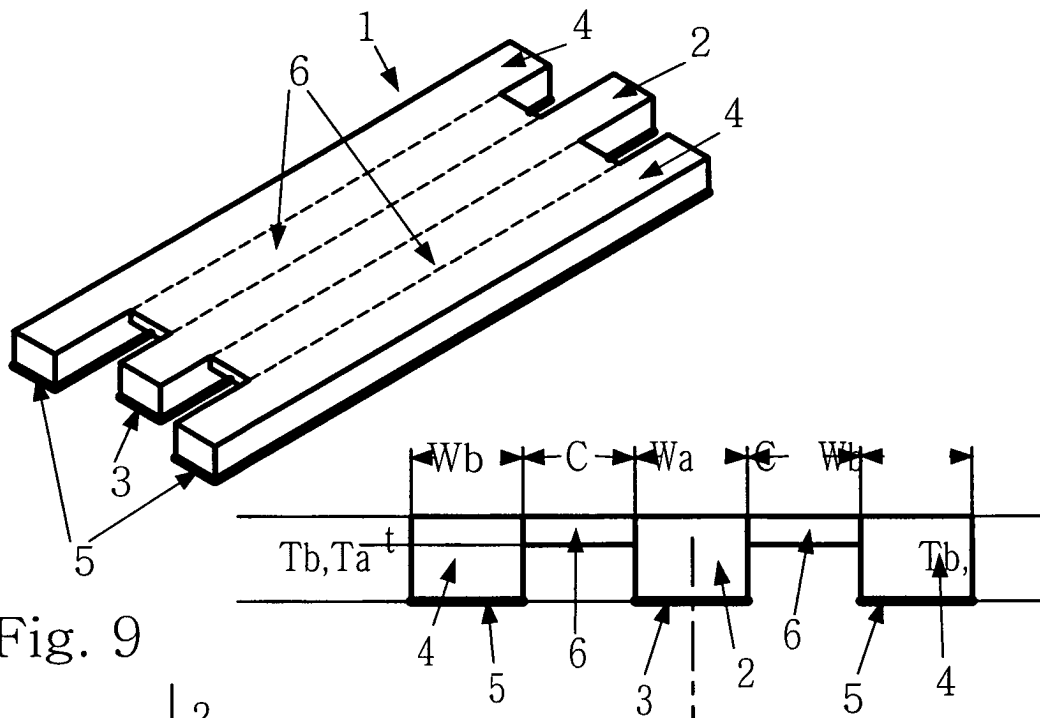
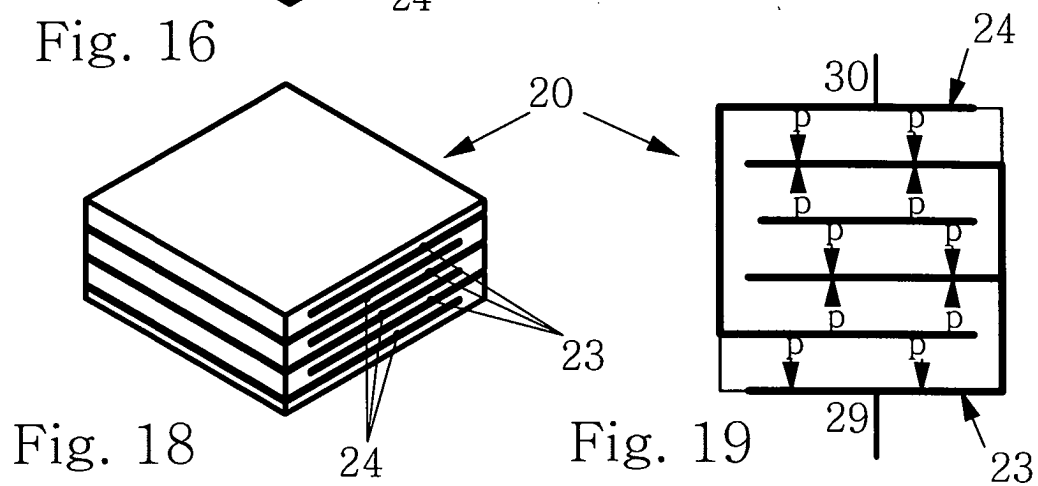
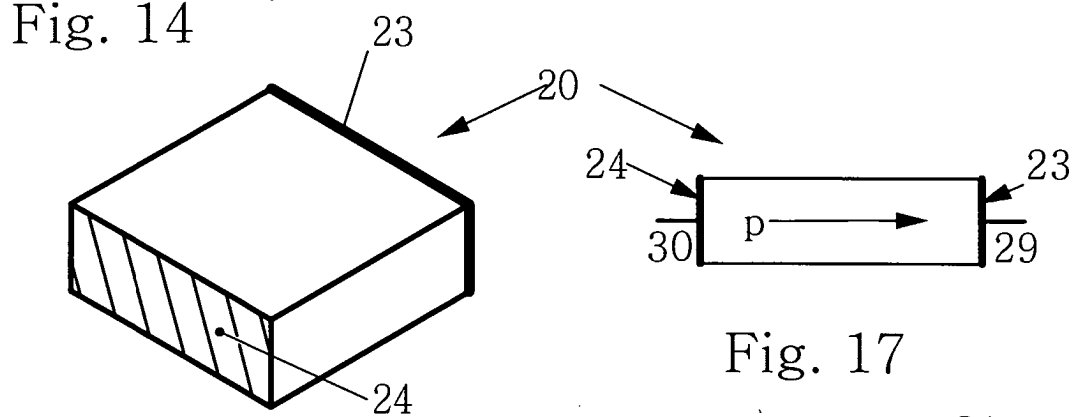
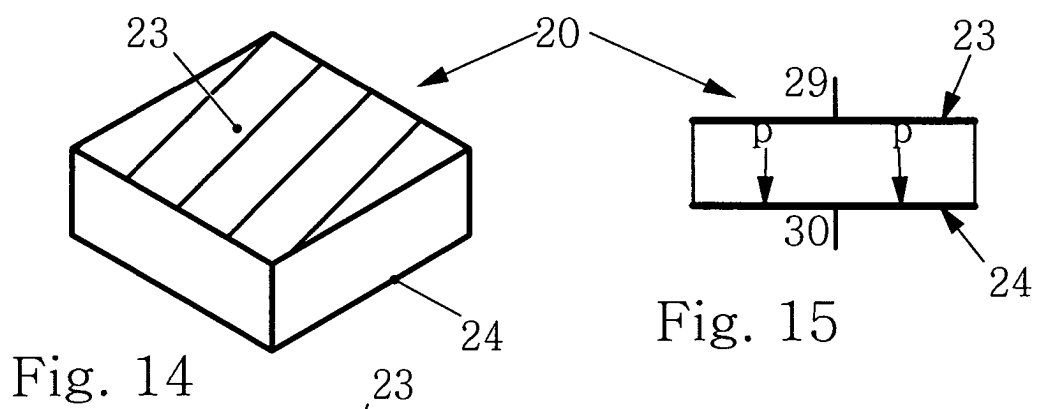
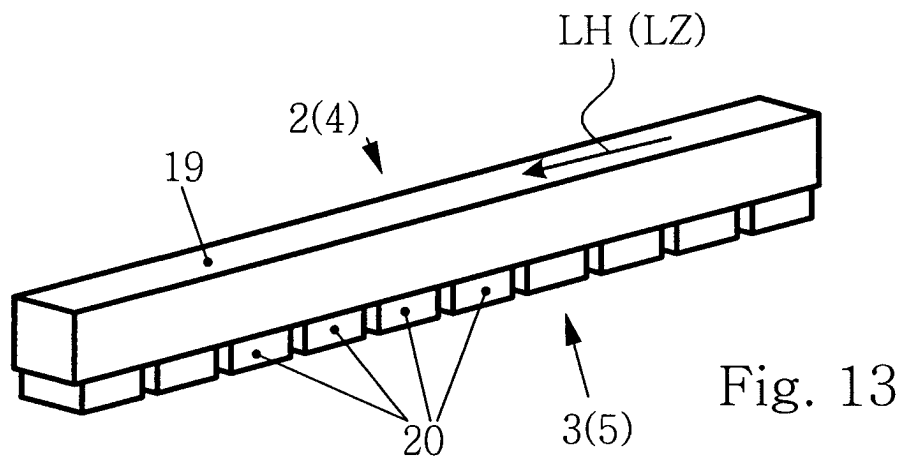


Fig. 6





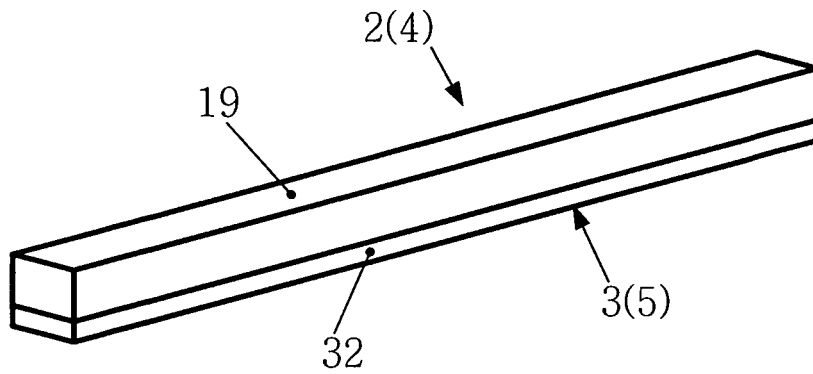


Fig. 20

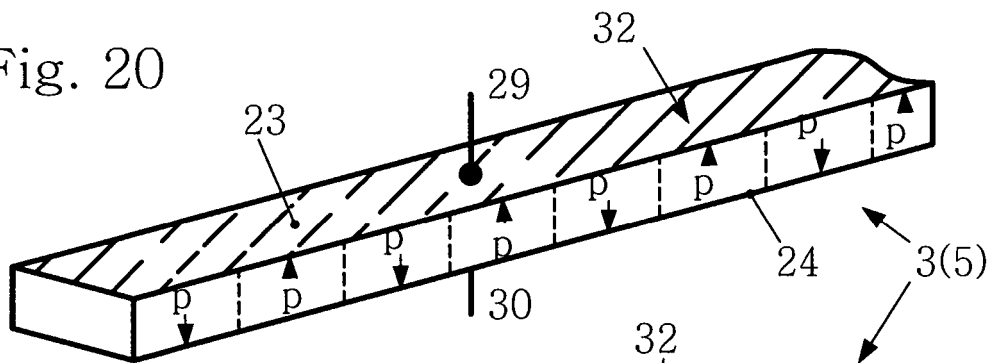


Fig. 21

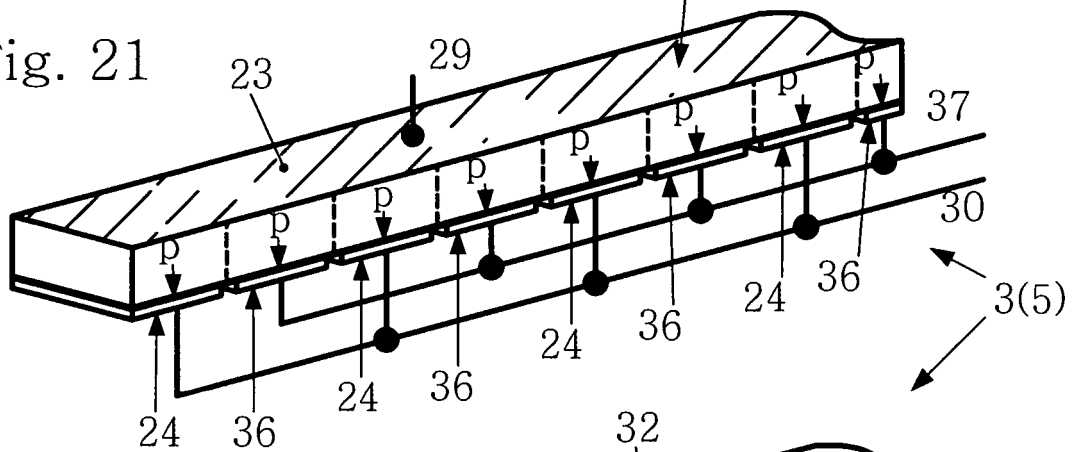


Fig. 22

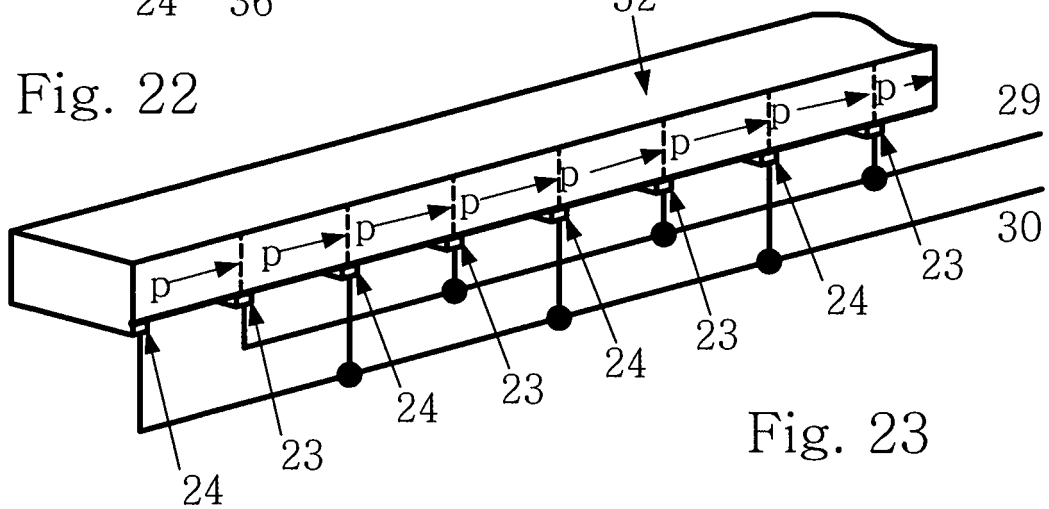


Fig. 23

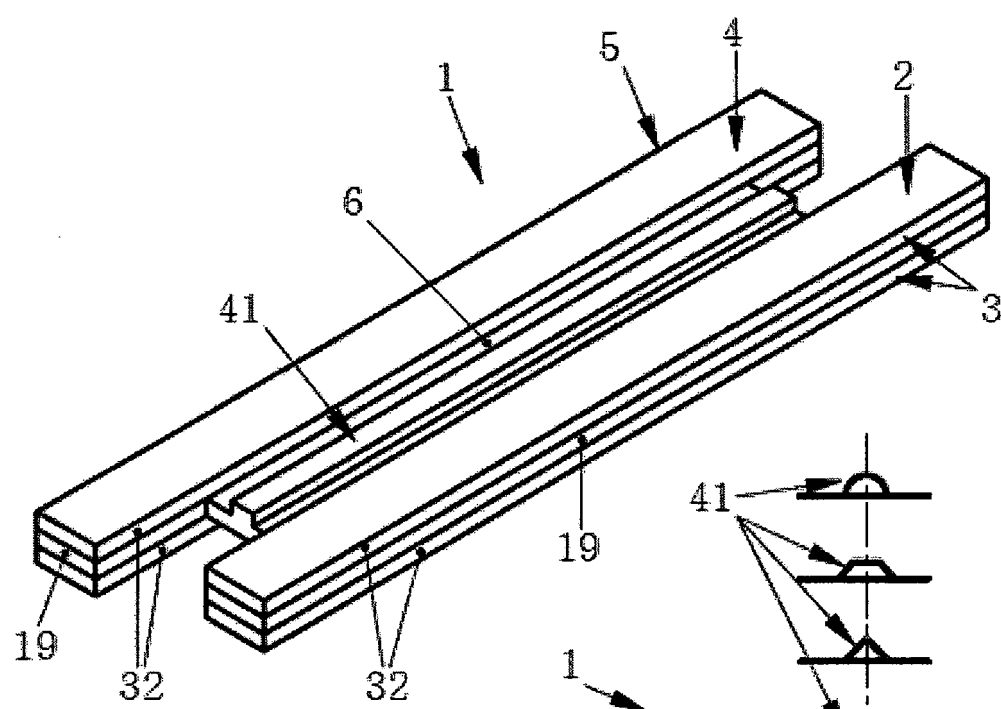


Fig. 24

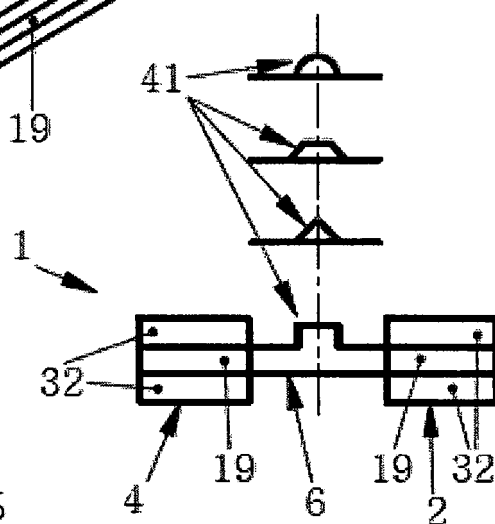


Fig. 25

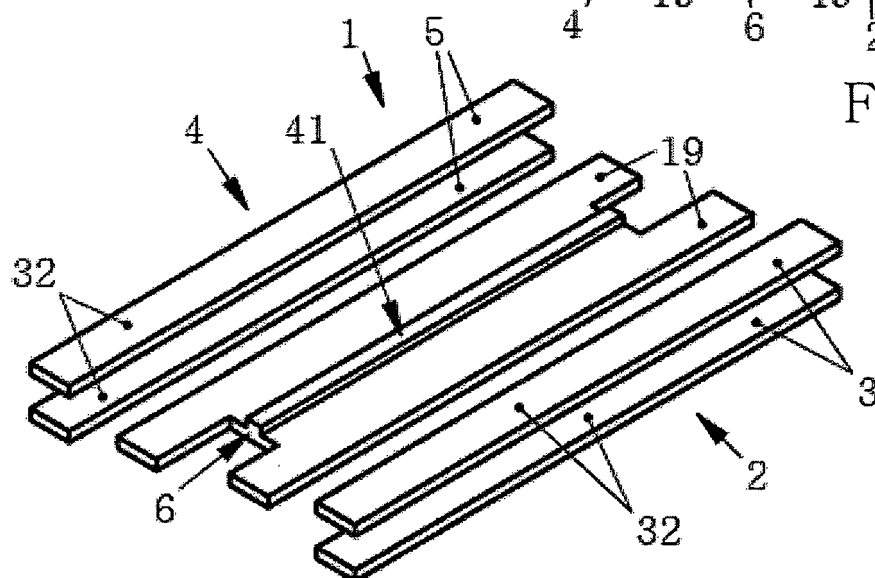
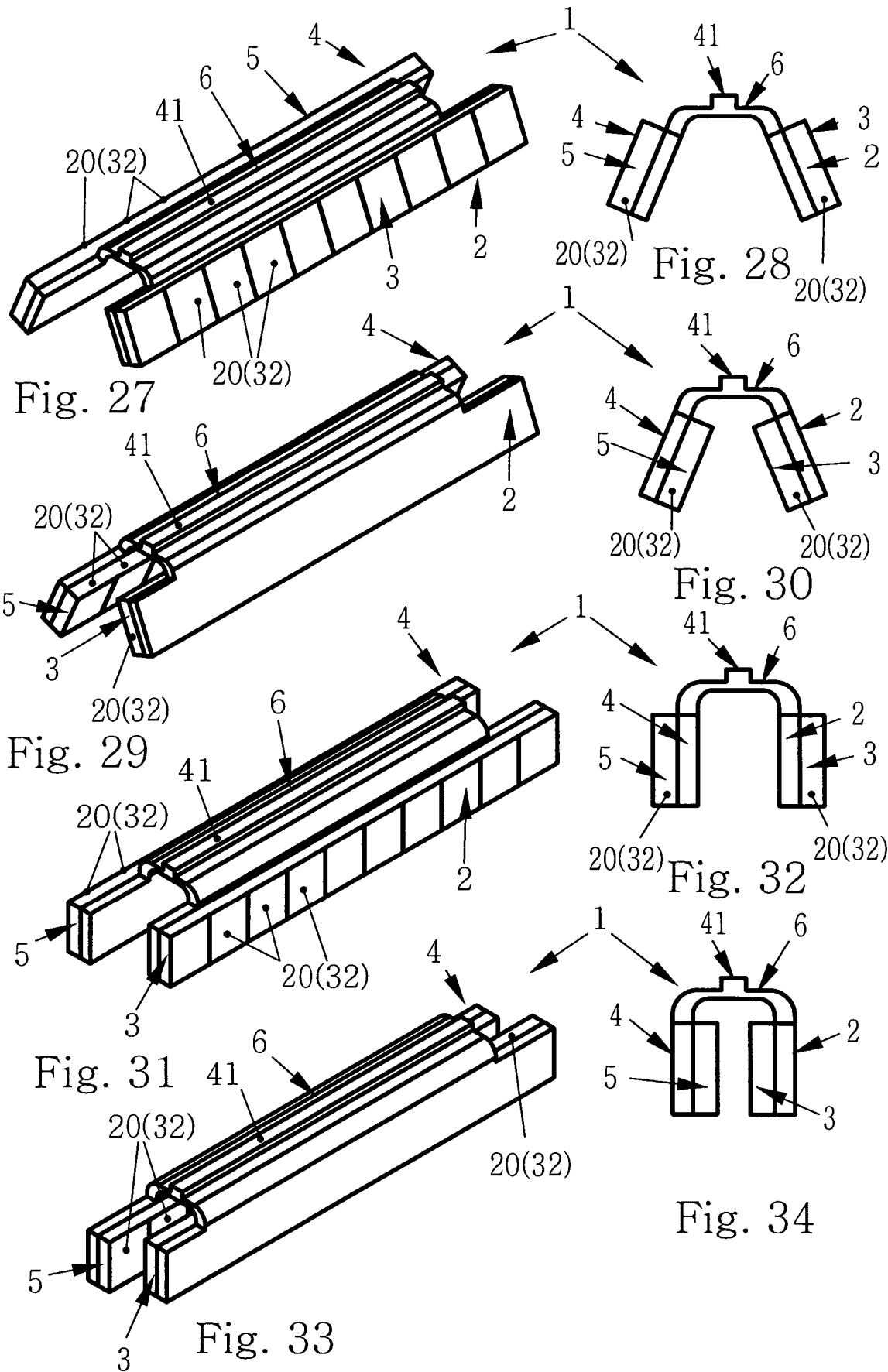
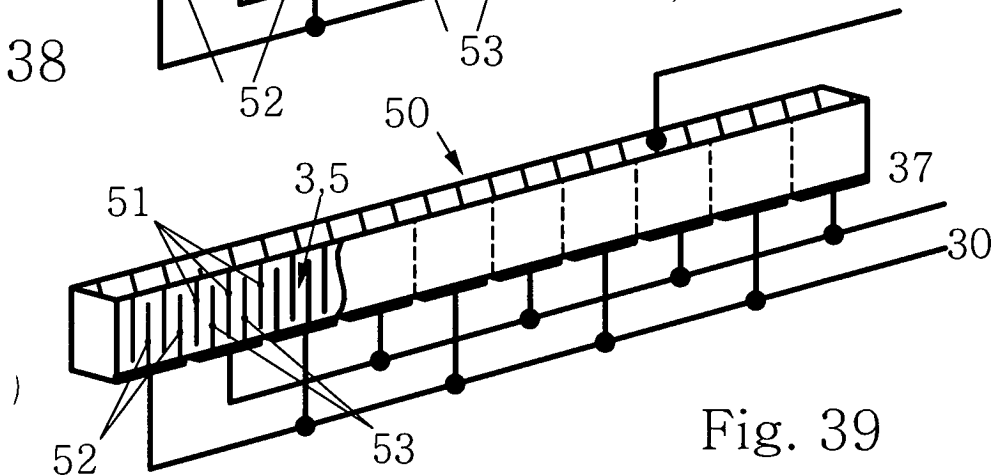
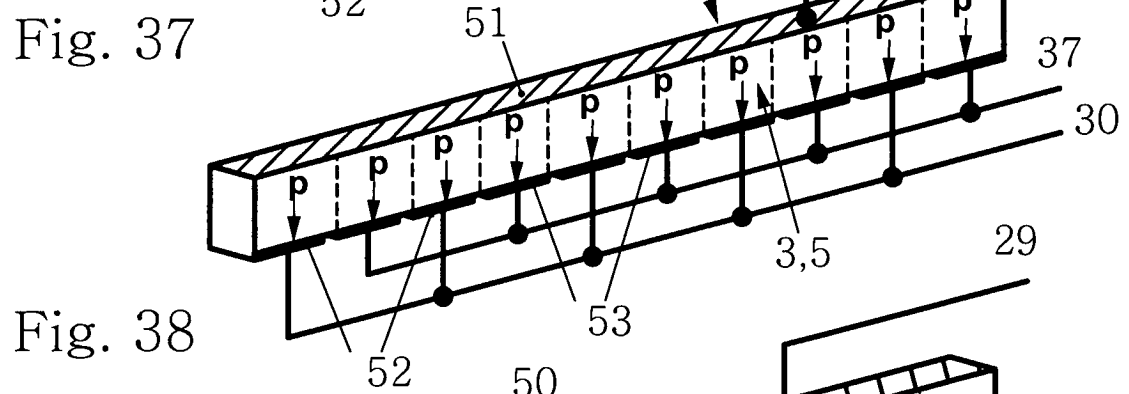
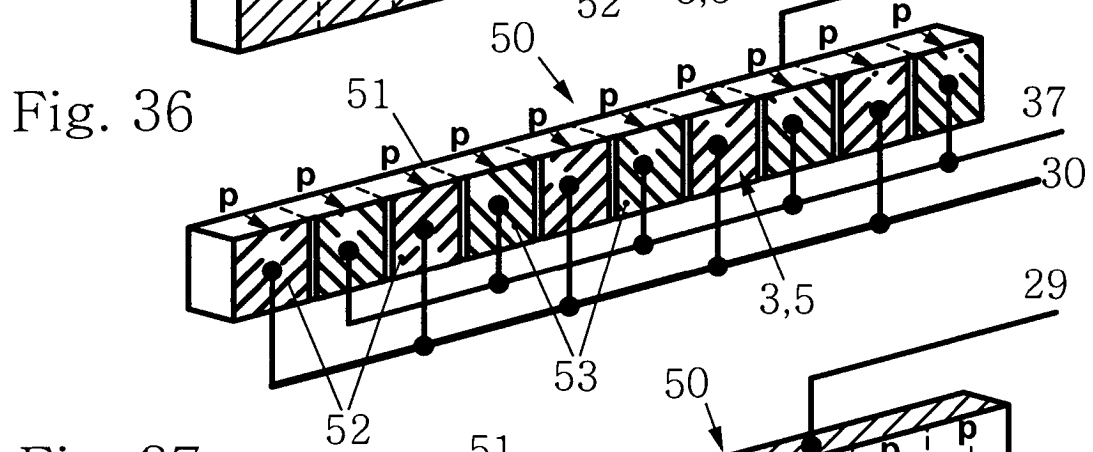
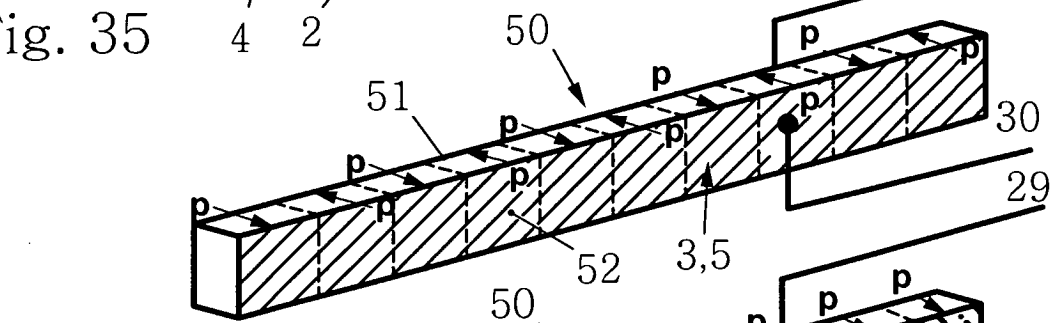
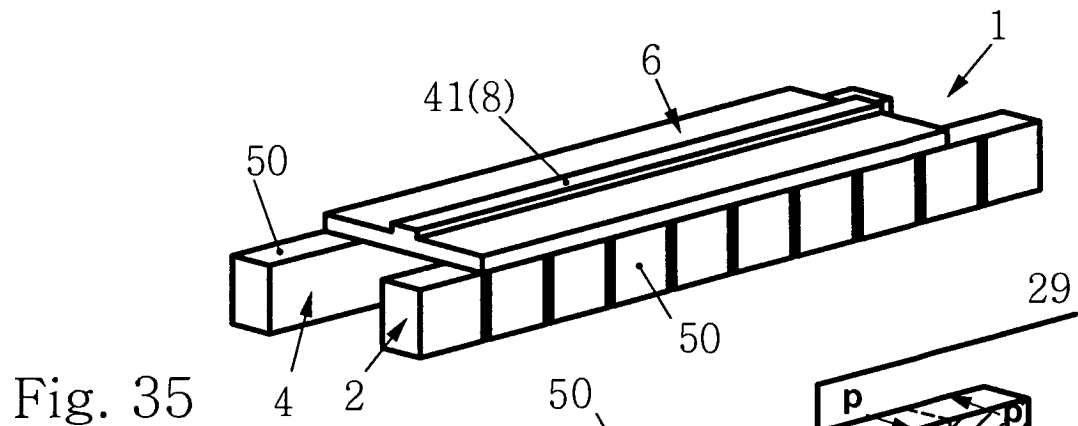


Fig. 26





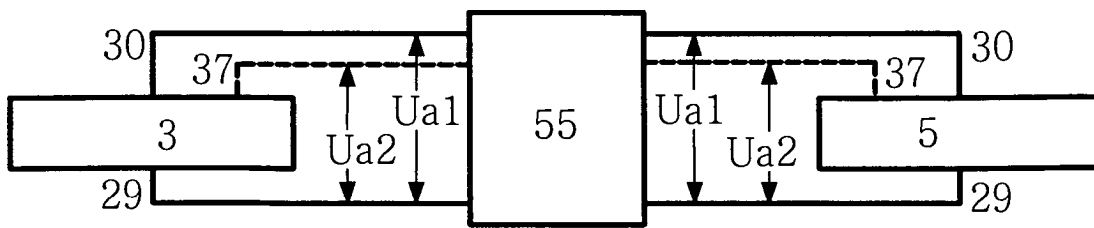


Fig. 40

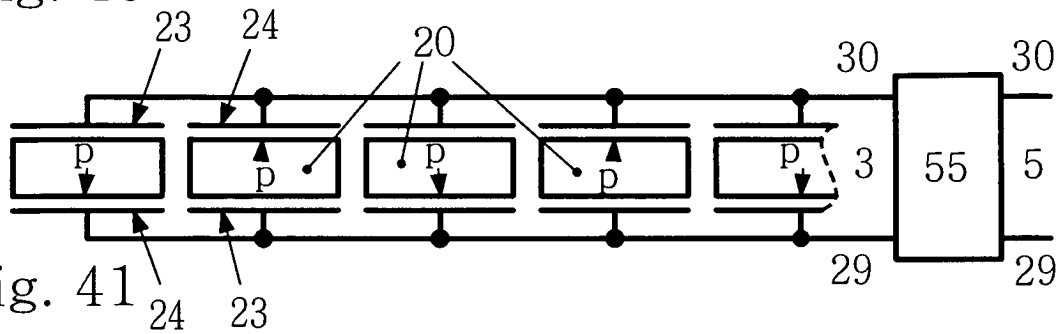


Fig. 41

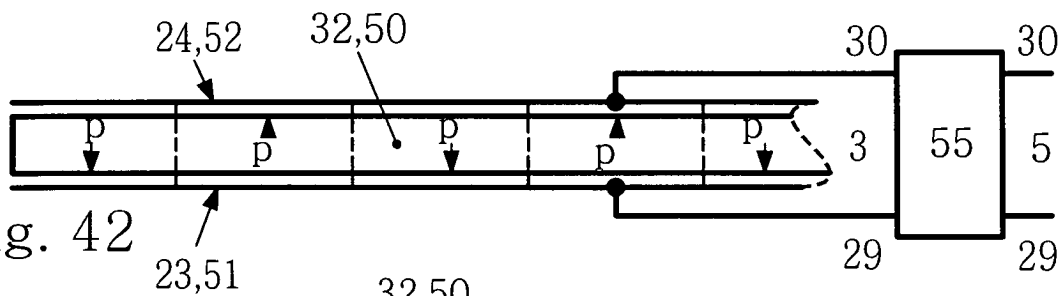


Fig. 42

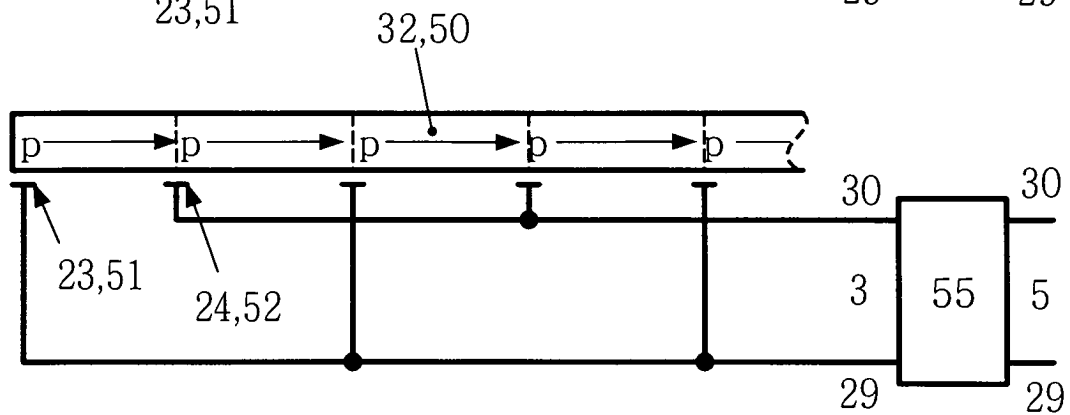


Fig. 43

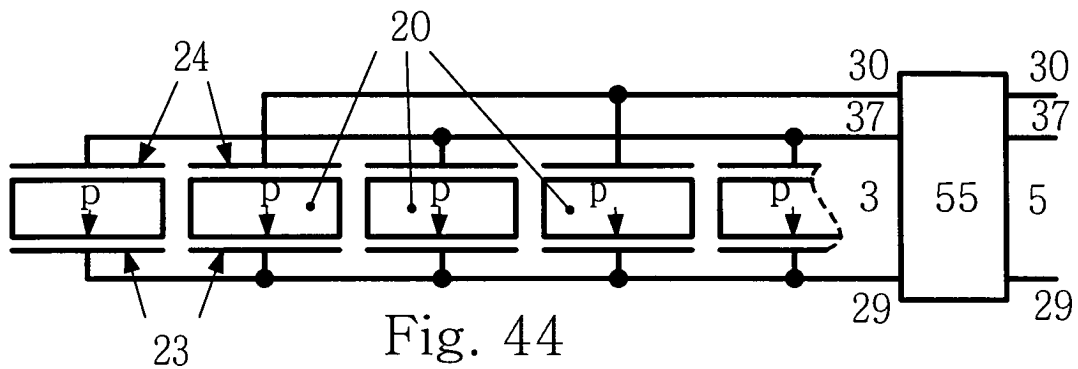


Fig. 44

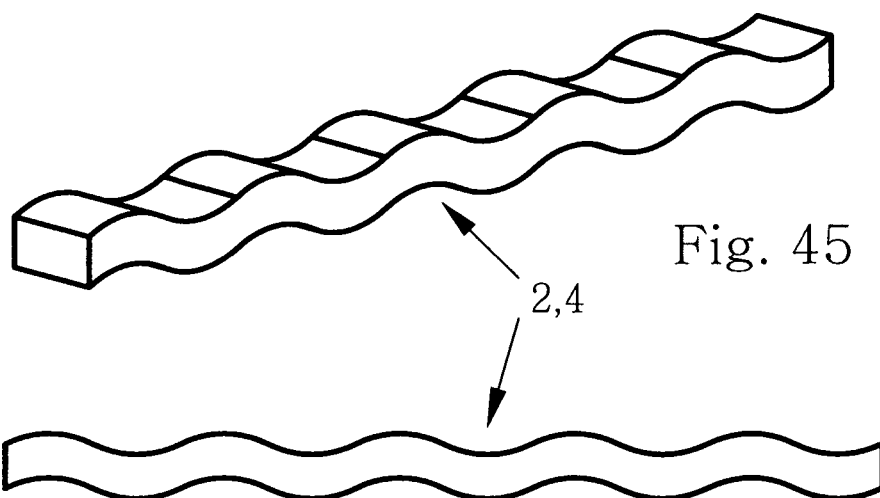


Fig. 46

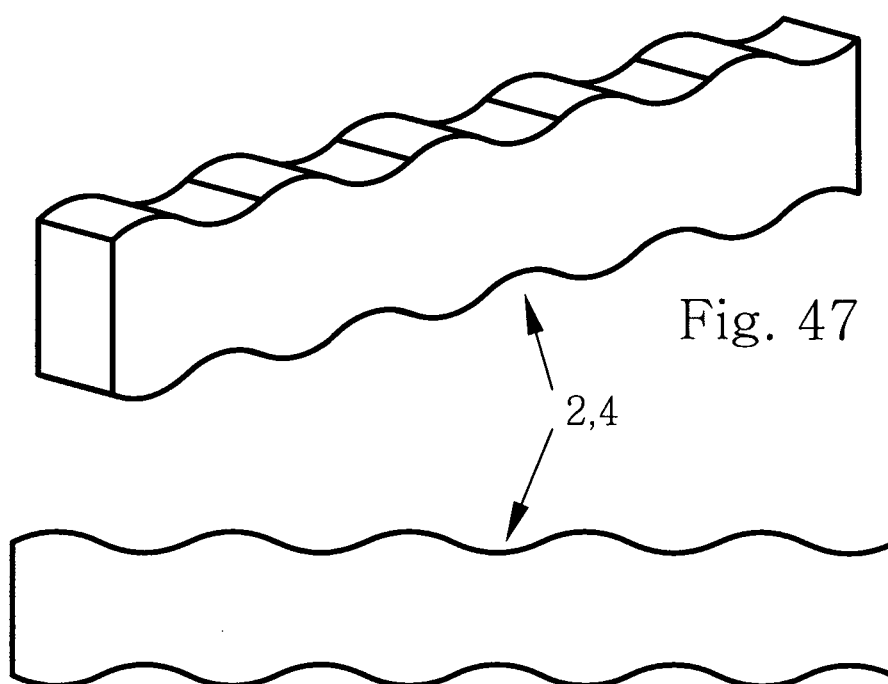


Fig. 48

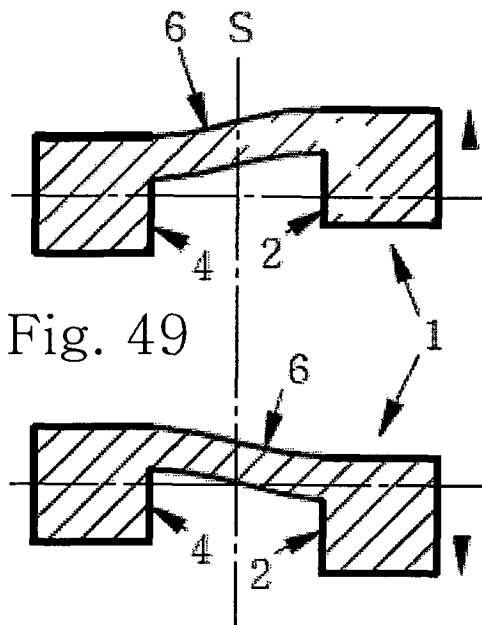


Fig. 49

Fig. 50

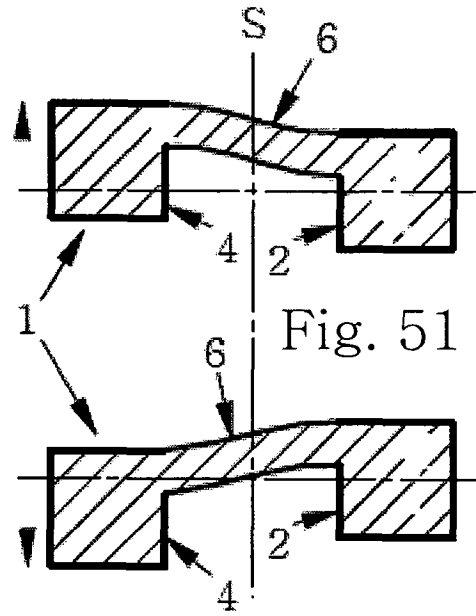


Fig. 51

Fig. 52

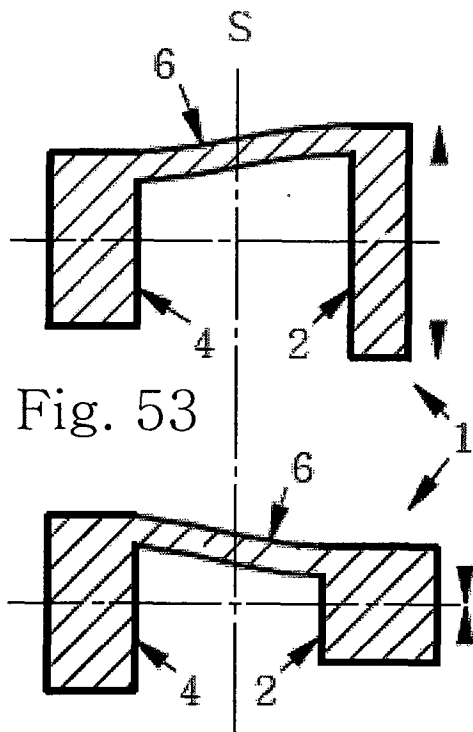


Fig. 53

Fig. 54

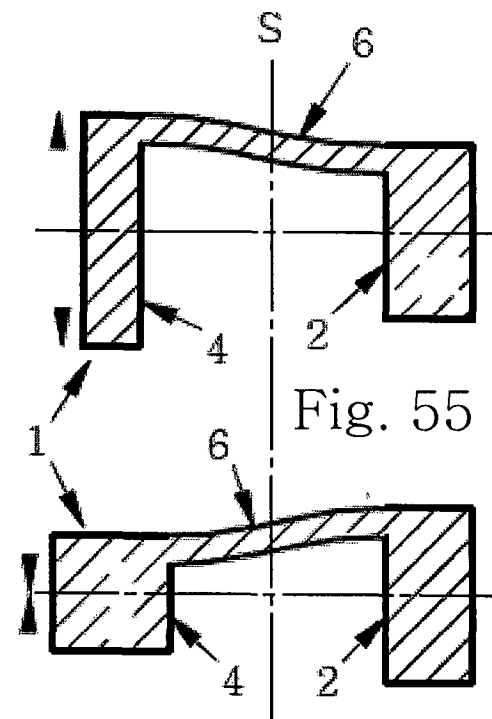
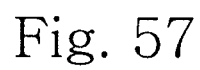


Fig. 55

Fig. 56



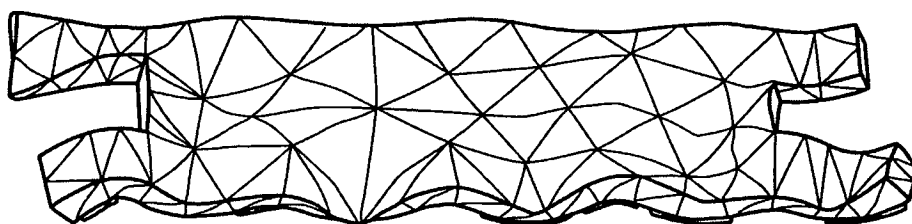


Fig. 58

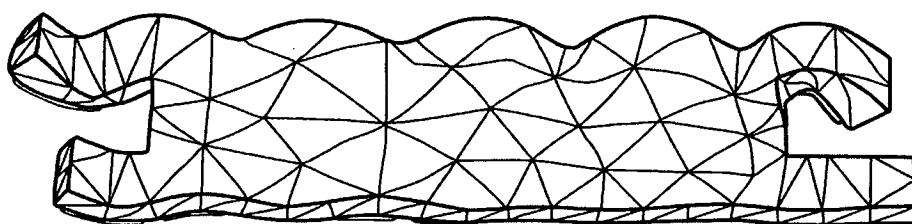


Fig. 59

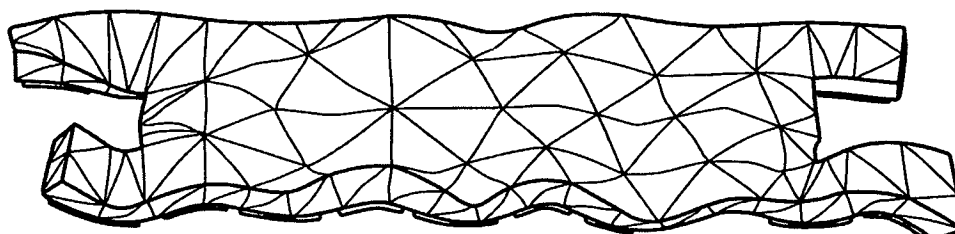


Fig. 60

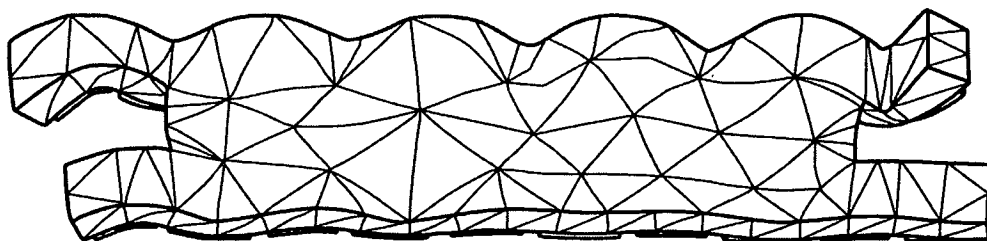


Fig. 61

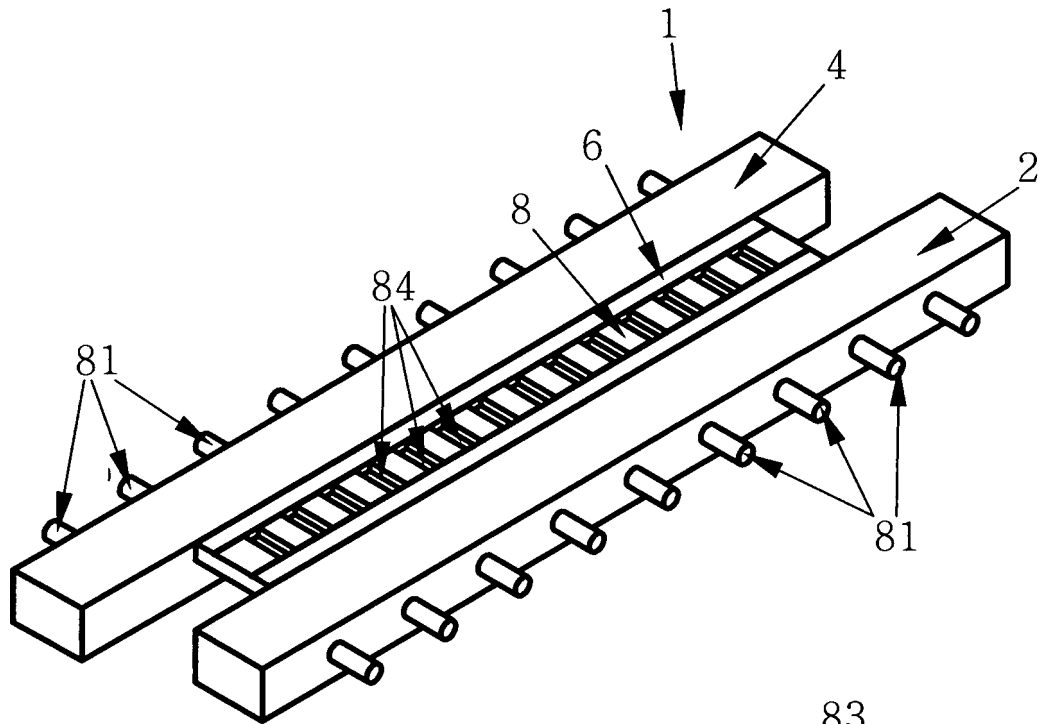


Fig. 62

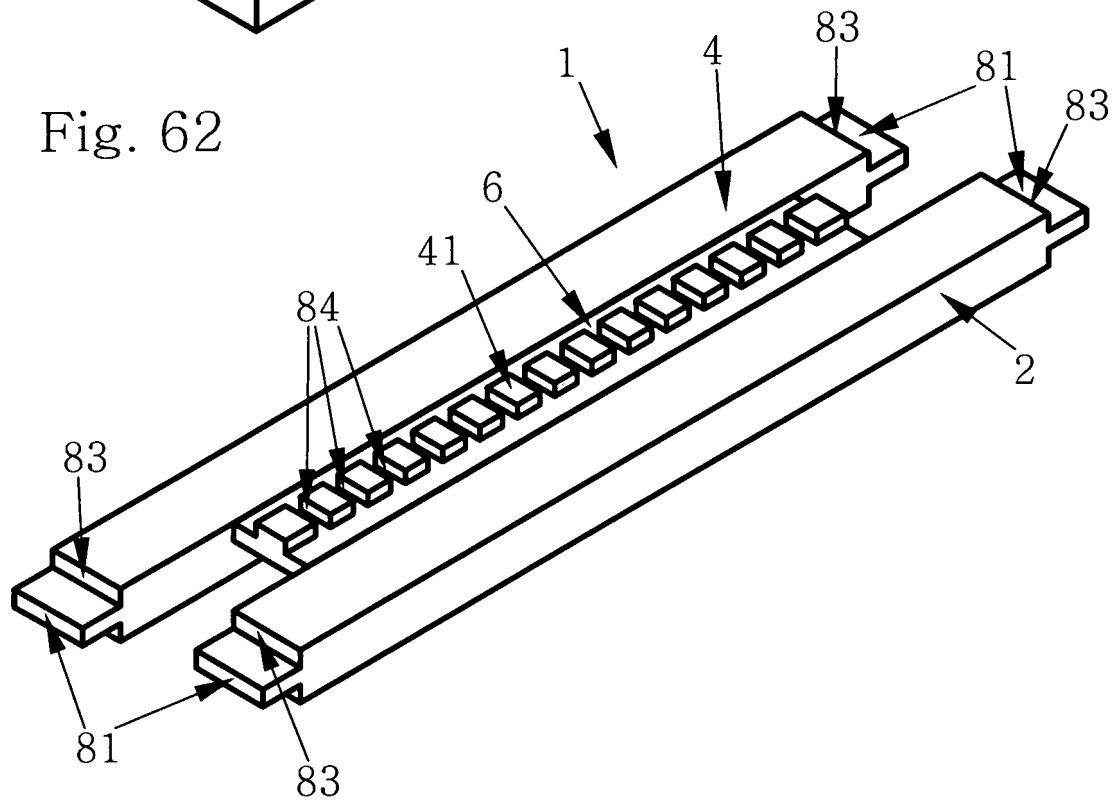


Fig. 63

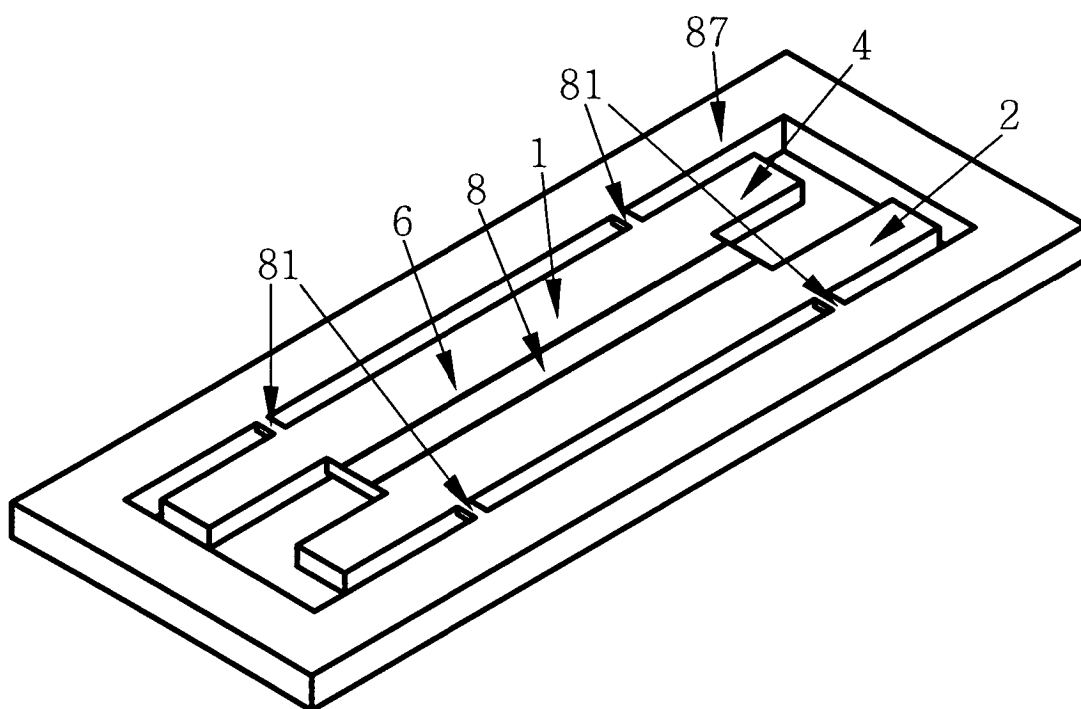


Fig. 64

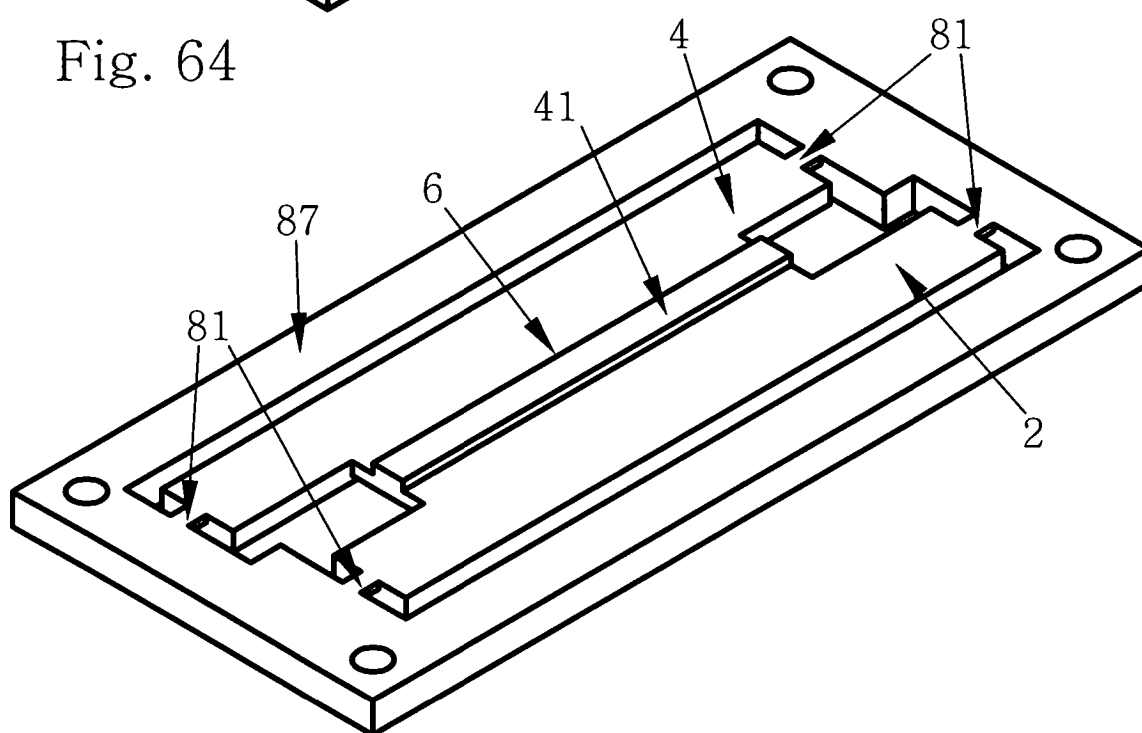


Fig. 65