

(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
1. Dezember 2005 (01.12.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/114760 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01L 41/09

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/005287

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. Mai 2005 (13.05.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 024 656.4 18. Mai 2004 (18.05.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **PHYSIK INSTRUMENTE (PI) GMBH & CO. KG** [DE/DE]; Auf der Römerstrasse 1, 76228 Karlsruhe (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **WISCHNEWSKIJ, Wladimir** [DE/DE]; Mannheimer Strasse 59, 76337

Waldbronn (DE). **WISCHNEWSKIJ, Alexej** [DE/DE]; Richard-Wagner-Strasse 2, 76744 Woerth (DE).

(74) Anwälte: **KRUSPIG, Volkmar** usw.; Meissner, Bolte & Partner, Postfach 86 06 24, 81633 München (DE).

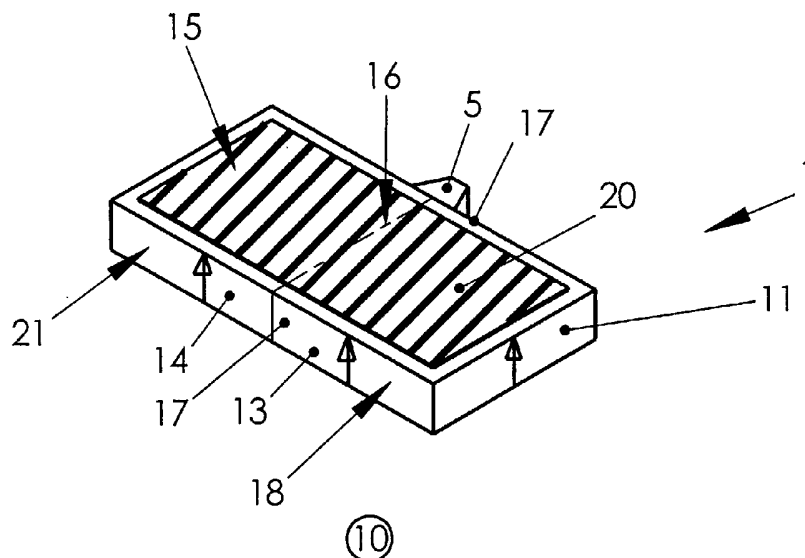
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PIEZOELECTRIC ULTRASOUND MOTOR

(54) Bezeichnung: PIEZOELEKTRISCHER ULTRASCHALLMOTOR



(57) Abstract: The invention relates to a piezoelectric ultrasound motor comprising an oscillator (1) in the form of a piezoelectric plate (11) having a length L and a height H, and one or two friction elements (5) which are arranged on the oscillator and elastically pressed against the friction surface of the part to be displaced. According to the invention, the piezoelectric plate is divided into two identical parts by a cutting plane extending perpendicularly to the large surfaces, at least one of said parts containing an asymmetrical generator (19, 20) which generates an asymmetrical two-dimensional standing wave during the control thereof, in such a way that the friction elements arranged in the centre of the long front side of the plate perform a movement (35) which is inclined in relation to the front side, enabling the kinetic energy to be transferred to the part (3) to be displaced.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/114760 A1



ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischer Ultraschallmotor mit einem Oszillator (1) in Form einer piezoelektrischen Platte (11) der Länge L und der Höhe H sowie mit einem oder zwei am Oszillator angeordneten und elastisch an die Friktionsoberfläche des zu bewegenden Teils angepressten Friktionselementen (5). Erfindungsgemäß ist die piezoelektrische Platte durch eine senkrecht zu den großen Oberflächen verlaufende Schnittebene (12) in zwei gleiche Teile geteilt, wobei mindestens eines von diesen Teilen einen unsymmetrischen Generator (19, 20) einer unsymmetrischen akustischen Stehwelle beinhaltet, der bei seiner Ansteuerung eine unsymmetrische zweidimensionale stehende Welle erzeugt, so dass die in der Mitte der langen Stirnseite der Platte angeordneten Friktionselemente eine zu der Stirnseite geneigte Bewegung (35) ausführen, wodurch auf das zu bewegende Element (3) eine Bewegungsenergie übertragen wird.

Piezoelektrischer Ultraschallmotor

Beschreibung

Die Erfindung betrifft lineare sowie rotatorische piezoelektrische Ultraschallmotoren. Die Erfindung kann als ein elektrischer Motor in üblichen Positionierungssystemen der Gerätetechnik sowie in Systemen der Feinpositionierung eingesetzt werden.

Aus der US-PS 5,672,930 sind piezoelektrische Ultraschallmotoren mit einem metallischen Resonator bekannt, an den piezoelektrische Elemente angeklebt sind. Nachteilig erweist sich bei diesen Motoren die Tatsache, dass aufgrund unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten des metallischen Resonators einerseits und der piezoelektrischen Elemente andererseits es unmöglich ist, mit diesen Motoren große mechanische Leistungen zu erreichen. Außerdem ist der metallische Resonator ein passiver Körper. Um große Bewegungsgeschwindigkeiten des zu bewegenden Elementes zu erreichen, ist es erforderlich die piezoelektrischen Elemente mit relativ hohen elektrischen Spannungen anzuregen. Diese Nachteile verringern die Zuverlässigkeit des Motorbetriebs und begrenzen somit Einsatzgebiete für solche Motoren.

Außer den erwähnten piezoelektrischen Motoren sind vor allem piezoelektrische Ultraschallmotoren mit einem akustischen Resonator in Form einer monolithischen piezokeramischen Platte bekannt, an derer kleinen Stirnseite ein Stoßelement angeordnet ist. Verwiesen wird hier z.B. auf US-PS 5,453,653 oder US-PS 5,616,980. An großen Oberflächen der piezokeramischen Platte sind Generatoren akustischer Stehwellen angeordnet, die gleichzeitig eine stehende Biege- und eine Longitudinalwelle anregen. Als Ergebnis der Superposition der beiden Wellen erfährt das Stoßelement eine elliptische Bewegung, womit dem zu bewegenden Elementen die Bewegungsenergie verliehen wird.

Nachteilig erweist sich bei den Motoren dieser Art die Tatsache, dass als die energieübertragende Welle die Biegewelle eingesetzt wird, die mit den Generatoren einen geringen elektromechanischen Kopplungsfaktor aufweist. Ein

geringer Kopplungsfaktor führt zur erheblichen Erhöhung der elektrischen Anregungsspannung des Resonators, zur Effektivitätsverringering der Motoren sowie zur Begrenzung ihrer Leistung. Bei solchen Motoren ist es nicht möglich, durch eine Vergrößerung des Resonators die mechanische Leistung der Motoren zu erhöhen. Bei einer Längenvergrößerung der piezokeramischen Platte wird die Resonanzfrequenz des Resonators immer kleiner, was eine Verringerung seiner spezifischen Leistung als Folge hat. Beispielsweise haben die nach diesem Prinzip aufgebaute Standard-Ultraschallmotoren der Firma Nanomotion mit nur einer piezokeramischen Platte als Resonator eine mechanische Leistung von ca. 0,4W. Zu ihrer Erhöhung werden bis zu acht solcher Piezoaktoren in einem Gehäuse angeordnet (siehe Firmenbroschüre unter <http://www.nanomotion.com/In2000index.html>). Diese Maßnahme verkompliziert und verteuert die gesamte Konstruktion der Antriebe und verringert ihre Zuverlässigkeit.

Weiterhin weisen derartige Motoren ein kompliziertes System der Anregungselektroden auf, welches eine elektrische Verbindung mit Hilfe von kreuzweise-diagonal angelöteten Leitern erfordert. Dies verringert zusätzlich die Zuverlässigkeit der Motoren, da beim Einwirken von Ultraschall oft ein Abreißen der Leitungen von der piezoelektrischen Platte die Folge ist.

Als ein weiterer Nachteil ist die ungünstige konstruktive Handhabung derartiger Motoren zu nennen. Die Längsachse des Resonators bzw. der Aktor muss senkrecht zu dem zu bewegenden Element angeordnet werden. Diese Anordnung führt zur Vergrößerung der Antriebssysteme, in denen die Motoren eingesetzt werden, und macht ihre konstruktive Handhabung kompliziert.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, alle erwähnten Nachteile der angeführten Motoren zu beseitigen und gleichzeitig eine Verringerung der Anregungsspannung der Motoren, eine Erhöhung der mechanischen Leistung, der Zuverlässigkeit, eine Vereinfachung der Motorkonstruktion, eine Verringerung der Herstellungskosten, sowie eine Verbesserung der konstruktiven Handhabung der Motoren zu erreichen.

Die gestellte Aufgabe wird dadurch gelöst, dass im piezoelektrischen Ultraschallmotor mit einem Oszillator in Form einer piezoelektrischen Platte mit

der Länge L und mit der Höhe H sowie mit einem oder zwei am Oszillator angeordneten und elastisch an die Friktionsoberfläche des zu bewegenden Teils angepreßten Friktionselemente, die erwähnte piezoelektrische Platte durch eine senkrecht zu großen Oberflächen verlaufende Schnittebene in zwei gleiche Teile geteilt wird, wobei mindestens eine von diesen Teilen einen unsymmetrischen Generator unsymmetrischer akustischer Stehwelle beinhaltet, der bei seiner Ansteuerung eine unsymmetrische zweidimensionale stehende Welle erzeugt, so dass die in der Mitte der langen Stirnseiten der piezokeramischen Platte angeordneten Friktionselemente zu der Trennebene gleich geneigte Bewegungen ausführen, wodurch auf das zu bewegende Element die Bewegungsenergie übertragen wird.

Außerdem kann der piezoelektrische Oszillator zum Umkehr der Bewegung des zu bewegenden Teils zwei symmetrisch bezüglich der Schnittebene angeordnete unsymmetrische Generatoren unsymmetrischer akustischer Welle beinhalten, so dass bei ihrer wahlweisen Ansteuerung der Winkel zwischen der Bewegungsbahn der Friktionselemente und der Trennebene ihr Vorzeichen ändern, wodurch die das zu bewegende Element antreibende Kraft ihre Richtung ändert.

Die Erfindung soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen sowie unter Zuhilfenahme von Figuren näher erläutert werden.

Hierbei zeigen:

- Fig. 1 die Hauptvariante des erfindungsgemäßen Motors
- Fig. 2 die Konstruktion des Oszillators
- Fig. 3 elektrische Beschaltungen des Oszillators mit der Anregungsquelle
- Fig. 4 den Amplituden-Frequenzgang der elektrischen Eingangsimpedanz des Oszillators
- Fig. 5 die Abhängigkeit der Oszillatorresonanzfrequenz von der Oszillatorlänge
- Fig. 6 die Verformung des Oszillators
- Fig. 7 Amplituden sowie Bewegungsbahnen der Punkte an den langen Stirnseiten des Oszillators
- Fig. 8 eine die Funktionsweise des Motors erklärende Abbildung

- Fig. 9 die Konstruktion des Oszillators der 2. Ordnung
Fig. 10 elektrische Beschaltungen des Oszillators der 2. Ordnung mit der Anregungsquelle
Fig. 11 die Konstruktion des Oszillators der 3. Ordnung
Fig. 12 elektrische Beschaltungen des Oszillators der 3. Ordnung mit der Anregungsquelle und
Fig. 13 die wichtigsten Kennlinien des erfindungsgemäßen Motors.

Der erfindungsgemäße piezoelektrische Ultraschallmotor enthält (siehe Fig.1) einen im Gehäuse 2 angeordneten piezoelektrischen Oszillator 1 sowie ein zu bewegendes Element 3 mit einer an ihm befestigten Friktionsleiste 4. Der piezoelektrische Oszillator 1 wird mit dem Friktionselement 5 mit Hilfe der Anpreßelemente 6 elastisch an die Friktionsleiste 4 angepresst. Das zu bewegendes Element 3 ist in dem Motorgehäuse 2 auf dem Lager 7 fixiert, so dass es sich in die durch den Pfeil 8 angedeutete Richtung bewegen kann.

Fig. 2 Pos. 9, 10 zeigen eine Draufsicht bzw. eine Ansicht von unten auf den Oszillator 1. Der Oszillator 1 ist als eine piezoelektrische Platte 11 mit der Länge L, Höhe H sowie der Breite B ausgeführt und ist durch die Trennebene 12 in zwei gleiche Teile 13, 14 geteilt.

Die Trennebene 12 geht durch die Mitte der Oszillatorlänge L und steht senkrecht auf der großen Seite 15 des Oszillators. Der Spur 16 von der Trennebene 12 ist auf dem Oszillator 1 mit Hilfe der Strichlinie gekennzeichnet. Ein oder zwei (nicht im Bild gezeigt) Friktionselemente 5 sind an den langen Stirnseiten 17 der piezoelektrischen Platte 11 in der Mitte der Oszillatorlänge L angeordnet.

In der betrachteten Variante des erfindungsgemäßen Motors beinhaltet das Teil 13 des Oszillators 1 einen unsymmetrischen Generator 18 unsymmetrischer akustischer Wellen. Der unsymmetrische Generator wird durch die Anregungselektrode 19 sowie die gemeinsame Elektrode 20 gebildet, welche an den großen Oberflächen 15 der polarisierten piezoelektrischen Platte 11 angeordnet sind. Die Polarisation der Platte 11 erfolgt senkrecht zu den Elektroden und ist z.B. in Fig. 1 durch Pfeile gekennzeichnet.

Die Unsymmetrie des Generators 18 ist durch seine unsymmetrische Lage in Bezug auf die Trennebene 12 bedingt sowie dadurch, dass bei seiner Anregung im Oszillator eine unsymmetrische zweidimensionale stehende Welle erzeugt wird. Die Welle kann erster, zweiter oder höherer Ordnung sein. Die Länge des Oszillators steht in folgender Beziehung mit der Höhe und der Ordnung der angeregten Welle: $L=K*H*n$. K ist dabei ein von der Breite bzw. von der Typ der Piezokeramik abhängiger Koeffizient. $K\approx 0,5\div 1$. n ist die Ordnung der Welle. $n=2,3,4,\dots$

In dieser Variante des Motors kann das Teil 14 des Oszillators 1 einen zweiten unabhängigen unsymmetrischen Generator 21 unsymmetrischer akustischer Wellen beinhalten mit der Anregungselektrode 22 und der gemeinsamen Elektrode 20.

Fig. 3 zeigt eine elektrische Verschaltung der Anregungsquelle 23 mit dem Oszillator 1. Das Schaltbild beinhaltet den Umschalter 24, mit dessen Hilfe die Quelle 23 elektrisch mit dem ersten 18 oder zweiten 21 Generatoren verbunden wird.

Fig. 4 zeigt den Amplituden-Frequenzgang der elektrischen Eingangsimpedanz des Oszillators 1 mit Abmessungen $60\times 26\times 9\text{mm}^3$ gefertigt aus piezoelektrischer Keramik PIC 181 der Firma PI Ceramic GmbH. Die Resonanzstelle 25 kennzeichnet die Resonanzfrequenz f_0 , die der unsymmetrischen stehenden Welle erster Ordnung entspricht.

Fig. 5 zeigt eine Abhängigkeit der Oszillatorresonanzfrequenz f_0 (Resonanzstelle 25 in Fig.4) als Funktion der Oszillatorlänge L beim konstanten Verhältnis der Oszillatorlänge zu der Oszillatorhöhe von $L/H=2,25$ sowie einem konstanten Verhältnis der Oszillatorlänge zu der Oszillatorbreite von $L/B=6$.

Fig. 6 Pos 26, 27, 28, 29 zeigen Verformungen der Platte 11 des Oszillator 1 bei Anregen einer unsymmetrischen stehenden Welle erster Ordnung.

Fig. 7 zeigt Schwingamplituden (Pos.30) sowie die Bewegungsbahnen (Pos.32) der Punkte an der langen Stirnseite 17 der piezoelektrischen Platte 11 bei Anregen der unsymmetrischen stehenden Welle der ersten Ordnung.

Pos. 33 kennzeichnet den Bereich, in dem die Stoßelemente angeordnet werden.

Fig. 8 erklärt die Funktionsweise des erfindungsgemäßen Motors. In diesem Bild ist die Bewegungsbahn 32 des an der langen Stirnseite 17 liegenden Punktes 34 sowie die Bewegungsbahn 35 des Punktes 36 des Friktionselementes 5 dargestellt.

Fig 9 Pos. 37, 38 zeigen einen Oszillator 1 in dem eine unsymmetrische stehende Welle der zweiten Ordnung angeregt wird. In diesem Fall beinhalten die Generatoren 18, 21 jeweils zwei Elektroden 19, 22, die im Abstand $L/4$ auf den Oszillatorteilen 13, 14 angeordnet sind.

Fig 10 zeigt eine Verschaltung des Oszillators 1 des erfindungsgemäßen Motors mit der elektrischen Anregungsquelle 23.

Fig 11, Pos 39, 40 zeigt eine weitere vorteilhafte Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Motors, wobei im Oszillator 1 eine stehende Welle der dritten Ordnung angeregt wird. In diesem Fall beinhalten die Generatoren 18, 21 jeweils drei Anregungselektroden 19, die im Abstand $L/6$ von einander auf den Oszillatorteilen 13, 14 angeordnet sind.

Fig. 12 zeigt die Verschaltung des Oszillators 1 dieser Variante des erfindungsgemäßen Motors mit der elektrischen Anregungsquelle 23.

Fig. 13 zeigt die wichtigsten Kennlinien des erfindungsgemäßen Motors mit Oszillatorabmessungen $60 \times 26 \times 9 \text{ mm}^3$ gefertigt aus der piezoelektrischen Keramik PIC 181 der Firma PI Ceramic GmbH. Pos. 41 zeigt die mechanischen Leistung-Kraft-Kennlinie, Pos. 42 die Drehzahl-Kraft-Kennlinie und Pos. 43 Wirkungsgrad-Kraft-Kennlinie.

Die Funktionsweise wird anhand eines Motors betrachtet, bei dessen Oszillator 1 eine unsymmetrische stehende Welle der ersten Ordnung angeregt wird, d.h. mit einem Oszillator der kleinsten Länge $L \approx 2H$.

Zum Betrieb des Motors (Fig.3) wird an die Anregungselektrode 19 sowie die gemeinsame Elektrode 20 von der elektrischen Erregerquelle 23 eine elek-

trische Wechselfspannung angelegt. Die Frequenz f_0 der elektrischen Spannung entspricht dabei der Resonanzfrequenz des Oszillators, bei der die unsymmetrische stehende Welle anregbar ist (siehe Fig.4). Ferner ist f_0 mehr von geometrischen Abmessungen des Oszillators und weniger von dem Typ der piezoelektrischen Keramik abhängig.

Fig. 5 zeigt die experimentell aufgenommene Abhängigkeit der Resonanzfrequenz f_0 von der Oszillatorlänge L bei einem konstanten Verhältnis der Oszillatorlänge L zu der Oszillatorhöhe H von $L/H=2,25$ sowie bei konstanten Verhältnis der Oszillatorlänge L zu der Oszillatorbreite B von $L/B=6$ für die aus der piezoelektrischen Keramik PIC 181 gefertigten Oszillatoren dargestellt. Für diese Abhängigkeit stellt das Produkt der Oszillatorlänge mit der Resonanzfrequenz $L \cdot f_0$ eine konstante Größe dar, die im betrachteten Fall einen Wert von 3911 kHz*mm beträgt. Die Konstante kann zur Bestimmung der Resonanzfrequenz f_0 der unsymmetrischen stehenden Welle für beliebige Abmessungen der piezokeramischen Platte 11 des Oszillators 1 herangezogen werden. Da auf dem in Fig. 4 dargestellten Diagramm in der Nähe der Resonanzfrequenz f_0 sich keine weitere Resonanzen befinden, kann geschlossen werden, dass diese Konstante eindeutig die Frequenz der unsymmetrischen Stehwelle definiert.

Beim Anregen in der Platte 11 des Oszillators 1 der unsymmetrischen zweidimensionalen stehenden Welle verformt sich die Platte, wie es in Fig. 6 gezeigt ist. Die vier Phasen der Verformung (Positionen 26, 27, 28, 29) sind in einem zeitlichen Abstand von einem Viertel der Oszillatorschwingungsperiode dargestellt.

Die unsymmetrische Verformung der Oszillatorplatte 11 äußert sich in der unsymmetrischen Verteilung von Schwingamplituden der an den langen Stirnseiten 17 entlang der Oszillatorlänge liegenden Punkte im Bezug auf die Trennebene 12. In Fig. 7 Pos.30 sind die Schwingamplituden in X- bzw. Z-Richtung dargestellt. Die Punkte bewegen sich entlang der Bahnen 31, die in Pos. 32 dargestellt sind. Die Bewegungsbahnen 31 stellen gerade Linien dar, die mit den Oszillatorstirnseiten 17 je nach Position einen unterschiedlichen Winkel bilden und sie haben eine unsymmetrische Lage in Bezug auf die Trennebene 12. Die Unsymmetrie der Amplitudenverteilung entlang der Oszillatorlänge sowie die daraus resultierende Unsymmetrie in der räumlichen

Lage der Bewegungsbahnen ist durch die Unsymmetrie der im Oszillator angeregten stehenden Welle bedingt.

Das im zentralen Bereich 33 angeordnete Friktionselement 5 schwingt entlang einer Geraden 31, (35), die zur Trennebene 12 geneigt ist (siehe Fig.8). Bei seiner Bewegung in Richtung des zu bewegenden Elementes 3 entsteht zwischen dem Friktionselementen 5 und der Friktionsleiste 4 eine Kraft F_0 , die in die Normalkomponente F_n sowie die Tangentialkomponente F_t zerlegbar ist. Die Normalkomponente ist für die Reibkraft verantwortlich, aufgrund derer die Tangentialkomponente F_t an das zu bewegende Element 3 übertragen wird. Der Friktionselement 5 überträgt an das zu bewegene Element einen Kraftimpuls, aufgrund dessen dem Letzteren eine Bewegung verliehen wird. Während der Rückwärtsbewegung des Friktionselementes 5 erlischt die Kraft F_0 . Die Reibkraft zwischen dem Friktionselementen 5 und dem zu bewegenden Element 3 verschwindet. Das zu bewegende Element 3 bewegt sich bis zu dem nächsten Stoß aufgrund der Trägheit. Die Bewegungsrichtung des zu bewegenden Elementes ist in Fig. 8 mit einem Pfeil gekennzeichnet.

Beim Umschalten des Schalters 24 ändert sich die Lage des aktiven Generators bezüglich der Trennebene 12. Dies führt zu der Spiegelung des Verformungsbildes des Oszillators 1. Im zentralen Bereich 33 des Oszillators ändern sich Amplituden in X-Richtung und in Z-Richtung nicht. Lediglich die Phase zwischen den beiden Komponenten ändert sich um 180° . Der Winkel zwischen den Bewegungsbahnen der Punkte in diesem Bereich und der Trennebene 12 ändert sein Vorzeichen. Dieses führt zum Bewegungsumkehr des zu bewegenden Elementes 3.

Oszillatoren 1 mit Anregung von unsymmetrischen stehenden Wellen zweiter, dritter sowie höheren Ordnungen (siehe Fig. 9, 10, 11, 12) weisen in ihren mittleren Teil eine, dem Oszillator der Ordnung 1 ähnliche Verformungen. Motoren mit dem Einsatz solcher Oszillatoren haben eine analoge Funktionsweise.

Die Fig. 13, Pos 41, 42, 43 zeigt die wichtigsten Kennlinien eines Funktionsmusters des erfindungsgemäßen Ultraschallmotors mit einem Oszillator mit Abmessungen $60 \times 26 \times 9 \text{ mm}^3$ aus piezoelektrischen Keramik PIC 181. Die maximale Geschwindigkeit des Läufers beträgt 600 mm/s , die maximale Kraft 50 N und die maximale mechanische Leistung 15 W . Der maximale Wirkungs-

grad des Motors beträgt ca. 20%. Die elektrische Anregungsspannung beträgt 200 V_{eff}.

Im Vergleich zu einem nach US-PS 5,616,980 aufgebauten Ultraschallmotor von Typ HR8 der Firma Nanomotion entwickelt das beschriebene Funktionsmuster des Motors eine doppelt so hohe Bewegungsgeschwindigkeit des Läufers sowie eine 1,6 größere Kraft. Die Feldstärke im Oszillator ist ca. viermal niedriger als die bei dem Motor der Firma Nanomotion. Das erfindungsgemäße Funktionsmuster enthält nur drei Anschlussleitungen, während die Anzahl bei dem HR8- Motor 40 ist. Dies erhöht z.B. die Zuverlässigkeit des erfindungsgemäßen Motors enorm.

Der erfindungsgemäße Motor ist deutlich einfacher in der Fertigung, woraus wesentlich niedrigere Herstellungskosten resultieren. Außerdem ist der Motor konstruktiv deutlich einfacher zu realisieren.

Bezugszeichenliste

1. piezoelektrischer Oszillator
2. Gehäuse
3. zu bewegendes Element (Läufer)
4. Friktionsleiste
5. Friktionselement
6. Anpresselemente
7. Lager
8. Bewegungsrichtungspfeil
9. Draufsicht auf den Oszillator der Ordnung 1
10. Ansicht von unten auf den Oszillator der Ordnung 1
11. piezoelektrische Platte des Oszillators 1
12. Trennebene
13. Teil des Oszillators 1
14. Teil des Oszillators 1
15. große Oberfläche des Oszillators 1
16. Spur der Trennebene 12
17. langen Stirnseiten
18. unabhängiger unsymmetrischer Generator unsymmetrischer akustischer Stehwelle
19. Anregungselektrode des Generators 18

20. gemeinsame Elektrode
21. zweiter unsymmetrischer Generator unsymmetrischer akustischer Stehwelle
22. Anregungselektrode des Generators 21
23. Anregungsquelle des Oszillators 1
24. Umschalter
25. Resonanzstelle
26. Verformung des Oszillators
30. Amplitudenverteilung der Punkte an der langen Stirnseite 17 der Platte 11
31. Bewegungsbahn eines Punktes an der langen Stirnseite 17 der Platte 11
32. Bewegungsbahnen der Punkte an der langen Stirnseite 17 der Platte 11
33. Bereich des Stoßelementes 5
34. Punkt an der Stirnseite 17 der Platte 11
35. Bewegungsbahn des Punktes 36 an dem Friktionselement 5
36. Punkt des Friktionselementes 5
37. Draufsicht auf den Oszillator 1 der Ordnung 2
38. Ansicht von unten auf den Oszillator 1 der Ordnung 2
- 39- Draufsicht auf den Oszillator 1 der Ordnung 3
40. Ansicht von unten auf den Oszillator 1 der Ordnung 3
41. mechanische Leistungs-Kraft Kennlinie
42. Geschwindigkeits-Kraft Kennlinie
43. Wirkungsgrad-Kraft Kennlinie

Patentansprüche

1. Piezoelektrischer Ultraschallmotor mit einem Oszillator in Form einer piezoelektrischen Platte der Länge L und der Höhe H sowie mit einem oder zwei am Oszillator angeordneten und elastisch an die Friktionsoberfläche des zu bewegenden Teils angepressten Friktionselementen, dadurch gekennzeichnet, dass die erwähnte piezoelektrische Platte durch eine senkrecht zu den großen Oberflächen verlaufende Schnittebene in zwei gleiche Teile geteilt ist, wobei mindestens eines von diesen Teilen einen unsymmetrischen Generator einer unsymmetrischen akustischen Stehwelle beinhaltet, der bei seiner Ansteuerung eine unsymmetrische zweidimensionale stehende Welle erzeugt, so dass die in der Mitte der langen Stirnseite der Platte angeordneten Friktionselemente eine zu der Stirnseite geneigte Bewegung ausführen, wodurch auf das zu bewegende Element eine Bewegungsenergie übertragen wird.
2. Piezoelektrischer Ultraschallmotor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der piezoelektrische Oszillator zum Umkehr der Bewegung des zu bewegenden Teils zwei symmetrisch bezüglich der Schnittebene angeordnete unsymmetrische Generatoren unsymmetrischer akustischer Stehwelle aufweist, so dass bei deren wahlweiser Ansteuerung der Winkel zwischen der Trennebene und der Bewegungsbahn der Friktionselemente sein Vorzeichen ändert, womit die das zu bewegende Element antreibende Kraft ihre Richtung ändert.

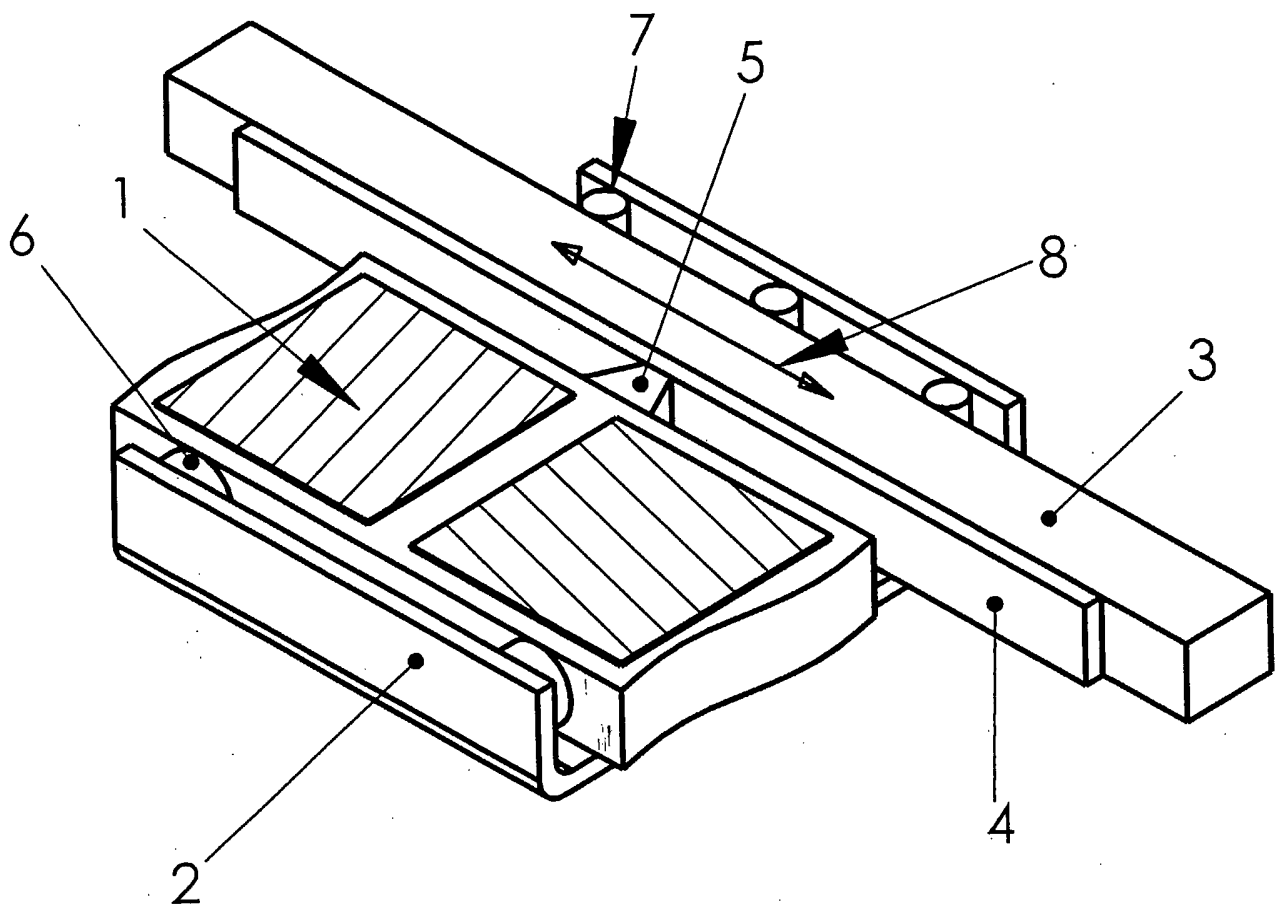


Fig. 1

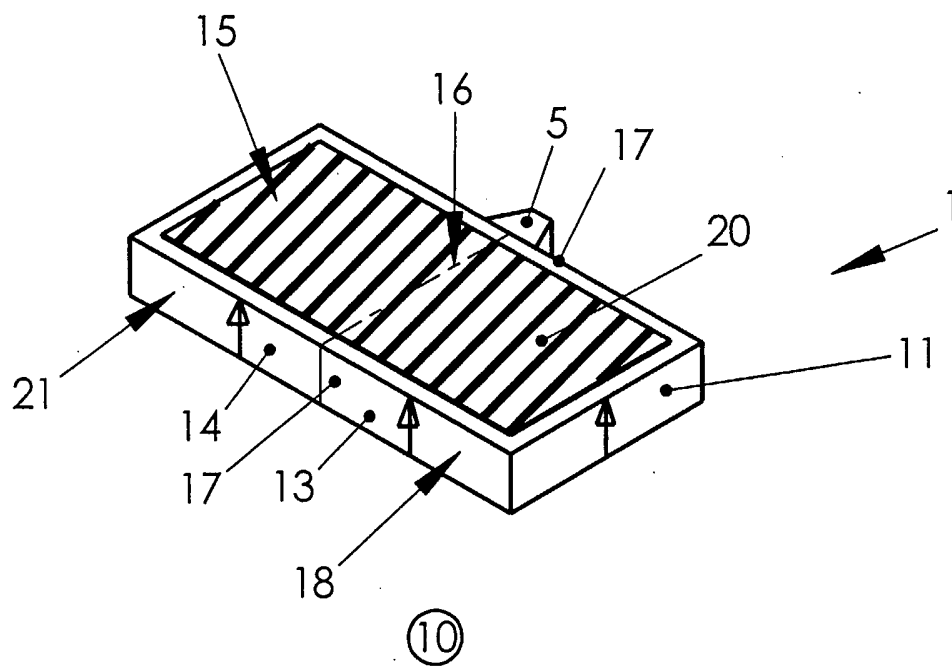
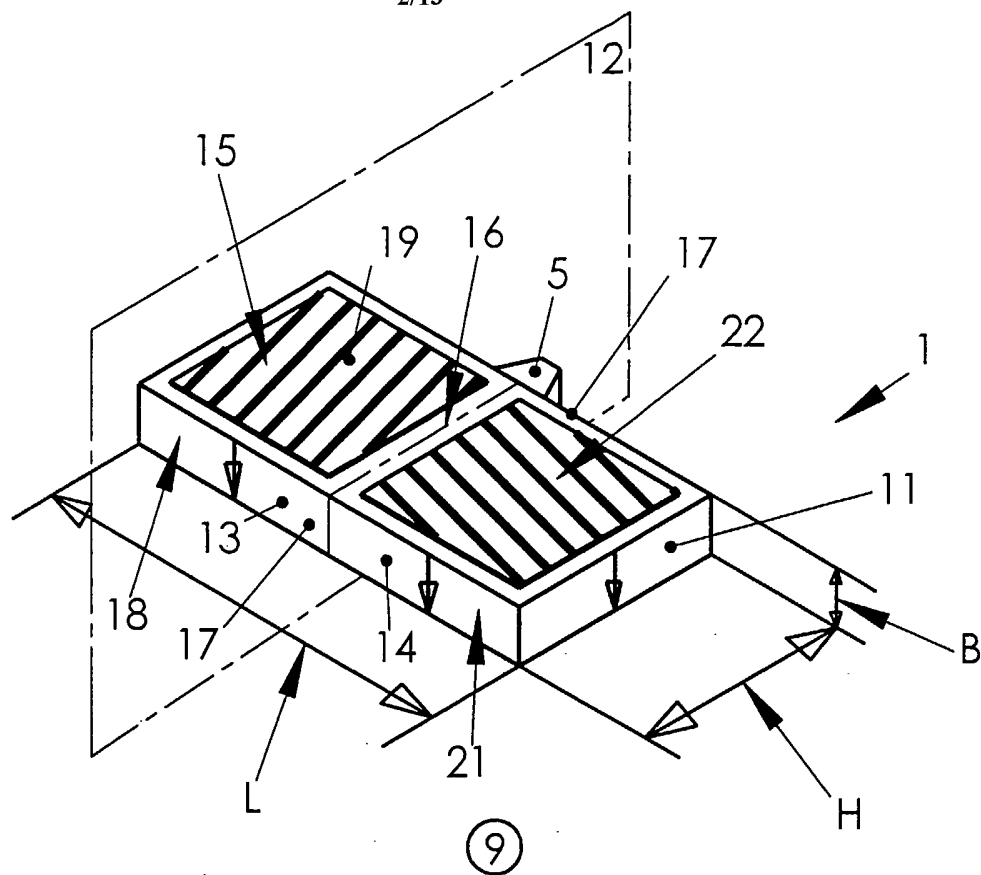


Fig. 2

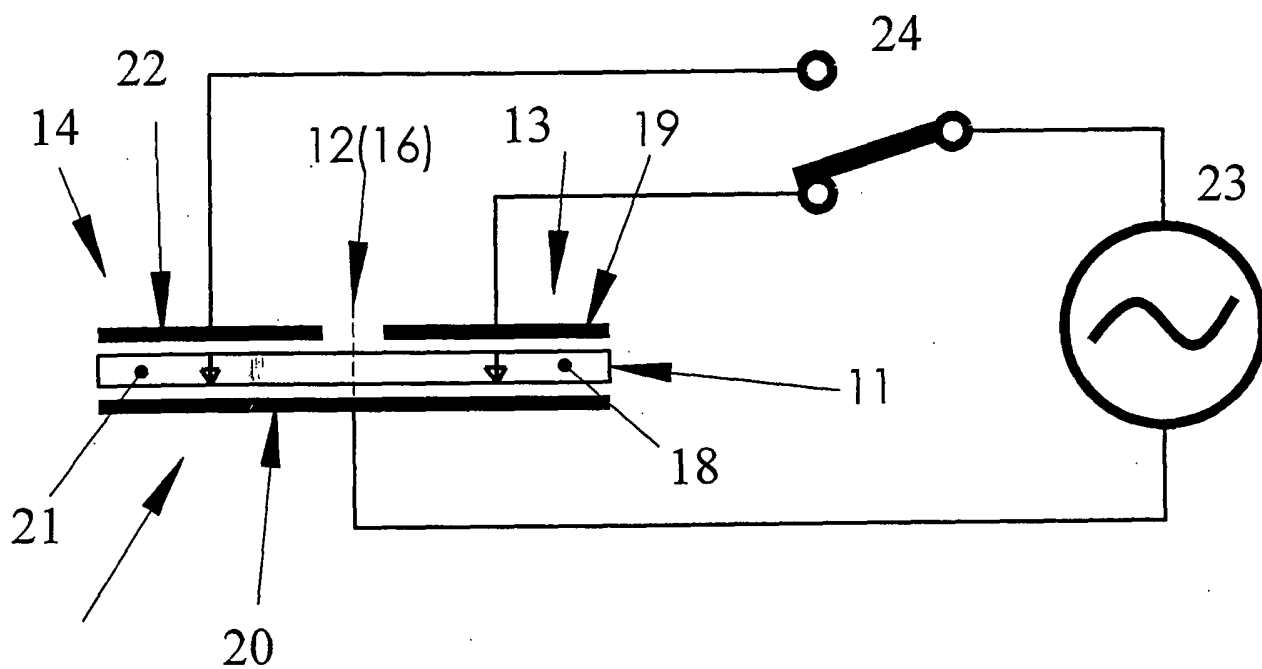


Fig. 3

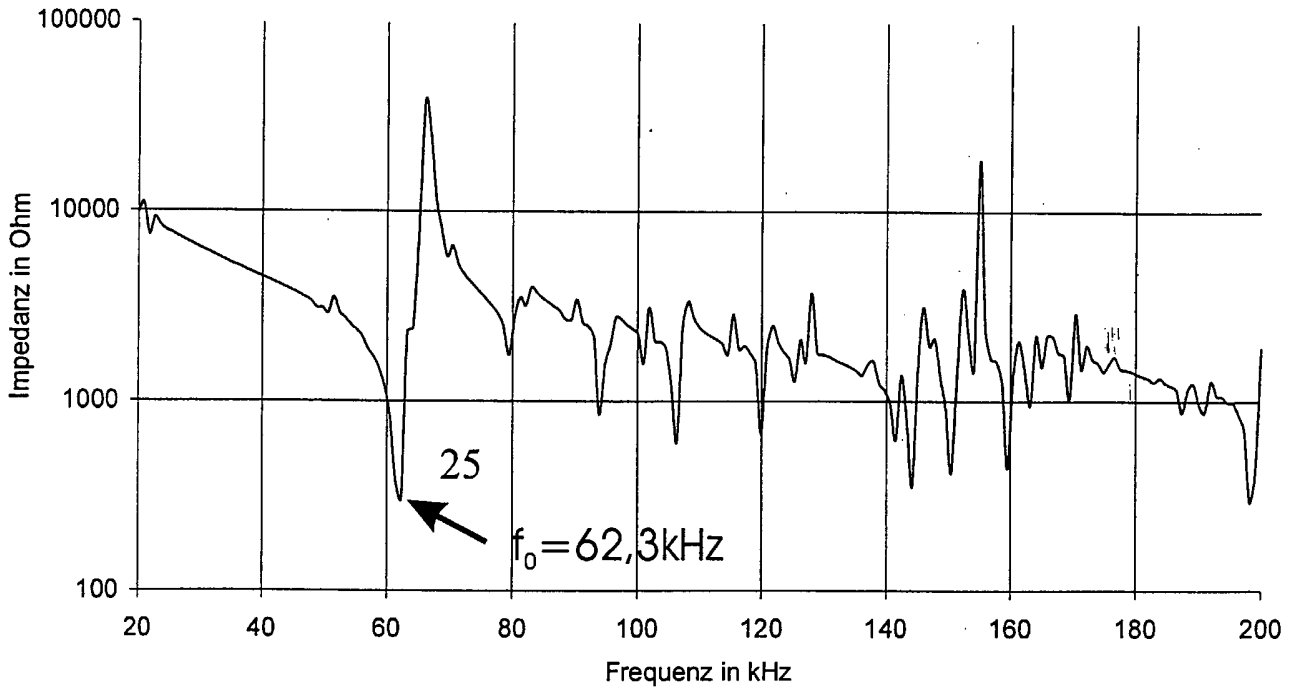


Fig.4

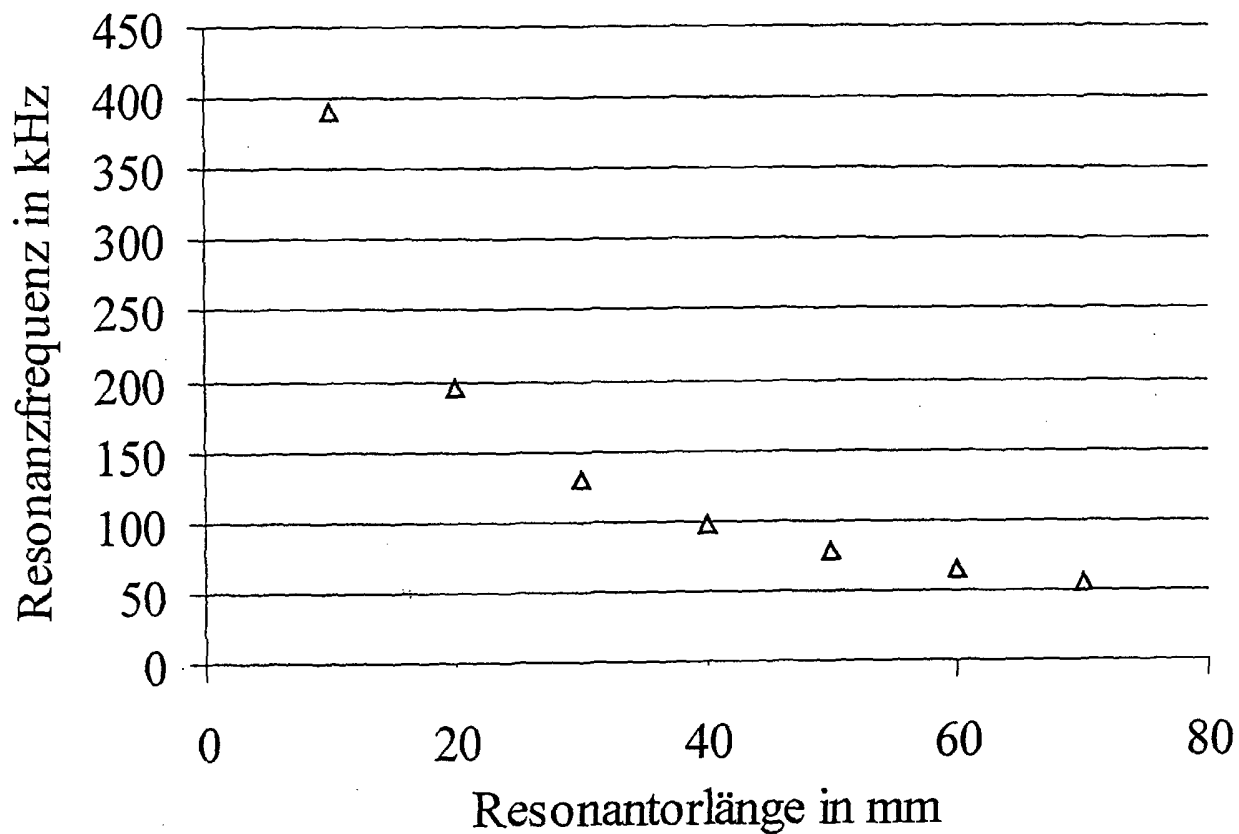


Fig. 5

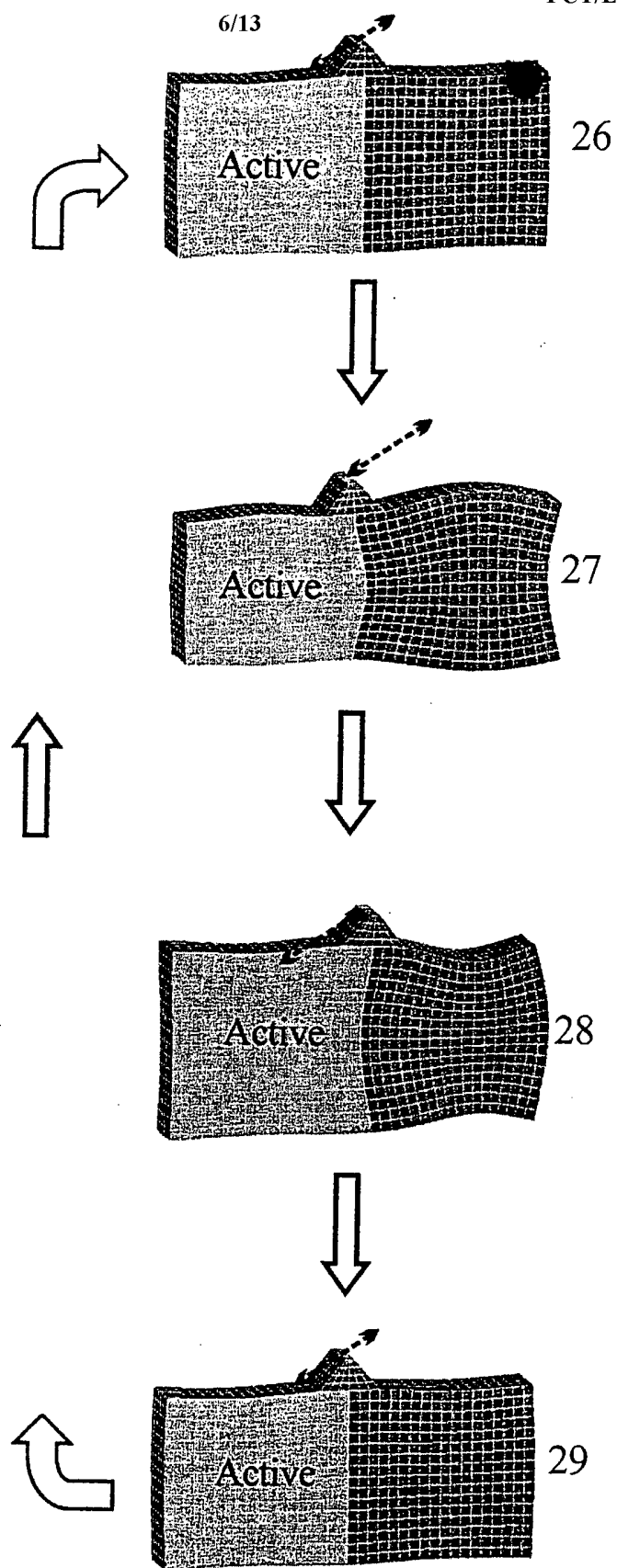


Fig. 6

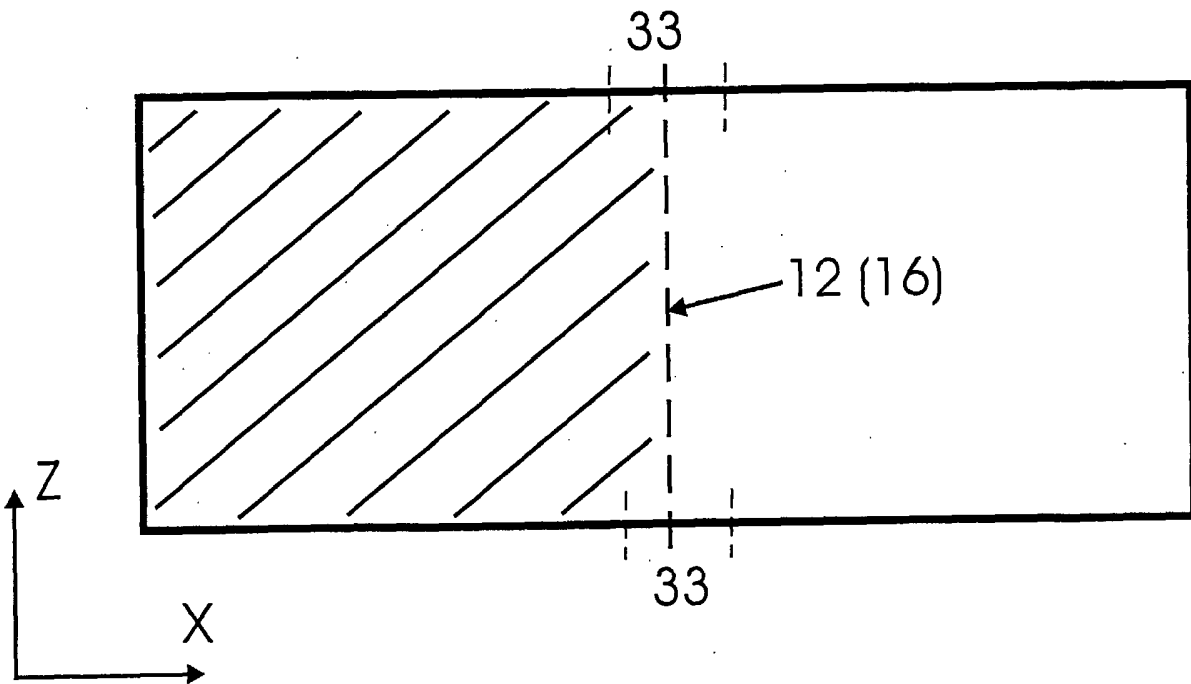
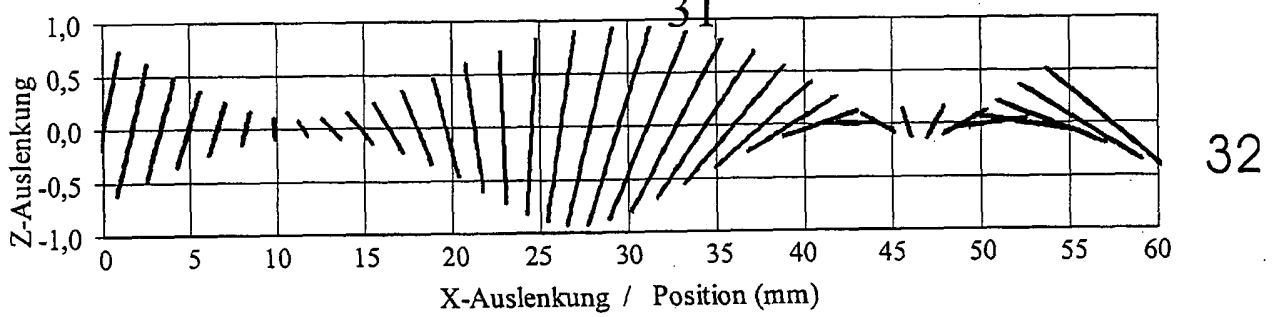
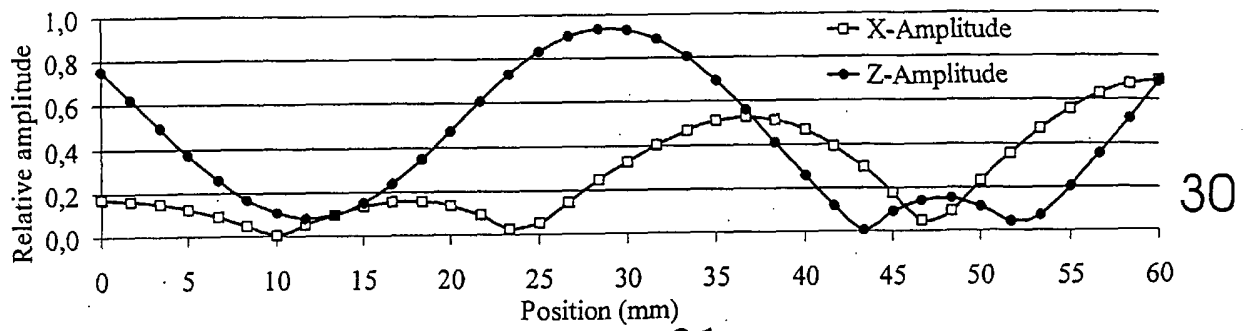


Fig.7

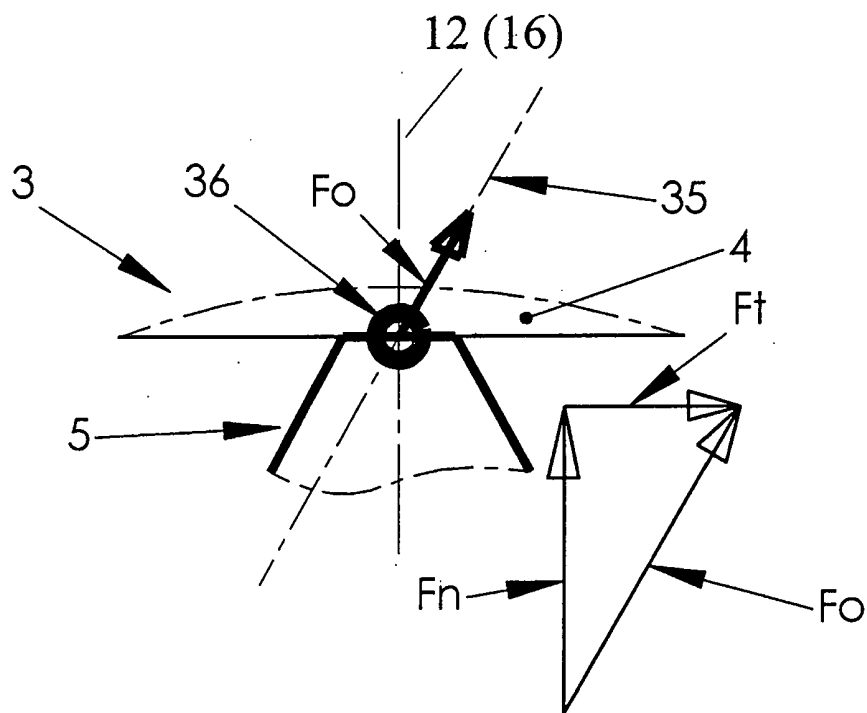
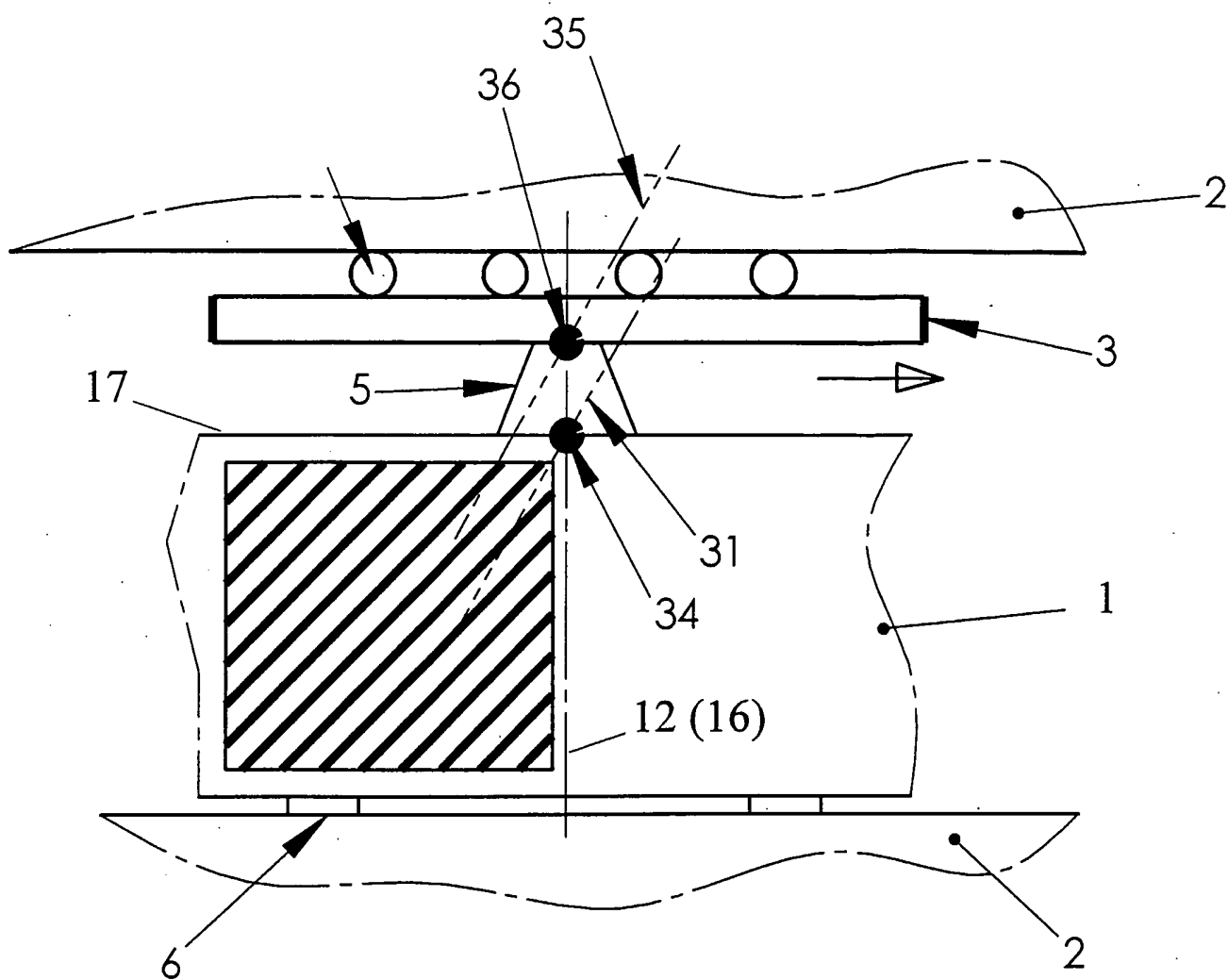


Fig. 8

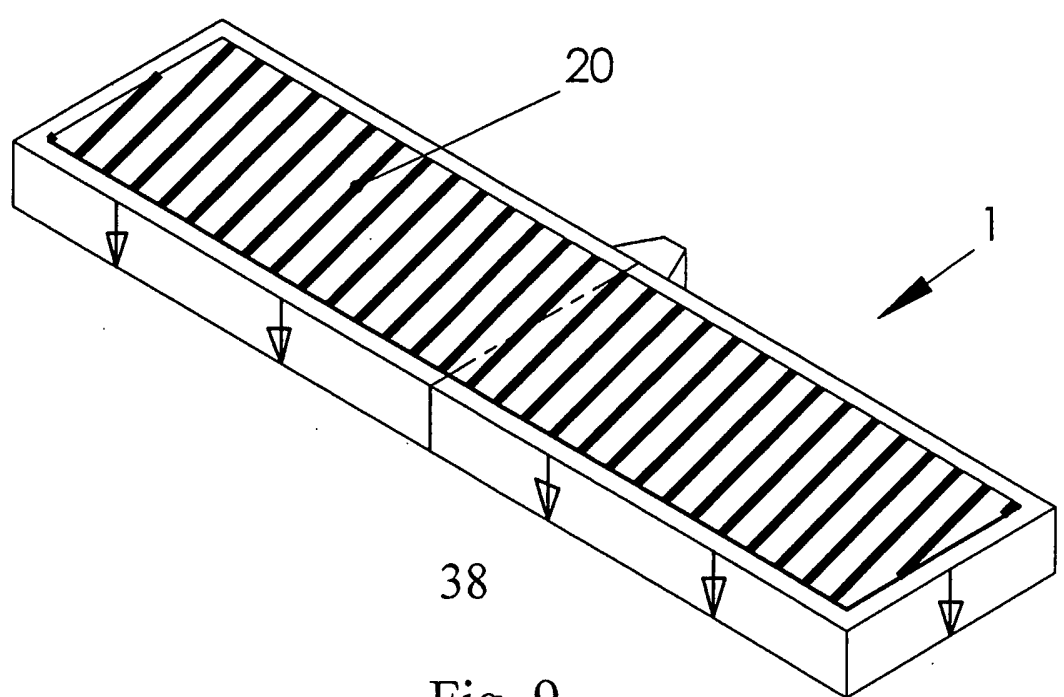
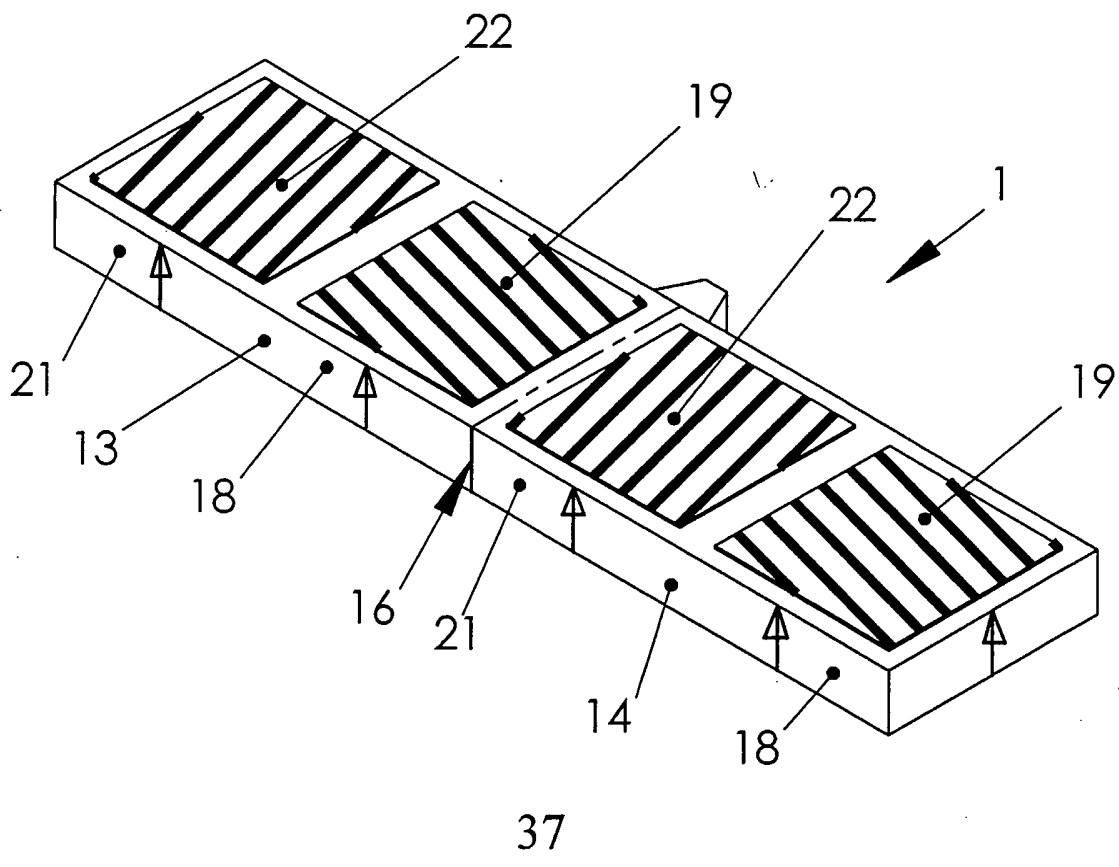


Fig. 9

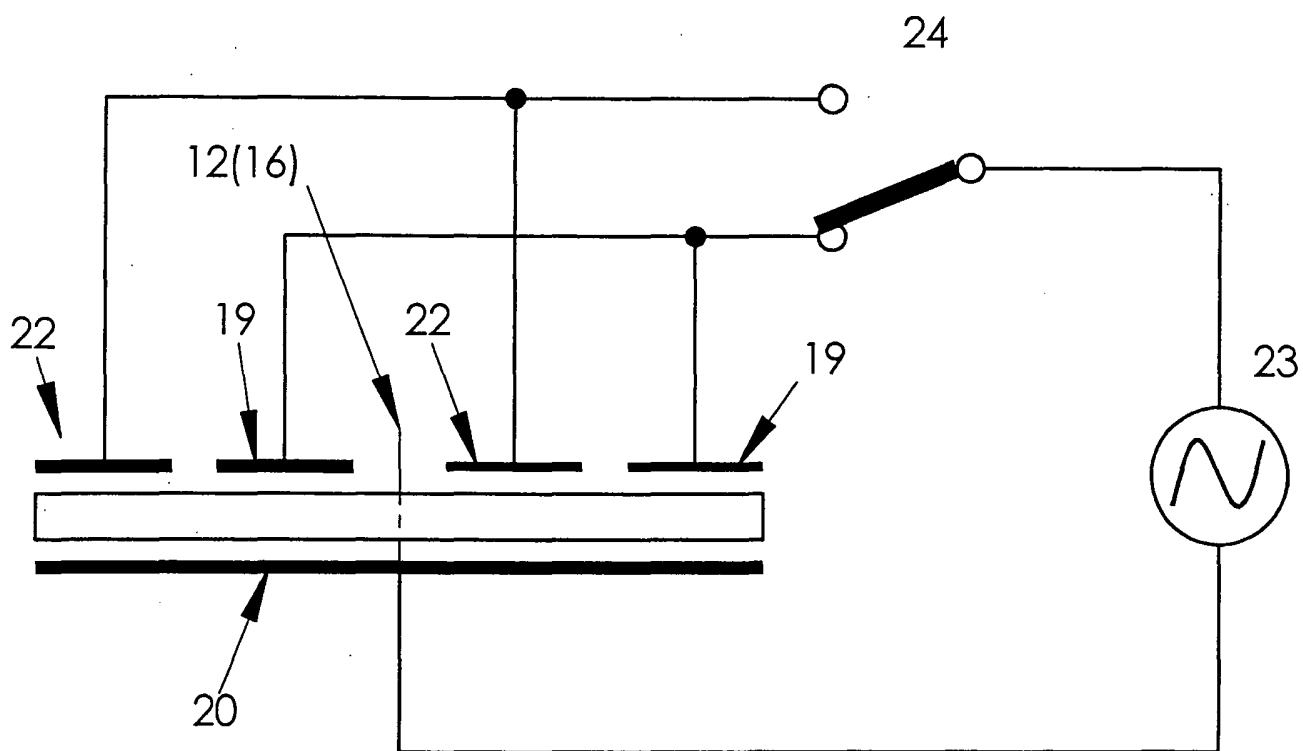


Fig. 10

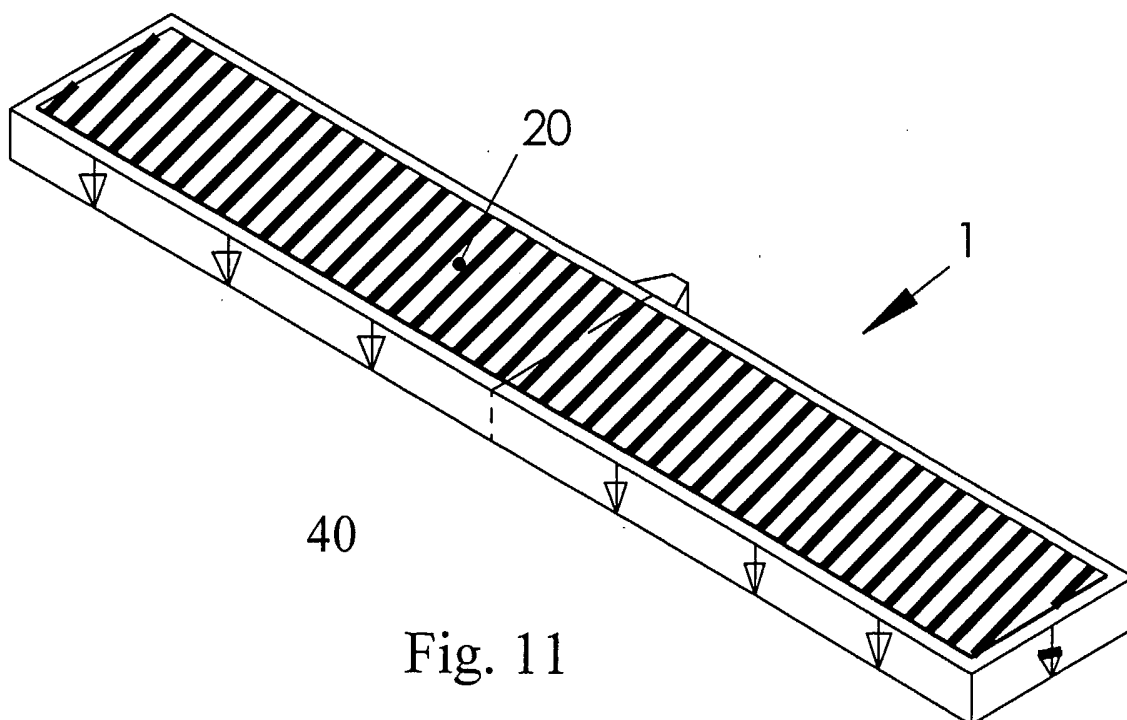
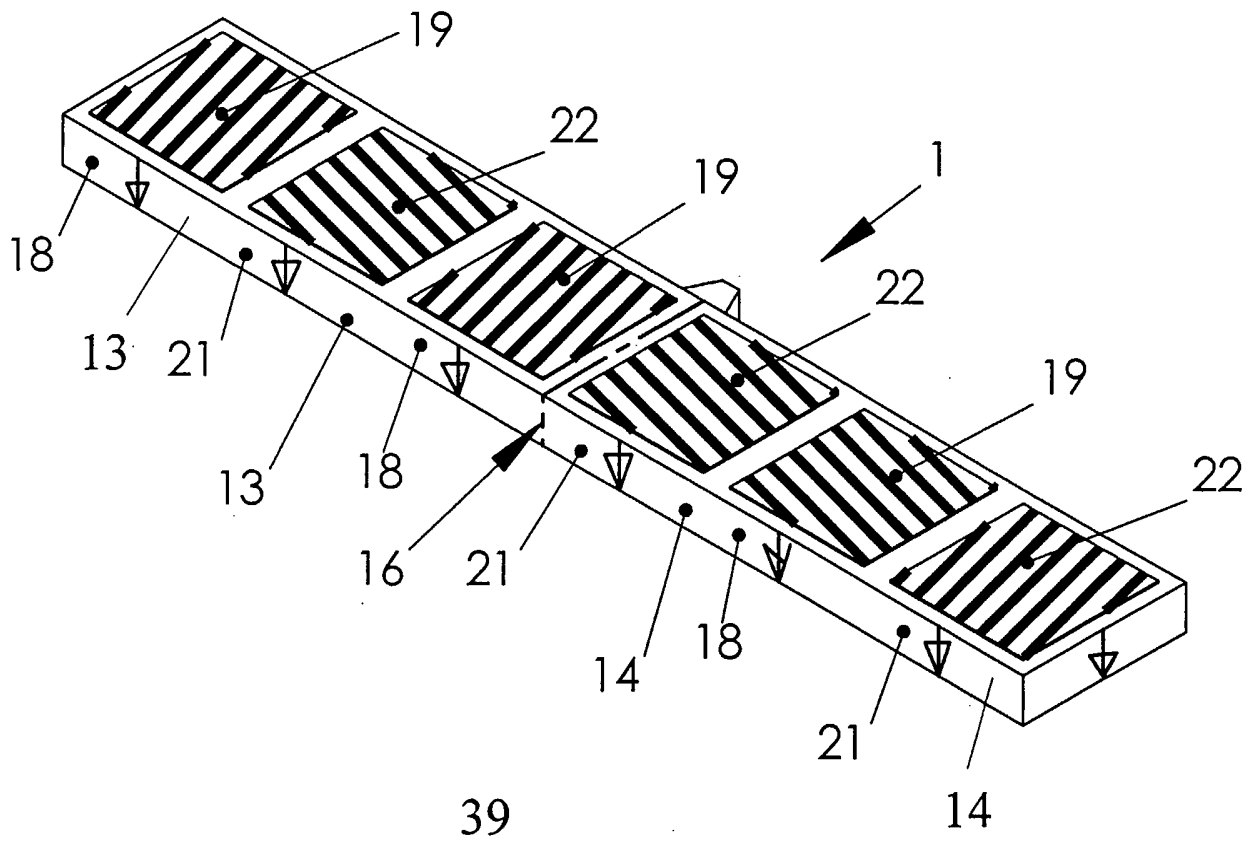


Fig. 11

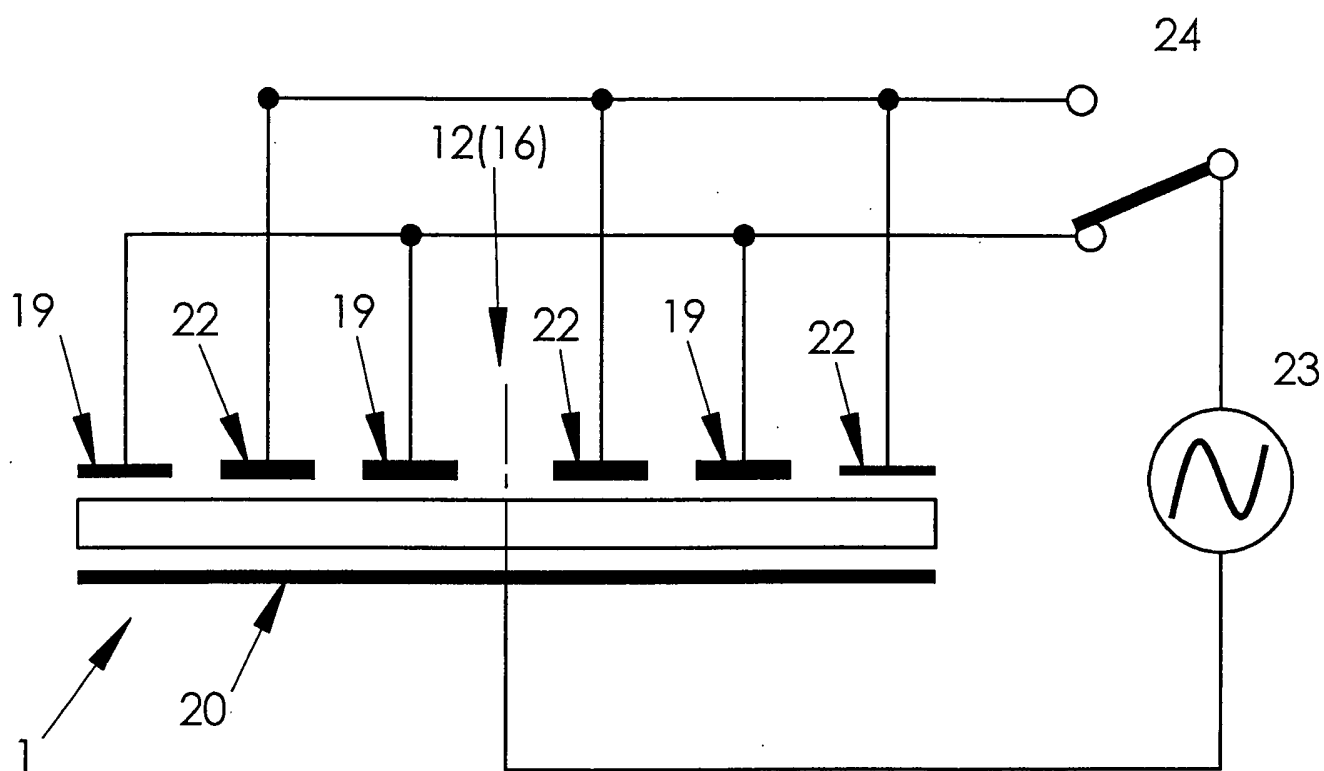
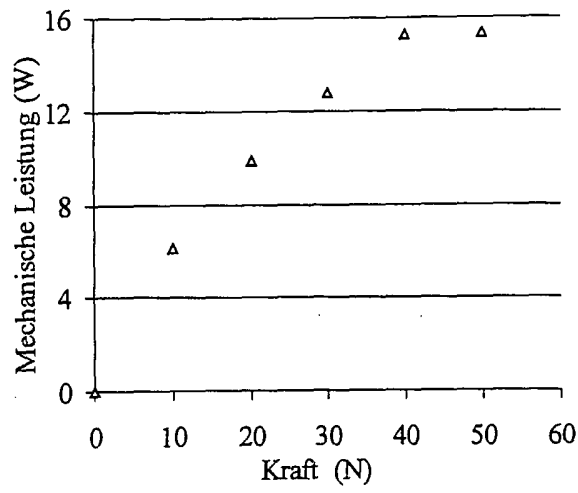
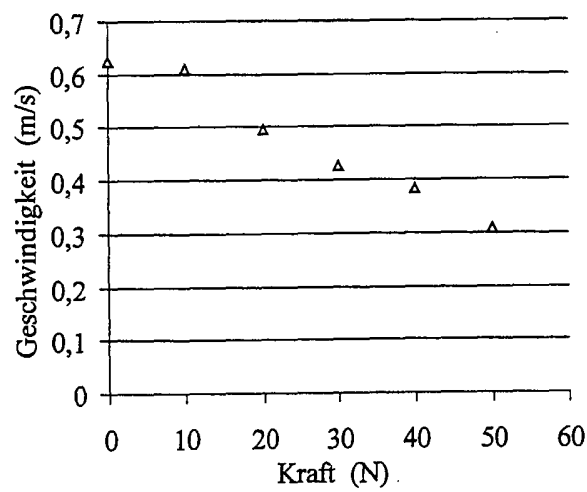


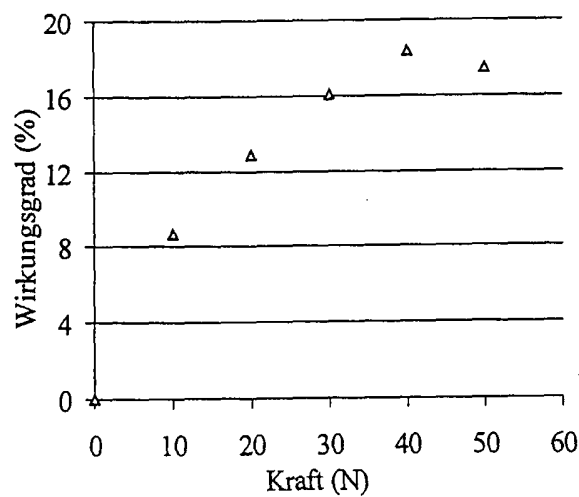
Fig. 12



41



42



43

Fig. 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/005287

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H01L41/09

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)
IPC 7 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 practical, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 267 425 A (PHYSIK INSTRUMENTE GMBH & CO KG) 18 December 2002 (2002-12-18) paragraph '0101! - paragraph '0103!; figures 17-19	1,2
P,X	----- WISCHNEWSKIY W ET AL: "New ultrasonic piezoelectric actuator for nanopositioning" ACTUATOR 2004, 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEW ACTUATORS, BREMEN, GERMANY, 14 June 2004 (2004-06-14), pages 118-122, XP009054063 page 118, right-hand column, last paragraph - page 119, left-hand column; figures 1,2 ----- -/--	1,2

Further documents are listed in the continuation of box C. Patent family members are listed in 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 document 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 19 September 2005	Date of mailing of the international search report 26/09/2005
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Köpf, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/005287

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SNITKA V: "Stepping ultrasonic motors for precision positioning" PROCEEDINGS IEEE 1993 ULTRASONICS SYMPOSIUM, BALTIMORE, MD, USA, 31 October 1993 (1993-10-31), pages 449-452, XP010114997 ISBN: 0-7803-1278-3 page 449, right-hand column, last paragraph - page 450, left-hand column, paragraph 1; figure 1 -----	1,2
A	WO 99/31740 A (NANOMOTION LTD; ZUMERIS JONA ET AL) 24 June 1999 (1999-06-24) page 9, line 8 - line 22; figure 5 -----	1,2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/005287

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
EP 1267425	A	18-12-2002	US	2003052573 A1	20-03-2003
<hr/>					
WO 9931740	A	24-06-1999	AU	7075298 A	05-07-1999
			JP	2002509688 T	26-03-2002
			US	6617759 B1	09-09-2003
<hr/>					

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PC17EP2005/005287

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 IPK 7 H01L41/09

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 IPK 7 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, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 267 425 A (PHYSIK INSTRUMENTE GMBH & CO KG) 18. Dezember 2002 (2002-12-18) Absatz '0101! - Absatz '0103!; Abbildungen 17-19	1,2
P,X	----- WISCHNEWSKIY W ET AL: "New ultrasonic piezoelectric actuator for nanopositioning" ACTUATOR 2004, 9TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEW ACTUATORS, BREMEN, GERMANY, 14. Juni 2004 (2004-06-14), Seiten 118-122, XP009054063 Seite 118, rechte Spalte, letzter Absatz - Seite 119, linke Spalte; Abbildungen 1,2 ----- -/--	1,2

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

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 älteres Dokument, 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 anderen 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

19. September 2005

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

26/09/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Köpf, C

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/005287

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	SNITKA V: "Stepping ultrasonic motors for precision positioning" PROCEEDINGS IEEE 1993 ULTRASONICS SYMPOSIUM, BALTIMORE, MD, USA, 31. Oktober 1993 (1993-10-31), Seiten 449-452, XP010114997 ISBN: 0-7803-1278-3 Seite 449, rechte Spalte, letzter Absatz - Seite 450, linke Spalte, Absatz 1; Abbildung 1	1,2
A	WO 99/31740 A (NANOMOTION LTD; ZUMERIS JONA ET AL) 24. Juni 1999 (1999-06-24) Seite 9, Zeile 8 - Zeile 22; Abbildung 5	1,2

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/005287

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1267425 A	18-12-2002	US 2003052573 A1	20-03-2003
WO 9931740 A	24-06-1999	AU 7075298 A JP 2002509688 T US 6617759 B1	05-07-1999 26-03-2002 09-09-2003