

REPLACED SHEETS SG

- ☒ Description : paged ...1... to paged ...9...
- ☒ Claim(s) : paged ...10... to paged ...11...
- ☐ Drawing(s) : paged ... to paged ...
- ☐ Abstract : paged ... to paged ...

Description:

The invention relates to an electromechanical positioning unit according to the generic term in claim 1. It particularly concerns a positioning unit formed as an inertial driving mechanism with at least one, preferably tube-shaped piezoelectric actuator with a movable slider. The actuator has electrodes for connecting it to variable voltages for electrically controlling its motion. If necessary the slider is to be moved along or inside this piezo actuator in the direction of the piezo movements along a preferably tube-shaped sliding surface.

Positioning units of this kind with nanometer precision, activated by piezo actuators based on the principle of inertial driving, are used as positioners with atomic resolution, analysis tools (e.g. scanning tunneling microscope) and tools in micro- and nano-technology. In these inertial drives the displacement of a slider relative to a sliding surface is achieved by high acceleration of the sliding surface so that the inertial force of the slider exceeds the frictional force and the slider can not follow the motion of the sliding surface.

Especially compact forms of the positioning unit are the one-axis inertial drives as described in DE 38 22 504 A1, in PCT/EP 93/02414 and in Review Sci. Instr. 63 (1) (Jan. 1992, pages 263/264). According to these articles one or several piezo actuators move a sliding surface fast and slowly. This particularly tube-shaped sliding surface symmetrically surrounds the slider.

In DE 38 22 504 A1 a micromanipulator with several sliders supporting and moving an object is described. The sliders with support heads directly supporting the object are to



be moved piezo-electrically inside a tube-shaped sliding surface. However, the frictional force of these sliders having the shape of a cylinder-bolt and not having any flexible elements are not adjustable.

The slider of the positioning unit described in PCT/EP 93/02414 ("low-mass support means") is wire-shaped and its frictional force is adjustable by its flexible bendable shape but limited to small variations of the bending. That means only a small bending range is allowed to create a reasonable frictional force. This form of the slider allows inertial driving only if the frictional force is very small. Thus a tip, e.g. the tip of a scanning tunneling microscope, can be moved but not heavy objects. The slider can only exert extremely small forces because these forces are limited to the strength of the frictional force.

Furthermore the forces that can be exerted to the slider in PCT/EP93/02414 are limited by the power capacity of the piezo actuator. The transition from adhesion to sliding strongly depends on the shape of the impulse transmitted from at least one of the piezo actuators to the sliding surface and depends on the mass of the slider. It is also depending on the coefficients of friction of the different materials involved. The piezo actuators depolarize if the applied voltages exceed say a few 100 Volts and after that can not move any more thus limiting the transmission of power into the inertial drive.

In "Review Sci. Instr." 63 (1), Jan. 1992, pages 263/264, a slider made of two halves of a cylinder cut along its axis is described, both cylinder halves hold inside a tube-shaped piezo actuator by frictional forces. For this purpose a spring is introduced between the two halves protecting them from falling out of the tube but allowing the two halves to be moved by piezo forces along the axis of the tube. From this it is known that it is extremely difficult to adjust the spring mechanically so that the two halves of the slider can be moved by piezo forces along the axis of the tube. The mechanical construction of the slider with the two halves of the cylinder and the spring, that is difficult to adjust, is



so complicated that the diameter of the piezo actuator can not be less than 19 mm to 20 mm practically. The bulkiness of the whole construction makes it sensitive for mechanical disturbance from outside like acoustic waves from walking steps making the positioning with atomic precision impossible normally without special vibration isolation systems.

The practical application of a positioning unit affords that the drive is tolerant against variations of the frictional forces arising from aging, dust, corrosion of the slider, change of the spring constant etc. This tolerance is not given by the unit in Review Sci. Instr. 63 (1). In this article the motion of the slider against gravity could only be achieved by driving the "Piezoelectric ceramics" with voltages exceeding 50 volts. Operation against forces larger than gravity is not possible.

The invention's underlying task is to remove the drawbacks of the above mentioned forms of sliders and by this to create an inertial drive which can be easily adjustable through its tolerance in feed per driving impulse, that can move heavy loads and exert or transmit high forces to objects and that can perform centimeter - (cm) - motions with nanometer - (nm) - precision without protection against usual mechanical disturbances in a normal laboratory. Finally the power capacity limit of the positioner arising from the limit for feeding energy to the inertial drive is to overcome. The solution according to the invention is given in claim 1. Improvements and further constructions based on the invention are given in the other claims.

The slider according to the invention consists of one part, that means all mass units and flexible units forming the slider are joined together to one compound. However, the single mass units and the single flexible units can be manufactured separately and independently. It is preferable to produce them all together out of one body.

With the help of at least one of the flexible units the pressure of the slider on the sliding



surface can be adjusted by bending it to achieve a pre-tension. By this the strength of the frictional force can be varied in a wide range.

The slider according to the invention consists of one part including at least one basically flexible deformable bending unit and of at least one basically heavy mass unit. Theoretically the flexible unit could also be heavy if it could in spite of that be made flexible relative to the mass unit or theoretically the mass unit could also be flexible if it could be heavy relative to the flexible unit in spite of its mass. As known it is not possible to form extremely heavy and at the same time extremely flexible solids.

As said before there is a limit for feeding power into the inertial drive. This problem is encountered with the mass unit integrated into the slider according to the invention leading to a powerful piezo drive in spite of the limit for (reasonable) power consumption. The invention in principle distinctly improves the degree of effectiveness of the piezo actuator. A suitable electrical impulse can accelerate a heavy mass of the slider synchronously to the movement of the piezo and a rapid changing of the piezo motion forces the heavy mass to slide due to its inertia despite of a very strong frictional force.

The high inertial mass combined with the high frictional force lead to several advantages:

- a. With the slider according to the invention heavy objects are movable.
- b. The slider according to the invention adjusted with a high frictional force can exert high forces.
- c. Due to its robustness the positioner according to the invention operates in a wide range of pre-bending of the flexible unit of the slider, that means the adjustment of the slider is extremely tolerant and insensitive to changes during operation (dirt, humidity, corrosion, etc.), which act as a change in the frictional force of the slider.



- d. For the movement of the slider according to the invention small voltages of dimension 10 Volts applied to the piezo actuator(s) are sufficient thus, in contrast to many traditional inertial drives, no high voltage is needed for operation which makes it considerably easier to handle.
- e. A further advantage of the invention is the possibility to adjust the displacement of the relative motion per applied impulse between the slider and the piezo actuator by adjusting the flexible unit of the slider thus setting the contact force between the slider and the sliding surface. By this particularly the displacement of the relative motion can be made smaller than the range of the piezo actuator thus allowing to reach any position with atomic precision on a scale of mm to cm.
- f. Due to the robustness of the positioner according to the invention the slider moves in a uniform and reproducible way with a velocity up to millimeter per second.

In addition to what was said before the strength of the frictional force between the sliding surface and the slider depends also on the size and the condition of the area of contact. This parameter can be selected during the manufacturing and then stays constant and fixes the range in which the flexible unit of the slider can be adjusted. This is achievable if at least one of the mass units consists of a body with a formed surface so that the size of the area of contact between the mass unit and the sliding surface can be chosen and/or if one or the mass units are of different materials and can have holes.

The requirements for the flexible unit of the slider can be met by an elastic thin wire as proposed in PCT/EP 93/02414. A flexible unit can as well be formed by thinning out a mass unit at at least one place to an extent that at this place a flexibility is induced forming an extra flexible unit. This construction has the advantage that manufacturing out of one piece is possible avoiding seams between different materials.

According to a further idea of the invention an object can be fixed to the slider that is transported with the slider. If necessary this object can be positioned with the same



accuracy as the slider.

If not the piezo actuator part is fixed in space but according to a further idea of the invention the slider is fixed in space by fixing it at at least one end to a large heavy object, the relative motion leads to movements of the piezo actuator relative to the large heavy object. Thus complex positioning constructions are possible which are able to position in various directions in space, particularly as xy-table, xyz-stand, tripod, tilting table or rotation element.

Due to the above described large force reserves of the slider according to the invention complex positioning can be carried out in several directions of space by combining of several of these positioning units and by fixing of objects to its sliders particularly as xy-table, xyz-stage, tripod, tilting table or rotation element.

The invention relates to an electromechanical positioning unit formed as an inertial drive to position objects with atomic scale positioning precision and with displacement ranges up to centimeters. The positioning unit contains at least one preferably tube-shaped piezo electric actuator with electrodes for connecting it to variable voltages for transmitting electrically controllable inertial driving motion to a slider that moves preferably at or inside said piezo actuator(s) in the direction of the piezo movements along a preferably tube-shaped sliding surface. The relative motion between slider and piezo actuator arises from the fact that the slider can not follow relative fast motions of the sliding surface but can follow relative slow motions of the sliding surface. The object of the invention is a slider which consists of at least one unit of higher mass (mass unit) and of at least one flexible deformable unit (flexible unit), said flexible unit allowing the strength of the frictional force to be adjusted and said mass unit providing high loading capacity of the positioning unit. By this combination heavy loads can be positioned and forces necessary for tools can be exerted.



Further details of the invention are now illustrated by sketches of implementing examples. It shows:

- Fig. 1 a slider and a sliding surface belonging to the slider;
- Fig. 2 an according to Fig. 1 varied slider;
- Fig. 3 a slider with a special surface;
- Fig. 4 and 5 various forms of wire-shaped flexible units;
- Fig. 6 a flexible unit worked out of a mass unit;
- Fig. 7 a mass unit comprising an object;
- Fig. 8 a positioning table;
- Fig. 9 a xy-table combined of positioning tables shown in Fig. 8 with a z-positioner;
- Fig. 10 a combination of three positioners connected by flexible hinges operating in three orthogonal directions;
- Fig. 11 combined positioners for rotations.

One form of the slider according to the invention is shown in Fig. 1. The sliding surface 1 comprises the slider, as a whole marked with 5, which in this special case consists of mass units 2a, 2b, 2c etc. and of several flexible deformable units 3a, 3b, 3c etc. The number of units is not critical for the principle, only one unit of each 2, 3 is necessary as shown in Fig. 2. This allows various forms of sliders that can be used to integrate objects like electrical lines, sensors, glass fibers or a hose into the slider and to transport them with the slider according to the invention.

The strength of the frictional force between the sliding surface 1 and the slider 5 can besides other means also be determined by the size and condition of the slider surface 7 during manufacturing of the slider. This is achieved by forming the surface 7 of at least one of the mass units 2 thus determining the size of the contact area between surface 7 and the sliding surface 1 as shown in Fig. 3.



Further special forms of the slider according to the invention are shown in Fig. 4 and 5. The flexible units 3a, 3b etc. consist of elastic thin wires and can look like lashes (Fig. 4) on one end of the mass unit or can form connections between two mass units (Fig. 5). Here also the number of wires is not critical; only one wire is necessary for the principle according to the invention. As shown in Fig. 6 a flexible unit 3 can also be generated by thinning out the mass unit 2 at at least one place to an extent that this place becomes flexible and presents a flexible unit. This principle is applicable to several places on the slider.

In all shown examples the mass unit can consist of several materials and/or can have axial holes according to the purpose of the application. Fig. 7 shows an example where an object 4 is fixed inside one of the mass units 2a. This can be a rod or can serve as a part of a xy-positioner or can be a pike for scratching material or for cutting lines of printed circuit boards etc.

The combination of several of the positioners according to the invention forming complex tools is shown in Figs. 8 to 10. In Fig. 8 one layer of the xy-table mentioned above is shown. Two of the positioners 10a, 10b are fixed parallel in one level. Each of the sliders comprises a rod being the object to be moved 11a, 11b. Each rod extends through its slider to an extent far outside its positioner 10. At the ends of the rods two plates 12a, 12b are fixed which are moved uniformly along the direction of motion of the sliders when the sliders are moved synchronously. Thus according to the invention a positioning table is achieved that has nanometer precision and has a displacement range of mm to cm. With this for example loads of 100 Grams can be moved with velocities of 1 mm per second.

A combination of positioners according to the invention can be used for a scanning probe measuring device and as a tool as shown in Fig. 9. The xy-table 21 consists of two tables (see Fig. 8) 90 degrees rotated put on each other containing four of the positioners



according to the invention. The z-component consists of a fifth positioner according to the invention. Its slider supports the object 11, which can be a tip for scratching, welding or bonding respectively or a sensor for electric current, magnetic fields, light, chemicals, forces etc. or a hose or a glass fiber.

If three positioners according to the invention are combined by flexible connections as shown in Fig. 10 allowing only bending but not stretching nor tossing nor buckling, the object 11 can be positioned in three dimensions.

Rotations can be executed by combining at least two of the positioners 10a and 10b according to the invention as shown in Fig. 11. The one-axis movements of the slider-arms 11a, 11b are transmitted to two points of one or two turntables under a large angular displacement. The angular displacement of the two points avoids that none of the positioners can transmit a force to the rotational motion. The mechanical transmission can follow the known excenter principle used in steam engines.

None of the application examples shown above can be realized with the traditional sliders of the one-axis inertial drives as described in PCT/EP 93/02414 and in DE 38 22 504 A1 or in Review Sci. Instr. 63 (1). Only the properties of the positioner according to the invention supply the necessary robustness.





CLAIMS

1. An Electromechanical positioning unit for positioning a slider (5) down to nanometer scale precision and with positioning displacements up to the centimeter range, said positioning device consisting of at least one preferably tube-shaped piezo electric actuator comprising a slider movable relatively to a sliding surface, said piezo actuator having electrodes for connecting it to variable voltages allowing to electrically control the movement of the slider,

characterized in

that said slider (5) essentially consists of at least one basically flexible deformable bending unit (3) and of at least one compared with the bending unit not flexible and heavy mass unit (2).

2. A positioning unit according to claim 1,

characterized in

that the strength of the frictional force stabilizing the slider (5) with respect to the sliding surface (1) is adjustable by at least one flexible unit (3) in the sense of the function of an inertial drive.

3. A positioning unit according to claim 1 or 2,

characterized in

that at least one of the mass units (2) consists of a body which surface is formed in a way that the size of the area contacting the sliding surface (1) can be chosen by the form of the surface (7) and that the mass unit or units can consist of different materials and/or can have holes.





4. A positioning unit according to at least one of claims 1 to 3,
characterized in
that at least one of the flexible bending units (3) consists of a flexible thin wire.
5. A positioning unit according to at least one of claims 1 to 4,
characterized in
that at least one of the flexible bending units (3) is formed by thinning down of at least
one of the mass units.
6. A positioning unit according to at least one of claims 1 to 5,
characterized in
that an object (4) is fixed to or inside at least one of the sliders (5), which is transported
with the slider.
7. A positioning unit according to at least one of claims 1 to 6,
characterized in
that the slider (5) is fixed on at least one end to a large, heavy object and that relative
motion leads to motion of the piezo actuator with respect to the large object.
8. A positioning device according to at least one of claims 1 to 7,
characterized in
that several of these positioning devices are combined and that objects fixed to these
combined units can be brought piezoelectrically to exactly predetermined positions in
space particularly as xy-table, xyz-stage, tripod, tilting table or rotation element.



SUMMARY

The invention relates to an electromechanical positioning unit formed as an inertial drive to position objects with atomic scale positioning precision and with displacement ranges up to centimeters. The positioning unit contains at least one preferably tube-shaped piezo electric actuator for transmitting electrically controllable inertial driving motions to a slider. The object of the invention is a slider consisting of at least one part of relatively high mass (mass unit) and of at least one flexible deformable part (flexible unit) allowing the frictional forces to be adjustable by bending the flexible parts and the mass part providing high loading capacity of the positioning unit. By combining these two parts it is possible to position heavy objects and to exert forces necessary to drive tools.



9703070-4

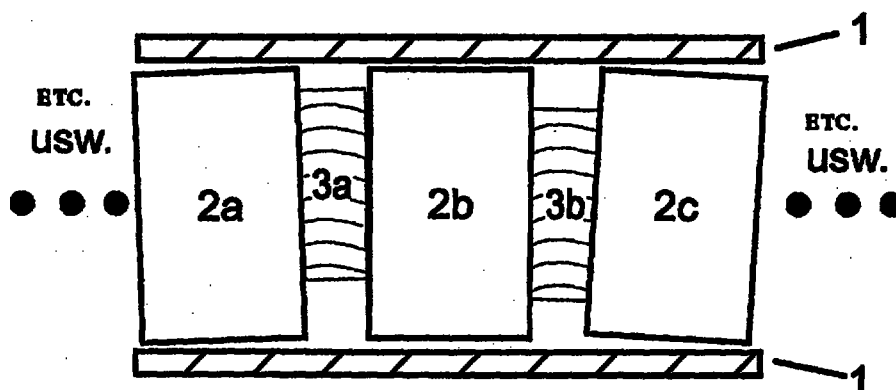
RTMP's
copy

PCT
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation⁶ : B23Q 1/34, B25J 7/00	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 96/14959 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 23. Mai 1996 (23.05.96)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE95/01482 (22) Internationales Anmeldedatum: 21. Oktober 1995 (21.10.95) (30) Prioritätsdaten: P 44 40 758.0 15. November 1994 (15.11.94) ✓ DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): KLOCKE, Volker [DE/DE]; Soerser Weg 37, D-52070 Aachen (DE). (71)(72) Anmelder und Erfinder: KLEINDIEK, Stephan [DE/DE]; Melanchthonstrasse 31, D-72074 Tübingen (DE). (74) Anwalt: VON CREYTZ, D.; Tannenweg 25, D-41844 Wegberg (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: AL, AM, AT, AU, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, HU, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, TJ, TM, TT, UA, UG, US, UZ, VN, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG), ARIPO Patent (KE, LS, MW, SD, SZ, UG). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>	

(54) Title: **ELECTROMECHANICAL POSITIONING UNIT**

(54) Bezeichnung: **ELEKTROMECHANISCHE POSITIONIEREINHEIT**



(57) Abstract

The invention relates to an electromechanical positioning unit as an inertial drive to position objects to within an atom and positioning extents in the cm range. The positioning unit comprises at least one preferably tubular piezoelectric actuator to transmit electrically controllable inertial movements to a cursor. The object of the invention is a cursor consisting of at least one unit of high mass (mass unit) and at least one flexible unit (bending unit) so that the strength of the frictional adhesion can be adjusted via the bending unit(s) of the cursor and the mass unit of the cursor ensures that the positioning unit can be heavily loaded. This combination makes it possible for even heavy objects to the positioning by the positioning unit and for considerable forces to be exerted when it is used as a tool.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine elektromechanische Positioniereinheit als Trägheitsantrieb zum Positionieren von Objekten mit bis zu atomarer Positionierpräzision und Positionierstrecken bis in den cm-Bereich. Die Positioniereinheit enthält mindestens einen vorzugsweise rohrförmigen piezoelektrischen Aktuator zum Übertragen von elektrisch kontrollierbaren Trägheitsbewegungen auf einen Läufer. Gegenstand der Erfindung ist ein Läufer, welcher aus mindestens einer Einheit höherer Masse (2a-c) (Masseinheit) und mindestens einer flexibel biegbaren Einheit (3a, b) (Biegeeinheit) besteht, so dass die Stärke der Reibungshaftung über die Biegeeinheit(en) des Läufers justierbar ist und die Masseinheit des Läufers für eine hohe Belastbarkeit der Positioniereinheit sorgt. Durch diese Kombination können mit der Positioniereinheit auch schwerere Objekte positioniert werden und für den Einsatz als Werkzeug nötige Kräfte ausgeübt werden.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	GA	Gabon	MR	Mauretanien
AU	Australien	GB	Vereinigtes Königreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GE	Georgien	NE	Niger
BE	Belgien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	IE	Irland	PL	Polen
BR	Brasilien	IT	Italien	PT	Portugal
BY	Belarus	JP	Japan	RO	Rumänien
CA	Kanada	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	KZ	Kasachstan	SK	Slowakei
CM	Kamerun	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CN	China	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
ES	Spanien	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	ML	Mali	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MN	Mongolei	VN	Vietnam

9703070-4

"Elektromechanische Positioniereinheit"

Beschreibung:

Die Erfindung betrifft eine elektromechanische Positioniereinheit gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1. Sie betrifft insbesondere eine Positioniereinheit als Trägheitsantrieb mit mindestens einem, vorzugsweise rohrförmigen, piezoelektrischen Aktuator mit beweglichem Läufer. Der Aktuator besitzt Elektroden zum Anschluß an variable Spannungen mit deren Hilfe der Läufer elektrisch kontrollierbar zu bewegen ist. Gegebenenfalls soll sich der Läufer an oder in diesem Piezo-Aktuator in Richtung der Piezobewegungen entlang einer vorzugsweise rohrförmigen Reibungsoberfläche bewegen.

Positioniereinheiten dieser Art mit Nanometer-Präzision, die aktiviert durch Piezo-Aktuatoren auf dem Prinzip des Trägheitsantriebs beruhen, werden mit bis zu atomarer Auflösung als Positionierer, Analysegerät (z.B. Rastersondenmikroskop) und Werkzeug in der Mikro- und Nanotechnologie eingesetzt. Bei diesen Trägheitsantrieben wird die Verschiebung eines Läufers relativ zu der Reibungsoberfläche dadurch erreicht, daß bei starker Beschleunigung der Reibungsoberfläche die Trägheitskraft des Läufers größer wird als die Haftreibungskraft, so daß der Läufer der Bewegung der Reibungsoberfläche nicht mehr folgt.

Eine besonders kompakte Form der Positioniereinheit bilden die einachsigen Trägheitsantriebe, wie sie in DE 38 22 504 A1, in PCT/EP 93/02414 und in Review Sci. Instr. 63 (1) (Jan. 1992, Seiten 263/264) beschrieben werden. Hiernach wird mit Hilfe eines oder mehrerer Piezo-Aktuatoren eine Reibungsoberfläche schnell und langsam bewegt. Diese Reibungsoberfläche umschließt einigermaßen gleichmäßig, insbesondere rohrförmig, den Läufer.

In DE 38 22 504 A1 wird ein Mikromanipulator mit mehreren Läufern, die das jeweilige Objekt zugleich stützen und bewegen sollen, beschrieben. Die Läufer mit den daran anschließenden, das Objekt unmittelbar aufnehmenden Auflageköpfen sollen piezoelektrisch in einer rohrförmigen Reibungsoberfläche verstellbar sein. Die Haftreibung dieser Läufer, die im Bekannten eine massive, zylinder-stempelartige Form besitzen und flexibel biegbare Elemente nicht aufweisen, läßt sich jedoch nicht justieren.

Der in der Positioniereinheit nach PCT/EP 93/02414 beschriebene Läufer ("low-mass support means") hat eine draht-ähnliche Form und ist über diese flexibel biegbare Form in der Stärke seiner Reibungshaftung in geringen Grenzen justierbar, das heißt nur in einem engen Verbiegungsbereich läßt sich eine sinnvolle Reibungshaftung einstellen. Diese Läuferform erlaubt nur dann eine Trägheitsantriebs- Bewegung, wenn die Reibungshaftung sehr klein ist. Daher lassen sich im Bekannten eine Meßspitze, z.B. die Spitze eines Rastertunnelmikroskops, nicht jedoch schwerere Objekte, bewegen. Auch können mit diesem Läufer nur extrem geringe Kräfte ausgeübt werden, da diese Kräfte limitiert werden durch die Stärke der Haftreibung.

Weiterhin sind die auf den Läufer nach PCT/EP93/02414 auszuübenden Kräfte auch beschränkt durch die Leistungsgrenze des Piezo-Aktuators. Der Übergang von der Haftung zum Gleiten hängt - neben den durch die verwendeten Oberflächen festgelegten unterschiedlichen Reibungskoeffizienten - wesentlich von der Stärke der über mindestens einen Piezo-Aktuator auf die Reibungs-Oberfläche übertragenen Pulsform und der Masse des Läufers ab. Da Piezo-Aktuatoren bei Anlegen von hohen Spannungen (ab ca. einigen 100 Volt) depolarisieren und dann keine Ausdehnungsbewegungen mehr vollziehen, ist der Einspeisung von Energie in den Trägheitsantrieb eine Obergrenze gesetzt.

In der Zeitschrift "Review Sci. Instr." 63 (1), Jan. 1992, Seiten 263/264, wird ein Läufer beschrieben, der aus den beiden Hälften eines längsgeteilten Zylinderstabs besteht, wobei

die beiden Zylinderhälften in einem als Rohr ausgebildeten Piezo-Aktuator durch Reibungskräfte gehalten werden sollen. Zu diesem Zweck wird zwischen die beiden Zylinderhälften eine Feder eingesetzt, deren Federkraft gerade so groß ist, daß die den Läufer bildenden Zylinderteile nicht aus dem Rohr herausfallen und trotzdem durch Piezo-Kräfte in Längsrichtung des Rohrs zu bewegen sind. Im Bekannten ist es also außerordentlich schwierig, die Feder mechanisch so zu justieren, daß die Läuferhälften gerade durch Piezo-Kräfte in Längsrichtung des Rohrs zu bewegen sind. Der mechanische Aufbau des Läufers mit zwei Zylinderhälften und dazwischen liegenden diffizil zu justierenden mechanischen Federn ist so kompliziert, daß lichte Weiten für den Piezo-Aktuator von 19 bis 20 mm in der Praxis kaum zu unterschreiten sind. Durch die Größe der ganzen Vorrichtung wird diese gegenüber äußeren mechanischen Störungen, wie Trittschall, so empfindlich, daß ein Positionieren von Objekten bis zu atomarer Präzision normalerweise, das heißt z.B. ohne besondere Schwingungsdämpfersysteme, ausgeschlossen ist.

Ein praktischer Einsatz als Positioniereinheit setzt aber voraus, daß der Antrieb fehlertolerant gegen Variationen der Reibungshaftung ist, welche z.B. durch Alterung, Staub, Korrosion des Läufers, Änderung der Federkonstante, usw. auftritt. Diese Fehlertoleranz ist bei der Einheit nach der Zeitschrift Review Sci. Instr. 63 (1) nicht gegeben. In dieser Veröffentlichung konnte eine Bewegung des Läufers gegen die Schwerkraft nur erfolgen, wenn die "Piezoelectric ceramics" mit hohen Spannungen größer 50 Volt betrieben wurden. Ein Einsatz gegen größere Kräfte als die Schwerkraft ist damit ausgeschlossen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Nachteile obiger Läuferformen zu beseitigen und dadurch einen einachsigen Trägheitsantrieb zu ermöglichen, der in seinem Vorschub pro Antriebspuls mit bequem einzuhaltender Toleranz justierbar ist, größere Lasten bewegen kann und hohe Kräfte auf Objekte ausüben bzw. übertragen kann sowie ohne Abschirmung gegenüber üblichen mechanischen Störungen, das heißt im normalen Labor, Zentimeter-(cm)-Bewegungen mit Nanometer-(nm)-Genauigkeit aus-

führen kann. Schließlich soll für den Positionierer auch die Leistungsbegrenzung überwunden werden, die sich aus der Obergrenze für die Einspeisung von Energie in den Trägheitsantrieb ergibt. Die erfindungsgemäße Lösung wird im Patentanspruch 1 angegeben. Verbesserungen und weitere Ausgestaltungen der Erfindung werden in den übrigen Ansprüchen beschrieben.

Der erfindungsgemäße Läufer ist einteilig, das bedeutet die ihn bildenden Masse- und Biegeeinheiten erscheinen im Ergebnis zu einem Körper zusammengefügt. Die einzelnen Masseneinheiten und die einzelnen Biegeeinheiten können jedoch getrennt und unabhängig voneinander hergestellt sein. Bevorzugt ist auch eine Herstellung von vornherein bereits aus einem einzigen Körper.

Mit Hilfe von mindestens einer der flexibel biegbaren Einheiten kann der Andruck des Läufers an die Reibungsoberfläche durch vorspannendes Verbiegen schnell justiert werden. Dadurch kann die Stärke der Haftreibung in einem großen Bereich variiert werden.

Der erfindungsgemäße einteilige Läufer umfaßt mindestens eine in erster Linie flexible verformbare Biegeeinheit und mindestens eine in erster Linie schwere Masseeinheit. Theoretisch könnte die Biegeeinheit auch schwer sein, wenn sie trotzdem relativ zur Masseeinheit flexibel auszubilden wäre, oder theoretisch könnte die Masseeinheit auch flexibel sein, wenn sie trotzdem relativ zur Biegeeinheit schwer wäre. Bei den bekannten festen Stoffen schließen sich jedoch Extremwerte von Masse und Flexibilität gegenseitig aus.

Wie gesagt, ist bei Piezo-Aktuatoren der Einspeisung von Energie in den Trägheitsantrieb eine Obergrenze gesetzt. Auch diesem Problem wird erfindungsgemäß durch die in den Läufer einteilig integrierte Masseeinheit begegnet, so daß trotz der Obergrenze der (sinnvollen) Energieaufnahme ein in der Wirkung leistungsstarker Piezo-Antrieb erhalten wird. Durch die Erfindung wird also der Wirkungsgrad des Piezo-Aktuators - im Prin-

zip - deutlich verbessert. So kann bei passend gewählter elektrischer Pulsform eine hohe Läufermasse synchron zur Piezobewegung beschleunigt werden, die aufgrund ihrer hohen Trägheit bei schneller Änderung der Piezobewegung auch dann noch in das Gleiten übergeht, wenn die Haftreibung mit Hilfe der flexiblen Biegeeinheit sehr stark eingestellt wurde.

Die hohe Trägheitsmasse und die hoch einstellbare Haftreibung haben gemeinsam mehrere Vorteile zur Folge:

- a. Mit dem erfindungsgemäßen Läufer lassen sich auch Objekte höherer Masse transportieren.
- b. Die mit dem erfindungsgemäßen Positionierer ausübbarer Kräfte sind bei stark eingestellter Haftreibung sehr hoch.
- c. Durch diese Robustheit funktioniert der erfindungsgemäße Positionierer in einem weiten Verbiegungsbereich der flexiblen Biegeeinheit des Läufers, das heißt die Läuferjustage ist extrem fehlertolerant und unempfindlich gegen Änderungen im Betrieb (Verschmutzung, Feuchtigkeit, Korrosion, usw.), welche wie eine Änderung der Haftreibung des Läufers wirken.
- d. Für die Bewegung des erfindungsgemäßen Läufers genügt das Anlegen von kleinen Spannungen in der Größenordnung ± 10 Volt an den/die Piezo Aktuator(en), so daß im Gegensatz zu vielen herkömmlichen Trägheitsantrieben keine Hochspannung zum Betrieb notwendig ist, was die Handhabung erheblich erleichtert.
- e. Weiterer Vorteil der Erfindung ist die Möglichkeit, durch die Justage des Andrucks über die flexible Biegeeinheit des Läufers an die Reibungsoberfläche die Strecke der Relativbewegung zwischen Läufer und Piezo-Aktuator pro angelegter elektrischer Impulsform einzustellen. Damit kann insbesondere die Strecke der Relativbewegung kleiner gehalten werden als der Stellbereich des Piezo-Aktuators, so daß auch bei großen Verstellbereichen im mm- bis cm-Bereich jede Position mit bis zu atomarer Genauigkeit erreicht werden kann.

- f. Durch die Robustheit des erfindungsgemäßen Positionierers bewegt sich der Läufer gleichmäßig und reproduzierbar mit Geschwindigkeiten bis in die Größenordnung Millimeter pro Sekunde.

Die Stärke der Reibung zwischen der Reibungsoberfläche und dem Läufer hängt neben den oben genannten Mechanismen auch von der Größe und Beschaffenheit der Läufer-Kontaktfläche ab. Dieser Parameter ist bei der Fertigung wählbar und bleibt dann eine Konstante, die den Justagebereich für die flexible Biegeeinheit des Läufers festlegt. Erreichbar ist dies, wenn mindestens eine der Masseeinheiten aus einem Körper mit derartig geformter Oberfläche besteht, daß die Größe der an der Reibungsoberfläche anliegenden Fläche durch diese Oberflächenform wählbar ist und/oder daß der oder die Masseeinheiten aus unterschiedlichen Materialien bestehen und Löcher enthalten können.

Die Anforderungen, die an die flexible Biegeeinheit des Läufers gestellt werden, erfüllt ein elastisch dünner Draht, wie er für sich allein in PCT/EP 93/02414 vorgeschlagen wird. Ebenso kann eine flexibel biegbare Einheit auch dadurch entstehen, daß eine Masseinheit an mindestens einer Stelle so weit ausgedünnt wird, daß an dieser Stelle eine Biegsamkeit entsteht, die einer gesonderten flexiblen Biegeeinheit entspricht. Diese Konstruktion hat den Vorteil, daß die Fertigung in einem Stück möglich ist und Nahtstellen zwischen unterschiedlichen Materialien wegfallen können.

Gemäß noch weiterer Erfindung kann an oder in dem Läufer ein Objekt befestigt werden, welches mit dem Läufer mit transportiert wird. Gegebenenfalls kann dieses Objekt mit der gleichen Positioniergenauigkeit wie der Läufer bewegt werden.

Wird nicht der Piezo-Aktuator-Teil statisch im Raum befestigt, sondern nach einem weiteren Erfindungsgedanken der Läufer, indem man diesen an mindestens einem Ende an einem großen, schweren Objekt befestigt, dann führt die Relativbewegung da-

zu, daß sich in Bezug auf das große Objekt der Piezo-Aktuator bewegt. Dies läßt auch komplexere Konstruktionen zu, die in mehreren Raumrichtungen erfindungsgemäß positionieren können.

Aufgrund der oben beschriebenen großen Kraftreserven des erfindungsgemäßen Läufers können durch Kombination mehrerer dieser Positioniereinheiten und durch Befestigung von Objekten an ihren Läufern komplexe Positionierungen in mehreren Raumrichtungen erfolgen, insbesondere als xy-Tisch, xyz-Stand, Dreibein, Kipptisch oder Rotationselement.

Die Erfindung betrifft eine elektromechanische Positioniereinheit als Trägheitsantrieb zum Positionieren von Objekten mit bis zu atomarer Positionierpräzision und mit Positionierstrecken bis in den cm-Bereich. Die Positioniereinheit enthält mindestens einen vorzugsweise rohrförmigen piezoelektrischen Aktuator mit Elektroden zum Anschluß an variable Spannungen zum Erzeugen von elektrisch kontrollierbaren Trägheitsbewegungen auf einen Läufer, welcher sich vorzugsweise an oder in diesem(n) Piezo-Aktuator(en) in Richtung der Piezobewegungen entlang einer bevorzugt rohrförmigen Reibungsoberfläche bewegen kann. Die Relativbewegung zwischen Läufer und Piezo-Aktuator entsteht dadurch, daß der Läufer relativ schnellen Bewegungen der Reibungsoberfläche nicht folgt, wohl aber relativ langsamen Bewegungen dieser Reibungsoberfläche. Gegenstand der Erfindung ist ein Läufer, welcher aus mindestens einer Einheit höherer Masse (Masseeinheit) und mindestens einer flexibel verformbaren Einheit (Biegeeinheit) besteht, so daß die Stärke der Reibungshaftung über die flexible Biegeeinheit des Läufers justierbar ist und die Masseinheit des Läufers für eine hohe Belastbarkeit der Positioniereinheit sorgt. Durch diese Kombination können mit der Positioniereinheit auch schwerere Objekte positioniert werden und für den Einsatz als Werkzeug nötige Kräfte ausgeübt werden.

Anhand der schematischen Darstellung von Ausführungsbeispielen werden weitere Einzelheiten der Erfindung erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 einen Läufer und eine zugehörige Reibungsoberfläche;
- Fig. 2 einen gegenüber Fig. 1 abgewandelten Läufer;
- Fig. 3 einen Läufer mit spezieller Oberfläche;
- Fig. 4
- und 5 verschiedene Formen drahtförmiger Biegeeinheiten;
- Fig. 6 eine aus dem Körper einer Masseeinheit herausgearbeitete Biegeeinheit;
- Fig. 7 eine Masseeinheit mit darin befindlichem Objekt;
- Fig. 8 ein Verschiebetisch mit zum Positionieren;
- Fig. 9 ein xy-Tisch als Kombination von Verschiebetischen nach Fig. 8 mit zugehörigem z-Positionierer;
- Fig. 10 eine Kombination von drei flexibel biegbar und orthogonal zueinander zusammenwirkenden Positionierern; und
- Fig. 11 zum Ausführen von Dreh- bzw. Rotationsbewegungen kombinierte Positionierer.

Eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Läufers zeigt Fig. 1. Die Reibungsoberfläche 1 umfaßt den insgesamt mit 5 bezeichneten Läufer, der in diesem besonderen Fall aus mehreren Masseeinheiten 2a, 2b, 2c, usw. und mehreren flexibel verformbaren Biegeeinheiten 3a, 3b, usw. besteht. Dabei ist die Anzahl der Einheiten nicht entscheidend für das Prinzip, es genügt, wie in Fig. 2 gezeigt, schon je eine Einheit 2, 3. Damit ergibt sich ein großer Gestaltungsfreiraum, der genutzt werden kann, um z.B. in den Läufer 5 Objekte, wie Stromleitungen, Sensoren, Glasfasern oder einen Schlauch, zu integrieren, die dann mit der erfindungsgemäßen Positioniergenauigkeit bewegt werden können.

Die Stärke der Reibung zwischen der Reibungsoberfläche 1 und dem Läufer 5 kann unter anderem auch durch die Größe und Beschaffenheit der Läufer-Oberfläche 7 schon bei der Läufer-Fer-

tigung festgelegt werden. Hierzu wird, wie in Fig. 3 gezeigt, mindestens eine der Masseeinheiten 2 an der Oberfläche 7 so geformt, daß die Größe der an der Reibungsoberfläche 1 anliegenden Fläche durch diese Oberflächenform wählbar ist.

Weitere besondere Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Läufers zeigen Fig. 4 und 5. Dabei bestehen die flexiblen Biegeeinheiten 3a, 3b, usw. aus elastischen dünnen Drähten, die z.B. wie Geißeln (Fig. 4) an einem Ende oder wie Verbindungen zwischen zwei Masseeinheiten (Fig. 5) aussehen können. Auch hier ist die Anzahl der Drähte nicht entscheidend; ein Draht genügt bereits für das erfindungsgemäße Funktionsprinzip. Wie in Fig. 6 gezeigt kann die flexible Biegeeinheit 3 auch dadurch entstehen, daß eine Masseeinheit 2 an mindestens einer Stelle 6 so weit ausgedünnt wird, daß diese Stelle flexibel biegsam wird und die flexible Biegeeinheit darstellt. Auch dieses Prinzip ist mehrfach anwendbar.

Die Masseeinheit kann in allen vorgestellten Beispielen je nach Verwendungszweck aus verschiedenen Materialien bestehen und/oder axiale Löcher enthalten. So zeigt Fig. 7 ein Beispiel, bei dem in einem der Masseeinheiten 2a ein Objekt 4 befestigt ist. Dies kann ein Stab sein und als Teil eines xy-Positioniertisches dienen, oder ein Spieß, mit dem Material gekratzt werden kann, z.B. zum Durchtrennen von Leiterbahnen, usw.

Die Kombinationen mehrerer der erfindungsgemäßen Positionierer zu komplexeren Geräten zeigen die Fig. 8 bis 10. In Fig. 8 ist eine Ebene des oben erwähnten xy-Tischs dargestellt. Hier liegen zwei der erfindungsgemäßen Positionierer 10a, 10 b parallel in einer Ebene. Ihre Läufer enthalten je einen Stab als zu bewegendes Objekt 11a, 11b. Jeder Stab geht durch seinen Läufer hindurch, bis weit außerhalb des jeweiligen Positionierers 10. Auf den Enden dieser beiden Stäbe sind zwei Platten 12a, 12b befestigt, die bei synchroner Bewegung der beiden Positionierer sich gleichförmig entlang der Bewegungsrichtung der Läufer bewegen. So erhält man erfindungsgemäß einen Verschie-

betisch mit Nanometer-Präzision und Bewegungsstrecken im mm-bis cm-Bereich. Dabei können z.B. Lasten größer ca. 100 Gramm mit Geschwindigkeiten bis zu mehr als 1 mm pro Sekunde bewegt werden.

Als Rastersonden-Meßgerät und als Werkzeug einsetzbar ist die in Fig. 9 gezeigte Kombination der erfindungsgemäßen Positionierer. Der xy-Tisch 21 besteht aus zwei um etwa 90 Grad gedreht aufeinanderliegenden Verschiebetischen 20 (nach Fig. 8), also insgesamt aus vier der erfindungsgemäßen Positionierer. Die z-Komponente besteht aus einem fünften erfindungsgemäßen Positionierer 10. Sein Läufer trägt das Objekt 11, bei welchem es sich z.B. um eine Spitze zum Kratzen, Schweißen bzw. Bonden, oder um einen Sensor für elektrischen Strom, Magnetfelder, Licht, Chemikalien, Kräfte usw., oder um einen Schlauch oder eine Glasfaser handeln kann.

Kombiniert man, wie in Fig. 10 gezeigt, drei der erfindungsgemäßen Positionierer 10a, 10b, 10c elastisch über Verbindungen, die nur Biegungen, aber keine Streckung, Stauchung oder Abknickung erlauben, miteinander, so kann ein Objekt 11 dreidimensional im Raum positioniert werden.

Drehbewegungen können durch die Kombination von mindestens zwei der erfindungsgemäßen Positionierer 10a und 10b, wie in Fig. 11 gezeigt, ausgeführt werden. Die beiden einachsigen Bewegungen der Läufer-Arme 11a, 11b werden auf zwei um einen großen Winkel versetzte Stellen einer oder zweier Drehscheiben übertragen. Die Winkelversetzung verhindert Totpunkte, in denen keiner der beiden Positionierer eine Kraft in die Drehbewegung einkoppeln kann. Die mechanische Übersetzung der linearen Bewegung in eine Rotation kann über die bekannte Verwendung des Exzenter-Prinzips erfolgen. Beispiel hierfür ist der Achsenantrieb der Dampflokomotiven.

Keines der oben aufgeführten Anwendungsbeispiele läßt sich mit den herkömmlichen Läufern der einachsigen Trägheitsantriebe, wie in PCT/EP 93/02414 und in DE 38 22 504 A1 bzw. in der

Zeitschrift Review Sci. Instr. 63 (1) beschrieben, realisieren. Erst die Eigenschaften des erfindungsgemäßen Positionierers sorgen für die hierzu nötige Robustheit.



PATENTANSPRÜCHE

1. Elektromechanische Positioniereinheit zum Positionieren eines Läufers (5) mit bis herab zu Nanometer-Positionierpräzision und Positionierstrecken bis herauf in den cm-Bereich, diese Positioniereinheit enthält mindestens einen, vorzugsweise rohrförmigen, piezoelektrischen Aktuator mit relativ zu einer Reibungsoberfläche beweglichem Läufer und mit Elektroden zum Anschluß an variable Spannungen, mit deren Hilfe der Läufer elektrisch kontrollierbar zu bewegen ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Läufer (5) im wesentlichen einteilig aus mindestens einer in erster Linie flexibel verformbaren Biegeeinheit (3) und mindestens einer gegenüber der Biegeeinheit unflexiblen und schweren Masseeinheit (2) besteht.

2. Positioniereinheit nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Stärke der den Läufer (5) in Bezug auf die Reibungsoberfläche (1) stabilisierenden Reibungshaftung über mindestens eine flexible Biegeeinheit (3) im Sinne der Funktion eines Trägheitsantriebs so justierbar ist.

3. Positioniereinheit nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der Masseeinheiten (2) aus einem Körper besteht, dessen Oberfläche so geformt ist, daß die Größe der an der Reibungsoberfläche (1) anliegenden Fläche durch diese Oberflächenform (7) wählbar ist und daß der oder die Masseeinheiten aus verschiedenen Materialien bestehen und/oder Löcher enthalten können.

4. Positioniereinheit nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine der flexiblen Biegeeinheiten (3) aus einem elastischen dünnen Draht besteht.



5. Positioniereinheit nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß mindestens eine der flexiblen Biegeeinheiten (3) durch entsprechende Ausdünnung mindestens einer der Masseeinheiten gebildet ist.

6. Positioniereinheit nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß in oder an wenigstens einem der Läufer (5) mindestens ein Objekt (4) befestigt ist, welches mit dem Läufer mittransportiert wird.

7. Positioniereinheit nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Läufer (5) an mindestens einem Ende an einem großen, schweren Objekt befestigt wird, so daß die Relativbewegung dazu führt, daß sich in Bezug auf das große Objekt der Piezo-Aktuator bewegt.

8. Positioniereinheit nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß mehrere dieser Positioniereinheiten kombiniert sind und daß an den kombinierten Einheiten befestigte Objekte piezoelektrisch an exakt vorbestimmte Raumpositionen, insbesondere als xy-Tisch, xyz-Stand, Dreibein, Kipptisch oder Rotationsselement, zu bringen sind.

1/5

THIS SHEET HAS BEEN
REPLACED

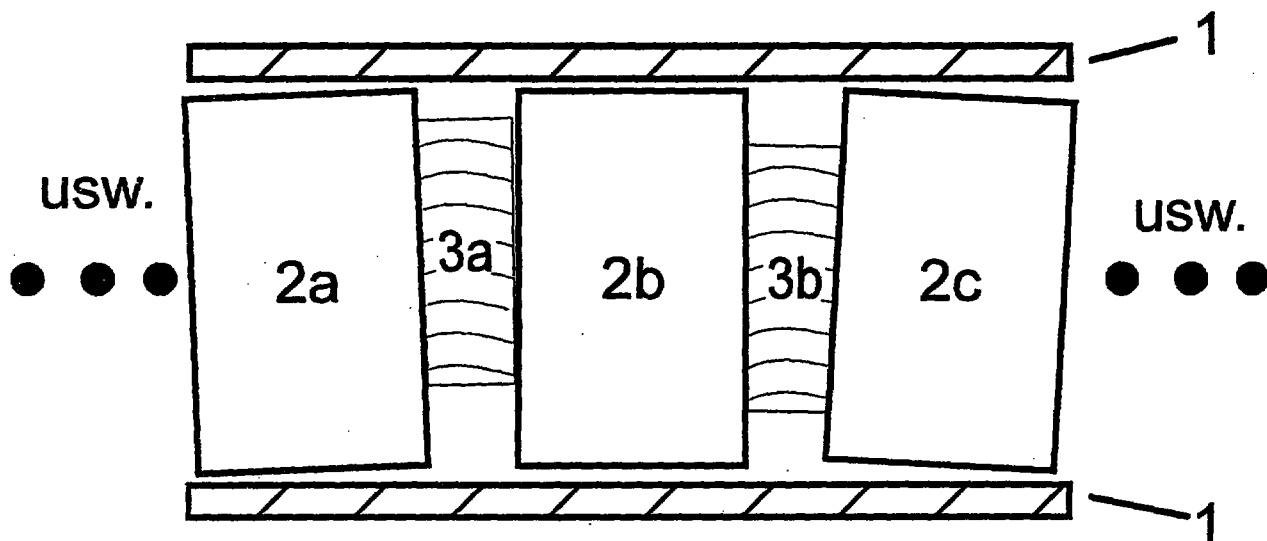


FIG. 1

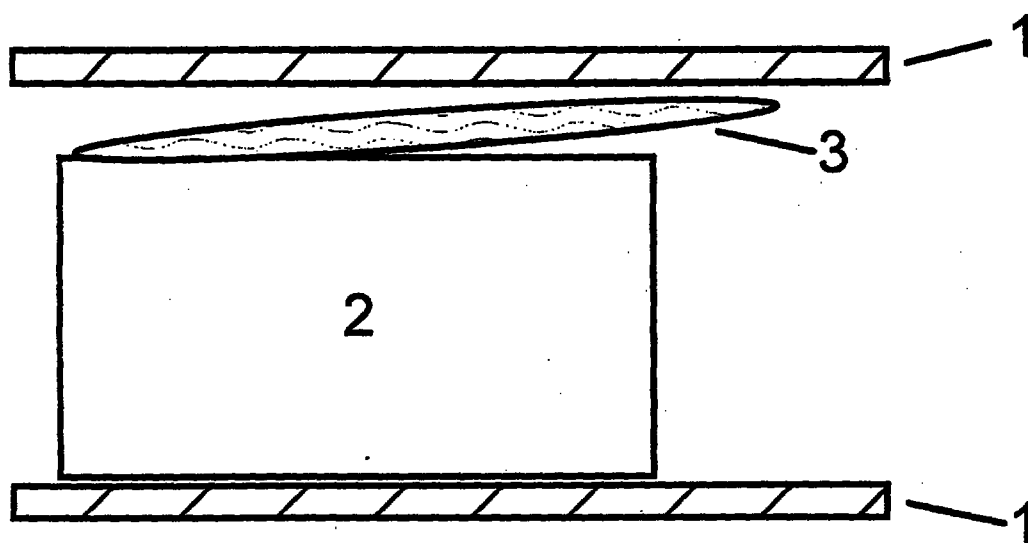


FIG. 2

This Sheet Has Been Replaced



2/5

THIS SHEET HAS BEEN
REPLACED

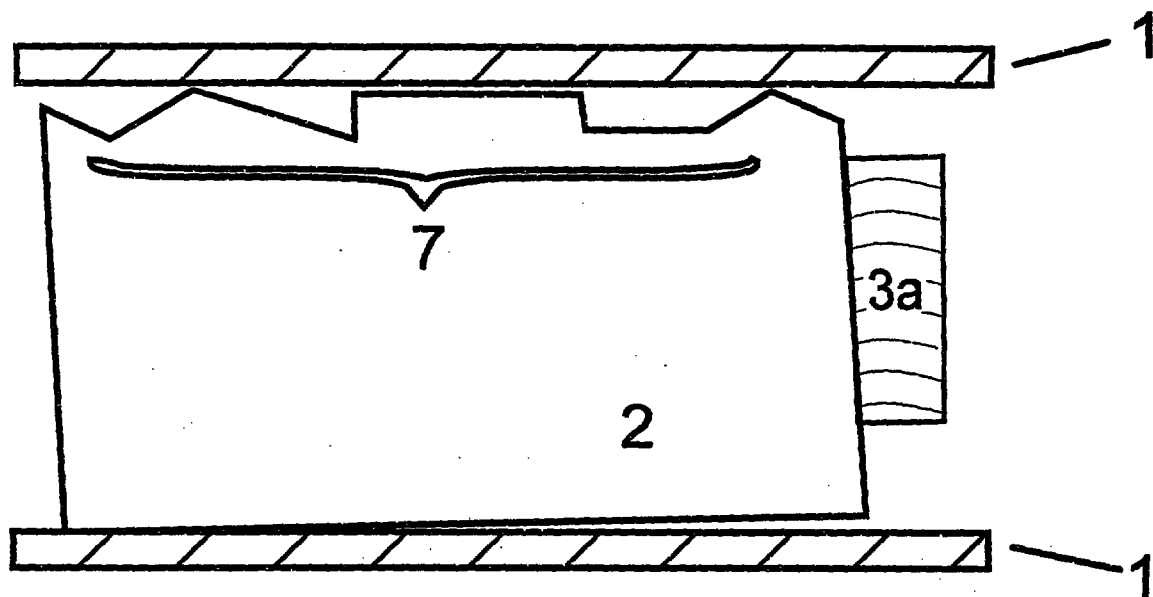


FIG. 3

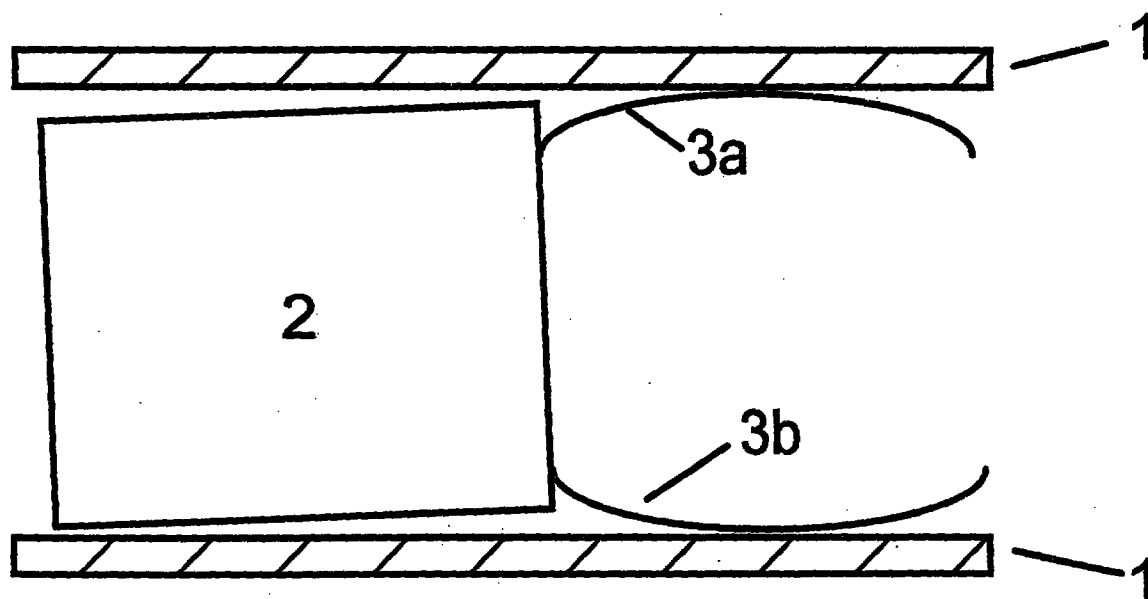


FIG. 4

This Sheet Has Been Replaced



3/5

THIS SHEET HAS BEEN
REPLACED

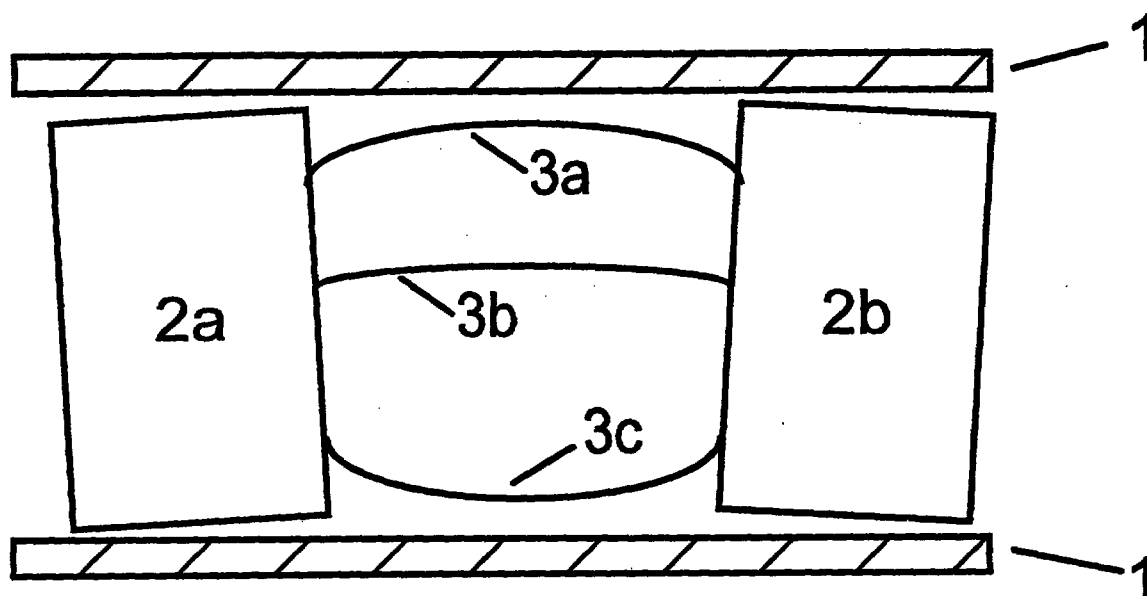


FIG. 5

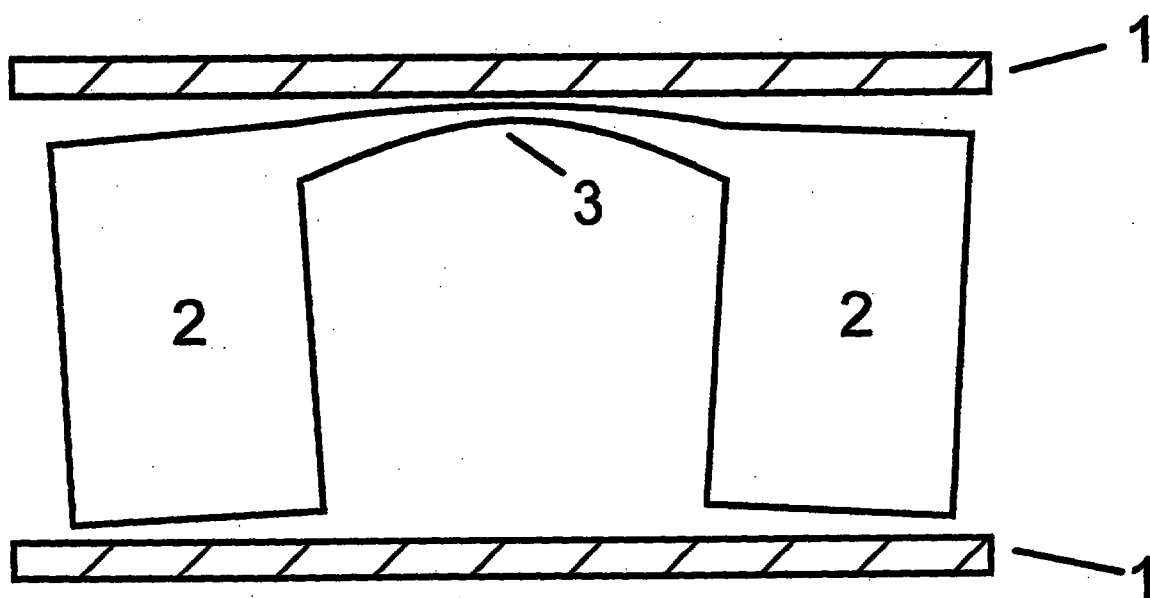


FIG. 6

This Sheet Has Been Replaced



This Sheet Has Been Replaced



4/5

THIS SHEET HAS BEEN
REPLACED

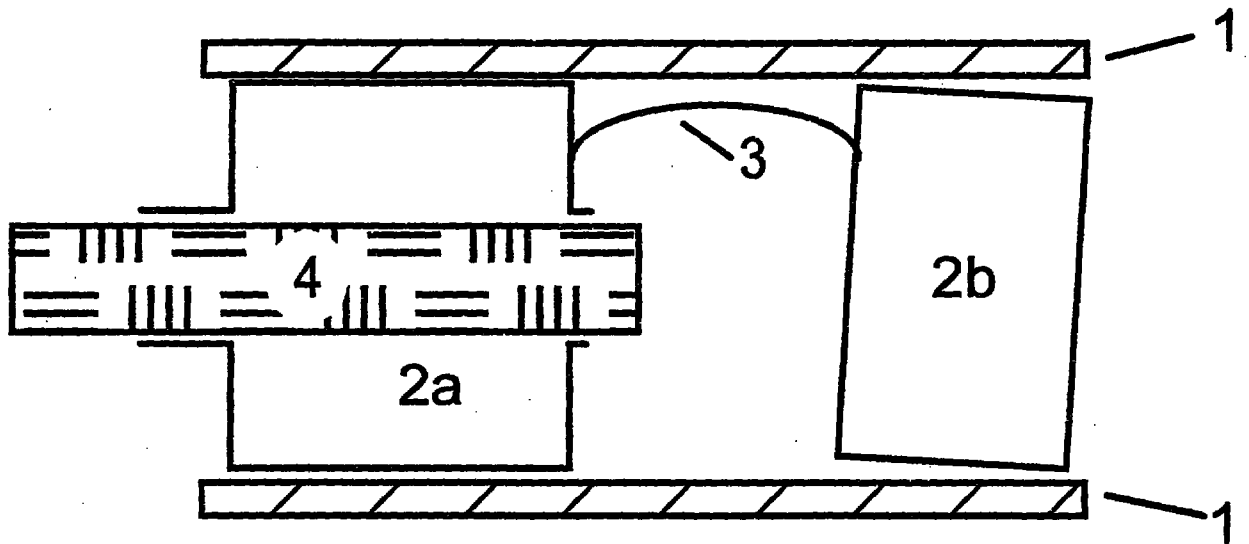


FIG. 7

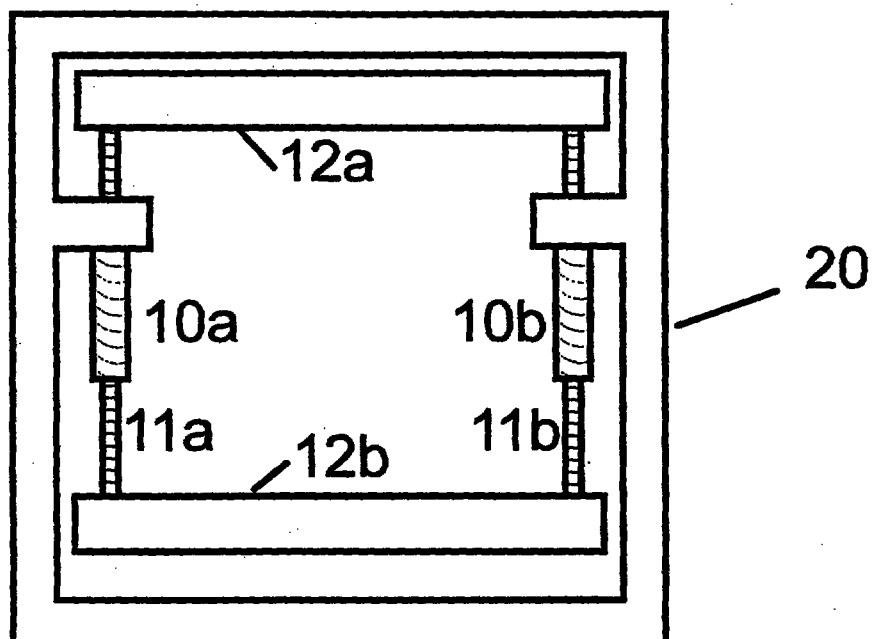


FIG. 8

This Sheet Has Been Replaced

PCT/DE95/01482

5/5

THIS SHEET HAS BEEN
REPLACED

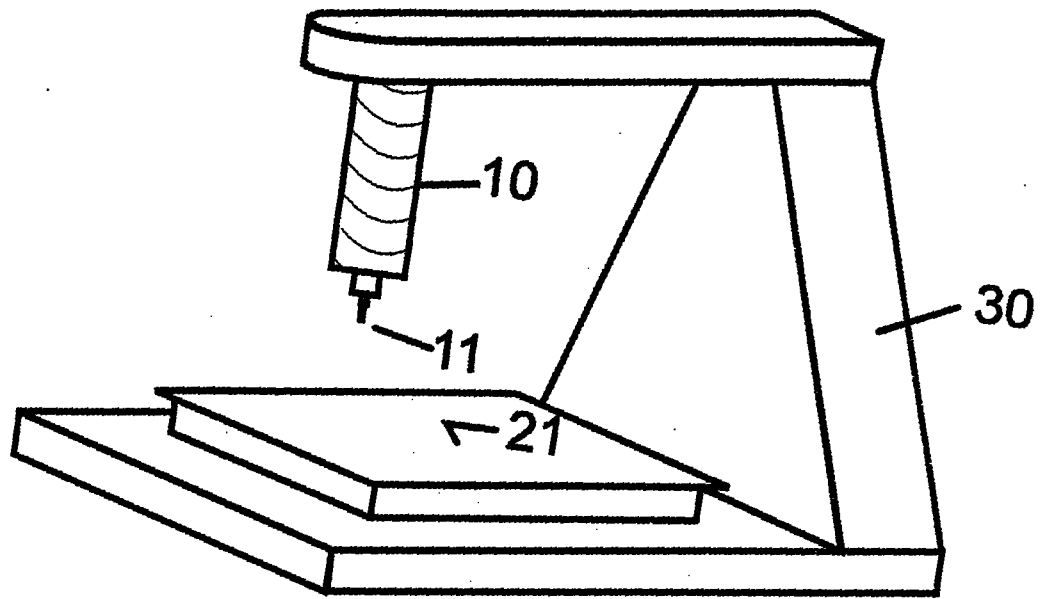


FIG. 9

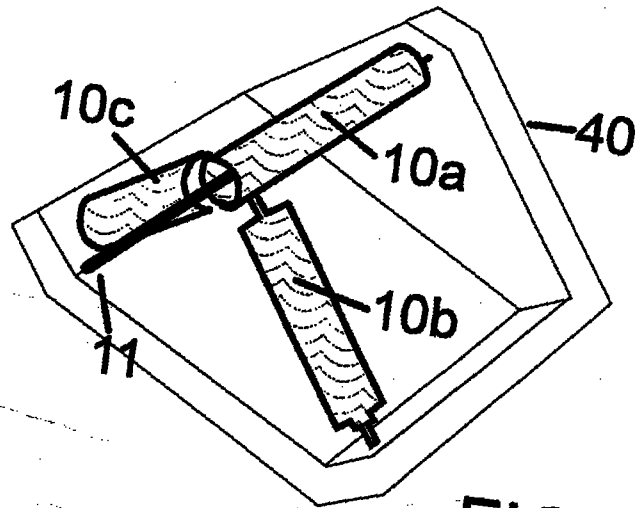


FIG. 10

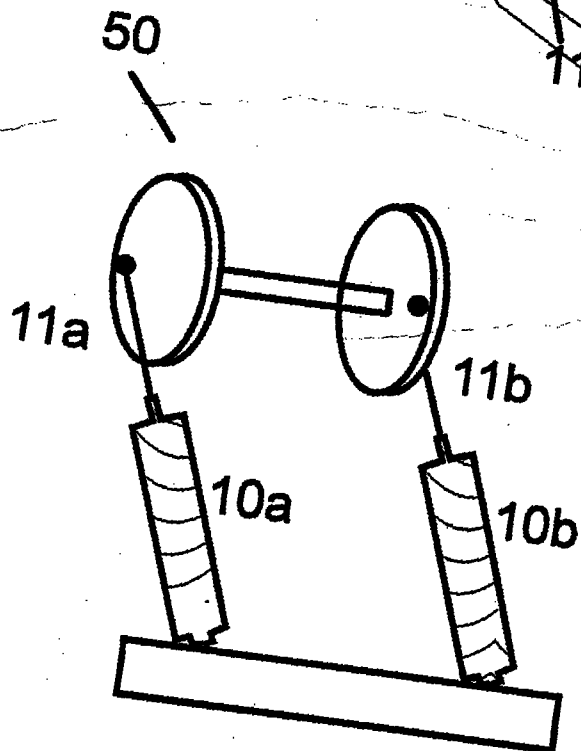


FIG. 11

PCT/DE95/01482

- AT 21.10.1995

WO96/14959

- VT 23.05.1996

"Elektromechanische Positioniereinheit"**Beschreibung:**

Die Erfindung betrifft eine elektromechanische Positioniereinheit gemäß Oberbegriff des Anspruchs 1. Sie betrifft insbesondere eine Positioniereinheit als Trägheitsantrieb mit mindestens einem rohrförmigen, piezoelektrischen Aktuator mit beweglichem Läufer. Der Aktuator besitzt Elektroden zum Anschluß an variable Spannungen mit deren Hilfe der Läufer. Der Aktuator besitzt Elektroden zum Anschluß an variable Spannungen mit deren Hilfe der Läufer elektrisch kontrollierbar zu bewegen ist. Es soll sich der Läufer in diesem Piezo-Aktuator in Richtung der Piezobewegungen entlang einer rohrförmigen Reibungsoberfläche bewegen.

Positioniereinheiten dieser Art mit Nanometer-Präzision, die aktiviert durch Piezo-Aktuatoren auf dem Prinzip des Trägheitsantriebs beruhen, werden mit bis zu atomarer Auflösung als Positionierer, Analysegerät (z.B. Rastersondenmikroskop) und Werkzeug in der Mikro- und Nanotechnologie eingesetzt. Bei diesen Trägheitsantrieben wird die Verschiebung eines Läufers relativ zu der Reibungsoberfläche dadurch erreicht, daß bei starker Beschleunigung der Reibungsoberfläche die Trägheitskraft des Läufers größer wird als die Haftreibungskraft, so daß der Läufer der Bewegung der Reibungsoberfläche nicht mehr folgt.

Eine besonders kompakte Form der Positioniereinheit bilden die einachsigen Trägheitsantriebe, wie sie in DE 38 22 504 A1, in WO-A1-94/06160 und in Review Sci. Instr. 63 (1) (Jan. 1992, Seiten 263/264) beschrieben werden. Hiernach wird mit Hilfe eines oder mehrerer Piezo-Aktuatoren eine Reibungsoberfläche schnell und langsam bewegt. Diese Reibungsoberfläche umschließt einigermaßen gleichmäßig, insbesondere rohrförmig,

den Läufer.

In DE 38 22 504 A1 wird ein Mikromanipulator mit mehreren Läufern, die das jeweilige Objekt zugleich stützen und bewegen sollen, beschrieben. Die Läufer mit den daran anschließenden, das Objekt unmittelbar aufnehmenden Auflageköpfen sollen piezoelektrisch in einer rohrförmigen Reibungsoberfläche verstellbar sein. Die Haftreibung dieser Läufer, die im Bekannten eine massive, zylinder-stempelartige Form besitzen und flexibel biegbare Elemente nicht aufweisen, läßt sich jedoch nicht justieren.

Der in der Positioniereinheit nach WO-A1-94/06160 beschriebene Läufer ("low-mass support means") hat eine draht-ähnliche Form und ist über diese flexibel biegbare Form in der Stärke seiner Reibungshaftung in geringen Grenzen justierbar, das heißt nur in einem engen Verbiegungsbereich läßt sich eine sinnvolle Reibungshaftung einstellen. Diese Läuferform erlaubt nur dann eine Trägheitsantriebs- Bewegung, wenn die Reibungshaftung sehr klein ist. Daher lassen sich im Bekannten eine Meßspitze, z.B. die Spitze eines Rastertunnelmikroskops, nicht jedoch schwerere Objekte, bewegen. Auch können mit diesem Läufer nur extrem geringe Kräfte ausgeübt werden, da diese Kräfte limitiert werden durch die Stärke der Haftreibung.

Weiterhin sind die auf den Läufer nach WO-A1-94/06160 auszuübenden Kräfte auch beschränkt durch die Leistungsgrenze des Piezo-Aktuators. Der Übergang von der Haftung zum Gleiten hängt - neben den durch die verwendeten Oberflächen festgelegten unterschiedlichen Reibungskoeffizienten - wesentlich von der Stärke der über mindestens einen Piezo-Aktuator auf die Reibungs-Oberfläche übertragenen Pulsform und der Masse des Läufers ab. Da Piezo-Aktuatoren bei Anlegen von hohen Spannungen (ab ca. einigen 100 Volt) depolarisieren und dann keine Ausdehnungsbewegungen mehr vollziehen, ist der Einspeisung von Energie in den Trägheitsantrieb eine Obergrenze gesetzt.

In der Zeitschrift "Review Sci. Instr." 63 (1), Jan. 1992,

führen kann. Schließlich soll für den Positionierer auch die Leistungsbegrenzung überwunden werden, die sich aus der Obergrenze für die Einspeisung von Energie in den Trägheitsantrieb ergibt. Die erfindungsgemäße Lösung wird im Patentanspruch 1 angegeben. Verbesserungen und weitere Ausgestaltungen der Erfindung werden in den übrigen Ansprüchen beschrieben.

Der erfindungsgemäße Läufer ist einteilig, das bedeutet die ihn bildenden Masse- und Biegeeinheiten erscheinen im Ergebnis zu einem Körper zusammengefügt. Die einzelnen Masseneinheiten und die einzelnen Biegeeinheiten können jedoch getrennt und unabhängig voneinander hergestellt sein. Bevorzugt ist auch eine Herstellung von vornherein bereits aus einem einzigen Körper.

Mit Hilfe von mindestens einer der flexibel biegbaren Einheiten kann der Andruck des Läufers an die Reibungsoberfläche durch vorspannendes Verbiegen schnell justiert werden. Dadurch kann die Stärke der Haftreibung in einem großen Bereich variiert werden.

Der erfindungsgemäße einteilige Läufer umfaßt mindestens eine flexible verformbare Biegeeinheit und mindestens eine schwere Masseinheit. Theoretisch könnte die Biegeeinheit auch schwer sein, wenn sie trotzdem relativ zur Masseinheit flexibel auszubilden wäre, oder theoretisch könnte die Masseinheit auch flexibel sein, wenn sie trotzdem relativ zur Biegeeinheit schwer wäre. Bei den bekannten festen Stoffen schließen sich jedoch Extremwerte von Masse und Flexibilität gegenseitig aus.

Wie gesagt, ist bei Piezo-Aktuatoren der Einspeisung von Energie in den Trägheitsantrieb eine Obergrenze gesetzt. Auch diesem Problem wird erfindungsgemäß durch die in den Läufer einteilig integrierte Masseinheit begegnet, so daß trotz der Obergrenze der (sinnvollen) Energieaufnahme ein in der Wirkung leistungsstarker Piezo-Antrieb erhalten wird. Durch die Erfindung wird also der Wirkungsgrad des Piezo-Aktuators - im Prin-

zu, daß sich in Bezug auf das große Objekt der Piezo-Aktuator bewegt. Dies läßt auch komplexere Konstruktionen zu, die in mehreren Raumrichtungen erfindungsgemäß positionieren können.

Aufgrund der oben beschriebenen großen Kraftreserven des erfindungsgemäßen Läufers können durch Kombination mehrerer dieser Positioniereinheiten und durch Befestigung von Objekten an ihren Läufern komplexe Positionierungen in mehreren Raumrichtungen erfolgen, insbesondere als xy-Tisch, xyz-Stand, Dreibein, Kipptisch oder Rotationselement.

Die Erfindung betrifft eine elektromechanische Positioniereinheit als Trägheitsantrieb zum Positionieren von Objekten mit bis zu atomarer Positionierpräzision und mit Positionierstrecken bis in den cm-Bereich. Die Positioniereinheit enthält mindestens einen rohrförmigen piezoelektrischen Aktuator mit Elektroden zum Anschluß an variable Spannungen zum Erzeugen von elektrisch kontrollierbaren Trägheitsbewegungen auf einen Läufer, welcher sich in diesem(n) Piezo-Aktuator(en) in Richtung der Piezobewegungen entlang einer rohrförmigen Reibungsoberfläche bewegen kann. Die Relativbewegung zwischen Läufer und Piezo-Aktuator entsteht dadurch, daß der Läufer relativ schnellen Bewegungen der Reibungsoberfläche nicht folgt, wohl aber relativ langsamen Bewegungen dieser Reibungsoberfläche. Gegenstand der Erfindung ist ein Läufer, welcher aus mindestens einer Einheit höherer Masse (Masseeinheit) und mindestens einer flexibel verformbaren Einheit (Biegeeinheit) besteht, so daß die Stärke der Reibungshaftung über die flexible Biegeeinheit des Läufers justierbar ist und die Masseinheit des Läufers für eine hohe Belastbarkeit der Positioniereinheit sorgt. Durch diese Kombination können mit der Positioniereinheit auch schwerere Objekte positioniert werden und für den Einsatz als Werkzeug nötige Kräfte ausgeübt werden.

GEÄNDERTES BLATT



PCT/DE95/01482

WO96/14959

Patentansprüche:

1. Elektromechanische Positioniereinheit als Trägheitsantrieb zum Positionieren eines flexiblen Läufers (5) mit bis herab zu Nanometer-Positionierpräzision und Positionierstrecken bis herauf in den cm-Bereich, wobei der Läufer (5) mit Friktionskontakt beweglich entlang einer rohrförmigen Reibungsoberfläche (1) in einem rohrförmigen piezoelektrischen Aktuator angeordnet ist und der Aktuator Elektroden zum Anschluß an variable Spannungen besitzt, mit deren Hilfe der Läufer (5) elektrisch kontrollierbar zu bewegen ist,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

daß in den mindestens eine flexibel verformbare Biegeeinheit (3) aufweisenden Läufer (5) mindestens eine gegenüber der Biegeeinheit (3) unflexible und schwere Einheit (2) höherer Masse - Masseinheit - integriert ist.

2. Positioniereinheit nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

daß die Stärke der den Läufer (5) in Bezug auf die Reibungsoberfläche (1) stabilisierenden Reibungshaftung über mindestens eine flexible Biegeeinheit (3) im Sinne der Funktion eines Trägheitsantriebs justierbar ist.

3. Positioniereinheit nach Anspruch 1 oder 2,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

daß mindestens eine der Masseinheiten (2) aus einem Körper besteht, dessen Oberfläche so geformt ist, daß die Größe der an der Reibungsoberfläche (1) anliegenden Fläche durch diese Oberflächenform (7) wählbar ist und daß die Masseinheit aus verschiedenen Materialien bestehen und/oder Löcher enthält.

GEÄNDERTES BLATT



4. Positioniereinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß mindestens eine der flexiblen Biegeeinheiten (3) aus einem elastischen dünnen Draht besteht.
5. Positioniereinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß mindestens eine der flexiblen Biegeeinheiten (3) durch entsprechende Ausdünnung mindestens einer der Masseeinheiten gebildet ist.
6. Positioniereinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß in oder an wenigstens einem der Läufer (5) mindestens ein Objekt (4) befestigt ist, welches mit dem Läufer mittransportiert wird.
7. Positioniereinheit nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß der Läufer (5) an mindestens einem Ende an einem großen, schweren Objekt befestigt ist, so daß die Relativbewegung dazu führt, daß sich in Bezug auf das große Objekt der Piezo-Aktuator bewegt.
8. Positioniereinrichtung, insbesondere als xy-Tisch, xyz-Stand, Dreibein, Kipptisch oder Rotationselement,
dadurch gekennzeichnet,
daß mehrere Positioniereinheiten nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 7 kombiniert sind, so daß an den kombinierten Einheiten befestigte Objekte piezoelektrisch an exakt vorbestimmte Raumpositionen, bringbar sind.

GEÄNDERTES BLATT

2/5

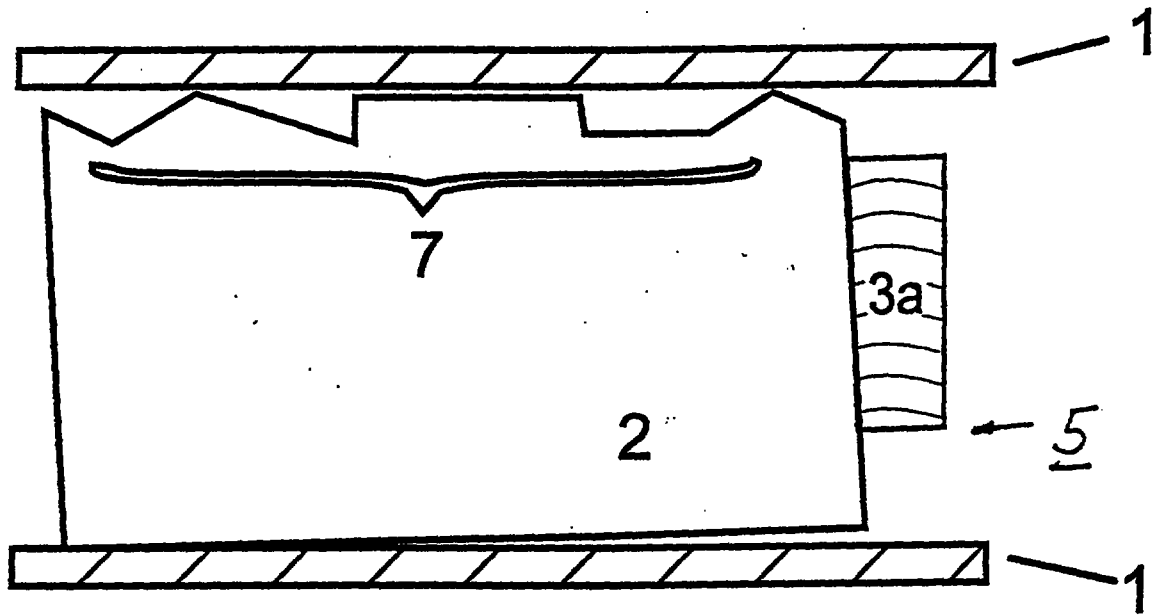


FIG. 3

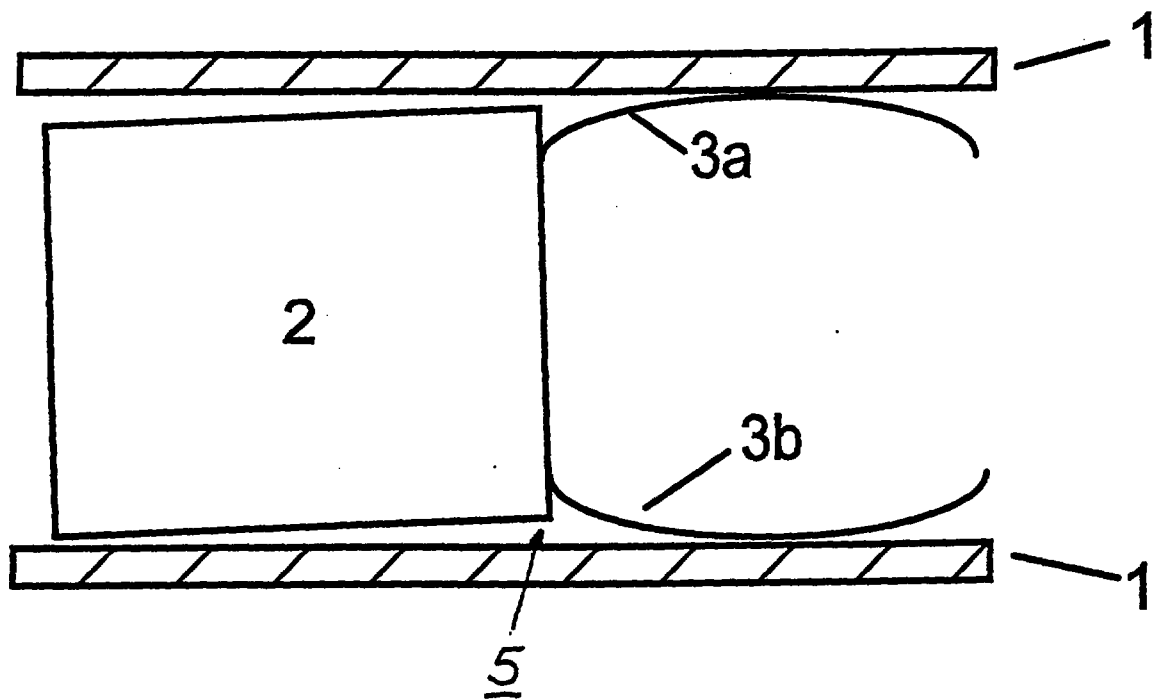


FIG. 4

GEÄNDERTES BLATT

3/5

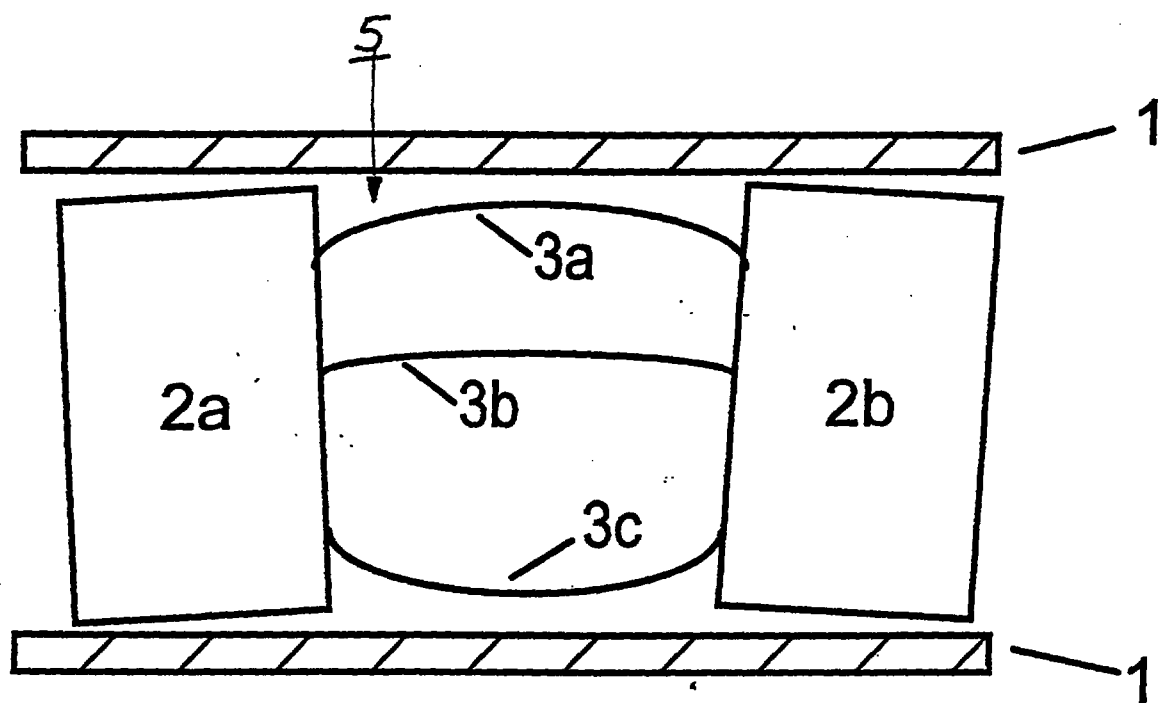


FIG. 5

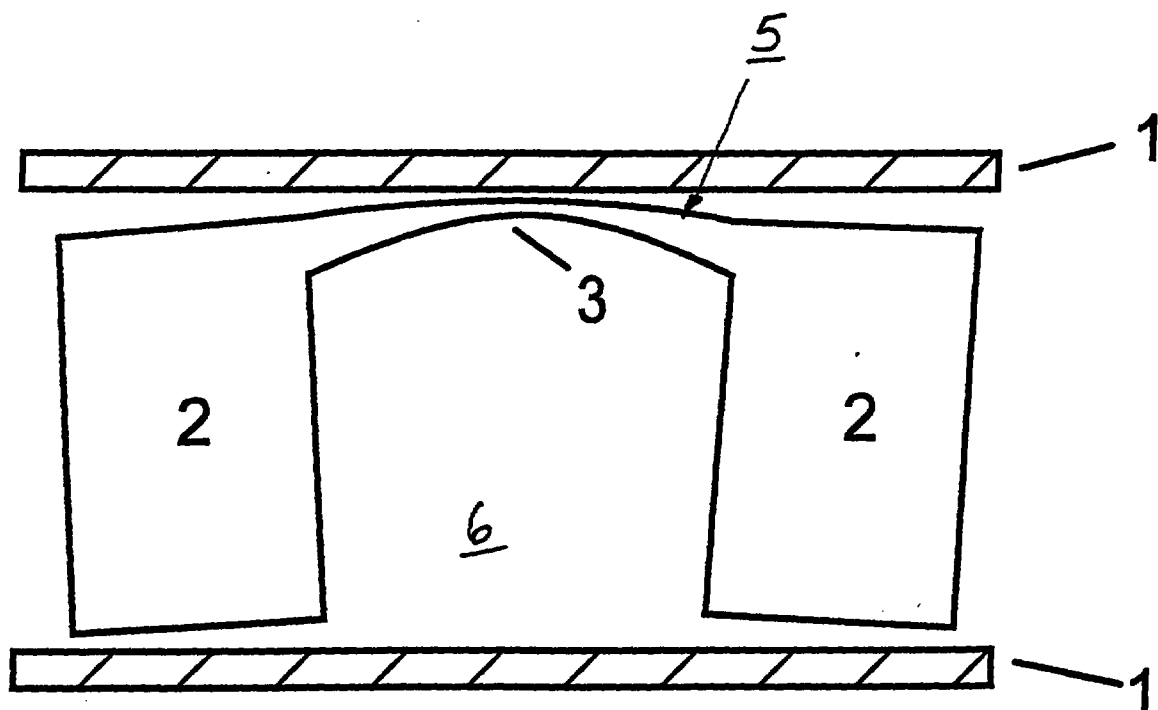


FIG. 6

4/5

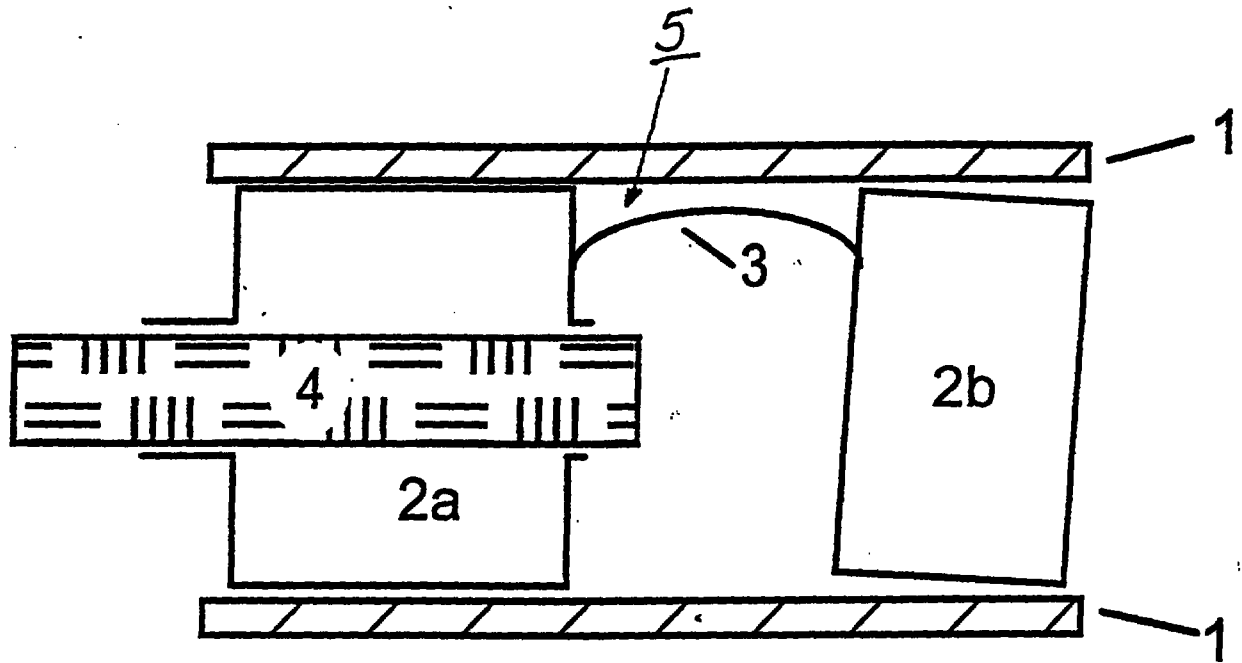


FIG. 7

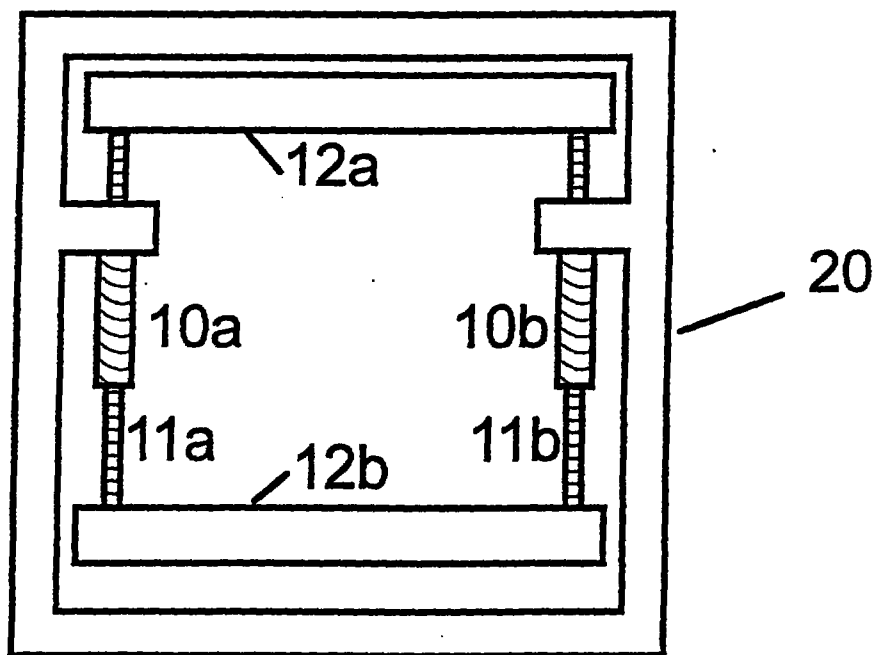


FIG. 8

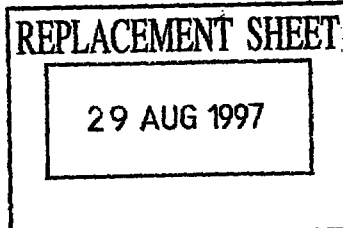
Description:

The invention relates to an electromechanical positioning unit according to the generic term in claim 1. It particularly concerns a positioning unit formed as an inertial driving mechanism with at least one tube-shaped piezoelectric actuator with a movable slider. The actuator has electrodes for connecting it to variable voltages for electrically controlling its motion. The slider is to be moved inside this piezo actuator in the direction of the piezo movements along a tube-shaped sliding surface.

Positioning units of this kind with nanometer precision, activated by piezo actuators based on the principle of inertial driving, are used as positioners with atomic resolution, analysis tools (e.g. scanning tunneling microscope) and tools in micro- and nano-technology. In these inertial drives the displacement of a slider relative to a sliding surface is achieved by high acceleration of the sliding surface so that the inertial force of the slider exceeds the frictional force and the slider can not follow the motion of the sliding surface.

Especially compact forms of the positioning unit are the one-axis inertial drives as described in DE 38 22 504 A1, in WO-A1-94/06160 and in Review Sci. Instr. 63 (1) (Jan. 1992, pages 263/264). According to these articles one or several piezo actuators move a sliding surface fast and slowly. This particularly tube-shaped sliding surface symmetrically surrounds the slider.

In DE 38 22 504 A1 a micromanipulator with several sliders supporting and moving an object is described. The sliders with support heads directly supporting the object are to be moved piezo-electrically inside a tube-shaped sliding surface. However, the frictional force of these sliders having the shape of a cylinder-bolt and not having any flexible

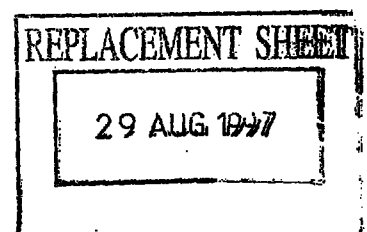


elements are not adjustable.

The slider of the positioning unit described in WO-A1-94/06160 ("low-mass support means") is wire-shaped and its frictional force is adjustable by its flexible bendable shape but limited to small variations of the bending. That means only a small bending range is allowed to create a reasonable frictional force. This form of the slider allows inertial driving only if the frictional force is very small. Thus a tip, e.g. the tip of a scanning tunneling microscope, can be moved but not heavy objects. The slider can only exert extremely small forces because these forces are limited to the strength of the frictional force.

Furthermore the forces that can be exerted to the slider in WO-A1-94/06160 are limited by the power capacity of the piezo actuator. The transition from adhesion to sliding strongly depends on the shape of the impulse transmitted from at least one of the piezo actuators to the sliding surface and depends on the mass of the slider. It is also depending on the coefficients of friction of the different materials involved. The piezo actuators depolarize if the applied voltages exceed say a few 100 Volts and after that can not move any more thus limiting the transmission of power into the inertial drive.

In "Review Sci. Instr." 63 (1), Jan. 1992, pages 263/264, a slider made of two halves of a cylinder cut along its axis is described, both cylinder halves hold inside a tube-shaped piezo actuator by frictional forces. For this purpose a spring is introduced between the two halves protecting them from falling out of the tube but allowing the two halves to be moved by piezo forces along the axis of the tube. From this it is known that it is extremely difficult to adjust the spring mechanically so that the two halves of the slider can be moved by piezo forces along the axis of the tube. The mechanical construction of the slider with the two halves of the cylinder and the spring, that is difficult to adjust, is so complicated that the diameter of the piezo actuator can not be less than 19 mm to 20 mm practically. The bulkiness of the whole construction makes it sensitive for

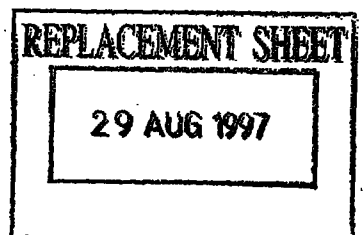


mechanical disturbance from outside like acoustic waves from walking steps making the positioning with atomic precision impossible normally without special vibration isolation systems.

The practical application of a positioning unit affords that the drive is tolerant against variations of the frictional forces arising from aging, dust, corrosion of the slider, change of the spring constant etc. This tolerance is not given by the unit in Review Sci. Instr. 63 (1). In this article the motion of the slider against gravity could only be achieved by driving the "Piezoelectric ceramics" with voltages exceeding 50 volts. Operation against forces larger than gravity is not possible; particularly the unit can lift nothing by itself except the slider.

According to the above mentioned Review Sci. Instrum. 63 (1) the slider-mass consists of two cylinder halves that are pressed against the friction tube wall with the help of a spring. If during operation both mass parts have different friction against the friction tube wall, which can hardly be avoided in "micro"-practice, both mass parts run asynchronous. By this they can tilt and stick in the friction tube. So a substantial disadvantage of the known device is, that the slider always must consist of two cylinder halves and therefor of two mass units, that are pressed transversally to the transport direction against the inner wall of the friction tube.

The invention's underlying task is to remove the drawbacks of the above mentioned forms of sliders and by this to create an inertial drive which can be easily adjustable through its tolerance in feed per driving impulse, that can move heavy loads and exert or transmit high forces to objects and that can perform centimeter - (cm) - motions with nanometer - (nm) - precision without protection against usual mechanical disturbances in a normal laboratory. Finally the power capacity limit of the positioner arising from the limit for feeding energy to the inertial drive is to overcome. The solution according to the invention is given in claim 1. Improvements and further constructions based on



the invention are given in the other claims.

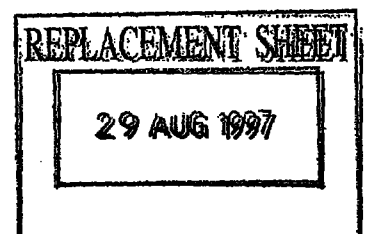
The slider according to the invention consists of one part, that means all mass units and flexible units forming the slider are joined together to one compound. However, the single mass units and the single flexible units can be manufactured separately and independently. It is preferable to produce them all together out of one body.

With the help of at least one of the flexible units the pressure of the slider on the sliding surface can be adjusted by bending it to achieve a pre-tension. By this the strength of the frictional force can be varied in a wide range.

The slider according to the invention consists of one part including at least one flexible deformable bending unit and of at least one heavy mass unit. Theoretically the flexible unit could also be heavy if it could in spite of that be made flexible relative to the mass unit or theoretically the mass unit could also be flexible if it could be heavy relative to the flexible unit in spite of its mass. As known it is not possible to form extremely heavy and at the same time extremely flexible solids.

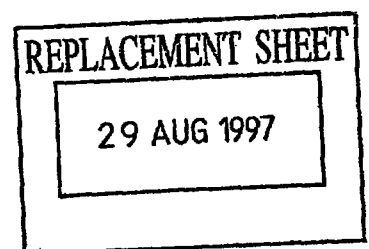
As said before there is a limit for feeding power into the inertial drive. This problem is encountered with the mass unit integrated into the slider according to the invention leading to a powerful piezo drive in spite of the limit for (reasonable) power consumption. The invention in principle distinctly improves the degree of effectiveness of the piezo actuator. A suitable electrical impulse can accelerate a heavy mass of the slider synchronously to the movement of the piezo and a rapid changing of the piezo motion forces the heavy mass to slide due to its inertia despite of a very strong frictional force.

The high inertial mass combined with the high frictional force lead to several advantages:



- a. With the slider according to the invention heavy objects are movable.
- b. The slider according to the invention adjusted with a high frictional force can exert high forces.
- c. Due to its robustness the positioner according to the invention operates in a wide range of pre-bending of the flexible unit of the slider, that means the adjustment of the slider is extremely tolerant and insensitive to changes during operation (dirt, humidity, corrosion, etc.), which act as a change in the frictional force of the slider.
- d. For the movement of the slider according to the invention small voltages of dimension 10 Volts applied to the piezo actuator(s) are sufficient thus, in contrast to many traditional inertial drives, no high voltage is needed for operation which makes it considerably easier to handle.
- e. A further advantage of the invention is the possibility to adjust the displacement of the relative motion per applied impulse between the slider and the piezo actuator by adjusting the flexible unit of the slider thus setting the contact force between the slider and the sliding surface. By this particularly the displacement of the relative motion can be made smaller than the range of the piezo actuator thus allowing to reach any position with atomic precision on a scale of mm to cm.
- f. Due to the robustness of the positioner according to the invention the slider moves in a uniform and reproducible way with a velocity up to millimeter per second.

In addition to what was said before the strength of the frictional force between the sliding surface and the slider depends also on the size and the condition of the area of contact. This parameter can be selected during the manufacturing and then stays constant and fixes the range in which the flexible unit of the slider can be adjusted. This is achievable if at least one of the mass units consists of a body with a formed surface so that the size of the area of contact between the mass unit and the sliding surface can be chosen and/or if one or the mass units are of different materials and can have holes.



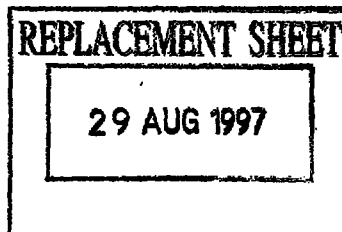
The requirements for the flexible unit of the slider can be met by an elastic thin wire as proposed in PCT/EP 93/02414. A flexible unit can as well be formed by thinning out a mass unit at at least one place to an extent that at this place a flexibility is induced forming an extra flexible unit. This construction has the advantage that manufacturing out of one piece is possible avoiding seams between different materials.

According to a further idea of the invention an object can be fixed to the slider that is transported with the slider. If necessary this object can be positioned with the same accuracy as the slider.

If not the piezo actuator part is fixed in space but according to a further idea of the invention the slider is fixed in space by fixing it at at least one end to a large heavy object, the relative motion leads to movements of the piezo actuator relative to the large heavy object. Thus complex positioning constructions are possible which are able to position in various directions in space, particularly as xy-table, xyz-stand, tripod, tilting table or rotation element.

Due to the above described large force reserves of the slider according to the invention complex positioning can be carried out in several directions of space by combining of several of these positioning units and by fixing of objects to its sliders, particularly as xy-table, xyz-stage, tripod, tilting table or rotation element.

The invention relates to an electromechanical positioning unit formed as an inertial drive to position objects with atomic scale positioning precision and with displacement ranges up to centimeters. The positioning unit contains at least one tube-shaped piezo electric actuator with electrodes for connecting it to variable voltages for transmitting electrically controllable inertial driving motion to a slider that moves inside said piezo actuator(s) in the direction of the piezo movements along a tube-shaped sliding surface. The relative motion between slider and piezo actuator arises from the fact that the slider



can not follow relative fast motions of the sliding surface but can follow relative slow motions of the sliding surface. The object of the invention is a slider which consists of at least one unit of higher mass (mass unit) and of at least one flexible deformable unit (flexible unit), said flexible unit allowing the strength of the frictional force to be adjusted and said mass unit providing high loading capacity of the positioning unit. By this combination heavy loads can be positioned and forces necessary for tools can be exerted.

Further details of the invention are now illustrated by sketches of implementing examples. It shows:

- Fig. 1 a slider and a sliding surface belonging to the slider;
- Fig. 2 an according to Fig. 1 varied slider;
- Fig. 3 a slider with a special surface;
- Fig. 4 and 5 various forms of wire-shaped flexible units;
- Fig. 6 a flexible unit worked out of a mass unit;
- Fig. 7 a mass unit comprising an object;
- Fig. 8 a positioning table;
- Fig. 9 a xy-table combined of positioning tables shown in Fig. 8 with a z-positioner;
- Fig. 10 a combination of three positioners connected by flexible hinges operating in three orthogonal directions;
- Fig. 11 combined positioners for rotations.

One form of the slider according to the invention is shown in Fig. 1. The sliding surface 1 comprises the slider, as a whole marked with 5, which in this special case consists of mass units 2a, 2b, 2c etc. and of several flexible deformable units 3a, 3b, 3c etc. The number of units is not critical for the principle, only one unit of each 2, 3 is necessary as shown in Fig. 2. This allows various forms of sliders that can be used to integrate objects like electrical lines, sensors, glass fibers or a hose into the slider and to transport

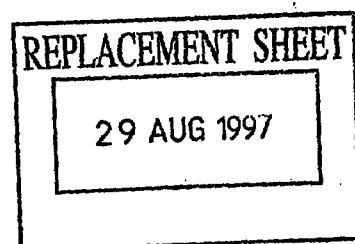
them with the slider according to the invention.

The strength of the frictional force between the sliding surface 1 and the slider 5 can besides other means also be determined by the size and condition of the slider surface 7 during manufacturing of the slider. This is achieved by forming the surface 7 of at least one of the mass units 2 thus determining the size of the contact area between surface 7 and the sliding surface 1 as shown in Fig. 3.

Further special forms of the slider according to the invention are shown in Fig. 4 and 5. The flexible units 3a, 3b etc. consist of elastic thin wires and can look like lashes (Fig. 4) on one end of the mass unit or can form connections between two mass units (Fig. 5). Here also the number of wires is not critical; only one wire is necessary for the principle according to the invention. As shown in Fig. 6 a flexible unit 3 can also be generated by thinning out the mass unit 2 at at least one place to an extent that this place becomes flexible and presents a flexible unit. This principle is applicable to several places on the slider.

In all shown examples the mass unit can consist of several materials and/or can have axial holes according to the purpose of the application. Fig. 7 shows an example where an object 4 is fixed inside one of the mass units 2a. This can be a rod or can serve as a part of a xy-positioner or can be a pike for scratching material or for cutting lines of printed circuit boards etc.

The combination of several of the positioners according to the invention forming complex tools is shown in Figs. 8 to 10. In Fig. 8 one layer of the xy-table mentioned above is shown. Two of the positioners 10a, 10b are fixed parallel in one level. Each of the sliders comprises a rod being the object to be moved 11a, 11b. Each rod extends through its slider to an extent far outside its positioner 10. At the ends of the rods two plates 12a, 12b are fixed which are moved uniformly along the direction of motion of



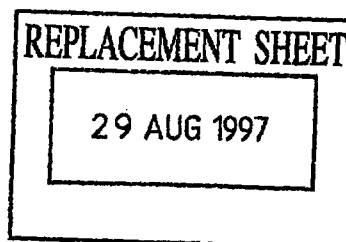
the sliders when the sliders are moved synchronously. Thus according to the invention a positioning table is achieved that has nanometer precision and has a displacement range of mm to cm. With this for example loads of 100 Grams can be moved with velocities of 1 mm per second.

A combination of positioners according to the invention can be used for a scanning probe measuring device and as a tool as shown in Fig. 9. The xy-table 21 consists of two tables (see Fig. 8) 90 degrees rotated put on each other containing four of the positioners according to the invention. The z-component consists of a fifth positioner according to the invention. Its slider supports the object 11, which can be a tip for scratching, welding or bonding respectively or a sensor for electric current, magnetic fields, light, chemicals, forces etc. or a hose or a glass fiber.

If three positioners according to the invention are combined by flexible connections as shown in Fig. 10 allowing only bending but not stretching nor tossing nor buckling, the object 11 can be positioned in three dimensions.

Rotations can be executed by combining at least two of the positioners 10a and 10b according to the invention as shown in Fig. 11. The one-axis movements of the slider-arms 11a, 11b are transmitted to two points of one or two turntables under a large angular displacement. The angular displacement of the two points avoids that none of the positioners can transmit a force to the rotational motion. The mechanical transmission can follow the known excenter principle used in steam engines.

None of the application examples shown above can be realized with the traditional sliders of the one-axis inertial drives as described in PCT/EP 93/02414 and in DE 38 22 504 A1 or in Review Sci. Instr. 63 (1). Only the properties of the positioner according to the invention supply the necessary robustness.





CLAIMS

1. An Electromechanical positioning unit as inertial drive for positioning a flexible slider (5) with down to nanometer positioning precision and with positioning displacements up to the centimeter range, in which the slider (5) is movably arranged with frictional contact along a tube-shaped friction surface (1) in a tube-shaped piezo electric actuator, and the actuator has electrodes for the connection to variable voltages with the help of which the slider (5) can be moved electrically controllable,

characterized in

that at least a compared to the bending unit (3) not flexible and heavy unit (2) of higher mass - mass unit - is integrated into the slider (5), comprising at least a flexible deformable bending unit (3).

2. A positioning unit according to claim 1,

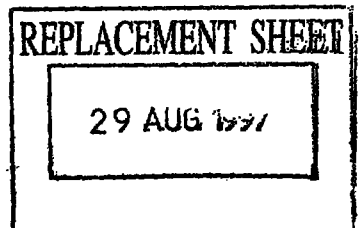
characterized in

that the strength of the frictional force stabilizing the slider (5) with respect to the sliding surface (1) is adjustable by at least one flexible unit (3) in the sense of the function of an inertial drive.

3. A positioning unit according to claim 1 or 2,

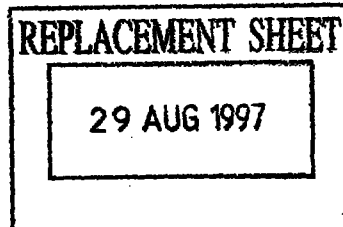
characterized in

that at least one of the mass units (2) consists of a body which surface is formed in a way that the size of the area contacting the sliding surface (1) can be chosen by the form of the surface (7) and that the mass unit consists of different materials and/or has holes.



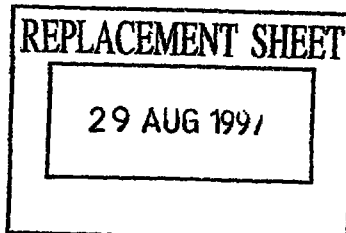


4. A positioning unit according to one of claims 1 to 3,
characterized in
that at least one of the flexible bending units (3) consists of a flexible thin wire.
5. A positioning unit according to one of claims 1 to 4,
characterized in
that at least one of the flexible bending units (3) is formed by thinning down of at least
one of the mass units.
6. A positioning unit according to one of claims 1 to 5,
characterized in
that an object (4) is fixed to or inside at least one of the sliders (5), which is transported
with the slider.
7. A positioning unit according to one of claims 1 to 6,
characterized in
that the slider (5) is fixed on at least one end to a large, heavy object and that relative
motion leads to motion of the piezo actuator with respect to the large object.
8. A positioning device, particularly as xy-table, xyz-stage, tripod, tilting table or
rotation element
characterized in
that several of the positioning units according to at least one of claims 1 to 7 are
combined so that objects fixed to these combined units can be brought piezoelectrically
to exactly predetermined positions in space.



SUMMARY

The invention relates to an electromechanical positioning unit formed as an inertial drive to position objects with atomic scale positioning precision and with displacement ranges up to centimeters. The positioning unit contains at least one preferably tube-shaped piezo electric actuator for transmitting electrically controllable inertial driving motions to a slider. The object of the invention is a slider consisting of at least one part of relatively high mass (mass unit) and of at least one flexible deformable part (flexible unit) allowing the frictional forces to be adjustable by bending the flexible parts and the mass part providing high loading capacity of the positioning unit. By combining these two parts it is possible to position heavy objects and to exert forces necessary to drive tools.



1/5

REPLACEMENT SHEETS		SG
☐	Description	: paged to paged
☐	Claim(s)	: paged to paged
☒	Drawing(s)	: paged <u>1/5</u> to paged <u>5/5</u>
☐	Abstract	: paged to paged
DATE OF RECEIPT <u>0 4 NOV 1997</u>		

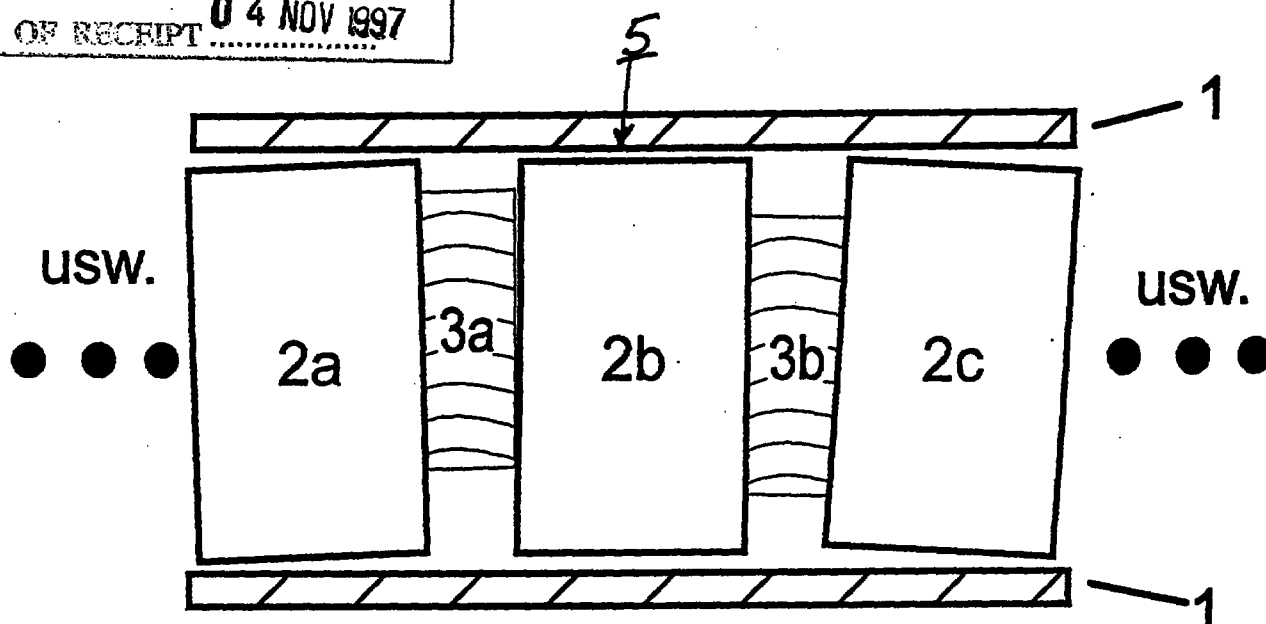


FIG. 1

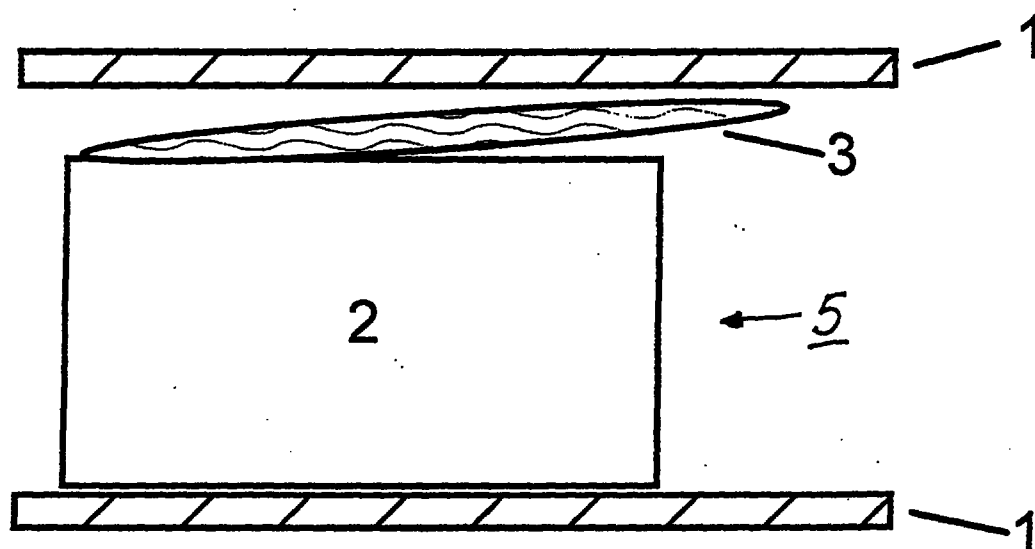


FIG. 2

04 NOV 1997

2/5

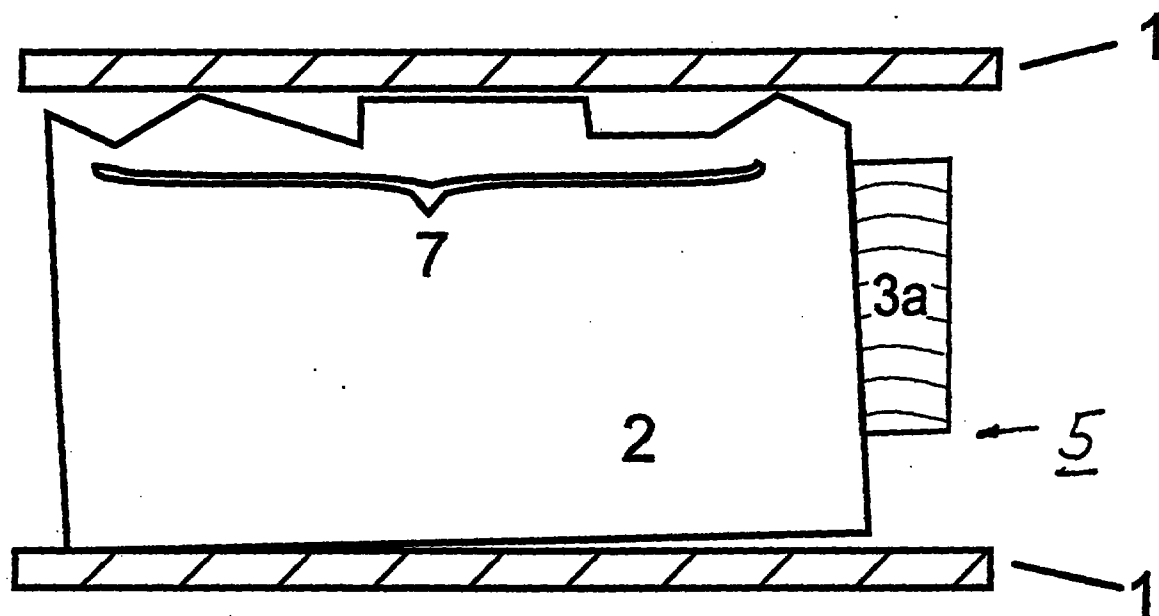


FIG. 3

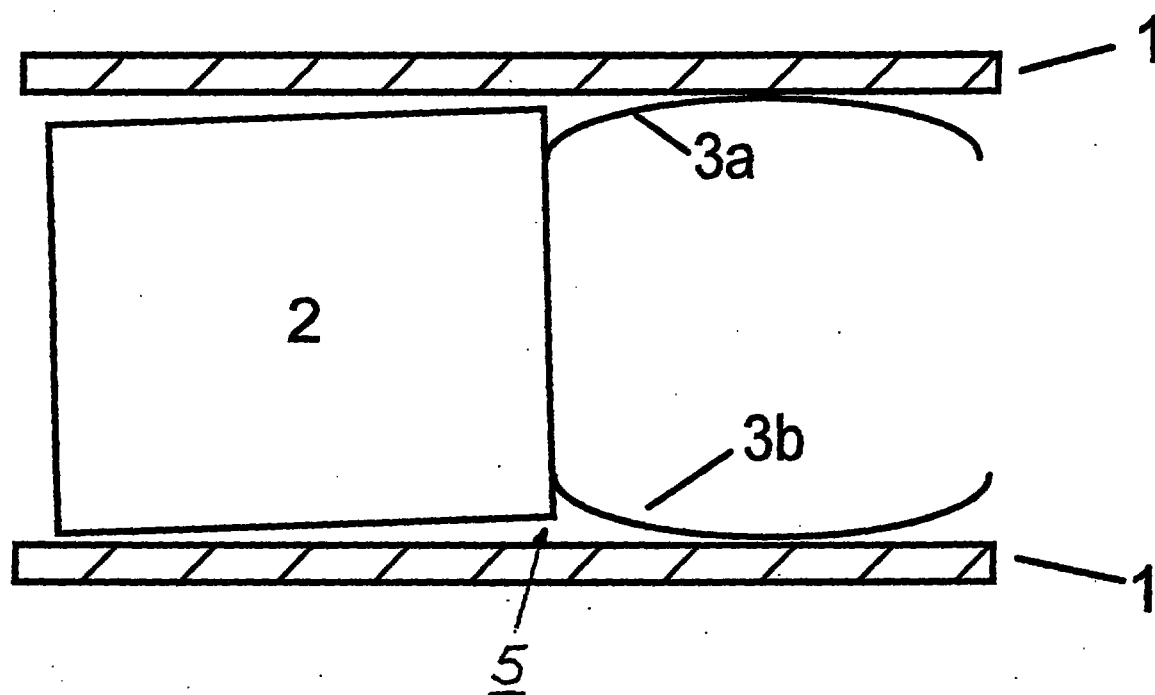


FIG. 4

GEÄNDERTES BLATT

3/5

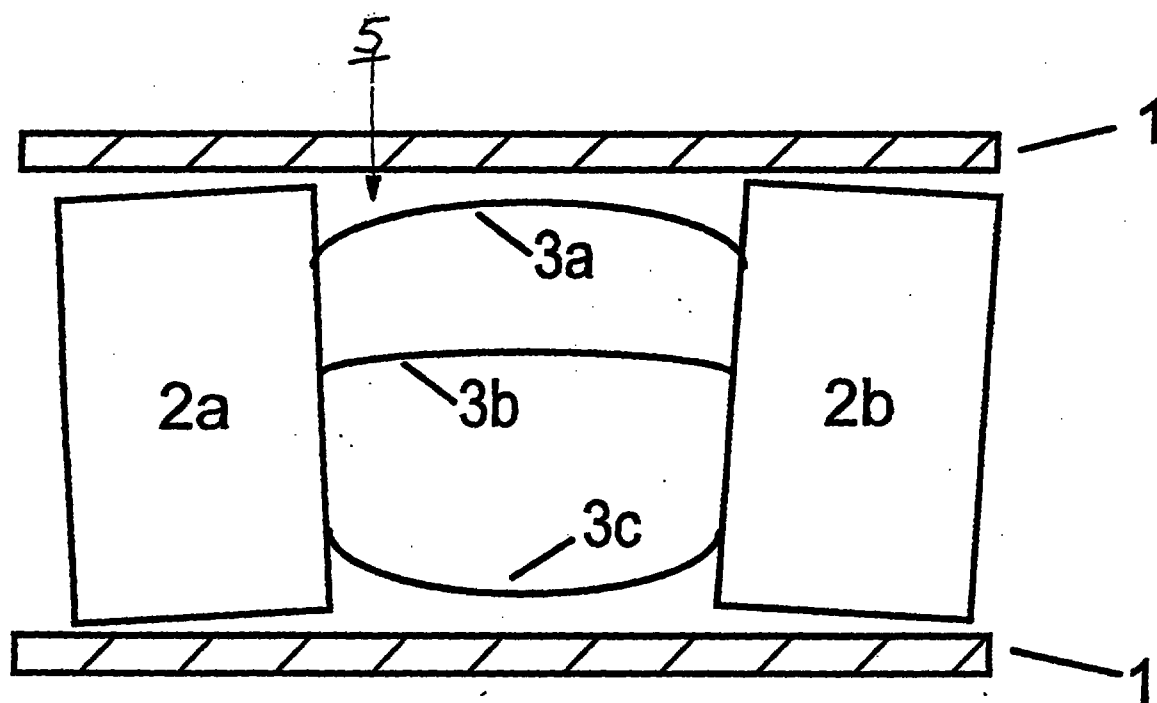


FIG. 5

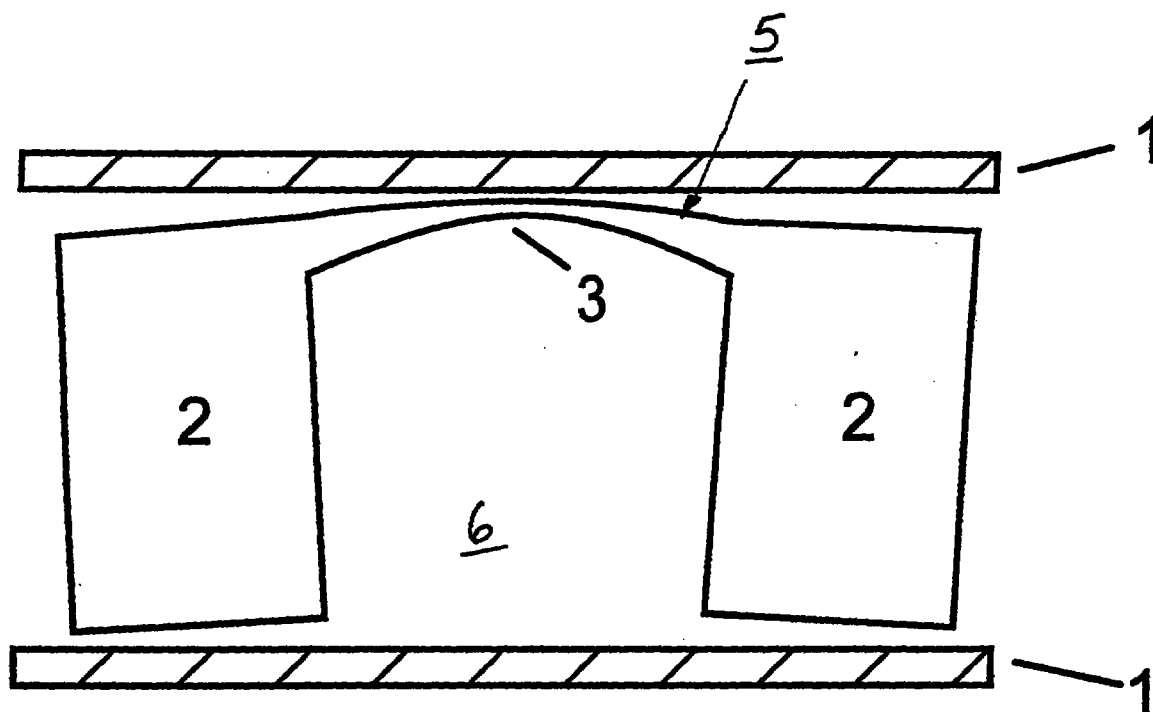


FIG. 6

4/5

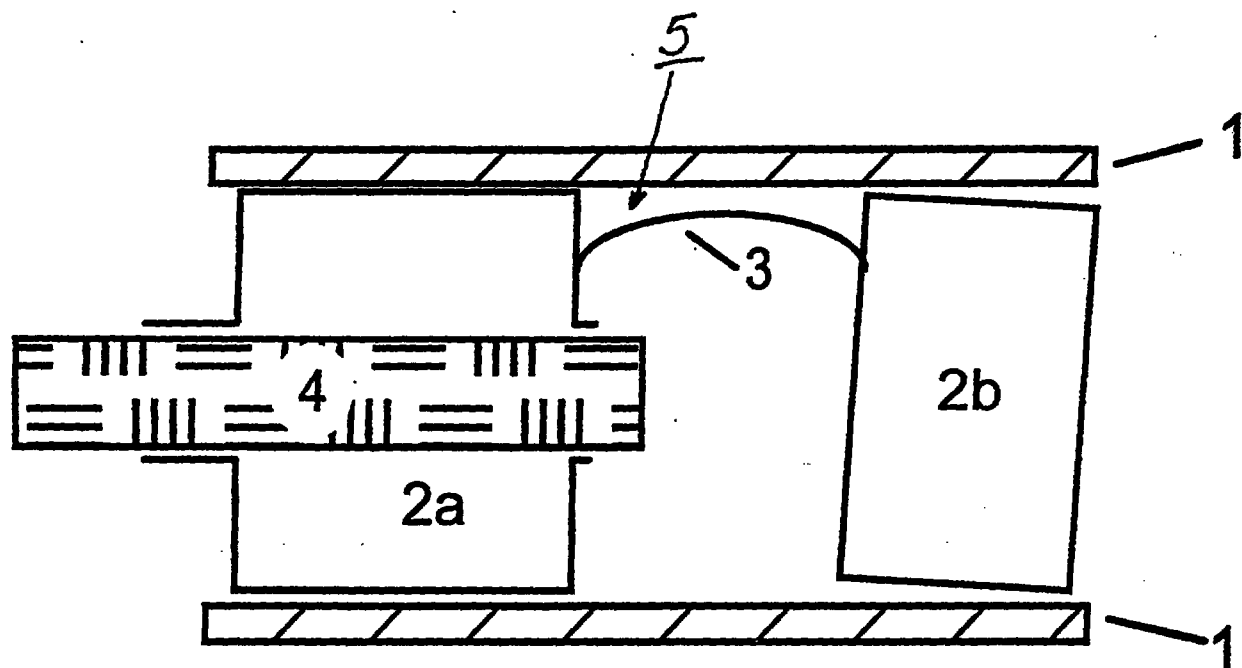


FIG. 7

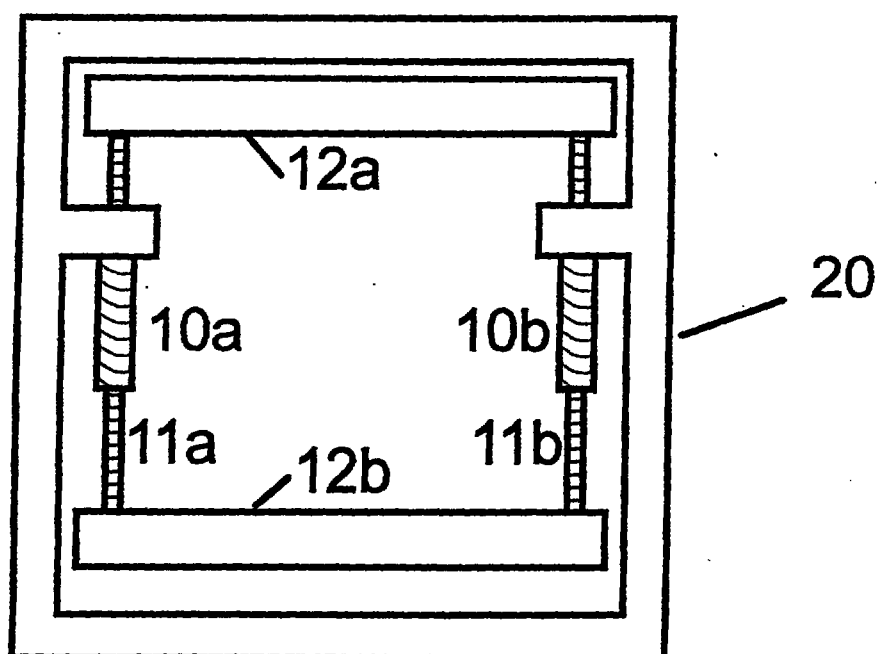


FIG. 8

5/5

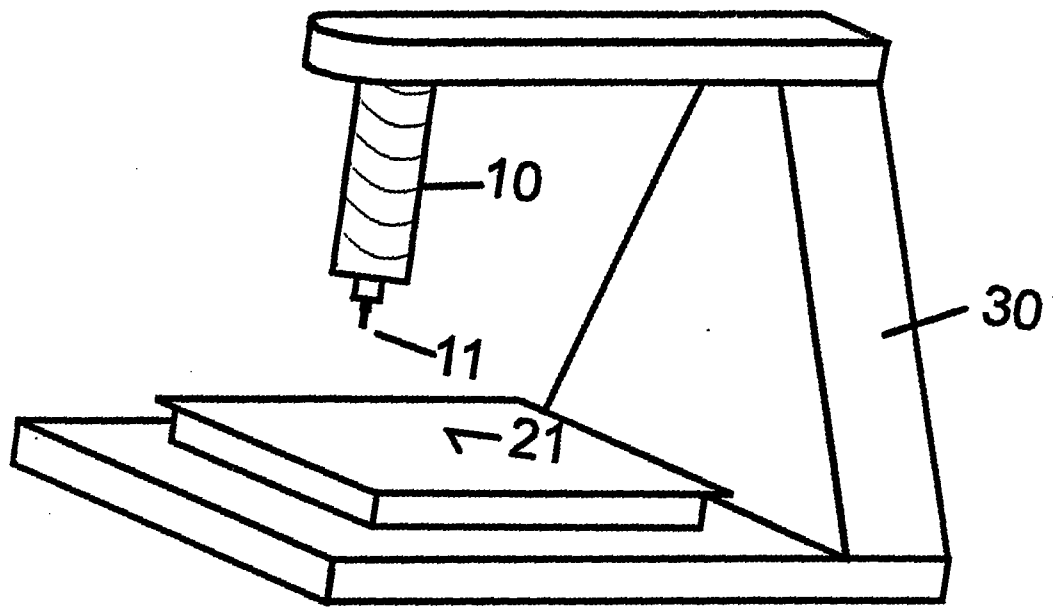


FIG. 9

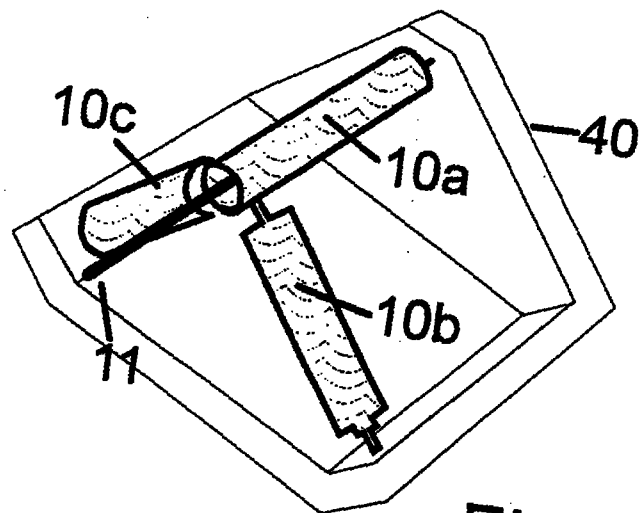


FIG. 10

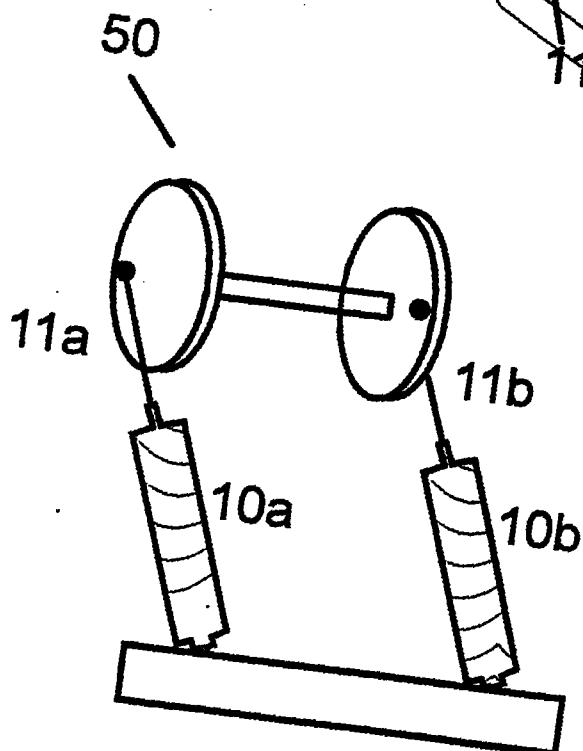


FIG. 11