

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro

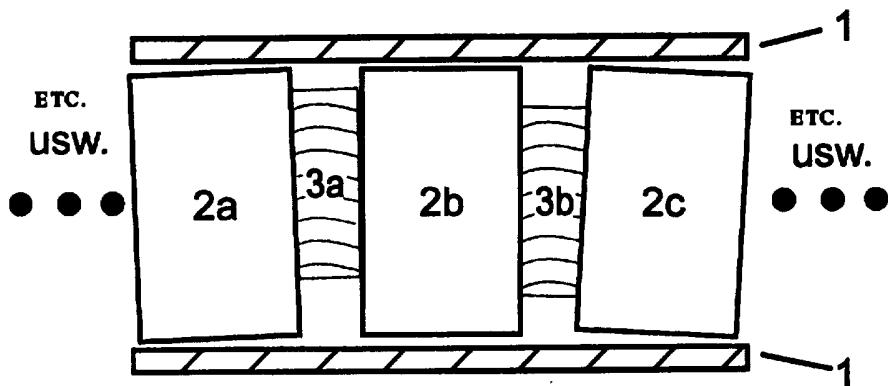


INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : 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		(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).
(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 (<i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i>): KLOCKE, Volker [DE/DE]; Soerser Weg 37, D-52070 Aachen (DE).		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>
(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).		

(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

"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 äußereren 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 fehler tolerant 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 biegabaren 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 ausübbaren 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 Masseeinheit an mindestens einer Stelle so weit ausgedünnt wird, daß an dieser Stelle eine Biegbarkeit 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 langsame 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 Masseeinheit 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 biegbar 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 Masseinheiten 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 erfindungsgemäß Positionierer. Der xy-Tisch 21 besteht aus zwei um etwa 90 Grad gedreht aufeinanderliegenden Verschiebetischen 20 (nach Fig. 8), also insgesamt aus vier der erfindungsgemäß Positionierer. Die z-Komponente besteht aus einem fünften erfindungsgemäß 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 erfindungsgemäß 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 erfindungsgemäß 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 Reibungs-oberfläche (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 Rotationselement, zu bringen sind.

1/5

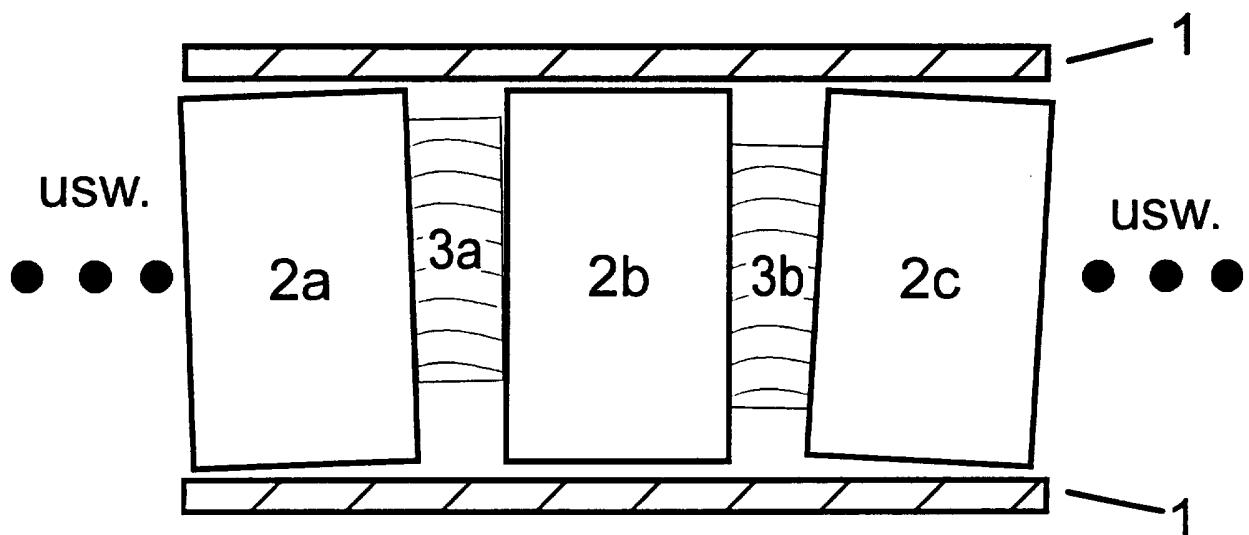


FIG. 1

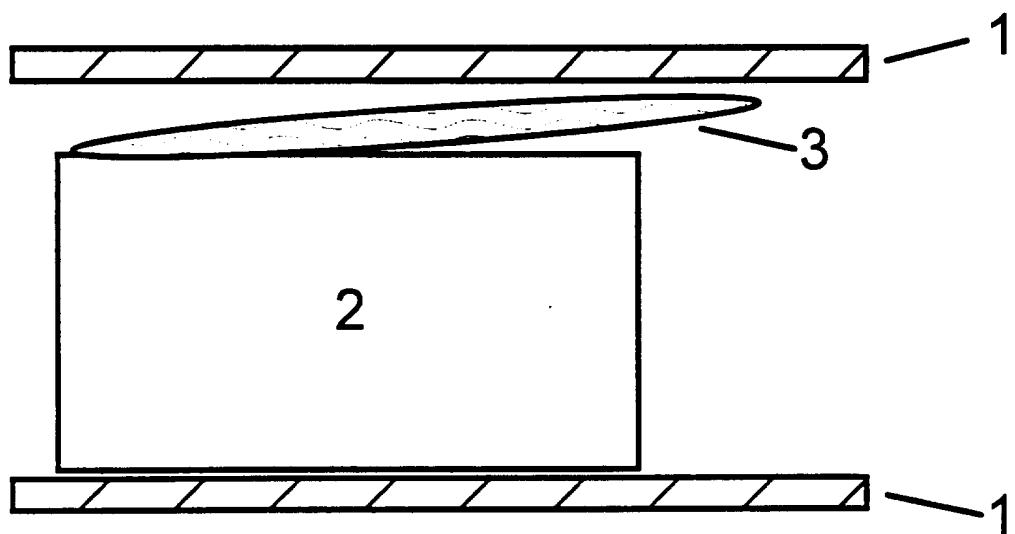


FIG. 2

2/5

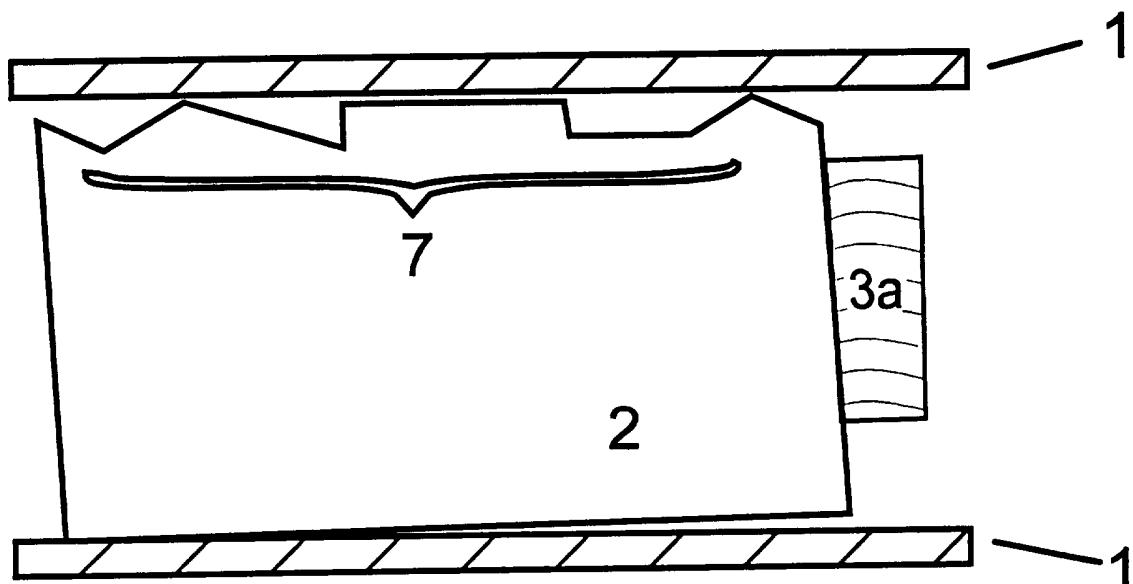


FIG. 3

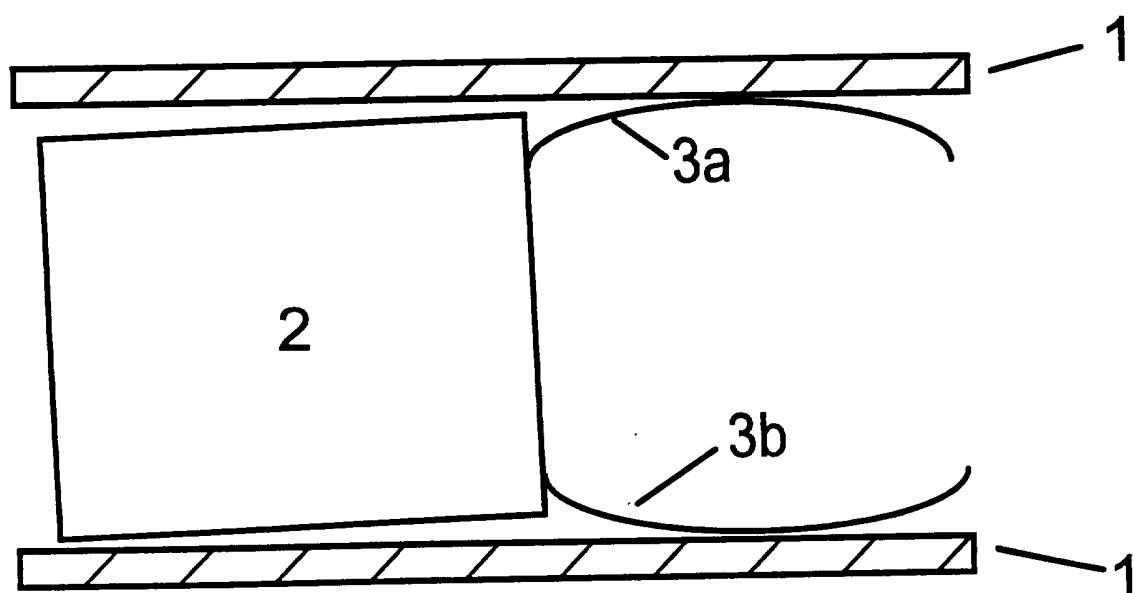


FIG. 4

3/5

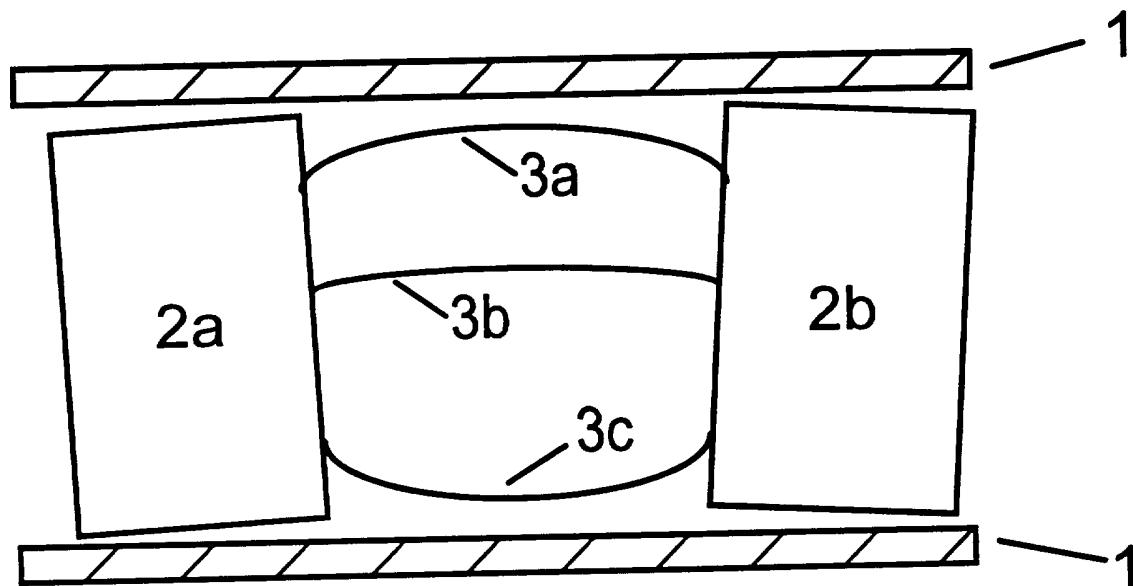


FIG. 5

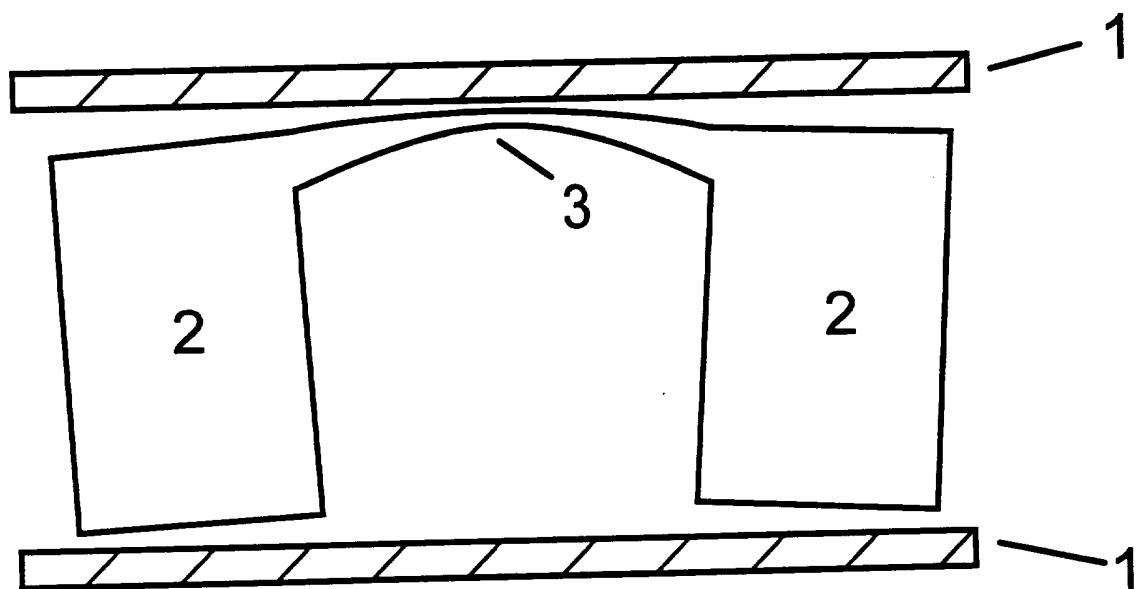


FIG. 6

4/5

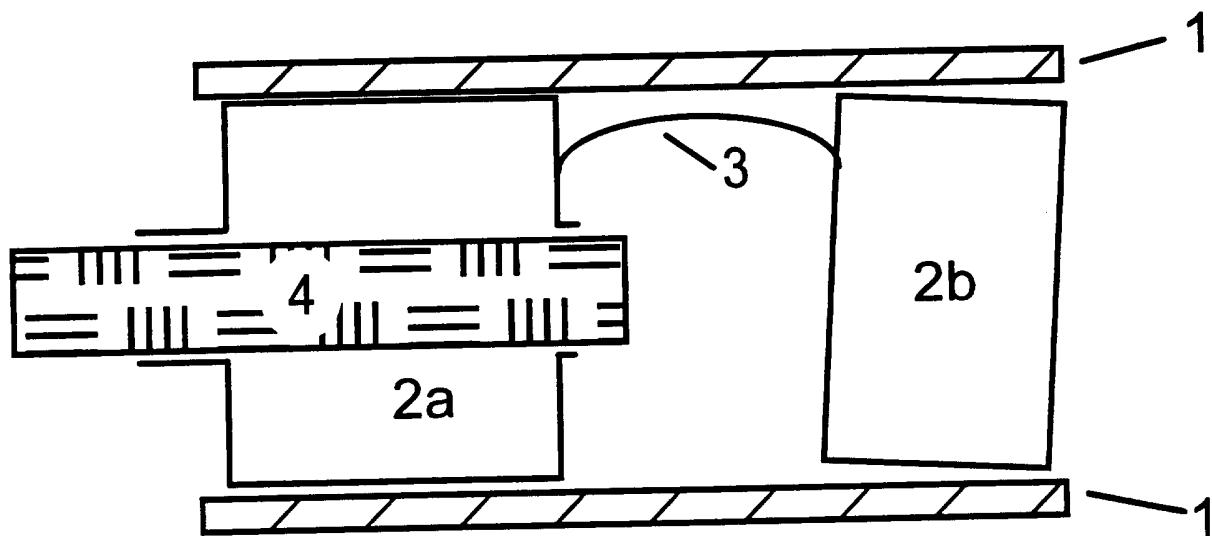


FIG. 7

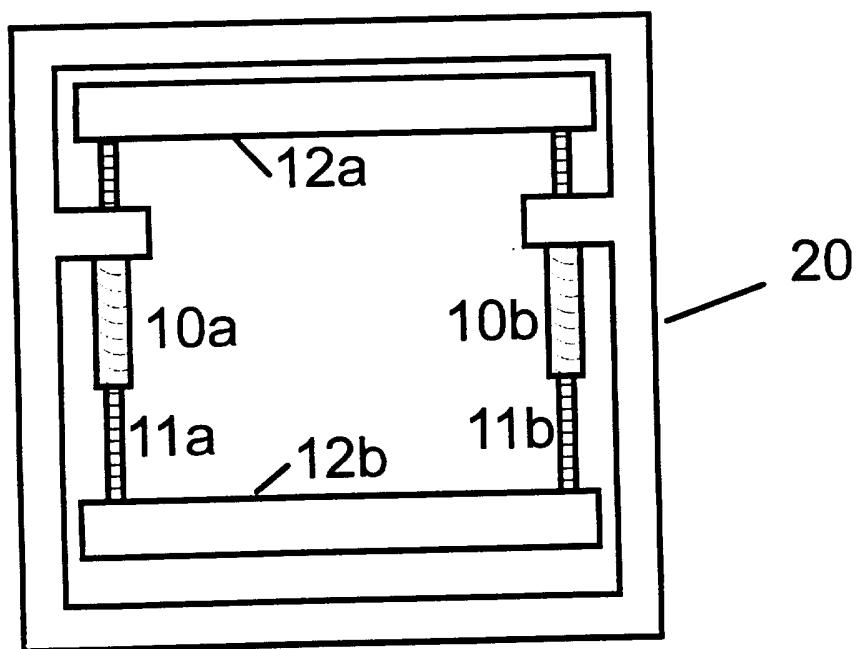


FIG. 8

5/5

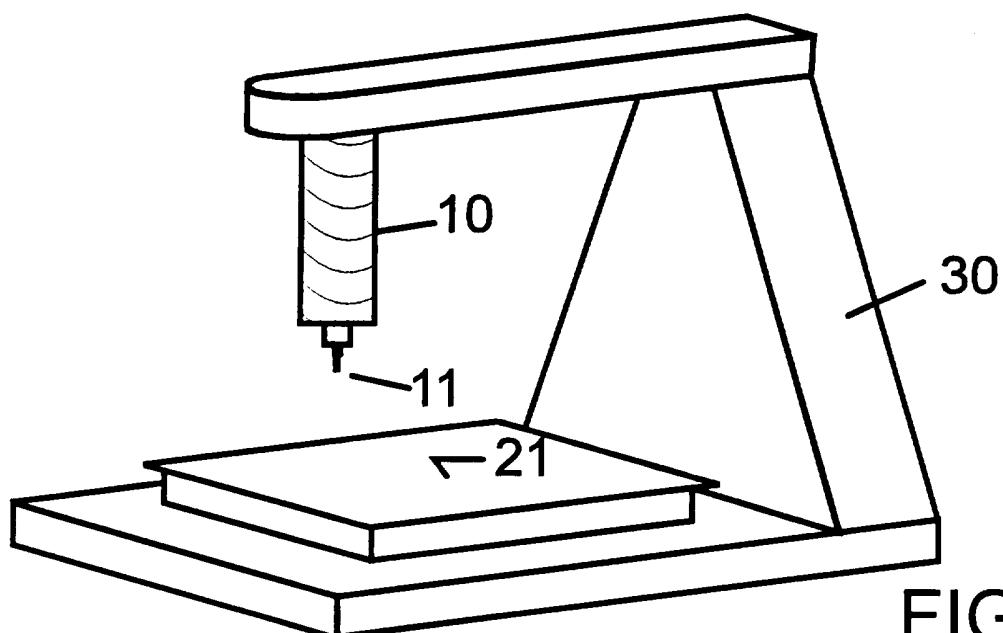


FIG. 9

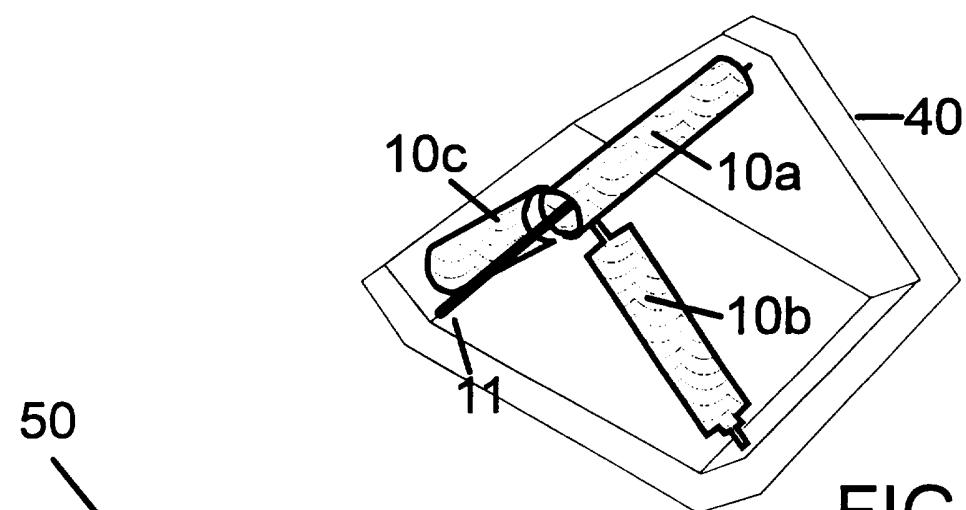


FIG. 10

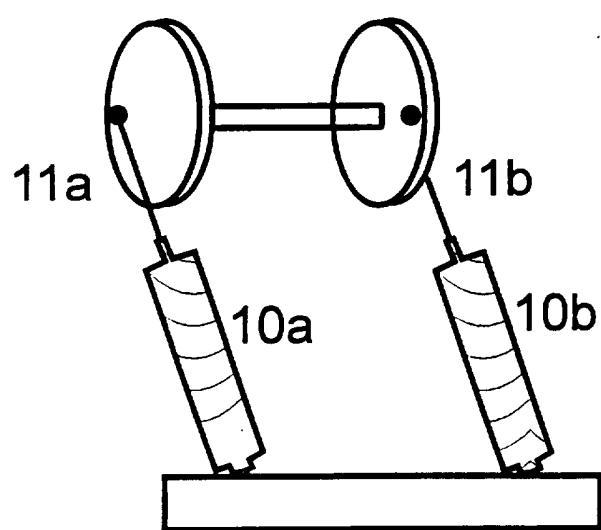


FIG. 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 95/01482

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 B23Q1/34 B25J7/00

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 6 B23Q B25J G01N

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)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO,A,94 06160 (KLEINDIEK) 17 March 1994 see abstract; figures 1A,B ---	1-4,6,7
Y	EP,A,0 464 764 (CANON) 8 January 1992 see column 26, line 43 - column 27, line 39 see abstract; figures 1-38 ---	1-4,6,7
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14 no. 177 (M-960) ,9 April 1990 & JP,A,02 030452 (MITSUBISHI EL. CORP.) see abstract -----	1-8

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
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "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)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"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

"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

"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.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 February 1996

Date of mailing of the international search report

27. 02. 96

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

Ljungberg, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int'nal Application No

PCT/DE 95/01482

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
WO-A-9406160	17-03-94	AU-B-	4958493	29-03-94
		EP-A-	0611485	24-08-94
		NL-A-	9301222	16-03-94
<hr/>				
EP-A-464764	08-01-92	JP-A-	4069070	04-03-92
		JP-A-	4069071	04-03-92
		JP-A-	4063309	28-02-92
		JP-A-	4147474	20-05-92
		JP-A-	4147092	20-05-92
		JP-A-	4147107	20-05-92
		JP-A-	4185287	02-07-92
		JP-A-	4193077	13-07-92
		JP-A-	4193078	13-07-92
		US-A-	5225941	06-07-93
<hr/>				

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE 95/01482

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 B23Q1/34 B25J7/00

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprässtoff (Klassifikationssystem und Klassifikationsymbole)
IPK 6 B23Q B25J G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprässtoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO,A,94 06160 (KLEINDIEK) 17.März 1994 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 1A,B ----	1-4,6,7
Y	EP,A,0 464 764 (CANON) 8.Januar 1992 siehe Spalte 26, Zeile 43 - Spalte 27, Zeile 39 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 1-38 ----	1-4,6,7
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 14 no. 177 (M-960) ,9.April 1990 & JP,A,02 030452 (MITSUBISHI EL. CORP.) siehe Zusammenfassung -----	1-8

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 erfunderner Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfunderner 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

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

1. Februar 1996

27. 02. 96

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Ljungberg, R

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 95/01482

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO-A-9406160	17-03-94	AU-B-	4958493	29-03-94
		EP-A-	0611485	24-08-94
		NL-A-	9301222	16-03-94
-----	-----	-----	-----	-----
EP-A-464764	08-01-92	JP-A-	4069070	04-03-92
		JP-A-	4069071	04-03-92
		JP-A-	4063309	28-02-92
		JP-A-	4147474	20-05-92
		JP-A-	4147092	20-05-92
		JP-A-	4147107	20-05-92
		JP-A-	4185287	02-07-92
		JP-A-	4193077	13-07-92
		JP-A-	4193078	13-07-92
		US-A-	5225941	06-07-93
-----	-----	-----	-----	-----