



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 25 564 T2 2004.08.05**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 890 216 B1**

(51) Int Cl.⁷: **H02N 2/00**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 25 564.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/SE97/00541**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 915 828.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 97/036366**

(86) PCT-Anmeldetag: **26.03.1997**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **02.10.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **13.01.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **15.10.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **05.08.2004**

(30) Unionspriorität:

PCT/SE96/00391 26.03.1996 WO

(73) Patentinhaber:

Piezomotors Uppsala AB, Uppsala, SE

(74) Vertreter:

Hoefer & Partner, 81545 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI,
NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

**BEXELL, Mats, S-754 37 Uppsala, SE;
JOHANSSON, Stefan, S-752 39 Uppsala, SE**

(54) Bezeichnung: **Piezoelektrischer Schalter oder Motor, Verfahren hierzu und Herstellungsverfahren**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Technisches Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft kleine Motoren und Aktuatoren mit elektromechanischen Materialien, welche ihre Form unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes verändern. Insbesondere betrifft die Erfindung Motoren und Aktuatoren, bei denen die Bewegung relativ zu einem anderen Körper durch Wiederholung kleiner Schritte erzeugt wird. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Antreiben solcher Motoren und ein Verfahren zum Herstellen von Motoren.

Stand der Technik

[0002] Es gibt einen großen Bedarf an Hochleistungsmotoren in der Größenordnung unter ein paar Millimetern, Motoren der Art, die in der Lage sein sollen, lineare und/oder drehende Bewegung zu erzeugen. Es ist oft wünschenswert, dass diese Art von Motoren sowohl eine hohe Präzision aufweisen als auch große Kräfte ausüben können. Man kann sich vorstellen, dass, da zuverlässige und billige Motoren dieser Art gefordert werden z. B. zum Antreiben von Kameras, Festplatten, CD-Spielern usw., der potenzielle Markt riesig ist. Auch auf dem Gebiet der medizinischen Instrumente, z. B. Pumpen, sind solche Motoren von großem Interesse.

[0003] Im Stand der Technik sind verschiedene Vorrichtungen auf der Grundlage elektromechanischer Materialien vorhanden. Elektromechanische Materialien haben die interessante Eigenschaft, dass sie ihre Form verändern, wenn sie von einem elektrischen Feld beeinflusst werden. Teile aus elektromagnetischem Material, befestigt auf einer Grundplatte, bewegen deshalb ihre nicht befestigten Oberflächen, wenn elektrische Felder auf sie angelegt werden. Solche Bewegungen, Kontraktionen oder Expansionen, können verwendet werden zum Aufbau verschiedener Typen von Motoren oder Aktuatoren.

[0004] In der US 4,639,630 ist ein piezokeramisches Servoantriebsbauteil offenbart. Das Antriebsbauteil erzeugt eine Translations- und Winkelbewegung seiner Oberseite in Bezug auf seine Unterseite. Das Antriebsbauteil umfasst eine Anzahl von getrennten Scheiben, die in einer Säule angeordnet sind und auf eine solche Weise polarisiert sind, dass das aufgebrachte elektrische Feld parallel zur Ausdehnung der Säule ist. Die Scheiben sind mit Kontaktflächen auf verschiedenen Teilen der Scheiben versehen, um verschiedene Segmente des Stapels aktivieren zu können. Der Stapel ist auf einem Stützelement in der Form einer Schraube montiert und mit einer Mutter befestigt. Eine solche Anordnung umfasst eine Anzahl von getrennten Teilen, die zusammengefügt werden müssen, was wiederum hohe Herstellkosten und Anstrengungen verursacht. Weiterhin ist die Anordnung nur für Neigungen oder sehr kleine Translationsbewegungen eines Körpers, der

gegen die Anordnung gehalten wird, geeignet. Um größere Bewegungen des Körpers zu erhalten, bei denen der Körper seinen Kontaktpunkt gegen das Teil verändert, muss eine Kombination einer Anzahl solcher Anordnungen verwendet werden, da das Antriebsbauteil in US 4,639,630 nur einen einzigen Kontaktpunkt aufweist. Somit kann das Antriebsbauteil in US 4,639,630 nicht als ein Motor betrieben werden. Motoren oder Aktuatoren auf der Grundlage der gemeinsamen Aktion einer Anzahl von Bauteilen sind tatsächlich im Stand der Technik bekannt, wie weiter unten diskutiert.

[0005] In US 5,262,696 ist ein biaxialer Wandler offenbart. Der Wandler erstreckt sich in einer radialen Richtung. Übereinander gestapelt können sie Biegungen und/oder axiale Kontraktionen verursachen. Auch dieser Wandler kann nicht als ein Motor, der eine Schritttechnik verwendet, genutzt werden.

[0006] Techniken, die häufig für Motoren im Größenbereich von einem Zentimeter und darüber verwendet werden, werden als Ultraschall-Motortechniken bezeichnet. Andere Bezeichnungen, die häufig für die gleiche Art von Vorrichtungen verwendet werden, sind Resonanz-, Vibrations-, Wanderwellen- oder Inpakt-Motorvorrichtungen. Typischerweise verfügen in solchen Motoren die elektromechanischen Materialien über eine Resonanzvibration in sich selbst und ein massives Materialstück, normalerweise ein Metallblock. Zum Beispiel beim Wanderwellenmotor werden vorstehende Bereiche des Metallblocks zu einer elliptischen Bewegung gezwungen, und ein weiteres Objekt, das in Kontakt mit diesen vorstehenden Bereichen ist, wird gezwungen, sich in Übereinstimmung mit diesen Bewegungen zu bewegen. Wenn es um Miniaturmotoren geht, ist diese Technik unvorteilhaft, da die Bewegungen zu klein werden und durch eine nicht steuerbare Oberflächentopographie begrenzt sind usw.

[0007] Eine bessere Annäherung an die Miniaturisierung von Motoren auf der Grundlage von elektromechanischen Materialien ist es, Vorrichtungen zu verwenden, die außerhalb der inhärenten Resonanz arbeiten. Ein eher unübliches Beispiel ist in US 5,144,187 dargestellt. Hierin drückt eine Reihe von Aktuatoren auf eine Welle, die mit Schwingungen versehen ist. Die Aktionen gegen die schrägen Oberflächen der Schwingungen verursachen eine Drehung der Welle. Keine tatsächlichen Schritte werden von den Aktuatorbauteilen durchgeführt. Weiterhin umfasst der Aufbau der Vorrichtung eine große Zahl von Teilen und Präzisionsmontage.

[0008] Ein besonderes Auslöseprinzip, das großes Potential aufweist, um die Anforderungen für solche Motoren zu erfüllen, ist ein Motor vom Inchworm®-Typ (M. Bexell, A.-L. Tiensuu, J.-A. Schweitz, J. Söderkvist und S. Johansson, Sensors and Actuators A, 43 (1994) 322–329). Die Bewegung wird durch Wiederholung kleiner Schritte in einer ähnlichen Weise wie beim Insekt Raupe erzeugt, daher der Name (The micropositioning book. Fischers, NY: Burleigh Instru-

ments, Inc. (1990)). Dieses Bewegungsprinzip wird im restlichen Teil dieser Anmeldung als eine "Nichtresonanzschritt"-Technik bezeichnet werden, um sie von den oben beschriebenen Ultraschalltechniken zu unterscheiden. Teile des elektromechanischen Materials können auch als PZT bezeichnet werden.

[0009] Das Prinzip für diese Bewegung ist einfach. Ein sich bewegendes Körper wird zwischen zwei Klauen gehalten, eine auf jeder Seite des sich bewegendes Körpers. Jede Klaue besteht aus einem länglichen Stück aus PZT, im Wesentlichen parallel zum sich bewegendes Körper, und an jedem Ende ist ein transversales PZT vorhanden. Die PZTs sind auf Metallkörpern zusammengesetzt. Unter der Annahme, dass alle transversalen PZTs unter Strom gesetzt sind und sich in die Startposition ausdehnen, wobei sie den sich bewegendes Körper ergreifen, werden die zwei gegenüberliegenden vorderen transversalen PZTs wieder zusammengezogen, und lösen damit den Griff des sich bewegendes Körpers. Ein elektrisches Feld wird auf die Längs-PZTs angelegt, wodurch sich ihre Längen ausdehnen, und die vorderen transversalen PZTs werden folglich gezwungen, sich wieder auszudehnen, um den sich bewegendes Körper an einer neuen Position zu greifen. Die hinteren transversalen PZTs lösen ihren Griff am sich bewegendes Körper und die Längs-PZTs können sich wieder zusammenziehen, wonach die hinteren PZTs den Körper wieder greifen. Das Ergebnis eines solchen Zyklus ist, dass der sich bewegendes Körper relativ zu den beiden Klauen bewegt hat.

[0010] Eine elektronische Steuer- und Regelvorrichtung ist erforderlich für einen kontrollierten Betrieb des obigen Aktuators. Die Elektronik sollte die verschiedenen PZTs mit entsprechender Spannung in einer passenden Weise versorgen. Da eine solche Abfolge von Spannungen sehr schnell wiederholt werden kann, kann eine relativ schnelle Bewegung erhalten werden, trotz der kleinen Schrittgröße.

[0011] Ein Beispiel einer solchen Vorrichtung ist in US 4,928,030 offenbart. Hierin wird eine Anzahl von Aktuatoren so angeordnet, dass sie in Kontakt mit einem sich bewegendes Körper sind. Die Aktuatoren sind aus einem Scherbauteil und einem Translationsbauteil aufgebaut, wobei das Scherbauteil verantwortlich ist für eine Bewegung seitwärts und das Translationsbauteil verantwortlich ist für die Kontraktion und Expansion. Ein Schrittvorgang kann dann erreicht werden.

[0012] Es gibt einige kritische Faktoren, welche die Entwicklung von existierenden Produkten auf der Grundlage des Nichtresonanzschritt-Prinzips einschränken. Zu diesen Einschränkungen gehört die Schwierigkeit, einen ausreichenden Stoß der einzelnen Aktuatorbauteile zu erhalten, und die Notwendigkeit für einen teuren Hochpräzisionsaufbau der Bauteile und anderer Teile des Systems. Einige Lösungen für diese Probleme wurden in dem schwedischen Patent Nr. 9300305-1 von Johansson (Veröffentlichungsnummer 510153) dargelegt. Durch Verwen-

dung von Bauteilen mit zumindest einer zweiachsen Bewegungsfähigkeit wurde die Anzahl der Bauteile verringert. Zur gleichen Zeit kann eine Vergrößerung der Bewegung durch interne Hebel (z. B. Bimorphe) in den Bauteilen beinhaltet sein, was eine große Freiheit in der Konstruktion bietet. Gemäß diesen Ideen wurde ein Miniaturmotor gebaut und dieser hat bewiesen, dass er das erforderliche hohe Drehmoment und die Bewegungsfähigkeit, wie vorausgesagt, aufweist (M. Bexell und S. Johansson, Transducers, Stockholm, Schweden (1995) 528 – News).

[0013] Durch die oben erwähnte Lösung kann eine Bewegung relativ zu einem anderen Körper in folgender Weise erzielt werden. Vier aktive Bauteile aus elektromechanischem Material werden auf eine passive Basisplatte, normalerweise aus Silizium, montiert, und der sich bewegendes Körper wird gegen die vorstehenden aktiven Elemente gehalten. Alle Bauteile bestehen aus zwei vertikal unterteilten gesteuerten Bereichen aus PZT, die sich beide zwischen der Basisplatte und dem sich bewegendes Körper erstrecken. Durch Aufbringen einer Spannung, die zu einem elektrischen Feld in der horizontalen Richtung zum ersten Bereich des PZT, aber nicht zum anderen Bereich, führt, neigt ein Teil dazu, sich in der vertikalen Richtung zusammenzuziehen, während das Andere unverändert bleibt. Da die zwei Bereiche mechanisch in ein Stück integriert sind, biegt sich das aktive Element folglich in Richtung zur Seite des stromführenden Bereichs. Wenn beide Bereich unter Strom gesetzt sind, zieht sich das gesamte Bauteil zusammen, und wenn nur das zweite PZT mit Spannung belegt ist, biegt sich das Bauteil in die andere Richtung. Durch Verändern der Spannung in den verschiedenen Bereichen kann ein Kontaktpunkt auf der Oberseite des aktiven Elements entlang jedes beliebigen Pfades innerhalb eines rhombenförmigen Bereichs wandern. Ein „Kontaktpunkt“ ist selbstverständlich kein Punkt im mathematischen Sinn, sondern vielmehr ein kleiner „Kontaktbereich“ in Abhängigkeit von den tatsächlichen Geometrien und Normalkräften, und diese Ausdrücke werden in der vorliegenden Beschreibung in einer synonymen Weise verwendet werden.

[0014] Durch Verwendung von vier aktiven Elementen, die nacheinander angeordnet sind in der Richtung der seitlichen Bewegung, kann ein Bewegungsvorgang am Körper erreicht werden. Dadurch, dass man das erste und das dritte Bauteil phasengleich bewegen lässt, und durch Bewegen des zweiten und des vierten Bauteils phasenverschoben, wird eine Nichtresonanzschritt-Bewegung, ähnlich zu der oben Beschriebenen, erreicht.

[0015] In der vorherigen Patentanmeldung bestand der Motor z. B. aus aktiven Bauteilen, die auf einem Substrat montiert waren, und typischerweise wurde Löten als Verbindungsverfahren verwendet. Dies ist ein ziemlich zeitaufwändiger Vorgang und deshalb teuer. Die meisten Anwendungen fordern jedoch, dass der Preis jedes Motors sehr gering ist.

[0016] In der obigen Patentanmeldung wurden bimorphe und multimorphe Bauteile verwendet, um eine zwei-axiale Bewegung zu erzielen und zur gleichen Zeit die Möglichkeit einer Stoßvergrößerung. Der Nachteil bei einem einzeln geklemmten Bimorph ist, dass Kraftleistung sehr viel geringer ist im Vergleich zu einem idealen Hebel, was der Grund dafür ist, dass diese Arten von Bauteilen normalerweise verwendet werden zum Positionieren, wenn keine erhebliche Notwendigkeit für Kraft besteht. Ein doppelt geklemmter Bimorph, eine gebogene Membran oder ein bogenförmiger Aufbau bieten eine bessere Kraftleistung für eine gegebene Stoßvergrößerung, wie in US-Patent Nr. 5,589,725 offenbart. Jedoch wurde bisher keine vollständig zufriedenstellende Konstruktion für diese Hebelkraftstrukturen dargelegt. Entweder sind sie in der Herstellung zu teuer (zum Beispiel beim Zusammenbau) oder die Leistung ist nicht ausreichend.

[0017] Ein wichtiges Anwendungsgebiet für Miniaturmotoren ist in Katheterinstrumenten (für medizinische Zwecke). Das Problem ist, wie die Form einer langen engen Rohrleitung gesteuert wird. Entweder ist die Rohrleitung das Instrument selbst oder eine Hilfsanordnung für einen anderen Typ von Katheterinstrument. Es gibt nur wenige Vorschläge oder Beispiele, wie die Bewegung eines rohrleitungsförmigen Aufbaus mit Abmessungen geringer als ein Durchmesser von 5 mm gesteuert werden kann. Alle Vorschläge haben offensichtliche Nachteile. Entweder ist die Bewegung zu gering, die Rohrleitung zu schwach oder führt zu einer zu großen Erwärmung.

[0018] Mehrschichtige Strukturen von piezoelektrischen Materialien werden üblicherweise in der folgenden Weise hergestellt. Eine grüne Folie wird hergestellt durch Foliengießen einer Mischung aus piezoelektrischem Puder und einem Polymerbindemittel. Ein Elektrodenmuster wird mittels Siebdruck einer Metallpaste auf der grünen Folie definiert. Die Mehrfachsicht wird hergestellt durch Schichten dieser Folien und nachfolgende Wärmebehandlung des Aufbaus in zwei Schritten, als erstes ein Ausbrennen des Polymers und zweitens Sintern, um eine monolithische Einheit zu erzeugen. Die Außenform wird meistens mittels eines scharfen Keils im grünen Zustand geschnitten, jedoch können andere Formtechniken, wie z. B. Bohren, Schneiden und Stanzen ebenfalls verwendet werden. Die Kontakte zu den verschiedenen Elektroden-schichten werden nach dem Sintern durch Drucken oder Aufmalen von Metallpaste auf den Seiten erzeugt, orthogonal zu den Schichten, und eine nachfolgende Wärmebehandlung der Paste bildet ein Metall.

[0019] In einem Hauptteil der zukünftigen Anwendungen für Miniaturmotoren muss die Herstellung billig sein. Die heutigen Mikroherstellungstechniken sind ziemlich teuer und dennoch weit davon entfernt, billige aktive Bauteile herzustellen. Die hauptsächlichen Notwendigkeiten sind Elektrodenmuster und elektrische Verbindung zwischen den Schichten in

dem elektroaktiven Material.

Zusammenfassung der Erfindung

[0020] Ein Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, einen Motor oder Aktuator vorzusehen, unter Verwendung des Nichtresonanzschritt-Prinzips, der eine möglichst kleine Anzahl von einzelnen Bauteilen umfasst, wobei die Präzision der Bewegung der Vorrichtung beibehalten oder verbessert wird. Es ist ebenfalls ein Ziel der vorliegenden Erfindung, Herstellverfahren für solche Motoren oder Aktuatoren vorzusehen.

[0021] Noch ein Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, einen Motor oder Aktuator vorzusehen, der weiter miniaturisiert werden kann.

[0022] Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung ist es, einen Motor oder Aktuator vorzusehen, der einen breiten Bereich von kombinierten Bewegungen erzielen kann.

[0023] Die obigen Ziele werden erreicht durch einen Motor oder Aktuator nach Anspruch 1. Ein Aktuator oder Motor umfasst elektromechanisches Material, das die Bewegung zur Verfügung stellt, wobei die Bewegung durch wiederholtes Durchführen kleiner Schritte erzeugt wird. Der Aktuator umfasst zumindest ein monolithisches Modul mit Elektroden, die in dem elektromechanischen Material integriert sind. Der Begriff „monolithisch“ steht in dieser Beschreibung für einen einzigen einstückigen Körper, der schließlich durch Wärmebehandlung zusammengefasst wird, z. B. ein Sinterblock aus verschiedenen Materialien. Der Aktuator weist zumindest zwei Kontaktpunkte mit dem sich bewegenden Körper auf, dessen Kontaktpunkte unabhängig voneinander in Bezug auf ein passives Teil in dem monolithischen Modul in zumindest zwei unabhängigen Richtungen positioniert sein können. Das Modul kann selbst oder in Kombination mit anderen Modulen verwendet werden, um einen anderen Körper zu bewegen.

[0024] Das Herstellverfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Erzeugen komplexer Elektrodenanordnungen in einem Keramikkörper, wie ein elektromechanisches Material, wobei das Verfahren eine Reproduktion einer geometrischen Form in einer Polymerfolie mit Körnchen aus elektromechanischem Material umfasst. Diese Reproduktion erzielt das dreidimensionale Muster der Module.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0025] Die Erfindung wird nun genauer unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in denen

[0026] **Fig. 1** ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel einer hexagonalen, monolithischen Struktur gemäß der Erfindung ist;

[0027] **Fig. 2** ein Ausführungsbeispiel in der Form einer Rohrleitung mit einer steuerbaren Form darstellt;

[0028] **Fig. 3** eine Variante des Ausführungsbeispiels nach **Fig. 2** ist, einschließlich einer konzentrischen inneren Rohrleitung mit einer peristaltischen internen Bewegung;

[0029] **Fig. 4** ein Ausführungsbeispiel zeigt, das eine kombinierte drehende und lineare Bewegung erlaubt;

[0030] **Fig. 5** eine bogenförmige Struktur mit einer verbesserten Kraftleistung für eine gegebene Stoßvergrößerung zeigt;

[0031] **Fig. 6** einen Rollvorgang zum Definieren der Form einer elektroaktiven Folie zeigt;

[0032] **Fig. 7** einige der entstehenden Geometrien einer plastisch verformten Folie eines elektroaktiven Materials zeigt, beschichtet mit einer Elektroden-schicht;

[0033] **Fig. 8** ein weiteres Verfahren zur Herstellung eines Aktuators gemäß der Erfindung zeigt; und

[0034] **Fig. 9** ausgerichtete Geometrien in Folien, verwendet als Ausgangsmaterial, zeigt.

Genaue Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0035] Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in **Fig. 1** dargestellt, welche ein monolithisches Modul mit allen aktiven Teilen offenbart. Das monolithische Modul kann beschrieben werden als ein größeres hexagonales, mechanisch passives Teil **1** und aktive Teile **2**, welche integrale Teile des Moduls sind. Deshalb kann keines der in **Fig. 1** gezeigten Teile entfernt werden, da sie zusammen das monolithische Modul bilden. Die aktiven Teile **2** sind so angeordnet, dass sie in Kontakt mit der Oberfläche des Körpers, der in Bezug auf das Modul (in der **Fig.** nicht gezeigt) bewegt werden soll, oder zumindest in der Nähe dessen Oberfläche sind.

[0036] Jedes Teil **2** besteht aus einem elektromechanischen Material, bevorzugt piezoelektrisch, das typischerweise eine mehrschichtige Struktur ist. Ein elektromechanisches Material reagiert auf ein bestimmtes elektrisches Feld, das über diesem angelegt ist. Um beim Anlegen der Spannung eine große Formänderung zu erzielen, muss das elektrische Feld in jedem Bereich des Materials hoch sein. Für ein nicht geschichtetes Material muss eine einzige Spannung über die gesamte Struktur angelegt sein, weshalb die erforderlichen Spannungen sehr hoch sein müssen. Einer der Vorteile bei einer geschichteten Struktur ist, dass die notwendigen Spannungen, um ein bestimmtes elektrisches Feld zu erhalten, niedriger werden, was erwünscht ist zum Abstimmen der Struktur mit z. B. der Antriebselektronik. Dies wird erreicht durch Einführen von Elektroden und Erdungsschichten innerhalb des Materials. Beim Zuführen einer relativ niedrigen Spannung zu jeder Elektrode kann das lokale elektrische Feld immer noch groß genug sein für eine große Formänderung.

[0037] Ein möglicher Aufbau einer solchen geschichteten Struktur ist im oberen Teil von **Fig. 1** gezeigt, in dem eine vergrößerte Skizze eines der Teile

gezeigt ist. Elektrische Kontakte **17 I–17 VI** sind mit Elektroden **16 I–16 VI** verbunden und ein Erdungskontakt **17 0** mit Erdungsschichten **16 0** zwischen den elektromechanischen Schichten in der **Figur**. Die elektromechanischen Schichten sind in der **Figur** als ein transparentes Volumen gezeichnet, aus Gründen der Klarheit, auch wenn das elektromechanische Material in Wirklichkeit nicht transparent ist. Das ganze Stück, das in dem vergrößerten Bild dargestellt ist, einschließlich der Elektroden, Kontakte usw., ist integrales Bestandteil des gesamten monolithischen Moduls.

[0038] Durch den oben beschriebenen Aufbau der aktiven Teile **2** kann jedes aktive Teil **2** gezwungen werden, sich in drei unabhängigen Richtungen zu bewegen. Durch Anlegen der gleichen Spannung an allen Elektroden **17 I–17 VI** verlängert das gesamte aktive Teil **2** seine Höhe, d. h. der Kontaktpunkt gegen den zu bewegendes Körper wird nach oben bewegt. Durch z. B. Anlegen einer Spannung an Elektroden **17 I** und **17 II** wird der entsprechende Bereich des elektromechanischen Materials versuchen, sich in der Höhe zu verlängern, während die anderen Bereiche unverändert bleiben. In der **Figur** führt diese Situation zu einer Neigung des aktiven Teils **2** nach innen, wodurch der Kontaktpunkt nach innen und etwas nach oben bewegt wird. In ähnlicher Weise, durch Anlegen einer Spannung an den Elektroden **17 II–17 IV**, wird das aktive Teil **2** gezwungen, sich zur linken Seite in **Fig. 1** zu biegen. Durch Kombination solcher Bewegungen kann der Kontaktpunkt des aktiven Teils **2** gezwungen werden, sich in einer beliebigen Richtung, mit bestimmten Einschränkungen, zu bewegen.

[0039] Somit ermöglicht die Verwendung von Elektrodenanordnungen wie in **Fig. 1** dargestellt der oberen Oberfläche des Teils, sich beliebig im Raum in Bezug auf das Substrat zu bewegen. Wenn zumindest zwei unabhängige Sätze von aktiven Teilen vorhanden sind, z. B. angeordnet wie A und B in **Fig. 1**, dann kann das Modul einfach mit einem Motor vom Nichtresonanzschritt-Techniktyp verwendet werden.

[0040] Ein Beispiel einer solchen Bewegung ist eine drehende Bewegung. Es sei angenommen, dass ein zu bewegendes Körper oben auf den aktiven Teilen **2** angeordnet ist, mit einem Kontaktpunkt für jedes Teil **2**, wenn nicht aktiv. Der Schrittzzyklus startet mit dem Verlängern des aktiven Teils aus Satz A, wobei nur die drei Kontaktpunkte mit A-Teilen bleiben. Dann werden die A-Teile in einer solchen Weise aktiviert, dass sie alle parallel zur am nächsten liegenden Ecke des hexagonalen passiven Teils **1** gebogen werden. Der sich bewegendes Körper wird dann um einen kleinen Winkel um eine Achse, die durch die Mitte des Moduls verläuft, drehen. Die B-Teile werden in Kontakt mit dem sich bewegendes Körper gebracht, und der Satz A wird kontrahiert und gestreckt. Der Zyklus fährt dann fort durch Biegen des Satzes B und so weiter.

[0041] Eine linear Bewegung kann ebenso dadurch

erreicht werden, dass stattdessen die Sätze von Teilen in einer bestimmten Richtung gebogen werden. Es ist leicht verständlich, dass eine beliebige Bewegung innerhalb der Ebene der aktiven Teile auf diese Weise erreicht werden kann.

[0042] In den obigen Beispielen wird angenommen, dass die Teile von konstanten Spannungsimpulsen angetrieben werden, aber typischerweise werden alle Teile in der Realität mit Sinusspannungen angetrieben, um eine elliptische Bewegung des Kontaktpunkts des Teils in Bezug auf das Substrat zu erreichen. Die zwei Sätze A und B drehen dann typischerweise um 180 Grad phasenverschoben. Für jedes Teil gibt es zumindest zwei Phasen und eine einfache Anordnung in **Fig. 1** wäre, die Elektroden I und VI mit einer Sinuswelle anzutreiben und III und IV mit einer anderen. Diese sollten phasenverschoben sein um 90 Grad, um eine passende elliptische Bewegung des Kontaktpunktes zu erhalten. Es gibt natürlich viele Wege, die Elektroden in den aktiven Teilen anzuordnen und Spannungen an den Kontakten anzulegen, um eine Bewegung gemäß der Nichtresonanzschritt-Technik zu erreichen.

[0043] Die tatsächliche Elektronik kann gemäß herkömmlichen Verfahren aufgebaut sein und wird in dieser Anmeldung nicht weiter diskutiert.

[0044] Es ist auch wünschenswert, die Steuerelektronik, welche die phasenverschobenen Spannungen erzeugt, wie auch verschiedene Sensorenrückmeldungen (z. B. Kraft und Position) und Kommunikationselektronik in das integrierte Modul aufzunehmen oder daran zu befestigen. Auf diese Weise kann ein speziell zugeschnittenes elektromechanisches Aktuatormodul als ein monolithisches Stück verfügbar sein.

[0045] Der Aktuator gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird vorzugsweise für medizinische Instrumente vom Kathetertyp verwendet. Unter der Annahme, dass die Steuer- und Kommunikationselektronik innerhalb des Moduls integriert sind (oder daran befestigt), löst eine Anordnung wie z. B. in **Fig. 2** gezeigt, frühere Probleme. Die Anordnung umfasst eine Anzahl von Modulen gemäß der vorliegenden Erfindung, wobei das gesamte Modul **1** eine Keilform aufweist, typischerweise mit einer geneigten Rückseite **3**. Die Keilform könnte entweder das Modul selbst oder eine separate Einheit sein, frei oder am Modul befestigt. Es ist auch zweckmäßig, ein elastisches Material oder eine elastische Struktur dazwischen oder als die Keilformeinheit zu verwenden (z. B. Federtypgeometrie).

[0046] Eine Anzahl von verschiedenen Bewegungsmodi ist leicht erreichbar durch eine solche Anordnung. Wenn die Module in Bezug aufeinander gedreht werden, folgt daraus eine Neigung der gesamten Anordnung.

[0047] Das heißt, dass eine Drehbewegung eines der Module die darüber angeordneten Module entlang von Kreispfaden befördert, deren Radius in Bezug auf die Entfernung zum drehenden Modul dem

Keilwinkel entspricht. Ein klarstellendes Beispiel ist der Fall, wenn die Anordnung über dem drehenden Modul linear ist. In einem solchen Fall folgt der obere Teil der Anordnung der Oberfläche eines Kegels.

[0048] Die zusammen arbeitenden zwei Module können eine Drehung ohne Neigung erzeugen. Dies wird erreicht durch Anordnung der zwei Keile in gegenüberliegenden Richtungen, so dass die Keilwinkel einander ausgleichen. Auf diese Weise kann eine Drehbewegung weiter in der Anordnung der **Fig. 2** übertragen werden.

[0049] Eine mögliche Lösung zum Aufbau eines solchen Systems wäre es, die Module einschließlich der Keile in eine Blasenbalg-förmige Röhre **4** einzuschließen. Die Röhre erzeugt die Normalkraft zwischen den vielen Modulen. Zur gleichen Zeit dient sie als Schutzummantelung und elektrische Verbindung. [0050] Alle Module können zu einem seriellen Kommunikationsbus (z. B. 2 bis 4 elektrische Drähte) verbunden werden, um die Anzahl der elektrischen Verbindungen zwischen den Modulen zu verringern.

[0051] Eine andere elegante Katheterkonstruktion ist es, Module mit einer kugelförmigen Kontaktoberfläche zu verwenden, wie in **Fig. 3** dargestellt. Die kugelförmige Kontaktoberfläche **3** ermöglicht es, jedes Modul in Bezug auf das Nächste ohne jede Neigung zu drehen. Es ist auch möglich, jedes einzelne Modul in jeder Richtung zu neigen, wenn drei-axiale aktive Teile verwendet werden. Dies entspricht der linearen Bewegung, die in Verbindung mit **Fig. 1** beschrieben wurde. Der Katheter ist flexibler im Vergleich zur früheren Konstruktion, **Fig. 2**. Jedoch ist das keilförmige Design viel leichter herzustellen, was ein Vorteil in einigen Anwendungen sein könnte.

[0052] Es gibt auch einen Wunsch, z. B. Flüssigkeiten nach innen und nach außen durch das Arbeitsende des Katheters zu transportieren. Dies könnte erreicht werden mit einer Röhre **6** in der Mitte der Module, **Fig. 3**. Ein peristaltischer Typ des Flüssigkeitstransports kann erhalten werden, wenn zwei Röhrenverengungen **7**, getrennt um eine bestimmte Entfernung, sich zusammen bewegen. Verengungen können durch Drehung oder Dehnung der Röhre unter Verwendung der Module erreicht werden. Durch Bewegung der einzelnen Module gemäß einem bestimmten Schema ist es möglich, solche Verengungen entlang der Anordnung zu bewegen, und wenn beide Verengungen zusammen bewegt werden, wird das dazwischen eingeschlossene Volumen durch die Mitte der Anordnung gebracht.

[0053] Zu den Hochleistungsanwendungen gehören z. B. lineare Bewegung in einem schnellen Hochpräzisionsgerät. Eine solche Konstruktion ist in **Fig. 4** gezeigt. Sie besteht aus drei Modulen, die in eine Statorstruktur **8** zusammengesetzt sind. Die Statorstruktur hat eine Geometrie, die eine radiale Kraft gegen den Rotor **10** mittels Federelementen **9** erzeugt. Wenn die aktiven Teile in dem Modul für eine drei-axiale Bewegung gedacht sind, wie in der Figur angedeutet, dann kann sowohl eine axiale Bewegung als

auch eine Drehung des Rotors erzielt werden. Wie im vergrößerten Modul zu sehen, sind die vier aktiven Teile in zwei Sätze unterteilt. Dies wird auch für die zwei anderen Module des Motors durchgeführt. Diese zwei Sätze von aktiven Teilen bilden Greifklauen analog zu einer Bewegung nach dem Nichtresonanzschritt-Prinzip, analog zur Beschreibung von **Fig. 1**. Wenn die aktiven Teile in jedem Satz in einer tangentialen Richtung während des Betriebs gebogen werden, wird die daraus folgende Bewegung des Rotors eine Drehung sein. Wenn die aktiven Teile in jedem Satz in einer axialen Richtung während des Betriebs gebogen werden, wird die daraus folgende Bewegung des Rotors eine axiale Übersetzung sein. Natürlich können diese beiden Bewegungsmodi gleichzeitig kombiniert werden, indem man die aktiven Teile in den Modulen in einer Richtung zwischen den zwei reinen Bewegungsfällen biegen lässt.

[0054] Ein einfacher Drehmotor kann in analoger Weise konstruiert werden, unter Verwendung von zwei federbelasteten Strukturen ähnlich zu denen in **Fig. 1** mit einem Rotor in der Mitte. In der einfachsten Version, werden die Kontaktpunkte von zwei monolithischen Modulen mit einer Klemmfederstruktur gegen jede Seite einer planaren Rotorscheibe gedrückt. Wenn ein Loch z. B. durch das monolithische Modul gebohrt wird, kann die mit der Rotorscheibe verbundene Rotorwelle orthogonal zum Modul in der Mitte verlaufen.

[0055] Ein vom Modul zu bewegender Körper wird tatsächlich durch Reibkraft bewegt. Um eine solche Kraft zu erreichen, ist einige Normalkraft in Richtung des Moduls erforderlich. Die Normalkraft, die nötig ist zum Erzeugen einer Bewegung zwischen dem Stator und dem Rotor, d. h. zwischen einem Modul und dem zu bewegenden Körper in Bezug auf das Modul, kann auf viele Arten erreicht werden. Alle Arten von Kräften können verwendet werden: Gravitation, Magnet-, Elektrostatik-, Molekül-, Atom- oder Viskosekräfte. Die elastischen Kräfte in Federn sind natürlich für viele Anwendungen passend, aber die Verwendung von Dauermagneten könnte eine der kostengünstigsten Verfahren sein. Unter elastischen Federn versteht man alle mechanischen Anordnungen, die den sich bewegenden Körper gegen die Module drücken. Diese „Federn“ machen normalerweise das umgebende umfassende Material aus. Sie können jedoch ein gewisses Ausmaß an Montageaufwand erfordern, was solche Lösungen weniger kostengünstig macht.

[0056] Der Bewegungsbereich jedes aktiven Teils in den Modulen ist ein extrem wichtiger Parameter. Ein ausreichend großer Bewegungsbereich in Bezug auf die Herstellungsgenauigkeit ist erforderlich. Während der in **Fig. 1** gegebene Teilaufbau ausreichend sein mag für bestimmte Motorgrößen, muss ein Stoßvergrößerungsmechanismus verwendet werden, wenn der Motor weiter verkleinert wird.

[0057] In den Vorrichtungen des Standes der Technik werden einige Anstrengungen hinsichtlich der Stoßvergrößerung durchgeführt, jedoch ziemlich un-

genügend. Die Hebelkraftstruktur **11**, die schematisch in **Fig. 5** dargestellt ist, löst all diese Probleme. Sie ist ein monolithischer Körper bestehend aus bogenförmigen Strukturen, die mit zwei entgegengesetzt ausgerichteten Bögen **12** als eine Grundeinheit angeordnet sind. Die Bögen sind typischerweise aus elektroaktivem Material mit Schichten aus Elektroden und in einer solchen Weise verbunden, dass bei einer gegebenen angelegten Spannung ein Bogen seine Krümmung vergrößert und der andere Bogen seine Krümmung verringert. Auf diese Weise dehnt sich der gesamte Körper in der vertikalen Richtung aus und Horizontalkräfte **14** werden ausgeglichen. Die Horizontalkräfte sind z. B. aufgrund von horizontalen Formveränderungen vorhanden, um die Änderung der Krümmung zu erreichen. Da ein Bogen seine Krümmung verringert und der andere seine Krümmung vergrößert, haben die daraus resultierenden Kräfte entgegengesetzte Vorzeichen in der Horizontalrichtung, und werden somit innerhalb jeder Grundeinheit ausgeglichen. Durch intelligente Verteilung der Elektroden in dem Modul wird eine drei-axiale Bewegung erreicht. Zum Beispiel können die Elektrodenbereiche in jedem Bogen analog zu den aktiven Teilen **2** in dem monolithischen Modul **1** geteilt werden und somit kann sich der zentrale Bereich, der für die Übertragung von Kraft und Verschiebung verwendet wird, auch in einer horizontalen Richtung bewegen. Das Volumen zwischen den Bögen ist entweder leer oder mit einem passenden elastischen Material gefüllt. Ein elastisches Material wie z. B. Gummi dient z. B. als Schutz gegen Überlastung ohne einen wesentlichen Verlust der Aktuatorleistung.

[0058] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung von monolithischen Modulen offenbart. In diesem Verfahren ist es natürlich erwünscht, das monolithische Modul direkt zu seiner endgültigen Form zu bilden, einschließlich interner Hohlräume oder ähnlichem. In **Fig. 6** bis **9** sind einige mögliche Bearbeitungstechniken, um diese Probleme zu lösen, beschrieben. In **Fig. 6** werden Walzen **18** mit geometrischen Formen **19** verwendet zur Reproduktion dieser Formen in einer Folie aus elektro-mechanischem Material **15**. Eine Alternative zu Walzen ist die Verwendung des etwas langsameren Stanzverfahrens, was den Vorteil einer billigeren Werkzeugherstellung bietet. Die durch die Reproduktion hergestellten Formen werden prinzipiell für die Definition der Elektroden-schichten und der Verbindungen zwischen Schichten in dem grünen Zustand, d. h. vor der Wärmebehandlung, verwendet. Andere Verwendungszwecke der Reproduktionstechnik sind eine Hilfe für die Ausrichtung und die Definition von Hohlräumen, was später beschrieben wird.

[0059] Abhängig von der tatsächlichen Anwendung kann die Folie mit Elektroden-schichten **16** bedeckt sein, wie in **Fig. 7** gezeigt, vor der oben beschriebenen Reproduktion. Wenn die Folie mit Elektroden-schichten **16** bedeckt ist, entweder auf einer oder auf beiden Seiten, kann die Musterung der Elektroden di-

rekt durch den Wälzvorgang, **Fig. 7**, durchgeführt werden. Die Elektrodenschicht wird durch plastische Verformung der Folie geteilt, was zu getrennten Elektrodenbereichen führt, wie in **Fig. 1** zu sehen ist. Die Elektrodenmusterung auf der Oberseite z. B. einer Polymerfolie mit piezoelektrischen Körnchen ist normalerweise schwierig durchzuführen mit den Standard-Litographietechniken des Standes der Technik, und das Verfahren der vorliegenden Erfindung löst dieses Problem auf elegante Weise.

[0060] Die elektrische Verbindung zwischen den Schichten kann auch hergestellt werden durch Formlöcher **20** durch plastische Verformung der Folie. In **Fig. 7** sind die Wände des Lochs **20** immer noch mit Elektrodenmaterial bedeckt und eine elektrische Verbindung wird zwischen den zwei Schichten ausgebildet. Alternativ kann ein in der oben beschriebenen Weise gebildetes Loch mit elektrisch leitender Paste ausgefüllt sein. Auf diese Weise können elektrische Verbindungen nicht nur horizontal, sondern auch vertikal durch die Module hergestellt werden. Ein weiteres Verfahren zur Bildung von elektrischen Verbindungen wäre die Verwendung von Walzen, siehe **Fig. 8**, Falten, Verdrehen usw. in Kombination mit plastischer Verformung, um die gewünschte elektrische Verbindung zu erhalten. Bei der Herstellung von Aktuatoren auf der Grundlage von elektromechanischen Materialien ist einer der zeitaufwändigsten und insgesamt einschränkendsten Verfahrensschritte die elektrische Verbindung zwischen den Schichten. Einfaches Falten, wenn zwei unterschiedliche parallele Schichten in der Faltung selbst verbunden sind, löst dieses Problem bei bestimmten Anwendungen, da keine Notwendigkeit besteht für Verbindungen zwischen den Schichten. Walzen und Verdrehen der Polymerfolie mit elektroaktivem Material sind weitere Verfahren zum Bilden von elektrischen Verbindungen zwischen verschiedenen Schichten ohne Ausbildung von Löchern.

[0061] Nachfolgende Bearbeitungsschritte sind das Schichten dieser Schichten und Herstellen einer monolithischen Einheit oder eines monolithischen Moduls mittels Wärmebehandlung, Verfahren, die an sich bekannt sind. Diese Schritte werden deshalb nicht weiter diskutiert in dieser Offenbarung.

[0062] Interne Hohlräume (oder passende Materialien) können hergestellt werden durch Einbeziehen von Schichten mit nicht-elektroaktivem Material. Solche Schichten können vor oder nach dem Reproduktionsschritt sowie während dem Schichtschritt eingebracht werden. Durch die Reproduktion werden Polymervolumen verschiedener Geometrien erzeugt. Während der Wärmebehandlung, insbesondere der herkömmlichen Einführ-Ausbrennwärmebehandlung, würde ein Polymermaterial z. B. verschwinden. Ein Hohlraum kann somit erzeugt werden durch Einbringen einer gemusterten Polymerschicht mit Hilfe der Reproduktionstechnik.

[0063] Externe Reibschichten, passend an der Oberseite der aktiven Teile der Module, usw. können

in gleicher Weise einbezogen werden. Da die Außenteile der aktiven Teile die Bereiche der Module darstellen, die in mechanischem Kontakt mit dem sich bewegenden Körper sind, sind dies die einzigen Teile der Module, die einem tribologischen Effekt ausgesetzt sind. Da jedoch der Bewegungsvorgang von einer bestimmten Reibung abhängig ist, muss irgendeine Art von Kontakt bestehen. Ein Weg, den Verschleißwiderstand usw. zu verbessern, wäre es, die äußersten Teile der aktiven Teile mit externen Reibschichten zu bedecken. Solche Schichten können auch leicht in das Herstellungsverfahren der vorliegenden Erfindung aufgenommen werden, durch Zufügen einer oder mehrerer Schichten aus verschleißfestem Material auf die endgültigen elektromechanischen Schichten. Die Reibschichten werden nachfolgend während des Sintervorgangs in das Modul integriert.

[0064] Ein schwieriger Schritt im Herstellungsverfahren ist die Ausrichtung der verschiedenen Laminierschichten vor der Wärmebehandlung. Da sich die Gesamtgenauigkeit in einer Größenordnung von um befinden muss, muss eine entsprechende Genauigkeit während des Ausrichtvorgangs erzielt werden. Die Ausrichtung während der Schichtung kann stark vereinfacht werden, wenn bestimmte Ausrichtgeometrien **21**, z. B. Haken im Loch, ebenso in der Folie reproduziert werden. Aus **Fig. 9** ist ersichtlich, dass geometrische Strukturen beim Ausrichtvorgang helfen können. In **Fig. 9** sind bestimmte geometrische Ecken auf drei Schichten nacheinander mit **21A** bis **21F** gekennzeichnet. Vorstehende Ecken **21A**, **21B** und **21E** entsprechen ausgesparten Ecken **21C**, **21D** bzw. **21F** in der darunter liegenden Schicht. Beim Aufeinanderlegen solcher Schichten passen diese Ecken zusammen und führen die Schichten, so dass diese genau ausgerichtet sind.

[0065] Obwohl bestimmte bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung in der obigen Beschreibung dargestellt wurden, sei angemerkt, dass die Erfindung nicht auf diese beschränkt ist. Es ist selbstverständlich, dass Abwandlungen und Modifikationen gemäß der Erfindung eingeschlossen sein sollen und die Erfindung ausschließlich durch den Umfang der angefügten Ansprüche definiert ist.

Patentansprüche

1. Aktuator- oder Motoranordnung umfassend elektromechanisches Material, welches seine Form unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes verändert, und einen Körper, wobei Bewegung relativ zum Körper durch eine nicht-schwingende Wiederholung kleiner Schritte erzeugt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Aktuator- oder Motoranordnung zumindest ein monolithisches Bauteil mit in dem elektromechanischen Material integrierten Elektroden umfasst, wobei das monolithische Bauteil ein Sinterblock ist und zumindest ein passives Teil (**1**) und zumindest zwei aktive Teile (**2**) aufweist, wobei ein unabhängi-

ger Kontaktpunkt an jedem aktiven Element (2) gegen den Körper vorgesehen ist, wobei die Kontaktpunkte unabhängig voneinander positionierbar sind in zumindest zwei unabhängigen Richtungen bezüglich des passiven Teils (1) des monolithischen Bauteils, wobei das monolithische Bauteil alleine oder in Kombination mit anderen zur Erzeugung der Bewegung verwendet wird.

2. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontaktpunkte unabhängig voneinander positionierbar sind, bezüglich des passiven Teils (1) des monolithischen Bauteils in drei unterschiedlichen Richtungen.

3. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontaktpunkte der monolithischen Bauteile in einer Ebene liegen, welche bezüglich einer Grundebene des monolithischen Bauteils oder eines verbundenen Teils geneigt ist.

4. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine kugelförmige Kontaktgeometrie der monolithischen Bauteile.

5. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 3 oder 4, gekennzeichnet durch eine Blasenbalg-förmige Röhre, die verwendet wird, um eine Normalkraft zwischen den monolithischen Bauteilen herzustellen.

6. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die monolithischen Bauteile gegen den Körper gedrückt werden.

7. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die monolithischen Bauteile mittels Gravitations-, Elektrostatik-, Molekül-, Atom- oder Viskosekräften gegen den Körper gedrückt werden.

8. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die monolithischen Bauteile mittels Magnetkräften gegen den Körper gedrückt werden.

9. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die monolithischen Bauteile mittels elastischer Federkräfte gegen den Körper gedrückt werden.

10. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass drei-dimensionale Ausnehmungen in den monolithischen Bauteilen integriert sind.

11. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest

ein Teil der aktiven Elemente aus Grundeinheiten aufgebaut ist, die aus Strukturen (12) bestehen, welche in zwei oder drei Dimensionen gebogen sind.

12. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest ein Teil der aktiven Elemente aus bogenförmigen Strukturen (12) aufgebaut ist, welche an zumindest zwei Enden aneinander befestigt sind.

13. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Grundeinheiten gebogene Membran- oder Plattenstrukturen sind.

14. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausnehmungen mit gummiartigem Material gefüllt sind.

15. Aktuator- oder Motoranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das monolithische Modul ebenfalls eine Steuerelektronik umfasst, welche phasenverschobene Spannungen und verschiedene Feedback- und Kommunikationselektronik eines Sensors erzeugt, wobei der Sensor z. B. Kraft und Position misst.

16. Aktuator- oder Motoranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Körper eine Keilform aufweist.

17. Aktuator- oder Motoranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Körper ein elastisches Material umfasst.

18. Aktuator- oder Motoranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Körper eine elastische Struktur ist.

19. Aktuator- oder Motoranordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Aktuator- oder Motoranordnung eine Anzahl von monolithischen Bauteilen umfasst, wobei die Anzahl größer als eins ist.

20. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl von Bauteilen eins auf dem anderen gestapelt angeordnet ist.

21. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 20, gekennzeichnet durch eine Blasenbalg-förmige Röhre (4), welche zur Erzeugung einer Normalkraft zwischen den monolithischen Bauteilen angeordnet ist.

22. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 20, gekennzeichnet durch eine Mittellöhre

(6), die im Zentrum der gestapelten monolithischen Bauteile angeordnet ist.

23. Aktuator- oder Motoranordnung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass aktive Elemente auf den monolithischen Bauteilen für zumindest zwei-axiale Bewegung des Körpers (10) verwendet werden.

24. Verfahren zum Antreiben eines Aktuators oder Motors nach Anspruch 1, umfassend elektromechanisches Material, welches seine Form unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes verändert, umfassend den Schritt des Bewegens des Aktuators oder Motors durch Wiederholung kleiner Schritte, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt des Bewegens ferner den Schritt des Antreibens zumindest eines monolithischen Bauteils alleine oder in Kombination mit anderen monolithischen Bauteilen umfasst, wobei das monolithische Bauteil ein Sinterblock ist und in dem elektromechanischen Material integrierte Elektroden aufweist, wobei zumindest zwei Kontaktpunkte auf jedem der monolithischen Bauteile unabhängig voneinander in zumindest zwei unabhängigen Richtungen bezüglich eines passiven Teils der monolithischen Module positioniert werden.

25. Verfahren zum Antreiben eines Aktuators oder Motors nach Anspruch 24, gekennzeichnet durch Drehen von zumindest einem monolithischen Bauteils bezüglich eines anderen, welches eine Keilform aufweist, oder bezüglich einer getrennten Einheit mit einer Keilform, wodurch eine drehende Bewegung in eine geneigte Bewegung umgewandelt wird.

26. Verfahren zum Antreiben eines Aktuators oder Motors nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass der Schritt der relativen Drehung die Schritte einer Erzeugung und Bewegung von Verengungen (7) einer Mittelröhre beinhaltet, was zu einer peristaltischen Bewegung aller Flüssigkeiten in der Mittelröhre führt.

27. Verfahren zur Herstellung eines Aktuators oder Motors nach Anspruch 1, umfassend ein elektromechanisches Material, welches seine Form unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes verändert, wobei eine Bewegung bezüglich eines Körpers durch nicht-schwingende Wiederholung kleiner Schritte erzeugt wird, wobei der Aktuator oder Motor zumindest ein monolithisches Bauteil mit in dem elektromechanischen Material integrierten Elektroden umfasst, wobei das monolithische Bauteil ein Sinterblock ist und zumindest ein passives Teil (1) und zumindest zwei aktive Teile (2) aufweist, wobei das Verfahren den Schritt eines Erzeugens komplexer Elektrodenanordnungen in dem elektromechanischen Material umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren den Schritt einer Reproduktion geometrischer For-

men in dem elektromechanischen Material vor der das monolithische Bauteil herstellenden Wärmebehandlung umfasst.

28. Herstellverfahren nach Anspruch 27, gekennzeichnet durch den Schritt eines Überziehens des elektromechanischen Materials mit einer Elektroden-schicht vor dem Reproduktionsschritt.

29. Herstellverfahren nach Anspruch 27, gekennzeichnet durch Ausrichten eines grünen Körpers mit einem anderen unter Verwendung der geometrischen Formen, die erzeugt wurden durch den Schritt der Reproduktion einer geometrischen Form in den grünen Körper.

30. Herstellverfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass der Reproduktionsschritt den Schritt eines Ausbildens von Löchern in dem grünen Körper für Elektrodenverbindungen zwischen den Schichten umfasst.

31. Herstellverfahren nach Anspruch 27, gekennzeichnet durch einen Schritt der Schaffung einer Verbindung von Elektroden-schichten durch plastische Verformungsverfahren.

32. Herstellverfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass der Reproduktionsschritt einen Schritt des Ausbildens von Schichten mit nicht-elektroaktiven Materialien beinhaltet.

33. Herstellverfahren nach Anspruch 27, gekennzeichnet durch einen Schritt des Ausbildens externer Reibschichten.

34. Herstellverfahren nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass der Reproduktionsschritt den Schritt des Ausbildens von Hohlvolumen beinhaltet.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

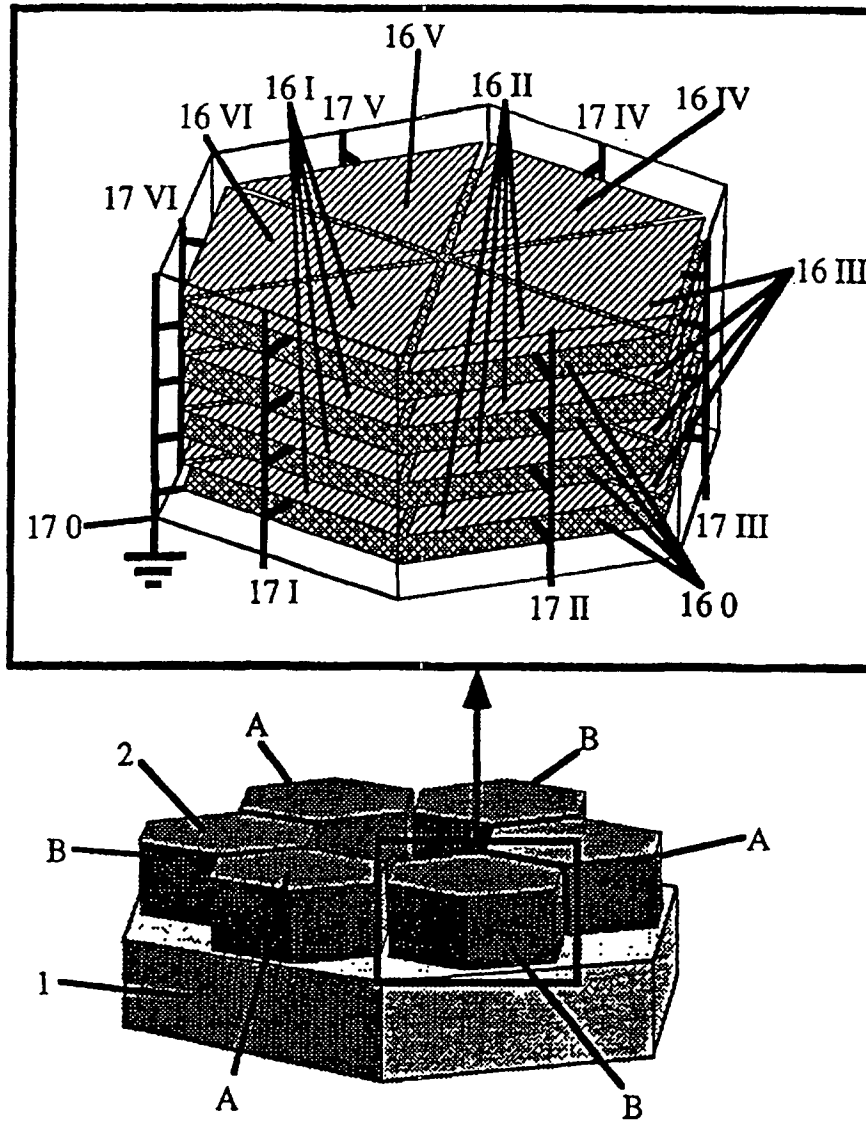
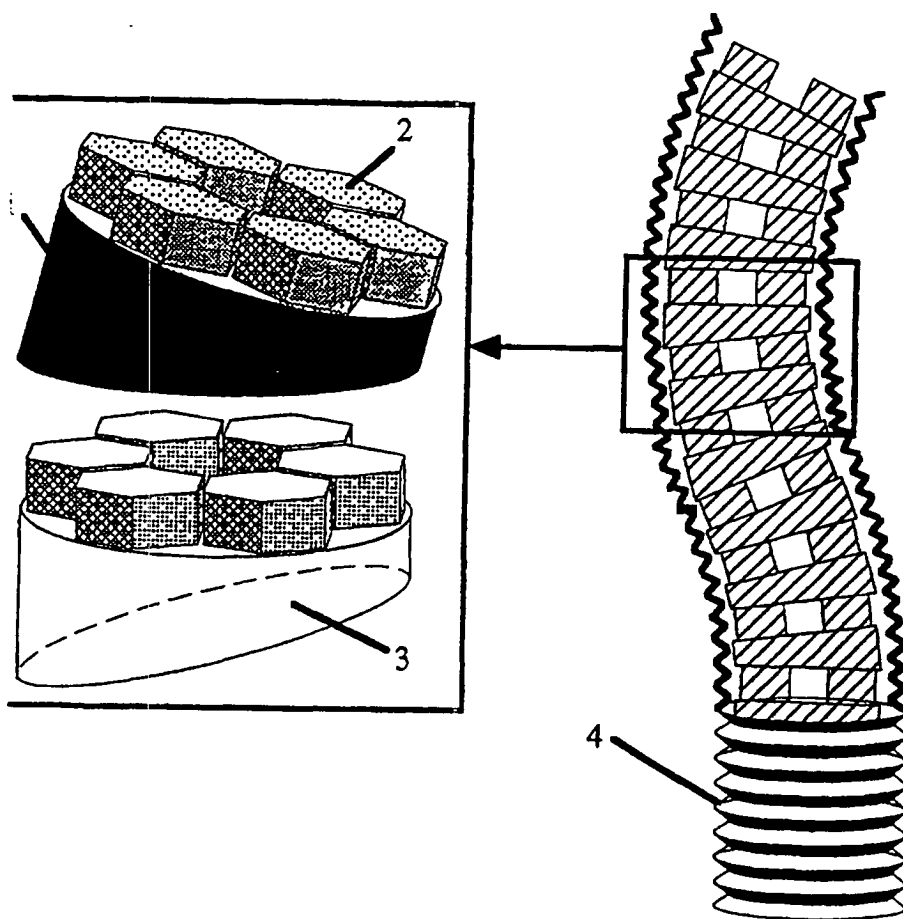
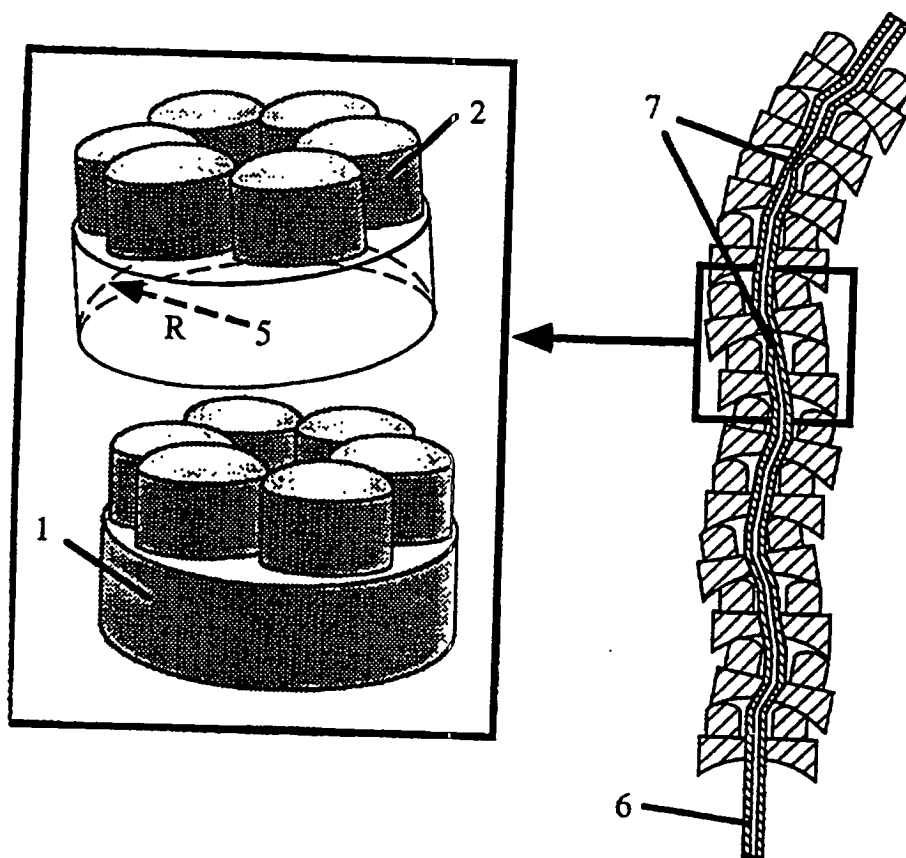


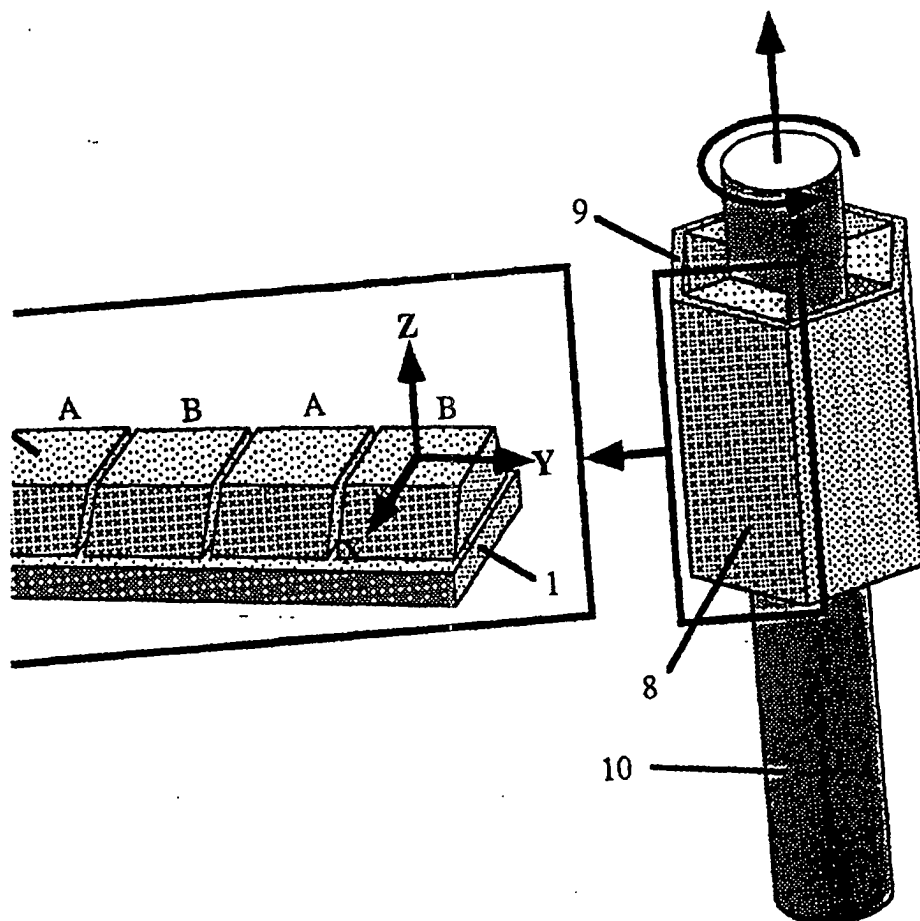
Figure 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4

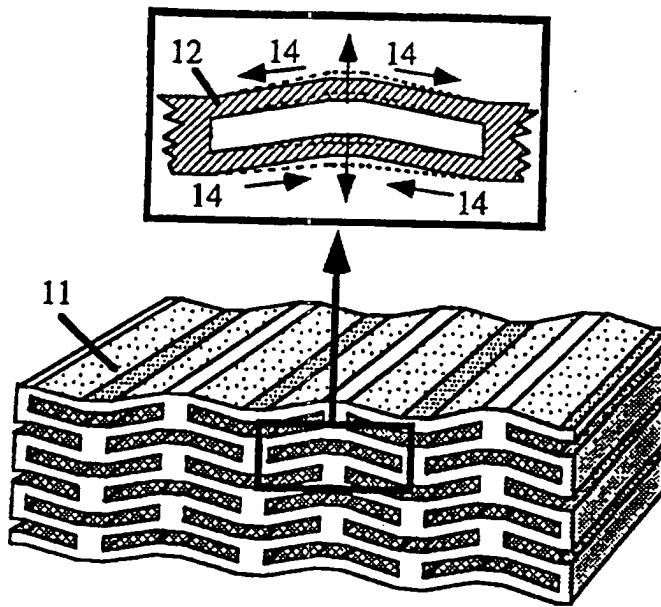
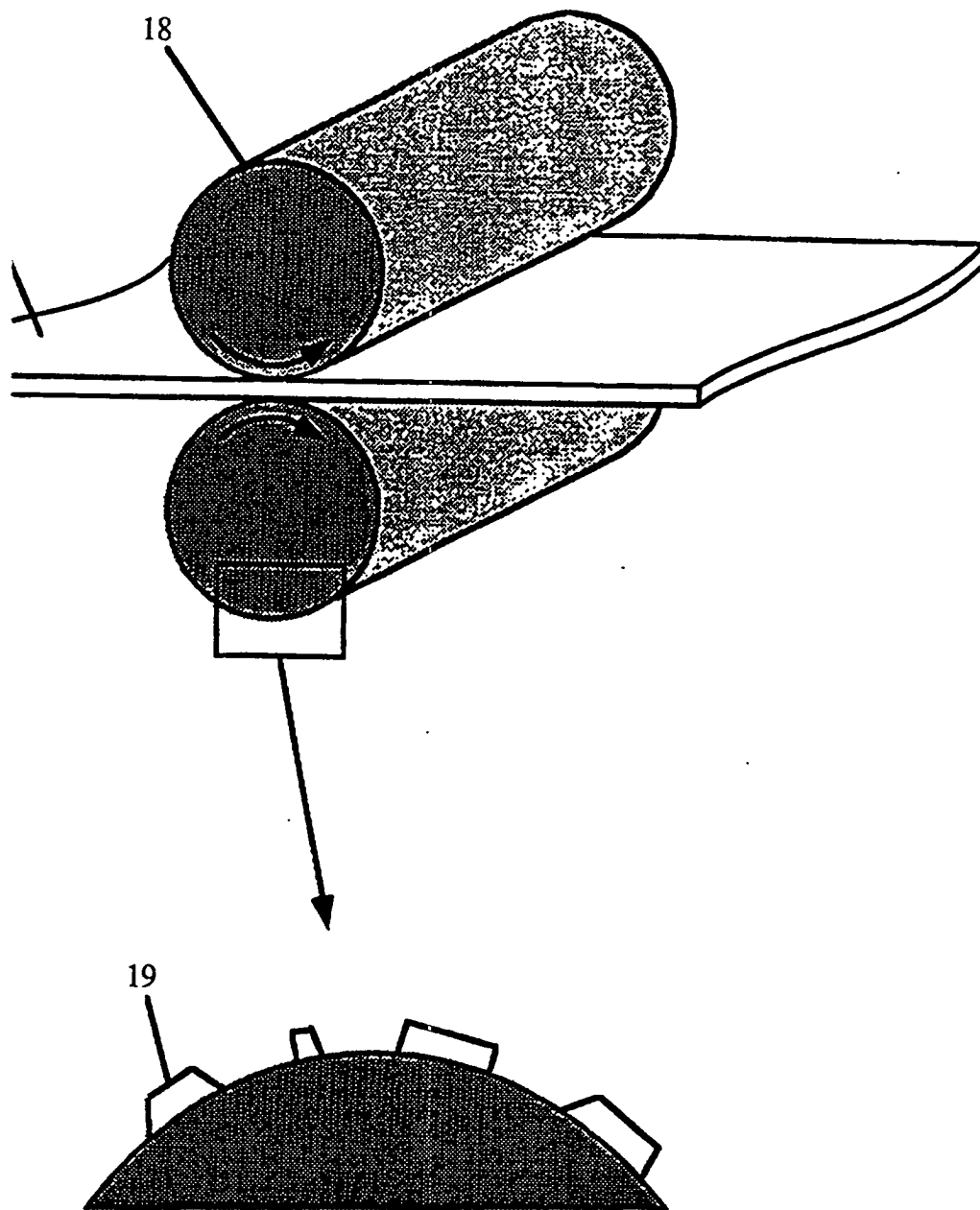
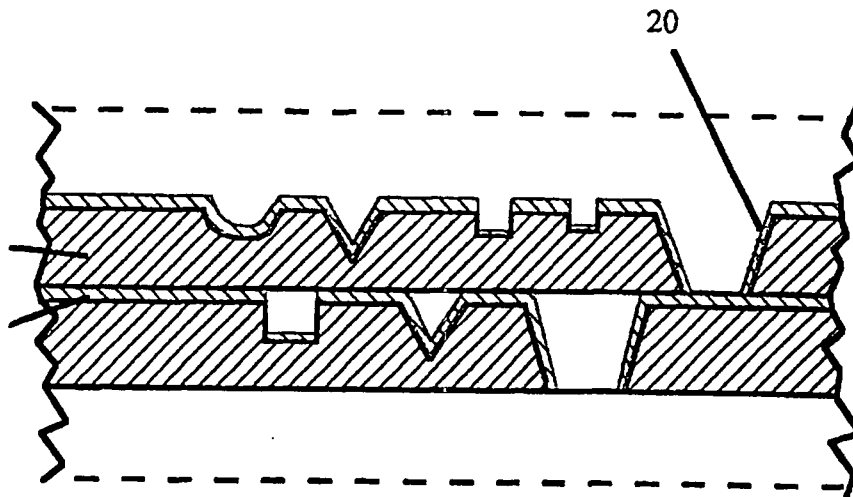


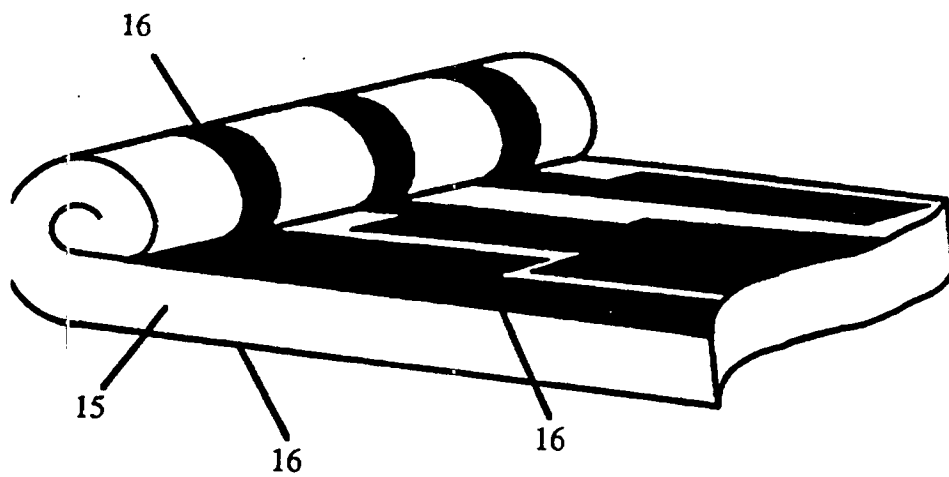
Figure 5



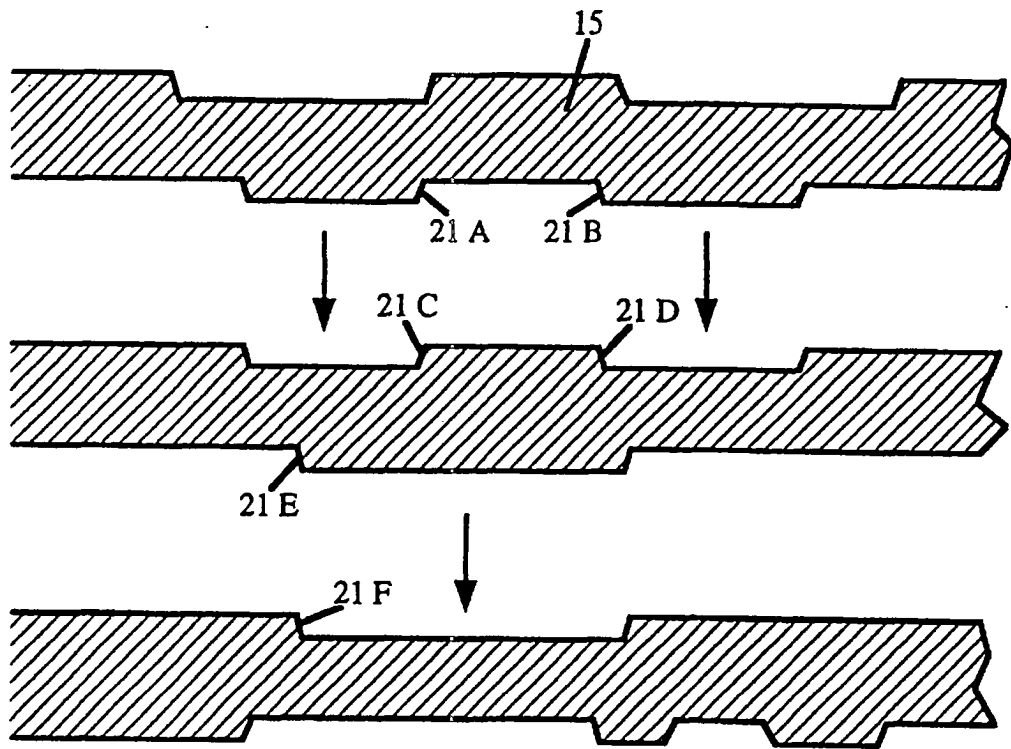
Figur 6



Figur 7



Figur 8



Figur 9