



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 603 06 243 T2 2007.03.08

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 354 849 B1

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B81B 3/00** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 06 243.1**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 252 254.2**

(96) Europäischer Anmeldetag: **09.04.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **22.10.2003**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **21.06.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.03.2007**

(30) Unionspriorität:  
**124888 18.04.2002 US**

(74) Vertreter:  
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049  
Pullach**

(73) Patentinhaber:  
**Hewlett-Packard Development Co., L.P., Houston,  
Tex., US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE, GB, IT**

(72) Erfinder:  
**Ives, Thomas Wayne, Boise, ID 83713, US**

(54) Bezeichnung: **Biegungselement mit integralem Aktor**

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 eingelebt, 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

**[0001]** Es wird Bezug genommen auf die ebenfalls anhängige US-Patentanmeldung Seriennr. 10/125,098 mit dem Titel „MEMS DEVICE HAVING A FLEXURE WITH INTEGRAL ACTUATOR“ und auf die ebenfalls anhängige Europäische Patentanmeldung (Aktenzeichen des Vertreters: N13374), die am selben Tag wie diese Anmeldung eingereicht wurde.

**[0002]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf mikroelektromechanische Vorrichtungen **10** und insbesondere auf eine mikroelektromechanische Biegevorrichtung, die eine integriert gebildete Betätigungs vorrichtung zum Biegen der Biegevorrichtung aufweist.

**[0003]** Mikroelektromechanische Systeme (im Folgenden „MEMS“) sind integrierte Systeme geringer Größe, wobei die Merkmalsgrößen allgemein Mikrometerabmessungen aufweisen. MEMS-Vorrichtungen werden auf einem gewöhnlichen Siliziumsubstrat unter Verwendung von Mikroherstellungstechnologie wie derjenigen, die für ein Bearbeiten von integrierten Schaltungen (IC) verwendet wird, erzeugt. Die Herstellungsprozesse ätzen selektiv Teile des Siliziumwafers weg oder fügen neue Strukturschichten hinzu, um die mechanischen und elektromechanischen Vorrichtungen zu bilden.

**[0004]** Ein einzigartiges Merkmal von MEMS ist das Ausmaß, in dem Betätigung, Erfassung, Steuerung, Handhabung und Berechnung in das gleiche System integriert sind. Beispiele für MEMS-Vorrichtungen umfassen einzeln gesteuerte Mikrospiegel, die bei einer Projektionsanzeige verwendet werden, Beschleunigungsmesser, die eine Zusammenstoßbedingung erfassen und Airbags in Autos aktivieren, Drucksensoren, „Labor-auf-einem-Chip“-Systeme und Datenspeichervorrichtungen **25**.

**[0005]** Viele MEMS-Vorrichtungen umfassen Massen, die in dem System bewegbar sind. Bei diesen MEMS-Vorrichtungen werden oft Balken oder Biegevorrichtungen verwendet, um die bewegbaren Massen in dem System zu tragen. Die Balken liefern sowohl eine Stütze der Masse des Systems als auch Nachgiebigkeit für die Massebewegungen des Systems. Falls eine Bewegung der Masse des Systems begrenzt werden muss, werden allgemein zusätzliche Merkmale in dem System erzeugt, um die Bewegung nach Wunsch zu begrenzen. Die tatsächliche Bewegung der Masse eines Systems wird durch eine weitere Vorrichtung erreicht, die von den Balken oder Biegevorrichtungen und den Bewegungsbegrenzungsmerkmalen getrennt ist. Hier allgemein als Betätigungs vorrichtungen oder Mikrobetätigungs vorrichtungen bezeichnet, können verschiedene Typen von Vorrichtungen verwendet werden, um eine Bewegung der Masse eines Systems zu bewirken. Mi-

krobetätigungs vorrichtungen, die bei MEMS-Vorrichtungen verwendet werden, verwenden eine Vielzahl von Verfahren, um eine Betätigung zu erreichen: elektrostatisch, magnetisch, piezoelektrisch, hydraulisch und thermisch.

**[0006]** Die Patentschrift US-A-5959516 zeigt einen Balken bei einem MEMS-System, wobei der Balken durch einen elektrostatisch angetriebenen ineinander greifenden Kammantrieb betätigt wird, wobei ein Satz von Kammfingern mit dem Balken integriert ist und von dem komplementären Kammantrieb weg gebogen wird, um den Balken zu bewegen.

**[0007]** Die Patentschrift US-A-5355712 zeigt einen MEMS-Balken, der mit einer integrierten thermischen Betätigungs vorrichtung ausgestattet ist, bei der eine bimetallische Ausdehnung eine Biegung des Balkens bewirkt.

**[0008]** Bei MEMS-Vorrichtungen wie denjenigen, die im Vorhergehenden erwähnt sind, müssen Platzbeschränkungen der Vorrichtung berücksichtigt werden. Obwohl MEMS-Vorrichtungen per Definition bereits extrem klein sind, kann es erwünscht sein, die Größe einer Komponente der Vorrichtung relativ zu der Größe einer anderen Komponente oder zu der Größe der gesamten Vorrichtung zu maximieren. So mit wäre es erwünscht, den Platz zu verringern, der von derartigen anderen Komponenten der Vorrichtung belegt wird, oder ausgewählte Komponenten ganz zu beseitigen. Außerdem wäre es erwünscht, die Anzahl von Prozessschritten zu verringern, die benötigt werden, um eine bestimmte MEMS-Vorrichtung oder spezifische Komponenten einer MEMS-Vorrichtung herzustellen. Wie bereits erwähnt, werden MEMS-Vorrichtungen unter Verwendung von Mikroherstellungstechnologie wie derjenigen, die bei der Produktion von integrierten Schaltungen verwendet wird, erzeugt. Eine Verringerung oder Vereinfachung der Prozessschritte, die erforderlich sind, um eine bestimmte MEMS-Vorrichtung oder eine ihrer Komponenten zu bilden, würde den Herstellungsprozess beschleunigen und die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers bei dem Herstellungsprozess verringern.

**[0009]** Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Biegevorrichtung für eine mikroelektromechanische Vorrichtung geliefert, die einen longitudinalen Balken umfasst. Eine Betätigungs vorrichtung, die mit dem Balken integriert ist, ist wirksam, um den Balken zu biegen, wenn dieselbe aktiviert ist. Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine mikroelektromechanische Vorrichtung geliefert, die folgende Merkmale aufweist:

ein nachgiebiges Bauglied, um mit einer bewegbaren Masse in Wechselwirkung zu stehen; und eine Betätigungs vorrichtung, die monolithisch mit dem nach-

giebigen Bauglied gebildet ist, zum Biegen des nachgiebigen Bauglieds und zum Bewegen der Masse.

[0010] Beispiele für die vorliegende Erfindung werden nun im Detail unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

[0011] [Fig. 1](#) eine perspektivische Ansicht eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Biegevorrichtung.

[0012] [Fig. 2](#) eine Grundrissdraufsicht des Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Biegevorrichtung, die in [Fig. 1](#) gezeigt ist.

[0013] [Fig. 3](#) eine stark vergrößerte Ansicht des eingekreisten Abschnitts 3 von [Fig. 1](#).

[0014] [Fig. 4a](#) und [Fig. 4b](#) Grundrissdraufsichten eines weiteren Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Biegevorrichtung.

[0015] [Fig. 5a](#) und [Fig. 5b](#) Grundrissdraufsichten von zusätzlichen Ausführungsbeispielen der erfindungsgemäßen Biegevorrichtung.

[0016] [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) eine Grundrissansicht bzw. eine perspektivische Ansicht der erfindungsgemäßen Biegevorrichtung, die bei einem Datenspeichermodul verwendet wird.

[0017] [Fig. 7a](#) und [Fig. 7b](#) alternative Ausführungsbeispiele eines Abschnitts des Datenspeichermoduls der [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#), das die erfindungsgemäße Biegevorrichtung verwendet.

[0018] [Fig. 8](#) eine Darstellung einer Balkenbewegung und -torsion bei dem Datenspeichermodul der [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#).

[0019] [Fig. 9](#) eine Grundrissansicht eines weiteren Ausführungsbeispiels eines Datenspeichermoduls, das die erfindungsgemäße Biegevorrichtung verwendet.

[0020] Bei der folgenden detaillierten Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele wird Bezug genommen auf die beiliegenden Zeichnungen, die einen Teil derselben bilden, und in denen zur Veranschaulichung spezifische Ausführungsbeispiele gezeigt sind, bei denen die Erfindung praktiziert werden kann. Es sei darauf hingewiesen, dass andere Ausführungsbeispiele verwendet werden können und strukturelle oder logische Veränderungen vorgenommen werden können, ohne von dem Schutzbereich der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Die folgende detaillierte Beschreibung soll deshalb nicht in einem einschränkenden Sinn aufgefasst werden, und der Schutzbereich der vorliegenden Erfindung ist durch die angehängten Ansprüche definiert.

[0021] Ein Ausführungsbeispiel einer Biegevorrichtung 10 zur Verwendung bei einem mikroelektromechanischen System (MEMS) ist in den [Fig. 1–Fig. 3](#) gezeigt. Die Biegevorrichtung 10 umfasst einen nachgiebigen longitudinalen Balken 12, der eine erste Seite 14 und eine zweite Seite 16, die der ersten Seite 14 gegenüberliegt, aufweist. Eine Betätigungs vorrichtung 18 ist integriert mit dem Balken 12 gebildet. Die Betätigungs vorrichtung 18 kann selektiv aktiviert werden, um den Balken 12 zu biegen. Bei einer Verwendung kann die Biegevorrichtung 10 z. B. positioniert sein, um mit einer bewegbaren Masse (nicht gezeigt) derart in Wechselwirkung zu stehen, dass ein Biegen des Balkens 12 durch die Betätigungs vorrichtung 18 die bewegbare Masse bewegt.

[0022] Wie es in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) gezeigt ist, ist die Betätigungs vorrichtung 18 integriert als ein Teil eines Mittelabschnitts 20 des Balkens 12 gebildet. Die Betätigungs vorrichtung 18 kann jedoch entlang eines beliebigen Abschnitts der Länge des Balkens 12 (wie z. B. benachbart zu einem Ende 23 des Balkens 12) oder entlang der gesamten Länge des Balkens 12 positioniert sein, wie es für eine bestimmte Anwendung erforderlich ist. Die Endabschnitte 21 des Balkens 12 können eine beliebige Länge aufweisen, die für die beabsichtigte Verwendung der Biegevorrichtung geeignet ist. Die Abmessungen des Ausführungsbeispiels der Erfindung, das in den [Fig. 1–Fig. 3](#) gezeigt ist, sollten nicht als bezüglich der Abmessungen und der Positionierung der Betätigungs vorrichtung 18 einschränkend aufgefasst werden.

[0023] Bei dem Ausführungsbeispiel der Biegevorrichtung 10, das in den [Fig. 1–Fig. 3](#) gezeigt ist, weist die Betätigungs vorrichtung 18 eine elektrostatische Beschaffenheit auf. Das heißt, die Betätigungs vorrichtung 18 wird selektiv durch das Vorhandensein einer elektrostatischen Ladung aktiviert. Bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung weist die Betätigungs vorrichtung 18 eine Mehrzahl von Kraftelementen 22 auf, die aus der ersten Seite 14 des Balkens 12 hervorstehten. Wenn die Biegevorrichtung 10 elektrostatisch aufgeladen wird, bewegen sich die Kraftelemente 22 aufgrund einer abstoßenden elektrostatischen Kraft auseinander und biegen dadurch den Balken 12 zu seiner zweiten Seite 16.

[0024] Die Kraftelemente 22 können auch auf beiden Seiten des Balkens 12 positioniert sein. Wie es in [Fig. 4a](#) gezeigt ist, sind die Kraftelemente 22 benachbart zu sowohl der ersten Seite 14 als auch der zweiten Seite 16 des Balkens 12 positioniert. Die Gruppe von Kraftelementen 22, die an der ersten Seite 14 in dem Mittelabschnitt 20 des Balkens 12 positioniert ist, ist wirksam, um Endabschnitte 21 des Balkens 12 zu der zweiten Seite 16 zu biegen. Gleichzeitig ist die Gruppe von Kraftelementen 22, die an der zweiten Seite 16 in den Endabschnitten 21 des Bal-

kens **12** positioniert ist, wirksam, um die Enden **23** des Balkens **12** zurück zu der ersten Seite **14** zu biegen. Wenn derselbe elektrostatisch aufgeladen ist, weist der Balken **12** eine Form auf, die derjenigen ähnlich ist, die in [Fig. 4b](#) gezeigt ist (die Form des Balkens **12** in [Fig. 4b](#) ist zu veranschaulichenden Zwecken stark übertrieben). Die Kraftelemente **22** können entlang des Balkens **12** in anderen Konfigurationen als der gezeigten positioniert sein, die zu der gewünschten Form des Balkens **12** führen, wenn derselbe elektrostatisch geladen ist.

**[0025]** Die Kraftelemente **22** sind auch wirksam, um das Krümmen oder Biegen des Balkens **12** zu der Seite des Balkens **12** mit den Kraftelementen **22** zu begrenzen. Bei den Ausführungsbeispielen, die in den [Fig. 1](#)–[Fig. 3](#) gezeigt sind, begrenzen die Kraftelemente **22** das Krümmen des Balkens **12** zu seiner ersten Seite **14**. Insbesondere treten, wenn sich der Balken **12** zu seiner ersten Seite **14** biegt, die Kraftelemente **22** in Kontakt miteinander und verhindern dadurch ein weiteres Biegen oder Krümmen des Balkens **12** in dieser Richtung. Auf diese Weise müssen zusätzliche Elemente, die die Bewegung des Balkens **12** oder einer Masse, mit der derselbe in Wechselwirkung steht, begrenzen sollen, nicht in die MEMS-Vorrichtung, die die Biegevorrichtung **10** verwendet, aufgenommen werden.

**[0026]** Wenn derselbe als eine mikroelektromechanische Vorrichtung verwendet wird, kann der Balken **12** abhängig von der beabsichtigten Anwendung der Biegevorrichtung **10** eine Breite zwischen der ersten Seite **14** und der zweiten Seite **16** in dem Bereich von 100.000 Angström (10 Mikrometer) oder weniger und gewöhnlicher weniger als 30.000 Angström (3 Mikrometer) aufweisen. Der Balken **12** kann auch bevorzugt ein Balken mit einem hohen Seitenverhältnis sein. Bei einem möglichen Ausführungsbeispiel weist der Balken **12** ein Seitenverhältnis von zumindest 3 auf, aber das Seitenverhältnis kann abhängig von der Anwendung viel größer oder kleiner sein. Ein hohes Seitenverhältnis bei dem Balken **12** erzeugt mehr Oberflächenfläche zwischen benachbarten Kraftelementen **22** und erzeugt somit eine größere Betätigungs- kraft zwischen benachbarten Kraftelementen **22**, wenn die Biegevorrichtung **10** elektrostatisch geladen ist. Das Seitenverhältnis des Balkens **12** wird durch Faktoren beeinflusst, die die Kraft, die durch die Betätigungs- vorrichtung **18** der Biegevorrichtung **10** erzeugt werden muss, die Stärke der elektrostatischen Ladung und die Menge an verfügbarem Platz in der MEMS-Vorrichtung umfassen.

**[0027]** Bei einem Ausführungsbeispiel der Erfindung weisen die Kraftelemente **22** T-förmige (oder hammerförmige) Elemente auf, die monolithisch an der ersten Seite **14** des Balkens **12** angebracht sind und sich von derselben erstrecken. Jedes T-förmige Element weist einen T-Schaft **24** und ein T-Querba-

glied **26** auf, wobei sich der T-Schaft **24** von dem Balken **12** erstreckt. Die T-Querbauglieder **26** bewegen sich auseinander, wenn dieselben elektrostatisch aufgeladen werden, um den Balken **12** zu der zweiten Seite **16** zu biegen.

**[0028]** Die T-Querbauglieder **26** treten miteinander in Kontakt, wenn der Balken **12** zu der ersten Seite **14** gebogen wird, und begrenzen dadurch den Grad, zu dem sich der Balken **12** zu der ersten Seite **14** biegen kann.

**[0029]** Die Kraftelemente **22** können andere Formen als eine T-Form aufweisen, wie es in den [Fig. 1](#)–[Fig. 3](#) veranschaulicht ist. Zum Beispiel können die Kraftelemente **22** gerade ([Fig. 5a](#)), L-förmig ([Fig. 5b](#)) sein oder eine beliebige andere Form aufweisen, die verwendet werden kann, um eine abstoßende Kraft zu erzeugen, wenn eine elektrostatische Ladung vorliegt.

**[0030]** Eine mögliche Anwendung für die Biegevorrichtung **10**, die eine integriert gebildete Betätigungs- vorrichtung **18** aufweist, wie es im Vorhergehenden beschrieben ist, ist in den [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) veranschaulicht. Die [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) zeigen ein Ausführungsbeispiel eines Speichermoduls **110** hoher Dichte. Das Speichermodul **110** umfasst einen Rotor **112** und einen Rahmen **114** zum Tragen des Rotors **112**. Der Rotor **112** ist durch seine obere Kante **116**, untere Kante **118**, linke Kante **120** und rechte Kante **122** begrenzt. Die Vorderseite **124** des Rotors **112** definiert eine X-Y-Ebene, wobei die obere Kante **116** und die untere Kante **118** mit der X-Achse ausgerichtet sind, und die linke Kante **120** und die rechte Kante **122** mit der Y-Achse ausgerichtet sind. Die Vorderseite **124** des Rotors **112** ist aus einem Speichermedium gebildet, das eine Mehrzahl von Speicherbereichen **126** zur Datenspeicherung aufweist. Die Speicherbereiche **126** (allgemein in [Fig. 6b](#) gezeigt) befinden sich in einem einer Mehrzahl von Zuständen, um Daten darzustellen, die in diesem Bereich gespeichert sind. Der Rotorrahmen **114** ist von den Rotorkanten **116**, **118**, **120** und **122** beabstandet. Bei einem Ausführungsbeispiel umgibt der Rotorrahmen **114** den Rotor **112** in der X-Y-Ebene. (Wie dieselben hier verwendet sind, sind Richtungstermini, wie z. B. oben, unten, links, rechts, vorne und hinten, relative Termini und sollten nicht als eine Einschränkung bezüglich der Gesamtausrichtung des Speichermoduls **110** aufgefasst werden).

**[0031]** Der Rotor **112** wird innerhalb des Rotorrahmens **114** durch eine Mehrzahl von Biegevorrichtungen **10** getragen, die den Rotor **112** und den Rotorrahmen **114** verbinden. Kraftelemente **22** der Biegevorrichtungen **10** sind in den [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Die Biegevorrichtungen **10** weisen jedoch den im Vorhergehenden beschriebenen Typ auf, der integriert ge-

bildete Betätigungsgerüste **18** aufweist. Die Biegevorrichtungen **10** liefern sowohl eine Stütze des Rotors **112** als auch Nachgiebigkeit für Bewegungen des Rotors **112**. Beim Steuern der Bewegung des Rotors **112** ist es oft erwünscht, dass das größtmögliche Nachgiebigkeitsverhältnis ebenenintern zu ebenenextern (hier als das Nachgiebigkeitsverhältnis bezeichnet) vorliegt. Dieses Verhältnis kann jedoch durch die gewählte mechanische Architektur beschränkt sein. Der Grund dafür, dass ein hohes Nachgiebigkeitsverhältnis erwünscht ist, besteht darin, dass die Kräfte, die durch die Betätigungsgerüste **18** geliefert werden, die integriert in den Biegevorrichtungen **10** gebildet ist, nicht sehr stark sind. Ein Verbessern einer ebeneninternen Nachgiebigkeit, während das Nachgiebigkeitsverhältnis aufrecht erhalten oder verbessert wird, ermöglicht, dass die relativ schwachen Kräfte der integrierten Betätigungsgerüste **18** den Rotor **112** auf eine annehmbare Weise bewegen. Ein Erhöhen der ebeneninternen Nachgiebigkeit kann durch ein Berücksichtigen einer axialen Verkürzung der Biegevorrichtungen **10** erreicht werden. Das heißt, wenn sich die Biegevorrichtungen **10** krümmen, neigen sie dazu, in ihrer axialen Richtung kürzer zu werden, was zu einer Abnahme der ebeneninternen Nachgiebigkeit führt. Ein Kompensieren dieser axialen Verkürzung erhöht die ebeneninterne Nachgiebigkeit. Eine zusätzliche Möglichkeit, die ebeneninterne Nachgiebigkeit zu verbessern, während die ebenenexterne Nachgiebigkeit gering gehalten wird und trotzdem das Nachgiebigkeitsverhältnis verbessert wird, besteht darin, zu ermöglichen, dass sich die Enden der Biegevorrichtungen **10** winklig bewegen. Selbst ein kleiner Winkel an einem oder beiden Enden des Balkens **12** kann die ebeneninterne Nachgiebigkeit erheblich erhöhen. In vielen Fällen kann die gleiche Struktur eine axiale Verkürzung kompensieren und auch eine Winkelbewegung des Balkens ermöglichen.

**[0032]** Wie es in den [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) gezeigt ist, erstreckt sich, um eine axiale Verkürzung zu kompensieren und auch eine Winkelbewegung der Biegevorrichtungen **10** zu ermöglichen, ein erstes Paar von Kopplungsbalken **130a, 130b** von der oberen Kante **116** des Rotors **112**, während sich ein zweites Paar von Kopplungsbalken **132a, 132b** von der unteren Kante **118** des Rotors **112** erstreckt. Bei dem Ausführungsbeispiel, das in den [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) gezeigt ist, weist der Rotor **112** eine rechteckige Form auf, und ein erster Satz von Kopplungsbalken **130a, 130b, 132a, 132b** erstreckt sich von den Ecken des Rotors **112**. Die Kopplungsbalken **130a, 130b, 132a, 132b** sind allgemein mit der linken und der rechten Kante **120, 122** des Rotors **112** ausgerichtet. Die Kopplungsbalken **130a, 130b, 132a, 132b** können jedoch einen anderen Ursprung und eine andere Ausrichtung als diejenigen, die in den [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) gezeigt sind, aufweisen. Zum Beispiel ermöglichen die alternativen Ausführungsbeispiele, die in den

[Fig. 7a](#) und [Fig. 7b](#) gezeigt sind, dem Kopplungsbalken **130a** eine zusätzliche Freiheit, sich zu drehen, und liefern dadurch dem Rotor **112** eine zusätzliche ebeneninterne Nachgiebigkeit.

**[0033]** Das erste Paar von Kopplungsbalken **30a, 30b** ist mit einer ersten Kopplungsmasse **134a** (benachbart zu der oberen Kante **116** des Rotors **112** positioniert) durch Biegevorrichtungen **136a** verbunden, die sich zwischen dem ersten Paar von Kopplungsbalken **130a, 130b** und der ersten Kopplungsmasse **134a** erstrecken. Das zweite Paar von Kopplungsbalken **132a, 132b** ist mit einer zweiten Kopplungsmasse **134b** (benachbart zu der unteren Kante **118** des Rotors **112** positioniert) durch Biegevorrichtungen **136b** verbunden, die sich zwischen dem zweiten Paar von Kopplungsbalken **132a, 132b** und der zweiten Kopplungsmasse **134b** erstrecken. Der erste Satz von Biegevorrichtungen **136a, 136b** weist eine axiale Ausrichtung auf, die allgemein mit der oberen und der unteren Kante **116, 118** des Rotors **112** ausgerichtet ist.

**[0034]** Der Rotorrahmen **114** umfasst eine erste und eine zweite Biegevorrichtungsbefestigung **140a, 140b**, die an gegenüberliegenden Seiten des Rotors **112** (benachbart zu der linken Kante **120** und der rechten Kante **122**, wie es in [Fig. 6a](#) gezeigt ist) positioniert sind. Die erste und die zweite Kopplungsmasse **134a, 134b** sind mit der ersten Biegevorrichtungsbefestigung **140a** durch Biegevorrichtungen **142a** verbunden. Die erste und die zweite Kopplungsmasse **134a, 134b** sind mit der zweiten Biegevorrichtungsbefestigung **140b** durch Biegevorrichtungen **142b** verbunden. Der zweite Satz von Biegevorrichtungen **142a, 142b** weist eine axiale Ausrichtung auf, die allgemein mit der linken und der rechten Kante **120, 122** des Rotors **112** ausgerichtet ist. Die Kopplungsmassen **134a, 134b** sind einfach als starre Körper wirksam, um eine Bewegung zwischen den Biegevorrichtungen **142a, 142b** und den Biegevorrichtungen **136a, 136b** zu übersetzen.

**[0035]** Es sei darauf hingewiesen, dass die Sätze von Biegevorrichtungen **136a, 136b, 142a, 142b** bei dem Ausführungsbeispiel, das in den [Fig. 6a](#) und [Fig. 6b](#) gezeigt ist, jeder insgesamt vier einzelne Biegevorrichtungen aufweisen. Eine andere Anzahl von einzelnen Biegevorrichtungen kann jedoch bei den Sätzen von Biegevorrichtungen verwendet werden (z. B. insgesamt zwei oder sechs Biegevorrichtungen bei jedem Satz).

**[0036]** Die Seiten der Biegevorrichtungen **136a, 136b** befinden sich in der X-Z-Ebene; dieser Satz von Biegevorrichtungen kann in der Y-Richtung gebogen werden, was ermöglicht, dass sich der Rotor **112** bezüglich des Rahmens **114** in der Y-Richtung bewegt. Die Seiten der Biegevorrichtungen **142a, 142b** befinden sich in der Y-Z-Richtung; dieser Satz von Biege-

vorrichtungen kann in der X-Richtung gebogen werden, was ermöglicht, dass sich der Rotor **112** bezüglich des Rahmens **114** in der X-Richtung bewegt.

**[0037]** Eine vereinfachte axiale Ansicht einer der Hochspektbalkenbiegevorrichtungen **10** ist in [Fig. 8](#) gezeigt. Wenn die Balken **12** ebenenintern und ebenenextern gebogen werden, tritt eine Torsion bei den Balken **12** auf. Diese Torsion tritt auf, obwohl sich der Balken **12** nicht bezüglich seiner axialen Ebene verdreht. [Fig. 8](#) zeigt Endansichten eines Balkens mit hohem Seitenverhältnis bei keiner Belastung (Position A), bei ebeneninternen und ebenenexternen Belastungen (Position B) und bei ebeneninternen, ebenenexternen und Torsionsbelastungen (Position C). Da die Bewegung des Rotors **112** den Balken **12** aufgrund der Momentarme, die sich aus einer Verschiebung ergeben, in Torsion versetzt, geht die Tendenz des Balkens dahin, sich von der Position C, die in [Fig. 8](#) dargestellt ist, zurück zu der Position B zu biegen, die in [Fig. 8](#) dargestellt ist. Wie im Vorhergehenden erwähnt, ist es oft erwünscht, dass das größtmögliche Nachgiebigkeitsverhältnis ebenenintern zu ebenenextern vorliegt. Dieses Nachgiebigkeitsverhältnis wird jedoch oft durch die im Vorhergehenden beschriebenen Balkentorsionen verringert. Um ein höheres Nachgiebigkeitsverhältnis aufrechtzuerhalten, ist es erwünscht, die Torsions- und ebenenexterne Nachgiebigkeit des Balkens zu verringern, während seine ebeneninterne Nachgiebigkeit maximiert wird.

**[0038]** Bei dem hier beschriebenen Speichermodul hoher Dichte wird die Torsions- und ebenenexterne Nachgiebigkeit des Balkens durch ein solches Ausrichten der Biegevorrichtungen **10** verringert, dass den Torsionen, die in den Biegevorrichtungen **10** erzeugt werden, wenn der Rotor **112** entlang der Z-Achse verschoben wird, wie z. B. durch Schwingungskräfte, wirksam entgegengewirkt wird. Der größte Entgegenwirkungseffekt wird erreicht, wenn die Biegevorrichtungen **136a**, **136b** ausgerichtet sind, um axial auf den Mittelpunkt der Biegevorrichtungen **142a**, **142b** zu zeigen. Eine Entgegenwirkung bezüglich der Torsionen wird jedoch auch in einem geringeren Ausmaß erreicht, wenn der Schnittpunkt sich nicht an dem Mittelpunkt der Biegevorrichtungen **142a**, **142b** befindet. Somit ist die Position des ersten und des zweiten Satzes von Biegevorrichtungen **136a**, **136b** derart, dass die Achse des ersten und des zweiten Satzes von Biegevorrichtungen **136a**, **136b** die Biegevorrichtungen **142a**, **142b** an irgendeiner Stelle entlang der Länge der Biegevorrichtungen **142a**, **142b** schneidet.

**[0039]** Obwohl das Speichermodul **110** im Vorhergehenden mit Bezug auf einen einzigen Rotor **112** beschrieben wurde, der durch den Rahmen **114** getragen wird, kann in der Praxis eine Mehrzahl von Rotoren **112** durch den Rahmen **114** getragen werden.

Ein Speichermodul **210**, das ein Array von Rotoren **112** aufweist, ist in [Fig. 9](#) dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, dass die Ausrichtung der Biegevorrichtungen **136a**, **136b**, **142a**, **142b** einen erheblichen Vorteil liefert, wenn eine Mehrzahl von Rotoren **112** in dem Speichermodul **210** verwendet wird. Insbesondere sind die Biegevorrichtungen **136a**, **136b**, **142a**, **142b** um den Umfang der Rotoren **112** derart angeordnet, dass die Biegevorrichtungen **136a**, **136b**, **142a**, **142b** sich jede in im Wesentlichen paralleler Ausrichtung mit den jeweiligen benachbarten Kanten der Rotoren **112** befinden. Somit wird die Gesamtfläche, die für jeden Rotor **112** und sein zugeordnetes Aufhängungssystem benötigt wird, verringert, und die Packungsdichte der Rotoren **112** in dem Speichermodul **210** wird entsprechend erhöht.

**[0040]** Die Packungsdichte der Rotoren **112** in dem Speichermodul **210** kann ferner, wie es in [Fig. 9](#) veranschaulicht ist, durch ein Beseitigen des Großteils des Rahmens **114** zwischen benachbarten Rotoren **12** erhöht werden. Insbesondere ist es in [Fig. 9](#) ersichtlich, dass der Rahmen **114** reduziert ist, um nur die Biegevorrichtungsbefestigungen **140a**, **140b** von benachbarten Rotoren **112** übrig zu lassen. Das heißt, der einzige Abschnitt des Rahmens **114** zwischen benachbarten Rotoren sind die Biegevorrichtungsbefestigungen **140a**, **140b**. Die Biegevorrichtungsbefestigungen sind mechanisch an einer Bewegungsmasse befestigt, so dass sich jeder Rotor des Arrays von Rotoren **112** unabhängig bewegen kann. Natürlich kann der Rahmen **114** auch erweitert werden, so dass derselbe jeden Rotor voll umgibt, wenn dies gewünscht wird.

**[0041]** Obwohl spezifische Ausführungsbeispiele hier zu Zwecken einer Beschreibung des bevorzugten Ausführungsbeispiels veranschaulicht und beschrieben wurden, werden Fachleute erkennen, dass eine große Vielzahl von alternativen und/oder äquivalenten Implementierungen, bei denen davon ausgegangen wird, dass dieselben die gleichen Zwecke erreichen, die spezifischen Ausführungsbeispiele, die gezeigt und beschrieben worden sind, ersetzen kann, ohne von dem Schutzbereich der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Fachleute im chemischen, mechanischen, elektromechanischen und elektrischen Bereich werden ohne weiteres erkennen, dass die vorliegende Erfindung bei einer sehr großen Vielzahl von Ausführungsbeispielen implementiert werden kann. Diese Anmeldung soll jegliche Anpassungen oder Variationen der hier erörterten bevorzugten Ausführungsbeispiele abdecken. Deshalb soll diese Erfindung ausdrücklich nur durch die Ansprüche und ihre Äquivalente beschränkt sein.

## Patentansprüche

1. Eine Biegevorrichtung (**10**) für eine mikroelektromechanische Vorrichtung, wobei die Biegevorrich-

tung folgende Merkmale aufweist:  
 einen durchgehenden longitudinalen Balken (12);  
 und gekennzeichnet durch  
 eine elektrostatische Betätigungs vorrichtung (18),  
 die mit dem Balken integriert ist, wobei die elektrostatische  
 Betätigungs vorrichtung (18) eine Mehrzahl  
 von elektrostatisch aufladbaren Kraftelementen (22)  
 aufweist, die an einer ersten longitudinalen Seite (14)  
 des Balkens (12) positioniert sind und durch das Trei-  
 ben einer abstoßenden elektrostatischen Kraft aus-  
 einander bewegbar sind, wodurch dieselbe wirksam  
 ist, um die Endabschnitte des Balkens in einer Rich-  
 tung, die zu einer longitudinalen Achse des Balkens  
 (12) normal ist, zu einer zweiten longitudinalen Seite  
 (16) des Balkens (12), die der ersten longitudinalen  
 Seite (14) gegenüberliegt, zu biegen, wenn dieselbe  
 aktiviert ist.

2. Die Biegevorrichtung (10) gemäß Anspruch 1,  
 bei der die elektrostatische Betätigungs vorrichtung  
 (18) ein Teil eines Mittelsegments des Balkens (12)  
 ist.

3. Die Biegevorrichtung (10) gemäß Anspruch 1  
 oder 2, bei der die Kraftelemente (22) angeordnet  
 sind, um ein Biegen des Balkens (12) zu seiner ers-  
 ten longitudinalen Seite (14) hin zu begrenzen.

4. Die Biegevorrichtung (10) gemäß einem der  
 vorhergehenden Ansprüche, bei der der Balken (12)  
 eine Breite zwischen der ersten (14) und der zweiten  
 (16) longitudinalen Seite von weniger als 30.000 Ang-  
 ström aufweist.

5. Die Biegevorrichtung (10) gemäß einem der  
 vorhergehenden Ansprüche, bei der der Balken (12)  
 ein Seitenverhältnis von zumindest 3 aufweist.

6. Die Biegevorrichtung (10) gemäß einem der  
 vorhergehenden Ansprüche, bei der jedes der Mehr-  
 zahl von Kraftelementen (22) ein T-förmiges Element  
 aufweist, das sich von der ersten longitudinalen Seite  
 (14) des Balkens (12) erstreckt.

7. Die Biegevorrichtung (10) gemäß Anspruch 6,  
 bei der jedes T-förmige Element (22) einen T-Schaft  
 (24) und ein T-Querbauglied (26) aufweist, und wobei  
 der T-Schaft (24) sich von dem Balken (12) erstreckt.

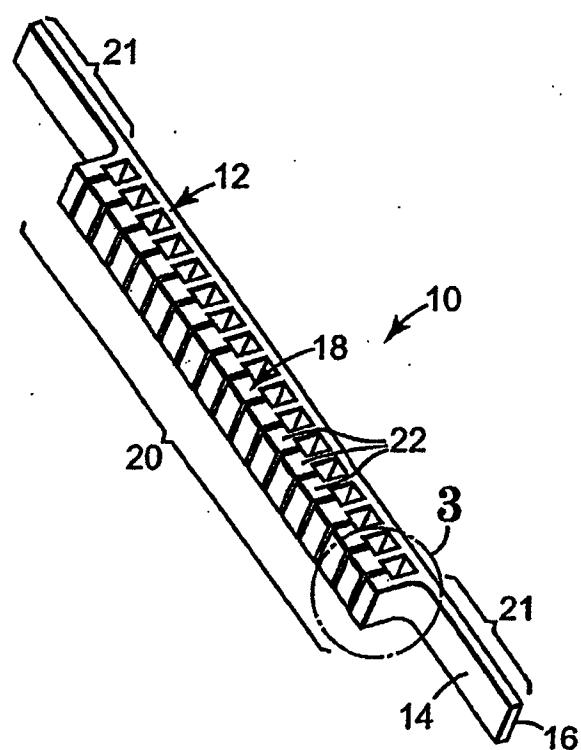
8. Die Biegevorrichtung (10) gemäß einem der  
 Ansprüche 1 bis 5, bei der jedes der Mehrzahl von  
 Kraftelementen (22) hammerförmig ist.

9. Die Biegevorrichtung (10) gemäß einem der  
 Ansprüche 1 bis 5, bei der jedes der Mehrzahl von  
 Kraftelementen (22) L-förmig ist.

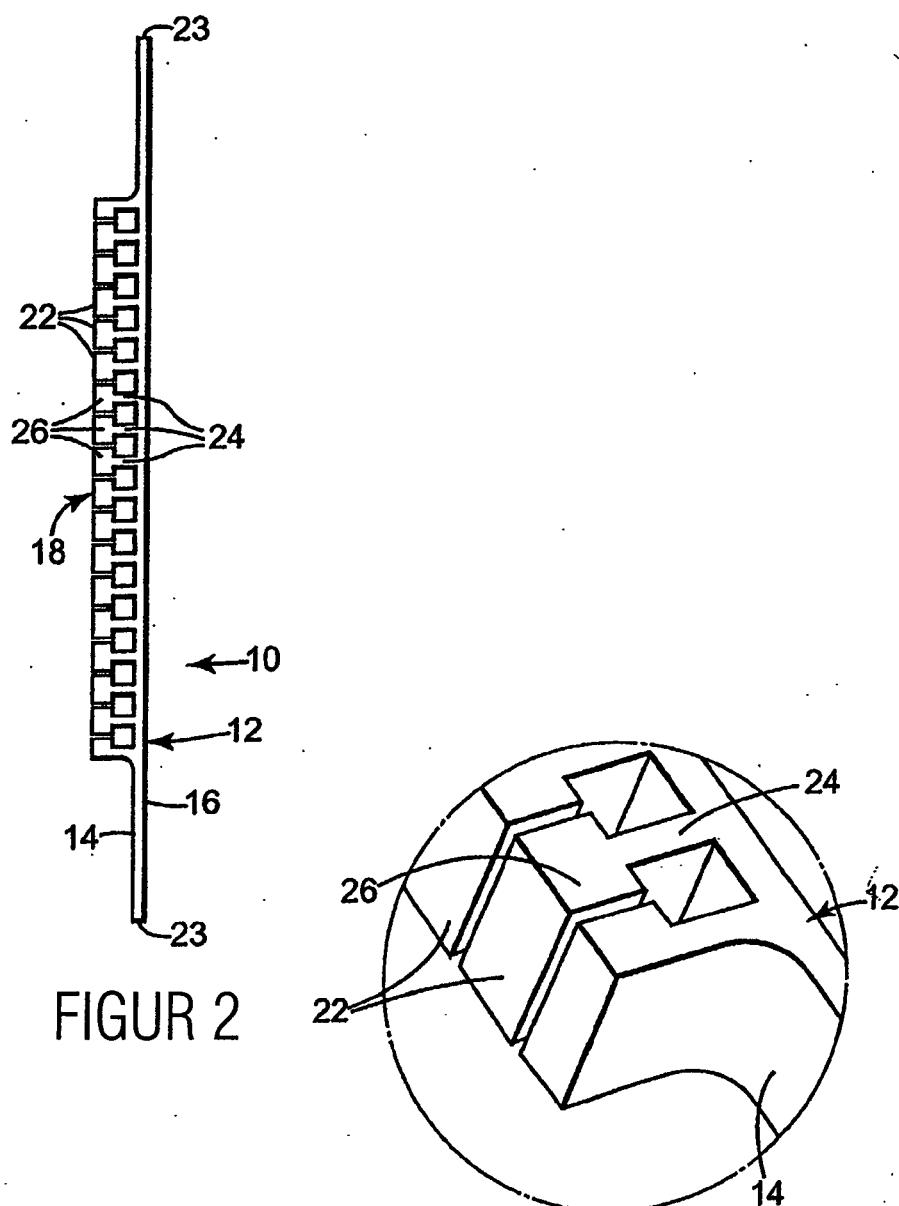
10. Eine mikroelektromechanische Vorrichtung,  
 die eine Biegevorrichtung (10) gemäß einem der vor-  
 hergehenden Ansprüche umfasst, wobei der longitu-

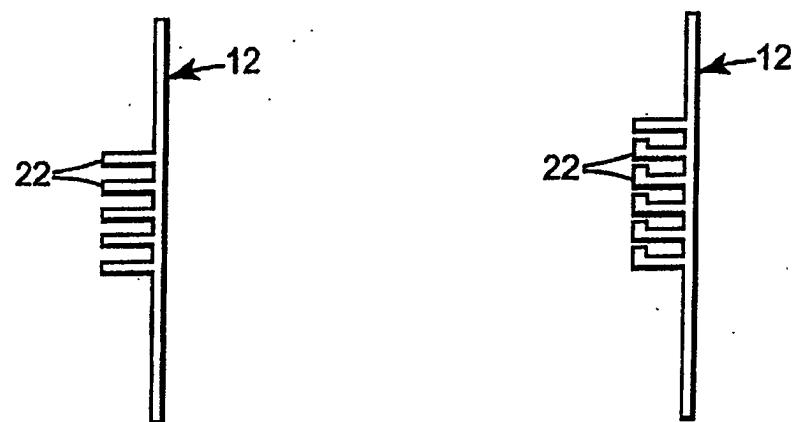
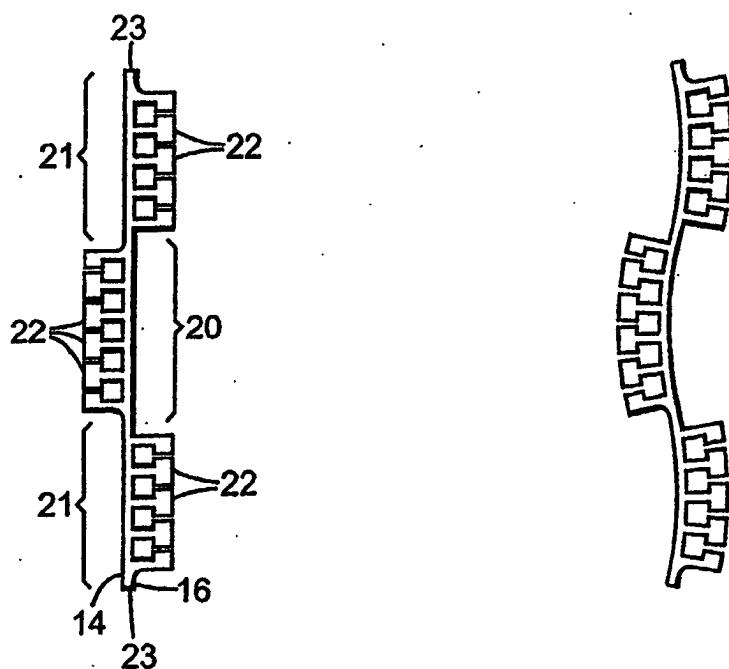
dinale Balken der Biegevorrichtung angeordnet ist,  
 um mit einer bewegbaren Masse in Wechselwirkung  
 zu stehen.

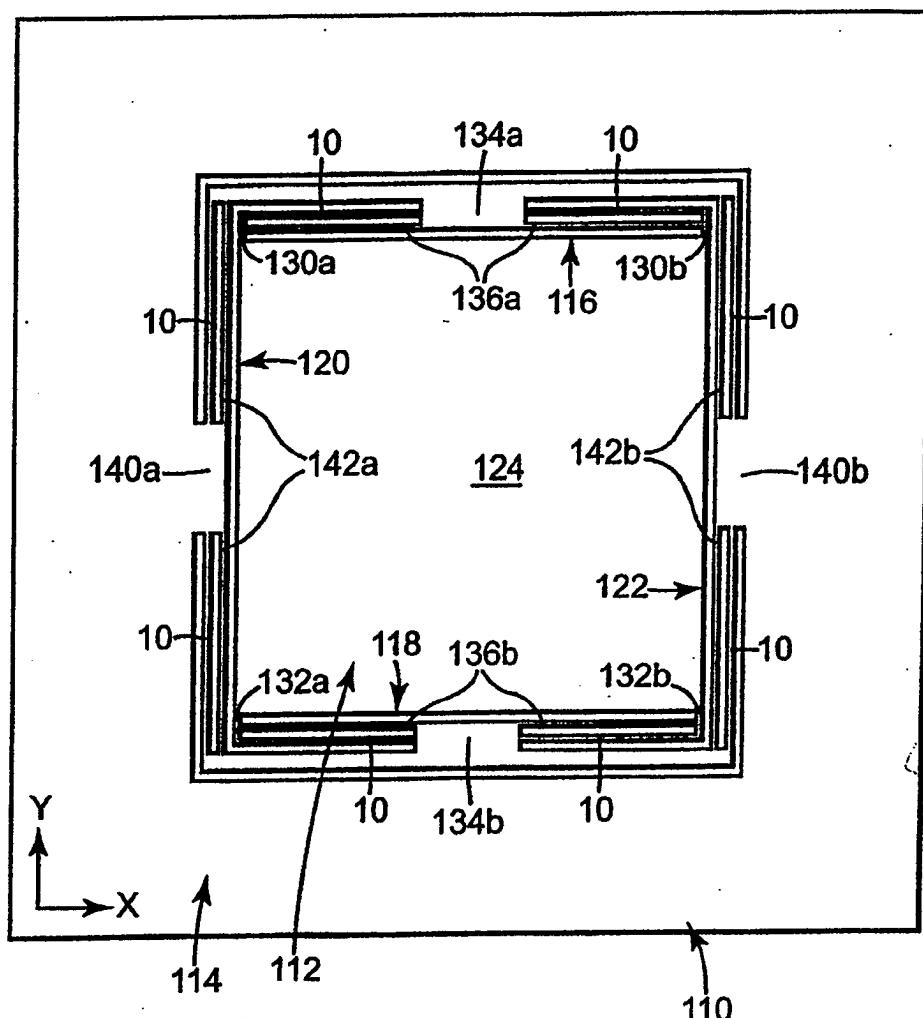
Es folgen 7 Blatt Zeichnungen



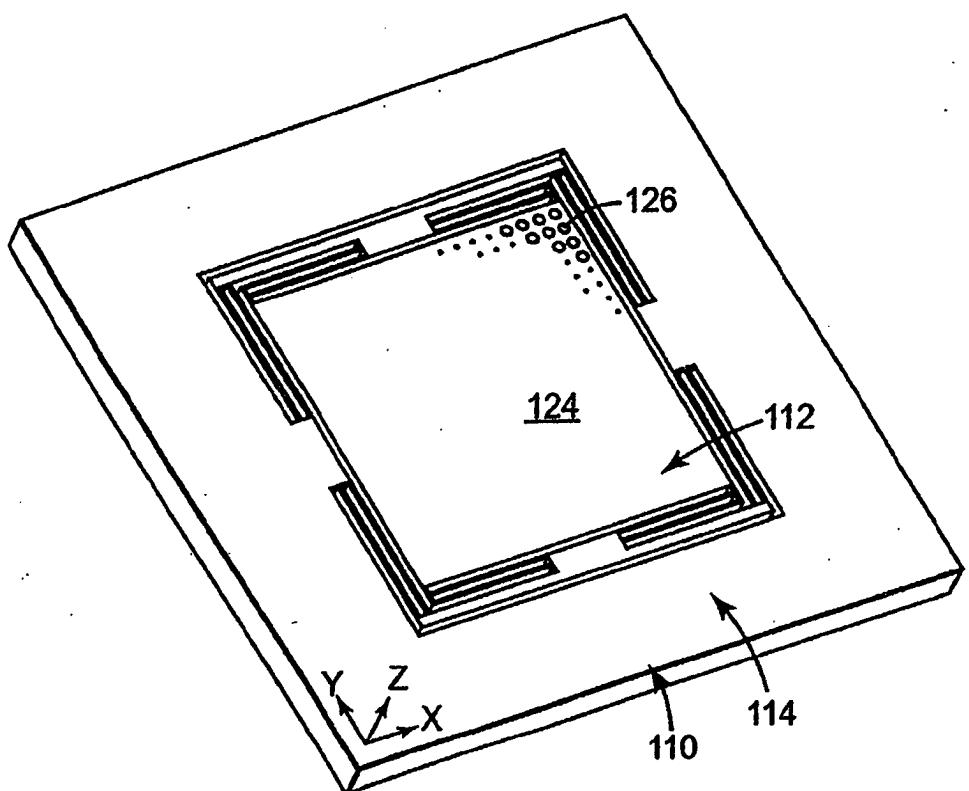
FIGUR 1



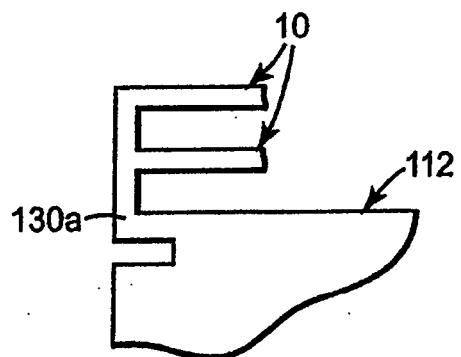




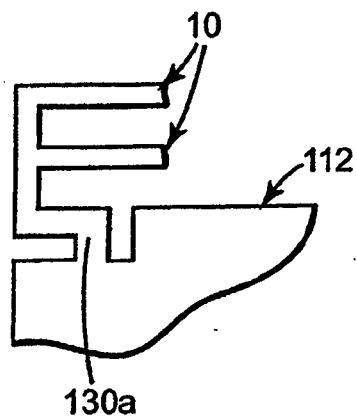
FIGUR 6A



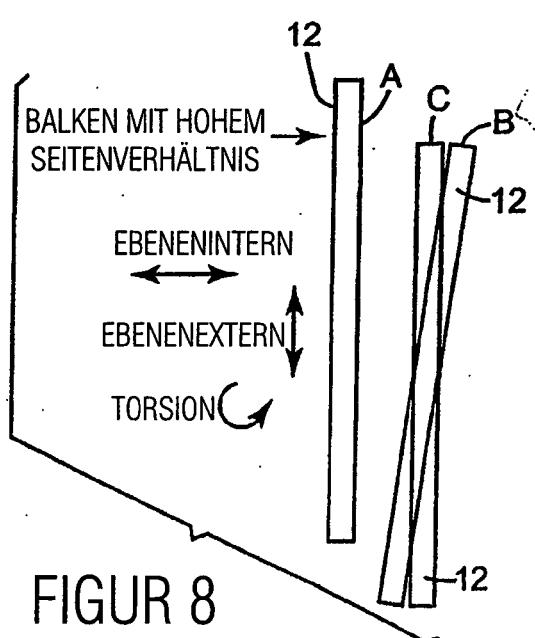
FIGUR 6B



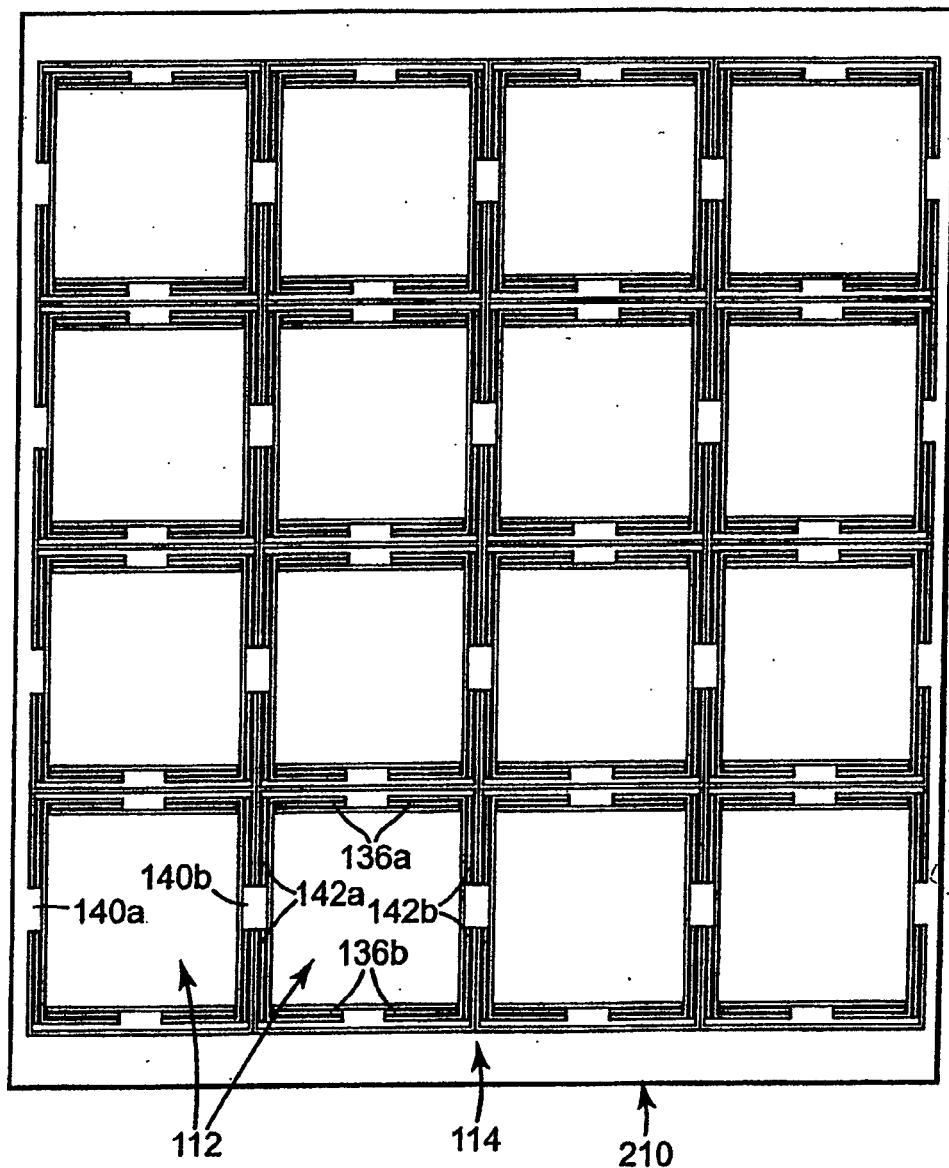
FIGUR 7A



FIGUR 7B



FIGUR 8



FIGUR 9