(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 32 623 T2** 2006.08.17

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 009 971 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 32 623.7**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US98/18099**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 945 817.9**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1999/012002**
(86) PCT-Anmeldetag: **01.09.1998**
(87) Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung: **11.03.1999**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **21.06.2000**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **30.11.2005**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.08.2006**

(51) Int Cl.[8]: ***G01C 19/56*** (2006.01)

(30) Unionspriorität:
921672 **02.09.1997** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Analog Devices Inc., Norwood, Mass., US

(74) Vertreter:
Weickmann & Weickmann, 81679 München

(72) Erfinder:
GEEN, A., John, Tewksbury, US; CAROW, W., Donald, East Walpole, US

(54) Bezeichnung: **MIKROGEFERTIGTE KREISEL**

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

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf mikrogefertigte Kreisel.

[0002] Ein Kreisel mit mikrogefertigter Oberfläche weist einen ebenen Körper (oder eine Anzahl von Körpern) auf, der mit Verankerungen und Biegeeinrichtungen über und parallel zu einem darunterliegenden Substrat aufgehängt ist. Der Körper wird entlang einer Zitterachse in einer Ebene gezittert, die parallel zum Substrat und senkrecht zu einer sensitiven Achse ist, die in der Ebene des Körpers oder senkrecht zum Körper und zum Substrat sein kann. Wie im Allgemeinen bekannt ist, veranlasst eine Rotation des Körpers um die sensitive Achse den Körper dazu, sich entlang einer Coriolis-Achse zu bewegen, die ihrerseits orthogonal zur Zitterachse und zur sensitiven Achse ist. Diese Bewegung kann abgefragt werden, um ein Signal abzuleiten, das die Winkelgeschwindigkeit der Rotation anzeigt.

[0003] Aufgrund mechanischer Fehlstellen im Körper und in den Biegeeinrichtungen, ist eine aufgehängte Masse üblicherweise nicht perfekt parallel zum Substrat, und die Zitterachse und die sensitive Achse sind üblicherweise nicht perfekt orthogonal. Wenn der Körper gezittert wird, wird infolgedessen ein Störsignal, bezeichnet als Blindsignal, durch die Zitterbewegung selbst verursacht. Dieses Blindsignal, das zur abzufragenden Rotation keinen Bezug hat, interferiert mit dem gewünschten Signal bezogen auf die Rotation. Das Blindsignal ist (a) proportional zur Beschleunigung in der Zitterrichtung mit einer Proportionalitätskonstante, die den mechanischen Versatz anzeigt; hat (b) die gleiche Frequenz wie die Zitterfrequenz; und ist (c) um 90° phasenverschoben zur Zittergeschwindigkeit, im Gegensatz zum Coriolis-Signal, das phasengleich mit der Geschwindigkeit ist. Wegen dieser 90°-Phasendifferenz kann das Blindsignal mit einem phasensensitiven Detektor teilweise abgesondert werden. Die Wirksamkeit einer solchen Absonderung hängt jedoch davon ab, wie exakt die Phasen-Verhältnisse in der Elektronik beibehalten werden.

[0004] JP 06-123 631 und US 5 734 105 legen jeweils eine mikrogefertigte Vorrichtung offen, wie im vor-kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 dargelegt. US 5 126 812 offenbart einen mikromechanischen Beschleunigungsmesser. WO 96/39 614 veröffentlicht eine mikrogefertigte Vorrichtung, die ineinandergreifende Elektroden hat.

Überblick der Erfindung

[0005] Die Erfindung stellt eine mikrogefertigte Vorrichtung zur Verfügung, wie in Anspruch 1 dargelegt.

[0006] Ausführungsformen stellen einen mikrogefertigten Kreisel zur Verfügung, bei dem es eine minimale Störung im Ausgangssignal gibt, die durch das Zittersignal verursacht ist. Der Kreisel weist einen ersten Körper auf, der über einem Substrat aufgehängt ist und entlang einer Zitterachse gezittert wird und einen zweiten Körper, der mit dem ersten Körper verbunden ist und ebenfalls über dem Substrat aufgehängt ist. Der erste und zweite Körper sind derart miteinander verbunden und am Substrat verankert, dass der erste Körper sich entlang der Zitterachse bewegen kann, aber im wesentlichen an einer Bewegung entlang einer Coriolis-Achse (senkrecht zur Zitterachse) relativ zum zweiten Körper gehindert ist, und der zweite Körper mit dem ersten Körper entlang der Coriolis-Achse bewegbar ist, aber im wesentlichen an einer Bewegung entlang die Zitterachse gehindert ist. Die Koppelung zwischen dem ersten Körper und dem zweiten Körper entkoppelt im Wesentlichen die Zitterbewegung von der Bewegung entlang der Coriolis-Achse als Reaktion auf eine Rotation um die sensitive Achse, wodurch das unerwünschte Blindsignal minimiert wird. Einer der ersten und zweiten Körper umgibt vorzugsweise den anderen; der gezitterte erste Körper ist vorzugsweise innen und umgeben vom zweiten Körper, obgleich der erste Körper den zweiten Körper umgeben kann.

[0007] Ausführungsformen stellen auch eine mikrogefertigte Vorrichtung zur Verfügung, die einen ersten Körper mit Fingern aufweist, die mit fixierten Antriebsfingern ineinander greifen, die den ersten Körper dazu veranlassen, entlang einer Zitterachse zu zittern. Mindestens ein leitendes Element ist unter einigen, jedoch nicht allen, fixierten Zitterantriebsfingern gebildet und ist elektrisch gekoppelt mit den Antriebsfingern, um den ersten Körper in der gewünschten vertikalen Ebene zu halten und den ersten Körper daran zu hindern aufgrund von Randeffekten frei zu schweben.

[0008] Ausführungsformen stellen auch eine mikrogefertigte Vorrichtung zur Verfügung, die einen bewegbaren Körper aufweist, der über einem Substrat aufgehängt ist, und mindestens ein Stoppelement nahe dem bewegbaren Körper aufweist. Das Stoppelement umfasst einen Hakenbereich, der sich über dem bewegbaren Körper derart erstreckt, dass das Stoppelement sowohl eine laterale Bewegung als auch eine vertikale Bewegung durch den Körper begrenzt.

[0009] Ausführungsformen stellen auch eine mikrogefertigte Vorrichtung zur Verfügung, die einen aufgehängten bewegbaren Körper mit einem äußeren Umfassungsbereich und mindestens einem Querstück aufweist, das eine Anzahl von Öffnungen definiert, die durch den Umfassungsbereich umgeben sind. Der Körper weist Finger auf, die sich in die Öffnungen erstrecken. Diese Finger können entweder

dazu verwendet werden, den Körper zu zittern oder eine Bewegung des Körpers abzufragen.

[0010] Ausführungsformen liefern auch eine mikrogefertigte Vorrichtung, bei der ein innerer Körper durch einen äußeren Körper umgeben ist, wobei der äußere und innere Körper durch Biegeeinrichtungen daran gehindert sind, sich zusammen entlang einer Achse zu bewegen, wobei die Biegeeinrichtungen die entlang dieser einen Achse orientiert sind. Diese Biegeeinrichtungen sind zwischen dem Körper und einem länglichen stationären Element angeschlossen, das an einem Mittelpunkt verankert ist und die Biegeeinrichtungen aufweist, die sich von jedem Ende zum Körper erstrecken. Das längliche Element befindet sich vorzugsweise zwischen dem inneren und äußeren Körper.

[0011] Ausführungsformen stellen auch eine erste mikrogefertigte Struktur zur Verfügung, die nahe einer zweiten mikrogefertigten Struktur positioniert ist, wobei die erste mikrogefertigte Struktur relativ zur zweiten mikrogefertigten Struktur gezittert wird. Diese erste und zweite Struktur sind mit Verbindungsstrukturen verbunden, die entworfen sind, um eine Beanspruchung zu minimieren und entgegengesetzte Enden der Struktur dazu anzuregen, sich gemeinsam in der Zitterrichtung hin zu und weg von der zweiten Struktur zu bewegen. Obwohl es viele Variationen der Verbindungsstrukturen gibt, die verwendet werden können, umfassen diese hier Strukturen, die längliche Elemente aufweisen, die sich von Enden der ersten Struktur erstrecken und sich zum Zentrum der Struktur senkrecht zur Zitterrichtung erstrecken. Diese länglichen Elemente sind durch einen kurzen Verbindungsbalken verbunden, der die länglichen Elemente dazu anregt, sich gemeinsam zur gleichen Zeit in die gleiche Richtung zu bewegen, anstatt sich in entgegengesetzten Richtungen zu bewegen. Diese länglichen Elemente sind an die erste Struktur mit senkrechten Elementen angeschlossen, die einen Gelenkpunkt definieren.

[0012] Öffnungen können aus der zweiten Struktur heraus geschnitten sein, um die kombinierte Masse der ersten und zweiten Struktur zu verringern, während die Steifigkeit in der Struktur noch beibehalten ist.

[0013] Zusätzlich zu den Kopplungsstrukturen zwischen der ersten und zweiten Struktur, ist die zweite Struktur auch am Substrat durch Platten verankert, die verglichen mit der Breite der zweiten Struktur verhältnismäßig breit sind. Diese Platten sind durch senkrechte Elemente verbunden, die einen Gelenkpunkt definieren.

[0014] Ein Kreisel entsprechend der vorliegenden Erfindung minimiert das Blindsignal, und ist folglich verglichen mit früheren Kreiselausführungen sehr genau. Die Genauigkeit aufgrund der Struktur des Kreisels umgeht die Notwendigkeit an komplizierter Elektronik und lässt es auch zu, dass die Vorrichtung unter Umgebungsbedingungen verpackt wird. Die Stoppelemente, die leitenden Elemente auf dem Substrat, die Verwendung mehrfacher Öffnungen mit sich nach innen erstreckenden Fingern und die Verwendung eines zentral verankerten stationären Elements zum Tragen von Biegeeinrichtungen entlang einer Achse, entlang der eine Bewegung verhindert ist, dies alles verbessert im allgemeinen die Leistung und Zuverlässigkeit einer mikrogefertigten Vorrichtung und insbesondere eines Kreisels. Weitere Eigenschaften und Vorteile werden durch die folgende ausführliche Beschreibung, durch die Zeichnungen und durch die Ansprüche offensichtlich.

Kurze Beschreibung der Figuren

[0015] Fig. 1 ist eine Draufsicht eines mikrogefertigten Kreisels, der im Prinzip ähnlich zu bekannten Kreiseln ist.

[0016] Fig. 2 ist eine Draufsicht eines mikrogefertigten Kreisels entsprechend einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0017] Fig. 3 ist eine Draufsicht eines Kreisels entsprechend einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0018] Fig. 4 ist eine ausführlichere Draufsicht eines Bereichs eines Kreisels entsprechend einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0019] Fig. 5–Fig. 7 sind Schnittzeichnungen der Bereiche des Kreisels von Fig. 4, die bestimmte Eigenschaften im Kreisel veranschaulichen.

[0020] Fig. 8 ist teilweise eine bildliche Darstellung und teilweise ein Blockdiagramm eines Stromkreises zur Verwendung mit einem Kreisel vom in Fig. 2 und Fig. 4 dargestellten Typ.

[0021] Fig. 9 ist eine Schnittzeichnung eines Rahmens, die eine gewünschte Platzierung der Verankerungen veranschaulicht.

[0022] Fig. 10 ist eine Draufsicht, die einen Kreisel entsprechend einer 4. Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0023] Fig. 11 ist eine Draufsicht, die einen Kreisel mit fixierten Fingern veranschaulicht, die dazu dienen, eine Elektrode auf jeder Seite von zwei mit Abstand versehenen Reihen von kapazitiven Zellen zu bilden.

[0024] Fig. 12 ist eine Draufsicht eines Teils eines Kreisels, die eine Verbindung von einem inneren

Rahmen zu einem äußeren Rahmen entsprechend einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0025] Fig. 13 ist eine weitere Draufsicht des Kreisels von Fig. 12, welche die Kräfte am Kreisel während des Zitterns veranschaulicht.

[0026] Fig. 14 und Fig. 15 sind Draufsichten, die noch eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulichen.

Ausführliche Beschreibung

[0027] Fig. 1 veranschaulicht einen vereinfachten Kreisel mit mikrogefertigter Oberfläche **10**, der strukturell und operativ ähnlich zu bekannten Kreiseln ist. Der Kreisel **10** hat einen im Wesentlichen ebenen Körper **12**, der über und parallel zu einem darunterliegenden Substrat **14** aufgehängt ist. Der Körper **12** ist von vier Biegeeinrichtungen **16** gestützt, von denen jede sich von einer entsprechenden Stützenverankerung **18** zu einer anderen Ecke des Körpers **12** erstreckt. Die Finger **22** erstrecken sich vom Körper **12** und greifen mit fixierten Antriebsfingern **24** ineinander, die mit einer Wechselspannungsquelle (nicht gezeigt) verbunden sind, um den Körper bei seiner Resonanzfrequenz entlang einer Zitterachse **26** zu zittern. Wenn der Körper **12** um eine sensitive Achse **36** rotiert, bewegt sich der Körper **12** entlang einer Coriolis-Achse **28**, die zur sensitiven Achse **36** und zur Zitterachse **26** orthogonal ist. Diese Bewegung wird mit einem Differential-Kondensator abgefragt, der Finger **30** enthält, die sich weg vom Körper **12** entlang Achsen erstrecken, die zur Zitterachse **26** parallel sind, und zwei Sätze von sich nach innen erstreckenden Abtastfingern **32** und **33** umfasst. Der Differential-Kondensator ist aus vielen einzelnen Zellen gebildet, wobei jede Zelle zwei fixierte Finger **32**, **33** und einen Finger **30** aufweist, der als bewegbarer Finger dient und mit den fixierten Fingern **32**, **33** ineinandergreift.

[0028] Wie im Allgemeinen bekannt ist, ist die Zittergeschwindigkeit $x' = wX\cos(wt)$, wenn die Zitterbewegung $x = X\sin(wt)$ ist, worin w die Kreisfrequenz ist und direkt proportional zur Resonanzfrequenz des Körpers durch einen Faktor 2π ist. In Reaktion auf eine Winkelgeschwindigkeit der Bewegung R um die sensitive Achse 6, wird eine Coriolis-Beschleunigung $y'' = 2Rx'$ entlang der Coriolis-Achse **28** induziert. Das Signal der Beschleunigung hat folglich die gleiche Kreisfrequenz w wie die Zittergeschwindigkeit x'. Durch Abfragen der Beschleunigung entlang der Coriolis-Achse **28** kann daher die Rotationsgeschwindigkeit R bestimmt werden.

[0029] Aufgrund mechanischer Fehlstellen, wenn beispielsweise eine Biegeeinrichtung wegen Überätzen nachgiebiger ist als die anderen, kann das Zentrum der Aufhängung des Körpers möglicherweise nicht mit seinem Masseschwerpunkt zusammenfallen und folglich kann die Masse während der Zitterbewegung wobbeln.

[0030] Solch ein Wobbeln bewirkt, dass eine Komponente der Zitterbewegung entlang der sensitiven Achse erscheint. Diese Komponente erzeugt das interferierende Blindsignal. Dieses Signal kann sehr groß sein verglichen mit dem gewünschten Rotationssignal, das gemessen wird; beispielsweise kann es 10% der Zitterbewegung betragen, wobei es ein Signal verursacht, das 10.000 mal größer ist als das Coriolis-Signal. Die Notwendigkeit, dieses Blindsignal zu beseitigen stellt eine große Bürde für die Signalverarbeitungselektronik dar.

[0031] Fig. 2 ist eine Draufsicht eines Kreisels mit mikrogefertigter Oberfläche **50**, die eine vereinfachte erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. Der Kreisel **50** hat einen aufgehängten Körper mit einem inneren Rahmen **52** und einem den inneren Rahmen **52** umgebenden äußeren Rahmen **54**. Die Rahmen **52**, **54** sind koplanar und sind über und parallel zu einem darunterliegenden Substrat **55** aufgehängt. Der äußere Rahmen **54** ist mit Biegeeinrichtungen **56** aufgehängt, die sich entlang Achsen parallel zu einer Zitterachse **58** erstrecken und am Substrat **55** mit Verankerungen **53** befestigt sind. Diese Orientierung der Biegeeinrichtungen **56** erlaubt es dem äußeren Rahmen **54**, sich entlang einer Coriolis-Achse **60** zu bewegen, hindert aber den äußere Rahmen **54** im Wesentlichen daran, sich entlang der Zitterachse **58** zu bewegen.

[0032] Der innere Rahmen **52** ist verbunden mit dem und aufgehängt am äußeren Rahmen **54** mit Biegeeinrichtungen **62**, die sich entlang Achsen erstrecken, die zur Coriolis-Achse **60** parallel sind. Die Orientierung der Biegeeinrichtungen **62** erlaubt es dem inneren Rahmen **52** sich entlang der Zitterachse **58** relativ zum äußeren Rahmen **54** zu bewegen, hemmt im Wesentlichen eine Relativbewegung der Rahmen entlang der Coriolis-Achse **60**, erlaubt jedoch dem inneren Rahmen **52** und dem äußeren Rahmen **54**, sich gemeinsam entlang der Coriolis-Achse **60** zu bewegen. Dementsprechend wird sowohl für den inneren Rahmen **52** als auch für den äußeren Rahmen **54** durch Orientieren der Achsen der Biegeeinrichtungen entlang der gehemmten Achse Kontrolle über zugelassene und verhinderte Bewegungsrichtungen erzielt.

[0033] Diese zugelassenen und verhinderten Bewegungen zusammenfassend; kann der innere Rahmen **52**:

(a) sich unabhängig von der Bewegung des äußeren Rahmens **54** relativ zum äußeren Rahmen **54** entlang der Zitterachse bewegen; und

(b) sich nicht entlang der Coriolis-Achse relativ

zum äußeren Rahmen **54** bewegen, kann sich jedoch mit dem äußeren Rahmen **54** entlang der Coriolis-Achse bewegen; während der äußere Rahmen **54**:
(a) sich nicht entlang die Zitterachse bewegen kann; und
(b) sich entlang der Coriolis-Achse bewegen kann, jedoch nur indem er den inneren Rahmen **52** mitbewegt.

[0034] Die Verankerungen **53** für die Biegeeinrichtungen **56** befinden sich vorzugsweise im Raum zwischen dem inneren Rahmen **52** und dem äußeren Rahmen **54**. Auf Fig. 9 bezugnehmend ist diese Struktur nützlich, weil eine aufgehängte Struktur, wie der äußere Rahmen **54**, dazu neigen kann, eine gebogene Form mit einem hohen Punkt in der Mitte und tiefen Punkten an den Enden anzunehmen. Es ist wünschenswert für die Verankerungen sich in der vertikalen Position des Schwerpunkts **57** zu befinden, so dass die Extrema der Biegung die Finger nicht auseinanderbringen, und so dass irgendein Wobbeln, das durch eine vertikale Verlagerung des Schwerpunkts relativ zum Zentrum der Aufhängung induziert wird, minimiert ist.

[0035] Wieder auf Fig. 2 verweisend, ist der innere Rahmen **52** im Allgemeinen als rechteckiger Ring mit einer zentralen rechteckigen Öffnung **64** geformt. Die Antriebsfinger **66** und Abtastfinger **67** erstrecken sich vom inneren Rahmen **52** nach innen in die Öffnung **64** entlang paralleler Achsen, die parallel zur Zitterachse **58** sind. Ein Positionieren der Antriebsfinger **66** in der Öffnung, wie gezeigt, hilft dabei, die äußere Umfassung und die Fläche des inneren Rahmens **52** zu maximieren, sodass eine größere Anzahl von Antriebsfingern zugelassen ist, wodurch sich die Reaktion auf ein Zittersignal verbessert. Antriebsfinger **66** greifen ineinander mit fixierten Ziffer-Antriebsfingern **68**, während Abtastfinger **67** mit fixierten Abtastfingern **69** ineinander greifen. Fixierte Finger **68** und **69** sind verankert am und relativ zum darunter liegenden Substrat **55** fixiert, während die Finger **66** und **67** sich mit dem inneren Rahmen **52** bewegen und folglich relativ zum Substrat **55** bewegbar sind.

[0036] Ein Antriebssignal wird von einem Zitterantriebsmechanismus (nicht gezeigt) zur Verfügung gestellt, der eine Wechselspannungsquelle umfasst, die mit den fixierten Ziffer-Antriebsfingern **68** verbunden ist, um zu bewirken, dass der innere Rahmen **52** relativ zum äußeren Rahmen **54** entlang der Zitterachse **58** gezittert wird mit einer Geschwindigkeit von x' = wXcos(wt), wie oben erwähnt worden ist; vorzugsweise wird das Zittern durch eine Rechteckwelle verursacht. Die Zitterbewegung wird als Kapazitätsänderung zwischen den bewegbaren Abtastfingern **67** und den fixierten Abtastfingern **69** abgefragt. Diese abgefragte Bewegung wird verstärkt und zum Zitter-Antriebsmechanismus zurückgeführt, um die Zitterbewegung bei der Resonanzfrequenz des inneren Rahmens zu halten.

[0037] Wenn es keine Rotationsgeschwindigkeit R um die sensitive Achse **64** gibt, bewegt sich der äußere Rahmen **54** relativ zum Substrat **55** nicht. Wenn es eine Rotationsgeschwindigkeit R gibt, neigt der innerer Rahmen **52** dazu, sich entlang der Coriolis-Achse **60** mit einer Beschleunigung y" = 2Rx' zu bewegen, was 2(R/w)x"(cos(wt)/sin(wt)) entspricht, da x" = w^2xsin(wt). Biegeeinrichtungen **56** erlauben dem inneren Rahmen **52**, sich mit dem äußeren Rahmen **54** entlang der Coriolis-Achse zu bewegen. Zu beachten ist, dass das Verhältnis von y" zu x" 2R/w ist, welches tatsächlich durch m/M modifiziert wird, wobei m die Masse des inneren Rahmens ist, und M die Gesamtmasse beider Rahmen ist. Angenommen m/M = 1/2, R = 1 rad/sec und w = 2πx10^4 rad/sec, dann ist das Verhältnis der Größen von y" zu x" ist ungefähr 16ppm.

[0038] Um die Bewegung entlang der Coriolis-Achse **60** abzutasten, hat der äußere Rahmen **54** Finger **70**, die sich entlang Achsen erstrecken, die zur Zitterachse parallel sind und mit fixierten Fingern **72**, **74** auf einer von beiden Seiten der Finger **70** ineinander greifen (Finger **72**, **74** werden nur auf einer Seite gezeigt). Finger **72**, **74** sind mit Verankerungen **73** mit dem Substrat **55** verankert. Die Finger **72** sind elektrisch mit eine ersten fixierten Gleichspannungsquelle mit einer Spannung V_1 verbunden, und die Finger **74** sind mit einer zweite fixierten Gleichspannungsquelle mit einer Spannung V_2 verbunden. Wenn die Finger **70** des äußeren Rahmens **54** sich in Richtung der Finger **72** oder in Richtung der Finger **74** bewegen, ändert sich die Spannung am äußeren Rahmen **54**. Durch Abfragen der Spannung am äußeren Rahmen **54** kann folglich die Größe und die Richtung der Bewegung bestimmt werden.

[0039] Wenn es gewünscht ist, kann ein Trägersignal mit einer Frequenz, die viel größer ist als die Zitterfrequenz, auf die fixierten Finger **72**, **74** angewendet werden, und die resultierende Ausgabe wird dann verstärkt und demoduliert. Solche Abfragetechniken sind auf dem Gebiet der linearen Beschleunigungsmesser bekannt. Ein Trägersignal ist bei der Struktur der vorliegenden Erfindung jedoch nicht notwendig, weil diese Struktur im Wesentlichen das störende Blindsignal beseitigt, und folglich ist die zusätzliche Komplexität im Schaltkreis nicht wünschenswert, wenn sie sich vermeiden lässt.

[0040] Auf Fig. 3 Bezug nehmend, umfasst in einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein großer Kreisel **150** vier im Wesentlichen identische Kreisel **152a**–**152d**, die in einer rechteckigförmigen Konfiguration angeordnet sind und die hier in einer vereinfachten Form dargestellt sind. Kreisel **152a**–**152d** haben jeweilige innere Rahmen

154a–**154d**, äußere Rahmen **156a**–**156d**, Zitter-Antriebsstrukturen **158a**–**158d** und **159a**–**159d** an gegenüberliegenden Seiten der inneren Rahmen, Zitterabtaststrukturen **160a**–**160d** und **161a**–**161d**, und fixierte Finger **162a**–**162d** und **164a**–**164d** zum Abtasten einer Bewegung entlang den Coriolis-Achsen. Diese Kreisel sind, wie gezeigt, in einer "Kreuz-Quadrat"-Art verbunden. Bei dieser Zusammenschaltung sind die fixierten Finger **162a** und **162c** elektrisch verbunden und beide mit den fixierten Fingern **164b** und **164d**; die fixierten Finger **162b** und **162d** sind elektrisch zusammengekoppelt und beide sind mit den fixierten Fingern **164a** und **164c** verbunden; die Zitterantriebsstrukturen **158a**, **158c**, **159b** und **159d** sind elektrisch miteinander verbunden; die Ziffer-Antreibsstrukturen **158b**, **158d**, **159a** und **159c** sind elektisch miteinander verbunden; die Zitterabtaststrukturen **160a**, **160c**, **161b** und **161d** sind elektrisch miteinander verbunden; und die Zitterabtaststrukturen **160b**, **160d**, **161a** und **161c** sind elektrisch miteinander verbunden.

[0041] Solch eine Kreuz-Quadrat-Verbindung eliminiert Fehler aufgrund der Herstellung und aufgrund von Temperaturgradienten und beseitigt auch Empfindlichkeiten gegenüber externer linearer Beschleunigung. Solch eine Verbindung wird auch in der Patentveröffentlichung Nr. WO 96/39615 beschrieben, die ausdrücklich durch Referenz in jeder Hinsicht miteinbezogen ist.

[0042] Fig. 4 ist eine detaillierte Ansicht von etwas mehr als der Hälfte eines Kreisels **80**; die andere Hälfte des Kreisels **80** ist im Wesentlichen genauso wie die Hälfte, die gezeigt ist. Wie in der Ausführungsform von Fig. 2 hat jeder Kreisel einen inneren Rahmen **82** und einen äußeren Rahmen **88**. Biegeeinrichtungen **90** erstrecken sich entlang Achsen parallel zu einer Coriolis-Achse **86** vom inneren Rahmen **82** zum äußeren Rahmen **88**. Mit diesen Biegeeinrichtungen kann der innere Rahmen **82** sich entlang einer Zitterachse **84** relativ zu einem äußeren Rahmen **88** bewegen, wird jedoch im Wesentlichen an einer Bewegung entlang der Coriolis-Achse **86** relativ zum äußeren Rahmen **88** gehemmt. Der äußere Rahmen **88** ist gemeinsam mit dem innerem Rahmen **82** entlang der Coriolis-Achse **86** bewegbar.

[0043] Die Strukturen haben eine Anzahl von größeren Öffnungen **146** im inneren und äußeren Rahmen, die aus dem Entfernen von Sockeln resultieren, die als Teil des Herstellungsverfahrens aus Fotolack gebildet und später weggeätzt werden.

[0044] Kleinere Löcher **148** sind in den Strukturen gebildet, so dass ein Lösungsmittel eingeführt werden kann, um eine anodisch schützende Oxidschicht auszuätzen. Solche Verfahrenstechniken für Beschleunigungsmesser mit mikrogefertigter Oberfläche sind allgemein bekannt und sind beispielsweise im US-Patent Nr. 5,326,726 beschrieben, das ausdrücklich durch Referenz in jeder Hinsicht miteinbezogen ist.

[0045] Der innere Rahmen **82** ist annähernd als ein rechteckiger Ring mit zwei verhältnismäßig langen Seiten **92** geformt (von denen eine dargestellt ist) und mit zwei verhältnismäßig kurzen Seiten **94**. Zwei längliche Querstücke **96** (von denen eins dargestellt ist), die sich entlang der inneren Öffnung, die vom Rahmen **82** umgeben ist, erstrecken, sind mit dem äußeren Ring des inneren Rahmens **82** integral geformt und erstrecken sich parallel zu verhältnismäßig langen Seiten **92** von einer verhältnismäßig kurzen Seite zur anderen. Der innere Rahmen **82** hat folglich drei längliche Öffnungen **98** (von denen eine und eine halbe gezeigt sind), anstatt der einen, die in der Ausführungsform von Fig. 2 dargestellt ist. Mit diesen mehrfachen Öffnungen kann es zusätzliche Reihen (sechs in diesem Fall) von bewegbaren Zitterfingern und fixierten Zitterfingern anstelle von zweien geben, wodurch das Ansprechverhalten und die Konsistenz erhöht sind.

[0046] Antriebsfinger **100** und die Abtastfinger **102** erstrecken sich sowohl von den langen Seiten **92** als auch von den länglichen Querstücken **96** in die Öffnungen **98**, wobei sie sich parallel und entlang Achsen erstrecken, die parallel zur Zitterachse **84** sind. Antriebsfinger **100** und Abtastfinger **102** greifen jeweils ineinander mit fixierten Antriebsfingern **104** und mit fixierten Zitterabtastfingern **106**. Fixierte Antriebsfinger **104** werden mit einem Wechselstromsignal angetrieben, um die Antriebsfinger **100** und folglich den inneren Rahmen **82** zu veranlassen, sich entlang der Zitterachse **84** zu bewegen. Wenn das Wechselstromsignal sinusförmig ist, bewegt sich der innere Rahmen mit einer Verlagerung von $x = X\sin(wt)$ und folglich mit einer Geschwindigkeit von $x' = wX\cos(wt)$, wobei die Kreisfrequenz $w = 2\pi f_{res}$ ist (Resonanzfrequenz f_{res} kann für unterschiedliche Arten von Strukturen unterschiedlich sein, ist aber gewöhnlich im Bereich von 10–25 kHz).

[0047] Fixierte Zitterabtastfinger **106** greifen mit Fingern **102** ineinander und die Änderung in der Kapazität zwischen diesen Fingern wird abgefragt, um die Zitterbewegung zu überwachen und dem Zitterantrieb ein Rückkoppelsignal zur Verfügung zu stellen, um die Zitterbewegung bei der gewünschten Kreisfrequenz w zu halten. Die fixierten Abtastfinger **106** sind am Substrat **98** mit Verankerungen **130** befestigt und sind elektrisch mit Leiterbahnen **132** verbunden, die auf Substrat **98** gebildet sind. Die fixierten Zitter-Antriebsfinger **104** sind am Substrat **98** mit Verankerungen **134** befestigt und sind elektrisch mit Leiterbahnen **136** weg vom Kreisel verbunden.

[0048] Entlang der verhältnismäßig kurzen Seiten **92** zwischen dem inneren Rahmen **82** und dem äu-

ßeren Rahmen **88** sind zwei stationäre Elemente **110** am Substrat **98** verankert und relativ zu ihm fixiert. Biegeeinrichtungen **114** erstrecken sich vom äußeren Rahmen **88** zum stationären Elemente **110** entlang Achsen, die zur Zitterachse **84** parallel sind und folglich im Wesentlichen den äußeren Rahmen **88** daran hindern, sich entlang der Zitterachse **84** zu bewegen. Die stationären Elemente **110** sind am Substrat **98** mit Verankerungen **109** befestigt, die sich am Mittelpunkt der stationären Elemente **110** befinden. Diese Lage minimiert Spannungen, da jedes Schrumpfen, das in den stationären Elementen **110** und den Biegeeinrichtungen **114** während der Herstellung auftritt, dem im äußeren Rahmen **88** ähnelt. Folglich gibt es in den Biegeeinrichtungen **114** keine Restbeanspruchung in der Zitterrichtung.

[0049] Die stationären Elemente **110** sind sehr nützlich, da sie für die Biegeeinrichtungen **114** die korrekte Länge zur Verfügung stellen, Befestigungspunkte für die Biegeeinrichtungen **114** zur Verfügung stellen, die weit entfernt von eine Mittellinie der Vorrichtung sind, wodurch der äußere Rahmen **86** gegen Kippen stabilisiert wird, und Freiheit von Schrumpfungen entlang der Längsrichtung der Biegeeinrichtungen **114** zur Verfügung stellen.

[0050] Eine große Anzahl von Fingern **111** erstreckt sich nach außen weg vom äußeren Rahmen **88** entlang Achsen, die zur Zitterachse **84** parallel sind, wobei jeder Finger zwischen zwei fixierten Abtastfingern **112**, **113** angeordnet ist, um eine kapazitive Zelle zu bilden. Die große Anzahl an Zellen bilden zusammen einen Differential-Kondensator. Fixierte Abtastfinger **112**, **113** sind an ihren Enden verankert und sind elektrisch mit anderen entsprechenden Fingern **112**, **113** und mit einer anderen als der, im Zusammenhang mit Fig. 2 erwähnten, Gleichspannung verbunden.

[0051] Diese Anordnung von Abtastfingern an einem aufgehängten Rahmen bildet im Wesentlichen einen sensitiven Beschleunigungsmesser von der Art, wie er in der miteinbezogenen Patentoffenlegungsschrift offenbart ist, wobei es seine Funktion ist, die Coriolis-Beschleunigung abzufragen. Der Beschleunigungsmesser ist auch sensitiv für außen angewandte Beschleunigungen, aber zwei der Kreisel in der Kreuz-Quadrat-Anordnung sind, verglichen mit den beiden anderen, im entgegengesetzten Sinn sensitiv, wodurch solch ein äußerer Einfluss aufgehoben wird.

[0052] In einer beispielhaften Ausführungsform liegen am inneren Rahmen **82** und am äußeren Rahmen **88** jeweils 12 Volt DC an, während an allen fixierten Finger **112**, **113** 0 Volt DC anliegen. Wenn der äußere Körper **88** und seine Finger **111** sich bewegen, wird eine Spannungsänderung an den Fingern **112**, **113** induziert. Ein Hochfrequenzträgersignal kann den fixierten Abtasifingern zur Verfügung gestellt werden, jedoch ist der Träger bei der Genauigkeit des Kreisels entsprechend der vorliegenden Erfindung nicht erforderlich, und folglich sind die erforderlichen Schaltkreise durch Vermeiden der Notwendigkeit für einen Hochfrequenz-Demodulator minimiert.

[0053] Wenn es eine Rotation um eine sensitive Achse **130** (die sowohl zur Zitterachse **84** als auch zur Coriolis-Achse **86** orthogonal ist) gibt, bewegen sich der äußere Rahmen **86** und der innere Rahmen **82** zusammen entlang der Coriolis-Achse **86** in Reaktion auf die Rotation. Wenn es keine solche Rotation um die sensitive Achse **130** gibt, bewirkt die Zitterbewegung des inneren Rahmens **82** im Wesentlichen keine Bewegung des äußeren Rahmens **88** entlang der Coriolis-Achse **86**.

[0054] Das Entkoppeln der Bewegung entlang der Zitterachse und der sensitiven Achse hat bedeutende vorteilhafte Effekte. Unausgewogenheiten der Biegeeinrichtungen erzeugen eine sehr geringe Zitterbewegung entlang der sensitiven Achse. In diesem Fall kann das störende Blindsignal auf so wenig wie 0,5 Teile pro Million (PPM) oder 0,00005% verringert werden; dieses kleine Blindsignal resultiert aus den gleichen Arten von mechanischen Unausgewogenheiten, die andererseits ein 10%iges Störungssignal in einem Kreisel vom Typ, wie er allgemein in Fig. 1 dargestellt ist.

[0055] Außerdem ist die durch Rotation induzierte Beschleunigung, für deren Abfragung der Kreisel ausgelegt ist, sehr wenig gehemmt. Aufgrund dieser Genauigkeit müssen die Schaltkreise nicht besonders kompliziert sein.

[0056] Ein weiterer Nutzen dieser Struktur zeigt sich beim Verpacken. Die Zunahme des Signals von der großen Anzahl von Fingern aufgrund der Öffnungen und von den vier Kreiseln in der Kreuz-Quadrat-Anordnung, macht es unnötig das Signal durch Verringerung der Luftdämpfung zu erhöhen und ermöglicht folglich eine Verpackung unter Umgebungsbedingungen anstelle einer teureren Verpackung unter Vakuum.

[0057] Zusätzlich unter Bezugnahme auf Fig. 5 und Fig. 6, wird ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. Entlang eines großen Teils der Reihe von fixierten Antriebsfingern **104** befinden sich leitende Elemente **126** mit einer Spannung V, vorzugsweise mit der gleichen Gleichspannung, wie die am inneren Rahmen **82** und am äußeren Rahmen **88** (d.h., 12 Volt). Inzwischen werden die Antriebsfinger vorzugsweise mit einer Rechteckwelle mit einer Amplitude von 12 Volt angetrieben. An einigen anderen Positionen entlang der Reihe von fixierten Zitter-Antriebsfingern **104** sind leitende Elemente **120**

auf dem Substrat **98** unter Gruppen von Fingern gebildet und sind elektrisch mit den Antriebsfingern **104** verbunden. Wie in Fig. 4 dargestellt, haben die leitenden Elemente **120** eine Länge, die gleich ist zur Länge der Finger **104**, und eine Breite, die sich über fünf Finger **104** erstreckt, während die leitenden Elemente **126** sich über den inneren Rahmen mit einer Breite erstrecken, die sich entlang vierzehn Fingern **104** erstreckt.

[0058] Bezugnehmend auf Fig. 5, wo bewegbare Antriebsfinger **100** und fixierte Antriebsfinger **104** über leitenden Elementen **126** gebildet sind, wirkt eine netto Aufwärtskraft auf die bewegbaren Antriebsfinger **100** aufgrund von Randeffekten von angrenzenden Fingern **104**, und folglich haben die Finger **100** eine Tendenz frei zu schweben. Leitende Elemente **126** werden bei 12 Volt verwendet und dort beibehalten, um einen statischen Zusammenbruch zu verhindern und die Streukapazität eindeutig zu definieren.

[0059] Wie in Fig. 6 dargestellt, verursacht eine Anziehung durch die bewegbaren Antriebsfinger **100** in Richtung des Substrats **98** dort, wo leitende Elemente **120** unter Antriebsfingern **100** und fixierten Zitterfingern **104** gebildet sind, allerdings eine netto Abwärtskraft, die der in Fig. 5 gezeigten netto Aufwärtskraft entgegenwirken sollte. Die Abwärtskraft aufgrund der leitenden Elemente **120** ist pro Finger **100** größer als die in Fig. 5 dargestellte netto Aufwärtskraft pro Finger **100**, weil die leitenden Elemente **120** nur unter wenigen Fingern gebildet sind. Durch Positionieren leitender Anti-Schwebe-Elemente **120** in regelmäßigen Abständen entlang der Länge, wird ein Schweben verhindert.

[0060] Bezugnehmend auf Fig. 4 und Fig. 7 wird ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. Der Kreisel **80** in Fig. 4 hat vier Stoppelemente **140** (von denen zwei gezeigt sind) relativ zum Substrat **98** und zum inneren Rahmen **82** positioniert, um eine übermäßige Bewegung in jeder möglicher Richtung zu verhindern. Stoppelemente **140** wiesen einen ersten Bereich **144** auf, der im Wesentlichen koplanar zum inneren Rahmen **82** ist, und einen Hakenbereich **146**, der sich über den Rahmen **82** erstreckt. Stoppelement **140** ist mit einer Verankerungen **142** mit dem Substrat **98** verbunden. Der Rahmen **82** ist im Wesentlichen an einer Bewegung in das Stoppelement in der Ebene des Rahmens **82** aufgrund des koplanaren Bereichs **144** gehindert und ist ebenfalls an einer Bewegung zu weit nach oben aufgrund des Hakenbereichs **146** gehindert.

[0061] Wie im miteinbezogenen US-Patent Nr. 5,326,726 beschrieben, ist eine Schicht aus Polysilikon über einem anodisch schützenden Oxid gebildet, um einen aufgehängten inneren Rahmen **82** zu erzeugen. Wenn das Oxid entfernt (geätzt) wird, wird eine aufgehängte Polysilikonstruktur zurückgelassen. Eine weitere Oxidschicht wird über dem inneren Rahmen **82** gebildet, um Stoppelemente **140** zu bilden und dann wird ein Material zur Formung von Stoppelementen **140** über dieses weitere Oxid an Positionen **147** geformt. Ausätzen dieses weiteren Oxids hinterlässt Stoppelemente **140**. Das für die Stoppelemente **140** verwendete Material ist vorzugsweise ein Material, welches das Risiko minimiert, dass der inneren Rahmens **82** das Stoppelement **140** kontaktiert und daran haften bleibt (ein Problem, das mit "Haftreibung" bezeichnet wird). Das bevorzugte Material ist Titanwolfram (TiW), da dieses Material eine niedrige Haftreibung, Kompatibilität mit elektronischer Verarbeitung, gute Leitfähigkeit und eine hohe mechanische Festigkeit ausweist. Ein geeignet beschichtetes Silikon könnte auch verwendet werden.

[0062] Auf Fig. 8 bezugnehmend ist ein Schaltkreis zur Verwendung mit Kreiseln dargestellt, wie sie in Fig. 2 und in Fig. 4 gezeigt sind. In Fig. 8 umfasst ein Kreiselkörper **200** einen ersten Körper und einen zweiten Körper, die miteinander verbunden sind, um die Zitterbewegung von der Coriolis-Bewegung zu entkoppeln. Der Körper **200** wird bei einer relativ. zu den Abtastplatten **204** erhöhten Spannung gehalten und wird mit einem Signal von den Zitter-Antriebsplatten **202** angetrieben, um eine Zitterbewegung zu erzeugen, die durch die Zitterabgefrageplatten **204** erfasst wird.

[0063] Die Bewegung entlang einer Coriolis-Achse wird durch Coriolisplatten **206** abgefragt. Dieser Schaltkreis würde dadurch als ziemlich einfach angesehen, dass er eine vereinfachte Phasenspezifikation ausweist und durch das Design des Körpers ermöglicht wird, welches das Blindsignal im Wesentlichen beseitigt.

[0064] Kapazitive Abfragenplatten **204** sind mit den Eingängen eines Verstärkers **210** gekoppelt, der zwei Ausgänge **211** vorsieht, von denen jeder mit Eingängen des Verstärkers **210** durch ein Rückkoppelimpedanznetz Z1, Z2 gekoppelt ist, das hauptsächlich widerstandsbasiert ist. Die Ausgabe des Verstärkers **210** wird einem zweiten Verstärker **212** zur Verfügung gestellt, der zwei Ausgaben entlang zweier Wege liefert. Die ersten Wege **214**, **216** liefern das Rückkopplungssignal an die Zitterantriebsplatten **202**, um dabei zu helfen, den Körper **200** bei der Resonanzfrequenz am Zittern zu halten. Die anderen zwei Wege **218**, **220** vom Verstärker **212** werden einem zweipoligen, analogen Schalter mit zwei Schalterstellungen **222** zur Verfügung gestellt, der als synchroner Gleichrichter dient. Der Schalter **222** erhält auch zwei Eingänge vom Ausgang eines Verstärkers **224**, der Eingänge von den Coriolis-Abfrageplatten **206** erhält. Verstärker **224** hat Rückkoppelnetze Z3 und Z4, die hauptsächlich kapazitiv sind. Die Signale vom Ver-

stärker **212** wechseln die Polarität der Coriolis-Signale vom Verstärker **224**, wodurch die Coriolis-Signale phasen-demoduliert werden. Der Ausgang von Schalter **222** wird einem puffernden Tiefpassfilter **230** zur Verfügung gestellt.

[0065] Fig. 10 veranschaulicht eine vereinfachte Draufsicht eines Kreisels **250** entsprechend einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Der Kreisel **250** hat einen äußeren Rahmen **252** und einen inneren Rahmen **254**. Ein Zitterantriebsmechanismus **256** kann positioniert werden, um eine Zitterbewegung auf den äußeren Rahmen **252** durch die Finger **260** anzuwenden, die sich vom äußeren Rahmen **252** parallel zu einer Zitterachse **262** erstrecken. Der innere Rahmen **254** ist mit dem äußeren Rahmen **252** durch Biegeeinrichtungen **270** gekoppelt, die parallel zu einer Coriolis-Achse **272** orientiert sind, die senkrecht zur Zitterachse **262** ist. Längliche stationäre Elemente **268** erstrecken sich entlang der Zitterachse **262** und sind zentral am darunterliegenden Substrat **264** durch Verankerungen **269** befestigt. Die Biegeeinrichtungen **266** erstrecken sich von jedem Ende jedes verankerten stationären Elements **268** in einer Richtung, die zur Zitterachse **262** parallel ist. Die Biegeeinrichtungen **266** hindern folglich den äußeren Rahmen **252** an einer Bewegung entlang der Zitterachse **262**, während die Biegeeinrichtungen **270** es dem äußeren Rahmen **252** und dem inneren Rahmen **254** erlauben, sich zusammen entlang der Coriolis-Achse **272** zu bewegen. Wie oben erwähnt, kontrollieren die stationären Elemente **268** die Beanspruchung und die Schieflage und helfen dabei die Biegeeinrichtungen in ihrer passenden Länge zu halten.

[0066] In Reaktion auf die Rotation um eine sensitive Achse **276** (die zu den Achsen **262** und **272** orthogonal ist) bewegen sich der äußere Rahmen **252** und der innere Rahmen **254** entlang der Coriolis-Achse **272**. Der äußere Rahmen hat Abtastfinger **278**, die sich in eine Öffnung **280** hinein erstrecken, wobei jeder sich zwischen zwei fixierten Fingern **282** befindet, so dass die Finger **278** und die Finger **282** einen Differential-Kondensator mit einer Anzahl von einzelnen Zellen bilden. Die Spannung am inneren Rahmen **254** kann abgefragt werden, um die Bewegungsänderung festzustellen, die, wie oben erwähnt, die Rotationsgeschwindigkeit um die Achse **276** anzeigt. Wie im Fig. 3, können vier Kreisel vom in Fig. 10 dargestellten Typ in einer Kreuz-Quadrat-Art miteinander verbunden sein. Außerdem können andere oben besprochene Merkmale, wie die Stoppelemente, das Positionieren der Verankerungen und die leitenden Elemente auf dem Substrat mit dieser Ausführungsform von Fig. 10 zum Einsatz kommen.

[0067] Auf Fig. 11 bezugnehmend wird eine weitere Verbesserung veranschaulicht. In der Situation, in der eine Anzahl von bewegbaren Fingern zwischen zwei Sätzen von fixierten Finger ist, um eine kapazitive Zelle zu bilden, können einer oder beide der fixierten Finger derart angeordnet sein, dass sie sich über zwei Kreisel oder zwei Sätze von Fingern erstrecken, um den Raum zu verringern und die Verarbeitung zu reduzieren. Wie in der vereinfachten Fig. 11 gezeigt, sind bewegbare Massen **280** und **282** jeweils entlang der Richtung der Pfeilen **284** und **286** bewegbar. Jede dieser Massen hat zugehörige Finger **288** und **290**, die sich mit den jeweiligen Massen bewegen. Die Finger **288** und **290** sind zwischen zwei stationären Fingern, wobei sie erste Finger **292** und zweite Finger **294** umfassen. Wie hier dargestellt, sind die fixierten Finger **292** als im Wesentlichen gerade Linien ausgebildet, um eine Elektrode des Differential-Kondensators mit dem bewegbaren Finger **288** zu bilden, und auch um eine Elektrode eines Differential-Kondensators mit einem bewegbaren Finger **290** zu bilden. Die fixierten Finger **292** sind mit einer geknickten („dog-leg") Konfiguration gebildet, so dass sie sich von einer Seite jedes bewegbaren Fingers **288** zur anderen Seite jedes bewegbaren Fingers **290** erstrecken (wobei auf die Seiten in Hinsicht auf die Richtung Bezug genommen ist, die durch die Pfeile **284** und **286** angezeigt ist). Mit dieser Anordnung müssen weniger unterschiedliche Finger hergestellt werden, und weniger Verbindungen müssen zu den stationären Fingern hergestellt werden. Elektrische Kontaktpunkte **296**, **298** zu den entsprechenden Fingern **292** und **294** sind entlang einer Richtung senkrecht zur Richtung der Pfeile **284** und **286** versetzt, so dass Kontakte mit Leiterbahnen auf der Oberfläche des Substrats und den Verankerungen an den Kontaktpunkten zu den Leiterbahnen auf dem Substrat geradlinig hergestellt werden können.

[0068] Die in Fig. 11 gezeigte Anordnung kann verwendet werden, wenn es mehrere aneinander angrenzende Kreisel gibt, wie in der in Fig. 3 veranschaulichten Situation, und wenn in Fig. 4 die Verbindungen mit mehreren Kreiseln hergestellt würden. In der Tat sind in Fig. 4 die Verbindungen zu fixierten Fingern **112** und **113** auf solch eine versetzte Art und Weise angeordnet, jedoch gibt es keinen Kreisel, der in Fig. 4 an der Seite des Kreisels gezeigt ist. Die Anordnung der fixierten Finger, wie in Fig. 11 dargestellt, könnte in der Öffnungsregion des inneren Rahmens in Fig. 10 verwendet werden. Durch Anordnen der fixierten Finger auf diese Art und Weise, wird die Verarbeitung reduziert, da die Anzahl der zu bildenden Finger verringert ist und es kann auch Platz für zusätzliche Zellen geschaffen werden, wodurch das Signal, das empfangen wird, erhöht wird und die Genauigkeit verbessert ist.

[0069] Auf Fig. 12 bezugnehmend ist in einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ein Teil eines Kreisels **300** gezeigt. Wie in Fig. 4 und Fig. 10 gezeigt hat der Kreisel **300** einen inneren Rahmen **302**, einen äußeren Rahmen **304**, veranker-

te stationäre Balken **306** zwischen dem inneren und dem äußeren Rahmen und Biegeeinrichtungen **308**, um zu verhindern, dass sich der äußere Rahmen entlang eine Zitterachse **310** bewegt, die parallel zur länglichen Richtung der Biegeeinrichtungen **308** ist. Der Innere Rahmen **302** wird entlang der Zitterachse **310** relativ zum äußeren Rahmen **304** gezittert, der am Bewegen entlang der Zitterachse **310** gehindert ist.

[0070] In der Ausführungsform von Fig. 4 waren Biegeeinrichtungen **90** senkrecht zur Zitterachse orientiert, um ein Bewegen entlang der Zitterachse zuzulassen. Mit solch einer Struktur stehen diese Biegeeinrichtungen unter einer hohen Zugkraft und haben eine Tendenz sich auszudehnen. Wenn sie bedeutend genug sind, könnten solche Beanspruchungen anfangen, den Rahmen zu wölben, und/oder könnten die Resonanzfrequenz des Systems ändern.

[0071] Auf Fig. 12 bezugnehmend ist die Verbindung zwischen dem inneren Rahmen **302** und dem äußeren Rahmen **304** durch eine Verbindungsstruktur hergestellt, die Schwenkbalken **312** und **314** umfasst, die mit dem inneren Rahmen **302** durch Biegeeinrichtungen **316** und **318** verbunden sind und mit dem äußeren Rahmen **304** durch Biegeeinrichtungen **320** und **322**. Die Schwenkbalken **312** und **314** sind miteinander mit einem kleinen Querstück **324** verbunden.

[0072] Auf Fig. 13 Bezug nehmend ist dort eine Nahbereichsaufnahme bzw. eine vereinfachte Ansicht der Verbindungsstruktur gezeigt. Wenn der innere Rahmen **302** entlang der Zitterachse **310** gezittert wird, bewegt sich der innere Rahmen **302** wie durch die Pfeile **330** angezeigt, wobei senkrechte Belastungen entlang der Biegeeinrichtungen **316** und **318** in der Richtung, die durch die Pfeile **332** angezeigt ist, verursacht werden. Weil Schwenkbalken **312** und **314** mit Biegeeinrichtungen **320** und **322** verbunden sind, von denen jeder entlang einer Richtung parallel zu den Pfeilen **332** orientiert ist, bilden die Überschneidung von Balken **312** und der Biegeeinrichtung **320** und die Überschneidung von Balken **314** und der Biegeeinrichtung **322** Gelenkpunkte **336** beziehungsweise **338**, was verursacht, dass sich die Balken **312** und **314** entlang der durch die Pfeile **340** beziehungsweise **342** angezeigten Richtung bewegen. Diese Bewegung der Schwenkbalken verursacht eine kleine Bewegung durch das Querstück **324** entlang der durch Pfeil **344** angezeigten Richtung, die zur Zitterachse **310** parallel ist.

[0073] Diese Struktur fördert eine Bewegung der Balken **312** und **314** in einer zur Rotationsrichtung entgegengesetzten Richtung, während gleichzeitig einer Rotation in derselben Richtung entgegengewirkt wird; d.h. die Struktur erlaubt eine gegenphasige Bewegung und hemmt im Wesentlichen eine gleichphasige Bewegung. Wenn die Schwenkbalken versuchen sollten, sich in die gleiche Richtung gleichzeitig zu rotieren, müsste sich das Querstück verlängern und würde eine komplizierte Verdrehbewegung durchmachen. Infolgedessen hilft diese Struktur, eine solche Bewegung zu verhindern. Die Schwenkeinheit verhindert dadurch die unerwünschte Bewegung von Zitterrahmen **302** senkrecht zur bevorzugten Zitterachse, d.h. ein Erzeugen einer Bewegung, die mit den Coriolis-Signalen interferiert. Durch Vermindern der Dehnkräfte in den Biegeeinrichtung **316**, **318** kann der Rahmen **302** sich entlang der Zitterachse **310** freier bewegen und ein größeres Signal produzieren. Die Verminderung dieser Dehnkräfte vermeidet auch Verformungen des Beschleunigungsmesserrahmens durch die Zitterbewegung, während andernfalls solche Verformungen störende Signale produzieren könnten, wenn sie nicht bemerkt werden.

[0074] In der Ausführungsform von Fig. 12 und Fig. 13 ist der äußere Rahmen **308** mit einem geradlinigen inneren Rand **350** dargestellt, welcher der Verbindungsstruktur und dem inneren Rahmen **302** gegenüberliegt. Als eine Alternative kann ein Bereich des äußeren Rahmens **308** relativ zum Rand **350** zur Verbindung mit Biegeeinrichtungen **320** und **322** ausgespart sein. Ungeachtet der Aussparung ist es für das Querstück **324** wünschenswert, auf einer Linie mit den Biegeeinrichtungen **320** und **322** zu liegen.

[0075] Fig. 12 und Fig. 13 zeigen jeweils Biegeeinrichtungen **316** und **318**, die sich zu einer Ecke der Balken **312** und **314** erstrecken, wobei sie mit den Balken **312** und **314** effektiv einen geradlinigen und kontinuierlichen Rand bilden. Um zwischen den Balken **312**, **314** und dem inneren Rahmen **302** mehr Raum zu schaffen, wenn die Balken **312**, **314** schwenken, kann es wünschenswert sein Bereiche der Ränder von den Balken **312** und **314** abzurasieren, die dem inneren Rahmen **302** gegenüberliegen, besonders an der Ecke, die vom jeweiligen Gelenkpunkt **336** und **338** am weitesten entfernt ist.

[0076] Wieder auf Fig. 12 verweisend gibt es einen Unterschied in der Anordnung der Öffnungen und Finger im Vergleich zur Ausführungsform von Fig. 4. Wie in Fig. 4 gezeigt, gibt es drei längliche Öffnungen mit Fingern, und jede der Öffnungen hat einige Antriebsfinger und einige Abnehmerfinger. Im Gegensatz dazu zeigt Fig. 12 eine Öffnung von fünf Öffnungen und diese Öffnung hat nur miteinander verbundene Antriebsfinger. In der Ausführungsform von Fig. 12 gibt es fünf Öffnungen, wobei deren mittlere Öffnung nur für Abnehmerfinger verwendet wird und nicht für Antriebsfinger, während die anderen vier Öffnungen nur Antriebsfinger und keine Abnehmerfinger aufweisen.

[0077] Ein weiterer Unterschied in Bezug auf die Ausführungsform von Fig. 4 ist, dass in der Ausfüh-

rungsform von Fig. 12 die Verbindungsglieder, die an den Antriebs- und Abnehmer-Kämmen verwendet werden, aus Polysilikon auf der Oberfläche des Substrats geformt sind, anstelle von verstreuten n+ Verbindungsglieder. Mit dem Polysilikon auf der Oberfläche können die Finger genauer gebildet werden, was mehr Finger im gleichen Raum und folglich mehr Kraft pro Flächeneinheit zulässt.

[0078] Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist in Fig. 14 und Fig. 15 veranschaulicht. Ein Kreisel **400** hat einen inneren Rahmen **402**, der durch einen äußeren Rahmen **404** umgeben ist. Der innere Rahmen **402** wird entlang einer Zitterachse **410** durch Verwendung eines Zitterantriebsmechanismus **406** gezittert. Wie in den obigen Ausführungsformen beschrieben wird der Zitterantriebsmechanismus **406** vorzugsweise mit Kämmen von Antriebsfinger gebildet, die mit Fingern auf dem inneren Rahmen **402** ineinander greifen und mit Spannungssignalen angetrieben werden, um sinusförmige Bewegungen zu produzieren. In der Ausführungsform von Fig. 14 hat der innere Rahmen **402** vier längliche und parallele Öffnungen, die die Antriebsfinger umfassen.

[0079] In den vier Ecken des inneren Rahmens **402** sind Öffnungen, die Zitter-Abnehmerfinger zum Abfragen der Zitterbewegung haben. Wie bei den obigen Ausführungsformen besprochen, wird diese abgefragte Zitterbewegung an den Zitterantriebsmechanismus zurückgeführt, der den inneren Rahmen **402** entlang der Zitterachse **410** antreibt.

[0080] In Reaktion auf eine Winkelgeschwindigkeit um eine zentrale sensitive Achse **412**, wird der äußere Rahmen **404** veranlasst, sich entlang einer Coriolis-Achse **414** zu bewegen. Wie oben beschrieben, kann der innere Rahmen **402** relativ zum äußeren Rahmen **404** gezittert werden, während der innere Rahmen **402** mit dem äußerem Rahmen **404** verbunden ist, so dass der innere Rahmen **402** und der äußere Rahmen **404** sich zusammen entlang der Coriolis-Achse **414** bewegen. In dieser Ausführungsform sind die Kopplung zwischen dem inneren Rahmen **402** und dem äußeren Rahmen **404** und die Verankerung des äußeren Rahmens **404** mit dem Substrat entworfen, um die Leistung zu verbessern und das interferierende Blindsignal zu verringern, um einen sehr leistungsstarken Kreisel zu produzieren.

[0081] Die Verbindungen werden in Fig. 15 detaillierter dargestellt, die ein Viertel des Kreisels **400** zeigt. Die anderen drei Viertel des Kreisels sind im Wesentlichen identisch zum gezeigten Teil. Ein Zitterbiegeeinrichtungsmechanismus **430** ist zwischen dem inneren Rahmen **402** und dem äußeren Rahmen **404** gekoppelt, um den inneren Rahmen **402** entlang einer Zitterachse **410** zu bewegen, aber den inneren Rahmen **402** daran zu hindern sich entlang der Coriolis-Achse **414** relativ zum äußeren Rahmen **404** zu bewegen, sondern vielmehr sich nur mit dem äußeren Rahmen **404** entlang der Coriolis-Achse **414** zu bewegen.

[0082] Fig. 15 zeigt eine Hälfte eines Zitterbiegeeinrichtungsmechanismus **430**, der einen Zitterhebelarm **432** aufweist, der mit dem äußeren Rahmen **404** durch eine Zitterhauptbiegeeinrichtung **434** verbunden ist; und mit dem inneren Rahmen **402** durch Schwenkbiegeeinrichtungen **436** und **438** verbunden ist. Identische Komponenten wären auf der anderen Seite der gestrichelten Linie **442**, wobei sie durch einen kleinen zentralen Balken **440** mit dem Hebelarm **432** verbunden sind. Ähnlich zur Ausführungsform von Fig. 12 regt der zentrale Balken **440** den Hebelarm **432** und den entsprechende Hebelarm, der auf der anderen Seite des Balkens **440** angeschlossen ist, an, sich in der gleichen Richtung entlang der Zitterachse **410** zu bewegen. Am anderen Ende des Hebelarms **432**, erstrecken sich Biegeeinrichtungen **436** und **438** unter einem rechten Winkel zueinander in Richtung des inneren Rahmens **402**, um einen Gelenkpunkt nahe der Kontaktstelle der Biegeeinrichtungen **436** und **438** zu bilden.

[0083] Dieser Kopplungs- und Verbindungsmechanismus hat eine Anzahl von Vorteilen gegenüber anderen hierin zitierten Strukturen. Weil die Länge des Hebelarms vom Gelenkpunkt zur kleinen zentralen Biegeeinrichtung im Verhältnis zur Gesamtlänge des inneren Rahmens lang ist, ist das Steifheitsverhältnis des Mechanismus für eine senkrechte Bewegung der Zittermasse und für eine Entlastung der Spannung in der Hauptzitterbiegeeinrichtung erhöht. Für eine gegebene Restspannung existiert ein guter Widerstand zur Senkrechtbewegung, oder für einen gegebenen Widerstand, erzeugt die Senkrechtbewegung weniger Verformung im Beschleunigungsmesserrahmen verglichen mit den Ausführungsformen von Fig. 12. Biegeeinrichtungen **436** und **438** können lang geformt sein, wodurch die Spannung für einen gegebenen Zitterversatz reduziert ist. Die Biegeeinrichtungen **436** und **438** sind mit dem inneren Rahmen **402** an Punkten nahe dem Zentrum des inneren Rahmens in Richtung der Länge und der Breite verbunden, wobei die Verformung für einen gegebenen Spannungsbetrag im Vergleich zu anderen Ausführungsformen verringert ist. Weil die zwei schwenkenden Biegeeinrichtungen zueinander senkrecht sind, ist der Gelenkpunkt besser stabilisiert als in anderen Strukturen. Durch Bewegen des effektiven Befestigungspunktes des Zittermechanismus auf dem inneren Rahmen in Richtung zur Außenseite des inneren Rahmens, ergibt sich eine bessere Stabilität im inneren Rahmen gegen Kippen. Um den Hebelarm **432** verglichen mit dem zentralen Balken **440** steif zu halten, ist der Hebelarm **432** breit geformt; während diese größere Breite die Steifheit verbessert, hat sie den Nachteil, dass sie zusätzlichen Raum erfordert.

[0084] Verglichen mit der Ausführungsform von Fig. 12 ist der äußere Rahmen **404** steifer gebildet, indem seine Breite erhöht ist. Wie jedoch oben erwähnt wurde, wird das Verhältnis der Signale durch m/M geändert, wobei M die Gesamtmasse beider Rahmen ist und m die Masse des inneren Rahmens ist. Infolgedessen ist es wünschenswert, die Masse des äußeren Rahmens zu verringern, damit M relativ zu m so klein wie möglich ist. infolgedessen ist eine Anzahl von Löchern **444** aus dem äußeren Rahmen **404** herausgeschnitten. Während das Vorhandensein der Löcher **444** die Masse verringert, haben sie keinen wesentlichen Einfluss auf die Steifheit, weil sie in der Tat eine Anzahl von verbundenen I-Balken verursachen. Für diesen Zuwachs an Steifheit und Leistung zahlt man jedoch den Preis einer erhöhten Größe der Vorrichtung, wodurch der Gewinn auf dem Waferniveau sinkt.

[0085] Um die Leistung der Vorrichtung **400** verglichen mit früheren Ausführungsformen weiter zu verbessern, ist der äußere Rahmen **404** mit dem Substrat verbunden durch einen Verbindungsmechanismus **450** und durch ein Paar von Verankerungen **452**, die miteinander verbunden sind. Der Verbindungsmechanismus **450** umfasst Platten **453** und **454**, die miteinander mit zueinander senkrechten kurzen Biegeeinrichtungen **456** und **458** verbunden sind.

[0086] Das Struktur-Polysilikon, das verwendet wird, um die Massen und die Biegeeinrichtungen zu bilden, sollte im Vergleich zum Substrat ein wenig dehnbar sein, so dass die Strukturen, die aus Polysilikon hergestellt sind, eine gut definierte und singuläre Form haben. Eine Konsequenz hiervon ist, dass die Beschleunigungsmesser-Biegeeinrichtungen bei der Herstellung leicht gebogen werden. Wenn diese Biegeeinrichtungen in Termen von Steifheit unausgeglichen sind, kann eine geringfügige statische Schieflage in die gesamte Struktur eingebracht sein, mit Konsequenzen, die denen einer Schieflage im Normalbetrieb ähnlich sind. Die Kräfte von der Zitterbewegung können die Biegeeinrichtungen unterschiedlich geraderichten, wobei sich eine zusätzliche dynamische Schieflage um die Kreiselachse ergibt. Außerdem beugt sich der Rahmen in Reaktion auf die Spannung in den Zitterbiegeeinrichtungen, wobei eine ähnliche Wirkung entsteht, wie beim unterschiedlichen Dehnen der Biegeeinrichtungen durch die Reaktionskräfte, welche die Struktur in der Ebene des Substrats kippen.

[0087] In der Ausführungsform von Fig. 15 sind die Gelenkpunkte durch die Biegeeinrichtungen **456** und **458** definiert, so dass der äußere Rahmen **404** sich leicht senkrecht zur Zitterbewegung durch Schwenken der Platte **453** relativ zur Platte **454** bewegen kann, wobei ein einzelner Biegevorgang an die Biegeeinrichtungen **456** und **458** an den Enden und in der Mitte gegeben wird. Um dies zu bewerkstelligen, sollte Mittelbalken **440** mit den Gelenkpunkten co-linear sein.

[0088] Nach der Beschreibung von Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sollte es offensichtlich sein, dass Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom durch die angefügten Ansprüche definierten Bereich der Erfindung abzuweichen. Während eine Kreuz-Quadrat-Anordnung mit vier Kreiseln einige oben beschriebene Vorteile aufweist, kann man mit einer sehr präzisen Verarbeitung nur zwei verwenden, um externe Beschleunigungen im Normalbetrieb zu beseitigen. In noch einer anderen Alternative, kann ein größeres Array mit mehr als vier Kreiseln angeordnet und zusammengekoppelt werden.

Patentansprüche

1. Mikrogefertigte Vorrichtung (**50**), die ein Substrat (**55**) aufweist; einen ersten Körper (**52**), der in einer Ebene über dem Substrat aufgehängt ist und relativ zum Substrat in der Ebene derart bewegbar ist, dass der erste Körper entlang einer Zitterachse (**58**) gezittert werden kann; und einen zweiter Körper (**54**), der über dem Substrat aufgehängt ist, wobei der erste und zweite Körper in einer ersten Ebene parallel zum Substrat koplanar sind; wobei der erste Körper mit dem zweiten Körper gekoppelt ist, um eine Bewegung des ersten Körpers entlang der Zitterachse relativ zum zweiten Körper zuzulassen, um im Wesentlichen eine Bewegung des ersten Körpers relativ zum zweiten Körper entlang einer Abtastachse (**60**), die orthogonal zur Zitterachse ist, zu verhindern, und um dem ersten und zweiten Körper zu erlauben, sich gemeinsam entlang der Abtastachse zu bewegen; wobei der zweite Körper derart geformt ist, dass der zweite Körper im Wesentlichen daran gehindert wird, sich relativ zum Substrat entlang der Zitterachse zu bewegen, **dadurch gekennzeichnet**, dass:
der erste Körper (**52**) einen Umfassungsbereich aufweist, der eine Öffnung (**64**) definiert und umgibt, mit einer Mehrzahl an Fingern (**66**, **67**), die sich vom ersten Körper in die Öffnung hinein erstrecken und mit dem ersten Körper bewegbar sind, wobei die Vorrichtung außerdem fixierte Finger (**68**, **69**), die relativ zum Substrat fixiert sind, umfasst, wobei sie mit den sich nach innen erstreckenden Fingern ineinandergreifen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der erste Körper mindestens ein Querstück (**96**) aufweist, das sich von einem Teil des Umfassungsbereichs auf einen anderen Teil des Umfassungsbereichs erstreckt, um mindestens zwei Öffnungen (**98**) zu definieren, wobei der erste Körper die Finger aufweist, die sich in jede von mindestens zwei Öffnungen erstrecken.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die sich nach innen erstreckenden Finger Zitter-Antriebs-

finger umfassen, und wobei ein Signal, das an den entsprechenden fixierten Fingern bereitgestellt wird, veranlasst, dass der erste Körper entlang der Zitterachse gezittert wird.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, 2 oder 3, wobei die sich nach innen erstreckenden Finger Zitterabtastfinger umfassen, die dazu verwendet werden, eine Zitterbewegung des ersten Körpers abzutasten.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner umfassend Abtastfinger (**70**), die sich weg vom zweiten Körper (**54**) in einer Richtung parallel zur Zitterachse erstrecken, und erste und zweite Sätze von fixierten Fingern (**72**, **74**) auf beiden Seiten von jedem der Abtastfinger, die sich weg vom zweiten Körper erstrecken, wobei die Abtastfinger und die ersten und zweiten Sätze der fixierten Finger kapazitive Zellen bilden, um eine Bewegung des zweiten Körpers entlang der Abtastachse abzutasten.

6. Vorrichtung nach Anspruches 5, wobei jeder Finger des ersten Satzes der fixierten Finger mit einer ersten Spannung gekoppelt ist, und jeder Finger des zweiten Satzes der fixierten Finger mit einer zweiten Spannung gekoppelt ist.

7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zweite Körper mit einem stationären Körper (**110**, **450**) gekoppelt ist, der sich entlang der Zitterachse ausdehnt und koplanar zum zweiten Körper und zwischen dem ersten und dem zweiten Körper ist, wobei der stationäre Körper in der Längsrichtung erste und zweite entgegengesetzte Enden aufweist und Biegeeinrichtungen (**114**) hat, die sich von jedem Ende zum zweiten Körper erstrecken.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei der stationäre Körper mit mindestens einer Verankerung (**452**) verankert ist, die zentral entlang des stationären Körpers zwischen den ersten und zweiten entgegengesetzten Enden positioniert ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, wobei der stationäre Körper eine erste Platte (**454**) umfasst, die mit dem Substrat verankert ist, eine zweite Platte (**453**) von der sich Biegeeinrichtungen zum zweiten Körper erstrecken, und Biegeeinrichtungen (**456**, **458**), die sich zwischen der ersten Platte und der zweiten Platte erstrecken, um ein Schwenken um einen Schwenkpunkt zwischen den ersten und zweiten Platten zuzulassen.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei die zweite Platte nicht am Substrat verankert ist.

11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner mindestens einen Anschlag umfassend, der nahe dem ersten Körper entlang der orthogonalen Achse positioniert ist zum Begrenzen einer Bewegung des ersten Körpers entlang der orthogonalen Achse, wobei der Anschlag einen ersten Bereich (**144**) aufweist, der mit dem ersten Körper koplanar ist und einen zweiten Bereich (**146**), der integral mit dem ersten Bereich ist und sich über dem erste Körper relativ zum Substrat erstreckt, um zu verhindern, dass sich der erste Körper vom Substrat weg nach oben bewegt.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste Körper mit dem zweiten Körper mit einem ersten Satz Biegeeinrichtungen (**62**, **316**, **318**) gekoppelt ist, die entlang der Abtastachse orientiert sind, und wobei der zweite Körper mit dem Substrat mit einem zweiten Satz Biegeeinrichtungen (**56**, **114**) verankert ist, die entlang der Zitterachse orientiert sind.

13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Umfassungsbereich rechteckig ist.

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ferner eine Verbindungsstruktur zwischen dem ersten Körper (**302**) und dem zweiten Körper (**308**) umfassend, wobei die Verbindungsstruktur einschließt einen ersten Schwenkbalken (**312**), einen zweiten Schwenkbalken (**314**), Biegeeinrichtungen (**316**, **318**), die sich vom ersten Körper zu den ersten und zweiten Schwenkbalken erstrecken, einen Balken (**324**), welcher die ersten und zweiten Schwenkbalken verbindet und erste und zweite Strukturen (**320**, **322**), welche die ersten und zweiten Schwenkbalken mit dem zweiten Körper verbinden.

15. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner eine Verbindungsstruktur umfassend, die den ersten Körper mit dem zweiten Körper verbindet, wobei die Verbindungsstruktur erste und zweite Biegeeinrichtungen (**316**, **318**) umfasst, die sich vom ersten Körper entlang der Abtastachse erstrecken und ferner Mittel umfassen, um zu verhindern, dass die Biegeeinrichtungen während der Zitterbewegung des ersten Körpers entlang der Zitterachse gedehnt werden.

16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der erste Körper mindestens ein Querstück aufweist, um eine Mehrzahl von Öffnungen innerhalb des ersten Körpers zu definieren, wobei eine erste Öffnung Finger zum Zittern des ersten Körpers entlang der Zitterachse und keine Finger zum Abtasten der Zitterbewegung aufweist und eine zweiten Öffnung Finger zum Abtasten der Zitterbewegung und keine Finger zum Zittern des ersten Körpers aufweist.

17. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden

Ansprüche, wobei der erste Körper mindestens ein Querstück aufweist, um eine Mehrzahl von Öffnungen innerhalb des ersten Körpers zu definieren, wobei die ersten und zweiten Öffnungen jeweils Finger aufweisen, die zum Zittern des ersten Körpers entlang der Zitterachse verwendet werden, und weitere Finger, die zum Abtasten der Zitterbewegung des ersten Körpers verwendet werden.

18. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die ersten und zweiten Körper miteinander durch eine Kopplungsstruktur verbunden sind, wobei die Kopplungsstruktur erste und zweite längliche Arme (**312**, **314**, **432**) umfasst, die sich zusammen im Wesentlichen entlang der Länge des ersten Körpers entlang der Abtastachse erstrecken, wobei die ersten und zweiten Arme miteinander durch einen Kopplungsbalken (**324**, **440**) verbunden sind, die kürzer ist als die beiden Arme.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, wobei jeder Arme mit dem ersten Körper durch orthogonale Biegeeinrichtungen (**434**, **436**) verbunden ist, die einen Schwenkpunkt definieren.

20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens einer der ersten und zweiten Körper eine Mehrzahl von rechteckigen Löchern aufweist, die aus dem zweiten Körper ausgeschnitten sind.

21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche ferner umfassend:
eine erste Mehrzahl von Fingern (**100**, **102**), die sich parallel weg vom ersten Körper erstrecken, koplanar mit dem ersten Körper und bewegbar mit dem ersten Körper sind;
eine zweite Mehrzahl von Fingern (**104**, **106**), die relativ zum Substrat fixiert sind, parallel zur ersten Mehrzahl von Fingern sind und mit der ersten Mehrzahl von Fingern ineinandergreifen;
ein erstes leitendes Element (**120**) auf dem Substrat unter einer ersten Gruppe der ersten Mehrzahl von Fingern und der zweiten Mehrzahl von Fingern, wobei das erste leitende Element auf der gleichen Spannung gehalten wird, wie die zweite Mehrzahl von Fingern; und
ein zweites leitendes Element (**126**) auf dem Substrat unter einer zweiten Gruppe der ersten Mehrzahl von Fingern und der zweiten Mehrzahl von Fingern, wobei das zweite leitende Element auf der gleichen Gleichspannung gehalten wird, wie die erste Mehrzahl von Fingern.

22. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der zweite Körper den ersten Körper umgibt.

23. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung unter Umgebungsbedingungen montiert ist.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

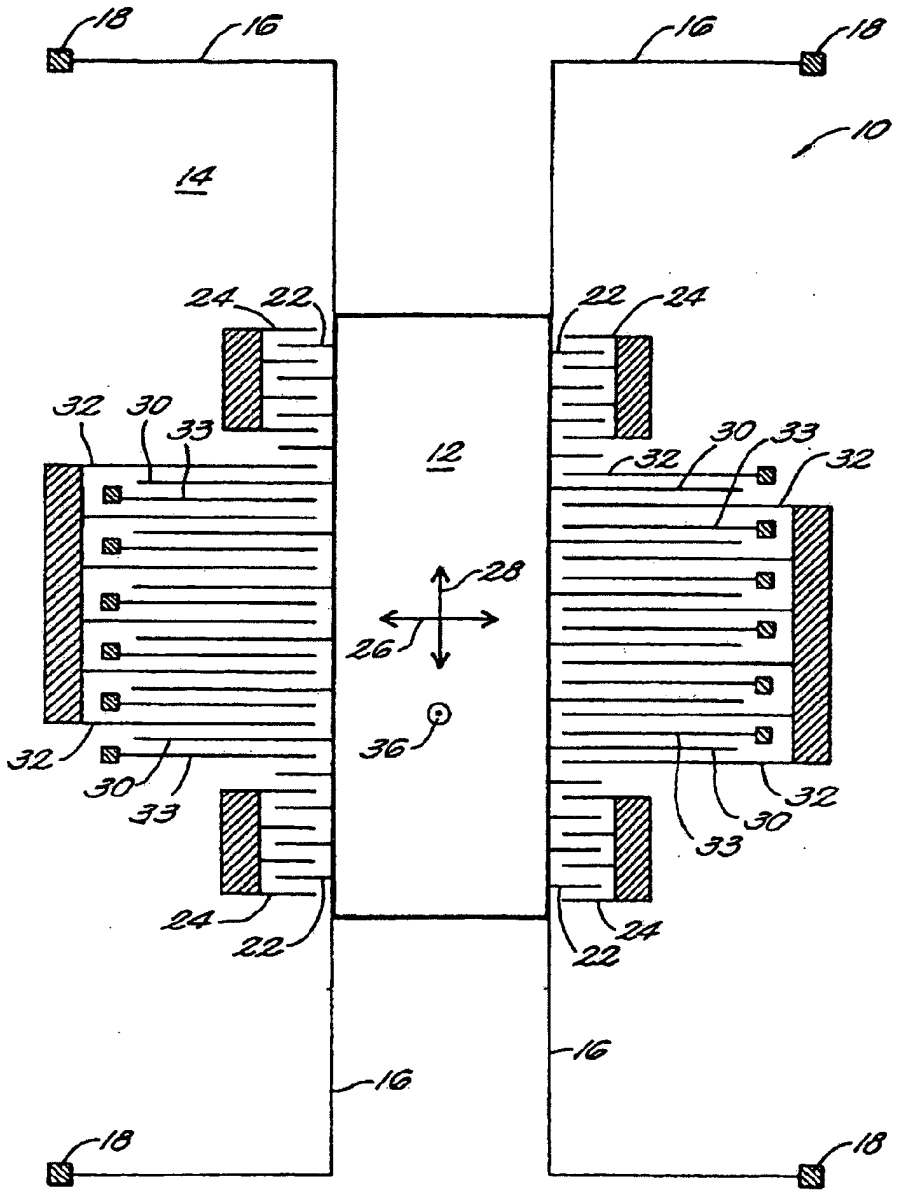

FIG. 1
(STAND DER TECHNIK)

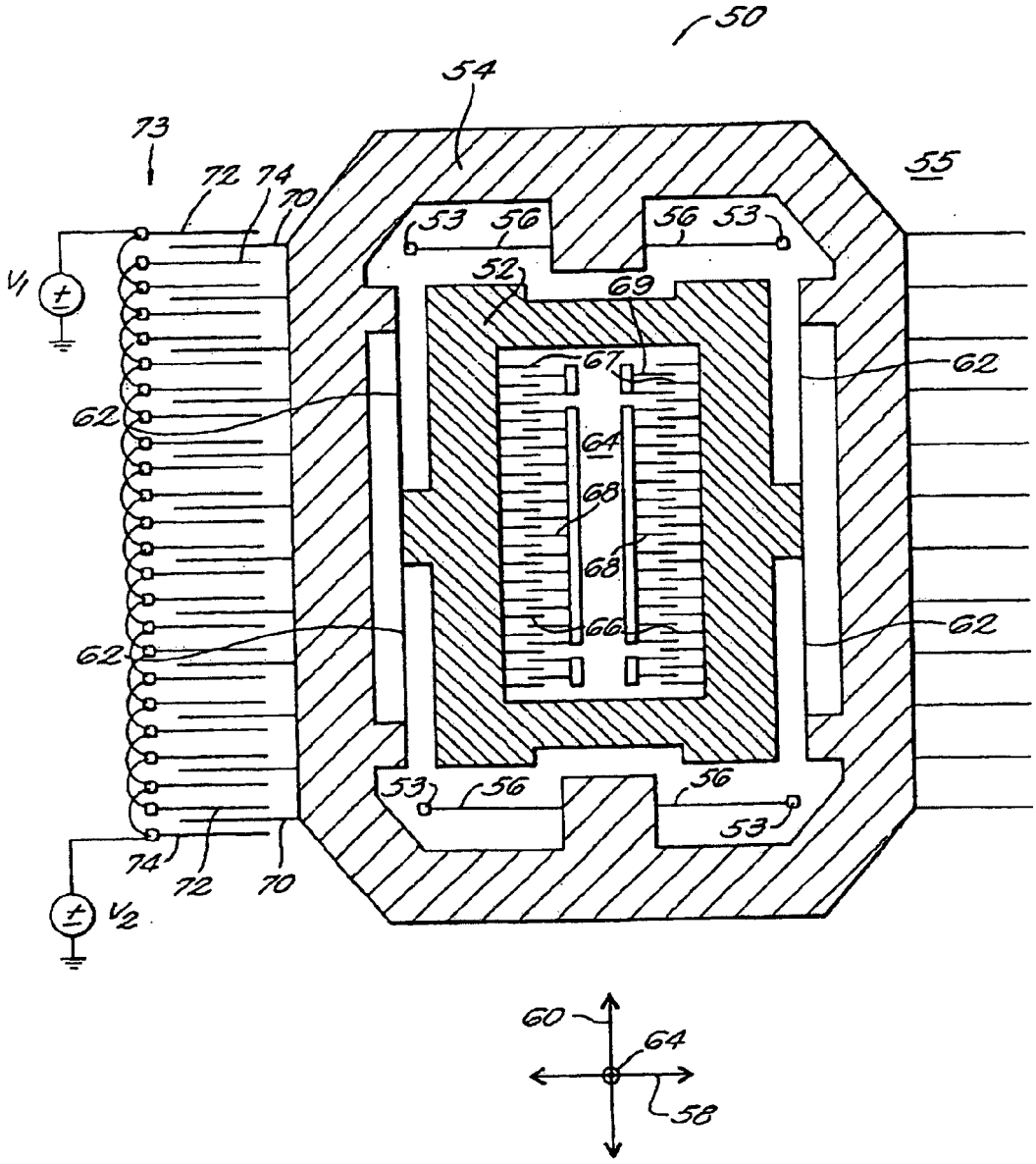

FIG. 2

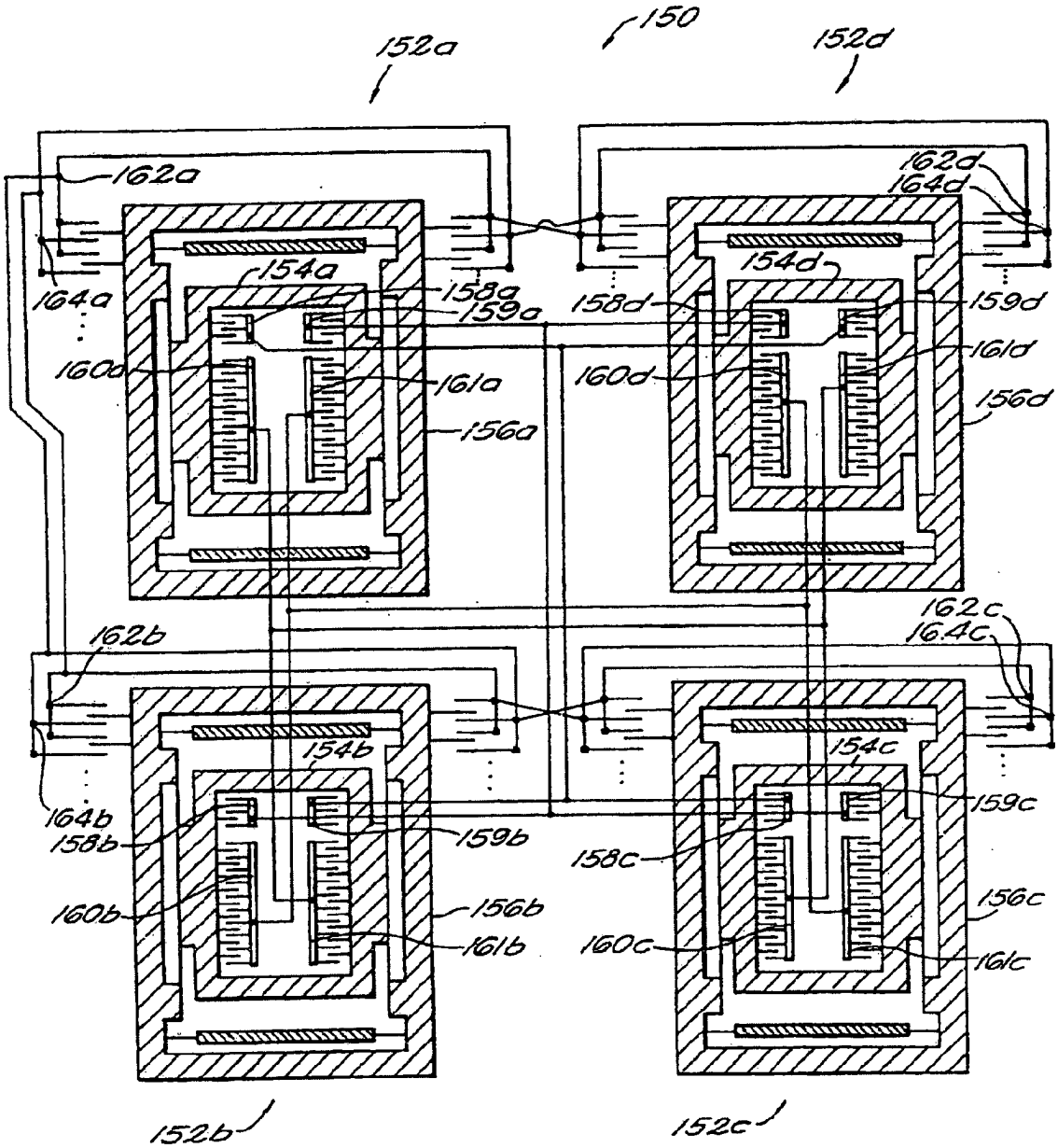
150
152a
152d
162a
162d
164d
154a
154d
164a
158a
159a
158d
159d
160a
161a
160d
161d
156a
156d
162b
162c
16.4c
154b
154c
164b
158b
159b
159c
158c
160b
156b
156c
161b
160c
161c
152b
152c

FIG. 3

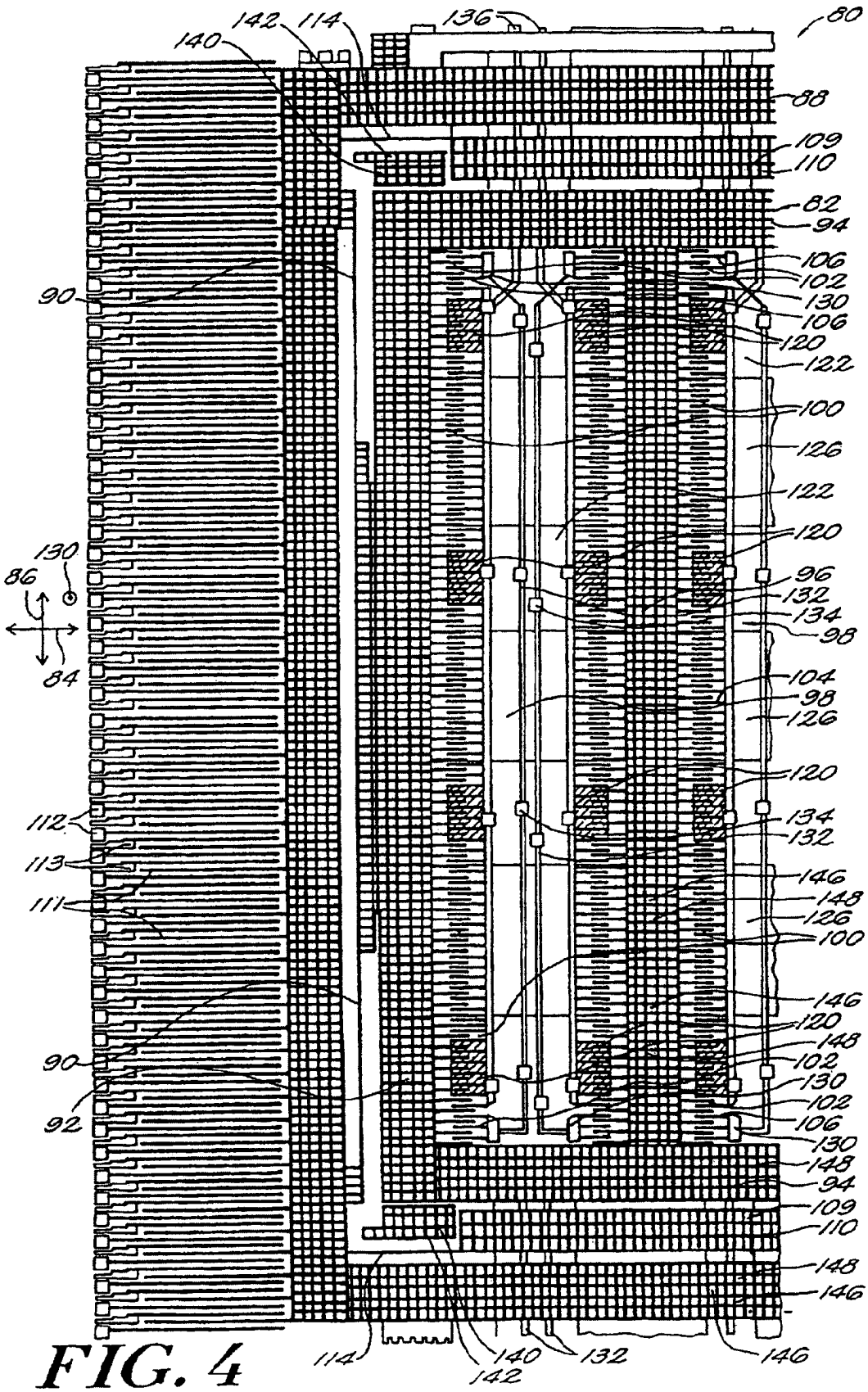
80
88
109
110
82
94
106
102
130
106
120
122
100
126
122
120
96
132
134
98
104
98
126
120
134
132
146
148
126
100
146
120
148
102
130
102
106
130
148
94
109
110
148
146
142
114
136
140
90
130
86
84
112
113
111
90
92
114
140
142
132
146

FIG. 4

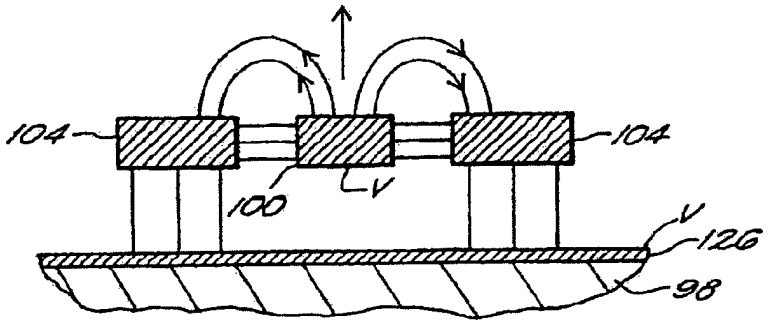

FIG. 5

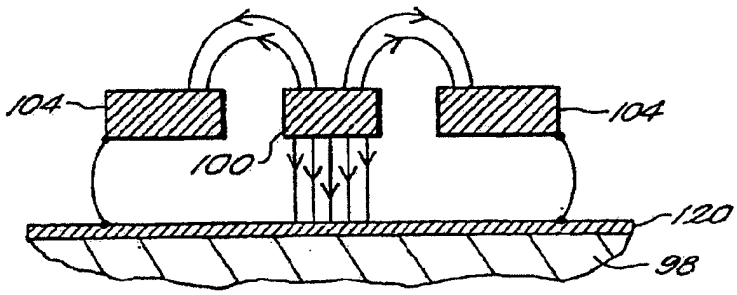

FIG. 6

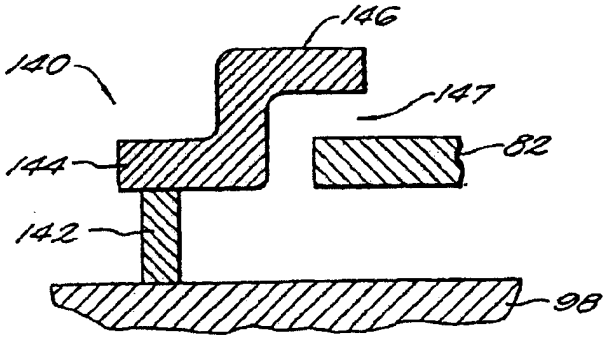

FIG. 7

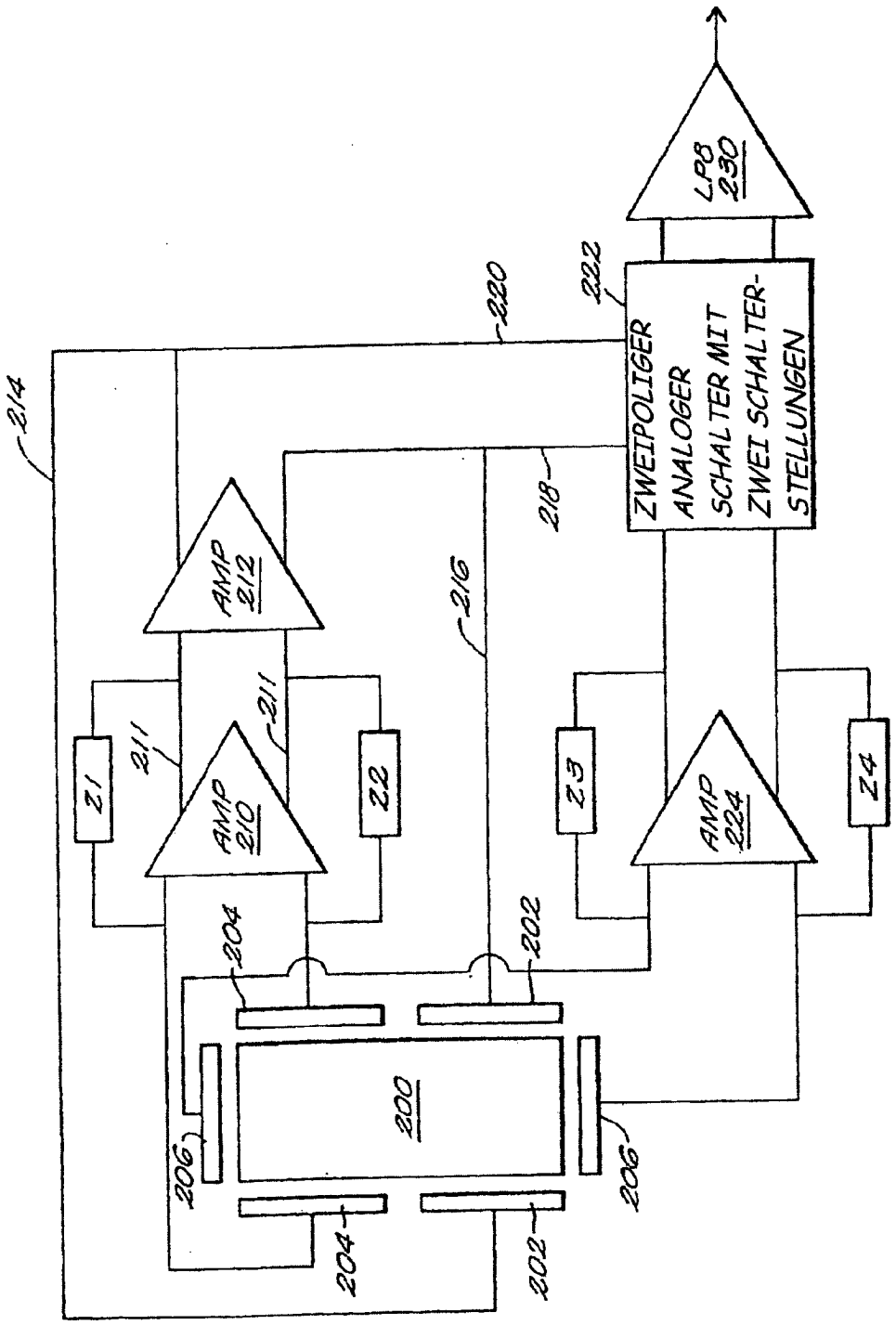
214
220
222
LPB
230
ZWEIPOLIGER
ANALOGER
SCHALTER MIT
ZWEI SCHALTER-
STELLUNGEN
218
AMP
212
216
211
211
Z1
AMP
210
Z2
Z3
AMP
224
Z4
204
202
200
206
206
204
202

FIG. 8

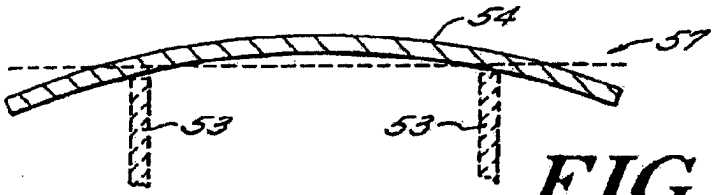

FIG. 9

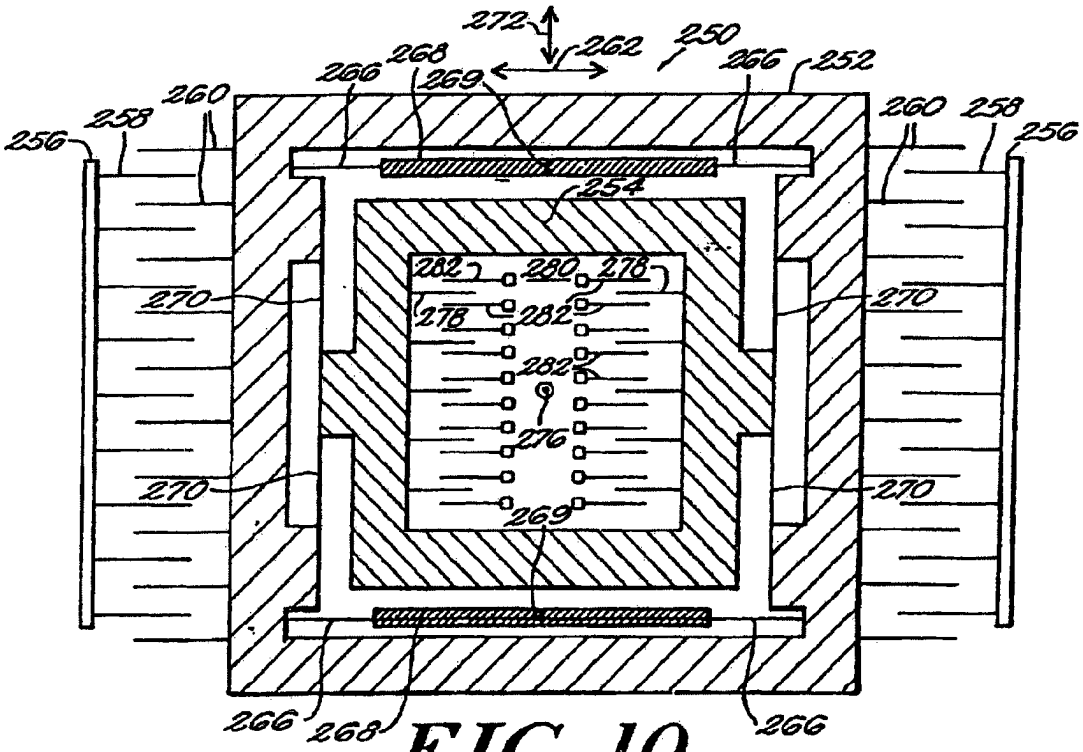

FIG. 10

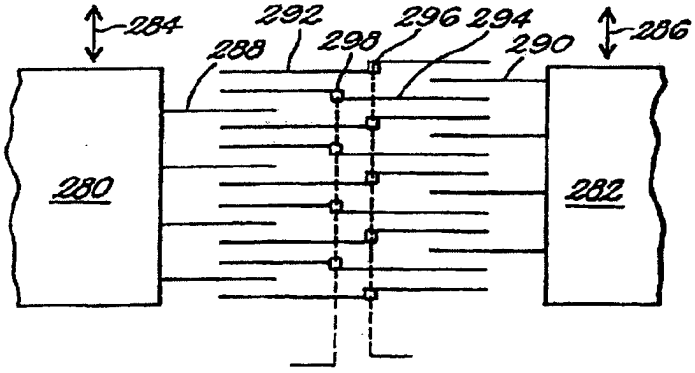

FIG. 11

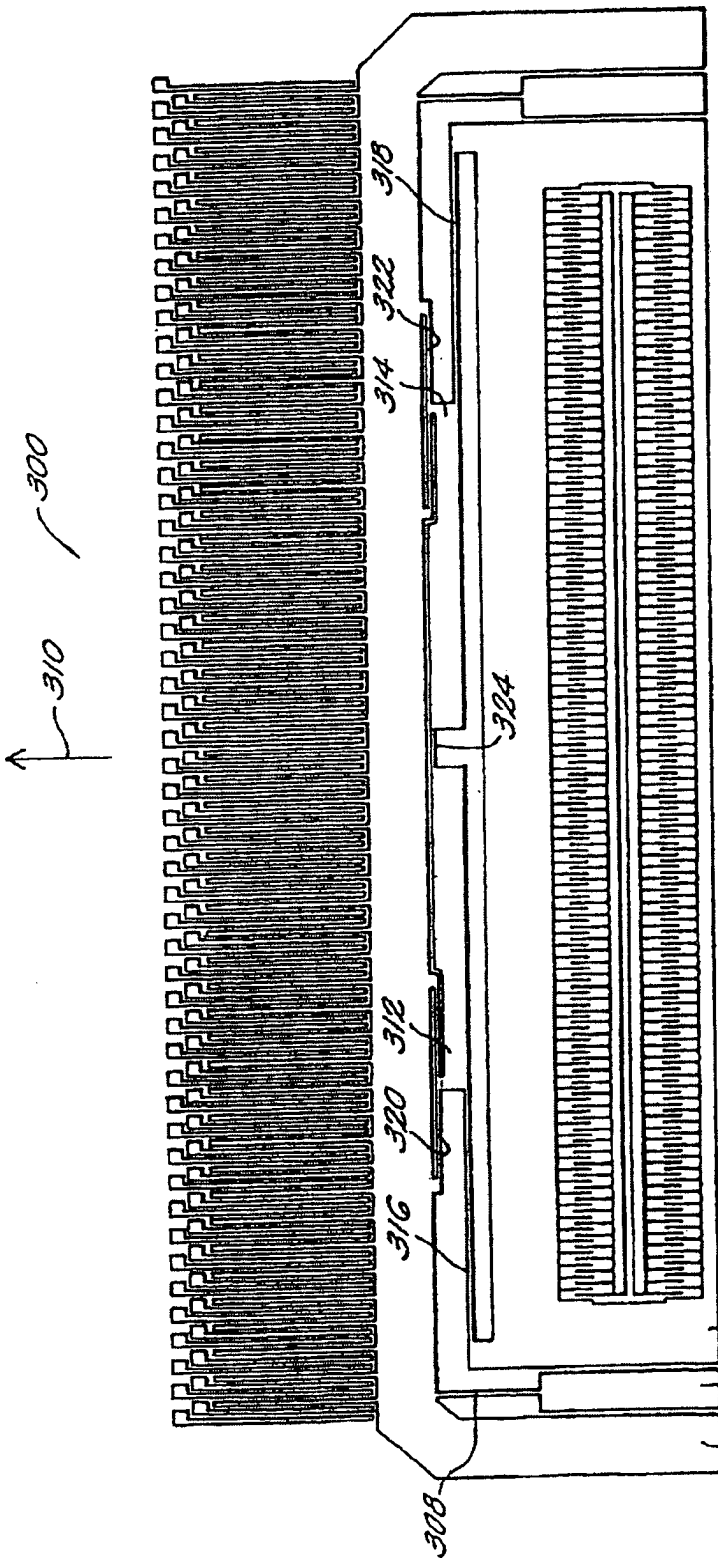

FIG. 12

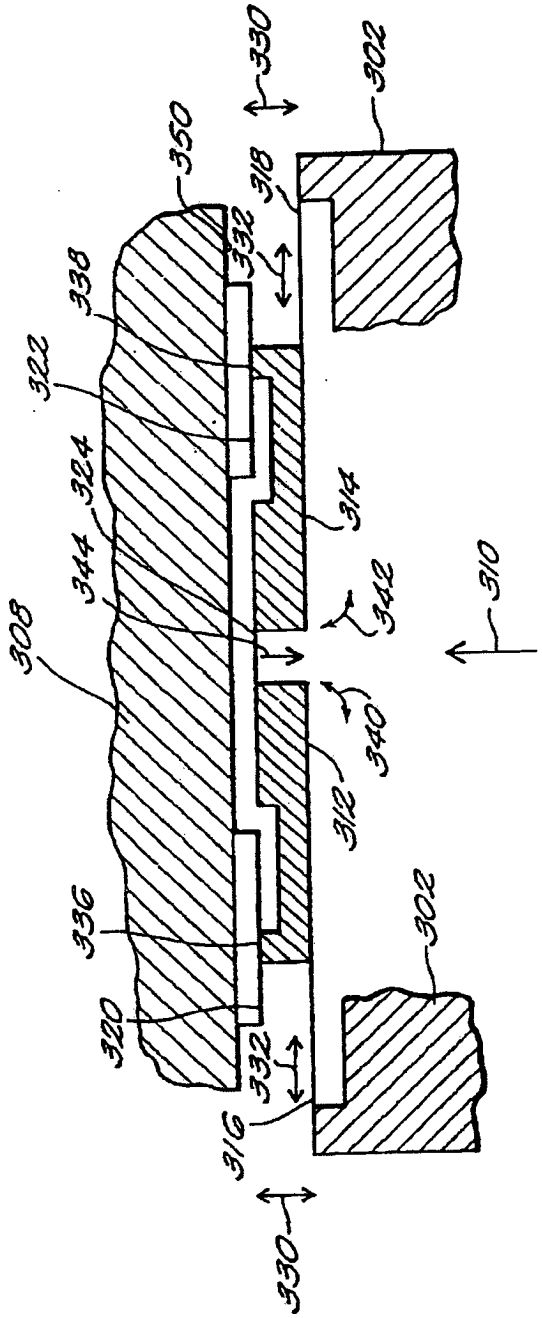
330
302
350
318
332
338
322
324
344
314
342
310
308
340
312
336
302
320
332
316
330

FIG. 13

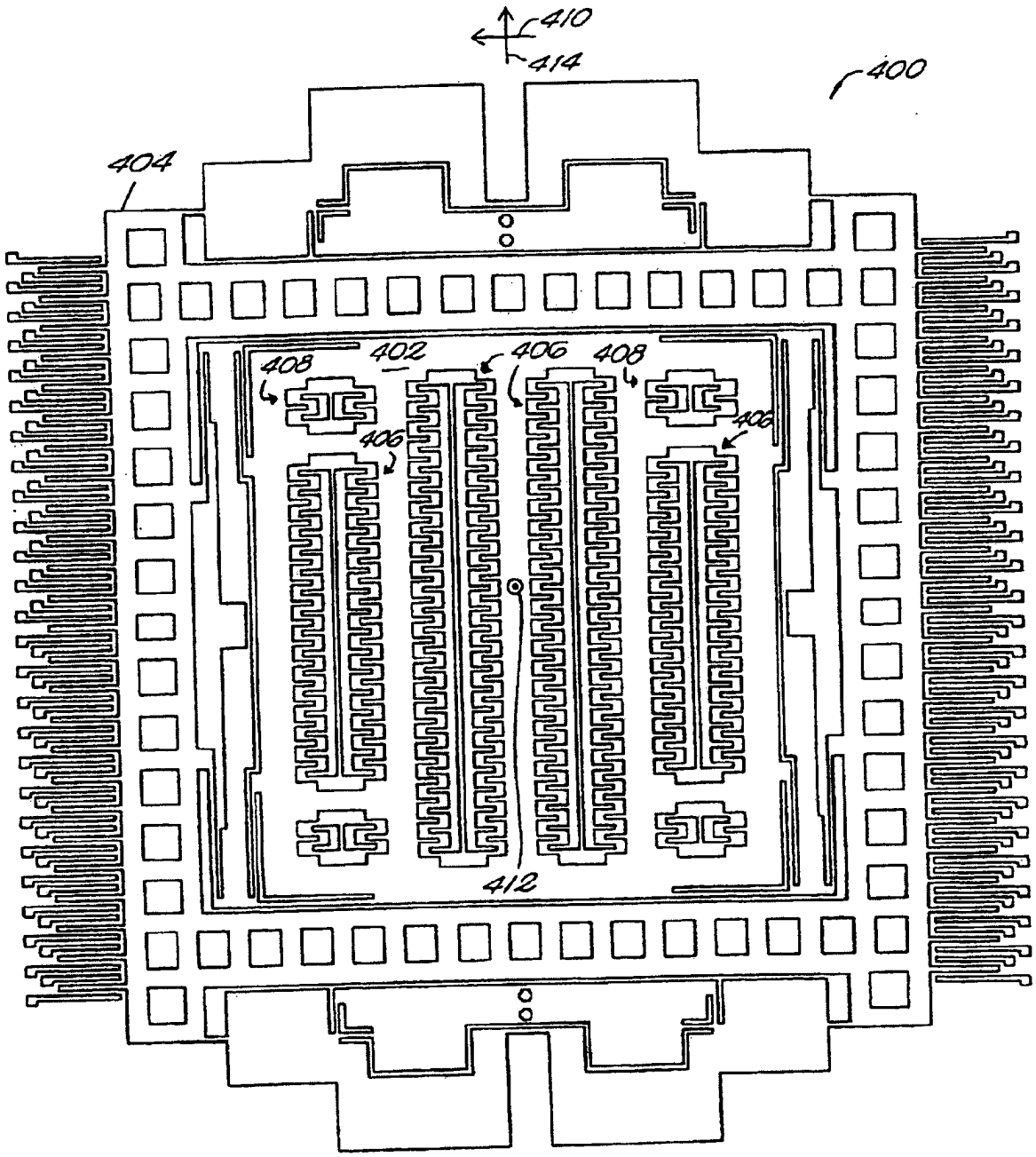

FIG. 14

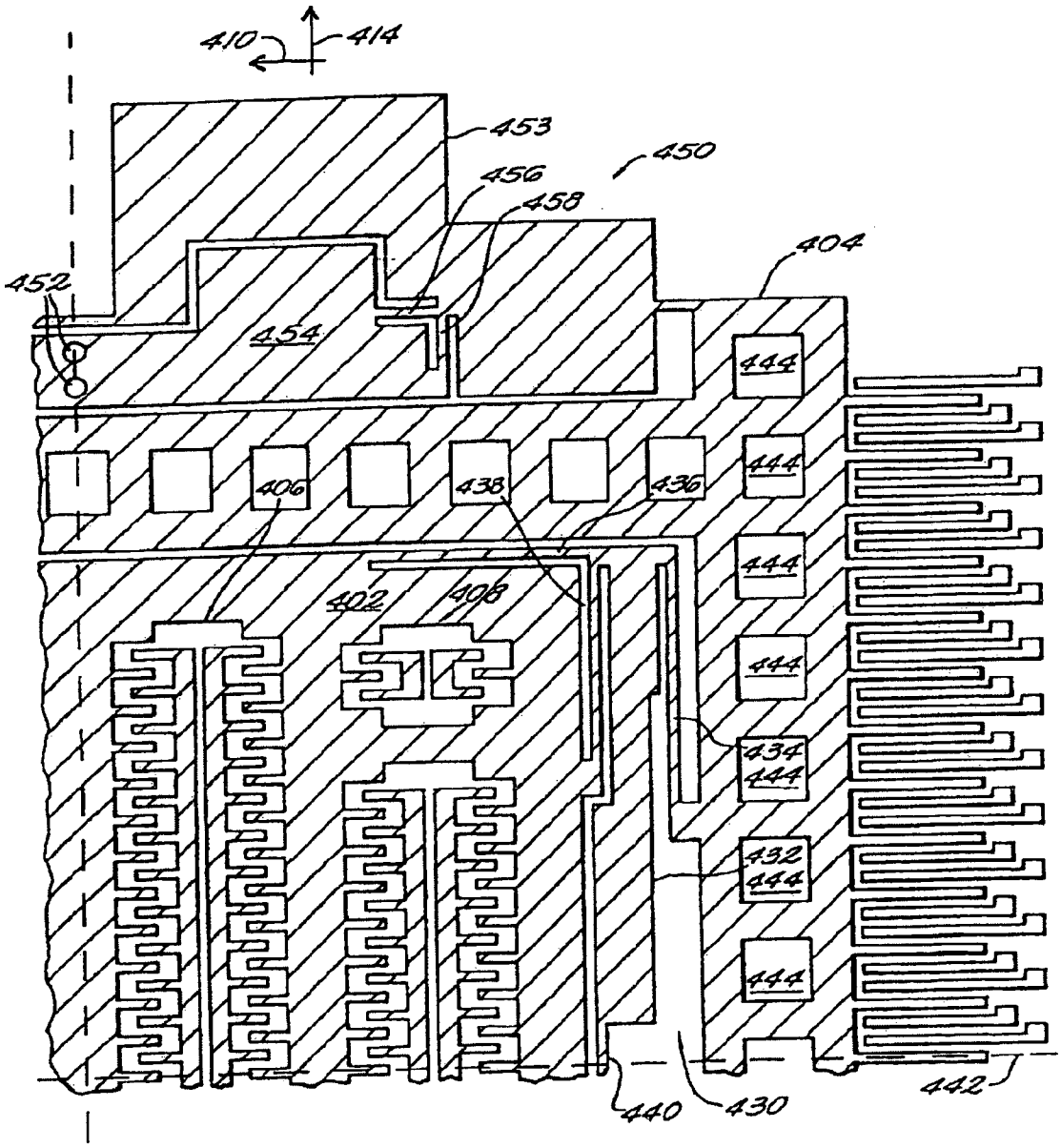
410
414
453
450
456
458
404
452
454
444
406
438
436
444
444
402
408
444
434
444
432
444
444
440
430
442

FIG. 15