

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3657606号
(P3657606)

(45) 発行日 平成17年6月8日(2005.6.8)

(24) 登録日 平成17年3月18日(2005.3.18)

(51) Int. Cl.⁷

G O 1 P 15/125

F I

G O 1 P 15/125

請求項の数 48 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願平7-500755	(73) 特許権者	592035453
(86) (22) 出願日	平成6年5月23日(1994.5.23)		コーネル・リサーチ・ファンデーション・
(65) 公表番号	特表平8-510837		インコーポレイテッド
(43) 公表日	平成8年11月12日(1996.11.12)		CORNELL RESEARCH FO
(86) 国際出願番号	PCT/US1994/005499		UNDATION, INCORPORA
(87) 国際公開番号	W01994/028427		TED
(87) 国際公開日	平成6年12月8日(1994.12.8)		アメリカ合衆国14850ニューヨーク州
審査請求日	平成12年12月1日(2000.12.1)		イサカ、ソーンウッド・ドライブ20番、
(31) 優先権主張番号	08/067, 264		スウィート105
(32) 優先日	平成5年5月26日(1993.5.26)	(74) 代理人	100062144
(33) 優先権主張国	米国(US)		弁理士 青山 稔
(31) 優先権主張番号	08/246, 265	(74) 代理人	100086405
(32) 優先日	平成6年5月19日(1994.5.19)		弁理士 河宮 治
(33) 優先権主張国	米国(US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超小形電気機械式横方向加速度計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

測定されるべき加速度に応答して移動することが可能な細長い支持ビームと、
 上記支持ビームによって担われるとともにこれから伸び、上記ビームとともに移動することが可能な、複数の横方向に伸びる離間された平行なフィンガと、
 上記の細長い支持ビームを担うとともにこれに接続され、上記支持ビームを安息位置の方に付勢する、可撓性を備えた復帰ばねとを含んでいて、
 上記の移動可能なビームと移動可能なフィンガとバネとが、1～3マイクロメータの範囲内の最小寸法を備えつつ1より大きい高さ対幅比を有し、
上記支持ビームと、上記移動することが可能なフィンガと、上記復帰ばねとが単結晶シリコンで形成されている、超小形機械式加速度計。

10

【請求項2】

さらに、上記横向きのフィンガに隣り合い、上記の細長い支持ビーム及び上記の横向きのフィンガの運動を検出するセンサ手段を含んでいる、請求項1にかかる加速度計。

【請求項3】

上記センサ手段が、上記の移動可能なフィンガに差し込まれた複数の平行な固定されたフィンガを含んでいる、請求項2にかかる加速度計。

【請求項4】

上記の固定された及び移動可能なフィンガ同士の相対運動に応答して変化することが可能なキャパシタを形成する、上記の固定された及び移動可能なフィンガの上の導電手段を含

20

んでいる、請求項 3 にかかる加速度計。

【請求項 5】

上記の差し込まれている固定された及び移動可能なフィンガが共通面内に横たわり、上記の固定された及び移動可能なフィンガが、対向して対応する鉛直な表面を有し、上記加速度計が、さらに、上記の固定された及び移動可能なフィンガ同士の相対運動に応答して変化することが可能な対応するキャパシタをなす、少なくとも上記の対向する鉛直な表面の選択された部分上の導電層を含んでいる、請求項 3 にかかる加速度計。

【請求項 6】

上記支持ビームと上記の移動可能なフィンガとが、上記の移動可能なフィンガを上記支持ビームと一体的にかつ均一に移動させるのに十分な高い度合いの剛性を備えてなる、請求項 5 にかかる加速度計。

10

【請求項 7】

上記支持ビーム及び移動可能なフィンガの各々が、高い度合いの剛性を与える相互接続ブリッジを備えた 2 重ビーム構造を含んでいる、請求項 6 にかかる加速度計。

【請求項 8】

上記の固定されたフィンガが、移動可能なフィンガの幅よりも大きい幅を備えることで 1 より大きい高さ対幅比を有している、請求項 7 にかかる加速度計。

【請求項 9】

上記の固定された及び移動可能なフィンガが、5 ~ 15 マイクロメータの範囲内の高さを有している、請求項 8 にかかる加速度計。

20

【請求項 10】

上記復帰ばねの可撓性を变化させてその固有振動数を制御するためのクランプ手段を含んでいる制御手段をさらに含む、請求項 1 にかかる加速度計。

【請求項 11】

上記復帰ばねの可撓性を变化させるために、上記復帰ばねに対して容量力をかける制御手段をさらに含んでいる、請求項 1 にかかる加速度計。

【請求項 12】

上記の細長いビームが長手方向の軸と第 1 及び第 2 の端部とを有していて、上記の可撓性を備えた復帰ばねが、上記ビームの上記第 1 の端部に接続されて上記ビームが上記軸に沿って移動するのを許容するようになっている、請求項 6 にかかる加速度計。

30

【請求項 13】

さらに、上記の細長いビームの上記第 2 の端部に接続されて上記ビームが上記軸に沿って移動するのを許容するようになっている、第 2 の可撓性を備えた復帰ばねを含んでいる、請求項 12 にかかる加速度計。

【請求項 14】

上記の可撓性を備えた復帰ばねの各々が、上記支持ビームと一体化され、そこから横方向に伸び、かつ固定的に支持された外端部を有する、細長い可撓性を備えたビームであり、これにより上記ばねが、上記支持ビームと上記の移動可能なフィンガとを、上記の差し込まれた固定されたフィンガに対して位置決めし、上記の支持ビーム及び移動可能なフィンガの軸方向の運動を許容するようになっている、請求項 13 にかかる加速度計。

40

【請求項 15】

上記制御手段が、フィードバックシステムを含んでいる、請求項 14 にかかる加速度計。

【請求項 16】

上記制御手段が、上記ばねの可撓性を機械的に变化させるクランプ手段を含んでいる、請求項 14 にかかる加速度計。

【請求項 17】

上記制御手段が、上記支持ビーム及びばねの運動を調整する、接続されたキャパシタ手段を含んでいる、請求項 14 にかかる加速度計。

【請求項 18】

上記の移動可能なフィンガと上記の固定されたフィンガとが、差し込まれてシングルエン

50

ド加速度計をなす、請求項14にかかる加速度計。

【請求項 19】

上記の移動可能な及び固定されたフィンガが、差し込まれて差動加速度計をなす、請求項14にかかる加速度計。

【請求項 20】

上記支持ビームが、角加速度の測定のために、支持軸まわりの回転運動できるように取り付けられている、請求項1にかかる加速度計。

【請求項 21】

上記の横方向に伸びるフィンガが、弓形であり、かつ上記支持軸と同軸である、請求項20にかかる加速度計。

10

【請求項 22】

一体形成された単結晶シリコンの移動可能なビームを受け入れるための空隙を組み込んでいる単結晶シリコン基板であって、上記ビームが相互接続ブリッジを伴った多重ビーム構造を有し、上記ビーム構造及び上記ブリッジが高い度合いの剛性を与えるために1より大きい高さ対幅比を有しているものと、

上記基板に対する相対運動のために上記ビーム要素を支持するとともに、測定されるべき加速度に応答して安息位置から遠ざかるように移動することができる上記ビーム要素を上記安息位置の方へ付勢する弾性的なばね手段と、

上記ビームに慣性を与えるための、上記ビーム上の手段と、

上記ビームと基板との相対運動を測定して、これにより上記加速度を測定する、上記ビームに隣り合うセンサ手段とを含んでいる超小形電気機械式加速度計。

20

【請求項 23】

上記ビーム要素が、上記の弾性的なばね手段によって上記空隙内で上記基板に取り付けられ、

上記ビーム要素が、運動のために上記基板からは解放された対向する端部を有し、

上記センサ手段が、上記慣性手段の上と該慣性手段と隣り合う上記基板の上とに、対応する容量性手段を含んでいる、請求項22にかかる加速度計。

【請求項 24】

上記の弾性的なばね手段が鉛直な支柱を含み、

上記ビーム要素が、水平面内での運動のために、上記支柱の上に中央で支持され、

そして、慣性を与える上記手段が、上記ビーム手段の両端からの伸びる横向きのアームを含んでいる、請求項23にかかる加速度計。

30

【請求項 25】

上記ビーム要素が、上記空隙を通して伸びる長手方向のシャフトによって支持され、

そして、慣性を与える上記手段が、上記ビームの横側上に不均衡な質量を与える手段を含み、

これにより鉛直方向の成分を有する加速が、上記基板に対する上記の移動可能なビーム要素のねじれの運動を生じさせるようになっている、請求項22にかかる加速度計。

【請求項 26】

測定されるべき加速度に応答して移動することが可能な細長い支持ビームと、

上記支持ビームによって担われるとともにこれから伸び、上記ビームとともに移動することが可能な、複数の横方向に伸びる離間された平行な可動フィンガであって、上記支持ビーム及び上記可動フィンガの各々が、上記可動フィンガを上記支持ビームと単一的に移動させるのに十分な度合いの剛性を与えるための相互接続ブリッジを伴った2重ビーム構造を有しているものと、

40

上記の細長い支持ビームを担うとともにこれに接続され、上記支持ビームを安息位置の方に付勢する、可撓性を備えた復帰ばねとを含んでいて、

上記2重ビーム構造と上記復帰ばねとが、1～3マイクロメートルの範囲内の最小寸法を備えつつ1より大きい高さ対幅比を有している、超小形機械式加速度計。

【請求項 27】

50

前記細長い支持ビーム及び上記横向き可動フィンガの移動を検出するための、上記横向き可動フィンガと隣り合うセンサ手段をさらに含んでいる、請求項26にかかる加速度計。

【請求項28】

上記センサ手段が、上記可動フィンガに対して交互配置された複数の平行な固定フィンガを含んでいる、請求項27にかかる加速度計。

【請求項29】

上記固定フィンガと上記可動フィンガとの相対的な移動に応答して変化するキャパシタを形成するための、上記固定フィンガ及び上記可動フィンガ上の電気的導電手段をさらに含んでいる、請求項28にかかる加速度計。

10

【請求項30】

上記の交互配置された固定フィンガ及び可動フィンガが共通な面内に横たわり、上記の固定フィンガ及び可動フィンガが対向して対応する鉛直面を有していて、
上記加速度計が、上記固定フィンガと上記可動フィンガとの相対的な移動に応答して変化する対応するキャパシタを与えるための、導電層、又は上記の対向する鉛直面の少なくとも選択部分をさらに含んでいる、請求項28にかかる加速度計。

【請求項31】

上記固定フィンガが、可動フィンガの幅よりも広い幅を備えた1より大きい高さ対幅比を有している、請求項28にかかる加速度計。

【請求項32】

20

上記固定フィンガ及び上記可動フィンガが、5～15マイクロメートルの範囲内の高さを有している、請求項31にかかる加速度計。

【請求項33】

上記の細長い支持ビームが、長手方向の軸部と、第1及び第2の端部とを有し、
上記の可撓性を備えた復帰ばねが、上記ビームが上記軸部に沿って移動するのを許容するように、上記ビームの上記第1の端部に接続されている、請求項28にかかる加速度計。

【請求項34】

上記ビームが上記軸部に沿って移動するのを許容するように、上記の細長いビームの第2の端部に接続された可撓性を備えた第2の復帰ばねをさらに含んでいる、請求項33に記載の加速度計。

30

【請求項35】

上記の可撓性を備えた復帰ばねの各々が、上記支持ビームと一体の細長い可撓性を備えたビームであって、上記支持ビームの両側に対して横向きに伸びるとともに固定的に支持された外端部を有し、

これにより、上記ばねが、上記支持ビームと上記可動フィンガとを、上記の交互配置された固定フィンガに対して位置決めするとともに、上記支持アーム及び可動フィンガの軸方向の移動を許容するようになっている、請求項34にかかる加速度計。

【請求項36】

上記可動フィンガ及び上記固定フィンガが交互配置されてシングル・エンド加速度計となっている、請求項35にかかる加速度計。

40

【請求項37】

上記可動フィンガ及び上記固定フィンガが交互配置されて差動加速度計となっている、請求項35にかかる加速度計。

【請求項38】

上記支持ビームが、角加速度を測定するために、支持軸まわりに回転移動可能に取り付けられている、請求項26にかかる加速度計。

【請求項39】

上記の横方向に伸びるフィンガが、弓形であり、上記支持軸と共軸である、請求項38にかかる加速度計。

【請求項40】

50

上記支持ビームが、基板からつくられてきた細長い背骨部を含み、該背骨部は、上記基板からつくられ該背骨部と一体化されて共に移動する第1センサ手段を含んでいる、請求項1又は26にかかる加速度計。

【請求項41】

上記支持ビームと上記基板との間の相対的な移動を検出するための、上記基板と一体化されるとともに上記第1センサ手段に連結された第2センサ手段を含んでいる、請求項40にかかる加速度計。

【請求項42】

上記の第1センサ手段及び第2センサ手段が、それぞれ、対向する可動及び静止のキャパシタプレートを含んでいる、請求項41にかかる加速度計。

10

【請求項43】

上記の背骨部と一体化されたフィンガとによって担われた付加の検定用質量部をさらに含んでいる、請求項41にかかる加速度計。

【請求項44】

上記復帰ばねが所定のばね定数を有するように上記基板からつくられ、これにより上記支持ビームが所定の共鳴振動数を有する、請求項41にかかる加速度計。

【請求項45】

上記ばね定数を電気機械的に調整して、上記支持ビームの共鳴振動数を変化させる手段をさらに含んでいる、請求項44にかかる加速度計。

【請求項46】

20

上記第1センサ手段が上記背骨部から伸びる複数の第1フィンガを含み、上記第2センサ手段が上記基板から伸びる複数の固定された第2フィンガを含んでいて、
上記第1フィンガが上記背骨部と共に移動し、第2フィンガに対して相対的に移動可能となっている、請求項41にかかる加速度計。

【請求項47】

該加速度計の基板は集積回路ウエハであり、該ウエハ上に集積回路との接続用のコンタクトパッドが設けられている、請求項1又は26にかかる加速度計。

【請求項48】

該加速度計に慣性重量を付加する検定用の質量部をさらに含んでいる、請求項1又は26にかかる加速度計。

30

【発明の詳細な説明】

発明の背景

この発明は、先進研究開発局/陸軍研究所/MEMSによって付与された許可番号DABT63-92-C-0019のもとに、政府の支援でもってなされたものである。政府は、本発明について一定の権利を有している。

本発明は、一般的には、超小形電気機械式横方向加速度計、より詳しくは高感度を得るために高いアスペクト比を有している単結晶シリコンビームからつくられた加速度計に関するものであり、そしてこのようなデバイスを製造するための方法に関するものである。

加速度計などの超小形機械構造を製造するために、種々の技術及び製法が考案されてきており、そしてこれらの従来の技術は文献中で論じられてきた。しかしながら、大部分のこのような製法は、多重マスクキング工程、ウエハとウエハのボンディング又は湿式化学処理の使用を必要とする。このような多重マスク及びボンディング技術の使用は、しかしながら、歩留まりを低下させるとともにデバイスのコストを上昇させる配列誤差を引き起こすかもしれず、ミクロン下(1ミクロンより小さい)の構造に対してこのような製法を用いることを不適切にするかもしれないということが見い出された。

40

さらに、従来の加速度計は、それらが比較的大量の動作電力を必要とし、そしてこれは超小形電気機械式のデバイスにとっては好ましくないといった問題がある。例えば、固体ブロック材料を、ブリッジ回路中に接続されたブロックのための圧電支持部材を伴った検定用質量部として利用する加速度計が開発された。このようなデバイスは、2ミリアンペア程度の動作電流を必要とするであろう。

50

本出願は、1993年5月26日に、ケビン・A・ショー（Kevin A.Shaw）、スコット・G・アダムス（Scott G.Adams）及びノエル・C・マクドナルド（Noel C.MacDonald）によって出願され、「超小形電気機械式横方向加速度計」と題された米国特許出願第08/067,264号の一部継続出願である。

発明の概要

それゆえ、改善された超小形電気機械式加速度計構造を提供することが本発明の1つの目的である。

ミクロン下の寸法形状及び高いアスペクト比を与えこれにより相対的に動くことができる部材同士の近接配置を許容し、かつその結果高感度を得ることができる製法によって製造された加速度計構造を提供することが本発明のもう1つの目的である。

10

加速度計の感度を高めもってその精度を高めるために、ミクロン下の寸法を有している相対的に動くことができる部品を有しており、かつそれらの間での運動を調整するための制御機構を有している超小形電気機械式加速度計構造を提供することが本発明のもう1つの目的である。

本発明のさらにもう1つの目的は、低い動作電流および動作電力しか必要とせず、かつ高度な感度を与える超小形電気機械式加速度計を提供することである。

要するに、本発明は、3つの主要要素、すなわち中心のないしは検定用の質量部と、隣り合うキャパシタンスセンサ（電気容量センサ）と、復帰ばねとを含んでいる加速度計に向けられたものである。センサに対して相対的に動くことができる中心質量部は、共通面に横たわっている複数の横向きに平行に伸びているフィンガのための主たる支持部材ないしは背骨部を形成し縦方向に伸びるビームを含んでいる。この中心質量部は、ここでは加速度計の可動部（移動可能な部分）と称されるであろう。縦方向のビームから伸びるフィンガは、隣り合うセンサを形成している対応する平行なフィンガに差し込まれており、これらのセンサフィンガは、縦方向の支持ビーム構造の位置に隣り合う基板などの支持部材に接続され、可動フィンガの面内に横たわっている。センサフィンガ及び支持部材は、ここでは、加速度計の固定部（固定された部分）と称されるであろう。縦方向の支持ビームは加速度計に沿って軸方向に伸び、該支持ビームを固定センサ構造に対して安息位置に保持しようとし、かつ支持ビームの運動を抑制する復帰ばね構造によって各端部で支持されている。上記の移動可能なビームと移動可能なフィンガとばねとが、1～3マイクロメートルの範囲内の最小寸法を備えている。

20

30

横方向に伸びている可動フィンガは、固定して差し込まれたフィンガの上の対応する反対側のセンサキャパシタプレートに面する可動キャパシタプレートを形成する。該構造が背骨部と平行な方向の成分を有する加速力を受けたときに、各可動フィンガは支持ばね構造の制約下にある隣り合う固定センサフィンガに近づき又は遠ざかるように移動しようとする。この運動は、背骨部構造の相対的な位置を測定するために用いられる隣り合った反対向きのプレート同士間のキャパシタンスを可変にするといった結果をもたらす。

本発明の好ましい形態においては、支持ビーム及びその横方向に伸びるフィンガは、該構造を支持する復帰ばねよりも2桁大きい剛性をもつ2重ビーム構造である。さらに、支持ビーム並びに可動及び固定フィンガは高いアスペクト比（縦横比）を有し、これによりそれらは鉛直方向に比較的剛性が高くなる。また、この高いアスペクト比はフィンガに対して大きなキャパシタ表面を与え、他方2重ビーム構造は加速度計として有効な機能が要求される質量を与える。もし要望があれば、付加的な質量が該構造の可動部に加えられることができる。

40

加速度計の可動構造を支持する復帰ばねは、好ましくはその各々が単一のビーム構造を有している。ばねは、水平面内でのばねの曲がりを通じて背骨部の縦方向の運動を許容できるように、背骨部に対して横方向に伸びかつ比較的たわみやすくなっている。支持ばねは、高いアスペクト比を有しており、このため水平面内での機械的なコンプライアンス（柔順さ）を許容しつつ鉛直方向の安定性を与え、他方ばね支持ビームの横方向の伸び及び2重ビーム構造は、横方向の剛性を与える。加速度計移動構造の弾性（回復性）を調整し、これによりそれが応答することができる周波数のバンド幅を調整するとともに、その共鳴

50

点を変化させられるよう、支持ばねのばね定数は電気機械的に又は電氣的に調整されることが出来る。

加速度計構造は、ここに参照文献として組み入れられている、1993年2月5日に出願された米国特許出願第08/013,319号中に記載されている、単結晶反応性エッチング及び金属化（SCREAM - I）プロセスの修正版を利用して製造される。上記出願で述べられているように、SCREAM - I プロセスは、ミクロン下の超小形電気機械式デバイスを製造するために光リソグラフィ（光学的製版技術）を用いる、単一マスク、単一ウエハのドライエッチングプロセスである。上記出願の教示によれば、二酸化ケイ素層が単結晶シリコンウエハの上に堆積され、この酸化物層は該プロセスを通じて単一なエッチングマスクとして機能する。フォトリソグラフィ（写真製版）は、レジストをパターン化するために用いられ、そしてこの後マグネトロンイオンエッチングなどのドライエッチングが加速度計構造のパターンを酸化物に移すために用いられる。一度、レジスト材料が除去されると、パターン化された酸化物はシリコン基板をマスキングして露出された表面に深い鉛直方向のシリコンRIEを許容し、これにより支配的に鉛直な側壁を有するとともに所望の構造を定義する溝部をつくりだす。次に、次のリリースエッチングの間に溝部の側壁を保護するために、PECVD酸化物の共形（等角）コーティングが堆積される。溝部の底の酸化物は異方性RIE駐に除去され、そして第2の深いシリコンの溝部のエッチングが該溝部を深めて、堆積された側壁の酸化物の下に側壁のシリコンを露出させる。画成された構造の下に露出されたシリコンは、 SF_6 エッチングなどといった等方性のドライエッチングを用いてエッチングされ、該構造を解放するとともに、残っている基板上に片もちされたビームとフィンガとを残す。SCREAM - I プロセスにおいては、スパッタリングによりアルミニウムが堆積されて、解放されたビーム及びフィンガの側壁を被覆し、これにより本発明にかかる加速度計のためのキャパシタプレート（コンデンサプレート）を形成する。

本発明の修正されたプロセスにおいては、アルミニウムのスパッタリングに先立って、エッチング工程が、周囲の基板中に形成されるとともに酸化物層によって被覆されたコンタクトパッドにつながるヴィアホールを開口させるために用いられ、このヴィアホールは加速度計の部品を外部回路に接続するために用いられることができる。この後、スパッタリング工程で全頂面がアルミニウムで被覆され、これもまた露出されたパッドと接触する。最後に、アルミニウムがマスキングされ、パターンングされそしてエッチングバックされ、これにより該アルミニウムが、パッドとこれに対応する回路要素との間を接続する。

前記のプロセスによってつくられたデバイスは、極めて小さい寸法と高いアスペクト比とを有しており、対応するメタルコーティングされた固定構造に近接して隣り合う解放されたメタルコーティングされた可動構造を提供し、これにより相対的な移動が、対向する表面同士間のキャパシタンスによって検出されることが出来る。対向するフィンガ同士の近接した間隔は高感度を与え、他方修正されたSCREAMプロセスは、存在する回路との相互接続のための存在する集積回路上にこのようなデバイスをつくることを許容する。フォトリソグラフィ工程は、解放された加速度計の運動の調整に使用のための制御機構の形成と同様に、種々の加速度形状の製造を許容する。可動構造の軸方向の運動が最も重要であるが、該プロセスの修正は、ビームの下に基板表面の上に金属の堆積を許容し、これにより固定されたフィンガに対する解放された構造の鉛直方向の運動の制御と同様にその検出をも許容する。

【図面の簡単な説明】

本発明の前記の及びさらなる対象、特徴及び利点は、添付の図面に関連してなされるその好ましい実施の形態の以下の詳細な説明の記述を考察することにより当業者にとって明らかとなるであろう。

ここで、図1～図5は、本発明にかかる製造プロセスの概略図である。

図6は、本発明にかかる加速度計構造の好ましい実施の形態の上からみた概略平面図である。

図7は、図6に示す構造の一部の拡大された斜視図である。

図8は、本発明の第2の実施の形態の上からみた概略平面図である。

10

20

30

40

50

図9は、図8のデバイスの一部の概略横断面図である。

図10は、本発明の第3の実施の形態の上からみた概略平面図である。

図11は、本発明の第4の実施の形態の上からみた概略平面図であり、復帰ばね構造のための制御を示している。

図12は、図11の実施の形態の上からみた部分的な平面図であり、図11の制御における加速力の効果を示している。

図13は、本発明の第5の実施の形態の上からみた概略平面図であり、修正された制御構造を示している。

図14は、本発明の第6の実施の形態の上からみた概略平面図であり、もう1つの修正された制御構造を示している。

図15は、制御が活動中の、図14の実施の形態の上からみた部分的な概略平面図である。

図16は、本発明のためのフィードバック制御システムの概略図である。

図17は、本発明の第7の実施の形態の部分的な概略斜視図であり、鉛直方向の加速に対応してねじれ運動を生じさせる加速度計を示している。

図18は、図17のデバイスの上からみた平面図である。

図19は、本発明の第8の実施の形態の上からみた概略平面図であり、ねじれ運動に応答する加速度計を示している。

図20は、図19のデバイスの上からみた部分的な斜視図である。

そして図21は、図19の実施の形態の修正例の上からみた平面図である。

好ましい実施の形態の説明

キャパシタンス（電気容量）に基づいた加速度計は、高アスペクト比の単結晶シリコンビームの構築を許容する低温の単一マスクのバルク微細加工プロセスである、単結晶反応性エッチング及び金属化（SCREAM - I）として知られているプロセスの修正版を利用して、本発明に従って製造される。図1～図5中に概略的に示されているSCREAM - Iプロセスは、その中に加速度計が構築されることになっている基板を提供する単結晶シリコンウエハ10で始まる。該ウエハは、例えばその上にPECVD二酸化ケイ素層12が堆積された1mohm cmのヒ素シリコンであってもよい。この酸化物層は該製造プロセスを通じてエッチングマスクとして機能する。フォトリソグラフィはレジストをパターンニングするために用いられ、そしてこの後マグネトロニオンエッチングが該パターンを酸化物中に転写するために用いられるが、図1は単純なパターンニングが行われた酸化物層を示している。

前記のパターンの転写の後、レジストは除去され、そしてパターンニングされた酸化物12は深い鉛直方向のシリコン溝部のエッチングに対するマスクとして機能する。この工程は、塩素と3塩化ホウ素の混合物を用いるRIEプロセスであってもよく、図2中に14及び16で示されているもののような対応する溝部をつくるためにマスク12のまわりの露出された領域中の基板10をエッチングする。該溝部は、溝部16を画成する側壁18及び20並びに溝部14の1つの側部を画成する側壁22のような実質的に鉛直な側壁によって画成されている。一般的には水平な床24及び26は、この工程により溝部14及び16中に形成される。シリコンのエッチング深さの側壁幅に対する比は典型的には40対1であり、エッチング選択性（すなわち、シリコンのエッチング速度の酸化物のエッチング速度に対する比）は典型的には20対1である。これは、図2中のメーサ28（台部）のようなメーサを画成している深い溝部を、マスク12によってつくられるような所望のパターンで形成することを許容する。

溝部の形成後、これに続く解放エッチングの際に溝部の側壁を保護するために、PECVD酸化物30の同形コーティング層が堆積される。この後、床24及び26を露出させるために、例えば CF_4 を用いた等方性RIEにより、PECVD酸化物層30が溝部の底から除去される。この後、側壁の上の保護酸化物層30の下でシリコン基板10を露出させるために、夫々、32及び34で示されているように、例えば Cl_2 RIEを用いた第2の深いシリコン溝部のエッチングが溝部14及び16を深くする。これは、メーサ28の両端のシリコン側壁36及び38と、パターン12によって形成されたメーサ及び溝部を囲んでいる基板の部分の上の側壁40とを露出させる。

図4に示されているように、次の工程は、酸化物層30の下の露出されたシリコンをエッチ

10

20

30

40

50

ングで除去し、これによりメーサ28を解放して図4中の42で示されているようなビームを形成することである。この解放工程は、下敷きとなっている基板から該構造を解放する等方性SF₆エッチングにより実施される。ビーム42は、図4中に示されているように側壁からの片もち構造とされてもよく、あるいは溝部の床面44からビームの方へ上向きに伸びている適当な支柱によって支持されてもよい。

解放工程に続いて、解放されたビーム及びその隣の基板の側壁をコーティングするために、スパッタ堆積によりアルミニウム層46(図5参照)が形成される。この堆積もまた、解放されたビームから離間してその下に位置する溝部の床面の上にコーティング層48を提供する。図5中の50で示されているような解放エッチング工程のアンダーカット効果は、溝部の床の上の層48を側壁のコーティング層46から電氣的に絶縁させる。アルミニウムコーティングは、適当な電氣的な絶縁を提供するために選択的にエッチングされることができ、これによりビームの側壁上の基板上のコーティングが、加速度計中のキャパシタプレート(コンデンサプレート)として機能することができる。ビーム42中のシリコンは、対応するキャパシタプレートのための機械的な支持部材として機能する。

その中に本発明にかかる加速度計が好ましく組み込まれている典型的な集積回路ウエハにおいては、コンタクトパッドが、加速度計の周囲の回路への接続に使用するために設けられている。コンタクトパッドは、金属、典型的にはアルミニウムであって、基板の頂面の上の酸化物絶縁層の上に形成され、そして保護酸化物層で被覆されている。本発明にかかる修正された製造プロセスは、図5中に示されているスパッタ堆積工程の前に、第2のマスキング及びエッチング工程を介在させることによって加速度計を基板上の回路と相互接続するためのコンタクトパッドに有利である。レジスト層及びフォトリソグラフィを利用するこの第2のマスキング工程は、次のエッチング工程が酸化物保護層通してそれらにヴィアホールを開口させるように、コンパクトパッドを配置する

ヴィアホールが開口された後、スパッタ堆積工程が、ヴィアホールを通じてパッドと接触するアルミニウム層を形成する。この後、不要なアルミニウムをエッチングで除去するために第3のマスキング工程が用いられ、これにより、制御電位(制御可能性)を与えるとともに加速度計の運動を検出するための、側壁のキャパシタプレートから周囲の基板の上のコンパクトパッドまでの導電経路と、そこから基板上の回路までの導電経路とが与えられる。

前記のプロセスに従って製造された構造は、図1~図5中に単純化された形で示されており、すぐ近くの基板の隣に単一のビームのみを含んでいる。しかしながら、上記のプロセスを用いて、より複雑な構造が容易に製造されることができる。このような構造は、ここで参照される図6中の上からみた平面図中に示されている。上記の第1のリソグラフィ工程は、包括的に60で示された、本発明にかかる加速度計の複雑な構造の形状を画成し、そしてこれらの形状は上記の溝部のエッチング工程の期間に基板64内に形成される空隙62内につくられる。該プロセスは、該加速度計の可動部の運動を制御及び/又は検出するための所望の回路(図示されていない)に加えて、該加速度計の固定されたセンサ部のための機械的な支持を提供する周囲の基板64でもって、空隙62に対する鉛直な側壁66、68、70及び72をつくる。センサ部は、空隙62の側壁68及び72に接続され、そして、夫々、側壁の一部として組み込まれた又は空隙62の中に内向きに伸びるためにそこから片もちされてもよい一対の支持ビーム74及び76を含んでいる。ビーム74は、空隙62の床から上向きに伸びる固体のメーサ構造であってもよく、あるいは図5中に示された形式の片もちされ解放されたビームであってもよい、複数の固定フィンガ80~87に接続されている。ビーム80~87は、支持ビーム74と垂直に伸び、互いに平行であり、かつそれらの頂面が空隙62の床の上の共通な水平面に横たわっている。これらのフィンガは酸化物層を含んでいて、これによりそれらが担っている容量プレートが基板の床から電氣的に絶縁され、そして該フィンガは空隙62の軸中心線に向かって伸びてその近くで終わっている。ビーム80~87は固定され、これによりそれらは比較的剛性が高くてたわむことがなく、高いアスペクト比を有し、かつ図5に示されているように、鉛直な容量プレートを形成するためにアルミニウムのような電氣的伝導性を有する材料のコーティングで被覆されている。アルミニウムコーティン

10

20

30

40

50

グはまた、各ビーム上の側壁の容量プレートと出口側コネクタパッド88との間の電氣的接続を与え、上記のとおり、基板64の頂面に好ましく配置されるとともにそれから絶縁されている。

同様のやり方で、ビーム76は、ビーム74の位置に対して径方向にみて反対側となる位置で好ましく空隙62の壁部68に固定されていて、該ビーム76から空隙62の中心軸に向かって内向きに伸びかつ間隔をあけて横方向に伸びている複数のビーム90～97を伴っている。ビーム80～87と同様に、ビーム90～97は互いに平行であって、空隙の床から上向きに伸びるメーサ構造であってもよく、あるいはビーム76に対して片もちされるようにして該床から解放されていてよい。ビーム90～97の頂面はビーム80～87の水平面内に横たわっている。ビーム90～97の各々は、適当な絶縁性コーティングとアルミニウムなどの導電性コーティングとで被覆され、これによりビームの側壁が鉛直な容量プレートを形成する。また、ビーム90～97の各々の上の導電性コーティングは、基板64の頂面の上の出力コネクタパッドに電氣的に接続され、これにより固定された容量プレートから適当な外部電気回路までが電氣的に接続され、これは基板ウエハ64に組み込まれてもよく、又はその外部にあっててもよい。

10

加速度計60もまた、内向きに伸びる固定フィンガ80～87及び90～97がつくられるのと同様につくられる、100で包括的に示された動くことができる中心の質量部を含んでいる。可動部100は、フィンガ80～87及び90～97の末端の間で軸方向に伸びる支持ビーム102を含んでいる。ビーム102は、内向きに伸びるフィンガ80～87でもって片もちされ横方向外向きに伸びる複数のフィンガ110～117を支持する背骨部としてはたらき、そしてさらに内向きに伸びる固定されたフィンガ90～97でもって片もちされた外向きに伸びるフィンガ120～127を含んでいる。フィンガ110～117は、好ましくフィンガ120～127の反対側で横向きとされ、フィンガ80～87及び90～97の水平面内に横たわっているが、もし要望があればそれらは相対的にオフセットして配置されることができことは明らかであろう。外向きに伸びるフィンガは、対応する隣の内向きに伸びるフィンガと平行であって、実質的にその全長にわたって伸びており、外向きに伸びているフィンガの末端は支持ビーム74及び76の近くでしかしながらやや短く終わっている。

20

軸方向のビーム102並びに横向きのフィンガ110～117及び120～127は、図1～図5に関連する上記のプロセスに従って製造されることができ、かくしてそれに関連する自由移動のための下敷きとなっている基板64から解放される。軸方向のビームと横向きのフィンガとからなる可動構造100は、該構造の両端で可動支持部材によって空隙62内に懸架されている。かくして、図6に示されているように、左側の端部130は、加速度計構造の面内でたわむことができもって矢印134の方向におけるビーム102の軸方向の運動を許容する、横方向に伸びるばね支持ビーム132に固定され、あるいは好ましくこれと一体形成されている。ビーム132は十分に長く、そしてその横断面は、加速度計が所定の力に応答することを可能ならしめるために必要とされる程度の可撓性を与えるように設定され、そしてその最も外側の端部でコネクタパッド136及び138に隣接する基板に固定されている。ビーム132は、ビーム102ひいては加速度計可動構造100を、対向する固定フィンガと可動フィンガとが所定の間隔を保つ所定の安息位置に保持しようとする復帰ばねとしてはたらく。該ばねは、その寸法ひいてはビーム132の可撓性に応じて、運動に対して所定の抵抗を与える。ビーム132は、図1～図5に関連する上記の手法により製造され、空隙の床の上での自由運動のために、空隙62中の下敷きの基板材料から解放される。ばね支持ビームは、絶縁層及びアルミニウムなどの導電性材料でコーティングされ、これによりそれは、下敷きの基板64から絶縁されたコネクタパッド136及び138を用いて外部回路に接続されることができ

30

40

同様のやり方で、ビーム102の反対側の端部140は、可動要素100をその安息位置に懸架するとともに矢印134の方向において軸方向の運動を許容するための第2のばねとしてはたらく、横向きに伸びるばね支持ビーム142に接続されている。ばね142の最も外側の端部は、基板から絶縁されかつ該ビームを適当な外部回路に電氣的に接続するためのアルミニウムその他の導電性コーティングが備えられた、対応するコネクタパッド146及び148の隣の

50

基板64に接続されている。

図6のデバイスの一部が拡大された図である図7に示されているように、加速度計60の可動組立体100は、該デバイスのこの部分に格別の剛性及び強度を与えるために2重ビーム構造に組み立てられている。図示されているように、軸方向の支持ビーム102ないしは背骨部は、横支柱としてはたらく多数の相互接続ブリッジ164によって結合された2つの平行な縦方向のビーム160及び162からなる。同様に、横向きに伸びるフィンガの各々は、ビーム118に対して図示されたビーム166及び168のような一對の平行で近接したビームと、多数の横支柱ないしはブリッジ170からなる。この2重ビーム構造は、可動要素100に対して高い剛性を与え、それにより該要素全体が、加速力の下でビーム102又はフィンガ110~117若しくは120~127をたわませることなく一体的に移動し、もって隣り合った固定の及び可動のフィンガの側壁上の対向するプレートの間のキャパシタンスの変化の正確な測定を提供する。上記2重ビーム構造は、1~3マイクロメータの範囲内の最小寸法を備えている。

本発明にかかる超小形構造(マイクロ構造)においては、典型的には、固定されたフィンガ80~87及び90~97の各々は、その高さがメーサ型の構造であるかそれとも片もちであるかに依存するがおよそ5~15 μm の範囲内であり、その幅がおよそ4 μm であり、その長さが300マイクロメータ又はこれを超えるものであることができる。もしこれらのフィンガが片もちされていれば、それらは好ましく空隙62の床の上におよそ2~10 μm の間隔をもつ。隣り合うフィンガの間隔は不均一であってもよく、安息状態で隣り合う固定の及び可動のフィンガ間において、フィンガ80とフィンガ110とについてはその間隔がおよそ2 μm であり、他方フィンガ11とフィンガ81との間隔が8 μm であってもよい。各可動フィンガのためのビームの対の全幅は固定フィンガの幅よりもいく分は大きくてもよいが、可動要素100中の平行なビームの組み合わせを構成している個々のビームは、固定ビームよりもいく分は薄く、幅は1 μm よりも小さいのが好ましい。本発明の1つの形態においては、80程度の個々の片もちされたキャパシタフィンガが設けられることができる。

端部の復帰ばね132及び142は、同一の普通の厚さ及び高さ、ひいては解放されたフィンガと同一の横断面及びアスペクト比を有していてもよい。2つの復帰ばねは、可動要素100を適切に保持するために望ましい弾性を与える一方、加速力に対して迅速かつ高感度の応答を許容するような大きさとされる。上記復帰ばねは、1~3マイクロメータの範囲内の最小寸法を備えている。該ばねの高いアスペクト比は、それらが、軸方向のビーム102並びに横向きのフィンガ110~117及び120~127の共通面に垂直な鉛直方向よりも、矢印134及び144で示された軸方向により大きな可撓性をもつことを確実化する。本発明の1つの実施の形態においては、ビーム102の軸方向の剛性は0.97N/mであるが、該面から外方への剛性は、高アスペクト比のばねに起因して、128N/mであった。

もし希望があれば、図1~図5のプロセスに続いて、付加的なマスキング工程が、直線状のばね132及び142から側壁の酸化物層と金属層とを除去するために用いられることができる。横方向(矢印134及び144の方向)のばね定数はビーム幅の3乗に伴って変化するので、側壁層の除去は、横方向のばね定数を2桁を超える度合いで低減することができる。ばね定数のこれ以上の調整は、シリコンの幅を調整してばねビームの幅を変えることによって行われる。

上記のとおり、固定されたフィンガの側壁上のキャパシタプレートは、互いに接続されるとともにコネクタ88及び98に接続され、他方可動フィンガの側壁上に形成されたキャパシタは、互いに接続されるとともに軸方向のビーム102上の金属コーティングとばねビーム132の金属化された頂面とを通じてコネクタパッド136に接続されている。コネクタ88、98及び136は、例えば交流励磁発電機であってもよい電源172を含むことができる適当な回路に接続されている。該構造に加速力がかけられたときには、可動要素100は固定されたフィンガ80~87及び90~97に対して変位し、各可動要素は対応する隣の固定されたフィンガに向かって又はこれから遠ざかって移動する。この運動は、可動要素100の質量の変位を把握するためのコネクタ88及び98における出力電圧の変化を測定することによって把握されることができるキャパシタンス変化を生じさせる。

可動要素100の質量は、好ましくは1.0nkgのオーダーである。もし、過速力の振動数が該デバイスの固有振動数よりも十分に低く、かつ横方向の可動フィンガ及び軸方向のビーム102が復帰ばね132及び142よりも高剛性の状態にあると仮定すれば、固定の及び可動のフィンガの上の対向するプレート間の離間変化は、単純なばね・質量モデルでもって近似されることができる。ここから、 9.8m/s^2 の加速に対する変形は13nmであると予想されることができ、そしてこの変形はキャパシタプレート間の2ミクロンの初期離間量に比べて小さいので、該キャパシタンスに対する平行なプレートの接近は、次の式1を用いてあらわされる。

$$C \cong \frac{\epsilon_0 A}{d_0} \quad 1 - \left[\frac{ma}{kd_0} \right] \quad \text{式1}$$

10

ここで、 m はデバイスの質量であり、 k は横方向のばね定数であり、 A はプレートの面積であり、 d_0 は初期離間量であり、そして a は加速度である。キャパシタンスは、電源172からデバイスに、100kHz、155mVの搬送信号を印加することによって測定されることができる。パッド88及び98出力電流は、かけられた加速度によって惹起されたキャパシタンスの変化によって振幅が変調（調整）される。加速度をあらわすピークの大きさは次のとおりである。

$$V_o \cong \frac{1}{2} \omega_c C_o V_i R_{tr} \frac{ma}{kd_0} \quad \text{式2}$$

20

ここで、 V_i は搬送波の振幅であり、 R_{tr} は伝達抵抗であり、 C_o はDCキャパシタンスであり、 ω_c は搬送波周波数であり、 k はばね定数であり、 m はデバイスの質量であり、そして a は加速度である。実験データは、出力電圧が加速度に対してリニアな関係にあるということを示している。

図8に示されているように、もし要望があれば、軸方向のビーム102を大きくすることにより、付加的な質量が可動構造100に与えられることができる。ここに図示された実施の形態においては、加速度計180は、包括的に184で示された、周囲の基板から内向きに伸びる複数の固定されたフィンガ182を含んでいる。フィンガ182は、デバイスの両方の側部から伸びてもよく、該フィンガは共通面に横たわり、そして包括的に188で示された可動要素の可動フィンガ186を受け入れるために離間して配置されている。可動要素は、図6に関連して説明されたやり方で、直線状のばね190及び192によってその両端部で懸架され、これにより可動フィンガ186が固定フィンガ182の平面内に横たわり、固定フィンガに対して上記平面内で動くことができるようになっている。付加的な質量は、図6のデバイス中の縦方向のビーム102に代わるグリッド194によって与えられる。このグリッドは、複数の個々の縦方向のビーム及び横方向のスペーサの形状につくられてもよく、あるいは図9中に示されているようなやり方でタングステンなどの材料の層によって被覆された複数の平行なビームの形状につくられてもよい。前記の出願08/013,319号中に記載されているように、タングステン層196は質量を増加させるために複数の解放されたビーム198、199、200に付けられ、例えば、該タングステン層は下敷きのビーム198～200によって形成されたグリッド所定の部分を被覆し、そして厚い同形の覆いをつくるためにビーム間空間部を満たしている。グリッド194又は層196の大きさ及び厚さは、加速度計の機能にとって必要とされる質量を与えるように設定される。

30

40

図8に示されているように、必要とされる付加的な質量を与えるために、加速度計のデバイスの両方の側部の上の固定されたフィンガの末端間の間隔を広くすることが必要であるかもしれない。正確な大きさは、測定されるべき力のために必要とされる感度に従って設定されるということが理解されるであろう。

図6、7及び8に示されている加速度計はシングルエンド加速度計と称される。なぜなら、その軸に沿ったいずれの方向へのビーム102の運動も、可動フィンガの各々のその対応する固定フィンガとの間に、間隔（離間）を生じさせて、同一方向に変化するからである

50

。該デバイスはまた、懸架ばね132及び142の大きさを変えて鉛直方向の運動を許容することにより、空隙62の床に向かったの及びこれから遠ざかったの鉛直方向の運動をも検出することができるということが理解されるであろう。この場合、可動の及び固定のフィンガは、例えば2 μ mの距離でもって、各フィンガの両方の側部の上に等しい間隔で配置されるであろう。

図10は、差動の又はダブルエンドのデバイスと称されるかもしれない加速度計の修正版を示している。ここに示されているように、加速度計210は2つの固定部212及び214を含んでいて、その両方が可動要素216の一部をなし横方向に伸びる対応するフィンガと相互に対向している。図示されているように、セクション212は、夫々、中心の軸方向に伸びる支持ビーム226から横方向外向きに伸びる、加速度計の両側部から内向きに伸び差し込まれた可動フィンガ222及び224を受け入れるために離間して配置された、横方向内向きに伸びる固定フィンガ218及び220を有している。

10

同様のやり方で、セクション214は、その両側部から内向きに伸びる固定フィンガ228及び230と、ビーム226から横方向外向きに伸びる差し込まれた可動フィンガ232及び234とを含んでいる。ビーム226の両端部は、夫々、上記のやり方で直線状のばね236及び238によって支持されている。固定フィンガ218及び220は、第1のアウトプットコネクタパッド240に接続され、他方固定フィンガ228及び230は第2のアウトプットコネクタパッド242に接続されている。可動構造216は、単一の電圧印加パッド244に接続されている。

加速度計のセクション212中の可動フィンガは、それらの対応する固定フィンガの右側にあり（図中に示されているように）、他方セクション214中の可動フィンガはそれらの対応するフィンガ228の左側に配置されている。したがって、図中に示されているように、可動要素216の左への運動はフィンガ218及び222をとともに接近するように移動させる一方、これと同時にフィンガ228及び232を離間するように移動させる。これは、夫々のプレート間のキャパシタンスの差動的な変化を生じさせ、そしてパッド240及び242における差動的な電圧変化を生じさせ、これにより所望の量の縦方向の運動に対する加速度計の総括感度を増加させる。

20

上記の指摘のとおり、加速度計の感度は、可動要素の端部における懸架ばねの厚さ、高さ及び長さを適当な大きさにすることによって選定されることができ、一度つくられた機械的な構造は、固定された固有のなしいしは共鳴の振動数と、該構造の固有振動数によって制限される応答周波帯幅とをもつということが認識されるであろう。かくして、該センサが正確に測定することができる入力振動数の範囲は、その機械的な構造によって制限される。しかしながら、本発明のもう1つの形態によれば、復帰ばねの剛性を電氣的に又は電気機械的に変化させて、該デバイスの固有振動数の制御を許容するとともに、該センサが正確に測定することができる振幅数の範囲を増加させるための制御機構が設けられる。ばねの剛性ひいては加速度計の固有振動数を変化させるための1つの構造が図11及び12中に示されている。ここに図示されているように、加速度計250は、複数の横方向外向きに伸びるフィンガ256を担っている軸方向の支持ビーム254を有している可動要素252を含んでいる。上記の議論のとおり、フィンガ256は、基板260上に片もちで取り付けられた内向きに伸びる固定フィンガ258に差し込まれている。支持ビーム254は、その両端部で、横方向に伸びる直線状の復帰ばね262,264に取り付けられており、その両方がそれらの外端部で、パッド266及び268などの隣り合うコネクタパッドを含んでいる固定された支持部材に接続されている。加速度計構造を移動させるために必要とされる有効な力の制御、ひいては該構造の固有振動数の制御は、夫々、一对の容量ドライバ270及び272によって行われる。ドライバ270は、復帰ばね262に固定された第1プレート274と、これと離間し支持パッド278に固定して取り付けられた第2プレート276とを含んで図示されている。該ドライバは、パッド278及びコネクタ導線280により、適当な制御電圧源に電氣的に接続されている。導線280に印加される電圧を変えることにより、プレート274及び276を横切る電位が変えられることができ、これによりこれらのプレート間の力が制御され、可動支持ビーム254がプレート274をプレート276に対して移動させることを可能にするために必要とされる加速度が調整される。このような運動は、加速度計にかけられる加速力に起因するので、

30

40

50

導線280に印加される電圧は該加速度計の感度を制御する。

同様のやり方で、導線282によりキャパシタ272に印加される電圧が、ばね264を曲げるために必要とされる有効力を制御する。

2つのドライバ270及び272に印加される電圧は、該電圧を互いに逆となるように選択することにより、ばね262及び264の復帰力を修正するために用いられることができ、これにより電圧がドライバの1つに印加されてばね262が左に動き、かつ電圧が他方のキャパシタに印加されてばね264が右に動く。もし、加速力が該構造の運動を例えば左に向けさせれば(図12参照)、キャパシタ270のキャパシタンスは増加し、キャパシタ272のそれは減少するであろう。キャパシタ270及び272に印加される電圧に起因して要素252にかかる合力は左に向き、そしてこれは加速力を助勢するであろうし、これによって可動フィンガ256を固定フィンガ258に対して変位させるのに必要とされる外力の正味の低減を生じさせるであろう。これはデバイスの感度を高めるとともに、固有振動数を低下させる。

ドライバ270及び272は、平行板のキャパシタとして図示されているが、フィンガ又はくし型のキャパシタもまた、ばねの運動を制御するためにプレート形のキャパシタに代えて用いられることができるということは理解されるであろう。

支持ばねの有効復帰力の増加は、図13中に示されているようなやり方で得られることができ、ここで加速度計290は、中心の軸方向に伸びる支持ビーム296から伸び横方向外向きに伸びるフィンガ294を有している可動要素292を含んでいる。ビーム296は、その両端部で、横方向に伸びる直線状の懸架ばね298及び300に接続され、これらはその外端部で固定されかつ可撓性を備えていて、ビーム296の縦方向の運動と、片もちされた固定フィンガ(図示せず)に対するフィンガ294の対応する運動とを許容する。ばね298及び300の有効復帰力を増加させるために、一対の制御キャパシタ302及び304が設けられている。この実施の形態においては、キャパシタ302は、可動要素292に接続された第1のくし形プレート306と、これと対向し、その中に加速度計が取り付けられている基板の上の固定されたパッド310に接続された第2のくし形プレート308とを含んでいる。キャパシタ304も同様に構成されている。

可動要素292を左に向かって変位させるために加速度計にかけられる力は(図13に示されているように)、プレート306を、固定されたプレート308に対して左に向かって変位させるであろう。これらのプレートと交差して印加される電圧は、該プレート306をその安息位置(図中に示されている)に復帰させようとするであろう。可動要素292にかけられる加速力が大きければ大きいほど、プレート306のプレート308に対する変位が大きくなる。該プレートと交差して印加される電圧を制御することにより、復帰力が、ばね298及び300のために所望の有効剛性を与えるように制御されることができる。可動要素292を適所に保持するのに必要とされる最小電圧は、該要素にかけられる加速力の度合いである。

図14及び図15は、加速度計のための復帰ばねの復帰力を増加させるための電気機械的な方法を示している。ここに図示されているように、加速度計320は、前と同じく、軸方向の支持ビーム324と複数の横方向外向きに伸びるフィンガ326とを有する可動部322を含んでいる。ビーム324の両端部は、それらの最も外側の端部でパッド332及び334などの固定されたパッドの上に支持され、横方向に伸びる直線状の架橋ばね328及び330によって支持されている。隣り合うばね328及び330の各々は、ばね328に隣り合うキャパシタ336及び338などの一対のクランプキャパシタである。これらの2つのキャパシタは、その中心でアーム342によって固定パッド344に相互に取り付けられた、可撓性を有する支持ビーム340の上に取り付けられている。電圧は、入力導線346と、パッド344並びにビーム340及び342の上の導電性のコーティングとにより、2つのキャパシタ336及び338に印加されることができる。図15に示されているように、適当な電圧の印加は、キャパシタ336及び338のプレートをともに引っ張り、これにより支持ビーム340が曲がり、そしてビーム340及び328を有効に並列接続し、これによりビーム328の可撓性が機械的に変化する。同様のやり方で、ビーム330の可撓性が、キャパシタ336及び338のそれと同様の仕様で構成されたキャパシタ348及び350への電圧の印加により変化させられることができる。両ビーム328及び330のためのキャパシタがクランプされた後、該システムはその剛性が高くなるとともにその固

10

20

30

40

50

有振動数が増加し、その結果として感度が減少する。クランプキャパシタのプレートと復帰ばね328及び330との間に絶縁層が含まれ、これにより張り付きが防止されるとともに回路ショートが防止されるであろうということが理解されるであろう。

図11～図14の実施の形態の各々における容量性ドライバに印加された電圧は、外からかけられた力に対する加速度計の応答性を変えるために調整可能である。これらの電圧は、0点調整を実施することにより、製造誤差を補正するためにも用いられることができ、あるいは加速度計を1つの方向に又は他の方向に偏らせるためにも用いられることができる。もし要望があれば、該電圧は、両端部を反対方向に引いて該デバイスの共鳴振動数を同調させるために印加されることができ、あるいは該電圧は非線形領域内にばねを予め曲げ、これにより加速に対する非線形応答を得るなどといったやり方で印加されることができ

10

。ここに図示された実施の形態の各々においては、固定の及び可動のフィンガの上のプレートの間に、該プレートの相対運動によってつくられたキャパシタンスを測定するために、そして可動フィンガをそれらの安息位置に復帰させるために印加されることができ、フィードバック電圧を与えるために、活動的なフィードバックシステムが組み込まれてもよい。フィードバック電圧は、かけられた力の度合いである。このようなシステムにおいては、かけられた力に起因するキャパシタンスの変化が、プレートを流れる電流によって測定され、例えば、この値は、可動要素に印加された電圧を調整し、これにより可動要素を固定構造に対するその安息位置に保持するために用いられる。フィードバック電圧は、かけられた力の変化に伴って即時に変化し、それで可動要素は移動せず、その結果該部分の相対運動によって惹起された非線形性に起因する誤差が除去され、該システムの精度及び感度が高められる。このようなフィードバックシステムは図16中に概略的に示され、ここでは可変電圧供給部360が、加速度計の可動プレート362に電位を供給する。可変プレート362と固定プレート364との間の電流は、電流センサ366によって測定され、参照値（目標値）と比較される。可変電圧供給部360を調整して固定の及び可動のプレートの間に予め設定された間隔を維持するために、導線368により異なる信号が印加される。信号368の値は、可動プレート362にかけられた加速力の値を決定するために用いられてもよい。このようなシステムは、例えば、フィードバック電圧を供給して、図13中のキャパシタプレート306及び308の配列を維持するために、あるいは図11中のキャパシタ270及び272に印加された電圧を制御するために用いられることができる。

20

30

前記の議論は、例えば、キャパシタプレートの平面内の、図6中の要素100のような可動要素の運動によって惹起されたキャパシタンスの変化に向けられてきたが、該平面に垂直な運動もまた測定されることができるとということが理解されるであろう。なぜなら、可動フィンガによって担われたキャパシタプレートと、下敷きの基板又は金属層又は該基板との間にキャパシタンスが存在するからである。これは図5中に示され、ここでは金属層48がビーム42の上の金属層46に対してアースプレートとしてはたらくことができる。これらの金属層の間のキャパシタンスはフィンガの面に垂直な運動を検出するために用いられることができ、これにより加速度計は3次元的となる。層48は半導体基板10の上にあるものとして図示されているが、層48を下敷きの基板から絶縁するように金属層が形成される前に、絶縁層が溝部の床の上に設けられることができるとということが理解されるであろう。上記の製造プロセスはまた、図17に示されているようなねじれ運動センサをつくるためにも用いられることができる。ここに図示されている実施の形態においては、可動要素又はビーム380は、基板中の空隙382内に配置され、シャフト384の軸線383のまわりの回転運動のために取り付けられている。図18に示されているように、シャフト384は、可動要素380を、基板390内に形成された、空隙を画成している側壁386及び388の上に取り付けるために、空隙382と交差して伸びている。図17に最も明確に示されているように、可動要素380はシャフト384に対して非対称形につくられることができ、かくして図17及び18に示されているように、可動要素の左側が右側392よりも高質量となっている。側部392に穴部393をつくることによって作りだされることができ、この質量の不均一な分布は、可動要素が矢印394の方向に鉛直運動させられたときに、該可動要素380にシャフト384の軸線まわ

40

50

りのねじれを生じさせる。

可動要素380のシャフト384の軸線まわりの回転によって惹起されるねじれ運動は、要素380をその水平方向のニュートラル位置に復帰させようとする傾向があるシャフトのばね作用によって抵抗を受ける。要素380の運動は、前に論じられたように、可動デバイスの上及び周囲の基板の上に配置された対応するキャパシタプレートによって検出されることができる。かくして、例えば、可動要素380の上の導電性の層395は、一对の運動検出キャパシタの各々のための共通プレートを形成するために用いられることができる。プレート395は、例えば、基板の表面上のコネクタパッド398につながるシャフト384の上の金属層396により、外部回路に接続されてもよい。図17に示されているように、プレート395は、要素380の左と右の縦壁の上の400及び402で、夫々、該可動要素380の側部に沿って鉛直方向
10
下向きに伸びている。絶縁性材料からなる電氣的絶縁層403が、基板と金属と間に設けられているということが理解されるであろう。

縦壁400及び402は、夫々、隣りの対応する離間された固定プレート404及び406である可動キャパシタプレートを形成し、もって検出キャパシタ408及び409を形成する。電極プレート404は基板390の頂上に形成され、空隙の側壁411の上で伸びている。同様のやり方で、電極406が基板の表面上に配置され、そして空隙の側壁411の上で伸び、これにより可動要素380の運動が、キャパシタ要素400に対応する要素404に対して変位させ、かつ要素402に対応する要素406に対して変位させる。該プレートの相対運動は、キャパシタ408及びキャパシタ409の両方のキャパシタンスを変化させ、そしてこれらの変化は、基板の表面上の電極によって種々のキャパシタプレートに接続された適当な回路によって検出されることが
20
できる。要素380並びにキャパシタ408及び409は、キャパシタンスの小さい変化を測定することが可能な高感度運動検出器を形成し、相対的な鉛直方向の運動の高感度の測定を提供する。

要素380の形成後における金属層395の堆積時に、金属層412及び413が、空隙382の床414の上に堆積される。これらの金属層はまた、回転可能な要素380の1つの側部又は他の側部の上に鉛直方向の力を与えるための容量性プレートとしても機能することができる。

可動要素380は、シャフト384に関して対称となるようにつくられてもよく、かくしてシャフトの各側部の質量が同一となるということが理解されるであろう。この状態においては、矢印392の方向のデバイスの鉛直方向の運動又は加速は、回転というよりはむしろ鉛直方向のシャフト384の曲がりを生じさせる結果となるであろう。この運動もまた、上記の
30
議論のとおり、キャパシタ408及び409によって、又は層395とプレート412及び413との間のキャパシタンスによって測定されることができる。

基板の鉛直方向の加速に対する感度を調整するために、従来のマスキング技術を通じて、シャフト384の軸の1つの側部又は他方の上の可動要素380に材料が加えられることができる。加えられる該材料はタングステンであってもよく、例えば、要素380のバランスを変えるために、ひいては加速度計の特性を変えるために、マスクを通じて要素380の頂面に
40
加えられることができる。

基板390に課せられる回転の又はねじれの運動、例えば、シャフト384の軸まわりの運動もまた、図17及び18のデバイスによって測定されることができるとということが理解されるであろう。かくして、基板390のシャフト384まわりの時計まわり方向の回転は、プレート40
40
0と404との間の、プレート402と404との間の、そして層395と層412及び413との間の相対運動に帰結し、上で論じられたように、測定されることができるキャパシタンスの変化を生じさせる。

ねじれの運動もまた、図19及び20に示されたデバイスによって測定されることができ、ここでは中心の延長された支持ビーム又はアームが、鉛直方向の支持部材の軸のまわりに水平面内での回転運動のために、鉛直方向の支柱又は台の上に取り付けられている。これらの図に示されているように、基板420は空隙422を組み込んでおり、これはこの場合は、空隙の床426から上向きに伸びる鉛直方向の支柱又は台424を伴った環形部材として図示されている。シャフトの上端部には加速度計のセンサ要素428が設けられ、これはこの場合は、空隙と交差して伸びる延長されたビーム429の形状をなしており、台424の軸に垂直な水
50

平面内で動くことができるようになっている。該アーム429は、アーム429と一体形成された、夫々、一対の横方向に伸びる弓形のフィンガ430及び432のところで終わっている部分429'及び429"を含んでいる。アーム429の各端部にフィンガが1つだけ示されているが、複数のフィンガが設けられることができるということが理解されるであろう。フィンガ430及び432は、可動アーム429のための慣性重量として機能し、かくしてアーム429の水平面内の成分を有する回転の又はねじれの力が、例えば矢印434の方向で基板420にかけられたときには、横向きのフィンガ430及び432の慣性が、シャフトのばね作用によって抵抗を受ける台424の軸まわりに、アーム部429'及び429"内での曲げ運動を生じさせる。フィンガ430及び432の長さ及び厚さ、それらの数、それらの間の間隔は、拡大されたハブ部436を含んでいるアーム429の長さ及び厚さと同様に、該デバイスの質量ひいてはねじれの力に対するその感度を決定する。図17のデバイスに関連して上で注目されたように、該デバイスの感度は、フィンガ430及び432に対するのと同様に、アーム429に対する付加的な金属層を加えることによって変えられてもよく、適当なマスクの使用はこのような付加的な材料の配置の正確なコントロールを許容する。台424は、要素428をその普通の安息位置に向かって付勢するアーム部429'及び429"のばね作用でもって、該要素428に対する支持部材として機能する。

10

空隙422は一対の対応する空隙延長部438及び440内にフィンガ430及び432を受け入れる形状とされ、ここで延長部は一般に弓形とされ、フィンガ430のための内側及び外側の弓形壁部442及び444（図19参照）と、フィンガ432のための内側及び外側の弓形壁部446及び448（図20参照）とを組み込んでいる。該弓形壁部は、弓形フィンガと同軸であって、これによりフィンガのねじれ運動が、対向する内側及び外側の壁部間に存在する。基板420に対するアーム429の相対運動を検出するために4つのキャパシタプレートが設けられ、該プレート450、451、452及び453は基板420の表面上に配置され、そして夫々、横向きのフィンガ430及び432の対応する端部の両側部の上で、壁部442、444、446及び448の上に向かって下向きに伸びている。図示された実施の形態におけるキャパシタプレートは弓形であり、それらを支持する壁部であり、そして該プレートの表面でもって、該プレートを担っている夫々の弓形壁部の間で、弓形フィンガ430及び432の運動を許容するために十分に離間して配置され、これにより台424の軸に関して同心となっている。

20

基板420に対するアーム429の曲がり運動は、フィンガ430及び432の各々を、その関連するキャパシタプレート的一方又は他方の間でさらに移動させ、かつその関連するキャパシタプレートの他方から外へ移動させ、もって各対によって測定されるキャパシタンスを差分的に変化させる。これは、回転力がかかったことに対するキャパシタンス変化の高感度な測定を許容し、これにより非常に感度のよいねじれ加速度計が得られる。前に論じられたように、キャパシタのための固定プレートは、基板の表面上の適当なコネクタを通じて外部回路に接続されている。容量性プレートの間でのフィンガ430及び432の移動は、それらの間のキャパシタンスを変化させ、そしてこのような変化は導電性の帯に接続された適当な回路（図示せず）によって検出可能である。プレート450～453は、好ましく、単純に、空隙壁部の対応する表面の上に形成された導電性の金属層からなる。

30

図21は、基板420中の空隙422が、可動アーム429の延設部を受け入れるために拡大されている、本発明の1つの実施の形態を示している。この実施の形態においては、図19のデバイスと共通な要素は同様に番号がつけられている。かくして、前に論じられたように、キャパシタプレート450～453は適当な外部回路（図示せず）に接続されている。この場合、可動要素429は、夫々、延長アーム474及び476により、可動アーム429の両端部に取り付けられた一対の延設おもりを含んでいる。該おもり470及び472は、これまたアーム429とともに移動することができる増やされた質量であり、そして可動要素428に対してより大きな慣性を与えてねじれの又は回転の力に対するデバイスの感度を高め、これによりより感度のよいねじれ加速度計を提供する。該おもり470及び472は、上記のやり方で基板材料からつくられ、そして所望の質量、ひいてはデバイスのための所望の感度を得るのに十分な厚さで金属によって被覆されてもよい。

40

本発明は好ましい実施の形態により開示されてきたが、修正及び変形が、以下の請求の範

50

図に記載された本発明の真の思想及び技術範囲から逸脱することなくなされることができるといことが理解されるであろう。

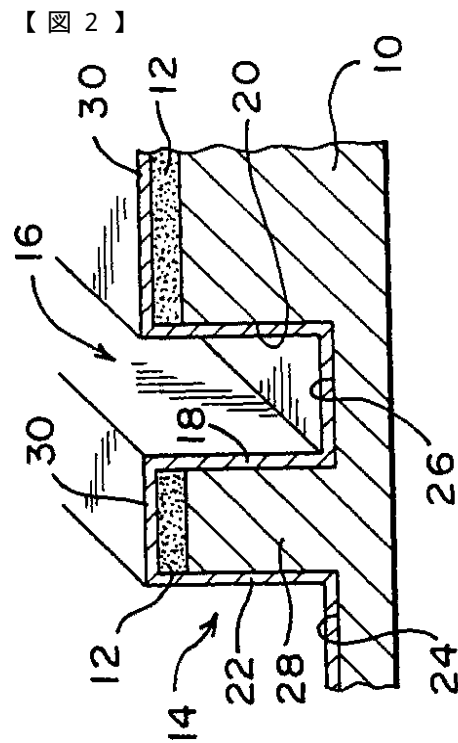
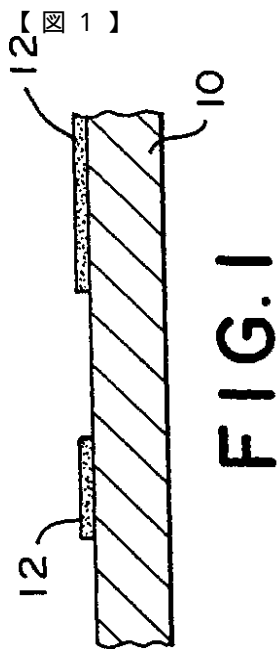


FIG. 2

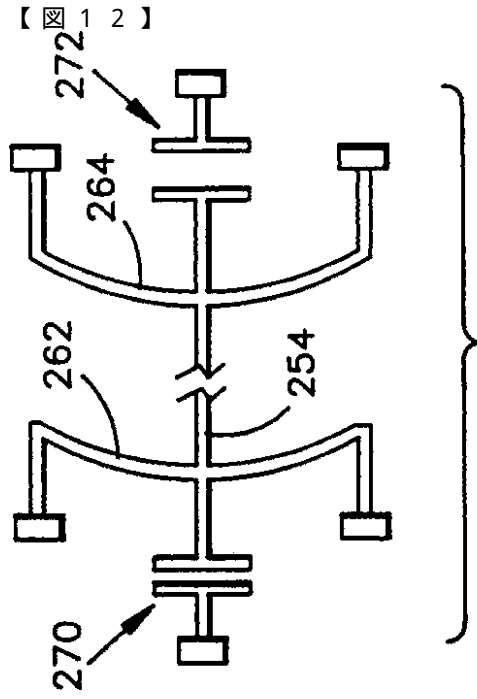


FIG. 12

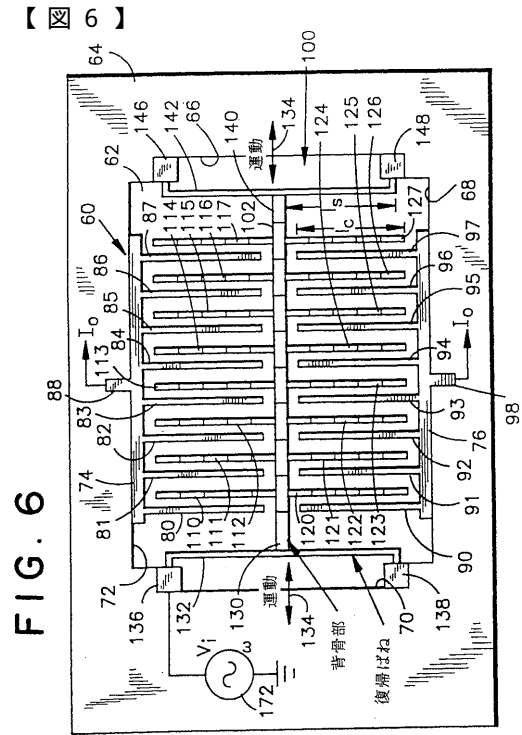


FIG. 6

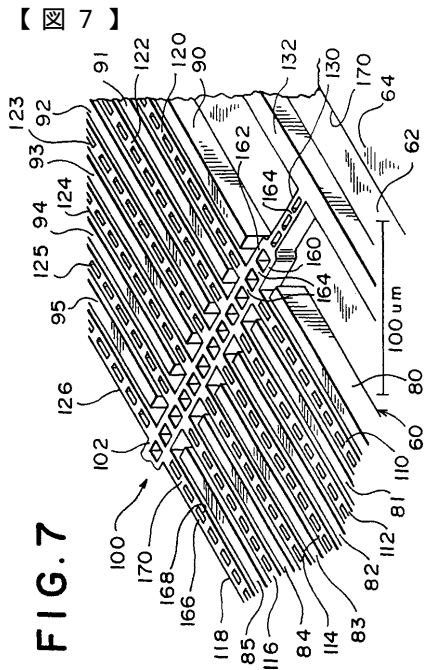


FIG. 7

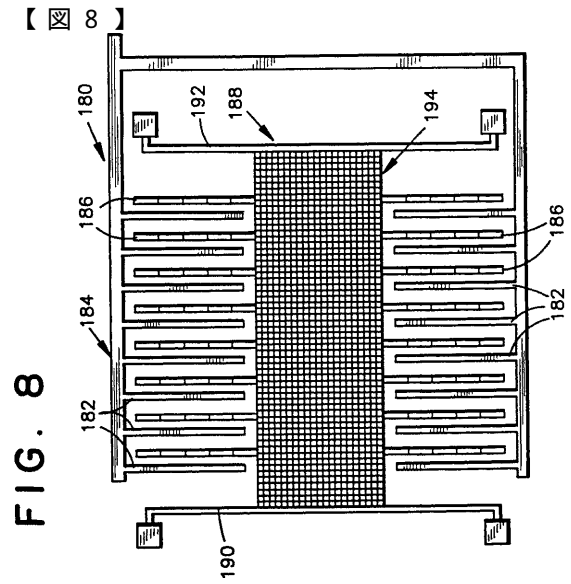
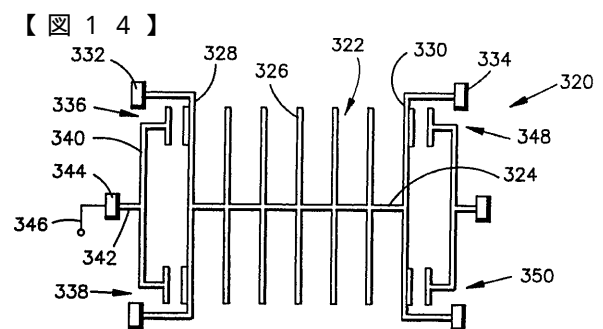
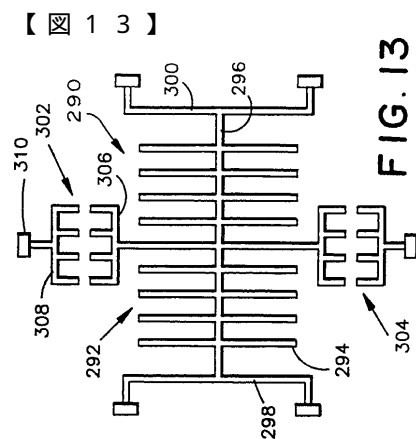
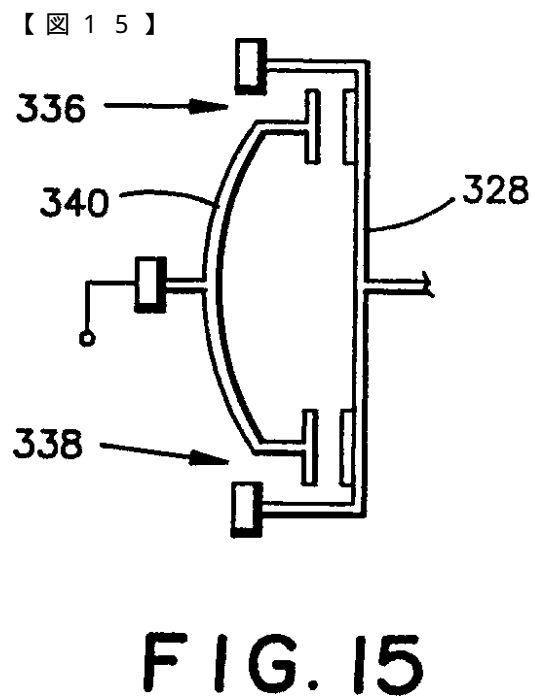
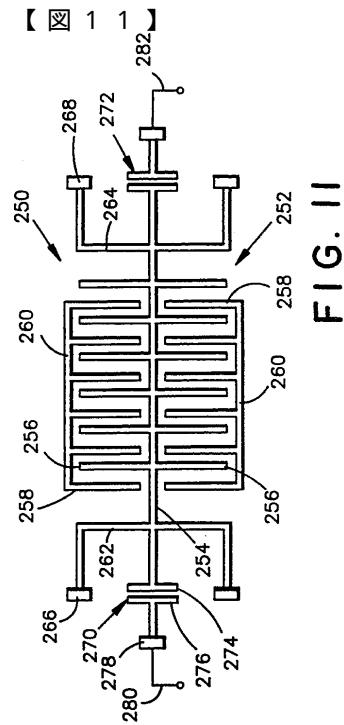
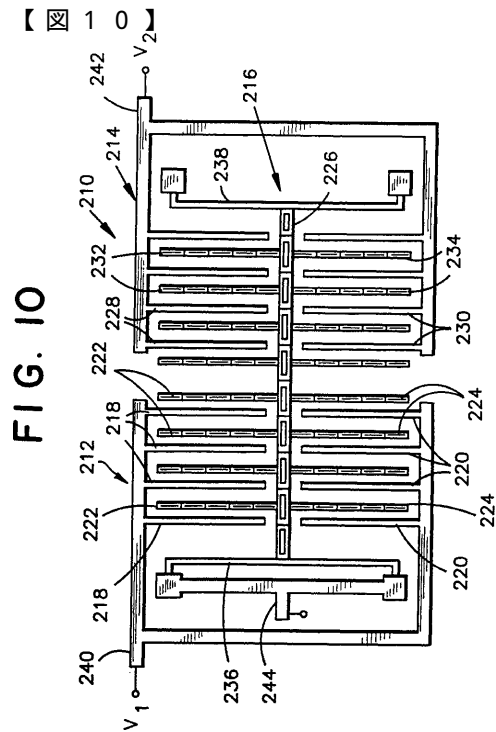


FIG. 8



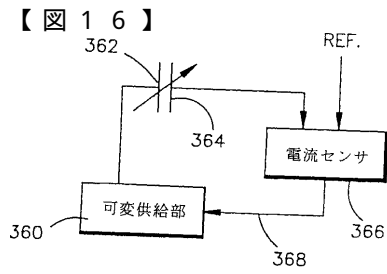


FIG. 16

【図 17】

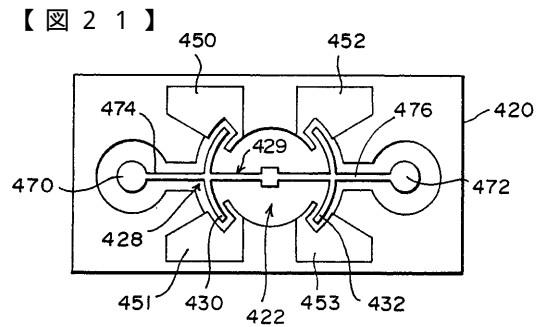
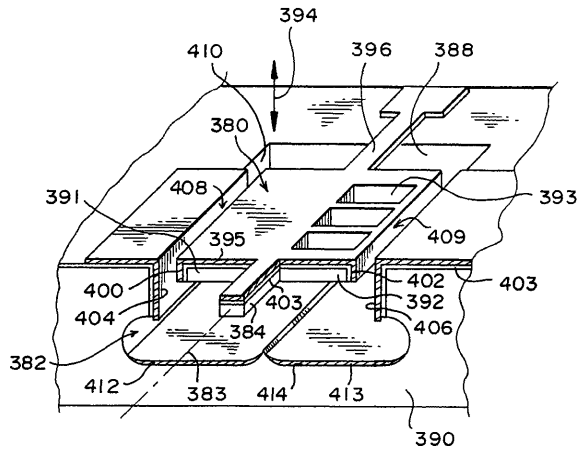
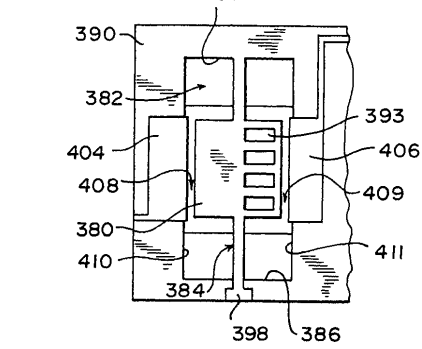
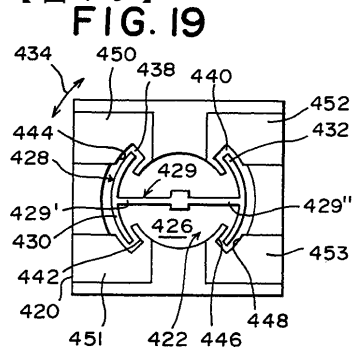


FIG. 21

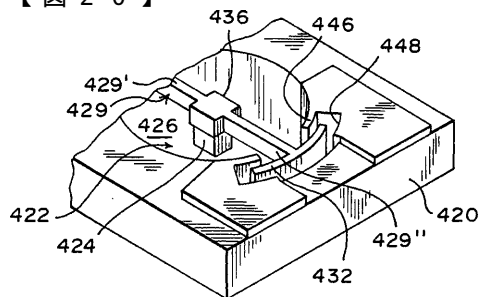
【図 18】



【図 19】



【図 20】



フロントページの続き

- (72)発明者 ショー、ケビン・エイ
アメリカ合衆国 1 4 8 5 0 ニューヨーク、イサカ、フォール・クリーク・ドライブ 2 0 7 番
- (72)発明者 アダムス、スコット・ジー
アメリカ合衆国 1 4 8 5 0 ニューヨーク、イサカ、ギルズ・ストリート 2 2 0 番
- (72)発明者 マクドナルド、ノエル・シー
アメリカ合衆国 1 4 8 5 0 ニューヨーク、イサカ、ハイランド・ロード 5 1 5 番

審査官 白石 光男

- (56)参考文献 特開昭 6 2 - 1 2 3 3 6 1 (J P , A)
特開平 0 7 - 0 9 8 3 2 7 (J P , A)
特開平 0 6 - 3 3 1 6 5 1 (J P , A)
特開平 0 5 - 1 4 2 2 5 1 (J P , A)
特開平 0 4 - 2 3 2 8 7 5 (J P , A)
特開平 0 4 - 1 1 5 1 6 5 (J P , A)
特開平 0 3 - 2 2 9 1 6 0 (J P , A)
特開平 0 1 - 2 5 3 6 5 7 (J P , A)
特表平 0 4 - 5 0 4 0 0 3 (J P , A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, D B 名)
G01P 15/125