

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5021312号  
(P5021312)

(45) 発行日 平成24年9月5日(2012.9.5)

(24) 登録日 平成24年6月22日(2012.6.22)

(51) Int.Cl.

G01C 19/56 (2012.01)

F 1

G01C 19/56 100

請求項の数 78 (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2006-536699 (P2006-536699)  
 (86) (22) 出願日 平成16年10月12日 (2004.10.12)  
 (65) 公表番号 特表2007-509346 (P2007-509346A)  
 (43) 公表日 平成19年4月12日 (2007.4.12)  
 (86) 國際出願番号 PCT/US2004/034431  
 (87) 國際公開番号 WO2005/043079  
 (87) 國際公開日 平成17年5月12日 (2005.5.12)  
 審査請求日 平成19年3月26日 (2007.3.26)  
 (31) 優先権主張番号 10/690,224  
 (32) 優先日 平成15年10月20日 (2003.10.20)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 506135224  
 インベンセンス インコーポレイテッド  
 IN VEN SENSE INC.  
 アメリカ合衆国 94089 カリフォルニア州 サニーベール ボレガス アベニュー 1197  
 (74) 代理人 100068755  
 弁理士 恩田 博宣  
 (74) 代理人 100105957  
 弁理士 恩田 誠  
 (72) 発明者 ナシリ、スティーブン エス.  
 アメリカ合衆国 95051 カリフォルニア州 サンタ クララ ゴードン アベニュー 2900 スイート 203

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】角速度センサ及びその製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

センサ面の角速度を測定するためのセンサであって、前記センサが、

- a) 感知サブアセンブリであって、  
 i) 前記面に平行で平らなフレームと、  
 ii) 前記面内に配置されている第1の質量と、  
 iii) 前記第1の質量とともに前記面内に配置されている第2の質量と、  
 iv) 前記フレーム内に位置し、前記フレームに連結されているリンク装置であって、前記リンク装置は、前記第1の質量および前記第2の質量に連結され、前記リンク装置は、前記第1および第2の質量が、前記面に垂直にそれぞれ反対方向に移動するのを許容するリンク装置とを備える感知サブアセンブリと、  
 b) 前記リンク装置及び前記フレームの一方を駆動周波数で振動させるためのアクチュエータと、  
 c) 前記角速度により前記リンク装置及び前記フレームの他方の運動を感知するためのトランスジューサとを備えるセンサ。

## 【請求項 2】

前記アクチュエータが、静電アクチュエータ、電磁アクチュエータ、圧電アクチュエータおよび熱アクチュエータからなるグループから選択される請求項1に記載のセンサ。

## 【請求項 3】

前記トランスジューサが、容量性センサ、電磁センサ、圧電センサ、およびピエゾ抵抗セ

ンサからなるグループから選択される請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 4】

前記フレームの運動が、前記センサ面に垂直な軸を中心とする回転に制約される請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 5】

前記フレームが円形である請求項 4 に記載のセンサ。

【請求項 6】

前記第 1 および第 2 の質量の運動が、前記フレームに対して前記センサ面に垂直な方向だけに許容される請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 7】

空気抵抗を低減するために、前記質量のうちの少なくとも一方に孔部をさらに有する請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 8】

前記リンク装置が、

前記フレームに連結され、また前記第 1 および第 2 の質量におよびその間に連結されたセンター・プレートであって、回転の中心軸を中心にして回転可能なセンター・プレートと、

前記フレームおよび前記第 1 の質量に連結された第 1 の縁部プレートであって、回転の第 1 の軸を中心にして回転可能な第 1 の縁部プレートと、

前記フレームおよび前記第 2 の質量に連結されている第 2 の縁部プレートであって、回転の第 2 の軸を中心にして回転可能な第 2 の縁部プレートとをさらに備え、

回転の前記中心軸、第 1 および第 2 の軸が相互に平行であり、また前記センサ面に平行である請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 9】

前記センター・プレートが、前記第 1 の質量に連結された第 1 のレバー・アームと、前記第 2 の質量に連結された第 2 のレバー・アームとをさらに備え、それにより前記センター・プレートの回転に応じた前記センサ面に垂直な前記質量の運動が増大する請求項 8 に記載のセンサ。

【請求項 10】

前記第 1 の縁部プレートが、前記第 1 の質量に連結されたレバー・アームをさらに備え、それにより前記第 1 の縁部プレートの回転に応じた前記センサ面に垂直な前記第 1 の質量の運動が増大する請求項 8 に記載のセンサ。

【請求項 11】

前記フレームが、前記センサ面に垂直な軸を中心とする前記フレームの角回転を有する基本フレーム共振モードを備えている請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 12】

前記リンク装置は、前記センサ面に垂直な方向に相互に 180 度位相がずれている前記第 1 および第 2 の質量の振動を有する基本リンク装置共振モードを備えている請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 13】

前記フレームが、前記センサ面に垂直な軸を中心とする前記フレームの角回転を有する基本フレーム共振モードを備えている請求項 12 に記載のセンサ。

【請求項 14】

前記フレームに平行で、その周囲に位置する平らなベースをさらに備える請求項 1 に記載のセンサ。

【請求項 15】

前記フレームが前記センサ面に垂直な軸を中心にして回転できるように、前記ベースを前記フレームに連結されている複数の撓み部分をさらに有する請求項 14 に記載のセンサ。

【請求項 16】

前記ベースに取り付けられている頂面を有するシリコン基準ウェハをさらに備え、前記感

10

20

30

40

50

知サブアセンブリおよび前記ベースが、1つのシリコン・ジャイロスコープ・ウェハからエッチングされる請求項14に記載のセンサ。

【請求項17】

前記基準ウェハが、前記センサ面に垂直な前記第1および第2の質量の運動を収容するよう2つの凹部を備える請求項16に記載のセンサ。

【請求項18】

前記基準ウェハが、前記感知サブアセンブリに電気的に連結されているCMOS電子回路を備える請求項16に記載のセンサ。

【請求項19】

前記基準ウェハに対する前記リンク装置の運動を感知するための容量性センサをさらに備える請求項16に記載のセンサ。 10

【請求項20】

前記リンク装置が、

前記フレームに連結され、また前記第1および第2の質量におよびその間に連結されたセンター・プレートであって、回転の中心軸を中心にして回転可能なセンター・プレートと、

前記フレームおよび前記第1の質量に連結されている第1の縁部プレートであって、回転の第1の軸を中心にして回転可能な第1の縁部プレートと、

前記フレームおよび前記第2の質量に連結されている第2の縁部プレートであって、回転の第2の軸を中心にして回転可能な第2の縁部プレートとをさらに備え。 20

回転の前記中心軸、第1および第2の軸が相互に平行であり、また前記センサ面に平行である請求項19に記載のセンサ。

【請求項21】

前記アクチュエータが、

前記基準ウェハの前記頂面上の前記第1の縁部プレートの下に位置し、所定の距離dだけ前記第1の縁部プレートから離れている第1の縁部分割電極と、

前記基準ウェハの前記頂面上の前記第2の縁部プレートの下に位置し、前記距離dだけ前記第2の縁部プレートから離れている第2の縁部分割電極と、

前記基準ウェハの前記頂面上の前記センター・プレートの下に位置し、前記距離dだけ前記センター・プレートから離れているセンター分割電極とを備える請求項20に記載のセンサ。 30

【請求項22】

前記第1の縁部電極、前記第2の縁部電極および前記センター分割電極が、前記センサ面に垂直な方向に相互に180度位相がずれた状態で、前記第1および第2の質量の振動を有する前記リンク装置の振動モードを励起するために、協力して電気的に駆動される請求項21に記載のセンサ。

【請求項23】

前記駆動周波数が、前記振動モードの共振周波数に等しい請求項22に記載のセンサ。

【請求項24】

前記トランスジューサが、前記ベースおよび前記フレームに連結された容量性センサを備え、前記基準ウェハが、前記容量性センサに連結され、また前記第1の縁部電極、前記第2の縁部電極、および前記センター分割電極に接続されたCMOS電子回路を備える請求項21に記載のセンサ。 40

【請求項25】

前記フレームが前記センサ面に垂直な軸を中心にして回転できるように、前記フレームを前記基準ウェハに連結する複数の撓み部分をさらに有し、前記撓み部分が、前記ベースを貫通していて複数のベース分離トレンチにより前記ベースから分離していて、それにより前記ベースの応力が前記撓み部分に伝わらない請求項16に記載のセンサ。

【請求項26】

前記撓み部分から前記基準ウェハの前記頂面を分離している複数の基準分離トレンチをさ 50

らに備え、それにより前記基準ウェハの前記頂面の表面応力が、前記撓み部分にほとんど伝わらない請求項 25 に記載のセンサ。

【請求項 27】

前記ベースに取り付けられている底面を有するシリコン・キャップ・ウェハをさらに備える請求項 16 に記載のセンサ。

【請求項 28】

前記キャップ・ウェハが、前記センサ面に垂直な前記第 1 および第 2 の質量の運動を収容するための凹部を有する請求項 27 に記載のセンサ。

【請求項 29】

前記キャップ・ウェハが、前記ベースに密封状に取り付けられ、前記基準ウェハが、前記ベースに密封状に取り付けられる請求項 27 に記載のセンサ。 10

【請求項 30】

前記ベース、前記キャップ・ウェハおよび前記基準ウェハが形成する密封エンクロージャ内のガスの圧力が、大気圧とは異なる請求項 29 に記載のセンサ。

【請求項 31】

前記キャップ・ウェハが、Si - SiO<sub>2</sub> 溶融接合により前記ベースに密封状に取り付けられ、前記基準ウェハが、金属シールにより前記ベースに密封状に取り付けられる請求項 29 に記載のセンサ。

【請求項 32】

前記フレームが、前記センサ面に垂直な軸を中心にして回転することができるよう、前記フレームを前記キャップ・ウェハに連結されている複数の撓み部分をさらに有し、前記撓み部分が前記ベースを貫通し、複数のベース分離トレンチにより前記ベースから分離していく、それにより前記ベースの応力が、前記撓み部分に伝わらない請求項 27 に記載のセンサ。 20

【請求項 33】

前記撓み部分から前記キャップ・ウェハの前記底面を分離している複数のキャップ分離トレンチをさらに有し、それにより前記キャップ・ウェハの前記底面の表面応力が前記撓み部分に伝わらない請求項 32 に記載のセンサ。

【請求項 34】

前記撓み部分が前記基準ウェハに連結されている請求項 33 に記載のセンサ。 30

【請求項 35】

前記撓み部分から前記基準ウェハの前記頂面を分離している複数の基準分離トレンチをさらに備え、それにより前記基準ウェハの前記頂面の表面応力が前記撓み部分に伝わらない請求項 34 に記載のセンサ。

【請求項 36】

X - Y センサ面の角速度の X および Y 成分を測定するための二軸センサであって、前記二軸センサが、

A ) 角速度の X 成分を測定するための第 1 のサブセンサを備え、前記第 1 のサブセンサが、

a ) 第 1 の感知サブアセンブリであって、

i ) 前記面に平行で平らな第 1 のフレームと、

ii ) 前記面内に配置される第 1 の質量と、

iii ) 前記第 1 の質量とともに前記面内に配置される第 2 の質量と、

iv ) 前記フレーム内に位置し、前記フレームに連結された第 1 のリンク装置であって、前記第 1 の質量および前記第 2 の質量に連結され、前記第 1 および第 2 の質量がそれぞれ前記面に垂直な反対方向に移動するのを許容する第 1 のリンク装置とを備える第 1 の感知サブアセンブリと、

b ) 駆動周波数で前記第 1 のリンク装置及び前記第 1 のフレームの一方を振動するための第 1 のアクチュエータと、

c ) 角速度の X 成分による前記第 1 のリンク装置及び前記第 1 のフレームの他方の運 50

動を感知するための第1のトランスジューサとを備え、さらに、

B ) 角速度のY成分を測定するための第2のサブセンサとを備え、前記第2のサブセンサが、

- a ) 第2の感知サブアセンブリであって、
  - i ) 前記面に平行で平らな第2のフレームと、
  - ii ) 前記面内に配置される第3の質量と、

iii ) 前記第3の質量とともに前記面内に配置される第4の質量と、

iv ) 前記第2のフレーム内に位置し、前記第2のフレームに連結された第2のリンク装置であって、前記第3の質量および前記第4の質量に連結され、前記第3および第4の質量が前記面に垂直な反対方向に移動するのを許容する第2のリンク装置とを備える第2の感知サブアセンブリと、

b ) 駆動周波数で前記第2のリンク装置及び前記第2のフレームの一方を振動するための第2のアクチュエータと、

c ) 角速度のY成分による前記第2のリンク装置及び前記第2のフレームの他方の運動を感知するための第2のトランスジューサとを備えるセンサ。

【請求項37】

センサ面の角速度を測定するためのセンサであって、前記センサが、

- a ) 第1の感知サブアセンブリであって、
  - i ) 前記面に平行で平らな第1のフレームと、
  - ii ) 前記面内に配置される第1の質量と、

iii ) 前記第1の質量とともに前記面内に配置される第2の質量と、

iv ) 前記フレーム内に位置し、前記フレームに連結された第1のリンク装置であって、前記第1の質量および前記第2の質量に連結され、前記第1および第2の質量がそれぞれ前記面に垂直な反対方向に移動するのを許容する第1のリンク装置とを備える第1の感知サブアセンブリと、

b ) 駆動周波数で前記第1のリンク装置及び前記第1のフレームの一方を振動するための第1のアクチュエータと、

c ) 前記角速度に応じた前記第1のリンク装置及び前記第1のフレームの他方の第1の運動を感知するための第1のトランスジューサと、

- d ) 第2の感知サブアセンブリであって、
  - i ) 前記面に平行で平らな第2のフレームと、
  - ii ) 前記面内に配置される第3の質量と、

iii ) 前記第3の質量とともに前記面内に配置される第4の質量と、

iv ) 前記第2のフレーム内に位置し、前記第2のフレームに連結された第2のリンク装置であって、前記第3の質量および前記第4の質量に連結され、前記第3および第4の質量がそれぞれ前記面に垂直な反対方向に移動するのを許容し、前記第1のリンク装置と同じ構成および向きを有していて、前記第3の質量が前記第1の質量に対応し、前記第4の質量が前記第2の質量に対応する第2のリンク装置とを備える第2の感知サブアセンブリと、

e ) 駆動周波数で前記第2のリンク装置及び前記第2のフレームの一方を振動するための第2のアクチュエータと、

f ) 前記角速度に応じた前記第2のリンク装置及び前記第2のフレームの他方の第2の運動を感知するための第2のトランスジューサとを備え、

前記第1および第2のトランスジューサからの信号が、前記角速度に応じた前記第1および第2の運動を、前記角速度によらない運動から区別するために結合されるセンサ。

【請求項38】

前記第1の質量および前記第3の質量がそれぞれ前記面に垂直な反対方向に移動するよう、前記第1および第2のリンク装置が駆動される請求項37に記載のセンサ。

【請求項39】

前記第1および第2のフレームが前記面内で回転することができ、前記第1のフレームを

10

20

30

40

50

前記第2のフレームに対して連結するフレーム・リンク装置をさらに備え、前記第1および第2のフレームは前記フレーム・リンク装置により、反対方向への回転が許容される請求項38に記載のセンサ。

【請求項40】

感知面の角速度を測定するためのセンサを製造するための方法であって、前記方法が、

a) ジャイロスコープ・ウェハから感知サブアセンブリをエッチングするステップであって、前記サブアセンブリが、

i) 前記面に平行で平らなフレームと、

i i) 前記フレームに連結されたリンク装置であって、前記面内に配置され、前記面に垂直な反対方向へのそれぞれの移動が許容された第1の質量および第2の質量を備えたリンク装置とを備えるステップと、

b) 駆動周波数で前記リンク装置及び前記フレームの一方を振動するためのアクチュエータを提供するステップと、

c) 前記角速度に応じた前記リンク装置及び前記フレームの他方の運動を感知するためのトランスジューサを提供するステップとを含む方法。

【請求項41】

アクチュエータを提供する前記ステップが、静電アクチュエータ、電磁アクチュエータ、圧電アクチュエータおよび熱アクチュエータからなるグループから選択されるアクチュエータを提供するステップを含む請求項40に記載の方法。

【請求項42】

トランスジューサを提供する前記ステップが、容量性センサ、電磁センサ、圧電センサ、およびピエゾ抵抗センサからなるグループから選択されるトランスジューサを提供するステップを含む請求項40に記載の方法。

【請求項43】

感知サブアセンブリをエッチングする前記ステップが、空気抵抗を低減するために、前記質量のうちの少なくとも一方に孔部をエッチングするステップをさらに含む請求項40に記載の方法。

【請求項44】

感知サブアセンブリをエッチングする前記ステップが、高アスペクト比エッチングを含む請求項40に記載の方法。

【請求項45】

前記高アスペクト比エッチングが、深反応性イオン・エッチングを含む請求項44に記載の方法。

【請求項46】

感知サブアセンブリをエッチングする前記ステップの前に、前記ジャイロスコープ・ウェハを薄くするステップをさらに含む請求項40に記載の方法。

【請求項47】

前記薄くするステップが、研磨ステップを含む請求項46に記載の方法。

【請求項48】

前記薄くするステップが、40ミクロンの厚さを有するジャイロスコープ・ウェハを提供するステップを含む請求項46に記載の方法。

【請求項49】

前記薄くするステップが、前記ジャイロスコープ・ウェハを少なくとも2つの異なる厚さに選択的に薄くして、その結果前記エッチングにより形成される前記質量が前記2つの異なる厚さの厚い方を有するステップを含む請求項46に記載の方法。

【請求項50】

前記エッチングの前に、前記サブアセンブリを形成するために前記ジャイロスコープ・ウェハをフォトリソグラフィによりパターン形成するステップをさらに含む請求項40に記載の方法。

【請求項51】

10

20

30

40

50

前記ジャイロスコープ・ウェハから平らなベースをエッチングするステップであって、前記ベースが前記フレームに平行でありその周囲に位置するステップと、

基準ウェハの頂面に前記ベースを基準接合するステップとをさらに含み、

アクチュエータを提供する前記ステップが、前記基準ウェハの前記頂面上に複数の電極を堆積するステップを含み、

トランジスタを提供する前記ステップが、前記フレームに連結されているフレーム電極を堆積するステップと、前記ベースに連結されているベース電極を堆積するステップとを含み、前記フレームおよびベース電極が容量性センサを備える請求項40に記載の方法。

【請求項52】

10

前記基準接合が、アルミニウム・ゲルマニウム接合、半田接合、インジウム・金接合、共融合金接合およびポリマー結合からなるグループから選択される請求項51に記載の方法。

【請求項53】

前記基準ウェハ内にCMOS回路を形成するステップをさらに含む請求項51に記載の方法。

【請求項54】

前記複数の電極に前記回路を接続するステップと、前記容量性センサに前記回路を接続するステップとをさらに含む請求項53に記載の方法。

【請求項55】

20

前記回路に連結され、前記基準ウェハに対する前記リンク装置の運動を感知するための前記基準ウェハの前記頂面上に位置する電極を堆積するステップをさらに含む請求項53に記載の方法。

【請求項56】

前記基準ウェハの前記頂面内に2つの凹部をエッチングするステップをさらに含み、前記凹部が、前記センサ面に垂直な前記質量の運動を収容するために、前記第1および第2の質量と整合している請求項51に記載の方法。

【請求項57】

感知サブアセンブリをエッチングする前記ステップが、

前記フレームに連結され、また前記第1および第2の質量においてその間に連結されているセンター・プレートをエッチングするステップと、

前記フレームおよび前記第1の質量に連結されている第1の縁部プレートをエッチングするステップと、

前記フレームおよび前記第2の質量に連結されている第2の縁部プレートをエッチングするステップとをさらに含み、

前記プレートが、前記センサ面に平行な、平行回転軸を中心にして回転することができ、

前記リンク装置が、前記センター・プレートと、前記第1および第2の縁部プレートとをさらに備える請求項51に記載の方法。

【請求項58】

40

感知サブアセンブリをエッチングする前記ステップが、

前記センター・プレートを前記フレームに連結している撓み部分の第1のペアをエッチングするステップと、

前記第1の縁部プレートを前記フレームに連結している撓み部分の第2のペアをエッチングするステップと、

前記第2の縁部プレートを前記フレームに連結している撓み部分の第3のペアをエッチングするステップとをさらに含む請求項57に記載の方法。

【請求項59】

感知サブアセンブリをエッチングする前記ステップが、空気抵抗を低減するために、前記プレートのうちの少なくとも一方に孔部をエッチングするステップをさらに含む請求項

50

57に記載の方法。

【請求項 60】

複数の制御電極を堆積する前記ステップが、

前記基準ウェハの前記頂面上の前記第1の縁部プレートの下に位置し、所定の距離(d)だけ前記第1の縁部プレートから分離している第1の縁部分割電極を堆積するステップと、

前記基準ウェハの前記頂面上の前記第2の縁部プレートの下に位置し、前記距離(d)だけ前記第2の縁部プレートから分離している第2の縁部分割電極を堆積するステップと、

前記基準ウェハの前記頂面上の前記センター・プレートの下に位置し、前記距離(d)だけ前記センター・プレートから分離しているセンター分割電極を堆積するステップとを含む請求項57に記載の方法。 10

【請求項 61】

前記距離(d)を画定するために、前記基準ウェハの前記頂面上にスタンドオフを堆積するステップをさらに含む請求項60に記載の方法。

【請求項 62】

前記距離(d)を画定するために、前記ベース上にスタンドオフをエッチングするステップをさらに含む請求項60に記載の方法。

【請求項 63】

センター・プレートをエッチングする前記ステップが、前記第1の質量に連結されている第1のレバー・アームをエッチングするステップと、前記第2の質量に連結されている第2のレバー・アームをエッチングするステップとをさらに含み、それにより前記センター・プレートの回転に応じた前記センサ面に垂直な前記質量の運動が増大する請求項57に記載の方法。 20

【請求項 64】

第1の縁部プレートをエッチングする前記ステップが、前記第1の質量に連結されているレバー・アームをエッチングするステップをさらに含み、それにより前記第1の縁部プレートの回転に応じた前記センサ面に垂直な前記第1の質量の運動が増大する請求項57に記載の方法。

【請求項 65】

第2の縁部プレートをエッチングする前記ステップが、前記第2の質量に連結されているレバー・アームをエッチングするステップをさらに含み、それにより前記第2の縁部プレートの回転に応じた前記センサ面に垂直な前記第2の質量の運動が増大する請求項57に記載の方法。 30

【請求項 66】

前記フレームに前記ベースを連結する複数の撓み部分をエッチングするステップをさらに含む請求項51に記載の方法。

【請求項 67】

感知サブアセンブリをエッチングする前記ステップが、前記ベースの方を向いている前記フレームの表面に溝をエッチングするステップをさらに含み、平らなベースをエッチングする前記ステップが、前記ベースから前記フレームの方向に延び、前記溝と係合しているタブをエッチングするステップをさらに含み、前記タブと前記溝の組合せが、前記フレームの運動の範囲を許容し、それにより前記撓み部分を保護する請求項66に記載の方法。 40

【請求項 68】

前記フレームを前記基準ウェハに連結する複数の撓み部分をエッチングするステップと、

前記ベースから前記撓み部分を分離している複数のベース分離トレンチをエッチングするステップとをさらに含み、

それにより前記ベースの応力が前記撓み部分に伝わらない請求項51に記載の方法。 50

**【請求項 6 9】**

前記基準ウェハの前記頂面から前記撓み部分を分離している複数の基準分離トレンチをエッティングするステップをさらに含み、

それにより前記基準ウェハの前記頂面の応力が前記撓み部分に伝わらない請求項 6 8 に記載の方法。

**【請求項 7 0】**

シリコン・キャップ・ウェハの底面に前記ベースをキャップ接合するステップをさらに含む請求項 5 1 に記載の方法。

**【請求項 7 1】**

前記キャップ接合が、ガラス接合、金共融接合、半田接合、Si - Si 溶融接合、および Si - SiO<sub>2</sub> 溶融接合からなるグループから選択される請求項 7 0 に記載の方法。 10

**【請求項 7 2】**

前記キャップ接合が、前記基準接合と等しいかより高い温度で行われ、前記キャップ接合が、前記基準接合前に行われる請求項 7 0 に記載の方法。

**【請求項 7 3】**

前記感知サブアセンブリの運動を収容するように、前記キャップ・ウェハの前記底面内に凹部をエッティングするステップをさらに含む請求項 7 0 に記載の方法。

**【請求項 7 4】**

前記キャップ接合が、第 1 の密封接合を含み、前記基準接合が第 2 の密封接合を含み、それにより前記感知サブアセンブリを囲む密封エンクロージャを提供する請求項 7 0 に記載の方法。 20

**【請求項 7 5】**

前記密封エンクロージャ内の圧力を、大気圧とは異なる圧力に変えるステップをさらに含む請求項 7 4 に記載の方法。

**【請求項 7 6】**

前記第 1 の密封接合が第 1 の共融金属シールを含み、前記第 2 の密封接合が第 2 の共融金属シールを含む請求項 7 4 に記載の方法。

**【請求項 7 7】**

前記フレームを前記キャップ・ウェハに連結する複数の撓み部分をエッティングするステップと、 30

前記ベースから前記撓み部分を分離する複数のベース分離トレンチをエッティングするステップとをさらに含み、

それにより前記ベースの応力が前記撓み部分に伝わらない請求項記 7 0 載の方法。

**【請求項 7 8】**

前記キャップ・ウェハの前記底面から前記撓み部分を分離している複数のキャップ分離トレンチをエッティングするステップをさらに含み、それにより前記キャップ・ウェハの前記底面の応力が、前記撓み部分に伝わらない請求項 7 7 に記載の方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は、角速度センサに関し、特に、2つの振動に影響されない質量を有する面内角速度センサに関する。

**【背景技術】****【0 0 0 2】**

角速度の感知は、多くの場合、慣性センサにより行われる。慣性角速度センサは、広義の意味でいえば、センサに第 1 の運動を起こさせ、第 1 の運動および感知する角速度の両方に反応するセンサの第 2 の運動を測定することにより機能する。

**【0 0 0 3】**

多くの場合、センサ内の質量（通常、ブルーフ質量と呼ばれる）は、アクチュエータにより振動を起こす。センサが回転すると、角速度（または回転速度）に比例し、ブルーフ 50

質量の速度ベクトルに対する角速度ベクトルの向きに依存する、振動質量にコリオリ力が加わる。コリオリ力、角速度ベクトルおよび質量速度ベクトルは、相互に直交している。例えば、Y軸を中心にして回転するセンサ内をX方向に移動するプルーフ質量は、Z方向のコリオリ力を受ける。同様に、Z軸を中心にして回転するセンサ内をX方向に移動するプルーフ質量は、Y方向のコリオリ力を受ける。最後に、X軸を中心にして回転するセンサ内をX方向に移動するプルーフ質量は、コリオリ力を受けない。プルーフ質量にかかるコリオリ力は、通常、コリオリ力に応じるセンサ内の運動を測定することにより間接的に感知される。

#### 【0004】

最近、微細加工技術（MEMS技術とも呼ばれる）が開発され、それにより種々のMEMS角速度慣性センサが開発された。MEMS技術は、基本的には平面技術であり、面内運動を起こすのに適しているMEMSアクチュエータは、面外運動を起こすのに適しているMEMSアクチュエータとはかなり異なる傾向にある。同様に、コリオリ力に応じる面内運動を測定するのに適しているMEMSセンサは、コリオリ力に応じる面外運動を測定するのに適しているMEMSセンサとはかなり異なる傾向にある。これらの違いは、構造上の違いもあるし、性能上の違いもある。

10

#### 【0005】

面内MEMS角速度センサは、上記の質量速度、角速度、およびコリオリ力が直交していることによる面内角速度成分を検出するために、面外運動を起こすか、または面外運動を感知しなければならない。対照的に、面外MEMS角速度センサは、面外角速度成分を検出するために、2つの直交する面内運動を起こし、感知することができる。MEMS技術の平面的性質のために、面内MEMSセンサおよび面外MEMSセンサは、かなり異なる傾向がある。

20

#### 【0006】

ある周知の面内MEMS角速度センサは、振動を起こさせる2つのプルーフ質量を有する。例えば、Cardarelliの特許文献1は、面内MEMSセンサを教示している。Cardarelliの座標の場合には、デバイス面はYZ面内に位置する。第1の実施形態の場合には、Cardarelliは、+/-Y方向（すなわち、面内）で振動した2つの質量を教示している。Z軸を中心とする角速度により、2つの質量の上にX方向のコリオリ力がかかる。2つの質量は、質量上のX方向の力が、ジンバル上にZ方向のトルクを加えるように、Z軸を中心にして回転することができるジンバルに取り付けられている。2つの質量は、反対方向の速度を有するように振動し、そのため2つのコリオリ力は、Z軸を中心にしてジンバル上に正味のトルクを加える。Z軸を中心とするジンバルの運動が感知される。

30

#### 【0007】

第2の実施形態の場合には、Cardarelliは、+/-X方向（すなわち、面外）で振動する2つの質量を教示している。Z軸を中心とする角速度により、2つの質量上にY方向のコリオリ力が加わる。2つの質量は、質量上のY方向の力が、ジンバル上にZ方向のトルクを加えるように、Z軸を中心にして回転することができるジンバルに取り付けられている。2つの質量は、反対方向の速度を有するように振動し、そのため2つのコリオリ力は、Z軸を中心にしてジンバル上に正味のトルクを加える。Z軸を中心としたジンバルの運動が感知される。

40

#### 【0008】

McCull他他の特許文献2は、振動する2つのプルーフ質量を有するもう1つの周知の面内MEMS角速度センサを教示している。McCull他は、デバイス面内に横方向に配置されていて、この面の方向に相互に位相からずれて振動する2つの連結されていない質量を有する面内MEMSセンサを教示している。説明を分かりやすくするために、デバイス面をXY面とし、振動はX方向を向いているものとしよう。Z方向のコリオリ力のためにセンサがY軸を中心にして回転すると、質量はZ方向に振動する。質量のZ方向の振動が感知される。

50

## 【0009】

Cardarelli のアプローチも、 McCaill 他のアプローチも、角速度の測定から「共通モード」の干渉を排除するためのものである。例えば、1つのプルーフ質量を有する角速度センサは、コリオリ力を感知するのと同じ方向の線加速度を受けると、測定値が不正確になる恐れがある。2つの質量を使用した場合には、コリオリ力に反応する上記のものを含めて種々の装置が可能になるが、通常、コリオリ力と同じ方向の線加速度には反応しない。通常、このような装置は、その速度がいつでも等しく反対方向を向くように、2つの質量の駆動に依存する。速度が等しく反対方向を向いていなければならぬという条件から少しでもずれると不利になる。何故なら、このようなずれは、コリオリ力への所望のレスポンスを低減し、線加速度への望ましくないレスポンスを増大するからである。

10

## 【0010】

しかし、実際には、2つの質量を同じ大きさであるが反対方向の速度で駆動するのは簡単ではない。例えば、2つの名目上同じものであり、同じように装着されている質量が実際には異なっている場合があり、そのため同じ作動力でこれら2つの質量を作動すると、等しくなく、反対方向の速度となる。同様に、アクチュエータの効果も変化する傾向があり、そのため、2つの質量が同じであり、同じように装着しても、2つの質量に連結されているアクチュエータ内の変動により、この場合も、等しくない反対方向の質量速度となる恐れがある。同様に、アクチュエータに連結されている回路も同じでない等の問題がある。その結果、今まで、周知のように、2つの質量面内角速度センサは、2つの質量の構成が約束する共通モード排除を完全に実現したことはない。

20

【特許文献1】米国特許第6,481,283号明細書

【特許文献2】米国特許第6,508,122号明細書

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0011】

それ故、本発明の1つの目的は、2つの質量が反対方向に移動するのを機械的に制限し、それにより共通モード排除を改善することにより、測定精度が改善された面内角速度センサを提供することにある。

## 【0012】

30

本発明のもう1つの目的は、感知および駆動電子回路を垂直方向に集積することによりコストを抑えた角速度センサを提供することにある。

本発明のさらにもう1つの目的は、低コストの密封包装を有する角速度センサを提供することにある。

## 【0013】

本発明のさらにもう1つの目的は、行程距離の長いより大きなプルーフ質量を提供するバルクMEMS技術の使用により、性能を改善した角速度センサを提供することにある。

本発明のさらにもう1つの目的は、質量行程距離を長くするために、質量に取り付けられているレバー・アームを有する捻れ力により装着され、静電的に駆動されるプレートの使用により、性能が改善され、コストの安い角速度センサを提供することにある。

40

## 【0014】

本発明のさらにもう1つの目的は、同じデバイス・ダイ上に集積したX軸角速度センサおよびY軸角速度センサを有する低コストの二重軸面内ジャイロスコープ・モジュールを提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0015】

本発明は、面内に横方向に配置されていて、フレームに間接的に連結されている2つの質量を有する面内角速度センサを提供する。2つの質量は、これら質量が、Z方向に沿って反対方向に移動するように（すなわち、一方の質量が+Z方向に移動すると、他方の質量が-Z方向に移動し、その逆も行うように）、リンク装置により一緒に連結されている

50

。ここで、Zは、面外方向である。面内角速度は、2つの質量をZ方向に反対位相で振動させ、それによりフレームに加わる角振動の振幅を測定することにより感知することができる。別の方針としては、フレームをZ軸を中心にして角振動させ、それにより2つの質量に加わるZ方向の反対位相の振動の振幅を測定することにより、面内角速度を感知することができる。

#### 【0016】

好ましい実施形態の場合には、フレーム、2つの質量およびリンク装置は、ジャイロスコープ・ウェハを形成するためのバルク微細加工（MEMS）技術により、1つのシリコン・ウェハから製造される。もう1つの好ましい実施形態の場合には、ジャイロスコープ・ウェハの素子を運動させ、感知するための回路は、ジャイロスコープ・ウェハに固定される基準ウェハを形成するために、1つのシリコン・ウェハに内蔵されている。この実施形態の場合には、ジャイロスコープ・ウェハが、キャップ・ウェハと基準ウェハとの間にサンドイッチ状に挟まれるように、1つのシリコン・ウェハからキャップ・ウェハを製造し、このキャップ・ウェハをジャイロスコープ・ウェハに固定することも好ましい。このようにして、ジャイロスコープ・ウェハの素子を環境から保護するための密封バリアを形成することができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0017】

図1は、本発明の好ましい実施形態によるジャイロスコープ・ウェハ20の概略平面図である。図1の実施形態の場合には、図に示す種々の素子は、好適には、1つのシリコン・ウェハから製造することが好ましい。最初に、ジャイロスコープ・ウェハ20の機械構成について説明し、その後でその動作について説明する。最後に、ジャイロスコープ・ウェハ20の製造について説明する。

#### 機械的構成

図1の実施形態の場合には、センター・プレート28が、捻れヒンジ28Aによりフレーム34に取り付けられていて、このヒンジによりセンター・プレート28は、図1のX軸を中心にして回転することができる。ヒンジ28Aは、また、その位置をX-Y面内の名目的な位置に戻そうとするプレート28上に復元トルクを提供することができる。ブルーフ質量22は、ヒンジ58によりセンタ・プレート28に取り付けられ、ブルーフ質量24は、ヒンジ56によりセンタ・プレート28に取り付けられている。センター・プレート28、ブルーフ質量22およびブルーフ質量24のサブアセンブリは、ブルーフ質量22および24が必ずZ軸に沿って反対方向に移動するように一緒にリンク装置を形成している。

#### 【0018】

好適には、追加の素子を下記のようにリンク装置に内蔵させることが好ましい。すなわち、第1の縁部プレート26が、ヒンジ60によりブルーフ質量22に取り付けられ、捻れヒンジ26Aによりフレーム34に取り付けられ、第2の縁部プレート30が、ヒンジ54によりブルーフ質量24に取り付けられ、捻れヒンジ30Aによりフレーム34に取り付けられる。捻れヒンジ26Aおよび30Aにより、プレート26および30は、それぞれ、図1のX軸を中心にして回転することができ、また、プレート26および30の位置をX-Y面内のその名目位置に戻そうとする復元トルクを、それぞれプレート26および30に提供することができる。

#### 【0019】

フレーム34は、複数の固定具32によりベース36に取り付けられている。固定具32は、フレーム34がZ軸を中心にしてその名目位置とは異なる位置に回転した場合に、フレーム34に復元トルクを提供するように配置されている。図1は、フレーム34の周辺の周りに対称的に配置されている4つの固定具32を示す。図1の構成のようなフレーム34に対して優れた機械的な支持を行っている対称的な固定具構成が好ましいが、本発明は、このような固定具の構成を必ず必要とするものではない。

#### 【0020】

10

20

30

40

50

ベース36に対するフレーム34の回転は、フレーム34とベース36との間に位置していて、これらフレームおよびベースと連結されている容量センサにより感知することができる。別 の方法としては、フレーム34とベース36との間に位置していて、これらフレームおよびベースと連結されている静電アクチュエータにより、Z軸を中心にしてフレーム34を角振動させることができる。当業者にとって、このような容量センサおよび静電アクチュエータの種々の構成は周知のものであり、多くの場合、特定の電極構成が各機能を提供することができる。

【0021】

図5の参照番号38A、38Bおよび38C、および40A、40Bおよび40Cは、ベース36に対するフレーム34の相対的角運動を感じし、および/または起こさせるのに適している2つの例示としての電極構成の概略を示す。好適には、これらまたは類似の電極構成は、フレーム34の周辺の回りに対称的に配置することができる。本発明を実行するには、特殊な電極構成を必要としない。

10

【0022】

図1のフレーム34内の素子（すなわち、質量22および24、およびプレート26、28および30を含む好適なリンク装置）は、ヒンジ26A、28Aおよび30Aだけでフレーム34に取り付けられている。フレーム34と質量22および24との間にはギャップが存在している。これらのヒンジ用の取付点のところ以外に、フレーム34とプレート26、28および30との間にもギャップがある。これらのギャップは十分広いので、リンク装置は、フレーム34と衝突しないでその設計範囲を通して移動することができる。これらのギャップは図1には示していない。

20

【0023】

図2は、本発明の一実施形態の概略断面図である。この断面図は、I線に沿って切断した図1のジャイロスコープ・ウェハ20の断面図を含む。好適には、図1のジャイロスコープ・ウェハ20は、図2に示すように、ジャイロスコープ・ウェハ20が、キャップ・ウェハ42と基準ウェハ44との間にサンドイッチ状に挟まれるように、キャップ・ウェハ42および基準ウェハ44に固定することが好ましい。このような構成により、キャップ・ウェハ42および基準ウェハ44は、協力してジャイロスコープ・ウェハ20を周囲の環境から保護し、それによりセンサの信頼性および丈夫さを増大する。さらに、移動する質量22および24のような、ジャイロスコープ・ウェハ20の重要な素子と周囲環境との間に密封バリアを形成するために、ジャイロスコープ・ウェハ20とウェハ42および44との間を接合することができる。

30

【0024】

質量22および24、およびプレート26、28および30を含むリンク装置の運動は、図2、図11aおよび図11bを参照した場合に最もよく理解することができる。図2の点26B、28Bおよび30Bは、それぞれ捻れヒンジ26A、28Aおよび30Aと整合しているので、プレート26、28および30は、点26B、28Bおよび30Bを中心にして、それぞれ図2の面（Y-Z面）内を回転することができる。このリンク装置の構成要素は、隣接する構成要素の相対的並進を防止する固定具ヒンジ54、56、58および60により一緒に連結されているが、Y-Z面内では、隣接する構成要素は相対的回転を行うことができる。

40

【0025】

それ故、質量22が図2上で+Z方向に移動すると（すなわち、図2上で上に移動すると）、プレート28は、点28Bを中心にして時計方向に回転し、質量24は、-Z方向に移動しなければならない。一方、プレート26および30は図11bに示すように、反時計方向に回転する。同様に、質量22が-Z方向に移動すると、プレート28は、反時計方向に回転し、質量24は、+Z方向に移動し、一方、プレート26および30は、図11aに示すように、時計方向に回転する。すなわち、質量22、質量24およびプレート26、28および30からなるリンク装置により、質量22および24は、必ずZ軸に沿って反対方向に移動する。すでに説明したように、フレーム34とプレート26との間

50

、およびフレーム 34 とプレート 30 の間には、図 2 を見れば分かるようにギャップがある。

【0026】

キャップ・ウェハ 42 および基準ウェハ 44 は、ジャイロスコープ・ウェハ 20 のベース 36 に取り付けられていて、図 2 に示すように、ジャイロスコープ・ウェハ 20 の他のどの構成要素とも接触しない。撓み部分 32 およびフレーム 34 はキャップ・ウェハ 42 とは接触しないし、または基準ウェハ 44 とも接触しないので、これらのウェハは、Z 軸を中心とするフレーム 34 の回転に干渉しない。図 2 の参照番号 46 は、基準ウェハ 44 とベース 36 との間の接続の概略を示す。接続 46 は、基準ウェハ 44 とベース 36 との間の機械的接続もあるし、基準ウェハ 44 とベース 36 との間の電気的接続もある。このようにして、基準ウェハ 44 上の回路は、図 5 の電極 38A、38B、38C または電極 40A、40B、40C のようなジャイロスコープ・ウェハ 20 の感知 / 駆動手段と接続している。

【0027】

電極 48A および 48B は、プレート 30 の下の基準ウェハ 44 上に位置する。電極 48A および 48B は、図 2 の点 30B で示すように、プレート 30 の回転軸のどちらかの側面上に位置する。同様に、電極 50A および 50B は、プレート 28 の下に位置していて、電極 52A および 52B はプレート 26 の下に位置する。

【0028】

図 3 は、図 1 の撓み部分 32 の好適な構成の簡単ではあるが、より詳細な平面図である。図 3 の構成の場合には、撓み部分 32 は、スプリング 32' およびベース撓み部分マウント 66 を備える。図 3 に示すように、マウント 66 へのスプリング 32' の取付点は、マウント 66 内に凹状に窪んでいて、同様に、フレーム 34 に対しても凹状に窪んでいて、マウント 66 からスプリング 32' への、およびフレーム 34 からスプリング 32' への表面応力の伝達を低減している。

【0029】

ベース撓み部分マウント 66 は、ベース 36 の応力から撓み部分 32 を機械的に絶縁する働きをするベース分離トレーナ 41A で囲まれている。このような応力は、包装および / または接合プロセス、熱膨張等の結果として、キャップ・ウェハ 42 および基準ウェハ 44 によりベース 36 に伝えることができる。図 3 は、またフレーム溝 64 と係合しているベース・タブ 62 も示す。フレーム溝 64 は、図 3 に概略的に示すように、ベース・タブ 62 の幅より若干長いために、フレーム 34 は、ベース・タブ 62 がフレーム溝 64 の壁部に突き当たる前に、ベース 36 に対してある選択した範囲内だけを回転することができる。この選択した範囲は、選択した範囲内の動きにより撓み部分 32 が決して損傷を受けないように選択される。このようにして、タブ 62 と溝 64 の組合せが、撓み部分 32 を保護する。

【0030】

図 4 の断面図は、撓み部分 32 の好適な構成の詳細図である。図 4 は、II 線に沿って切断した図 3 の断面図を含む。II 線は、スプリング 32' の間近に隣接しているが、スプリングを切断しているわけではなく、これがスプリング 32' が図 4 の断面図として図示されていない理由である。ベース撓み部分マウント 66 は、キャップ・ウェハ 42 に固定されていて、接続部 46B を通して基準ウェハ 44 に連結されている。このようにして、撓み部分 32 は、キャップ・ウェハ 42 および基準ウェハ 44 に連結されていて、ベース 36 から絶縁されている。このことは有利である。何故なら、キャップ・ウェハ 42 および基準ウェハ 44 は、通常、ベース 36 より遥かに厚く（ジャイロスコープ・ウェハ 20 の典型的な厚さは 50 ミクロンにしか過ぎない）、そのため撓み部分 32 を固定するための機械的剛性が遥かに大きくなるからである。図 4 は、また、基準分離トレーナ 41C およびキャップ分離トレーナ 41B も示す。基準分離トレーナ 41C は、基準ウェハ 44 の頂面（すなわち、ベース 36 に接合している基準ウェハ 44 の表面）内に位置しているかもしれない応力から撓み部分 32 を絶縁する働きをする。同様に、キャップ分離トレ

10

20

30

40

50

チ41Bは、キャップ・ウェハ42の底面(すなわち、ベース36に接合しているキャップ・ウェハ42の表面)内に位置しているかもしれない応力から、撓み部分32を絶縁する働きをする。図3および図4の湾曲部構成の場合でも、撓み部分32は、スプリング32'およびベース・マウント66を有することが好ましいが、このことは本発明を実行するために必ずそうしなければならないものではない。

#### 【0031】

図6は、捻れヒンジ26Aおよび曲げヒンジ60の好適な構成の詳細図である、ジャイロスコープ・ウェハ20の一部の概略拡大平面図である。図6に示すように、プレート26は、捻れヒンジ26Aによりフレーム34に取り付けられている。捻れヒンジ26Aの構成は、プレート26が複数の捻れヒンジ26Aの中心を連結している軸を中心にして回転できるようになっている。図6に示すように、捻れヒンジ26Aの長さを増大するためには、プレート26内にはスロットが形成されている。このようにスロットが形成されているのは、プレート26の所与の回転を収容するために、捻れヒンジ26A上の必要な歪みを低減するためである。

10

#### 【0032】

プレート26は、曲げヒンジ60により質量22に連結されている。曲げヒンジ60の構成は、質量26に対してプレート22が傾くことができるようになっている(逆も行われる)。図6に示すように、プレート26に対する質量22の所与の傾斜を収容する目的で、曲げヒンジ60上に必要な歪みを低減するために、曲げヒンジ60の長さを増大するためにスロットが質量22内に形成されている。

20

#### 【0033】

曲げヒンジ58、56および54の構成は、好適には、図6の曲げヒンジ60の構成に類似していることが好ましい。同様に、好適には、捻れヒンジ28Aおよび30Aの構成は、図6の捻れヒンジ26Aの構成に類似していることが好ましい。図6のヒンジ構成は、本発明の好ましい実施形態に関連する。本発明を実施するために、特定のヒンジ構成を必要とするものではない。

#### 動作

図1および図2の実施形態は、2つの動作モードを有する。第1の好適な動作モードの場合には、質量22および24が振動し、Y方向の角速度を測定するためにフレーム34の運動が感知される。第2の動作モードの場合には、フレーム34が振動し、Y方向の角速度を測定するために質量22および24の運動が感知される。これら2つの方法を順番に考察する。

30

#### 【0034】

第1の好適な動作モードは、リンク装置を振動するためのアクチュエータを含む。図1および図2の実施形態の場合には、図2の電極48A、48B、50A、50B、52Aおよび52Bが、静電アクチュエータを形成している。電極48A、48B、50A、50B、52Aおよび52Bは、静電相互作用によりプレート30、28および26と相互に作用する。この場合、電極と対応するプレート間の電位差が大きくなると力も増大する。プレート26、28および30は、通常、同じ電位に保持され、一般性を失わぬで電位のゼロ基準まで下げることができる。

40

#### 【0035】

好適には、電極48A、48B、50A、50B、52Aおよび52Bは、図2に示すように、分割電極であることが好ましい。その主な理由は、プレートと電極との間の静電相互作用は、(反発力の代わりに)引力になる傾向があるからである。そのため、どちらかの方向にトルクを提供するために、図2に示すように、回転軸のどちらかの側面上に電極素子が必要になる。好適には、電極48A、48B、50A、50B、52Aおよび52Bと対応するプレート(それぞれ30、28、26)間のギャップは、アクチュエータの運動のための適当な隙間を保持しながら、プレートの所与の回転を得るために必要な電圧をできるだけ低減するために、製造中にギャップの高さdに正確に制御することが好ましい。好適には、電極48A、48B、50A、50B、52Aおよび52Bは、質量2

50

2 および 2 4 、質量 2 2 および 2 4 の振動を有するプレート 2 6 、 2 8 および 3 0 が形成するリンク装置の振動モードを、Z 方向（すなわち、面外方向）において位相が相互に実質的にずれるように励起するには、協力するように電気的に駆動されることが好ましい。図 1 1 a および図 1 1 b は、この振動モードに対応するリンク装置の運動の略図である。

#### 【 0 0 3 6 】

また好適には、プレート 2 6 は、質量 2 2 の方向に延びるレバー・アームを含むことが好ましく、プレート 3 0 は、質量 2 4 の方向に延びるレバー・アームを含むことが好ましく、プレート 2 8 は、両方の質量 2 2 および 2 4 の方向に延びるレバー・アームを含むことが好ましい。図 1 はこれらすべてを示す。レバー・アームが、プレート 2 6 、 2 8 および 3 0 から伸びているために、曲げヒンジ（5 4 , 5 6 , 5 8 , 6 0 ）とプレート回転軸（2 6 B , 2 8 B , 3 0 B ）間の距離が増大し、それによりプレートの所与の回転による質量 2 2 および 2 4 の変位が増大する。このような変位の増大は、ジャイロスコープの性能を改善するために、および / またはより安いコストで所望の性能レベルにするために非常に望ましいことである。質量 2 2 および 2 4 の増大した行程を収容するために、質量 2 2 および 2 4 の下の基準ウェハ 4 4 内に、凹部 4 5 および 4 7 がそれぞれ形成される。キヤップ・ウェハ 4 2 も、ジャイロスコープ・ウェハ 2 0 のすべての可動部分を収容するための十分な隙間を有することができるよう構成される。

#### 【 0 0 3 7 】

ジャイロスコープ・ウェハ 2 0 が、角速度  $w_y$  で Y 軸を中心にして回転すると、質量 2 2 および 2 4 は、ジャイロスコープ・ウェハ 2 0 の基準フレーム内で振動する X 方向のコリオリ力を受ける。質量 2 2 および 2 4 上のコリオリ力は、X 軸に沿って反対方向を向いている。何故なら、2 つの質量は、Z 軸に沿って反対方向に移動するからである。質量 2 2 および 2 4 上のコリオリ力は、Z 軸を中心にしてフレーム 3 4 上に振動トルクを誘起し、これによりフレーム 3 4 は角振動を起こす。フレーム 3 4 の角振動の振幅は、 $w_y$  に依存するので（理想的には、振幅は  $w_y$  に比例することが好ましいが）、この振幅を測定すれば角速度  $w_y$  を測定することができる。

#### 【 0 0 3 8 】

ジャイロスコープの感度を改善するために、好適には、ジャイロスコープ構造体の機械共振を利用することが好ましい。それ故、好適には、質量 2 2 および 2 4 を含むリンク装置を、基本的リンク装置共振モード周波数に等しいか、ほぼ等しい周波数で駆動することが好ましい。好適には、基本的リンク装置共振モード（すなわち、最も低い周波数のメカニカル・モード）は、図 1 1 a および図 1 1 b に示すように、質量 2 2 および 2 4 の逆位相振動に対応することが好ましい。このような対応は、リンク装置およびその支持撓み部分の設計中に確実に行うことができる。駆動周波数をリンク装置の固有周波数のところまたはその近くに選択することにより、所与のアクチュエータ力により供給するリンク装置の運動が増大する。

#### 【 0 0 3 9 】

また、好適には、基本的フレーム共振モードを、確実に Z 軸を中心とするフレーム 3 4 の剛体角振動に対応させることができることが好ましい。このことは、フレーム 3 4 および撓み部分 3 2 を適当に設計することにより行うことができる。さらに、好適には、フレーム基本周波数は、リンク装置の基本周波数より高いことが好ましい。そうすると、確実に、駆動周波数が、周波数において、フレーム 3 4 の任意の他の共振モードよりもフレーム 3 4 の基本モードに近くなり、それによりジャイロスコープの動作と干渉する恐れがある、フレーム 3 4 の高次メカニカル・モードの励起が最小限度まで低減する。

#### 【 0 0 4 0 】

この実施形態の場合には、フレーム 3 4 の角振動の振幅は、トランスジューサにより感知される。好適には、トランスジューサは、フレーム 3 4 およびベース 3 6 の間に位置していて、これらフレームおよびベースに連結されている容量性センサであることが好ましい。図 5 は、このような容量性センサの適当な電極構成を示す。図 5 の参照番号 3 8 A 、 3 8 B および 3 8 C が示す構成は、木構成と呼ばれ、一方、図 5 の参照番号 4 0 A 、 4 0

10

20

30

40

50

B および 40C が示す構成は、半径構成と呼ばれる。

【0041】

木構成の場合、電極 38A はフレーム 34 に取り付けられ、フレーム 34 と一緒に移動し、一方、電極 38B および 38C は、両方ともベース 36 に取り付けられていて、フレーム 34 と一緒に移動しない。1つの電極 38A、1つの電極 38B および 1つの電極 38C からなる「ユニット・セル」は、フレーム 34 とベース 36 との間の領域で必要に応じて反復して配置することができる。図 5 は、2つのこのようない「ユニット・セル」を示す。電気的に、すべての電極 38A は、相互に連結されていて、すべての電極 38B は相互に連結されていて、すべての電極 38C は相互に連結されている。それ故、2つのコンデンサ、すなわち、電極 38A と 38B との間のコンデンサ A B、および電極 38A と 38C の間のコンデンサ A C が形成される。電極 38B が電極 38C に連結されていないこのような配置は、スプリット・フィンガー構成と呼ばれる。フレーム 34 の運動がコンデンサ A B および A C の容量を変えるので、回路でこれらの容量を測定すれば、フレーム 34 の運動を感知することができる。好適には、このような回路は、基準ウェハ 44 上に位置することが好ましい。

【0042】

同様に、半径構成の場合、電極 40A はフレーム 34 に取り付けられていて、フレーム 34 と一緒に移動し、一方、電極 40B および 40C は、ベース 36 に取り付けられていて、フレーム 34 と一緒に移動しない。この場合も、2つのコンデンサが形成され、(好適には、基準ウェハ 44 上に位置することが好ましい) 回路でこれらの容量を測定すれば、フレーム 34 の運動を感知することができる。

【0043】

第 2 の動作モードの場合には、フレーム 34 は、Z 軸を中心にして角振動を起こし、この角振動により X 軸に沿って質量 22 および 24 の逆位相振動が起こる。ジャイロスコープ・ウェハ 20 が、角速度  $w_y$  で Y 軸を中心にして回転すると、フレーム 34 の振動が、質量 22 および 24 上に振動する Z 方向のコリオリ力を誘起する。これにより質量 22 および 24 を含むリンク装置が振動する。リンク装置の振動の振幅は、 $w_y$  に依存するので(理想的には、振幅は  $w_y$  に比例することが好ましい)、この振幅を測定すれば角速度  $w_y$  を測定することができる。

【0044】

この第 2 の動作モードは、第 1 の好適な動作モードに類似しているので、下記の違いはあっても上記説明を適用することができる。

1) 第 2 の動作モードは、フレーム 34 を角振動させるためのアクチュエータを含む。フレーム 34 およびベース 36 に連結されている静電アクチュエータは、フレーム 34 を角振動させるための 1 つの適している手段である。このような静電アクチュエータは、図 5 の構成を含む種々の電極構成を有することができる。

【0045】

2) 第 2 の動作モードの場合、好適には、フレームをその基本共振周波数でまたはその近くの周波数で駆動することが好ましく、また好適には、リンク装置の基本周波数をフレームの基本周波数より高くすることが好ましい。

【0046】

3) 第 2 の動作モードは、リンク装置の振動を感知するためのトランスジューサを含む。リンク装置に連結されている容量性センサは、適当なトランスジューサである。

図 2 の電極 48A、48B、50A、50B、52A および 52B は、このような容量性センサを供給する。電極 52A および 52B 上のプレート 26 の運動は、電極 52A とプレート 26 との間のキャパシタンスを測定することにより、また電極 52B とプレート 26 との間のキャパシタンスを測定することにより感知される。プレート 28 および 30 の運動も同様に感知される。

【0047】

両方の動作モードの場合、本発明のある実施形態による角速度センサは、都合のよいこ

10

20

30

40

50

とに、センサが受ける任意の線加速度による誤差を低減する。第1の動作モードの場合、感知する運動は、フレーム34の角振動であり、センサの線加速度は、このような運動を誘起する傾向にない。第2の動作モードの場合、感知される運動は、質量22および24の逆位相振動であり、この場合も、感知した運動は、直線加速度を誘起する傾向にある運動ではない。例えば、Z方向の線加速度は、質量22および24の(逆位相とは反対の)同位相の振動を誘起しようとする。

#### 製造

好ましい実施形態の場合には、上記の構造および動作を有する角回転センサ(またはジャイロスコープ)は、(MEMS技術とも呼ばれる)微細加工技術により製造される。2つのタイプのMEMS技術、すなわち、バルクMEMS技術および表面MEMS技術は周知である。バルクMEMS技術は、本発明にとって好適なものである。何故なら、バルクMEMSのブルーフ質量(すなわち、質量22および24)は、より大きな質量を有することができ、表面MEMSのブルーフ質量よりも広い範囲で運動することができるからである。図7a～図7d、図8a～図8d、図9a～図9dおよび図10a、図10bは、本発明の実施形態を製造するのに適している例示としての製造シーケンスの略図である。

#### 【0048】

図7a～図7dは、キャップ・ウェハ42を製造するのに適しているステップのシーケンスの略図である。図7aの場合には、キャップ・ウェハ42は、背面整合マーク72によりパターン形成される。マーク72は、反応性イオン・エッティング(RIE)により形成することができる。図7aから図7bに移動する間に、整合マーク72の反対側のキャップ・ウェハ42の表面が清掃され、次に、酸化物層70を形成するために熱的に酸化される。酸化物層70は、好適には、厚さが約0.5ミクロンであり、水を含む周囲環境で(例えば、1000より高い)高温にウェハ42'を加熱することにより作ることができるものであることが好ましい。図7bから図7cに移動する間に、酸化物層70は、図7cに概略示すように、リソグラフィ装置によりパターン形成される。図7cから図7dに移動する間に、酸化物層70により保護されていないキャップ・ウェハ42の材料は、約100ミクロンの深さまでエッティングされる。深RIE(DRIE)は、このステップに適しているエッティング方法である。このプロセス中のこの時点で、キャップ・ウェハ42は、図2に示す構成になる。エッティングの後で、キャップ・ウェハ42は、溶融接合のための準備中に清掃される。適当な清掃ステップは、高温(300以上)灰化ステップおよび過酸化硫黄浸漬(sulfuric peroxide dip)ステップを含む。使用する清掃方法は、パターン形成された酸化物層70を無傷のまま残さなければならない。

#### 【0049】

図8a～図8dは、ジャイロスコープ・ウェハ20を製造するにの適している処理ステップのシーケンスの略図である。好適には、ジャイロスコープ・ウェハ20は、プライム低全厚変動(TTV)ウェハであることが好ましい。ジャイロスコープ・ウェハ20は、過酸化硫黄浸漬ステップで清掃され、次に、図8aに示すように、キャップ・ウェハ42上にパターン形成された酸化物層70に溶融接合される。図7～図10の処理シーケンス中、キャップ・ウェハ42のジャイロスコープ・ウェハ20への接合は、ジャイロスコープ・ウェハ20への基準ウェハ44の接合前の処理の初期段階で行われる。それ故、ジャイロスコープ・ウェハ20へキャップ・ウェハ42を接合するには、共融金属接合、ガラス接合、半田接合、金共融接合、Si-SiO<sub>2</sub>溶融接合、およびSi-Si溶融接合を含むが、これらに限定されない比較的高温の接合プロセスを使用することが好ましい。図8aから図8bに移動する間に、ジャイロスコープ・ウェハ20の厚さは、通常約500ミクロンの厚さから約400ミクロンの厚さに薄く削られる。従来の研磨方法は、この厚さを薄くするステップを行うのに適している方法である。ジャイロスコープ・ウェハ20は均一に薄くすることもできるし、または質量22および24になるジャイロスコープ・ウェハ20の領域が、ジャイロスコープ・ウェハ20の他の部分より厚くなるように薄くすることもできる。このように厚さを増大すると有利である。何故なら、質量22および

10

20

30

40

50

24の質量が増大するからである。ジャイロスコープ・ウェハ20を薄くした後で、図8bのスタンドオフ71が、エッチングの前のリソグラフィ装置によるパターン形成により形成される。KOHエッチングがこのステップに適している。スタンドオフ71の目的は、図2の電極48A、B、50A、Bおよび52A、Bのようなアクチュエータの電極と、対応するプレート（すなわち、それぞれプレート30、28および26）との間の垂直方向の分離dを正確に決定することである。

#### 【0050】

図8bから図8cに移動する間に、パターン形成された層46'がジャイロスコープ・ウェハ20上に堆積する。好適には、パターン形成された層46'は、堆積され、次に、（例えれば、リソグラフィおよびその後のエッチングにより）パターン形成されるGe層であることが好ましい。好適には、パターン形成された層46'も、図5に示すタイプであってもよい電極をフレーム34とベース36間に形成することが好ましい。別 の方法としては、フレーム34とベース36との間の電極は、パターン形成された層46'の堆積とは別の処理ステップで形成することができる。

10

#### 【0051】

図8cから図8dに移動する間に、ジャイロスコープ・ウェハ20の機械素子が、ジャイロスコープ・ウェハ20を貫通するエッチングにより形成される。エッチングするパターンは、フォトリソグラフィにより形成することができる。酸化物層70上で止まるこのエッチングの場合には、2ミクロンのライン幅と2ミクロンの間隔が適している。シリコン・オン・インシユレータ（SOI）アンチフッティング改善による深いRIEがこのステップに適しているエッチング方法である。好適には、このエッチングは、高アスペクト比のフィーチャを生成するのに適しているエッチング・プロセスで実行することが好ましい。図8dのエッチングを実行した後で、図1～図4および図6に示すジャイロスコープ・ウェハ20のすべての機械素子が形成される。これらの素子としては、質量22および24、プレート26、28および30、撓み部分32、フレーム34、およびヒンジ26A、28A、30A、54、56、58および60等がある。図を分かりやすくするために、図8dにはプレート28と質量22および24だけを示す。

20

#### 【0052】

図9a～図9bは、基準ウェハ44を製造するのに適している処理ステップのシーケンスの略図である。図9aの場合には、参考番号74は基準ウェハ44の能動エリアの略図を示す。能動エリア74は、ジャイロスコープ・ウェハ20、およびジャイロスコープ・ウェハ20を駆動するための回路、およびジャイロスコープ・ウェハ20が供給する出力信号を感知するための回路に電気的に接触する領域を含む。好適には、このような回路は、従来のシリコンCMOS回路であることが好ましい。好ましい実施形態の場合には、従来のCMOSプロセス中に堆積される金属の最後の層は、接合金属として使用するのに適している金属層である。金属のこの上部層も、電極48A、B、50A、Bおよび52A、B（図9bには、電極50A、Bだけを図示してある）、および図9aに概略を示す接合パッド76を形成する。図9aから図9bに移動する間に、基準ウェハ44内に凹部45および47が形成される。好適には、凹部45および47は、DRIEにより約100ミクロンの深さに形成することが好ましい。

30

#### 【0053】

図10a～図10bは、ジャイロスコープ・ウェハ20、基準ウェハ44およびキャップ・ウェハ42の最終組立に適している処理ステップのシーケンスの略図である。図10aの場合には、基準ウェハ44は、ジャイロスコープ・ウェハ20上のパターン形成された層46'と基準ウェハ44上の接合パッド76との間の整合している金属-金属接合を通して、ジャイロスコープ・ウェハ20に取り付けられている。図7～図10の処理シーケンス中に、ジャイロスコープ・ウェハ20への基準ウェハ44の接合が、ジャイロスコープ・ウェハ20へのキャップ・ウェハ42の接合より後の処理段階で行われる。それ故、ジャイロスコープ・ウェハ20への基準ウェハ44の接合は、共融金属接合、アルミニウム-ゲルマニウム接合、半田接合、インジウム-金接合、およびポリマー結合を含むが

40

50

、これらに限定されない比較的低温の接合プロセスにより行うことが好ましい。

【0054】

図10aのプレート28と電極50Aおよび50B間の間隔dは、スタンドオフ71およびパターン形成された層46'の厚さの合計により決まり、スタンドオフ71の高さを選択することにより正確に制御（または予め決定）することができる。他の電極（例えば、電極48A、B、および電極52A、B）と、対応するプレート（例えば、各プレート30および26）との間の間隔も、同じ方法で決まり、通常、すべてのプレートとその対応する電極との間の間隔は同じ所定の間隔dになる。図7～図10の処理シーケンスでは、プレートと電極との間に間隔を形成するために、ジャイロスコープ・ウェハ20上だけでスタンドオフ71が形成されているが、基準ウェハ44上だけ、またはジャイロスコープ・ウェハ20および基準ウェハ44両方上でスタンドオフを形成することもできる。図10aから図10bに移動する間に、上方から能動エリア74にアクセスすることができるよう、材料をキャップ・ウェハ42からエッティングにより除去することができる。上方から能動エリア74にアクセスすることができるようすることにより、図10bの角速度センサへの電気的接続が容易になる。

【0055】

好適には、基準ウェハ44は、密封状態にすることができる金属-金属接合を通して、ジャイロスコープ・ウェハ20に取り付けることが好ましい。同様に、好適には、ジャイロスコープ・ウェハ20は、同様に密封状態にすることができる溶融接合により、キャップ・ウェハ42に取り付けることが好ましい。その結果、基準ウェハ44、ジャイロスコープ・ウェハ20およびキャップ・ウェハ42のアセンブリ全体は、ジャイロスコープ素子（質量22および24など）と周囲の環境との間に密封バリアを供給することができる。

【0056】

ジャイロスコープの異なる市場のいくつかの性能仕様に適合するために、ある場合には、密封バリアが形成するエンクロージャ内に、低圧（例えば、大気圧よりかなり低い約1mTorr）を供給すると有利である。このようにして、エンクロージャを満たしている空気（または他の気体）による質量22および24の運動に対する抵抗を必要に応じて低減することができる。別の方針としては、運動への空気抵抗を低減するために、質量22および24内（およびリンク装置の他の可動部分内）に孔部を設けることもできる。ほかの場合には、大気圧より高い圧力を密封エンクロージャ内に供給するのが望ましい場合もある。

【0057】

図7a～図7d、図8a～図8d、図9a～図9bおよび図10a～図10bのこの説明は、本発明の好ましい実施形態を製造するのに適している、例示としての処理ステップのシーケンスの概要を説明するためのものである。それ故、上記1つのステップが、本発明を実行するのに不可欠なものであるのではない。さらに、上記ステップの大部分は、上記以外の他の方法であるが、半導体処理業界では周知の方法により実行することができる。より一般的な言い方をすると、詳細な説明全体は、ほとんど例示としてのものであって、本発明を制限するものではない。本発明の実施形態の他の例について以下に簡単に説明する。

【0058】

図12は、他の電極構成の概略平面図である。図12の場合には、質量22および24、およびプレート26、28および30は図示していない。そのためリンク装置のこれらの素子の下の電極を見ることがある。図12の構成の場合には、電極48A、B、50A、Bおよび52A、Bは、すでに説明したように、それぞれプレート30、28および26を駆動するためのものである。さらに、図12の構成は、質量の運動、またはより一般的な言い方をすると、リンク装置の運動を感知するための電極51Aおよび51Bを提供する。電極51Aおよび51Bが供給する信号は、リンク装置アクチュエータを駆動する回路により有利に使用することができる。例えば、このようにリンク装置の運動を感知

することにより、駆動回路は、その基本的な機械共振周波数でリンク装置を正確に駆動することができる。

【0059】

図13は、本発明のある実施形態による集積二重軸ジャイロスコープの概略平面図である。図13の構成の場合には、好適には、Y軸サブセンサ20YおよびX軸サブセンサ20Xは、1つのシリコン・チップ21上に形成するのが好ましい。好適には、サブセンサ20Xおよび20Yは、図1および図2のところで説明したセンサであることが好ましく、図13の構成は、集積角速度センサにより二重軸感知を行うことが好ましい。このように集積することにより、2つの非集積型の単一軸センサと比較した場合、コストが大幅に低減する。

10

【0060】

図14aおよび図14bは、望ましくない運動の共通モード拒否を行う本発明のある実施形態の概略平面図である。図14aおよび図14bの構成は、2つのフレーム、すなわちフレーム34Aおよびフレーム34Bを含む。質量22および24が図1のフレーム34内に位置するのとほぼ同じように、質量22Aおよび24Aは、フレーム34A内に位置していて、質量22Bおよび24Bはフレーム34B内に位置する。図14aおよび図14bの質量22A、Bおよび24A、Bは、質量24Aおよび22Bが同位相になるように振動する。質量22Aおよび24Aは、質量22Bおよび24Bのように、位相からずれるようにリンクしている。

20

【0061】

フレーム34Aおよび34Bは、撓み部分32により相互に連結されていて、複数の撓み部分32によりベース36'に連結されている。図14aおよび図14bの撓み部分の構成は例示としてのものであって、本発明は他の撓み部分構成によっても実行することができる。撓み部分32によるフレーム34Aとフレーム34Bとの接続は、フレーム34Aおよび34Bの位相ずれ回転に対してフレーム34Aおよび34Bの同位相回転を阻止する傾向がある。何故なら、フレーム34Aおよび34Bの同位相回転は、同じ大きさの位相ずれ回転よりも大きく撓み部分32を延ばすからである。

20

【0062】

図14aのセンサが、図14aのY軸を中心にして回転すると（または図14bのセンサが、図14bのY軸を中心にして回転すると）、フレーム34Aおよび34Bに加わるZ方向のトルクは位相からずれる。その理由は、フレーム34Aおよび34B内の2つのリンク装置が、相互に位相からずれるように運動するからである。対照的に、Z軸を中心とする図14aおよび図14bのセンサの角加速度は、フレーム34Aおよび34Bを同位相で回転させる。それ故、図14aおよび図14bのセンサは、Z軸を中心とする角加速度による偽の信号を拒否することができる。これは図1の実施形態が有していない機能である。図14aおよび図14bのフレーム34Aおよび34Bの回転は、（例えば、容量性センサにより）上記のように感知することができる。

30

【0063】

さらに、図14aおよび図14bの実施形態は、被駆動リンク装置内にゼロの正味の線形および角運動量を有し、一方、図1の実施形態は、被駆動リンク装置内にゼロの正味の線形運動量を有するが、ゼロでない正味の角運動量を有する。センサ・パッケージへの振動の伝導は、被駆動リンク装置がゼロの正味の線形または角運動量を有している場合には、低減する傾向があるので、図14aおよび図14bの実施形態は、図1の実施形態と比較した場合、供給するパッケージ振動は小さいものでなければならない。振動が小さいと、バイアス誤差および象限誤差のような測定誤差が小さくなる。

40

【0064】

図14aおよび図14bの実施形態が提供するZ方向の角加速度の共通モード拒否の利点を最大にするためには、好適には、フレーム34Aおよび34Bは、ほぼ同じ形を有することが好ましく、フレーム34Aおよび34B内のリンク装置は、ほぼ同じ構成および向きを有することが好ましい。対称をこのレベルにすることにより、Y方向の角速度に応

50

じない運動（例えば、Z方向の角加速度による運動）の拒否を最大にする、ほぼ等しく反対方向であるY方向の角速度に応じる運動が生じる。

【0065】

図15は、フレーム34およびベース36が円形ではなく矩形の形をしている本発明の他の実施形態の略図である。図1の実施形態と同様に、図15のフレーム34内には、質量22および24がプレート26、28および30により一緒に連結されている。また、図1の実施形態のように、質量22および24、およびプレート26、28および30を含むリンク装置は、好適には、（図15には図示していない）静電アクチュエータにより振動することが好ましい。Y軸を中心にして図15の実施形態が回転すると、質量22および24上にX方向のコリオリ力が生じる。フレーム34は、フレーム34をベース36に対して移動させることができる複数の撓み部分32によりベース36と連結されている。Y軸を中心にするセンサの角速度に応じた質量22および24上のX方向のコリオリ力は、X方向にフレーム34をベース36に対して移動させようとする。フレーム34とベース36との間の相対運動は、好適には、図15に略図で示す容量性センサ100により感知することが好ましい。

【0066】

図15のフレーム34および撓み部分32の構成は、フレーム34の回転全体を禁止し、Y方向の角速度に対するフレーム34のX方向の変形を感知する。（例えば、フレーム34の硬度をさらに硬くして）X方向の変形を禁止し、フレーム34の回転を感知する、図15のフレーム34と撓み部分32の他の構成も使用することができる。

【0067】

図16aおよび図16bは、フレーム34とベース36との間の撓み部分32の他の構成のいくつかの例を示す。図16aは、図1の撓み部分32の配置に対して45度回転した撓み部分32の配置である。図16bは、フレーム34とベース36との間に対称的に位置している3つの撓み部分32の配置である。もちろん、感知する角速度に応じてベース36に対してフレーム34が移動することができるフレーム34とベース36との間の撓み部分の任意の配置により本発明を実行することができる。

【0068】

本発明の実施形態の上記詳細な説明においては、静電アクチュエータであるリンク装置を振動させるためのアクチュエータについて説明した。リンク装置を振動させるための他のアクチュエータとしては、電磁アクチュエータ、圧電アクチュエータおよび熱アクチュエータ等があるが、これらに限定されない。また、上記説明においては、容量性センサであるフレーム34の角振動を感知するためのトランスジューサについて説明した。フレーム34の角振動を感知するための他のトランスジューサとしては、電磁センサ、ピエゾ抵抗センサおよび圧電センサ等があるが、これらに限定されない。

【0069】

本発明の実施形態の上記詳細な説明においては、静電アクチュエータである、フレーム34を角振動させるためのアクチュエータについて説明した。フレーム34を振動させるための他のアクチュエータとしては、電磁アクチュエータ、圧電アクチュエータおよび熱アクチュエータ等があるが、これらに限定されない。また、上記説明においては、容量性センサであるリンク装置の振動を感知するためのトランスジューサについて説明した。リンク装置の振動を感知するための他のトランスジューサとしては、電磁センサ、ピエゾ抵抗センサおよび圧電センサ等があるが、これらに限定されない。

【図面の簡単な説明】

【0070】

【図1】本発明によるジャイロスコープ・ウェハの概略平面図。

【図2】I線に沿って切断した図1のジャイロスコープ・ウェハの断面図を含む、本発明のある実施形態の概略断面図。

【図3】好適な固定具の構成の詳細を示す概略平面図。

【図4】II線に沿って切断した図3の固定具構成の概略断面図。

10

20

30

40

50

【図5】本発明と一緒に使用するのに適している2つの電極構成の略図。

【図6】図1のジャイロスコープ・ウェハの一部の概略拡大図。

【図7a】本発明の実施形態によるキャップ・ウェハを製造するための処理ステップを示す略図。

【図7b】本発明の実施形態によるキャップ・ウェハを製造するための処理ステップを示す略図。

【図7c】本発明の実施形態によるキャップ・ウェハを製造するための処理ステップを示す略図。

【図7d】本発明の実施形態によるキャップ・ウェハを製造するための処理ステップを示す略図。

【図8a】本発明の実施形態によるキャップ・ウェハおよびジャイロスコープ・ウェハのアセンブリを製造するための処理ステップを示す略図。

【図8b】本発明の実施形態によるキャップ・ウェハおよびジャイロスコープ・ウェハのアセンブリを製造するための処理ステップを示す略図。

【図8c】本発明の実施形態によるキャップ・ウェハおよびジャイロスコープ・ウェハのアセンブリを製造するための処理ステップを示す略図。

【図8d】本発明の実施形態によるキャップ・ウェハおよびジャイロスコープ・ウェハのアセンブリを製造するための処理ステップを示す略図。

【図9a】本発明の実施形態による基準ウェハを製造するための処理ステップを示す略図。

【図9b】本発明の実施形態による基準ウェハを製造するための処理ステップを示す略図。

【図10a】本発明の実施形態によるキャップ・ウェハ、ジャイロスコープ・ウェハおよび基準ウェハのアセンブリを製造するための処理ステップを示す略図。

【図10b】本発明の実施形態によるキャップ・ウェハ、ジャイロスコープ・ウェハおよび基準ウェハのアセンブリを製造するための処理ステップを示す略図。

【図11a】動作中の図2の構成の運動の様子を示す略図。

【図11b】動作中の図2の構成の運動の様子を示す略図。

【図12】本発明の実施形態による基準ウェハ上の電極の配置を示す略図。

【図13】本発明の二重軸実施形態を示す略図。

【図14a】4つのプルーフ質量を有する本発明の実施形態を示す略図。

【図14b】4つのプルーフ質量を有する本発明の実施形態を示す略図。

【図15】矩形のフレームを有する本発明の実施形態を示す略図。

【図16a】本発明の実施に適した(図1の構成以外の)2つの他の撓み部分構成を示す略図。

【図16b】本発明の実施に適した(図1の構成以外の)2つの他の撓み部分構成を示す略図。

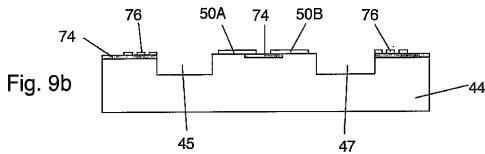
10

20

30



【 図 9 b 】



【 図 1 0 a 】

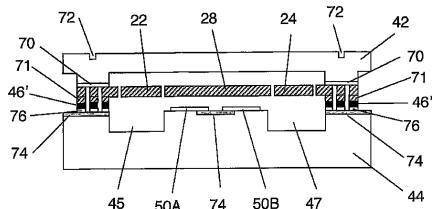


Fig. 10a

【図10b】

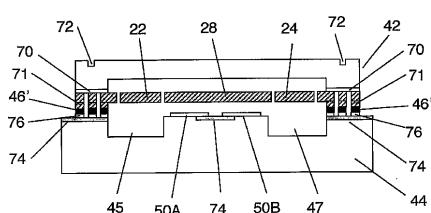


Fig. 10b

【 図 1 1 a - b 】

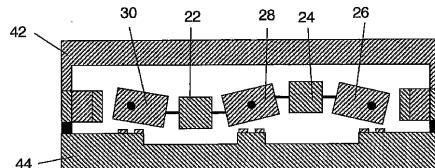


Fig. 11a

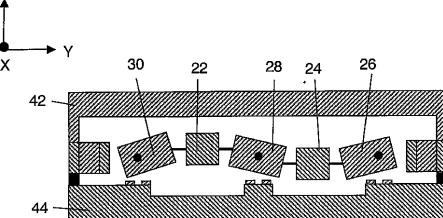


Fig. 11b

【図 1 2】

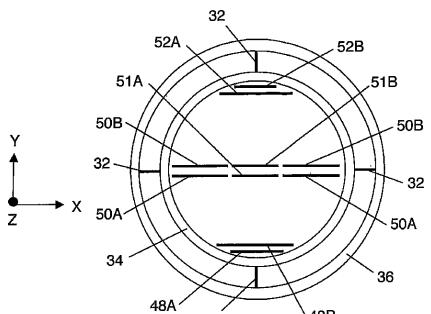


Fig. 12

### 【図13】

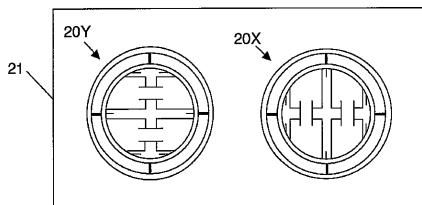


Fig. 13

【図14a】

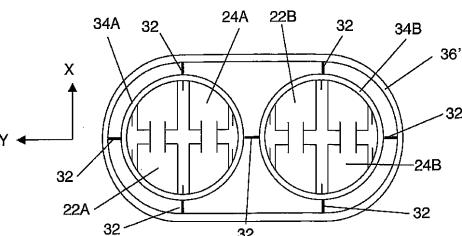


Fig. 14a

【図 1 4 b】

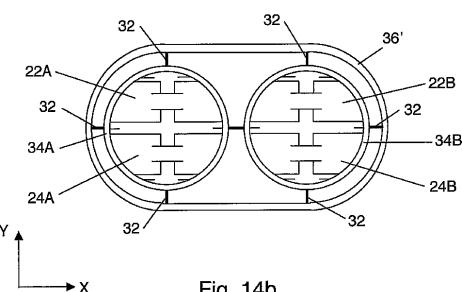


Fig. 14b

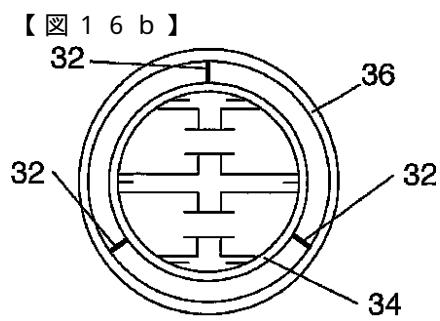
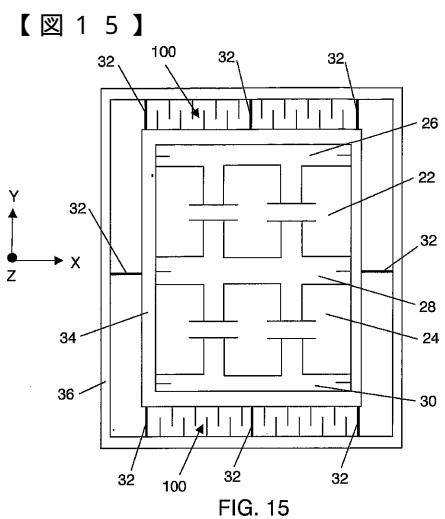


Fig. 16b

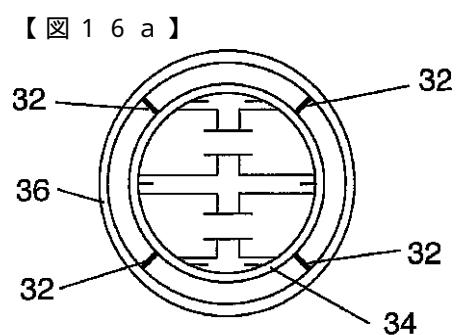


Fig. 16a

---

フロントページの続き

(72)発明者 シーガー、ジョセフ

アメリカ合衆国 94611 カリフォルニア州 オークランド ハリソン ストリート 395  
2 ナンバー 105

審査官 有家 秀郎

(56)参考文献 特開2002-148048(JP,A)

特開平10-038578(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01C 19/56-19/5783