

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6891932号
(P6891932)

(45) 発行日 令和3年6月18日(2021.6.18)

(24) 登録日 令和3年5月31日(2021.5.31)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 C 19/5755 (2012.01) GO 1 C 19/5755
GO 1 C 19/574 (2012.01) GO 1 C 19/574

請求項の数 7 外国語出願 (全 22 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2019-166604 (P2019-166604) (22) 出願日 令和1年9月12日 (2019.9.12) (65) 公開番号 特開2020-64054 (P2020-64054A) (43) 公開日 令和2年4月23日 (2020.4.23) 審査請求日 令和1年12月23日 (2019.12.23) (31) 優先権主張番号 20185827 (32) 優先日 平成30年10月3日 (2018.10.3) (33) 優先権主張国・地域又は機関 フィンランド(FI)</p>	<p>(73) 特許権者 000006231 株式会社村田製作所 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 (74) 代理人 100189430 弁理士 吉川 修一 (74) 代理人 100190805 弁理士 傍島 正朗 (72) 発明者 ヘイッキ・クイスマ フィンランド共和国、ヘルシンキ エファ イー00420、ハヌリポルク 5 エー 5 審査官 仲野 一秀</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ピエゾZ軸ジャイロ스코ープ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

静止位置において第1の軸上に位置合わせされた第1の試験質量を備える微小電気機械z軸ジャイロ스코ープであって、

前記第1の試験質量が、第1の周辺懸架装置および第1の中心懸架装置から懸架され、
 前記第1の周辺懸架装置は、第1のアンカー点から第2のアンカー点まで延伸し、前記第1の周辺懸架装置は、前記第1の試験質量を部分的に囲む二等辺三角形の形状を有し、前記二等辺三角形は、前記第1のアンカー点および前記第2のアンカー点において切頭されており、前記第1の周辺懸架装置の第1の等辺は、前記第1のアンカー点から前記第1の試験質量の第1の辺を過ぎて、前記第1の周辺懸架装置上の第1のコーナ点まで延伸し、
 前記第1の周辺懸架装置の第2の等辺は、前記第2のアンカー点から前記第1の試験質量の第2の辺を過ぎて前記第1の周辺懸架装置上の第2のコーナ点まで延伸し、前記第1の等辺と前記第2の等辺とをともに接合する前記第1の周辺懸架装置の底辺は、前記第1のコーナ点から前記第1の試験質量の第3の辺を過ぎて前記第2のコーナ点まで延伸し、
 前記第1の周辺懸架装置の前記底辺は、前記第1の軸上に位置合わせされたコネクタによって、前記第1の試験質量の前記第3の辺に取り付けられており、

前記第1の中心懸架装置は、前記第1の周辺懸架装置によって形成されている前記二等辺三角形の切頭されたコーナを通過して延伸し、前記第1の試験質量に取り付けられており、

前記第1の試験質量は、前記第1の周辺懸架装置の前記第1の等辺および/または前記

第2の等辺上に配置された1つまたは複数の piezo 駆動トランスデューサによって一次振動モードになるように駆動され、同時に、前記第1の周辺懸架装置の前記第1の等辺および前記第2の等辺が同じ面内方向に曲げられることを特徴とし、

前記第1の周辺懸架装置の前記底辺上に配置された1つまたは複数の piezo センストラランスデューサは、前記ジャイロスコープが角回転を受けるときに、前記第1の軸に実質的に平行な方向において前記底辺の中央を曲げる前記第1の試験質量の二次振動モードを検出するように構成されており、結果、センス振動が前記1つまたは複数の piezo センストラランスデューサによってセンス信号に変換されることを特徴とする、微小電気機械 z 軸ジャイロスコープ。

【請求項2】

前記第1の試験質量は、第2の試験質量も備える試験質量システムの一部であり、結果、前記第1の試験質量および前記第2の試験質量は第1の試験質量対を形成し、前記第2の試験質量は前記第1の試験質量から離れて配置され、静止位置において前記第1の軸上に位置合わせされ、

前記試験質量システムは、第2の試験質量対を形成する第3のおよび第4試験質量も備え、前記第3の試験質量および前記第4の試験質量は、前記第1の軸に直交する第2の軸上で互いから離れて配置され、静止位置において前記第2の軸上に位置合わせされ、前記第2の試験質量対は、前記第1の軸が前記第2の軸と交差する交差点において前記第1の試験質量対に相互接続され、

結果、静止位置にある前記試験質量システムは、前記第1の軸および前記第2の軸に関して本質的に対称な質量分布を形成することを特徴とし、

前記第2の試験質量、前記第3の試験質量および前記第4の試験質量の各々が、追加の周辺懸架装置および追加の中心懸架装置から懸架され、追加の各周辺懸架装置は、追加の第1のアンカー点から追加の第2のアンカー点まで延伸し、前記追加の周辺懸架装置は、対応する前記試験質量を部分的に囲み、前記追加の第1のアンカー点および前記追加の第2のアンカー点において切頭されている二等辺三角形の形状を有し、前記追加の周辺懸架装置の第1の等辺は、前記追加の第1のアンカー点から対応する前記試験質量の第1の辺を過ぎて、前記追加の周辺懸架装置上の第1のコーナ点まで延伸し、前記追加の周辺懸架装置の第2の等辺は、前記追加の第2のアンカー点から対応する前記試験質量の第2の辺を過ぎて、前記追加の周辺懸架装置の第2のコーナ点まで延伸し、前記第1の等辺と前記第2の等辺とをともに接合する前記追加の周辺懸架装置の底辺は、前記第1のコーナ点から、対応する前記試験質量の第3の辺を過ぎて前記第2のコーナ点へと延伸し、前記追加の周辺懸架装置の前記底辺は、前記試験質量と同じ軸上に位置合わせされているコネクタによって、対応する前記試験質量の前記第3の辺に取り付けられており、

追加の各中心懸架装置は、前記周辺懸架装置によって形成される前記二等辺三角形の切頭されたコーナを通して延伸し、前記追加の中心懸架装置は対応する前記試験質量に取り付けられることを特徴とし、

前記第2の試験質量は、対応する前記追加の周辺懸架装置の前記第1の等辺および/または前記第2の等辺に配置された1つまたは複数の piezo 駆動トランスデューサによって一次振動モードになるように駆動され、結果、前記第1の周辺懸架装置の前記第1の等辺および前記第2の等辺が曲げられるのと同じ面内方向において、前記追加の周辺懸架装置の前記第1の等辺および前記第2の等辺が同時に曲がり、結果、前記第2の試験質量の一次振動が、前記交差点を通過する垂直軸の周りの前記第1の試験質量の前記一次振動モードと同位相で発生し、対応する前記追加の周辺懸架装置の前記底辺上に配置された1つまたは複数の piezo センストラランスデューサが、前記ジャイロスコープが角回転を受けるときに前記第1の軸に実質的に平行な方向において前記底辺の中央を曲げる、前記第2の試験質量の二次振動モードを検出するように構成され、結果、前記第2の試験質量のセンス振動が前記1つまたは複数の piezo センストラランスデューサによってセンス信号に変換されることを特徴とし、

前記第2の試験質量対の各試験質量が、対応する前記追加の周辺懸架装置の前記第1の

10

20

30

40

50

等辺および/または前記第2の等辺に位置する1つまたは複数の piezo 駆動トランスデューサによって一次振動モードになるように駆動され、結果、前記第1の周辺懸架装置の前記第1の等辺および前記第2の等辺が曲げられるのは反対の面内方向において、前記追加の周辺懸架装置の前記第1の等辺および前記第2の等辺が同時に曲がり、結果、前記第2の試験質量対の一次振動が、前記交差点を通過する垂直軸の周りの前記第1の試験質量の前記一次振動モードと逆位相で発生し、対応する前記追加の周辺懸架装置の前記底辺上に配置された1つまたは複数の piezo センストランスデューサは、前記ジャイロスコープが角回転を受けるときに前記第2の軸に実質的に平行な方向において前記底辺の中央を曲げる前記試験質量の二次振動モードを検出するように構成され、結果、センス振動は、前記1つまたは複数の piezo センストランスデューサによってセンス信号に変換されることを特徴とする、請求項1に記載の微小電気機械z軸ジャイロスコープ。

10

【請求項3】

各周辺懸架装置内の各第1の等辺および各第2の等辺の幅が、対応する前記アンカー一点に位置する前記等辺の前記第1の端部から、対応する前記周辺懸架装置の対応する前記コーナ点に位置する前記等辺の前記第2の端部に至るまでに増加することを特徴とする、請求項1または2に記載の微小電気機械z軸ジャイロスコープ。

【請求項4】

各周辺懸架装置上の各第1のコーナ点および第2のコーナ点は、前記周辺懸架装置の前記底辺を前記等辺の1つに接合する屈曲部を備え、前記屈曲部は、前記周辺懸架装置によって形成される切頂二等辺三角形の高さによって規定される方向において前記底辺よりも狭いことを特徴とする、請求項1～3のいずれか一項に記載の微小電気機械z軸ジャイロスコープ。

20

【請求項5】

各周辺懸架装置の前記第1の等辺および前記第2の等辺が前記一次振動の振幅を検出するための補助 piezo センストランスデューサも備え、各周辺懸架装置の前記底辺が、カフィードバック操作、カフィードバック減衰、および/またはセンス振動モードに結合される駆動振動運動の相殺のための1つまたは複数の補助 piezo トランスデューサも備えることを特徴とする、請求項1～4のいずれか一項に記載の微小電気機械z軸ジャイロスコープ。

【請求項6】

前記第1の試験質量対の各試験質量の前記周辺懸架装置は、前記周辺懸架装置の第1のアンカー一点を前記第2の試験質量対の一方の試験質量の前記周辺懸架装置と共有し、前記周辺懸架装置の第2のアンカー一点を前記第2の試験質量対の他方の前記試験質量の前記周辺懸架装置と共有し、前記第2の試験質量対の各試験質量の前記周辺懸架装置は、前記周辺懸架装置の第1のアンカー一点を前記第1の試験質量対の一方の試験質量の前記周辺懸架装置と共有し、前記周辺懸架装置の第2のアンカー一点を前記第1の試験質量対の他方の前記試験質量の前記周辺懸架装置と共有することを特徴とする、請求項2、請求項2を引用する請求項3、請求項2を引用する請求項4、請求項2を引用する請求項5のいずれか一項に記載の微小電気機械z軸ジャイロスコープ。

30

【請求項7】

コーナスプリングが、各周辺懸架装置上の各コーナ点から、前記周辺懸架装置の前記底辺によって規定される方向において外側に延伸しており、結果、各コーナスプリングの第1の端部は周辺懸架装置に取り付けられ、各コーナスプリングの第2の端部は、少なくとも1つのアンカー一点に取り付けられ前記第1の軸および前記第2の軸に対して実質的に45°の角度に向けられている、対角サポートスプリングに取り付けられることを特徴とする、請求項2～5のいずれか一項に記載の微小電気機械z軸ジャイロスコープ。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、微小電気機械(MEMS)ジャイロスコープに関し、より具体的には、試験

50

質量が一次モードと二次モードの両方でデバイス平面内で運動する piezo 駆動および検知 z 軸ジャイロスコープに関する。本開示はさらに、試験質量の周囲に piezo 駆動およびセンストランスデューサを適切に配置および相互接続することにより、一次モードと二次モードとの間の結合を低減するための構成に関する。

【背景技術】

【0002】

MEMS ジャイロスコープは、通常、線形振動運動と回転振動運動とのうちのいずれか、またはこれら2つの運動の組み合わせに駆動される試験質量を含む。z 軸 MEMS ジャイロスコープでは、駆動トランスデューサによって誘導される一次振動は、基板平面内で発生するように構成される。ジャイロスコープが、基板平面に対して垂直である z 軸を中心とした角回転を受ける場合、コリオリ力によって引き起こされる、結果として生じる二次振動も基板平面内で発生することになる。

10

【0003】

ジャイロスコープの回転検知要素を構成する部分可動試験質量は、所望の共振周波数で振動駆動運動およびセンス運動を柔軟に許容するように構成された懸架装置によって固定構造から懸架され得る。駆動振動モードおよびセンス振動モードの正味の反力およびトルクは、運動エネルギーがこれらの所望の振動モードから漏れず、外部振動がこれらのモードに結合しないように、好ましくはゼロであるべきである。

【0004】

相互接続された一対の試験質量が対向する方向に連続的に振動するように同期されているジャイロスコープは、振動試験質量が1つだけのジャイロスコープと比較して、外部振動によって引き起こされる擾乱に対する脆弱性が低いことが知られている。これは、測定信号を差動様式で読み取ることによって、擾乱の影響を自動的に相殺することができるためである。また、第1の試験質量対と直交して振動する追加の試験質量対を用いてさらなる堅牢性を達成することができることも知られている。

20

【0005】

ただし、試験質量対同士が結合した z 軸ジャイロスコープの一般的な問題は、一次振動が二次振動または二次信号に結合され、結果、一次モードの各振動周期が、二次振動を検出するために配置されたトランスデューサ内で同時に二次モードの振動または信号も生成する可能性があることである。MEMS ジャイロスコープのいずれの部分の非対称性によっても、結合効果が生じる可能性があり、製造公差をゼロに減らすことは決してできないため、ある程度の非対称性は避けられない。したがって、試験質量対がそこから懸架されるサスペンション構成は、好ましくは、一次および二次振動モードの両方を柔軟に許容するが、これら2つのモード間の結合に抵抗するように設計されるべきである。

30

【0006】

特許文献1は、交差点の周りで振動する複数対の試験質量を備えた MEMS ジャイロスコープを開示している。この文献に開示されているサスペンション構成の問題は、一次モードと二次モードの間の結合を妨げないことである。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0007】

【特許文献1】米国特許出願公開第2016341551号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本開示の目的は、上記の不都合を軽減する装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本開示の目的は、独立請求項に述べられている事項を特徴とする構成によって達成される。本開示の好ましい実施形態が、従属請求項に開示されている。

50

【 0 0 1 0 】

本開示は、振動する試験質量を部分的に囲む切頭三角形の形状を有する懸架装置上に配置された piezo 駆動およびセンストランスデューサを備えたジャイロスコープを形成するという着想に基づいている。

【 0 0 1 1 】

以下において、添付の図面を参照しながら、好ましい実施形態によって、本開示をより詳細に説明する。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 2 】

【 図 1 】 懸架装置上に配置された曲げ piezo トランスデューサの 3 つの断面図である。 10

【 図 2 a 】 1 つの試験質量が周辺懸架装置から懸架されたジャイロスコープを示す図である。

【 図 2 b 】 1 つの試験質量が周辺懸架装置から懸架されたジャイロスコープを示す図である。

【 図 2 c 】 1 つの試験質量が周辺懸架装置から懸架されたジャイロスコープを示す図である。

【 図 3 】 1 つの試験質量が周辺懸架装置から懸架された別のジャイロスコープを示す図である。

【 図 4 】 1 つの試験質量が周辺懸架装置から懸架された別のジャイロスコープを示す図である。 20

【 図 5 】 1 つの試験質量が周辺懸架装置から懸架された別のジャイロスコープを示す図である。

【 図 6 a 】 2 対の試験質量を備えたジャイロスコープを示す図である。

【 図 6 b 】 2 対の試験質量を備えたジャイロスコープを示す図である。

【 図 7 】 2 対の試験質量を備えたジャイロスコープを示す図である。

【 図 8 a 】 中心同期構造を有するジャイロスコープを示す図である。

【 図 8 b 】 中心同期構造を有するジャイロスコープを示す図である。

【 図 8 c 】 中心同期構造を有するジャイロスコープを示す図である。

【 図 9 】 試験質量の 2 つの代替形状のうちの 1 つを示す図である。

【 図 1 0 】 試験質量の 2 つの代替形状のうちの 1 つを示す図である。 30

【 図 1 1 a 】 周辺懸架装置の固定を示す図である。

【 図 1 1 b 】 周辺懸架装置の固定を示す図である。

【 図 1 1 c 】 周辺懸架装置の固定を示す図である。

【 図 1 1 d 】 周辺同期構造を有するジャイロスコープを示す図である。

【 図 1 1 e 】 周辺同期構造を有するジャイロスコープを示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 3 】

図 1 は、懸架装置上に配置された曲げ piezo トランスデューサの 3 つの断面を示す。トランスデューサは、本開示ではデバイス平面とも称される x y 平面内の曲げ運動を生成または測定することができる。デバイス面内運動は、面内運動と称される場合があり、一方、デバイス平面外への動きは、面外運動と称される場合がある。デバイス平面に垂直な z 軸は、垂直方向と称される場合がある。 40

【 0 0 1 4 】

懸架装置は、トランスデューサまたは試験質量の二次振動モードによって生成される piezo 応力または歪みによって曲げられるのに十分な幅 / 長さのアスペクト比を有するシリコンビームであり得る。

【 0 0 1 5 】

一对の第 1 の電極層 1 4 1 および 1 4 2 が懸架装置 1 1 上に配置され、一方は piezo 材料層 1 2 の上側に、他方は下側に配置されている（この場合、上下は z 軸の方向を指す）。これらの電極は、図示のように、それぞれ第 2 の電極層 1 3 1、1 3 2 と対になってい 50

る。層 1 4 1、1 2 および 1 3 1 はともに第 1 の piezotransducer を形成し、層 1 4 2、1 2 および 1 3 2 はともに第 2 の piezotransducer を形成する。

【0016】

反対の極性を有する駆動電圧がこれらの 2 つの transducer に印加されると、2 つの transducer は $x-y$ 平面内に反対の歪みを生じ、これが懸架装置 11 を曲げることができる。transducer が sensotransducer として使用される場合、面内曲げは 2 つの transducer 間に電荷または電圧差を発生させることになる。

【0017】

piezotransducer を説明するために、本開示全体を通して図 1 の図面規約を利用する。言い換えれば、反対色の 2 つの平行な長方形が piezotransducer を示すために使用される。単純にするために、構造が実際には 2 つの transducer を含む構築物であるとしても、これら 2 つの平行な長方形は主に単数形で、単一の transducer と呼ばれる。同様に、1 つの transducer に関連する駆動信号およびセンス信号は、実際には 2 つの電圧を含むが、単数形で、単一の駆動/センス信号と呼ばれる。

10

【0018】

白色および黒色は transducer の極性を示す。右側に白い長方形が付いた transducer の極性は、右側に黒い長方形が付いた transducer (同じ図に表示) の極性と反対である。

【0019】

窒化アルミニウム (AlN)、ドーパされた窒化アルミニウム (例えば、ScAlN) または PZT セラミック層とすることができる piezo 層 12 は、典型的には数マイクロメートル以下の厚さである。シリコン懸架装置 11 の厚さは、例えば、 $4 \sim 100 \mu\text{m}$ 、好ましくは $10 \sim 50 \mu\text{m}$ であり得る。

20

【0020】

本開示に記載の piezotransducer が sensomode で使用されるとき、transducer の静電容量が外部接続の静電容量と増幅器の入力静電容量との合計に等しいときに、transducer の電極間の最大出力電圧が達成され得る。transducer の静電容量は、当該 transducer の面積および piezo 層の厚さによって決まる。

【0021】

本開示は、静止位置において第 1 の軸上に位置合わせされた第 1 の試験質量を備える微小電気機械 z 軸ジャイロスコープについて説明する。

30

【0022】

第 1 の試験質量は、第 1 の周辺懸架装置および第 1 の中心懸架装置から懸架されている。第 1 の周辺懸架装置は、第 1 のアンカー点から第 2 のアンカー点まで延伸し、第 1 の周辺懸架装置は、第 1 の試験質量を部分的に囲む二等辺三角形の形状を有し、二等辺三角形は、第 1 のアンカー点および第 2 のアンカー点において切頭され、第 1 の周辺懸架装置の第 1 の等辺は、第 1 のアンカー点から第 1 の試験質量の第 1 の辺を過ぎて、第 1 の周辺懸架装置上の第 1 のコーナ点まで延伸する。第 1 の周辺懸架装置の第 2 の等辺は、第 2 のアンカー点から第 1 の試験質量の第 2 の辺を過ぎて、第 1 の周辺懸架装置上の第 2 のコーナ点へと延伸し、第 1 の等辺と第 2 の等辺とをともに接合する第 1 の周辺懸架装置の底辺は、第 1 のコーナ点から第 1 の試験質量の第 3 の辺を過ぎて第 2 のコーナ点まで延伸し、第 1 の周辺懸架装置の底辺は、第 1 の軸と位置合わせされたコネクタによって、第 1 の試験質量の第 3 の辺に取り付けられる。

40

【0023】

第 1 の中心懸架装置は、周辺懸架装置によって形成された二等辺三角形の切頭されたコーナを通り、第 1 の試験質量に取り付けられる。

【0024】

第 1 の試験質量は、第 1 の周辺懸架装置の第 1 の等辺および/または第 2 の等辺に配置された 1 つまたは複数の piezo 駆動 transducer によって一次振動モードになるように駆動され、これによって同時に、第 1 の周辺懸架装置の第 1 の等辺および第 2 の等辺が

50

同じ面内方向に曲げられる。

【0025】

第1の周辺懸架装置の底辺にある1つまたは複数のピエゾセンストランスデューサは、ジャイロスコープが角回転を受けるとき、底辺の中央を第1の軸に実質的に平行な方向に曲げる、第1の試験質量の二次振動モードを検出するように構成され、これにより、センス振動は、1つまたは複数のセンストランスデューサによってセンス信号に変換される。

【0026】

第1のアンカー点および第2のアンカー点は、周辺懸架装置によって形成された切頭二等辺三角形の頂点近くにある。第1の試験質量は、周辺懸架装置によって形成された切頭二等辺三角形の頂点近くで第1の中心懸架装置に取り付けられる。

10

【0027】

ジャイロスコープが1つの試験質量のみを含む場合、交差点はx y平面内のその試験質量の重心に対応しない。しかし、ジャイロスコープが複数の試験質量を備えた試験質量システムを含む以下に説明する実施形態では、交差点はx y平面内の試験質量システムの重心に対応し得る。

【0028】

本開示では、ジャイロスコープの一部は、その部分の重心が軸上にある場合、その軸上で「位置合わせ」されていると考えられる。

【0029】

本開示では、「固定」物体とは、MEMSジャイロスコープ構造よりもはるかに大きい物体、または、代替的に、より大きな構造に確実に取り付けられ、結果、振動する慣性質量によって生成される反作用の力によってより大きな構造に対して動くことができない物体を意味する。「アンカー点」という用語は、懸架装置などの部分可動物体が固定物体に取り付けられ得る固定物体の領域を指すために使用される。懸架装置は、一端でアンカー点に固定され、もう一端で部分可動試験質量に取り付けられ得、または、両端がアンカー点に固定されてもよく、その中央が部分可動試験質量に取り付けられてもよい。

20

【0030】

本開示で説明されるシリコンベースのMEMS用途では、「懸架された」物体は、シリコンビームによって固定底辺に取り付けられた物体を意味する。これらのビームの少なくとも一部は柔軟であり、結果、それらは、物体が回転および/または並進振動を受けることを可能にする。試験質量のサイズに対して適切な寸法に設定されている場合、試験質量の動きによって細長いシリコンビームを十分に柔軟に曲げまたはねじることができる。このような柔軟なビームは、サスペンションスプリングとも呼ばれる場合がある。ピエゾジャイロスコープでは、サスペンションスプリングは、取り付けられた試験質量の動きおよび/またはそれらの上に配置されたピエゾトランスデューサによって曲げられるように十分に柔軟でなければならない。

30

【0031】

本開示では、用語「懸架装置」は、例えば同期構造を介して試験質量を固定底辺および/または他の試験質量に取り付けるサスペンションスプリングの短縮用語として使用される。この用語は、柔軟性のために寸法が決められたビームをカバーするが、いずれの方向においても大きな柔軟性を呈することができない寸法のビームもカバーする。言い換えれば、懸架装置の中には柔軟性があるものとそうでないものがある。上部にピエゾトランスデューサがある各懸架装置は柔軟である。

40

【0032】

本開示において、周辺懸架装置は、アンカー点において切頭された二等辺三角形の形状を有する。これは、例えば図2aに示されており、周辺懸架装置21は、試験質量230のほぼ全体にわたって、第1のアンカー点221から第2のアンカー点222まで延伸している。二等辺三角形の用語に基づいて、周辺懸架装置の辺211と212はその等辺と呼ばれる場合があり、辺213はその底辺と呼ばれる場合がある。アンカー点における切頭は、等辺がアンカー点を過ぎて続く場合、等辺が二等辺三角形の頂点で交わることを意

50

味する。しかし、等辺 2 1 1 および 2 1 2 は、試験質量 2 3 0 がその重量の一部を支持する第 3 のアンカー点 2 2 3 から懸架されることを可能にするように、アンカー点で終了しなければならない。言い換えれば、第 1 のアンカー点 2 2 1 および第 2 のアンカー点 2 2 2 が二等辺三角形の頂点の「近く」にあるという表記は、これらのアンカー点が、試験質量 2 3 0 をアンカー点 2 2 3 に接合する中心懸架装置 2 6 2 に対して設計上の考慮事項が許す限り近いことを意味する。複数の試験質量を有する一部の実施形態では、交差点の周囲に配置された同期要素は追加のアンカー点を必要とする場合があり、このとき、周辺懸架装置 2 1 の第 1 のアンカー点 2 2 1 および第 2 のアンカー点 2 2 2 を頂点からさらに離れるように動かすことによって、追加のアンカー点のためのスペースを空ける必要がある場合がある。しかし、そのような制限が存在しない場合、第 1 の等辺 2 1 1 および第 2 の等辺 2 1 2 の長さが最大化されるように、第 1 のアンカー点 2 2 1 および第 2 のアンカー点 2 2 2 が中心懸架装置 2 6 2 に隣接して配置され得る。

10

【 0 0 3 3 】

周辺懸架装置によって形成される二等辺三角形は、図 2 a に示すように、直角二等辺三角形であり得る。ただし、頂角が 90° より大きい二等辺三角形、または頂角が 90° より小さい二等辺三角形にすることもできる。これは、本開示で説明されるすべての実施形態に適用される。頂角が 90° より大きいことは、等辺に対する底辺の長さの比が $2a$ と比較して増加することを意味し、一方、頂角が 90° より小さいことは、同比が減少することを意味する。センストランスデューサと駆動トランスデューサとの長さの比も同じ量だけ増減し得る。駆動トランスデューサが生成することができる変位はその長さに比例し、所定の変位量に応じてセンストランスデューサが生成する電気信号の大きさはその長さに比例する。

20

【 0 0 3 4 】

ジャイロスコープが 4 つの試験質量を備えた試験質量システムを備える場合、デバイスの幾何学的形態に追加の考慮が必要である。ジャイロスコープの面積が効率的に使用されることを保証するための 1 つの方法は、周辺懸架装置に直角の二等辺三角形の形状を与えることである。これにより、4 つの周辺懸架装置間を密接にすることができる。この代替方法については、以下で詳しく説明するが、4 つの質量を有する試験質量システムでは、任意の他の二等辺三角形も使用することができる。

30

【 0 0 3 5 】

試験質量は、対応する周辺懸架装置の底辺に平行な斜辺と、対応する周辺懸架装置の三角形の等辺に平行な三角形等辺を有する、切頭二等辺直角三角形の形状を有し得る。言い換えれば、試験質量は、図 2 a に示すように、周辺懸架装置の内側に収まる直角二等辺三角形のような形状にすることができる。

【 0 0 3 6 】

ただし、試験質量はまた、周辺懸架装置の内側に収まる任意の他の形状を有してもよい。これは、本開示のすべての実施形態に適用される。ここでも、ジャイロスコープが 4 つの試験質量を備えた試験質量システムを備える場合、周辺懸架装置の内側にちょうど収まる直角二等辺三角形の形状の試験質量を使用すると、最も効率的な面積使用が得られる。

【 0 0 3 7 】

同じ面内方向における第 1 の周辺懸架装置 2 1 の第 1 の等辺 2 1 1 および第 2 の等辺 2 1 2 の同時曲げの方向は、図 2 a の第 1 のコーナ点 2 1 4 および第 2 のコーナ点 2 1 5 に位置する太い黒矢印によって示される。図示された振動位相では、駆動トランスデューサ 2 4 1 および 2 4 2 は第 1 の等辺 2 1 1 および第 2 の等辺 2 1 2 を曲げ始め、結果、コーナ点 2 1 4 および 2 1 5 は両方とも、それぞれのアンカー点 2 2 1 および 2 2 2 を通過する垂直軸に対して反時計回りの方向にデバイス平面内を動く。この曲げ運動は、アンカー点 2 2 3 が位置する交差点を通る垂直軸に対して反時計回り方向に試験質量 2 3 0 をシフトおよび回転させる。反対の振動位相では、コーナ点と試験質量の両方が、同じ軸に対して時計回りに同時に動く。言い換えると、「同じ面内方向」という表現は、第 1 の等辺と第 2 の等辺とが常に同じ方向に同時に曲がるという事実を指す。それにもかかわらず、一

40

50

次振動は、好ましくは、時計回りおよび反時計回りの方向に交互に曲げることを含み、その結果、等辺は、振動周期の反対位相においては反対方向に曲がる。

【0038】

第1の実施形態

図2aは、ジャイロスコープがただ1つの試験質量230を含む第1の実施形態を示している。この試験質量は、周辺懸架装置21および中心懸架装置262から懸架され、第1の軸271に位置合わせされている。第1の軸271は、交差点において第2の軸272と交差する。この実施形態では、第3のアンカー点223が交差点に配置されている。

【0039】

第1の周辺懸架装置21の第1の等辺211は、第1のアンカー点221から第1の試験質量230の第1の辺231を過ぎて、第1の周辺懸架装置21上の第1のコーナ点214まで延伸する。第1の周辺懸架装置21の第2の等辺212は、第2のアンカー点222から第1の試験質量230の第2の辺232を過ぎて、第1の周辺懸架装置21上の第2のコーナ点215まで延伸する。試験質量231および232の第1の辺および第2の辺は、第1の軸271を挟んで対向する側にある。

【0040】

第1のピエゾ駆動トランスデューサ241は、周辺懸架装置21の第1の等辺211に配置されている。任意選択の第2のピエゾ駆動トランスデューサ242は、第2の等辺211に配置されている。ジャイロスコープ制御回路は、駆動トランスデューサに駆動電圧を印加するように構成することができる。

【0041】

これらの駆動トランスデューサに適切な作動電圧が印加されると、第1の等辺211および第2の等辺212が同じ方向に同時に曲がって、第1の試験質量が一次振動するように駆動される。この振動は、第2の軸に実質的に平行である。この文脈において、「実質的に平行」とは、第1に、第1の等辺211および第2の等辺212が（交差点に対して）反時計回りに同時に曲がることによって、試験質量230が主に左にシフトし、一方、第1の等辺211および第2の等辺212が時計回りに同時に曲がることによって、試験質量が主に右にシフトするという事実を指す。しかし、第2に、それらは異なる方向に向けられているため、試験質量を同時に曲げることによって、試験質量内で、（交差点に対して）等辺が反時計回りに曲がる時には交差点に対して反時計回りに、等辺が時計回りに曲がる時には時計回りに、小さな回転も発生する。線形並進と角回転とのこの組み合わせは、試験質量230上の2つの矢印によって示されている。換言すれば、試験質量230の振動は、その振動がこれらの2つの運動の組み合わせであり、線形並進が支配的であるため、第2の軸に「実質的に平行」と呼ばれ得る。

【0042】

第1の周辺懸架装置21の底辺213は、第1の等辺211と第2の等辺212とをともに接合する。底辺213は、第1のコーナ点214から第1の試験質量230の第3の辺233を過ぎて、第2のコーナ点214まで延伸する。第1の周辺懸架装置21の底辺213は、第1の軸271上に位置合わせされたコネクタ261により第1の試験質量230の第3の辺233に取り付けられる。

【0043】

試験質量230は、周辺懸架装置によって形成された切頭二等辺三角形の頂点近くで中心懸架装置262に取り付けられる。試験質量230は、中心懸架装置262によって第3のアンカー点223から懸架されている。中心懸架装置262は、試験質量230が大きな反力なしに二次振動モードにおいて動くことができるように、第1の軸271の方向に柔軟性を提供するばね構造264を備えることができる。中心懸架装置262は、xy平面から外方への移動に堅固に抵抗するために、デバイス平面に垂直な垂直z方向に十分に厚い。中心懸架装置262は、試験質量を大きな反トルクなしに駆動振動において交差点に対して時計回りおよび反時計回りに回転させることを可能にするのに、第2の軸の方向において十分に薄く、また、試験質量の頂点の大幅な直線運動を防止するのに十分に短

10

20

30

40

50

い。

【 0 0 4 4 】

第 1 の周辺懸架装置 2 1 の底辺 2 1 3 上の piezo センストランスデューサ 2 5 1 は、ジャイロスコープが角回転を受けるときに第 1 の軸 2 7 1 に実質的に平行に生じる二次振動からセンス電圧信号を生成するように構成される。ジャイロスコープ制御ユニットは、センストランスデューサからこのセンス電圧信号を読み取り、この信号から角回転の速度を計算するように構成することができる。

【 0 0 4 5 】

二次振動の瞬間的な方向は、一次振動の瞬間的な方向に対して常に直交する。したがって、駆動振動のように、「実質的に平行な」センス振動という表現は、例えば製造によって引き起こされる非対称性に起因して小さい逸脱が存在し得る場合であっても、コリオリの力が試験質量 2 3 0 を主に第 1 の軸 2 7 1 に沿って前後に動かすという事実を指す。

【 0 0 4 6 】

図 2 b は、二次発振モードを示す。試験質量が第 1 の軸に沿って前後に運動すると、piezo センストランスデューサ 2 5 1 が位置する底辺 2 1 3 が中央で曲がる。この曲がりには小さな振幅を有するが、振動周期の一端で piezo センストランスデューサがとる形状は、図 2 b の曲線 2 5 1 1 によって示される。底辺 2 1 3 は中央で曲がる。中心懸架装置 2 6 2 内のばね 2 6 4 は、中心懸架装置 2 6 2 がセンストランスデューサ 2 5 1 の曲がりを妨げないように、底辺 2 1 3 の方向よりも第 1 の軸の方向により柔軟でなければならない。

【 0 0 4 7 】

しかしながら、図 2 c に示されるように、一次振動はまた、周辺懸架装置 2 1 3 の底辺をある程度曲げ得る。これは、曲がっている等辺 2 1 1 および 2 1 2 が第 1 のコーナ点 2 1 4 および第 2 のコーナ点 2 1 5 において先端で生じさせる（交差点に対する）角変位が、試験質量 2 3 0 の角変位よりも大きいためである。

【 0 0 4 8 】

曲がっている等辺 2 1 1 および 2 1 2 の先端の角変位は、等辺の長さの $2/3$ である有効回転半径に対応する。等辺および底辺 2 1 3 は第 1 のコーナ点および第 2 のコーナ点において堅固に接続されているため、試験質量の角変位と曲がっている等辺の先端の角変位の不整合は、等辺 2 1 1 / 2 1 2 における曲がりを低減することを通じて周辺懸架装置によって、および/または、底辺 2 1 3 を S 字状に曲げることによって対応することができる。この S 字状の曲げは、図 2 c の曲線 2 5 1 2 によって示される。トランスデューサが第 1 の軸に関して完全に対称的に配置されている場合、piezo センストランスデューサ 2 5 1 内の正味電荷がゼロになる。しかし、この対称性が不完全な場合（たとえば、製造誤差による）、駆動振動によって引き起こされる運動は、センストランスデューサから読み取られるセンス信号に結合され、これは望ましくない。

【 0 0 4 9 】

図 2 c の等辺 2 1 1 および 2 1 2 の長さが底辺 2 1 3 の長さの 1.06 倍

【 数 1 】

$$(\text{= } 0.5 * 1.5 * \sqrt{2})$$

であれば、一次振動による周辺懸架装置の底辺 2 1 3 の変形を回避することができることがわかる。ただし、三角形の幾何学的形状ではこれは不可能である。

【 0 0 5 0 】

第 2 の実施形態

図 3 は、図示された三角形の幾何学形状において周辺懸架装置の底辺の変形が緩和される実施形態を示している。参照符号 3 1 3、3 3 0、3 4 1、3 4 2、3 5 1、3 7 1 および 3 7 2 は、それぞれ図 2 a ~ 図 2 c の参照符号 2 1 3、2 3 0、2 4 1、2 4 2、2 5 1、2 7 1 および 2 7 2 に対応する。

【 0 0 5 1 】

図 3 では、周辺懸架装置内の第 1 の等辺 3 1 1 および第 2 の等辺 3 1 2 の幅は、対応す

10

20

30

40

50

るアンカー一点に位置する等辺の第1の端部から、周辺懸架装置の対応するコーナ点に位置する等辺の第2の端部に至るまでに増加する。

【0052】

図3aでは、第1の等辺311および第2の等辺312は、等辺の第1の端部(3111、3121)から等辺の中間点(3112、3122)まで延伸する狭い区画、および、等辺の中間点(3112、3122)から等辺の第2の端(3113、3123)に延伸する広い区画を有し、第1の端部(3111)はアンカー一点に取り付けられ、等辺の第2の端部(3113、3123)は周辺懸架装置の底辺313に取り付けられている。代替的に、第1の等辺311および第2の等辺312の幅はまた、第1の端部(3111、3112)から第2の端部(3113、3123)まで漸進的に増加してもよい。この選択肢は図示されていない。漸進的な増加は単調であってもよい。

10

【0053】

各等辺の幅が周辺懸架装置の対応するコーナ点に向かって大きくなる時、等辺はアンカー一点の近くよりもコーナ点の近くで面内曲げの柔軟性が低下する。これにより、図2cよりも、曲がっている等辺の有効回転中心がアンカー一点の近くにシフトする。このシフトの大きさは、幅がどれだけ増加するか依存する。

【0054】

この第2の実施形態は、本開示で提示される任意の他の実施形態と組み合わせることができる。複数の試験質量を備えたジャイロスコープでは、各周辺懸架装置の第1の等辺および第2の等辺は、狭い区画および広い区画を有することができる。

20

【0055】

第3の実施形態

有効回転中心は図3に示す幾何学的形状の変更によってシフトすることができるが、特に、以下に提示される実施形態に示されるように、複数の試験質量対が使用され、周辺懸架装置が互いに近接近して配置される応用形態では、周辺懸架装置の等辺を広げる余地が非常に限られていることが多い。また、トランスデューサは、柔軟性が高い等辺の狭い部分で最も効果的であるため、トランスデューサ341および342が動きを生成する有効性は、等辺の広い部分の幅および/または長さを増加させることにより減少する。

【0056】

図4は、図示された三角形の幾何学形状において周辺懸架装置の底辺の変形を緩和するための代替的な実施形態を示している。参照符号411~415および430は、それぞれ図2a~図2cの参照符号211~215および230に対応する。

30

【0057】

図4では、周辺懸架装置上の各第1のコーナ点414および第2のコーナ点415は、周辺懸架装置の底辺413を等辺411/412の1つに接合する屈曲部48を備え、屈曲部48は、周辺懸架装置によって形成される切頂二等辺三角形の高さによって規定される方向において底辺413よりも狭い。

【0058】

図4では、二等辺三角形の高さによって規定される方向がy方向であり、これは第1の軸に平行である。ジャイロスコープが複数の試験質量を含む実施形態では、周辺懸架装置によって規定される二等辺三角形の一部は、図4に示されているものに直交するため、二等辺三角形の高さによって規定される方向はx方向になり、これは、第2の軸に平行である。

40

【0059】

屈曲部は、デバイス平面内での柔軟性が底辺413の変形を低減するほどに長くする必要はある。しかしながら、底辺413と第1の等辺411および第2の等辺412との間の角度のみが屈曲部に起因するべきである。周辺懸架装置のこれらの3つの部分の間の距離は、好ましくは、第1の等辺および第2の等辺のすべての曲げを試験質量430の線形一次振動に変換することができるように、一次振動運動中に変化すべきではない。屈曲部は、デバイス平面に垂直な方向にも厚くする必要があり、これにより、周辺懸架装置によ

50

って与えられる面外運動に対するサポートが低下しない。

【 0 0 6 0 】

一次振動による周辺懸架装置の底辺 4 1 3 の変形において屈曲部が達成する低減は、図 4 の曲線 4 5 1 3 によって示される。

【 0 0 6 1 】

この第 3 の実施形態は、本開示で提示される任意の他の実施形態と組み合わせることができる。複数の試験質量を備えたジャイロスコープでは、各周辺懸架装置は、各コーナ点に屈曲部を備えることができる。

【 0 0 6 2 】

第 4 の実施形態

上述の piezo 駆動およびセンストランスデューサに加えて、ジャイロスコープに補助 piezo トランスデューサを含めることが有利な場合がある。そのようなトランスデューサは、例えば、駆動振動振幅が一定のままであること、結合されたセンス振動のカフィードバック相殺、または、駆動振動モードとセンス振動モードとの間の任意の望ましくない結合の相殺を保証するために使用され得る。

【 0 0 6 3 】

図 5 は、周辺懸架装置の第 1 の等辺および第 2 の等辺 (4 1 1 および 4 1 2) が一次振動の振幅を検出するための補助 piezo センストランスデューサ (5 4 3 および 5 4 4) も備え、各周辺懸架装置の底辺 5 1 3 が、カフィードバック操作、カフィードバック減衰、および / またはセンス振動モードに結合される駆動振動運動の相殺のための 1 つまたは複数の補助 piezo トランスデューサ (5 5 2 および 5 5 3) も備える実施形態を示す。

【 0 0 6 4 】

換言すれば、piezo 駆動トランスデューサ 5 4 1 および 5 4 2 に加えて、周辺懸架装置の第 1 の等辺および第 2 の等辺は、補助 piezo センストランスデューサ 5 4 3 / 5 4 4 を備える。ジャイロスコープ制御ユニットは、対応する等辺が駆動振動運動において曲がる時に、補助 piezo センストランスデューサから駆動振幅監視電圧信号を読み取るように構成することができる。この信号の振幅が所定の値から逸脱する場合、制御ユニットは、例えば、駆動振幅が再びその意図された値に達するまで、駆動トランスデューサ 5 4 1 および 5 4 2 に供給される電圧信号を調整することができる。代替的に、制御ユニットは、逸脱が特定の誤差範囲を超えた場合にエラー信号を報告してもよい。

【 0 0 6 5 】

一次 piezo 駆動トランスデューサ 5 4 1 および 5 4 2 を周辺懸架装置の第 1 の等辺および第 2 の等辺の第 1 の端部の近くに配置して、対応するアンカー点 5 2 1 および 5 2 2 の近くに位置させることが有利である。これらのトランスデューサの曲げ効率が、等辺のこの端部で最も高くなるためである。補助トランスデューサ 5 4 3 / 5 4 4 は、周辺懸架装置上のコーナ点の近くに配置することができる。

【 0 0 6 6 】

制御ユニットは、コリオリ効果により誘導される二次振動モードに起因して曲がる piezo センストランスデューサ 5 5 1 からセンス電圧信号を読み取るように構成される。このトランスデューサに加えて、周辺懸架装置の底辺 5 1 3 は補助 piezo トランスデューサ 5 5 2 および 5 5 3 も備えている。これらの補助トランスデューサは、二次振動モードへの積極的な介入のために使用されてもよい。例えば、ジャイロスコープが閉ループサーボモードで使用されるとき、または二次モード共振が閉ループフィードバックによって減衰されるとき、または加えられる電気機械力が使用されて直交信号が相殺されるとき、少なくとも 1 つの補助 piezo トランスデューサ 5 5 2 または 5 5 3 が交流電圧によって駆動され得、結果、一次振動の二次振動への結合を能動的に相殺する。補助トランスデューサ 5 5 2 / 5 5 3 の長さは、センストランスデューサ 5 5 1 の長さとも異なってもよい。

【 0 0 6 7 】

センストランスデューサ 5 5 1 を周辺懸架装置の底辺の中心近くに、第 1 の軸に関して可能な限り対称に配置することが有利である。周辺懸架装置の底辺上の補助トランスデ

10

20

30

40

50

ーサ 5 5 2 および 5 5 3 は、周辺懸架装置のコーナ点の近くに位置してもよい。

【 0 0 6 8 】

この第 4 の実施形態は、本開示で提示される任意の他の実施形態と組み合わせることができる。複数の試験質量を備えたジャイロスコープでは、各周辺懸架装置が、補助トランスデューサを備えることができる。

【 0 0 6 9 】

第 5 の実施形態

ジャイロスコープは、試験質量が反対方向に移動する逆位相振動をするように駆動される複数の質量を実装することにより、より堅牢にすることができる。差動センス信号読み出しと組み合わせた逆位相振動により、外部振動によって誘発される多くのエラー信号の自動相殺が容易になる。2 つの質量が同じ方向に同時に移動しても、互いに対する変位を測定するように構成された差動測定には影響しない。

10

【 0 0 7 0 】

本開示において説明されるサスペンション構成および作動構成は、2 つの試験質量を含む試験質量システムによって実施することができる。ただし、ジャイロスコープの基本単位が三角形の場合、4 つの試験質量を有する試験質量システムを実装することはさらにより有益である。したがって、本開示では、後者の代替形態のみを詳細に説明する。

【 0 0 7 1 】

図 6 a は、微小電気機械 z 軸ジャイロスコープの第 5 の実施形態を示し、第 1 の試験質量は、第 2 の試験質量をも備える試験質量システムの一部であり、結果、第 1 の試験質量および第 2 の試験質量が第 1 の試験質量対を形成し、第 2 の試験質量は、第 1 の試験質量から離れて配置され、その静止位置において第 1 の軸上に位置合わせされる。

20

【 0 0 7 2 】

試験質量システムは、第 2 の試験質量対を形成する第 3 の試験質量および第 4 の試験質量も備え、第 3 の試験質量および第 4 の試験質量は、第 1 の軸に直交する第 2 の軸上で互いに離れて配置され、静止位置において第 2 の軸上に位置合わせされ、第 2 の試験質量対は、第 1 の軸が第 2 の軸と交差する交差点において、第 1 の試験質量対に相互接続される。

【 0 0 7 3 】

静止位置にある試験質量システムは、第 1 の軸および第 2 の軸に関して基本的に対称な質量分布を形成する。

30

【 0 0 7 4 】

第 2 の試験質量、第 3 の試験質量、および第 4 の試験質量は各々、追加の周辺懸架装置および追加の中心懸架装置から懸架される。

【 0 0 7 5 】

追加の各周辺懸架装置は、追加の第 1 のアンカー点から追加の第 2 のアンカー点まで延伸し、追加の周辺懸架装置は、対応する試験質量を部分的に囲み、追加の第 1 のアンカー点および追加の第 2 のアンカー点において切頭される二等辺三角形の形状を有する。追加の周辺懸架装置の第 1 の等辺は、追加の第 1 のアンカー点から、対応する試験質量の第 1 の辺を過ぎて、追加の周辺懸架装置の第 1 のコーナ点まで延伸する。追加の周辺懸架装置の第 2 の等辺は、追加の第 2 のアンカー点から対応する試験質量の第 2 の辺を過ぎて、追加の周辺懸架装置上の第 2 のコーナ点へと延伸し、第 1 の等辺と第 2 の等辺とをともに接合する追加の周辺懸架装置の底辺は、第 1 のコーナ点から対応する試験質量の第 3 の辺を過ぎて第 2 のコーナ点まで延伸し、追加の周辺懸架装置の底辺は、試験質量と同じ軸上に位置合わせされたコネクタによって、対応する試験質量の第 3 の辺に取り付けられる。

40

【 0 0 7 6 】

追加の各中心懸架装置は、周辺懸架装置によって形成された二等辺三角形の切頭されたコーナを通り、追加の中心懸架装置は、対応する試験質量に取り付けられる。

【 0 0 7 7 】

第 2 の試験質量は、対応する追加の周辺懸架装置の第 1 の等辺および / または第 2 の等

50

辺に配置された1つまたは複数の piezo 駆動トランスデューサによって一次振動モードになるように駆動され、これによって同時に、追加の周辺懸架装置の第1の等辺および第2の等辺が、第1の周辺懸架装置の第1の等辺および第2の等辺が曲げられるのと同じ面内方向に曲げられる。第2の試験質量の一次振動は、交差点を通過する垂直軸の周りの第1の試験質量の一次振動モードと同位相で発生する。

【0078】

対応する追加の周辺懸架装置の底辺にある1つまたは複数の piezo センストランスデューサは、ジャイロ스코ープが角回転を受けるとき、底辺の中央を第1の軸に実質的に平行な方向に曲げる、第2の試験質量の二次振動モードを検出するように構成され、これにより、第2の試験質量のセンス振動は、1つまたは複数のセンストランスデューサによって

10

【0079】

第2の試験質量対のうちの各試験質量は、対応する追加の周辺懸架装置の第1の等辺および/または第2の等辺に配置された1つまたは複数の piezo 駆動トランスデューサによって一次振動モードになるように駆動され、これによって同時に、追加の周辺懸架装置の第1の等辺および第2の等辺が、第1の周辺懸架装置の第1の等辺および第2の等辺が曲げられるのと反対の面内方向に曲げられる。第2の試験質量対の一次振動は、交差点を通過する垂直軸の周りの第1の試験質量対の一次振動モードと逆位相で発生する。

【0080】

対応する追加の周辺懸架装置の底辺にある1つまたは複数の piezo センストランスデューサは、ジャイロ스코ープが角回転を受けるとき、底辺の中央を第1の軸に実質的に平行な方向に曲げる、上記試験質量の二次振動モードを検出するように構成され、これにより、センス振動は、1つまたは複数のセンストランスデューサによってセンス信号に変換される。

20

【0081】

図6aでは、ジャイロ스코ープは第1の試験質量630と第2の試験質量6301とを備える。これらの2つの質量は、第1の試験質量対を形成する。第1の試験質量630および第2の試験質量6302は両方とも、それらの静止位置において第1の軸671上に位置合わせされている。ジャイロ스코ープは、第3の試験質量6303および第4の試験質量6304も備える。これらの2つの質量は、第2の試験質量対を形成する。第3の試験質量6303および第4の試験質量6304は、それらの静止位置において第2の軸672上に位置合わせされている。

30

【0082】

中心アンカー点68が2つの軸の間の交差点に配置されている。アンカー点68は、対応する中心懸架装置6621、6622、6623または6624を介して各試験質量の懸架を可能にする。第1の中心懸架装置は6621であり、他の中心懸架装置6622、6623および6624はすべて、追加の懸架装置と呼ばれる場合がある。代替的に、6622が、第2の中心懸架装置と呼ばれ、6623が第3の中心懸架装置と呼ばれ、6624が第4の中心懸架装置と呼ばれる場合がある。各中心懸架装置は、各中心懸架装置に接続されたばね681を含むことができる。

40

【0083】

各試験質量6301、6302、6303および6304は、周辺懸架装置611、612、613および614によって部分的に囲われている。第1の周辺懸架装置が611であり、他の周辺懸架装置612、613、および614はすべて、追加の周辺懸架装置と呼ばれる場合がある。代替的に、612が第2の周辺懸架装置と呼ばれ、613が第3の周辺懸架装置と呼ばれ、614が第4の周辺懸架装置と呼ばれてもよい。各周辺懸架装置の構造およびその上の piezo トランスデューサの位置は、上記の第1の実施形態で説明した周辺懸架装置のものに対応する。明確にするために、piezo トランスデューサは図6aには示されていない。

【0084】

50

周辺懸架装置 6 1 1 ~ 6 1 4 は別個の構造である。換言すれば、各周辺懸架装置 6 1 1 ~ 6 1 4 は 2 つのアンカー点および対応する試験質量に接続されているが、周辺懸架装置は、別の周辺懸架装置に直接接続されない。

【 0 0 8 5 】

第 1 の試験質量対 6 3 0 1 ~ 6 3 0 2 は、交差点を通過する垂直軸に対して同位相で振動するように駆動され、結果、両方の試験質量 6 3 0 1 と 6 3 0 2 がその軸に対して時計回りおよび反時計回りに同時に動く。この同相振動は、適切な極性の適切に同期された作動電圧を、第 1 の試験質量対の各周辺懸架装置のピエゾトランスデューサに印加することによって生成される。

【 0 0 8 6 】

第 1 の試験質量対のセンス振動は、第 1 の軸に実質的に平行な対向する方向に生じる。試験質量 6 3 0 1 が図 6 a において下に移動すると、試験質量 6 3 0 2 が上に動き、逆も同様である。

【 0 0 8 7 】

第 2 の試験質量対 6 3 0 3 ~ 6 3 0 4 は、周辺懸架装置の駆動トランスデューサによって同様の一次振動モードになるように駆動され、試験質量 6 3 0 3 と 6 3 0 4 の両方が同時に、交差点を通過する垂直軸に対して時計回りおよび反時計回りに動く。この試験質量対のセンス振動モードは、第 2 の軸 6 7 2 に実質的に平行であり、結果、試験質量 6 3 0 4 が右に動くときに試験質量 6 3 0 3 は左に動き、逆もまた同様である。

【 0 0 8 8 】

さらに第 2 の試験質量対の一次振動モードは、交差点を通過する垂直軸に関して第 1 の試験質量対の一次振動モードと逆位相である。たとえば、試験質量 6 3 0 1 および 6 3 0 2 が時計回りに動くとき、試験質量 6 3 0 3 および 6 3 0 4 が同時に反時計回りに移動し、逆もまた同様である。これによりまた、2 対の試験質量のセンス振動が、第 1 の軸と第 2 の軸との交差点にあるジャイロスコープの中心点に対して逆位相になり、結果、第 2 の試験質量対が交差点から離れるように動くときに、第 1 の試験質量対が交差点に近づき、逆もまた同様である。

【 0 0 8 9 】

交差点を通る垂直軸に対する第 1 の試験質量および第 2 の試験質量の逆位相駆動振動は、図 6 a の太い黒い矢印によって概略的に示される（回転成分は除外される）。ジャイロスコープの中心点に対する対応する逆位相センス振動は、図 6 b の太い黒い矢印によって概略的に示されている。

【 0 0 9 0 】

異なるピエゾセンストランスデューサから得られるセンス信号は、例えば、特定の誤った信号成分が自動的に相殺される差動測定構成において、1 つのセンス信号に合成することができる。

【 0 0 9 1 】

上述したように、第 2 の実施形態、第 3 の実施形態および第 4 の実施形態は、この第 5 の実施形態と組み合わせてもよい。図 7 は、各周辺懸架装置内の第 1 の等辺および第 2 の等辺の幅が、対応するアンカー点に位置する等辺の第 1 の端部から、周辺懸架装置の対応するコーナ点に位置する等辺の第 2 の端部に至るまでに増加する、2 対の試験質量を有するジャイロスコープを示す。図 8 a および図 8 b は、各周辺懸架装置上の各第 1 のコーナ点および第 2 のコーナ点、その周辺懸架装置の底辺を等辺の 1 つに接合する屈曲部を備える、2 対の質量を備えたジャイロスコープを示す。

【 0 0 9 2 】

さらに、図 8 a は、中心アンカー点の代わりに中心同期要素が利用される代替設計を示す。この図において、第 1 の試験質量対 8 3 0 1 + 8 3 0 2 および第 2 の試験質量対 8 3 0 3 + 8 3 0 4 の振動は、ジャイロスコープ中心点に中心を置き、4 つの第 1 の取り付け点 8 9 1 を備える、実質的に円形の同期要素 8 9 によって同期させられる。各第 1 の取り付け点 8 9 1 は、実質的に円形の同期要素が第 1 の軸または第 2 の軸と交差する点に位置

10

20

30

40

50

し、各試験質量は、実質的に円形の同期要素 8 9 上の最も近い第 1 の取り付け点 8 9 1 に取り付けられる。実質的に円形の同期要素 8 9 は、2 つ以上の第 2 の取り付け点 8 9 2 をさらに備え、実質的に線形の懸架装置が、各第 2 の取り付け点 8 9 2 からジャイロスコープ内の第 1 のアンカー点または第 2 のアンカー点のうちの 1 つまで接線方向に延伸する。

【 0 0 9 3 】

用語「線形懸架装置」は、 x y 平面において高いアスペクト比（例えば、長さ対幅の比）を有する構造を指す。言い換えれば、第 1 の方向における線形懸架装置の長さは、第 1 の方向に垂直な第 2 の方向における懸架装置の幅よりもはるかに大きい。垂直方向における懸架装置の高さは通常、MEMS ジャイロスコープ内の他の要素の高さと同じであり、そのため、懸架装置の長さ対高さのアスペクト比は長さ対幅の比に近くないものであり得る。このような線形懸架装置は、第 2 の方向に非常に柔軟に屈曲するが、（高さ対幅のアスペクト比に応じて）第 1 の方向（長手方向）およびまた垂直方向の動きに大きく抵抗する。

10

【 0 0 9 4 】

図 8 b は、中心同期要素を有する別の設計を示す。この図において、第 1 の試験質量対 8 3 0 1 + 8 3 0 2 および第 2 の試験質量対 8 3 0 3 + 8 3 0 4 の振動は、ジャイロスコープ中心点を中心とする 4 セットの同期スプリングによって同期される。同期スプリングの 4 つのセットを図 8 c に詳細に示す。各セットは、対角アンカー点 8 2 1 ~ 8 2 4 および 2 つの試験質量に取り付けられる。

【 0 0 9 5 】

各セットは、対角アンカー点 8 2 1 ~ 8 2 4 からジャイロスコープの中心点に向かって延伸する対角同期スプリング 8 3 1 ~ 8 3 4 と、第 1 の軸に平行で、第 1 の試験質量対の 1 つの試験質量から対角同期スプリング 8 3 1 ~ 8 3 4 の自由端まで延伸する長手方向同期スプリング 8 5 1 ~ 8 5 4 と、第 2 の軸に平行であり、第 2 の試験質量対の隣接する試験質量から同じ対角同期スプリング 8 3 1 ~ 8 3 4 の自由端まで延伸する横方向同期スプリング 8 4 1 ~ 8 4 4 とを含む。

20

【 0 0 9 6 】

同期スプリングの 4 つのセットは、図 8 b および図 8 c に示すように、ジャイロスコープ中心点の周りに編成することができる。同期スプリングはごく狭くなり得るため、周辺懸架装置のアンカー点をジャイロスコープの中心点のごく近くに配置し、周辺懸架装置の等辺を相当に長くすることができる。

30

【 0 0 9 7 】

追加の実施形態

図 9 および図 1 0 は、試験質量の 2 つの代替形を示す。図 9 では、試験質量 9 3 0 はハンマーのような形状をしている。図 1 0 では、試験質量 1 0 3 0 は、三角形の中空領域を備えた直角二等辺三角形のような形状をしている。これらの形状の質量の近くに提供される空のスペースは、例えば電気配線のための通路を提供するなど、さまざまな追加の目的に利用することができる。他の多くの形状も可能であるが、一般的には、可能な限り多くの質量を周辺懸架装置の底辺近くに集中させることが有利である。

【 0 0 9 8 】

図 6 a ~ 図 8 b に示されているジャイロスコープでは、隣接する周辺懸架装置は常に、異なる試験質量対の試験質量に結合される。たとえば、図 6 a では、周辺懸架装置 6 1 1 は第 1 の試験質量対の試験質量 6 3 0 1 に結合され、一方、6 1 1 に隣接する周辺懸架装置 6 1 3 および 6 1 4 は第 2 の試験質量対の試験質量 6 3 0 3 および 6 3 0 4 に結合される。

40

【 0 0 9 9 】

第 1 の試験質量対の各試験質量の周辺懸架装置は、その第 1 のアンカー点を第 2 の試験質量対の一方の試験質量の周辺懸架装置と共有し、その第 2 のアンカー点を第 2 の試験質量対の他方の試験質量の周辺懸架装置と共有することができ、第 2 の試験質量対の各試験質量の周辺懸架装置は、その第 1 のアンカー点を第 1 の試験質量対の一方の試験質量の周

50

辺懸架装置と共有し、その第2のアンカー点を第1の試験質量対の他方の試験質量の周辺懸架装置と共有することができる。

【0100】

図11aは、周辺懸架装置111のこの構成を示す。その第1の等辺1111は、右側の隣接する周辺懸架装置の第2の等辺1132が取り付けられるのと同じアンカー点である第1のアンカー点1121に取り付けられる。周辺懸架装置111の第2の等辺1112は、第2のアンカー点1122に取り付けられ、これに、左側の隣接する周辺懸架装置の第1の等辺も取り付けられる。

【0101】

隣接する懸架装置の第1の等辺および第2の等辺は、中間体1161/1162によってともに結合することができる。図11bは、1111および1132などの懸架装置が下にある基板110の表面上に位置し、1121のようなアンカー点が基板まで延伸している構成における、アンカー点1121、中間体1161、ならびに等辺1111および1132の垂直断面を示す。図11bに示されているように、中間体1161は基板まで延伸していない。懸架装置1111および1132がそれぞれの駆動トランスデューサによって曲げられるときに中間体1161に生じる変形は、第1の試験質量対および第2の試験質量対の逆位相振動を単一の共振モードに結合し、同期させる。

【0102】

代替的に、懸架装置1111と1132とをともに接合する中間体1161を懸架装置の中央近くに配置することができ、結果、これは、2つの懸架装置間の自立ブリッジを模倣する。この構成は、中間体の同期効果を強化することができる。中間体は、懸架装置の曲げを妨げるほどアンカー点1121から遠く離れて配置されるべきではない。

【0103】

代替的に、隣接する懸架装置の第1の等辺および第2の等辺は、上記の図6a~図8bのように、中間体なしでアンカー点1121において直接接続されてもよい。その場合でも、アンカー点の局所的な変形により、より小さな同期効果が得られる場合がある。

【0104】

図11cは、隣接する周辺懸架装置のアンカー点が互いに完全に分離され、結果、隣接する等辺1111/1132と1112/1141との間の曲げ運動の直接的な結合および同期が低減される代替的な実施形態を示す。この構成は図8bでも利用されている。

【0105】

図11dおよび図11eに示すように、周辺懸架装置をコーナ点において相互接続することにより、試験質量振動の所望の同期を促進することもできる。この周辺同期は、図8a~図8cに示すような中央同期要素と組み合わせ、またはいかなる補完的な同期なしで実装することができる。図11dおよび図11eでは、コーナスプリング(1171~1172、1181~1182)が、各周辺懸架装置上の各コーナ点から、上記周辺懸架装置の底辺によって規定される方向において外側に延伸しており、結果、各コーナスプリング(1171~1172、1181~1182)の第1の端部は周辺懸架装置に取り付けられ、各コーナスプリング(1171~1172、1181~1182)の第2の端部は、少なくとも1つのアンカー点(11101、11111、11102、11112)に取り付けられ、第1の軸および第2の軸に対して実質的に45°の角度に向けられている対角サポートスプリング(1191、1192)に取り付けられる。

【0106】

この場合、第1の試験質量対および第2の試験質量対の振動の所望の結合および同期が、以下のように促進される。図6aに示されている逆位相駆動振動では、コーナスプリング(1171~1172、1181~1182)は、隣接する試験質量が互いに向かっておよび互いから離れるように回転するときに、対角サポートスプリング1191および1192をジャイロスコープ中心点に向かっておよびジャイロスコープ中心点から離れるように押し引きする。隣接する試験質量が同時に同じ方向に回転する等位相運動(外部振動によって引き起こされる可能性のある振動モード)は、対角サポートスプリング1191

10

20

30

40

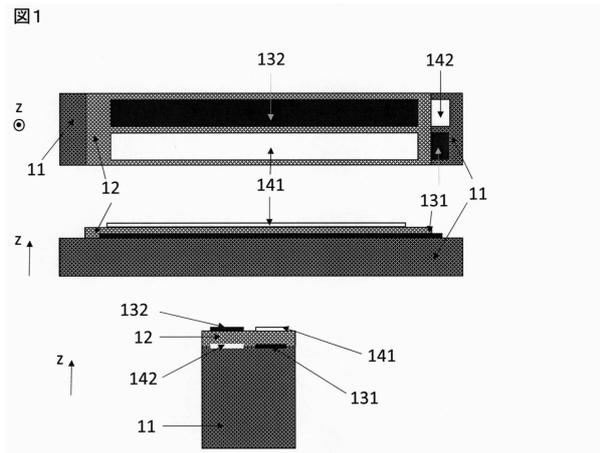
50

および 1192 によって抵抗される。これは、これらのばねが、ばねが取り付けられるアンカー点の方向における並進を受け得ないためである。対角サポートスプリング 1191 および 1192 は、所望の曲げを促進するために十分に狭く柔軟でなければならない。

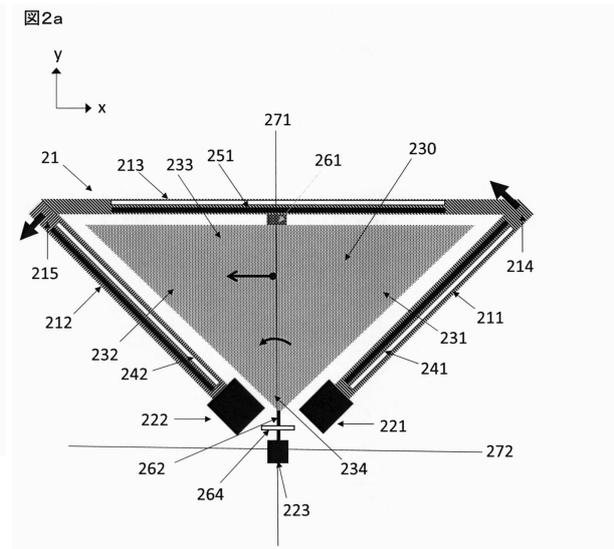
【0107】

言い換えると、図 11e ~ 図 11d において、隣接する周辺懸架装置がコーナースプリングおよび固定されている対角スプリングによって互いに接続されており、結果、対応する隣接する試験質量が、同じ方向に回転するよりも、反対方向に回転しやすくなる。コーナースプリングおよび対角スプリングは、周辺懸架装置の等辺および底辺よりもかなり狭くなっている。周辺同期は、所望の駆動振動を促進し、2 対の試験質量の同相振動を抑制することができる。これは、外部振動に対する良好な堅牢性を得るために望ましい。さらに、周辺同期により、1111、1112 などの等辺の端部および 1113 などの底辺の面外運動が防止され、外部振動に対する堅牢性がさらに向上する。

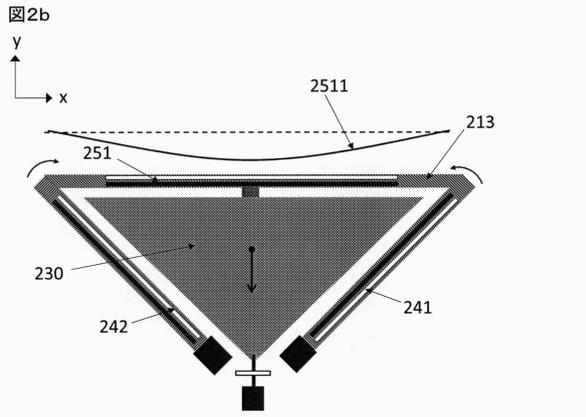
【図 1】



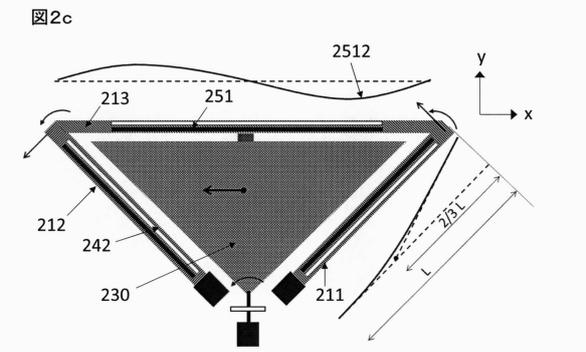
【図 2 a】



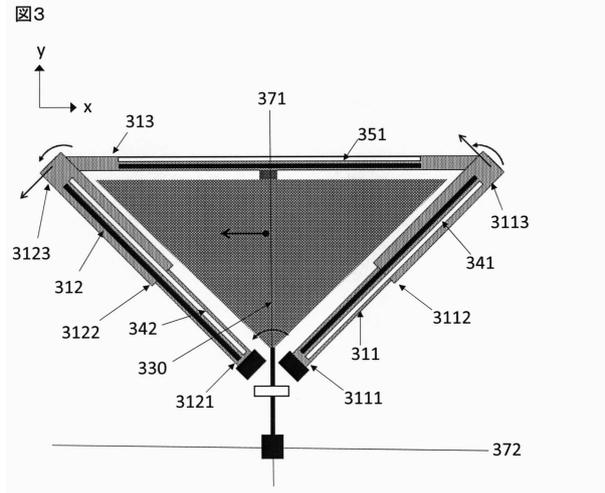
【 図 2 b 】



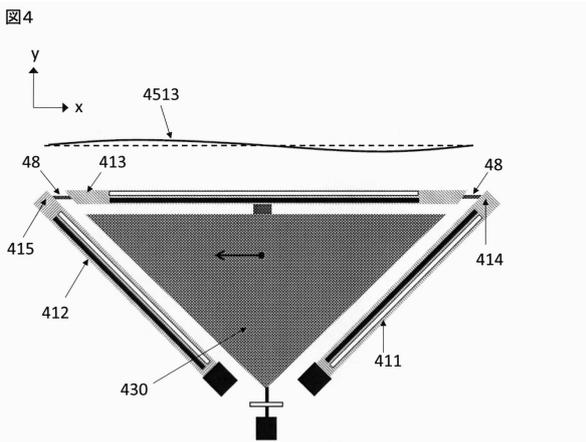
【 図 2 c 】



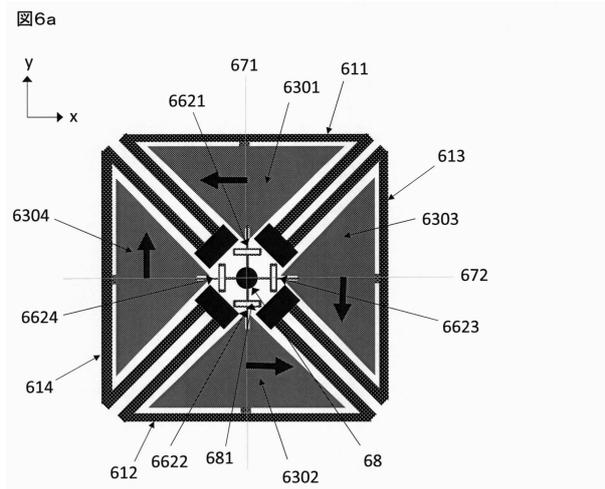
【 図 3 】



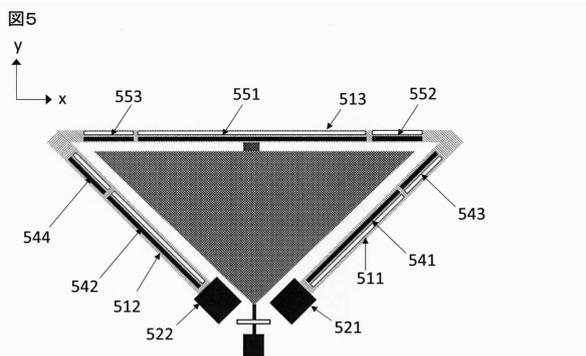
【 図 4 】



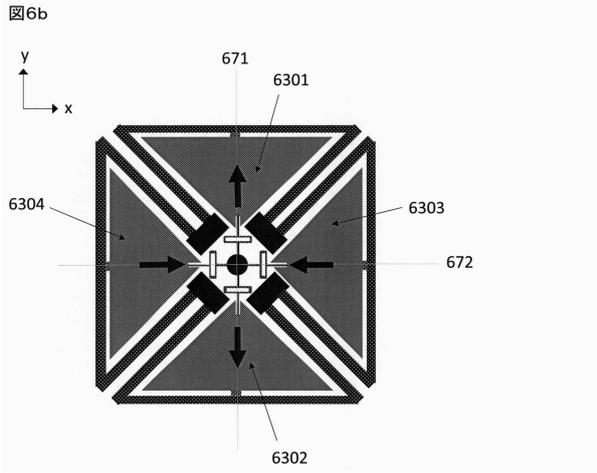
【 図 6 a 】



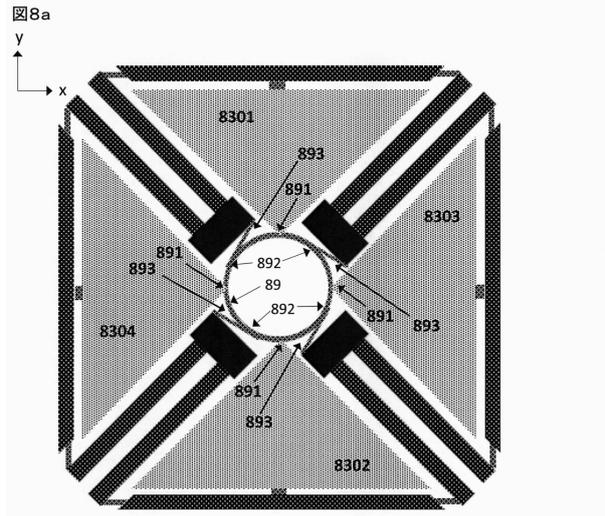
【 図 5 】



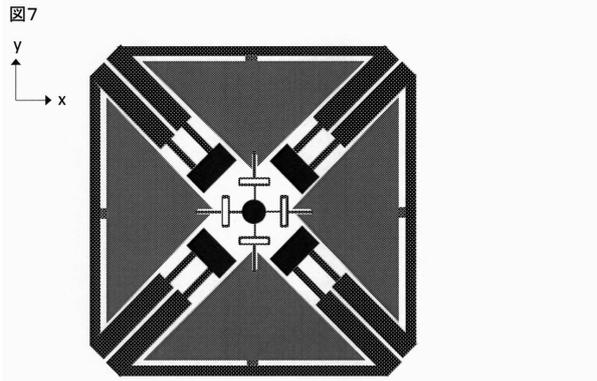
【 図 6 b 】



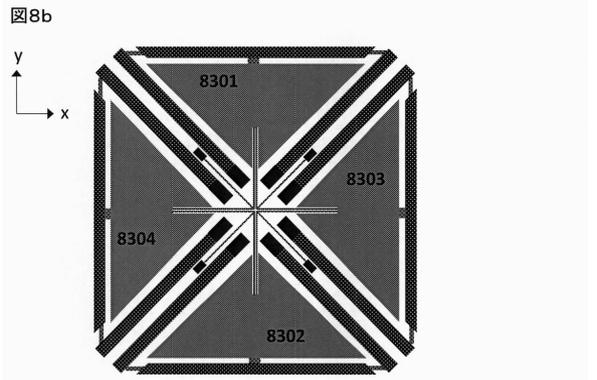
【 図 8 a 】



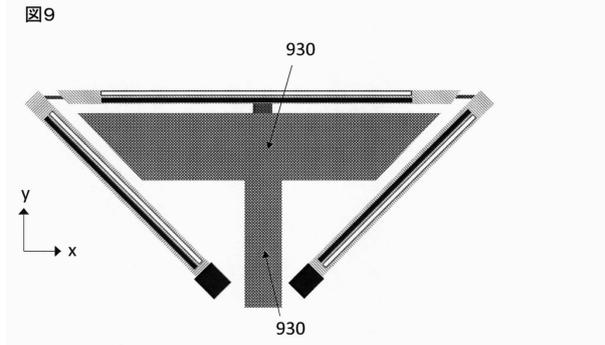
【 図 7 】



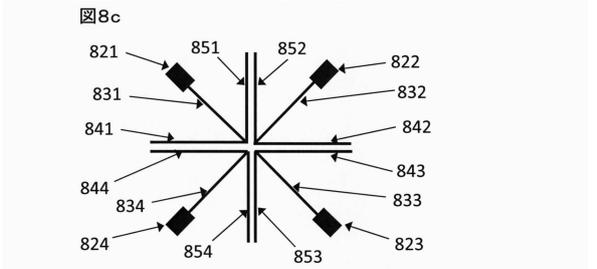
【 図 8 b 】



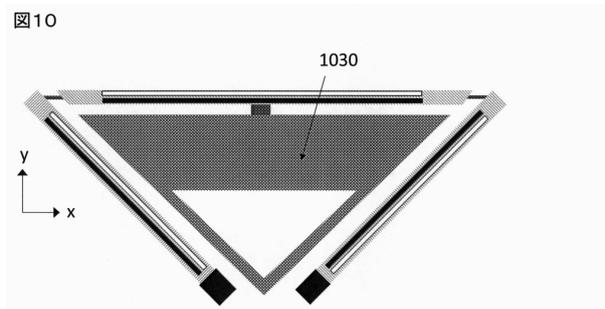
【 図 9 】



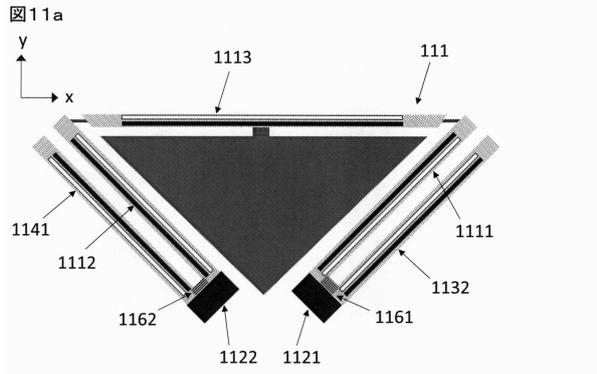
【 図 8 c 】



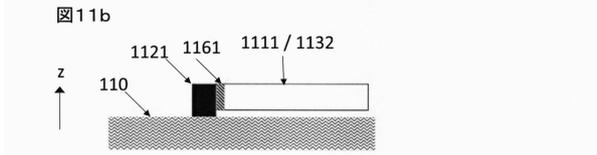
【 図 1 0 】



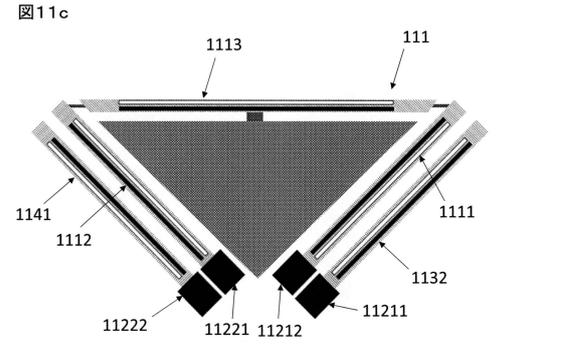
【図 11 a】



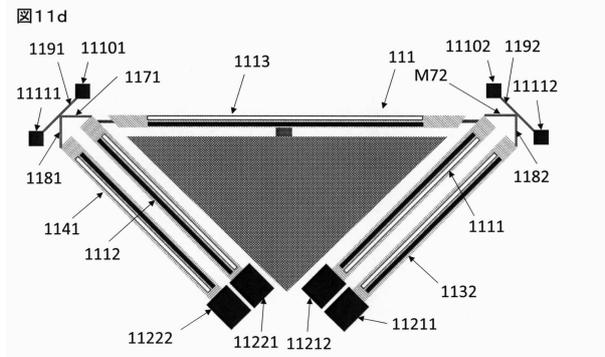
【図 11 b】



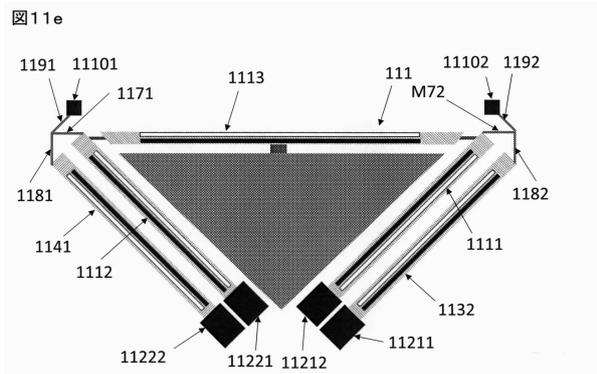
【図 11 c】



【図 11 d】



【図 11 e】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2014/091976(WO, A1)
国際公開第2013/108804(WO, A1)
国際公開第2009/078284(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01C 19/00 - 19/72
G01P 15/00 - 15/18