

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7205608号
(P7205608)

(45)発行日 令和5年1月17日(2023.1.17)

(24)登録日 令和5年1月6日(2023.1.6)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 C 19/574 (2012.01) G 0 1 C 19/574

請求項の数 5 外国語出願 (全21頁)

(21)出願番号	特願2021-191776(P2021-191776)	(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
(22)出願日	令和3年11月26日(2021.11.26)	(74)代理人	100189430 弁理士 吉川 修一
(65)公開番号	特開2022-89171(P2022-89171A)	(74)代理人	100190805 弁理士 傍島 正朗
(43)公開日	令和4年6月15日(2022.6.15)	(72)発明者	ヴィッレ・カーヤカリ アメリカ合衆国、アルタデナ カリフォルニア州 91001、3535 フェアオークス アベニュー
審査請求日	令和4年2月21日(2022.2.21)	審査官	國田 正久
(31)優先権主張番号	20206246		
(32)優先日	令和2年12月3日(2020.12.3)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	フィンランド(FI)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 同期4質量ジャイロスコープ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の横軸および第2の横軸が第1の交差軸および第2の交差軸と直交して交差するデバイス平面を備えるジャイロスコープであって、前記ジャイロスコープは第1の試験質量、第2の試験質量、第3の試験質量および第4の試験質量も備え、前記第1の試験質量および前記第2の試験質量は前記第1の横軸上に位置合わせされ、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2の横軸上に位置合わせされ、前記第1の試験質量および前記第3の試験質量は前記第1の交差軸上に位置合わせされ、前記第2の試験質量および前記第4の試験質量は前記第2の交差軸上に位置合わせされ、

前記第1の試験質量および前記第2の試験質量は、第1の中央x軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、前記第1の中央x軸逆相結合構造は、前記第1の試験質量および前記第2の試験質量の反対の横方向における同時運動を柔軟に可能にするが、前記第1の試験質量および前記第2の試験質量の同じ交差方向における同時運動には剛性に抵抗し、

前記第3の試験質量および前記第4の試験質量は、第2の中央x軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、前記第2の中央x軸逆相結合構造は、前記第3の試験質量および前記第4の試験質量の反対の横方向における同時運動を柔軟に可能にするが、前記第3の試験質量および前記第4の試験質量の同じ横方向における同時運動には剛性に抵抗し、

前記第1の試験質量および前記第3の試験質量は、第1の中央y軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、前記第1の中央y軸逆相結合構造は、前記第1の試験質量および前記第3の試験質量の反対の交差方向における同時運動を柔軟に可能にするが、前記第1の試

10

20

験質量および前記第3の試験質量の同じ交差方向における同時運動には剛性に抵抗し、

前記第2の試験質量および前記第4の試験質量は、第2の中央y軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、前記第2の中央y軸逆相結合構造は、前記第2の試験質量および前記第4の試験質量の反対の交差方向における同時運動を柔軟に可能にするが、前記第2の試験質量および前記第4の試験質量の同じ交差方向における同時運動には剛性に抵抗し、

前記第1の試験質量および前記第2の試験質量は、第1の周縁y軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、前記第1の周縁y軸逆相結合構造は、前記第1の試験質量および前記第2の試験質量の反対の交差方向における同時運動を柔軟に可能にするが、前記第1の試験質量および前記第2の試験質量の同じ交差方向における同時運動には堅固に抵抗し、

第3の試験質量および第4の試験質量は、第2の周縁y軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、第2の周縁y軸逆相結合構造は、第3の試験質量および第4の試験質量の反対の交差方向における同時運動を柔軟に可能にするが、第3の試験質量および第4の試験質量の同じ交差方向における同時運動には堅固に抵抗し、

10

第1の試験質量および第3の試験質量は、第1の周縁x軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、第1の周縁x軸逆相結合構造は、第1の試験質量および第3の試験質量の反対の横方向における同時運動を柔軟に可能にするが、第1の試験質量および第3の試験質量の同じ横方向における同時運動には堅固に抵抗し、

前記第2の試験質量および前記第4の試験質量は、第2の周縁x軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、前記第2の周縁x軸逆相結合構造は、前記第2の試験質量および前記第4の試験質量の反対の横方向における同時運動を柔軟に可能にするが、前記第2の試験質量および前記第4の試験質量の同じ横方向における同時運動には剛性に抵抗し、

20

前記ジャイロスコープは、前記第1の試験質量に隣接する第1のアンカー点のセットと、前記第2の試験質量に隣接する第2のアンカー点のセットと、前記第3の試験質量に隣接する第3のアンカー点のセットと、前記第4の試験質量に隣接する第4のアンカー点のセットとをさらに備え、前記第1の試験質量、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の試験質量の各々は、1つまたは複数の懸架構造によって前記第1のアンカー点、前記第2のアンカー点、前記第3のアンカー点および前記第4のアンカー点の対応するセットから懸架されており、

各中央x軸逆相結合構造および周縁x軸逆相結合構造は、交差方向に可撓性であり、横方向に剛性であるx軸結合要素を用いて対応する前記試験質量に結合され、各中央y軸逆相結合構造および周縁y軸逆相結合構造は、横方向に可撓性であり、交差方向に剛性であるy軸結合要素を用いて対応する前記試験質量に結合されること、および

30

各中央x軸逆相構造および各中央y軸逆相構造は、中央長尺バーを有する面内シーソーを備え、前記中央長尺バーは、前記中央長尺バーが前記デバイス平面に垂直な軸を中心に前記デバイス平面内で回転することを可能にする少なくとも1つの中央シーソー懸架装置を用いて少なくとも1つの中央アンカー点から懸架されていることを特徴とする、ジャイロスコープ。

【請求項2】

各周縁x軸逆相構造および各周縁y軸逆相構造は、周縁長尺バーを有する面内シーソーを備え、前記周縁長尺バーは、前記周縁長尺バーが前記デバイス平面に垂直な軸を中心に前記デバイス平面内で回転することを可能にする少なくとも1つの周縁シーソー懸架装置を用いて少なくとも1つの周縁アンカー点から懸架されていることを特徴とする、任意の請求項1に記載のジャイロスコープ。

40

【請求項3】

前記第1のアンカー点のセットは、前記第1の試験質量の周りに対称に配置された4つの第1のアンカー点からなり、前記第2のアンカー点のセットは、前記第2の試験質量の周りに対称に配置された4つの第2のアンカー点からなり、前記第3のアンカー点のセットは、前記第3の試験質量の周りに対称に配置された4つの第3のアンカー点からなり、前記第4のアンカー点のセットは、前記第4の試験質量の周りに対称に配置された4つの第4のアンカー点からなり、

50

対応する前記第 1 のアンカー点のセット、前記第 2 のアンカー点のセット、前記第 3 のアンカー点のセット、および前記第 4 のアンカー点のセットから前記第 1 の試験質量、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 の試験質量を懸架する前記 1 つまたは複数の懸架構造の各々は、対応する前記試験質量の横方向に対向する両側に 2 つの x 軸懸架構造を含み、各 x 軸懸架構造は、前記 x 軸結合要素のうちの 1 つと、横方向に可撓性である x 軸懸架ばねとを備え、対応する前記第 1 のアンカー点のセット、前記第 2 のアンカー点のセット、前記第 3 のアンカー点のセット、および前記第 4 のアンカー点のセットから前記第 1 の試験質量、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 の試験質量を懸架する前記 1 つまたは複数の懸架構造の各々は、前記試験質量の交差方向に対向する両側に 2 つの y 軸懸架構造も含み、各 y 軸懸架構造は、前記 y 軸結合要素のうちの 1 つと、交差方向に可撓性である y 軸懸架ばねとを備えることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のジャイロスコープ。

10

【請求項 4】

前記 1 つまたは複数の懸架構造の各々は、x 軸懸架ばね上の少なくとも 1 つの圧電トランスデューサと、y 軸懸架ばね上の少なくとも 1 つの圧電トランスデューサとを備えることを特徴とする、請求項 3 に記載のジャイロスコープ。

【請求項 5】

前記第 1 のアンカー点のセットは前記第 1 の試験質量の中央開口部内にあり、前記第 2 のアンカー点のセットは前記第 2 の試験質量の中央開口部内にあり、前記第 3 のアンカー点のセットは前記第 3 の試験質量の中央開口部内にあり、前記第 4 のアンカー点のセットは第 4 の試験質量の中央開口部内にあり、

20

対応する前記第 1 のアンカー点のセット、前記第 2 のアンカー点のセット、前記第 3 のアンカー点のセット、および前記第 4 のアンカー点のセットから前記第 1 の試験質量、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 の試験質量を懸架する前記 1 つまたは複数の懸架構造の各々は、対応する前記アンカー点のセットの横方向に対向する両側に 2 つの x 軸懸架構造を含み、各 x 軸懸架構造は、横方向に可撓性である x 軸懸架ばねを備え、対応する前記第 1 のアンカー点のセット、前記第 2 のアンカー点のセット、前記第 3 のアンカー点のセット、および前記第 4 のアンカー点のセットから前記第 1 の試験質量、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 の試験質量を懸架する前記 1 つまたは複数の懸架構造の各々は、対応する前記アンカー点のセットの交差方向に対向する両側に 2 つの y 軸懸架構造も含み、各 y 軸懸架構造は、交差方向に可撓性である y 軸懸架ばねを備え、

30

各 x 軸懸架構造は、対応する前記アンカー点から対応する前記 x 軸懸架ばねまで延在する 1 つまたは複数の横方向バーをさらに備え、各 y 軸懸架構造は、対応する前記アンカー点から対応する前記 y 軸懸架ばねまで延在する 1 つまたは複数の交差方向バーをさらに備え、前記 1 つまたは複数の懸架構造の各々は、横方向バー上の少なくとも 1 つの圧電トランスデューサと、交差方向バー上の少なくとも 1 つの圧電トランスデューサとを備えることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載のジャイロスコープ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本開示は、微小電気機械ジャイロスコープに関し、より詳細には、4 つの試験質量がデバイス平面 (x y 平面) 内で振動し、回転速度が、当該デバイス平面に垂直な入力軸 (z 軸) を中心として測定される z 軸ジャイロスコープに関する。

【背景技術】

【0002】

微小電気機械 (MEMS) ジャイロスコープでは、試験質量は、好ましくは、一次振動モード (駆動振動モードとも呼ばれる場合がある) で振動するように容易に設定されるべきである。試験質量はまた、コリオリの力によって誘発される二次振動モード (センス振動モードとも呼ばれる場合がある) の振動を容易に受けるはずである。ジャイロスコープ

50

設計における一般的な問題は、一次振動モードおよび二次振動モードにおける試験質量の振動が、好ましくは、外乱によって乱されるべきではないことである。ジャイロスコープは、好ましくは、その出力信号が、ジャイロスコープが意図された周波数範囲において受ける角回転速度によってのみ決定されるように、線形振動および回転振動の両方によって乱されるべきではない。例えば、自動車用途では、通常、可能性のある擾乱は0～50kHzの周波数範囲にあり、一方、入力周波数範囲は通常1kHz未満である。

【0003】

1つの振動試験質量のみを利用して単純なMEMSジャイロスコープを構築することができるが、動作周波数に近い周波数の外部振動が存在する場合、そのようなジャイロスコープの出力信号は通常ノイズが多くなる。単質量ジャイロスコープは、50kHzを超える動作周波数でのみ実用的であるが、そのような周波数では、製造の不完全性から生じる直交信号などの他の妨害効果が非常に顕著になることが多い。

10

【0004】

4つの試験質量が逆相で振動する系は、単質量ジャイロスコープよりも振動に対してはるかにロバストにすることができることが知られている。試験質量の任意の対の同相運動を誘発する振動から生じる信号成分は、当該系において、差分測定によって少なくとももある程度自動的に相殺することができる。さらに、4つの試験質量の逆相振動が効果的に同期される場合、すべての同相共振周波数は、逆相共振周波数に影響を及ぼすことなく50kHzを超えることができる。次いで、妨害振動は、典型的には共振増幅を生じず、以て、デバイスへの妨害振動の影響が大幅に低減される。

20

【0005】

デバイス基板に垂直な1つの軸を中心とした角回転速度を測定するように設計されているMEMSジャイロスコープは、z軸ジャイロスコープと呼ばれ得る。当該事例におけるコリオリの力はデバイス平面の方向に作用するため、試験質量の一次振動および二次振動の両方がデバイス平面内で発生するように、z軸ジャイロスコープを設計することができる。

【0006】

米国特許第10415968号明細書および論文Zotov他「High-Range Angular Rate Sensor Based on Mechanical Frequency Modulation」(Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 21, No. 2, p. 398-405, April 2012)は、4つの試験質量が逆相運動を促進し、同相運動に抵抗する配置において互いに結合されているz軸ジャイロスコープを開示している。しかしながら、当該ジャイロスコープにおいて使用される同期および懸架構成のいくつかは、非線形であることが知られている両持ち梁ばね構造に基づいている。非線形ばねは、ジャイロスコープの質量振動振幅を低いレベルに制限し、以て、ジャイロスコープの正確度およびノイズ性能を制限する。

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本開示の目的は、上記の問題が軽減された逆相同期を有する4質量ジャイロスコープを提供することである。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

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。

【0009】

本開示は、x方向の力を対応する試験質量に伝達するすべての同期構造を、x方向に剛性であるがy方向に可撓性である結合要素を用いて結合し、y方向の力を対応する試験質量に伝達するすべての同期構造を、y方向に剛性であるがx方向に可撓性である結合要素

50

を用いて結合するという着想に基づく。本開示は、中央同期のために面内シーソー同期構造を利用するという考えにさらに基づいている。

【0010】

本開示の構成の利点は、各試験質量が大きな振幅で振動することができ、x方向の各試験質量の振動が、y方向のその振動から独立するようになる一方で、両方向の他の試験質量の振動と依然として同期していることである。

【図面の簡単な説明】

【0011】

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1a】4質量ジャイロスコープにおける望ましい横方向振動を示す図である。

【図1b】4質量ジャイロスコープにおける望ましくない横方向振動を示す図である。

【図1c】4質量ジャイロスコープにおける望ましくない横方向振動を示す図である。

【図1d】4質量ジャイロスコープにおける望ましくない横方向振動を示す図である。

【図2a】4質量ジャイロスコープにおける望ましい交差方向振動を示す図である。

【図2b】4質量ジャイロスコープにおける望ましくない交差方向振動を示す図である。

【図2c】4質量ジャイロスコープにおける望ましくない交差方向振動を示す図である。

【図2d】4質量ジャイロスコープにおける望ましくない交差方向振動を示す図である。

【図3a】振動周期の異なる位相における質量中心の動きを示す図である。

【図3b】振動周期の異なる位相における質量中心の動きを示す図である。

【図3c】振動周期の異なる位相における質量中心の動きを示す図である。

【図3d】振動周期の異なる位相における質量中心の動きを示す図である。

【図4a】試験質量の外側に懸架および同期構造を有する4質量ジャイロスコープを示す図である。

【図4b】試験質量の外側に懸架および同期構造を有する4質量ジャイロスコープを示す図である。

【図4c】試験質量の外側に懸架および同期構造を有する4質量ジャイロスコープを示す図である。

【図5】圧電トランスデューサを用いて駆動することができるジャイロスコープを示す図である。

【図6】容量性力トランスデューサを用いて駆動することができるジャイロスコープを概略的に示す図である。

【図7】各試験質量の開口部内の懸架構造と、圧電トランスデューサを用いて駆動することができる試験質量の外側の同期構造とを有する4質量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】

【0012】

本開示は、第1の横軸および第2の横軸が第1の交差軸および第2の交差軸と直交して交差するデバイス平面を備えるジャイロスコープを説明する。ジャイロスコープはまた、第1の試験質量、第2の試験質量、第3の試験質量、および第4の試験質量を備える。第1の試験質量および第2の試験質量は第1の横軸上に位置合わせされ、第3の試験質量および第4の試験質量は第2の横軸上に位置合わせされ、第1の試験質量および第3の試験質量は第1の交差軸上に位置合わせされ、第2の試験質量および第4の試験質量は第2の交差軸上に位置合わせされる。

【0013】

第1の試験質量および第2の試験質量は、第1の中央x軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、第1の中央x軸逆相結合構造は、第1の試験質量および第2の試験質量の反対の横方向における同時運動を柔軟に可能にするが、第1の試験質量および第2の試験質量の同じ横方向における同時運動には剛性に抵抗する。

【0014】

第3の試験質量および第4の試験質量は、第2の中央x軸逆相結合構造を用いて互いに

10

20

30

40

50

結合され、第 2 の中央 x 軸逆相結合構造は、第 3 の試験質量および第 4 の試験質量の反対の横方向における同時運動を柔軟に可能にするが、第 3 の試験質量および第 4 の試験質量の同じ横方向における同時運動には剛性に抵抗する。

【 0 0 1 5 】

第 1 の試験質量および第 3 の試験質量は、第 1 の中央 y 軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、第 1 の中央 y 軸逆相結合構造は、第 1 の試験質量および第 3 の試験質量の反対の交差方向における同時運動を柔軟に可能にするが、第 1 の試験質量および第 3 の試験質量の同じ交差方向における同時運動には剛性に抵抗する。

【 0 0 1 6 】

第 2 の試験質量および第 4 の試験質量は、第 2 の中央 y 軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、第 2 の中央 y 軸逆相結合構造は、第 2 の試験質量および第 4 の試験質量の反対の交差方向における同時運動を柔軟に可能にするが、第 2 の試験質量および第 4 の試験質量の同じ交差方向における同時運動には剛性に抵抗する。

10

【 0 0 1 7 】

第 1 の試験質量および第 2 の試験質量は、第 1 の周縁 y 軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、第 1 の周縁 y 軸逆相結合構造は、第 1 の試験質量および第 2 の試験質量の反対の交差方向における同時運動を柔軟に可能にするが、第 1 の試験質量および第 2 の試験質量の同じ交差方向における同時運動には剛性に抵抗する。

【 0 0 1 8 】

第 3 の試験質量および第 4 の試験質量は、第 2 の周縁 y 軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、第 2 の周縁 y 軸逆相結合構造は、第 3 の試験質量および第 4 の試験質量の反対の交差方向における同時運動を柔軟に可能にするが、第 3 の試験質量および第 4 の試験質量の同じ交差方向における同時運動には剛性に抵抗する。

20

【 0 0 1 9 】

第 1 の試験質量および第 3 の試験質量は、第 1 の周縁 x 軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、第 1 の周縁 x 軸逆相結合構造は、第 1 の試験質量および第 3 の試験質量の反対の横方向における同時運動を柔軟に可能にするが、第 1 の試験質量および第 3 の試験質量の同じ横方向における同時運動には剛性に抵抗する。

【 0 0 2 0 】

第 2 の試験質量および第 4 の試験質量は、第 2 の周縁 x 軸逆相結合構造を用いて互いに結合され、第 2 の周縁 x 軸逆相結合構造は、第 2 の試験質量および第 4 の試験質量の反対の横方向における同時運動を柔軟に可能にするが、第 2 の試験質量および第 4 の試験質量の同じ横方向における同時運動には剛性に抵抗する。

30

【 0 0 2 1 】

ジャイロスコープは、第 1 の試験質量に隣接する第 1 のアンカー点のセットと、第 2 の試験質量に隣接する第 2 のアンカー点のセットと、第 3 の試験質量に隣接する第 3 のアンカー点のセットと、第 4 の試験質量に隣接する第 4 のアンカー点のセットとをさらに備え、第 1 の試験質量、第 2 の試験質量、第 3 の試験質量および第 4 の試験質量の各々は、1 つまたは複数の懸架構造によって第 1 のアンカー点、第 2 のアンカー点、第 3 のアンカー点および第 4 のアンカー点の対応するセットから懸架されている。

40

【 0 0 2 2 】

各中央および周縁 x 軸逆相結合構造は、交差方向に可撓性であり、横方向に剛性である x 軸結合要素を用いて、対応する試験質量に結合されている。各中央および周縁 y 軸逆相結合構造は、横方向に可撓性であり、交差方向に剛性である y 軸結合要素を用いて、対応する試験質量に結合されている。

【 0 0 2 3 】

各中央 x 軸逆相結合構造および各中央 y 軸逆相結合構造は、中央長尺バーを有する面内シーソーを備え、中央長尺バーは、中央長尺バーがデバイス平面に垂直な軸を中心にデバイス平面内で回転することを可能にする少なくとも 1 つの中央シーソー懸架装置を用いて少なくとも 1 つの中央アンカー点から懸架されている。

50

【 0 0 2 4 】

本開示では、デバイス平面が例示され、 x y 平面と称される。 x 方向を横方向と称し、 y 方向を交差方向と称する。デバイス平面は、水平面と呼ばれる場合もある。 z 軸は x y 平面に垂直である。 z 軸はまた、垂直軸と呼ばれる場合もある。試験質量が静止位置から外方に離れると、デバイス平面内で水平のままである線形運動および/または回転運動は、「面内」運動または「デバイス平面内の運動」として参照される。

【 0 0 2 5 】

本開示において、「水平」および「垂直」という用語は、それぞれデバイス平面およびデバイス平面に垂直な方向を指す。デバイス平面は、典型的には、微小機械構造が作成される基板によって規定される。「水平」および「垂直」という言葉は、製造中または使用中にデバイスをどのように方向付けるべきかについて何も暗示しない。

10

【 0 0 2 6 】

「第 1 の横軸上に位置合わせされた」などの表現は、デバイス要素を、上記軸が上記デバイス要素の中心に実質的に交差するように配置することを指す。試験質量は、例えば、上記軸に関して対称であり得、および/または軸は、上記試験質量の重心と交差し得る。しかしながら、完璧な位置合わせは必ずしも常に必要ではない。

【 0 0 2 7 】

本開示において、「ばね」という用語は、少なくとも 1 つの方向に可撓性であるデバイス部分を指す。「懸架装置」または「懸架要素」という用語は、固定部分（アンカー点など）と、デバイスが動作するときに動くデバイス部分との間に（場合によっては他のデバイス部分と共に）配置される要素を指す。「懸架構造」という用語は、共に可動質量に構造的な支持を提供する懸架装置のより多くの組み合わせを指す。懸架構造は、連結方式で互いに接続された懸架装置を含むことができる。懸架装置のいくつかは剛性であってもよく、他のものは可撓性であってもよい。懸架構造は、所望の振動に適應するために必要な可撓性を提供する少なくとも 1 つの可撓性懸架装置を含む。

20

【 0 0 2 8 】

懸架構造は、試験質量のための構造的な支持を提供する。下記により詳細に説明するように、第 1 の試験質量、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、当該懸架構造を介して互いに結合されてもよい（ただし、必ずしもそうである必要はない）。言い換えれば、中央結合構造および周縁結合構造は、同じ軸上に位置合わせされた 2 つの試験質量の懸架構造の間に延在することができる。あるいは、中央結合構造および周縁結合構造は、同じ軸上に位置合わせされた 2 つの試験質量の間に延在してもよく、懸架構造は、結合構造と試験質量との間に存在しない別個の構造であってもよい。

30

【 0 0 2 9 】

中央および周縁逆相結合構造は、上述した方法で試験質量の横方向および交差方向の振動運動の両方を同期させる。本開示全体を通して、「同期させる（synchronize）」という用語、および「構造 A が振動モード X を同期させる」などの語句は、以下の意味を有する。構造 A は、好ましくは所望のモード X において振動すべきであるが、好ましくは望ましくないモード Y においては振動すべきでない、相互接続された質量要素のシステムにおいて機械的接続を構成する。構造 A は、剛性と柔軟性との有益な組み合わせを呈し、結果、構造 A の存在はシステムにおけるモード X の共振周波数 F_x とモード Y の共振周波数 F_y との間の関係を改善する。

40

【 0 0 3 0 】

構造 A の存在は、例えば、比 F_y / F_x および/または差 $F_y - F_x$ を増加させることができる。この改善が測定される基準状態は、場合によっては、構造 A のない質量要素の同じシステムである場合がある。当該事例において、構造 A は同期にのみ必要である。他の場合、構造 A が質量要素の重量を支えるためにも必要であるとき、同期改善が測定される基準状態は、A が、構造的な支持のみを提供する代替の構造 B に置き換えられた質量要素から成る同じシステムであってもよい。

【 0 0 3 1 】

50

一般に、すべての懸架、同期および結合構成は、支持、ならびに、特定の方向の柔軟性および他の方向の剛性のために最適化されている。当該3つの変数は互いに競合する可能性があるため、当該変数の最適化は、適切な妥協案を見つけるべきであることを意味することが多い。ジャイロスコープのすべての要素が当該妥協に影響を与える可能性がある。

【0032】

図1 aは、本開示に記載のジャイロスコープにおける所望の振動モードである第1の振動モードを黒色実線矢印で概略的に示す。図1 aは、第1の横軸(101)および第2の横軸(102)、第1の交差軸(103)および第2の交差軸(104)、ならびに第1の試験質量(111)、第2の試験質量(112)、第3の試験質量(113)および第4の試験質量(114)を示している。図1 aはまた、第1の中央x軸逆相結合構造121、第2の中央x軸逆相結合構造122、第1の中央y軸逆相結合構造123、第2の中央y軸逆相結合構造124、第1の周縁y軸逆相結合構造131、第2の周縁y軸逆相結合構造132、第1の周縁x軸逆相結合構造133、および第2の周縁x軸逆相結合構造134を概略的に示す。

10

【0033】

中央および周縁x軸逆相結合構造121~122および133~134は、質量113および114が第2の横軸102上で互いから離れるように同時に動くときに、質量111および112が第1の横軸101上で互いに向かって動く第1の振動モードを促進する。振動周期の反対の半部では、質量111および112は互いから離れるように動き、一方で、質量113および114は互いに向かって動く。

20

【0034】

図1 b、図1 cおよび図1 dは、同相振動が発生する3つの望ましくない振動モードを模様付き矢印で示している。周縁x軸逆相結合構造133~134は、試験質量対111+112および113+114の両方が同時に互いに向かって振動する、図1 bに示されている同相振動に抵抗する。中央x軸逆相結合構造121~122は、角加速度によって誘発され得る、図1 cに示される同相振動に抵抗する。試験質量111および112は、一方の横方向に同時に動き、一方で113および114は、他方の横方向に同時に動く。そして最後に、中央結合構造121~122および周縁結合構造133~134の両方が、4つの試験質量111~114のすべてが同じ方向に動く図1 dの線形加速によって誘発される同相振動に抵抗する。

30

【0035】

図2 aは、所望の振動モードである第2の振動モードを実線矢印で概略的に示す。参照符号201~204、211~214、221~224および231~234は、それぞれ図1 a~図1 cの参照符号101~104、111~114、121~124および131~134に対応する。

【0036】

中央および周縁y軸逆相結合構造223~224および231~232は、質量212および214が第2の交差軸204上で互いに向かって同時に動くときに、質量211および213が第1の交差軸203上で互いから離れるように動く第2の振動モードを促進する。振動周期の反対の半部では、質量211および213は互いに向かって動き、一方で、質量212および214は互いから離れるように動く。

40

【0037】

図2 b、図2 cおよび図2 dは、同相振動を伴う3つの望ましくない振動モードを示す。周縁y軸逆相結合構造231~232は、試験質量対211+213および212+214の両方が同時に互いに向かって振動する、図2 bに示されている同相振動に抵抗する。中央y軸逆相結合構造223~224は、角加速度によって誘発され得る、図2 cに示される同相振動に抵抗する。試験質量211および213は、一方の交差方向に同時に動き、一方で212および214は、他方の交差方向に同時に動く。そして最後に、中央結合構造223~224および周縁結合構造231~232の両方が、4つの試験質量211~214のすべてが同じ方向に動く図2 dの線形加速によって誘発される同相振動に抵

50

抗する。

【0038】

中央×軸逆相結合構造(121、122、221、222)および周縁×軸逆相結合構造(133、134、233、234)が、交差方向に可撓性であり、横方向に剛性である×軸結合要素を用いて対応する試験質量(111~114、211~214)に結合されると、各×軸結合要素は横方向にのみ力を伝達し、方向に作用する力を散逸させる。対応して、中央y軸逆相結合構造(123、124、223、224)および周縁y軸逆相結合構造(131、132、231、232)が、横方向に可撓性であり、交差方向に剛性であるy軸結合要素を用いて対応する試験質量(111~114、211~214)に結合されると、各y軸結合要素は交差方向にのみ力を伝達し、横方向に作用する力を散逸させる。

10

【0039】

本開示に記載されているすべての中央および周縁×軸逆相結合構造の技術的目的は、図1b~図1cに示されているような望ましくない振動モードの共振周波数を増加させることである。同様に、本開示に記載されているすべての中央および周縁y軸逆相結合構造は、図2b~図2cに示されているような望ましくない振動モードの共振周波数を増加させる。

【0040】

本開示に記載されている結合構成の利点は、依然として各試験質量において互いに独立したままでありながら、第1の振動モードおよび第2の振動モードを効果的に同期させることができることである。試験質量(111~114、211~214)間の中心および周縁×軸結合は、図1aに示される第1の振動モードを促進し、図1b~図1cに示される望ましくない振動モードに抵抗する。試験質量(111~114、211~214)間のy軸結合は、図2aに示される第2の振動モードを促進し、図2bおよび図2cに示される望ましくない振動モードに抵抗する。したがって、試験質量システムは、外部振動によって容易に妨害されないロバストな第1の振動モードおよび第2の振動モードを取得し、第1の振動モードにおける各試験質量の振動は、第2の振動モードにおける各試験質量の振動とは無関係に発生する。

20

【0041】

第1の振動モードおよび第2の振動モードは、中央長尺バーを有する面内シーソーを備える中央×軸逆相構造および中央y軸逆相構造を用いて特に効果的に互いから独立して行うことができ、中央長尺バーは、中央長尺バーがデバイス平面に垂直な軸を中心にデバイス平面内で回転することを可能にする少なくとも1つの中央シーソー懸架装置を用いて少なくとも1つの中央アンカー点から懸架されている。これは、横/交差方向の試験質量の動きを同期させる各中央長尺バーを、同じ(横/交差)方向に剛性であるが、直交する(交差/横)方向に可撓性である結合要素に容易に接合することができるためである。シーソー構造は、主に所望の逆相運動に対する質量負荷効果を有し、逆相運動共振周波数を低下させる。同相運動はシーソーの変形を必要とし、以て同相共振周波数を上昇させる。当該複合効果は、逆相共振周波数と同相共振周波数とを分離し、所望の逆相運動は最も低い共振周波数を有する。

30

【0042】

ジャイロスコープは、駆動トランスデューサが、試験質量111~114/211~214を作動させて図1aに示す第1の振動モードに対応する一次振動モードにする振幅変調ジャイロスコープとして動作することができる。一次振動は、可能な限り一定に保たれる所定の振幅を有する。ジャイロスコープが角回転を受けると、コリオリの力が試験質量を、図2aに示す第2の振動モードに対応する二次振動モードにおいても振動するように設定する。二次振動の振幅は、一次振動の角回転速度および振幅に比例する。当該振幅は、試験質量の交差方向変位に比例するセンス信号を生成するように構成されたセンストランスデューサを用いて測定することができる。外部振動によって生成される外乱は、反対方向に動く試験質量から測定されるセンス信号が互いに減算される差分読み出しによって

40

50

効果的に相殺することができる。

【 0 0 4 3 】

あるいは、ジャイロスコープは、駆動トランスデューサが試験質量 1 1 1 ~ 1 1 4 / 2 1 1 ~ 2 1 4 を同時に作動させて第 1 の振動モードおよび第 2 の振動モードの両方にする周波数変調ジャイロスコープとして動作してもよい。振動振幅は、第 1 の振動モードおよび第 2 の振動モードにおいて実質的に同じであってもよく、結果、駆動トランスデューサは、各試験質量を実質的に円形の運動に作動させる。当該運動は、各々が振動周期における位相を示している図 3 a ~ 図 3 d に示されている。各試験質量の質量中心は点で示されており、当該点の配置は、各試験質量の円運動を他の試験質量の円運動とどのように同期させることができるかを示している。

10

【 0 0 4 4 】

円運動の方向および振動および振動周波数は、各試験質量について同じである。ジャイロスコープが角回転を受けると、コリオリの力は円運動の振動周波数を減少または増加させる。

【 0 0 4 5 】

第 1 の振動モードおよび第 2 の振動モードがわずかに異なる共振周波数を有する場合、ジャイロスコープをリサージュモードパターンで動作させることも可能である。

【 0 0 4 6 】

同期 4 質量設計の主な利点は、加速効果に対する非感受性である。当該ロバスト性は、2 つの手段によって達成される。すなわち、第 1 に、加速が、結合構造によって機械的に抑制される同相質量運動をもたらす。第 2 に、質量変位が、4 つの質量から差動的に測定される。センストランスデューサは、差動検知において同相運動が相殺される間に逆相運動を合成するように構成される。

20

【 0 0 4 7 】

ジャイロスコープが振幅変調ジャイロスコープとして動作する場合、第 1 の振動モードと第 2 の振動モードとが独立しているということは、高振幅駆動振動が低振幅センス振動モードにおいて誤った測定信号を引き起こさないことを意味する。ジャイロスコープが周波数変調ジャイロスコープとして動作する場合、第 1 の振動モードと第 2 の振動モードとが独立しているということは、試験質量が、信頼できる周波数測定に特に適した円形またはリサージュパターンで確実に駆動され得ることを意味する。

30

【 0 0 4 8 】

図 4 a は、ジャイロスコープを示し、参照符号 4 0 1 ~ 4 0 4、4 1 1 ~ 4 1 4、4 2 1 ~ 4 2 4 および 4 3 1 ~ 4 3 4 がそれぞれ図 1 a ~ 図 1 c の参照符号 1 0 1 ~ 1 0 4、1 1 1 ~ 1 1 4、1 2 1 ~ 1 2 4 および 1 3 1 ~ 1 3 4 に対応する。図 4 a はまた、第 1 の試験質量 4 1 1 に隣接する第 1 のアンカー点のセット 4 9 1 ~ 4 9 4、および他の 3 つの試験質量の各々に隣接する対応するアンカー点のセットを示す。図 4 a はまた、x 軸結合要素 4 4 1 ~ 4 4 8 および y 軸結合要素 4 5 1 ~ 4 5 8 を示す。

【 0 0 4 9 】

図示されているジャイロスコープにおいて、第 1 のアンカー点のセットは、第 1 の試験質量の周りに対称に配置された 4 つの第 1 のアンカー点からなり、第 2 のアンカー点のセットは、第 2 の試験質量の周りに対称に配置された 4 つの第 2 のアンカー点からなり、第 3 のアンカー点のセットは、第 3 の試験質量の周りに対称に配置された 4 つの第 3 のアンカー点からなり、第 4 のアンカー点のセットは、第 4 の試験質量の周りに対称に配置された 4 つの第 4 のアンカー点からなる。

40

【 0 0 5 0 】

対応する第 1 のアンカー点のセット、第 2 のアンカー点のセット、第 3 のアンカー点のセット、および第 4 のアンカー点のセットから第 1 の試験質量、第 2 の試験質量、第 3 の試験質量、および第 4 の試験質量を懸架する 1 つまたは複数の懸架構造の各々は、対応する試験質量の横方向に対向する両側に 2 つの x 軸懸架構造を含む。各 x 軸懸架構造は、上記 x 軸結合要素のうちの 1 つと、横方向に可撓性である x 軸懸架ばねとを備える。対応す

50

る第1のアンカー点のセット、第2のアンカー点のセット、第3のアンカー点のセット、および第4のアンカー点のセットから第1の試験質量、第2の試験質量、第3の試験質量、および第4の試験質量を懸架する1つまたは複数の懸架構造の各々はまた、試験質量の交差方向に対向する両側に2つのy軸懸架構造も含む。各y軸懸架構造は、上記y軸結合要素のうちの一つと、交差方向に可撓性であるy軸懸架ばねとを備える。

【0051】

言い換えれば、図4では、x軸およびy軸結合要素は、対応するアンカー点のセットから試験質量を懸架し、試験質量の重量を支持する懸架構造の一部を形成する。中央および周縁逆相結合構造は、当該例では、懸架構造の一部を形成する横方向および交差方向延長要素(481~484)に接続されている。

10

【0052】

図4aの対応するアンカー点のセット(491~494)から第1の試験質量411を懸架する1つまたは複数の懸架構造は、2つのx軸懸架構造および2つのy軸懸架構造を含む。x軸懸架構造は、横方向に可撓性であるが交差方向に剛性であるx軸懸架ばね(461、462)を備える。図4aでは、当該x軸懸架ばね(461、462)は、対応する試験質量(411)の横方向に対向する両側に位置するが、これはすべての実施形態において必要な特徴ではない。各x軸懸架ばねは、対応するアンカー点(491、492)から対応する横方向延長要素(481、482)まで延在する。x軸主ばね(461、462)が接続される2つのアンカー点(491、492)は、必ずしもそうである必要はないが、対応する試験質量(411)の横方向に対向する両側に位置することができる。同様に、x軸主ばねが接続される横方向延長要素(481、482)は、必ずしもそうである必要はないが、対応する試験質量の横方向に対向する両側に位置することができる。横方向延長要素は、横方向および交差方向の両方において剛性であることができる。

20

【0053】

試験質量411を懸架するy軸懸架構造は、交差方向には可撓性であるが、横方向には剛性であるy軸懸架ばね(471、472)を備える。当該y軸懸架ばね(471、472)は、対応する試験質量(411)の交差方向に対向する両側に位置するが、これはすべての実施形態において必要な特徴ではない。各y軸懸架ばねは、対応するアンカー点(493、494)から対応する交差方向延長要素(483、484)まで延在する。y軸主ばね(471、472)が接続される2つのアンカー点(493、494)は、必ずしもそうである必要はないが、対応する試験質量(411)の交差方向に対向する両側に位置することができる。同様に、y軸主ばねが接続される交差方向延長要素(483、484)は、必ずしもそうである必要はないが、対応する試験質量(411)の交差方向に対向する両側に位置することができる。交差方向延長要素は、横方向および交差方向の両方において剛性であることができる。x軸およびy軸懸架構造に関する上記の考慮事項は、図4aに示すすべての試験質量411~414に適用される。

30

【0054】

各x軸懸架構造が横方向に可撓性であるが交差方向に剛性であり、各y軸懸架構造が交差方向に可撓性であるが横方向に剛性である、図4aに示す懸架構造の技術的利点は、図1aに示す第1の振動モードが、懸架構造を介して図2aに示す第2の振動モードにも結合されないことである。したがって、試験質量は、第1の振動モードが第2の振動モードから独立したままであることを可能にするようにアンカー点から懸架される。前述のように、これは、振幅変調ジャイロスコープにおけるセンス振動モードおよび周波数変調ジャイロスコープにおける円形またはリサージュ駆動振動の正確な測定を容易にする。

40

【0055】

図4aにおいて、各中央x軸逆相構造(421、422)および各中央y軸逆相構造(423、424)は、中央長尺バーを有する面内シーソーを備え、中央長尺バーは、中央長尺バーがデバイス平面に垂直な軸を中心にデバイス平面内で回転することを可能にする少なくとも一つの中央シーソー懸架装置を用いて少なくとも一つの中央アンカー点から懸架されている。各周縁x軸逆相構造(433、434)および各周縁y軸逆相構造(43

50

1、432)もまた、周縁長尺バーを有する面内シーソーを備え、周縁長尺バーは、周縁長尺バーがデバイス平面に垂直な軸を中心にデバイス平面内で回転することを可能にする少なくとも1つの周縁シーソー懸架装置を用いて少なくとも1つの周縁アンカー点から懸架されている。しかしながら、面内シーソーではない代替的な周縁逆相構造も使用することができる。

【0056】

図4aは、各周縁シーソー懸架装置 - 周縁アンカー点对を参照符号499によって示す。周縁アンカー点から懸架されている周縁長尺バーは、符号4311、4321、4331、および4341によって示されている。図4aはまた、各中央シーソー懸架装置 - 中央アンカー点对を参照符号498によって示す。中央アンカー点から懸架されている中央長尺バーは、符号4211、4221、4231、および4241によって示されている。各周縁および中央シーソー懸架装置は、懸架されたバーが下記の図4bおよび図4cに示すようにデバイス平面内で回転することを可能にする任意の種類のパネシステムであってもよい。

10

【0057】

すべての部品が図4aで符号を付された部品に対応する図4bは、第1の振動モードにおける中央および周縁x軸逆相構造の同期作用を示す。また、図4bは、うちいくつかが図4aにおいて参照符号451~458を用いてマークされているy軸結合要素が、第1の振動モードにおいて試験質量の運動を柔軟に吸収し、結果、第1の振動モードでは運動エネルギーがほとんど交差方向延長要素(483、484など)に伝達されず、y軸懸架構造およびy軸逆相構造に向かって伝達される様子も示されている。y軸結合要素は、当該事例において、交差方向延長要素(483、484)から対応する試験質量(411)内の突出部の両側へと延伸するばねである。交差方向延長要素(483、484)は、この両側取り付けを容易にするように寸法決めされている。しかしながら、y軸結合要素は、逆相結合構造と試験質量との間に可撓性および剛性の前述の組み合わせを生成する任意の種類のパネ構成であってもよい。上記の考慮事項は、441~448などのx軸結合要素および横方向延長要素(481、482)にも適用される。

20

【0058】

ここでも、すべての図示されている部品が図4aで符号を付された部品に対応する図4cは、第2の振動モードにおける中央および周縁y軸逆相構造の同期作用を示す。また、図4cは、うちいくつかが図4bにおいて参照符号441~448を用いてマークされているx軸結合要素が、第2の振動モードにおいて試験質量の運動を柔軟に吸収し、結果、第2の振動モードでは運動エネルギーがほとんど横方向延長要素(481、482など)に伝達されず、x軸懸架構造およびx軸逆相構造に向かって伝達される様子も示されている。

30

【0059】

図5は、圧電トランスデューサを用いて駆動することができるジャイロスコープを示す。参照符号501~504、511、5211~5241、5311~5341、541~542、551~552、561~562、571~572、581~584、591~594および598~599は、参照符号401~404、411、4211~4241、4311~4341、441~442、451~452、461~462、471~472、481~484、491~494および498~499に対応する。

40

【0060】

x軸懸架ばね561~562は、試験質量の横方向に対向する両側に沿って対応する第1のアンカー点591~592から交差方向に延在する。他方、y軸懸架ばね571~572は、試験質量の交差方向に対向する両側に沿って対応する第1のアンカー点593~594から横方向に延在する。図5では、第1のアンカー点591~592は、当該事例において、第1の横軸501上に位置合わせされていなくてもよく、第1のアンカー点593~594は、第1の交差軸503上に位置合わせされていなくてもよいことが分かる。試験質量の各側に1つまたは複数の平行なx軸/y軸懸架ばねがあってもよい。図5は

50

、各側に2つのx軸 / y軸懸架ばねを有するデバイスを示す。

【0061】

圧電トランスデューサは、x軸懸架ばね561～562およびy軸懸架ばね571～572上に構築することができる。当該トランスデューサは、上記懸架ばねをデバイス平面内で曲げて横方向および交差方向の駆動力を発生させるために使用することができ、または、試験質量511の横方向および交差方向の動きを測定するために使用することができる。

【0062】

1つまたは複数の懸架構造の各々は、x軸懸架ばね上の少なくとも1つの圧電トランスデューサと、y軸懸架ばね上の少なくとも1つの圧電トランスデューサとを備えることができる。

10

【0063】

横方向延長要素581～582は、当該事例において、試験質量の交差方向に対向する両側に沿って横方向に延在する剛性バーである。横方向延長要素は、x軸懸架ばね561～562と試験質量511との間で横方向の力を伝達する。同様に、交差方向延長要素583～584は、試験質量の横方向に対向する両側に沿って交差方向に延在する剛性バーである。交差方向延長要素は、y軸懸架ばね571～572と試験質量511との間で交差方向の力を伝達する。

【0064】

x軸懸架ばね(561～562)およびy軸懸架ばね(571～572)は、図5に短く細いバーとして示されている屈曲部を有する対応する横方向 / 交差方向懸架ばね(581～584)に取り付けることができる。当該屈曲部が取り付け点において提供する可撓性は、x軸およびy軸懸架ばねが、ばねの実質的に全長に沿って均一な湾曲を有する片持ち梁ばねとして曲がることを可能にする。x軸懸架ばねおよびy軸懸架ばねは、両端において固定アタッチメントを用いてクランプされる場合、S字形状に曲がる。

20

【0065】

各横方向延長要素(581～582)は、1つまたは複数のx軸結合要素(541～542)によって試験質量に取り付けることができる。各交差方向延長要素(583～584)は、1つまたは複数のy軸結合要素(551～552)によって試験質量に取り付けることができる。x軸結合要素は、例えば、交差方向に可撓性であるように構成されたボックスばねであってもよく、y軸結合要素は、横方向に可撓性であるように構成されたボックスばねであってもよい。

30

【0066】

各周縁長尺バー(5311、321、5331、5341)は、試験質量を囲む横方向 / 交差方向延長要素(581～584)を介して対応する試験質量に結合することができる。同様に、各中央長尺バー(5211、221、5231、5241)は、横方向 / 交差方向延長要素(581～584)を介して対応する試験質量に結合することができる。

【0067】

図6は、容量性カトランスデューサを用いてジャイロスコープをどのように駆動することができるかを示す。図示されたデバイス部品は、図4aに示されたデバイス部品に対応する。図6に示す追加のデバイス部品は、ステータフィンガ電極(612など)のセットと互いに噛み合うロータフィンガ電極(611など)のセットを備えるカトランスデューサを含む。ロータフィンガ電極611の各セットは、交差方向延長要素683などの可動デバイス部品に取り付けられる。ステータフィンガ電極612の各セットは、隣接する固定構造に取り付けられている。カトランスデューサ611+612、および交差方向延長要素に取り付けられた他のカトランスデューサは、交差方向の試験質量運動を作動させることができ、および / または交差方向の隣接する試験質量の運動を測定することができる。横方向延長要素に取り付けられたカトランスデューサは、横方向の試験質量運動を作動させることができ、および / または横方向の隣接する試験質量の運動を測定することができる。

40

50

【 0 0 6 8 】

図 4 a および図 5 のように、図 6 の第 1 のアンカー点のセットは、第 1 の試験質量の周りに対称に配置された 4 つの第 1 のアンカー点からなり、第 2 のアンカー点のセットは、第 2 の試験質量の周りに対称に配置された 4 つの第 2 のアンカー点からなり、第 3 のアンカー点のセットは、第 3 の試験質量の周りに対称に配置された 4 つの第 3 のアンカー点からなり、第 4 のアンカー点のセットは、第 4 の試験質量の周りに対称に配置された 4 つの第 4 のアンカー点からなる。

【 0 0 6 9 】

対応する第 1 のアンカー点のセット、第 2 のアンカー点のセット、第 3 のアンカー点のセット、および第 4 のアンカー点のセットから第 1 の試験質量、第 2 の試験質量、第 3 の試験質量、および第 4 の試験質量を懸架する、図 6 の 1 つまたは複数の懸架構造の各々は、対応する試験質量の横方向に対向する両側に 2 つの x 軸懸架構造を含む。各 x 軸懸架構造は、上記 x 軸結合要素 (4 4 1、4 4 2) のうちの 1 つと、横方向に可撓性である x 軸懸架ばね (4 6 1、4 6 2) とを備える。対応する第 1 のアンカー点のセット、第 2 のアンカー点のセット、第 3 のアンカー点のセット、および第 4 のアンカー点のセットから第 1 の試験質量、第 2 の試験質量、第 3 の試験質量、および第 4 の試験質量を懸架する 1 つまたは複数の懸架構造の各々はまた、対応する試験質量の交差方向に対向する両側に 2 つの y 軸懸架構造も含む。各 y 軸懸架構造は、上記 y 軸結合要素 (4 5 1、4 5 2) のうちの 1 つと、交差方向に可撓性である y 軸懸架ばね (4 7 1、4 7 2) とを備える。

【 0 0 7 0 】

容量性カトランスデューサは、上述したように、横方向および交差方向延長要素に結合することができる。

【 0 0 7 1 】

図 7 は、ジャイロスコープを示し、参照符号 7 1 1、7 2 1、7 2 3、7 3 1 および 7 3 3 がそれぞれ図 4 a の参照符号 4 1 1、4 2 1 1、4 2 3 1、4 3 1 1 および 4 3 3 1 に対応する。

【 0 0 7 2 】

図 7 に示されているジャイロスコープでは、第 1 のアンカー点のセットは第 1 の試験質量の中央開口部内にあり、第 2 のアンカー点のセットは第 2 の試験質量の中央開口部内にあり、第 3 のアンカー点のセットは第 3 の試験質量の中央開口部内にあり、第 4 のアンカー点のセットは第 4 の試験質量の中央開口部内にある。

【 0 0 7 3 】

対応する第 1 のアンカー点のセット、第 2 のアンカー点のセット、第 3 のアンカー点のセット、および第 4 のアンカー点のセットから第 1 の試験質量、第 2 の試験質量、第 3 の試験質量、および第 4 の試験質量を懸架する 1 つまたは複数の懸架構造の各々は、対応するアンカー点のセットの横方向に対向する両側に 2 つの x 軸懸架構造を含む。各 x 軸懸架構造は、横方向に可撓性である x 軸懸架ばねを備える。対応する第 1 のアンカー点のセット、第 2 のアンカー点のセット、第 3 のアンカー点のセット、および第 4 のアンカー点のセットから第 1 の試験質量、第 2 の試験質量、第 3 の試験質量、および第 4 の試験質量を懸架する 1 つまたは複数の懸架構造の各々はまた、対応するアンカー点のセットの交差方向に対向する両側に 2 つの y 軸懸架構造も含む。各 y 軸懸架構造は、交差方向に可撓性である y 軸懸架ばねを備える。

【 0 0 7 4 】

各 x 軸懸架構造は、対応するアンカー点から対応する x 軸懸架ばねまで延在する 1 つまたは複数の横方向バーをさらに備える。各 y 軸懸架構造は、対応するアンカー点から対応する y 軸懸架ばねまで延在する 1 つまたは複数の交差方向バーをさらに備える。1 つまたは複数の懸架構造の各々は、横方向バー上の少なくとも 1 つの圧電トランスデューサと、交差方向バー上の少なくとも 1 つの圧電トランスデューサとを備える。

【 0 0 7 5 】

図 7 では、第 1 のアンカー点のセットは、第 1 の試験質量 7 1 1 の開口部の中心に位置

する1つの第1のアンカー点799を含む。第1の試験質量711が懸架される懸架構造は、横方向バーの第1のセット781と、第1の横方向に可撓性のx軸懸架ばね761とを含む第1のx軸懸架構造を含む。横方向バーの第1のセット781は、第1のアンカー点799から第1のx軸懸架ばね761まで第1の横方向に延在する。第1のx軸懸架ばね761は、横方向バーの第1のセット781から試験質量711まで延在する。横方向バーの第1のセット781は、交差方向に可撓性の屈曲部785を用いて第1のx軸懸架ばね761に取り付けることができる。当該屈曲部が取り付け点において提供する可撓性は、横方向バー781が、ばねの実質的に全長に沿って均一な湾曲を有する片持ち梁ばねとして曲がることを可能にする。横方向バーは、両端において固定アタッチメントを用いてクランプされる場合、S字形状に曲がる。

10

【0076】

第1の試験質量711が懸架される懸架構造はまた、横方向バーの第2のセット782と、第2の横方向に可撓性のx軸懸架ばね762とを含む第2のx軸懸架構造をも含む。横方向バーの第2のセット782は、第1のアンカー点799から第2のx軸懸架ばね762まで第1の横方向と反対の第2の横方向に延在する。第2のx軸懸架ばね762は、横方向バーの第2のセット782から試験質量711まで延在する。横方向バーの第2のセット782はまた、上述の機能を果たす交差方向に可撓性の屈曲部785を用いて第2のx軸懸架ばね762に取り付けられてもよい。

【0077】

第1の試験質量711が懸架される懸架構造はまた、交差方向バーの第1のセット791および第1の交差方向に可撓性のy軸懸架ばね771を含む第1のy軸懸架構造と、交差方向バーの第2のセット792および第2の交差方向に可撓性のy軸懸架ばね772を含む第2のy軸懸架構造とを含む。交差方向バーの第1のセット791は、第1のアンカー点799から第1のy軸懸架ばね771まで第1の交差方向に延在し、交差方向バーの第2のセット792は、第1のアンカー点799から第2のy軸懸架ばね772まで第1の交差方向とは反対の第2の交差方向に延在する。

20

【0078】

第1のy軸懸架ばね771は、交差方向バーの第1のセット791から試験質量711まで延在し、第2のy軸懸架ばね772は、交差方向バーの第2のセット792から試験質量711まで延在する。交差方向バーの当該セット791～792の各々は、横方向に可撓性の屈曲部786を用いて、対応するy軸懸架ばね771～772に取り付けることができる。前述のように、当該屈曲部が取り付け点においてもたらず可撓性は、交差方向バー791～792が片持ち梁ばねとして曲がることを可能にする。

30

【0079】

あるいは、第1のアンカー点のセットは、複数の第1のアンカー点を含んでもよい。各横方向バー781～782および交差方向バー791～792は、それ自体の第1のアンカー点を有することができる。第1の横方向バー781の数は、例えば、1つであってもよく、2つであってもよく、または2つより多くてもよい。第2の横方向バー782の数は、同様に、1つであってもよく、2つであってもよく、または2つより多くてもよい。第1の交差方向バー791の数は、例えば、1つであってもよく、2つであってもよく、または2つより多くてもよく、第2の横方向バー792の数は、同様に、1つ、2つ、または2つより多くてもよい。

40

【0080】

圧電トランスデューサは、横方向バー781～782および交差方向バー791～792上に構築することができる。横方向バー781～782は、交差方向の可撓性を有するように寸法決めされており、横方向バー上のトランスデューサによって生成される力は、横方向バーを曲げることができ、試験質量の動きによって生成される曲げを、バー上のトランスデューサによって測定することができる。対応して、交差方向バー791～792は、横方向の可撓性を有するように寸法決めされる。言い換えれば、トランスデューサは、上記懸架ばねをデバイス平面内で曲げて横方向および交差方向の駆動力を発生させるた

50

めに使用することができ、または、試験質量 7 1 1 の横方向および交差方向の動きを測定するために使用することができる。

【 0 0 8 1 】

周縁 x 軸逆相構造 7 3 3 および中央 x 軸逆相構造 7 2 1 は、それぞれ x 軸結合要素 7 4 1 および 7 4 2 を介して試験質量 7 1 1 に直接結合される。当該 x 軸結合要素は、それぞれの逆相構造から試験質量 7 1 1 まで延在する。x 軸結合要素 7 4 1 および 7 4 2 は、当該事例において、横方向に配向された長尺バーであってもよい。x 軸結合要素の（横方向の）長さ / （交差方向の）幅のアスペクト比は、長尺バーに交差方向の可撓性を与えるのに十分な大きさである。他方、x 軸結合要素 7 4 1 および 7 4 2 は、中央 x 軸逆相構造 7 2 1 および周縁 x 軸逆相構造 7 3 3 の横方向のプッシュ / プル運動を試験質量 7 1 1 に堅固に伝達する。

10

【 0 0 8 2 】

対応して、周縁 y 軸逆相構造 7 3 1 および中央 y 軸逆相構造 7 2 3 は、それぞれ y 軸結合要素 7 5 1 および 7 5 2 を介して試験質量 7 1 1 に直接結合される。当該 y 軸結合要素は、それぞれの逆相構造から試験質量 7 1 1 まで延在する。y 軸結合要素 7 5 1 および 7 5 2 は、交差方向に配向された長尺バーであってもよい。y 軸結合要素の（交差方向の）長さ / （横方向の）幅のアスペクト比は、長尺バーに横方向の可撓性を与えるのに十分な大きさである。他方、y 軸結合要素 7 5 1 および 7 5 2 は、中央 y 軸逆相構造 7 2 3 および周縁 y 軸逆相構造 7 3 1 の交差方向のプッシュ / プル運動を試験質量 7 1 1 に堅固に伝達する。

20

【 0 0 8 3 】

各中央 x 軸逆相構造（7 2 1）および各中央 y 軸逆相構造（7 2 3）は、中央長尺バーを有する面内シーソーを備え、中央長尺バーは、中央長尺バーがデバイス平面に垂直な軸を中心にデバイス平面内で回転することを可能にする少なくとも 1 つの中央シーソー懸架装置を用いて少なくとも 1 つの中央アンカー点から懸架されている。各周縁 x 軸逆相構造（7 3 3）および各周縁 y 軸逆相構造（7 3 1）もまた、周縁長尺バーを有する面内シーソーを備え、周縁長尺バーは、周縁長尺バーがデバイス平面に垂直な軸を中心にデバイス平面内で回転することを可能にする少なくとも 1 つの周縁シーソー懸架装置を用いて少なくとも 1 つの周縁アンカー点から懸架されている。しかしながら、面内シーソーではない代替的な周縁逆相構造も使用することができる。

30

【 0 0 8 4 】

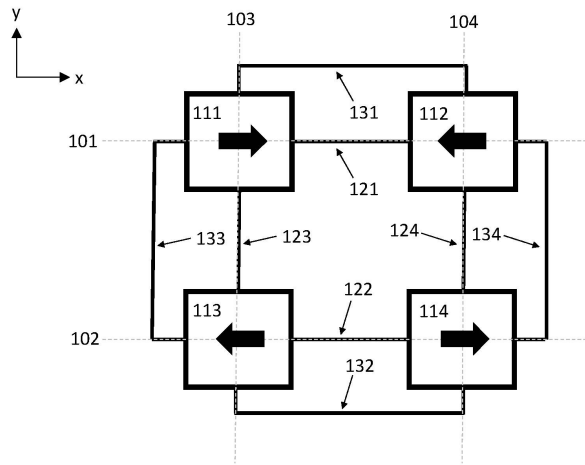
第 1 の試験質量 7 1 1 の懸架、ならびに中央および周縁逆相構造と試験質量 7 1 1 との間の結合に関する上記考慮事項はすべて、図 7 に見られるように、他の試験質量 7 1 2 ~ 7 1 4 の懸架 / 結合にも当てはまる。各 x 軸および y 軸懸架構造における交差方向および横方向の可撓性の組み合わせは、各試験質量が第 2 の振動モードにおける試験質量の振動とは無関係に第 1 の振動モードで振動することを可能にし、逆もまた同様である。x 軸結合要素 7 4 1 および 7 4 2 の交差方向の可撓性ならびに y 軸結合要素 7 5 1 および 7 5 2 の横方向の可撓性は、両方のモードが振動する 4 質量システムにわたって同期している場合でも、各試験質量の第 1 の振動モードが当該試験質量の第 2 の振動モードから独立したままであることを保証する。

40

【図面】

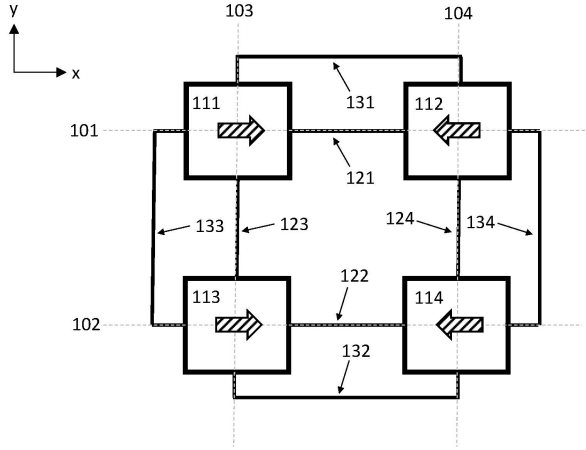
【図 1 a】

図1a



【図 1 b】

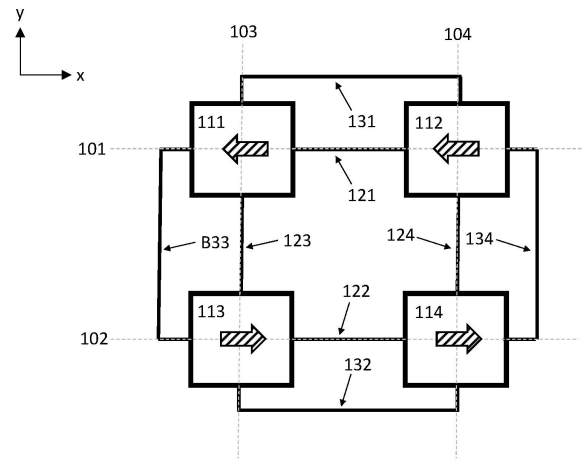
図1b



10

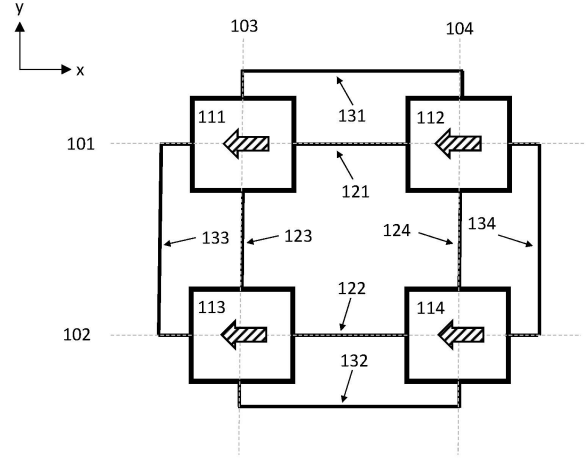
【図 1 c】

図1c



【図 1 d】

図1d



20

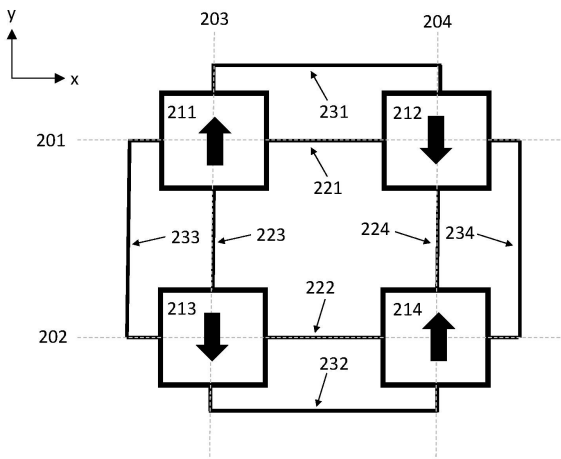
30

40

50

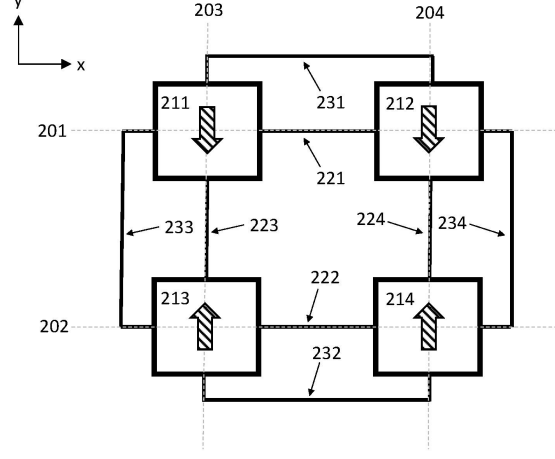
【 2 a 】

2a



【 2 b 】

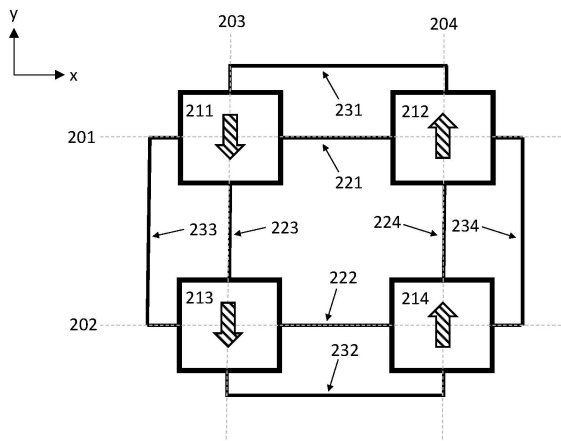
2b



10

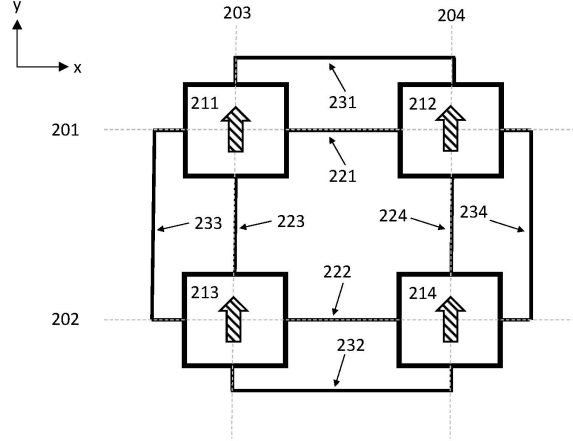
【 2 c 】

2c



【 2 d 】

2d



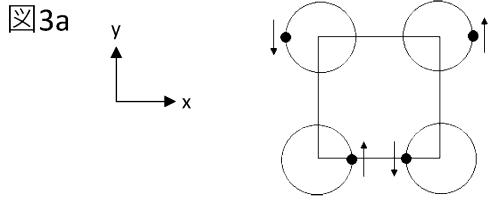
20

30

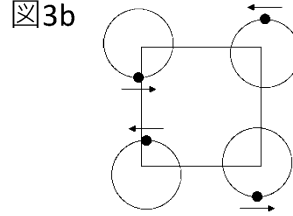
40

50

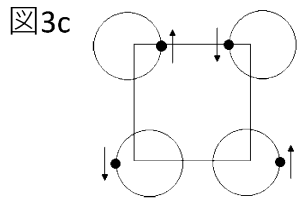
【 3 a 】



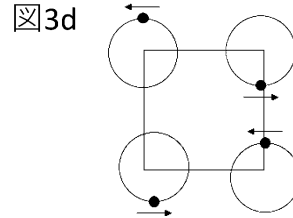
【 3 b 】



【 3 c 】

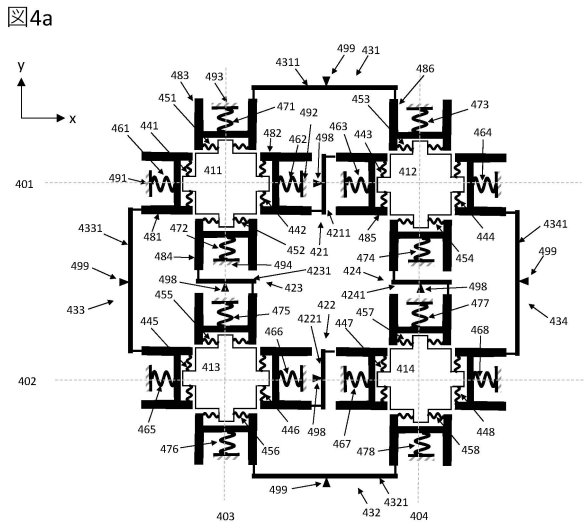


【 3 d 】

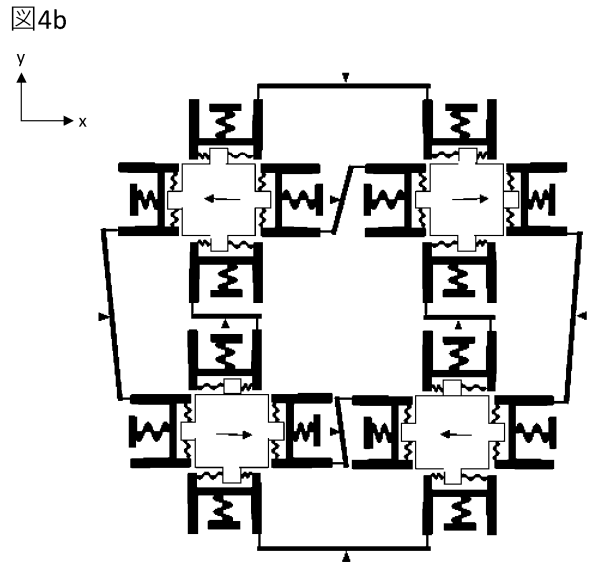


10

【 4 a 】



【 4 b 】



20

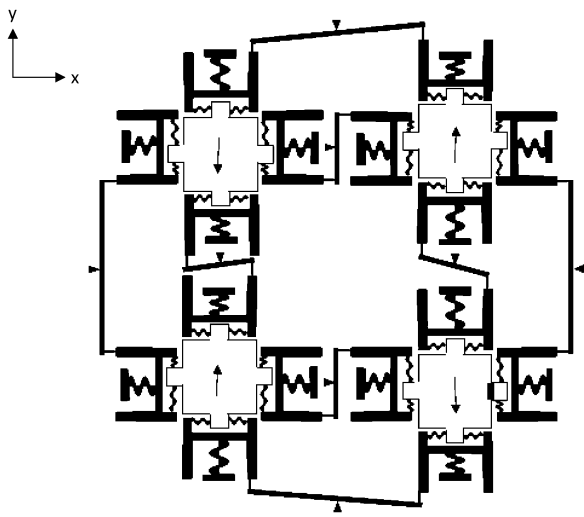
30

40

50

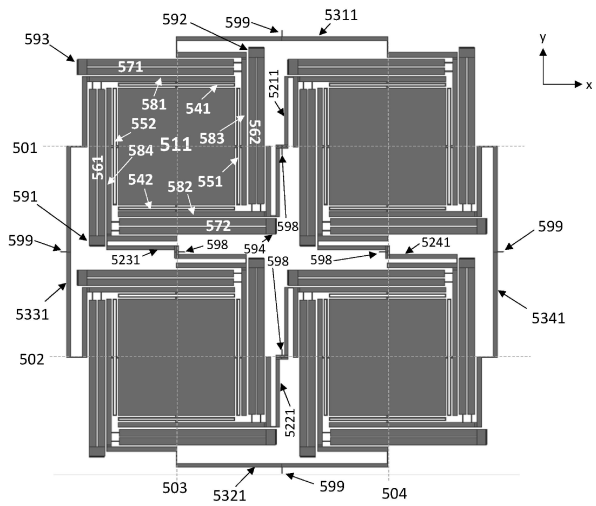
【 図 4 c 】

図4c



【 図 5 】

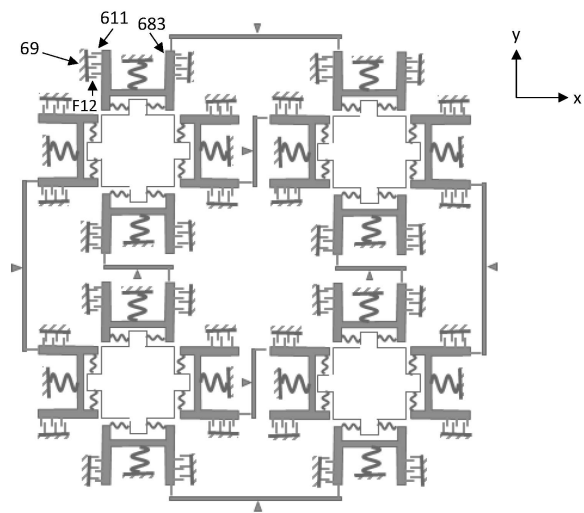
図5



10

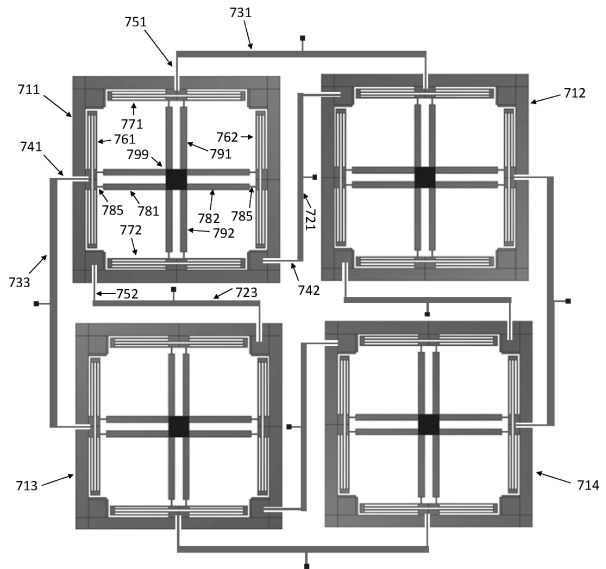
【 図 6 】

図6



【 図 7 】

図7



20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特表2008-537114(JP,A)
特開2018-100966(JP,A)
特表2009-529666(JP,A)
特開2020-165977(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01C 19/56 - 19/5783