

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4370331号
(P4370331)

(45) 発行日 平成21年11月25日(2009.11.25)

(24) 登録日 平成21年9月4日(2009.9.4)

(51) Int. Cl. F I
 GO 1 C 19/56 (2006.01) GO 1 C 19/56
 GO 1 P 9/04 (2006.01) GO 1 P 9/04

請求項の数 8 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2006-541853 (P2006-541853)	(73) 特許権者	595126141
(86) (22) 出願日	平成16年11月26日 (2004.11.26)		ノースロップ グルマン リテフ ゲーエムベーパー
(65) 公表番号	特表2007-513344 (P2007-513344A)		ドイツ フライブルク 79115 レラヒャー ストラーセ 18
(43) 公表日	平成19年5月24日 (2007.5.24)	(74) 代理人	110000338
(86) 国際出願番号	PCT/EP2004/013447		特許業務法人原謙三国際特許事務所
(87) 国際公開番号	W02005/066585	(72) 発明者	ハントリッヒ, エーベルハルト
(87) 国際公開日	平成17年7月21日 (2005.7.21)		ドイツ連邦共和国, 79199 キルヒツアルテン, ケルテンリング 104
審査請求日	平成18年6月6日 (2006.6.6)	(72) 発明者	ガイガー, ヴォルフラム
(31) 優先権主張番号	10360962.8		ドイツ連邦共和国, 79112 フライブルク, イム ヴァンガーホフ 3
(32) 優先日	平成15年12月23日 (2003.12.23)	審査官	谷口 智利
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 コリオリの角速度計において直交バイアスを補償するための方法、および、これに適したコリオリの角速度計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

共振器 (1) が第 1 および第 2 の線形発振器 (3 , 4) からなる結合系として設計されているコリオリの角速度計において直交バイアスを補償する方法であって、

上記第 1 発振器 (3) は、第 1 バネ素子 (5₁ - 5₄) によって上記コリオリの角速度計の角速度計フレームに取り付けられており、

上記第 2 発振器 (4) は、第 2 バネ素子 (6₁ , 6₂) によって上記第 1 発振器 (3) に取り付けられており、

上記コリオリの角速度計の上記直交バイアスを決定する工程と、

上記 2 つの発振器 (3 , 4) の相互のアライメントを変更するための静電場を生成し、この静電場は、上記第 1 バネ素子 (5₁ - 5₄) のアライメントを変化させる、および / または、上記第 2 バネ素子 (6₁ , 6₂) のアライメントを変化させる定荷重 (Gleichkraft) を生成するものであり、上記静電場のアライメントおよび / または強度を制御して、上記決定される直交バイアスを最小にする工程と、を含む方法。

【請求項 2】

上記静電場により上記第 1 発振器 (3) の位置またはアライメントを変更することにより、上記第 1 バネ素子 (5₁ - 5₄) のアライメントを変更し、

上記静電場により上記第 2 発振器 (4) の位置またはアライメントを変更することにより、上記第 2 バネ素子 (6₁ , 6₂) のアライメントを変更することを特徴とする請求項

1に記載の方法。

【請求項3】

上記電場は、上記第1および第2バネ素子(6₁, 6₂, 5₁ - 5₄)のアライメントを相互に直交化する請求項1または2に記載の方法。

【請求項4】

第1共振器(1)を有し、上記第1共振器(1)が第1および第2の線形発振器(3, 4)からなる結合系として設計されており、上記第1発振器(3)が、第1バネ素子(5₁ - 5₄)によって上記コリオリの角速度計の角速度計フレームに取り付けられており、上記第2発振器(4)が、第2バネ素子(6₁, 6₂)によって上記第1発振器(3)に取り付けられているコリオリの角速度計であって、

10

上記双方の発振器(3, 4)のアライメントを相互に変更することのできる静電場(11₁', 11₂', 10₁ - 10₄)を生成し、この静電場は、上記角速度計フレーム(7₃, 7₄)に対する上記第1バネ素子(5₁ - 5₄)のアライメント角度、および/または、上記第1発振器(3)に対する上記第2バネ素子(6₁, 6₂)のアライメント角度を変更する定荷重(Gleichkraft)を生成する装置と、

コリオリの角速度計の直交バイアスを決定するための装置(45, 47)と、

上記決定された直交バイアスが最小になるように、上記静電場の強度を上記決定された直交バイアスに応じて制御する制御ループ(55, 56, 57)とを有することを特徴とするコリオリの角速度計。

【請求項5】

20

上記第2発振器(4)を上記第1発振器(3)に接続している全ての第2バネ素子(6₁ - 6₂)は、上記第1発振器(3)から上記第2発振器(4)への力の導入を、上記第1発振器(3)の一方側から行うことを特徴とする請求項4に記載のコリオリの角速度計。

【請求項6】

上記第1発振器(3)を上記コリオリの角速度計の上記角速度計フレーム(7₃, 7₄)に接続している全ての第1バネ素子(5₁ - 5₄)は、一平面に相互に平行に配置されており、

上記第1バネ素子(5₁ - 5₄)の上記始点および上記終点は、1つの共通の軸上にそれぞれあることを特徴とする請求項4に記載のコリオリの角速度計。

30

【請求項7】

第2共振器(70₁, 70₂)を特徴とし、

上記第2共振器(70₁, 70₂)が、第1および第2線形発振器(3₁, 3₂, 4₁, 4₂)からなる結合系としてそれぞれ形成されており、

上記第1共振器(70₁)と上記第2共振器(70₂)とが機械的におよび/または静電的に結合されていることにより、これらの2つの共振器は共通の振動軸(72)に沿って相互に逆位相に振動可能である請求項4~6のいずれか1項に記載のコリオリの角速度計(1')。

【請求項8】

上記第1および第2共振器(70₁, 70₂)の構成は、同一であり、

40

上記共振器(70₁, 71₂)は、対称軸(73)に対して相互に軸対称に配置されており、

上記対称軸は、上記共通の振動軸(72)に対して垂直であることを特徴とする請求項7に記載のコリオリの角速度計(1')。

【発明の詳細な説明】

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明は、コリオリの角速度計において直交バイアスを補償するための方法、および、これに適したコリオリの角速度計に関するものである。

【0002】

50

コリオリの角速度計（振動ジャイロともいう）は、ナビゲーションを目的としてますます広範囲で使用されている。コリオリの角速度計は、振動する質点系を有している。質点系は、一般的に、最初は相互に独立している、多数の振動モードをそれぞれ有している。コリオリの角速度計を操作するためには、質点系の特定の振動モードを人工的に励起する。このことを、以下の文章では、「励起振動」と呼ぶ。コリオリの角速度計が回転する場合、コリオリの力が生じる。これらのコリオリの力は、質点系の励起振動（以下の文章では「読み取り振動」と呼ぶ）からエネルギーを取り出し、質点系の更なる振動モードへ転送する。コリオリの角速度計の回転を決定するために、読み取り振動をタップオフし、相当する読み取り信号を調べて、コリオリの角速度計の回転の指標を表す読み取り振動の振幅に変化が生じたかどうかを判定する。コリオリの角速度計は、開ループ系としても、閉ループ系としても実現することができる。閉ループ系では、各制御回路を介して、読み取り振動の振幅を、継続的に固定値（好ましくは0）にリセットし、リセット力を測定する。

10

【0003】

コリオリの角速度計の質点系（以下の文章では、「共振器」とも呼ぶ）は、この場合、様々な方法で設計されていてもよい。例えば、一体型に形成された質点系を用いることも可能である。あるいは、質点系を、バネ系を介して相互に結合し、相互に相對運動を行える2つの発振器に分割することも可能である。例えば、2つの線形発振器からなる結合系（線形二重発振器系とも呼ばれる）を用いることが知られている。このような結合系を使用する場合は、製造誤差があるので、2つの発振器の相互のアライメントエラーを避けることはできない。双方の発振器の相互のアライメントエラーは、共通の回転速度信号中にゼロエラー成分、いわゆる、「直交バイアス」（より詳しく言えば、直交バイアス成分）を生成する。例えば文献US - A - 2003 / 061877、WO - A - 03 / 058167およびUS - A - 6067858に記載されているような方法を使用して、直交バイアスを補償することができる。他の力を使用して、この方法における直交バイアスを補償することができる。

20

【0004】

本発明の目的は、上記のような直交バイアス成分を補償することのできる方法およびコリオリの角速度計を提供することである。

【0005】

この目的は、本発明に基づき、特許請求項1に記載の2つの線形発振器を有する共振器のための直交バイアス成分を補償するための方法によって達成される。さらに、本発明は、上記方法に適した特許請求項4に記載のコリオリの角速度計の一実施形態を提供する。本発明の構想の有利な形態または発展形態は、各従属請求項に記載されている。

30

【0006】

本発明の方法の技術的背景をよりよく理解するために、以下で、線形二重発振器系の例を参照してコリオリの角速度計の物理的な原理について短く説明する。

【0007】

コリオリの力は、

【0008】

【数1】

$$\vec{F} = 2m\vec{v}_s x \vec{\Omega} \quad (1)$$

\vec{F} コリオリの力

m 発振器の質量

\vec{v}_s 発振器の速度

$\vec{\Omega}$ 回転速度

【0009】

40

50

である。

【 0 0 1 0 】

コリオリの力に反応する質量と、振動する質量とが同じであり、発振器が固有周波数によって駆動される場合は、

【 0 0 1 1 】

【数 2】

$$2m\vec{v}_s \times \vec{\Omega} = m\vec{a}_c \quad (2)$$

【 0 0 1 2 】

が当てはまる。

10

【 0 0 1 3 】

発振器速度には

【 0 0 1 4 】

【数 3】

$$\vec{v}_s = \vec{v}_{s0} \sin \omega t \quad (3)$$

ただし、

\vec{v}_{s0} 発振器振幅

ω 発振器の固有周波数

20

【 0 0 1 5 】

が当てはまる。

【 0 0 1 6 】

したがって、発振器加速度およびコリオリ加速度には

【 0 0 1 7 】

【数 4】

$$\vec{a}_s = \vec{v}_{s0} \omega \cos \omega t$$

$$\vec{a}_c = 2\vec{v}_{s0} \sin \omega t \times \vec{\Omega} \quad (4)$$

30

なお、本明細書において、以下、 \vec{a}_s を「ベクトル a_s 」、 \vec{a}_c を「ベクトル a_c 」と記載する。

【 0 0 1 8 】

が当てはまる。

【 0 0 1 9 】

2つの加速ベクトルは、空間的に相互に垂直になっており、時間関数において相互に90度オフセットされている(空間的および時間的な直交性)。

【 0 0 2 0 】

40

これらの2つの条件を使用して、発振器加速度ベクトル a_s を、コリオリ加速度ベクトル a_c から分離できる。上記加速度振幅 $a_c \cdot a_s$ の比率は

$$a_c / a_s = 2 \quad (5)$$

となる。

【 0 0 2 1 】

回転速度 = 5 ° / h および発振器の固有周波数 $f_s = 10 \text{ KHz}$ に対しては

$$a_c / a_s = 7.7 \cdot 10^{-10} \quad (6)$$

となる。

【 0 0 2 2 】

5 ° / h の精度に対して、第1発振器と第2発振器との望ましくない連結は、7.7 ·

50

10^{-10} 以下であるか、または、この値で一定になっている必要がある。バネ素子を介して相互に結合されている2つの線形発振器からなる質点系を使用する場合に、空間的な直交性の精度は、振動モードと測定モードとの間のバネ素子のアライメントエラーにより制限される。達成可能な精度（製造ばらつきにより制限される）は、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ である。時間的な直交性の精度は、エレクトロニクスの位相精度により例えば 10 KHz に制限されており、同じく $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 以下にしか維持され得ない。その結果、加速度比率は、上記定義で規定できなくなる。

【0023】

現実的には、測定される加速度比率のエラー a_c / a_s は、
 $a_c / a_s = 10^{-6} \sim 10^{-8}$ (7)
 となる。

10

【0024】

空間的なエラーは、時間的なフェーズエラーを用いてバイアス B が得られる、いわゆる直交バイアス B_Q となる。

【0025】

【数5】

$$\begin{aligned} B_Q &= 6.5 \cdot 10^{6^\circ} / h \sim 6.5 \cdot 10^{5^\circ} / h \\ \Delta \phi &= 10^{-3} \sim 10^{-4} \\ B &= B_Q \cdot \Delta \phi = 6.500^\circ / h \sim 65^\circ / h \end{aligned} \quad (8)$$

【0026】

したがって、直交バイアスは測定精度を大幅に制限する。この場合、上記エラーの解析は、振動モードから読み取りモードへの直接の結合のみを考慮するものであることが分かる。例えば他の振動モードとの結合によって生じる他の直交バイアス成分は残ったままである。

20

【0027】

直交バイアスを補償するための本発明の方法は、共振器が少なくとも1つの第1線形発振器と少なくとも1つの第2線形発振器とからなる結合系として設計されているコリオリの角速度計において使用されるものであり、

発振器系の直交バイアスを決定する工程と、

2つの発振器の相互のアライメントを変更するための静電場を生成し、上記静電場のアライメント/強度を制御して、上記決定された直交バイアスを最小にする工程とを含んでいる。

30

【0028】

この場合に、共振器系の合計の直交バイアスが決定されることが好ましい。このことは、読み出し電極によって生成される読み出し信号を、 0° および適切にリセットによって、復調することにより行われることが好ましい。もしくは、双方の線形発振器の相互のエラーアライメントによって引き起こされる直交バイアスの一部のみを絞って決定することができる。「直交バイアス」という概念は、双方の選択肢を含んでいる。

【0029】

つまり、直交バイアスは、発生場所で排除されていることが好ましい。すなわち、2つの発振器の相互の機械的なアライメントエラーは、1つの発振器または2つの発振器に対して作用し、静電場によって生成される静電力によって補償される。

40

【0030】

コリオリの角速度計は、第1バネ素子と第2バネ素子とを備えている。第1発振器は、第1バネ素子によって、コリオリの角速度計の角速度計フレームに接続されている。第2発振器は、第2バネ素子によって、コリオリの角速度計の角速度計フレームに接続されている。この場合、静電場は、第1バネ素子のアライメントの変化、および/または、第2バネ素子のアライメントの変化を引き起こす。静電場によって第2発振器の位置/アライメントを変更することにより、第2バネ素子アライメントを変更することが好ましい。これと同様に、静電場によって第1発振器の位置/アライメントを変更することにより、第

50

1 バネ素子のアライメントを変更することが好ましい。この場合、発振器の位置/アライメントの変化は、発振器に固定されているバネ素子の湾曲を引き起こす。これにより、第2バネ素子に対する第1バネ素子のアライメント角度を適切に修正することができる。

【0031】

特に好ましい形態では、電場により、第1および第2のバネ素子のアライメント角度が変更され、第1および第2のバネ素子の相互のアライメントが直交化される。このような直交化が行われていれば、アライメントエラーによって生じる直交バイアス(成分)は補償されている。直交バイアスに対してさらに働きかける場合は、エラー角度が直交化されるように調整し、合計の直交バイアスがなくなるようにする。第1発振器に対する第2バネ素子のアライメント角度は、静電場によって変更され、コリオリの角速度計の角速度計フレームに対する第1バネ素子のアライメント角度は、変更されないことが好ましい。しかしながら、静電場によって、第1バネ素子のアライメント角度だけを変更することができ、または、第1バネ素子と第2バネ素子との双方のアライメント角度を変更することができる。

10

【0032】

さらに、本発明の方法は、共振器が少なくとも1つの第1線形発振器と少なくとも1つの第2線形発振器

とからなる結合系として設計されており、

双方の発振器の相互のアライメントを変更することのできる静電場を生成するための装置と、

20

双方の発振器の相互のエラーアライメントおよび他の結合メカニズムによって引き起こされる直交バイアスを決定するための装置と、

上記決定された直交バイアスが最小になるように、上記静電場の強度を上記決定された直交バイアスに応じて制御する制御ループと、を備えるコリオリの角速度計を提供する。

【0033】

コリオリの角速度計は、第1バネ素子と第2バネ素子とを備えている。第1バネ素子は、第1発振器を、コリオリの角速度計の角速度計フレームに接続し、第2バネ素子は、第2発振器を、第1発振器に接続している。第1バネ素子と第2バネ素子とのアライメントは、この場合、相互に垂直に延びていることが好ましい。この場合、これらのバネ素子の形状は任意である。

30

【0034】

第2発振器を、第1発振器に、「一方から」固定するまたは押さえつけることが有利だと証明された。「一方から押さえつける」とは、ここでは、文言どおりにも一般的な意味にも解釈できる。一般的に、「一方から」固定するまたは押さえつける、とは、第1発振器から第2発振器へ、本質的には第1発振器の1つの「側面」から力を加えることを意味している。また、例えば、発振器系の構成が、第2発振器が第1発振器によって囲まれており、第2バネ素子によって第1発振器に接続されているとすれば、一方から押さえつけるまたは固定する、とは、第1発振器が第2バネ素子を用いて第2発振器を交互に「押す」または「引く」ことにより、第2発振器を第1発振器の動きに再調整することを示唆している。第1発振器に対して第2発振器を一方から押さえつけることの利点は、静電力が第2発振器に作用する場合に生じる第2発振器のアライメント変化/ポジション変化によって第2バネ素子を簡単に曲げることができるので第2バネ素子の対応するアライメント角度を簡単に変更できる点である。例えば、第1発振器の動作と同時に第2発振器が第2バネ素子によって「引かれ」および「押され」るように、第2発振器に第2バネ素子がさらに取り付けられているとすれば、第2発振器が第1発振器に「二方から」押さえつけられるまたは固定されることとなる(第1発振器の対向する2つの側面から第2発振器への力の導入)。この場合、他の第2バネ素子が、静電場を印加するとき、対応する拮抗力を生成し、その結果、上記第2バネ素子のアライメント角度を変更しにくくなる。しかしながら、上記他の第2バネ素子がこれらバネ素子の影響を受けにくいように設計されており、全てのバネ素子がここでも簡単に曲げることができる場合、すなわち、実際には一方

40

50

から押さえつけられていることと同義である場合には、二方から押さえつけるということも可能である。発振器構造の設計に応じて、更なる第2パネ素子の「影響」（力の導入）が40%以下である場合には、一方から押さえつけることが効果的である。しかしながら、この値は、本発明を制限するものではなく、第2パネ素子の影響が40%を上回っていることも考えられる。一方からの押さえつけは、例えば、第2発振器を第1発振器と接続している全ての第2パネ素子が一平面に相互に平行に配置されているように実現できる。この場合、第2パネ素子の全ての始点および終点は、それぞれ、第1または第2発振器の同じ側に固定されている。この場合、第2パネ素子の始点および終点は、それぞれ、第2パネ素子を直角に交差する共通の軸上にあることが好ましい。

【0035】

第2発振器が第1発振器に一方から固定されているまたは押さえつけられている場合には、第1パネ素子は、第1発振器が角速度計フレームに二方から（ここでは「一方から」および「二方から」という概念は同じように使用される）押さえつけるように設計されていることが好ましい。しかしながら、上記のような設計の代わりに、第1パネ素子は、第1発振器を一方から押さえつけるようにも設計される。例えば、第1発振器をコリオリの角速度計の角速度計フレームに接続する全ての第1パネ素子が一平面に相互に平行に配置されていてもよく、この場合は、第1パネ素子の始点および終点は、それぞれ、共通軸上にあることが好ましい。同じく、第1発振器が角速度計フレームに一方から押さえつけられ、かつ、第2発振器が第1発振器によって二方から押さえつけられるように、パネ素子を設計することもできる。2つの発振器を二方から押さえつけることもできる。直交バイ

【0036】

アス補償のために、2つの発振器の少なくとも1つが一方から押さえつけられていることが有利であると証明された。

本発明のコリオリの角速度計の他の好ましい一形態は、第1および第2共振器を備え、上記第1および第2共振器は、第1および第2線形発振器からなる結合系としてそれぞれ形成されており、上記第1共振器と上記第2共振器とが機械的に/静電的に接続/結合されていることにより、これらの2つの共振器は共通の振動軸に沿って相互に逆位相に振動可能である。

【0037】

したがって、この形態は、2つの二重発振器系（すなわち2つの共振器）または4つの線形発振器を有する1つの質点系を備えている。この場合、2つの共振器の相互に逆位相の振動は、2つの共振器が適切に設計されている場合は質点系の重心を維持し続ける。その結果、この質点系の振動は、減衰/反映の形の妨害となるであろう外部の振動を生成できない。さらに、共通の振動軸の方向の外部の振動および加速度は、共通の振動軸に沿って生じる2つの共振器の逆位相運動に対して、影響を及ぼさない。

【0038】

第1共振器と第2共振器との結合を、第1共振器と第2共振器とを接続している例えばパネ系を介して行える。あるいは、第1共振器と第2共振器とを、静電場を介して結合することもできる。上記2つの結合の仕方を別々に使用しても、組み合わせて使用してもよい。2つの共振器が1つの共通の基板に形成されている場合は充分である。その結果、共通の基板によって当然生じる機械的なパネ接続が機械的な結合となる。

【0039】

この形態でも、コリオリの角速度計は、線形発振器の相互のアライメントを変更することのできる静電場を生成するための装置と、コリオリの角速度計の直交バイアスを決定するための装置と、決定された直交バイアスが最小となるように、静電場の強度を制御する制御ループと、を備えていることが好ましい。

【0040】

第1および第2共振器は、同じように構成されていることが好ましい。この場合、2つの共振器を、共通の振動軸に対して垂直である対称軸に対して、相互に軸対称に配置することが有利である。すなわち、第1共振器は対称軸で第2共振器に転写される。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 1 】

以下で、例示の実施形態を示す添付図を参考にして本発明を詳しく説明する。

【 0 0 4 2 】

図 1 は、第 1 振動を励起する機能を果たす適切な制御ループを有し、2つの線形発振器からなる本発明の質点系の概略図である。

【 0 0 4 3 】

図 2 は、回転速度 ω と、直交バイアス B_Q と、バイアス B_Q を補償するための補助制御ループとのための対応する測定および制御ループを有し、2つの線形発振器からなる本発明の質点系の概略図である。

【 0 0 4 4 】

図 3 は、回転速度 ω および直交バイアス B_Q に対する対応する測定ループおよび制御ループと、直交バイアス B_Q を補償するための補助制御ループとを有する4つの線形発振器からなる本発明の質点系の概略図である。

【 0 0 4 5 】

図 4 は、図 3 に示す制御モジュールの好ましい一実施形態の概略図である。

【 0 0 4 6 】

図 1 は、対応する電極を有する線形二重発振器 1 の概略的構成、および、線形二重発振器 1 の評価 / 励起電子装置 2 のブロック図を示す。線形二重発振器 1 は、エッチングプロセスによってシリコンウエハーから生成され、第 1 線形発振器 3 と、第 2 線形発振器 4 と、第 1 バネ素子 $5_1 \sim 5_4$ と、第 2 バネ素子 $6_1 \cdot 6_2$ と、中間フレームの一部 $7_1 \cdot 7_2$ と、角速度計フレーム $7_3 \cdot 7_4$ とを備えていることが好ましい。第 2 発振器 4 は、振動可能なように第 1 発振器 3 の内側に配置されており、第 2 バネ素子 $6_1 \cdot 6_2$ を介して第 1 発振器 3 に接続されている。第 1 発振器 3 は、第 1 バネ素子 $5_1 \sim 5_4$ を介して角速度計フレーム $7_3 \cdot 7_4$ と接続されており、中間フレーム $7_1 \cdot 7_2$ と接続されている。

【 0 0 4 7 】

さらに、第 1 励起電極 $8_1 \sim 8_4$ と、第 1 読み取り電極 $9_1 \sim 9_4$ と、第 2 励起電極 $10_1 \sim 10_4$ と、第 2 読み取り電極 $11_1 \sim 11_2$ とが備えられている。全ての電極は、角速度計フレームと機械的に接続されているが、電気的に絶縁されている。「角速度計フレーム」を、例えばシリコンウエハーの非振動性の部分に発振器が「埋設」されている、機械的な非振動性の構造と解釈する。

【 0 0 4 8 】

第 1 発振器 3 が、第 1 励起電極 $8_1 \sim 8_4$ によって、X 1 方向に振動励起される場合、この動きは、第 2 バネ素子 $6_1 \cdot 6_2$ を介して、第 2 発振器 4 へ転送される（交互の「引き」および「押し」）。第 1 バネ素子 $5_1 \sim 5_4$ が垂直に配置されているので、第 1 発振器 3 は、X 二方向に動けない。しかしながら、第 2 バネ素子 $6_1 \cdot 6_2$ は水平に配置されているので、第 2 発振器 4 により垂直な振動が行われる。したがって、相当するコリオリの力が生じる場合には、第 2 発振器 4 は、X 2 方向に振動励起される。

【 0 0 4 9 】

読み取り信号は、第 1 読み取り電極 $9_1 \sim 9_4$ によって読み出され、第 1 発振器 3 の X 1 方向の動きに比例しており、適切な増幅素子 $2_1 \cdot 2_2 \cdot 2_3$ を介して、アナログ / デジタル変換器 2 4 へ供給される。アナログ / デジタル変換器 2 4 から出力される適切にデジタル化された出力信号は、第 1 復調器 2 5 と第 2 復調器 2 6 との双方を介して、適切な出力信号に復調される。この場合、2つの復調器は、相互に 90° シフトされて作動する。第 1 復調器 2 5 の出力信号は、励起振動（X 1 方向における質点系 1 の振動）の周波数を制御するための第 1 制御器 2 7 に供給される。第 1 制御器 2 7 の出力信号は、周波数生成器 3 0 を制御することにより、復調器 2 5 の後に生じる信号をゼロに制御する。これと同様に、第 2 復調器 2 6 の出力信号は、エレクトロニクスコンポーネント 2 9 により予め決められている一定の値に制御される。第 2 制御器 3 1 は、励起振動の振幅を制御する役割を果たす。周波数生成器 3 0 と振幅制御器 3 1 との出力信号は、乗算器 3 2 によって相互に乗算される。乗算器 3 2 の出力信号は、第 1 励起電極 $8_1 \sim 8_4$ に印加される力に比

10

20

30

40

50

例しており、デジタル力信号からデジタル電圧信号を生成する第1力/電圧変換器33と第2力/電圧変換器34との双方に入力される。力/電圧変換器33・34のデジタル出力信号は、第1および第2デジタル/アナログ変換器35・36を介して、相当するアナログ電圧信号に変換される。次に、このアナログ電圧信号は、第1励起電極 $8_1 \sim 8_4$ に入力される。第1制御器27と第2制御器31とを介して、第1発振器3の固有周波数の周波数が再調整され、励起振動の振幅は、特定の所定の値に設定される。

【0050】

コリオリの力が生じる場合は、コリオリの力から生じる第2発振器4のX2方向の動き（読み取り振動）が、第2読み取り電極 $11_1 \cdot 11_2$ によって認識され、X2方向の読み取り振動の動きに比例する読み取り信号は、対応する増幅素子40・41・42を介して、アナログ/デジタル変換器43に入力される（図2参照）。アナログ/デジタル変換器43のデジタル出力信号は、第3復調器44によって、直接バイアス信号と同相に復調されるとともに、第4復調器45によって、 90° シフトして復調される。第1復調器44の対応する出力信号は、第3制御器46に入力される。第3制御器46の出力信号は、補償信号であり、測定される回転速度に相当している。第4復調器45の出力信号は、第4制御器47に入力され、第4制御器47の出力信号は補償信号であり、補償される直交バイアスに比例している。第3制御器の出力信号は、第1変調器48を用いて変調される。これと同様に、第4制御器47の出力信号は、第2変調器49を用いて変調される。その結果、振幅制御された信号が生じる。振幅制御された信号の周波数は、X1方向の振動の固有周波数（ $\sin^2 = 0^\circ$ 、 $\cos^2 = 90^\circ$ ）に相当している。変調器48・49の相当する出力信号は、加算器段50において加算される。加算器段50の出力信号は、第3力/電圧変換器51と、第4力/電圧変換器52との双方に入力される。力/電圧変換器51・52の相当する出力信号は、デジタル/アナログ変換器53・54に供給される。デジタル/アナログ変換器53・54のアナログ出力信号は、第2励起電極 $10_2 \sim 10_3$ に入力され、第2発振器4の振動振幅をリセットする。

【0051】

第2励起電極 $10_1 \cdot 10_4$ を介して生成される静電場（または、電極対 $10_1 \cdot 10_3$ と $10_2 \cdot 10_4$ とを介して生成される2つの静電場）は、第2発振器4のX2方向におけるアライメント/ポジション変化を引き起こす。その結果、第2バネ素子 $6_1 \sim 6_2$ のアライメントも変化する。第4制御器47は、第2励起電極 $10_1 \cdot 10_4$ に入力される信号を、第4制御器47の補償信号に含まれる直交バイアスが最小になる、または、消滅するように制御する。このために、第5制御器55と、第5および第6力/電圧変換器56・57と、2つのアナログ/デジタル変換器58・59とが使用される。

【0052】

第4制御器47の出力信号は、直交バイアスに対する指標であり、第5制御器55に入力される。第5制御器55は、2つの励起電極 $10_1 \cdot 10_4$ によって生成される静電場を、直交バイアス B_Q が消滅するように制御する。このため、第5制御器55の出力信号は、第5および第6力/電圧変換器56・57にその都度供給される。第5および第6力/電圧変換器56・57は、第5制御器のデジタル力/出力信号から、デジタル電圧信号を生成する。これらのデジタル電圧信号は、続いて、アナログ/デジタル変換器58・59において、アナログ電圧信号に変換される。アナログ/デジタル変換器58のアナログ出力信号は、第2励起電極 10_1 または 11_1 に入力される。アナログ/デジタル変換器59のアナログ出力信号は、第2励起電極 10_4 または 11_2 に入力される。

【0053】

第2発振器4は、第2バネ素子 $6_1 \sim 6_2$ のみによって押さえつけられている（一方から押さえつけられている）ので、これらのバネ素子のアライメントを、静電場によって問題なく変更することができる。さらに、他の第2バネ素子を備えることも可能である。これらの他の第2バネ素子は、これらの他のバネ素子を適切に配置することで一方から効果的に押さえつけられているということが確実にしている限り、第2発振器4を二方から押さえつけることとなる。バネ素子 $5_1 \cdot 5_2$ またはバネ素子 $5_3 \cdot 5_4$ に対しても同じ

10

20

30

40

50

効果がえられるように、第3および第4バネ素子 $5_3 \cdot 5_4$ または第1および第2バネ素子 $5_1 \cdot 5_2$ を省くことができ、それゆえ、（ここには図示していない、対応して変更された電極コンフィギュレーションとともに）第1発振器3が一方から押さえつけられることとなる。このような場合には、第2発振器4は、二方から押さえつけられるように、さらに他のバネ素子によって第1発振器に固定されていてもよい。

【0054】

図1および図2に示す電極構造は、多様化されてもよい。例えば、図1および図2において、部材番号 $8_1 \cdot 9_1 \cdot 9_2 \cdot 8_2$ および $8_3 \cdot 9_3 \cdot 9_4 \cdot 8_4$ の付されている電極を、代替として、それぞれ1つの電極にまとめることができる。適切な搬送周波数方法を使用することにより、このようにまとめられた1つの電極に、複数のタスクを割り当てること
10
ことができる。すなわち、電極は、読み出し機能と、励起機能と、補償機能とを同時に備えている。さらに、部材番号 $11_1 \cdot 10_1 \cdot 10_3$ および $11_2 \cdot 10_2 \cdot 10_4$ の付されている電極を、代替として、それぞれ1つの電極にまとめることができる。

【0055】

以下の説明では、図3を参照して、本発明のコリオリの角速度計の他に考えられる一実施形態およびその操作方法を詳しく説明する。

【0056】

図3は、第1共振器 70_1 と第2共振器 70_2 とからなる結合系1'の概略的な構成を示す。第1共振器 70_1 は、機械的な結合素子71すなわちバネを介して第2共振器 70_2 と結合されている。第1および第2共振器 $70_1, 70_2$ は、共通の基板上に形成され
20
ており、共通の振動軸72に沿って相互に逆位相に振動できる。第1および第2共振器 $70_1 \cdot 70_2$ は、同一であり、対称軸73を介して相互に配置される。第1および第2共振器 $70_1 \cdot 70_2$ の構成は、図1および図2に関連して既に説明したので再度説明はしない。同一のまたは相互に対応する部品または部品群には同じ符号が付されている。ただし、異なる共振器に属する同一の部品には異なる印が付されている。

【0057】

図3に示す二重発振器と図1および図2に示す二重発振器との主な違いは、個々の電極の複数が1つの総合電極に物理的にまとめられる点である。それゆえ、例えば図3の部材番号 $8_1 \cdot 8_2 \cdot 9_1 \cdot 9_2$ の付された個々の電極は、1つの共通の電極を形成する。さら
30
に、部材番号 $8_3 \cdot 8_4 \cdot 9_3 \cdot 9_4$ の付された個々の電極は、1つの共通の電極を形成し、部材番号 $10_4 \cdot 10_2 \cdot 11_2$ および部材番号 $11_1 \cdot 10_3 \cdot 10_1$ の付された個々の電極は、それぞれ、1つの総合電極を形成する。同様のことが、他の二重発振器系にも当てはまる。

【0058】

本発明の結合系1'の動作時に、2つの共振器 $70_1 \cdot 70_2$ は、共通の振動軸72に沿って逆位相に振動する。したがって、結合系1'は、外部の妨害、または、共振器 $70_1 \cdot 70_2$ が設けられている基板で結合系1'自身によって生じる妨害の影響を受けにくい。

【0059】

結合系1'が回転する場合は、第2発振器 $4_1 \cdot 4_2$ は、相互に反対方向に（X2方向、および、X2方向とは反対の方向に）転向される。結合系1'の加速度が生じる場合は、第2発振器 $4_1 \cdot 4_2$ は、加速度がX2方向またはX2方向とは反対側の方向に作用することを条件に、それぞれ同じ方向へ、つまり、加速度の方向へ転向される。したがって、同時に、または、選択的に、加速度および回転が測定される。
40

【0060】

基本的に、結合系1'を、図1および図2に記載の評価/励起電子装置2を基礎として操作できる。しかしながら、図3に示す実施形態では、代わりに方法（搬送周波数方法）が使用される。この操作方法については以下で説明される。

【0061】

部材番号2'の付された評価/励起電子装置2は、3つの制御ループ、すなわち、共通
50

の振動軸 7 2 に沿った第 1 発振器 3₁・3₂ の逆位相振動を励起および/または制御するための第 1 制御ループと、X 2 方向に沿って第 2 発振器 4₁ の振動をリセットおよび補償するための第 2 制御ループと、X 2 方向に沿って第 2 発振器 4₂ の振動をリセットおよび補償するための制御ループとを備えている。上記 3 つの制御ループは、増幅器 6 0、アナログ/デジタル変換器 6 1、信号分離モジュール 6 2、第 1～第 3 復調モジュール 6 3₁～6 3₃、制御モジュール 6 4、電極電圧計算モジュール 6 5、搬送周波数加算モジュール 6 7、および、第 1～第 6 デジタル/アナログ変換器 6 6₁～6 6₆ を備えている。

【 0 0 6 2 】

この場合、第 2 発振器 4₁・4₂ の振動の逆位相振動をタッピング/励起（タッピング励起）するための搬送周波数を、複数の方法、すなわち、a) 3 つの異なる周波数を使用し、制御ループに周波数を 1 つずつ割り当てること、b) 方形波信号を時分割マルチプレックス方法において使用すること、または、c) ランダム位相スクランブル（統計的な変調方法）を使用すること、によって、電極 8₁～8₈・9₁～9₈・10₁～10₈・11₁～11₄ に供給することができる。電極 8₁～8₈・9₁～9₈・10₁～10₈・11₁～11₄ には、関連信号 UyAo・UyAu（第 2 発振器 4₁ に対して）、および、UxL・Uxr（第 1 発振器 3₁～3₂ の逆位相共振に対して）、および、UyBo・UyBo（第 2 発振器 4₂ に対して）を介して、搬送周波数が供給される。なお、上記関連信号は、搬送周波数加算モジュール 6 7 において生成され、上記周波数信号に対して逆位相を励起するものである。第 1 および第 2 発振器 3₁・3₂・4₁・4₂ の振動は、部材番号 7₇・7₉・7₁₁・7₁₃ の付されている角速度計フレームを介してタップオフされる。なお、上記部分は、ここでは、質点系の緩衝点としての機能以外に、タッピング電極としての機能も果たしている。このため、2 つの共振器 70₁・70₂ は、全てのフレーム、パネ、および接続素子によって、導電性に設計されていることが有利である。角速度計フレーム部分 7₇・7₉・7₁₁ および 7₁₃ によってタップオフされ、増幅器 6 0 へ入力される信号は、全ての 3 つの振動モードについての情報を含んでおり、アナログ/デジタル変換器 6 1 によって、デジタル信号に変換される。デジタル信号に変換された信号は、信号分離モジュール 6 2 へ入力される。信号分離モジュール 6 2 では、まとまった信号が、異なる 3 つの信号、すなわち、x（逆位相振動についての情報を含んでいる）と、yA（第 2 発振器 4₁ の転向についての情報を含んでいる）と、yB（第 2 発振器 4₂ の転向についての情報を含んでいる）とに分離される。信号分離は、使用される搬送周波数方法（上記 a）～c）を参照）の種類に応じて異なっている。この場合、信号分離は、使用される搬送周波数方法に相当する信号を用いる復調によって行われる。信号 x・yA・yB は、復調モジュール 6 3₁～6 3₃ へ入力される。復調モジュール 6 3₁～6 3₃ は、これらの信号 x・yA・yB を、逆位相振動の動作周波数によって、0° および 90° に復調する。信号 FxL/r または UxL/r を制御/計算するための制御モジュール 6 4 および電極電圧計算モジュール 6 5 は、図 1 に示す電子モジュール 2 と同様にそれぞれ設計されていることが好ましい。信号 FyAo/u・UyAo/u および FyBo/u・UyBo/u を制御/計算するための制御モジュール 6 4 および電極電圧計算モジュール 6 5 は、回転速度と、作動周波数を掛け算した後の直交とをリセットするための信号が、直交補助制御器のための DC 電圧と共に、1 つにまとめられた電極対へ出力される、ということ以外は、図 2 に示す電子モジュール 2 と同様に設計されていることが好ましい。したがって、2 つの信号が加算され、その結果、電極電圧の計算は、発振周波数のリセット信号と、直交制御および周波数同調のための DC 信号とを含んでいる。次に、こうして計算された電極電圧 UxL/r・UyAo/u・UyBo/u は、搬送周波数信号に加算され、アナログ/デジタル変換機 6 6₁～6 6₆ を介して、共に、電極へ出力される。

【 0 0 6 3 】

図 4 に、部材番号 6 4 の付された図 3 の制御系の好ましい一実施形態を示す。この制御系 6 4 は、第 1～第 3 部分 6 4₁～6 4₃ を備えている。第 1 部分 6 4₁ は、第 1 制御器 8 0 と、周波数生成器 8 1 と、第 2 制御器 8 2 と、エレクトロニクスコンポーネント 8 3 と、加算器段 8 4 と、乗算器 8 5 とを備えている。第 1 部分の操作方法は、図 1 に示す電

10

20

30

40

50

子モジュール 2 の操作方法にほぼ相当しており、それゆえ、ここで再度説明はしない。第 2 部分 6 4₂ は、第 1 制御器 9 0 と、第 1 変調器 9 1 と、第 2 制御器 9 2 と、第 2 変調器 9 3 と、第 3 制御器 9 4 とを備えている。さらに、第 1 および第 2 加算器段 9 5 ・ 9 6 が備えられている。第 1 制御器 9 0 の出力部において、回転速度信号 を判定し、第 3 制御器 9 4 の出力部において、直交バイアス B_{Q_1} の補償信号と加速度 A とからなる、まとまった信号を判定することができる。制御系 6 4 の第 3 部分 6 4₃ は、第 1 制御器 1 0 0 と、第 1 変調器 1 0 1 と、第 2 制御器 1 0 2 と、第 2 変調器 1 0 3 と、第 3 制御器 1 0 4 とを備えている。さらに、第 1 および第 2 加算器段 1 0 5 ・ 1 0 6 が備えられている。第 1 制御器 1 0 0 の出力部において、負の符号を有する回転速度信号 をタップオフし、第 3 制御器 1 0 4 の出力部において、負の符号を有する直交バイアス B_{Q_2} の補償信号と加速度信号 A とからなる、まとまった信号をタップオフすることができる。第 2 および第 3 部分 6 4₂ ・ 6 4₃ の操作方は、図 2 に示すエレクトロニクスモジュール 2 の操作方法に相当しており、それゆえ、ここで再度説明はしない。

10

【 0 0 6 4 】

上記で説明した逆位相励起を用いる搬送周波数方法の利点は、線形発振器 3₁ ・ 3₂ ・ 4₁ ・ 4₂ が転向される場合のみ増幅器 6 0 に信号が印加される点である。励起に使用される周波数信号は、離散周波数または方形波信号であってもよい。生成および処理がより簡単なので、方形波励起が好ましい。

【 0 0 6 5 】

線形二重発振器は、ウエハー平面における線形の動きによる特に高い品質を特徴とする。少なくとも 1 つの発振器が一方から押さえつけられている線形共振器では、パネの直交化を調整することにより、本発明に基づいて広範囲で直交バイアスを補償できる。このことは、一方側から押さえつけられている発振器のパネの角度を、直流電圧によって、測定される直交バイアス B_Q が 0 になるように変更することにより行われる。このために、上記で説明したように、対応する制御ループを動作させる。この制御ループは、上記直流電圧を、 $B_Q = 0$ になるように制御する。この制御ループにより、発生場所の直交バイアスが補償され、線形発振角速度計の精度が大幅に改善される。

20

【 0 0 6 6 】

共振器の線形発振器を、二重共振でそれぞれ作動されることが好ましい。

【 図面の簡単な説明 】

30

【 0 0 6 7 】

【 図 1 】 第 1 振動を励起する機能を果たす適切な制御ループを有し、2 つの線形発振器からなる本発明の質点系の概略図である。

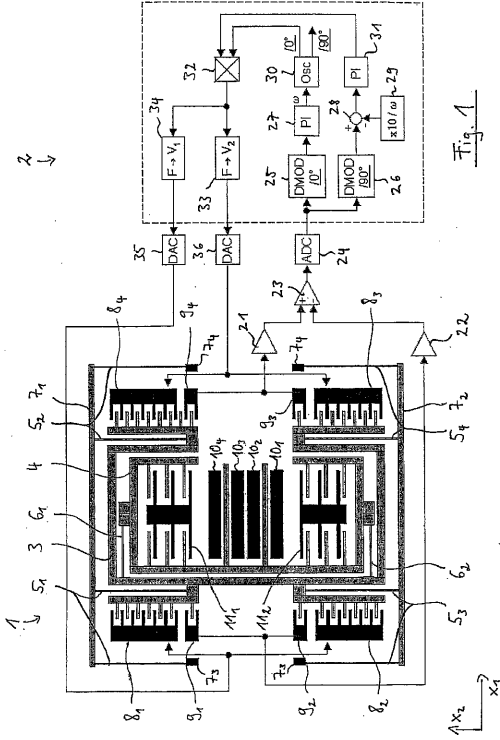
【 図 2 】 回転速度 Q と、直交バイアス B_Q と、バイアス B_Q を補償するための補助制御ループとのための対応する測定および制御ループを有し、2 つの線形発振器からなる本発明の質点系の概略図である。

【 図 3 】 回転速度 および直交バイアス B_Q に対する対応する測定ループおよび制御ループと、直交バイアス B_Q を補償するための補助制御ループとを有する 4 つの線形発振器からなる本発明の質点系の概略図である。

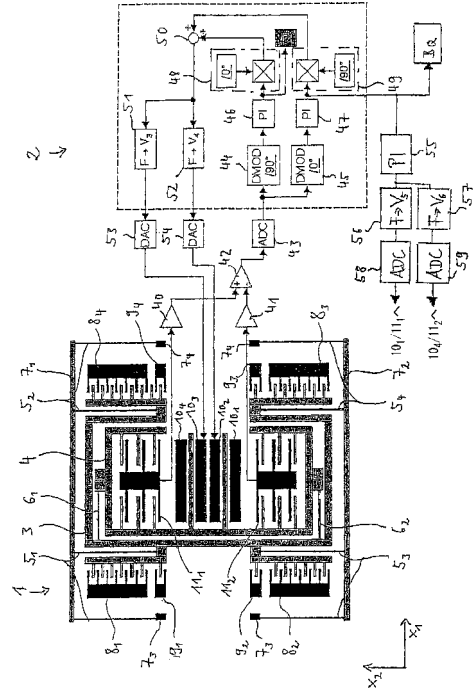
【 図 4 】 図 3 に示す制御モジュールの好ましい一実施形態の概略図である。

40

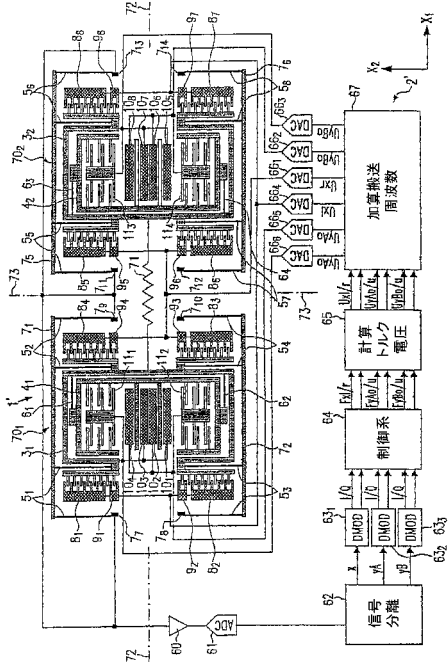
【図1】



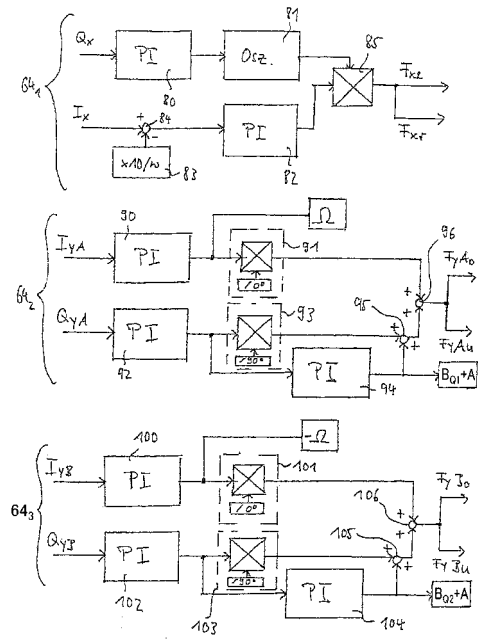
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2001-133268(JP,A)
特表2002-515976(JP,A)
米国特許出願公開第2003/0183007(US,A1)
国際公開第02/066927(WO,A1)
国際公開第03/014669(WO,A2)
特開平11-132770(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01C 19/56

G01P 9/04