(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第4498491号
(P4498491)
(45)発行日　平成22年7月7日(2010.7.7)　(24)登録日　平成22年4月23日(2010.4.23)

(51)Int.Cl.　F I
G01C 19/56 (2006.01)　G01C 19/56
G01P 9/04 (2006.01)　G01P 9/04

請求項の数 10　(全 19 頁)

(21)出願番号　特願平11-140418
(22)出願日　平成11年5月20日(1999.5.20)
(65)公開番号　特開2000-81336(P2000-81336A)
(43)公開日　平成12年3月21日(2000.3.21)
審査請求日　平成18年1月17日(2006.1.17)
(31)優先権主張番号　特願平10-142745
(32)優先日　平成10年5月25日(1998.5.25)
(33)優先権主張国　日本国(JP)
(31)優先権主張番号　特願平10-178512
(32)優先日　平成10年6月25日(1998.6.25)
(33)優先権主張国　日本国(JP)
(31)優先権主張番号　特願平10-192579
(32)優先日　平成10年7月8日(1998.7.8)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000001960
シチズンホールディングス株式会社
東京都西東京市田無町六丁目１番１２号
(74)代理人　100123881
弁理士　大澤　豊
(74)代理人　100080931
弁理士　大澤　敬
(72)発明者　中島　章夫
埼玉県所沢市大字下富字武野８４０番地
シチズン時計株式会社技術研究所内

審査官　有家　秀郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】角速度検出素子

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
外周面と内周面の少なくとも一方に発振用の圧電素子又は電極を設けたリング状の第１の振動子と、
外周面と内周面の少なくとも一方に角速度検出用の圧電素子又は電極を設け、前記第１の振動子と同心のリング状の第２の振動子と、
支持部と、
前記第１の振動子の中心に対して点対称な４箇所の振動の節の位置と前記第２の振動子とをそれぞれ接続する第１の接続部と、
前記第２の振動子と前記支持部とを前記第１の接続部から４５度ずれた振動の節の位置でそれぞれ接続する第２の接続部と
からなり、
前記第１，第２の振動子と前記支持部と前記第１，第２の接続部とが略一定の厚さの平面構造をなしており、前記第１，第２の振動子の振動方向はいずれも前記平面構造の平面に平行で、前記角速度検出用の圧電素子又は電極によって前記平面に垂直な方向の軸の回りに回転する角速度を検出するように構成したことを特徴とする角速度検出素子。
【請求項２】
前記第１の振動子は前記第２の振動子の内側に配置され、前記支持部は前記第２の振動子の外側に配置されている請求項１記載の角速度検出素子。
【請求項３】

前記第１の振動子は前記第２の振動子の外側に配置され、前記支持部は前記第２の振動子の内側に配置されている請求項１記載の角速度検出素子。
【請求項４】
前記第１，第２の振動子が、金属又はシリコンによって形成されている請求項１記載の角速度検出素子。
【請求項５】
前記第１，第２の振動子が、圧電性を示す単結晶によって形成されている請求項１記載の角速度検出素子。
【請求項６】
前記圧電性を示す単結晶が、水晶単結晶，タンタル酸リチウム単結晶，およびホウ酸リチウム単結晶のうちのいずれかである請求項５記載の角速度検出素子。
【請求項７】
前記第１，第２の振動子と前記支持部と前記第１，第２の接続部とが、同一材料によって一体に形成されている請求項１記載の角速度検出素子。
【請求項８】
前記第１の振動子は、振動の腹の部分にそれぞれ前記発振用の圧電素子又は電極を設けたリング状の振動子であり、
前記第２の振動子は、前記第１の振動子の発振用の各電極に対して４５°ずつずれた位置にそれぞれ角速度検出用の圧電素子又は電極を設けたリング状の振動子である請求項１記載の角速度検出素子。
【請求項９】
前記第１の振動子は、振動の腹の部分に前記発振用の圧電素子又は電極を設けたリング状の振動子であり、
前記第２の振動子は、前記第１の振動子の発振用の電極と対応する位置に角速度検出用の圧電素子又は電極を設けたリング状の振動子である請求項１記載の角速度検出素子。
【請求項１０】
前記リング状の第１の振動子及び第２の振動子と前記第１，第２の接続部と前記支持部とが、圧電性を示す単結晶によって一体に形成されている請求項８又は９記載の角速度検出素子。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
この発明は、自動車のナビゲーションシステムや姿勢制御等に用いられる振動型の角速度検出素子に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
従来から機械式の回転ジャイロスコープを用いた角速度検出装置が、飛行機や船舶の慣性航法装置として使われている。
この機械式回転ジャイロスコープは、高安定かつ高性能を有しているが、形状が大きく、価格も高く、寿命も短いという欠点があった。
【０００３】
近年、この機械式回転ジャイロスコープに代わるものとして、振動式の角速度検出素子を用いた振動式ジャイロスコープの実用化が進められている。
この角速度検出素子は、エリンバ等の恒弾性金属材料で形成された細長い振動体と、交流電圧を加えてその振動体を駆動するための圧電素子と、回転にともなうコリオリ力によって生じる角速度に比例した振動を検出するための圧電素子とからなっている。
【０００４】
たとえば、特開平６－２４１８１５号公報に振動式の角速度検出素子を用いた振動式ジャイロスコープが提案されている。その概略を図１５及び図１６によって簡単に説明する。
【０００５】

この図１５及び図１６に示す角速度検出素子は、エリンバなどの金属材料を細長い正三角柱状に成形して振動体９１とし、その各面の長手方向の中央部に、それぞれ駆動及び検出用の圧電素子９２，９３と帰還用の圧電素子９４を接着している。そして、支持部材９５，９６を振動体９１の振動の節に溶接し、その支持部材９５，９６を、図１６に示すように基部９７に固定して角度検出素子全体を保持している。

【０００６】

この角速度検出素子において、振動体９１の駆動およびび検出用の圧電素子９２，９３と帰還用の圧電素子９４とに、この振動体９１の共振周波数と同じ周波数の交流電圧を印加することによって、振動体９１は図１５に示すｙ軸方向に共振振動を持続する。

【０００７】

このとき、振動体９１がｚ軸方向すなわち長さ方向に回転軸をもつ回転角速度ωを受けると、コリオリ力がｘ軸方向に発生し、圧電素子９２と圧電素子９３は正負が逆で大きさが等しい電圧を発生する。

この二つの圧電素子９２と９３の出力電圧を、図示していない差動増幅器の２つの入力端子にそれぞれ入力させて、重畳されている交流電圧を除去して発生電圧のみとし、さらに共振周波数で同期検波することにより、角速度の大きさに応じた検出信号を得ることができる。

【０００８】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、このような従来の振動式の角速度検出素子には、次のような問題が指摘されている。

第１に、三角柱状の振動体の振動の節をその稜線部の２点で支持部材に溶接して角度検出素子全体を保持しているため、耐衝撃性が悪いという問題がある。

【０００９】

第２に、振動体の振動の節の位置に支持部材を精度良く溶接する必要があるが、これはかなり困難を伴う作業であり、組立工程が多くなるために、価格が高くなるという問題がある。

第３に、角速度を検出すべき回転の軸が振動体の長さ方向となり、振動体の長さで角速度検出素子全体の高さが決まるため、小型化に制限があるという問題もある。

【００１０】

この発明は、このような従来の振動式角速度検出素子における問題点を解決するためになされたものであり、耐衝撃性が高く、低価格化を実現でき、小型化も可能な角速度検出素子を提供することを目的とする。

【００１１】

【課題を解決するための手段】

この発明による角速度検出素子は、上記の目的を達成するため、外周面と内周面の少なくとも一方に発振用の圧電素子又は電極を有するリング状の第１の振動子と、外周面と内周面の少なくとも一方に角速度検出用の圧電素子又は電極を有し、第１の振動子と同心のリング状の第２の振動子と、支持部と、第１の振動子の中心に対して点対称な４箇所の振動の節の位置と第２の振動子とをそれぞれ接続する第１の接続部と、第２の振動子と支持部とを第１の接続部から４５度ずれた振動の節の位置でそれぞれ接続する第２の接続部とを備えている。そして、上記第１，第２の振動子と支持部と第１，第２の接続部とが略一定の厚さの平面構造をなしており、上記第１，第２の振動子の振動方向はいずれも上記平面構造の平面に平行で、上記角速度検出用の圧電素子又は電極によって上記平面に垂直な方向の軸の回りに回転する角速度を検出するように構成されている。

【００１２】

上記第１の振動子を第２の振動子の内側に配置し、支持部を第２の振動子の外側に配置するか、あるいは第１の振動子を第２の振動子の外側に配置し、支持部を第２の振動子の内側に配置してもよい。

【００１３】

上記第１，第２の振動子を金属又はシリコンによって形成するか、圧電性を示す単結晶によって形成するとよい。
その圧電性を示す単結晶としては、水晶単結晶，タンタル酸リチウム単結晶，およびホウ酸リチウム単結晶のうちのいずれかを用いることができる。
この角速度検出素子全体、すなわち上記第１，第２の振動子と支持部と第１，第２の接続部とを、同一材料（上記各材料のいずれか）によって一体に形成することができる。
【００１４】
上記第１の振動子は、振動の腹の部分に発振用の圧電素子又は電極を有するリング状の振動子とし、第２の振動子は、第１の振動子の発振用の各電極に対して４５°ずつずれた位置、あるいはその第１の振動子の発振用の電極と対応する位置にそれぞれ角速度検出用の圧電素子又は電極を有するリング状の振動子として構成することができる。
そのリング状の第１の振動子及び第２の振動子と上記第１，第２の接続部と支持部とを、圧電性を示す単結晶によって一体に形成することもできる。
【００１８】
【発明の実施の形態】
以下、この発明の実施の形態を図面を参照して具体的に説明する。
〔第１の実施形態：図１～図４〕
まず、この発明による角速度検出素子の第１の実施形態を、図１から図４を参照して説明する。
【００１９】
図１はその角速度検出素子の構造を示す平面図、図２はその角速度検出素子を用いた角速度検出装置のブロック構成図、図３は角速度検出素子の第１の振動子の振動の状態を示す説明図、図４は角速度検出素子が回転の角速度を受けたときの第１の振動子と第２の振動子の振動の状態を示す説明図である。
図２を除く各図において、中心点Ｐを通る４本の放射状の１点鎖線は４５°間隔で、それぞれ第１の振動子１の各節と各腹の中央を通るように描かれている。
【００２０】
図１に示す角速度検出素子１００は、第１の振動子１と第２の振動子２と支持部２０と、第１の振動子１の振動の節と第２の振動子２とを接続する第１の接続部３～６と、第２の振動子２と支持部２０とを接続する第２の接続部７～１０とからなる。
【００２１】
これらの第１，第２の振動子１，２と支持部２０と第１，第２の接続部３～１０は、略一定の厚さの平面構造をなし、第１の振動子１と第２の振動子２はいずれも共通の中心点Ｐに対して点対称の形状を有する。この例では第１の振動子１と第２の振動子２とが同心のリング状に形成されている。しかし、円形のリング状に限らず、方形や楕円形などの無端枠状、あるいはいずれか一方の振動子が円板状などの板状であってもよい。
【００２２】
この角速度検出素子１００は、外形が正方形の支持部２０を構成する材料によって、ウエットエッチングやドライエッチング等の化学的加工法により、第１，第２の振動子１，２と第１，第２の接続部３～１０が支持部２０と一体に形成される。
その構成材料は、温度特性の良いエリンバ等の金属材料、シリコン基板、あるいは圧電性を有する単結晶である水晶単結晶，タンタル酸リチウム単結晶，ホウ酸リチウム単結晶などを使用する。ここでは、金属材料を用いた場合の例を説明する。
【００２３】
第１の振動子１は一番内側に形成し、中心点Ｐに対して点対称な振動の節の位置に設けた第１の接続部３，４，５，６によって、その外側に形成された第２の振動子２に接続している。その第１の振動子１の各第１の接続部間の振動の腹の部分の内周面に、４個の発振用の圧電素子１１，１２，１３，１４が９０°ずつ位置をずらしてそれぞれ円弧状に接着されている。
【００２４】

第２の振動子２は第１の振動子の外側に形成し、第１の接続部３，４，５，６を４５度回転した位置に設けた、中心点Ｐに対して点対称な第２の接続部７，８，９，１０によつて、その外側の支持部２０に接続している。このように、点対称な４点支持構造にすることにより、耐衝撃性が向上する。
その第２の振動子２の各第２の接続部間の外周面に、４個の角速度検出用の圧電素子１５，１６，１７，１８がそれぞれ円弧状に接着されている。

【００２５】
そして、図２に示すように、この角速度検出素子１００の第１の振動子１に設けられた発振用の圧電素子１１～１４のうち、対向する一対の圧電素子１１，１２は、それぞれ引出線３０，３１を介して発振回路２１の入力線３２に接続され、他の対向する一対の圧電素子１３，１４は、それぞれ引出線２８，２７を介して発振回路２１の出力線２９に接続される。

【００２６】
これらの発振用の圧電素子１１～１４と発振回路２１とによって、第１の振動子１は、図１に示す第１の接続部３～６に近接した各点４３，４４，４５，４６が振動の節となる共振モードで振動される。

【００２７】
一方、この角速度検出素子１００の第２の振動子２に設けられた角速度検出用の圧電素子１５～１８のうち、対向する一対の圧電素子１５，１６は、それぞれ引出線３７，３６を介して検出回路２３の第１の入力線３５と接続する。他の対向する一対の圧電素子１７，１８は、それぞれ引出線３３，３４を介して検出回路２３の第２の入力線３８と接続する。この第２の振動子２は、図１に示す第２の接続部７～１０に近接した各点４７，４８，４９，５０が振動の節となる。

【００２８】
検出回路２３の出力は検波回路２４の第１の入力となり、発振回路２１の出力は移相回路２２の入力となり、移相回路２２の出力は検波回路２４の第２の入力となる。検波回路２４の出力はローパスフィルタ２５に入力し、ローパスフィルタの出力端子２６には、角速度に比例した電圧が出力される。

【００２９】
次に、このように構成された角速度検出素子１００の動作について説明する。角速度検出素子１００の第１の振動子１は、上述したように圧電素子１１～１４と発振回路２１によって振動され、図１に示す各点３～６が振動の節になるように面内屈曲振動する。このときの共振周波数ｆ0 は数１によって求められる。

【００３０】
【数１】

$$f0 = \alpha n,m / 2\pi a \sqrt{E / \rho(1-\sigma^2)}$$

【００３１】
ここに、αｎ,ｍ は共振周波数定数であり、ｎは周辺次数、ｍは振動次数である。ここではｎ＝２、ｍ＝１のモードを用いる。このときのα２,１ の値は第１の振動子１の外半径ａと内半径ｂとの比ｂ／ａにより決定される。
たとえばｂ／ａ＝０.９のときは、α２,１＝０.１７１１８ である。また、Ｅはヤング率、ρは密度、σはポアソン比を表わしている。

【００３２】
この第１の振動子１の振動の１サイクルは図３に示すように４つの状態を遷移する。第１の状態では、（ａ）に示すように第１の振動子１の形状は真円である。このとき発振回路２１の出力によって、第１の振動子１の上下の振動の腹の点５１，５３に外向きの力が、それと９０°ずれた左右の振動の腹の点５２，５４に内向きの力が働くように圧電素子１

１～１４を駆動すると第２の状態に移る。
【００３３】
第２の状態では、第１の振動子１は図３の（ｂ）に示すように、上下方向に伸張し、左右方向に縮小した楕円形となる。このとき点４３～４６は振動の節であるので変形しない。したがって、図１に示した第１の接続部３～６には力が伝わらないので、第２の振動子２は何ら影響を受けず、振動することはない。
【００３４】
第３の状態では、図３の（ｃ）に示すように、第１の振動子１の形状は再び真円となる。このとき、発振回路２１の出力によって、第１の振動子１の左右の振動の腹の点５２，５４に外向きの力が、上下の振動の腹の点５１，５３に内向きの力が働くように圧電素子１１～１４を駆動すると第４の状態に移る。
【００３５】
第４の状態では、第１の振動子１は図３の（ｄ）に示すように、上下方向に縮小し、左右方向に伸張した楕円形となる。このときも点４３～４６は振動の節であるので変形しない。したがって、図１に示した接続部３～６には力が伝わらないので、第２の振動子２は何ら影響を受けず、振動することはない。
このように、上記４状態を遷移しても、第２の振動子２は第１の振動子１から何ら影響を受けないため、第２の振動子２の外周面に設けた圧電素子１５～１８には検出電圧は発生しない。したがって、非回転時には検出出力は発生しない。
【００３６】
つぎに、図４によって、第１の振動子１が紙面に平行な面内で振動しているとき、紙面に垂直な回転軸の回りに回転角速度ω（円弧状矢印で示す）を受けた場合の動作を説明する。
【００３７】
図４の（ａ）では、図３の（ａ）に対応した第１の振動子１の形状が真円のときの状態を示している。この状態では、第１の振動子１は上下の振動の腹の点５１，５３は外向きに速度Ｖ１，Ｖ２で、左右の振動の腹の点５２，５４は内向きに速度Ｖ３，Ｖ４で振動しており、この状態のときに各々の振動の速度が最大になっている。
速度Ｖ１と速度Ｖ２は大きさが同じで方向が逆であり、速度Ｖ３と速度Ｖ４も大きさが同じで方向が逆である。これらの振動の腹の点５１～５４に速度と直角な方向にコリオリ力Ｆ１，Ｆ３，Ｆ２，、Ｆ４が働く。
【００３８】
これらのコリオリ力Ｆ１～Ｆ４がベクトル的に合成されて、第１の振動子１の振動の節に力が働く。
その結果、図４の（ｂ）に示すように、振動の節４４，４６には外向きの力Ｆ５，Ｆ６が、振動の節４３，４５には内向きの力Ｆ７，Ｆ８がそれぞれ作用し、第１の振動子１は、一対の節４４と４６を結ぶ直線を長軸とする楕円状に変形する。
【００３９】
第１の振動子１の振動の節に接続した第２の振動子２は、第１の接続部３～６を介して第１の振動子とともに合成されたコリオリ力Ｆ５～Ｆ８を受けて、第１の振動子１と同じ方向を長軸とする楕円状に変形する。
【００４０】
それによって、第２の振動子２に接着された図１に示す一対の圧電素子１５，１６はともに伸張するように変形されて検出電圧Ｅｓを発生する。また、他の一対の圧電素子１７，１８はともに縮小するように変形されて、圧電素子１５，１６の検出電圧とは逆極性の検出電圧－Ｅｓを発生する。
【００４１】
さらに、図４の（ｃ）では、図３の（ｃ）に対応した第１の振動子１の形状が真円のときの状態を示している。
この状態においては、第１の振動子１は上下の振動の腹の点５１，５３は内向きの速度－

Ｖ１，－Ｖ２、左右の振動の腹の点５２，５４は外向きの速度－Ｖ３、－Ｖ４で、それぞれ振動しており、この状態のときに各々の振動の速度が最大になっている。

【００４２】

速度－Ｖ１と速度－Ｖ２は大きさが同じで方向が逆であり、速度－Ｖ３と速度－Ｖ４も大きさが同じで方向が逆である。これらの振動の腹の点５１～５４に速度と直角方向に（ａ）とは逆方向のコリオリ力－Ｆ１，－Ｆ３，－Ｆ２，－Ｆ４が働く。

【００４３】

このコリオリ力－Ｆ１～－Ｆ４がベクトル的に合成されて、第１の振動子１の振動の節に力が働く。

その結果、図４の（ｄ）に示すように、第１の振動子１の振動の節４４，４６には内向きの力－Ｆ５，－Ｆ６が、振動の節４３，４５には外向きの力－Ｆ７，－Ｆ８が作用し、第１の振動子１は、一対の節４３と４５とを結ぶ直線を長軸とする楕円状に変形する。

【００４４】

第１の振動子１の振動の節に接続した第２の振動子２は、第１の接続部３～６を介して第１の振動子とともに合成されたコリオリ力－Ｆ５～－Ｆ８を受けて、第１の振動子１と同じ方向を長軸とする楕円状に変形する。

【００４５】

その第２の振動子２に接着された一対の圧電素子１５，１６はともに縮小するように変形されて検出電圧－Ｅｓを発生する。また、他の一対の圧電素子１７，１８はともに伸張するように変形されて、圧電素子１５，１６の検出電圧とは逆極性の検出電圧Ｅｓを発生する。

【００４６】

これらの検出電圧Ｅｓと－Ｅｓは、図２に示した検出回路２３の一方の入力と他方の入力となり、検出回路２３内の差動増幅器で加算されて出力２Ｅｓとなる。この出力は検波回路２４の第１の入力信号となり、発振回路２１の出力を９０度移相する移相回路２２の出力による第２の入力信号により検波され、さらにローパスフィルタ２５を通して角速度に比例した直流出力となる。

【００４７】

〔第２の実施形態：図５〕

つぎに、この発明による角速度検出素子の第２の実施形態を図５によって説明する。図５はその角速度検出素子の構造を示す図１と同様な平面図であり、図１と対応する部分に同一の符号を付している。

【００４８】

この角速度検出素子１００′は、リング状の第１の振動子１をリング状の第２の振動子２の外側に配置し、第２の振動子２の内側に円板状の支持部２０′を同心状に配置している。そして、第１の振動子１の振動の各節と第２の振動子２とをそれぞれ第１の接続部３～６で接続し、支持部２０′と第２のの振動子２とを第１の接続部３～６に対して４５°ずれた位置に設けた第２の接続部によって接続している。

【００４９】

第１の振動子１の内周面には４個の発振用の圧電素子１１～１４が接着され、第２の振動子２の外周面には４個の角速度検出用の圧電素子１５～１８が、第１の振動子１の各圧電素子１１～１４に対して４５°ずれた位置に接着されている。　この角速度検出素子１００′の各部も、第１の実施形態の角速度検出素子１００と同様な金属材料によって一体に形成され、略一定の厚さの平面構造をなす。

この角速度検出素子１００′の振動および角速度検出の動作は、前述した第１の実施形態の角速度検出素子１００と同じであるので、その説明は省略する。

【００５０】

これらの実施形態においては、角速度検出素子を金属材料によって形成する例を示したが、前に述べたように、角速度検出素子を形成する材料はこれに限定するものではなく、シリコンや、あるいは水晶単結晶，タンタル酸リチウム単結晶，ホウ酸リチウム単結晶等の

圧電性を示す単結晶を使用してもよい。
【００５１】
なお、第１，第２の振動子１，２を圧電性を示す単結晶で形成した場合には、発振用の圧電素子１１～１４および角速度検出用の圧電素子１５～１８に代えて、それぞれ発振用の電極を第１の振動子に、角速度検出用の電極を第２の振動子２に蒸着またはスパッタリング法により形成すればよい。
【００５２】
〔第３の実施形態：図６及び図７〕
次に、この発明による角速度検出素子の第３の実施形態を、図６及び図７によって説明する。
図６はその角速度検出素子の構造を示す図１と同様な平面図であるが、支持部の図示を省略している。図７はその角速度検出素子を用いた角速度検出装置のブロック構成図である。これらの図において、図１及び図２と対応する部分には同一の符号を付している。
【００５３】
図６に示す角速度検出素子２００も、第１の振動子１および第２の振動子２と、第１の振動子１の振動の節と第２の振動子２とを接続する第１の接続部３，４，５，６と、第２の振動子２と支持部２０とを接続する第２の接続部７，８，９，１０と、図示しない支持部２０とが、略一定の厚さの平面構造をなしている。なお、支持部２０は図１に示した実施形態と同様に第２の振動子２を囲むように一体に形成してもよいし、各第２の接続部７～１０毎に設けてもよい。
【００５４】
この角速度検出素子２００も、同一の構成材料から、ドライエッチングやウエットエッチング等の化学的加工法により一体に形成される。
その構成材料は、単結晶で圧電性を有する水晶，タンタル酸リチウム，ホウ酸リチウム等を使用する。ここでは、単結晶水晶のＺ板を用いた場合の例で説明する。
この単結晶水晶のＺ板は、図６に示す紙面に垂直なＺ軸（光軸）方向に一定の厚みを有し、Ｘ軸（電気軸）を横方向、Ｙ軸（機械軸）を縦方向とする。
【００５５】
図６に示す、角速度検出素子２００の第１の振動子１と第２の振動子２は同心のリング状に形成し、第１の振動子１を第２の振動子２の内側に形成して、中心点Ｐに対して点対称の位置（第１の振動子１の振動の節の点４３～４６に近い位置）に設けた第１の接続部３～６によって第２の振動子２に接続している。振動子１は４つづつの振動の節と腹とを有する。
【００５６】
そして、第１の振動子１の第１の振動の節４３と第４の振動の節４６との間の振動の腹の部分の内周面と外周面に、発振用の電極６１と６２をそれぞれ蒸着により形成する。また、第２の振動の節４４と第３の振動の節４５との間の振動の腹の部分の内周面と外周面にも、発振用の電極６３と６４とをそれぞれ蒸着により形成する。これらの各電極６１～６４は、水晶のＸ軸（電気軸）と直交し、Ｙ軸（機械軸）とはほぼ平行になる。
【００５７】
そして、図７に示すように、発振用の電極６１と６３は接続線により発振回路２１の入力線３２に接続する。また、発振用の電極６２と６４とは接続線により発振回路２１の出力線２９に接続する。
これらの発振用の電極６１～６４と発振回路２１とにより、第１の振動子１は、接続部３～６に近接した点が振動の節４３，４４，４５，４６となる共振モードで振動される。
【００５８】
リング状の第２の振動子２は第１の振動子１の外側に形成され、第１の接続部３～６を４５度回転した点対称な位置に設けた第２の接続部７～１０によって、支持部２０に接続している。
この第２の振動子２には、第１の振動子１の発振用の電極６１と６２に隣接して対応する

部分に、角速度検出用の電極６５，６８と６６，６７を形成する。また、第１の振動子１の発振用の電極６３と６４に隣接して対応する部分に、角速度検出用の電極６９，７１と７０，７２を形成する。

【００５９】

これらの各電極６５～７２は、それぞれ支持部７，９の近傍で分離されているが、水晶のＸ軸(電気軸)と直交し、Ｙ軸(機械軸)とほぼ平行になっている。

そして、図７に示すように、電極６７，６５，７１，７０は接続線によって共通に接続されて検出回路２３の第１の入力線３５に接続される。また、電極６８，６６，７２と６９は接続線によって共通に接続されて、検出回路２３の第２の入力線３８に接続される。第２の振動子２は、接続部７～１０に近接した点が振動の節４７，４８，４９，５０となる。

【００６０】

発振回路２１，移相回路２２，検出回路２３，検波回路２４，およびローパスフィルタ２５の機能は、図２よって説明した第１の実施形態の場合と同じであり、ローパスフィルタ２５の出力端子２６には、この角速度検出素子２００が図６に曲線矢印で示すように紙面に垂直な方向の軸の回りに回転する角速度ωを受けたちきに、その角速度に比例した電圧が出力される。

【００６１】

この角速度検出素子２００の動作原理も前述した第１の実施形態の角速度検出素子１００について、図３および図４によって説明したのと同様である。

但し、第２の振動子２がコリオリ力を受けて楕円形に変形したとき、角速度検出用の電極６５，６６と７１，７２が形成された部分と、角速度検出用の電極６７，６８と６９，７０が形成された部分とでは、縮小と伸張が逆の変形をするが、いずれも、正負の検出電荷Ｑｓを発生する。

【００６２】

その正負の検出電荷Ｑｓを検出回路２３内の電流電圧変換回路によって出力電圧Ｅｓに変換する。その後の信号処理は、図２によって説明した第１の実施形態の場合と同様である。

この第３の実施形態においても、図５に示した第２の実施形態の角速度検出素子のように、リング状の第１の振動子１をリング状の第２の振動子２の外側に配置し、その第２の振動子２の内側に同心円板状の支持部を配置するようにしてもよい。

【００６３】

また、角速度検出素子の構成材料として単結晶水晶のＺ板を用いた例を説明したが、前に述べたように、この構成成材料としては、タンタル酸リチウム単結晶や、ホウ酸リチウム単結晶などの、圧電性を示す他の単結晶材料を用いてもよい。さらに、エリンバ等の金属やシリコン基板を用いることもできるが、その場合には、第１の振動子１には発振用の圧電素子を、第２の振動子２には角速度検出用の圧電素子を接着すればよい。

【００６４】

〔参考例：図８乃至図１４〕

次に、この発明を応用した角速度検出素子の参考例を、図８乃至図１４によって説明する。

図８はその角速度検出素子の構造を示す図１と同様な平面図であるが、支持部の図示を省略している。図９はその角速度検出素子の各電極の接続関係を示すための図８のＡ－Ａ線に沿う切断面の模式的な拡大端面図、図１０はその角速度検出素子を用いた角速度検出装置のブロック構成図である。これらの図において、図１及び図２と対応する部分には同一の符号を付している。

【００６５】

図８に示す角速度検出素子３００も、同一の構成材料からドライエッチングやウエットエッチング等の化学的加工法により一体に形成され、全体が略一定の厚さの平面構造をなしている。

【００６６】
その構成材料としては、単結晶で圧電性を有する水晶板、シリコン基板、または温度特性の良いエリンバ等の金属材料等を使用する。ここでは、第３の実施形態と同様に、単結晶水晶Ｚ板を用いた例を説明する。
この単結晶水晶のＺ板は、図８に示す紙面に垂直なＺ軸（光軸）方向に一定の厚みを有し、Ｘ軸（電気軸）を横方向、Ｙ軸（機械軸）を縦方向とする。
【００６７】
そして、この角速度検出素子３００は、図８に示すように、中心点Ｐを共通にする同心リング状の第１の振動子１と第２の振動子２と第３の振動子４０とを備えている。
第１の振動子１は一番内側に形成し、中心点Ｐに対して点対称の位置に設けた第１の接続部３，４，５，６によって外側の第３の振動子４０に接続している。
【００６８】
その第３の振動子４０は、Ｙ軸方向の２箇所に設けた第３の接続部４１，４２によって一番外側の第２の振動子２に接続している。
さらに、その第２の振動子２は、第１の接続部３，４，５，６とそれぞれ対応する角度位置に設けられた第２の接続部７，８，９，１０によって、その外側の支持部２０に接続されている。その支持部２０は、図示を省略しているが、図１に示した第１の実施形態の支持部２０と同様に一体に形成してもよいし、各第２の接続部７，８，９，１０に対して個々に設けてもよい。
【００６９】
そして、図８におけるＸ軸方向に平行なＡ－Ａ線に沿う断面の模式的な拡大端面図である図９に明示するように、第１の振動子１の振動の節４３と４６の間の振動の腹となる円弧状の部分の上下左右の各面に、発振用の電極１１ａ，１１ｂ，１１ｃ，１１ｄが形成されている。この第１の振動子１の振動の節４４と４５の間の振動の腹となる円弧状の部分の上下左右の各面にも、発振用の電極１２ａ，１２ｂ，１２ｃ，１２ｄが形成されている。
【００７０】
また、第２の振動子２の第２の接続部７と１０の間の円弧上の部分の上下左右の各面に、角速度検出用の電極１６ａ，１６ｂ，１６ｃ，１６ｄが形成され、第２の接続部８と９の間の円弧状の部分の上下左右の各面にも、角速度検出用の電極１８ａ，１８ｂ，１８ｃ，１８ｄが形成されている。
これらの各電極は、全て中心点Ｐに対して点対称であり、中心点Ｐ通るＹ軸に関しても左右対称である。
【００７１】
そして、図９及び図１０に示すように、第１の振動子１の発振用の電極１１ｃ，１１ｄと１２ａ，１２ｂを接続して発振回路２１の入力線３２（Ｄ１）に接続する。また、発振用の電極１１ａ，１１ｂと１２ｃ，１２ｄとを接続して発振回路２１の出力線２９（Ｄ２）に接続する。これらの発振用の電極と発振回路２１とにより、第１の振動子１は、接続部３～６に近接した点が振動の節４３～４６となる共振モードで振動される。
【００７２】
第２の振動子２の角速度検出用の電極１６ｃ，１６ｄと１８ａ，１８ｂを接続して検出回路２３の第１の入力線３５（Ｓ１）に接続する。また、角速度検出用の電極１６ａ，１６ｂと１８ｃ，１８ｄを接続して検出回路２３の第２の入力線３８（Ｓ２）に接続する。
【００７３】
そして、図１０に示すように、検出回路２３の出力を検波回路２４に入力させ、発振回路２１の出力に同期して検波し、その検波出力をローパスフィルタ２５に入力させ、出力端子２６に角速度検出素子３００が受けた角速度に比例した電圧を出力する。この場合、前述の各実施形態の図２および図７で説明した回路における移相回路は不要になる。
【００７４】
次に、この角速度検出素子３００の動作原理を説明する。
この角速度検出素子３００の第１の振動子１が、発振用の電極１１ａ～１１ｄと１２ａ～

１２ｄ及び発振回路２１に駆動されて、図８に示す４３，４４，４５，４６が振動の節になるように、共振周波数ｆ0 で面内屈曲振動する点は、前述の各実施形態と同様である。

【００７５】

そして、回転角速度を受けていない場合には、第１の振動子１の振動の１サイクルは図３の(ａ)，(ｂ)，(ｃ)，(ｄ)に示した４つの状態（真円→上下方向に伸張した楕円形→真円→左右方向に伸張した楕円形）を遷移する。

このときも振動の節４３～４６は変形しないので、第１の接続部３，４，５，６には力が伝わらない。そのため、第３の振動子４０は何ら影響を受けず、振動することはない。

【００７６】

したがって、第３の振動子４０に接続した第２の振動子２も第１の振動子１の振動の影響を受けず、第２の振動子２上の検出用の各電極には検出電荷は発生しない。したがって、非回転時には検出出力は発生しない。

【００７７】

つぎに、第１の振動子１が図８における紙面に平行な面内で振動しているときに、紙面に垂直な回転軸の回転角速度ωを受けた場合の動作を、図１１から図１４を用いて説明する。

【００７８】

まず、第１の状態は、図３の（ａ）に対応した図１１の（ａ）に示す第１の振動子１の形状が真円のときである。このとき、振動の腹５１，５３は外向きの速度Ｖ１，Ｖ２、振動の腹５２，５４は内向きの速度Ｖ３，Ｖ４で振動しており、この状態のときに各々の振動の速度が最大になっている。速度Ｖ１と速度Ｖ２は大きさが同じで方向が逆であり、速度Ｖ３と速度Ｖ４も大きさが同じで方向が逆である。これらの振動の腹５１，５２，５３，５４に速度と直角方向にコリオリ力Ｆ１，Ｆ３，Ｆ２，Ｆ４が働く。

【００７９】

そのリオリ力Ｆ１，Ｆ２，Ｆ３，Ｆ４がベクトル的に合成されて、第１の振動子１の振動の節４３，４４，４５，４６に力が働く。そして、図１１の（ｂ）に示すように、振動の節４４，４６には外向きの力Ｆ５，Ｆ６が、振動の節４３，４５には内向きの力Ｆ７，Ｆ８が働き、第１の振動子１は、振動の節４４と４６とを結ぶ直線を長軸とする楕円形に変形する。

【００８０】

第１の振動子１の振動の節４３，４４，４５，４６に接続した第３の振動子４０は第１の接続部３，４，５，６を介して第１の振動子１と共に合成されたコリオリ力Ｆ５，Ｆ６，Ｆ７，Ｆ８を受けて、第１の振動子１と同じ方向を長軸とする楕円形に変形する。

しかしながら、第３の振動子４０の振動の節に接続部４１，４２を介して接続した第２の振動子２はその振動の影響を受けず、振動しない。

【００８１】

次に、第２の状態は、図１２の（ａ）に示すように、第１の振動子１の変位が上下方向に最大になる。このとき、第１の接続部４，６は内向きの速度Ｖ５，Ｖ６となり、第１の接続部３，５は外向きの速度Ｖ７，Ｖ８となる。速度Ｖ５と速度Ｖ６は大きさが同じで方向が逆であり、速度Ｖ７と速度Ｖ８も大きさが同じで方向が逆である。

【００８２】

これらの第１の接続部３，４，５，６に接続した第３の振動子４０の振動の節に相当する各部分も同じ速度となり、コリオリ力Ｆ９，Ｆ１０，Ｆ１１，Ｆ１２を受ける。

さらに、その外側の第２の振動子２は、図１２の（ｂ）に示すように接続部４１，４２を介してベクトル的に合成されたコリオリ力Ｆ１３，Ｆ１４を受け、上下方向を長軸とする楕円形に変形する。

【００８３】

このとき、第１の振動子１は最大の応力を受けるため、発振回路２１の出力電圧は最大となる。そして、第２の振動子２が変形されて角速度検出用の電極１６ａ～１６ｄと１８ａ～１８ｄに最大値｜Ｑｓ｜の検出電荷が発生する。第１の振動子１と第２の振動子２の振

動は同相になり、図１０に示した発振回路２１の出力電圧と検出回路２３出力とが同相になるため、検波のための移相回路は必要としない。

【００８４】

次に、第３の状態は、図３の（ｃ）に対応した図１３の（ａ）に示す第１の振動子１の形状が真円のときである。

このとき、図１１の（ａ）の状態とは反対に、第１の振動子１の振動の腹５１，５３は、内向きの速度－Ｖ１，－Ｖ２、振動の腹５２，５４は外向きの速度－Ｖ３，－Ｖ４で振動しており、この状態のときに各々の振動の速度が最大になっている。速度－Ｖ１と速度－Ｖ２は、大きさが同じで方向が逆であり、速度－Ｖ３と速度－Ｖ４も大きさが同じで方向が逆である。

【００８５】

これらの振動の腹５１，５２，５３，５４に、速度と直角方向にコリオリ力－Ｆ１，－Ｆ３，－Ｆ２，－Ｆ４が働く。

このコリオリ力－Ｆ１，－Ｆ２，－Ｆ３，－Ｆ４がベクトル的に合成されて、第１の振動子１の振動の節４３，４４，４５，４６に力が働く。

すなわち、図１３の（ｂ）に示すように、振動の節４４，４６には内向きの力－Ｆ５，－Ｆ６が、振動の節４３，４５には外向きの力－Ｆ７，－Ｆ８が働き、第１の振動子１は、振動の節４３と４５を結ぶ直線を長軸とする楕円形に変形する。

【００８６】

第１の振動子１の振動の節４３，４４，４５，４６に接続した第３の振動子４０は、第１の接続部３，４，５，６を介して第１の振動子１とともに合成されたコリオリ力－Ｆ５，－Ｆ６，－Ｆ７，－Ｆ８を受けて、第１の振動子１と同じ方向を長軸とする楕円形に変形する。

しかしながら、第３振動子４０の節に接続部４１，４２を介して接続した第２の振動子２は振動の影響を受けず振動しない。

【００８７】

次に、第４の状態は、図１４の（ａ）に示すように、第１の振動子１の変位が左右方向に最大になる。このとき第１の接続部４，６は外向きの速度－Ｖ５，－Ｖ６となり、第１の接続部３，５は内向きの速度－Ｖ７，－Ｖ８となる。速度－Ｖ５と速度－Ｖ６は大きさが同じで方向が逆であり、速度－Ｖ７と速度－Ｖ８も大きさが同じで方向が逆である。

【００８８】

これらの第１の接続部が接続した第３の振動子４０の振動の節に相当する各部分も同じ速度となり、図１４の（ａ）に示すコリオリ力－Ｆ９，－Ｆ１０，－Ｆ１１，－Ｆ１２を受ける。

さらに、第２振動子２は、図１４の（ｂ）に示すように、第３の接続部４１，４２を介してベクトル的に合成されたコリオリ力－Ｆ１３，－Ｆ１４を受け、左右方向を長軸とする楕円形に変形する。このとき、駆動電圧は図１２に示した状態と逆極性で最大となる。

【００８９】

第２の振動子２が変形されると、角速度検出用の電極１６ａ～１６ｄと１８ａ～１８ｄに、図１２の（ｂ）に示した場合と逆極性の最大値－｜Ｑｓ｜の検出電荷が発生する。このときも検出電荷は発振回路２１の出力と同相になる。

【００９０】

この検出電荷Ｑｓは検出回路２３の第１の入力線３５（Ｓ１）と第２の入力線３８（Ｓ２）に与えられ、検出回路２３内のトランスインピーダンス回路で電圧に変換されて出力電圧Ｅｓとなる。

この出力電圧Ｅｓは検波回路２４の第１の入力に供給され、発振回路２１の出力が供給される第２の入力に同期して検波され、さらにローパスフィルタ２５を通して角速度に比例した直流出力となる。

【００９１】

この角速度検出素子の構成材料は、単結晶水晶Ｚ板に限らず、タンタル酸リチウム単結

晶、ホウ酸リチウム単結晶等の圧電性を示す他の単結晶材料、あるいはシリコン基板や金属材料を使用してもよい。但し、シリコン基板や金属材料を使用する場合には、第１の振動子に設ける発振用の電極および第２の振動子に設ける角速度検出用の電極に代えて、それぞれ発振用の圧電素子および角速度検出用の圧電素子を設ける。

【００９２】

また、第１，第２，第３の振動子が同心のリング状に形成されている例を説明したが、必ずしも円形のリングでなくとも、共通の中心点に対して点対称な形状であればよく、正方形，長方形，楕円形等の閉ループ状であってもよい。

【００９３】

【発明の効果】

以上の説明で明らかなように、本発明の角速度検出素子は、角速度検出素子全体を略一定の厚さの平面構造で、その各振動子をそれぞれ点対称な４点で支持するため、耐衝撃性が向上する。

また、全体を同一材料からエッチング等の化学的加工法により一体に形成することができるため、支持部材を振動子に溶接する必要がなく、組立工程が簡単になり、低価格化を実現できる。

【００９４】

さらに、各振動子の振動が、いずれも回転の角速度の軸に対して垂直な面内振動となるため、角速度検出素子全体の薄型化と小型化とが可能になる。特に構成材料としてシリコン基板を用いると、発振回路や検出回路の半導体集積回路化プロセスにおいて、角速度検出素子の形状を１ｍｍ角以下にして同一基板上に形成することができるため、角速度検出装置装置全体も非常に小型化できる。

【図面の簡単な説明】

【図１】この発明による角速度検出素子の第１の実施形態の構造を示す平面図である。

【図２】図１に示した角速度検出素子を用いた角速度検出装置のブロック構成図である。

【図３】図１に示した角速度検出素子の第１の振動子の振動の状態を示す説明図である。

【図４】図１に示した角速度検出素子が回転の角速度を受けたときの第１の振動子と第２の振動子の振動の状態を示す説明図である。

【図５】この発明による角速度検出素子の第２の実施形態の構造を示す平面図である。

【図６】この発明による角速度検出素子の第３の実施形態の構造を示す平面図である。

【図７】図６に示した角速度検出素子を用いた角速度検出装置のブロック構成図である。

【図８】　この発明を応用した角速度検出素子の参考例の構造を示す平面図である。

【図９】図８に示した角速度検出素子の各電極の接続関係を示すための同図のＡ－Ａ線に沿う切断面の模式的な拡大端面図である。

【図１０】図８及び図９に示した角速度検出素子を用いた角速度検出装置のブロック構成図である。

【図１１】図８に示した角速度検出素子が回転の角速度を受けたときの振動の第１の状態を示す説明図である。

【図１２】同じくその角速度検出素子が回転の角速度を受けたときの振動の第２の状態を示す説明図である。

【図１３】同じくその角速度検出素子が回転の角速度を受けたときの振動の第３の状態を示す説明図である。

【図１４】同じくその角速度検出素子が回転の角速度を受けたときの振動の第４の状態を示す説明図である。

【図１５】従来の角速度検出素子の一例を示す斜視図である。

【図１６】同じくその角速度検出素子の側面図である。

【符号の説明】

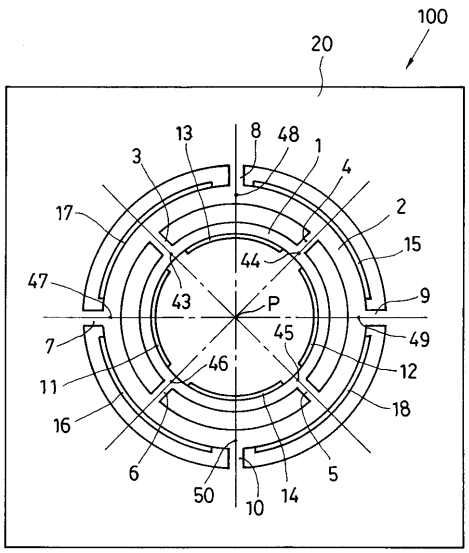
１：第１の振動子　　２：第２の振動子

３，４，５，６：第１の接続部

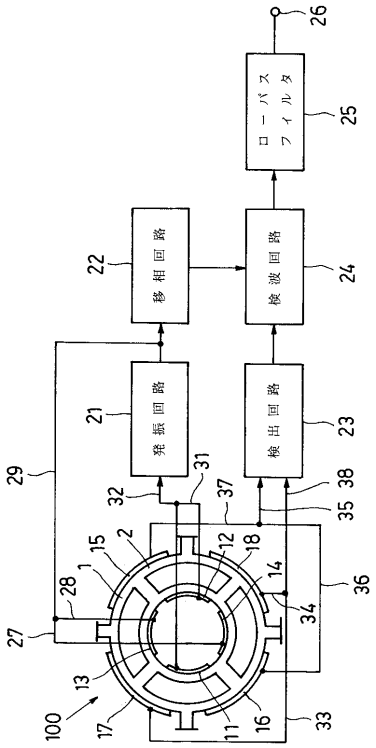
７，８，９，１０：第２の接続部

１１，１２，１３，１４：発振用の圧電素子
１１ａ～１１ｄ，１２ａ～１２ｄ：発振用の電極
１５，１６，１７，１８：角速度検出用の圧電素子
１６ａ～１６ｄ，１８ａ～１８ｄ：角速度検出用の電極
２０，２０′：支持部　　２１：発振回路
２２：移相回路　　２３：検出回路
２４：検波回路　　２５：ローパスフィルタ
２６：出力端子　　４０：第３の振動子
４１，４２：第３の接続部
４３，４４，４５，４６：第１の振動子の振動の節
４７，４８，４９，５０：第２の振動子の振動の節
５１，５２，５３，５４：第１の振動子の振動の腹
６１，６２，６３，６４：発振用の電極
６５～６９，７０～７２：角速度検出用の電極
１００，１００′，２００，３００：角速度検出素子

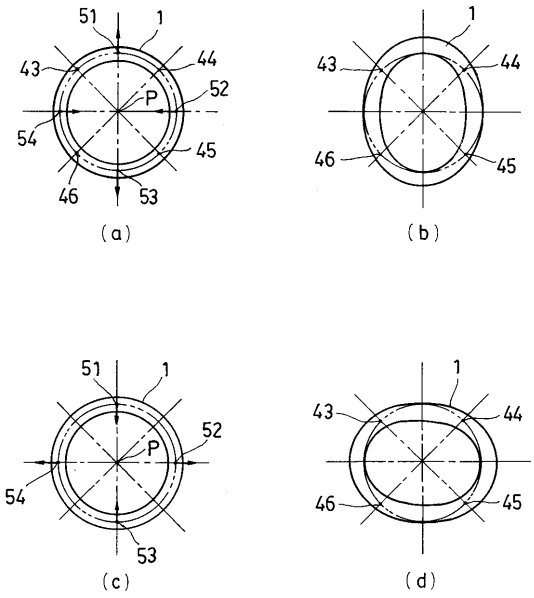
【図１】



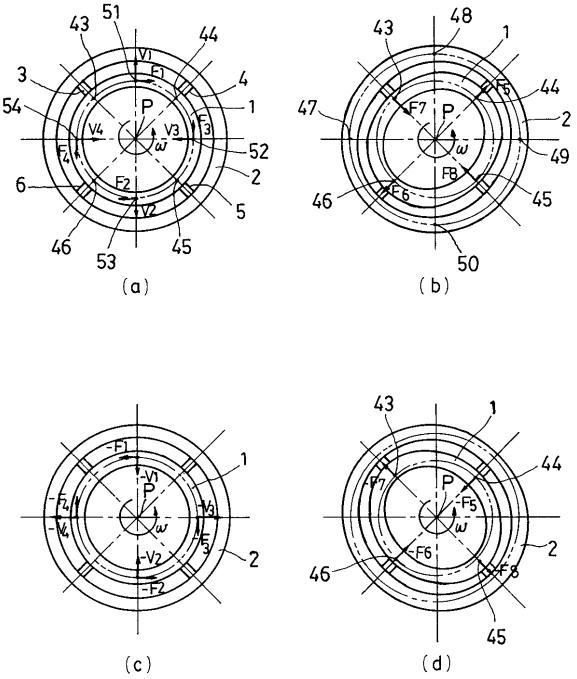
【図２】



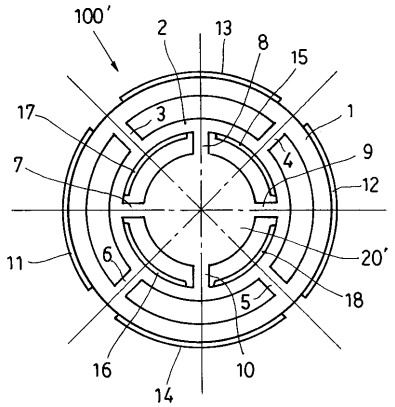
【図３】


51
1
43
44
52
P
54
45
46
53
(a)
1
43
44
46
45
(b)
51
1
52
P
54
53
(c)
1
43
44
46
45
(d)

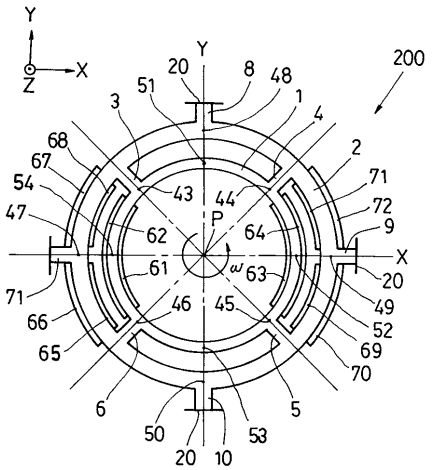
【図４】


51
43
44
V1
F1
3
4
54
P
1
V4
V3
F3
F4
52
ω
6
F2
2
V2
5
46
53
45
(a)
48
43
1
F5
44
47
F7
P
2
ω
49
F8
46
F6
45
50
(b)
F1
V1
1
F4
P
V4
ω
V3
F3
2
V2
F2
(c)
43
1
F7
44
P
F5
ω
F6
2
46
F8
45
(d)

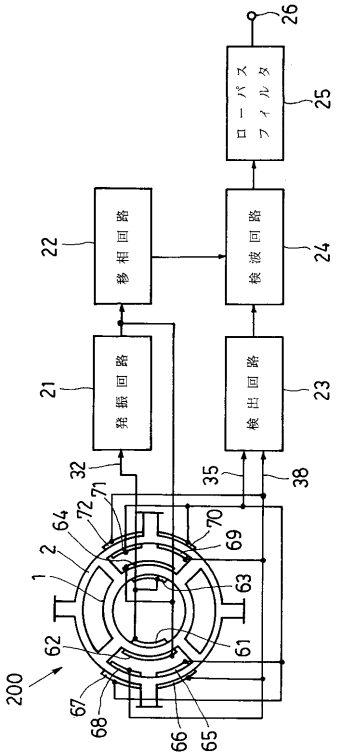
【図５】


100′
2
13
8
15
17
3
1
4
9
7
12
11
6
20′
5
18
16
10
14

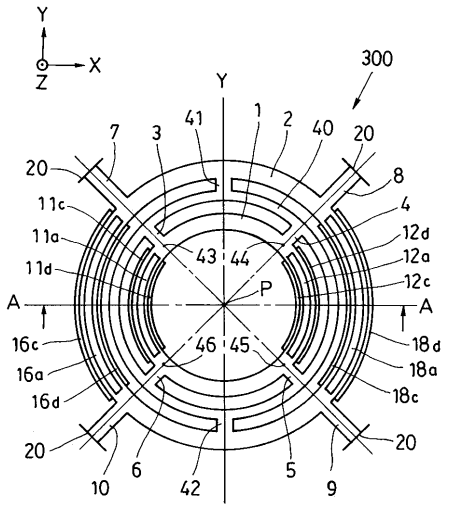
【図６】


Y
X
Z
Y
20
8
48
200
51
1
3
4
68
2
67
71
54
43
44
72
47
62
P
64
9
X
61
ω
63
20
71
46
45
49
66
52
65
69
70
6
5
50
53
20
10

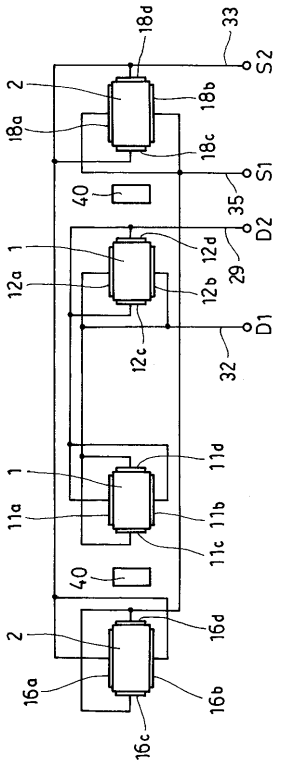
【図７】


ローパスフィルタ
移相回路
検波回路
発振回路
検出回路
200

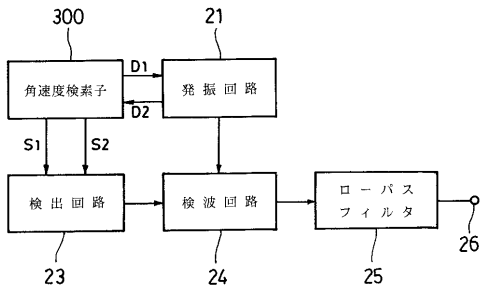
【図８】


300
A
P

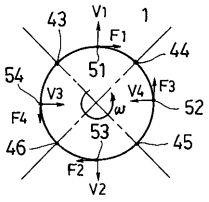
【図９】



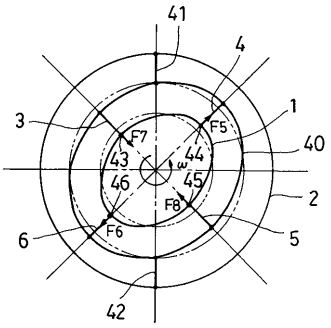
【図１０】


300
21
角速度検素子
発振回路
検出回路
検波回路
ローパスフィルタ
D1
D2
S1
S2
23
24
25
26

【図１１】

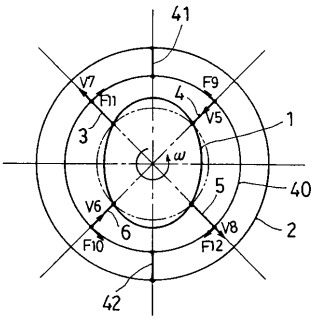


(a)

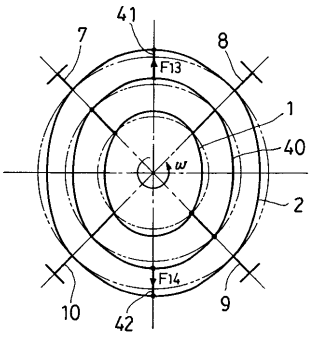


(b)

【図１２】

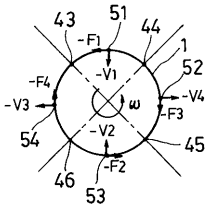


(a)

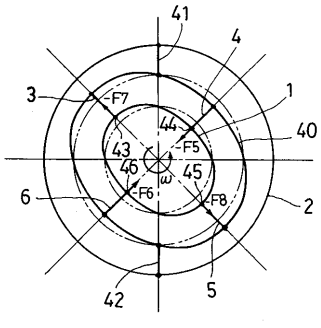


(b)

【図１３】

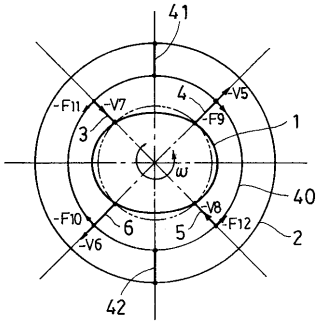


(a)

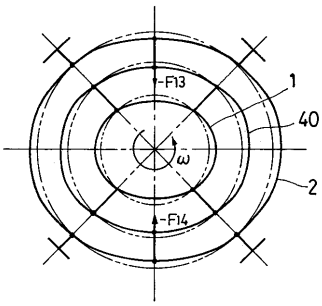


(b)

【図１４】

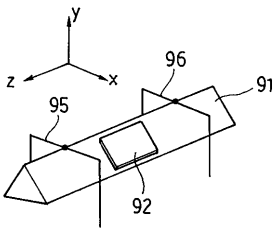


(a)

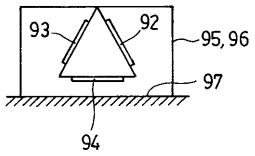


(b)

【図１５】



【図１６】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０２－１９８３１５（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－０４２９７１（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－２５１８５４（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－０７８３２７（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－３１８３６３（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－２４１６６６（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－１１５５２６（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－０６９６３３（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－０９１９５８（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－３２５９１７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
G01C 19/56
G01P 9/04