(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3694160号
(P3694160)
(45)発行日　平成17年9月14日(2005.9.14)　(24)登録日　平成17年7月1日(2005.7.1)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G01C 19/56　G01C 19/56
G01P 9/04　G01P 9/04

請求項の数 29　(全 23 頁)

(21)出願番号　特願平9-328048
(22)出願日　平成9年11月28日(1997.11.28)
(65)公開番号　特開平11-72334
(43)公開日　平成11年3月16日(1999.3.16)
審査請求日　平成15年3月5日(2003.3.5)
(31)優先権主張番号　特願平8-317781
(32)優先日　平成8年11月28日(1996.11.28)
(33)優先権主張国　日本国(JP)
(31)優先権主張番号　特願平9-173793
(32)優先日　平成9年6月30日(1997.6.30)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000004064
日本碍子株式会社
愛知県名古屋市瑞穂区須田町２番５６号
(74)代理人　100072051
弁理士　杉村　興作
(74)代理人　100101096
弁理士　徳永　博
(74)代理人　100100125
弁理士　高見　和明
(74)代理人　100073313
弁理士　梅本　政夫
(74)代理人　100097504
弁理士　青木　純雄
(74)代理人　100107227
弁理士　藤谷　史朗

最終頁に続く

(54)【発明の名称】振動型ジャイロスコープおよびその調整方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

回転軸のまわりの回転角速度を検出するための振動型ジャイロスコープであって、

検出すべき回転によって回転軸のまわりに回転する振動子であって、

(i)固定部と、

(ii)回転軸に対し垂直な平面内で屈曲振動可能な基部であって、対向する端部を有し、前記平面内の長手方向において対向する端部の間に延びるとともに、その第１の端部が前記固定部に取り付けられている基部と、

(iii)前記平面内で屈曲振動可能な２以上の振動片であって、各振動片は対向する第１および第２の端部を有し、その第１の端部が前記基部の第１の端部とは離れた位置で前記基部に取り付けられ、第２の端部は自由端となっているとともに、前記振動片は前記基部の長手方向を横断する方向に延びるとともに、前記基部に対して互いに逆向きに伸びる一対の振動片と、を備え、

ジャイロスコープが、さらに、

(iv)前記平面内において前記基部と振動片のいずれかの振動を励起する励振手段と、

(v)振動子が前記励振手段によって振動しているとき、軸のまわりの振動子の回転により振動子内にコリオリ力によって発生する前記振動子の前記平面内における屈曲振動を検出するために設けられた検出手段と、を備え、

(vi)前記励振手段と検出手段の一方が前記振動片の第１の部分上にある、ことを特徴とする振動型ジャイロスコープ。

【請求項２】
前記振動片の第１の端部が、前記基部の第１の端部とは反対側の端部に取り付けられている請求項１記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項３】
前記一対の振動片が、前記基部の長手方向に対して対称である請求項１または２記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項４】
前記一対の振動片が、前記励振手段か前記検出手段のどちらかの要素を有する請求項１～３のいずれか１項に記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項５】
少なくとも各振動片の前記第１の部分の長手方向が、前記基部の長手方向に対し４５°から１３５°の角度を有する請求項１～４のいずれか１項に記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項６】
前記角度が９０°である請求項５記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項７】
前記基部が、１つまたは複数の振動片の取り付け領域を超えた突出部を有する請求項１～６のいずれか１項に記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項８】
前記振動子が一対の共振片を有し、各共振片が前記平面内に延びるとともに、固定部に取り付けられ、前記共振片が、前記平面内の振動のため固定部を介して前記基部と共振可能に接続されている請求項１～７のいずれか１項に記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項９】
前記共振片が前記基部に対して平行である請求項８記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項１０】
前記基部が前記固定部の突出部に取り付けられており、前記突出部は、共振片間を延びるとともに、前記固定部の部分上に所定の距離だけ突出している請求項９記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項１１】
前記所定の距離が１．０～６．０㎜の範囲である請求項１０記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項１２】
前記各共振片が、前記平面と垂直な方向にそれを通す貫通孔を有する請求項９～１１のいずれか１項に記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項１３】
前記振動子が共振片を有し、前記共振片が前記平面内に前記基部と反対方向に前記固定部から延びるとともに、前記固定部に取り付けられ、前記共振片が、前記平面内の振動のため前記固定部を介して前記基部に共振可能に接続されている請求項１～６のいずれか１項に記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項１４】
前記各振動片が、前記平面と垂直の方向にそれを通して延びる貫通孔を有している請求項１～１３のいずれか１項に記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項１５】
励振手段が前記基部上に駆動電極を有する請求項１～７のいずれか１項に記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項１６】
検出手段が１つまたは複数の前記振動片上に検出電極を有する請求項１５記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項１７】
励振手段が１つまたは複数の前記振動片上に駆動電極を有する請求項１～６のいずれか１

項に記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項１８】
検出手段が前記基部上に検出電極を有する請求項１７記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項１９】
励振手段が前記共振片上に駆動電極を有する請求項８～１２のいずれか１項に記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項２０】
検出手段が１つまたは複数の前記振動片上に検出電極を有する請求項１９記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項２１】
励振手段が１つまたは複数の前記振動片上に駆動電極を有する請求項８～１２のいずれか１項に記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項２２】
検出手段が前記共振片上に検出電極を有する請求項２１記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項２３】
励振手段が前記共振片上に駆動電極を有する請求項１３記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項２４】
検出手段が１つまたは複数の前記振動片上に検出電極を有する請求項２３記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項２５】
励振手段が１つまたは複数の振動片上に駆動電極を有する請求項１３記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項２６】
検出手段が前記共振片上に検出電極を有する請求項２５記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項２７】
前記基部と１つまたは複数の前記振動片とが、石英、$LiTaO_3$、$LiNbO_3$、Li（Nb，Ta）O_3から選ばれた材料の圧電単結晶から形成される請求項１～２６のいずれか１項に記載の振動型ジャイロスコープ。
【請求項２８】
請求項１～２７のいずれか１項に記載の振動型ジャイロスコープを調整するにあたり、前記振動片の自由端側の質量を除去することによって、駆動の振動モードの固有共振周波数と検出の振動モードの固有共振周波数との差を調整することを特徴とする、振動型ジャイロスコープの調整方法。
【請求項２９】
請求項７記載の振動型ジャイロスコープを調整するにあたり、前記基部の前記突出部の質量を除去することによって、駆動の振動モードの固有共振周波数と検出の振動モードの固有共振周波数との差を調整することを特徴とする、振動型ジャイロスコープの調整方法。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、回転系内の回転角速度を検出するために使用される角速度センサに用いられる振動子、およびその振動子を用いた振動型ジャイロスコープに関し、特に圧電体を用いた振動子、およびその振動子を用いた振動型ジャイロスコープに関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
従来から、回転系内の回転角速度を検出するための角速度センサとして、圧電体を用いた振動型ジャイロスコープが、航空機や船舶、宇宙衛星などの位置の確認用として利用されてきた。最近では、民生用の分野としてカーナビゲーションや、ＶＴＲやスチルカメラの手振れの検出などに使用されている。
【０００３】

このような圧電振動型ジャイロスコープは、振動している物体に角速度が加わると、その振動と直角方向にコリオリ力が生じることを利用している。そして、その原理は力学的モデルで解析される（例えば、「弾性波素子技術ハンドブック」、オーム社、第４９１～４９７頁）。そして、圧電型振動ジャイロスコープとしては、これまでに種々のものが提案されている。例えば、スペリー音叉型ジャイロスコープ、ワトソン音叉型ジャイロスコープ、正三角柱型音片ジャイロスコープ、円筒型音片ジャイロスコープ等が知られている。

【０００４】

【発明が解決しようとする課題】

本発明者は、振動型ジャイロスコープの応用について種々検討を進めており、例えば自動車の車体回転速度フィードバック式の車両制御方法に用いる回転速度センサーに振動型ジャイロスコープを使用することを検討した。こうしたシステムにおいては、操舵輪の方向自身は、ハンドルの回転角度によって検出する。これと同時に、実際に車体が回転している回転速度を振動ジャイロスコープによって検出する。そして、操舵輪の方向と実際の車体の回転速度を比較して差を求め、この差に基づいて車輪トルク、操舵角に補正を加えることによって、安定した車体制御を実現する。

【０００５】

しかし、上述した従来の圧電振動型ジャイロスコープは、いずれの例でも、振動子を回転軸に対して平行に配置（いわゆる縦置き）しなければ、回転角速度を検出することができない。しかし、通常、測定したい回転系の回転軸は、装着部に対して垂直である。従って、このような圧電振動型ジャイロスコープを実装する際、圧電振動型ジャイロスコープの低背化を達成すること、即ち、振動型ジャイロスコープを回転軸方向に見たときの寸法を減少させることができなかった。

【０００６】

近年になって、振動子を回転軸に対して垂直に配置（いわゆる横置き）しても、回転角速度を検出できる圧電振動型ジャイロスコープが、特開平８－１２８８３３号公報において提案されている。この例では、図２３にその一例を示すように、振動子がＸ、Ｙ方向に延びており、回転軸Ｚに対して垂直に延びている。３つの弾性体５１ａ、５１ｂ、５１ｃの先端に重量５３を設ける。弾性体５１ａ、５１ｂ、５１ｃをＸＹ平面内で圧電素子５４、５５により互いに逆方向の位相で振動させる。Ｚ軸回りの回転角速度ωにより発生するＹ方向のコリオリ力を、重量５３の重心の位置に作用させる。弾性体５１ａ、５１ｂ、５１ｃの面と重量５３の重心の位置とはＺ方向に若干離れているため、重量５３の重心に作用したコリオリ力により弾性体５１ａ、５１ｂ、５１ｃの先端がＺ方向で互いに逆方向に曲がる。この曲げ振動を圧電素子５６、５７で検出することで、Ｚ軸回りの回転角速度ωを求めている。

【０００７】

上述した特開平８－１２８８３３号公報に記載された圧電振動型ジャイロスコープでは、確かにその原理上振動子を横置きしても回転角速度を検出することができる。しかしながら、重量５３を設ける必要があるため低背化が不十分であった。また、低背化を十分にするために重量５３の厚さを薄くすると、コリオリ力によるモーメントがその分小さくなり、曲げ振動が微小になり、測定感度が低くなる問題があった。

【０００８】

本発明の課題は、振動子の振動アームが回転軸に対して垂直方向に延びるように、振動子を設置した場合にも、振動子から回転軸の方向に向かって一定重量の突出部を設けることなく、十分に高い感度で回転角速度を検出できるようにすることである。

【０００９】

【課題を解決するための手段】

本発明の振動型ジャイロスコープは、回転軸のまわりの回転角速度を検出するための振動型ジャイロスコープであって、

検出すべき回転によって回転軸のまわりに回転する振動子であって、

(i)固定部と、

(ii)回転軸に対し垂直な平面内で屈曲振動可能な基部であって、対向する端部を有し、前記平面内の長手方向において対向する端部の間に延びるとともに、その第１の端部が前記固定部に取り付けられている基部と、
(iii)前記平面内で屈曲振動可能な２以上の振動片であって、各振動片は対向する第１および第２の端部を有し、その第１の端部が前記基部の第１の端部とは離れた位置で前記基部に取り付けられ、第２の端部は自由端となっているとともに、前記振動片は前記基部の長手方向に対応する平面を横断する方向に延びるとともに、前記基部に対して互いに逆向きに伸びる一対の振動片と、を備え、
　ジャイロスコープが、さらに、
(iv)前記平面内において前記基部と振動片のいずれかの振動を励起する励振手段と、
(v)振動子が前記励振手段によって振動しているとき、軸のまわりの振動子の回転により振動子内にコリオリ力によって発生する前記振動子の前記平面内における屈曲振動を検出するために設けられた検出手段と、を備え、
(vi)前記励振手段と検出手段の一方が前記振動片の第１の部分上にある、ことを特徴とするものである。

【００１０】

また、本発明の振動型ジャイロスコープの調整方法は、上述した振動型ジャイロスコープを調整するにあたり、前記振動片の自由端側の質量を除去することによって、駆動の振動モードの固有共振周波数と検出の振動モードの固有共振周波数との差を調整することを特徴とする。さらに、本発明の振動型ジャイロスコープの調整方法は、上述した振動型ジャイロスコープを調整するにあたり、前記基部の前記突出部の質量を除去することによって、駆動の振動モードの固有共振周波数と検出の振動モードの固有共振周波数との差を調整することを特徴とする。

【００１１】

本発明によれば、振動子の駆動振動および検出のための振動が、所定平面内で行われ、かつ検出すべき振動として屈曲振動を使用しており、これによって、振動子の振動アームが回転軸に対して垂直方向に延びるように、振動子を設置した場合にも、振動子から回転軸の方向に向かって一定重量の突出部を設けることなく、十分に高い感度で回転角速度を検出できるようになった。

【００１２】

本発明の好適な態様では、固定部として、両端が固定されている固定片部を使用し、この固定片部の一方の側に主アームが設けられており、固定片部の他方の側に共振片が設けられており、固定片部、主アーム、前記共振片が実質的に前記所定平面内に延びるように形成されている。つまり、励振手段と屈曲振動検出手段とを、両端が固定された固定片部を介した位置に設けることができる。これによって、励振手段と屈曲振動検出手段との間で、電気機械的な混合などの悪影響を防止できるので、一層検出精度が向上する。

【００１３】

【発明の実施の形態】

上記構成においては、振動子の変位は一平面内であるため、主アーム、共振アーム、共振片、固定片部を、同一の単結晶、例えば、水晶、$LiTaO_3$ 単結晶、$LiNbO_3$ 単結晶で構成することができる。この場合は、測定感度を良好にできる。単結晶薄板を作製し、この単結晶薄板をエッチング、研削により加工することによって、振動子の全体を作成できる。

【００１４】

基部と屈曲振動片とは、別部材で構成することもできるが、一体で構成することが特に好ましい。また、振動子の材質は特に限定するものでないが、水晶、$LiNbO_3$、$LiTaO_3$、ニオブ酸リチウム－タンタル酸リチウム固溶体（$Li(Nb,Ta)O_3$）単結晶等からなる単結晶を使用することが好ましい。こうした単結晶を使用すると、検出感度を良好にすることができるとともに、検出ノイズを小さくできる。

【００１５】

そして、温度変化に対して特に鈍感であるため、温度安定性を必要とする車載用として好適である。この点について更に説明する。音叉型の振動子を使用した角速度センサとしては、例えば前述した特開平８－１２８８３３号公報に記載された圧電振動型ジャイロスコープがある。しかし、こうした振動子において、振動子が２つの方向に向かって振動する。つまり、図２３においては、振動子がＸ－Ｙ平面内で振動するのと共に、Ｚ方向にも振動する。このため、振動子を特に前記したような単結晶によって形成した場合には、単結晶の２方向の特性を合わせる必要がある。しかし、現実には圧電単結晶には異方性がある。

【００１６】

一般に圧電振動型ジャイロスコープでは、測定感度を良好にするために、駆動の振動モードの固有共振周波数と検出の振動モードの固有共振周波数との間に、一定の振動周波数差を保つことが要求されている。しかし、単結晶は異方性を持っており、結晶面が変化すると、振動周波数の温度変化の度合いが異なる。例えば、ある特定の結晶面に沿って切断した場合には、振動周波数の温度変化がほとんどないが、別の結晶面に沿って切断した場合には、振動周波数が温度変化に敏感に反応する。

【００１７】

ここで、振動子が２つの方向に向かって振動すると、２つの振動面のうち少なくとも一方の面は、振動周波数の温度変化が大きい結晶面になる。

【００１８】

これに対して、本発明におけるように、振動子の全体を所定平面内で振動するようにし、かつ振動子を圧電単結晶によって形成することで、前記した単結晶の異方性の影響を受けないようにし、単結晶の最も特性の良い結晶面のみを振動子において利用できるようになった。

【００１９】

具体的には、振動子の振動が単一平面内ですべて行われていることから、圧電単結晶のうち、振動周波数の温度変化がほとんどない結晶面のみを利用して振動子を製造することができる。これによって、きわめて温度安定性の高い振動型ジャイロスコープを提供できる。

【００２０】

前記した単結晶の中では、$LiNbO_3$ 単結晶、$LiTaO_3$ 単結晶、ニオブ酸リチウム－タンタル酸リチウム固溶体単結晶が、電気機械結合係数が特に大きい。また、$LiNbO_3$ 単結晶と$LiTaO_3$ 単結晶とを比較すると、$LiTaO_3$ 単結晶の方が$LiNbO_3$ 単結晶よりも電気機械的結合係数が一層大きく、かつ温度安定性も一層良好である。

【００２１】

以下、図面を参照しつつ、本発明の好適な実施形態を更に説明する。図１は、本発明の一実施形態に係る振動子を示す正面図であり、図２（ａ）は、直線状の振動子の振動方向を説明するための正面図であり、図２（ｂ）は、図１の振動子の駆動方向を説明するための正面図であり、図３（ａ）、（ｂ）、（ｃ）は、図１の振動子の各部分の振動方向と振動の原理とを説明するための模式図である。

【００２２】

図１の振動子２の主アーム１０１Ａにおいては、基部３が固定部１から垂直に延びており、基部３の一方の端部３ａが固定部１に固定されている。基部３内に所定の励振手段５Ａ、５Ｂが設けられている。基部３の他方の端部３ｂ側に、基部３に対して垂直方向に延びる２本の屈曲振動片４Ａ、４Ｂが設けられている。

【００２３】

この振動子２の振動のモードについて説明する。図３（ａ）に模式的に示すように、励振手段５Ａ、５Ｂに対して駆動電圧を印加し、基部３を、固定部材１との接続部分２６を中心として、矢印Ｈの方向へと屈曲させる。この屈曲に伴い、振動子２の基部３だけでなく、各屈曲振動片４Ａ、４Ｂの各点も、矢印Ｉのように移動する。この移動の速度のベクトルをＶとする。

【００２４】
本実施形態ではＺ軸を回転軸とし、振動子２をｚ軸を中心として回転させる。例えば、振動子２が矢印Ｈの方向に変位したときに、ｗで示すように振動子２の全体がＺ軸を中心として回転すると、矢印Ｊで示すようにコリオリ力が作用する。この結果、図３（ｂ）に示すように、各屈曲振動片４Ａ、４Ｂが、それぞれ基部３の他方の端部３ｂとの接続部分２５を中心として矢印Ｊ方向へと屈曲する。
【００２５】
これとは反対に、図３（ｃ）に示すように、基部３を矢印Ｋで示すように駆動したときに、ｗで示すように振動子２の全体がＺ軸を中心として回転すると、矢印Ｌで示すようにコリオリ力が作用する。この結果、各屈曲振動片４Ａ、４Ｂが、それぞれ基部３の他方の端部３ｂとの接続部分２５を中心として矢印Ｌ方向へと屈曲する。これによって、各屈曲振動片４Ａ、４Ｂを、矢印Ａ、Ｂのように振動させることができる。
【００２６】
このように、基部３の屈曲振動によって、各屈曲振動片４Ａ、４Ｂにおいて、Ｘ－Ｙ平面内に発生するコリオリ力を、各屈曲振動片４Ａ、４Ｂの接続部分２５を中心とする屈曲振動に変換し、その屈曲振動から回転角速度を求めることができる。これによって、振動子を回転軸Ｚに対して垂直に配置（横置き）しても、回転角速度を高感度で検出できる。
【００２７】
なお、図１、図３に示す振動子２による検出の感度について、更に説明する。本発明者は、図２（ａ）に示すように、細長い棒状の振動子８Ａ、８Ｂを使用し、振動子８ＢをＸ－Ｙ平面内に設置し、伸縮させた。ただし、８Ａは振動子が延びた状態を示し、８Ｂは振動子が縮んだ状態を示している。ここで、振動子が８Ｂの状態から８Ａの状態へと向かって矢印Ｅのように延びようとしている瞬間を考える。振動子８Ｂを、Ｚ軸を中心として回転させると、矢印Ｆのようにコリオリ力が加わる。しかし、このような圧電体の縦振動による変位は小さく、共振周波数が低いので、感度を高くすることができない。
【００２８】
これに対して、本発明では、図２（ｂ）に示すように、基部３を矢印Ｇのように振動させ、これによって屈曲振動片４Ａ、４Ｂを矢印Ｄで示すように振動させる。これによって、図２（ａ）の場合よりもはるかに大きな振幅と振動速度とを得ることができ、コリオリ力を大きくすることができる。
【００２９】
また、図１、図３の振動子を使用したとき、各屈曲振動片４Ａ、４Ｂに対して矢印Ａ、Ｂで示すような屈曲振動を励振することができる。振動子２がＸ－Ｙ平面内で回転すると、各屈曲振動片にコリオリ力が加わり、各屈曲振動片のコリオリ力が、基部３に対して加わる。これによって基部３が接続部分２６を中心として矢印Ｇのように屈曲振動する。この基部３の屈曲振動を検出し、検出した屈曲振動に応じた信号を出力することができる。
【００３０】
振動子を圧電単結晶によって形成した場合には、励振手段、検出手段５Ａ、５Ｂ、６Ａ、６Ｂ、６Ｃ、６Ｄとしては、電極を使用する。しかし、振動子を弾性材料によって形成でき、この場合には、励振手段、検出手段５Ａ、５Ｂ、６Ａ、６Ｂ、６Ｃ、６Ｄとして、電極が設けられている圧電体を使用できる。また、励振手段（または検出手段）５Ａと５Ｂとの一方があれば、少なくとも励振または検出を行うことが可能である。また、検出手段（または励振手段）６Ａ、６Ｂ、６Ｃ、６Ｄのうちの一つがあれば、少なくとも励振（または検出）を行うことが可能である。
【００３１】
図４～図６の各実施形態においては、両端が固定されている固定片部の一方の側に主アームを設け、固定片部の他方の側に共振片を設け、固定片部、主アームおよび共振片が実質的に所定平面内に延びるように形成する。
【００３２】
図４の実施形態では、固定片部１２によって励振手段側と検出手段側とを分離している。

具体的には、固定片部１２の両端を固定部材１１によって固定する。固定片部１２の一方の側に主アーム１０１Ｂを設けている。主アーム１０１Ｂは、細長い基部１６と、基部１６の端部１６ｂから、基部１６の長さ方向に対して直交する方向に延びる２本の屈曲振動片４Ａ、４Ｂを備えている。

【００３３】

固定片部１２の他方の側に、共振片３２が設けられている。共振片３２は、固定片部１２から垂直方向に延びる長方形の支持部１３を備えており、支持部１３内に所定の励振手段５Ａ、５Ｂが設けられている。支持部１３の他方の端部１３ｂ側に、支持部１３に対して垂直方向に延びる２本の振動片１５Ａ、１５Ｂが設けられている。基部１６の端部１６ａと共振片１３の端部１３ａとが、固定片部１２に対して連続している。このように、固定片部１２の両側が、ほぼ線対称な形状をしている。

【００３４】

この振動子１０の振動のモードについて説明する。励振手段５Ａ、５Ｂに対して駆動電圧を印加し、共振片１３および一対の振動片１５Ａ、１５Ｂを、固定片部１２との接続部分２７を中心として、矢印Ｍのように振動させる。この振動に対する共振によって、基部１６および一対の屈曲振動片４Ａ、４Ｂが、固定部材１２との接続部分２６を中心として、矢印Ｄのように振動する。

【００３５】

この振動子１０の全体が、回転軸Ｚを中心として回転すると、各屈曲振動片４Ａ、４Ｂに、前記のようにコリオリ力が作用する。この結果、各屈曲振動片４Ａ、４Ｂが、それぞれ接続部分２５を中心として、矢印Ａ、Ｂで示すように振動する。

【００３６】

このように、共振片３２の屈曲振動によって、各屈曲振動片４Ａ、４Ｂにおいて、Ｘ－Ｙ平面内に発生するコリオリ力を、各屈曲振動片４Ａ、４Ｂの接続部分２５を中心とする屈曲振動に変換し、その屈曲振動から回転角速度を求めることができる。これによって、振動子を回転軸Ｚに対して垂直に配置（横置き）しても、回転角速度を高感度で検出できる。

【００３７】

なお、図４の実施形態においては、振動子１０において、共振片３２の形態と主アーム１０１Ｂの形態とを、固定片部１２に対して線対称とし、これによって共振片と主アームとの各振動モードの固有共振周波数を整合させた。ただし、共振片３２側の形態と主アームの形態とを、固定片部１２に対して線対称とする必要はない。

【００３８】

図５の振動子２０においては、基部１６、一対の屈曲振動片４Ａ、４Ｂからなる主アーム１０１Ｂの形態、固定片部１２の形態は、図４に示すものと同じであるので、その説明を省略する。固定片部１２から垂直方向に、細長い長方形の共振片２１が延びている。共振片２１の固定片部１２側の端部２１ａ付近に励振手段５Ａ、５Ｂが設けられている。

【００３９】

励振手段５Ａ、５Ｂに対して駆動電圧を印加し、共振片２１を、固定片部１２との接続部分２７を中心として、矢印Ｍのように振動させる。この振動に対する共振によって、基部１６および一対の屈曲振動片４Ａ、４Ｂが、固定部材１１との接続部分２６を中心として、矢印Ｄのように振動する。

【００４０】

このように共振片２１を細長い長方形とすることによって、図４の実施形態と比較して、振動子の全体の構造が簡略になる。ただし、固定片部１２の励振側の振動周波数と、検出側の振動周波数との差が大きくならないように、両側のモーメントが同程度となるように、調整する必要がある。この観点から、図５の共振片２１を図４の共振片３２と比較すると、図５においては、振動片１５Ａ、１５Ｂが存在せず、これらの質量が存在しない。従って、共振片２１の先端部２１ｂの固定片部１２からの突出寸法を、共振片３２の固定片部１２からの突出部分の寸法よりも大きくし、即ち共振片２１の質量を、支持部１３の質

量より大きくする必要がある。このため、共振片２１の固定片部１２からの突出寸法が増加する傾向がある。

【００４１】

図６の振動子２２においては、基部１６、一対の屈曲振動片４Ａ、４Ｂからなる主アーム１０１Ｂの形態、固定片部１２の形態は、図４に示すものと同じであるので、その説明を省略する。固定片部に共振片３１が設けられている。共振片３１は、固定片部１２から垂直方向に延びる長方形の支持部３０を備えており、支持部３０に励振手段５Ａ、５Ｂが設けられている。支持部３０の先端側に幅の広い長方形の拡張部２３が形成されている。

【００４２】

励振手段５Ａ、５Ｂに対して駆動電圧を印加し、共振片３１を、固定片部１２との接続部分２７を中心として、矢印Ｍのように振動させる。この振動に対する共振によって、基部１６および一対の屈曲振動片４Ａ、４Ｂが、固定部材１１との接続部分２６を中心として、矢印Ｄのように振動する。

【００４３】

このように共振片３１内に拡張部２３を設けることによって、共振片３１の固定片部１２からの突出寸法を小さくすることができ、しかも共振片３１の振動周波数を、基部１６および屈曲振動片４Ａ、４Ｂ側の振動周波数に接近させることができる。

【００４４】

本発明の各振動子においては、屈曲振動片の長手方向と基部の長手方向とは、必ずしも直角でなくともよい。また、屈曲振動片の形状は、直線状であってよく、曲線状であってよい。ただし、一対の屈曲振動片を設けた場合には、両者が基部に対して線対称であることが好ましい。

【００４５】

図７の振動子４０の主アーム１０１Ｃにおいては、各屈曲振動片３３Ａ、３３Ｂが、基部３が延びる方向に対して所定角度θをもって交差している。交差角度θは直角ではないが、４５°～１３５°とすることが好ましく、７０－１００°が特に好ましい。これによって、各屈曲振動片３３Ａ、３３Ｂの振動Ｎ、Ｐの振動モードの固有共振周波数は、図１に示す振動子における屈曲振動片の振動モードの固有共振周波数に比べて、若干変化する。

【００４６】

図８の振動子４１の主アーム１０１Ｄにおいては、各屈曲振動片３４Ａ、３４Ｂが若干湾曲した弧状の形状を有している。これによって、各屈曲振動片３４Ａ、３４Ｂの振動Ｑ、Ｒの振動モードの固有共振周波数は、図１、図７に示す振動子に対して若干変化する。図７、図８に示すような形態は、図４、図５、図６に示す振動子においても採用できる。

【００４７】

一般に圧電振動型ジャイロスコープでは、測定感度を良好にするために、駆動の振動モードの固有共振周波数と検出の振動モードの固有共振周波数との間に、一定の振動周波数差を保つことが要求されている。本発明の各振動子においては、基部の振動モードの固有共振周波数と屈曲振動片の振動モードの固有共振周波数とが近くなると、感度は良くなるが、応答速度が悪化する。基部の振動モードの固有共振周波数と屈曲振動片の振動モードの固有共振周波数との差が大きくなると、応答速度は良くなるが、感度が悪化する。

【００４８】

このため、屈曲振動片の先端側の質量を除去することによって、屈曲振動片の振動モードの固有共振周波数を変化させることができる。また、基部の固定端部とは反対側に、屈曲振動片から突出する突出部を設け、この突出部の質量を除去することによって、基部の振動モードの固有共振周波数を変化させることができる。

【００４９】

例えば、図９の振動子４２の主アーム１０１Ｅにおいては、基部３の他方の端部３ｂ側に、屈曲振動片４Ａ、４Ｂから突出する突出部３５が設けられている。そして、突出部３５の一部分３７から質量を除去する加工を施すことによって、基部の振動Ｄの振動モードの固有共振周波数を変化させる。また、各屈曲振動片４Ａ、４Ｂの各先端側の３６Ａ、３６

Ｂから質量を除去する加工を行うことによって、各屈曲振動片の振動Ａ、Ｂの振動モードの固有共振周波数を、それぞれ独立して変化させることができる。この除去加工は、レーザーの照射や機械加工によって実施できる。

【００５０】

次に、本発明の振動子が、基部の振動に対して共振する少なくとも一対の共振アームであって、固定部から突出する共振アームを備えている態様について述べる。

【００５１】

図１～図９に示したように、主アームないしその共振片の屈曲振動片の屈曲振動を利用した振動型ジャイロスコープは、回転系に対して垂直に延びる振動子を採用した場合に、従来ない高い感度を達成できるものであった。しかし、本発明者が更に検討を進めた結果、更に次の問題点が残されていたことが判明してきた。即ち、屈曲振動片と基部とからなる主アームが固定部から突出している形態であるために、例えば屈曲振動片の屈曲振動を駆動振動とし、基部の固定部を中心とする屈曲振動を検出した場合に、基部の振動が比較的に早期に減衰し易いために、この検出振動のＱ値にいまだ改善の余地があることが判明した。

【００５２】

本発明者は、この問題点を解決するために検討を進めた結果、固定部から基部と共に少なくとも一対の共振アームを突出させ、基部の振動に対して共振アームを共振させることを想到した。この場合、共振アームおよび基部の振動を駆動振動として使用することもできるが、共振アームおよび基部の振動を検出振動として使用することが一層好ましい。なぜなら、ジャイロ信号を担う検出振動の方が、駆動振動に比べてはるかに振幅が小さいために、Ｑ値の改善の効果が大きいからである。

【００５３】

図１０～図１２は、この態様に係る各実施形態の振動型ジャイロスコープを示すものである。

【００５４】

図１０の振動型ジャイロスコープ４３の振動子４４においては、固定部１から主アーム１０１Ｆが突出し、かつ主アーム１０１Ｆの両側に一対の共振アーム４８Ａ、４８Ｂが突出している。固定部１から基部３が突出し、基部３の端部３ｂ側に、基部３に対して垂直に延びる屈曲振動片４５Ａ、４５Ｂが形成されており、各屈曲振動片４５Ａ、４５Ｂの先端に質量部４７Ａ、４７Ｂが形成されている。各屈曲振動片４５Ａ、４５Ｂには、それぞれ、励振手段（検出手段）４６Ａ、４６Ｂ、４６Ｃ、４６Ｄが設けられている。

【００５５】

固定部１から突出する共振アーム４８Ａ、４８Ｂには、それぞれ、検出手段（励振手段）４９Ａ、４９Ｂ、４９Ｃ、４９Ｄが設けられており、また各共振アームの先端にそれぞれ質量部５０Ａ、５０Ｂが設けられている。

【００５６】

このときの好適な振動モードについて、図１１（ａ）～（ｃ）を参照しつつ述べる。前記したように、屈曲振動片４５Ａ、４５Ｂを励振して、図１１（ａ）に示す矢印Ｓのように屈曲振動させる。振動子の全体を前記のように回転させると、矢印Ｔで示すようにコリオリ力が作用する。このコリオリ力によって基部および一対の共振アームに励起される振動は複数存在する。

【００５７】

図１１（ｂ）には二次振動を示す。この場合には、基部３と各共振アーム４８Ａ、４８Ｂとは、互いに逆相で屈曲振動し、これと同時に、屈曲振動片４５Ａ、４５Ｂも直線５８に対して外れるように振動する。図１１（ｃ）には一次振動を示す。この場合には、基部３と各共振アーム４８Ａ、４８Ｂとは、互いに逆相で屈曲振動し、これと同時に、屈曲振動片４５Ａ、４５Ｂも直線５８に対して外れるように振動する。一次振動の場合と二次振動の場合とでは、各屈曲振動片４５Ａ、４５Ｂの振動の方向は逆相になる。

【００５８】

ここで、一次振動と二次振動とのいずれを検出振動として使用してもよいが、駆動振動の固有共振周波数と検出振動の固有共振周波数との差が一定範囲になるように選択する必要がある。

【００５９】

図１２の振動型ジャイロスコープ５９Ａの振動子６０Ａにおいては、固定部１から主アーム１０１Ｇが突出しており、固定部１から基部３が突出し、基部３の端部３ｂ側に、基部３に対して垂直に延びる屈曲振動片６１Ａ、６１Ｂが形成されている。質量部４７Ａ、４７Ｂに相当する部分はないので、その分各屈曲振動片を長くする必要がある。各屈曲振動片６１Ａ、６１Ｂには、それぞれ、励振手段（検出手段）４６Ａ、４６Ｂ、４６Ｃ、４６Ｄが設けられている。

【００６０】

また、固定部１から一対の共振アーム６２Ａ、６２Ｂが突出しており、各共振アームには、それぞれ、検出手段（励振手段）４９Ａ、４９Ｂ、４９Ｃ、４９Ｄが設けられている。

【００６１】

本発明においては、共振アームを使用した場合には、固定部からの共振アームの突出位置において、共振アームの両側の固定部からの突出寸法を異ならせることによって、いわゆるスプリアスモードの振動の固有共振周波数を変動させることができる。この実施形態について、図１３、図１４の振動型ジャイロスコープ５９Ｂを参照しつつ、説明する。

【００６２】

振動子６０Ｂにおいては、固定部１の突出部１ａから主アーム１０１Ｈが突出している。即ち基部３が突出し、基部３の端部３ｂ側に、基部３に対して垂直に延びる屈曲振動片６１Ａ、６１Ｂが形成されている。各屈曲振動片６１Ａ、６１Ｂには、駆動電極４６Ａ、４６Ｂ、４６Ｃ、４６Ｄが設けられている。また、固定部１から一対の共振アーム６３Ａ、６３Ｂが突出しており、各共振アームには、それぞれ、検出電極４９Ａ、４９Ｂ、４９Ｃ、４９Ｄが設けられている。

【００６３】

なお、図１４の斜視図において、駆動電極の形態および検出電極の形態を断面図として示す。

【００６４】

ここで、各共振アームの外側には寸法ａの切り欠き部７４を設け、これによって固定部１から高さａの突出部１ａを突出させている。この結果、スプリアスモードの振動の固有共振周波数を、駆動振動の固有共振周波数から離すことができる。

【００６５】

例えば、図１３に示す振動子において、屈曲振動片６１Ａ、６１Ｂの屈曲振動を駆動振動とし、その固有共振周波数を８７５０Ｈｚに調整したとき、図１３において、矢印Ｕで示す各共振アーム６３Ａと６３Ｂとの逆相の屈曲振動が、スプリアスモードの振動となる。この振動の固有共振周波数は、図１２に示すようにａ＝０の場合には、図１５に示すように８７００Ｈｚとなる。この結果、駆動振動の固有共振周波数とスプリアスモードの固有共振周波数との差が５０Ｈｚとなるので、共振アームの逆相振動によって生ずる信号が、ジャイロ信号に比べて非常に大きくなる。

【００６６】

しかし、図１５に示すように、寸法ａを大きくするのに従って、スプリアスモードの固有共振周波数が著しく変化した。特にａを１．０ｍｍ以上とすることによって、スプリアスモードの固有共振周波数を駆動振動の固有共振周波数から大きく逸らすことが可能になった。

【００６７】

このように、固定部からの前記共振アームの突出位置において、共振アームの両側の固定部からの突出寸法を異ならせることが、スプリアスモードの振動の影響によるノイズを減少させるために有効であり、このためにはａを１．０ｍｍ以上とすることが特に好ましい。これは６．０ｍｍ以下とすることが好ましい。

【００６８】
以上述べてきた各実施形態の振動型ジャイロスコープにおいては、振動子を圧電単結晶で形成した場合には、いずれも紙面に対して垂直な方向に電圧を印加することで、各屈曲振動片、基部または共振アームを屈曲振動させている。こうしたアームの屈曲振動方式は、例えばニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム－タンタル酸リチウム固溶体単結晶の場合に特に有用である。
【００６９】
しかし、図１～図１４の各実施形態の振動子は、前述したように、まったく同じ駆動振動、検出振動の態様を採用しつつ、水晶等の他の圧電単結晶に対しても当然適用可能である。ただし、この場合には、圧電単結晶において有効な圧電軸の方向がニオブ酸リチウム等の場合とは異なっているので、有効な圧電軸を屈曲振動に利用できるようにするために、駆動電極、検出電極の各形態を適宜変更する必要がある。
【００７０】
図１６～図１８は、いずれも、水晶のように所定平面内に三回対称軸（ａ軸）を有している圧電単結晶を使用して振動子を形成し、かつそのｃ軸が所定平面に対して垂直な方向に向かっている場合において、特に好適な実施形態の振動型ジャイロスコープを示すものである。
【００７１】
この態様においては、屈曲振動片における電圧の印加方向と、共振アームにおける信号電圧の方向とが、それぞれａ軸に向かうようにすることが好ましい。図１６、図１７は、この実施形態に係るものである。
【００７２】
図１６の振動型ジャイロスコープ５９Ｃの振動子６０Ｃにおいては、固定部１から主アーム１０１Ｉないし基部３が突出し、基部３の端部３ｂ側に、基部３に対して垂直に延びる屈曲振動片６４Ａ、６４Ｂが形成されている。各屈曲振動片６４Ａ、６４Ｂには、それぞれ、駆動電極６５Ａ、６５Ｂが設けられている。この駆動電極の形態は、Ａ－Ａ’断面図に示すようになっており、駆動電極６５Ａがアースされており、駆動電極６５Ｂが交流電源６８に接続されている。これによって、屈曲振動片６４Ａ、６４Ｂにおいては、ａ軸方向に電圧が印加され、屈曲振動が生ずる。
【００７３】
一対の各共振アーム６６Ａ、６６Ｂの長手方向は、屈曲振動片６４Ａ、６４Ｂに対して１２０°傾斜している。各共振アーム６６Ａ、６６Ｂにおける各検出電極６７Ａ、６７Ｂの形態は、駆動電極６５Ａ、６５Ｂの形態と同じである。この結果、共振アーム６６Ａ、６６Ｂにおいても、ａ軸方向に電圧が印加される。従って、屈曲振動片において利用される圧電定数と、共振アームにおいて利用される圧電定数とが共に高くなり、かつ同程度となる。
【００７４】
図１７の振動型ジャイロスコープ５９Ｄの振動子６０Ｄにおいては、固定部１の突出部１ａから主アーム１０１Ｊないし基部３が突出し、基部３の端部３ｂ側に、基部３に対して１２０°傾斜した方向に向かって延びる屈曲振動片７０Ａ、７０Ｂが形成されている。各屈曲振動片の先端には質量部７１Ｂ、７１Ｂが設けられている。
【００７５】
各屈曲振動片７０Ａ、７０Ｂには、それぞれ、駆動電極７２Ａ、７２Ｂが設けられている。この駆動電極の形態は、Ａ－Ａ’断面図に示すようになっており、駆動電極７２Ｂがアースされており、駆動電極７２Ａが交流電源６８に接続されている。これによって、屈曲振動片７０Ａ、７０Ｂにおいては、ａ軸方向に電圧が印加され、屈曲振動が生ずる。
【００７６】
一対の各共振アーム７５Ａ、７５Ｂの長手方向は、屈曲振動片７０Ａ、７０Ｂに対して１２０°傾斜している。各共振アームにおける各検出電極７６Ａ、７６Ｂ、７６Ｃ、７６Ｄの形態は、Ｂ－Ｂ’断面図に示すが、検出電極７６Ｄがアースされており、検出電極７６

Ｃから検出信号を取り出す。この結果、各共振アーム７５Ａ、７５Ｂにおいても、ａ軸方向に信号電圧が生ずる。

【００７７】

また、例えば図１８の実施形態に示すように、屈曲振動片と共振アームとを垂直方向に延ばした場合には、屈曲振動片および共振アームの長手方向をａ軸に対して１０°～２０°、好ましくは１５°傾斜させることによって、検出信号を取り出すことができる。

【００７８】

即ち、振動型ジャイロスコープ５９Ｈにおいては、固定部１から主アーム１０１Ｎないし基部３が突出し、基部３の端部３ｂ側に、基部３に対して垂直に延びる屈曲振動片９９Ａ、９９Ｂが形成されており、各屈曲振動片の先端に質量部４７Ａ、４７Ｂが設けられている。各屈曲振動片には、駆動電極６５Ａ、６５Ｂが設けられている。また、固定部１から一対の共振アーム１００Ａ、１００Ｂが基部３と平行に突出しており、各共振アームには、それぞれ、検出電極６７Ａ、６７Ｂが設けられている。

【００７９】

ここで、各屈曲振動片における電圧の印加方向も、各共振アームにおける信号電圧の方向も、共にａ軸に対して１５°をなしており、従って双方のアームにおいて利用される圧電定数は同じである。

【００８０】

また、本発明においては、屈曲振動片または共振アームに、その長手方向に向かって延びる貫通孔を設けることができる。これによって、屈曲振動片または共振アームの振動の固有共振周波数を低下させ、共振アームの振動振幅を増大させて、センサの感度を向上させることができる。図１９、図２０は、本発明のこの実施形態に係る振動型ジャイロスコープを示すものである。

【００８１】

図１９の振動型ジャイロスコープ５９Ｅの振動子６０Ｅにおいては、固定部１から主アーム１０１Ｋが突出しており、固定部１から基部３が突出し、基部３の端部３ｂ側に、基部３に対して垂直に延びる屈曲振動片７８Ａ、７８Ｂが形成されている。各屈曲振動片の先端に質量部４７Ａ、４７Ｂが設けられている。各屈曲振動片には、それぞれ、屈曲振動片の長手方向に延びる貫通孔７９Ａ、７９Ｂが形成されている。そして、屈曲振動片には、各貫通孔の両側の位置に、細長い駆動電極８０Ａ、８０Ｂ、８０Ｃ、８０Ｄが設けられる。

【００８２】

本実施形態では、タンタル酸リチウムの１３０°Ｙ板を使用しており、ｃ軸が振動子の主面に対して５０°をなしている。この角度で振動子の温度特性がもっとも良好になる。各屈曲振動片では、Ａ－Ａ’断面図に示すように、駆動電極８０Ａ、８０Ｃと駆動電極８０Ｂ、８０Ｄとの間で、電圧の印加方向が逆相になるので、屈曲振動片が屈曲する。

【００８３】

また、固定部１から一対の共振アーム８１Ａ、８１Ｂが突出しており、共振アームには、検出電極８３Ａ、８３Ｂ、８３Ｃ、８３Ｄが設けられている。各共振アームには、それぞれ、共振アームの長手方向に延びる貫通孔８２Ａ、８２Ｂが形成されており、共振アームには、各貫通孔の両側の位置に、細長い検出電極８３Ａ、８３Ｂ、８３Ｃ、８３Ｄが設けられる。各共振アームでは、Ｂ－Ｂ’断面図に示すように、検出電極８３Ａ、８３Ｃと検出電極８３Ｂ、８３Ｄとの間で、発生する電位が逆相になる。

【００８４】

図２０の振動型ジャイロスコープ５９Ｆの振動子６０Ｆにおいては、固定部１から主アーム１０１Ｌないし基部３が突出し、基部３の端部３ｂ側に、一対の屈曲振動片８５Ａ、８５Ｂが形成され、各屈曲振動片の先端に質量部７１Ａ、７１Ｂが設けられている。各屈曲振動片は、基部に対して１２０°の角度をなすように延びている。各屈曲振動片には、それぞれ、屈曲振動片の長手方向に延びる貫通孔８６Ａ、８６Ｂが形成されている。そして、各貫通孔の外側壁面に駆動電極８９Ａ、８９Ｄが設けられており、内側壁面に駆動電極

８９Ｂ、８９Ｃが設けられている。

【００８５】

本実施形態では、水晶のように、所定平面内に三回対称軸のａ軸を有する圧電単結晶板を使用している。各屈曲振動片では、Ａ－Ａ’断面図に示すように、外側面上の駆動電極８９Ａ、８９Ｄが交流電源６８に接続されており、内側面上の駆動電極８９Ｂ、８９Ｃがアースされている。この結果、駆動電極８９Ａ－８９Ｂの組み合わせと、駆動電極８９Ｃ－８９Ｄの組み合わせとの間では、電圧の印加方向が逆相になるので、屈曲振動片が屈曲する。

【００８６】

また、固定部１の突出部分１ａから一対の共振アーム８７Ａ、８７Ｂが突出しており、各共振アームには、それぞれ、共振アームの長手方向に延びる貫通孔８８Ａ、８８Ｂが形成されている。そして、Ｂ－Ｂ’断面図に示すように、各貫通孔の外側壁面に検出電極９０Ａ、９０Ｄが設けられており、内側壁面に検出電極９０Ｂ、９０Ｃが設けられている。各共振アームでは、検出電極９０Ａ、９０Ｃ側と９０Ｂ、９０Ｄ側との間で、発生する電位が逆相になる。

【００８７】

そして、本実施形態におけるように、共振アームや屈曲振動片の貫通孔において、貫通孔の両側で、内側面と外側面とに一対の駆動電極を設けることで、１本の屈曲振動片または共振アームを屈曲させることができる。検出側においても同様である。

【００８８】

本発明においては、固定片部の一方の側に、前記した主アームと少なくとも一対の共振アームとを設けると共に、固定片部の他方の側に、主アームに対して共振する共振片を設けることができる。この場合には、共振片の屈曲振動片に駆動電極を設け、共振アームの方に検出電極を設ける。これによって、共振片の屈曲振動片の屈曲振動を駆動振動として使用し、共振アームの屈曲振動を検出振動として使用できる。または、共振アームに駆動電極を設け、共振片の屈曲振動片に検出電極を設ける。これによって、共振アームの屈曲振動を駆動振動として使用し、共振片の屈曲振動片の屈曲振動を検出振動として使用できる。

【００８９】

この態様においては、更に、固定片部の他方の側に第二の共振アームを設けることができる。図２１は、この実施形態に係る振動型ジャイロスコープ５９Ｇを概略的に示す斜視図である。

【００９０】

この振動子６０Ｇにおいては、固定部材９０の内側に固定片部１２が設けられている。固定片部１２の一方の側では、突出部分９４Ａから主アーム１０１Ｌと一対の共振アーム９２Ａ、９２Ｂが突出している。主アーム１０１Ｌにおいては、基部３の端部側に、基部３に対して垂直に延びる屈曲振動片９１Ａ、９１Ｂが形成されている。屈曲振動片には、駆動電極４６Ａ、４６Ｂ、４６Ｃ、４６Ｄが設けられている。各共振アームの先端には質量部９３Ａ、９３Ｂが設けられている。

【００９１】

各屈曲振動片９１Ａ、９１Ｂでは、Ａ－Ａ’断面図に示すように、駆動電極４６Ａ、４６Ｃ側と駆動電極４６Ｂ、４６Ｄ側との間で、電圧の印加方向が逆相になっている。

【００９２】

固定片部１２の他方の側では、突出部分９４Ｂから、共振片１０３と、一対の第二の共振アーム９７Ａ、９７Ｂが設けられている。共振片１０３においては、基部９８の端部側に、基部９８に対して垂直に延びる屈曲振動片９５Ａ、９５Ｂが形成されている。

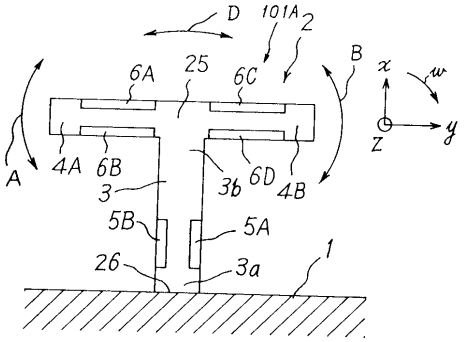
【００９３】

各共振アーム９７Ａ、９７Ｂの先端には質量部９６Ａ、９６Ｂが設けられている。Ｂ－Ｂ’断面図に示すように、共振アームには、検出電極４９Ａ、４９Ｂ、４９Ｃ、４９Ｄが設けられている。検出電極４９Ａ、４９Ｃ側と検出電極４９Ｂ、４９Ｄ側との間では、発生

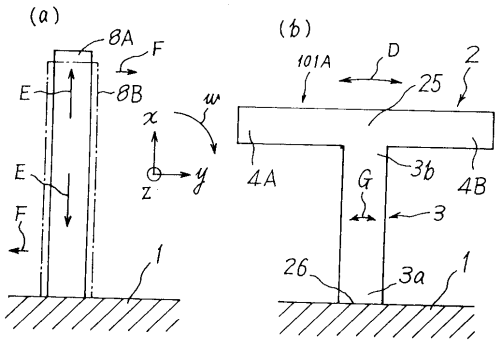
する信号電圧が逆相になる。
【００９４】
図２２の振動子１１０においては、中央の固定部分１０４は、四辺形状の中央部１０４ａと、４箇所の拡張部１０４ｂとを備えている。固定部分１０４からは一対の主アーム１０１Ｐ、１０１Ｑが延びている。各主アームにおいては、各拡張部１０４ｂから、それぞれ基部３が延びており、各基部３の先端部分３ｂから、基部３に対して垂直方向に延びるように屈曲振動辺１１１が設けられており、各屈曲振動辺１１１の両端がそれぞれ基部３に連続している。この結果、固定部分１０４ａ、一対の基部３および屈曲振動辺１１１によって空間１０５が包囲される。固定部分１０４の中央部１０４ａには、一対の屈曲振動辺１０６が設けられている。
【００９５】
所定の励振手段に対して駆動電圧を印加し、各主アームの各屈曲振動辺１１１を矢印Ｕのように屈曲振動させる。この状態で、振動子をｚ軸を中心として回転させると、各基部３が３ａを中心として屈曲振動する。これに対応して、各屈曲振動辺１０６が矢印Ｖで示すように共振するので、この振動に伴って発生する検出信号から角速度を測定できる。
【００９６】
【発明の効果】
以上の説明から明かなように、本発明によれば、振動子の振動アームが回転軸に対して垂直方向に延びるように、振動子を設置した場合にも、振動子から回転軸の方向に向かって一定重量の突出部を設けることなく、十分に高い感度で回転角速度を検出できるようになった。
【図面の簡単な説明】
【図１】本発明の一実施形態に係る振動型ジャイロスコープの正面図である。
【図２】（ａ）は、直線状の振動子の振動方向を説明するための正面図であり、（ｂ）は、図１の振動子の駆動方向を説明するための正面図である。
【図３】（ａ）、（ｂ）、（ｃ）は、図１の振動子の各部分の振動方向と振動の原理とを説明するための模式図である。
【図４】固定片部を使用した振動型ジャイロスコープの正面図である。
【図５】固定片部を使用した他の振動型ジャイロスコープの正面図である。
【図６】固定片部を使用した更に他の振動型ジャイロスコープの正面図である。
【図７】各屈曲振動片が基部に対して垂直ではない振動子を示す正面図である。
【図８】各屈曲振動片が湾曲形状をなしている振動子を示す正面図である。
【図９】屈曲振動片から更に突出している突出部分３５を備えている振動子の正面図である。
【図１０】主アーム１０１Ｆと一対の共振アームとを備えている振動子を用いた振動型ジャイロスコープを概略的に示す斜視図である。
【図１１】（ａ）は、図１０の振動子の駆動振動の形態を示す線図であり、（ｂ）、（ｃ）は、図１０の振動子の検出振動の形態を示す線図である。
【図１２】主アーム１０１Ｇと一対の共振アームとを備えている振動子を用いた振動型ジャイロスコープを概略的に示す斜視図である。
【図１３】主アーム１０１Ｇと一対の共振アームとを備えており、各共振アームの両側の寸法が異なっているジャイロスコープを概略的に示す斜視図である。
【図１４】図１３の振動型ジャイロスコープの斜視図である。
【図１５】図１３、図１４の振動型ジャイロスコープの寸法ａと駆動振動およびスプリアス振動の固有共振周波数の変化を示すグラフである。
【図１６】主アーム１０１Ｉと一対の共振アームとを備えており、主アームにおける電圧印加方向と各共振アームにおける電圧印加方向が１２０°をなしている振動型ジャイロスコープを概略的に示す斜視図である。
【図１７】主アーム１０１Ｊと一対の共振アームとを備えており、主アームにおける電圧印加方向と各共振アームにおける電圧印加方向が１２０°をなしている振動型ジャイロス

コープを概略的に示す斜視図である。
【図１８】主アーム１０１Ｎと一対の共振アームとを備えており、主アームにおける電圧印加方向および各共振アームにおける電圧印加方向がａ軸に対して１５°をなしている振動型ジャイロスコープを概略的に示す斜視図である。
【図１９】主アーム１０１Ｋと一対の共振アームとを備えており、屈曲振動片および共振アームに貫通孔が設けられている振動子を用いた振動型ジャイロスコープを概略的に示す斜視図である。
【図２０】主アーム１０１Ｌと一対の共振アームとを備えており、屈曲振動片および共振アームに貫通孔が設けられている振動子を用いた振動型ジャイロスコープを概略的に示す斜視図である。
【図２１】固定片部１２、主アーム１０１Ｌ、一対の共振アーム９２Ａ、９２Ｂ、共振片１０３、一対の第二の共振アーム９７Ａ、９７Ｂを備えている振動型ジャイロスコープを概略的に示す斜視図である。
【図２２】本発明の一実施形態に係る振動子を示す平面図である。
【図２３】従来の振動子の形態を示す斜視図である。
【符号の説明】
１、１１、９０　固定部材，２、１０、２０、２２、４０、４１、４２、４４、６０Ａ、６０Ｂ、６０Ｃ、６０Ｄ、６０Ｅ、６０Ｆ、６０Ｇ、６０Ｈ　振動子，３、１６　主アームの基部，４Ａ、４Ｂ、１５Ａ、１５Ｂ、３３Ａ、３３Ｂ、３４Ａ、３４Ｂ、４５Ａ、４５Ｂ、６１Ａ、６１Ｂ、６４Ａ、６４Ｂ、７０Ａ、７０Ｂ、７８Ａ、７８Ｂ、８５Ａ、８５Ｂ、９１Ａ、９１Ｂ、９５Ａ、９５Ｂ、９９Ａ、９９Ｂ　屈曲振動片，５Ａ、５Ｂ　励振手段（検出手段），６Ａ、６Ｂ、６Ｃ、６Ｄ　検出手段（励振手段），８Ａ、８Ｂ　棒状の振動子，１２　固定片部，１３、３０　共振片内の支持部，２１　長方形の共振片，２３　拡張部，２５　各屈曲振動片の基部との接続部分，２６　基部の固定部材との接続部分，３１、３２　共振片，３５　突出部，３６Ａ、３６Ｂ、３７　質量を除去加工した部分，４８Ａ、４８Ｂ、６２Ａ、６２Ｂ、６３Ａ、６３Ｂ、６６Ａ、６６Ｂ、７５Ａ、７５Ｂ、８１Ａ、８１Ｂ、８７Ａ、８７Ｂ、９２Ａ、９２Ｂ、１００Ａ、１００Ｂ　共振アーム，１０１Ａ、１０１Ｂ、１０１Ｃ、１０１Ｄ、１０１Ｅ、１０１Ｆ、１０１Ｇ、１０１Ｈ、１０１Ｉ、１０１Ｊ、１０１Ｋ、１０１Ｌ、１０１Ｎ　主アーム，Ａ、Ｂ、Ｎ、Ｐ、Ｑ、Ｒ　屈曲振動片の振動，Ｉ　屈曲振動片の移動方向，Ｈ、Ｋ　基部の屈曲方向，Ｊ、Ｌ　屈曲振動片の屈曲方向，Ｖ　屈曲振動片の振動のベクトル，ｗ　振動子の回転，Ｘ－Ｙ平面振動子が振動する所定平面，ｚ軸　回転軸

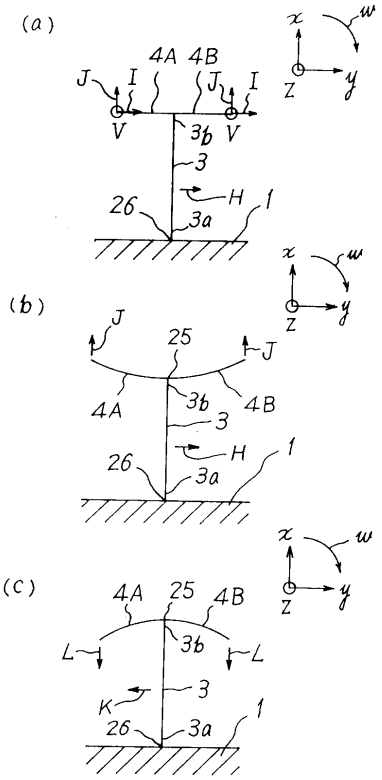
【図１】


D
101A
2
B
6A
25
6C
x
w
A
4A
6B
3
3b
6D
4B
z
y
5B
5A
26
3a
1

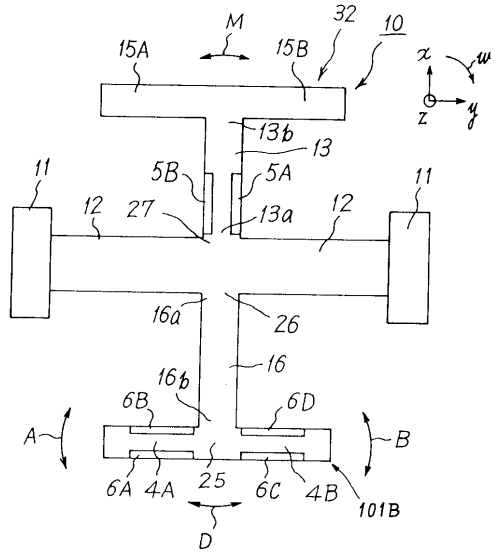
【図２】


(a)
8A
F
E
8B
x
w
E
z
y
F
1
(b)
101A
D
2
25
4A
G
3b
4B
3
26
3a
1

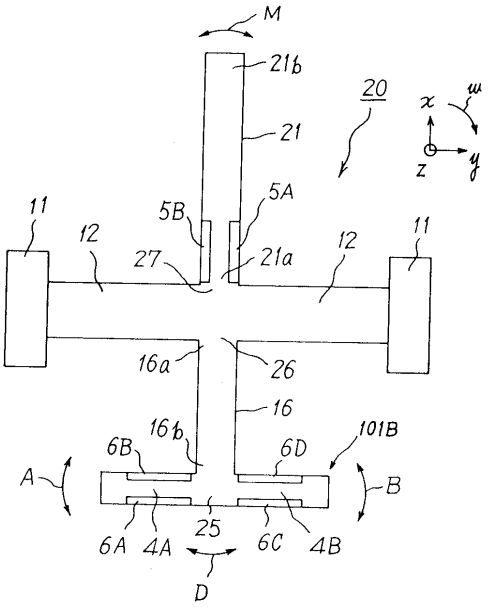
【図３】


(a)
x
w
4A 4B
J
I
J
I
z
y
V
V
3b
3
26
H
1
3a
(b)
x
w
J
25
J
z
y
4A
3b
4B
3
26
H
1
3a
(c)
x
w
4A
25
4B
z
y
L
3b
L
3
K
26
1
3a

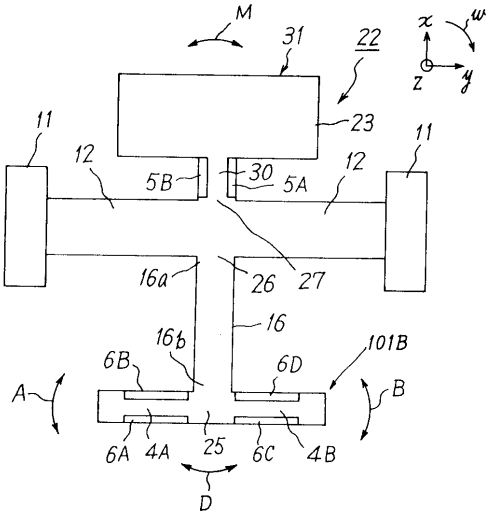
【図４】


M
32
10
15A
15B
x
w
z
y
13b
13
11
5B
5A
11
12
27
13a
12
16a
26
16
16b
6B
6D
A
B
6A
4A
25
6C
4B
101B
D

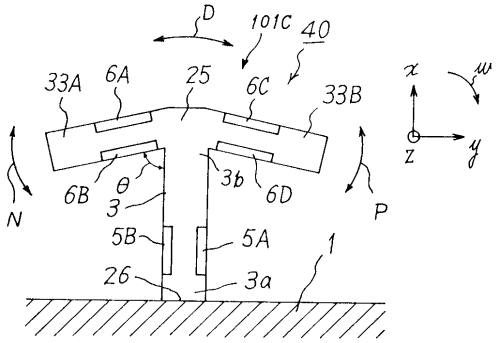
【図５】


M
21b
20
x
w
21
z
y
11
5B
5A
11
12
27
21a
12
16a
26
16
16b
101B
6B
6D
A
B
6A
4A
25
6C
4B
D

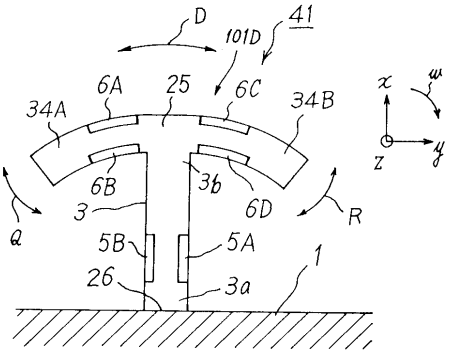
【図６】



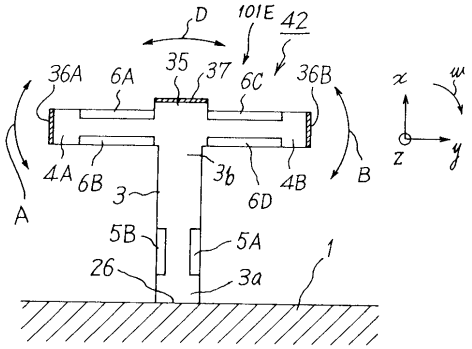
【図７】



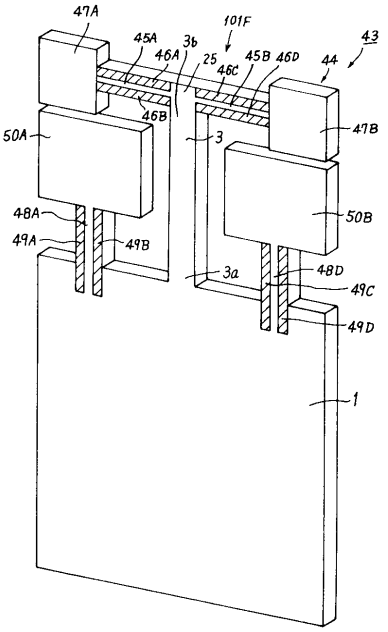
【図８】



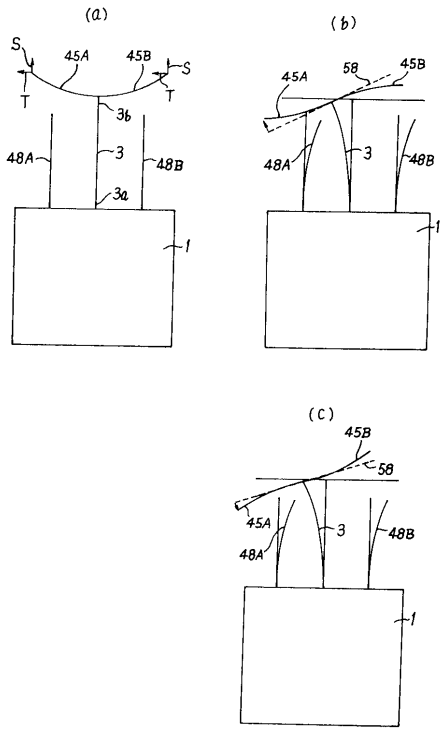
【図９】



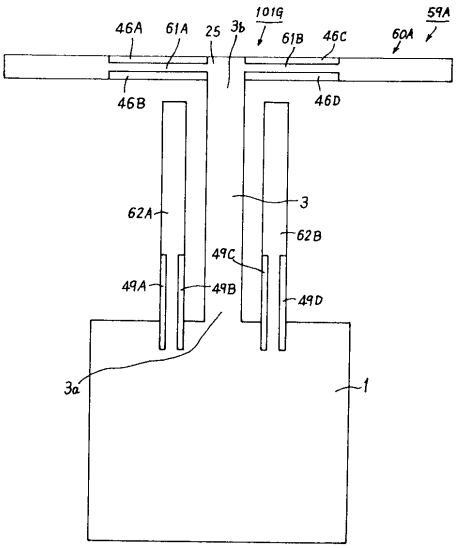
【図１０】



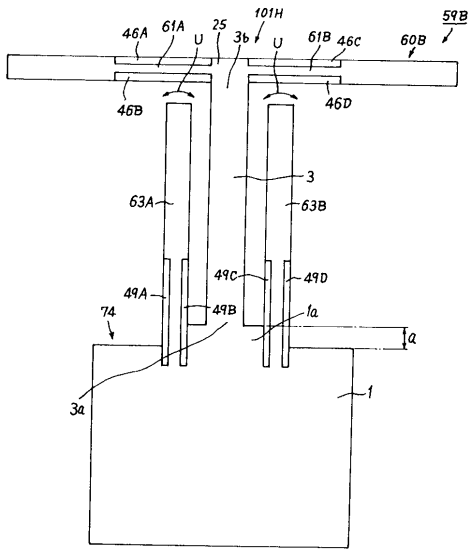
【図１１】



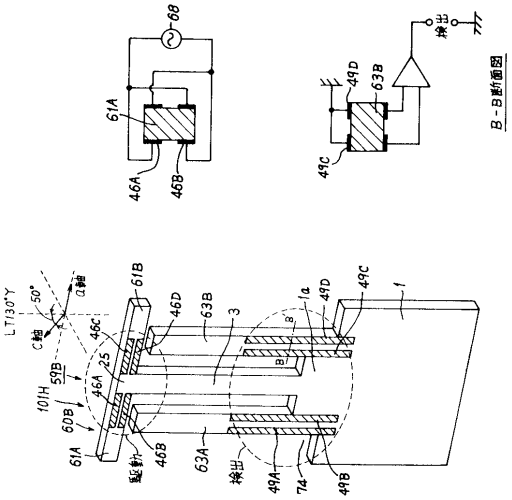
【図１２】



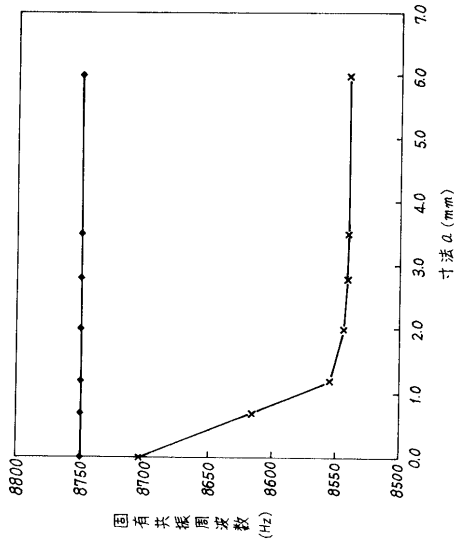
【図１３】



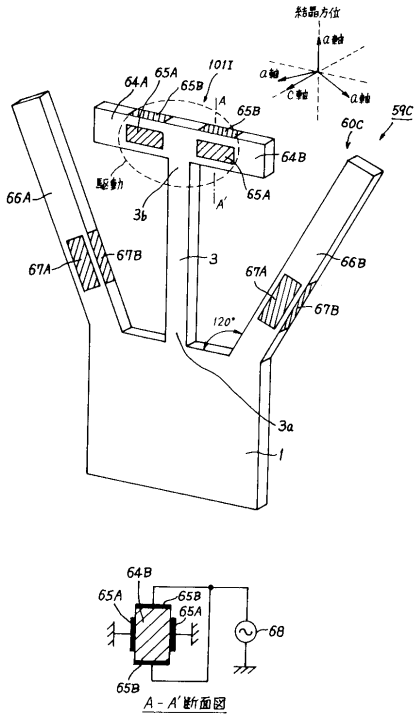
【図１４】



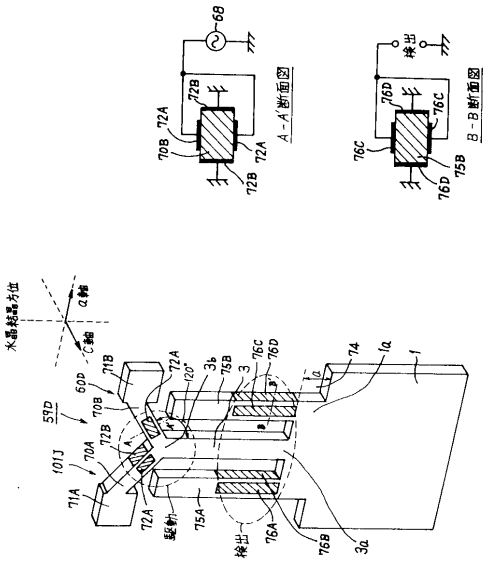
【図１５】



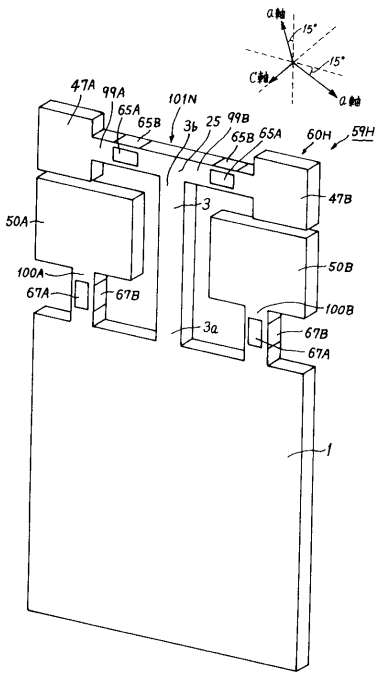
【図１６】



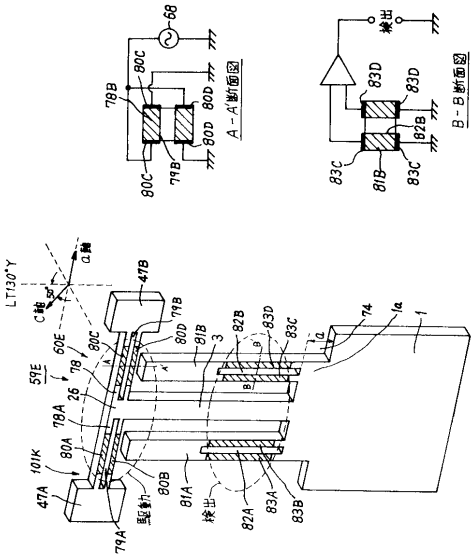
【図１７】



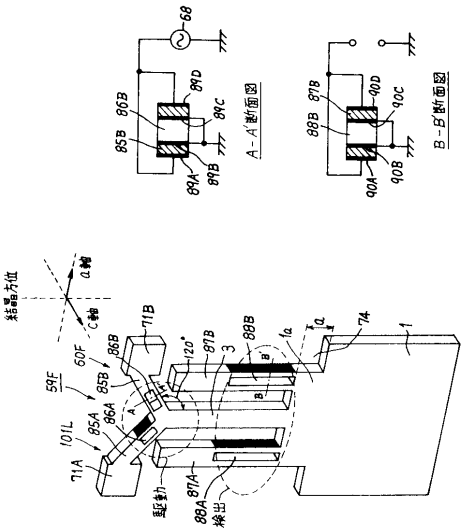
【図１８】



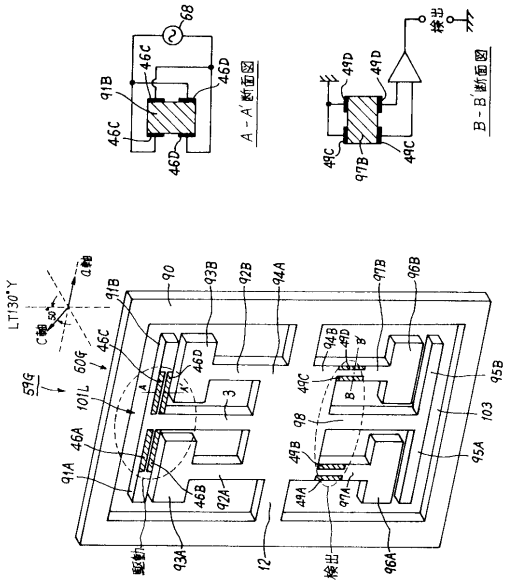
【図１９】



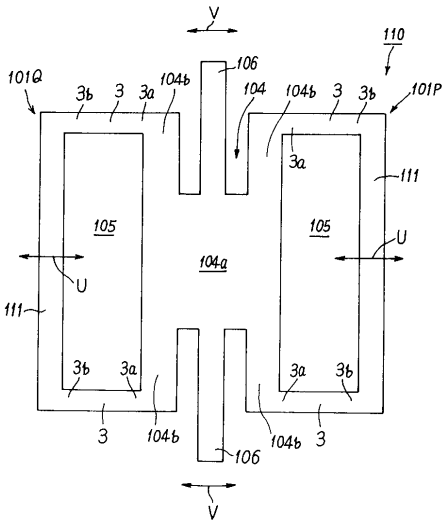
【図２０】



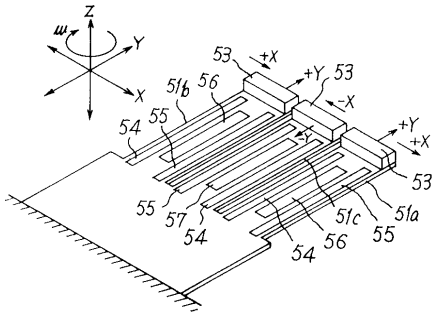
【図２１】



【図２２】



【図２３】



フロントページの続き

(72)発明者　菊池　尊行
愛知県名古屋市瑞穂区須田町２番５６号　日本碍子株式会社内
(72)発明者　郷治　庄作
愛知県名古屋市瑞穂区須田町２番５６号　日本碍子株式会社内
(72)発明者　大杉　幸久
愛知県名古屋市瑞穂区須田町２番５６号　日本碍子株式会社内
(72)発明者　相馬　隆雄
愛知県名古屋市瑞穂区須田町２番５６号　日本碍子株式会社内

審査官　小野寺　麻美子

(56)参考文献　特開平０７－１６７８８３（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－２６００４３（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－１５３４３２（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G01C 19/56
G01P 9/04