

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3752737号
(P3752737)

(45) 発行日 平成18年3月8日(2006.3.8)

(24) 登録日 平成17年12月22日(2005.12.22)

(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 5 (全 13 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平8-212615 (22) 出願日 平成8年8月12日(1996.8.12) (65) 公開番号 特開平10-54723 (43) 公開日 平成10年2月24日(1998.2.24) 審査請求日 平成15年7月9日(2003.7.9)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000003207 トヨタ自動車株式会社 愛知県豊田市トヨタ町1番地</p> <p>(74) 代理人 100088155 弁理士 長谷川 芳樹</p> <p>(74) 代理人 100113435 弁理士 黒木 義樹</p> <p>(74) 代理人 100122770 弁理士 上田 和弘</p> <p>(72) 発明者 杉谷 伸芳 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内</p> <p>審査官 有家 秀郎</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
---	--

(54) 【発明の名称】 角速度検出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

振動子と、この振動子を励振する励振手段と、この励振手段により励振された前記振動子が回転することに伴って発生するコリオリの力に基づく振動の振幅を検出する検出手段と、この検出手段により検出された振幅の大きさから前記回転の角速度を演算する角速度演算手段とを備えた角速度検出装置において、

前記振動子は、XYZ三次元直交座標空間において、XY平面上のX方向に延在する振動子基体と、この振動子基体の中央部を通るY方向の軸に対してほぼ対称の位置において前記振動子基体から+Yの向きに突出する2本の第1振動片と、X方向の位置がそれぞれ前記2本の第1振動片と同じで前記振動子基体から-Yの向きに突出する2本の第2振動片であって、第1振動片に対して細くて長く又は太くて短く第1振動片とX方向の固有振動数が異なっている第2振動片と、所望のねじり剛性を有し前記振動子基体の中央部から突出しその先端部が被検出体に固定される単一の支持棒とを有し、前記支持棒は前記振動子基体から-Y方向に突出し、前記励振手段は前記第1振動片をX方向に励振するものであり、前記検出手段は前記第1振動片の励振と前記被検出体の回転運動とに伴って生じる前記第2振動片のZ方向の振幅を検出することを特徴とする角速度検出装置。

【請求項2】

前記振動子を構成する前記振動子基体と前記第1および第2振動片とが1枚の等厚単結晶水晶基板で形成されていることを特徴とする請求項1記載の角速度検出装置。

【請求項3】

10

20

前記励振手段の回路部と前記第1振動片に設けられた励振用電極とを接続する励振用配線および前記検出手段の回路部と前記第2振動片に設けられた検出用電極とを接続する検出用配線と、それら励振用配線と検出用配線とを備えたメタライズド基板を備え、前記支持棒の先端は前記メタライズド基板に溶着され、このメタライズド基板が被検出体に固定されていることを特徴とする請求項2に記載の角速度検出装置。

【請求項4】

前記振動子は同電位の導電材で取り囲まれていることを特徴とする請求項3に記載の角速度検出装置。

【請求項5】

前記支持棒が、X方向にくびれなくびれ部を備えていることを特徴とする請求項1に記載の角速度検出装置。 10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、自動車のナビゲーションシステムや姿勢制御などに用いられる角速度検出装置に関するものであり、特に、振動型の角速度検出装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来から、振動体に回転を加えるとコリオリの力によって回転角速度に応じた新たな振動が発生することを利用した振動型角速度検出装置が知られている。このような角速度検出装置の一例として、たとえば、特開平7-55479号公報に記載の回転速度センサがある。この回転速度センサにおいて用いられている振動子は、XY平面において、矩形のフレームの一辺から+Yの向きに2本の励振枝が突出しており、そのフレームの対向する辺から-Yの向きに2本ピックアップ枝が突出した構造を有している。この構造において、励振枝をX方向に励振すると、振動子の回転に伴って発生したコリオリの力によって励振枝がZ方向にも振動し、このZ方向(XY平面に垂直な方向)の振動はピックアップ枝に伝達される。ピックアップ枝側では、この伝達されたZ方向の振動を検出し、検出結果から振動子の回転角速度を導く。 20

【0003】

この従来技術における振動子は、フレームの内側に取り付け基部を備え、励振枝およびピックアップ枝が設けられているフレームの各辺と取り付け基部との間にクロスブリッジが渡されることによりフレームと取り付け基部とが連結されている。この振動子は、取り付け基部が被検出体に固定されている固定子に取り付けられることにより、被検出体に固定される。振動片の一部が固定されると振動片の振動が低減される。これは固定子へ振動が伝播してゆくためであり、この振動伝播を振動の漏れと称する。振動片と固定子との固定強度が高いほど振動の漏れが大きくなるのであるが、上記従来技術の回転速度センサは振動子を上述のような構造とすることにより、固定強度に柔軟性をもたせ、振動片のZ方向の振動のエネルギーがフレームを介して固定子に漏れることを抑制している。振動の漏れに起因する検出精度の低下を抑制しているのである。 30

【0004】

【解決すべき課題】

しかし、この従来技術の振動子によると、取り付け基部とフレームとが2本のクロスブリッジで、すなわち2カ所で固定されているので、温度変化によりフレーム、クロスブリッジおよび取り付け基部のそれぞれに引っ張り応力や圧縮応力が加わる。この応力により、フレームと取り付け基部との間の固定強度が変動するため、振動の漏れ量も変動し、結果として角速度検出の感度が環境温度の変化に基づいてばらつくという問題があった。 40

【0005】

【課題を解決するための手段】

本発明の角速度検出装置はこのような問題を解決するために為されたものであり、その振動子は、XYZ三次元直交座標空間において、XY平面上のX方向に延在する振動子基 50

体と、この振動子基体の中央部を通るY方向の軸に対してほぼ対称の位置において振動子基体から+Yの向きに突出する2本の第1振動片と、X方向の位置がそれぞれ2本の第1振動片と同じで振動子基体から-Yの向きに突出する2本の第2振動片であって、第1振動片に対して細くて長く又は太くて短く第1振動片とX方向の固有振動数が異なっている第2振動片と、所望のねじり剛性を有し振動子基体の中央部から突出しその先端部が被検出体に固定される単一の支持棒とを有し、支持棒は振動子基体から-Y方向に突出し、励振手段は第1振動片をX方向に励振するものであり、検出手段は前記第1振動片の励振と前記被検出体の回転運動とに伴って生じる前記第2振動片のZ方向の振幅を検出するものである。

【0006】

10

この振動子においては、振動子の被検出体への固定強度は、支持棒のねじり剛性によって決定される。この振動子によれば、支持棒のねじり剛性が所望の値に調整されているので、支持棒からの振動漏れが調整されており、検出感度が調整されている。また、振動子基体が被検出体に固定される支持棒と1カ所で連結しているため、環境温度の変化に基づいて振動子の各要素が膨張または収縮しても支持棒から振動子基体に加わる応力は発生しない。したがって、支持棒のねじり剛性が変化しないので、振動子基体を経て支持棒に至る振動の漏れ量が温度変化の影響を受けない。

【0007】

また、振動子の支持棒を振動子基体から-Y方向に突出させ、励振手段で第1振動片をX方向に励振するので、励振によって振動子基体の第1振動片側の両第1振動片間に応力集中部ができるが、支持棒は振動子基体の第2振動片側に設けられているために応力集中部と支持棒とが離隔する。そのため、第1振動片の励振の振動応力が支持棒と両第1振動片との位置ずれ等に起因して支持棒をX方向に振動してしまうという現象が生じない。また、2本の第1振動片間の振動の伝達を支持棒が妨げないので、Q値が低下しない。さらに、支持棒からの振動漏れが励振による応力の影響を受けないため、検出精度が安定している。

20

【0008】

振動子基体と第1および第2振動片とを1枚の等厚基板で形成すれば、第1振動片と第2振動片のそれぞれのX方向の幅を調整することにより、基板に垂直な方向すなわちZ方向の振動については第1振動片と第2振動片とを連成させつつ、X方向については連成しないようにすることができる。また、基板を水晶単結晶板とすれば、自身が圧電材料であるため、極性が周期的に変化する電圧を所定の方向に印加するだけで励振することができ、振動に伴って発生する分極の変化を検出するだけで振動を検出できる。

30

【0009】

また、本発明の角速度検出装置の一形態として、励振手段の回路部と第1振動片に設けられた励振用電極とを接続する配線および検出手段の回路部と第2振動片に設けられた検出用電極とを接続する配線を備えたメタライズド基板を備え、支持棒の先端はメタライズド基板に溶着され、このメタライズド基板が被検出体に固定されているものがある。

【0010】

メタライズド基板の配線は焼成されているので支持棒を溶着しても配線が損なわれない。また、振動子を同電位の導電材で取り囲めば、電磁ノイズの影響を受けない。

40

【0011】

さらに、本発明の角速度検出装置の一形態として、支持棒が、X方向にくびれたくびれ部を備えているものがある。支持棒にくびれ部を設けることによってねじり剛性の柔軟性を維持しつつ、かつ、支持棒全体としては幅の広いものとするので、配線のクロストークをできるだけ抑制することができる。この結果、電極と外づけの処理回路とを接続する配線を、クロストークの影響を少なくするためにできるだけ線を太くしてインピーダンスを下げつつ、線間を離すことができる。

【0012】

【発明の実施の形態】

50

図1(a)は、本発明の角速度検出装置の一実施形態における振動子10を示す平面図である。この図において、左右方向をX軸とし右向きを正の向きにとり、上下方向をY軸とし上向きを正の向きにとり、紙面に垂直な方向をZ軸とし表向きを正の向きにとっている。振動子10は、X軸方向に延在する振動子基体11と、振動子基体11から+Yの向きに延びる励振用の第1振動片12および13と、振動子基体11からそれぞれ第1振動片12および13と同軸上で-Yの向きに延びる検出用の第2振動片14および15と、第2振動片14および15の間において振動子基体11から-Yの向きに延びる支持棒16と、支持棒16の端部に設けられた固定板17とが水晶の単結晶基板で一体に構成されている。

【0013】

ここで、水晶の結晶軸について簡単に説明する。天然の水晶は、一般に柱状結晶であり、この柱状結晶の縦方向の中心軸すなわち $\langle 0001 \rangle$ 結晶軸はZ軸または光軸と規定され、Z軸を通り柱状結晶の各表面に垂直に交わる線はY軸または機械軸と規定される。また、Z軸を通りこの柱状結晶の縦方向の稜線と直交する線はX軸または電気軸と規定される。

【0014】

振動子10に用いられている単結晶基板はZ板と呼ばれる基板であり、Z軸に垂直ないし略垂直な面で切り出された単結晶基板である。したがって、本実施形態においては、結晶方位のZ軸と、図面上の振動子10の配置方向を示す上述したZ軸とは一致している。また、水晶のX軸およびY軸は互いに直交するものが3組あり、そのうちの1組と図面上の振動子10の配置方向を示すX軸およびY軸とが一致している。なおこの結晶方位と振動子10の方向関係は、後に述べる他の実施形態でも同様である。また、振動子10に用いられる水晶は、人工水晶であるがその構造は天然の水晶と同じである。

【0015】

第1振動片12および13は互いに同一寸法であり、本実施形態では共に励振用の振動片として用いられる。また、第2振動片14および15も互いに同一寸法であり、共に検出用の振動片として用いられる。第2振動片14および15は、第1振動片12および13に対して細くて長く、そのために、第1振動片12、13のX方向の固有振動数 f_{x1} と第2振動片14、15のX方向の固有振動数 f_{x2} とが互いに異なっている。Z方向の固有振動数も第1振動片と第2振動片とでは互いに異なっているが、Z方向の振動については、第1振動片と第2振動片とが連成して振動するため連成の固有振動数 f_z が存在する。X方向の振動については第1振動片と第2振動片との間の振動の伝達率が非常に低いため連成振動はほとんどない。このように、X方向の振動については第1振動片と第2振動片とが連成せず、Z方向の振動については第1振動片と第2振動片とが連成するのは、振動子10全体が非常に薄い水晶基板で一体に形成されており、振動子基体11のY方向の幅が水晶基板の厚みに対して十分に広いという形状に起因している。本実施形態では、第1振動片12、13のX方向の固有振動数 f_{x1} と連成の固有振動数 f_z との値が非常に近い値になるように調整されている。

【0016】

各振動片にはそれぞれの用途に応じた電極が設けられている。すなわち、第1振動片12および13には励振用の電極が、第2振動片14および15には検出用の電極がそれぞれ設けられている。電極の配置については、図面の微細描写を避けるために、図1(a)では省略されており、これに代えて、図1(b)および(c)を用いて表示されている。図1(b)および(c)は、それぞれ図1(a)におけるB-B断面図およびC-C断面図である。図示のように、第1振動片13には、それぞれ上面、下面および側面の4つの面に電極21~24が、振動子基体11との結合部から第1振動片13の先端部に向かって、すなわち+Yの向きに、振動片全長の2/3~3/4程度の長さ延在している。第1振動片12にも同様の電極31~34(図3参照)が設けられている。一方、第2振動片15には、矩形断面の4つの角部すなわち稜線部をそれぞれが覆うように、4つの電極25~28が振動子基体11との結合部から第2振動片15の先端部に向かって、すなわち

10

20

30

40

50

- Yの向きに、振動片全長の2/3～3/4程度の長さ延在している。なお、第2振動片14にも同様の電極35～38(図3参照)が設けられている。

【0017】

各電極は、クロムと金の2層構造となっており、振動子10の表面にこれらの金属を蒸着した後に、フォトリソグラフィ技術を用いて適宜分離すると共に所望の形状にパターンニングすることにより得られる。また、各電極は固定板17に設けられているボンディングパッド81～84のいずれかと電氣的に接続され、そこからさらに後述する信号処理回路に接続される。振動片上の各電極とボンディングパッドとの間の配線は、図示していないが支持棒16の表面に膜形成技術により設けられている。

図2は、この振動子10が4層のメタライズド基板100上に搭載され、さらに金属製のふた110で密封された状態を示す図であり、同図(a)は平面図、同図(b)は側面図である。

10

【0018】

メタライズド基板は、一般に90%SiO₂のグリーンのシート(生状態)に、配線やボンディングパッド等をタングステンやモリブデンなどの金属で印刷し、これを多層に積み上げてプレスした後、乾燥させて焼成することにより作製されるセラミックスの多層配線基板のことである。各層の配線間はビアホールと呼ばれる接続穴によって接続される。このメタライズド基板は、生の状態(グリーンシートの状態)でのくり抜き加工が容易なので、表面に段差のある基板を容易に作製することができる。各層はプレス加工されて焼成されているので、また、ビアホールはタングステンやモリブデン等の金属によって埋められているので、各層間の気密性は十分に保たれている。さらに、配線にはタングステンやモリブデンといった高融点金属が用いられているので、これらの配線に影響を与えることなく種々の実装部品を高温でろう付けすることが可能である。

20

【0019】

メタライズド基板100は4層構造となっており、最下層である第1層101の裏面には、励振、振動検出および角速度演算等を行うための回路素子111、112が搭載されている。第1層101の上には順に第2層102、第3層103、第4層104が積層されている。第2層102、第3層103、第4層104はいずれも中央部が長方形にくり抜かれており、その開口の長手方向(図2の左右方向)の長さが順に長くなっていて、図示のように右側を揃えることで左側が階段状になっている。

30

【0020】

このメタライズド基板100の階段部の第2層102上には、振動子10の固定板17が半田付けにより溶着固定されており、第3層103の表面にはボンディングパッド131～134が設けられている。ボンディングパッド131～134はそれぞれ図示を省略した各層の配線およびビアホールを介して回路素子111および112に接続されている。振動子10の固定板17を第2層102上に溶着してあるので、振動片12～15を第1層101から浮いた状態に保つことができる。メタライズド基板100側のボンディングパッド131～134を第2層102上に設けずに第3層103上に設けてあるので、振動子10のボンディングパッド81～84との高低差が緩和され、ボンディングワイヤ121～124の結線作業が容易である。

40

【0021】

金属製の蓋110の下端は全周に亘って封止用樹脂で第4層104に固着されている。封止用の樹脂による固着に代えて半田付けのようならう付けで固着してもよい。これにより、振動子10が納められている空間が完全に外界から遮断される。この内部空間は真空引きされており、振動子10の振動エネルギーが空気を媒介としてロスしないようになっている。

【0022】

第1層101の上面140は全面が金属膜で覆われており、この金属膜と金属性の蓋110とがビアホールを介して電氣的に接続されている。したがって、振動子が納められている空間は等電位の金属でほとんど覆われ、電磁シールドされている。後述する検出回路等

50

にはオペアンプが使用され、高増幅率の増幅が行われるが、一般に高増幅率を持つ増幅回路は電磁ノイズに弱く、特にその入力端である素子部からのノイズの侵入を防ぐ必要がある。電磁シールドはこのようなノイズの侵入防止に有効である。また、各振動片に設けられた電極は互いに対向する電極同士でコンデンサを構成しており、後述するようにその電荷量の変化から角速度を求めるものであるが、この電荷量は外部からの電磁ノイズの影響を受けるので、その影響を抑えるためにも振動子10を取り囲む電磁シールドは有効である。なお、第1層101の表面140に配線が施されている場合は、電磁シールド用の金属膜はその配線と接続しないように、その部分を除いて施される。

【0023】

つぎに、回路素子111および112に搭載された励振、検出および角速度演算を行う処理回路について説明する。図3は励振回路50、検出回路60および角速度演算回路70を示すと共に、これらの回路と振動片12~15に設けられた電極21~28および31~38との接続関係を示すブロック図である。また、図4は、第1振動片12および13における逆圧電効果を説明するための図であり、図5は第2振動片14および15における圧電効果を説明するための図である。

10

【0024】

励振回路50は、電流電圧変換回路51と自動利得制御回路52と駆動回路53とを備えており、検出回路60は、電流電圧変換回路61および62と作動増幅回路63と同期検波回路64とを備えている。

【0025】

駆動回路53は、自動利得制御回路52の出力電圧値に応じた振幅で所定の繰り返し周波数のパルス波を励振信号として出力するとともに、その出力信号と90度位相のずれた信号を同期検波回路64の検波信号として出力する回路であり、その出力端子は端子56を介して第1振動片13の側面の電極22、24と第1振動片12の上下面の電極31、33に共通に接続されている。第1振動片12および13の残りの電極21、23、32、34は、互いに共通に端子55を介して電流電圧変換回路51の入力端子に接続されることにより、駆動回路53が出力するパルス波の中間電位に固定される。

20

【0026】

図4は、この励振回路50による第1振動片の励振動作を説明するものであり、同図(a)は第1振動片13をZX平面で切った断面図であり、図1(b)と同等の図である。また、図4(b)は第1振動片13の屈曲動作を示した斜視図である。上述したように、電極21と23が共通に端子55に接続され、電極22と24が共通に端子56に接続されているので、駆動回路53の出力パルスがローレベルであると、図4(a)に示すような電圧、すなわち電極22および24には相対的に負の電圧が、電極21および23には正の電圧がそれぞれ各電極に与えられる。駆動回路53の出力パルスがハイレベルであれば、その逆の極性が与えられる。

30

【0027】

いま、図4(a)のような電圧が印加されている状態を考えると、振動片13の内部には矢印91から94で示したような電界が与えられることになる。一方、水晶の圧電効果はZ軸方向には現れないので、圧電効果に影響を与える有効電界は矢印95および96となる。水晶の結晶は逆圧電効果により、X軸の正の向きに電界が与えられるとY軸方向に伸び、X軸の負の向きに電界が与えられるとY軸方向に縮む。したがって、図4(a)の状態では、振動片13の電極24側が縮み、電極22側が伸びるため、振動片13は電極24を内側にして屈曲する。電極21から24に対する印加電圧の極性が逆転すると、同様の原理により振動片13は電極22を内側にして屈曲する。したがって、振動片13の一端を固定して駆動回路53から所定周波数のパルス信号を電極21、23に印加すると、振動片13は図4(b)に示すようにX方向に振動する。

40

【0028】

なお、本実施形態では、図3に示すように振動片13の上下の電極21および23と振動片12の左右の電極32および34とを共通に接続し、振動片13の左右の電極22および

50

び24と振動片12の上下の電極31および33とを共通に接続しているのので、振動片12と13は、X方向に互いに逆相で振動する。

【0029】

第1振動片12と13のX方向の振動情報は、電流電圧変換回路51および自動利得制御回路52を介してフィードバックされる。電流電圧変換回路51は、第1振動片12および13の屈曲に伴う圧電効果によって電極21、23、32、34に発生した電荷の変化量を電圧値に変換する回路である。

【0030】

自動利得制御回路52は、電流電圧変換回路51から出力された電圧信号を入力し、その入力電圧値が大きくなると出力電圧値を小さくし、入力電圧値が小さくなると出力電圧値が大きくなるように動作する。したがって、第1振動片12および13の振動振幅が大きくなれば、電極21、23、32、34に発生する電荷も大きくなり、電流電圧変換回路51の出力電圧も大きくなる。これによって、自動利得制御回路52の出力電圧値は低くなり、駆動回路53の出力パルスの振幅は小さくなる。このように、駆動回路53から出力されるパルス信号の振幅はフィードバック制御され、第1振動片12および13の振動振幅は常に安定する。

10

【0031】

つぎに、図5に示すような第2振動片のZ方向の振動を検出する検出回路60を説明する。第2振動片15が図5(b)に示すようにZ方向に振動して、+Zの向きに屈曲すると、振動片15の上側の半分がY方向に縮み、下側の半分がY方向に伸びる。水晶の圧電効果により、Y方向に縮むとX方向の誘電分極が生じ、Y方向に伸びると逆向きのX方向の誘電分極が生じる。そして、誘電分極の強さは伸縮の大きさに依存するので上面または下面において強く現れ、中間部に向かうほど弱い。したがって、誘電分極は振動片15の4つの角部に集中して現れ、この誘電分極によって角部に設けられた各電極25~28には図示のような正または負の電荷が集まる。つまり、電極25と27が同じ極性となり、これらの極性が電極26と28の極性と逆になる。振動片15が下側に振れると、同様の原理に基づいて上述したものと全く逆の極性が現れる。

20

【0032】

検出回路60は、このようにして発生した振動片15の各電極における電荷の変化量を検出し、第2振動片の振動振幅に応じた信号を出力する。本実施形態では、第1振動片12、13をX方向に互いに逆相で励振し、第1振動片と第2振動片とをZ方向について互いに逆相で振動させるものなので、第2振動片14と15はZ方向に関して互いに逆相で振動する。この第2振動片14、15のZ方向の振動は、第1振動片12、13のX方向励振振動がZ方向振動として漏れたものと、振動子10が回転したときに生じるコリオリの力に基づいて発生したものと合成振動であるが、いずれの成分についても第2振動片14と15について互いに逆相となる。コリオリの力に基づくZ方向振動の発生メカニズムの詳細については後述するが、いずれにしてもZ方向に関して左右逆相の振動が発生するので、図3に示すように第2振動片15の電極25と28に対してこれらと対称の位置にある第2振動片14の電極36と37が共通に接続され、さらに検出回路60の端子65に接続されている。そして、残りの電極26、27、35、38が共通に検出回路60の端子66に接続されている。

30

40

【0033】

電流電圧変換回路61は電極25、28、36、37での電荷の変化量を増幅して電圧値に変換する回路であり、電流電圧変換回路62は電極26、27、35、38での電荷の変化量を増幅して電圧値に変換する回路である。作動増幅回路63は電流電圧変換回路61および62のそれぞれの出力信号を入力し、両信号の電位差を増幅する回路であり、この出力信号の振幅変化は第2振動片14および15の振動振幅変化に比例している。

【0034】

同期検波回路64は作動増幅回路63から出力された交流電圧信号を駆動回路53からの励振信号に対して90度位相のずれたパルス信号を検波信号として用いて同期検波を行っ

50

た後、積分処理を行うものであり、通常の同期検波回路に積分回路が付加された回路である。X 励振の漏れによる Z 方向振動は励振と同相であり、コリオリの力による Z 方向の振動は励振に対して 90 度位相がずれているため、同期検波および積分により、前者は常に零の値となり、後者は全波整流の積分値となる。すなわち、同期検波回路 64 の出力信号電圧は、第 2 振動片 14 および 15 のコリオリの力による Z 方向の振動振幅を示している。

【0035】

角速度演算回路 70 は、第 2 振動片 14 および 15 の振動振幅を示す検出回路 60 の出力信号に基づいて、振動子 10 の Y 軸に平行な軸を中心とする回転角速度を後述する角速度とコリオリの力との関係式を基にして算出する回路である。

10

【0036】

次に、以上のように構成された角速度検出装置の動作を説明する。励振回路 50 は、第 1 振動片 12、13 の X 方向の固有振動数 f_{x1} (これを第 1 固有振動数という) に一致した周波数の励振信号を駆動回路 53 から出力する。これにより第 1 振動片 12、13 は逆圧電効果により、X 方向に固有振動数 f_{x1} で振動する。振動片 12 と振動片 13 の位相は上述したように互いに逆相である。

【0037】

この状態で、振動子 10 が Y 軸に平行な軸 (Y 軸を含む) を中心として角速度 ω で回転すると、第 1 振動片 12、13 には、 $F = 2mV \cdot \omega$ で表されるコリオリの力 F が Z 方向に発生する。ここに、 m は振動片の質量、 V は振動速度である。このコリオリの力 F の発生によって、第 1 振動片 12、13 は X 方向の振動に対して 90 度位相がずれて Z 方向に振動する。つまり、第 1 振動片 12、13 は Z 方向についても、励振周波数 (第 1 固有振動数) で互いに逆相で振動する。この周波数は、Z 方向の第 1 および第 2 振動片の連成固有振動数とほぼ一致しているので、第 2 振動片 14、15 に効率よく伝達される。

20

【0038】

一方、第 1 振動片 12、13 に与えられる X 方向励振が、同相の Z 方向の励振として漏れ、この振動も連成により第 2 振動片 14、15 に伝達される。振動エネルギーは、漏れ振動の方がコリオリの力による振動よりも遥かに大きいため、第 2 振動片の Z 方向の振動は、漏れ振動上に 90 度位相のずれたコリオリの力による振動が重畳しているものとなる。検出回路 60 によって第 2 振動片の Z 方向の振動からコリオリの力による振動のみを選択的に検出することは上述したとおりである。

30

【0039】

ところで、この実施形態では Z 方向の振動について、左右 (X 方向) 逆相、上下 (Y 方向) 逆相に振動する。この振動モードでは、支持棒 16 を通る Y 軸を回転中心として励振と同相で揺動する力が振動子基体 11 に対して加わる。これに対して、支持棒 16 はねじり剛性が調整されており、ねじり力に対して適度な柔軟性があるため、振動子基体 11 に働く揺動力をうまく緩衝して振動エネルギーの漏れを防いでいる。ねじり剛性はねじりこわさとも呼ばれ、棒のねじれにおけるねじりモーメントとねじれ角との比のことであり、棒の形状とこわさによって定まる。本実施形態では支持棒 16 の長さを調整することによりねじり剛性の調整が可能である。本実施形態では、支持棒 16 の長さを第 2 振動片 14、15 よりも長くすることにより、ねじり剛性に柔軟性を持たせている。

40

【0040】

なお、同軸で対となった第 1 および第 2 振動子の慣性モーメントが一致していれば振動子基体 11 に対する揺動のエネルギーが生じないことが推測できる。しかし、現実には種々の条件から慣性モーメントを厳密に一致させることが困難で、振動子基体 11 に対する揺動のエネルギーを完全に零にすることは容易ではない。そこで、第 1 および第 2 振動片の慣性モーメントの一致性を考慮しつつも、支持棒 16 のねじり剛性を考慮することが望ましい。

【0041】

また、振動子基体 11 が支持棒 16 と 1 カ所で連結しているため、環境温度の変化に基づ

50

いて振動子の各要素が膨張または収縮しても支持棒 16 から振動子基体 11 に加わる応力は発生しない。したがって、振動子基体 11 を経て支持棒 16 に至る振動の漏れ量が温度変化の影響を受けない。

【0042】

ところで、励振回路 50 で第 1 振動片 12、13 を互いに逆相で X 方向に励振するので、振動子基体 11 の第 1 振動片 12、13 側の両第 1 振動片間に応力集中部 150 ができる(図 1(a) 参照)。仮に、支持棒 16 が応力集中部 150 から +Y 方向に突出したものとすると、支持棒 16 の X 方向の位置ずれによって、支持棒 16 に左右(X 方向)に振動する力が発生する。この力によって、支持棒 16 が左右に振動すると、第 1 振動片 12 と 13 の励振振幅に差が生じ、検出精度が低下する。また、応力集中部 150 から支持棒 16 が突出しているとすると、応力集中部 150 が支持棒 16 に広がるため、不必要に応力が分散される部分が発生し、そのために左右の振動片間の伝達効率が下がり、Q 値が下がる。さらに、支持棒 16 に柔軟性を持たせて振動漏れを抑制しているが、振動漏れを完全に無くせるものではなく、僅かではあるが漏れる。応力集中部 150 と支持棒 16 とが連結していると、この漏れ量が励振による応力の影響を受け、検出精度が不安定となる。

10

【0043】

しかし、本実施形態では、支持棒 16 が振動子基体 11 の第 2 振動片 14、16 側に設けられているために応力集中部 150 と支持棒 16 とが離隔しており、上述したような問題がない。

【0044】

図 6 は振動片の別の実施形態を示す平面図である。この振動片 200 は支持棒 201 にくびれ部 202 が設けられている点に特徴がある。支持棒には振動片 12 ~ 15 に設けられた電極と外づけの処理回路とを接続する配線が設けられることは既に述べた。これらの配線は、クロストークの影響を少なくするためにできるだけ線を太くしてインピーダンスを下げ、且つ、線間を離すことが望ましい。この観点から考えると、支持棒をできるだけ幅の広いものにしたい。しかし、単に幅を広げれば、ねじり剛性が高くなり Q 値の低下を招く。

20

【0045】

そこで、図 6 に示すように、支持棒 201 を全体としては幅の広いものとすると共にくびれ部 202 を設けることにより、ねじり剛性の柔軟性を維持しつつ、配線のクロストークをできるだけ抑制することができる。なお、振動子 200 として、第 1 実施形態の振動子 10 と同様の水晶の Z 板を用い、振動子基体および振動子を同様の方向に形成するのであれば、図示のごとく X 方向に対して約 30 度で切り欠かれたくびれ部 202 のある支持棒 201 を有する振動子 200 を非常に安定的に作製できる。これは、結晶方位とエッチング方向との関係に起因する。

30

【0046】

また、この振動子 200 の固定板 17 には貫通穴 203 および 204 が設けられており、この貫通穴 203 および 204 の側壁には金属が蒸着されている。振動子の上下面間での配線に有効に利用できる。

【0047】

振動子 10 のパッケージングに関しても種々の変形が考えられる。たとえば、振動子 10 のボンディングパッド 81 ~ 84 とメタライズド基板 100 のボンディングパッド 131 ~ 134 とをボンディングワイヤ 121 ~ 124 で接続しているが、これに代えて、振動子 10 のボンディングパッド 81 ~ 84 を固定板 17 の裏面に設け、固定板 17 をメタライズド基板 100 に溶着する際に、同時に、ボンディングパッド 81 ~ 84 をメタライズド基板 100 のボンディングパッド 131 ~ 134 にダイボンディングしてもよい。回路部品 111、112 は全体の面積を小さくするために、メタライズド基板 100 の第 1 層 101 の裏面に設けられているが、密封空間の外側で第 1 層 101 の面積を広げ、その上面に搭載してもよい。また、蓋 110 をフラットなものに置換してコストダウンを図ることができる。電磁シールドのために、蓋 110 は金属材料で構成されているが、これに代

40

50

えて、セラミックスのような絶縁材料のものを、全面に金属膜を蒸着等により形成したものを、用いてもよい。さらに、振動子 10 を第 2 層 102 の厚みを利用して第 1 層 101 から浮かしているが、これに代えて、第 1 層の配線パターンで凸面を形成し、その上に固定板 17 を溶着することにより、振動子 10 を第 1 層 101 から離隔させてもよい。

【0048】

本実施例の振動子 10 は水晶の Z 板をパターンングしたものであるが、その他の圧電材料、たとえば、チタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) やニオブ酸リチウムといったその他の圧電材料を用いてもよい。さらに、振動子 10 をステンレスのような単なる振動子とし、電極に代えて電歪手段を用いて振動させてもよい。

【0049】

【発明の効果】

本発明の角速度検出装置によれば、振動子の支持棒のねじり剛性が所望の値に調整されているので、支持棒からの振動漏れを抑制することができる。また、振動子基体が被検出体に固定される支持棒と 1 カ所で連結しているため、環境温度の変化に基づいて振動子の各要素が膨張または収縮しても支持棒から振動子基体に加わる応力は発生しない。したがって、振動子基体を経て支持棒に至る振動の漏れ量が温度変化の影響を受けない。そのため、振動ロスが少なく高感度でコリオリの力による振動を検出することができ、また、その検出値が環境温度のような外乱の影響を受けないため、高精度で安定した角速度検出を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施形態である角速度検出装置の振動子を示す図。

【図 2】図 1 の振動子がメタライズド基板に搭載されパッケージングされた状態を示す図。

【図 3】第 1 実施形態の角速度検出装置に用いられる励振回路 50、検出回路 60 および角速度演算回路 70 を示すと共に、これらの回路と振動片 12 ~ 15 に設けられた電極 21 ~ 28 および 31 ~ 38 との接続関係を示すブロック図。

【図 4】第 1 振動片 12 および 13 における逆圧電効果を説明するための図。

【図 5】第 2 振動片 14 および 15 における圧電効果を説明するための図。

【図 6】振動子の他の実施形態を示す平面図。

【符号の説明】

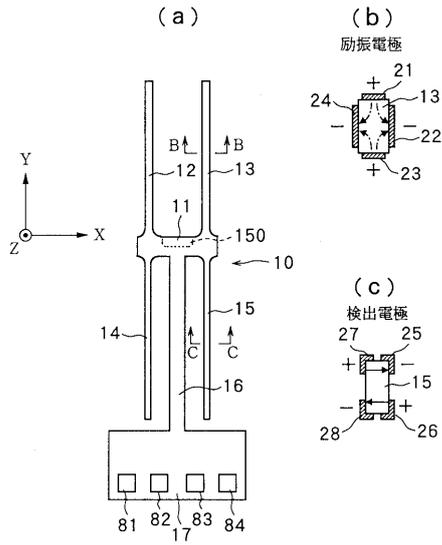
10、200 ... 振動子、11 ... 振動子基体、12、13 ... 第 1 振動片、14、15 ... 第 2 振動片、16、201 ... 支持棒、17 ... 固定板、21 ~ 28、31 ~ 38 ... 電極、50 ... 励振回路、60 ... 検出回路、70 ... 角速度演算回路、100 ... メタライズド基板。

10

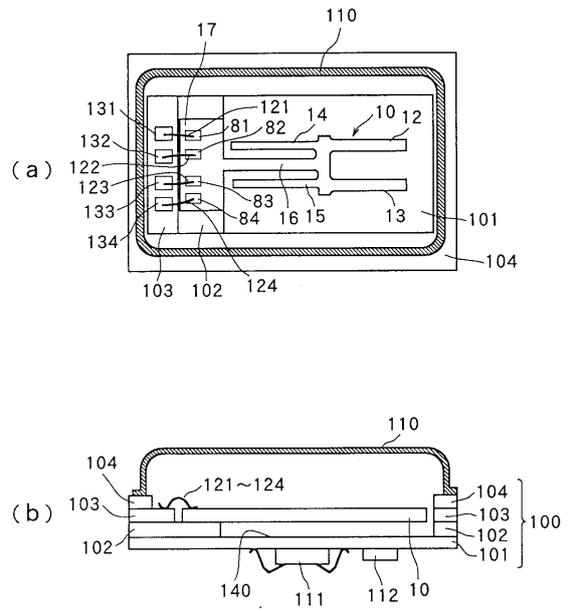
20

30

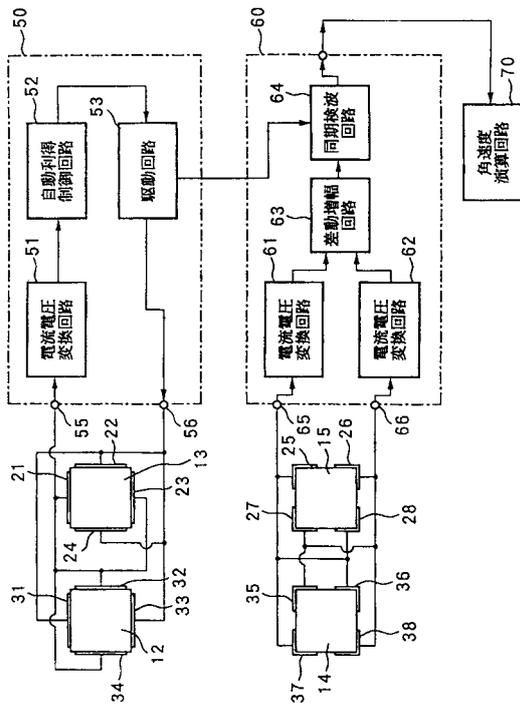
【 図 1 】



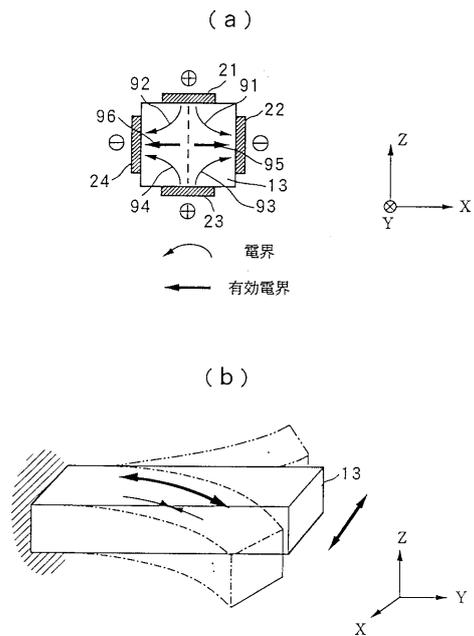
【 図 2 】



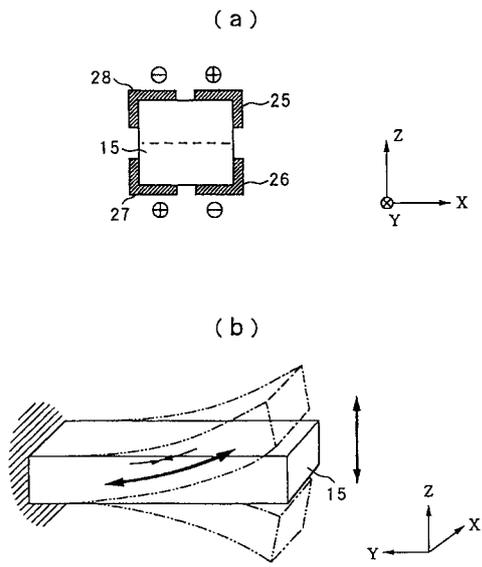
【 図 3 】



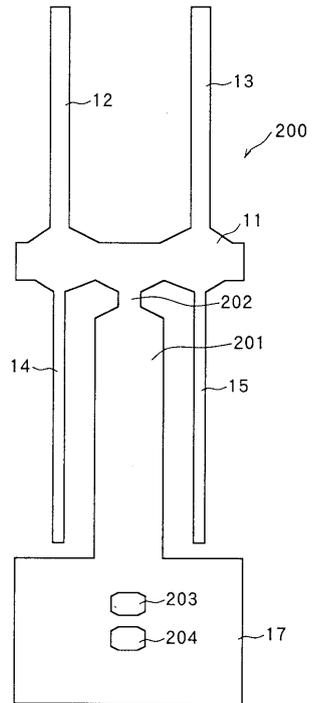
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 米国特許第03206986(US,A)
特開平08-061960(JP,A)
特開平08-040789(JP,A)
特開平08-170918(JP,A)
特開平07-055479(JP,A)
特開平10-054725(JP,A)
実開平02-101220(JP,U)
特表平04-504617(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01C 19/56

G01P 9/04