

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-209389

(P2008-209389A)

(43) 公開日 平成20年9月11日(2008.9.11)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G O 1 P 15/10 (2006.01)	G O 1 P 15/10	
H O 1 L 41/08 (2006.01)	H O 1 L 41/08	Z
H O 1 L 41/187 (2006.01)	H O 1 L 41/18	1 O 1 C
	H O 1 L 41/18	1 O 1 D
	H O 1 L 41/18	1 O 1 B
審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 19 頁)		

(21) 出願番号	特願2007-159832 (P2007-159832)	(71) 出願人	000002369
(22) 出願日	平成19年6月18日 (2007.6.18)		セイコーエプソン株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2006-279508 (P2006-279508)		東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(32) 優先日	平成18年10月13日 (2006.10.13)	(74) 代理人	100095728
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 上柳 雅誉
(31) 優先権主張番号	特願2007-17439 (P2007-17439)	(74) 代理人	100107261
(32) 優先日	平成19年1月29日 (2007.1.29)		弁理士 須澤 修
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100127661
			弁理士 宮坂 一彦
		(72) 発明者	西澤 竜太
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
		(72) 発明者	田中 雅子
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

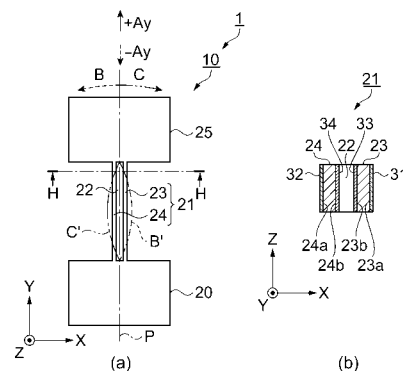
(54) 【発明の名称】 加速度センサ

(57) 【要約】

【課題】 小型で高感度な加速度センサを提供する。

【解決手段】 加速度センサ1は、基台に固定する基部20と、基部20から延出され所定の共振周波数にて平面方向に屈曲振動をする梁状の振動腕21と、からなる振動体10であって、振動腕21が、幅方向中央部に厚さ方向垂直に、且つ長手方向に開設される貫通孔22によって分割された振動腕部23、24と、分割された振動腕部23、24の先端部を連結する付加質量部25と、振動腕部23、24に設けられる励振手段としての励振電極31～34、を備え、振動腕21が、基部20と付加質量部25とにより擬似両端固定構造または片端固定構造で支持され、加速度が加えられたときの付加質量部25の慣性効果による振動体10の共振周波数変化を検出する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

基台に固定する基部と、前記基部から延出され所定の共振周波数にて平面方向に屈曲振動をする梁状の振動腕と、からなる振動体であって、

前記振動腕が、幅方向中央部に厚さ方向に垂直に、且つ長手方向に開設される貫通孔によって分割された振動腕部と、分割された前記振動腕部の先端部を連結する付加質量部と、前記振動腕部に設けられる励振手段と、を備え、

前記振動腕が、前記基部と前記付加質量部とにより擬似両端固定構造または片端固定構造で支持され、

加速度が加えられたときの前記付加質量部の慣性効果による前記振動体の共振周波数変化を検出することを特徴とする加速度センサ。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の加速度センサにおいて、

前記基部と、前記振動腕と、前記付加質量部と、からなる振動体が 2 組設けられ、

2 組の前記付加質量部を共通付加質量部とし、前記共通付加質量部の重心位置に対して点対称となるように 2 組の前記振動体が直線状に連結されていることを特徴とする加速度センサ。

【請求項 3】

基台に固定する基部と、前記基部から平行に延出され所定の共振周波数にて平面方向に屈曲振動をする梁状の複数の振動腕と、からなる振動体であって、

20

複数の前記振動腕それぞれの幅方向中央部に振動方向に対して垂直に、且つ長手方向に開設される少なくとも一つの貫通孔と、

複数の前記振動腕の先端部を連結する付加質量部と、

複数の前記振動腕それぞれの両側側面と、前記貫通孔内部側面とに設けられる励振電極と、を備え、

加速度が加えられたときの前記付加質量部の慣性効果による前記振動体の共振周波数変化を検出することを特徴とする加速度センサ。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の加速度センサにおいて、

前記貫通孔が、少なくとも複数の前記振動腕と前記基部との連結部近傍に設けられていることを特徴とする加速度センサ。

30

【請求項 5】

請求項 3 に記載の加速度センサにおいて、

前記貫通孔が、複数の前記振動腕に前記基部との連結部近傍と、前記付加質量部との連結部近傍と、長手方向中央部と、に開設されていることを特徴とする加速度センサ。

【請求項 6】

請求項 3 に記載の加速度センサにおいて、

前記基部と、前記貫通孔が開設された複数の前記振動腕と、前記付加質量部とからなる振動体が 2 組設けられ、

2 組の前記付加質量部を共通付加質量部とし、前記共通付加質量部の重心位置に対して点対称となるように 2 組の前記振動体が直線状に連結されていることを特徴とする加速度センサ。

40

【請求項 7】

請求項 1 ないし請求項 6 のいずれか一項に記載の加速度センサにおいて、

前記振動体が水晶からなることを特徴とする加速度センサ。

【請求項 8】

請求項 1 ないし請求項 6 のいずれか一項に記載の加速度センサにおいて、

前記振動体が恒弾性材料からなり、前記振動腕の側面に圧電素子膜が形成されていることを特徴とする加速度センサ。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、加速度が加えられたときに振動体の共振周波数が変化することを検出する加速度センサに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、撓みばねと、共振子と、フレームに懸架された振動質量を有するシリコンからなり、加速度が共振子の周波数の変化に基づき検出され、撓みばね及びフレーム及び振動質量が、シリコン小板の構造化によって作成される加速度センサというものが知られている（例えば、特許文献1参照）。

10

【0003】

また、シリコンウエハの基板上に一端が固定され、他方が変形可能な自由端を有するカンチレバーと、カンチレバーの表面に形成された圧電素子膜と、圧電素子膜の表裏両面に形成された金属電極と、カンチレバーの自由端に固定された重りとから構成される圧電振動子を含む加速度センサが知られている（例えば、特許文献2参照）。

【0004】

また、板状の振動体と、振動体の両面に対向して形成される圧電素子と、振動体の一端部を支持する支持手段を有し、振動体の一端部近傍に孔が形成され、振動体は長さ方向に振動する（つまり、縦振動）。振動体の振動方向の加速度により振動体と圧電素子とが撓み、この撓みにより圧電素子に発生する電圧を検出するという加速度センサも知られている（例えば、特許文献3参照）。

20

【0005】

さらに、加速度により移動可能な慣性体と、慣性体を支持し慣性体の移動時に変形する支持梁と、支持梁上に設置された共振体を備え、共振体は励振部と振動状態を検知する受信部と、振動を励振部から受信部に伝搬する伝搬部とからなり、加速度が印加された際、支持梁の変形に対応した共振体の変形により生じる共振体の振動状態の変化を、励振部への入力信号と受信部への出力信号により検出して印加された加速度を測定する加速度センサというものが知られている（例えば、特許文献4参照）。

【0006】

【特許文献1】特開平6-43179号公報（第3頁、図1）

30

【特許文献2】特開平2-248865号公報（第2、第3頁、図3、9）

【特許文献3】特開平8-146033号公報（第3頁、図1、2）

【特許文献4】特開平7-191052号公報（第1、2頁、図1）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述した特許文献1では、加速度が加えられて撓みばねが撓むことにより生ずる共振子の周波数変化量を検出している。また、検出感度を高めるために振動質量を付加している。また、特許文献2においても、カンチレバーの先端部に重りを付加して検出感度を高めている。そして、これら振動質量や重りは、加速度が加えられる方向に備えられているので、振動体を振動するために必要とされるエネルギーが大きくなるとともに、耐衝撃性が低下することが考えられる。

40

また、加速度センサの小型化が困難となるという課題がある。

【0008】

また、特許文献3では、振動体の縦振動を用いており、縦振動の場合は周波数の変化量が屈曲振動に比べ極めて小さく、検出感度を高めることが難しい。また、振動体の支持構造が複雑になることと、そのために振動漏れが発生し易いという課題がある。

【0009】

さらに、振動体の一端部近傍に孔が設けられており、この孔の周縁部に応力集中が発生し易い構造のため、耐衝撃性が低下するという課題もある。

50

【 0 0 1 0 】

また、特許文献 4 による加速度センサは、支持梁に発生する変形を、支持梁に接合された共振体により検出するという構造である。支持梁と共振体とは異種材料からなり構成する材質の熱膨張率が異なるため、温度変化による支持梁または共振体の変形差が生じ、これが周波数変化として出力されてしまうため、温度特性が悪いという課題を有している。

【 0 0 1 1 】

また、支持梁と共振体とは接合されているため、接合部において加速度による力の伝搬ロスが生じるとともに、接合部における長期的な信頼性を確保しにくいという課題もある。

【 0 0 1 2 】

さらに、正確な加速度検出には、支持梁に対する共振体の位置精度が要求されるが、支持梁と共振体とが別部材であることから、位置精度をだしにくいので製造コストが増加し、小型化も困難であると予測される。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の形態または適用例として実現することが可能である。

【 0 0 1 4 】

[適用例 1] 本適用例の加速度センサは、基台に固定する基部と、前記基部から延出され所定の共振周波数にて平面方向に屈曲振動をする梁状の振動腕と、からなる振動体であって、前記振動腕が、幅方向中央部に厚さ方向に垂直に、且つ長手方向に開設される貫通孔によって分割された振動腕部と、分割された前記振動腕部の先端部を連結する付加質量部と、前記振動腕部に設けられる励振手段と、を備え、前記振動腕が、前記基部と前記付加質量部とにより擬似両端固定構造または片端固定構造で支持され、加速度が加えられたときの前記付加質量部の慣性効果による前記振動体の共振周波数変化を検出することを特徴とする。

【 0 0 1 5 】

なお、擬似両端固定構造とは、例えば、振動体の基部が固定端で、振動腕の先端部（付加質量部に相当する部分）は自由端ではあるが、付加質量部が大きいため先端部がほとんど振動しないような固定構造を意味する。

【 0 0 1 6 】

本適用例によれば、加速度が加えられたときに付加質量部の慣性効果により、振動腕に伸縮応力（引っ張り応力と圧縮応力）が発生することで振動体の共振周波数が変化することを利用して加速度を検出するものである。具体的には、振動腕に引っ張り応力が発生するときには共振周波数は高くなり、振動腕に圧縮応力が発生するときには共振周波数が低くなる。この振動体は片端固定構造の屈曲振動のため、加速度が加えられることによる共振周波数変化量が前述した従来技術の縦振動よりも大きくなり、高い検出感度の加速度センサを実現できる。

【 0 0 1 7 】

また、振動腕の長手方向に貫通孔が設けられることにより、振動腕部は断面積が小さくなり、側面に設けられる励振電極間の距離が小さいため電界効率がよく、その結果消費電流を低く抑えることができる。

【 0 0 1 8 】

また、振動腕は貫通孔により断面積が小さい 2 本の振動腕部に分割される。従って、加速度が加えられた際の屈曲部に発生する伸縮応力が大きくなり、共振周波数の変化量がより大きくなることから検出感度を高めることができる。

【 0 0 1 9 】

さらに、本適用例による加速度センサは、振動腕に発生する伸縮応力による共振周波数変化を検出する構造のため、仮に振動体をパッケージングする際において、加速度による振動腕の長さ方向の伸縮は非常に小さく、振動腕が屈曲振動をする範囲のスペースがあれ

10

20

30

40

50

ばよく、小型化できるという効果を有する。

【 0 0 2 0 】

また、本適用例による加速度センサは基部と振動腕とが一体で形成されているため、前述した従来技術（特許文献４）による支持梁と共振体とを別体で構成し接合する構造のように、それぞれの熱膨張率が異なることから生じる温度変化による支持梁または共振体の変形差が周波数変化として出力されてしまうことがなく、温度特性がよい加速度センサを実現できる。

【 0 0 2 1 】

また、従来技術のような支持梁と共振体とを接合する構造に比べ接合部がないため、接合部における加速度により発生する力の伝搬ロスが生じることもなく、さらに、長期的な信頼性を確保できるという効果がある。

さらに、基部と振動腕とが一体でかつ同一平面内に形成されていることから、厚さ方向への突出部が存在せず薄型化を実現できる。

【 0 0 2 2 】

〔適用例２〕上記適用例に記載の加速度センサであって、前記基部と、前記振動腕と、前記付加質量部と、からなる振動体が２組設けられ、２組の前記付加質量部を共通付加質量部とし、前記共通付加質量部の重心位置に対して点対称となるように２組の前記振動体が直線状に連結されていることが好ましい。

【 0 0 2 3 】

このような構造によれば、付加質量部を挟んで対向する一対の振動体を有する構造体が構成される。この際、それぞれ対向する振動腕は、付加質量部が十分大きな質量を有しているため、互いに逆位相の高次の屈曲振動モードを有し、振動バランスがよい振動体を構成することができる。つまり高いＱ値が得られる。

【 0 0 2 4 】

また、加速度が加えられたとき、隣り合う振動腕部の一方の振動腕部には圧縮応力が発生し、他方の振動腕部には引っ張り応力が発生する。このような構造の場合、両振動体の共振周波数の差動をとることで周波数温度特性の影響を打ち消すことができるという効果がある。

【 0 0 2 5 】

〔適用例３〕本適用例に記載の加速度センサは、基台に固定する基部と、前記基部から平行に延出され所定の共振周波数にて平面方向に屈曲振動をする梁状の複数の振動腕と、からなる振動体であって、複数の前記振動腕それぞれの幅方向中央部に振動方向に対して垂直に、且つ長手方向に開設される少なくとも一つの貫通孔と複数の前記振動腕の先端部を連結する付加質量部と、複数の前記振動腕それぞれの両側側面と、前記貫通孔内部側面とに設けられる励振電極と、を備え、加速度が加えられたときの前記付加質量部の慣性効果による前記振動体の共振周波数変化を検出することを特徴とする。

【 0 0 2 6 】

このように構成される加速度センサは、付加質量部で先端部が連結された複数の振動腕に貫通孔を設けている。従って、振動腕の断面積が小さくなり、加速度を加えたときの振動腕の変位量を大きくとれることから検出感度を高めることができる。

さらに、振動腕の両側側面と貫通孔の内側側面に励振電極を設けているので、励振電極間の距離が短くなり電界効率が高まる。このことから低消費電力化が可能となるという効果がある。

【 0 0 2 7 】

〔適用例４〕適用例３に記載の加速度センサであって、前記貫通孔が、少なくとも複数の前記振動腕と前記基部との連結部近傍に設けられていることが好ましい。

【 0 0 2 8 】

振動腕と基部との連結部近傍は、屈曲振動において歪みが最も大きい位置である。従って、このような歪みが大きい位置に貫通孔を設け、振動腕の両側側面と貫通孔の内側側面に励振電極を設けることにより励振電極間の距離が短くなり、電界効率を高めることがで

10

20

30

40

50

き、低消費電力化を実現できる。

【 0 0 2 9 】

[適用例 5] 適用例 3 に記載の加速度センサであって、前記貫通孔が、複数の前記振動腕に前記基部との連結部近傍と、前記付加質量部との連結部近傍と、長手方向中央部と、に開設されていることが好ましい。

【 0 0 3 0 】

このようにすれば、屈曲振動において歪みが最も大きい位置と、振動腕の中央部及び先端部に貫通孔を有し、励振電極を設けることにより、一層電界効率を高めることができ、低消費電力化を実現できる。

【 0 0 3 1 】

[適用例 6] 適用例 3 に記載の加速度センサであって、前記基部と、前記貫通孔が開設された複数の前記振動腕と、前記付加質量部とからなる振動体が 2 組設けられ、2 組の前記付加質量部を共通付加質量部とし、前記共通付加質量部の重心位置に対して点対称となるように 2 組の前記振動体が直線状に連結されていることが好ましい。

【 0 0 3 2 】

このようにすれば、付加質量部を挟んで対向する一对の湾曲された振動腕からなる振動体を有する両端固定構造の振動体が構成されることになる。この際、それぞれ対向する振動腕は、逆位相の高次の屈曲振動モードを有し、振動バランスがよい振動体を構成することができる。つまり高い Q 値が得られる。

【 0 0 3 3 】

[適用例 7] 上記適用例に記載の加速度センサであって、前記振動体が水晶からなることが好ましい。

【 0 0 3 4 】

振動体の材質としては、圧電性を有する材料であれば特に限定されないが、水晶にすれば、周波数温度特性がよいこと、貫通孔を含めてフォトリソグラフィ技術により一体形成が容易であり製造し易く、高精度で形成することができる。

【 0 0 3 5 】

[適用 8] 上記適用例に記載の加速度センサであって、前記振動体が恒弾性材料からなり、前記振動腕の側面に圧電素子膜が形成されていることが好ましい。

【 0 0 3 6 】

恒弾性材料としては、例えば、ニッケル、鉄、クロム、チタン、あるいはそれらの合金であるエリンバ、鉄 - ニッケル合金などが含まれる。

このように、振動体として恒弾性材料を用いることにより構造的強度が高まり、強い加速度領域の検出に対応できるという効果がある。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 3 7 】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

図 1 ~ 図 5 は実施形態 1 に係る加速度センサを示し、図 6 は実施形態 2、図 7 は実施形態 3、図 8 は実施形態 4、図 9 は実施形態 5、図 10 は実施形態 6、図 11 は実施形態 7 を示している。

なお、以下の説明で参照する図は、図示の便宜上、部材ないし部分の縦横の縮尺は実際のものとは異なる模式図である。

(実施形態 1)

【 0 0 3 8 】

図 1 は、実施形態 1 に係る加速度センサの 1 例を示し、(a) は正面図、(b) は (a) の H - H 切断面を示す断面図である。図 1 (a) において、加速度センサ 1 は、基台 (図示せず) に固定する基部 20 と、基部 20 の端面から延出され所定の共振周波数にて平面方向に屈曲振動をする梁状の振動腕 21 と、を有する振動体 10 により構成される。

【 0 0 3 9 】

振動体 10 は圧電性材料により形成されている。圧電性材料としては、チタン酸鉛 (P

10

20

30

40

50

b T i O₃)、チタン酸ジルコン酸鉛 (P Z T (登録商標))、酸化亜鉛 (Z n O)、水晶等を使用することができるが、本実施形態では、周波数温度特性が優れ、高い Q 値を有する水晶を使用した場合を例示して説明する。

【 0 0 4 0 】

振動体 1 0 は、X Y 平面に展開された Z 板であって、基部 2 0 の一边の中央から Y 軸方向に単純梁状の振動腕 2 1 が延出されて構成されている。基部 2 0 は、振動体 1 0 を図示しないパッケージの基台に固定するための固定部である。振動腕 2 1 の幅方向 (X 軸方向) 中央部には、振動腕 2 1 の振動方向に対して垂直、つまり厚さ方向 (Z 軸方向) に貫通し、且つ、長手方向 (Y 軸方向) に沿って貫通孔 2 2 が開設されている。

【 0 0 4 1 】

振動腕 2 1 の先端部 (自由端) には、付加質量部 2 5 が形成されている。付加質量部 2 5 は、本実施形態では、基部 2 0 と同等な質量または、さらに大きな質量となるように平面サイズが設定されている。また、貫通孔 2 2 の一方の端部は基部 2 0 との連結部まで達し、他方の端部は付加質量部 2 5 との連結部まで達している。

なお、付加質量部 2 5 の大きさは、上述した擬似両端固定構造となる範囲で任意の大きさに設定することができる。

【 0 0 4 2 】

振動腕 2 1 は、貫通孔 2 2 により振動腕部 2 3 と振動腕部 2 4 とに分割され、先端部は付加質量部 2 5 によって連結されている。振動腕部 2 3 , 2 4 は、振動腕 2 1 の中心軸 P に対して対称形である。これら振動腕部 2 3 , 2 4 それぞれの側面には励振電極が形成されている。

【 0 0 4 3 】

次に、図 1 (b) を参照して励振手段としての励振電極の構成について説明する。振動腕部 2 3 の外側面 2 3 a には励振電極 3 1、内側面 2 3 b には励振電極 3 3 が形成されている。また、振動腕部 2 4 の外側面 2 4 a には励振電極 3 2、内側面 2 4 b には励振電極 3 4 が形成されている。励振電極 3 1 ~ 3 4 は、貫通孔 2 2 の概ね Y 軸方向側面の範囲全体に形成される。なお、励振電極 3 1 ~ 3 4 は検出電極を兼用する。

【 0 0 4 4 】

励振電極 3 1 , 3 2 は同電位の電極であり、励振電極 3 3 , 3 4 は励振電極 3 1 , 3 2 とは異なる電位の電極であり、図示しないが、それぞれが基部 2 0 の表面まで延在され、図示しない発振回路及び検出回路に接続される。

【 0 0 4 5 】

発振回路から励振電極 3 1 , 3 2、励振電極 3 3 , 3 4 それぞれに逆電位の励振信号が入力されると、振動腕 2 1 は、基部 2 0 との連結部近傍を振動の節として一次の屈曲振動をしようとする、付加質量部 2 5 が大きい、図 1 (a) に表すような二次の屈曲振動で共振する。

【 0 0 4 6 】

つまり、振動腕 2 1 に励振信号が入力されると、付加質量部 2 5 の先端部が矢印 C 方向に振動しようとするが大きな付加質量部 2 5 が存在するため、その移動量はごくわずかであり振動腕 2 1 は、二点鎖線 C ' で示すような二次の屈曲振動となる。

【 0 0 4 7 】

また、同様に、付加質量部 2 5 の先端部が矢印 B 方向に振動しようとするとき、付加質量部 2 5 が存在するため、その移動量はごくわずかであり振動腕 2 1 は、破線 B ' で示すような二次の屈曲振動となる。

【 0 0 4 8 】

従って、このような振動体 1 0 は基部を固定部とする片端固定構造ではあるが、付加質量部 2 5 を基部 2 0 と同等か、さらに大きな質量とすることにより、付加質量部 2 5 と基部 2 0 との間であたかも擬似両端固定構造が構成されているといえる。そのことから振動腕 2 1 は、振動腕 2 1 と基部 2 0 との連結部近傍と、振動腕 2 1 と付加質量部 2 5 との連結部近傍と、に振動の節を有する高次の屈曲振動モードとなる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 9 】

次に、加速度検出について説明する。

図 1 (a) において、振動腕 2 1 が X 軸方向に所定の共振周波数で二次の屈曲振動しているときに、+ Y 軸方向の加速度 + A y が加えられると、振動腕 2 1 の基部 2 0 との連結部及び屈曲部には付加質量部 2 5 の慣性効果により圧縮応力が発生する。圧縮応力が発生すると共振周波数は低くなる方向に変化する。また、- Y 軸方向に加速度 - A y が加えられると、振動腕 2 1 の基部 2 0 との連結部及び屈曲部には引っ張り応力が発生する。引っ張り応力が発生すると共振周波数は高くなる方向に変化する。

【 0 0 5 0 】

この共振周波数変化を検出回路にて検出し、検出された共振周波数を変換回路 (図示せず) で電圧に変換し、加速度として検出することができる。

なお、共振周波数を位相速度としてとらえ、位相速度の変化値を微分回路にて時間で微分して加速度とする構成としてもよい。

【 0 0 5 1 】

従って、上述した実施形態 1 によれば、加速度が加えられたときに付加質量部 2 5 の慣性効果により、振動腕 2 1 に伸縮応力 (引っ張り応力と圧縮応力) が発生することによる振動体 1 0 の共振周波数が変化することを利用して加速度を検出するものである。具体的には、振動腕 2 1 に引っ張り応力が発生するときには共振周波数は高くなり、振動腕 2 1 に圧縮応力が発生するときには共振周波数が低くなる。従って、この振動体 1 0 によれば、加速度が加えられることによる共振周波数変化量が前述した従来技術の縦振動よりも大きくなり、高い検出感度の加速度センサを実現できる。

【 0 0 5 2 】

また、振動腕 2 1 の長手方向に貫通孔 2 2 が設けられることにより、振動腕部 2 3 , 2 4 の断面積が小さくなり、側面に設けられる励振電極間の距離が小さくなるため電界効率が高く、その結果消費電流を低く抑えることができる。

【 0 0 5 3 】

また、振動腕 2 1 は貫通孔 2 2 により断面積が小さい 2 本の振動腕部 2 3 , 2 4 に分割される。従って、加速度が加えられた際の屈曲部に発生する伸縮応力が大きくなり、共振周波数の変化量がより大きくなることから検出感度を高めることができる。

【 0 0 5 4 】

また、付加質量部 2 5 を振動腕に対して十分に大きくすることで、振動腕 2 1 の先端部の移動量は極めて小さい。従って、振動腕 2 1 は、付加質量部 2 5 と基部 2 0 との間で擬似両端固定構造が構成されることから高次の屈曲振動モードとなる。このような高次の屈曲振動モードにおいて、検出感度がよい加速度センサを実現できる。

【 0 0 5 5 】

さらに、本実施形態による加速度センサ 1 は、振動腕 2 1 に発生する伸縮応力による共振周波数変化を検出する構造である。従って、大きな質量を有する付加質量部 2 5 を設けることにより、加速度が加えられた際の屈曲部に発生する引っ張り応力または圧縮応力が大きくなることから検出感度を高めることができる。

【 0 0 5 6 】

なお、付加質量部 2 5 の大きさは、上述した擬似両端支持構造となる範囲で任意の大きさに設定することができる。振動体 1 0 をパッケージングする際において、加速度による振動腕 2 1 の長さ方向の伸縮は非常に小さく、振動腕 2 1 が屈曲振動をする範囲のスペースがあればよく、小型化できるという効果を有する。

【 0 0 5 7 】

また、基部 2 0 と振動腕 2 1 とが一体で形成されているため、前述した従来技術 (特許文献 4) による支持梁と共振体とを別体で構成し接合する構造のように、それぞれの熱膨張率が異なることから生じる温度変化による支持梁または共振体の変形差が周波数変化として出力されてしまうことがなく、温度特性がよい加速度センサを実現できる。

【 0 0 5 8 】

また、従来技術のような支持梁と共振体とを接合する構造に比べ接合部がないため、接合部における加速度により発生する力の伝搬ロスが生じることもなく、さらに、長期的な信頼性を確保できるという効果がある。

さらに、振動体 10 の材質を水晶とし、基部 20 と振動腕 21 とが一体でかつ同一平面内に形成することから、周波数温度特性がよく、貫通孔 22 を含めてフォトリソグラフィ技術により一体形成が容易であり製造し易く、高精度で形成することができる。また、厚さ方向への突出部が存在せず薄型化を実現できる。

【0059】

なお、上述した実施形態 1 は、擬似両端固定構造を例示したものであるが、片端固定構造の振動体にも適応可能である。

(変形例 1)

【0060】

続いて、実施形態 1 の変形例 1 に係る加速度センサについて図面を参照して説明する。変形例 1 は、振動体が片端固定構造で一次の屈曲振動をする形態であることを特徴とする。

図 2 は、変形例 1 に係る加速度センサの構成を示す斜視図である。図 2 において、加速度センサとしての振動体 10 は、付加質量部 25 を除いて前述した実施形態 1 (図 1、参照)と同形状をしている。付加質量部 25 は、振動腕 21 の延長上に設けられており、振動腕 21 は、貫通孔 22 によって振動腕部 23, 24 に分割されている。

【0061】

振動腕部 23, 24 の側面には、図 1 で表される励振電極 31 ~ 34 が設けられている。発振回路から励振電極 31, 32、励振電極 33, 34 それぞれに逆電位の励振信号が入力されると、振動腕 21 は、基部 20 との連結部近傍を振動の節として一次の屈曲振動をする(矢印 A で図示)。

【0062】

加速度の検出は実施形態 1 と同様に行う。つまり、振動腕 21 が X 軸方向に所定の共振周波数で一次の屈曲振動しているときに、+ Y 軸方向の加速度 + A_y が加えられると、振動腕 21 の基部 20 との連結部及び屈曲部には付加質量部 25 の慣性効果により圧縮応力が発生する。圧縮応力が発生すると共振周波数は低くなる方向に変化する。また、- Y 軸方向に加速度 - A_y が加えられると、振動腕 21 の基部 20 との連結部及び屈曲部には引っ張り応力が発生する。引っ張り応力が発生すると共振周波数は高くなる方向に変化する。この共振周波数変化を検出回路にて検出し、検出された共振周波数を変換回路(図示せず)で電圧に変換し、加速度として検出することができる。

【0063】

なお、振動腕の総長さ L_1 に対する貫通孔 22 の長さ L_2 の比を変えることで、加速度による周波数変動量が変動することがシミュレーション及び実験によって確認されている。

図 3 は、振動腕の総長さ L_1 に対する貫通孔の長さ L_2 の比と周波数変動量の関係について示すグラフである。図 3 に示すように、加速度 (m/s^2) に対する周波数変動量 ($ppm/(m/s^2)$) は、振動腕の総長さ L_1 に対する貫通孔 22 の長さ L_2 の比 (L_2/L_1 (%) で表す)に従い変化する。

【0064】

このグラフから、 L_2/L_1 が 0 のとき(貫通孔 22 がないとき)、周波数変動量は $0.1 ppm/(m/s^2)$ であり、貫通孔 22 がない場合でも加速度の検出が可能であることを示している。しかし、周波数変動量が $0.1 ppm/(m/s^2)$ では検出感度が低く、実用上好ましくない。

【0065】

L_2/L_1 が大きくなるに従い周波数変動量が大きくなり、80%近傍で最大値を示す。そして、 L_2/L_1 が 80%を中心として $\pm 20\%$ の範囲で、周波数変動量が概ね $1 ppm/(m/s^2)$ 以上の検出感度を示しており、実用上好ましいレベルである。

【0066】

10

20

30

40

50

このような変形例 1 によれば、振動体 10 が片端固定構造で一次の屈曲振動の構造においても、前述した実施形態 1 と同様な効果が得られる。

(変形例 2)

【0067】

続いて、実施形態 1 の変形例 2 に係る加速度センサについて図面を参照して説明する。変形例 2 は、振動腕の自由端に一次の屈曲振動をする程度の大きな付加質量部を設けたことに特徴を有している。従って、前述した実施形態 1 (図 1、参照) との相違箇所を中心に説明する。共通部分には実施形態 1 と同じ符号を附している。

図 4 は、本変形例に係る振動体を示す正面図である。図 4 において、振動体 10 は、基部 20 の一辺の中央から Y 軸方向に梁状の振動腕 21 が垂直に延出されている。振動腕 21 の幅方向 (X 軸方向) 中央には、厚さ方向 (Z 軸方向) に貫通し、且つ、長手方向 (Y 軸方向) に沿って貫通孔 22 が開設されている。

【0068】

貫通孔 22 は実施形態 1 (図 1、参照) と同様な位置、大きさで形成されており、貫通孔 22 の長さとは付加質量部 25 を含む振動腕 21 の総長さとの関係も概ね実施形態 1 に準じている。振動腕 21 の先端部 (自由端) には、付加質量部 25 が形成されている。付加質量部 25 は、変形例 1 (図 2、参照) よりも大きく、実施形態 1 (図 1、参照) よりも小さく設定されている。従って、振動腕 21 は、基部 20 との連結部近傍を振動の節とする一次の屈曲振動をする。

【0069】

振動腕 21 に上述したような付加質量部 25 を設けることにより、振動腕 21 の質量増加により、加速度が加えられた際の屈曲部に発生する引っ張り応力または圧縮応力が変形例 1 よりも大きくなり、検出感度を高めることができる。

(変形例 3)

【0070】

続いて、実施形態 1 の変形例 3 に係る加速度センサについて図面を参照して説明する。変形例 3 は、前述した実施形態 1 では 1 本の振動腕を備えていることに対し、振動腕を複数本備えていることに特徴を有している。ここでは、振動腕を 2 本備える構造を例示して説明する。

図 5 は、変形例 3 に係る振動体を示し、(a) は正面図、(b) は (a) の J - J 切断面を示す断面図である。図 5 (a)、(b) において、加速度センサとしての振動体 50 は、基部 51 の一辺から 2 本の振動腕 54, 58 が垂直に、且つ、平行に延出されている。つまり、この振動体 50 は音叉型振動体である。

【0071】

振動腕 54, 58 にはそれぞれ、幅方向中央部に貫通孔 55, 59 が開設されている。これら振動腕 54, 58 と貫通孔 55, 59 それぞれの形状は、前述した実施形態 1 (図 1、参照) の振動腕 21、貫通孔 22 に相当する。そして、貫通孔 55, 59 を設けることにより、振動腕 54 は振動腕部 56, 57 とに分割され、振動腕 58 は振動腕部 60, 61 に分割される。振動腕部 56, 57 は先端部を付加質量部 54a にて連結され、振動腕部 60, 61 は先端部を付加質量部 58a にて連結されている。

【0072】

図 5 (b) に示すように、振動腕部 56, 57, 60, 61 それぞれの側面には励振電極が形成されている。具体的には、振動腕部 56 の外側面 56a には励振電極 71、内側面 56b には励振電極 72 が設けられている。一方、振動腕部 57 の外側面 57a には励振電極 73、内側面 57b には励振電極 74 が形成されている。また、振動腕部 60 の外側面 60a には励振電極 77、内側面 60b には励振電極 78、振動腕部 61 の外側面 61a には励振電極 75、内側面 61b には励振電極 76 が形成されている。

【0073】

励振電極 71, 73, 76, 78 は同電位の電極群、励振電極 72, 74, 75, 77 は同電位の電極群であり、励振電極 71, 73, 76, 78 と励振電極 72, 74, 75

10

20

30

40

50

、 77 とに逆電位の励振信号が入力される。このような構成にすることで、振動腕 54 , 58 はそれぞれ矢印 B , C 方向、つまり、X 軸方向にそれぞれが逆相となるように一次の屈曲振動をする。

【0074】

基部 51 は、連結部 52 で振動腕 54 , 58 と連結されており、この領域に振動の節が存在する。連結部 52 と基部 51 との間にはくびれ部 53 が形成されている。くびれ部 53 は、振動腕 54 , 58 の振動を固定部に伝達させないために設けられている。

【0075】

このような構造は音叉型振動体であり、音叉型振動体は、構造対称性を有し、振動したときに振動腕 54 , 58 が互いに逆位相で振動することから振動漏れが小さく振動効率が高いという利点がある。

10

【0076】

また、振動腕 54 , 58 のそれぞれに貫通孔 55 , 59 が設けられているために、振動腕 54 , 58 の断面積が小さくなるので、発生する伸縮応力が大きくなる。従って、振動腕を複数有する形状であっても加速度による収縮応力や引っ張り応力が高くなり共振周波数変化量が大きく、高い検出感度を得られる。

なお、本実施形態では、振動腕を 2 本備える構造を例示しているが、3 本でもそれ以上としてもよい。3 本の場合には、中央の振動腕を検出用とすることができる。

(実施形態 2)

【0077】

20

続いて、実施形態 2 に係る加速度センサについて図面を参照して説明する。実施形態 2 は、前述した実施形態 1 及び変形例が擬似両端固定構造または片端固定構造であることに対して、両端固定構造としたところに特徴を有している。

図 6 は、実施形態 2 に係る加速度センサを示す正面図である。図 6 において、加速度センサ 40 は、振動体 10 , 11 の 2 組の振動体が共通の付加質量部 25 において直線状に連結されて構成されている。

【0078】

図 6 に示すように、加速度センサ 40 の重心位置 G の右側は、基部 20 と振動腕 21 と付加質量部 25 とから構成される振動体 10、左側は基部 45 と振動腕 41 と付加質量部 25 とから構成される振動体 11 である。振動腕 21 は貫通孔 22 によって分割された振動腕部 23 , 24 を有し、それぞれに図 1 (b) に示すような励振電極が設けられている。

30

【0079】

一方、振動腕 41 は貫通孔 42 によって分割された振動腕部 43 , 44 を有し、それぞれに図 1 (b) に示すような励振電極が設けられている。従って、付加質量部 25 は、振動体 10 及び振動体 11 の共通付加質量部である。加速度センサ 40 は、重心位置 G に対して点对称形状であって、共通の付加質量部 25 において振動体 10 と振動体 11 の 2 組の振動体が直線状に連結された、基部 20 及び基部 45 を固定部とする両端固定構造である。また、付加質量部 25 は、基部 20 , 45 と同等または、それらよりも大きな質量となる平面サイズを有している。

40

【0080】

ここで、振動腕 21 , 41 それぞれに逆電位、逆位相、同じ周波数の励振信号を入力すると、付加質量部 25 は充分大きな質量を有しているため、矢印 D、矢印 E 方向の変位は極わずかである。従って、振動腕 21 は、振動腕 21 と基部 20 との連結部、及び振動腕 21 と付加質量部 25 との連結部近傍にある振動の節を有し、矢印 D' 方向または矢印 E' 方向に二次の屈曲振動となる。また、振動腕 41 は、振動腕 41 と基部 45 との連結部、及び振動腕 41 と付加質量部 25 との連結部近傍の振動の節を有し、振動腕 21 とは逆位相の二次の屈曲振動をする。

【0081】

上述した実施形態 2 の構造によれば、加速度センサ 40 は付加質量部 25 を挟んで対向

50

する振動体 10, 11 を有する両端固定構造となる。この際、それぞれの振動腕 21, 41 は、逆位相の高次の屈曲振動モードを有し、振動バランスがよい振動体を構成する。つまり高い Q 値が得られる。

【0082】

また、対向する振動腕 21, 41 は、Y 軸方向の加速度が加えられたとき、一方に収縮応力が発生し、他方の振動腕には引っ張り応力が発生する。このような構造の場合、両振動体の共振周波数の差動をとることで周波数温度特性の影響を打ち消すことができるという効果がある。

(実施形態 3)

【0083】

続いて、実施形態 3 に係る加速度センサについて図面を参照して説明する。実施形態 3 は、前述した実施形態 1, 2 では振動体として水晶を用いていることに對して恒弾性材料を用いることを特徴とする。本実施形態の振動体の形状は、前述した実施形態 1, 2 形状と同じ考え方が応用できるが、ここでは、実施形態 1 (図 1、参照) と同じ形状のものを例示して説明する。

図 7 は、実施形態 3 に係る振動体を示し、(a) は正面図、(b) は (a) の K - K 切断面を示す断面図である。図 7 (a)、(b) において、振動体 80 は、基部 81 の一辺から垂直方向に振動腕 82 が延出されて構成されている。基部 81 は、振動体 80 を図示しないパッケージの基台に固定するための固定部である。振動腕 82 の幅方向中央には、厚さ方向に貫通し、且つ、長手方向に長い貫通孔 83 が開設されている。

【0084】

なお、振動体 80 は、ニッケル、鉄、クロム、チタン、あるいはそれらの合金であるエリンパ、鉄 - ニッケル合金などの恒弾性材料からなり、所望の共振周波数、サイズに対応して選択する。

【0085】

振動腕 82 は、貫通孔 83 を設けることにより振動腕部 84, 85 に分割されている。振動腕部 84, 85 の先端部は付加質量部 82a で連結されている。そして、振動腕部 84, 85 それぞれの外側側面には、圧電素子膜 86, 87 が形成されている。図 7 (b) に示すように、圧電素子膜 86 には表裏両面のそれぞれに上部電極 88a、下部電極 88b が形成されている。また、下部電極 88b と振動腕部 84 の外側側面との間には絶縁性膜 (図示せず) が形成されている。

【0086】

一方、圧電素子膜 87 には表裏両面のそれぞれに上部電極 89a、下部電極 89b が形成されている。また、下部電極 89b と振動腕部 85 の外側側面との間には絶縁性膜 (図示せず) が形成されている。

【0087】

圧電素子膜 86, 87 にはそれぞれ逆電位の励振信号が入力されることにより、振動腕 82 は、実施形態 1 と同様な二次の屈曲振動をし、所定の共振周波数で安定した振動を継続する。

なお、圧電素子膜 86, 87 の材料としては、チタン酸鉛 ($PbTiO_3$)、チタン酸ジルコン酸鉛 (PZT (登録商標))、酸化亜鉛 (ZnO) 等を採用することができる。

【0088】

従って、上述した実施形態 3 によれば、前述した実施形態 1 の効果と、振動体 80 に恒弾性材料を用いることにより構造的強度が高まり、振動腕部 84, 85 の断面積を小さくしても、強い加速度領域の検出にも対応できるという効果がある。

(実施形態 4)

【0089】

続いて、実施形態 4 に係る加速度センサについて図面を参照して説明する。実施形態 4 は、複数の振動腕それぞれに貫通孔が設けられていることに特徴を有している。なお、本実施形態では、振動腕が 2 本の場合を例示して説明する。

図 8 は、本実施形態に係る加速度センサを示し、(a) は正面図、(b) は励振電極の構成を拡大して示す部分正面図である。図 8 (a) において、加速度センサとしての振動体 1 0 0 は、基部 1 0 2 の 1 辺から貫通孔 1 0 1 によって分割された振動腕 1 0 5 , 1 1 2 が、互いに平行に延出され、それらの先端部は付加質量部 1 1 3 によって連結された片端固定構造である。

【 0 0 9 0 】

また、振動腕 1 0 5 は、貫通孔 1 0 6 を開設することによって振動腕部 1 0 7 , 1 0 8 が形成され、振動腕 1 1 2 は、貫通孔 1 0 9 を開設することによって振動腕部 1 1 0 , 1 1 1 が形成されている。なお、貫通孔 1 0 6 , 1 0 9 の長さは振動腕 1 0 5 , 1 1 2 の長さに略等しい。また、振動腕 1 0 5 と振動腕 1 1 2 とは、中心軸 P に対して対称形である。

10

【 0 0 9 1 】

基部 1 0 2 は、振動腕 1 0 5 , 1 1 2 との連結部 1 0 4 と、くびれ部 1 0 3 とを有し、付加質量部 1 1 3 においても振動腕 1 0 5 , 1 1 2 との連結部 1 1 5 と、くびれ部 1 1 4 とを有して構成されている。そして、図 8 (b) に示すように、振動腕 1 0 5 , 1 1 2 それぞれの両側側面と、貫通孔 1 0 6 , 1 0 9 内部側面には励振電極が形成されている。

【 0 0 9 2 】

各励振電極は図 8 (b) に示すように、振動腕部 1 1 0 の外側側面に励振電極 1 2 0 、貫通孔 1 0 9 の内側側面に励振電極 1 2 1 , 1 2 2 が設けられ、貫通孔 1 0 1 の内側側面には励振電極 1 2 3 , 1 2 4 、貫通孔 1 0 6 の内側側面には励振電極 1 2 5 , 1 2 6 が設けられ、さらに、振動腕部 1 0 7 の外側側面には励振電極 1 2 7 が設けられている。

20

【 0 0 9 3 】

これらの励振電極 1 2 0 ~ 1 2 3 と、励振電極 1 2 4 ~ 1 2 7 とは、中心軸 P に対して対称形となるように構成されている。そして、励振電極 1 2 0 , 1 2 2 , 1 2 5 , 1 2 7 は同電位の第 1 電極群であって、励振電極 1 2 1 , 1 2 3 , 1 2 4 , 1 2 6 は同電位の第 2 電極群である。

【 0 0 9 4 】

ここで、第 1 電極群と第 2 電極群とに逆相の電位を印加することにより、振動腕 1 0 5 及び振動腕 1 1 2 は、基部 1 0 2 の連結部に振動の節を有する一次の屈曲振動をする。

【 0 0 9 5 】

この加速度センサに軸方向の加速度が加えられると、振動腕 1 0 5 , 1 1 2 に伸縮応力が発生することによる共振周波数の変化を生じ、この共振周波数の変化を加速度として検出する。

30

なお、本実施形態における貫通孔 1 0 6 , 1 0 9 に対して励振電極の配置は、振動腕 1 0 5 , 1 1 2 が一次の屈曲振動をするために様々に設定することが可能である。

【 0 0 9 6 】

例えば、励振電極 1 2 0 ~ 1 2 7 の全部または一部を、振動腕 1 0 5 , 1 1 2 の基部 1 0 2 の方向に偏らせて配置させることができる。一次の屈曲振動において、振動による歪みが大きく発生する部分は、振動腕 1 0 5 、 1 1 2 と基部 1 0 2 (連結部 1 0 4) との連結部付近となるので、この歪みが大きい部分に励振電極を設けてもよい。

40

【 0 0 9 7 】

同様に、本実施形態における貫通孔 1 0 6 , 1 0 9 の形状、開設位置、それに伴う励振電極の配置は様々に設定することが可能である。

(実施形態 5)

【 0 0 9 8 】

次に、実施形態 5 に係る加速度センサについて図面を参照して説明する。本実施形態は、貫通孔が基部方向に偏らせて配置されていることを特徴とする。従って、実施形態 4 (図 8 、参照) と異なる部分を中心に説明する。

図 9 は、実施形態 5 に係る振動体を示し、(a) は正面図、(b) は励振電極の構成を拡大して示す部分正面図である。図 9 (a) において、振動腕 1 0 5 , 1 1 2 にはそれぞ

50

れ貫通孔 1 5 1 , 1 5 3 が開設されている。貫通孔 1 5 1 , 1 5 3 は、基部 1 0 2 側に偏って開設され、連結部 1 0 4 から振動腕 1 0 5 , 1 1 2 の長さの略中央部までの範囲に設けられる。

【 0 0 9 9 】

なお、貫通孔 1 5 1 , 1 5 3 は、振動腕 1 0 5 , 1 1 2 が一次の屈曲振動の際に発生する歪みが大きい範囲に設けられている。

【 0 1 0 0 】

励振電極は、図 9 (b) に示すように、振動腕 1 0 5 と振動腕 1 1 2 の外側側面と、貫通孔 1 0 1 , 1 5 1 , 1 5 3 の内側側面に設けられる。貫通孔 1 0 1 の内側側面には励振電極 1 2 3 , 1 2 4、貫通孔 1 5 3 の内側側面には励振電極 1 3 7 , 1 3 8、貫通孔 1 5 1 の内側側面には励振電極 1 4 1 , 1 4 2 が設けられている。また、振動腕 1 0 5 の両側側面の励振電極 1 2 4 , 1 2 7 は、概ね振動腕 1 0 5 の長さ範囲とし、振動腕 1 1 2 の両側側面の励振電極 1 2 0 , 1 2 3 は、概ね振動腕 1 1 2 の長さ範囲とする。

【 0 1 0 1 】

これらの励振電極 1 2 0 , 1 2 3 , 1 3 7 , 1 3 8 と、励振電極 1 2 4 , 1 2 7 , 1 4 1 , 1 4 2 とは、中心軸 P に対して対称形となるように構成されている。そして、励振電極 1 2 0 , 1 3 8 , 1 4 1 , 1 2 7 は同電位の第 1 電極群であって、励振電極 1 3 7 , 1 2 3 , 1 2 4 , 1 4 2 は同電位の第 2 電極群である。

【 0 1 0 2 】

ここで、第 1 電極群と第 2 電極群とに逆相の電位を印加することにより、振動腕 1 0 5 及び振動腕 1 1 2 は、基部 1 0 2 の連結部に振動の節を有する一次の屈曲振動をする。

【 0 1 0 3 】

この加速度センサに軸方向の加速度が加えられると、振動腕 1 0 5 , 1 1 2 に伸縮応力が発生することによる共振周波数の変化を生じ、この共振周波数の変化を加速度として検出する。

【 0 1 0 4 】

なお、上述した励振電極の配置は 1 例であって、励振電極 1 2 0 , 1 2 3 , 1 2 4 , 1 2 7 を励振電極 1 3 7 , 1 3 8 , 1 4 1 , 1 4 2 と同じ長さとなるように設けてもよい。

(実施形態 6)

【 0 1 0 5 】

続いて、実施形態 6 に係る加速度センサについて図面を参照して説明する。実施形態 6 は、各振動腕それぞれに複数の貫通孔が開設されていることを特徴とする。従って、実施形態 4 (図 8、参照) と異なる部分を中心に説明する。また、共通部分には同じ符号を附している。

図 1 0 は、実施形態 6 に係る加速度センサを示し、(a) は正面図、(b) は励振電極の構成を拡大して示す部分正面図である。図 1 0 (a) において、振動腕 1 0 5 には貫通孔 1 5 0 , 1 5 5 , 1 5 1 が、振動腕 1 1 2 には貫通孔 1 5 2 , 1 5 6 , 1 5 3 が開設されている。

【 0 1 0 6 】

貫通孔 1 5 0 , 1 5 2 は、振動腕 1 0 5 , 1 1 2 それぞれの付加質量部 1 1 3 の近傍に設けられている。具体的には、貫通孔 1 5 0 , 1 5 2 は付加質量部 1 1 3 から振動腕 1 0 5 , 1 1 2 の長手方向全長の概ね 3 0 % の範囲に設けられる。また、貫通孔 1 5 1 , 1 5 3 は、基部 1 0 2 の近傍に設けられている。なお、貫通孔 1 5 1 , 1 5 3 は基部 1 0 2 から振動腕 1 0 5 , 1 1 2 の長手方向全長の概ね 3 0 % の範囲に設けられる。さらに、振動腕 1 0 5 , 1 1 2 の長手方向中央部には、貫通孔 1 5 5 , 1 5 6 が設けられ、貫通孔 1 5 5 , 1 5 6 は、振動腕 1 0 5 , 1 1 2 の長手方向中央を中心として振動腕 1 0 5 , 1 1 2 の長手方向全長の 6 0 % 以内の範囲に設けられる。

【 0 1 0 7 】

貫通孔 1 5 1 , 1 5 3 は振動腕 1 0 5 , 1 1 2 が一次の屈曲振動をする際に発生する歪みが最も大きい位置に設けられ、貫通孔 1 5 5 , 1 5 6、貫通孔 1 5 0 , 1 5 2 は歪みは

10

20

30

40

50

徐々に小さくなる位置である。そして、振動腕 105, 112 の外側側面と貫通孔 150 ~ 153, 155, 156 の内側側面には、それぞれ励振電極が設けられている。

【0108】

図 10 (b) に示すように、振動腕 105 の外側側面には励振電極 127 が設けられている。また、貫通孔 150 の内側側面には励振電極 125, 126、貫通孔 151 の内側側面には励振電極 141, 142、貫通孔 155 の内側側面には励振電極 133, 134 が設けられている。また、貫通孔 101 の内側側面には励振電極 123, 124、貫通孔 152 には励振電極 121, 122、貫通孔 156 の内側側面には励振電極 129, 130、貫通孔 153 の内側側面には励振電極 137, 138 が設けられている。また、振動腕 112 の外側側面には励振電極 120 が設けられている。これら励振電極は、中心軸 P に対して対称である。

10

【0109】

なお、励振電極 120, 123, 124, 127 は同電位の第 1 電極群であって、励振電極 121, 122, 129, 130, 137, 138, 125, 126, 133, 134, 141, 142 は同電位の第 2 電極群である。

【0110】

ここで、第 1 電極群と第 2 電極群とに逆相の電位を印加することにより、振動腕 105 及び振動腕 112 は、基部 102 の連結部 104 に振動の節を有する一次の屈曲振動をする。

【0111】

20

この加速度センサに軸方向の加速度が加えられると、振動腕 105, 112 に伸縮応力が発生することによる共振周波数の変化を生じ、この共振周波数の変化を加速度として検出する。

【0112】

なお、上述した実施形態 6 における励振電極の構成は 1 例であって、例えば、励振電極 120, 123, 124, 127 は、貫通孔 150, 151, 152, 153, 155, 156 それぞれに対向するように分割した構成としてもよい。

【0113】

以上説明したように、実施形態 4 では、振動腕 105, 112 それぞれの長手方向全体にわたって貫通孔 151, 153 が設けられ、また、実施形態 5 では基部 102 の近傍に貫通孔 106, 109 が設けられ、実施形態 6 では、さらに振動腕 105, 112 の長手方向中央部に貫通孔 155, 156 が設けられている。従って、基部 102 (連結部 104) 近傍に振動の節を有する一次の屈曲振動において発生する歪みの大きい位置と、それよりは小さいが歪みが発生する位置に貫通孔を設けていることから、振動腕 105, 112 の変形する位置の断面積が小さくなり発生する応力が大きくなる。また、加速度を加えたときの振動腕 105, 112 の変位量が大きくとれることから共振周波数変化量が大きくなり検出感度を高めることができる。

30

【0114】

また、前述した実施形態 1 ~ 実施形態 3 よりもさらに励振電極間の距離が短くなり電界効率が高まる。このことから低消費電力化が可能となるという効果がある。

40

(実施形態 7)

【0115】

続いて、実施形態 7 に係る加速度センサについて図面を参照して説明する。実施形態 7 は、前述した実施形態 4 ~ 実施形態 6 による加速度センサ (振動体) が片端固定構造であることに對して、両端固定構造としたところに特徴を有している。

図 11 は、実施形態 7 に係る加速度センサを示す正面図である。図 11 において、加速度センサ 200 は、振動体 100, 180 が共通の付加質量部 113 において 2 組が直線状に連結されて構成されている。

【0116】

図 11 に示すように、加速度センサ 200 の重心位置 G の右側は、基部 102 と貫通孔

50

101によって分割された振動腕105, 112と付加質量部113とから構成される振動体100である。また、左側は基部160と貫通孔163によって分割された振動腕164, 165と付加質量部113とから構成される振動体180である。振動腕105, 112は貫通孔101によって分割されて形成されている。また、振動腕105は貫通孔106を有し、振動腕112は貫通孔109を有している。

一方、振動腕164には貫通孔166、振動腕165には貫通孔168が開設されている。

【0117】

また、基部102には、振動腕105, 112が連結される連結部104と、くびれ部103とが設けられている。振動腕105, 112が連結される付加質量部113には、
10 連結部115と、くびれ部114とが設けられている。

【0118】

一方、振動体180においては、基部160には、振動腕164, 165が連結される連結部162と、くびれ部161とが設けられている。振動腕164, 165が連結される付加質量部113には、連結部118と、くびれ部119とが設けられている。

【0119】

付加質量部113は、振動体100と振動体180との共通付加質量部であって、基部102, 160と同等か大きい質量を有して平面形状が設定されている。そして、加速度センサ200は、重心位置Gに対して点対称形状である。従って、加速度センサ200は、共通の付加質量部113において振動体100と、振動体100と同形状の振動体180とが直線状に連結され、基部102及び基部160を基台への固定部とする両端固定構造である。なお、振動体100, 180それぞれは、前述した実施形態4(図8、参照)と励振電極を含め同じ構成である。
20

【0120】

ここで、振動腕105, 112及び振動腕164, 165それぞれに前述した実施形態4と同様に逆電位、逆位相、同じ周波数の励振信号を入力すると、付加質量部113が十分大きな質量を有しているためほとんど変位せず、振動腕105, 112と振動腕164, 165は互いに基部102(連結部104), 160(連結部162)、付加質量部113との連結部近傍を振動の節とする二次の屈曲振動となる。
30

【0121】

従って、上述した実施形態7によれば、付加質量部113を挟んで対向する振動体100, 180を有する両端固定構造となる。この際、振動腕105, 112と振動腕164, 165とは、逆位相の二次の屈曲振動モードを有し、振動バランスがよい振動体を構成する。つまり高いQ値が得られる。

【0122】

また、対向する振動腕105, 112と振動腕164, 165は、Y軸方向の加速度が加えられたとき、一方に収縮応力が発生し、他方の振動腕には引っ張り応力が発生する。このような構造の場合、両振動体の共振周波数の差動をとることで周波数温度特性の影響を打ち消すことができるという効果がある。
40

【0123】

なお、本実施形態の構成における貫通孔は、前述した実施形態5(図9、参照)のように基部102側に偏らせる構成してもよく、実施形態6の(図10、参照)のように、振動腕105, 112のそれぞれに複数設ける構成としてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0124】

【図1】実施形態1に係る加速度センサの1例を示し、(a)は正面図、(b)は(a)のH-H切断面を示す断面図。

【図2】実施形態1の変形例1に係る加速度センサの構成を示す斜視図。

【図3】振動腕の総長さL1に対する貫通孔の長さL2の比と周波数変動量の関係について示すグラフ。
50

【図 4】実施形態 1 の変形例 2 に係る加速度センサを示す正面図。

【図 5】実施形態 1 の変形例 3 に係る加速度センサを示し、(a) は正面図、(b) は (a) の J - J 切断面を示す断面図。

【図 6】実施形態 2 に係る加速度センサを示す正面図。

【図 7】実施形態 3 に係る加速度センサを示し、(a) は正面図、(b) は (a) の K - K 切断面を示す断面図。

【図 8】実施形態 4 に係る加速度センサを示し、(a) は正面図、(b) は励振電極の構成を拡大して示す部分正面図。

【図 9】実施形態 5 に係る振動体を示し、(a) は正面図、(b) は励振電極の構成を拡大して示す部分正面図。

【図 10】実施形態 6 に係る加速度センサを示し、(a) は正面図、(b) は励振電極の構成を拡大して示す部分正面図。

【図 11】実施形態 7 に係る加速度センサを示す正面図。

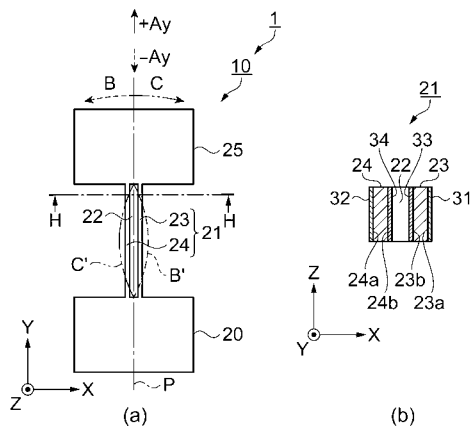
【符号の説明】

【 0 1 2 5 】

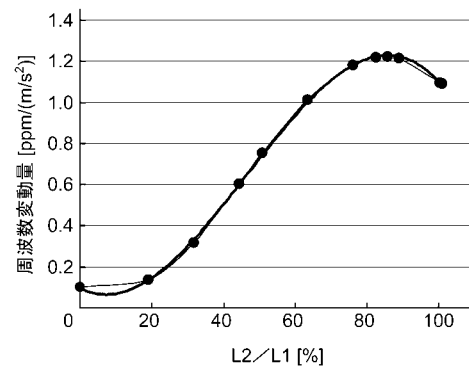
1 ... 加速度センサ、10 ... 振動体、20 ... 基部、21 ... 振動腕、22 ... 貫通孔、23 , 24 ... 振動腕部、25 ... 付加質量部、31 ~ 34 ... 励振手段としての励振電極。

10

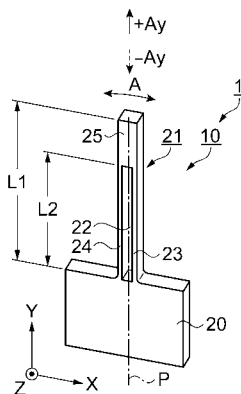
【 図 1 】



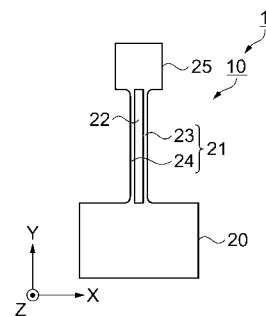
【 図 3 】



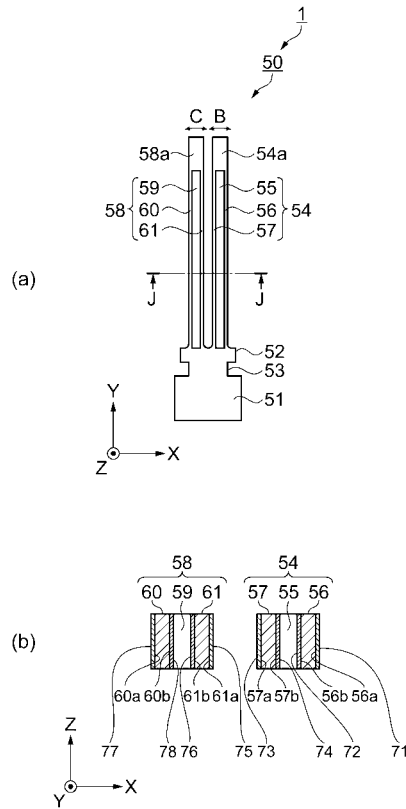
【 図 2 】



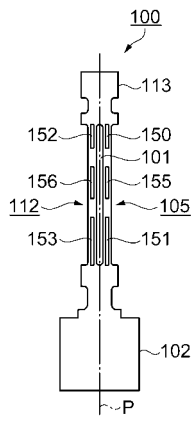
【 図 4 】



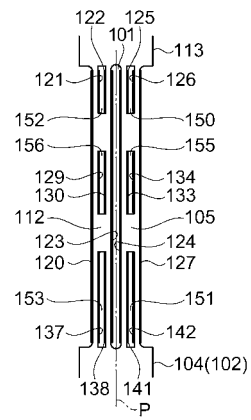
【図 5】



【図 10】



(a)



(b)

【図 11】

