

(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2008-209388
(P2008-209388A)

(43) 公開日 平成20年9月11日(2008.9.11)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
GO 1 P 15/10 (2006.01)	GO 1 P 15/10	
HO 1 L 41/08 (2006.01)	HO 1 L 41/08	Z
HO 1 L 41/18 (2006.01)	HO 1 L 41/18	1 O 1 A
HO 1 L 41/187 (2006.01)	HO 1 L 41/18	1 O 1 B
	HO 1 L 41/18	1 O 1 C

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 26 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2007-159831 (P2007-159831)	(71) 出願人	000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(22) 出願日	平成19年6月18日 (2007. 6. 18)	(74) 代理人	100095728 弁理士 上柳 雅善
(31) 優先権主張番号	特願2006-279508 (P2006-279508)	(74) 代理人	100107261 弁理士 須澤 修
(32) 優先日	平成18年10月13日 (2006. 10. 13)	(74) 代理人	100127661 弁理士 宮坂 一彦
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	西澤 龍太 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
(31) 優先権主張番号	特願2007-17439 (P2007-17439)	(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
(32) 優先日	平成19年1月29日 (2007. 1. 29)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

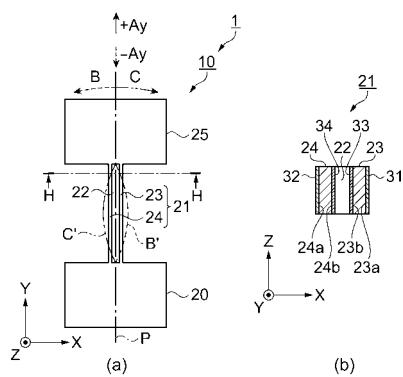
(54) 【発明の名称】 加速度センサ

(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から伸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、幅方向中央部に振動方向に対して垂直に、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基部20と同等かまたは大きい質量を有する付加質量部25と、振動腕部に設けられる励振電極31～34と、を備え、振動腕21が、基部20と付加質量部25とで擬似両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、幅方向中央部において厚さ方向に、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。 20

【請求項 3】

請求項 1 に記載の加速度センサにおいて、

前記振動腕部が幅方向に前記振動腕の中心軸に対して対称に湾曲して形成されており、前記振動腕の軸方向に加速度が加えられたときに、前記付加質量部の慣性効果により前記振動腕部の軸方向に垂直な面に平行な断面の形状が変化することによる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。 20

【請求項 4】

請求項 3 に記載の加速度センサにおいて、

前記付加質量部が、前記基部と同等か大きい質量を備え、

前記振動腕が、前記基部と前記付加質量部とで擬似両端固定構造で支持され、前記振動腕が高次の屈曲振動をすることを特徴とする加速度センサ。 20

【請求項 5】

請求項 3 または請求項 4 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。 30

【請求項 6】

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、複数の前記振動腕を先端部において連結する前記基部と同等かまたは大きい質量を有する付加質量部と、からなる振動体であって、

複数の前記振動腕それぞれに、幅方向中央部において厚さ方向に、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両側側面及び前記貫通孔の内側側面の少なくとも振動により発生する歪みが大きい位置を含む範囲に設けられる励振電極と、を備え、 40

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 7】

請求項 6 に記載の加速度センサにおいて、

前記貫通孔が、複数の前記振動腕と前記基部との連結部近傍、及び複数の前記振動腕と前記付加質量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。 50

【請求項 8】

請求項 6 に記載の加速度センサにおいて、

前記貫通孔が、複数の前記振動腕と前記基部との連結部近傍と、複数の前記振動腕と前記付加質量部との連結部近傍と、複数の前記振動腕の長手方向中央部と、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 9】

請求項 6 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 10】

10

請求項 1 ないし請求項 9 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 11】

請求項 1 ないし請求項 9 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】

【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。

20

【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）。

【0003】

また、シリコンウェ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）。

30

【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）。

【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）。

40

【0006】

【特許文献 1】特開平 6 - 43179 号公報（第 3 頁、図 1）

【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）

50

【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。

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。

10

【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。

【0010】

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。

20

【0011】

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。

【0012】

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。

30

【課題を解決するための手段】**【0013】**

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。

【0014】

[適用例1] 本適用例に係る加速度センサは、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、幅方向中央部において厚さ方向に、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。

40

【0015】

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。

【0016】

本適用例は、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

50

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。この振動体は付加質量部が大きな質量を有するとき擬似両端固定構造の高次の屈曲振動となり、質量が小さいときには一次の屈曲振動となる。このような振動体に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。

【0017】

また、振動腕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手段としての励振電極間の距離が小さい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。

10

【0018】

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。

【0019】

さらに、この発明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ばよく、小型化できるという効果を有する。

20

【0020】

また、上述した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。

【0021】

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。

30

さらに、基部と振動腕とが一体で且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。

【0022】

[適用例2] 上記適用例に係る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。

【0023】

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。

40

【0024】

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。

【0025】

[適用例3] 上記適用例に係る加速度センサであって、前記振動腕部が幅方向に湾曲して形成されており、前記振動腕の軸方向に加速度が加えられたときに、前記付加質量部の慣性効果により前記振動腕部の軸方向に垂直な面に平行な断面の形状が変化することによ

50

る共振周波数変化を検出することが好ましい。

【0026】

このような構造によれば、振動腕部を湾曲させることにより振動腕の軸方向に加速度が加えられた際、振動腕部が座屈変形により断面形状が変化し、振動腕の断面二次モーメントが変化する。屈曲振動する振動腕は断面二次モーメントが大きくなると共振周波数が高くなり、断面二次モーメントが小さくなると共振周波数が低くなる。この共振周波数変化量は、周波数カウンタ等で正確な計測ができるので、高精度な加速度検出を行うことができる。

【0027】

また、加速度による振動腕部の変形が座屈変形であることから、例えば前述した従来例によるカンチレバー先端に重りが備えられ曲げ変形する加速度センサと比較して、構造的に強度が高く、強い加速度領域の検出にも対応できる。

10

【0028】

また、振動腕部を予め湾曲させていることで、軸方向の加速度による振動腕部の変形量が大きくなる。従って、共振周波数の変化量が大きくなることから、検出感度をより高めることができる。

【0029】

[適用例4] 適用例3に係る加速度センサであって、前記付加質量部が、前記基部と同等か大きい質量を備え、前記振動腕が、前記基部と前記付加質量部とで擬似両端固定構造で支持され、前記振動腕が高次の屈曲振動をすることが好ましい。

20

【0030】

付加質量部を振動腕に対して充分に大きくすることで、振動腕の先端部の移動量が極めて小さくなる。従って、振動腕は、付加質量部と基部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。このような湾曲された振動腕部からなる振動腕であっても検出感度がよい加速度センサを実現できる。

【0031】

[適用例5] 適用例3または適用例4に係る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。

30

【0032】

このような構造にすれば、付加質量部を挟んで対向する一対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。

【0033】

[適用例6] 本適用例に係る加速度センサは、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擬似両端固定の屈曲振動をする梁状の複数の振動腕と、複数の前記振動腕を先端部において連結する前記基部と同等かまたは大きい質量を有する付加質量部と、からなる振動体であって、複数の前記振動腕それぞれに、幅方向中央部において厚さ方向に、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両側側面及び前記貫通孔の内側側面の少なくとも振動により発生する歪みが大きい位置を含む範囲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。

40

【0034】

このような構造の振動体は、振動腕が2本の場合において双音叉振動子と呼称されることがある。このような双音叉振動子形状の場合、2本の振動腕は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を高めることができる。つまり、Q値が高くなり、加速度の検出分解能を向上させることができる。

50

【0035】

また、貫通孔を設けていることから、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、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。

【0036】

[適用例7] 適用例6に係る加速度センサであって、前記貫通孔が、複数の前記振動腕と前記基部との連結部近傍、及び複数の前記振動腕と前記付加質量部との連結部近傍に設けられていることが好ましい。

【0037】

振動腕と基部との連結部近傍及び振動腕と付加質量部との連結部近傍は、擬似両端固定構造の屈曲振動において、振動時に発生する歪みが大きい位置である。従って、このような歪みが大きい位置に貫通孔を設け、貫通孔の内外の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、低消費電力化を実現できる。なお、振動腕と基部との連結部近傍とは、振動腕の基部側終端から振動腕の長手方向の全長の概ね30%までの範囲である。また、振動腕と付加質量部との連結部近傍とは、振動腕の付加質量部側終端から振動腕の長手方向の全長の概ね30%までの範囲である。

10

【0038】

[適用例8] 適用例6に係る加速度センサであって、前記貫通孔が、複数の前記振動腕と前記基部との連結部近傍と、及び複数の前記振動腕と前記付加質量部との連結部近傍と、複数の前記振動腕の長手方向中央部と、に開設されていることが好ましい。

20

ここで、長手方向中央部とは、振動腕の長手方向中央を中心として振動腕の全長の概ね60%の範囲である。

【0039】

双音叉振動子の屈曲振動においては、振動腕の振動時に発生する歪みが大きい位置は、振動腕の長手方向中央近傍（振動の腹に相当する）にも存在する。従って、振動腕と基部との連結部近傍、振動腕と付加質量部との連結部近傍及び振動腕の長手方向中央部に貫通孔を設け、貫通孔の内外の側面に励振電極を設けることにより、より一層、電界効率を高め、低消費電力化を実現できる。

30

【0040】

[適用例9] 適用例6に係る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。

【0041】

このような構造にすれば、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。

40

【0042】

[適用例10] 上記適用例に係る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。

【0043】

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く、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。

【0044】

[適用例11] 上記適用例に係る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。

【0045】

50

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】

【0046】

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, 12は実施形態7、図13は実施形態8、図14は実施形態9、図15は実施形態10に係る加速度センサを示している。

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)

【0047】

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。

【0048】

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(PTiO₃)、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT(登録商標))、酸化亜鉛(ZnO)、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。

【0049】

振動体10は、XY平面に展開されたZ板であって、基部20の一辺の中央からY軸方向に単純梁状の振動腕21が延出されて構成されている。基部20は、振動体10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21の幅方向(X軸方向)中央部には、振動腕21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22が開設されている。

【0050】

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、本実施形態では、基部20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22の一方の端部は基部20との連結部まで達し、他方の端部は付加質量部25との連結部まで達している。

なお、付加質量部25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。

【0051】

振動腕21は、貫通孔22により振動腕部23と振動腕部24とに分割され、先端部は付加質量部25によって連結されている。振動腕部23, 24は、振動腕21の中心軸Pに対して対称形である。これら振動腕部23, 24それぞれの側面には励振電極が形成されている。

【0052】

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23の外側面23aには励振電極31、内側面23bには励振電極33が形成されている。また、振動腕部24の外側面24aには励振電極32、内側面24bには励振電極34が形成されている。励振電極31～34は、貫通孔22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31～34は検出電極を兼ねる。

【0053】

励振電極31, 32は同電位の電極であり、励振電極33, 34は励振電極31, 32

10

20

30

40

50

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 20 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。

【0054】

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しようとするが、付加質量部 25 が大きいため、図 1 (a) に表すような二次の屈曲振動で共振する。

【0055】

つまり、振動腕 21 に励振信号が入力されると、付加質量部 25 の先端部が矢印 C 方向に振動しようとするが大きいため、その移動量はごくわずかであり振動腕 21 は、二点鎖線 C' で示すような二次の屈曲振動となる。

10

【0056】

また、同様に、付加質量部 25 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 25 が存在するため、その移動量はごくわずかであり振動腕 21 は、破線 B' で示すような二次の屈曲振動となる。

【0057】

従って、このような振動体 10 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 25 を基部 20 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 25 と基部 20 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 21 は、振動腕 21 と基部 20 との連結部近傍と、振動腕 21 と付加質量部 25 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。

20

【0058】

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 21 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 +Ay 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 -Ay 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。

30

【0059】

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。

【0060】

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 25 の慣性効果により、振動腕 21 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 10 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 21 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 21 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 10 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。

40

【0061】

また、振動腕 21 の長手方向に貫通孔 22 が設けられることにより、振動腕部 23, 24 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。

【0062】

また、振動腕 21 は貫通孔 22 により断面積が小さい 2 本の振動腕部 23, 24 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。

50

【0063】

また、付加質量部25を振動腕に対して充分に大きくすることで、振動腕21の先端部の移動量は極めて小さい。従って、振動腕21は、付加質量部25と基部20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。

【0064】

さらに、本実施形態による加速度センサ1は、振動腕21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25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。

10

【0065】

なお、付加質量部25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10をパッケージングする際ににおいて、加速度による振動腕21の長さ方向の伸縮は非常に小さく、振動腕21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。

【0066】

また、基部20と振動腕21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。

20

【0067】

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とが一体で且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。

【0068】

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。

30

（変形例1）

【0069】

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。

40

【0070】

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）。

【0071】

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+Ay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-Ay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

50

つ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。

【0072】

なお、振動腕の総長さ L_1 に対する貫通孔 2_2 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2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 2_2 の長さ L_2 の比 (L_2/L_1 (%)) で表す) に従い変化する。

10

【0073】

このグラフから、 L_2/L_1 が0のとき（貫通孔 2_2 がないとき）、周波数変動量は0.1 ppm/ (m/s^2) であり、貫通孔 2_2 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。

【0074】

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±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。

20

【0075】

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）

【0076】

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）との相違個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。

30

【0077】

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。

40

【0078】

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）

【0079】

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。

50

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。

【0080】

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。

10

【0081】

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。

【0082】

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、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軸方向にそれが逆相となるように一次の屈曲振動をする。

20

【0083】

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。

【0084】

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。

30

【0085】

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、高い検出感度が得られる。

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。

40

(実施形態2)

【0086】

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。

【0087】

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

50

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。

【0088】

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 に対して点対称形状であって、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、それよりも大きな質量となる平面サイズを有している。

10

【0089】

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 方向には極わずかな変位である。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。

20

【0090】

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。

【0091】

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。

30

(実施形態 3)

【0092】

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対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。

40

【0093】

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バ、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される。

【0094】

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 88

50

b が形成されている。また、下部電極 8 8 b と振動腕部 8 4 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。

【0095】

一方、圧電素子膜 8 7 には表裏両面のそれぞれに上部電極 8 9 a、下部電極 8 9 b が形成されている。また、下部電極 8 9 b と振動腕部 8 5 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。

【0096】

圧電素子膜 8 6, 8 7 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 8 2 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 8 6, 8 7 の材料としては、チタン酸鉛 (PbTiO₃)、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。

【0097】

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 8 0 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 8 4, 8 5 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）

【0098】

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、貫通孔によって 2 分割された振動腕部が予め湾曲して形成されていることに特徴を有している。

図 8 は、実施形態 4 に係る加速度センサの概略形状を表し、(a) は斜視図、(b) ~ (d) は (a) の H - H 切断面を示す断面図である。なお、図 8 (a), (b) は、加速度が加えられていない状態を表している。図 8 (a), (b) において、加速度センサとしての振動体 10 は、XY 平面に展開された水晶からなる Z 板の同一平面内に、基部 20 と基部 20 の一辺から延出される振動腕 21 とから構成される片端固定構造の構造体である。

【0099】

振動腕 21 は、幅方向 (X 軸方向) の中央部に、長手方向 (Y 軸方向) に長い略小判形状の貫通孔 22 が設けられており、振動腕 21 を 2 分割して振動腕部 23, 24 が形成されている。振動腕部 23, 24 はそれぞれ、貫通孔 22 の形状に沿って +X 軸方向及び -X 軸方向に湾曲して形成されている。なお、振動腕部 23, 24 は、振動腕 21 の中心軸 P に対して対称形である。また、振動腕部 23, 24 の先端部は付加質量部 25 で連結されている。

【0100】

振動腕部 23, 24 それぞれの側面には、励振電極 31 ~ 34 が設けられている。なお、励振電極 31 ~ 34 の構成は、図 1 (b) の構成と同じであるため説明を省略する。

ここで、励振電極 31 ~ 34 に発振回路（図示せず）から励振信号を入力すると、振動腕 21 は所定の共振周波数にて振動腕 21 と基部 20 との連結部近傍を振動の節とする片端固定構造の矢印 A 方向に一次の屈曲振動をする。

【0101】

上述したように構成される振動腕 21 の共振周波数 f_n は、次の数式 1 によって与えられる。

【0102】

【数 1】

$$f_n = \frac{\alpha}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho S}} \quad \cdots (1)$$

ここで、振動体の支持条件等によって定まる定数 、振動体の長さ L 、縦弾性係数 E 、断面形状により変化する係数 I (断面二次モーメント I) 、振動体の密度 、振動体の断

10

20

30

40

50

面積 S とする。この数式 1 により、共振周波数 f_n は同一材質、同一形状の振動体であれば、断面二次モーメント I の変化に対応して変化することがわかる。

【0103】

次に、加速度センサ 1 に Y 軸方向の加速度 $+ A_y$ が加えられたときの作用について説明する。

図 8 (c) は、+ Y 軸方向の加速度 $+ A_y$ が加えられたときの振動腕部 23, 24 を示す断面図である。図 8 (a), (c) において、加速度 $+ A_y$ が加速度センサ 1 に加えられると、基部 20 は基台 (図示せず) に固定されていることから、振動腕 21 は付加質量部 25 の慣性効果により - Y 軸方向に圧縮される。

【0104】

すると、貫通孔 22 によって 2 分割され剛性が低下している振動腕部 23, 24 が軸方向に圧縮され、図 8 (c) に示すように、それぞれ外側方向 (矢印 C 方向) に座屈変形する。この際、振動腕部 23, 24 は、予め湾曲形成されているので、加速度 $+ A_y$ により容易に変形しやすく、また変形量も大きい。

なお、加速度 $+ A_y$ が加えられたときの図 8 (c) で表す状態の振動腕 21 の断面二次モーメントを I_2 で表す。

【0105】

従って、加速度が加えられていない図 8 (a) の状態における振動腕 21 の断面二次モーメント I_1 と、加速度 $+ A_y$ が加えられた図 8 (c) の状態における振動腕 21 の断面二次モーメント I_2 と、を比較すると、断面二次モーメント I_2 は X 軸方向の距離が大きくなっていることから、 $I_2 > I_1$ となる。数式 1 から、断面二次モーメント I 以外は共通のため、加速度 $+ A_y$ が加えられると共振周波数が高くなる。従って、この共振周波数変化を検出することにより加速度を検出することができる。

【0106】

また、逆方向の加速度 $- A_y$ が加えられたときには、振動腕 21 は付加質量部 25 の慣性効果により + Y 軸方向に伸張され、振動腕部 23, 24 の X 軸方向の距離は狭くなる方向、つまり、図 8 (d) に表すように矢印 D 方向に変形する。加速度 $- A_y$ が加えられた状態のときの断面二次モーメントを I_3 と表す。断面二次モーメント I_3 は、加速度が加えられていないときの断面二次モーメント I_1 よりも小さくなる。

【0107】

従って、加速度が加えられないときの振動腕 21 の断面二次モーメント I_1 と、加速度 $+ A_y$ が加えられたときの断面二次モーメント I_2 と、加速度 $- A_y$ が加えられたときの断面二次モーメントを I_3 と、を比較すると、 $I_2 > I_1 > I_3$ の関係が成り立つ。

つまり、加速度 $+ A_y$ が加えられたときには共振周波数が高くなり、加速度 $- A_y$ が加えられたときには共振周波数は低くなる。

【0108】

なお、実施形態 1 (図 1 (a)、参照) にて説明したような振動腕 21 が直線状に形成された場合においても、加速度 $+ A_y$ 、加速度 $- A_y$ を加えたときには、上述した実施形態 4 と同様な理由による共振周波数 f_n の変化により加速度を検出することができる。

【0109】

しかしながら、実施形態 1 の形状と実施形態 4 の形状とを比較すると、実施形態 4 による振動腕部 23, 24 は予め湾曲されているので、同じ大きさの加速度が加えられたときには、湾曲した振動腕部 23, 24 の方が変形量が大きくなるため、断面二次モーメント I の変化は大きくなる。従って、実施形態 4 による加速度センサの方が検出感度が高いといえる。

【0110】

従って、上述した実施形態 4 によれば、振動腕部 23, 24 を予め湾曲させて形成することで、振動腕 21 の Y 軸方向の加速度による振動腕部 23, 24 の変形量が大きくなり、共振周波数 f_n の変化量が大きくなることから、検出感度をより高めることができる。

【0111】

10

20

30

40

50

また、加速度による振動腕部 23, 24 の変形が座屈変形であることから、前述した従来例によるカンチレバー先端に重りが備えられ曲げ変形する加速度センサと比較して、構造的に強度が高く、強い加速度領域の検出にも対応できる。

(実施形態 5)

【0112】

続いて、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。実施形態 5 は、前述した実施形態 4 に対して、付加質量部 25 をさらに大きくしていることに特徴を有する。なお、振動腕部 23, 24 の形状は、実施形態 4 (図 8 (a)、参照) と同様に湾曲させた形状としている。

【0113】

図 9 は、実施形態 5 に係る加速度センサの概略形状を示す平面図である。図 9 において、振動腕部 23, 24 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、基部 20 と同等か大きい質量を有するよう平面サイズが設定されている。このような構成の振動腕 21 に励振信号を入力すると、付加質量部 25 が大きいため、実施形態 4 で説明したような一次の屈曲振動ではなく、二次の屈曲振動で共振する。

【0114】

つまり、振動腕部 23, 24 に励振信号が入力されると、付加質量部 25 の先端部が矢印 C 方向に振動しようとするが付加質量部 25 が存在するため、その移動量はごくわずかであり、振動腕部 23, 24 の振動モードは二次の屈曲振動となる。

【0115】

また、同様に、付加質量部 25 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 25 が存在するため、その移動量は極わずかであり、振動腕部 23, 24 の振動モードは二次の屈曲振動となる。

【0116】

従って、付加質量部 25 を充分に大きくすることで、振動腕 21 の先端部の移動量が極めて小さくなり、振動腕 21 は、付加質量部 25 と基部 20 との間であたかも擬似両端支持構造が構成されているといえる。そのことから振動腕 21 と、振動腕 21 と付加質量部 25 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。

【0117】

このような形状の振動体 10 に +Y 軸方向の加速度 +Ay を加えると、付加質量部 25 の慣性効果により振動腕部 23, 24 に圧縮力が働き座屈変形し (図中、破線 e で表す)、断面二次モーメント I が大きくなり共振周波数が高くなる。また、-Y 軸方向の加速度 -Ay を加えると振動腕部 23, 24 が伸張されて (図中、二点差線 j で表す) 断面二次モーメント I が小さくなり共振周波数が低くなる。

【0118】

従って、上述した実施形態 5 によれば、十分大きな付加質量部 25 を設けることで、高次の振動モードにおいても前述した実施形態 4 と同様な効果を有し、さらに、付加質量部 25 が十分大きいことから、より一層加速度の検出感度を高めることができる。

なお、付加質量部 25 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。

(実施形態 6)

【0119】

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 による加速度センサは、前述した実施形態 4, 5 が片端固定構造または擬似両端固定構造であることに対して、両端支持構造としたところに特徴を有している。

図 10 は、実施形態 6 に係る加速度センサの概略構造を示す平面図である。図 10 において、加速度センサ 40 は、2 組の振動体 10, 11 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。

【0120】

図 10 に示すように、加速度センサ 1 (振動体 10) の重心位置 G の右側は、基部 20

10

20

30

40

50

と湾曲された振動腕部 23, 24 を有する振動体 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 と湾曲された振動腕部 43, 44 を有する振動体 41 と付加質量部 25 とから構成される振動体 11 である。

【0121】

加速度センサ 40 は、振動体 10 と振動体 11 とが付加質量部 25 の重心位置 G に対して点対称形をなし、基部 20 及び基部 45 を図示しない基台に固定する両端支持構造の構造体である。つまり、前述した実施形態 5 (図 9、参照) にて説明した振動体 10 が付加質量部 25 にて直線状に一対形成されていることになる。

【0122】

ここで、振動腕部 23, 24 と振動腕部 43, 44 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 が十分大きな質量を有しているため極わずかに振動するだけで、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、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 との連結部近傍にある振動の節を有し、逆位相の二次の屈曲振動をする。

【0123】

そして、-Y 軸方向の加速度 -Ay が加えられると、付加質量部 25 の慣性効果により振動腕部 23, 24 に圧縮力が働き座屈変形され、振動腕 21 の断面二次モーメント I が大きくなり共振周波数が高くなる。また、振動腕部 43, 44 には伸張力が働き、振動腕 41 の断面二次モーメント I が小さくなり共振周波数が低くなる。この共振周波数の差動を検出することで加速度の大きさを検出し、差を検出することで加速度の印加方向を検出することができる。

【0124】

また、+Y 軸方向の加速度 +Ay が加えられるときには、上述した加速度 -Ay が加えられたときとは逆の作用となり、振動体 10 の共振周波数が低く、振動体 11 の共振周波数が高くなる。

【0125】

従って、上述した実施形態 6 では、共通の付加質量部 25 を挟んで対向する一対の振動体 10, 11 を有する両端支持構造の加速度センサ 40 が構成される。この際、振動体 10, 11 それぞれの振動腕は、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。つまり高い Q 値が得られ、外乱にも強い。

【0126】

また、対向する振動体 10, 11 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、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 7)

【0127】

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、貫通孔により分割された複数の振動腕のそれぞれに、さらに貫通孔を設け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 11 は、実施形態 7 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 11 (a) において、加速度センサとしての振動体 100 は、基部 102 の 1 辺から貫通孔 101 によって分割された振動腕 105, 112 が、互いに平行に延出され、それらの先端部は付加質量部 113 によって連結されている。

【0128】

また、振動腕 105 は、貫通孔 106 を開設することによって振動腕部 107, 108 が形成され、振動腕 112 は、貫通孔 109 を開設することによって振動腕部 110, 111 が形成されている。なお、貫通孔 106, 109 の長さは振動腕 105, 112 の長さに略一致する。また、振動腕 105 と振動腕 112 とは、中心軸 P に対して対称形であ

10

20

30

40

50

る。

【0129】

基部102は、振動腕105, 112との連結部104と、くびれ部103とを有し、付加質量部113においても振動腕105, 112との連結部115と、くびれ部114とを有して構成されている。付加質量部113は、基部102と同等か大きい質量を有するように平面サイズが設定されている。そして、図11(b)に示すように、振動腕部107, 108, 110, 111のそれぞれの側面には励振電極が形成されている。

【0130】

励振電極は、振動腕部107, 108, 110, 111それぞれの振動時に発生する歪みが大きくなる位置に設けられる。歪みが大きい位置とは、基部102近傍と付加質量部113の近傍及び振動腕の長手方向の中央部近傍(振動の腹に相当する位置の近傍)である。具体的には、振動腕部107の外側側面には付加質量部113側から順に励振電極127, 135, 143が設けられる。また、貫通孔106の内側側面には付加質量部113側から順に励振電極126, 134, 142が設けられている。

10

【0131】

また、振動腕部108の貫通孔106の内側側面には、付加質量部113側から順に励振電極125, 133, 141が設けられる。また、貫通孔101側側面には付加質量部113側から順に励振電極124, 132, 140が設けられている。

【0132】

一方、振動腕部110の外側側面には、付加質量部113側から順に励振電極120, 128, 136が設けられる。また、貫通孔109の内側側面には付加質量部113側から順に励振電極121, 129, 137が設けられる。また、振動腕部111の貫通孔109の内側側面には励振電極122, 130, 138が設けられ、貫通孔101側側面には付加質量部113側から順に励振電極123, 131, 139が設けられている。

20

【0133】

これらの励振電極124~127, 132~135及び励振電極140~143と、励振電極120~123, 128~131及び励振電極136~139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120, 123, 125, 126, 129, 130, 132, 135, 136, 139, 141, 142は同電位の第1電極群であって、励振電極121, 122, 124, 127, 128, 131, 133, 134, 137, 138, 140, 143とは同電位の第2電極群である。

30

【0134】

図12は、本実施形態の振動体の振動モードを模式的に表す説明図である。本実施形態の振動体100は、質量が十分大きい付加質量部113を有しているので、自由端である付加質量部113はほとんど変位しない擬似両端固定構造である。つまり、双音叉振動子に類似した形態となる。従って、上述した第1電極群と第2電極群と互いに逆電位となる励振信号を入力すると、振動腕105, 112は、図12に示すような双音叉振動子と同様な振動モードで振動する。

【0135】

具体的には、第1電極群に+電位、第2電極群に-電位となる励振信号を入力すると、二点鎖線Aで図示されるように変位する。また、第1電極群に-電位、第2電極群に+電位となる励振信号を入力すると、破線Bで図示されるように変位する。従って、これを繰り返すことによって双音叉振動子と同様な振動モードで振動する。

40

【0136】

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と、振動腕105, 112の断面二次モーメントが変化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。

なお、上述した実施形態7における貫通孔106, 109の形状、開設位置及び励振励振電極の配置は様々に設定することが可能である。

【0137】

次に、実施形態8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8は、貫通孔が、振動腕と基部との連結部近傍、及び振動腕と付加質量部との連結部近傍に設けられていることを特徴とする。貫通孔以外の構成は実施形態7と同じであるため説明を省略する。また、共通部分には同じ符号を附している。

図13は、本実施形態に係る加速度センサとしての振動体を示し、(a)は正面図、(b)は励振電極の構成を示す部分平面図である。図13(a)において、振動腕105には貫通孔150, 151が、振動腕112には、貫通孔152, 153が開設されている。

【0138】

貫通孔150, 152は、振動腕105, 112それぞれの付加質量部113(連結部115)の近傍に設けられている。なお、貫通孔150, 152は振動腕105, 112の付加質量部側終端から振動腕105, 112の長手方向の全長の概ね30%までの範囲に設けられる。また、貫通孔151, 153は、基部102(連結部104)の近傍に設けられている。なお、貫通孔151, 153は振動腕105, 112の基部側終端から振動腕の長手方向の全長の概ね30%までの範囲に設けられる。これら貫通孔150~153は、振動腕105, 112が屈曲振動する際に発生する歪みが最も大きい位置の一つに設けられている。そして、振動腕105, 112の側面及び貫通孔150~153の内側側面には、励振電極が設けられている。

【0139】

図13(b)に示すように、振動腕105の外側側面には付加質量部113側から順に励振電極127, 135, 143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が設けられ、貫通孔151の内側側面には励振電極141, 142が設けられている。また、振動腕105の内側側面には、付加質量部113側から順に励振電極124, 132, 140が設けられる。

【0140】

一方、振動腕112内側側面には、付加質量部113側から順に励振電極123, 131, 139が設けられ、貫通孔152の内側側面には励振電極121, 122が、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、付加質量部113側から順に励振電極120, 128, 136が設けられている。

【0141】

また、振動腕112の表裏両面にはそれぞれ、励振電極129, 130が設けられ、振動腕105の表裏面にはそれぞれ、励振電極133, 134が設けられている。これら励振電極129, 130, 133, 134は、側面に設けられる励振電極128, 131, 132, 135と略同じ長手方向位置に設けられる。

【0142】

これら励振電極120~143は、前述した実施形態7(図11(b)、参照)とほぼ同じ位置に配設されている。つまり、励振電極120~143は、振動腕105, 112の振動において発生する歪みの大きい位置に配設されている。励振電極120, 123, 125, 126, 129, 130, 132, 135, 136, 139, 141, 142は同電位の第1電極群であって、励振電極121, 122, 124, 127, 128, 131, 133, 134, 137, 138, 140, 143とは同電位の第2電極群である。

【0143】

従って、第1電極群に+電位、第2電極群に-電位となる励振信号を入力すると、実施形態7(図12、参照)に示すように二点鎖線Aで図示されるように変位する。また、第1電極群に-電位、第2電極群に+電位となる励振信号を入力すると、破線Bで図示されるように変位する。従って、これを繰り返すことによって双音叉振動子と同様な振動モードで振動する。

【0144】

次に、実施形態9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9は、前述した実施形態8(図13、参照)に対して、貫通孔が、振動腕の長手方向中央部にも設けられていることを特徴とする。貫通孔以外の構成は実施形態10と同じであるため説明を省略する。また、共通部分には同じ符号を附している。

図14は、実施形態9に係る加速度センサとしての振動体を示し、(a)は正面図、(b)は励振電極の構成を示す部分平面図である。図14(a)において、振動腕105には貫通孔150, 155, 151が、振動腕112には貫通孔152, 156, 153が開設されている。

【0145】

貫通孔150, 152は、振動腕105, 112それぞれの付加質量部113(連結部115)の近傍に設けられている。また、貫通孔151, 153は、基部102(連結部104)の近傍に設けられている。さらに、振動腕105, 112の長手方向中央部には、貫通孔155, 156が設けられている。なお、貫通孔155, 156は、振動腕105, 112の長手方向中央を中心として振動腕の全長の概ね60%の範囲である。

これら貫通孔150～153, 155, 156は、振動腕105, 112が屈曲振動する際に発生する歪みが最も大きい位置に設けられている。貫通孔155, 156は振動の腹部に相当する。そして、振動腕105, 112の側面及び貫通孔150～153、貫通孔155, 156の内側側面には、励振電極が設けられている。

【0146】

図14(b)に示すように、振動腕105の外側側面には付加質量部113側から順に励振電極127, 135, 143が設けられる。また、貫通孔150の内側側面には励振電極125, 126が設けられ、貫通孔151の内側側面には励振電極141, 142が設けられ、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、振動腕105の内側側面には、付加質量部113側から順に励振電極124, 132, 140が設けられる。

【0147】

一方、振動腕112の内側側面には、付加質量部113側から順に励振電極123, 131, 139が設けられ、貫通孔152の内側側面には励振電極121, 122が、貫通孔153の内側側面には励振電極137, 138が、貫通孔156の内側側面には励振電極129, 130が設けられている。さらに、振動腕112の外側側面には、付加質量部113側から順に励振電極120, 128, 136が設けられている。

【0148】

これら励振電極は、前述した実施形態7(図11(b)、参照)、実施形態8(図13(b)とほぼ同じ位置に配設されている。つまり、これら励振電極は、振動腕105, 112の振動において発生する歪みの大きい位置に配設されている。励振電極120, 123, 125, 126, 129, 130, 132, 135, 136, 139, 141, 142は同電位の第1電極群であって、励振電極121, 122, 124, 127, 128, 131, 133, 134, 137, 138, 140, 143とは同電位の第2電極群である。

【0149】

従って、第1電極群に+電位、第2電極群に-電位となる励振信号を入力すると、実施形態7(図12、参照)に示すように二点鎖線Aで図示されるように変位する。また、第1電極群に-電位、第2電極群に+電位となる励振信号を入力すると、破線Bで図示されるように変位する。従って、これを繰り返すことによって双音叉振動子と同様な振動モードで振動する。

【0150】

以上説明したように、実施形態7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106, 109が、また、実施形態8では基部102の近傍及び付加質量部113の近傍に貫通孔150～153が設けられ、実施形態9では、さらに振動腕1

10

20

30

40

50

05, 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、屈曲振動において発生する歪みの大きい位置に各貫通孔を設けていることから、振動腕105, 112の断面積が小さくなり発生する応力が大きくなること、加速度を加えたときの振動腕105, 112の変位量を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。

【0151】

また、実施形態1～実施形態6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。

【0152】

なお、励振電極120～143は、第1電極群と第2電極群とに分けて接続される。この際、実施形態8, 9では、隣接する貫通孔間の間にそれぞれ距離があるため、振動腕105, 112の表裏両面に励振電極間の引き回しスペースがあるため、このスペースにおいて接続電極の引き回しを容易に行うことが可能となる効果もある。

(実施形態10)

【0153】

続いて、実施形態10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10は、前述した実施形態7～実施形態9による加速度センサ(振動体)が擬似両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15は、実施形態10に係る加速度センサを示す正面図である。図15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組直線状に連結されて構成されている。

【0154】

図15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と振動腕105, 112と付加質量部113とから構成される振動体100、左側は基部160と振動腕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150, 151, 155を有し、振動腕112は貫通孔152, 153, 156を有している。

【0155】

一方、振動腕164には貫通孔166, 167, 170が開設され、振動腕165には貫通孔168, 169、171が開設されている。

【0156】

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とが設けられており、付加質量部113には、振動腕105, 112が連結される連結部115と、くびれ部114とが設けられている。

【0157】

また、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とが設けられており、付加質量部113には、振動腕164, 165が連結される連結部118と、くびれ部119とが設けられている。

【0158】

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、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。また、付加質量部113は、基部102, 160と同等または、それよりも大きな質量となる平面サイズを有している。なお、振動体100, 180それぞれは、前述した実施形態9(図14、参照)と励振電極を含め同じ構成である。

【0159】

ここで、振動腕105, 112及び振動腕164, 165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113は十分大きな質量を有しているた

10

20

30

40

50

めほとんど変位せず、振動腕 105, 112 と振動腕 164, 165 は互いに図 12 に示すような二次の屈曲振動となる。従って、振動腕 105, 112 と振動腕 164, 165 とは、重心位置 G に対して点対称となる二次の屈曲振動となる。

【0160】

従って、上述した実施形態 10 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。

【0161】

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。

【0162】

従って、前述した実施形態 1 ~ 実施形態 10 によれば、振動体に貫通孔を設けることにより振動腕を分割し、振動腕に加えられる加速度による圧縮力または伸張力により振動腕の応力が変化すること、または、断面二次モーメントが変化することによる共振周波数変化を検出することで、簡単な構造で、しかも周波数温度特性がよい高感度な小型の加速度センサを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0163】

【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。

【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の概略形状を表し、(a) は斜視図、(b) ~ (d) は (a) の H - H 切断面を示す断面図。

【図 9】実施形態 5 に係る加速度センサの概略形状を示す平面図。

【図 10】実施形態 6 に係る加速度センサの概略構造を示す平面図。

【図 11】実施形態 7 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 12】実施形態 7 に係る振動体の振動モードを模式的に表す説明図。

【図 13】実施形態 8 に係る加速度センサとしての振動体を示し、(a) は正面図、(b) は励振電極の構成を示す部分平面図。

【図 14】実施形態 9 に係る加速度センサとしての振動体を示し、(a) は正面図、(b) は励振電極の構成を示す部分平面図。

【図 15】実施形態 10 に係る加速度センサを示す正面図。

【符号の説明】

【0164】

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。

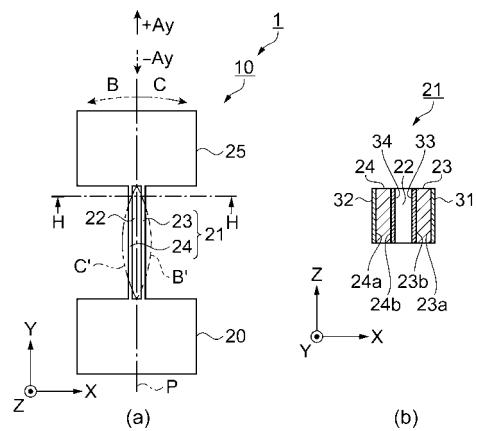
10

20

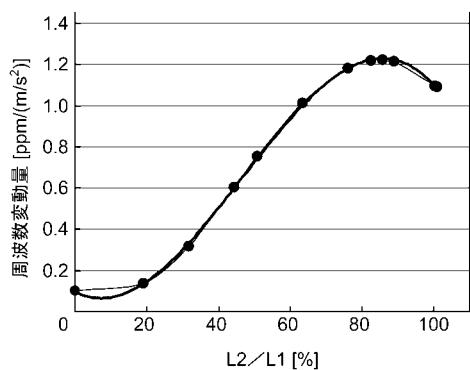
30

40

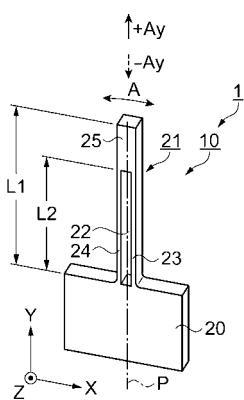
【図1】



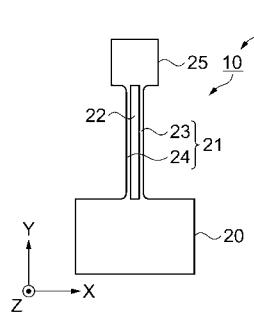
【図3】



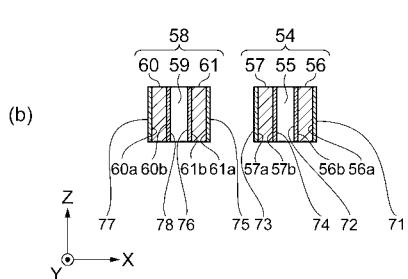
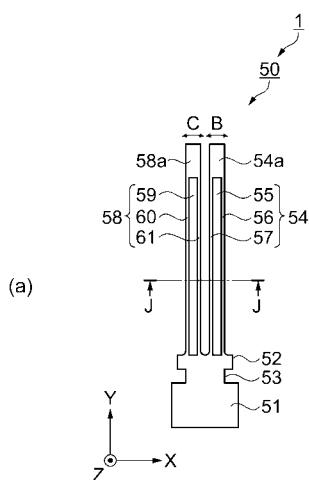
【図2】



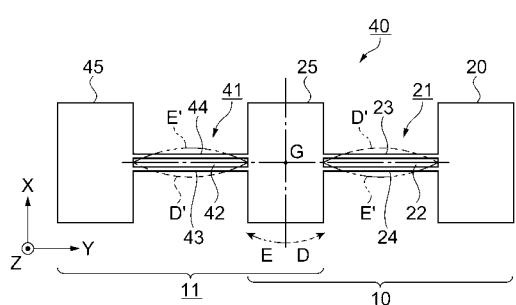
【図4】



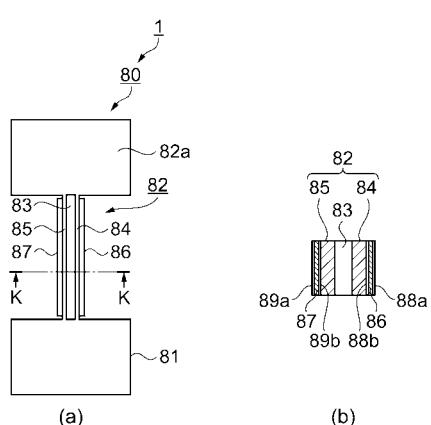
【図5】



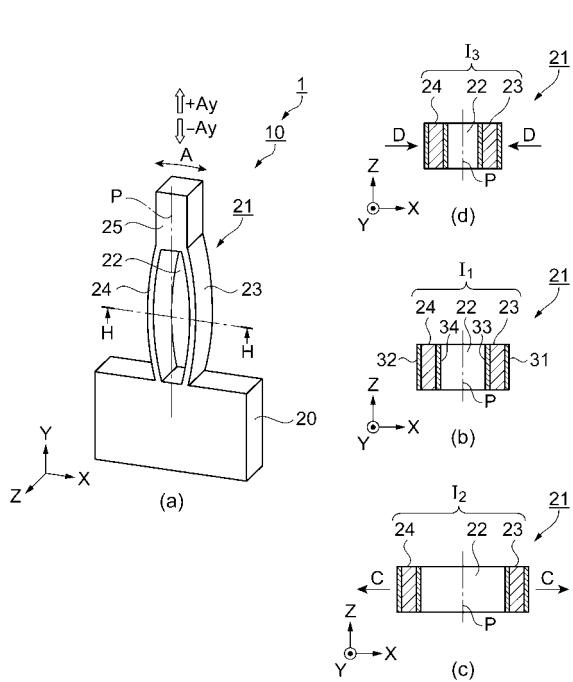
【図6】



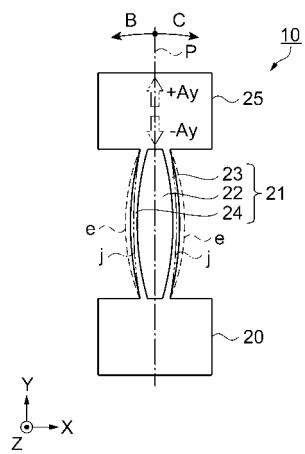
【図7】



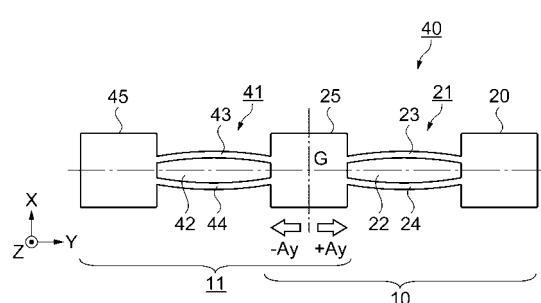
【図 8】



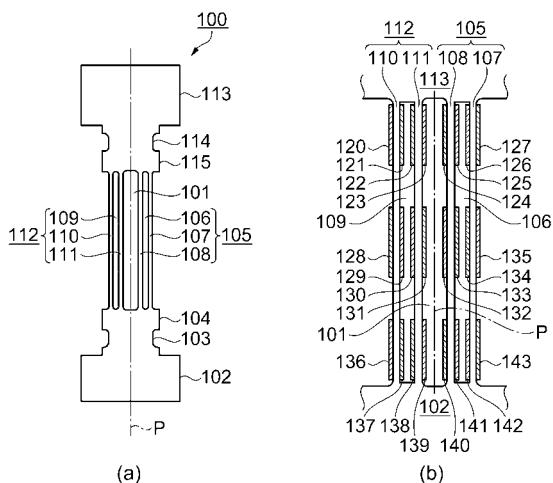
【図 9】



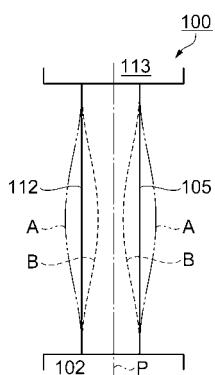
【図 10】



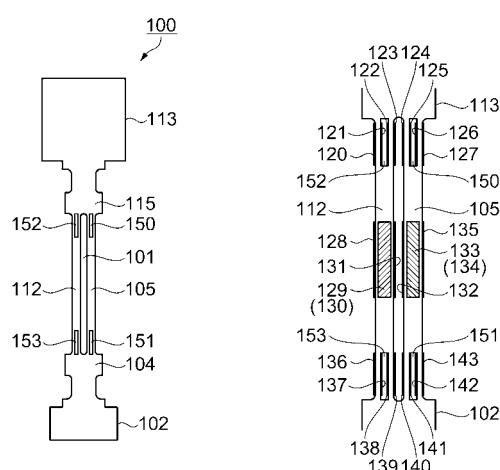
【図 11】



【図 12】



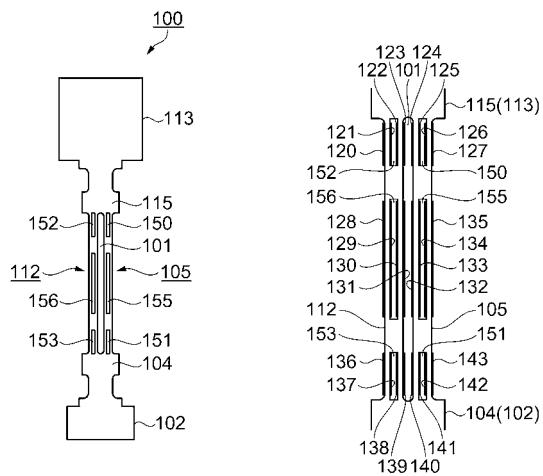
【 図 1 3 】



(a)

(b)

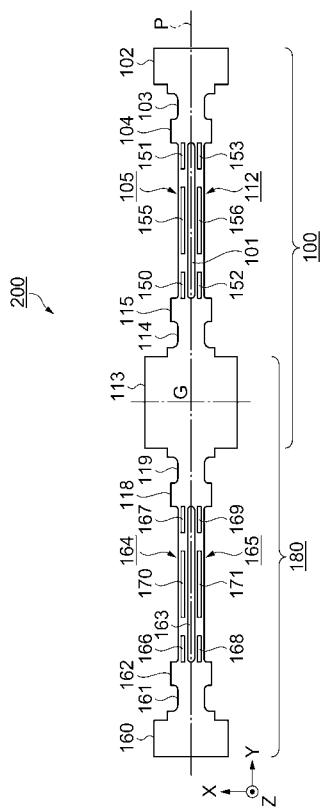
【 図 1 4 】



(a)

(b)

【 図 15 】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.

F I

H 01 L 41/18 101D

テーマコード(参考)