

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5375624号
(P5375624)

(45) 発行日 平成25年12月25日(2013.12.25)

(24) 登録日 平成25年10月4日(2013.10.4)

(51) Int.Cl.

F 1

G 01 P 15/10 (2006.01) G 01 P 15/10

H 01 L 41/08 (2006.01) H 01 L 41/08 Z

H 01 L 41/18 (2006.01) H 01 L 41/18 101 A

請求項の数 10 (全 13 頁)

(21) 出願番号

特願2010-7860 (P2010-7860)

(22) 出願日

平成22年1月18日(2010.1.18)

(65) 公開番号

特開2011-145243 (P2011-145243A)

(43) 公開日

平成23年7月28日(2011.7.28)

審査請求日

平成25年1月16日(2013.1.16)

(73) 特許権者 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

(74) 代理人 100095728

弁理士 上柳 雅善

(74) 代理人 100107261

弁理士 須澤 修

(74) 代理人 100127661

弁理士 宮坂 一彦

(72) 発明者 渡辺 潤

東京都日野市日野421-8 エプソント

ヨコム株式会社内

(72) 発明者 中仙道 和之

東京都日野市日野421-8 エプソント

ヨコム株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 加速度センサー、及び加速度検出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1支持面を有している固定用の第1基板片、前記第1基板片と並んで配置されていると共に、第2支持面を有しており、可動用の第2基板片、および前記第1基板片と前記第2基板片との間にあって前記第1基板片と前記第2基板片とに接続されている蝶番部、を備えている支持基板と、

前記第1基板片と前記第2基板片の並び方向に直交する方向に沿って延在しており、かつ平面視において前記蝶番部と重なっている中心部を有している圧電センサー要素、前記第1支持面及び前記第2支持面に夫々固定される第1被固定部及び第2被固定部、および前記第1被固定部及び前記第2被固定部に連結されており前記圧電センサー要素を支持している梁、を備えている圧電センサーと、

を含んでいることを特徴とする加速度センサー。

【請求項 2】

前記梁は、平面視で、前記圧電センサー要素における前記直交する方向にある一端部と前記第1被固定部とを連結している第1の梁、前記圧電センサー要素における前記直交する方向にある他端部と前記第1被固定部とを連結している第2の梁、前記一端部と前記第2被固定部とを連結している第3の梁、および前記他端部と前記第2被固定部とを連結している第4の梁を備えていることを特徴とする請求項1に記載の加速度センサー。

【請求項 3】

前記第1支持面及び第2支持面と直交する方向からの平面視で前記第1乃至第4の梁は

、夫々全長に渡って同一幅の細幅帯状をなしていることを特徴とする請求項2に記載の加速度センサー。

【請求項4】

前記第1基板片及び前記第2基板片と前記蝶番部とが一体的に形成され、且つ前記第1基板片の前記第1支持面と前記第2基板片の前記第2支持面とが同一平面上にあることを特徴とする請求項1又は3に記載の加速度センサー。

【請求項5】

前記圧電センサー要素の短手方向中心部の位置が、前記第1支持面及び第2支持面と直交する方向からの平面視で前記蝶番部の短手方向幅中心部と一致していることを特徴とする請求項1乃至4の何れかに記載の加速度センサー。

10

【請求項6】

前記第1乃至第4の梁は、いずれも直線状であり、

前記第1被固定部において前記第1の梁と前記第2の梁とのなす角度、及び前記第2被固定部において前記第3の梁と前記第4の梁とのなす角度は、夫々鈍角であることを特徴とする請求項2乃至5の何れかに記載の加速度センサー。

【請求項7】

前記第1乃至第4の梁は、いずれもL字状であり、

前記第1の梁と前記第2の梁、及び前記第3の梁と前記第4の梁は、夫々コ字状に連結していることを特徴とする請求項2乃至6の何れかに記載の加速度センサー。

【請求項8】

前記第1乃至第4の梁は、いずれも円弧状であり、

前記第1の梁と前記第2の梁、及び前記第3の梁と前記第4の梁は、夫々半円状、半楕円状、或いは半長円状の何れかの状態で連結していることを特徴とする請求項2乃至7の何れかに記載の加速度センサー。

20

【請求項9】

前記第1被固定部の少なくとも一部は前記第1及び第2の梁の交差部よりも梁の外側に突出し、前記第2被固定部の少なくとも一部は前記第3及び第4の梁の交差部よりも梁の外側に突出した構成を備えていることを特徴とする請求項2乃至8の何れかに記載の加速度センサー。

【請求項10】

30

請求項1乃至9の何れかに記載の加速度センサーと、

前記加速度センサーの圧電センサー要素を励振する発振回路と、前記発振回路の出力周波数をカウントするカウンターと、前記カウンターの信号を処理する演算回路を有するICと、を備えていることを特徴とする加速度検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、加速度センサー、及び加速度検出装置に関し、特に加速度が加えられたときに生じる力の方向を変換すると共に、前記力を増大するように改善した加速度センサー、及び加速度検出装置に関するものである。

40

【背景技術】

【0002】

圧電振動素子を使用した加速度センサーは、圧電振動素子に検出軸方向の力が作用すると圧電振動素子の共振周波数が変化し、当該共振周波数の変化から加速度センサーに印加される加速度を検出するように構成されている。

特許文献1には、フレーム状の平行四辺形枠の一方の対角に双音叉型振動素子を接合し、他方の対角に圧縮力、又は伸長力を加える構成の加速度計及び製造方法が開示されている。

この加速度計は、図7の断面図に示すように、検知軸119に沿って可動するマス116が屈曲部118によって支持体117に結合されるように構成されている。マス116

50

と支持体 117との間に接続された一対の力検知クリスタル 121、122は、加えられた力に応じて周波数が変動する。これらの力検知クリスタル 121、122は、周波数発振器 123、124で励振され、2つの発振器の信号が加算回路 126に入力され、2つの周波数の差に対応した出力信号を出力する。

加速度計は、水晶（石英結晶）等で形成された5つのディスク状素子が、検知軸に沿って互いに積層されて構成されている。即ち、加速度計は、図8に示す中央素子 127と、中央素子 127の両側に配置される図9に示す一対のトランスジューサ素子 128と、これらトランスジューサ素子 128の両外側の一対の蓋（図示せず）と、を有している。ここで、図8（a）は中央素子 127の平面図であり、同図（b）はQ-Qにおける断面図である。

中央素子 127は、図8に示すように固定部 134と、質量を有する可動部（震性マス） 133とを備えている。可動部 33は、検知軸に対して垂直に延びた丁番軸 137の回りに可動できるように、一対の屈曲部 136によって固定部 134に取りつけられている。可動部 133と固定部 134は、該固定部 134が取りつけられる載置リング 139の内部に配置される。隔離リング 141はこの載置リング 139の外側に同心的に配置されており、フレキシブルなアームが、載置リング 139と隔離リング 141とを接続している。中央素子は一体構造として形成されている。

【0003】

トランスジューサ素子 128は、図9の平面図に示すように載置リング 146を有し、この内部には、力検知素子（クリスタル） 147と結合プレート 148が配置される。力検知素子 147は、4つのリンク 152から成る四辺形フレーム 149の一方の相対する対角に双音叉型圧電振動素子 151を接続し、他方の相対する対角にパッド 154、156を備えている。一方のパッド 154は結合プレート 148と一体的に形成され、他方のパッド 156は載置リング 146と一体的に形成されている。

2つのトランスジューサ素子 128の各結合プレート 148は、中央素子 127の可動部 133の両主表面 138と接着剤によって結合され、トランスジューサ素子の載置リング 146は接着剤によって中央素子 127の載置リング 139に接合される。

2個の蓋は、その一方の側に窪みを有した円形に形成され、密閉構造となるが、内部にガスを入れ制動プレートとしても機能する。窪みは各トランスジューサ素子 128に面しており、蓋の周辺は接着剤によってトランスジューサ素子 128の載置リング 146に接合されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特許第 2851566号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献 1に開示されている加速度計は、1つの中央素子 127と、2つのトランスジューサ素子 128と、2つの蓋を用いて構成され、部品点数が多すぎるという問題があった。更に、中央素子 127及びトランスジューサ素子 128は極めて複雑な構造をしており、これらの素子の歩留まりも低いことが想定され、組み立てられた加速度の調整に多くの工数を要する虞もあり、加速度計のコストも極めて高価になるという問題があった。

また、加速度計内部に制動用のガスが封入されているので、トランスジューサ素子 128の振動素子 151のQ値が劣化し、励振しづらいという問題があった。

発明は上記問題を解決するためになされたもので、構造が単純で加速度検出感が高く、製造コストの低減が可能な加速度センサー、及び加速度検出装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、上記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、以下の形態又は適用例として実現することが可能である。

【0007】

【適用例1】本発明の加速度センサーは、圧電センサーと、該圧電センサーを支持する第1支持面及び第2支持面を有した支持基板と、を備え、前記圧電センサーは、検知軸方向の力に応じた電気信号を生成する圧電センサー要素と、前記圧電センサー要素を前記支持基板上に支持するために前記第1及び第2支持面に夫々固定される第1被固定部及び第2被固定部と、前記圧電センサー要素に対して前記第1被固定部及び前記第2被固定部を夫々連結する第1乃至第4の梁と、を備え、前記支持基板は、前記第1被固定部を固定する前記第1支持面を有する固定側の第1基板片と、該第1支持面の面方向に並置され且つ前記第2被固定部を支持する前記第2支持面を備えた可動側の第2基板片と、前記第1基板片と前記第2基板片の対向する側端縁間を連結して該第2基板片を厚さ方向へ揺動させる蝶番部と、を備え、前記圧電センサー要素は、前記検知軸方向と直交する方向へ延びる細長い構成であり、且つ該センサー要素の短手方向中心部が前記蝶番部の短手方向幅内に位置するように前記蝶番部の長手方向に沿って前記支持面から離間配置されており、前記第1の梁は、前記第1被固定部と前記圧電センサー要素の長手方向一端部とを連結し、前記第2の梁は、前記第1被固定部と前記圧電センサー要素の長手方向他端部とを連結し、前記第3の梁は、前記第2被固定部と前記圧電センサー要素の長手方向一端部とを連結し、前記第4の梁は、前記第2被固定部と前記圧電センサー要素の他方の端部とを連結することを特徴とする加速度センサーである。

10

20

【0008】

以上のように、支持基板は、固定側の平板状の第1基板片と、可動側の平板状の第2基板片と、両者を連結する蝶番とから成る。前記圧電センサーは、第1乃至第4の梁が平行四辺形のフレーム部を形成し、その一方の対角に第1被固定部及び第2被固定部を有し、他の対角に圧電センサー要素が連結された構成である。そのため、両者とも平板状の圧電基板を用い、フォトリソグラフィ技法とエッチング手法を適用して寸法精度の良い支持基板と圧電センサーとが形成でき、これら用いて小型で低コストの加速度センサーが量産可能になるという効果がある。その上、加速度センサーは前記第1乃至第4の梁が形成するフレーム部が加速度印加により生じる力の方向を90度変換すると共に、力を増大するように作用するので、小さな加速度も検出でき（高感度）、検出精度が高く再現性のある加速度センサーが得られるという効果がある。

30

【0009】

【適用例2】また加速度センサーは、前記第1及び第2支持面と直交する方向から見た前記第1乃至第4の梁は、夫々全長に渡って同一幅の細幅帯状をなしていることを特徴とする適用例1に記載の加速度センサーである。

【0010】

前記第1乃至第4の梁を同一幅の細幅帯状に形成することにより、加速度印加により生じる力の伝達効率がよく、小さく加速度を再現性よく検出することが可能になるという効果がある。

【0011】

【適用例3】また加速度センサーは、前記第1基板片及び前記第2基板片と前記蝶番部とが一体的に形成され、且つ前記第1基板片の前記第1支持面と前記第2基板片の前記第2支持面とが同一平面上にあることを特徴とする適用例1又は2に記載の加速度センサーである。

40

【0012】

第1基板片及び第2基板片と蝶番部とが、フォトリソグラフィ技法とエッチング手法を用いて圧電基板から一体的に形成されることにより、各部の寸法が精度よく形成でき、加速度センサーの検出感度を上げ、検出精度を改善できるという効果がある。また、第1基板片の第1支持面と第2基板片の第2支持面とを同一平面上にすることは容易であり、支持基板と圧電センサーとの接着による歪を最小にし、加速度センサーの歩留まりと、検出

50

精度の再現性を改善するという効果がある。

【0013】

[適用例4] また加速度センサーは、前記圧電センサー要素の短手方向中心部の位置が、前記蝶番部の短手方向幅中心部と一致していることを特徴とする適用例1乃至3の何れかに記載の加速度センサーである。

【0014】

圧電センサー要素の短手方向中心部と、蝶番部の短手方向幅中心部とをほぼ一致させることにより、加速度センサーの感度（同一の加速度が印加された場合の前記圧電センサー要素の周波数変化量）が最も良くなるという効果がある。

【0015】

[適用例5] また加速度センサーは、前記第1乃至第4の梁は、いずれも直線状であり、前記第1被固定部において前記第1の梁と前記第2の梁とのなす角度、及び前記第2被固定部において前記第3の梁と前記第4の梁とのなす角度は、夫々鈍角であることを特徴とする適用例1乃至4の何れかに記載の加速度センサーである。

【0016】

第1の梁と前記第2の梁とのなす角度、及び第3の梁と第4の梁とのなす角度を鈍角とすることにより、第1の梁と第3の梁とのなす角度、及び第2の梁と第4の梁とのなす角度が鋭角になり、第2基板片に加わる力の方向を90度変換し、且つ力の大きさを増大するという効果がある。

【0017】

[適用例6] 加速度センサーでは、前記第1乃至第4の梁は、いずれもL字状であり、第1の梁と第2の梁、及び第3の梁と第4の梁は、夫々コ字状に連結していることを特徴とする適用例1乃至5の何れかに記載の加速度センサーである。

【0018】

第1の梁と第1被固定部、第2の梁と第1被固定部、第3の梁と第2被固定部、第4の梁と第2被固定部がいずれもほぼL字状を形成し、第1の梁と第2の梁、及び第3の梁と第4の梁は、夫々コ字状に連結することにより、第2基板片に加わる力の方向を90度変換し、且つ力の大きさを増大するという効果がある。

【0019】

[適用例7] また加速度センサーは、前記第1乃至第4の梁は、いずれも円弧状であり、前記第1の梁と前記第2の梁、及び前記第3の梁と前記第4の梁は、夫々半円状、半楕円状、或いは半長円状に連結していることを特徴とする適用例1乃至5の何れかに記載の加速度センサーである。

【0020】

第1の梁と第2の梁、及び第3の梁と第4の梁は、夫々半円状、半楕円状、或いは半長円状に形成されているので、第2基板片に加わる力の方向を90度変換し、且つ力の大きさを増大するという効果がある。

【0021】

[適用例8] また加速度センサーは、前記第1被固定部の少なくとも一部は前記第1及び第2の梁の交差部よりも梁の外側に突出し、前記第2被固定部の少なくとも一部は前記第3及び第4の梁の交差部よりも梁の外側に突出した構成を備えていることを特徴とする適用例1乃至7の何れかに記載の加速度センサーである。

【0022】

第1被固定部及第2被固定部が、第1及び第2の梁の交差部及び第3及び第4の梁の交差部よりも各梁の外側に突出したように形成するので、第2基板片に加わる力を各梁に均等に伝達するという効果がある。

【0023】

[適用例9] 本発明の加速度検出装置は、適用例1乃至8の何れかに記載の加速度センサーと、前記加速度センサーの圧電センサー要素を励振する発振回路と、前記発振回路の出力周波数をカウントするカウンターと、前記カウンターの信号を処理する演算回路を有

10

20

30

40

50

する I C と、表示部と、を備えたことを特徴とする加速度検出装置である。

【 0 0 2 4 】

支持基板及び圧電センサーを、水晶基板を用いて形成し、且つ圧電センサー要素を双音叉型水晶振動素子として加速度センサーを構成する。該加速度センサーと、各機能を備えた I C とで加速度検出装置を構成すると、加速度検出感度が大幅に改善され、検出精度、再現性、温度特性、エージング等の優れた加速度検出装置が実現できるという効果がある。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 5 】

【 図 1 】本発明に係る加速度センサーの構造を示した概略図であり、(a) は平面図、(b) は断面図。 10

【 図 2 】双音叉型圧電振動素子を説明する図で、(a) は振動モードの平面図、(b) は振動腕に形成した励振電極と、ある瞬間に発生する電荷の符号を示す図、(c) は励振電極の結線図。

【 図 3 】第 1 乃至第 4 梁が形成するフレーム部の作用を説明する概略図。

【 図 4 】(a) 、(b) 、(c) は夫々圧電センサー要素と蝶番部との相互の位置関係を示す要部平面図。

【 図 5 】第 2 の実施例の加速度センサー 2 の構造を示した概略図であり、(a) は平面図、(b) は断面図。 20

【 図 6 】本発明の加速度検出装置の構成を示すブロック図。

【 図 7 】従来の加速度計の構成を示す模式的断面図。

【 図 8 】従来の加速度計の中央素子の構成を示す、(a) は平面図、(b) は断面図。

【 図 9 】従来の加速度計のトランジシューサ素子の構成を示す平面図。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 6 】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。図 1 は、本発明の一実施形態に係る加速度センサー 1 の構成を示す概略図であり、同図(a) は平面図、同図(b) は Q - Q における断面図である。加速度センサー 1 は、圧電センサー 10 と、該圧電センサー 10 を支持する第 1 支持面 5 a 及び第 2 支持面 7 a を有した支持基板 4 と、を備えている。 30

圧電センサー 10 は、図 1 (b) に示す検知軸方向 9 の力に応じた電気信号を生成する圧電センサー要素 20 と、圧電センサー要素 20 を支持基板 4 上に支持するために、第 1 支持面 5 a 及び第 2 支持面 7 a に夫々固定される第 1 被固定部 14 a 及び第 2 被固定部 14 c と、圧電センサー要素 20 に対して第 1 被固定部 14 a 及び第 2 被固定部 14 c を夫々連結する第 1 の梁乃至第 4 の梁 12 a 、 12 b 、 12 c 、 12 d と、を備えている。

【 0 0 2 7 】

支持基板 4 は、図 1 (b) に示すように、固定する側の第 1 基板片 5 と、可動する側の第 2 基板片 7 と、第 1 基板片 5 と第 2 基板片 7 とを連結する蝶番部 8 と、を備えている。つまり、支持基板 4 は、圧電センサー 10 の第 1 被固定部 14 a を固定する第 1 支持面 5 a を有する固定側の第 1 基板片 5 と、第 1 支持面 5 a の面方向(図面横方向) に並置され、且つ第 2 被固定部 14 c を支持する第 2 支持面 7 a を備えた可動側の第 2 基板片 7 と、第 1 基板片 5 と第 2 基板片 7 の対向する側端縁間を連結して該第 2 基板片を厚さ方向へ揺動させる蝶番部 8 と、を備えている。蝶番部 8 は、第 1 基板片 5 及び第 2 基板片 7 の厚さより薄く形成され、蝶番部 8 より可撓するように構成されている。蝶番部 8 の断面形状は矩形状、台形状、円弧状等であり、厚さ方向の少なくとも一方に形成されている。

第 1 基板片 5 及び第 2 基板片 7 と蝶番部 8 とは、一体的に形成され、且つ第 1 基板片 5 の第 1 支持面 5 a と第 2 基板片 7 の第 2 支持面 7 a とが同一平面上にある。

【 0 0 2 8 】

圧電センサー 10 の第 1 の梁乃至第 4 の梁 12 a ~ 12 d は、フレーム状の平行四辺形、或いは菱形(フレーム部 12 と称す) を有しており、一方の対角部に第 1 被固定部 14

20

30

40

50

a 及び第2被固定部14cが配置され、他方の対角部に第1基台部14b及び第2基台部14dが配置されている。つまり、フレーム部12の第1の梁12aは、第1被固定部14aと第1基台部14bとを連結し、第2の梁12bは、第1被固定部14aと第2基台部14dとを連結している。更に、第3の梁12cは、第2被固定部14cと第1基台部14bとを連結し、第4の梁12dは、第2被固定部14cと第2基台部14dとを連結して、第1の梁乃至第4の梁12a～12dがフレーム状の平行四辺形を形成している。

圧電センサー10の第1被固定部14a及び第2被固定部14cは、支持基板4の第1支持面5a及び第2支持面7aに固定され、第2基板片7の揺動を第1の梁乃至第4の梁12a～12dを介して圧電センサー要素20に伝達するように構成されている。

【0029】

10

第1の梁乃至第4の梁12a～12dは、いずれも直線状であり、第1被固定部14aにおいて第1の梁12aと第2の梁12bとのなす角度、及び第2被固定部14cにおいて第3の梁12cと第4の梁12dとのなす角度は、夫々鈍角であるように構成する。つまり、第1基台部14bにおける第1の梁12aと第3の梁12cとのなす角度と、第2基台部14dにおける第2の梁12bと第4の梁12dとのなす角度と、が鋭角であるフレーム部12は、第1被固定部14a及び第2被固定部14cに加わる力の方向を90度変換し、力の大きさを増大して圧電センサー要素20に加える働きをする。前記の角度により力の増大率は変化する。

また、第1支持面5a及び第2支持面7aと直交する方向から見た第1の梁乃至第4の梁12a～12dは、夫々全長に渡って同一幅の細幅帯状をなしている。

20

【0030】

30

圧電センサー要素20は、フレーム部12の第1基台部14b及び第2基台部14dに、夫々第1支持片26a及び第2支持片26bにより連結され、フレーム部12と一体となり、圧電センサー10を構成している。圧電センサー要素20は、加速度センサー1の検知軸方向9と直交する方向へ延びる細長い構成であり、圧電センサー10の第1被固定部14a及び第2被固定部14cを、支持基板4の第1支持面5a及び第2支持面7aに支持・固定する際に、圧電センサー要素20の短手方向中心部が、支持基板4の蝶番部8の短手方向幅内に位置するように、蝶番部8の長手方向に沿って第1支持面5a及び第2支持面7aから離間して配置されている。望ましくは、圧電センサー要素20の短手方向中心部と、蝶番部8の短手方向幅中心部とをほぼ一致させる。なお、蝶番部8の長手方向と短手方向、および圧電センサー要素20の長手方向と短手方向は、第1支持面5aまたは第2支持面7aの拡がる方向に沿っている。

第1被固定部14aの少なくとも一部は第1及び第2の梁12a、12bの交差部よりも梁の外側に突出し、第2被固定部14cの少なくとも一部は第3及び第4の梁12c、12dの交差部よりも梁の外側に突出するように構成する。

【0031】

40

圧電センサー要素20には、例えば図1(a)に示すように一对の振動腕22a、22bと、一对の基部24a、24bと、を備えた双音叉型圧電振動素子を用いる。圧電センサー要素20が、双音叉型圧電振動素子で構成される場合について、図2を用いて簡単に説明する。

双音叉型圧電振動素子20は、図2(a)に示すような一对の基部24a、24b及び基部24a、24b間を連設する一对の振動腕22a、22bを備えた圧電基板からなる応力感応部と、該圧電基板の振動領域上に形成した励振電極と、を備えている。図2(a)の破線は双音叉型圧電振動素子20の振動姿態を示す平面図である。双音叉型圧電振動素子20の振動モードが、一对の振動腕22a、22bの長手方向の中心軸に対して、互いに対称な振動モードで振動するように励振電極を配置する。図2(b)は振動腕22a、22bに形成した励振電極と、ある瞬間に励起される励振電極上の電荷の符号を示した平面図である。また、図2(c)は励振電極の結線を示す模式断面図である。

【0032】

双音叉型圧電振動素子20、例えば双音叉型水晶振動素子は、伸張・圧縮応力に対する

50

感度が良好であり、高度計用、或いは深度計用の応力感応素子として使用した場合には、分解能力が優れているために僅かな気圧差から高度差、深度差を知ることができる。

双音叉型水晶振動素子の周波数温度特性は、上に凸の二次曲線であり、その頂点温度は水晶結晶のX軸（電気軸）の回りの回転角度に依存する。一般的には頂点温度が常温（25）になるように各パラメータを設定する。

双音叉型水晶振動素子の一対の振動腕に外力Fを加えたときの共振周波数 f_F は式（1）のように表わされる。

$$f_F = f_0 (1 - (KL^2 F) / (2EI))^{1/2} \quad (1)$$

ここで、 f_0 は外力がないときの双音叉型水晶振動素子の共振周波数、Kは基本波モードによる定数（=0.0458）、Lは振動ビームの長さ、Eは縦弾性定数、Iは断面2次モーメントである。断面2次モーメントIは $I = dw^3 / 12$ より、式（1）は式（2）のように変形することができる。ここで、dは振動ビームの厚さ、wは幅である。

$$f_F = f_0 (1 - S_F)^{1/2} \quad (2)$$

但し、応力感度 S_F と、応力 F とはそれぞれ次式で表される。

$$S_F = 12 (K/E) (L/w)^2 \quad (3)$$

$$= F / (2A) \quad (4)$$

ここで、Aは振動ビームの断面積（=w・d）である。

【0033】

以上の式から双音叉型水晶振動子に作用する力Fを圧縮方向のとき負、伸張方向（引張り方向）を正としたとき、力Fと共振周波数 f_F の関係は、力Fが圧縮力で共振周波数 f_F が減少し、伸張（引張り）力では増加する。また応力感度 S_F は振動ビームの L/w の2乗に比例する。

図1に示した圧電センサー要素20は、上記の水晶基板を用いた双音叉型水晶振動子に限らず、伸張・圧縮応力によって周波数が変化する振動素子であればどのような振動素子でもよい。例えば振動体に駆動部を接着した振動素子、シングルビーム振動素子、厚み滑り振動素子、S A W振動素子等を用いることが可能である。

【0034】

フレーム部12の動作について、図3に示す模式図を用いて説明する。第2被固定部14cに-X軸方向（図中左方）への力（ベクトル） f_a が、第1被固定部14aに+X軸方向（図中右方）への力（ベクトル） f_b が、夫々作用するものとする。-X軸方向の力 f_a は、ベクトルの平行四辺形の法則により、第3の梁12cの方向の力 f_{a2} と、第4の梁12dの方向の力 f_{a1} とに分解され、+X軸方向の力 f_b は、第1の梁12aの方向の力 f_{b2} と、第2の梁12bの方向の力 f_{b1} とに分解される。第2被固定部14c及び第1被固定部14aに作用するこれらの力 f_{a1} 、 f_{a2} 、 f_{b1} 、 f_{b2} は、フレーム部12の第1基台部14bに、第3の梁12cの方向の力 f_{a2} と第1の梁12aの方向の力 f_{b2} とが、第2基台部14dに、第4の梁12dの方向の力 f_{a1} と第2の梁12bの方向の力 f_{b1} とが、作用するのと等価である。

第1基台14bに働く力 f_{a2} と f_{b2} を、平行四辺形の法則により合成すると力 F_2 となる。同様に第2基台14dに働く力 f_{a1} と f_{b1} とを合成すると力 F_1 となる。

フレーム12の第1被固定部14a及び第2被固定部14cに作用する力 f_a 、 f_b は、第1基台14b及び第2基台14dに作用する力 F_2 と F_1 と等価である。つまり、フレーム部12は、力の方向を90度変換させると共に、力の大きさを増大させる機能を有している。

【0035】

本発明の加速度センサー1の動作について説明する。加速度センサー1に検出軸9（Z軸）方向の加速度（+Z軸方向）が印加されると、支持基板4の第2支持片7には力F（=m \times 、mは第2支持片7の質量）が働き、この力Fにより第2支持片7は蝶番部8から-Z軸方向に撓むことになる。第2支持片7が-Z軸方向に撓むと、第1被固定部14aは、図示しない基板に支持・固定された第1基板片に固定されているので、+X軸方向の力が加わる。第2支持片7に固定された第2被固定部14cには、-X軸方向に力が

作用する。つまり、第2被固定部14cには-X軸方向の力fが、第1被固定部14aには+X軸方向の力fが、作用することになる。フレーム部12の第1被固定部14a及び第2被固定部14cに互いに逆向きで同じ大きさの力fがX軸方向に働くと、図3で説明したように、第1基台部14b及び第2基台部14dにはY軸方向で互いにフレーム部12の中心部よりの力Fが働く。この力Fにより、圧電センサー要素20は圧縮力が加わる。圧電センサー要素20が、例えば双音叉型圧電振動素子の場合にはその周波数が減少する。

また、加速度センサー1に-Z軸方向の加速度が印加されると、第2支持片7は蝶番部8から+Z軸方向に撓み、圧電センサー要素20には伸長力(引張力)が加わる。圧電センサー要素20が双音叉型圧電振動素子の場合には、その周波数が増加する。

圧電センサー要素20の周波数の増減により加速度の方向が検出でき、周波数の変化量から加速度の大きさが検出できる。

【0036】

図4(a)、(b)、(c)は加速度センサー1の要部である支持基板4の蝶番部8と、第1基板片5と第2基板片7とに支持・固定された圧電センサー10と、の相互の位置関係を示した要部平面図である。図4(a)は、蝶番部8の長手方向の中心線が、圧電センサー10の圧電センサー要素20の長手方向の中心線から図中左方にずれた場合の平面図である。図4(b)は、蝶番部8の長手方向の中心線と、圧電センサー要素20の長手方向の中心線とが一致する場合の平面図である。図4(c)は蝶番部8の長手方向の中心線が、圧電センサー要素20の長手方向の中心線から図中右方へずれた場合の平面図である。

図4(a)、(b)、(c)の夫々の場合のセンサー感度(同一の力を加えた場合の周波数変化度)を有限要素法を用いてシミュレーションした。その結果、図4(b)の場合が、フレーム部12の各梁に均等に応力が加わり、且つ蝶番部8の中央部に応力が集中し、センサー感度がもっとも大きいことが判明した。図4(a)、(c)の場合は、フレーム部12の各梁に加わる応力は均等ではなく、且つ蝶番部8にかかる応力も中央より端の方に分散し、センサー感度も小さくなることが判明した。

これに対し、特許第2851566号公報では、該公報の図4に示されているように、蝶番軸(蝶番の中心線)と、振動枝(双音叉型振動子)の長手方向の中心線とが離れており、本発明の加速度センサーとは大きく異なる。

【0037】

以上では、第1の梁乃至第4の梁12a～12dの形成するフレーム部12の形状が、平行四辺形の場合について説明したが、フレーム部12はこれに限定するものではない。第1の梁12aと第1被固定部14a、第2の梁12bと第1被固定部14a、第3の梁12cと第2被固定部14c、第4の梁12dと第2被固定部14cがいずれもほぼL字状を形成し、第1の梁12aと第2の梁12b、及び第3の梁12cと第4の梁12dは、夫々コ字状に連結していてもよい。

また、第1の梁乃至第4の梁12a～12dは、いずれも円弧状とし、第1の梁12aと第2の梁12b、及び第3の梁12cと第4の梁12dは、夫々半円状、半楕円状、或いは半長円状に形成されていてもよい。

以上何れの場合も、第2基板片に加わる力の方向を90度変換し、且つ力の大きさを増大するという効果がある。

【0038】

加速度センサー1の組み立ては、圧電センサー10の第1被固定部14a及び第2被固定部14cに接着剤30、例えば残留歪の少ない低融点ガラスを塗布し、第1被固定部14a及び第2被固定部14cを、支持基板4の第1支持面5a及び第2支持面7aに、接着固定する。これを密閉容器に入れ、内部を真空にして加速度センサー1を構成する。加速度センサー1の検出感度を上げるには、第2支持片7の表面に錐を貼り付ける方法がある。

支持基板4及び圧電センサー10の製造法の一例は、平板状の圧電基板にフォトリソグ

10

20

30

40

50

ラフィ技法とエッチング手段を適用して製造する方法である。更に圧電センサー10の場合は蒸着法を用いて電極及びリード電極、パッド電極等を形成する。圧電基板としては、水晶、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム、ランガサイト等の圧電基板がある。例えば水晶基板(水晶ウエハー)を用いる場合には、フォトリソグラフィ技法とエッチング手法については長年の実績があり、精度のよい圧電センサー10及び支持基板4の量産化が容易である。

【0039】

支持基板4と圧電センサー10との形成にフォトリソグラフィ技法とエッチング手法を用いれば、寸法精度の良い支持基板4と圧電センサー10とが形成でき、これらから小型で低コストの加速度センサー1が量産可能になるという効果がある。その上、加速度センサーは第1の梁乃至第4の梁12a～12dが形成するフレーム部12が加速度印加により生じる力の方向を90度変換すると共に、力の大きさを増大するように作用するので、小さな加速度も検出できる高感度で、精度が高く再現性のある加速度センサーが得られるという効果がある。

また、第1の梁乃至第4の梁12a～12dを同一幅の細幅帯状に形成することにより、加速度印加により生じる力の伝達効率がよく、小さく加速度を再現性よく検出することが可能になるという効果がある。

【0040】

第1基板片5及び第2基板片7と蝶番部8とが、フォトリソグラフィ技法とエッチング手法を用いて圧電基板から一体的に形成されることにより、各部の寸法が精度よく形成でき、加速度センサーの検出感度を上げ、検出精度を改善できるという効果がある。また、第1基板片5の第1支持面5aと第2基板片7の第2支持面7aとを同一平面上にすることは容易であり、支持基板4と圧電センサー10との接着による歪を最小にし、加速度センサーの歩留まりと、検出精度の再現性を改善するという効果がある。

また、圧電センサー要素20の短手方向中心部と、蝶番部8の短手方向幅中心部とをほぼ一致させることにより、加速度センサーの感度(同一の加速度が印加された場合の前記圧電センサー要素の周波数変化量)が最も良くなるという効果がある。

第1の梁12aと第2の梁12bとのなす角度、及び第3の梁12cと第4の梁12dとのなす角度を鈍角とすることにより、第1の梁12aと第3の梁12cとのなす角度、及び第2の梁12bと第4の梁12dとのなす角度が鋭角になり、第2基板片7に加わる力の方向を90度変換し、且つ力の大きさを増大するという効果がある。

また、第1被固定部及第2被固定部14a、14cが、第1及び第2の梁12a、12bの交差部及び第3及び第4の梁12c、12dの交差部よりも各梁の外側に突出したように形成するので、第2基板片に加わる力を各梁に均等に伝達するという効果がある。

【0041】

図5は第2の実施例の加速度センサー2の構成を示す図であり、同図(a)は平面図、同図(b)はQ-Qにおける断面図である。図1に示した加速度センサー1と異なる点は、圧電センサー10の第1被固定部14a及び第2被固定部14cに夫々矩形状の第1板状基板及び第2板状基板28a、28bを付加した点である。第1板状基板28aは圧電センサー要素20の励振電極から延在するリード電極(引出電極)の接続位置の自由度を増し、第2板状基板28bは第2基板片7に接着剤30で接着・固定することにより、第2基板片7の質量が増し、加速度センサー2の感度を上げる効果がある。

【0042】

図6は本発明の加速度検出装置3の構成を示すブロック図である。加速度検出装置3は、上記の加速度センサー1と、該加速度センサー1の圧電センサー要素20を励振する発振回路51と、該発振回路51の出力周波数をカウントするカウンター53と、該カウンター53の信号を処理する演算回路55を有するIC50と、表示部56と、を備えた加速度検出装置である。

支持基板及び前記圧電センサー4、10を、水晶基板を用いて形成し、且つ圧電センサー要素20を双音叉型水晶振動素子として加速度センサーを構成し、該加速度センサーと

10

20

30

40

50

、前記各機能を備えた I C とで加速度検出装置を構成すると、加速度検出感度が大幅に改善され、検出精度、再現性、温度特性、エージング等の優れた加速度検出装置が実現できるという効果がある。

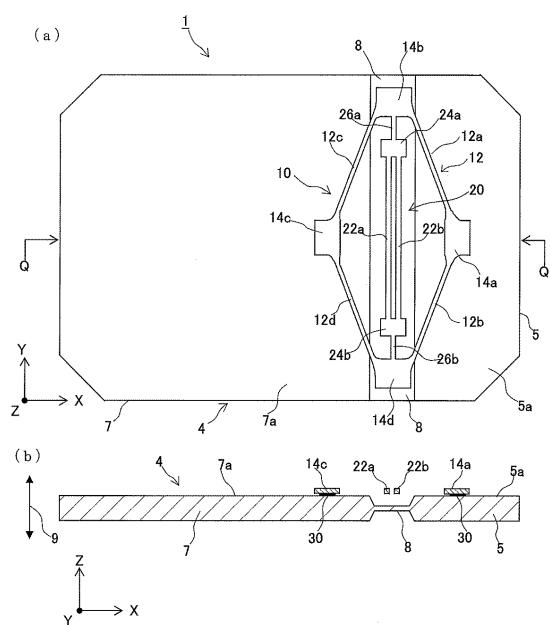
【符号の説明】

【0043】

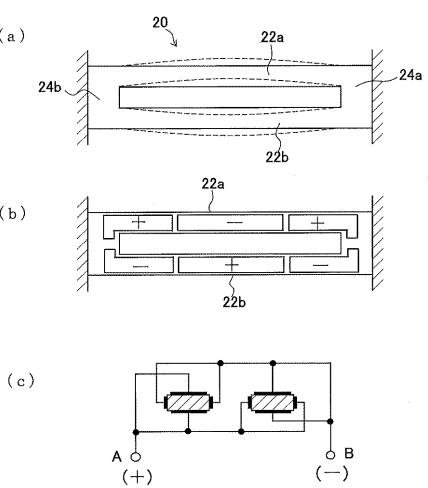
1、2 … 加速度センサー、3 … 加速度検出装置、4 … 支持基板、5 … 第1基板片、5a … 第1支持面、7 … 第2基板片、7a … 第2支持面、8 … 蝶番部、9 … 検知軸、10 … 圧電センサー、12 … フレーム部、12a … 第1の梁、12b … 第2の梁、12c … 第3の梁、12d … 第4の梁、14a … 第1被固定部、14b … 第1基台部、14c … 第2被固定部、14d … 第2基台部、20 … 圧電センサー要素、22a、22b … 振動腕、24a、24b … 基部、26a … 第1支持片、26b … 第2支持片、28a … 第1板状基板、28b … 第2板状基板、30 … 接着剤、50 … I C、51 … 発振回路、53 … カウンター、55 … 演算回路、56 … 表示部

10

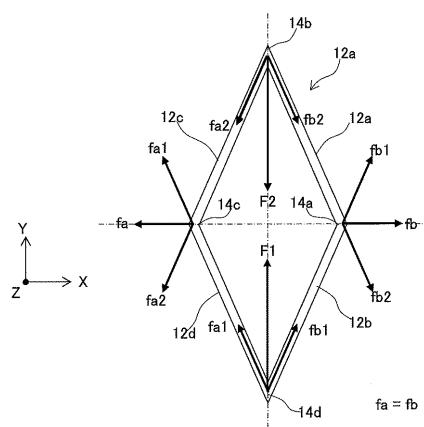
【図1】



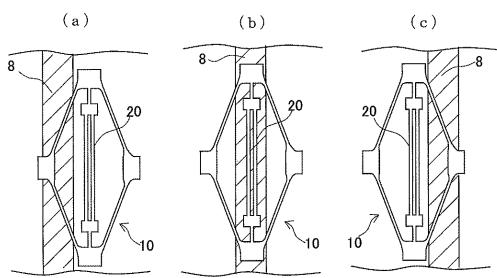
【図2】



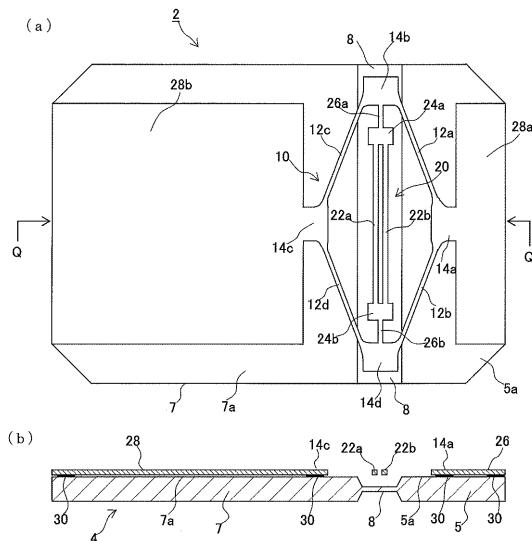
【図3】



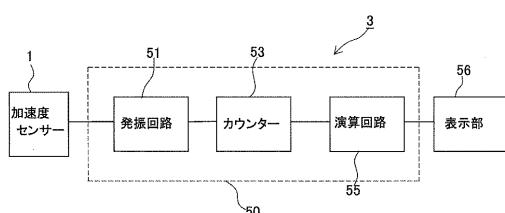
【図4】



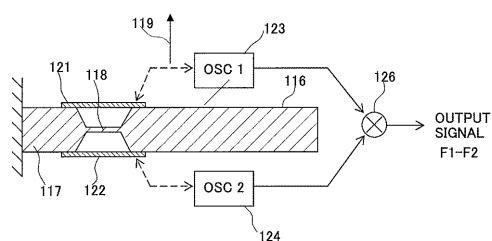
【図5】



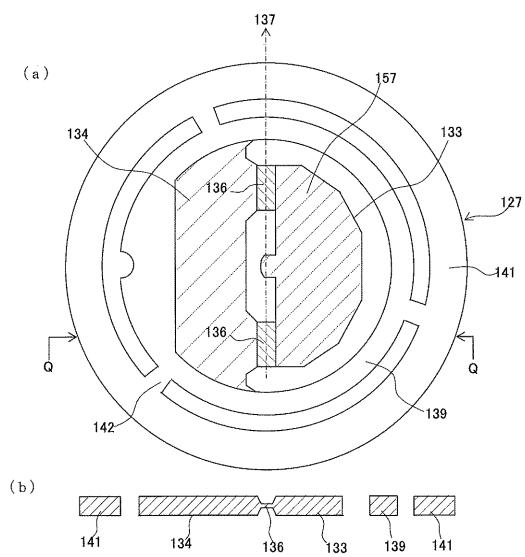
【図6】



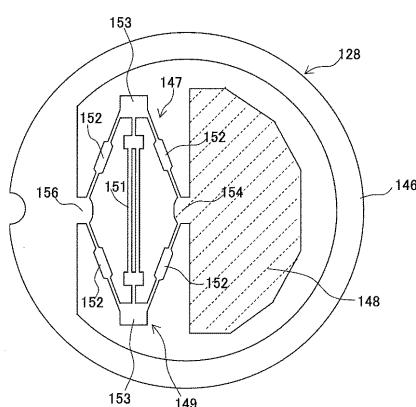
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

審査官 續山 浩二

(56)参考文献 特開平08-054411(JP, A)
特開2009-236899(JP, A)
特開2008-170203(JP, A)
特開2009-156831(JP, A)
米国特許第5289719(US, A)
米国特許第4970903(US, A)
特開平05-223662(JP, A)
米国特許第5036715(US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 01 P 15 / 10
H 01 L 41 / 08
H 01 L 41 / 18
G 01 L 1 / 10