

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5772910号
(P5772910)

(45) 発行日 平成27年9月2日(2015.9.2)

(24) 登録日 平成27年7月10日(2015.7.10)

(51) Int.Cl.		F I			
HO3H	9/19	(2006.01)	HO3H	9/19	J
HO3H	9/215	(2006.01)	HO3H	9/215	

請求項の数 10 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2013-197949 (P2013-197949)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成25年9月25日(2013.9.25)		セイコーエプソン株式会社
(62) 分割の表示	特願2009-295836 (P2009-295836) の分割		東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
原出願日	平成21年12月25日(2009.12.25)	(74) 代理人	100095728
(65) 公開番号	特開2014-3711 (P2014-3711A)		弁理士 上柳 雅誉
(43) 公開日	平成26年1月9日(2014.1.9)	(74) 代理人	100116665
審査請求日	平成25年10月18日(2013.10.18)		弁理士 渡辺 和昭
(31) 優先権主張番号	特願2008-335548 (P2008-335548)	(72) 発明者	山田 明法
(32) 優先日	平成20年12月27日(2008.12.27)		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
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	審査官	鬼塚 由佳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動片、振動子、センサー及び電子部品

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

長手方向が第1の方向に沿っている第1の振動腕と、前記第1の方向に交差する第2の方向に沿って前記第1の振動腕と並ぶ方向に配置されており、長手方向が前記第1の方向に沿っている第2の振動腕と、前記第1の振動腕および前記第2の振動腕の前記長手方向の一端側であって、前記第1の振動腕と前記第2の振動腕との間に配置され、前記第1の振動腕と前記第2の振動腕とを連結している連結部と、前記連結部から前記第1の方向に沿って延出しており、前記第1の振動腕と前記第2の振動腕との間に配置されている中央支持腕と、

を含み、

前記連結部は、

前記第2の方向において、前記第1の振動腕と接続している部分と前記中央支持腕の前記第1の振動腕に対向する側の外縁を前記連結部側に延長した第一仮想線との間である第1の領域、前記第2の振動腕と接続している部分と前記中央支持腕の前記第2の振動腕に対向する側の外縁を前記連結部側に延長した第二仮想線との間である第2の領域、および前記第一仮想線と前記第二仮想線との間である第3の領域、を有し、前記第1の領域および前記第2の領域であって、且つ、互いに表裏の関係にある2つの主面のうち、少なくとも一方に、開口を有している溝が設けられていることを特徴とする

10

20

振動片。

【請求項 2】

請求項 1 において、
前記溝が有底の溝であることを特徴とする振動片。

【請求項 3】

請求項 1 において、
前記溝は前記一方の主面から他方の主面へ貫通していることを特徴とする振動片。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項において、
前記溝の前記第 1 の方向に沿った幅を W 、
前記連結部の前記第 1 の方向に沿った幅を T としたとき、
 $0.1 \times T \leq W \leq 0.65 \times T$

を満たしていることを特徴とする振動片。

10

【請求項 5】

請求項 4 において、
 $0.2 \times T \leq W \leq 0.6 \times T$

を満たしていることを特徴とする振動片。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか一項において、
前記第 1 の振動腕および前記第 2 の振動腕は、圧電駆動、静電駆動及び磁気駆動の何れ
かにより屈曲振動することを特徴とする振動片。

20

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれか一項において、
前記第 1 の振動腕、前記第 2 の振動腕、前記連結部、及び前記中央支持腕が、水晶及び
シリコンの何れかで一体的に構成されていることを特徴とする振動片。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の振動片を備えることを特徴とする振動子。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の振動片を備えることを特徴とするセンサー。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の振動片を備えることを特徴とする電子部品。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、屈曲振動モードで振動する屈曲振動片に関し、更に屈曲振動片を用いた振動
子や共振子、発振器ジャイロ、各種センサ等の様々な電子部品に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、屈曲振動モードの圧電振動片として、基部から 1 対の振動腕を平行に延出させか
つ水平方向に互いに接近又は離反する向きに振動させる音叉型のものが広く使用されてい
る。この振動腕を屈曲励振させたとき、その振動エネルギーに損失が生じると、 CI 値の増
加や Q 値の低下など、振動子の性能を低下させる原因となる。そこで、かかる振動エネ
ルギの損失を防止又は低減するために、従来から様々な工夫がなされている。

40

【0003】

例えば、振動腕が延出する基部の両側部に切込み部又は所定深さの切込み溝を形成した
音叉型水晶振動片が知られている（特許文献 1, 2 を参照）。この水晶振動片は、振動腕
の振動が垂直方向の成分をも含む場合に、振動が基部から漏れるのを切込み部又は切込み
溝により緩和することによって、振動エネルギーの閉込効果を高めて CI 値を抑制し、かつ
振動片間での CI 値のばらつきを防止している。

【0004】

50

かかる機械的損失だけでなく、振動エネルギーの損失は、屈曲振動する振動腕の圧縮部と引張応力を受ける伸張部との間で発生する温度差による熱伝導によっても発生する。この熱伝導によって生じるQ値の低下は、熱弾性損失効果と呼ばれている。熱弾性損失効果によるQ値低下を防止又は抑制するために、矩形断面を有する振動腕（振動梁）の中心線上に溝又は孔を形成した音叉型の振動子が知られている（例えば、特許文献3を参照）。

【0005】

特許文献3によれば、一般に温度差を原因として生じる固体の内部摩擦の場合によく知られた歪みと応力との関係式から、熱弾性損失は、屈曲振動モードの振動子において、振動数が変化したときに、緩和振動数 $f_m = 1/2$ （ここで、 ω は円周率、 T は緩和時間）でQ値が極小となる、と説明されている。このQ値と周波数との関係を一般的に表すと、図5の曲線Fのようになる（例えば、非特許文献1を参照）。同図において、Q値が極小 Q_0 となる周波数が緩和周波数 f_0 ($= 1/2$) である。

10

【0006】

他方、音叉型以外の屈曲振動子として、2本の平行な振動腕を連結部により互いに結合し、かつ該連結部から中央アームを両振動アームの間に延長させた共振器が考案されている（例えば、特許文献4を参照）。この共振器は、水晶で形成した単一部品の振動片からなり、振動アームの前面又は裏面の少なくとも一方に少なくとも1つの溝を形成することにより、励起電界をより均一にかつ局所的に強くしてエネルギー消費を少なくしかつCI値を抑制する。更に、機械的応力が最大となる連結部まで振動アームの溝を延長させて、この領域での電界を取り出すことにより、振動アームの振動結合効果を増加させている。

20

【0007】

屈曲振動振動モードで振動する振動片には、上述した圧電駆動型のもの以外に、静電気力を用いた静電駆動型や、磁気を用いた磁気駆動型のものがある。静電駆動型のものとして、シリコン材料の基板に方形枠部からなる第1の振動体を、第1の支持梁によりX軸方向に振動可能に支持し、第1の振動体の枠部内に方形平板状の第2の振動体を、第2の支持梁によりY軸方向に振動可能に支持し、基板側の縁部に設けた固定側導電部と第1の振動体側の縁部に設けた可動側導電部との間で発生する静電力によって、第1の支持梁を屈曲させて第1の振動体をX軸方向に振動させる角速度センサが知られている（例えば、特許文献5を参照）。別の静電駆動型として、固定フレームの内側に駆動梁で支持される振動フレームの内側に複合梁で取り付けられた錘部を有するシリコンウェハのセンサ本体と、それに対向するガラス基板とからなり、センサ本体側とガラス基板側との平行平板電極間で働く静電気力によって、センサ本体及び錘部を振動させる角速度センサが知られている（例えば、特許文献6を参照）。

30

【0008】

また、磁気駆動型のものとして、恒弾性材料の振動体を一端の支持部で外部固定台に固定支持し、その連結部から分岐したバネ部をその自由端に固着した磁石と基台に固着した電磁コイルとにより駆動して振動させる振動体構造が知られている（例えば、特許文献7を参照）。別の磁気駆動型として、シリコン基板から形成されかつ片持ち梁状に支持される薄膜振動板上に薄膜磁石を配置し、薄膜振動板の外側に設けた導体又は電磁コイルに交流電流を通電して発生する電磁力の作用によって、薄膜振動板を厚み方向に振動させるようにした角速度センサが知られている（例えば、特許文献8を参照）。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2002-261575号公報

【特許文献2】特開2004-260718号公報

【特許文献3】実願昭63-110151号明細書

【特許文献4】特開2006-345519号公報

【特許文献5】特開平5-312576号公報

【特許文献6】特開2001-183140号公報

50

【特許文献 7】特公昭 43 - 1194 号公報

【特許文献 8】特開平 10 - 19577 号公報

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献 1】C. Zener, 外 2 名, 「Internal Friction in Solids III. Experimental Demonstration of Thermoelastic Internal Friction」, PHYSICAL REVIEW, 1938 年 1 月 1 日, Volume 53, p.100-101

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

しかしながら、少なくとも本願発明者が知る限り、従来技術において、上述した熱弾性損失効果が屈曲振動モードの圧電振動片に与える影響を検討した例は、特許文献 3 以外にほとんど見当たらない。そこで、本願発明者は、特許文献 4 に記載されるように 2 本の振動腕の間に連結部から 1 本の中央支持腕を延長させた構造の圧電振動片について、振動腕の屈曲振動による熱弾性損失がその性能に及ぼす影響を検討した。

【0012】

図 6 において、圧電振動片 1 は、連結部 2 から延出する 2 本の平行な振動腕 3, 4 を備える。両振動腕 3, 4 の間には、1 本の中央支持腕 5 が連結部 2 から前記振動腕と等間隔をもって平行に延長している。前記各振動腕の表裏各主面には、それぞれ 1 本の直線状の溝 6, 7 が形成されている。圧電振動片 1 は、前記中央支持腕の先端側即ち前記連結部とは反対側の端部で、図示しないパッケージ等に固定保持される。この状態で、図示しない励振電極に所定の電圧を印加すると、振動腕 3, 4 は、図中想像線及び矢印で示すように互いに接近又は離反する向きに屈曲振動する。

【0013】

この屈曲振動によって、連結部 2 には、前記各腕の幅方向に沿って振動腕 3, 4 を接続する各部分と中央支持腕 5 を接続する部分との間の領域 8, 9 に機械的歪みが発生した。この歪みは、各領域 8, 9 の振動腕側の部分 10, 11 とそれとは反対側の部分 12, 13 との間で比較的大きな温度勾配として観察された。即ち、前記振動腕が互いに接近する向きに屈曲すると、前記領域の振動腕側の部分 10, 11 は圧縮応力が作用して、該部分の温度が上昇したのに対し、反対側の部分 12, 13 には引張応力が作用して、該部分の温度が下降した。逆に、前記振動腕が互いに離反する向きに屈曲すると、前記領域の振動腕側の部分 10, 11 は引張応力が作用して、該部分の温度が下降するのに対し、反対側の部分 12, 13 には圧縮応力が作用して、該部分の温度が上昇した。

【0014】

この温度勾配によって、連結部 2 の内部には、領域 8, 9 に振動腕側の部分 10, 11 と反対側の部分 12, 13 との間で熱伝導が発生する。温度勾配は、前記振動腕の屈曲振動に対応して振動腕側とその反対側とで逆向きに発生し、それに対応して熱伝導も逆向きとなる。この熱伝導によって、振動腕 3, 4 の振動エネルギーは、その一部が振動中常に熱弾性損失として失われる。この結果、振動片は Q 値が低下し、所望の高性能を実現することが困難になる。

【0015】

そこで本発明は、上述した従来の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、複数の振動腕の間に連結部から 1 本の中央支持腕を延長させた屈曲振動モードの屈曲振動片において、振動腕の屈曲振動によって連結部に生じる熱弾性損失による Q 値の低下を解消又は改善して、性能の向上を図ることにある。

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明は、上記目的を達成するために、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。

本発明のある実施形態に係る振動片は、長手方向が第 1 の方向に沿っている第 1 の振動

10

20

30

40

50

腕と、前記第 1 の方向に交差する第 2 の方向に沿って前記第 1 の振動腕と並ぶ方向に配置されており、長手方向が前記第 1 の方向に沿っている第 2 の振動腕と、前記第 1 の振動腕および前記第 2 の振動腕の前記長手方向の一端側であって、前記第 1 の振動腕と前記第 2 の振動腕との間に配置され、前記第 1 の振動腕と前記第 2 の振動腕とを連結している連結部と、前記連結部から前記第 1 の方向に沿って延出しており、前記第 1 の振動腕と前記第 2 の振動腕との間に配置されている中央支持腕と、を含み、前記連結部は、前記第 2 の方向において、平面視で、前記第 1 の振動腕と接続している部分と前記中央支持腕の前記第 1 の振動腕に対向する側の外縁を前記連結部側に延長した第一仮想線との間である第 1 の領域、前記第 2 の振動腕と接続している部分と前記中央支持腕の前記第 2 の振動腕に対向する側の外縁を前記連結部側に延長した第二仮想線との間である第 2 の領域、および前記第一仮想線と前記第二仮想線との間である第 3 の領域を有し、前記第 1 の領域および前記第 2 の領域であって、且つ、互いに表裏の関係にある 2 つの主面のうち、少なくとも一方に、開口を有している溝が設けられていることを特徴とする。

10

本発明のある別の実施形態に係る振動片は、前記溝が有底の溝であることを特徴とする。

本発明のある別の実施形態に係る振動片は、前記溝は前記一方の主面から他方の主面へ貫通していることを特徴とする。

本発明のある別の実施形態に係る振動片は、前記溝の前記第 1 の方向に沿った幅を W 、前記連結部の前記第 1 の方向に沿った幅を T としたとき、

$$0.1 \times T \leq W \leq 0.65 \times T$$

20

を満たしていることを特徴とする。

本発明のある別の実施形態に係る振動片は、

$$0.2 \times T \leq W \leq 0.6 \times T$$

を満たしていることを特徴とする。

本発明のある別の実施形態に係る振動片は、前記第 1 の振動腕および前記第 2 の振動腕は、圧電駆動、静電駆動及び磁気駆動の何れかにより屈曲振動することを特徴とする。

本発明のある別の実施形態に係る振動片は、前記第 1 の振動腕、前記第 2 の振動腕、前記連結部、及び前記中央支持腕が、水晶及びシリコンの何れかで一体的に構成されていることを特徴とする。

本発明のある別の実施形態に係る振動子は、前記振動片を備えることを特徴とする。

30

本発明のある別の実施形態に係るセンサーは、前記振動片を備えることを特徴とする。

本発明のある別の実施形態に係る電子部品は、前記振動片を備えることを特徴とする。

[適用例 1] 複数本の平行な振動腕と、該振動腕を結合する連結部と、該連結部から振動腕の間にそれらと等間隔をもって平行に延出する 1 本の中央支持腕とを備え、連結部がその表裏主面の少なくとも何れか一方の面に形成された溝を有し、該溝が、振動腕の幅方向において、連結部の振動腕側とその反対側とで振動腕の屈曲振動による圧縮応力と引張応力とが交互に発生する領域に配置されている屈曲振動片が提供される。

【 0 0 1 7 】

適用例 1 によれば、振動腕の屈曲振動により圧縮応力と引張応力とが交互に発生する連結部の振動腕側とその反対側との間で、圧縮による温度上昇と伸張による温度下降とによって温度差が発生するが、その間における熱伝達は連結部の溝によって妨げられる。その結果、熱弾性損失による Q 値の低下が抑制されるので、性能の向上を図ることにある。

40

【 0 0 1 8 】

適用例 1 に係る屈曲振動片には、振動子や共振子、ジャイロ、各種センサ等の圧電デバイス、その他の電子部品に使用される圧電駆動型の圧電振動片が含まれる。更に適用例 1 に係る屈曲振動片には、従来技術に関連して上述した静電駆動型及び磁気駆動型のものが含まれる。

【 0 0 1 9 】

連結部の溝は、振動腕の幅方向において連結部の振動腕に接続する部分と連結部の中央支持腕に接続する部分との間の範囲内に形成することが好ましい。

50

本願発明者が様々に検討した結果、この連結部の溝は、振動腕又は中央支持腕の延長上に形成されると、却って振動腕の屈曲振動に影響して振動エネルギーの損失を生じ、Q値を低下させ得ることが分かった。

【0020】

[適用例2] 連結部の溝が有底の溝である。

適用例2によれば、連結部の振動腕側とその反対側との間における熱伝達経路は途中で狭められ、見かけ上従来よりも長くなる。その結果、連結部の振動腕側とその反対側との間で温度が平衡状態となるまでの緩和時間が長くなるので、Q値の極小値を生じる緩和振動数 ($f = 1 / 2$) は、溝が無い場合の緩和振動数よりも低くなる。従って、溝が無い場合の緩和振動数よりも高い周波数範囲では、Q値が従来よりも高くなる。

10

【0021】

[適用例3] 連結部の溝が貫通溝である。

適用例3によれば、連結部の振動腕側とその反対側との間における熱伝達経路は途中で遮断され、従来よりも短くなる。その結果、連結部の振動腕側とその反対側との間で温度が平衡状態となるまでの緩和時間が短くなるので、Q値の極小値を生じる緩和振動数 ($f = 1 / 2$) は、溝が無い場合の緩和振動数よりも高くなる。従って、溝が無い場合の緩和振動数よりも低い周波数範囲では、Q値が従来よりも高くなる。

【0022】

[適用例4] 振動腕の長手方向における溝の幅Wを連結部の幅Tに関して $0.1T < W < 0.65T$ の範囲内に設定する。

20

適用例4によれば、Q値を従来よりも約5%以上向上させることができるので、好ましい。

[適用例5] 振動腕の長手方向における溝の幅Wを連結部の幅Tに関して $0.2T < W < 0.6T$ の範囲内に設定する。

適用例5によれば、Q値を更に向上させることができるので、より好ましい。

【0023】

[適用例7] 適用例7に係る本発明の屈曲振動片は、従来の音叉型圧電振動片と同様に水晶材料で形成することができ、他の公知の圧電材料を用いて形成することもできる。

【0024】

[適用例8] 上述した屈曲振動片を備えることにより、高いQ値及び高性能を発揮し得る、圧電振動子や共振子、圧電発振器、角速度センサー等の圧電デバイス、その他の電子部品が提供される。

30

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明による圧電振動片の第1実施例を示す平面図。

【図2】(A)図は図1の圧電振動片の連結部を示す部分拡大平面図、(B)図はそのII-II線における断面図。

【図3】図1の圧電振動片について溝幅 (W/T) とQ値との関係を示す線図。

【図4】(A)図は本発明の第2実施例の圧電振動片の連結部を示す部分拡大図、(B)図はそのIV-IV線における断面図。

40

【図5】屈曲振動モードの圧電振動片における緩和周波数とQ値の極小値との関係を示す線図。

【図6】従来の圧電振動片の典型例を示す平面図。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下に、添付図面を参照しつつ、本発明の好適な実施例を詳細に説明する。

【0027】

図1は、本発明を適用した圧電振動片の第1実施例の構成を概略的に示している。本実施例の圧電振動片21は、連結部22と、該連結部から延出する2本の平行な振動腕23、24と、1本の中央支持腕25とを備える。中央支持腕25は、連結部22から前記両

50

振動腕の間を該振動腕と等間隔をもって平行に延長している。各振動腕 23, 24 の表裏各主面には、CI 値を抑制するために、それぞれ長手方向に沿って 1 本の直線状の溝 26, 27 が形成されている。

【0028】

図 1 及び図 2 (A) に示すように、連結部 22 の表裏各主面には、前記振動腕の長手方向と直交する向きに沿って振動腕 23, 24 を接続する各部分と中央支持腕 25 を接続する部分との間の領域 28, 29 に、それぞれ溝 30, 31 が形成されている。溝 30, 31 は、その一方を図 2 (B) に例示するように、前記連結部の表裏各主面から同じ深さを有する有底の溝である。各溝 30, 31 は、前記振動腕の長手方向に沿って、振動腕側の端縁とそれと反対側の端縁とから等距離に配置されている。

10

【0029】

本実施例の圧電振動片 21 は、従来の音叉型水晶振動片と同様に、所謂 Z カットの水晶薄板から、水晶結晶軸の Y 軸を前記振動腕の長手方向に、X 軸をその幅方向に、Z 軸を前記振動片の表裏主面の垂直方向にそれぞれ配向して形成される。別の実施例では、圧電振動片 21 を水晶以外の圧電材料で形成することができる。

【0030】

図示しないが、溝 26, 27 の内面を含む各振動腕 23, 24 の表面には励振電極が形成され、かつ連結部 22 及び中央支持腕 25 の表面には、前記励振電極から引き出された配線及び外部との接続端子が形成されている。圧電振動片 21 は、使用時には、前記中央支持腕の先端側即ち前記連結部とは反対側の端部で、図示しないパッケージ等に固定して片持ちにかつ概ね水平に保持される。この状態で、前記励振電極に所定の電圧を印加すると、振動腕 23, 24 は水平方向に、図中矢印で示すように互いに接近又は離反する向きに屈曲振動する。

20

【0031】

この屈曲振動によって、連結部 22 には、前記各腕の幅方向に沿って振動腕 23, 24 を接続する各部分と中央支持腕 25 を接続する部分との間の領域 28, 29 に、圧縮応力と引張応力とが発生する。即ち、前記振動腕が互いに接近する向きに屈曲すると、各領域 28, 29 の振動腕側の部分 32, 33 には圧縮応力が作用し、反対側の部分 34, 35 には引張応力が作用する。この機械的歪みによって、圧縮応力を受ける圧縮部分 32, 33 は温度が上昇し、引張応力を受ける伸張部分 34, 35 は温度が下降する。逆に、前記振動腕が互いに離反する向きに屈曲すると、振動腕側の部分 32, 33 は、引張応力が作用して温度が下降し、反対側の部分 34, 35 は、圧縮応力が作用して温度が上昇する。このように、連結部 22 の内部には、振動腕側の部分 32, 33 と反対側の部分 34, 35 との間で温度勾配が生じ、その傾斜は、前記振動腕が互いに接近又は離反する向きによって逆向きになる。

30

【0032】

図 2 (B) は、前記振動腕が互いに接近する向きに屈曲して、振動腕側の部分 32 (33) が圧縮側となりかつ反対側の部分 34 (35) が伸張側となる場合を例示している。図中、温度上昇は + の符号で、温度下降は - の符号で示す。圧縮側の部分 32 は温度が上昇し、伸張側の部分 34 は温度が下降する。この温度勾配によって熱が、圧縮側 (+) の部分 32 から溝 30 の部分を通して伸張側 (-) の部分 34 へと伝達される。

40

【0033】

逆に、前記振動腕が互いに離反する向きに屈曲する場合には、振動腕側の部分 32 (33) が伸張側となり、かつ反対側の部分 34 (35) が圧縮側となる。従って、圧縮側の部分 34 で温度が上昇し、伸張側の部分 32 で温度が下降するから、圧縮側の部分 34 から溝 30 の部分を通して伸張側の部分 32 へと、逆向きに熱伝達が起こる。

【0034】

本実施例では、圧縮側部分 32 と伸張側部分 34 間の熱伝達経路が、溝 30 によって途中で狭められている。その結果、両部分 32, 34 間で温度が平衡状態になるまでの緩和時間 τ_1 は、前記溝が無い従来構造の場合の緩和時間 τ_0 よりも長くなる。これは、図 2 (

50

B) に想像線 2 2' で示すように、前記振動腕の幅方向に沿って連結部 2 2 の幅 T をみかけ上 T₁ まで長くしたのと等価と考えることができる。従って、本実施例の圧電振動片 2 1 は、緩和振動数 f₁₀ が、 $f_{10} = 1 / 2 \dots 1$ となり、 $f_1 > f_0$ であるから、従来構造の緩和振動数 $f_0 = 1 / 2 \dots 0$ よりも低くなる。

【 0 0 3 5 】

これを、図 5 の周波数と Q 値との関係で見ると、曲線 F 自体の形は変わらないから、緩和振動数の低下に伴って、曲線 F が曲線 F₁ の位置まで周波数の低下方向にシフトしたことになる。従って、所望の使用周波数が振動数 f₀ よりも高い範囲では、Q 値は常に、従来構造における極小値 Q₀ よりも高くなる。このように本実施例の圧電振動片 2 1 は、連結部 2 2 に有底溝 3 0, 3 1 を設けることによって、Q 値を改善して高性能化を実現することができる。また、これらの有底溝は、連結部 2 2 の表裏主面のいずれか一方にのみ設けた場合にも、同様の作用効果が得られる。

10

【 0 0 3 6 】

尚、一般に緩和振動数 f_m は、次式で求められることが知られている。

【 0 0 3 7 】

$$f_m = k / (2 C_p a^2) \dots (1)$$

ここで、 ω は円周率、k は振動腕の振動方向の熱伝導率、 ρ は振動腕の質量密度、C_p は振動腕の熱容量、a は振動腕の振動方向の幅である。上記式 (1) 中の熱伝導率 k、質量密度 ρ 、熱容量 C_p に、振動腕の材料自体の定数を入力して求められる緩和振動数 f_m は、振動腕の表裏主面に、例えば図 1 の溝 2 6, 2 7 のような溝を有しない場合の緩和振動数である。

20

【 0 0 3 8 】

本発明者は、更に溝 3 0, 3 1 の幅 W と連結部 2 2 の幅 T との関係について検討した。連結部 2 2 の前記振動腕の長手方向における断面形状を矩形とし、その厚さを 1 0 0 とし、それに対する溝 3 0, 3 1 の深さを 4 5 に設定した。溝幅 W を 0、即ち溝が無い従来の場合から 8 0 までの範囲で変化させたとき、公知の有限要素法を用いて、Q 値を 4 次の近似式で表すことができた。その結果を図 3 に示す。

【 0 0 3 9 】

同図において、Q 値は、前記溝を設けることによって比較的急峻に上昇し、概ね一定に推移した後、比較的急峻に下降する。同図から、溝幅 W が連結部の幅 T に関して $0 < W < 0.1 T$ の範囲内にあると、Q 値が約 5% 以上向上することが分かる。更に、溝幅 W が $0.2 T < W < 0.6 T$ の範囲内にあると、Q 値が約 7% 以上向上する。このように溝 3 0, 3 1 の幅 W を設定することによって、本発明の圧電振動片は、従来に比して Q 値を大幅に改善することができる。

30

【 0 0 4 0 】

また本発明者は、図 2 (A) (B) の実施例において、連結部 2 2 の表裏主面に設けた各溝 3 0, 3 0 の深さ D₁ と該連結部の厚さを D₀ との関係について検討した。その結果、Q 値の改善という観点から見て、前記溝の深さ D₁ は、 $0 < D_1 < 0.5 D_0$ の範囲に設定することが望ましい。更に前記溝の深さ D₁ は、 $0 < D_1 < 0.5 D_0$ の範囲に設定することによって、Q 値をより改善することができる。

40

【 0 0 4 1 】

図 4 (A) (B) は、本発明を適用した圧電振動片の第 2 実施例を示している。同図において、第 1 実施例と同じ構成要素には同じ参照符号を付して説明する。本実施例において、連結部 2 2 には、前記各腕の幅方向に沿って振動腕 2 3, 2 4 を接続する各部分と中央支持腕 2 5 を接続する部分との間の領域 2 8, 2 9 に、それぞれ溝 3 6 が形成されている。本実施例の溝 3 6 は、第 1 実施例と異なり、前記連結部の表裏を貫通している。これにより、領域 2 8, 2 9 は、前記振動腕の長手方向に沿って溝 3 6 を挟んで振動腕側の部分 3 7 とそれとは反対側の部分 3 8 とが分離されている。

【 0 0 4 2 】

第 1 実施例と同様に、振動腕 2 3, 2 4 を水平方向に互いに接近又は離反する向きに屈

50

曲振動させると、連結部 2 2 には、前記各腕の幅方向に沿って振動腕 2 3 , 2 4 を接続する各部分と中央支持腕 2 5 を接続する部分との間の領域 2 8 , 2 9 に、圧縮応力と引張応力とが発生する。前記振動腕が互いに接近する向きに屈曲すると、各領域 2 8 , 2 9 の振動腕側の部分 3 7 には圧縮応力が作用し、反対側の部分 3 8 には引張応力が作用する。これによって、圧縮応力を受ける圧縮側の部分 3 7 では温度が上昇し、引張応力を受ける伸張側の部分 3 8 では温度が下降する。逆に、前記振動腕が互いに離反する向きに屈曲すると、振動腕側の部分 3 7 は引張応力が作用して温度が下降し、反対側の部分 3 8 は圧縮応力が作用して温度が上昇する。

【 0 0 4 3 】

本実施例では、貫通孔 3 6 を設けたことによって、振動腕側の部分 3 7 と反対側の部分 3 8 との間で熱伝達が起こらない。しかしながら、局所的に見ると、振動腕側の部分 3 7 は、振動腕側と溝 3 6 側とで作用する圧縮応力又は引張応力の大きさに差が生じる。同様に、反対側の部分 3 8 も、溝 3 6 側とその反対側とで作用する圧縮応力又は引張応力の大きさに差が生じる。その結果、各部分 3 7 , 3 8 の内部には、それぞれ前記振動腕の長手方向に沿って振動腕側とその反対側との間に温度勾配が生じる。この温度勾配は、前記振動腕が互いに接近又は離反する向きによって、その傾斜が逆向きになる。

【 0 0 4 4 】

図 4 (B) は、前記振動腕が互いに接近する向きに屈曲して、振動腕側の部分 3 7 が圧縮側となりかつ反対側の部分 3 8 が伸張側となる場合を例示している。図中、温度上昇の程度を + 符号の数で、温度下降の程度を - 符号の数で示す。連結部 2 2 を全体として見ると、圧縮側の部分 3 7 は温度が上昇し、伸張側の部分 3 8 は温度が下降する。部分 3 7 を局所的に見ると、圧縮応力がより大きい振動腕側で、温度がより高く上昇し、それより圧縮応力が低い溝 3 6 側で、温度上昇が小さい。この相対的な温度上昇の差によって、部分 3 7 の内部では、振動腕側 (+ +) から溝 3 6 側 (+) に向けて温度勾配が生じ、その温度傾斜に沿って熱伝達が起こる。

【 0 0 4 5 】

同様に、部分 3 8 を局所的に見ると、引張応力がより大きい振動腕と反対側で、温度がより低く下降し、それより引張応力が低い溝 3 6 側で、温度下降が小さい。この相対的な温度上昇の差によって、部分 3 8 の内部では、溝 3 6 側 (-) からその反対側 (- -) に向けて温度勾配が生じ、その温度傾斜に沿って熱伝達が起こる。

【 0 0 4 6 】

逆に、前記振動腕が互いに離反する向きに屈曲する場合には、振動腕側の部分 3 7 が伸張側となり、かつ反対側の部分 3 8 が圧縮側となる。従って、連結部 2 2 を全体として見ると、伸張側の部分 3 7 で温度が下降し、圧縮側の部分 3 8 で温度が上昇する。各部分 3 7 , 3 8 を局所的に見ると、それぞれ振動腕とは反対側から溝 3 6 側に向けて、溝 3 6 側から振動腕側に向けて温度勾配が生じ、その温度傾斜に沿って各部分 3 7 , 3 8 の内部に熱伝達が起こる。

【 0 0 4 7 】

本実施例では、溝 3 6 によって、各部分 3 7 , 3 8 内部の熱伝達経路が従来よりも大幅に短い。その結果、各部分 3 7 , 3 8 において温度が平衡状態になるまでの緩和時間 τ_2 は、前記溝が無い従来構造の場合の緩和時間 τ_0 よりも短くなる。これは、前記振動腕の幅方向に沿って連結部 2 2 の幅 T をみかけ上、各部分 3 7 , 3 8 の幅 T_2 まで短くしたのと等価と考えることができる。従って、本実施例の圧電振動片は、緩和振動数 f_{20} が、 $f_{20} = 1 / 2 \tau_2$ となり、 $\tau_2 < \tau_0$ であるから、従来構造の緩和振動数 $f_{0} = 1 / 2 \tau_0$ よりも高くなる。

【 0 0 4 8 】

これを、図 5 の周波数と Q 値との関係で見ると、曲線 F 自体の形は変わらないから、緩和振動数の上昇に伴って、曲線 F が曲線 F_2 の位置まで周波数の増加方向にシフトしたことになる。従って、所望の使用周波数が振動数 f_0 よりも低い範囲では、Q 値は常に、従来構造における極小値 Q_0 よりも高くなる。このように本実施例においても、連結部 2 2

10

20

30

40

50

に貫通溝 3 6 を設けることによって、第 1 実施例と同様に、Q 値を改善して高性能化を実現することができる。

【 0 0 4 9 】

本発明は、上記実施例に限定されるものでなく、その技術的範囲内で様々な変形又は変更を加えて実施することができる。例えば、本発明は、連結部から延出する振動腕を 3 本以上に増やした構造の圧電振動片についても、同様に適用することができる。また、上記各実施例の屈曲振動片は、圧電材料で一体に形成したものだけでなく、シリコン半導体等の材料を使用し、その表面に圧電板材を設けたものであってもよい。更に、本発明は、圧電駆動型の屈曲振動片だけでなく、静電駆動型や磁気駆動型のものについても同様に適用することができる。その場合、圧電材料以外にシリコン半導体などの様々な公知の材料を用いて屈曲振動片を形成することができる。また、本発明の屈曲振動片は、圧電デバイス以外の様々な電子部品に適用することができる。

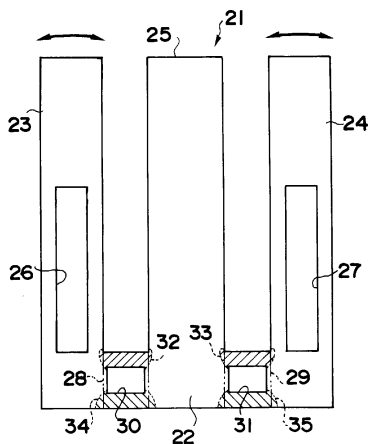
10

【 符号の説明 】

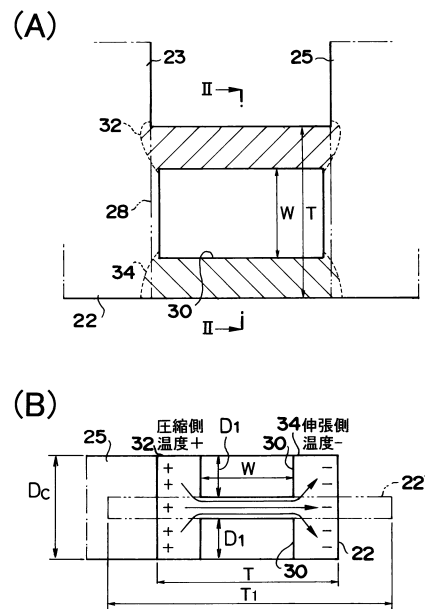
【 0 0 5 0 】

1, 2 1 ... 圧電振動片、2, 2 2 ... 連結部、3, 4, 2 3, 2 4 ... 振動腕、5, 2 5 ... 中央支持腕、6, 7, 2 6, 2 7 ... 溝、8, 9, 2 8, 2 9 ... 領域、1 0, 1 1, 1 2, 1 3, 3 2, 3 3, 3 4, 3 5, 3 7, 3 8 ... 部分、3 0, 3 1, 3 6 ... 溝。

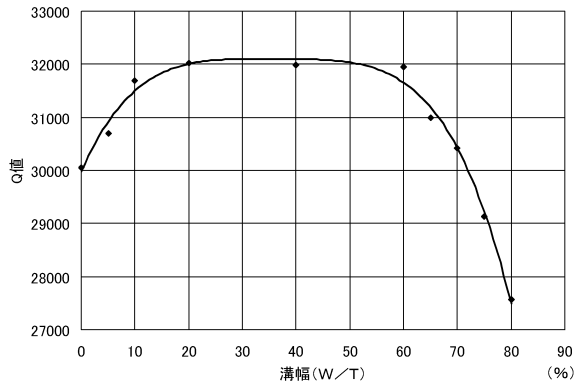
【 図 1 】



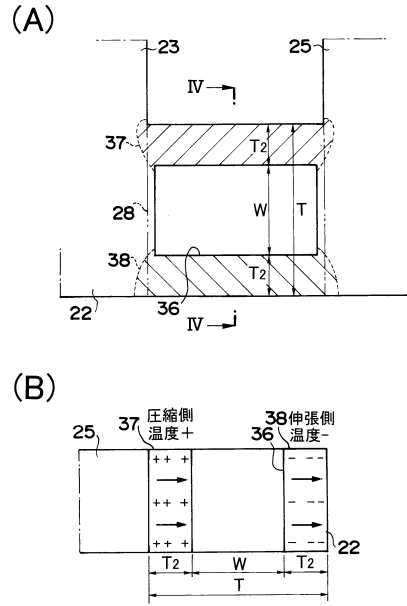
【 図 2 】



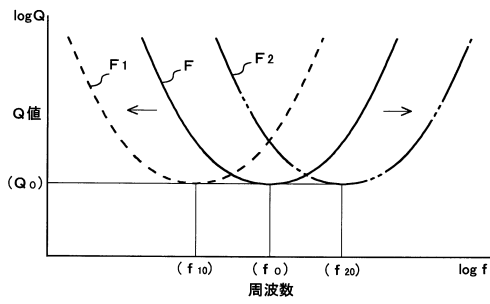
【 図 3 】



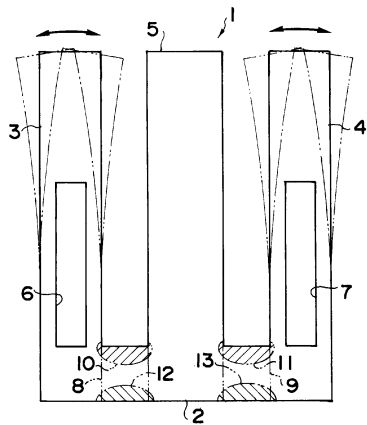
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2006-345517(JP,A)
特開2006-345519(JP,A)
特開2003-060482(JP,A)
特開昭55-138916(JP,A)
特開平10-163780(JP,A)
特開平10-160477(JP,A)
特開2002-141770(JP,A)
特開2003-273703(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03H 9/19
H03H 9/215