

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5754525号
(P5754525)

(45) 発行日 平成27年7月29日(2015. 7. 29)

(24) 登録日 平成27年6月5日(2015. 6. 5)

(51) Int.Cl.		F I			
H03H	9/19	(2006.01)	H03H	9/19	K
H03H	9/215	(2006.01)	H03H	9/215	
H03H	9/02	(2006.01)	H03H	9/02	K

請求項の数 5 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2014-29338 (P2014-29338)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成26年2月19日(2014. 2. 19)		セイコーエプソン株式会社
(62) 分割の表示	特願2010-167853 (P2010-167853) 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22年7月27日(2010. 7. 27)	(74) 代理人	100095728
(65) 公開番号	特開2014-131327 (P2014-131327A)		弁理士 上柳 雅誉
(43) 公開日	平成26年7月10日(2014. 7. 10)	(74) 代理人	100116665
審査請求日	平成26年3月19日(2014. 3. 19)		弁理士 渡辺 和昭
(31) 優先権主張番号	特願2009-229290 (P2009-229290)	(72) 発明者	古畑 誠
(32) 優先日	平成21年10月1日(2009. 10. 1)		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)	(72) 発明者	山崎 隆
			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
		審査官	橋本 和志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動片、振動子、発振器、及び電子機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一方の主面と、前記一方の主面と反対の他方の主面と、を含む振動片であって、
基部と、
前記基部から延在し屈曲振動する第1振動腕部と、
前記第1振動腕部と並んで配置され、前記基部から延在し屈曲振動する第2振動腕部と、
を備え、
前記第1振動腕部の前記一方の主面には、前記第1振動腕部の延在方向に沿って設けられた第1溝部を有し、
前記第1振動腕部の前記他方の主面には、平面視で前記第1溝部より前記第2振動腕側に位置し前記第1振動腕部の前記延在方向と直交する方向に前記第1溝部と並んで設けられた第2溝部を有し、
前記第2振動腕部の前記一方の主面には、前記第2振動腕部の延在方向に沿って設けられた第3溝部を有し、
前記第2振動腕部の前記他方の主面には、平面視で前記第3溝部より前記第1振動腕側に位置し前記第2振動腕部の前記延在方向と直交する第4方向に前記第3溝部と並んで設けられた第4溝部を有し、
前記第1溝部の深さと前記第2溝部の深さとの和が、前記第1振動腕部の前記一方の主面と前記他方の主面との間の距離よりも大きく、

10

20

前記第3溝部の深さと前記第4溝部の深さとの和が、前記第2振動腕部の前記一方の主面と前記他方の主面との間の距離よりも大きいことを特徴とする振動片。

【請求項2】

請求項1に記載の振動片において、前記振動片は、水晶を含んでなることを特徴とする振動片。

【請求項3】

請求項1または2に記載の振動片を用いた振動子であって、
前記振動片と、
前記振動片を収納したパッケージと、を備えたことを特徴とする振動子。

【請求項4】

請求項1または2に記載の振動片を用いた発振器であって、
前記振動片と、
前記振動片を駆動させる回路素子と、を備えたことを特徴とする発振器。

【請求項5】

請求項1または2に記載の振動片を用いたことを特徴とする電子機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、振動片、振動子、発振器、及び電子機器に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、振動片の一例としての圧電振動片を小型化するとQ値が小さくなり、振動が阻害されることが知られている。

詳述すると、圧電振動片は、屈曲振動による弾性変形に伴い、収縮する面の温度が上昇し、伸張する面の温度が下降することによって内部に温度差が生じる。これにより、圧電振動片には、この温度差を熱伝導（熱移動）により解消する（温度平衡状態になる）までの所要時間（緩和時間）に反比例する緩和振動と呼ばれる振動が発生する。

圧電振動片は、小型化していくと、この緩和振動の周波数と本来の屈曲振動の周波数とが近づくことから、Q値が小さくなり本来の屈曲振動が阻害される現象が生じる。

この現象は、熱弾性損失や熱弾性効果などと呼ばれ、この改善策として特許文献1では、圧電振動片の矩形状断面に溝または貫通孔を形成し、収縮する面から伸張する面への熱移動を抑制することにより、熱弾性損失に起因するQ値の低下の抑制を図っている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】実開平2-32229号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、圧電振動片は、特許文献1のように振動部（以下、振動腕部という）に貫通孔を形成すると、振動腕部の剛性が著しく低下してしまうという問題がある。

また、圧電振動片は、特許文献1のように振動腕部に断面形状がH型の溝（以下、溝部という）を設けても、収縮する面から伸張する面への熱移動の抑制が不十分であることから、熱弾性損失に起因するQ値の低下の抑制に改善の余地がある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明は、上記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。

本発明のある形態に係る振動片は、一方の主面と、前記一方の主面と反対の他方の主面と、を含む振動片であって、基部と、前記基部から延在し屈曲振動する第1振動腕部と、

10

20

30

40

50

前記第 1 振動腕部と並んで配置され、前記基部から延在し屈曲振動する第 2 振動腕部と、を備え、前記第 1 振動腕部の前記一方の主面には、前記第 1 振動腕部の延在方向に沿って設けられた第 1 溝部を有し、前記第 1 振動腕部の前記他方の主面には、平面視で前記第 1 溝部より前記第 2 振動腕側に位置し前記第 1 振動腕部の前記延在方向と直交する方向に前記第 1 溝部と並んで設けられた第 2 溝部を有し、前記第 2 振動腕部の前記一方の主面には、前記第 2 振動腕部の延在方向に沿って設けられた第 3 溝部を有し、前記第 2 振動腕部の前記他方の主面には、平面視で前記第 3 溝部より前記第 1 振動腕側に位置し前記第 2 振動腕部の前記延在方向と直交する第 4 方向に前記第 3 溝部と並んで設けられた第 4 溝部を有し、前記第 1 溝部の深さと前記第 2 溝部の深さとの和が、前記第 1 振動腕部の前記一方の主面と前記他方の主面との間の距離よりも大きく、前記第 3 溝部の深さと前記第 4 溝部の深さとの和が、前記第 2 振動腕部の前記一方の主面と前記他方の主面との間の距離よりも大きいことを特徴とする。

10

【 0 0 0 6 】

[適用例 1] 本適用例にかかる圧電振動片は、基部と、前記基部から延在し屈曲振動する振動腕部とを備え、前記振動腕部は、一方の主面と、前記一方の主面と対向する他方の主面とを備え、前記一方の主面に、前記振動腕部の延在方向に沿って形成された第 1 溝部を有し、前記他方の主面に、前記第 1 溝部と平面視で並列に形成された第 2 溝部を有し、さらに、前記他方の主面に、前記第 1 溝部と平面視で直列に且つ前記第 1 溝部より前記基部側に形成された第 3 溝部を有し、前記一方の主面に、前記第 2 溝部と平面視で直列に且つ前記第 2 溝部より前記基部側に形成された第 4 溝部を有し、前記第 1 溝部の深さと前記第 2 溝部の深さとの和、及び前記第 3 溝部の深さと前記第 4 溝部の深さとの和が、前記一方の主面と前記他方の主面との間の距離よりも大きいことを特徴とする。

20

【 0 0 0 7 】

この構成によれば、圧電振動片は、一方の主面に第 1 溝部を有し、他方の主面に第 1 溝部と並列に形成された第 2 溝部を有している。さらに、圧電振動片は、他方の主面に第 1 溝部と直列に且つ第 1 溝部より基部側に形成された第 3 溝部を有し、一方の主面に第 2 溝部と直列に且つ第 2 溝部より基部側に形成された第 4 溝部を有している。

そして、圧電振動片は、第 1 溝部の深さと第 2 溝部の深さとの和、及び第 3 溝部の深さと第 4 溝部の深さとの和が、一方の主面と他方の主面との間の距離よりも大きい。

【 0 0 0 8 】

30

これにより、圧電振動片は、例えば、振動腕部に従来のような断面形状が H 型の溝部を設けた場合と比較して、屈曲振動における収縮する面である一对の伸縮面の一方から伸張する面である一对の伸縮面の他方への熱移動の距離が長くなることから、温度平衡状態になるまでの緩和時間が長くなる。

この結果、圧電振動片は、緩和振動の周波数を本来の屈曲振動の周波数から遠ざけられることから、熱弾性損失に起因する Q 値の低下を抑制できる。したがって、圧電振動片は、さらなる小型化を図ることができる。

【 0 0 0 9 】

ところで、上記圧電振動片は、上記振動腕部の一方の主面と直交し、且つ上記振動腕部の延在方向と直交する面に沿って切断した第 1 溝部及び第 2 溝部を含む断面形状が、一方の主面と他方の主面とを結ぶ直線の間中点を通り、一方の主面（他方の主面）に沿った直線である一方の主面と他方の主面との間の中心線を対称軸とした線対称形状にはならない。

40

これにより、圧電振動片は、このままでは振動腕部における質量の不均衡が生じ、屈曲振動が一方の主面に沿った本来の屈曲振動成分と、一方の主面と他方の主面とを結ぶ方向である厚み方向に振動する面外振動成分とが合成された振動となる。

この結果、圧電振動片は、屈曲振動の振動方向が、規定された振動方向に沿わなくなることから、振動エネルギーの損失が生じて屈曲振動の効率が低下することになる。

【 0 0 1 0 】

これに対して、圧電振動片は、上記振動腕部の一方の主面と直交し、且つ上記振動腕部

50

の延在方向と直交する面に沿って切断した第3溝部及び第4溝部を含む断面形状が、上記第1溝部及び第2溝部を含む断面形状を反転させた形状となり、上記と同様に屈曲振動が一方の主面に沿った本来の屈曲振動成分と、厚み方向に振動する面外振動成分とが合成された振動となる。

このとき、圧電振動片は、第3溝部及び第4溝部を含む断面形状が、第1溝部及び第2溝部を含む断面形状を反転させた形状となっていることから、第3溝部及び第4溝部に起因する面外振動成分の方向と、第1溝部及び第2溝部に起因する面外振動成分の方向とが逆方向になる。

この結果、圧電振動片は、第1溝部及び第2溝部に起因する面外振動成分と第3溝部及び第4溝部に起因する面外振動成分とが相殺されることから、全体としての屈曲振動の振動方向が、規定された振動方向である一方の主面に沿った方向に近づくことになる。

10

これにより、圧電振動片は、振動エネルギーの損失が抑制されることから、屈曲振動の効率が向上する。

【0011】

また、他の態様として、振動片は、基部と、前記基部から第1方向に延在し屈曲振動する振動腕部と、を備え、前記振動腕部は、一方の主面と、前記一方の主面に対向する他方の主面と、を備え、前記一方の主面には、前記振動腕部の前記第1方向に沿って設けられた第1溝部を有し、前記他方の主面には、平面視で前記第1方向と直交する第2方向に前記第1溝部と並んで設けられた第2溝部を有し、前記他方の主面には、平面視で前記第1方向に前記第1溝部と並んで設けられ、且つ、前記第1溝部より前記基部側に設けられた第3溝部を有し、前記一方の主面には、平面視で前記第1方向に前記第2溝部と並んで設けられ、且つ、前記第2溝部より前記基部側に設けられた第4溝部を有し、前記第1溝部の深さと前記第2溝部の深さとの和、及び前記第3溝部の深さと前記第4溝部の深さとの和が、前記一方の主面と前記他方の主面との間の距離よりも大きいことを特徴とする。

20

【0012】

この構成によれば、振動片は、一方の主面に第1溝部を有し、他方の主面に第1溝部と第2方向に並んで設けられた第2溝部を有している。さらに、振動片は、他方の主面に第1溝部と第1方向に並んで設けられ且つ第1溝部より基部側に設けられた第3溝部を有し、一方の主面に第2溝部と第1方向に並んで設けられ且つ第2溝部より基部側に設けられた第4溝部を有している。

30

そして、振動片は、第1溝部の深さと第2溝部の深さとの和、及び第3溝部の深さと第4溝部の深さとの和が、一方の主面と他方の主面との間の距離よりも大きい。

【0013】

これにより、振動片は、例えば、振動腕部に従来のような断面形状がH型の溝部を設けた場合と比較して、屈曲振動における収縮する面である一对の伸縮面の一方から伸張する面である一对の伸縮面の他方への熱移動の距離が長くなることから、温度平衡状態になるまでの緩和時間が長くなる。

この結果、振動片は、緩和振動の周波数を本来の屈曲振動の周波数から遠ざけられることから、熱弾性損失に起因するQ値の低下を抑制できる。したがって、振動片は、さらなる小型化を図ることができる。

40

【0014】

ところで、上記振動片は、上記振動腕部の一方の主面と直交し、且つ第1方向と直交する面に沿って切断した第1溝部及び第2溝部を含む断面形状が、一方の主面と他方の主面とを結ぶ直線の中間点を通り、一方の主面（他方の主面）に沿った直線である一方の主面と他方の主面との間の中心線を対称軸とした線対称形状にはならない。

これにより、振動片は、このままでは振動腕部における質量の不均衡が生じ、屈曲振動が一方の主面に沿った本来の屈曲振動成分と、一方の主面と他方の主面とを結ぶ方向である厚み方向に振動する面外振動成分とが合成された振動となる。

この結果、振動片は、屈曲振動の振動方向が、規定された振動方向に沿わなくなることから、振動エネルギーの損失が生じて屈曲振動の効率が低下することになる。

50

【 0 0 1 5 】

これに対して、振動片は、上記振動腕部の一方の主面と直交し、且つ第 1 方向と直交する面に沿って切断した第 3 溝部及び第 4 溝部を含む断面形状が、上記第 1 溝部及び第 2 溝部を含む断面形状を反転させた形状となり、上記と同様に屈曲振動が一方の主面に沿った本来の屈曲振動成分と、厚み方向に振動する面外振動成分とが合成された振動となる。

このとき、振動片は、第 3 溝部及び第 4 溝部を含む断面形状が、第 1 溝部及び第 2 溝部を含む断面形状を反転させた形状となっていることから、第 3 溝部及び第 4 溝部に起因する面外振動成分の方向と、第 1 溝部及び第 2 溝部に起因する面外振動成分の方向とが逆方向になる。

この結果、振動片は、第 1 溝部及び第 2 溝部に起因する面外振動成分と第 3 溝部及び第 4 溝部に起因する面外振動成分とが相殺されることから、全体としての屈曲振動の振動方向が、規定された振動方向である一方の主面に沿った方向に近づくことになる。

これにより、振動片は、振動エネルギーの損失が抑制されることから、屈曲振動の効率が向上する。

【 0 0 1 6 】

[適用例 2] 上記適用例にかかる振動片において、前記第 1 溝部及び前記第 2 溝部の前記第 1 方向の長さを RS 、前記第 3 溝部及び前記第 4 溝部の前記第 1 方向の長さを S としたときに、 $S : RS = 1 : (2.2 \sim 2.8)$ であることが好ましい。

【 0 0 1 7 】

この構成によれば、振動片は、 $S : RS = 1 : (2.2 \sim 2.8)$ であることから、上記の第 1 溝部及び第 2 溝部に起因する面外振動成分と第 3 溝部及び第 4 溝部に起因する面外振動成分とが殆ど相殺される。

この結果、振動片は、振動エネルギーの損失がより抑制されることから、屈曲振動の効率がより向上する。

なお、 $S : RS = 1 : (2.2 \sim 2.8)$ は、発明者らがシミュレーション及び実験により導出した知見である。

【 0 0 1 8 】

[適用例 3] 上記適用例 1 にかかる振動片において、前記第 1 溝部及び前記第 2 溝部の前記第 1 方向の長さを RS 、前記第 3 溝部及び前記第 4 溝部の前記第 1 方向の長さを S 、前記振動腕部の根元から先端までの長さを A 、前記 RS と前記 S との和を L としたときに、 $8.8992 \times (L/A)^2 - 3.3784 \times (L/A) + 1.746 \quad RS/S - 1.3102 \times (L/A)^2 + 3.3784 \times (L/A) + 0.854$ であることが好ましい。

【 0 0 1 9 】

この構成によれば、振動片は、 $8.8992 \times (L/A)^2 - 3.3784 \times (L/A) + 1.746 \quad RS/S - 1.3102 \times (L/A)^2 + 3.3784 \times (L/A) + 0.854$ であることから、上記の第 1 溝部及び第 2 溝部に起因する面外振動成分と第 3 溝部及び第 4 溝部に起因する面外振動成分とが殆ど相殺される。

この結果、振動片は、振動エネルギーの損失がより抑制されることから、屈曲振動の効率がより向上する。

なお、 $8.8992 \times (L/A)^2 - 3.3784 \times (L/A) + 1.746 \quad RS/S - 1.3102 \times (L/A)^2 + 3.3784 \times (L/A) + 0.854$ は、発明者らがシミュレーション及び実験により導出した知見である。

【 0 0 2 0 】

[適用例 4] 上記適用例 3 にかかる振動片において、 $RS/S = 5.1047 \times (L/A)^2 - 9 \times 10^{-14} \times (L/A) + 1.3$ であることが好ましい。

【 0 0 2 1 】

この構成によれば、振動片は、 $RS/S = 5.1047 \times (L/A)^2 - 9 \times 10^{-14} \times (L/A) + 1.3$ であることから、上記の第 1 溝部及び第 2 溝部に起因する面外振動成分と第 3 溝部及び第 4 溝部に起因する面外振動成分とが殆どすべて相殺される。

この結果、振動片は、振動エネルギーの損失がさらに抑制されることから、屈曲振動の効率がさらに向上する。

なお、 $RS/S = 5.1047 \times (L/A)^2 - 9 \times 10^{-14} \times (L/A) + 1.3$ は、発明者らがシミュレーション及び実験により導出した知見である。

【0022】

〔適用例5〕上記適用例にかかる振動片において、前記振動片は、水晶を含んでなることが好ましい。

【0023】

この構成によれば、振動片は、水晶を含んでなることから、水晶の物性によって周波数-温度特性、加工精度など優れた諸特性を有する振動片を提供できる。

10

【0024】

〔適用例6〕本適用例にかかる振動子は、上記適用例1～5のいずれかに記載の振動片を用いた振動子であって、前記振動片と、前記振動片を収納したパッケージと、を備えたことを特徴とする。

【0025】

この構成によれば、振動子は、上記適用例1～5のいずれかに記載の振動片がパッケージに収納されていることから、上記適用例のいずれかに記載された効果を奏する振動子を提供できる。

【0026】

〔適用例7〕本適用例にかかる発振器は、上記適用例1～5のいずれかに記載の振動片を用いた発振器であって、前記振動片と、前記振動片を駆動させる回路素子と、を備えたことを特徴とする。

20

【0027】

この構成によれば、発振器は、上記適用例1～5のいずれかに記載の振動片と、回路素子と、を備えたことから、上記適用例のいずれかに記載された効果を奏する発振器を提供できる。

【0028】

〔適用例8〕本適用例にかかる電子機器は、上記適用例1～5のいずれかに記載の振動片を用いたことを特徴とする。

【0029】

この構成によれば、電子機器は、上記適用例1～5のいずれかに記載の振動片を用いたことから、上記適用例1～5のいずれかに記載された効果を奏する電子機器を提供できる。

30

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】第1の実施形態の水晶振動片の概略構成を示す模式斜視図。

【図2】図1の模式平面図。

【図3】(a)は図2のB-B線での断面図兼配線図、(b)は図2のC-C線での断面図兼配線図。

【図4】屈曲振動片のQ値の f/f_m 依存性を表すグラフ。

40

【図5】 RS/S と UZ/UX (Z変位/X変位)との相関関係を示すグラフ。

【図6】 L/A と RS/S との相関関係を示すグラフ。

【図7】第1の実施形態の変形例の水晶振動片を示す模式平面図。

【図8】第2の実施形態の水晶振動子の概略構成を示す模式平面図。

【図9】図8の模式断面図。

【図10】第3の実施形態の水晶発振器の概略構成を示す模式断面図。

【図11】第4の実施形態の携帯電話を示す模式斜視図。

【発明を実施するための形態】

【0031】

以下、本発明を具体化した実施形態について図面に従って説明する。

50

なお、第 1 の実施形態では、振動片として圧電体の一種である水晶を含んでなる水晶振動片を一例に挙げて説明する。そして、第 2 の実施形態、第 3 の実施形態、第 4 の実施形態では、この水晶振動片を用いた振動子、発振器、及び電子機器として、水晶振動子、水晶発振器、及び携帯電話を例に挙げて説明する。

【 0 0 3 2 】

また、以下の各実施形態（第 4 の実施形態を除く）では、X 軸、Y 軸、Z 軸を記載して説明し、それぞれの軸は、水晶の結晶軸である電気軸としての結晶 X 軸、機械軸としての結晶 Y 軸、および光学軸としての結晶 Z 軸を示すものとする。

また、以下の実施形態では、図示した Z 軸が結晶 Z 軸に対して 1 度から 5 度程度傾斜し、その傾斜に伴い Z 軸と X 軸とで規定される平面が傾斜して形成されてもよいものとする。

10

【 0 0 3 3 】

（第 1 の実施形態）

図 1 は、第 1 の実施形態の水晶振動片の概略構成を示す模式斜視図である。図 2 は、図 1 の模式平面図である。図 3 は、図 2 の模式断面図であって、図 3 (a) は、図 2 の B - B 線での断面図兼配線図であり、図 3 (b) は、図 2 の C - C 線での断面図兼配線図である。なお、図 1、図 2 では、便宜的に電極類を省略してある。

【 0 0 3 4 】

図 1、図 2 に示すように、水晶振動片 1 は、基部 1 0 と、基部 1 0 から第 1 方向（Y 軸方向）に延在し、屈曲振動する一对の振動腕部 2 0 , 2 1 とを備えている。

20

水晶振動片 1 は、基部 1 0 と一对の振動腕部 2 0 , 2 1 とで音叉を構成している。

一对の振動腕部 2 0 , 2 1 は、角柱状に形成され、基部 1 0 の一端側から Y 軸方向（第 1 方向）に互いに平行に延在している。

なお、基部 1 0 及び振動腕部 2 0 , 2 1 は、水晶の原石などから切り出された後、所定の厚みの平板状に研磨され、エッチングなどにより個別の音叉形状に形成される。

【 0 0 3 5 】

振動腕部 2 0 , 2 1 は、屈曲振動の規定された振動方向としての X 軸方向に沿った一方の主面 2 2 , 2 3 と、一方の主面 2 2 , 2 3 に対向し X 軸方向に沿った他方の主面 2 6 , 2 7 と、X 軸方向と交差し屈曲振動により交互に伸縮する一对の伸縮面としての一方の面 2 0 c , 2 1 c と、他方の面 2 0 d , 2 1 d とを備えている。

30

【 0 0 3 6 】

振動腕部 2 0 , 2 1 は、一方の主面 2 2 , 2 3 に、振動腕部 2 0 , 2 1 の延在方向（第 1 方向）に沿って設けられた第 1 溝部 2 4 , 2 5 を有し、他方の主面 2 6 , 2 7 に、平面視で第 1 方向と直交する第 2 方向（X 軸方向）に沿って第 1 溝部 2 4 , 2 5 と並んで設けられた第 2 溝部 2 8 , 2 9 を有している。

さらに、振動腕部 2 0 , 2 1 は、他方の主面 2 6 , 2 7 に、平面視で第 1 方向に沿って第 1 溝部 2 4 , 2 5 と並んで設けられ、且つ、第 1 溝部 2 4 , 2 5 より基部 1 0 側に設けられた第 3 溝部 2 4 ' , 2 5 ' を有し、一方の主面 2 2 , 2 3 に、平面視で第 1 方向に沿って第 2 溝部 2 8 , 2 9 と並んで設けられ、且つ、第 2 溝部 2 8 , 2 9 より基部 1 0 側に設けられた第 4 溝部 2 8 ' , 2 9 ' を有している。

40

なお、振動腕部 2 0 , 2 1 の一方の主面 2 2 , 2 3 は、基部 1 0 の一方の主面 1 1 と一体化され、他方の主面 2 6 , 2 7 は、基部 1 0 の他方の主面 1 2 と一体化されている。

【 0 0 3 7 】

第 3 溝部 2 4 ' , 2 5 ' 及び第 4 溝部 2 8 ' , 2 9 ' は、振動腕部 2 0 , 2 1 の根元から先端側に向かって設けられている。

そして、図 2 に示すように、第 3 溝部 2 4 ' , 2 5 ' 及び第 4 溝部 2 8 ' , 2 9 ' と、第 1 溝部 2 4 , 2 5 及び第 2 溝部 2 8 , 2 9 との間には、所定の間隔 G が設けられている。

図 2 に示すように、水晶振動片 1 は、第 1 溝部 2 4 , 2 5 及び第 2 溝部 2 8 , 2 9 の延在方向（第 1 方向）の長さを R S、第 3 溝部 2 4 ' , 2 5 ' 及び第 4 溝部 2 8 ' , 2 9 '

50

の延在方向（第1方向）の長さを S としたときに、 $S : RS = 1 : (2.2 \sim 2.8)$ であることが好ましく、 $S : RS = 1 : 2.5$ であることがより好ましい（詳細後述）。

【0038】

また、水晶振動片1は、振動腕部20, 21の根元から先端までの長さを A 、 RS と S との和を L としたときに、 $8.8992 \times (L/A)^2 - 3.3784 \times (L/A) + 1.746$ $RS/S = 1.3102 \times (L/A)^2 + 3.3784 \times (L/A) + 0.854$ であることが好ましく、 $RS/S = 5.1047 \times (L/A)^2 - 9 \times 10^{-14} \times (L/A) + 1.3$ であることがより好ましい（詳細後述）。

【0039】

図3に示すように、第1溝部24, 25及び第2溝部28, 29並びに第3溝部24', 25'及び第4溝部28', 29'は、断面形状が略矩形であり、第1溝部24, 25の深さ24a, 25aと第2溝部28, 29の深さ28a, 29aとの和、及び第3溝部24', 25'の深さ24a', 25a'と第4溝部28', 29'の深さ28a', 29a'との和が、一方の主面22, 23と他方の主面26, 27との間の距離20a, 21aよりも大きくなるように形成されている（ $(24a + 28a) > 20a$ 、 $(25a + 29a) > 21a$ 、 $(24a' + 28a') > 20a$ 、 $(25a' + 29a') > 21a$ ）。

なお、第1溝部24, 25及び第2溝部28, 29並びに第3溝部24', 25'及び第4溝部28', 29'は、エッチング、サンドブラストなどにより形成される。

【0040】

図3に示すように、第1溝部24, 25及び第2溝部28, 29並びに第3溝部24', 25'及び第4溝部28', 29'の外部側となる側壁には、励振電極30, 31が設けられている。

詳述すると、振動腕部20において、励振電極30は、一方の主面22と他方の主面26とを繋ぐ一方の面20cと、一方の主面22と他方の主面26とを繋ぐ他方の面20dとに設けられている。

また、励振電極31は、第1溝部24における一方の面20c側の面24bと、第2溝部28における他方の面20d側の面28bと、第3溝部24'における一方の面20c側の面24b'と、第4溝部28'における他方の面20d側の面28b'とに設けられている。

【0041】

一方、振動腕部21において、励振電極31は、一方の主面23と他方の主面27とを繋ぐ一方の面21cと、一方の主面23と他方の主面27とを繋ぐ他方の面21dとに設けられている。

また、励振電極30は、第1溝部25における一方の面21c側の面25bと、第2溝部29における他方の面21d側の面29bと、第3溝部25'における一方の面21c側の面25b'と、第4溝部29'における他方の面21d側の面29b'とに設けられている。

【0042】

励振電極30同士、励振電極31同士は互いに接続されて、それぞれ図示しない引き出し電極により基部10まで引き出され、図示しない固定電極と接続されている。

励振電極30と励振電極31との間には、交流電荷が印加される構成となっている。

なお、励振電極30, 31は、Cr、Niなどの下地層とAu、Agなどの電極層とを備えている。各層は蒸着、スパッタなどにより形成されている。

【0043】

ここで、水晶振動片1の動作について説明する。

水晶振動片1の振動腕部20, 21は、励振電極30, 31間に駆動信号として交流電荷が印加されると、図1に示すように、X軸方向に略沿った矢印D方向及び矢印E方向に交互に変位する屈曲振動を行う。

【0044】

10

20

30

40

50

詳述すると、励振電極 30 にプラス電荷を印加し、励振電極 31 にマイナス電荷を印加すると、一方の面 20c, 21c が Y 軸方向に収縮し、他方の面 20d, 21d が Y 軸方向に伸張する。これにより、振動腕部 20, 21 は、矢印 D 方向に変位する。

一方、励振電極 30 にマイナス電荷を印加し、励振電極 31 にプラス電荷を印加すると、一方の面 20c, 21c が Y 軸方向に伸張し、他方の面 20d, 21d が Y 軸方向に収縮する。これにより、振動腕部 20, 21 は、矢印 E 方向に変位する。

水晶振動片 1 の振動腕部 20, 21 は、矢印 D 方向と矢印 E 方向との変位を交互に繰り返すことにより、一方の面 20c, 21c と他方の面 20d, 21d とが交互に伸縮する。

【0045】

10

このとき、図 3 (a) に示すように、振動腕部 20, 21 の第 1 溝部 24, 25 及び第 2 溝部 28, 29 が形成された断面形状 ($(24a + 28a) > 20a$ 、 $(25a + 29a) > 21a$) により、屈曲振動に伴い収縮と伸張とを交互に繰り返す一方の面 20c, 21c から他方の面 20d, 21d までの熱移動の距離が、従来のような断面形状が H 型の溝部を設けた場合と比較して長くなる。

熱移動の距離について詳述すると、振動腕部 20 においては、一方の面 20c の第 1 溝部 24 の開口側の一端から、断面形状に沿って他方の面 20d の第 2 溝部 28 の開口側の一端までの距離であり、振動腕部 21 においては、一方の面 21c の第 1 溝部 25 の開口側の一端から、断面形状に沿って他方の面 21d の第 2 溝部 29 の開口側の一端までの距離である。

20

【0046】

同様に、図 3 (b) に示すように、振動腕部 20, 21 の第 3 溝部 24', 25' 及び第 4 溝部 28', 29' が形成された断面形状 ($(24a' + 28a') > 20a$ 、 $(25a' + 29a') > 21a$) により、屈曲振動に伴い収縮と伸張とを交互に繰り返す一方の面 20c, 21c から他方の面 20d, 21d までの熱移動の距離が、従来のような断面形状が H 型の溝部を設けた場合と比較して長くなる。

【0047】

ここで、上述した緩和振動の周波数 f_0 と緩和時間 τ とは、 $f_0 = 1 / (2\pi\tau)$ で表される。

水晶振動片 1 は、熱移動の距離が従来 (H 型の溝部) より長くなることから、温度平衡状態になるまでの緩和時間 τ が従来 (H 型の溝部) より長くなる。この結果、水晶振動片 1 は、緩和振動の周波数 (緩和振動周波数) f_0 が本来の屈曲振動の周波数 f から遠ざかることになる。

30

【0048】

一般に、緩和振動周波数 (熱緩和周波数) f_0 は、下式で求まることが知られている。

$$f_0 = \pi k / (2\rho C_p a^2) \dots (1)$$

ここで、 π は円周率、 k は振動腕部の振動方向 (屈曲振動方向) の熱伝導率、 ρ は振動腕部の質量密度、 C_p は振動腕部の熱容量、 a は振動腕部の振動方向 (屈曲振動方向) の幅である。

式 (1) の熱伝導率 k 、質量密度 ρ 、熱容量 C_p に振動腕部の材料そのものの定数を入力した場合、求まる緩和振動周波数 f_0 は、溝部を設けていない場合の振動腕部の緩和振動周波数となる。

40

【0049】

図 4 は、屈曲振動片 (水晶振動片) の Q 値の f / f_m 依存性を表すグラフである。ここで f_m は、振動腕部に溝部を設けていない場合 (振動腕部の断面形状が略矩形の場合) の緩和振動周波数である。図 4 のグラフの右側に記載されている図形は、振動腕部の断面形状を模式的に表したものである。

図 4 において、三角のマーカーは、図 3 に示した振動腕部の断面形状の場合のプロット、黒塗りの四角のマーカーは、振動腕部の両主面に溝部を設けることで振動腕部の断面形状を「H」にした H 型の場合のプロット、白抜きの菱形のマーカーは、振動腕部のいずれ

50

の主面にも溝部を設けていない平板の場合のプロットである。また、太い実線は三角マーカの値の近似直線、破線は四角マーカ間の補間直線、一点鎖線は菱形マーカ間の補間直線である。

図4に示すように、屈曲振動片においては、振動腕部の断面形状を図3に示した形状にして、 f/f_m を0.09より大きい値とすることで、H型の場合よりも高いQ値を得られることが明らかとなった。

さらに、上記屈曲振動片（水晶振動片1に相当）は、 f/f_m を0.25より大きい値とすることで、H型及び平板のいずれの場合よりも高いQ値を得ることができ、 f/f_m を1より大きくすれば、H型及び平板のいずれの場合よりも格段に高いQ値を得ることができる。

10

【0050】

ところで、水晶振動片1は、図3(a)に示すように、振動腕部20, 21の一方の主面22, 23と直交し、且つ振動腕部20, 21の延在方向（第1方向）と直交する面に沿って切断した第1溝部24, 25及び第2溝部28, 29を含む断面形状が、一方の主面22, 23と他方の主面26, 27とを結ぶ直線の間接点を通り、一方の主面22, 23（他方の主面26, 27）に沿った直線である一方の主面22, 23と他方の主面26, 27との間の中心線F, F1を対称軸とした線対称形状にはならない。

【0051】

これにより、水晶振動片1は、このままでは振動腕部20, 21における質量の不均衡が生じ、図3(a)に示すように、振動腕部20の屈曲振動の変位Uが、一方の主面22, 23（他方の主面26, 27）に沿ったX軸方向に振動する本来の屈曲振動の変位成分U_xと、Z軸方向のモーメントによって、一方の主面22, 23と他方の主面26, 27とを結ぶ方向であるZ軸方向に振動する面外振動の変位成分U_zとが合成された変位となる。

20

【0052】

一方、振動腕部21の屈曲振動の変位U1は、X軸方向に振動する本来の屈曲振動の変位成分U1_xと、Z軸方向のモーメントによって、Z軸方向に振動する面外振動の変位成分U1_zとが合成された変位となる。

このとき、変位成分U_zと変位成分U1_zとは、同一方向の変位成分となる。

【0053】

30

この結果、水晶振動片1は、屈曲振動の変位U, U1の方向が一方の主面22, 23に沿わなくなる（X軸方向に沿わなくなる）ことから、振動エネルギーの損失が生じ、屈曲振動の効率が低下する虞がある。

なお、図3(a)では、便宜的に屈曲振動の一方の方向（図1の矢印D方向相当）の変位U, U1について示しているが反対方向（図1の矢印E方向相当）の変位についても同様である。

【0054】

これに対して、水晶振動片1は、図3(b)に示すように、振動腕部20, 21の一方の主面22, 23と直交し、且つ振動腕部20, 21の延在方向（第1方向）と直交する面に沿って切断した第3溝部24', 25'及び第4溝部28', 29'を含む断面形状が、第1溝部24, 25及び第2溝部28, 29を含む断面形状を反転させた形状となっている。

40

これにより、水晶振動片1は、第3溝部24', 25'及び第4溝部28', 29'において、屈曲振動の変位U', U1'が、上記と同様に一方の主面22, 23に沿った本来の屈曲振動の変位成分U_x', U1_x'と、Z軸方向に振動する面外振動の変位成分U_z', U1_z'とが合成された変位となる。

【0055】

このとき、水晶振動片1は、第3溝部24', 25'及び第4溝部28', 29'を含む断面形状が、第1溝部24, 25及び第2溝部28, 29を含む断面形状を反転させた形状となっていることから、第3溝部24', 25'及び第4溝部28', 29'におけ

50

る面外振動の変位成分 U_z' , U_{1z}' の方向と、第1溝部24, 25及び第2溝部28, 29における面外振動の変位成分 U_z , U_{1z} の方向とが逆方向になる。

【0056】

この結果、水晶振動片1は、第1溝部24, 25及び第2溝部28, 29における面外振動の変位成分 U_z , U_{1z} と、第3溝部24', 25'及び第4溝部28', 29'における面外振動の変位成分 U_z' , U_{1z}' とが相殺されることから、全体としての屈曲振動の変位の方向が、規定された振動方向としてのX軸方向（一方の主面に沿った方向）に近づくことになる。

これにより、水晶振動片1は、Z軸方向のモーメントが低減することによって、振動エネルギーの損失が抑制されることから、屈曲振動の効率が向上する。

10

【0057】

上記について、具体的なデータに基づいてさらに説明する。

図5は、第1溝部24, 25及び第2溝部28, 29の延在方向の長さRSと第3溝部24', 25'及び第4溝部28', 29'の延在方向の長さSとの比（以下、単にRS/Sともいう）と、水晶振動片1全体としての屈曲振動における面外振動（Z軸方向の振動）の変位成分UZと、本来の規定された振動方向としてのX軸方向の変位成分UXとの比（以下、単にUZ/UXともいう）との相関関係を示すグラフである。

【0058】

図6は、振動腕部20, 21の先端側及び基部側の各溝部の長さの和L（RS+S）と振動腕部20, 21の根元から先端までの長さAとの比（以下、単にL/Aともいう）と、そのときの振動エネルギーの損失が許容範囲内となるRS/Sとの相関関係を示すグラフである。

20

なお、図5、図6は、発明者らがシミュレーション及び実験により導出したデータに基づいている。

【0059】

図5に示すように、水晶振動片1は、RS/S = 2.2 ~ 2.8、つまりS : RS = 1 : (2.2 ~ 2.8)であるときに、UZ/UXが小さくなることから、屈曲振動における振動エネルギーの損失の、一つの尺度としての振動漏れ Δf （基部10をワイヤーで吊るす、あるいは、柔らかい導電性接着剤で固定した場合の周波数と、基部10をハンダや硬い導電性接着剤で固定した場合の周波数とのシフト量）の値が小さくなる。具体的には、振動漏れ Δf が約500ppm以下の量産適合レベルになる。

30

さらに、水晶振動片1は、RS/S = 2.5、つまりS : RS = 1 : 2.5であるときに、UZ/UXが略0となることから、振動漏れ Δf の値が最も小さくなる（略0ppm）。

なお、UZ/UXのマイナス符号は、面外振動の変位方向が逆になる（Z軸のプラス方向からZ軸のマイナス方向になる）ことを表している。

【0060】

また、図6に示すように、水晶振動片1は、 $8.8992 \times (L/A)^2 - 3.3784 \times (L/A) + 1.746$ （紙面一番下のライン）RS/S = $1.3102 \times (L/A)^2 + 3.3784 \times (L/A) + 0.854$ （紙面一番上のライン）であるときに、UZ/UXが小さくなることから、振動漏れ Δf の値が小さくなる。具体的には、約500ppm以下の量産適合レベルになる。

40

さらに、水晶振動片1は、RS/S = $5.1047 \times (L/A)^2 - 9 \times 10^{-14} \times (L/A) + 1.3$ （紙面中央のライン）であるときに、UZ/UXが略0となることから、振動漏れ Δf の値が最も小さくなる（略0ppm）。

【0061】

なお、シミュレーション及び実験には、図2に示す、振動腕部20, 21の根元から先端までの長さA = 約1650 μ m、振動腕部20, 21のX軸方向の幅W = 約100 μ mのサンプルを用いて、間隔G = 約20 μ mで固定し、RS、S、Lの値をRS = 約200 μ m ~ 約1100 μ m、S = 約100 μ m ~ 約600 μ m、L = 約400 μ m ~ 約120

50

0 μmの範囲で適宜設定して評価した。

【0062】

上述したように、第1の実施形態の水晶振動片1は、第1溝部24, 25の深さ24a, 25aと第2溝部28, 29の深さ28a, 29aとの和、及び第3溝部24', 25'の深さ24a', 25a'と第4溝部28', 29'の深さ28a', 29a'との和が、一方の主面22, 23と他方の主面26, 27との間の距離20a, 21aよりも大きい($(24a + 28a) > 20a$ 、 $(25a + 29a) > 21a$ 、 $(24a' + 28a') > 20a$ 、 $(25a' + 29a') > 21a$)。

【0063】

これにより、水晶振動片1は、例えば、振動腕部20, 21に従来のような断面形状がH型の溝部を設けた場合と比較して、屈曲振動における収縮する面から伸張する面への熱移動の距離(一方の面20c, 21cから他方の面20d, 21dまでの熱移動の距離)が長くなることから、温度平衡状態になるまでの緩和時間τが長くなる。

この結果、水晶振動片1は、緩和振動周波数 f_0 を本来の屈曲振動の周波数 f から遠ざけられることから、熱弾性損失に起因するQ値の低下を抑制できる。したがって、水晶振動片1は、さらなる小型化を図ることができる。

【0064】

また、水晶振動片1は、振動腕部20, 21の一方の主面22, 23と直交し、且つ振動腕部20, 21の延在方向(第1方向)と直交する面に沿って切断した第3溝部24', 25'及び第4溝部28', 29'を含む断面形状が、同様に切断した第1溝部24, 25及び第2溝部28, 29を含む断面形状を反転させた形状となっている。

このことから、水晶振動片1は、屈曲振動における第1溝部24, 25及び第2溝部28, 29に起因する面外振動の変位成分 U_z , U_{1z} の方向と、第3溝部24', 25'及び第4溝部28', 29'に起因する面外振動の変位成分 $U_{z'}$, $U_{1z'}$ の方向とが逆方向になる。

【0065】

この結果、水晶振動片1は、第1溝部24, 25及び第2溝部28, 29に起因する面外振動の変位成分 U_z , U_{1z} と、第3溝部24', 25'及び第4溝部28', 29'に起因する面外振動の変位成分 $U_{z'}$, $U_{1z'}$ とが相殺されることから、全体としての屈曲振動の振動方向が、規定された振動方向であるX軸方向(一方の主面22, 23に沿った方向)に近づくことになる。

これにより、水晶振動片1は、屈曲振動における振動エネルギーの損失が抑制されることから、CI(クリスタルインピーダンス)値などが低下し、屈曲振動の効率が向上する。

【0066】

また、水晶振動片1は、 $S:RS = 1:(2.2 \sim 2.8)$ であれば、第1溝部24, 25及び第2溝部28, 29に起因する面外振動の変位成分 U_z , U_{1z} と、第3溝部24', 25'及び第4溝部28', 29'に起因する面外振動の変位成分 $U_{z'}$, $U_{1z'}$ とが殆ど相殺される。

この結果、水晶振動片1は、 U_z/U_x が小さくなることから、振動エネルギーの損失としての振動漏れ Δf の値がより小さくなり(約500ppm以下)、屈曲振動の効率がより向上する。

【0067】

さらに、水晶振動片1は、 $S:RS = 1:2.5$ であれば、第1溝部24, 25及び第2溝部28, 29に起因する面外振動の変位成分 U_z , U_{1z} と、第3溝部24', 25'及び第4溝部28', 29'に起因する面外振動の変位成分 $U_{z'}$, $U_{1z'}$ とが殆どすべて相殺される。

この結果、水晶振動片1は、 U_z/U_x が略0となることから、振動漏れ Δf の値が極小(略0ppm)となり、屈曲振動の効率がさらに向上する。

【0068】

10

20

30

40

50

また、水晶振動片 1 は、 $8.8992 \times (L/A)^2 - 3.3784 \times (L/A) + 1.746$ RS/S $1.3102 \times (L/A)^2 + 3.3784 \times (L/A) + 0.854$ であれば、第 1 溝部 24, 25 及び第 2 溝部 28, 29 に起因する面外振動の変位成分 U_z , U_{1z} と、第 3 溝部 24', 25' 及び第 4 溝部 28', 29' に起因する面外振動の変位成分 $U_{z'}$, $U_{1z'}$ とが殆ど相殺される。

この結果、水晶振動片 1 は、 U_z/U_x が小さくなることから、振動漏れ Δf の値がより小さくなり (約 500 ppm 以下)、屈曲振動の効率がより向上する。

【0069】

さらに、水晶振動片 1 は、 $RS/S = 5.1047 \times (L/A)^2 - 9 \times 10^{-14} \times (L/A) + 1.3$ であれば、第 1 溝部 24, 25 及び第 2 溝部 28, 29 に起因する面外振動の変位成分 U_z , U_{1z} と、第 3 溝部 24', 25' 及び第 4 溝部 28', 29' に起因する面外振動の変位成分 $U_{z'}$, $U_{1z'}$ とがさらに相殺される。

10

この結果、水晶振動片 1 は、 U_z/U_x が略 0 となることから、振動漏れ Δf の値が極小 (略 0 ppm) となり、屈曲振動の効率がさらに向上する。

【0070】

また、水晶振動片 1 は、水晶を含んでなることから、水晶の物性により周波数 - 温度特性、周波数のエージング特性、加工精度など優れた諸特性を有する振動片として提供することができる。

【0071】

(変形例)

20

以下、第 1 の実施形態の水晶振動片の変形例について説明する。

図 7 は、第 1 の実施形態の変形例の水晶振動片を示す模式平面図である。なお、第 1 の実施形態との共通部分については、同一符号を付して説明を省略し、第 1 の実施形態と異なる部分を中心に説明する。

【0072】

図 7 に示すように、水晶振動片 101 は、振動腕部 121 における第 1 溝部 25 及び第 2 溝部 29 並びに第 3 溝部 25' 及び第 4 溝部 29' の配列が、上記実施形態の水晶振動片 1 の振動腕部 21 と比較して逆になっている。換言すれば、水晶振動片 101 は、各溝部の配列が振動腕部 20 と振動腕部 121 とで同じになっている。

水晶振動片 101 は、この配列において、第 1 の実施形態と同様の作用により第 1 の実施形態と同様の効果を奏することができる。

30

【0073】

なお、上記実施形態及び変形例では、一对の振動腕部を有する音叉型の水晶振動片を例に挙げて説明したが、これに限定するものではなく、例えば、1 本の振動腕部を有する棒状の水晶振動片でもよく、3 本以上の振動腕部を有する音叉型の水晶振動片でもよい。

【0074】

(第 2 の実施形態)

以下、第 2 の実施形態の振動子としての水晶振動子を一例に挙げて説明する。

図 8 は、第 2 の実施形態の水晶振動子の概略構成を示す模式平面図である。図 9 は、図 8 の J-J 線での模式断面図である。なお、図 8 では便宜的に蓋体を省略してある。

40

また、第 1 の実施形態との共通部分には、同一符号を付して説明を省略する。

【0075】

第 2 の実施形態の水晶振動子 80 は、第 1 の実施形態または第 1 の実施形態の変形例の水晶振動片を用いた水晶振動子である。ここでは、第 1 の実施形態の水晶振動片 1 を用いて説明する。

図 8、図 9 に示すように、水晶振動子 80 は、パッケージ 51 内に水晶振動片 1 を収納している。具体的には、水晶振動子 80 は、図 9 に示すように、第 1 基板 54 と、この第 1 基板 54 に積層された第 2 基板 55 と第 3 基板 56 とを含むパッケージ 51 の内部空間 S に水晶振動片 1 を収納している。

【0076】

50

パッケージ 51 は、第 1 基板 54 と第 2 基板 55 と第 3 基板 56 とを備え、さらに蓋体 57 を備えている。パッケージ 51 は、第 2 基板 55 がパッケージ 51 内に延長された延長部 55a を有しており、延長部 55a に電極部 52 が 2 個形成されている。

水晶振動子 80 は、導電性接着剤 53 などを用いて水晶振動片 1 の図示しない固定電極が電極部 52 に固定され、固定電極を介して励振電極 30, 31 (図 3 参照) と電極部 52 とが電氣的に接続されている。なお、導電性接着剤 53 としては、所定の合成樹脂からなるバインダー成分に、銀粒子などの導電粒子を添加したものを使用することができる。

【0077】

第 1 基板 54 と第 2 基板 55 と第 3 基板 56 とは、セラミックなどの絶縁材料で形成されている。特に、好ましい材料としては、水晶振動片 1 や蓋体 57 と同一または近似する線膨張係数を有するものが選択される。

10

本実施形態では、例えば、セラミックのグリーンシートが用いられている。グリーンシートは、例えば、所定の溶液中にセラミックパウダーを分散させ、バインダーを添加して生成される混練物を長尺のシート状に成形し、これを所定の長さのカットして得られるものである。

【0078】

第 1 基板 54 と第 2 基板 55 と第 3 基板 56 とは、図示する形状に成形したグリーンシートを積層し、焼結して形成することができる。第 1 基板 54 は、パッケージ 51 の底部を構成し、これに重ねられる第 2 基板 55 と第 3 基板 56 とは、枠状に形成され、内部空間 S を第 1 基板 54、蓋体 57 などとともに形成している。

20

第 3 基板 56 には、セラミックやガラスあるいはコパールなどの金属で形成された蓋体 57 が、コパールリング、低融点ガラスなどの接合材 58 を介して接合されている。これにより、パッケージ 51 の内部空間 S は、気密に封止されている。

【0079】

第 1 基板 54 上には、例えば、Ag, Pd などの導電ペーストまたはタングステンメタライズなどの導電ペーストなどを用いて、図示しない導電パターンを形成後に、第 1 基板 54 と第 2 基板 55 と第 3 基板 56 との焼結をした後で、Ni, Au または Ag などを実装メッキして、上述した電極部 52 が形成されている。

電極部 52 は、図示しない導電パターンにより、パッケージ 51 の外底面に形成された実装端子 59 と電氣的に接続されている。

30

【0080】

水晶振動子 80 は、実装端子 59 に駆動信号を印加することにより、図示しない固定電極を介して水晶振動片 1 の励振電極 30, 31 間に交流電荷が印加される (図 3 参照)。

これにより、水晶振動片 1 は、図 1 に示すような屈曲振動を行う。

【0081】

上述したように、水晶振動子 80 は、水晶振動片 1 がパッケージ 51 の内部空間 S に収納され、パッケージ 51 の内部空間 S が気密に封止されていることから、第 1 の実施形態と同様の効果を奏する振動子を提供できる。

なお、水晶振動子 80 は、水晶振動片 1 に代えて、第 1 の実施形態の変形例の水晶振動片 101 を用いても、第 1 の実施形態と同様の効果を奏する振動子を提供できる。

40

【0082】

なお、水晶振動子 80 は、蓋体 57 をつば付きのキャップ状に形成することなどにより、第 2 基板 55 及び第 3 基板 56 を省略してもよい。これによれば、水晶振動子 80 は、構成要素が少なくなることから、パッケージ 51 の製造が容易になる。

【0083】

(第 3 の実施形態)

以下、第 3 の実施形態の発振器としての水晶発振器を一例に挙げて説明する。

図 10 は、第 3 の実施形態の水晶発振器の概略構成を示す模式断面図である。

第 3 の実施形態の水晶発振器 90 は、第 1 の実施形態または第 1 の実施形態の変形例の水晶振動片を用いた水晶発振器である。ここでは、第 1 の実施形態の水晶振動片 1 を用い

50

て説明する。なお、第3の実施形態の水晶発振器90は、第2の実施形態の水晶振動子80に、水晶振動片1を駆動させる回路素子としてのICチップ87を備えたものである。

なお、第1の実施形態及び第2の実施形態との共通部分には、同一符号を付し説明を省略する。

【0084】

図10に示すように、水晶発振器90は、パッケージ51の第1基板54上面に、Auなどからなる内部接続端子89が形成されている。

発振回路を内蔵するICチップ87は、パッケージ51の内部空間Sに収納され、第1基板54上面に接着剤などを用いて固定されている。そして、ICチップ87の上面には、AuなどからなるIC接続パッド82が形成されている。

10

【0085】

IC接続パッド82は、金属ワイヤー88により内部接続端子89と接続されている。

内部接続端子89は、図示しない導電パターンを経由して、パッケージ51の外底面に形成された実装端子59や電極部52に接続されている。なお、ICチップ87と内部接続端子89との接続には、金属ワイヤー88による接続方法以外に、フリップチップ実装による接続方法などを用いてもよい。

なお、パッケージ51の内部空間Sは、気密に封止されている。

【0086】

水晶発振器90は、外部からの入力によって、ICチップ87から電極部52、図示しない固定電極を介して水晶振動片1の励振電極30、31間に交流電荷が印加される(図3参照)。

20

これにより、水晶振動片1は、図1に示すような屈曲振動を行う。水晶発振器90は、この屈曲振動によって得られる発振信号をICチップ87、実装端子59を介して外部に出力する。

【0087】

上述したように、第3の実施形態の水晶発振器90は、水晶振動片1と、ICチップ87とがパッケージ51の内部空間Sに収納され、パッケージ51の内部空間Sが気密に封止されていることから、第1の実施形態と同様の効果を奏する発振器を提供できる。

なお、水晶発振器90は、水晶振動片1に代えて、第1の実施形態の変形例の水晶振動片101を用いても、第1の実施形態と同様の効果を奏する発振器を提供できる。

30

なお、水晶発振器90は、ICチップ87がパッケージ51の外部に取り付けられている構成(モジュール構造)としてもよい。

【0088】

なお、第3の実施形態では、水晶発振器を一例に挙げて説明したが、これに限定するものではなく、例えば、ICチップ87に検出回路などをさらに備えた圧力センサー、ジャイロセンサーなどでもよい。

【0089】

(第4の実施形態)

以下、第4の実施形態の電子機器としての携帯電話を一例に挙げて説明する。

図11は、第4の実施形態の携帯電話を示す模式斜視図である。

40

第4の実施形態の携帯電話700は、第1の実施形態または第1の実施形態の変形例の水晶振動片を用いた携帯電話である。

図11に示す携帯電話700は、上述した水晶振動片1(101)を、例えば、基準クロック発振源として用い、更に液晶表示装置701、複数の操作ボタン702、受話口703、及び送話口704を備えて構成されている。

【0090】

上述した水晶振動片1(101)は、上記携帯電話に限らず、電子ブック、パーソナルコンピューター、テレビ、デジタルスチールカメラ、ビデオカメラ、ビデオレコーダー、カーナビゲーション装置、ページャー、電子手帳、電卓、ワードプロセッサー、ワークステーション、テレビ電話、POS端末、タッチパネルを備えた機器などの基準クロック発

50

振源などとして好適に用いることができ、いずれの場合にも上記実施形態および変形例で説明した効果を奏する電子機器を提供することができる。

【 0 0 9 1 】

なお、振動片の材料としては、水晶に限定するものではなく、タンタル酸リチウム (LiTaO_3)、四ホウ酸リチウム ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$)、ニオブ酸リチウム (LiNbO_3)、チタン酸ジルコン酸鉛 (PZT)、酸化亜鉛 (ZnO)、窒化アルミニウム (AlN) などの圧電体、または酸化亜鉛 (ZnO)、窒化アルミニウム (AlN) などの圧電体を被膜として備えたシリコンなどの半導体であってもよい。

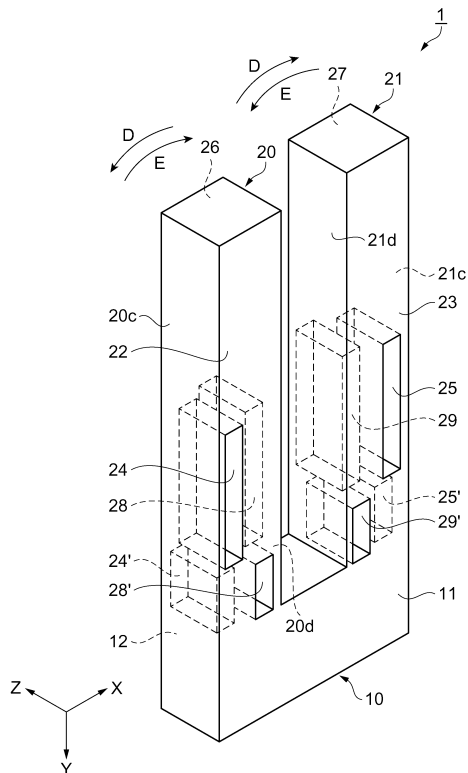
【符号の説明】

【 0 0 9 2 】

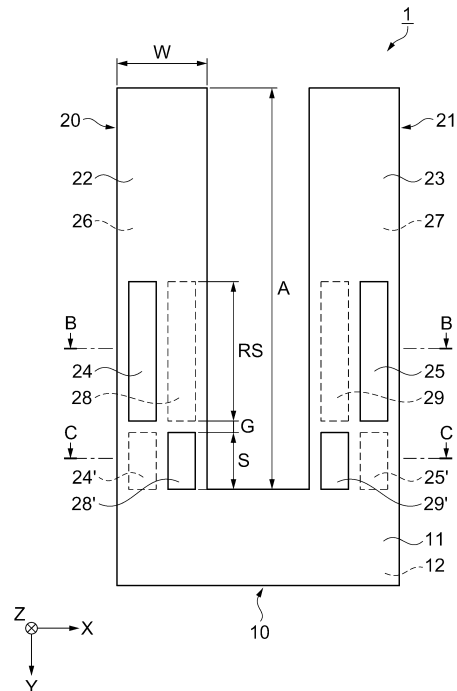
1 ... 水晶振動片、10 ... 基部、11 ... 一方の主面、12 ... 他方の主面、20 ... 振動腕部、20c ... 一方の面、20d ... 他方の面、21 ... 振動腕部、21c ... 伸縮面としての一方の面、21d ... 伸縮面としての他方の面、22, 23 ... 一方の主面、24, 25 ... 第1溝部、24', 25' ... 第3溝部、26, 27 ... 他方の主面、28, 29 ... 第2溝部、28', 29' ... 第4溝部。

10

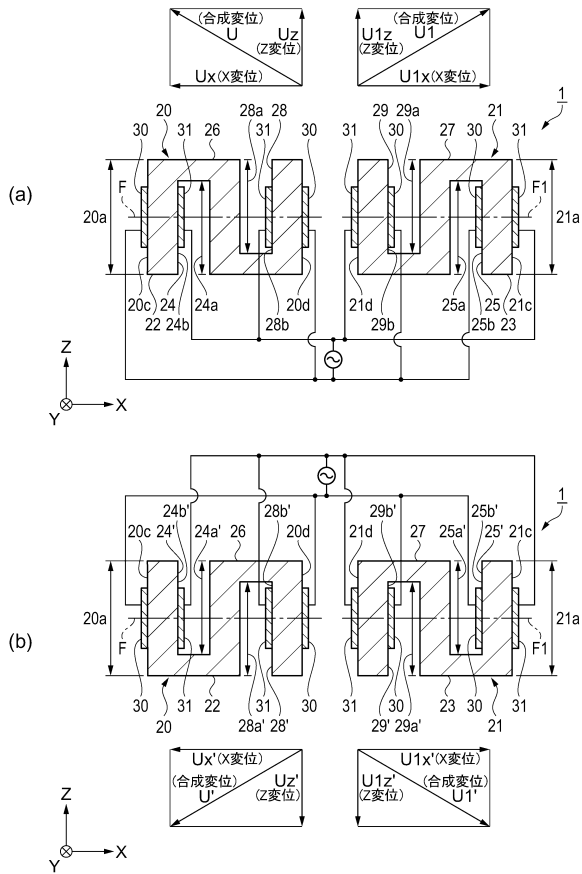
【図 1】



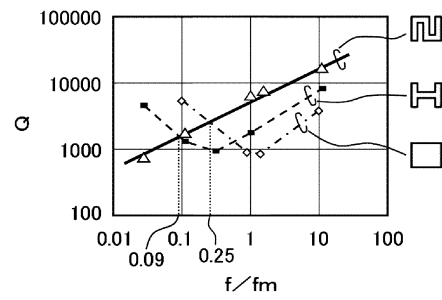
【図 2】



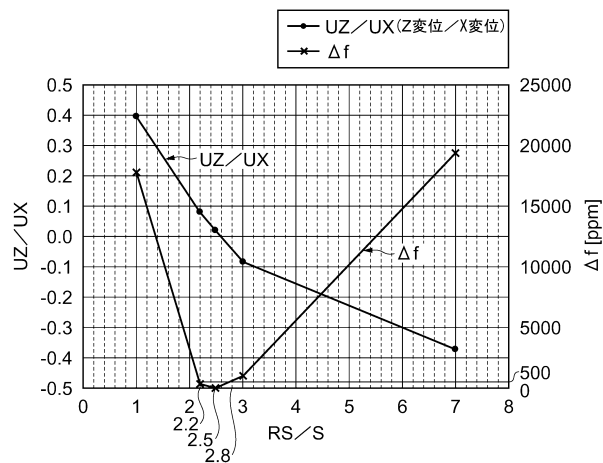
【 図 3 】



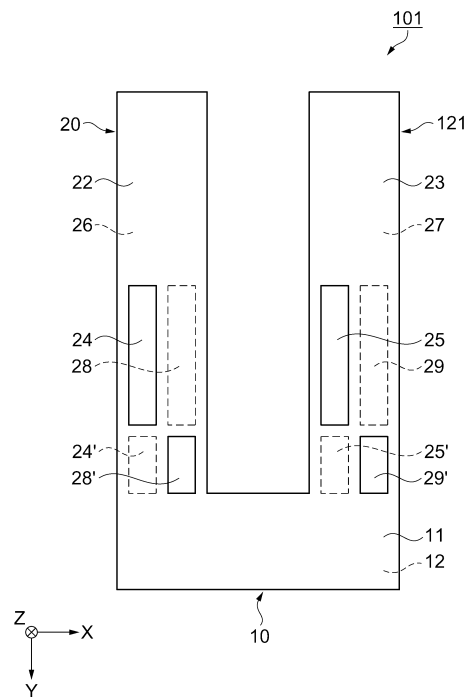
【 図 4 】



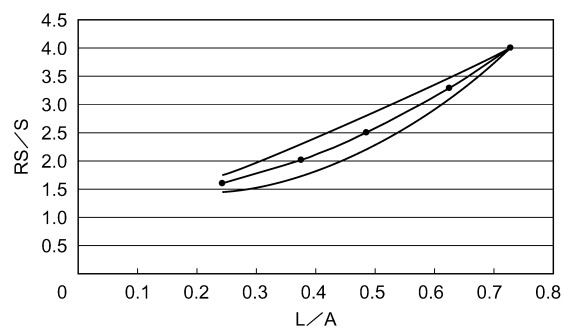
【 図 5 】



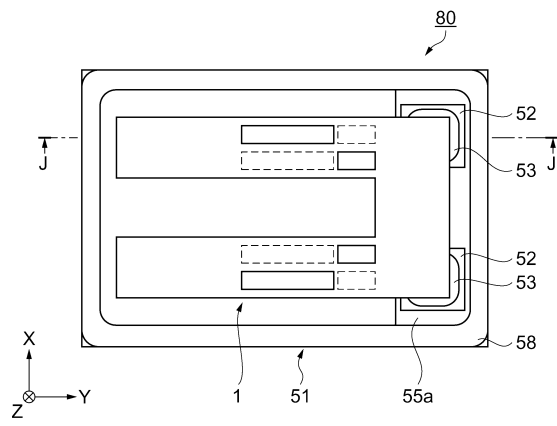
【圖 7】



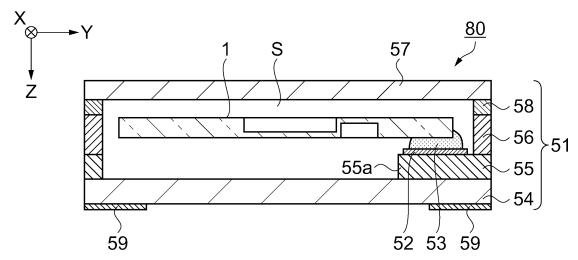
【 図 6 】



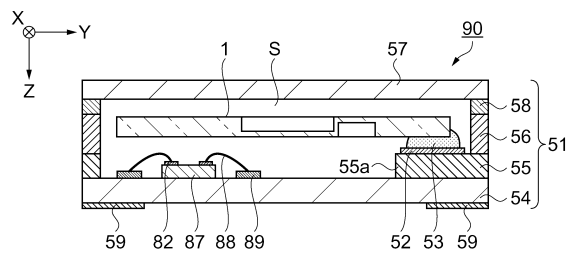
【図 8】



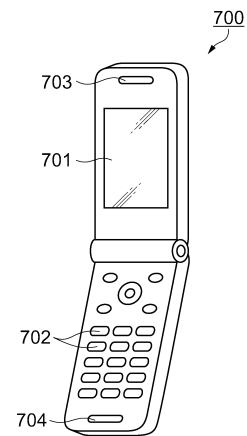
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 4 - 2 4 8 2 3 7 (J P , A)
国際公開第 2 0 0 9 / 0 3 5 1 5 5 (W O , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
H 0 3 H 9 / 1 9
H 0 3 H 9 / 0 2
H 0 3 H 9 / 2 1 5