

(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2010-226610

(P2010-226610A)

(43) 公開日 平成22年10月7日(2010.10.7)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO3H 9/19 (2006.01)	HO3H 9/19 K	5J108
HO3H 9/215 (2006.01)	HO3H 9/215	
HO1L 41/09 (2006.01)	HO3H 9/19 J	
HO1L 41/18 (2006.01)	HO1L 41/08 C	
HO1L 41/187 (2006.01)	HO1L 41/08 L	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2009-73742 (P2009-73742)
 (22) 出願日 平成21年3月25日 (2009. 3. 25)

(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
 (74) 代理人 100095728
 弁理士 上柳 雅誉
 (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 古畑 誠
 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
 (72) 発明者 山田 明法
 東京都日野市日野421-8 エプソントヨコム株式会社内

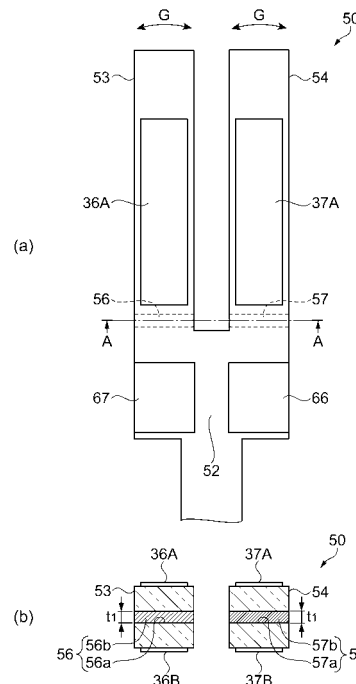
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 屈曲振動片およびそれを用いた発振器

(57) 【要約】

【課題】 Q 値の低下が抑えられた小型の屈曲振動片、および、それを用いた発振器を提供する。

【解決手段】 音叉型水晶振動片 50 は、基部 52 と、この基部 52 の一端側から延出する一対の振動腕 53, 54 とからなる。各振動腕 53, 54 の基部 52 との付け根近傍を含む領域には、各振動腕 53, 54 の振動方向 (矢印 G) と直交する両側面に貫通する貫通孔 56a, 57a と、その貫通孔 56a, 57a に埋設された埋め込み部材 56b, 57b とからなる熱伝導路 56, 57 が形成されている。ここで、各振動腕 53, 54 ごとの熱伝導路の数を m、熱伝導路の熱抵抗率を t_{th} 、振動腕 53, 54 (水晶) の熱抵抗率を t_v 、振動腕 53, 54 の振動方向と直交する方向の厚みを t_v 、熱伝導路の振動腕 53, 54 の振動方向と直交する方向の厚みを t_{th} としたときに、 $t_{th} (1/m) \times t_v \times$



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

振動により圧縮応力または引張応力が作用する第 1 の領域と、前記第 1 の領域に圧縮応力が作用する場合は引張応力が作用し前記第 1 の領域に引張応力が作用する場合は圧縮応力が作用する関係にある第 2 の領域と、を有する屈曲振動体からなり、

前記屈曲振動体の振動方向と直交する側面の前記第 1 の領域および前記第 2 の領域の近傍に開口部を有する溝と、該溝内に埋設される前記屈曲振動体よりも低い熱抵抗率を有する埋め込み部材とからなる熱伝導路が設けられた屈曲振動片であって、

前記熱伝導路の数を m 、前記熱伝導路の熱抵抗率を t_{th} 、前記屈曲振動体の熱抵抗率を t_v 、前記屈曲振動体の振動方向と直交する方向の厚みを t_v 、前記熱伝導路の前記屈曲振動体の振動方向と直交する方向の厚みを t_{th} としたときに、 $t_{th} (1/m) \times t_v \times (t_{th} / t_v)$ の関係を満たすことを特徴とする屈曲振動片。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の屈曲振動片において、

前記埋め込み部材の熱抵抗率が金 (Au) の熱抵抗率よりも低い材料からなることを特徴とする屈曲振動片。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の屈曲振動片において、

前記溝が、前記第 1 の領域側の前記側面の開口部と前記第 2 の領域側の前記側面の開口部とを連通する貫通孔であることを特徴とする屈曲振動片。

20

【請求項 4】

請求項 1 または 2 に記載の屈曲振動片において、

前記溝が、前記第 1 の領域側の前記側面および前記第 2 の領域側の前記側面にそれぞれ開口部を有して対をなす有底の溝であることを特徴とする屈曲振動片。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の屈曲振動片と、該屈曲振動片を駆動させる発振回路とを少なくとも備えることを特徴とする発振器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

30

本発明は、屈曲振動モードで振動する屈曲振動片、および、それを用いた発振器に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、屈曲振動モードで振動する屈曲振動片として、例えば圧電材料などの屈曲振動体用基材からなる基部から 1 対の振動腕を平行に延出させて、それらの振動腕を水平方向に互いに接近または離反する向きに振動させる音叉型の屈曲振動片が広く使用されている。この音叉型屈曲振動片の振動腕を励振させたとき、その振動エネルギーに損失が生じると、CI (Crystal Impedance) 値の増大や Q 値の低下など、振動片の性能を低下させる原因となる。そこで、そのような振動エネルギーの損失を防止または低減するために、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または所定の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 (例えば特許文献 1、特許文献 2 を参照)。この音叉型水晶振動片は、振動腕の振動が垂直方向の成分をも含む場合に、切込み部または切込み溝により基部から振動が漏れるのを抑制することによって、振動エネルギーの閉じ込め効果を高めて CI 値を制御し、且つ、振動片間での CI 値のばらつきを防止している。

【0004】

この機械的な振動エネルギーの損失だけでなく、屈曲振動する振動腕の圧縮応力が作用する圧縮部と引張応力が作用する伸張部との間で温度差が生じ、この温度差を緩和しよう

50

として作用する熱伝導によっても振動エネルギーの損失が発生する。この熱伝導によって発生するQ値の低下は熱弾性損失効果と呼ばれている。

このような熱弾性損失効果によるQ値の低下を防止または抑制するために、矩形断面を有する振動腕（振動梁）の中心線上に溝、または孔を形成した音叉型の振動片が、例えば特許文献3に紹介されている。

【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片において、振動数 f_m が変化したときに、緩和振動数 $f_m = 1 / (2 \tau)$ （ここで、 τ 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7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 となる周波数が熱緩和周波数 f_0 （ $= 1 / 2 \tau$ ）であり、すなわち、熱緩和周波数 f_0 は上記緩和振動数 f_m と同じものである。

10

【0006】

図面を参照して具体的に説明すると、図6において、特許文献3の音叉型水晶振動片1は、基部2から延出する2本の平行な振動腕3, 4を備え、各振動腕3, 4それぞれの中心線上に直線状の溝または孔6, 7が設けられている。この音叉型水晶振動片1の各振動腕3, 4の両主面（溝または孔6, 7形成面と同じ面）に設けられた図示しない励振電極に所定の駆動電圧を印加すると、振動腕3, 4は、図中想像線（二点鎖線）および矢印で示すように、互いに接近または離反する向きに屈曲振動する。

20

【0007】

この屈曲振動によって、各振動腕3, 4の基部2との付け根部の領域に機械的歪が発生する。すなわち、振動腕3の基部2との付け根部においては、屈曲振動により圧縮応力または引張応力が作用する第1の領域10と、この第1の領域10に圧縮応力が作用する場合は引張応力が作用し、第1の領域10に引張応力が作用する場合は圧縮応力が作用する関係にある第2の領域11と、が存在し、これら第1の領域10および第2の領域11においては、圧縮応力が作用したときには温度が上昇し、引張応力が作用したときには温度が下降する。

これと同様に、振動腕4の基部2との付け根部においては、屈曲振動により圧縮応力または引張応力が作用する第1の領域12と、この第1の領域12に圧縮応力が作用する場合は引張応力が作用し、第1の領域12に引張応力が作用する場合は圧縮応力が作用する関係にある第2の領域13と、が存在し、第1の領域12および第2の領域13においては、圧縮応力が作用したときに温度が上昇し、引張応力が作用したときには温度が下降する。

30

【0008】

このようにして発生した温度勾配によって、各振動腕3, 4の基部2との付け根部分の内部には、第1の領域10, 12と第2の領域11, 13との間で熱伝導が発生する。温度勾配は、各振動腕3, 4の屈曲振動に対応して逆向きに発生し、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、その結果、音叉型水晶振動片1のQ値が低下して振動特性が不安定になり、所望の性能を実現することが困難になる。

40

特許文献3の音叉型水晶振動片1では、各振動腕3, 4それぞれの中心線上に設けられた溝または孔6, 7によって圧縮側から引っ張り側への熱移動が阻止されることにより、熱弾性損失によるQ値の低下を防止または軽減することを可能としている。具体的には、各振動腕3, 4に設けられた溝または孔6, 7に沿って屈曲振動体内を迂回することにより、熱伝導経路が長くなって熱緩和時間 τ が延長されるので、 $1 / (2 \tau)$ で求められる熱緩和周波数は、図7に示す曲線 F_1 の熱緩和周波数 f_{10} に示すように、溝または孔6, 7を設けない従来の音叉型屈曲振動片の曲線Fおよびその熱緩和周波数 f_0 に比して図中左側にシフトする。

【先行技術文献】

50

【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

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】C.Zener、他2名、「InternalFriction in Solids III.Experimental Demonstration of Thermoelastic InternalFriction」、PHYSICAL REVIEW、1938年1月1日、Volume53、p.10-101

10

【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、特許文献3に記載の音叉型水晶振動片1では、小型化が進むに従って、溝または孔によって熱緩和時間を延長する効果が少なくなり、Q値の低下の抑制効果が十分に得られなくなるという課題があった。

【課題を解決するための手段】

【0012】

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。

20

【0013】

〔適用例1〕本適用例にかかる屈曲振動片は、振動により圧縮応力または引張応力が作用する第1の領域と、前記第1の領域に圧縮応力が作用する場合は引張応力が作用し前記第1の領域に引張応力が作用する場合は圧縮応力が作用する関係にある第2の領域と、を有する屈曲振動体からなり、前記屈曲振動体の振動方向と直交する側面の前記第1の領域および前記第2の領域の近傍に開口部を有する溝と、該溝内に埋設される前記屈曲振動体よりも低い熱抵抗率を有する埋め込み部材とからなる熱伝導路が設けられた屈曲振動片であって、前記熱伝導路の数を m 、前記熱伝導路の熱抵抗率を t_{th} 、前記屈曲振動体の熱抵抗率を t_v 、前記屈曲振動体の振動方向と直交する方向の厚みを t_v 、前記熱伝導路の前記屈曲振動体の振動方向と直交する方向の厚みを t_{th} としたときに、 $t_{th} (1/m) \times t_v \times (t_{th}/t_v)$ の関係を満たすことを特徴とする。

30

【0014】

上記構成のように、屈曲振動体と熱伝導路とが有する熱抵抗率の比、および、第1の領域から第2の領域の間に設ける熱伝導路の数に応じて厚みを設定した熱伝導路を設けることにより、第1の領域と第2の領域との間の熱伝導が熱伝導路を介して効率的に行われるようになることを本願発明者は見出した。これにより、第1の領域と第2の領域との温度を平衡状態とするのに要する熱緩和時間が短縮されるので、Q値の低下が抑えられた屈曲振動片を提供することができる。

【0015】

〔適用例2〕上記適用例にかかる屈曲振動片において、前記埋め込み部材の熱抵抗率が金(Au)の熱抵抗率よりも低い材料からなることを特徴とする。

40

【0016】

この構成によれば、熱緩和時間の短縮によるQ値の改善効果が実用レベルで認識できる顕著な効果を奏することを本願発明者は見出した。

【0017】

〔適用例3〕上記適用例にかかる屈曲振動片において、前記溝が、前記第1の領域側の前記側面の開口部と前記第2の領域側の前記側面の開口部とを連通する貫通孔であることを特徴とする。

【0018】

この構成によれば、第1の領域と第2の領域とが、屈曲振動体よりも熱抵抗率の低い材

50

料からなる埋め込み部材が埋設された熱伝導路で熱的に接続されるので、より効果的に熱緩和時間を短縮してQ値の改善をはかることができる。

【0019】

〔適用例4〕上記適用例にかかる屈曲振動片において、前記溝が、前記第1の領域側の前記側面および前記第2の領域側の前記側面にそれぞれ開口部を有して対をなす有底の溝であることを特徴とする。

【0020】

この構成によれば、屈曲振動体の両側面側に開口部をそれぞれ有する一方の溝および他方の溝が、双方向からエッチングして形成されることにより、エッチング形状が揃った一方の溝および他方の溝が得られる。したがって、屈曲振動体の第1の領域と第2の領域との熱伝導を安定して行うことができる熱伝導路を有し、Q値の安定した屈曲振動片を提供することができる。

10

【0021】

〔適用例5〕本適用例にかかる発振器は、上記適用例のいずれかに記載の屈曲振動片と、該屈曲振動片を駆動させる発振回路とを少なくとも備えることを特徴とする。

【0022】

この構成によれば、上記適用例に示すQ値の低下が抑制された屈曲振動片を備えているので、安定した発振特性を有する小型の発振器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】(a)は、第1の実施形態の屈曲振動片としての音叉型水晶振動片を模式的に説明する一方の主面側の平面図、(b)は、(a)のA-A線断面図。

20

【図2】第1の実施形態の音叉型水晶振動片の振動腕と基部との付け根部を模式的に示す部分拡大図。

【図3】熱伝導路の埋め込み部材に適用可能な材料の例およびその熱抵抗率を表す説明図。

【図4】(a)は、第2の実施形態の音叉型水晶振動片を模式的に説明する平面図、(b)は、(a)のB-B線断面図。

【図5】音叉型水晶振動片の変形例を模式的に説明する断面図。

【図6】従来の音叉型水晶振動片の典型例を示す平面図。

30

【図7】屈曲振動モードの屈曲振動片における緩和周波数とQ値の極小値との関係を表す線図。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、本発明の屈曲振動片を音叉型水晶振動片に具体化した一実施形態について図面を参照しながら説明する。

【0025】

(第1の実施形態)

図1および図2は、第1の実施形態の屈曲振動片としての音叉型水晶振動片を模式的に説明したものであり、図1(a)は一方の主面側の平面図、(b)は図1(a)のA-A線断面図、また、図2は、図1(a)の音叉型水晶振動片の振動腕と基部との付け根部を模式的に示す部分拡大図である。

40

【0026】

図1(a)において、本実施形態の音叉型水晶振動片50は、屈曲振動体材料を加工することにより形成された基部52と、この基部52の一端側(図において上端側)から二股に別れて互いに平行に延出する一对の振動腕53, 54とからなる所謂音叉型の外形を有して形成されている。屈曲振動体材料としては、本実施形態では従来の音叉型水晶振動片と同様に、水晶の単結晶から切り出されたものを使用する。例えば、所謂Zカットの水晶薄板から、水晶結晶軸のY軸を振動腕53, 54の長手方向に、X軸をその幅方向に、Z軸を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。

50

また、音叉型水晶振動片 50 の音叉型の外形は、例えば水晶ウエハなどの水晶基板材料をフッ酸溶液などでウェットエッチングしたり、ドライエッチングすることにより精密に形成することができる。

【0027】

なお、屈曲振動体材料として、上記の水晶以外の圧電基板を用いる構成であってもよい。例えば、窒化アルミニウム (AlN)、ニオブ酸リチウム ($LiNbO_3$)、タンタル酸リチウム ($LiTaO_3$)、チタン酸ジルコン酸鉛 (PZT)、四ほう酸リチウム ($Li_2B_4O_7$) などの酸化物基板や、ガラス基板上に窒化アルミニウム、五酸化タンタル (Ta_2O_5) などの薄膜圧電材料を積層させて構成された圧電基板を用いることができる。また、圧電基板以外にも、例えばシリコン半導体材料などにより屈曲振動片を形成することもできる。

10

ただし、屈曲振動片の共振周波数は屈曲振動体材料のヤング率を質量密度で除した値の平方根に比例し、ヤング率を質量密度で除した値が小さい材料ほど、屈曲振動片の小型化に有利である。よって、本実施形態の音叉型水晶振動片 50 のように水晶からなる屈曲振動片は、シリコン半導体材料などに比してヤング率を質量密度で除した値の平方根が小さくできるために小型化に有利であるとともに、周波数温度特性に優れているので、本発明の屈曲振動片としての音叉型水晶振動片 50 に用いる材料として特に好ましい。

【0028】

各振動腕 53, 54 の一方の主面には、励振電極 36A, 37A が形成されている。また、基部 52 の振動腕 53, 54 が延出された一端側と異なる他端側近傍には、外部との接続に供する外部接続電極 66, 67 が設けられている。これらの外部接続電極 66, 67 は、それぞれ励振電極 36A, 37A と対応しており、それぞれ対応する電極同士が、音叉型水晶振動片 50 の主面や側面に引き回されて設けられた図示しない引き回し配線により接続されている。

20

【0029】

これと同様に、各振動腕 53, 54 の他方の主面には、各振動腕 53, 54 において各励振電極 36A, 37A の対向電極としての励振電極 36B, 37B がそれぞれ設けられている (図 1 (b) を参照)。また、励振電極 36B, 37B は、それぞれ対応する励振電極 36A, 37A や外部接続電極 66, 67 などの電極と、音叉型水晶振動片 50 の主面や側面に引き回されて設けられた図示しない引き回し配線により接続されている。

30

【0030】

上記した電極や配線は、従来、水晶をエッチングして音叉型水晶振動片 50 の外形を形成した後で、例えば、ニッケル (Ni) またはクロム (Cr) を下地層として、その上に、蒸着またはスパッタリングにより例えば金 (Au) による電極層を成膜し、その後フォトリソグラフィを用いてパターニングすることにより形成することができる。

【0031】

また、図 1 (a) および図 1 (b) に示すように、各振動腕 53, 54 の基部 52 との付け根近傍には、図中矢印 G で示す振動腕 53, 54 の振動方向と直交する面 (側面) 同士を熱的に接続する熱伝導路 56, 57 が設けられている。

詳述すると、図 1 (b) に示すように、振動腕 53 には、この振動腕 53 の振動方向 (図 1 (a) の矢印 G) と直交する一方の側面から他方の側面に向けて貫設された直線状の貫通孔 56a と、その貫通孔 56a に埋設された少なくとも屈曲振動体形成材料である水晶よりも低い熱抵抗率を有する材料からなる埋め込み部材 56b とからなる熱伝導路 56 が形成されている。

40

同様に、振動腕 54 には、この振動腕 54 の振動方向 (図 1 (a) の矢印 G) と直交する一方の側面から他方の側面に向けて貫設された直線状の貫通孔 57a と、その貫通孔 57a に埋設された少なくとも屈曲振動体形成材料である水晶よりも低い熱抵抗率を有する材料からなる埋め込み部材 57b とからなる熱伝導路 57 が形成されている。

なお、本実施形態では、埋め込み部材 56b, 57b に金 (Au) を用いている。

【0032】

50

上記構成において、各熱伝導路56, 57の貫通孔56a, 57aを形成する際に、両主面側の双方向からウェットエッチングを施す方法や、貫通孔56a, 57aの深さ方向に直線的にエッチングを進めることが可能な反応性イオンエッチング法などの異方性エッチングを行うことなどにより、貫通孔56a, 57aの断面形状をバランスのよい対称形状に加工することができる。これにより、各振動腕53, 54ごとの熱伝導路56, 57による後述する熱伝導を安定して行うことを可能とし、音叉型水晶振動片50のQ値の安定化に効果を奏する。

【0033】

ここで、本実施形態の音叉型水晶振動片50の構成において特に要部となる熱伝導路について、構成および動作時の作用について詳細に説明する。

まず、熱伝導路56, 57の埋め込み部材56b, 57bとしても用いる材料としては、少なくとも屈曲振動体材料である水晶よりも熱抵抗率が低い材料であって、なるべく低い熱抵抗率の材料が用いられる。また、熱抵抗率の他に、入手が比較的容易で低コストであることや、製造容易性などを勘案して選定する。例えば、図3に、埋め込み部材56b, 57bに適用可能な材料の例を示す。この図3の材料の中でも、より熱抵抗率の低い材料を用いることが、熱伝導路56, 57の厚みを薄くできるので好ましい。

【0034】

本願発明者は、上記構成の音叉型水晶振動片50において、屈曲振動体の熱伝導路の数を m 、熱伝導路の熱抵抗率を t_{th} 、屈曲振動体の熱抵抗率を t_v 、屈曲振動体の振動方向と直交する方向の厚みを t_v 、熱伝導路の屈曲振動体の振動方向と直交する方向の厚みを t_{th} としたときに、 $t_{th} (1/m) \times t_v \times (t_{th}/t_v)$ の関係を満たすことにより、後述するQ値の低下の抑制効果を奏することを見出した。

本実施形態において、熱伝導路の数 m とは、図2に示す屈曲振動体としての各振動腕53, 54ごとの第1の領域110, 112と第2の領域111, 113とを熱的に接続する熱伝導路56, 57の数を指し、各振動腕ごと一つ($m=1$)となる。ここで、第1の領域110, 112とは、振動腕53, 54が矢印Gで示す振動方向に振動したときに圧縮応力または引張応力が作用する領域であり、第2の領域111, 113とは、第1の領域110, 112に圧縮応力が作用する場合は引張応力が作用し第1の領域110, 112に引張応力が作用する場合は圧縮応力が作用する関係にある領域を指す。

また、厚み t_{th} は、図1(b)の熱伝導路56, 57の厚み t_1 ($t_{th}=t_1$)になる。

【0035】

例えば、本実施形態の音叉型水晶振動片50において、屈曲振動体としての水晶基板にZカット水晶(熱抵抗率 $t_v=0.1613\text{ mK/W}$)を用いて、且つ、各振動腕53, 54の振動方向と直交する方向の厚み t_v を $100\text{ }\mu\text{m}$ として、さらに、埋め込み部材56b, 57bとして、図3に示す材料のうち金(Au、熱抵抗率 $t_{th}=0.0032\text{ mK/W}$)を用いて熱伝導路56, 57を形成する場合、Q値の低下を抑制する効果を奏する熱伝導路56, 57の厚み t_1 は、上記の式 $t_{th} (1/m) \times t_v \times (t_{th}/t_v)$ の関係を満たせばよいので、熱伝導路56, 57の厚み t_1 をそれぞれ $2\text{ }\mu\text{m}$ 以上とすればよい。

【0036】

なお、埋め込み部材56b, 57bに用いる材料として、図3に示す材料のうち、金の熱抵抗率よりも低い熱低効率を有する材料を用いることにより、熱伝導路56, 57による音叉型水晶振動片50のQ値の改善効果が実用レベルで認識できる特に顕著な効果を奏することを本願発明者は見出した。

【0037】

以下、本実施形態の音叉型水晶振動片50動作時の熱伝導路56, 57の作用について詳細に説明する。

図1において、音叉型水晶振動片50に、外部に接続された励振手段としての発振回路(図示せず)から励振電極36A, 36Bおよび励振電極37A, 37Bに駆動電圧を印加すると、振動腕53, 54は水平方向に、図中矢印Gで示すように互いに接近または離

10

20

30

40

50

反する向きに屈曲振動する。

【0038】

この屈曲振動によって、基部52と各振動腕53, 54との連結部において、各振動腕53, 54の振動方向の付け根部分の領域には、圧縮応力と引張応力とが発生する。すなわち、図2に示すように、振動腕53の第1の領域110および第2の領域111に圧縮応力または引張応力が発生し、これと同様に、振動腕54の第1の領域112および第2の領域113にも圧縮応力または引張応力とが発生し、それに伴って、第1の領域110, 112および第2の領域111, 113には温度の上昇または下降が生じる。

【0039】

具体的には、振動腕53の自由端側が振動腕54に接近する向きに屈曲振動すると、振動腕53の第1の領域110には引張応力が作用して温度が下降し、第2の領域111には圧縮応力が作用して温度が上昇する。逆に、振動腕53の自由端側が振動腕54から離反する向きに屈曲すると、第1の領域110には圧縮応力が作用して温度が上昇し、第2の領域111には引張応力が作用して温度が下降する。

同様に、振動腕54の自由端側が振動腕53に接近する向きに屈曲振動すると、振動腕54の第1の領域112には圧縮応力が作用して温度が上昇し、第2の領域113には引張応力が作用して温度が下降する。逆に、振動腕54の自由端側が振動腕53から離反する向きに屈曲すると、第1の領域112には引張応力が作用して温度が下降し、第2の領域113には圧縮応力が作用して温度が上昇する。

このように、振動腕53, 54それぞれの基部52との連結部の内部には、圧縮応力が作用する部分と引張応力が作用する部分との間で温度勾配が生じ、その傾斜は、各振動腕53, 54の振動の向きによって逆向きになる。

【0040】

このようにして生じる温度勾配によって、熱が、圧縮側の部分から引張(伸張)側の部分へ、すなわち、高温側から低温側へと伝達される。本実施形態の音叉型水晶振動片50では、この圧縮側の部分から伸張側の部分への熱の伝達が、各振動腕53, 54の第1の領域110, 112と第2の領域111, 113とを熱的に接続する熱伝導路56, 57を介して直接的に行われる。

このとき、各熱伝導路56, 57の埋め込み部材56b, 57bには、少なくとも屈曲振動体としての水晶よりも熱抵抗率が低い材料により構成され、且つ、各振動腕53, 54の振動方向と直交する方向の厚み t_{th} (図1において t_1)が、上記したように $t_{th} (1/m) \times t_v \times (t_{th}/v)$ の関係を満たすように調整されている。これにより、屈曲振動片が第1の領域と第2の領域との熱伝導経路となる従来構造の場合よりも圧縮側から伸張側への熱伝導時間が速くなる。すなわち、振動腕53, 54が屈曲振動したときの第1の領域110, 112と第2の領域111, 113との間で温度が平衡状態になるまでの緩和時間 τ_1 が、熱伝導路56, 57の埋め込みを行っていない従来構造の緩和時間 τ_0 よりも短くなる。これにより、本実施形態の音叉型水晶振動片50の熱緩和周波数 f_2
 $f_0 = 1 / (2 \tau_1)$ において、 $\tau_1 < \tau_0$ であるから、従来構造の音叉型水晶振動片の熱緩和周波数 $f_0 = 1 / (2 \tau_0)$ よりも本実施形態の熱緩和周波数 f_2 の方が熱緩和周波数が高くなる。

【0041】

これを、図7の振動腕の機械的な振動周波数(共振周波数)とQ値との関係でみると、曲線F自体の形状は変わらないことから、熱緩和周波数の上昇に伴って、曲線Fが曲線 F_2 の位置まで周波数の上昇方向(紙面上右方向)にシフトしたことになる。したがって、振動腕の機械的な振動周波数(共振周波数)を f_r とした場合に f_r が熱緩和周波数 f_0 以下となる範囲、即ち $1 > f_r / f_0$ を満たす範囲では、曲線 F_2 におけるQ値は常に従来構造の音叉型水晶振動片の曲線Fよりも高くなる。加えて、曲線 F_2 における、曲線Fと曲線 F_2 の交点の周波数より低い周波数帯、即ち $1 > f_r / (f_0 + (f_2 - f_0) / 3)$ を満たす範囲においても、従来構造の音叉型水晶振動片の曲線FにおけるQ値より高くなる。このように、本実施形態の音叉型水晶振動片50は、各振動腕53, 54それぞれの

10

20

30

40

50

第1の領域110, 112と第2の領域111, 113とを熱的に接続する熱伝導路(各励振電極36A, 36B, 37A, 37Bの一部)が低い熱抵抗率を有して、且つ、厚みを管理して設けられていることにより、Q値を改善して高性能化を実現することができる。

なお、このとき、熱伝導路56, 57の埋め込み部材56b, 57bとして、図3に示す材料のうち、金(Au)よりも熱抵抗率が低い材料を用いることにより、熱伝導路56, 57による音叉型水晶振動片50のQ値の改善効果が実用レベルで認識できる特に顕著な効果を奏する。

【0042】

(第2の実施形態)

上記第1の実施形態では、貫通孔56a, 57aに埋め込み部材56b, 57bを埋設して熱伝導路56, 57を形成した。これに限らず、有底の溝に埋め込み部材を埋設して熱伝導路を形成してもよい。

図4は、有底の溝に埋め込み部材を埋設して熱伝導路を形成した音叉型水晶振動片を模式的に説明するものであり、(a)は一主面側の平面図、(b)は(a)のB-B線断面図である。なお、本第2の実施形態の音叉型水晶振動片を示す図4において、上記第1の実施形態と同じ構成については同一符号を付して説明を省略する。

【0043】

図4(a)に示す本第2の実施形態の音叉型水晶振動片250において、振動腕53の基部52との付け根近傍には、振動腕53の振動方向(矢印G)と直交する一方の側面に開口部を有する有底の溝256Aa、および、他方の側面に開口部を有する有底の溝256Baと、各溝256Aa, 256Baに埋設された少なくとも屈曲振動体としての水晶よりも熱抵抗率の低い埋め込み部材256Ab, 256Bbとからなる熱伝導路256が形成されている。

同様に、振動腕54の基部52との付け根近傍には、振動腕54の振動方向(矢印G)と直交する一方の側面に開口部を有する有底の溝257Aa、および、他方の側面に開口部を有する有底の溝257Baと、各溝257Aa, 257Baに埋設された少なくとも水晶よりも熱抵抗率の低い埋め込み部材257Ab, 257Bbとからなる熱伝導路257が形成されている。

【0044】

上記第1の実施形態と同様に、本第2の実施形態の音叉型水晶振動片250では、熱伝導路256A, 256Bおよび熱伝導路257A, 257Bの各振動腕53, 54の振動方向と直交する方向の厚み t_{th} (図4において t_4)が、 $t_{th} = (1/m) \times t_v \times (t_{th}/t_v)$ の関係を満たすように調整されている。ここで、本第2の実施形態における熱伝導路の数 m は、各振動腕53, 54の上記第1の領域と第2の領域との間の熱伝導路を指すので、上記第1の実施形態と同じく $m = 1$ になる。

なお、各振動腕53, 54において、上記第1の領域と上記第2の領域との延長線上に連ねて配設される2つずつの熱伝導路256A, 256Bおよび熱伝導路257A, 257Bは、熱伝導効率をよくするために間隙をなるべく小さくして配置されることが望ましい。

【0045】

上記第2の実施形態によれば、各振動腕53, 54の振動方向と直交する両側面側に開口部をそれぞれ有する各振動腕ごとに1対ずつの熱伝導路256A, 256Bまたは熱伝導路257A, 257Bの溝256Aa, 256Baまたは溝257Aa, 257Baは、それぞれの開口部の双方向からエッチングして形成されるので、エッチング形状の揃った溝256Aa, 256Baおよび溝257Aa, 257Baが得られる。これにより、各振動腕53, 54ごとの熱伝導路256A, 256Bおよび熱伝導路257A, 257Bによる熱伝導を安定して行うことができるので、音叉型水晶振動片250のQ値の安定化に効果を奏する。

また、熱伝導路256A, 256Bまたは熱伝導路257A, 257Bの溝256Aa

10

20

30

40

50

、256Baまたは溝257Aa、257Baが有底の溝であることから、例えば、埋め込み部材256Ab、256Bbおよび埋め込み部材257Ab、257Bbの材料として金などの金属を用いるとき、これを溶融させて溝に流し込んでから固化させることにより、比較的容易に熱伝導路を形成することができる。

【0046】

上記実施形態で説明した屈曲振動片としての音叉型水晶振動片は、以下の変形例として実施することも可能である。

【0047】

(変形例)

上記実施形態で、屈曲振動体としての各振動腕53、54ごとに一つの熱伝導路($m = 1$)を設ける構成とした。その変形例として、屈曲振動体ごとに複数の熱伝導路を設けた構成の屈曲振動片について説明する。

図5は、一つの屈曲振動体あたり複数の熱伝導路を設けた音叉型水晶振動片を模式的に説明するものであり、図1のA-A線断面もしくは図4のB-B線断面と同じ断面を示す断面図である。なお、本変形例の音叉型水晶振動片を示す図5において、上記実施形態と同じ構成については同一符号を付して説明を省略する。

【0048】

図5に示す本変形例の音叉型水晶振動片150において、各振動腕53、54の基部52との付け根近傍には、振動腕53、54の振動方向(紙面左右方向)と直交する面(側面)同士を熱的に接続する熱伝導路が、各振動腕ごとに2つずつ設けられている。

【0049】

詳述すると、振動腕53には、この振動腕53の振動方向と直交する一方の側面から他方の側面に向けて平行に貫設された2つの直線状の貫通孔156Aa、156Baと、それらの貫通孔156Aa、156Baに埋設された少なくとも屈曲振動体形成材料である水晶よりも低い熱抵抗率を有する材料からなる埋め込み部材156Ab、156Bbとからなる熱伝導路156A、156Bが形成されている。

なお、振動腕53の熱伝導路156Aの振動腕53の振動方向と直交する方向の厚みを t_2 、熱伝導路156Bの振動腕の振動方向と直交する方向の厚みを t_3 とし、本変形例では $t_2 = t_3$ となっている。

【0050】

同様に、振動腕54には、この振動腕54の振動方向と直交する一方の側面から他方の側面に向けて平行に貫設された2つの直線状の貫通孔157Aa、157Baと、それらの貫通孔157Aa、157Baに埋設された少なくとも屈曲振動体形成材料である水晶よりも低い熱抵抗率を有する材料からなる埋め込み部材157Ab、157Bbとからなる熱伝導路157A、157Bが形成されている。

なお、上記振動腕53と同じく、振動腕54の熱伝導路157Aの振動腕53の振動方向と直交する方向の厚みは t_2 、熱伝導路157Bの振動腕の振動方向と直交する方向の厚みは t_3 であり、また、 $t_2 = t_3$ となっている。

【0051】

上記実施形態と同様に、本変形例の音叉型水晶振動片150では、振動腕53の熱伝導路156A、156B、および振動腕54の熱伝導路157A、157Bの各振動腕53、54の振動方向と直交する方向の厚み t_{th} (図5において t_2 、 t_3)が、 $t_{th} (1/m) \times t_v \times (t_{th}/t_v)$ の関係を満たすように調整される。ここで、本変形例の音叉型水晶振動片150における各振動腕53、54ごとの熱伝導路の数 m は $m = 2$ になる。したがって、上記第1の実施形態と同じく、屈曲振動体としての水晶基板にZカット水晶を用いて、且つ、各振動腕53、54の振動方向と直交する方向の厚み t_v を $100 \mu m$ として、さらに、埋め込み部材156Ab、156Bb、157Ab、157Bbとして金を用いて熱伝導路156A、156B、157A、157Bを形成した場合、Q値の低下を抑制する効果を奏する熱伝導路156A、156Bの厚み t_2 、および、熱伝導路157A、157Bの厚み t_3 は、上記の式 $t_{th} (1/m) \times t_v \times (t_{th}/t_v)$ の関係、

10

20

30

40

50

および $t_2 = t_3$ により、 t_2 および t_3 をそれぞれ $1 \mu\text{m}$ 以上とすればよい。

【0052】

〔発振器〕

上記実施形態および変形例で説明した屈曲振動片としての音叉型水晶振動片 50, 150, 250 は、圧電デバイスや、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。特に、上記パッケージ内に上記の音叉型水晶振動片 50, 150, 250 のうちいずれかの屈曲振動片とともに、その屈曲振動片を発振させる発振回路素子が少なくとも組み込まれて構成された発振器は、Q 値が改善されて高性能化が実現されるとともに小型化を図ることができる。

【0053】

以上、発明者によってなされた本発明の実施の形態について具体的に説明したが、本発明は上記した実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々の変更を加えることが可能である。

【0054】

例えば、上記実施形態および変形例の音叉型水晶振動片 50, 150, 250 では、屈曲振動片としての音叉型水晶振動片 50, 150, 250 について説明した。これに限らず、本発明の屈曲振動片は、短冊状の所謂ビーム型の屈曲振動片でもよく、また、三つ以上の振動腕を有する屈曲振動片であっても、上記した実施形態および変形例と同様な効果を得ることができる。

【0055】

また、上記実施形態および変形例では、屈曲振動片の一例として、水晶からなる音叉型水晶振動片 50, 150, 250 について説明したが、水晶以外の圧電基板からなる屈曲振動片であってもよい。

また、屈曲振動片の基材は圧電材料からなる圧電基板に限らない。圧電基板を用い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屈曲振動片においても、本発明の構成およびその効果を発揮させることができる。

【符号の説明】

【0056】

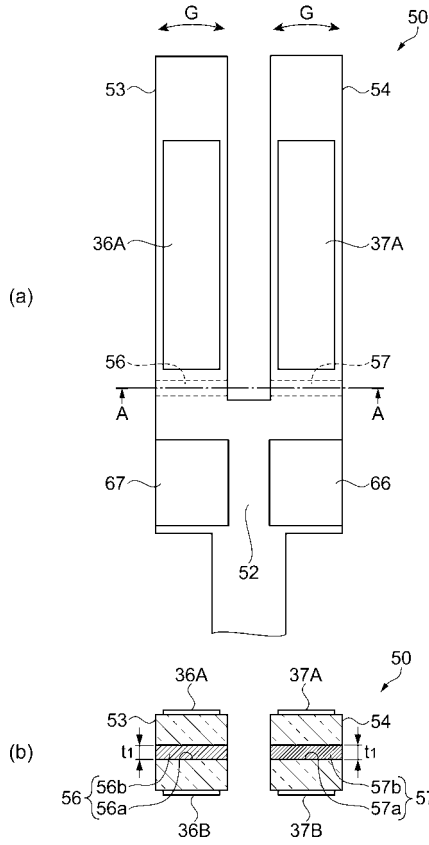
1, 50, 150, 250 ... 屈曲振動片としての音叉型水晶振動片、2, 52 ... 基部、3, 4, 53, 54 ... 振動腕、6, 7 ... 孔、10, 12, 110, 112 ... 第1の領域、11, 13, 111, 113 ... 第2の領域、36A, 36B, 37A, 37B ... 励振電極、56, 57, 156A, 156B, 157A, 157B, 256A, 256B, 257A, 257B ... 熱伝導路、56a, 57a, 156Aa, 156Ba, 157Aa, 157Ba ... 溝としての貫通孔、256Aa, 256Ba, 257Aa, 257Ba ... 有底の溝、56b, 57b, 156Ab, 156Bb, 157Ab, 157Bb, 256Ab, 256Bb, 257Ab, 257Bb ... 埋め込み部材、66, 67 ... 外部接続電極。

10

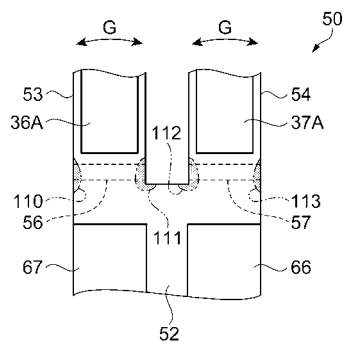
20

30

【 図 1 】



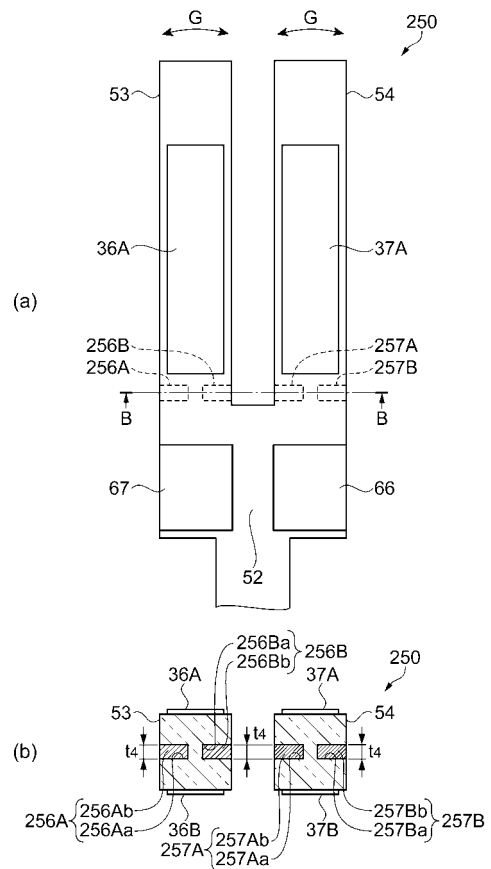
【 図 2 】



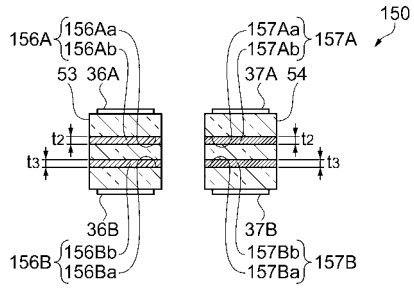
【 図 3 】

材料名	熱抵抗率 ρ_{th} (mK/W)
銀 (Ag)	0.0023
銅 (Cu)	0.0025
金 (Au)	0.0032
アルミニウム (Al)	0.0042
モリブデン (Mo)	0.0072
クロム (Cr)	0.0111
チタン (Ti)	0.0143
白金 (Pt)	0.0500
ダイヤモンド (C)	0.0007
窒化アルミニウム (AlN)	0.0035
シリコン (Si)	0.0068
酸化亜鉛 (ZnO)	0.0185

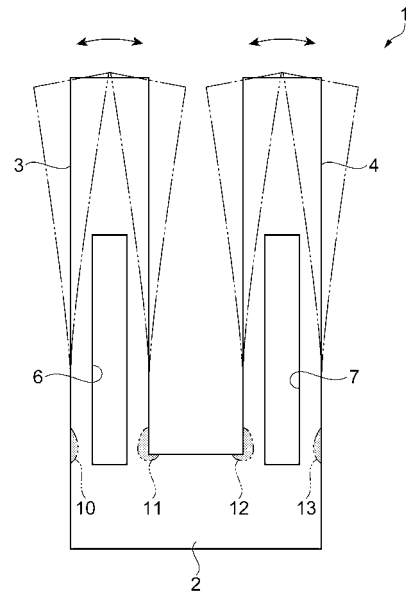
【 図 4 】



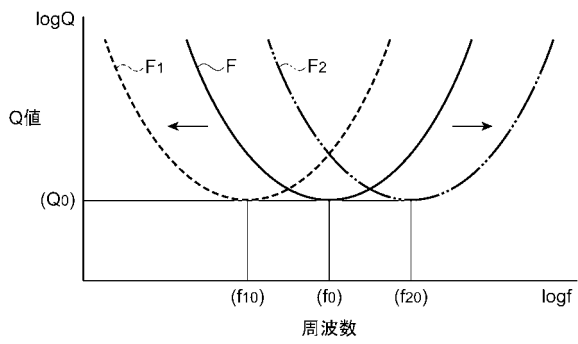
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード(参考)
H 0 1 L 41/22	(2006.01)	H 0 1 L 41/08		K
		H 0 1 L 41/18	1 0 1 A	
		H 0 1 L 41/18	1 0 1 D	
		H 0 1 L 41/18	1 0 1 B	
		H 0 1 L 41/22		Z

(72)発明者 浜 山 裕史

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

Fターム(参考) 5J108 BB02 CC06 CC09 CC10 CC12 DD05 EE03 EE07 HH01 HH06
JJ04 KK01 KK02 KK07

【要約の続き】

t_h / v) の関係を満たしている。

【選択図】 図1