

(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2010-252303
(P2010-252303A)

(43) 公開日 平成22年11月4日(2010.11.4)

(51) Int.Cl.	F 1		テーマコード (参考)
H03H 9/19 (2006.01)	H03H 9/19	L	5 J 1 O 8
H03H 9/215 (2006.01)	H03H 9/19	J	
H01L 41/09 (2006.01)	H03H 9/215		
H01L 41/18 (2006.01)	H01L 41/08	C	
H01L 41/22 (2006.01)	H01L 41/08	L	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 19 頁) 最終頁に続く

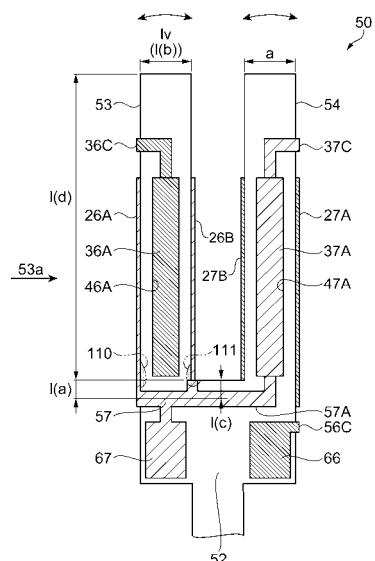
(21) 出願番号	特願2010-2670 (P2010-2670)	(71) 出願人	000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(22) 出願日	平成22年1月8日(2010.1.8)	(74) 代理人	100095728 弁理士 上柳 雅善
(31) 優先権主張番号	特願2009-73740 (P2009-73740)	(74) 代理人	100107261 弁理士 須澤 修
(32) 優先日	平成21年3月25日(2009.3.25)	(74) 代理人	100127661 弁理士 宮坂 一彦
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	古畑 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	山崎 隆 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とかなる。各振動腕53、54には励振電極36A、37Aが形成され、基部52には、励振電極36A、37Aにそれぞれ対応する外部接続電極66、67が設けられている。また、振動腕53の基部52との付け根近傍の基部52上には、振動腕53の励振電極36Aが形成された正面と直交する両側面にそれぞれ設けられた側面電極26A、26Bに接続された熱伝導率の高い材料からなる熱伝導路57が設けられている。これにより、図中矢印で示す振動腕53の屈曲振動方向の基部52との付け根となる第1の領域110と第2の領域111とが、熱伝導路5



【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、を有し、第1の面内で屈曲振動する屈曲振動体と、

前記第1の領域と前記第2の領域の近傍に、前記屈曲振動体よりも高い熱伝導率を有する材料からなり前記第1の領域と前記第2の領域とを熱的に接続する熱伝導路と、を備えた屈曲振動片であって、

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

【請求項 2】

請求項1に記載の屈曲振動片において、

前記屈曲振動体は基部の一端から延出して形成され、前記熱伝導路は前記屈曲振動体の前記基部との付け根付近の基部上を経由して形成されてい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、

前記第1の領域の少なくとも一部に第1の電極が形成され、前記第2の領域の少なくとも一部に第2の電極が形成され、前記熱伝導路は前記第1の電極および前記第2の電極に接続されることを特徴とする屈曲振動片。

【請求項 4】

請求項1～3のいずれか一項に記載の屈曲振動片において、

前記熱伝導路の長さを l_{th} 、前記屈曲振動体の前記第1の領域と前記第2の領域との間隔を l_v としたときに、 $t_{th} = (t_v / m) \times (t_v / l_{th}) \times (l_{th} / l_v)$ の関係を満たす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において、

前記屈曲振動体の機械的な振動周波数を f_r 、前記屈曲振動片の熱緩和周波数を f_{20} 、円周率を π 、前記屈曲振動体に用いた材料の振動方向の熱伝導率をk、前記屈曲振動体に用いた材料の質量密度を C_p 、前記屈曲振動体の振動方向の幅をaとし、 $f_0 = k / (2 C_p a^2)$ としたとき、 $1 > f_r / (f_0 + (f_{20} - f_0) / 3)$ の関係を満たすことを特徴とする屈曲振動片。

【請求項 6】

請求項1～4のいずれか一項に記載の屈曲振動片において、

前記屈曲振動体の機械的な振動周波数を f_r 、円周率を π 、前記屈曲振動体に用いた材料の振動方向の熱伝導率をk、前記屈曲振動体に用いた材料の質量密度を C_p 、前記屈曲振動体に用いた材料の熱容量を C_p 、前記屈曲振動体の振動方向の幅をaとし、 $f_0 = k / (2 C_p a^2)$ としたとき、 $1 < f_r / f_0$ であることを特徴とする屈曲振動片。

【請求項 7】

請求項1～6のいずれか一項に記載の屈曲振動片において、

前記第1の領域と前記第2の領域との温度が平衡状態になるのに要する熱緩和時間を、前記熱伝導路を設けない場合に t_0 、前記熱伝導路を設けた場合に t_1 としたとき、 $t_1 < t_0$ の関係を満たすことを特徴とする屈曲振動片。

【請求項 8】

請求項1～7のいずれか一項に記載の屈曲振動片において、

前記熱伝導路の一部または全部が、前記屈曲振動体の前記第1の領域から前記第2の領域に貫通する貫通孔、または、前記第1の領域および前記第2の領域の近傍を貫通する貫

10

20

30

40

50

通孔に、前記屈曲振動体よりも熱伝導率の高い材料が埋設されてなることを特徴とする屈曲振動片。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 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】

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。 10

【背景技術】

【0002】

従来、屈曲振動モードで振動する屈曲振動片として、圧電材料などからなる基材の基部から 1 対の振動腕を平行に延出させて、且つ、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、C I (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。

【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、振動が基部から漏れるのを切込み部また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じ込め効果を高めて C I 値を制御し、且つ、振動片間での C I 値のばらつきを防止している。 20

【0004】

このような機械的な振動エネルギーの損失だけでなく、屈曲運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。 30

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、振動数が変化したときに、緩和振動数 $f_m = 1 / (2\pi T)$ （ここで、 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 10 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 $f_0 (= 1 / (2\pi T_0))$ 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。 40

【0006】

図面を参照して具体的に説明すると、図 10 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。

【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

10

20

30

40

50

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、第1の領域10と第2の領域11とにおいて、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。

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と第2の領域13とにおいて、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。

【0008】

10

このようにして発生した温度勾配によって、基部2と各振動腕3, 4との付け根部分の内部には、第1の領域10と第2の領域11との間、および第1の領域12と第2の領域13との間でそれぞれ熱伝導が発生する。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値が低下して所望の高性能を実現することが困難になる。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が可能としている。

【先行技術文献】

20

【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明細書

【非特許文献】

【0010】

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

30

【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、熱弾性損失によるQ値の低下を防止または軽減し得る形状の溝または孔を形成することが小型化が進むに従って困難になり、また、Q値の低下の抑制効果が十分に得られなくなる虞があ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。

40

【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、前記第1の領域と前記第2の領域の近傍に、前記屈曲振動体よりも高い熱伝導率を有する材料からなり前記第1の領域と前記第2の領域とを熱的に接続す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、前記熱伝導路の熱伝導率を t_{th} 、前記屈曲振動体の熱伝導率を 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

50

を t_{th} としたときに、 $t_{th} = (t_v / m) \times (v / t_h)$ の関係を満たすことを特徴とする。

【0014】

この構成によれば、屈曲振動体よりも高い熱伝導率を有する熱伝導路によって、第1の領域と第2の領域とに生じた温度差を平衡状態とするのに要する熱緩和時間が短縮されることにより、Q値の低下が抑えられることを発明者は見出した。

また、上述した従来の対策のように屈曲振動体に孔や溝を形成せずに前記熱伝導路を設けることもできるので、屈曲振動片の小型化への対応に有利である。

したがって、Q値の低下が抑えられ振動特性の安定した小型の屈曲振動片を提供することができる。

10

【0015】

[適用例2] 上記適用例にかかる屈曲振動片において、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、を有し、第1の面内で屈曲振動する屈曲振動体と、前記第1の領域と前記第2の領域の近傍に、前記屈曲振動体よりも高い熱伝導率を有する材料からなり前記第1の領域と前記第2の領域とを熱的に接続する熱伝導路と、を備えた屈曲振動片であって、前記熱伝導路の数をm、前記熱伝導路の熱伝導率を t_h 、前記屈曲振動体の熱伝導率を v 、前記屈曲振動体の前記第1の面と直交する方向の厚みを t_v 、前記熱伝導路の厚みを t_{th} としたときに、 $t_{th} = (t_v / m) \times (v / t_h)$ の関係を満たすことを特徴とする。

20

【0016】

この構成によれば、屈曲振動体よりも高い熱伝導率を有する熱伝導路によって、第1の領域と第2の領域とに生じた温度差を平衡状態とするのに要する熱緩和時間が短縮されることにより、Q値の低下が抑えられることを発明者は見出した。

【0017】

[適用例3] 上記適用例にかかる屈曲振動片において、前記屈曲振動体は基部の一端から延出して形成され、前記熱伝導路は前記屈曲振動体の前記基部との付け根付近の基部上を経由して形成されていることを特徴とする。また、前記第1の領域の少なくとも一部に第1の電極が形成され、前記第2の領域の少なくとも一部に第2の電極が形成され、前記熱伝導路は前記第1の電極および前記第2の電極に接続されることを特徴とする。

30

【0018】

この構成によれば、振動腕に熱伝導路を設ける場合よりも容易に熱伝導路を形成することができることを発明者は見出した。

【0019】

[適用例4] 上記適用例にかかる屈曲振動片において、前記熱伝導路の長さを l_{th} 、前記屈曲振動体の前記第1の領域と前記第2の領域との間隔を l_v としたときに、 $t_{th} = (t_v / m) \times (v / t_h) \times (l_{th} / l_v)$ の関係を満たすことを特徴とする。

【0020】

上式の関係を満たすように熱伝導路の長さや厚みを規定することによって、より確実に熱伝導損失の抑制効果が得られることを発明者は見出した。

40

【0021】

[適用例5] 上記適用例にかかる屈曲振動片において、前記熱伝導路が設けられていない状態の屈曲振動片の熱緩和周波数を f_0 としたときに、 $1 > f_r / (f_0 + (f_{20} - f_0) / 3)$ の関係を満たすことを特徴とする。また、前記屈曲振動体の機械的な振動周波数を f_r 、前記屈曲振動片の熱緩和周波数を f_{20} 、円周率を π 、前記屈曲振動体に用いた材料の振動方向の熱伝導率を k 、前記屈曲振動体に用いた材料の質量密度を ρ 、前記屈曲振動体に用いた材料の熱容量を C_p 、前記屈曲振動体の振動方向の幅を a とし、 $f_0 = k / (2 C_p a^2)$ としたとき、 $1 > f_r / (f_0 + (f_{20} - f_0) / 3)$ の関係を満たすことを特徴とする。

【0022】

50

この構成によれば、従来構造の屈曲振動片よりもQ値が高く確保され、安定した振動特性を有する屈曲振動片を提供することができることを本願発明者は見出した。

【0023】

〔適用例6〕上記適用例にかかる屈曲振動片において、前記屈曲振動体の機械的な振動周波数を f_r 、円周率を π 、前記屈曲振動体に用いた材料の振動方向の熱伝導率を k 、前記屈曲振動体に用いた材料の質量密度を ρ 、前記屈曲振動体に用いた材料の熱容量を C_p 、前記屈曲振動体の振動方向の幅を a とし、 $f_0 = \pi k / (2 C_p a^2)$ としたとき、 $1/f_r / f_0$ であることを特徴とする。

【0024】

この構成によれば、高いQ値を確保し、安定した振動特性を有する屈曲振動片を提供することが可能となる。 10

【0025】

〔適用例7〕上記適用例にかかる屈曲振動片において、前記第1の領域と前記第2の領域との温度が平衡状態になるのに要する熱緩和時間を、前記熱伝導路を設けない場合に τ_0 、前記熱伝導路を設けた場合に τ_1 としたとき、 $\tau_1 < \tau_0$ の関係を満たし、 $1 / (2\tau_0)$ で求められる前記屈曲振動体の熱緩和周波数を f_0 、前記屈曲振動体の機械的な共振周波数を f_r としたときに、 $1/f_r / f_0$ の関係を満たすことを特徴とする。

【0026】

この構成によれば、機械的な共振周波数 f_r よりも熱緩和周波数 f_{r0} の方が大きくなることによって、Q値が極小となる $1 = f_r / f_0$ の関係が回避され、Q値の向上が図られた屈曲振動片を提供することができる。 20

【0027】

〔適用例8〕上記適用例にかかる屈曲振動片において、前記熱伝導路の一部または全部が、前記屈曲振動体の前記第1の領域から前記第2の領域に貫通する貫通孔、または、前記第1の領域および前記第2の領域の近傍を貫通する貫通孔に、前記屈曲振動体よりも熱伝導率の高い材料が埋設されてなることを特徴とする。

【0028】

この構成によれば、第1の領域および第2の領域を熱的に接続する熱伝導路をさらに短くすることが可能になるので、Q値をより安定化させることができる。 30

【0029】

〔適用例9〕上記適用例にかかる屈曲振動片において、前記屈曲振動体が、基部と、該基部の一端部から延出する振動腕とからなり、前記熱伝導路が前記基部に迂回させて設けられていることを特徴とする。

【0030】

この構成によれば、振動腕に熱伝導路を設ける場合よりも容易に熱伝導路を形成することができる。例えば、上記適用例の貫通孔とその貫通孔内に埋設させた熱伝導率の高い材料による熱伝導路の場合に、広い基部は孔あけ加工がしやすい。

【0031】

〔適用例10〕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。 40

【0032】

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】

【0033】

【図1】屈曲振動片としての音叉型水晶振動片の一実施形態を模式的に説明する一方の正面側の平面図。

【図2】音叉型水晶振動片の一実施形態を模式的に説明する他方の正面側の平面図。

【図3】音叉型水晶振動片を図1の矢印の方向からみた側面図。

【図4】音叉型水晶振動片の熱伝導路に適用可能な材料およびその熱伝導率を表す説明図 50

。

【図5】変形例1の音叉型水晶振動片を模式的に説明する平面図。

【図6】変形例1の音叉型水晶振動片を模式的に説明する図5のA-A線断面図。

【図7】変形例2の音叉型水晶振動片を模式的に説明する平面図。

【図8】変形例2の音叉型水晶振動片を模式的に説明する図7のB-B線断面図。

【図9】三つの振動腕を有する屈曲振動片の概略を示し、(a)～(c)は電極形成の過程を示す斜視図、(d)は(a)の基部と振動腕の連結部周辺の表面の拡大図、(e)は(a)の基部と振動腕の連結部周辺の裏面の拡大図(上面からの透視図)、(f)は(c)のA-A'断面図。

【図10】従来の音叉型水晶振動片の典型例を示す平面図。

【図11】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】

【0034】

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。

【0035】

図1～図3は、本実施形態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は一方の正面側の平面図、図2は他方の正面側の平面図、図3は、図1の矢印53aの方向からみた側面図である。なお、図1、図2において、励振電極などの電極部分に斜め線のハッチングを施しているが、これは、各部の構成をわかりやすくする便宜上施しているものであり、金属断面を示すものではない。

【0036】

図1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対の振動腕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、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軸を振動片の表裏正面の垂直方向にそれぞれ配向して形成される。音叉型水晶振動片50の音叉型の外形は、例えば水晶ウエハー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칭したりすることにより精密に形成することができる。

【0037】

各振動腕53、54の一方の正面には、CI値を抑制するために、それぞれ長手方向に沿って一本の直線状の有底の溝46A、47Aが形成されている。各溝46A、47Aの底面を含む表面には励振電極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と対応している。本実施形態では、励振電極37Aが熱伝導路57(後で詳述する)を含む引き回し配線57Aにより外部接続電極67と接続され、励振電極36Aは、引き回し配線36Cにより引き出されてから、さらに後述する他方の正面に形成された引き回し配線(56A)を介して接続された引き回し配線56Cを介して他方の外部接続電極66に接続されている。

【0038】

また、振動腕53の励振電極36Aの基部52とは反対側の一端部からは、励振電極36Aが形成された面とは反対側の正面(他方の正面)に設けられた後述する励振電極36B(図2、図3を参照)と励振電極36Aとを接続するための引き回し配線36Cが引き出されている。

また、振動腕54の励振電極37Aの基部52とは反対側の一端部からは、励振電極37Aが形成された面とは反対側の正面(前記他方の正面)に設けられた後述する励振電極

10

20

30

40

50

37B(図2を参照)と励振電極37Aとを接続するための引き回し配線37Cが引き出されている。

【0039】

同様に、図2に示すように、各振動腕53,54の他方の正面にも、それぞれ長手方向に沿って直線状の有底の溝46B,47Bが形成され、各溝46B,47Bの底面を含む表面には励振電極36B,37Bが設けられている。

振動腕53の励振電極36Bは、振動腕53の基部52とは反対側の一端部から引き出された引き回し配線36Cにより、振動腕53の側面側を経由して励振電極36Bが形成された面とは反対側の正面(前記一方の正面)に設けられた励振電極36A(図1、図3を参照)に接続されている。また、励振電極36Bの基部52側の一端部から引き出された後述する熱伝導路56を含む引き回し配線56A、および基部52の側面に設けられた引き回し配線56Cを経由して、音叉型水晶振動片50の励振電極36Bが形成された面とは反対側の正面(前記一方の正面)側の基部52上に形成された外部接続電極66に接続されている(図1を参照)。

また、振動腕54の励振電極37Bは、振動腕54の励振電極37Bの基部52とは反対方向の一端部から引き回し配線37Cにより、振動腕54の側面側を経由して(図示せず)励振電極37Bが形成された面の反対側の正面に設けられた励振電極37A(図1を参照)に接続されている。

【0040】

上記した電極や配線は、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ー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。ただし、後述するように、熱伝導路56,57を形成する金属材料に合わせて、その他の電極や配線の金属材料を選定して形成する場合もある。

【0041】

ここで、本実施形態の音叉型水晶振動片50において、本発明の構成において特に要部となる熱伝導路56,57について詳細に説明する。

図1および図3において、熱伝導路57は、振動腕53の基部52との付け根近傍の基部52上に、振動腕53の励振電極36Aが形成された正面と直交する両側面にそれぞれ設けられた側面電極26A,26Bに接続されて形成されている。この側面電極26A,26Bは、図中矢印で示す振動腕53の屈曲振動方向の基部52との付け根となる第1の領域110および第2の領域111をそれぞれ含む領域に形成されている。これにより、熱伝導路57は、第1の領域110と第2の領域111とを熱的に接続するとともに、本実施形態では、振動腕54の励振電極37Aと外部接続電極67とを引き回し配線57Aとともに接続する端子間(電極間)配線の中継配線部分となっている。

【0042】

同様に、図2に示すように、本実施形態の音叉型水晶振動片50において、熱伝導路56は、振動腕54の基部52との付け根近傍の基部52上に、振動腕54の励振電極37Bが形成された正面と直交する両側面にそれぞれ設けられた側面電極27A,27Bに接続されて形成されている。側面電極27Aおよび側面電極27Bは、図中矢印で示す振動腕54の屈曲振動方向の基部52との付け根となる第1の領域112および第2の領域113をそれぞれ含む領域に形成されている。熱伝導路56は、第1の領域112と第2の領域113とを熱的に接続するとともに、振動腕53の励振電極36Bから引き出された引き回し配線56Aと、図1に示す外部接続電極66と外部接続電極66から引き出された引き回し配線56Cとを接続する中継配線部分となっている。

なお、上記の側面電極26A,26B,27A,27Bは、通常、音叉型水晶振動片50の両正面の対応する各種電極どうしを接続する中継電極の一部として用いられることが多いが、本実施形態では図示および説明を省略している。

【0043】

10

20

30

40

50

熱伝導路 5 6 , 5 7 には高い熱伝導率を有する材料が用いられ、この熱伝導率の他に、入手が比較的容易で低コストであることや、熱伝導路 5 6 , 5 7 を屈曲振動体上に形成する際の製造容易性などを勘案して選定し、例えば、図 4 に示す材料を用いることが好ましい。なお、基部 5 2 と振動腕 5 3 , 5 4 の少なくとも一つと熱伝導路 5 6 , 5 7 との膜密着性を高めるために、熱伝導路 5 6 , 5 7 の下地層としてニッケル (N i) またはクロム (C r) などからなる下地膜を設けても良い。

また、本実施形態では、熱伝導路 5 6 , 5 7 は電極間配線の中継配線部分を兼ねる構成としているので、導電体である必要があり、図中のダイヤモンドは対象外となる。ただし、熱伝導路を引き回し配線とは別に形成する場合には、熱伝導路の材料に導電性は必要としないので、図中のダイヤモンドなどの高い熱伝導率を有する非導電性の材料を適宜に用いることができる。10

【 0 0 4 4 】

図 1において、音叉型水晶振動片 5 0 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 3 6 A , 3 6 B および励振電極 3 7 A , 3 7 B に駆動電圧を印加すると、振動腕 5 3 , 5 4 は水平方向に、図中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。本実施形態では、基部 5 2 と振動腕 5 3 , 5 4 は所定の第 1 の面上に形成され、第 1 の面内に屈曲振動するとも言える。

【 0 0 4 5 】

この屈曲振動によって、基部 5 2 と各振動腕 5 3 , 5 4 との連結部において、各振動腕 5 3 , 5 4 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、振動腕 5 3 の図中の第 1 の領域 1 1 0 および第 2 の領域 1 1 1 に圧縮応力と引張応力とが発生し、これと同様に、振動腕 5 4 の基部 5 2 との連結部分の領域にも圧縮応力と引張応力とが発生する (詳細は後述する) 。図中の振動腕 5 3 側で詳述すると、振動腕 5 3 の自由端側が振動腕 5 4 に接近する向きに屈曲振動すると、振動腕 5 3 の第 1 の領域 1 1 0 には引張応力が作用して温度が下降し、第 2 の領域 1 1 1 には圧縮応力が作用して温度が上昇する。逆に、振動腕 5 3 の自由端側が振動腕 5 4 から離反する向きに屈曲すると、第 1 の領域 1 1 0 には圧縮応力が作用して温度が上昇し、第 2 の領域 1 1 1 には引張応力が作用して温度が下降する。20

【 0 0 4 6 】

同様に、図 2において、振動腕 5 4 の自由端側が振動腕 5 3 に接近する向きに屈曲振動すると、振動腕 5 4 の第 1 の領域 1 1 2 には引張応力が作用して温度が下降し、第 2 の領域 1 1 3 には圧縮応力が作用して温度が上昇する。逆に、振動腕 5 4 の自由端側が振動腕 5 3 から離反する向きに屈曲すると、第 1 の領域 1 1 2 には圧縮応力が作用して温度が上昇し、第 2 の領域 1 1 3 には引張応力が作用して温度が下降する。30

このように、振動腕 5 3 , 5 4 それぞれの基部 5 2 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 5 3 , 5 4 の振動の向きによって逆向きになる。

【 0 0 4 7 】

この温度勾配によって、熱が、圧縮側の部分から引張 (伸張) 側の部分へ、すなわち、高温側の部分から低温側の部分へと伝達される。40

本実施形態の音叉型水晶振動片 5 0 では、この圧縮側の部分から伸張側の部分への熱伝導路が、振動腕 5 3 においては熱伝導路 5 7 (図 1 、図 3 を参照) 、振動腕 5 4 においては熱伝導路 5 6 (図 2 を参照) により確保されている。これら熱伝導路 5 6 , 5 7 は、少なくとも屈曲振動体としての水晶よりも熱伝導率が高い材料により構成されているので、熱伝導路 5 6 , 5 7 が無い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 5 3 , 5 4 が屈曲振動したときの第 1 の領域 1 1 0 , 1 1 2 と第 2 の領域 1 1 1 , 1 1 3 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 5 6 , 5 7 が無い従来構造の緩和時間 τ_0 よりも短くなる。すなわち、本実施形態の音叉型水晶振動片 5 0 の熱緩和周波数 $f_{20} = 1 / (2 \tau_1)$ 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50

和周波数 f_{20} の方が熱緩和周波数が高くなる。

【0048】

一般に、熱緩和周波数 f_0 は、下式(1)で求まることが知られている。

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

ここで、 k は円周率、 k は振動腕(屈曲振動体)の屈曲振動方向の熱伝導率、 a は振動腕(屈曲振動体)の質量密度、 C_p は振動腕(屈曲振動体)の熱容量、 a は振動腕(屈曲振動体)の屈曲振動方向の幅である。式(1)の熱伝導率 k 、質量密度 a 、熱容量 C_p に振動腕の材料そのものの定数を入力した場合、求まる熱緩和周波数 f_0 は第1の領域 110, 112 および第2の領域 111, 113 を熱的に接続する熱伝導路を設けていない場合の屈曲振動体の緩和振動周波数となる。

10

【0049】

これを、図11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 $1 > f_r / (f_0 + (f_{20} - f_0) / 3)$ 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。

20

【0050】

このとき、熱伝導路 56, 57 は、各振動腕 53, 54 の屈曲振動に伴う温度の上昇または下降が生じる第1の領域 110, 112 と第2の領域 111, 113 との熱緩和が短時間で行われるように、基部 52 の第1の領域 110, 112 および第2の領域 111, 113 の近傍に形成されている。

20

【0051】

なお、上記本実施形態の音叉型水晶振動片 50 の構成において、第1の領域および第2の領域を有する各振動腕 53, 54 ごとの熱伝導路の数を m 、熱伝導路 56, 57 に用いる材料の熱伝導率を κ_{th} 、屈曲振動体(本実施形態では水晶)の熱伝導率を κ_v 、各振動腕 53, 54 の屈曲振動方向と直交する方向の厚みを t_v 、各振動腕 53, 54 の屈曲振動方向と直交する方向の熱伝導路 56, 57 の厚みを t_{th} としたときに、 $t_{th} / (t_v / m) \times (\kappa_v / \kappa_{th})$ の関係を満たせば、熱伝導路による Q 値の低下の抑制効果を奏することを発明者は見出した。即ち、この条件を満たすことにより、熱伝導路 56, 57 よりも屈曲振動体(本実施形態では水晶)の方が熱が伝わりやすい、という好ましくない状態を回避できる。好ましくは、 $t_{th} > (t_v / m) \times (\kappa_v / \kappa_{th})$ であり、これにより、屈曲振動体(本実施形態では水晶)よりも熱伝導路 56, 57 の方が熱が伝わりやすくなる状態を確実に実現することができ、熱緩和時間を短くすることによる Q 値の向上が確実に達成される。

30

例えば、上記実施形態の音叉型水晶振動片 50 において、所謂 Z カット水晶を用いた場合には屈曲振動体の熱伝導率 $\kappa = 6.2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 、熱伝導路 56, 57 に金を用いた場合には熱伝導率 $\kappa_{th} = 315 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 、各振動腕 53, 54 ごとの熱伝導路の数 m は一方の主面側のみなので $m = 1$ となり、振動腕 53, 54 の屈曲振動方向と直交する方向の厚み $t_v = 100 \mu\text{m}$ とした場合には、熱伝導路 56, 57 の厚みを $2 \mu\text{m}$ 以上確保すれば、熱伝導路 56, 57 が無い場合に比して Q 値の低下を抑制することができる。

40

なお、本実施形態では、各振動腕 53, 54 ごとに、いずれか一方の主面側に $m = 1$ の熱伝導路 56, 57 を設ける構成とした。これに限らず、熱伝導路を各振動腕の両主面に設けて $m = 2$ としたり、また、各振動腕の両主面および後述する貫通孔を用いた熱伝導路を並設して $m = 3$ としたりすることも可能であり、熱伝導路の数 m が多いほど熱が熱伝導

50

路を通りやすくなつて屈曲振動体を経由する割合が減るので、熱緩和時間 t_{th} を効率よく短縮できることは言うまでもない。例えば、屈曲振動体の熱伝導率 $\kappa_v = 6.2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 、熱伝導路の熱伝導率 $\kappa_{th} = 315 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ 、各振動腕の振動方向と直交する方向の厚み $t_v = 100 \mu\text{m}$ とし、各振動腕の両主面に各 1 本ずつ熱伝導路を設けた場合、熱伝導路の数 m は $m = 2$ となり、振動腕の振動方向と直交する方向の厚み $t_v = 100 \mu\text{m}$ とした場合には、熱伝導路の厚みを $1 \mu\text{m}$ 以上確保すればよい。

【0052】

また、熱伝導路の長さを l_{th} 、第 1 の領域と第 2 の領域との間の熱伝導経路長を l_v としたときに、 $t_{th} = (t_v/m) \times (v/v) \times (l_{th}/l_v)$ の関係を満たすことにより、さらに確実に、熱伝導路による Q 値の低下の抑制効果を奏することを発明者は見出した。即ち、熱伝導路の長さ l_{th} が長い場合は、それに応じて熱伝導路 56, 57 の厚み t_{th} を厚くして、熱緩和時間を短くする必要があることを発明者は見出した。

例えば、図 1において、本実施形態の振動腕 53 における第 1 の領域 110 から第 2 の領域 111 までの熱伝導路 57 の経路長 l_{th} は、図中の寸法線および符号で示すように、 $l_{th} = l(a) + l(b) + l(c)$ となる。一方、従来、配線経路の形成領域として用いられる振動腕の側面部分に熱伝導路を形成した場合、熱伝導路の経路長さ l_{th0} を図中の寸法線および符号で示すと、 $l_{th0} = l_v + 2 \times l(d)$ (ここで、 l_v は振動腕 53 の振動方向と平行な方向の幅、 $l(d)$ は振動腕 53 の基部 52 との付け根から自由端側の先端までの長さ) となる。

ここで、具体的に、 $l(a) = 50 \mu\text{m}$ 、 $l(b) = 50 \mu\text{m}$ 、 $l(c) = 50 \mu\text{m}$ として、また、振動腕 53 の寸法を $l_v = 50 \mu\text{m}$ ($= l(b)$)、 $l(d) = 1500 \mu\text{m}$ とすると、振動腕 53 の側面を利用して熱伝導路を設けた場合の経路長が $3050 \mu\text{m}$ となるのに対して、本実施形態の熱伝導路 57 の経路長は $150 \mu\text{m}$ となり、従来の熱伝導経路長に比して、本実施形態の熱伝導路 56, 57 が非常に短くできることがわかる。

【0053】

また、本実施形態では、励振電極 36A, 36B, 37A, 37B と、対応する外部接続電極 66, 67 を接続する引き回し配線の一部を熱伝導路 56, 57 として用いる構成とした。これにより、スペース効率よく Q 値の安定化対策を講じることができるので、音叉型水晶振動片 50 の小型化に有利である。

【0054】

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。

【0055】

(変形例 1)

上記実施形態では、屈曲振動体の基部 52 の主面上に熱伝導路 56, 57 を設けた。これに限らず、熱伝導路を屈曲振動体内に設けた貫通孔に埋設する構成としてもよい。

図 5、図 6 は、屈曲振動体の内部に熱伝導路を設けた音叉型水晶振動片の変形例を模式的に説明するものであり、図 5 は一主面側の平面図、図 6 は、図 5 の A-A 線断面図である。なお、図 5 は、図 1 と同じ主面側の平面図である。また、本変形例の図 5、図 6 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。

【0056】

図 5において、本変形例の音叉型水晶振動片 150 は、屈曲振動体材料からなる基部 52 の一端側から二股に別れて互いに平行に延出する一対の振動腕 53, 54 とからなる。各振動腕 53, 54 の両主面には有底の溝 46A, 47A が形成され、各溝 46A, 47A の底面を含む表面には励振電極 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、励振電極 37A が引き回し配線 157 により外部接続電極 67 と接続され、励振電極 36A は、引き回し配線 36C により引き出されてから、さらに上記実施形態と同様に、他方の主面上に形成された引き回し配線を経て外部接続電極 66 に接続されて

10

20

30

40

50

いる。

また、各振動腕 53, 54 の反対側の主面（他方の主面）にも、上記実施形態と同様に励振電極 36A, 37A の対向電極である励振電極がそれぞれ設けられ、これら各振動腕 53, 54 の両主面に形成された励振電極どうしが引き回し配線 36C, 37C によりそれぞれ接続されている。

【0057】

振動腕 53 の励振電極 36A が形成された主面と直交する両側面には側面電極 26A, 26B がそれぞれ設けられている。また、振動腕 53 の基部 52 との付け根部分近傍には、振動腕 53 の屈曲振動方向と同じ方向に貫通する貫通孔に、例えば、図 4 に示す熱伝導率の高い材料を埋設することにより形成された熱伝導路 116 が設けられている。図 6 に示すように、振動腕 53 の両側面電極 26A, 26B が熱伝導路 116 により熱的に接続される。

10

【0058】

同様に、他方の振動腕 54 の励振電極 37A が形成された主面と直交する両側面には側面電極 27A, 27B がそれぞれ設けられている。また、振動腕 54 の基部 52 との付け根部分近傍には、振動腕 54 の屈曲振動方向と同じ方向に貫通する貫通孔に熱伝導率の高い材料を埋設することにより形成された熱伝導路 117 が設けられ、両側面電極 27A, 27B が熱的に接続されている。

【0059】

この構成によれば、振動腕 53 および振動腕 54 の屈曲振動に伴う温度の上昇または下降が生じる領域（第 1 の領域または第 2 の領域）間の熱の緩和時間（1）が短くなるので、音叉型水晶振動片 150 の Q 値を安定化させる効果を奏する。

20

【0060】

なお、上記変形例 1 の音叉型水晶振動片 150 において、振動腕 53 の両側面電極 26A, 26B、および振動腕 54 の両側面電極 27A, 27B をそれぞれ電気的に接続する必要がある場合は、熱伝導路 116, 117 の貫通孔に埋設する材料として、例えば図 4 に示す熱伝導率の高い材料のうち、導電性を有する金属材料を用いればよい。

また、各振動腕 53, 54 の両側面電極 26A, 26B, 27A, 27B どうしを電気的に接続する必要がない場合は、熱伝導路 116, 117 の貫通孔に埋設する材料が導電性を有していないくともよく、また、側面電極 26A, 26B, 27A, 27B を設けない構成としてもよい。

30

【0061】

（変形例 2）

上記変形例 1 の音叉型水晶振動片 150 では、振動腕 53, 54 の屈曲振動方向と同じ方向、すなわち、二つの振動腕 53, 54 の並設された方向と同じ方向に貫通する貫通孔内に熱伝導率の比較的高い材料を埋設して熱伝導路 116, 117 を形成した。これに限らず、上記実施形態および変形例 1 の音叉型水晶振動片 50, 150 の振動腕 53, 54 の屈曲振動方向と直交する方向に屈曲振動する振動片であった場合は、上記変形例 1 の熱伝導路 116, 117 の貫通孔とは直交する方向に形成した貫通孔により熱伝導路を設ける構成としてもよい。図 7、図 8 は、変形例 2 の音叉型水晶振動片を模式的に説明するものであり、図 7 は一主面側の平面図、図 8 は、図 7 の B-B 線断面図である。

40

【0062】

図 7において、本変形例の音叉型水晶振動片 250 は、屈曲振動体材料からなる基部 152 の一端側から二股に別れて互いに平行に延出する一対の振動腕 153, 154 とからなる。各振動腕 153, 154 の両主面には有底の溝 146A, 147A が形成され、各溝 146A, 147A の底面を含む表面には励振電極 136A, 137A が形成されている。また、基部 152 の振動腕 153, 154 が延出された一端側と異なる他端側近傍には外部接続電極 166, 167 が設けられている。これらの外部接続電極 166, 167 は、それぞれ励振電極 136A, 137A と対応しており、励振電極 136A が基部 152 上に設けられた中継電極 126A を介して外部接続電極 166 と接続され、励振電極 1

50

37Aが基部152上に設けられた中継電極127Aを介して外部接続電極167に接続されている。

【0063】

また、図8に示すように、振動腕153の反対側の正面（他方の正面）にも、有底の溝146Bが形成され、その溝146Bの底面を含む表面には励振電極136Bが形成され、また、基部152の中継電極126Aと対応する位置に中継電極126Bが形成されている。同様に、図示はしないが、他方の振動腕154の反対側の正面にも、有底の溝、およびその溝の底面を含む表面に励振電極が形成され、基部152の上記中継電極127Aと対応する位置に中継電極が形成されている。

【0064】

図8において、音叉型水晶振動片250の励振電極136A, 136Bに駆動電圧を印加すると、振動腕153は図中矢印で示す方向に屈曲振動する。この屈曲振動方向は、上記実施形態および変形例1の音叉型水晶振動片50, 150の振動腕53, 54の屈曲振動方向と直交する方向になっている。

同様に、図示はしないが、振動腕154も、励振電極137Aおよびその対向電極となる励振電極に駆動電圧を印加すると振動腕153と同じ方向に屈曲振動する。

【0065】

すなわち、本変形例の音叉型水晶振動片250において、上記した中継電極126A, 126B、および中継電極127Aは、各振動腕153, 154の屈曲振動に伴う熱の上昇または下降が生じる領域（第1の領域および第2の領域）の近傍に設けられている。そして、振動腕153の基部152との付け根部分近傍には、振動腕153の屈曲振動方向と同じ方向に貫通する貫通孔に、例えば、図4に示す熱伝導率の高い材料を埋設することにより形成された熱伝導路216が設けられている。図8に示すように、振動腕153の両正面の中継電極126A, 126Bは、熱伝導路216により熱的に接続される。

【0066】

同様に、他方の振動腕154の基部152との付け根部分近傍には、振動腕154の屈曲方向と同じ方向に貫通する貫通孔に熱伝導率の高い材料を埋設することにより形成された熱伝導路217が設けられ、中継電極127Aと、それに対向する中継電極とが熱的に接続されている。

【0067】

この構成によれば、振動腕153および振動腕154の屈曲振動に伴う温度の上昇または下降が生じる領域（第1の領域または第2の領域）間の熱の緩和時間（1）が短くなるので、音叉型水晶振動片250のQ値を安定化させる効果を奏する。

また、本変形例では、各振動腕153, 154に比して大きな面積を有する基部152に熱伝導路216, 217を設ける構成とした。これにより、熱伝導路216, 217の貫通孔の孔あけ加工が容易になる。

【0068】

なお、本変形例では、貫通孔の孔あけ加工を容易とするために熱伝導路216, 217を基部152に設ける構成としたが、各振動腕153, 154の基部152との付け根近傍に熱伝導路を設ける構成としてもよい。この場合、各振動腕153, 154の屈曲振動に伴う温度の上昇または下降する領域（第1の領域および第2の領域）を熱的に接続する熱伝導路をさらに短くしてQ値をより安定化させることが可能である。

【0069】

〔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。

【0070】

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。

【0071】

例えば、上記実施形態の音叉型水晶振動片50では、各振動腕53, 54ごとに、いずれか一方の主面側に熱伝導路56, 57を設ける構成としたが、これに限らない。例えば、各振動腕ごとの両主面に熱伝導路を設けることにより、各振動腕53, 54の第1の領域110, 112から第2の領域111, 113への熱伝導がより効率に行われ、Q値の低下をより抑制する効果を向上させることができる。この場合、上記実施形態のように引き回し配線56A, 57Aの一部を熱伝導路56, 57として用いる構成ではなく、引き回し配線とは電気的に独立した熱伝導路を各振動腕の両主面に設けて、第1の領域と第2の領域とをそれぞれ二つの熱伝導路により接続すればよい。

10

【0072】

また、上記変形例1および変形例2の音叉型水晶振動片150, 250において、貫通孔およびその貫通孔に熱伝導率の高い材料を埋設してなる熱伝導路116, 117または熱伝導路216, 217について説明した。これらの熱伝導路116, 117または熱伝導路216, 217の貫通孔の貫通方向は、各振動腕53, 54または振動腕153, 154の振動方向に対して上記方向と直交する方向とする構成も可能である。例えば、熱伝導路を、各振動腕53, 54または振動腕153, 154の両主面の対応する電極どうしを接続する層内配線も兼ねるものとして用いることもできる。

20

【0073】

また、上記実施形態および変形例では、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。

【0074】

三つ以上の振動腕を有する屈曲振動片の具体例を以下で説明する。図9は、三つの振動腕を有する屈曲振動片の概略を示し、(a)～(c)は電極形成の過程を示した図であり、(d)は(a)の基部と振動腕の連結部周辺の表面の拡大図であり、(e)は(a)の基部と振動腕の連結部周辺の裏面の拡大図(上面からの透視図)であり、(f)は(c)のA-A'断面図を示したものである。

30

【0075】

図9に示すように、圧電体素子10は、水晶基板からなる基部16とその一端から延伸する3本の振動腕18a, 18b, 18cを備え、振動腕18a, 18b, 18cは主面12上に配置された下部電極20と、下部電極20上に配置された圧電膜22と、圧電膜22上に配置された上部電極26と、を含み、振動腕18a, 18cと振動腕18bとを互い違いに上下に屈曲振動させる。換言すれば、基部16と振動腕18a, 18b, 18bが形成された面と直交する方向に屈曲振動するとも言える。なお、本例の振動腕の振動方向の幅aは、振動腕の厚み方向となる。本例では、図9(a)に示すように、まず振動腕18a, 18b, 18cの表面に下部電極20を形成し、図9(b)に示すように下部電極20および基部16の一部を覆うように圧電膜22を形成すると共に下部電極20と上部電極26とを導通接続するための開口部24を形成し、図9(c)に示すように圧電膜22上に上部電極26を形成する。図9(f)は(c)のA-A'断面図を示したものであるが、水晶基板の上に下部電極と圧電膜と上部電極とが積層されて電極が形成される。このとき、振動腕18a, 18cの下部電極20と振動腕18bの上部電極26とが接続され、振動腕18a, 18cの上部電極26と振動腕18bの下部電極20とが接続される。本実施例においては、下部電極20を水晶基板よりも高い熱伝導率を有した電極材料から形成する。

40

【0076】

50

この屈曲振動によって、基部 16 と振動腕 18a, 18b, 18c との連結部において、振動腕 18a, 18b, 18c の振動方向の付け根部分の表裏面には、圧縮応力と引張応力とが発生する。図中の振動腕で詳述すると、振動腕 18a, 18c が +Z 軸方向に屈曲振動すると、振動腕 18a, 18c の表面の第 1 の領域には圧縮応力が作用して温度が上昇し、裏面の第 2 の領域には引張応力が作用して温度が下降する。一方、振動腕 18b は -Z 軸方向に屈曲振動し、振動腕 18b の表面の第 1 の領域には引張応力が作用して温度が下降し、裏面の第 2 の領域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 18a, 18b, 18c それぞれの基部 16 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、振動腕 18a, 18b, 18c の振動の向きによって逆向きになる。この温度勾配によって、熱が圧縮側の部分から引張側の部分へ、すなわち、高温側から低温側へと伝達される。

10

【0077】

本例の音叉型水晶振動片では、図 9 (d) に示すように各振動腕 18a, 18b, 18c と基部 16 との連結部周辺において各々の下部電極 20 の両側から熱伝導路 30 を延出し、図 9 (e) に示すように裏面において熱伝導路 30 を第 2 領域と重複するように形成することで、熱伝導路 30 が無い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。なお、本例では下部電極を熱伝導路として用いているが、圧電膜または上部電極を熱伝導路として用いても良い。

【0078】

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。例えば、窒化アルミニウム (AlN)、ニオブ酸リチウム (LiNbO₃)、タンタル酸リチウム (LiTaO₃)、チタン酸ジルコン酸鉛 (PZT)、四ほう酸リチウム (Li₂B₄O₇) 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 (Ta₂O₅) 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。また圧電材料以外に、シリコン半導体などを屈曲振動片の材料として用いることができる。

20

また、屈曲振動片の基材は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發揮させることができる。

30

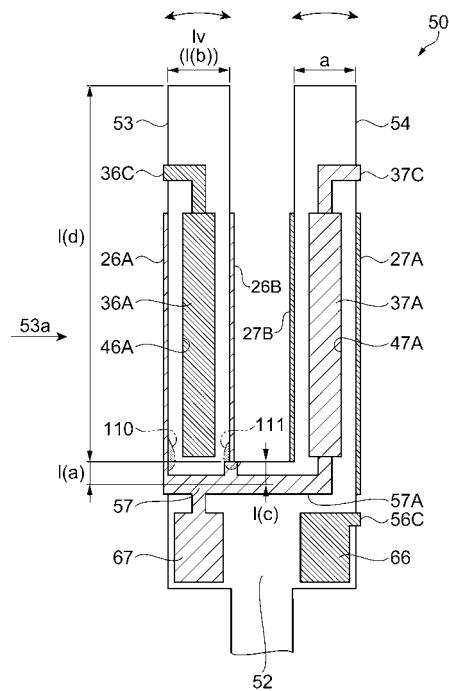
【符号の説明】

【0079】

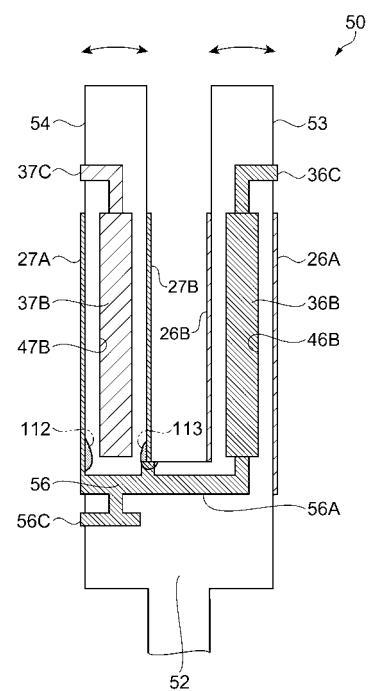
1, 50, 150, 250 … 屈曲振動片としての音叉型水晶振動片、2, 52, 152 … 基部、3, 4, 53, 54, 153, 154 … 振動腕、6, 7 … 孔、10, 12, 110, 112 … 第 1 の領域、11, 13, 111, 113 … 第 2 の領域、26A, 26B, 27A, 27B … 側面電極、36A, 36B, 37A, 37B, 136A, 136B, 137A … 励振電極、36C, 37C, 56A, 56C, 57A, 157 … 引き回し配線、46A, 46B, 47A, 47B, 146A, 146B, 147A … 溝、56, 57, 116, 117, 216, 217 … 热伝導路、66, 67, 166, 167 … 外部接続電極、126A, 126B, 127A … 中継電極。

40

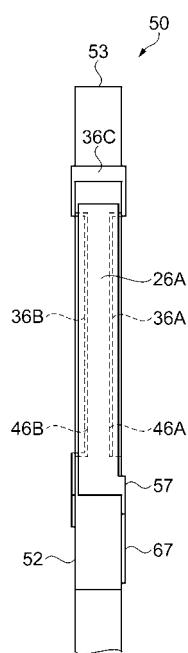
【図1】



【図2】



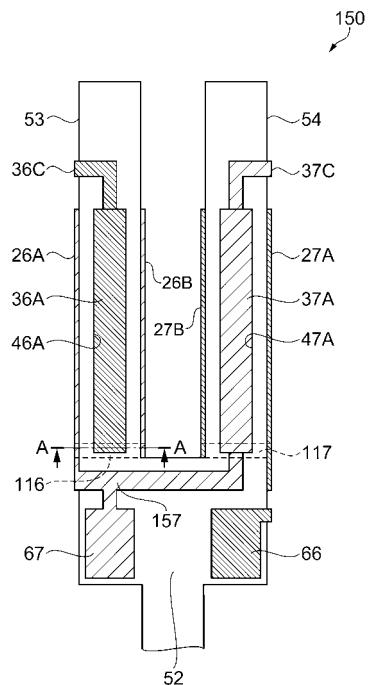
【図3】



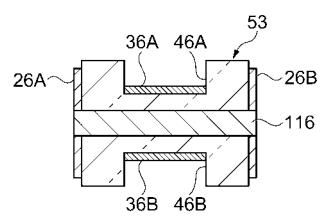
【図4】

材料名	熱伝導率 (Wm ⁻¹ K ⁻¹)
金 (Au)	315
銀 (Ag)	427
アルミニウム (Al)	237
銅 (Cu)	398
窒化アルミニウム (AlN)	285
ダイヤモンド (C)	1350

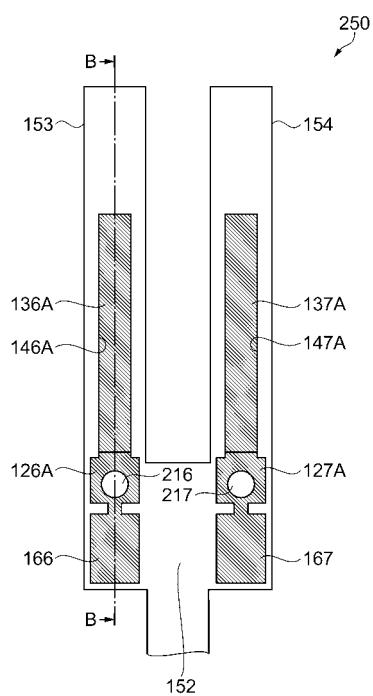
【図5】



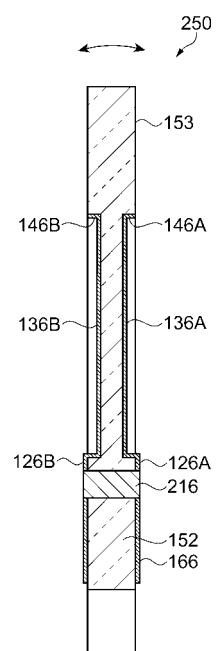
【図6】



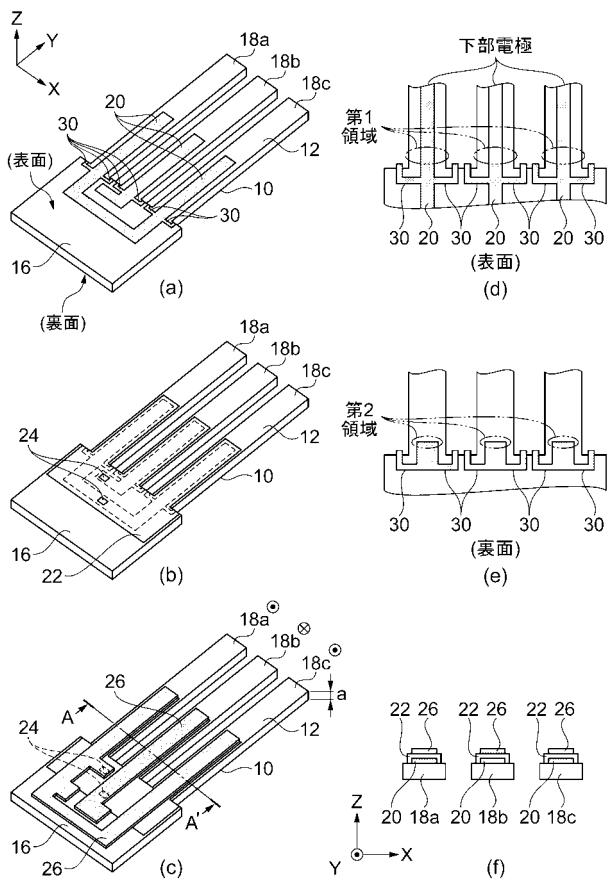
【図7】



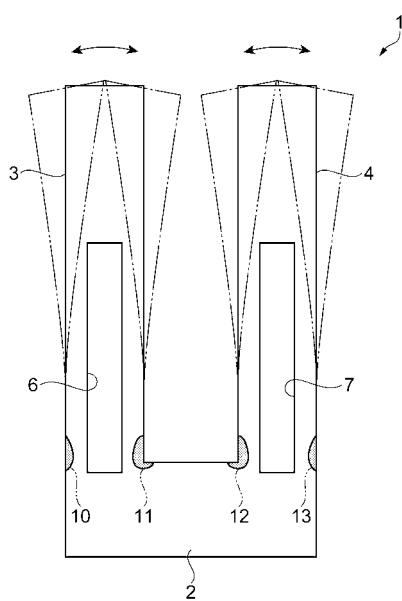
【図8】



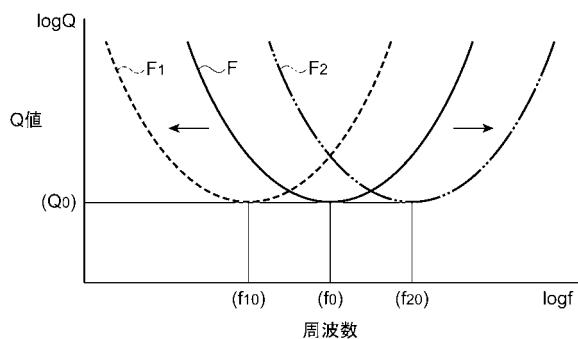
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
H 01 L 41/187 (2006.01)	H 01 L 41/18	101A
H 01 L 41/12 (2006.01)	H 01 L 41/22	Z
	H 01 L 41/18	101D
	H 01 L 41/18	101B
	H 01 L 41/18	101Z
	H 01 L 41/12	

(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 AA03 BB02 CC06 CC08 CC09 DD05 EE07 FF05 FF07 FF08

【要約の続き】

7により熱的に接続されている。

【選択図】図1