

(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2010-252302

(P2010-252302A)

(43) 公開日 平成22年11月4日 (2010.11.4)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H03H 9/19 (2006.01)	H03H 9/19 J	5 J 1 0 8
H03H 9/215 (2006.01)	H03H 9/215	
H01L 41/18 (2006.01)	H01L 41/18 1 O 1 A	
H01L 41/09 (2006.01)	H01L 41/08 C	
H01L 41/22 (2006.01)	H01L 41/22 Z	
審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 16 頁) 最終頁に続く		

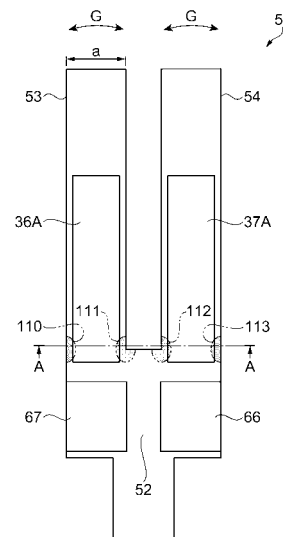
(21) 出願番号	特願2010-2669 (P2010-2669)	(71) 出願人	000002369
(22) 出願日	平成22年1月8日 (2010.1.8)		セイコーエプソン株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2009-73739 (P2009-73739)		東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(32) 優先日	平成21年3月25日 (2009.3.25)	(74) 代理人	100095728
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 上柳 雅誉
		(74) 代理人	100107261
			弁理士 須澤 修
		(74) 代理人	100127661
			弁理士 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】 基部 5 2 と、この基部 5 2 の一端側から延出する一対の振動腕 5 3 , 5 4 とからなる音叉型水晶振動片 5 0 において、各振動腕 5 3 , 5 4 の基部 5 2 との付け根近傍を含む領域には励振電極 3 6 A , 3 7 A が形成されている。これにより、図中矢印 G で示す方向に振動腕 5 3 , 5 4 が屈曲振動したときに圧縮応力または伸張応力が作用する第 1 の領域 1 1 0 , 1 1 2 と第 2 の領域 1 1 1 , 1 1 3 とが熱的に接続されている。ここで、各振動腕 5 3 , 5 4 ごとの熱伝導路の数を m、熱伝導路の熱抵抗率を t_h 、振動腕 5 3 , 5 4 (水晶) の熱抵抗率を t_v 、振動腕 5 3 , 5 4 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 5 3 , 5 4 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



【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 の領域の間に、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、を有する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、 $t_{th} = (1/m) \times t_v \times (t_{th}/t_v)$ 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、

前記熱伝導路は屈曲振動片の外面に形成され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、 $f_0 = k / (2 C_p a^2)$ 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。

30

【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、

前記熱伝導路が屈曲振動体に形成された励振電極の一部からなる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、

前記熱伝導路が不導体材料からな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。

40

【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。

【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、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 対の振動腕を互いに平行に延出させて、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

50

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、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。

【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8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。

【0006】

図面を参照して具体的に説明すると、図7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本の互いに平行な振動腕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。

【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。

【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

10

20

30

40

50

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、その一部が振動中も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。

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が延長されるので、 $1/(2 \dots)$ で求められる熱緩和周波数は、図 8 に示す曲線 F_1 の緩和周波数 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】

【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、「Internal Friction in Solids III. Experimental Demonstration of Thermoelastic Internal Friction」、PHYSICAL REVIEW、1938 年 1 月 1 日、Volume 53、p.10 ~ 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、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、溝または孔を形成することが困難になるとともに、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。

【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 の領域の間に、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を有する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_h 、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、 $t_{th} (1/m) \times t_v \times (t_h / t_v)$ の関係を満たすことを特徴とする。また、ある形態では、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 の領域の間に、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、を有する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_h 、前記屈曲振動体の熱抵抗率を 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、 $t_{th} = (1/m) \times t_v \times (t_{th}/t_v)$ の関係を満たすことを特徴とする。また、ある形態では、熱伝導路は屈曲振動片の外面に形成されることを特徴とする。

【0014】

上記構成のように、屈曲振動体と熱伝導路との熱伝導係数の比、および、第1の領域から第2の領域への熱伝導路の数に応じて熱伝導路の厚みを設定することにより、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値の低下を抑えることができる。

また、上述した従来対策のように屈曲振動体に孔や溝を形成する必要がないので、屈曲振動片の小型化への対応が容易になる。

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。

【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} 、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、ある形態では、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。

【0016】

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。

【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、 $f_0 = k / (2 C_p a^2)$ としたとき、 $1 > f_r / f_0$ であることを特徴とする。

【0018】

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。

【0019】

〔適用例4〕上記適用例にかかる屈曲振動片において、前記熱伝導路が屈曲振動体に形成された励振電極の一部からなることを特徴とする。

【0020】

この構成によれば、励振電極を熱伝導路として用いているので、効率的に屈曲振動片を製造することができる。

【0021】

〔適用例5〕上記適用例にかかる屈曲振動片において、前記熱伝導路が不導体材料からなることを特徴とする。

【0022】

この構成によれば、励振電極などの電極との短絡を気にすることなく、それらの電極上に熱伝導路を設けることも可能になるので、設計の自由度が増して小型化に有利となり、また、製造も容易になる。

【0023】

〔適用例6〕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

10

20

30

40

50

、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。

【0024】

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】

【0025】

【図1】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。

【図2】第1の実施形態の音叉型水晶振動片を模式的に説明する図1のA-A線断面図。

【図3】音叉型水晶振動片の熱伝導路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。

10

【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】(a)は、音叉型水晶振動片の変形例を模式的に説明する平面図、(b)は、(a)のC-C線断面図。

【図6】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斜視図、(d)は(a)に対応する断面図、(e)は(b)に対応する断面図、(f)は(c)に対応する断面図。

【図7】従来の音叉型水晶振動片の典型例を示す平面図。

【図8】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。

20

【発明を実施するための形態】

【0026】

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。

【0027】

(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は一方の主面側の平面図、図2は、図1のA-A線断面図である。

30

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、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。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エットエッチングしたり、ドライエッチングしたりすることにより精密に形成することができる。

40

【0028】

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(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。

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

50

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ので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、本実施形態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。

【0029】

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。

10

【0030】

同様に、図 2 に示すように、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。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。

ここで、振動腕 53 の励振電極 36A, 36B は同電位であり、振動腕 54 の励振電極 37A, 37B は同電位である。また、各振動腕 53, 54 の励振電極 36A, 36B と励振電極 37A, 37B とは電位が異なる。

20

【0031】

ここで、本実施形態の音叉型水晶振動片 50 では、励振電極 36A, 36B, 37A, 37B は、各振動腕 53, 54 の基部 52 との付け根部分近傍の下記に詳述する第 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として用いるために、第 1 の領域 110, 112 および第 2 の領域 111, 113 にかかる範囲まで形成されている。

なお、本実施形態の音叉型水晶振動片 50 の特徴をわかりやすく説明する便宜上図示を省略したが、各振動腕 53, 54 の励振電極 36A, 36B, 37A, 37B が形成された両主面と直交する両側面には、それぞれの振動腕 53, 54 の励振電極 36A, 36B または励振電極 37A, 37B とそれぞれ同電位の励振電極が形成されている。

30

【0032】

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ンングすることにより形成することができる。ただし、本実施形態の音叉型水晶振動片 50 では、上記したように、励振電極 36A, 36B, 37A, 37B の一部を熱伝導路として用いる構成となっているので、下記に詳述するように、熱抵抗率が十分に低く熱伝導路として有効な金属材料を選定して用いる。

【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詳細に説明する。

40

図 2 は、図 1 の音叉型水晶振動片 50 の A - A 線断面、すなわち、各振動腕 53, 54 の基部 52 との付け根部近傍の断面を示している。本実施形態では、この各振動腕 53, 54 の基部 (52) との付け根近傍の励振電極 36A, 36B, 37A, 37B を、後述する熱弾性損失を抑制して Q 値の劣化を防止するための熱伝導路として用いる。ここで、熱伝導路とは、図 1 に示す音叉型水晶振動片 50 において、矢印 G で示す各振動腕 53, 54 の屈曲振動方向に位置する基部 52 との付け根部分近傍の領域 (二点鎖線で示す) ある第 1 の領域 110, 112 と第 2 の領域 111, 113 との熱伝導経路を指す。

【0034】

図 2 に戻り、振動腕 53 の基部 (52) との付け根近傍において、振動腕 53 の一方の主面に設けられた励振電極 36A は厚み t_1 を有している。また、振動腕 53 の他方の主

50

面に設けられた励振電極 36B は厚み t_2 を有している。

同様に、振動腕 54 の一方の主面に設けられた励振電極 37A は厚み t_1 を有し、他方の主面に設けられた励振電極 37B は厚み t_2 を有している。ここで、本実施形態の音叉型水晶振動片 50 においては $t_1 = t_2$ となっている。

【0035】

本実施形態において熱伝導路として用いられる励振電極 36A, 36B, 37A, 37B の材料としては、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、この熱抵抗率の他に、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、熱伝導路（本実施形態では励振電極の一部）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、熱伝導路の厚みを薄くすることができるので好ましい。また、本実施形態では、励振電極 36A, 36B, 37A, 37B の一部を熱伝導路として用いる構成としているので、電極となりうる導電体材料を用いる必要があることは当然であり、図中の不導体物質であるダイヤモンドは適用外となる。ただし、後述する他の実施例のように、励振電極などの電極とは別に熱伝導路を形成する場合には、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比較的低い熱抵抗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。

【0036】

上記構成において、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、 $t_{th} \cdot (1/m) \times t_v \times (t_{th}/t_v)$ 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本願発明者は見出した。即ち、この条件を満たすことにより、熱伝導路としての励振電極 36A, 36B, 37A, 37B の一部よりも屈曲振動体（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、 $t_{th} > (1/m) \times t_v \times (t_{th}/t_v)$ 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。本実施形態において、前記厚み t_{th} が上記の励振電極 36A, 36B, 37A, 37B の熱伝導路として用いる一部の厚み t_1 および厚み t_2 になる。なお、熱伝導路の数 m とは、上記第 1 の領域および第 2 の領域を有する屈曲振動体ごとの第 1 の領域と第 2 の領域とを熱的に接続する熱伝導路の数を指す。

【0037】

例えば、本実施形態における熱伝導路の数 m とは、各振動腕 53, 54 毎に一方の主面の励振電極 36A, 37A、および他方の主面の励振電極 36B, 37B それぞれの一部が熱伝導路として用いられるので、熱伝導路の数 m は $m = 2$ になる。

また、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 $100 \mu\text{m}$ とし、図 3 に示す材料のうち金（Au、熱抵抗率 $t_{th} = 0.0032 \text{ mK/W}$ ）を用いて励振電極（熱伝導路）を形成する場合、各励振電極 36A, 36B, 37A, 37B の少なくとも熱伝導路として用いる部分の厚み t_1 および t_2 は、上記の式 $t_{th} \cdot (1/m) \times t_v \times (t_{th}/t_v)$ の関係を満たせばよいので、 t_1 または t_2 は、それぞれ $1 \mu\text{m}$ 以上とすればよい。

【0038】

なお、本実施形態では、図 2 に示すように厚み t_1 , t_2 に調整した各励振電極 36A, 36B, 37A, 37B の一部を熱伝導路として用いる構成を説明したが、各励振電極 36A, 36B, 37A, 37B のうち少なくとも熱伝導路として用いる部分の厚みを厚み t_1 , t_2 に調整すればよい。例えば、励振電極形成工程に、熱伝導路として用いる部分と異なる部分をマスキングして励振電極用の材料を堆積させる工程を含むことにより、電極形成用材料を熱伝導路として用いる部分のみを厚づけして、その他の部分の電極形成用

材料の使用量を削減することができる。

【 0 0 3 9 】

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 G 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 0 】

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。

【 0 0 4 1 】

同様に、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。

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 2 】

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 5 0 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 5 3 , 5 4 の励振電極 3 6 A , 3 6 B および励振電極 3 7 A , 3 7 B の一部を熱伝導路として行われる。

図 1 に示す音叉型水晶振動片 5 0 の一方の主面側について詳細に説明すると、各振動腕 5 3 , 5 4 にそれぞれ設けられた励振電極 3 6 A , 3 7 A の一部（各振動腕 5 3 , 5 4 の基部 5 2 との付け根部分近傍）は、各振動腕 5 3 , 5 4 の第 1 の領域 1 1 0 , 1 1 2 と第 2 の領域 1 1 1 , 1 1 3 とを熱的に接続するように配置されている。ここで、励振電極 3 6 A , 3 7 A の電極形成用の材料は、上記したように屈曲振動体としての水晶基板よりも低い熱抵抗率を有しているので、第 1 の領域 1 1 0 , 1 1 2 と第 2 の領域 1 1 1 , 1 1 3 との間の熱伝導は、励振電極 3 6 A , 3 7 A の、第 1 の領域 1 1 0 , 1 1 2 および第 2 の領域 1 1 1 , 1 1 3 を熱的に接続する領域を熱伝導路として行われる。

【 0 0 4 3 】

このように、それらの一部を熱伝導路とする励振電極 3 6 A , 3 6 B , 3 7 A , 3 7 B 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 5 3 , 5 4 の振動方向と直交する方向の厚み t_{th} （図 2 において t_1 または t_2 ）が、上記したように $t_{th} = (1/m) \times t_v \times (t_h/v)$ 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 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 との間に温度が平衡状態になるまでの緩和時間 τ_1 が、熱伝導路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 $f_{20} = 1$

10

20

30

40

50

$\omega_1 / (2\pi)$ において、 $\omega_1 < \omega_0$ 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 $f_0 = 1 / (2\pi \omega_0)$ よりも高くなる。

【0044】

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。

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

ここで、 ω 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、 ρ 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 ρ 、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

【0045】

これを、図8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(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 としたときに f_r が熱緩和周波数 f_0 以下となる範囲、すなわち $1 - f_r / f_0$ 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(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。

20

【0046】

また、本実施形態では、励振電極36A, 36B, 37A, 37Bの一部を熱伝導路として用いる構成としている。これにより、製造工程が簡略化され、また、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の小型化および低コスト化に有利である。

【0047】

30

(第2の実施形態)

上記第1の実施形態では、音叉型水晶振動片50の励振電極36A, 36B, 37A, 37Bの一部を熱伝導路として用いる構成とした。これに限らず、屈曲振動体上に励振電極とは別に熱伝導路を設ける構成としてもよい。

図4は、屈曲振動体上に励振電極とは別に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、(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、本変形例の図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。

【0048】

図4(a)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と、その基部52の一端側から二股に別れて互いに平行に延出する一対の振動腕53, 54とからなる音叉型の外形を有し、各振動腕53, 54の一方の主面には励振電極136A, 137A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136A, 137A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150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。

40

なお、図示を省略したが、各振動腕53, 54の励振電極36A, 36B, 37A, 37Bが形成された両主面と直交する両側面には、それぞれの振動腕53, 54の励振電極36A, 36Bまたは励振電極37A, 37Bとそれぞれ同電位の励振電極が形成されて

50

いる。

【0049】

振動腕53の励振電極136Aが形成された一方の主面側において、振動腕53の基部52との付け根近傍には、上記第1の実施形態で説明した第1の領域と第2の領域(図1を参照)とを熱的に接続する位置に、屈曲振動体としての水晶基板よりも熱抵抗率の低い材料(図3を参照)からなる熱伝導路56Aが設けられている。

同様に、振動腕54の励振電極137Aが形成された一方の主面側においても、振動腕54の基部52との付け根近傍に、上記第1の領域と上記第2の領域とを熱的に接続する位置に熱伝導路57Aが設けられている。

【0050】

また、図4(b)に示すように、振動腕53の他方の主面側においても、上記熱伝導路56Aと対向する位置に熱伝導路56Bが設けられている。

ここで、振動腕53の両主面に設けられた熱伝導路56A, 56Bは、上記第1の実施形態で説明した熱伝導路の厚み t_{th} と同じ定義の厚み t_{11} , t_{12} (第1の実施形態では $t_1 = t_2$)に調整されて形成されている。

これと同様に、振動腕54の他方の主面側においても、厚み t_{11} を有する上記熱伝導路57Aと対向する位置に、厚み t_{12} を有する熱伝導路(図示せず)が設けられている。

【0051】

上記構成によれば、励振電極136A, 137Aなどの電極材料としての機能を考慮する必要がなく、熱伝導路56A, 56B, 57Aとして用いる材料の選択肢が広がるので、より効果的に音叉型水晶振動片150のQ値の安定化や製造効率の向上を図ることが可能になる。例えば、比較的厚い厚みで形成される熱伝導路56A, 56B, 57Aを、励振電極136A, 137Aの厚みに関係なく熱伝導路56A, 56B, 57Aの厚みだけを制御して形成すればよいので、材料の無駄が抑えられるとともに厚みの制御を精度よく行うことができる。

また、励振電極136A, 137Aとは別個に形成される熱伝導路56A, 56B, 57Aは導電性を必要としないので、例えば、図3に示す材料のうち、ダイヤモンドなどの熱抵抗率の低い不導体材料を選択してQ値の低下をより効果的に抑えることができる。

【0052】

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。

【0053】

(変形例)

上記第2の実施形態の音叉型水晶振動片150において、熱伝導路56A, 56B, 57Aは励振電極136A, 137Aなどの電極と重ならない位置に設ける構成としたが、熱伝導路の形成用材料として不導体材料を用いれば、熱伝導路を電極と重ねて設けることも可能となり、小型化が図れるなどの効果を奏する。

図5は、変形例の音叉型水晶振動片を模式的に説明するものであり、図5(a)は一主面側の平面図、(b)は(a)のC-C線断面図である。

【0054】

図5(a)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52と、その基部52の一端側から二股に別れて互いに平行に延出する一対の振動腕53, 54とからなる音叉型の外形を有している。また、各振動腕53, 54の一方の主面には、各振動腕53, 54の基部52との付け根部分近傍を含む領域に設けられた励振電極236A, 237Aが形成されている。

【0055】

振動腕53の励振電極236Aが形成された一方の主面側において、振動腕53の基部52との付け根近傍の、上記第1の実施形態で説明した第1の領域と第2の領域(図1を参照)とを熱的に接続する位置には、屈曲振動体としての水晶基板よりも熱抵抗率の低い材料(例えば、図3を参照)のうち、不導体からなる熱伝導路156Aが設けられている

10

20

30

40

50

。熱伝導路 1 5 6 A は、励振電極 2 3 6 A 上を含む領域に設けられているが、不導体なので短絡などの電氣的な不具合を回避できる。

同様に、振動腕 5 4 の励振電極 2 3 7 A が形成された一方の主面側においても、振動腕 5 4 の基部 5 2 との付け根近傍に、上記第 1 の領域と上記第 2 の領域とを熱的に接続する位置に熱伝導路 1 5 7 A が設けられている。

【0056】

また、図 5 (b) に示すように、振動腕 5 3 の他方の主面側においても、上記熱伝導路 1 5 6 A と対向する位置に熱伝導路 1 5 6 B が設けられている。

ここで、振動腕 5 3 の両主面に設けられた熱伝導路 1 5 6 A , 1 5 6 B は、上記第 1 の実施形態で説明した熱伝導路の厚み t_{th} と同じ定義の厚み t_{21} , t_{22} (ここで $t_{21} = t_{22}$) に調整されて形成されている。

これと同様に、振動腕 5 4 の他方の主面側においても、厚み t_{21} を有する上記熱伝導路 1 5 7 A と対向する位置に、厚み t_{22} を有する熱伝導路 (図示せず) が設けられている。

なお、図示を省略したが、各振動腕 5 3 , 5 4 の励振電極 2 3 6 A , 2 3 6 B , 2 3 7 A , 2 3 7 B が形成された両主面と直交する両側面には、それぞれの振動腕 5 3 , 5 4 の励振電極 2 3 6 A , 2 3 6 B または励振電極 2 3 7 A , 2 3 7 B とそれぞれ同電位の励振電極が形成されている。

【0057】

上記構成によれば、励振電極 2 3 6 A , 2 3 6 B , 2 3 7 A などの電極との短絡を気にすることなく、それらの電極上に熱伝導路 1 5 6 A , 1 5 6 B , 1 5 7 A を設けることができるので、設計の自由度が増して小型化に有利である。また、電極と熱伝導路 1 5 6 A , 1 5 6 B , 1 5 7 A との形成位置精度を緩くすることができるなど製造も容易になる。

【0058】

〔発振器〕

上記第 1 の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 5 0 , 1 5 0 , 2 5 0 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 5 0 , 1 5 0 , 2 5 0 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。

【0059】

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。

【0060】

例えば、上記第 1 の実施形態、第 2 の実施形態、および変形例の音叉型水晶振動片 5 0 , 1 5 0 , 2 5 0 では、各振動腕 5 3 , 5 4 の両主面に熱伝導路 5 6 , 5 7 , 1 5 6 , 1 5 7 を設けた。すなわち、上記第 1 の実施形態で説明した熱伝導路 5 6 , 5 7 の厚み t_{th} (t_1 , t_2) を規定する式 $t_{th} = (1/m) \times t_v \times (t_{th}/t_v)$ において、熱伝導路の数 $m = 2$ としたが、これに限らない。熱伝導路は、屈曲振動体 (音叉型水晶振動片の振動腕) ごとに一つ、または三つであっても、上式の関係を満たすように各熱伝導経路の厚みを確保すればよい。

【0061】

また、上記第 1 の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 5 0 , 1 5 0 , 2 5 0 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、上記した第 1 の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。

【0062】

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 6 は、三つの振動腕を有する屈曲振動片の概略構成図であり、(a) ~ (c) は電極形成の過程を示した斜

10

20

30

40

50

視図、(d)は(a)のA-A'断面図、(e)は(b)のB-B'断面図、(f)は(c)のC-C'断面図である。

図6に示すように、圧電体素子10は、水晶基板からなる基部16とその一端から延出する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。

【0063】

本例では、図6(a)、(d)に示すように、まず振動腕18a, 18b, 18cの外表面を覆うように下部電極20を形成する。次に図6(b)、(e)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を形成する。次に図6(c)、(f)に示すように圧電膜22上に上部電極26を形成する。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。

【0064】

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。本実施形態の音叉型水晶振動片では、この圧縮側の部分から伸張側の部分への熱の伝達が、振動腕18a, 18b, 18cの表面に形成した下部電極20の一部を熱伝導路として用いる。

【0065】

なお、本実施例では圧電膜または上部電極を振動腕の表面のみに形成しているが、下部電極と同様に圧電膜または上部電極を振動腕の外表面全体に形成し、圧電膜または上部電極を熱伝導路として用いても良い。

【0066】

また、上記第1の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】

【0067】

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, 136A, 137A, 236A, 236B, 237A... 励振電極、56A, 56B, 156A, 156B, 157A... 熱伝導路、66, 67... 外部接続電極。

10

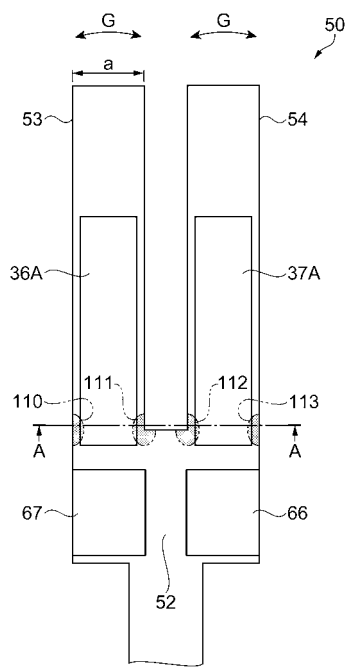
20

30

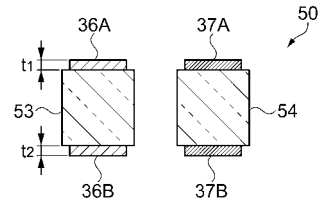
40

50

【 図 1 】



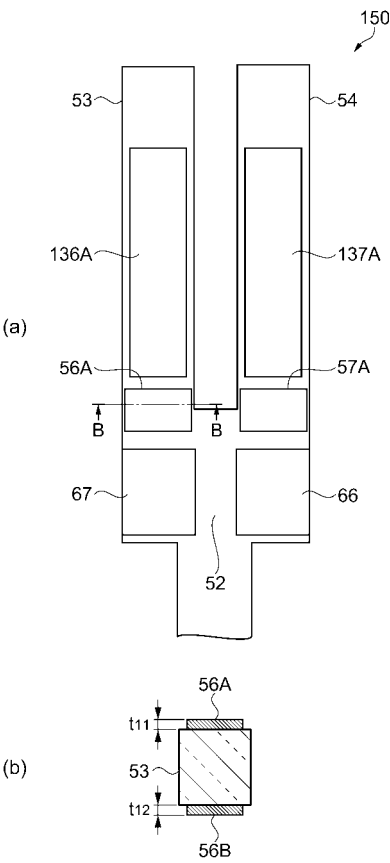
【 図 2 】



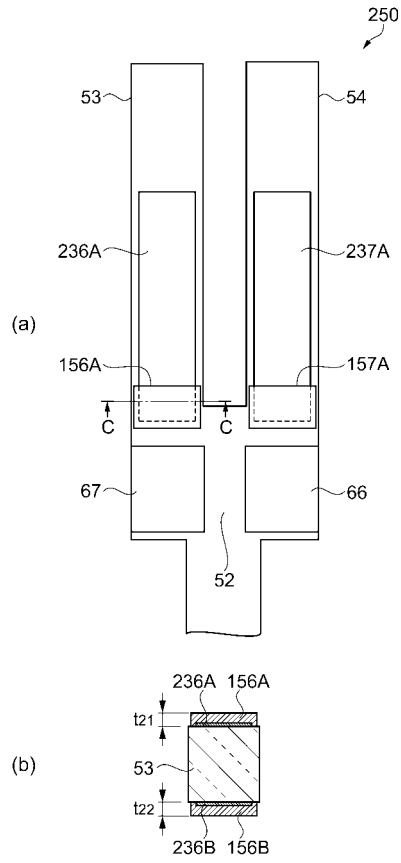
【 図 3 】

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

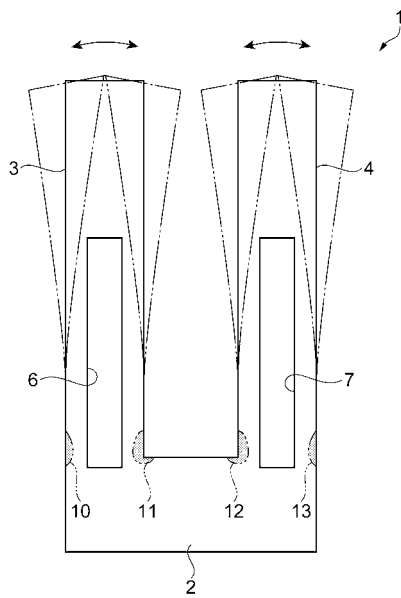
【 図 4 】



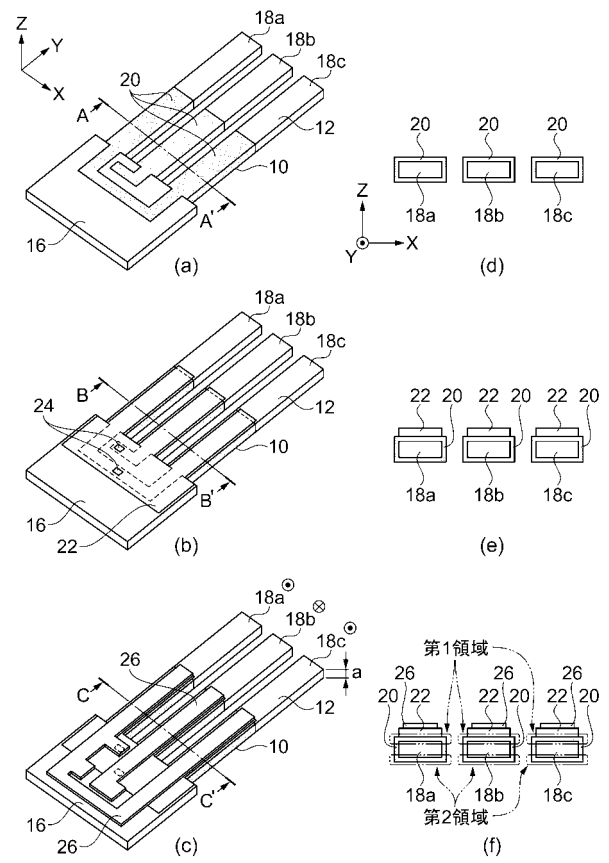
【図 5】



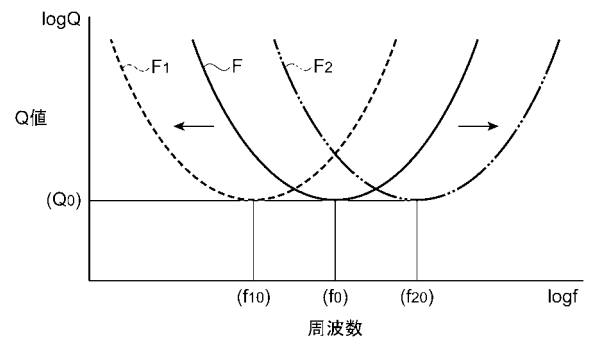
【図 7】



【図 6】



【図 8】



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 41/187 (2006.01)	H 0 1 L 41/18 1 0 1 D	
H 0 1 L 41/12 (2006.01)	H 0 1 L 41/18 1 0 1 B	
	H 0 1 L 41/18 1 0 1 Z	
	H 0 1 L 41/08 L	
	H 0 1 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 DD05 EE07 FF05 HH01 HH05 HH06

【要約の続き】

 $t_h (1/m) \times t_v \times (t_h / v)$ の関係を満たしている。

【選択図】図1