

(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2012-60418
(P2012-60418A)

(43) 公開日 平成24年3月22日(2012.3.22)

(51) Int.Cl.

H03H 9/145 (2006.01)
H03H 9/25 (2006.01)

F 1

H03H 9/145
H03H 9/25

テーマコード(参考)

Z 5 J 0 9 7
C

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号
(22) 出願日特願2010-201749 (P2010-201749)
平成22年9月9日(2010.9.9)(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 100098062
弁理士 梅田 明彦
(74) 代理人 100095728
弁理士 上柳 雅善
(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 山中 國人
東京都日野市日野421-8 エプソント
ヨコム株式会社内
F ターム(参考) 5J097 AA13 AA21 AA24 BB02 DD04
DD28 GG02 KK07 KK09

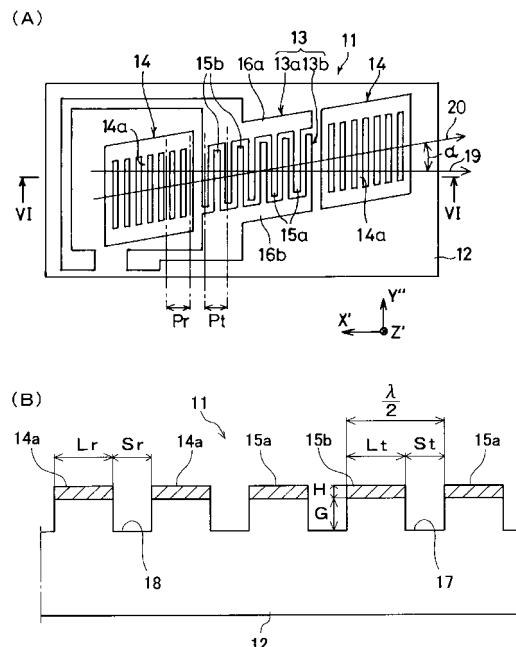
(54) 【発明の名称】弹性表面波デバイス、電子機器及びセンサー装置

(57) 【要約】

【課題】動作温度範囲で優れた周波数温度特性と高いQ値とを同時に実現するSAWデバイスを提供する。

【解決手段】SAWデバイス11は、オイラー角(-1.5°, 1.5°, 117°, 142°, 42.79°, 49.57°)の水晶基板12の正面に、ストップバンド上端モードのSAWを励振するIDT13、その両側に配置した一対の反射器14、IDTの電極指15a, 15b間に凹設した電極指間溝17、及び反射器の導体ストリップ14a間に凹設した導体ストリップ間溝18を有する。電極指及び導体ストリップに直交する第1の方向(X'軸)と水晶基板の電機軸(X軸)とが角度 α をもって交差し、IDT及び反射器の少なくとも一部が、1.0°, 2.75°の角度をもって第1の方向と交差する第2の方向に配置される。

【選択図】図6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

オイラー角 (-1.5°, 1.5°, 117°, 142°, 42.79°, 49.57°) の水晶基板と、

前記水晶基板の正面に設けられた複数の電極指からなり、ストップバンド上端モードの弹性表面波を励振する I D T と、

前記弹性表面波の伝播方向に沿って前記 I D T を挟むようにその両側に配置した、それ複数の導体ストリップからなる一対の反射器と、

前記 I D T の隣り合う前記電極指間の前記水晶基板の表面に凹設した電極指間溝と、

前記反射器の隣り合う前記導体ストリップ間の前記水晶基板の表面に凹設した導体ストリップ間溝とを有し、

前記弹性表面波の波長 λ と前記電極指間溝の深さ G とが、 $0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda$ の関係を満足し、

前記 I D T のライン占有率 η と前記電極指間溝の深さ G とが、

【数 8】

$$-2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{ただし } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda$$

及び、

【数 9】

$$-3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{ただし } 0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda$$

の関係を満足し、

前記電極指及び前記導体ストリップに直交する第 1 の方向と前記水晶基板の電機軸とのなす角度が前記オイラー角 θ であり、

前記 I D T 及び反射器の少なくとも一部が、前記第 1 の方向と角度 θ をもって交差する第 2 の方向に配置され、かつ前記角度 θ が $1.0^\circ \sim 2.75^\circ$ の範囲内にあることを特徴とする弹性表面波デバイス。

【請求項 2】

前記角度 θ と前記オイラー角 θ とが、 $\theta = 1.06^\circ + 43.69^\circ + 0.05^\circ$ の関係を満足することを特徴とする請求項 1 記載の弹性表面波デバイス。

【請求項 3】

前記 I D T のライン占有率 η が、

【数 7】

$$\begin{aligned} \eta = & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ & - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \\ & - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \end{aligned}$$

ことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の弹性表面波デバイス。

【請求項 4】

前記電極指間溝の深さ G と前記電極指の膜厚 H との和が、 $0.0407\lambda \leq G + H \leq 0.0695\lambda$ を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか記載の弹性表面波デバイス。

【請求項 5】

前記 I D T を駆動するための I C を更に有することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか記載の弹性表面波デバイス。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか記載の弹性表面波デバイスを備えることを特徴とする電子機器。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 5 のいずれか記載の弹性表面波デバイスを備えることを特徴とするセンサ

10

20

30

40

50

ー 装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、弹性表面波 (surface acoustic wave: SAW) を利用した共振子、発振器等の弹性表面波デバイス、 SAWデバイスを備えた電子機器及びセンサー装置に関する。

【背景技術】

【0002】

SAWデバイスは、例えば携帯電話、ハードディスク、パーソナルコンピューター、BS及びCS放送の受信チューナー、同軸ケーブルまたは光ケーブル中を伝播する高周波信号や光信号の処理機器、広い温度範囲で高周波・高精度クロック（低ジッタ、低位相雑音）を必要とするサーバー・ネットワーク機器、無線通信用機器等の電子機器や、圧力センサー、加速度センサー、回転速度センサー等の各種センサー装置に広く利用されている。これらの機器・装置は、特に最近の情報通信の高速化によるリファレンスクロックの高周波化や装置筐体の小型化に伴い、装置内部での発熱の影響が大きくなっている。そのため、装置内部に搭載される電子デバイスは、動作温度範囲の拡大や高精度化が要求され、例えば屋外に設置される無線基地局のように低温から高温まで温度変化の激しい環境下で長期に亘って安定した動作が必要となっている。

【0003】

一般に SAW共振子等の SAWデバイスにおいて、周波数温度特性の変化には、SAWのストップバンドや使用する水晶基板のカット角、基板上に形成されるIDT (interdigital transducer: すだれ状トランステューサ) の形態等が大きい影響を及ぼす。例えば、SAWの1波長当たり3本の電極指で構成される単位区間を圧電基板上に繰り返し配列したIDTを有し、SAWのストップバンドの上端モード、下端モードのそれぞれを励起させる反射反転型 SAW変換器が提案されている（例えば、特許文献1を参照）。この反射反転型 SAW変換器により SAWフィルタを構成すれば、通過帯域近傍の高域側阻止域において高減衰量が実現できるとされている。

【0004】

また、オイラー角 (, ,) = (0°, 123°, 0°) の所謂 STカット水晶基板を用いた反射反転型 SAW変換器が知られている（例えば、特許文献2を参照）。同特許文献には、ストップバンドの上端の共振を励振させることができ、ストップバンドの下端の共振を用いる場合よりも周波数温度特性が向上すると記載されている。更に、SAWにおけるストップバンドの上端モードの方が、ストップバンドの下端モードよりも周波数温度特性が良好であると報告されている（例えば、特許文献3～6を参照）。

【0005】

特に特許文献3、4には、レイリー波を利用した SAW装置において良好な周波数温度特性を得るために、水晶基板のカット角を調整すると共に、IDT電極の基準化膜厚 (H /) を0.1程度まで厚くすることが記載されている。特許文献3に記載の SAW共振子は、オイラー角 (, ,) = (= 0°, 0°, 180°, 0° < | | < 90°) の水晶基板上に、SAWの1波長当たり2本の電極指で構成される単位区間を繰り返し配列したシングル型IDT電極を有する。これにより、レイリー波をストップバンドの上限モードで励振させ、それを利用して SAW共振子の高周波化と良好な周波数温度特性を実現することができる。

【0006】

特許文献4には、前記シングル型IDT電極を有する SAW装置において、水晶基板をオイラー角 (, ,) = (= 0°, 110°, 140°, 38°, | | 44°) に設定し、IDT電極の厚みH、IDT電極における電極指の幅d、IDT電極における電極指間のピッチP、及び SAWの波長λにより規定される基準化電極膜厚 (H /) と基準化電極幅 (= d / P) との関係を、

H / 0.1796³ - 0.4303² + 0.2071 + 0.0682

10

20

30

40

50

に設定することが開示されている。これによって、レイリー波をストップバンドの上限モードで励振させ、良好な周波数温度特性を実現することができる。

【0007】

特許文献5には、オイラー角(, ,) = (0°, , 9° < | | < 46°)、好ましくは(0°, 95° < | | < 155°, 33° < | | < 46°)の水晶基板上にシングル型IDT電極を配置し、基準化電極膜厚(H /)を0.045 H / 0.085としたSAW素子が開示されている。これによって、レイリー波をストップバンドの上限モードで励振させ、良好な周波数温度特性を実現することができる。

【0008】

特許文献6には、オイラー角(, ,) = (0° 123°, 43.2°)の面内回転STカット水晶基板上に前記シングル型IDT電極を配置し、その基準化電極膜厚(H /)をH / = 0.06、所謂6%とすることによって、レイリー波をストップバンドの上限モードで励振させるSAW素子が開示されている。更にこのSAW素子は、IDT電極の電極指幅L_tと電極指ピッチP_tとにより規定される標準化電極幅(= L_t / P_t)を、0.5 0.7に設定することによって、常温(25)において最大830 ppmの周波数偏差を実現することができる。

【0009】

他方、IDTを構成する電極指間及び反射器を構成する導体ストリップ間の水晶基板表面にグループ即ち溝を形成したSAW共振器が知られている(例えば、特許文献7及び非特許文献1を参照)。特許文献7には、STカットX伝搬水晶基板にIDT及び反射器のアルミ電極で構成し、かつ水晶基板表面のIDTを構成する電極指間及び反射器を構成する導体ストリップ間に露出した領域に溝を形成することにより、Q値が高く容量比が低くなり、共振抵抗の低いSAW共振器を実現できることが開示されている。更に同特許文献には、IDTの溝と反射器の溝とを同じ深さにした構造、及び反射器の溝をIDTの溝より深くした構造が記載されている。

【0010】

非特許文献1には、STカット水晶基板を用いたグループ型SAW共振器の特性が記載されている。その周波数温度特性は、SAW伝搬基板の電極で覆われていない水晶面に形成した溝の深さにより変化すること、及び、溝が深くなるに従って、上向き凸の2次曲線の頂点温度T_pが低くなっていくことが報告されている。

【0011】

このように水晶等の圧電基板に溝を形成して実効膜厚を調整することによって周波数を調整する方法は、当業者によく知られている(例えば、特許文献8乃至11を参照)。特許文献8記載のSAWデバイスは、IDTを形成した圧電基板の表面を、該圧電基板のエッチングレートがIDTのエッチングレートより大きくなる条件でエッチングし、その周波数を下降させるように微調整する。特許文献9乃至11においても、同様に圧電基板の表面をその上に形成したIDTをマスクとしてドライエッチングすることにより、SAWデバイスの周波数を低域側へシフトさせている。

【0012】

更に、トランスバーサル型SAWフィルタにおいて、IDT電極の電極指間の圧電基板表面をエッチング加工して溝を形成することにより見かけ上伝搬速度を小さくすることが知られている(例えば、特許文献12を参照)。これによって、SAWフィルタの基本設計を変更せずに、IDT電極の電極指ピッチを小さくでき、チップの小型化を実現することができる。

【0013】

また、SSBW(Surface Skimming Bulk Wave)と呼ばれるすべり波を励振するSAW共振器において、回転Yカット、カットアングル-43°乃至-52°、すべり波伝搬方向をZ'軸方向(オイラー角(, ,) = (0°, 38° 47°, 90°))の水晶基板に、基準化電極膜厚(H /)が2.0 H / 4.0%のIDT電極をアルミで形成することにより、三次曲線の周波数温度特性を実現し得ることが知られている(例

10

20

30

40

50

えば、特許文献 13 を参照）。すべり波（S H 波）はその振動エネルギーを電極直下に閉じ込めて圧電基板の表面直下を伝搬するので、S A W が基板表面に沿って伝搬する S T カット水晶 S A W デバイスと比較して、反射器による S A W の反射効率が悪く、小型化及び高い Q 値を実現し難いという問題がある。

【0014】

この問題を解決するために、オイラー角（ α, β, γ ）=（ $0^\circ, -64^\circ < \gamma < -49.3^\circ, 85^\circ | 95^\circ$ ）の回転 Y カット水晶基板の表面に I D T とグレーティング反射器とを形成し、S H 波を励振する S A W デバイスが提案されている（例えば、特許文献 14 を参照）。この S A W デバイスは、S A W の波長 λ で基準化される電極膜厚 H_p を $0.04 < H_p < 0.12$ に設定することによって、小型化、高い Q 値及び優れた周波数安定性を実現している。

10

【0015】

更に、かかる S A W デバイスにおいて、電極膜厚が厚いことに起因して発生するストレスマイグレーションが原因となって Q 値や周波数安定性が劣化するという問題を解決するために、I D T の電極指間の水晶基板に溝を形成することが提案されている（例えば、特許文献 15 を参照）。この溝の深さを H_p 、I D T の金属膜の膜厚を H_m としたとき、S A W の波長 λ で基準化した電極膜厚 H_p を $0.04 < H_p < 0.12$ （ただし、 $H_p = H_p + H_m$ ）の範囲と設定することにより、金属膜の見掛け上の膜厚を薄くできるので、通電時のストレスマイグレーションによる周波数変動を抑圧し、Q 値が高く、周波数安定性の優れた S A W デバイスを実現できる。

20

【0016】

S A W デバイスの量産過程では、水晶基板の表面にエッティングで I D T の電極指を形成する際に、電極指の膜厚が厚いと、それに起因したサイドエッティングにより I D T のライン占有率（ラインスペース比）にばらつきを生じ易い。その結果、S A W デバイスの温度変化による周波数の変動量にばらつきが生じると、製品の信頼性、品質が損なわれる。この問題を解消するために、オイラー角（ α, β, γ ）=（ $0^\circ, 95^\circ | 155^\circ, 33^\circ | 46^\circ$ ）の面内回転 S T カット水晶基板を採用し、S A W のストップバンドの上限モードを励振させ、I D T の電極指間の水晶基板表面に電極指間溝を形成した S A W デバイスが知られている（例えば、特許文献 16 を参照）。

30

【0017】

また、S A W デバイスの周波数温度特性が動作温度範囲において二次曲線の場合、周波数変動幅の極小化や変曲点を実現することは困難である。そこで、三次曲線の周波数温度特性を得るために、L S T カットの水晶基板に空隙層と誘電体膜とを介して I D T 電極を形成し、漏洩型 S A W を励振させるようにした S A W 装置が提案されている（例えば、特許文献 17 を参照）。同特許文献には、レイリー波を用いた S A W 装置において、三次曲線で示されるような周波数温度特性を実現するカット角の水晶基板は発見できなかったことが記載されている。

【0018】

他方、S T カット水晶板を圧電基板に使用しつつ水晶の結晶軸の電気軸（X 軸）方向を S A W の伝搬方向とした高周波フィルター用の S A W 共振子は、周波数温度特性の 2 次温度係数が比較的大きく、動作温度範囲を広くすると周波数変化が大きくなる。そこで、周波数温度特性を劣化させることなく Q 値を高くするために、I D T と反射器とを S A W の位相速度の方向に対して傾斜させた方向に沿って配置した傾斜型 I D T 構造の S A W 共振子が提案されている（例えば、特許文献 18 を参照）。

40

【0019】

この傾斜型 I D T 構造は、S A W の位相速度の方向と S A W エネルギーの伝搬方向とをカバーするように I D T と反射器とを配置することにより、S A W エネルギーの閉じ込め効果を高めている。更に特許文献 18 記載の S A W 共振子は、オイラー角表示で（ $0^\circ, 122^\circ | 127^\circ, 40^\circ | 44^\circ$ ）の面内回転 S T カット水晶基板を使用することによって、周波数温度特性を大幅に改善している。

50

【0020】

図15は、この傾斜型IDT構造のSAW共振子の典型例を示している。同図のSAW共振子51は、上述した面内回転STカット水晶基板からなる矩形の水晶基板52と、その正面にそれぞれ形成したIDT53と1対の反射器54, 54とを有する。IDT53は、それぞれ複数の電極指55a, 55bからなりかつそれらの基端部をバスバーで接続した1対の櫛歯状電極53a, 53bを有する。反射器54, 54は、SAWの伝搬方向に沿ってIDT53の両側に該IDTを挟むように配置され、それぞれ一定のピッチで配列された複数の導体ストリップ54a, 54aを有する。

【0021】

電極指55a, 55b及び導体ストリップ54a, 54aは、その延長方向がSAWの位相の伝搬方向である水晶基板52のX'軸56と直交する向きに形成されている。更に前記電極指及び導体ストリップは、X'軸56から角度傾斜させた方向57に沿って配置されている。この角度は、SAWエネルギーの伝搬方向であるパワーフロー角(PFA)と一致するように又はPFA±1°程度以内に設定される。これによって、IDT53からPFAの方向に沿って伝搬するSAWのエネルギーは、反射器54, 54により反射されて効率良く閉じ込めることができ、高いQ値が得られる。

10

【0022】

特に、図15に示すように、導体ストリップ54a, 54aのPFAに直交する方向の幅Wrを、電極指55a, 55bのPFAに直交する方向の幅Wtと同じにすることによって、前記反射器からのSAWエネルギーの漏れをより少なくすることができる。別の実施例では、前記導体ストリップの幅Wrを前記電極指の幅Wtより広げることによって、PFAの方向に沿って伝搬するSAWエネルギーのほとんどを前記反射器により反射し、閉じ込め効果を向上させることができる。

20

【0023】

また、面内回転STカット水晶基板のPFAは、SAWの位相速度と水晶板の面内回転角とから算出されることが従来知られている。しかしながら、特許文献18記載のSAW共振子は、発生したSAWの正確な位相速度が求められていないので、実際にIDTと反射器とを、SAWのエネルギーの伝搬方向である群速度の方向即ち波群(波束)が伝搬する方向に沿って配置できるかが不明であった。そこで、本願出願人は、面内回転STカット水晶基板のPFAが水晶の電気軸であるX軸周りの回転角に依存していることを見出し、IDTと反射器とをSAWの群速度の方向に沿って確実に配置できるようにした傾斜型IDT構造のSAW素子片を提案している(例えば、特許文献19を参照)。

30

【0024】

図16は、このSAW素子片の典型例を示している。同図のSAW素子片61は、オイラー角(0°, 113°, 135°, 40°, |, |, 49°)の面内回転STカット水晶基板からなる矩形の水晶基板62と、その正面にそれぞれ形成したIDT63と1対の反射器64, 64とを有する。図15のSAW共振子51と同様に、IDT63は、それぞれ複数の電極指65a, 65bからなり、かつそれらの基端部をバスバーで接続した1対の櫛歯状電極63a, 63bを有する。反射器64, 64は、SAWの伝搬方向に沿ってIDT63の両側に該IDTを挟むように配置され、それぞれ一定のピッチで配列された複数の導体ストリップ64a, 64aを有する。

40

【0025】

電極指65a, 65b及び導体ストリップ64a, 64aは、その延長方向がSAWの位相速度の方向66即ちX'軸と直交する向きに形成されている。SAWの位相速度の方向66とSAWの群速度の方向67とがなすパワーフロー角(PFA)は、オイラー角の1次関数であり、 $PFA = 0.374(-90°) - 10.0°$ の関係式により求められる。前記電極指及び導体ストリップは、SAWの位相速度の方向66に対してPFA±3°傾斜させた方向に沿って配置される。このようにしてIDT63及び反射器64, 64を確実にSAWの群速度の方向に沿って配置することによって、SAWの波群を前記反射器で効率よく反射でき、Q値を高めることができる。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0026】

【特許文献1】特許第3266846号公報

【特許文献2】特開2002-100959号公報

【特許文献3】特開2006-148622号公報

【特許文献4】特開2007-208871号公報

【特許文献5】特開2007-267033号公報

【特許文献6】特開2007-300287号公報

【特許文献7】特公平2-7207号(特開昭57-5418号)公報

10

【特許文献8】特開平2-189011号公報

【特許文献9】特開平5-90865号公報

【特許文献10】特開平1-231412号公報

【特許文献11】特開昭61-92011号公報

【特許文献12】特開平10-270974号公報

【特許文献13】特公平1-34411号公報

【特許文献14】再公表WO2005/099089A1公報

【特許文献15】特開2006-203408号公報

【特許文献16】特開2009-225420号公報

20

【特許文献17】特許第3851336号公報

【特許文献18】特許第3216137号公報

【特許文献19】特開2005-204275号公報

【非特許文献】

【0027】

【非特許文献1】グループ形S A W共振器の製造条件と特性(電子通信学会技術研究報告MW82-59(1982))

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0028】

上述したように、S A Wデバイスの周波数温度特性には多くの要素が関係しており、その改善を図るために様々な工夫が行われている。特に、レイリー波を用いたS A Wデバイスは、I D Tを構成する電極指の膜厚を厚くすることが周波数温度特性の向上に寄与すると考えられている。単にI D Tの電極膜厚を厚くするだけでは、通電時のストレスマイグレーションや、I D T形成時のサイドエッティングに起因したライン占有率の変動による周波数安定性の劣化等の問題が生じる。その対応策としては、水晶基板表面のI D Tの電極指間に溝を形成することにより、電極膜厚を薄くしながらその実効膜厚を大きくして周波数の変動を抑制することが有効である。

30

【0029】

しかしながら、上述したS A Wデバイスは、漏洩型S A Wを励振させる特許文献13のS A W装置を除いて、いずれも動作温度範囲における周波数温度特性が二次曲線で示されるので、周波数変動幅を十分に小さくしたり変曲点を実現し得るまでは至っていない。そのため、最近のS A Wデバイスに対する動作温度範囲の拡大や高精度化、温度変化の激しい環境下における長期の動作安定性等の要求に十分に対応することができない。

40

【0030】

そこで本発明は、上述した従来の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、動作温度範囲において周波数変動量が極めて小さい優れた周波数温度特性を発揮し、温度が大きく変動するような環境下でも安定して動作する優れた耐環境特性を有し、高いQ値を実現し得る、共振子、発振器等のS A Wデバイスを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0031】

50

本願発明者は、上記目的を達成するために、面内回転S Tカット水晶基板を採用し、その表面にストップバンドの上端モードでS A Wを励振するI D Tを形成し、かつI D Tを構成する電極指間の水晶基板表面を凹設して溝を形成したS A W共振子において、S A Wの波長、溝の深さG、I D Tの電極膜厚H、その電極指のライン占有率等のパラメータと周波数温度特性との関係を検証した。その結果、動作温度範囲において、周波数変動幅の極小化及び変曲点を実現し得る新規なS A W共振子を案出した。

【0032】

この新規な実施形態のS A W共振子（以下、本実施形態のS A W共振子という）は、その第1の態様において、オイラー角（-1.5° 1.5° 117° 142°, 42.79° | | 49.57°）の水晶基板上に設けられ、ストップバンド上端モードのS A Wを励振するI D Tと、該I D Tを構成する電極指間に位置する水晶基板を窪ませた電極指間溝を有し、

S A Wの波長を、電極指間溝の深さをGとした場合に、0.01 λ $\leq G \leq 0.05 \lambda$ の関係を満たし、

かつ、I D Tのライン占有率をとした場合に、電極指間溝の深さGとライン占有率とが

【数1】

$$-2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{ただし } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda$$

… (1)、及び

【数2】

$$-3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{ただし } 0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda$$

… (2)

の関係を満たすことを特徴とする。

【0033】

本実施形態のS A W共振子は、第2の態様において、前記第1の態様に加えて、電極指間溝の深さGが、0.01 λ $\leq G \leq 0.0695\lambda$ の関係を満たすことを特徴とする。電極指間溝の深さGをこの範囲に設定することによって、動作温度範囲内（例えば、-40 ~ +85）における周波数変動量を小さく抑制でき、かつ電極指間溝の深さに製造上のばらつきが生じても、個々のS A W共振子間における共振周波数のシフト量を補正可能な範囲に抑えることができる。

【0034】

更に本実施形態のS A W共振子は、第3の態様において、前記第1又は第2の態様に加えて、I D Tの電極膜厚をHとした場合に、 $0 < H \leq 0.035\lambda$ の関係を満たすことを特徴とする。これにより、動作温度範囲内で良好な周波数温度特性が実現され、電極膜厚を大きくしたときに生じ得る耐環境特性の劣化が予め防止される。

【0035】

また、本実施形態のS A W共振子は、第4の態様において、前記第3の態様に加えて、ライン占有率が、

【数3】

$$\begin{aligned} \eta = & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ & - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \\ & - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \end{aligned}$$

… (3)

の関係を満たすことを特徴とする。これにより、周波数温度特性の二次温度係数を小さく抑制することができる。

【0036】

10

20

30

40

50

更にまた、本実施形態の SAW 共振子は、第 5 の態様において、前記第 3 又は第 4 の態様に加えて、電極指間溝の深さ G と電極膜厚 H との和が、0.0407 G + H の関係を満たすことを特徴とする。これにより、電極指間に溝を設けずにストップバンドの下端モードの共振を用いた従来の場合よりも高い Q 値が得られる。

【0037】

図 1 は、本実施形態の SAW 共振子の典型例を示している。図 1 (A) に示すように、本実施形態の SAW 共振子 1 は、矩形の水晶基板 2 と、該水晶基板の正面にそれぞれ形成された IDT 3 と 1 対の反射器 4, 4 とを有する。

【0038】

水晶基板 2 には、オイラー角 (-1.5°, 1.5°, 117°, 142°, 42.79°, |, 49.57°) で表される面内回転 ST カット水晶基板を使用する。ここで、オイラー角について説明する。オイラー角 (0°, 0°, 0°) で表される基板は、Z 軸に垂直な正面を有する Z カット基板となる。ここで、オイラー角 (, ,) の は Z カット基板の第 1 の回転に関するものであり、Z 軸を回転軸とし、+X 軸から +Y 軸側へ回転する方向を正の回転角度とした第 1 回転角度である。オイラー角の は Z カット基板の第 1 の回転後に行う第 2 の回転に関するものであり、第 1 の回転後の X 軸を回転軸とし、第 1 の回転後の +Y 軸から +Z 軸へ回転する方向を正の回転角度とした第 2 の回転角度である。圧電基板のカット面は、第 1 回転角度 と第 2 回転角度 とで決定される。オイラー角の は Z カット基板の第 2 の回転後に行う第 3 の回転に関するものであり、第 2 の回転後の Z 軸を回転軸とし、第 2 の回転後の +X 軸から第 2 の回転後の +Y 軸側へ回転する方向を正の回転角度とした第 3 回転角度である。SAW の伝搬方向は、第 2 の回転後の X 軸に対する第 3 回転角度 で表される。

【0039】

面内回転 ST カット水晶基板は、図 2 に示すように、水晶の直交する 3 つの結晶軸、即ち電気軸、機械軸及び光学軸をそれぞれ X 軸、Y 軸及び Z 軸で表したとき、Y 軸に垂直な XZ 面 5a を、X 軸を回転軸として +Z 軸から -Y 軸方向に角度 ' (°) 回転させた、座標軸 (X, Y', Z') の Y' 軸に垂直な XZ' 面を有するウエーハ 5 から切り出される。水晶基板 2 は、更に Y' 軸を回転軸として +X 軸から +Z' 軸方向を正として角度 + (又は -) (°) 回転させた新たな座標軸 (X', Y', Z") に沿ってウエーハ 5 から切り出して個片化される。このとき、水晶基板 2 はその長辺 (又は短辺) を X' 軸方向又は Z" 軸方向のいずれに沿って配置してもよい。尚、角度 ' とオイラー角における とは、' = -90° の関係にある。

【0040】

IDT 3 は、それぞれ複数の電極指 6a, 6b からなり、かつそれらの基端部をバスバー 7a, 7b で接続した 1 対の櫛歯状電極 3a, 3b を有する。各電極指 6a, 6b は、その延長方向が前記 IDT により励振される SAW の伝搬方向 X' と直交する向きに配置されている。一方の櫛歯状電極 3a の電極指 6a と他方の櫛歯状電極 3b の電極指 6b とは、交互にかつ所定の間隔を開けて一定のピッチで配列されている。図 1 (B) に示すように、電極指 6a, 6b 間に露出する水晶基板 2 の表面には、該表面をエッチング等で削除することによって、それぞれ一定深さの電極指間溝 8 が凹設されている。

【0041】

1 対の反射器 4, 4 は、SAW の伝搬方向 X' に沿って IDT 3 の外側に該 IDT を両側から挟むように配置されている。各反射器 4 は、それぞれ SAW の伝搬方向 X' に一定のピッチで配列された複数の導体ストリップ 4a, 4a を有する。前記各導体ストリップは、IDT 3 の前記各電極指と同様に、その延長方向が SAW の伝搬方向 X' と直交する向きに配置されている。図 1 (B) に示すように、導体ストリップ 4a, 4a 間に露出する水晶基板 2 の表面には、該表面をエッチング等で削除することによって、それぞれ一定深さの導体ストリップ間溝 9 が凹設されている。

【0042】

本実施形態において、電極指 6a, 6b 及び導体ストリップ 4a, 4a は、例えば A 1 50

や A 1 を主体とする合金を用いた金属膜で同じ膜厚 H に形成され、総称して電極指といふこともできる。電極指間溝 8 と導体ストリップ間溝 9 とは、同じ深さ G に形成される。IDT 3 の最も外側の電極指 6 a (又は 6 b) とそれに隣り合う反射器 4 , 4 の前記導体ストリップとの間も、同様に水晶基板表面を削除して、前記導体ストリップ間溝と同じ深さの溝が凹設されている。

【 0 0 4 3 】

このように構成した SAW 共振子 1 は、水晶基板 2 の X ' 軸方向及び Y ' 軸方向の両方に振動変位成分を有する Rayleigh 型 (レイリー型) の SAW を励起する。上述したオイラー角の水晶基板 2 は、SAW の伝播方向が水晶の結晶軸である X 軸からずれているので、ストップバンド上端モードの SAW を励起することが可能である。

10

【 0 0 4 4 】

尚、上述した水晶基板 2 のオイラー角 (, ,) は、次のようにして選択した。一般に SAW 共振子の周波数温度特性は、次式で表される。

$$f = \alpha \times (T - T_0) + \beta \times (T - T_0)^2$$

ここで、 f は温度 T と頂点温度 T_0 間の周波数変化量 (ppm) 、 α は 1 次温度係数 (ppm /) 、 β は 2 次温度係数 (ppm / 2) 、 T は温度、 T_0 は周波数が最大となる温度 (頂点温度) である。2 次温度係数 β の絶対値を最小に、好ましくは 0.01 (ppm / 2) 以下に、より好ましくは略零になるように設定して、周波数温度特性が三次曲線を示すようにすれば、広い動作温度範囲でも周波数変動量を小さくして高い周波数安定性が得られる。

20

【 0 0 4 5 】

先ず、水晶基板 2 のオイラー角を (0 ° , 123 ° ,) とし、 $\beta = \pm 0.01$ (ppm / 2) となるライン占有率 α が得られるときのオイラー角 θ と電極指間溝の深さ G との関係をシミュレーションした。ここで、オイラー角 θ は、二次温度係数 β の絶対値が 0.01 (ppm / 2) となるように適宜選択した。その結果、上記条件下で二次温度係数 β を -0.01 $\leq \beta \leq +0.01$ にし得るオイラー角 θ の範囲を 43 ° < θ < 45 ° と定めることができた。

【 0 0 4 6 】

尚、IDT 3 のライン占有率 α は、図 1 (C) に示すように、電極指幅 L を電極指ピッチ $P / 2$ ($= L + S$) で除した値である。また、図 1 (D) は、IDT 3 の電極指 6 a 、6 b 及び電極指間溝 8 をフォトリソグラフィ技法とエッチング技法とにより製造したときに形成されるであろう台形状の断面において、IDT 3 のライン占有率 α を特定する方法を説明するためのものである。この場合、ライン占有率 α は、電極指間溝 8 の底部から該電極指間溝の深さ G と電極膜厚 H との合計値 (G + H) の 1 / 2 となる高さにおいて測定した電極指幅 L と電極指間溝幅 S とに基づいて算出する。

30

【 0 0 4 7 】

次に、水晶基板 2 をカット角及び SAW 伝搬方向をオイラー角表示で (0 , ,) とし、電極指間溝の深さ G を 0.04 、電極指の膜厚 H を 0.02 、ライン占有率 α を上記 (3) 式に従って 0.6383 として、オイラー角 θ に関する二次温度係数 β の変化をシミュレーションした。ここで、オイラー角 θ は上述した 43 ° < θ < 45 ° の範囲内で、角度 θ の設定角度に基づいて二次温度係数 β の絶対値を最小とするように適宜選択した。その結果、オイラー角 θ が 117 ° $\leq \theta \leq 142 °$ の範囲内にあれば、電極指の膜厚 H 、電極指間溝の深さ G 、及びライン占有率 α を変化させても、二次温度係数 β の絶対値が 0.01 (ppm / 2) の範囲内にあることを確認した。

40

【 0 0 4 8 】

次に、水晶基板 2 をオイラー角表示で (, 123 ° , 43.77 °) とし、電極指間溝の深さ G を 0.04 、電極指の膜厚 H を 0.02 、ライン占有率 α を 0.65 として、オイラー角 θ に関する二次温度係数 β の変化をシミュレーションした。その結果、オイラー角 θ が -1.5 ° $\leq \theta \leq +1.5 °$ の範囲内にあれば、二次温度係数 β の絶対値が 0.01 (ppm / 2) の範囲内にあることを確認した。

50

【0049】

更に、動作温度範囲 (-40 ~ +85) における周波数変動量が最小となる非常に望ましいオイラー角 θ との関係をシミュレーションにより求めた。この場合も、電極指間溝の深さ G 及び電極指の膜厚 H は、それぞれ $G = 0.04$ 、 $H = 0.02$ とした。その結果、オイラー角 θ は、上述したオイラー角 θ の範囲でその増加と共に三次曲線を描くように増加した。この関係は、次式で近似することができる。

【数4】

$$\psi = 1.19024 \times 10^{-3} \times \theta^3 - 4.48775 \times 10^{-1} \times \theta^2 + 5.64362 \times 10^1 \times \theta - 2.32327 \times 10^3 \pm 1.0$$

これにより、オイラー角 θ は、オイラー角 θ の下限値 $= 117^\circ$ において $= 42.79^\circ$ となり、上限値 $= 142^\circ$ において $= 49.57^\circ$ となる。従って、オイラー角 θ は、 117° ~ 142° の範囲で、 42.79° ~ 49.57° に設定することができる。

【0050】

このように水晶基板2のオイラー角を設定することによって、本実施形態のS A W共振子1は、2次温度係数の絶対値が 0.01 (ppm/ $^\circ$ C)以下の優れた周波数温度特性を実現することができる。

【0051】

本実施形態のS A W共振子1について、以下の条件で周波数温度特性をシミュレーションした。

- 本実施形態のS A W共振子1の基本データ

$H : 0.02$

$G : \text{変化}$

I D T ライン占有率 : 0.6

反射器ライン占有率 $r : 0.8$

オイラー角 : (0° , 123° , 43.5°)

I D T 対数 : 120

電極指交差幅 : 40 ($= 10 \mu\text{m}$)

反射器本数(片側あたり) : 60

電極指の傾斜角度 : なし

【0052】

このシミュレーション結果を図3に示す。同図から分かるように、周波数温度特性は動作温度範囲 (-40 ~ +85) において略3次曲線を示しており、周波数変動幅を 20 ppm以内という極めて小さな変動量に抑圧することできた。

【0053】

図3の周波数温度特性を示すS A W共振子1について、周波数、等価回路定数、及び静特性をまとめると、以下の表1になる。

【表1】

	$F(\text{MHz})$	Q	γ	$CI(\Omega)$	M
AVG	318.25	13285	2476	21.8	5.4

ここで、 F は周波数、 Q は Q 値、 γ は容量比、 CI は CI (クリスタルインピーダンス: Crystal Impedance) 値、 M は性能指数 (フィギュアオブメリット: Figure of Merit) である。

【0054】

S A W共振子1は、I D T 3のストップバンド上端の周波数 f_{t2} と、反射器4のストップバンド下端の周波数 f_{r1} 及びストップバンド上端の周波数 f_{r2} とが、 $f_{r1} < f_{t2} < f_{r2}$ の関係を満たすように設定するのが好ましい。図4は、周波数に関するI D T 3及び反射器4のS A W反射特性を示している。同図のように、周波数 f_{t2} を周波数 f_{r1} と周波数 f_{r2} との間に設定すると、周波数 f_{t2} において反射器4の反射係数がI D T 3の反射係数よ

10

20

30

40

50

りも大きくなる。その結果、I D T 3 から励振されたストップバンド上端モードの S A W は、反射器 4 から I D T 3 側により高い反射係数で反射されることになる。従って、S A W の振動エネルギーを効率良く閉じ込めることができ、低損失な S A W 共振子 1 を実現できる。

【 0 0 5 5 】

また、S A W 共振子 1 の Q 値について、電極指 6 a、6 b の高さ即ち膜厚 H と電極指間溝 8 の深さ G とにより形成される段差の大きさ (G + H) との関係をシミュレーションにより検証した。比較のため、電極指間に溝を設けずかつストップバンド上端モードの共振を用いる従来の S A W 共振子について、以下の条件で Q 値と電極指の高さ即ち膜厚との関係をシミュレーションした。

10

【 0 0 5 6 】

- 従来の S A W 共振子の基本データ

H : 変化

G : ゼロ (無し)

I D T ライン占有率 : 0 . 4

反射器ライン占有率 r : 0 . 3

オイラー角 (0 °, 123 °, 43 . 5 °)

I D T 対数 : 120

電極指交差幅 : 40 (= 10 μ m)

反射器本数 (片側あたり) : 60

20

電極指の傾斜角度 : なし

【 0 0 5 7 】

このシミュレーション結果を図 5 に示す。同図において、太線は本実施形態の S A W 共振子 1 を、細線は従来の S A W 共振子を示している。同図から分かるように、本実施形態の S A W 共振子 1 は、段差 (G + H) が 0 . 0407 (4 . 07 %) 以上の領域において、従来の S A W 共振子よりも高い Q 値を得ることができる。

【 0 0 5 8 】

更に、本実施形態の S A W 共振子においても、上述した傾斜型 I D T 構造を採用することによって、良好な周波数温度特性に加えて、Q 値、C I 値等の電気的特性を向上させ得ることが期待される。そこで、本願発明者は、本実施形態の S A W 共振子に傾斜型 I D T 構造を採用し、I D T 及び反射器を、電極指及び導体ストリップに直交する第 1 の方向第 1 の方向に対して、角度 をもって傾斜する第 2 の方向に配置した場合に、この傾斜角度 とオイラー角 との関係について更に検討を進めた。その結果、傾斜型 I D T 構造においても、広い動作温度範囲において優れた周波数温度特性と、良好な電気的特性即ち Q 値及び C I 値とを同時に実現し得ることを見出し、本発明を想到したものである。

30

【 0 0 5 9 】

本発明の S A W デバイスは、オイラー角 (-1 . 5 °, 1 . 5 °, 117 °

142 °, 42 . 79 ° | | 49 . 57 °) の水晶基板と、

該水晶基板の正面に設けられた複数の電極指からなり、ストップバンド上端モードの弾性表面波を励振する I D T と、

40

弾性表面波の伝播方向に沿って I D T を挟むようにその両側に配置した、それぞれ複数の導体ストリップからなる一対の反射器と、

I D T の隣り合う電極指間の水晶基板の表面に凹設した電極指間溝と、

反射器の隣り合う導体ストリップ間の水晶基板の表面に凹設した導体ストリップ間溝とを有し、

弾性表面波の波長 と電極指間溝の深さ G とが、 0 . 01 G の関係を満足し、

I D T のライン占有率 と電極指間溝の深さ G とが、

【 数 5 】

$$-2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{ただし } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda$$

50

及び、

【数6】

$$-3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{ただし } 0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda$$

の関係を満足し、

電極指及び導体ストリップに直交する第1の方向と水晶基板の電機軸とのなす角度がオイラー角 であり、

IDT及び反射器の少なくとも一部が、第1の方向と角度 をもって交差する第2の方向に配置され、かつこの角度 が 1.0° 2.75° の範囲内にあることを特徴とする。

10

【0060】

このようにIDT及び反射器を配置することによって、SAWの振動エネルギーを効率良く閉じ込めることができる。その結果、後述するように広い動作温度範囲において、上述したオイラー角の面内回転STカット水晶板からなる水晶基板と電極指間溝とにより得られる良好な周波数温度特性を維持しつつ、それと同時に高いQ値及び低C/I値の良好な電気的特性を実現し、発振安定性に優れたSAWデバイスを得ることができる。

【0061】

或る実施例では、角度 とオイラー角 とが、 $= 1.06 + 43.69^\circ + 0.05^\circ$ の関係を満足することによって、広い動作温度範囲において高いQ値及び低C/I値と共に、周波数変動量が極めて小さい優れた周波数温度特性を有するSAWデバイスを実現することができる。

20

【0062】

別の実施例では、IDTのライン占有率 が、

【数7】

$$\begin{aligned} \eta = & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ & - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \\ & - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \end{aligned}$$

を満足することにより、周波数温度特性の二次温度係数をより小さく抑制できるので、周波数変動量をより小さくしかつより優れた三次曲線の周波数温度特性が得られる。

30

【0063】

更に別の実施例では、電極指間溝の深さGと電極指の膜厚Hとの和が、 $0.0407 G + H$ を満足することにより、ストップバンド上端モードの共振を用いた場合に、IDTの電極指間に溝を設けずにストップバンド下端モードの共振を用いる従来のSAW共振子従来の場合よりも高いQ値が得られる。

【0064】

また、別の実施例では、IDTを駆動するための発振回路を更に有することにより、広い動作温度範囲で周波数変動量が極めて小さく、C/I値が低く、かつ発振安定性に優れたSAW発振器を得ることができる。

40

【0065】

本発明の別の側面によれば、上述した本発明のSAWデバイスを備え、それにより広い動作温度範囲で安定して良好な性能を発揮し得る電子機器、センサー装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0066】

【図1】(A)図は本実施形態のSAW共振子の構成を示す平面図、(B)図はその部分拡大縦断面図、(C)図は(B)図の部分拡大図、(D)図はフォトリソグラフィ及びエッチング技術により形成される(C)図の溝部の断面形状を示す図。

【図2】図1のSAW共振子の水晶基板を模式的に示す説明図。

【図3】図1のSAW共振子の周波数温度特性を示す線図。

50

【図4】図1のSAW共振子のIDT及び反射器のSAW反射特性を示す線図。

【図5】図1のSAW共振子の電極指間の段差とQ値との関係を示す線図。

【図6】(A)図は本発明によるSAWデバイスの第1実施例を示す平面図、(B)図はそのVI-VI線における部分拡大縦断面図。

【図7】実施例1の周波数温度特性を最適にするIDTの傾斜角とオイラー角との関係を示す線図。

【図8】実施例2のIDTの傾斜角=2°の場合の周波数温度特性を示す線図。

【図9】比較例のIDTの傾斜角=2°の場合の周波数温度特性を示す線図。

【図10】実施例1のIDTの傾斜角とQ値との関係を示す線図。

【図11-1】実施例2のIDTの傾斜角=0°の場合の動作温度範囲におけるQ値の変化を示す線図。 10

【図11-2】実施例2のIDTの傾斜角=1.0°の場合の動作温度範囲におけるQ値の変化を示す線図。

【図11-3】実施例2のIDTの傾斜角=1.5°の場合の動作温度範囲におけるQ値の変化を示す線図。

【図11-4】実施例2のIDTの傾斜角=2.0°の場合の動作温度範囲におけるQ値の変化を示す線図。

【図11-5】実施例2のIDTの傾斜角=2.5°の場合の動作温度範囲におけるQ値の変化を示す線図。

【図11-6】実施例2のIDTの傾斜角=3.0°の場合の動作温度範囲におけるQ値の変化を示す線図。 20

【図12】実施例2のIDTの傾斜角とQ値との関係を示す線図。

【図13】実施例1のIDTの傾斜角とCI値との関係を示す線図。

【図14】(A)図は本発明による第2実施例のSAW発振器を示す平面図、(B)図はそのXIV-XIV線における縦断面図。

【図15】傾斜型IDT構造の従来例を示す平面図。

【図16】傾斜型IDT構造の別の従来例を示す平面図。

【発明を実施するための形態】

【0067】

以下に、添付図面を参照しつつ、本発明の好適な実施例を詳細に説明する。尚、添付図面において、同一又は類似の構成要素には同一又は類似の参照符号を付して示す。 30

【0068】

図6(A)(B)は、本発明によるSAWデバイスの第1実施例であるSAW共振子の構成を示している。本実施例のSAW共振子11は、矩形の水晶基板12と、該水晶基板の正面にそれぞれ形成されたIDT13と1対の反射器14, 14とを有する。水晶基板12は、図1に関連して上述したSAW共振子1の水晶基板2と同じオイラー角(-1.5°, 1.5°, 117°, 142°, 42.79°, 49.57°)の面内回転STカット水晶板を使用する。

【0069】

IDT13は、それぞれ複数の電極指15a, 15bからなり、かつそれらの基端部をバスバー16a, 16bで接続した1対の櫛歯状電極13a, 13bを有する。電極指15a, 15b間に露出する水晶基板12の表面には、図6(B)に示すように、該表面をエッチング等で削除することによって、それぞれ一定深さの電極指間溝17が凹設されている。一方の櫛歯状電極13aの電極指15aと他方の櫛歯状電極13bの電極指15bとは、それらの延長方向と直交する向きに沿って交互にかつ所定の間隔を開けて一定のピッチPtで配列されている。 40

【0070】

1対の反射器14, 14は、SAWの伝搬方向に沿ってIDT13の両側に該IDTを挟むように配置されている。各反射器14は、それぞれ複数の導体ストリップ14a, 14aと有する。導体ストリップ(電極指)14a, 14a間に露出する水晶基板12の表 50

面には、図6(B)に示すように、該表面をエッティング等で削除することによって、それぞれ一定深さの導体ストリップ間溝18が凹設されている。前記各導体ストリップは、IDT13の前記各電極指と同様に、それらの延長方向と直交する向きに沿って一定のピッチPrで配列されている。

【0071】

前記電極指及び導体ストリップは、例えばA1やA1を主体とする合金を用いた金属膜で同じ膜厚Hに形成される。電極指間溝17と導体ストリップ間溝18とは、同じ深さGに形成される。各反射器14, 14の最も内側の前記導体ストリップとそれに隣り合うIDT13の最も外側の電極指15a(又は15b)との間も、同様に水晶基板表面を削除して、前記導体ストリップ間溝と同じ深さの溝が凹設されている。

10

【0072】

上述したオイラー角の面内回転STカット水晶板からなる水晶基板12は、水晶の結晶異方性のため、IDT13によりSAWを励振させたとき、水晶基板12のX'軸の方向であるSAWの位相速度の方向19と、SAWエネルギーの伝搬方向である群速度の方向20とが異なる。SAWの位相速度の方向19(X'軸)と水晶の電気軸(X軸)とのなす角度がオイラー角である。群速度の方向20は、位相速度の方向19に対して傾斜角をもって交差している。

【0073】

電極指15a, 15b及び導体ストリップ14a, 14aは、その延長方向が水晶基板12のX'軸即ちSAWの位相速度の方向19と直交するように形成されている。更に前記電極指及び導体ストリップは、群速度の方向20に沿って位相速度の方向19から角度傾斜させた向きに配置されている。このとき、導体ストリップ14a, 14aの群速度の方向20に直交する幅Wrを、電極指15a, 15bの群速度の方向20に直交する方向の幅Wtと同じに設定することによって、SAWエネルギーは反射器14, 14からの漏れを少なくし、効率良く閉じ込めることができる。

20

【0074】

別の実施例では、少なくともIDT13の電極指及び反射器14, 14の導体ストリップの一部が、群速度の方向20に沿って配置されていれば、SAWエネルギーの反射器14, 14からの漏れを少なくすることができます。また、別の実施例では、前記導体ストリップの幅Wrを前記電極指の幅Wtより広く設定する。これによって、群速度の方向20に沿って伝搬するSAWエネルギーのほとんどを反射器14, 14により反射し、閉じ込め効果を向上させることができる。

30

【0075】

本実施例の傾斜型IDT構造では、群速度の方向20と位相速度の方向19とのなす角度が、1.0°～2.75°の範囲内にあるように設定する。これにより、上述したオイラー角の面内回転STカット水晶板からなる水晶基板12及び電極指間溝17によって得られる良好な周波数温度特性を維持しつつ、高いQ値及び低インピーダンス化(低C/I値)を達成することができる。

【0076】

更に本実施例では、角度と水晶基板12のオイラー角とが、 $= 1.06 + 4.369 \pm 0.05$ °の関係を満足するように設定する。これにより、広い動作温度範囲において、高いQ値及び低C/I値と共に、周波数変動量が極めて小さい優れた周波数温度特性を発揮するSAW共振子を実現することができる。

40

【0077】

このように構成することによって、SAW共振子11は、水晶基板12のX'軸方向から角度傾斜した群速度の方向20及びY'軸方向の両方に振動変位成分を有するRayleigh型(レイリー型)のSAWを励起する。上述したオイラー角の水晶基板12を用いることによって、SAWの伝播方向が水晶の結晶軸であるX軸からずれているので、ストップバンド上端モードのSAWを励起することができる。

【0078】

50

図6(B)に示すように、IDT13のライン占有率₁は、電極指15a、15bの線幅をL_t、電極指間溝17の幅をS_tとして、₁ = L_t / (L_t + S_t)で表される。反射器14のライン占有率₂は、導体ストリップ14aの線幅をL_r、導体ストリップ間溝18の幅をS_rとして、₂ = L_r / (L_r + S_r)で表される。

【0079】

ここで、IDT13の電極指のピッチP_t及び反射器14の導体ストリップのピッチP_rについて説明する。交差する1対の櫛歯状電極13a, 13bの各電極指ピッチP_tと、電極指の線幅L_t及びb電極指間の幅(即ち、電極指間溝のSAW伝搬方向の幅)S_tとの関係は、L_t + S_t = d_tとしたとき、P_t = 2 × d_t = 2 × (L_t + S_t)となる。即ち、SAW伝搬方向に見て、隣り合う電極指13aと電極指13bとの中心間距離d_t(所謂、ラインアンドスペース)は、d_t = L_t + S_tとなる。従って、電極指ピッチP_t = 2 × d_t = となる。

【0080】

反射器14は、SAW伝搬方向に見て、隣り合う導体ストリップ14aの中心間距離d_rが、d_r = L_r + S_rとなる。この中心間距離d_rは、反射器14を伝搬するSAWの波長の1/2、即ちd_r = /2にする。従って、導体ストリップ14aのピッチP_rは、P_r = 2 × d_r = 2 × (L_r + S_r)となる。

【0081】

(実施例1)

SAW共振子11の仕様を次のように設定した。

水晶基板寸法: 5.0 × 1.5 (mm)

オイラー角: (0°, 123°, 45.8°)

IDT対数: 180

反射器本数(片側あたり): 78

【0082】

IDT13は次のように設計した。

SAW波長: 7.9 (μm)、

電極材料: A1

電極指膜厚H: 0.02 (2%) = 0.1580 (μm)

電極指ピッチP_t: /2 = 3.95 (μm)、

電極指線幅L_t: 0.625 P_t = 2.4688 (μm)

(ライン占有率: 0.625)

【0083】

反射器14は次のように設計した。

電極材料: A1

導体ストリップ膜厚H: 2% (0.02) = 0.1580 (μm)

導体ストリップピッチP_r: /2 = 3.95 (μm)、

導体ストリップ線幅: 0.625 P_r = 2.4688 (μm)

(ライン占有率: 0.625)

【0084】

電極指間溝17は次のように設計した。

深さ: 0.045 (4.5%) = 0.3555 (μm)

電極指実効膜厚: 0.065 (6.5%) = 0.5135 (μm)

【0085】

このように設計したSAW共振子11について、傾斜角が1.0 3.0の範囲で周波数温度特性の2次温度係数が最適となる傾斜角とオイラー角との関係をシミュレーションした。この結果を図7に示す。同図において、プロットした黒丸点を結ぶ実線は=0となる場合を示している。また同図において、プロットした黒丸点を結ぶ破線は、| 0.01となる場合の上限値を、プロットした三角形黒点を結ぶ破線はその下限値を示している。

10

20

30

40

50

【0086】

同図から、前記上限値を示す破線と下限値を示す破線との間に、実施例1のSAW共振子11について2次温度係数 $| - | = 0.01$ の良好な周波数温度特性を発揮し得る傾斜角 θ 及びオイラー角 ϕ の範囲が存在することを確認できた。同図において、 $\theta = 0$ となる傾斜角 θ とオイラー角 ϕ との関係を検証したところ、それらは次の条件式、

$$\theta = 1.06 + 43.69^\circ \dots (4)$$

を満足することが判明した。更に、 $| - | = 0.01$ となる傾斜角 θ とオイラー角 ϕ との関係を検証したところ、それらは次の条件式、

$$\theta = 1.06 + 43.69^\circ \pm 0.05^\circ \dots (5)$$

を満足することが判明した。

10

【0087】

次に、実施例1のSAW共振子11について、傾斜角 $\theta = 2^\circ$ として周波数温度特性をシミュレーションした。このとき、水晶基板12のオイラー角 $\phi = 45.8^\circ$ は、傾斜角 $\theta = 2^\circ$ において上記条件式(4)を満足している。この結果を図8に示す。同図に示すように、-40 ~ +85 の広い動作温度範囲において、周波数変動量が3次曲線で表される良好な周波数温度特性を有することが確認された。

【0088】

比較例として、水晶基板12のオイラー角 ϕ をIDTの傾斜角 θ と同じ角度 2° だけ回転させた $\phi = 45.69^\circ$ の場合について、周波数温度特性をシミュレーションした。この結果を図9に示す。同図に示すように、-40 ~ +85 の広い動作温度範囲において、周波数温度特性は、傾斜角 θ が 0° の場合、即ちIDT13が水晶基板のX'軸に対して傾斜していない従来のIDT構造よりも劣化している。このように本発明によれば、水晶基板12のオイラー角 ϕ を上記条件式(4)、(5)のように設定することによって、良好な周波数温度特性が得られる。

20

【0089】

更に、実施例1のSAW共振子11について、傾斜角 θ と-40 ~ +85 の広い動作温度範囲において最低値となるQ値との関係をシミュレーションした。その結果を図10に示す。同図において、傾斜角 θ が 0° の場合、即ちIDT13が水晶基板のX'軸に対して傾斜していない従来のIDT構造では、Q値が1500未満である。これに対し、傾斜角 θ が1.0 ~ 2.75の範囲では、Q値が1800を超えており、従来構造よりも大幅に改善されていることを確認できた。

30

【0090】

(実施例2)

上記実施例1において、反射器14の導体ストリップ線幅を $0.725\text{Pr} (= 2.8638\mu\text{m})$ 、ライン占有率を $r = 0.725$ に変更した。実施例2について、IDTの傾斜角 $\theta = 0^\circ, 1.0^\circ, 1.5^\circ, 2.0^\circ, 2.5^\circ, 3.0^\circ$ とした場合に、-40 ~ +85 の広い動作温度範囲におけるQ値の変化をシミュレーションした。その結果を図11-1乃至図11-6に示す。

【0091】

図11-2乃至図11-5から、傾斜角 $\theta = 1.0^\circ, 1.5^\circ, 2.0^\circ, 2.5^\circ$ の場合、Q値が動作温度範囲全体に亘って比較的安定して高い値を示すことが分かる。これに対し、傾斜角 $\theta = 0^\circ$ の場合、図11-1に示すように、低温側でQ値が低下している。傾斜角 $\theta = 3.0^\circ$ の場合、図11-6に示すように、低温側でQ値が著しく劣化している。実施例2の結果から、Q値の温度特性の観点から、1.0 ~ 2.5が傾斜角の最適範囲であることが判明した。

40

【0092】

次に、実施例2について、傾斜角 θ と-40 ~ +85 の広い動作温度範囲において最低値となるQ値との関係をシミュレーションした。この結果を図12に示す。同図に示すように、斜角 ϕ が 0° である従来のIDT構造の場合、Q値が1000未満である。これに対し、傾斜角 θ が1.0 ~ 2.75の範囲では、Q値が12800を超えてお

50

り、従来構造よりも大幅に改善されていることを確認できた。また、傾斜角 α が 3.0 の範囲では、Q 値が 10000 未満に低下している。このように本発明の SAW 共振子は、広い動作温度範囲で発振器として利用することができる。

【0093】

更に、傾斜角 $\alpha = -40^\circ \sim +85^\circ$ の広い動作温度範囲において最大となる C/I 値との関係をシミュレーションした。この結果を図 13 に示す。図 13 は、傾斜角 α が 0.0° である従来の IDT 構造の場合、C/I 値が 25 を超えているが、傾斜角 α が 1.0° 2.5 の範囲では、低い C/I 値が得られることを示している。一般に C/I 値は、Q 値に反比例することが知られているが、このシミュレーション結果は、本発明によって高 Q 値化と同時に低 C/I 値化を実現できることを示している。

10

【0094】

更に本願発明者は、傾斜角 $\alpha = 2.0^\circ$ の場合に、電極指膜厚 H、電極指間溝の深さ G、及びオイラー角 θ をパラメーターとして、周波数変動量が少ない 3 次曲線の優れた周波数温度特性と高い Q 値とを実現し得る IDT ライン占有率 r 、反射器ライン占有率 r' 、2 次温度係数と、その場合に得られる Q 値とを算出した。その結果を以下の表 2 に示す。

【表 2】

H/λ	G/λ	θ	η	ηr	傾斜角: α	二次温度係数: β	Q
%	%	°			°	ppm/°C ²	
2	4	117	0.625	0.725	2.0	-0.01	14910
		123	0.625	0.725	2.0	0.00	15030
		142	0.625	0.725	2.0	-0.01	14690

【0095】

一般に Q 値は、SAW エネルギーの閉じ込め効果によって略決定され、言い換えれば反射器の反射効率即ち反射器の構造（反射器本数、実効膜厚、電極線幅、密度等）によって決定される。従って、水晶基板のカット角、例えばオイラー角 θ を多少変化させても、Q 値にはほとんど影響しないはずである。表 2 から分かるように、オイラー角 θ を優れた周波数温度特性が得られる角度範囲内で 117°、123°、142° に変化させたが、 $r < r'$ において全ての場合に、2 次温度係数は $-0.01 \sim +0.01 \text{ ppm}/\text{°C}^2$ の良好な周波数温度特性が、Q 値は概ね 15000 の高い値が得られる。

20

【0096】

従って、本発明によれば、オイラー角 $\theta = 117^\circ \sim 142^\circ$ の範囲で良好な周波数温度特性と高い Q 値とを同時に実現できることが分かる。また、Q 値は、傾斜角 α を上述した最適範囲に設定することによって、電極指膜厚 H、電極指間溝の深さ G、オイラー角及びライン占有率に影響されることなく、改善できることが裏付けられた。

30

【0097】

本発明は、上述した本発明の SAW 共振子と発振回路とを組み合わせて構成される発振器にも適用することができる。図 14 (A)、(B) は、そのような本発明による SAW デバイスの第 2 実施例である SAW 発振器の典型例の構成を示している。本実施例の SAW 発振器 31 は、本発明による SAW 共振子 32 と、該 SAW 共振子を駆動制御する発振回路として IC (integrated circuit) 33 と、これらを収容するパッケージ 34 とを備える。SAW 共振子 32 及び IC 33 は、パッケージ 34 の底板 34a 上に表面実装されている。

40

【0098】

SAW 共振子 32 は、第 1 実施例の SAW 共振子 11 と同様の構成を有し、第 1 実施例と同じオイラー角で表示される水晶基板 35 と、その表面に形成された 1 対の櫛歯状電極 36a, 36b からなる IDT と 1 対の反射器 37, 37' とを有する。IC 33 の上面には、電極パッド 38a ~ 38f が設けられている。パッケージ 34 の底板 34a 上には、電極パターン 39a ~ 39g が形成されている。SAW 共振子 32 の櫛歯状電極 36a, 36b 及び IC 33 の電極パッド 38a ~ 38f は、それぞれボンディングワイヤ 40,

50

4 1 により対応する電極パターン 3 9 a ~ 3 9 g と電気的に接続されている。このように S A W 共振子 3 2 及び I C 3 3 を搭載したパッケージ 3 4 は、その上部に接合されたリッド 4 2 により気密に封止されている。

【 0 0 9 9 】

本実施例の S A W 発振器 3 1 は、本発明の S A W 共振子を備えることによって、広い動作温度範囲で周波数変動量が極めて小さい優れた周波数温度特性を有すると共に、高い Q 値を有するので、安定した発振動作が可能であり、更に低インピーダンス化による消費電力の低減を実現することができる。その結果、近年の情報通信の高速化に基づく高周波化及び高精度化の要求に対応し、低温から高温まで温度が大きく変動するような環境下でも長期に安定して動作する優れた耐環境特性を備えた S A W 発振器が得られる。

10

【 0 1 0 0 】

本発明は、上記実施例に限定されるものでなく、その技術的範囲内で様々な変形又は変更を加えて実施することができる。例えば、I D T の電極構造は、上記実施例以外に、公知の様々な構成を採用することができる。また、本発明は、上述した S A W 共振子、S A W 発振器以外の様々な S A W デバイスに同様に適用することができる。更に本発明の S A W デバイスは、例えば携帯電話、ハードディスク、パーソナルコンピューター、B S 及び C S 放送用の受信チューナー、同軸ケーブルや光ケーブル中を伝搬する高周波信号や光信号用の各種処理装置、広い温度範囲で高周波・高精度クロック（低ジッタ、低位相雑音）を必要とするサーバー・ネットワーク機器、無線通信用機器等の様々な電子機器、各種モジュール装置や、圧力センサー、加速度センサー、回転速度センサー等の各種センサー装置にも広く適用することができる。

20

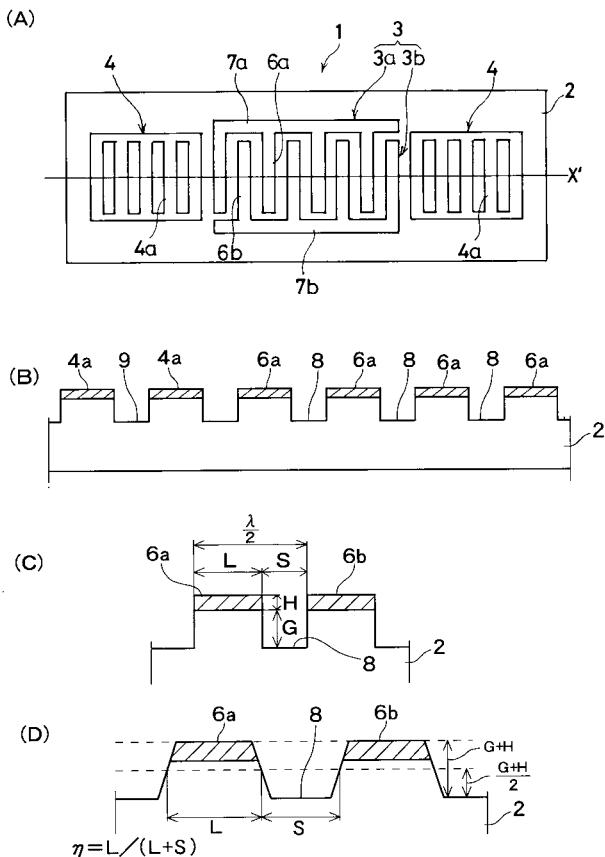
【 符号の説明 】

【 0 1 0 1 】

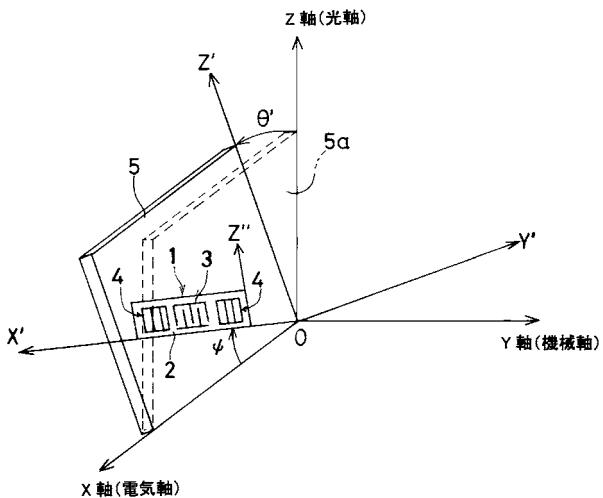
1 , 1 1 , 3 2 , 5 1 ... S A W 共振子、2 , 1 2 , 3 5 , 5 2 , 6 2 ... 水晶基板、3 , 1 3 , 5 3 , 6 3 ... I D T 、3 a , 3 b , 1 3 a , 1 3 b , 3 6 a , 3 6 b , 5 3 a , 5 3 b , 6 3 a , 6 3 b ... 櫛歯状電極、4 , 1 4 , 3 7 , 5 4 , 6 4 ... 反射器、4 a , 1 4 a , 5 4 a , 6 4 a ... 導体ストリップ、5 ... ウエーハ、5 a ... 面、6 a , 6 b , 1 5 a , 1 5 b , 5 5 a , 5 5 b , 6 5 a , 6 5 b ... 電極指、7 a , 7 b , 1 6 a , 1 6 b ... バスバー、8 , 1 7 ... 電極指間溝、9 , 1 8 ... 導体ストリップ間溝、3 1 ... S A W 発振器、3 3 ... I C 、3 4 ... パッケージ、3 4 a ... 底板、3 8 a ~ 3 8 f ... 電極パッド、3 9 a ~ 3 9 g ... 電極パターン、4 0 , 4 1 ... ボンディングワイヤ、4 2 ... リッド。

30

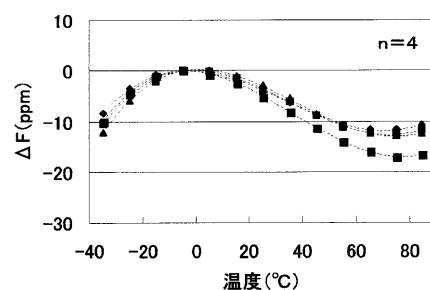
【図1】



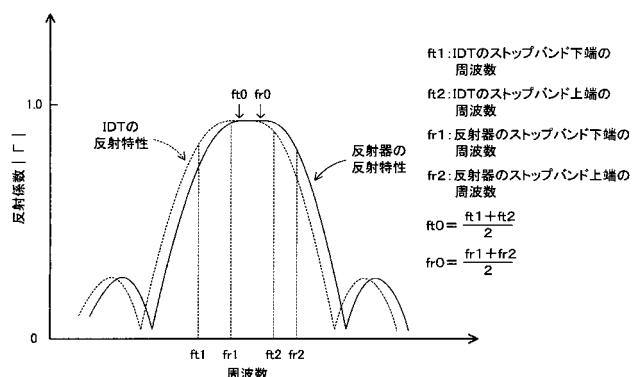
【図2】



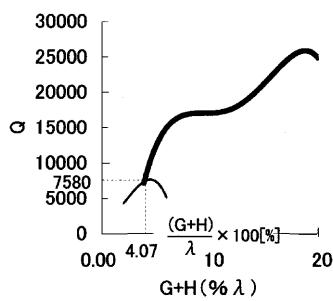
【図3】



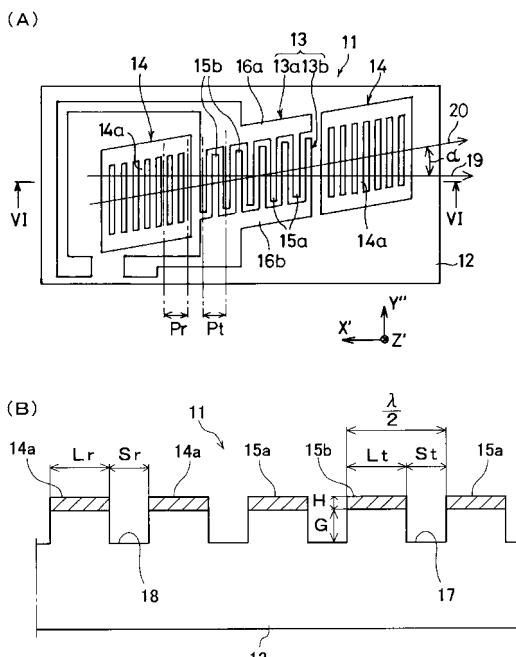
【図4】



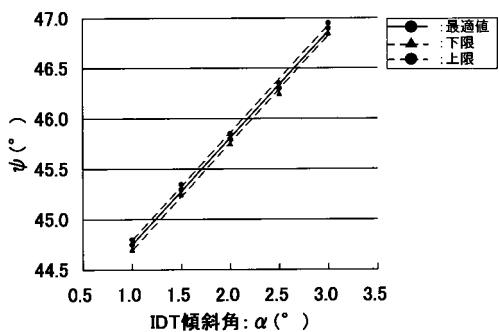
【図5】



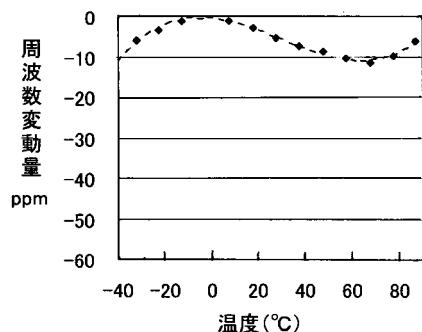
【図6】



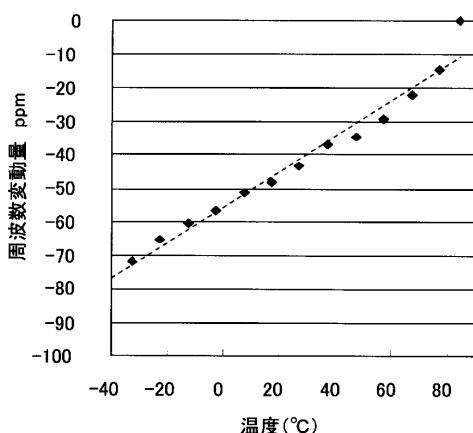
【図7】



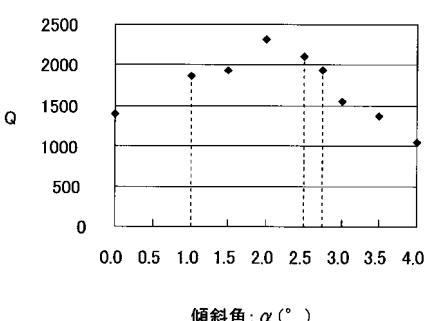
【図8】



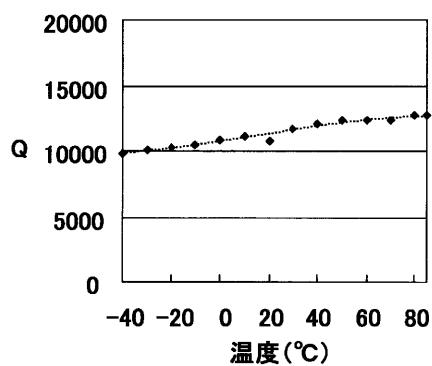
【図9】



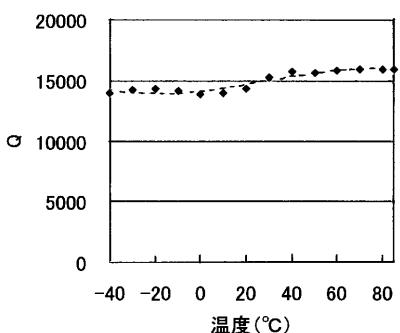
【図10】



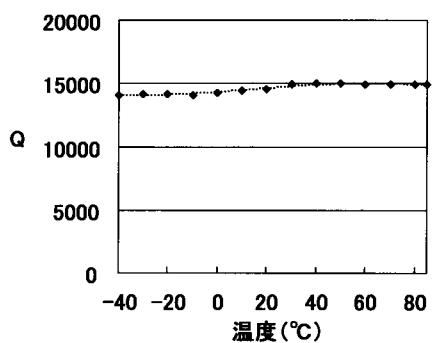
【図11-1】



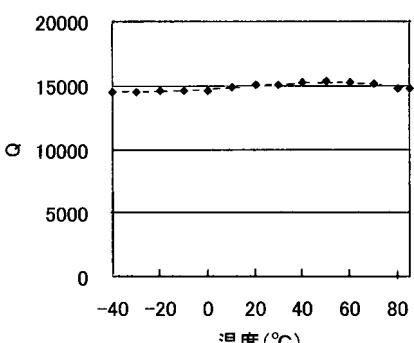
【図11-3】



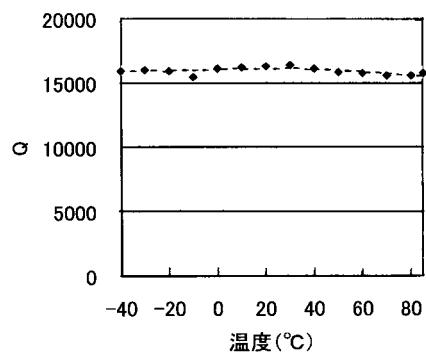
【図11-2】



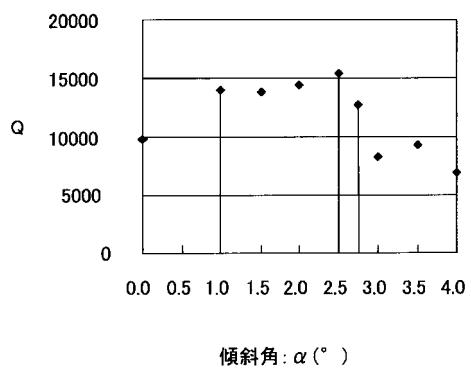
【図11-4】



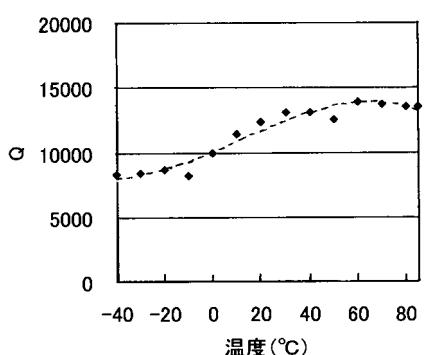
【図 1 1 - 5】



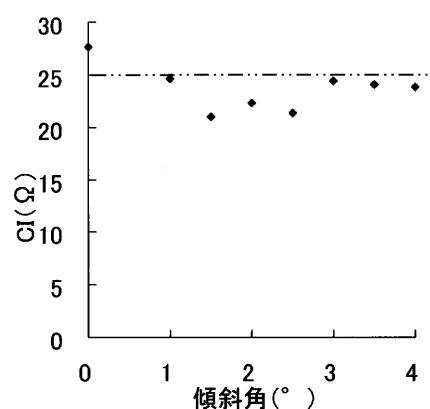
【図 1 2】



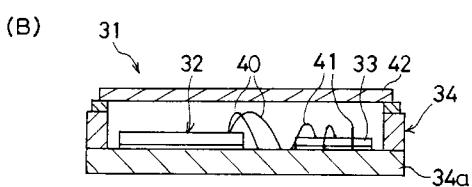
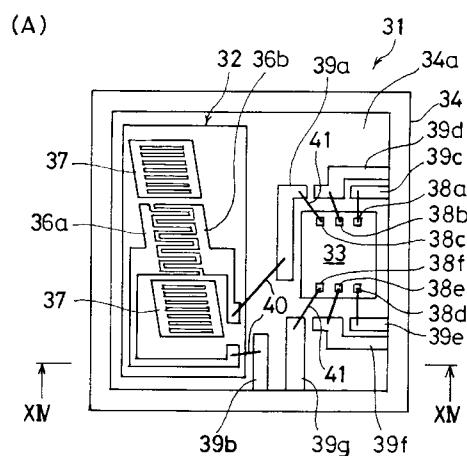
【図 1 1 - 6】



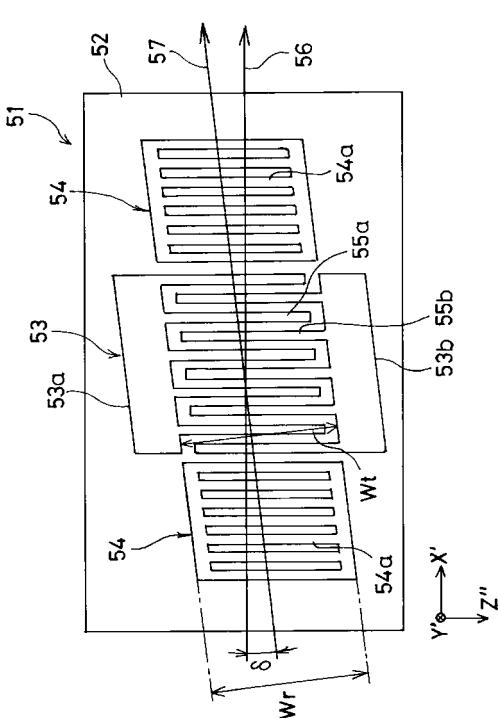
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 1 5】



【図16】

