

(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2012-60419

(P2012-60419A)

(43) 公開日 平成24年3月22日(2012.3.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H03H 9/25 (2006.01)	H03H 9/25 Z	5J079
H03H 9/145 (2006.01)	H03H 9/25 C	5J097
H03B 5/30 (2006.01)	H03H 9/145 Z	
H01L 41/09 (2006.01)	H03H 9/145 D	
H01L 41/18 (2006.01)	H03B 5/30 A	
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 21 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2010-201750 (P2010-201750)
 (22) 出願日 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 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

最終頁に続く

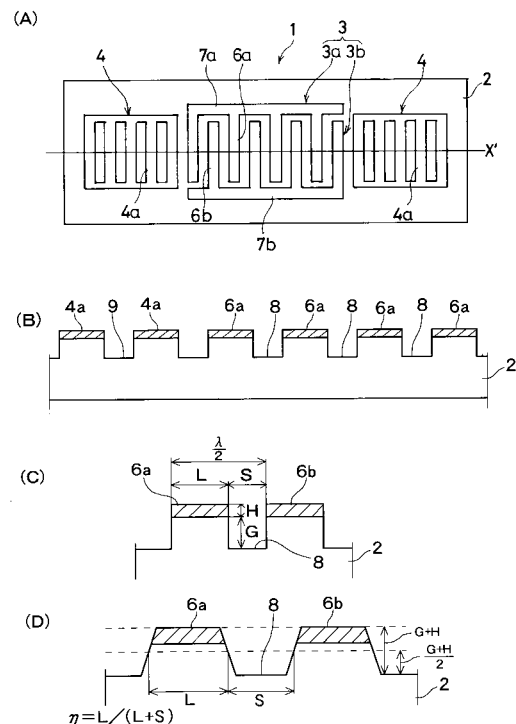
(54) 【発明の名称】 弾性表面波デバイス、電子機器及びセンサー装置

(57) 【要約】

【課題】動作温度範囲におけるSAWデバイスの優れた周波数温度特性を維持しつつ、リフロー実装時の高温や使用時又は環境の温度変化による周波数シフトを抑制して、信頼性を向上させる。

【解決手段】SAWデバイス1は、オイラー角 $(-1.5^\circ \sim 1.5^\circ, 117^\circ \sim 142^\circ, \dots)$ の水晶基板2の主面に、ストップバンド上端モードのSAWを励振するIDT3と、IDTの電極指6a, 6b間に凹設した電極指間溝8とを有する。オイラー角 θ が $42.79^\circ \leq \theta < 49.57^\circ$ のとき、IDTの電極指膜厚Hは、 $0.055\mu\text{m} \leq H \leq 0.335\mu\text{m}$ 、好ましくは $0.080\mu\text{m} \leq H \leq 0.335\mu\text{m}$ の範囲内に設定する。オイラー角 θ が $90^\circ \times n$ 、($n=0, 1, 2, 3$)のとき、電極指膜厚Hは $0.05\mu\text{m} \leq H \leq 0.20\mu\text{m}$ に設定する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

オイラー角 (-1.5° 1.5° , 117° 142° ,) の水晶基板と、
 前記水晶基板の主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 IDT と、
 前記 IDT 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を有し、
 前記弾性表面波の波長 と前記電極指間溝の深さ G とが、 $0.01 \leq G$ の関係を満足し、
 前記 IDT のライン占有率 と前記電極指間溝の深さ G とが、

【数 1 1】

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

及び、

【数 1 2】

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

の関係を満足し、

前記オイラー角 が、 $| \quad | \quad 90^\circ \times n$ 、 ($n = 0, 1, 2, 3$) を満足し、
 前記電極指の膜厚 H が、 $0.05 \mu\text{m} \leq H \leq 0.20 \mu\text{m}$ の範囲内にあることを特徴とする弾性表面波デバイス。

【請求項 2】

オイラー角 (-1.5° 1.5° , 117° 142° , 42.79° $| \quad | \quad 49.57^\circ$) の水晶基板と、
 前記水晶基板の主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 IDT と、
 前記 IDT 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を有し、
 前記弾性表面波の波長 と前記電極指間溝の深さ G とが、 $0.01 \leq G$ の関係を満足し、
 前記 IDT のライン占有率 と前記電極指間溝の深さ G とが、

【数 1 3】

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

及び、

【数 1 4】

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

の関係を満足し、

前記電極指の膜厚 H が、 $0.055 \mu\text{m} \leq H \leq 0.335 \mu\text{m}$ の範囲内にあることを特徴とする弾性表面波デバイス。

【請求項 3】

前記電極指の膜厚 H が、 $0.080 \mu\text{m} \leq H \leq 0.335 \mu\text{m}$ の範囲内にあることを特徴とする請求項 2 記載の弾性表面波デバイス。

【請求項 4】

前記 IDT のライン占有率 が、

10

20

30

40

【数 1 5】

$$\begin{aligned}
 & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\
 & -135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \\
 & -99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) - 0.04 \leq \eta \leq \\
 & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\
 & -135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \\
 & -99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) + 0.04
 \end{aligned}$$

ことを特徴とする請求項 2 または 3 記載の弾性表面波デバイス。

10

【請求項 5】

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、 $0.0407 \leq G + H$ を満足することを特徴とする請求項 2 乃至 4 のいずれか記載の弾性表面波デバイス。

【請求項 6】

それぞれに前記水晶基板の主面に設けられた複数の導体ストリップからなり、前記弾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一対の反射器と、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更に有し、

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、

20

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、

前記角度 θ が、前記水晶基板のパワーフロー角 $\pm 1^\circ$ の範囲内であることを特徴とする請求項 2 乃至 5 のいずれか記載の弾性表面波デバイス。

【請求項 7】

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 6 のいずれか記載の弾性表面波デバイス。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれか記載の弾性表面波デバイスを備えることを特徴とする電子機器。

30

【請求項 9】

請求項 1 乃至 7 のいずれか記載の弾性表面波デバイスを備えることを特徴とするセンサー装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、弾性表面波 (surface acoustic wave: S A W) を利用した共振子、発振器等の弾性表面波デバイス、並びにそれ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】

40

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。

50

【 0 0 0 3 】

一般に S A W 共振子等の S A W デバイスにおいて、周波数温度特性の変化には、S A W 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 I D T (interdigital transducer: すだれ状トランスデューサ) の形態等が大きい影響を及ぼす。例えば、S A W 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 I D T を有し、S A W 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 S A W 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 S A W 変換器により S A W 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。

【 0 0 0 4 】

また、オイラー角 (, ,) = (0 °、1 2 3 °、0 °) の所謂 S T カット水晶基板を用いた反射反転型 S A W 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、S A W 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) 。

【 0 0 0 5 】

特に特許文献 3、4 には、レイリー波を利用した S A W 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、I D T 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 S A W 共振子は、オイラー角 (, ,) = (= 0 °、0 ° 1 8 0 °、0 ° < | | < 9 0 °) の水晶基板上に、S A W 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 I D T 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 S A W 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。また、特許文献 3 には、ストップバンドの上限モードは下限モードよりも、I D T 電極厚みを増加させたときの発振周波数の変化量が小さいことが記載されている。

【 0 0 0 6 】

特許文献 4 には、前記シングル型 I D T 電極を有する S A W 装置において、水晶基板をオイラー角 (, ,) = (= 0 °、1 1 0 ° 1 4 0 °、3 8 ° | | 4 4 °) に設定し、I D T 電極の厚み H、I D T 電極における電極指の幅 d、I D T 電極における電極指間のピッチ P、及び S A W の波長 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、

$$H / 0 . 1 7 9 6 ^ 3 - 0 . 4 3 0 3 ^ 2 + 0 . 2 0 7 1 + 0 . 0 6 8 2$$
 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強く励振させることができる。

【 0 0 0 7 】

特許文献 5 には、オイラー角 (, ,) = (0 °、, 9 ° < | | < 4 6 °)、好ましくは (0 °、9 5 ° < < 1 5 5 °、3 3 ° < | | < 4 6 °) の水晶基板上にシングル型 I D T 電極を配置し、基準化電極膜厚 (H /) を 0 . 0 4 5 H / 0 . 0 8 5 とした S A W 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。

【 0 0 0 8 】

特許文献 6 には、オイラー角 (, ,) = (0 ° 1 2 3 °、4 3 . 2 °) の面内回転 S T カット水晶基板上に前記シングル型 I D T 電極を配置し、その基準化電極膜厚 (H /) を H / = 0 . 0 6、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 S A W 素子が開示されている。更にこの S A W 素子は、I D T 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 (2 5) において最大 8 3 0 p p m の周波数偏差を実現することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 9 】

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及び反射器をアルミ電極で構成しかつ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対応する領域の水晶基板表面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。

【 0 0 1 0 】

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。

【 0 0 1 1 】

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。

【 0 0 1 2 】

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。

【 0 0 1 3 】

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 $(\alpha, \beta, \gamma) = (0^\circ, 38.47^\circ, 90^\circ)$ ）の水晶基板に、基準化電極膜厚 (H/λ) が $2.0 \sim 4.0\%$ 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（例えば、特許文献13を参照）。すべり波（SH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、SAWが基板表面に沿って伝搬するSTカット水晶SAWデバイスと比較して、反射器によるSAW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。

【 0 0 1 4 】

この問題を解決するために、オイラー角 $(\alpha, \beta, \gamma) = (0^\circ, -64^\circ < \gamma < -49.3^\circ, 85.95^\circ)$ の回転Yカット水晶基板の表面にIDTとグレーティング反射器とを形成し、SH波を励振するSAW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SAWデバイスは、SAWの波長 λ で基準化される電極膜厚 H/λ を $0.04 < H/\lambda < 0.12$ 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。

【 0 0 1 5 】

更に、かかるSAW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、IDT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 、IDTの金属膜の膜厚を H_m としたとき、S

10

20

30

40

50

SAWの波長で基準化した電極膜厚 H/λ を $0.04 < H/\lambda < 0.12$ （ただし、 $H = H_p + H_m$ ）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SAWデバイスを実現できる。

【0016】

SAWデバイスの量産過程では、水晶基板の表面にエッチングでIDT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チングによりIDT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、SAW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（ θ , ϕ , ψ ）=（ 0° , 95° , 155° 、 33° | | 46° ）の面内回転STカット水晶基板を採用し、SAWのストップバンドの上限モードを励振させ、IDTの電極指間の水晶基板表面に電極指間溝を形成したSAWデバイスが知られている（例えば、特許文献16を参照）。

10

【0017】

また、SAW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、LSTカットの水晶基板に空隙層と誘電体膜とを介してIDT電極を形成し、漏洩型SAWを励振させるようにしたSAW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SAW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。

20

【0018】

更に、STカット水晶SAW共振子等において、その優れた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、水晶基板の表面にIDTと反射器とをSAWの位相速度の方向に対してパワーフロー角 $PF\angle \pm 3^\circ$ 傾斜させた方向に沿って配置した傾斜型IDTが知られている（例えば、特許文献18, 19を参照）。この傾斜型IDTからなるSAWデバイスは、SAWの位相の進行方向とその振動エネルギーの進行方向とをカバーするようにIDT及び反射器を配置することによって、SAWを反射器で効率良く反射できるので、エネルギーの閉じ込めを効率良く行い、Q値をより高めることができる。

30

【0019】

他方、SAWデバイスをパッケージや回路基板に実装する場合、その電極パッドを外部端子と金属ワイヤを用いてはんだのリフローにより接続する方法が広く採用されている。リフロー実装は、 200°C 超の高温が数分内の短時間に加わるので、SAWデバイスの周波数を変動させることが良く知られている。そのため、予め周波数変動分を見込んで製品の周波数範囲を設定することが従来行われている（例えば、特許文献20を参照）。

【0020】

SAWデバイスのリフロー実装による周波数変化等の特性劣化を緩和するために、電極膜をTi/Al構造としかつウエーハ状態で電氣的に接続してアニールすることによりIDTを形成する方法が知られている（例えば、特許文献21を参照）。また、圧電基板に圧電性・焦電性の強い材料を用いた場合に、リフロー実装等の熱や処理工程での光又は電磁波による動作周波数の変化を解消するために、圧電基板表面に抵抗率の高い薄膜を形成したSAWモジュール素子が提案されている（例えば、特許文献22を参照）。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0021】

【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

50

- 【特許文献 6】特開 2 0 0 7 - 3 0 0 2 8 7 号公報
- 【特許文献 7】特公平 2 - 7 2 0 7 号 (特開昭 5 7 - 5 4 1 8 号) 公報
- 【特許文献 8】特開平 2 - 1 8 9 0 1 1 号公報
- 【特許文献 9】特開平 5 - 9 0 8 6 5 号公報
- 【特許文献 1 0】特開平 1 - 2 3 1 4 1 2 号公報
- 【特許文献 1 1】特開昭 6 1 - 9 2 0 1 1 号公報
- 【特許文献 1 2】特開平 1 0 - 2 7 0 9 7 4 号公報
- 【特許文献 1 3】特公平 1 - 3 4 4 1 1 号公報
- 【特許文献 1 4】再公表 WO 2 0 0 5 / 0 9 9 0 8 9 A 1 公報
- 【特許文献 1 5】特開 2 0 0 6 - 2 0 3 4 0 8 号公報
- 【特許文献 1 6】特開 2 0 0 9 - 2 2 5 4 2 0 号公報
- 【特許文献 1 7】特許第 3 8 5 1 3 3 6 号公報
- 【特許文献 1 8】特許第 3 2 1 6 1 3 7 号公報
- 【特許文献 1 9】特開 2 0 0 5 - 2 0 4 2 7 5 号公報
- 【特許文献 2 0】特開 2 0 0 6 - 1 3 5 7 6 号公報
- 【特許文献 2 1】特開 2 0 0 3 - 2 8 3 2 8 2 号公報
- 【特許文献 2 2】特開平 8 - 3 0 7 1 9 0 号公報

10

【非特許文献】

【0 0 2 2】

【非特許文献 1】グループ形 SAW 共振器の製造条件と特性 (電子通信学会技術研究報告 MW 8 2 - 5 9 (1 9 8 2))

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 2 3】

上述したように、SAW 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 SAW デバイスは、IDT 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 IDT 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、IDT 形成時のサイドエッチ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 IDT 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

【0 0 2 4】

しかしながら、上述した SAW デバイスは、漏洩型 SAW を励振させる特許文献 1 3 の SAW 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 SAW 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。

【0 0 2 5】

また、情報通信の分野では、現在急激な高速化が進行している。これに対応するため、SAW デバイスも近い将来、MHz 帯から GHz 帯への高周波化を求められることが予想される。上述した従来の SAW デバイスの多くは、IDT の電極膜厚 H を SAW の波長で基準化した値、即ち基準化膜厚 H/λ で規定している。この場合、IDT の電極膜は、SAW の高周波化が進むほど薄膜化するので、リフロー実装時の高温条件による熱歪みや長期間に亘る SAW の振動の影響、経時変化等により、周波数の変化や電極膜の金属劣化を生じ、信頼性を低下させる虞がある。逆に電極膜厚を厚くし過ぎると、成膜時に膜にかかる応力が増加してストレスマイグレーションの問題が発生し、周波数を大きく変動させる虞がある。

40

【0 0 2 6】

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

50

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SAWデバイスを提供することにある。

【0027】

本発明の別の目的は、より一層の高周波化に対応し得る、信頼性の高いSAW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】

【0028】

本願発明者は、上記目的を達成するために、面内回転ST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SAWを励振するIDTを形成し、かつIDT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SAW共振子において、SAWの波長、溝の深さG、IDT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SAW共振子を案出した。

10

【0029】

この新規な実施形態のSAW共振子（以下、本実施形態のSAW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SAWを励振するIDTと、該IDT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、

20

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

かつ、IDT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】

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

30

... (2)

の関係を満たすことを特徴とする。

【0030】

本実施形態のSAW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、 $0.01 \leq G \leq 0.0695$ 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、 $-40 \sim +85$ ）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、個々のSAW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。

40

【0031】

更に本実施形態のSAW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、IDTの電極膜厚をHとした場合に、 $0 < H \leq 0.035$ 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。

【0032】

また、本実施形態のSAW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。

【0033】

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、 $0.0407 \leq G + H \leq 0.0407$ 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。

【0034】

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、該水晶基板の主面にそれぞれ形成されたIDT3と1対の反射器4、4とを有する。

【0035】

水晶基板2には、オイラー角 $(-1.5^\circ, 1.5^\circ, 117^\circ, 142^\circ, 42.79^\circ, 49.57^\circ)$ 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 $(0^\circ, 0^\circ, 0^\circ)$ で表される基板は、Z軸に垂直な主面を有するZカット基板となる。ここで、オイラー角 (α, β, γ) の α 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 β 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 α と第2回転角度 β とで決定される。オイラー角の γ 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 γ で表される。

【0036】

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 θ ($^\circ$)回転させた、座標軸 (X, Y', Z') のY'軸に垂直なXZ'面を有するウェーハ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 ϕ (又は $-\phi$) ($^\circ$)回転させた新たな座標軸 (X', Y', Z'') に沿ってウェーハ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 θ とオイラー角における α とは、 $\alpha = \theta - 90^\circ$ の関係にある。

【0037】

IDT3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。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 8 】

1 対の反射器 4 , 4 は、S A W の伝搬方向 X ' に沿って I D T 3 の外側に該 I D T 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 S A W 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 4 a , 4 a を有する。前記各導体ストリップは、I D T 3 の前記各電極指と同様に、その延長方向が S A W 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 4 a , 4 a 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。

【 0 0 3 9 】

本実施形態において、電極指 6 a 、 6 b 及び導体ストリップ 4 a , 4 a は、例えば A 1 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うこともできる。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。I D T 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 0 】

このように構成した S A W 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 R a y l e i g h 型 (レイリー型) の S A W を励起する。上述したオイラー角の水晶基板 2 は、S A W 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 S A W を励起することが可能である。

【 0 0 4 1 】

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 S A W 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 (p p m) 、 α は 1 次温度係数 (p p m /) 、 β は 2 次温度係数 (p p m / 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 . 0 1 (p p m / 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。

【 0 0 4 2 】

先ず、水晶基板 2 のオイラー角を (0 ° , 1 2 3 ° ,) とし、 $\beta = \pm 0 . 0 1$ (p p m / 2) となるライン占有率 γ 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 . 0 1 (p p m / 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 . 0 1 + 0 . 0 1 にし得るオイラー角 θ の範囲を 4 3 ° < θ < 4 5 ° と定めることができた。

【 0 0 4 3 】

尚、I D T 3 のライン占有率 γ 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、I D T 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、I D T 3 のライン占有率 γ 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 γ 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。

【 0 0 4 4 】

次に、水晶基板 2 をカット角及び S A W 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 . 0 4 、電極指の膜厚 H を 0 . 0 2 、ライン占有率 γ を上記 (3) 式に従って 0 . 6 3 8 3 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 4 3 ° < θ < 4 5 ° の範囲内

10

20

30

40

50

で、角度 θ の設定角度に基づいて二次温度係数 K_2 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 $117^\circ \sim 142^\circ$ 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 r を変化させても、二次温度係数 K_2 の絶対値が 0.01 (ppm/ $^\circ C^2$) の範囲内にあることを確認した。

【0045】

次に、水晶基板 2 をオイラー角表示で (θ , 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 r を 0.65 とし、オイラー角 θ に関する二次温度係数 K_2 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 $-1.5^\circ \sim +1.5^\circ$ の範囲内にあれば、二次温度係数 K_2 の絶対値が 0.01 (ppm/ $^\circ C^2$) の範囲内にあることを確認した。

10

【0046】

更に、動作温度範囲 ($-40 \sim +85$) 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 K_2 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 $\theta_{\min} = 117^\circ$ において $K_2 = 42.79^\circ$ となり、上限値 $\theta_{\max} = 142^\circ$ において $K_2 = 49.57^\circ$ となる。従って、オイラー角 θ は、 $117^\circ \sim 142^\circ$ の範囲で、 $42.79^\circ \sim 49.57^\circ$ に設定することができる。

20

【0047】

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 SAW 共振子 1 は、二次温度係数 K_2 の絶対値が 0.01 (ppm/ $^\circ C^2$) 以下の優れた周波数温度特性を実現することができる。

【0048】

本実施形態の SAW 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。

30

- 本実施形態の SAW 共振子 1 の基本データ

H : 0.02

G : 変化

IDT ライン占有率 r : 0.6

反射器ライン占有率 r : 0.8

オイラー角: (0° , 123° , 43.5°)

IDT 対数: 120

電極指交差幅: 40 ($\lambda = 10 \mu m$)

反射器本数 (片側あたり): 60

電極指の傾斜角度: なし

40

【0049】

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 ($-40 \sim +85$) 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。

【0050】

図 3 の周波数温度特性を示す SAW 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(MHz)	Q	γ	CI(Ω)	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。

【0051】

SAW共振子1は、IDT3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IDT3及び反射器4のSAW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IDT3の反射係数よりも大きくなる。その結果、IDT3から励振されたストップバンド上端モードのSAWは、反射器4からIDT3側により高い反射係数で反射されることになる。従って、SAWの振動エネルギーを効率良く閉じ込めることができ、低損失なSAW共振子1を実現できる。

【0052】

また、SAW共振子1のQ値について、電極指6a、6b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SAW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。

【0053】

- 従来のSAW共振子の基本データ

H：変化

G：ゼロ（無し）

IDT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° ）

IDT対数：120

電極指交差幅：40（ $= 10 \mu m$ ）

反射器本数（片側あたり）：60

電極指の傾斜角度：なし

【0054】

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SAW共振子1を、細線は従来のSAW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SAW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SAW共振子よりも高いQ値を得ることができる。

【0055】

更に、本実施形態のSAW共振子においても、高周波化に対応して高い信頼性を確保することが必要である。この場合、IDTの電極指の膜厚を基準化膜厚H/で規定するのではなく、物理膜厚で規定することが好ましいと考えられる。そこで、本願発明者は、リフロー実装の高温条件による周波数変化量について、IDTの電極指膜厚との関係を検証した。更に本願発明者は、IDTの電極膜抵抗と電極指膜厚との関係について検討した。その結果、ストップバンド上端モードのSAWを励振するSAWデバイスにおいて、良好な周波数温度特性を維持しつつ、周波数安定性、発振安定性を得られる電極指膜厚の範囲が存在することを見出し、本発明を想到したものである。

【0056】

本発明のSAWデバイスは、オイラー角（ -1.5° ， 1.5° ， 117° ）

142°, () の水晶基板と、

該水晶基板の主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IDTと、

該IDT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を有し、

SAWの波長 と電極指間溝の深さGとが、 $0.01 \leq G \leq 0.05 \lambda$ の関係を満足し、

IDTのライン占有率 と電極指間溝の深さGとが、

【数5】

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

... (1)

及び、

【数6】

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

... (2)

の関係を満足し、

オイラー角 が、 $| \theta | \leq 90^\circ \times n$ 、($n = 0, 1, 2, 3$) を満足し、

IDTの電極指の膜厚Hが、 $0.05 \mu\text{m} \leq H \leq 0.20 \mu\text{m}$ の範囲内にあることを特徴とする。

【0057】

このようにIDTの電極指の膜厚を設定することによって、広い動作温度範囲で良好な周波数温度特性を維持確保しつつ、リフロー実装の高温条件による周波数変動量を少なくし、長期的使用においても周波数安定性に優れ、信頼性の高いSAWデバイスを得ることができる。

【0058】

別の側面によれば、本発明は、オイラー角 ($-1.5^\circ \leq \theta \leq 1.5^\circ$, 117° , 142° , 42.79° , $| \theta | \leq 49.57^\circ$) の水晶基板と、

該水晶基板の主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IDTと、

弾性表面波の伝播方向に沿ってIDT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、

IDT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、 $0.01 \leq G \leq 0.05 \lambda$ の関係を満足し、

IDTのライン占有率 と電極指間溝の深さGとが、

【数7】

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

及び、

【数8】

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

の関係を満足し、

電極指の膜厚Hが、 $0.055 \mu\text{m} \leq H \leq 0.335 \mu\text{m}$ の範囲内にあることを特徴とする。

【0059】

このようにIDTの電極指の膜厚を設定することによって、リフロー実装の高温条件による周波数変動量を少なくし、かつIDTの電極膜抵抗を小さく抑制することができる。

それにより、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と電極指

10

20

30

40

50

間溝とにより得られる広い動作温度範囲での良好な周波数温度特性を維持確保し、長期的使用においても周波数安定性及び発振安定性に優れ、信頼性の高いSAWデバイスを得ることができる。

【0060】

或る実施例では、電極指の膜厚Hが、 $0.080\mu\text{m} \leq H \leq 0.335\mu\text{m}$ の範囲内にあることによって、広い動作温度範囲において三次曲線で表される優れた周波数温度特性を確保し、長期的使用においても安定して周波数変動量が極めて小さいSAWデバイスを実現することができる。

【0061】

別の実施例では、IDTのライン占有率 η が、

10

【数9】

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

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。

【0062】

IDTのライン占有率 η は、電極指の膜厚が大きいほど、その製造ばらつきがSAW共振子の電気的特性、特に共振周波数に及ぼす影響が大きくなる傾向がある。本願発明者らが実験等から確認したところ、電極指の膜厚Hが上記数5及び数6即ち上記式(1)及び(2)の範囲内にあるとき、IDTライン占有率 η の製造ばらつきは、 ± 0.04 以内である。しかし、 $H > 0.335\mu\text{m}$ になると、製造ばらつきが ± 0.04 を超える可能性が高くなる。従って、電極指の膜厚Hが上記式(1)及び(2)の範囲内にあり、かつIDTライン占有率 η の製造ばらつきが ± 0.04 以内であれば、次式のように上記数9の式(3)に ± 0.04 の公差を加えた η 値の範囲内で、同様に二次温度係数 α の小さいSAWデバイスを実現することができる。

20

【数10】

$$\begin{aligned} & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ & - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \\ & - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) - 0.04 \leq \eta \leq \\ & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ & - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \\ & - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) + 0.04 \end{aligned}$$

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、 $0.0407\mu\text{m} \leq G + H \leq 0.335\mu\text{m}$

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。

40

【0064】

更にまた別の実施例では、それぞれに水晶基板の主面に設けられた複数の導体ストリップからなり、かつSAWの伝播方向に沿ってIDTを挟むようにその両側に配置した一対の反射器と、該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更に有し、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水晶基板のオイラー角 θ 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 θ をもって交差する第2の方向に配置され、角度 θ が水晶基板のパワーフロー角 $\pm 1^\circ$ の範囲内に設定されることにより、更にQ値の向上を図ることがで

50

きる。

【0065】

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、CI値が低く、発振安定性に優れ、かつ信頼性の高いSAW発振器を得ることができる。

【0066】

本発明の別の側面によれば、上述した本発明のSAWデバイスを備えることにより、広い動作温度範囲で安定して良好な性能を発揮しかつ信頼性の高い電子機器、センサー装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

10

【0067】

【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。

【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】本発明によるSAW共振子の第1実施例のIDT電極膜厚とリフロー実装の高温条件による周波数変化量との関係を示す線図。

20

【図7】第1実施例のIDT電極膜厚とCI値との関係を示す線図。

【図8】(A)、(B)図は、それぞれ異なる構造の傾斜型IDTを有する本発明の第2実施例のSAW共振子を示す平面図。

【図9】(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B-B線における縦断面図。

【発明を実施するための形態】

【0068】

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。

【0069】

30

本発明によるSAWデバイスの第1実施例であるSAW共振子は、その基本的な構成が図1に示すSAW共振子1と同一であるので、同図を用いて説明する。即ち、本実施例のSAW共振子1は、矩形の水晶基板2と、該水晶基板の主面にそれぞれ形成したIDT3と1対の反射器4、4とを有する。水晶基板2は、オイラー角 $(-1.5^\circ, 1.5^\circ, 11.7^\circ, 14.2^\circ, \dots)$ の水晶基板を使用する。ここで、オイラー角は、 $| \dots | 90^\circ \times n$ 、 $(n = 0, 1, 2, 3)$ を満足するように設定する。

【0070】

IDT3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。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。

40

【0071】

1対の反射器4、4は、SAWの伝搬方向に沿ってIDT3の両側に該IDTを挟むように配置されている。各反射器4は、それぞれSAWの伝搬方向に一定のピッチで配列された複数の導体ストリップ(電極指)4a、4aを有する。前記各導体ストリップは、その延長方向がSAWの伝搬方向と直交する向きに配置されている。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り一

50

定深さの導体ストリップ間溝 9 が凹設されている。

【0072】

前記電極指及び導体ストリップは、例えば Al や Al 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。前記電極指間溝及び導体ストリップ間溝は、同じ深さ G に形成される。各反射器 4, 4 の最も内側の前記導体ストリップとそれに所定の間隔をおいて隣り合う IDT 3 の最も外側の電極指 6 a (又は 6 b) との間も、同様に水晶基板表面を削除して、前記電極指間溝と同じ深さの溝が凹設されている。

【0073】

このように構成することによって、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 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。

10

【0074】

或る実施例では、上述したように水晶基板 2 のオイラー角 θ が、 $|\theta| = 90^\circ \times n$ 、($n = 0, 1, 2, 3$) を満足するように設定する。この場合、電極指 6 a、6 b の膜厚 H を、 $0.05 \mu\text{m} \leq H \leq 0.20 \mu\text{m}$ の範囲に設定するのが好ましい。これによって、広い動作温度範囲でストップバンド上端モードの振動による良好な周波数温度特性を維持確保しつつ、リフロー実装の高温条件による周波数変動量を少なくすることができる。

20

【0075】

別の実施例では、水晶基板 2 のオイラー角 θ が、 $42.79^\circ \leq \theta \leq 49.57^\circ$ を満足するように設定する。この場合、電極指 6 a、6 b の膜厚 H を、 $0.055 \mu\text{m} \leq H \leq 0.335 \mu\text{m}$ の範囲に設定するのが好ましい。これによって、リフロー実装の高温条件による周波数変動量を少なくし、かつ IDT の電極膜抵抗を小さく抑制することができる。従って、広い動作温度範囲での良好な周波数温度特性を維持確保し、長期的使用において周波数安定性及び発振安定性に優れ、信頼性の高い SAW 共振子が得られる。

30

【0076】

この場合、電極指の膜厚 H を更に、 $0.080 \mu\text{m} \leq H \leq 0.335 \mu\text{m}$ の範囲内に設定することができる。これによって、広い動作温度範囲において三次曲線で表される優れた周波数温度特性を確保し、長期的使用において安定して周波数変動量が極めて小さい SAW 共振子を実現できる。更に、電極膜厚をより厚くすることによって、ボンディングワイヤを接合したとき、その接合強度をより高くすることができる。

【0077】

本実施例の SAW 共振子 1 について、IDT の電極指膜厚 H (μm) とリフロー実装の高温条件による周波数変化量 (ppm) との関係をシミュレーションにより検証した。その結果を図 6 に示す。同図の結果を解析したところ、電極指膜厚 H を x、周波数変化量を y としたとき、両者の間に次式

$$y = -86.15x^2 + 15.82x - 0.44$$

の関係があることが分かった。

40

【0078】

周波数変化量は、ストップバンド上端モードの振動による良好な周波数温度特性を維持確保するためには、 $\pm 5 \text{ ppm}$ 以内に抑制することが好ましい。図 6 及びその解析結果から、電極指膜厚 H を $0.055 \mu\text{m} \leq H \leq 0.335 \mu\text{m}$ の範囲に設定することにより、 $\pm 5 \text{ ppm}$ 以内の周波数変化量を達成できることを確認した。更に、電極指の膜厚 H を、 $0.080 \mu\text{m} \leq H \leq 0.335 \mu\text{m}$ の範囲内に設定して、周波数変化量をより小さく抑制することによって、三次曲線の優れた周波数温度特性を確保できることが分かった。特に、電極指の膜厚 H を $0.05 \mu\text{m} \leq H \leq 0.20 \mu\text{m}$ の範囲に設定した場合、周波数変化量を最小に抑制できるので、元の良好な周波数温度特性を略そのまま維持確保できることを確認した。

50

【0079】

更に、本実施例のSAW共振子1について、IDTの電極膜抵抗()と電極指膜厚H(μm)との関係をシミュレーションにより検証した。その結果を図7に示す。同図の結果を解析したところ、電極指膜厚Hをx、電極膜抵抗をyとしたとき、両者の間に次式 $y = -0.2874x^{-1.223}$ の関係があることが分かった。

【0080】

一般にSAW共振子は、IDTの電極膜抵抗を除いて、最大20程度の直列抵抗を有する。SAW共振子の全直列抵抗が30を超えると、発振器として使用した場合に安定して発振させることが困難になる。従って、IDTの電極膜抵抗は、10以下に抑制することが好ましい。図7及びその解析結果から、電極指膜厚Hを0.05μm以上に設定することにより、10以下の電極膜抵抗を達成できることを確認した。

10

【0081】

図8(A)、(B)は、本発明によるSAW共振子の第2実施例を示しており、それぞれに異なる傾斜型IDT構造を有する。図8(A)のSAW共振子21₁は、第1実施例と同様にオイラー角(−1.5°、1.5°、117°、142°、42.79°、49.57°)で表される水晶基板22₁の主面に、傾斜型IDT23₁と1対の反射器24₁、24₁とを有する。水晶基板22₁は、その長手方向が、IDT23₁により励振されるSAWの位相速度の伝搬方向であるX'軸に対してエネルギーの伝搬方向であるパワーフロー角(PFA)°だけ傾けた向きに沿って配向されている。

【0082】

20

IDT23₁は、それぞれ複数の電極指25a₁、25b₁からなりかつそれらの基端部をバスバー26a₁、26b₁で接続した1対の櫛歯状電極23a₁、23b₁を有する。1対の反射器24₁、24₁は、SAWの伝搬方向に沿ってIDT23₁の両側に該IDTを挟むように配置され、それぞれSAWの伝搬方向に配列された複数の導体ストリップ24a₁、24a₁を有する。電極指25a₁、25b₁及び導体ストリップ24a₁は、その延長方向がパワーフロー角(PFA)°だけ傾いたX'軸に直交する向きに配置されている。

【0083】

水晶基板22₁の電極指25a₁、25b₁間に露出する表面には、第1実施例と同様に電極指間溝が凹設されている。導体ストリップ24a₁、24a₁間の水晶基板22₁の表面にも、同様に導体ストリップ間溝が凹設されている。

30

【0084】

このようにIDT及び反射器の少なくとも一部が、X'軸方向とパワーフロー角をもって交差する方向に配置されることによって、SAWデバイス21₁は第1実施例と同様の作用効果を奏すると共に、Q値を更に高めることができる。これにより、より低損失なSAW共振子の実現される。

【0085】

図8(B)のSAW共振子21₂は、図8(A)とは異なる構成の傾斜型IDT23₂と1対の反射器24₂、24₂とを水晶基板22₂の主面に有する。水晶基板22₂は、その長手方向が、IDT23₂により励振されるSAWの位相速度の伝搬方向であるX'軸に沿って配向されている。

40

【0086】

IDT23₂は、それぞれ複数の電極指25a₂、25b₂からなりかつそれらの基端部をバスバー26a₂、26b₂で接続した1対の櫛歯状電極23a₂、23b₂を有する。1対の反射器24₂、24₂は、SAWの伝搬方向に沿ってIDT23₂の両側に該IDTを挟むように配置され、それぞれSAWの伝搬方向に配列された複数の導体ストリップ24a₂、24a₂を有する。電極指25a₂、25b₂及び導体ストリップ24a₂は、その延長方向がX'軸に直交する向きに配置されると共に、バスバー26a₂、26b₂が、X'軸からパワーフロー角(PFA)°だけ傾けた向きに配向されている。

【0087】

50

水晶基板 22₂ の電極指 25a₂、25b₂ 間に露出する表面には、第 1 実施例と同様に電極指間溝が凹設されている。導体ストリップ 24a₂、24a₂ 間の水晶基板 22₂ の表面にも、同様に導体ストリップ間溝が凹設されている。

【0088】

本実施例の SAW 共振子 21₂ も、このように IDT 及び反射器の少なくとも一部が、X' 軸方向とパワーフロー角をもって交差する方向に配置されることによって、良好な周波数温度特性及び高い Q 値を実現する作用効果を奏すると共に、Q 値を更に高めることができる。これにより、より低損失な SAW 共振子を実現される。

【0089】

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る構成される発振器にも適用することができる。図 9 (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。

【0090】

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、41 により対応する電極パターン 39a ~ 39g と電気的に接続されている。このように SAW 共振子 32 及び IC 33 を搭載したパッケージ 34 は、その上部に接合されたリッド 42 により気密に封止されている。

【0091】

本実施例の SAW 発振器 31 は、本発明の SAW 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 SAW 発振器が得られる。

【0092】

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、IDT 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 SAW 共振子、SAW 発振器以外の SAW デバイスについても同様に適用することができる。

【0093】

更に、本発明の 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、BS 及び CS 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、低歪雑音) 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。

【符号の説明】

【0094】

1, 21₁, 21₂, 32 ... SAW 共振子、2, 22₁, 22₂, 35 ... 水晶基板、3, 23₁, 23₂ ... IDT、3a, 3b, 23a₁, 23b₁, 23a₂, 23b₂, 36a, 36b ... 櫛歯状電極、4, 24₁, 24₂, 37 ... 反射器、4a, 4a, 24a₁,

10

20

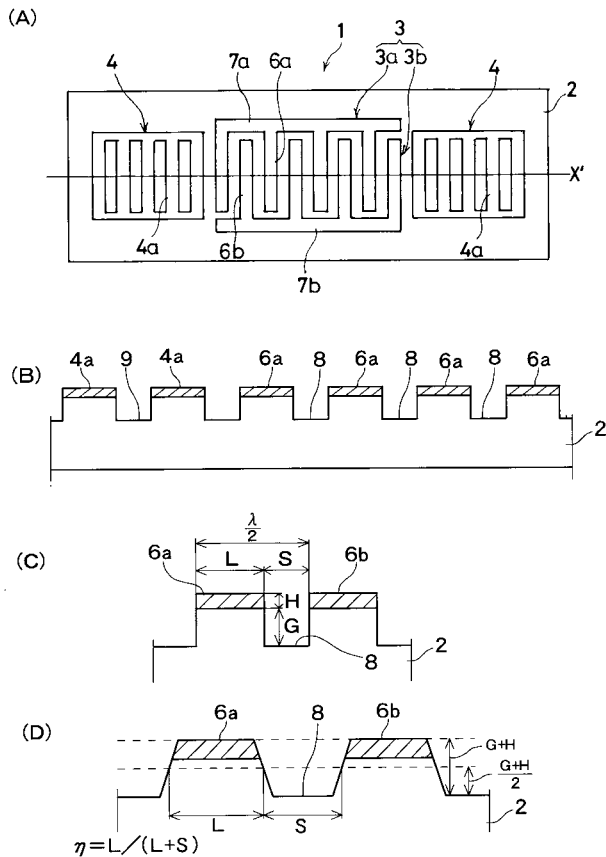
30

40

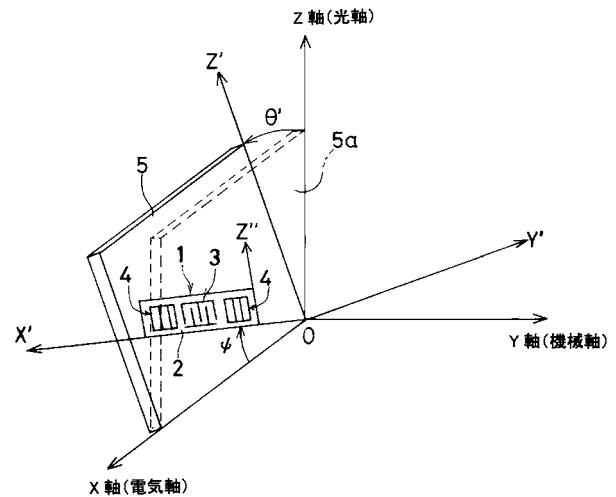
50

2 4 a₂ ... 導体ストリップ、5 ... ウエーハ、5 a ... 面、6 a, 6 b, 2 5 a₁, 2 5 b₁, 2 5 a₂, 2 5 b₂ ... 電極指、7 a, 7 b, 2 6 a₁, 2 6 b₁, 2 6 a₂, 2 6 b₂ ... バスバー、8 ... 電極指間溝、9 ... 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。

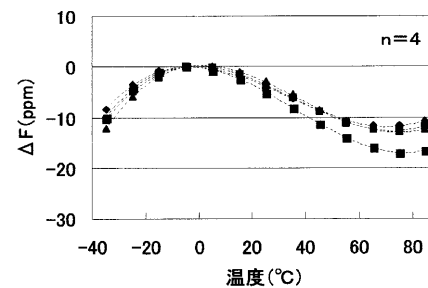
【図 1】



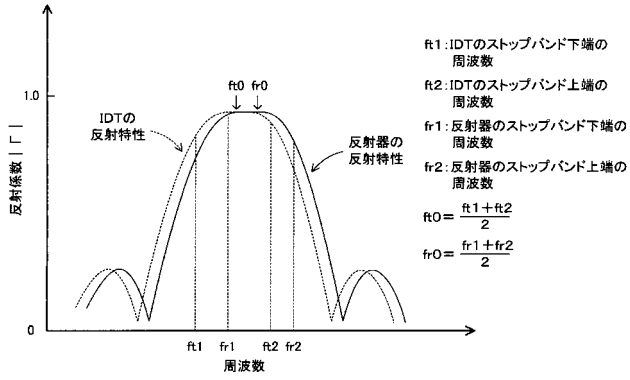
【図 2】



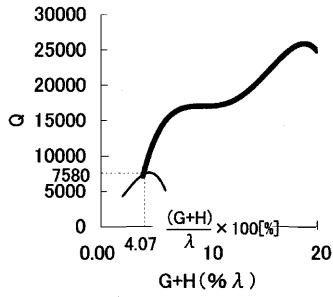
【図 3】



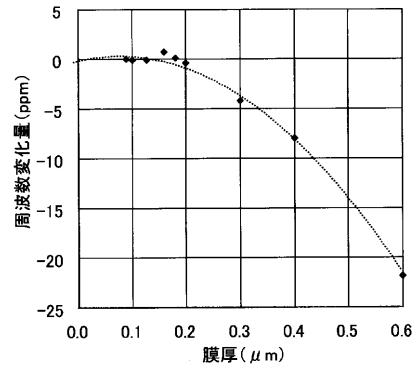
【図 4】



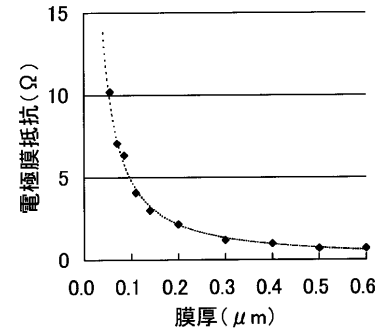
【図 5】



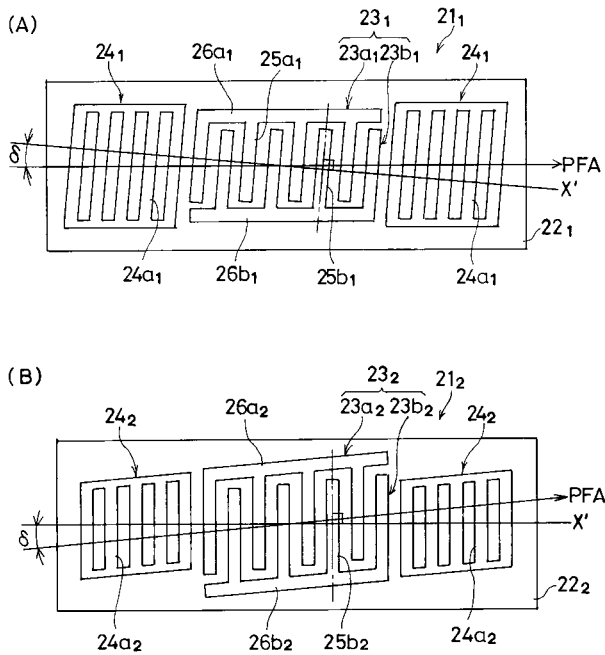
【図 6】



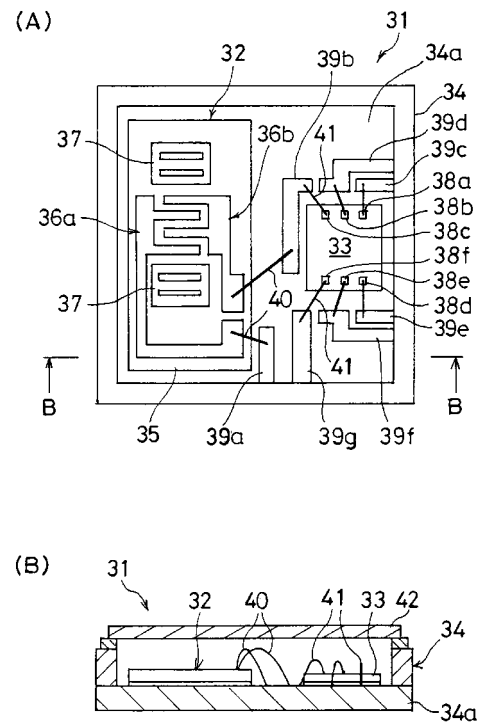
【図 7】



【図 8】



【図 9】



 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	L	
		H 0 1 L 41/18	1 0 1 A	
		H 0 1 L 41/22	Z	

(72)発明者 大脇 卓弥
 東京都日野市日野 4 2 1 - 8 エプソントヨコム株式会社内

(72)発明者 小幡 直久
 東京都日野市日野 4 2 1 - 8 エプソントヨコム株式会社内

F ターム(参考) 5J079 AA08 BA39 BA43 FA01 HA06 HA22 JA02 JA03 KA05
 5J097 AA21 BB02 DD09 DD18 EE03 EE05 GG02 KK01 KK03 KK05
 KK07