

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

オイラー角 (-1.5° から 1.5° , 117° から 142° , 42.79° | 49.57°) の水晶基板と、
前記水晶基板上に設けられ、複数の電極指を含み、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、を備え、

平面視で、前記電極指の間の位置に、前記水晶基板の窪である電極指間溝を配置し、
前記電極指間溝の間に配置されている前記水晶基板の凸部のライン占有率を g 、前記凸部上に配置されている前記電極指のライン占有率を e とし、

前記 IDT の実効ライン占有率 e_{eff} を前記ライン占有率 g と前記ライン占有率 e との相加平均とした場合、下式の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【数 5 5】

$$\eta_g > \eta_e$$

【数 5 6】

$$0.59 < \eta_{eff} < 0.73$$

【請求項 2】

請求項 1 に記載の弾性表面波共振子において、

前記弾性表面波の波長を λ 、前記電極指間溝の深さを G 、前記 IDT の電極膜厚を H とし、前記電極指間溝の深さ G を前記弾性表面波の波長 λ で除した値 G/λ と、前記実効ライン占有率 e_{eff} とによる平面座標を $(G/\lambda, e_{eff})$ とした場合に、前記平面座標 $(G/\lambda, e_{eff})$ が、

(1) $0.000 < H/\lambda < 0.005$ の場合、

($0.010, 0.710$)、($0.020, 0.710$)、($0.030, 0.710$)、($0.040, 0.710$)、($0.050, 0.710$)、($0.060, 0.710$)、($0.070, 0.710$)、($0.080, 0.710$)、($0.090, 0.710$)、($0.090, 0.420$)、($0.080, 0.570$)、($0.070, 0.590$)、($0.060, 0.615$)、($0.050, 0.630$)、($0.040, 0.635$)、($0.030, 0.650$)、($0.020, 0.670$)、($0.010, 0.710$) の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

及び、($0.030, 0.590$)、($0.040, 0.580$)、($0.050, 0.550$)、($0.060, 0.520$)、($0.070, 0.480$)、($0.080, 0.450$)、($0.090, 0.400$)、($0.090, 0.180$)、($0.080, 0.340$)、($0.070, 0.410$)、($0.060, 0.460$)、($0.050, 0.490$)、($0.040, 0.520$)、($0.030, 0.550$)、($0.030, 0.590$) の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、

(2) $0.005 < H/\lambda < 0.010$ の場合、

($0.010, 0.770$)、($0.020, 0.740$)、($0.030, 0.715$)、($0.040, 0.730$)、($0.050, 0.740$)、($0.060, 0.730$)、($0.070, 0.730$)、($0.080, 0.730$)、($0.080, 0.500$)、($0.070, 0.570$)、($0.060, 0.610$)、($0.050, 0.630$)、($0.040, 0.635$)、($0.030, 0.655$)、($0.020, 0.680$)、($0.010, 0.760$)、($0.010, 0.770$) の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

及び、($0.020, 0.650$)、($0.030, 0.610$)、($0.040, 0$)

10

20

30

40

50

. 570)、(0.050、0.550)、(0.060、0.520)、(0.070、0.470)、(0.070、0.370)、(0.060、0.440)、(0.050、0.480)、(0.040、0.520)、(0.030、0.550)、(0.020、0.590)、(0.020、0.650)の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、

(3) $0.010 < H < 0.015$ の場合、

(0.010、0.770)、(0.020、0.760)、(0.030、0.760)、(0.040、0.750)、(0.050、0.750)、(0.060、0.750)、(0.070、0.740)、(0.080、0.740)、(0.080、0.340)、(0.070、0.545)、(0.060、0.590)、(0.050、0.620)、(0.040、0.645)、(0.030、0.670)、(0.020、0.705)、(0.010、0.760)、(0.010、0.770)の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

10

及び、(0.010、0.740)、(0.020、0.650)、(0.030、0.610)、(0.040、0.570)、(0.050、0.540)、(0.060、0.480)、(0.070、0.430)、(0.070、0.350)、(0.060、0.420)、(0.050、0.470)、(0.040、0.510)、(0.030、0.550)、(0.020、0.610)、(0.010、0.700)、(0.010、0.740)の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、

20

(4) $0.015 < H < 0.020$ の場合、

(0.010、0.770)、(0.020、0.770)、(0.030、0.760)、(0.040、0.760)、(0.050、0.760)、(0.060、0.750)、(0.070、0.750)、(0.070、0.510)、(0.060、0.570)、(0.050、0.620)、(0.040、0.640)、(0.030、0.660)、(0.020、0.675)、(0.010、0.700)、(0.010、0.770)の順に結ぶ線の範囲、

及び、(0.010、0.690)、(0.020、0.640)、(0.030、0.590)、(0.040、0.550)、(0.050、0.510)、(0.060、0.470)、(0.070、0.415)、(0.070、0.280)、(0.060、0.380)、(0.050、0.470)、(0.040、0.510)、(0.030、0.550)、(0.020、0.610)、(0.010、0.680)、(0.010、0.690)の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、

30

(5) $0.020 < H < 0.025$ の場合、

(0.010、0.770)、(0.020、0.770)、(0.030、0.760)、(0.040、0.760)、(0.050、0.760)、(0.060、0.760)、(0.070、0.760)、(0.070、0.550)、(0.060、0.545)、(0.050、0.590)、(0.040、0.620)、(0.030、0.645)、(0.020、0.680)、(0.010、0.700)、(0.010、0.770)の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

及び、(0.010、0.690)、(0.020、0.640)、(0.030、0.590)、(0.040、0.550)、(0.050、0.510)、(0.060、0.420)、(0.070、0.415)、(0.070、0.340)、(0.060、0.340)、(0.050、0.420)、(0.040、0.470)、(0.030、0.520)、(0.020、0.580)、(0.010、0.650)、(0.010、0.690)の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、

40

(6) $0.025 < H < 0.030$ の場合、

(0.010、0.770)、(0.020、0.770)、(0.030、0.770)、(0.040、0.760)、(0.050、0.760)、(0.060、0.760)、(0.070、0.760)、(0.070、0.550)、(0.060、0.505)、(0.050、0.590)、(0.040、0.620)、(0.030

50

、 (0.645) 、 $(0.020, 0.680)$ 、 $(0.010, 0.700)$ 、 $(0.010, 0.770)$ の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

及び、 $(0.010, 0.670)$ 、 $(0.020, 0.605)$ 、 $(0.030, 0.560)$ 、 $(0.040, 0.520)$ 、 $(0.050, 0.470)$ 、 $(0.060, 0.395)$ 、 $(0.070, 0.500)$ 、 $(0.070, 0.490)$ 、 $(0.060, 0.270)$ 、 $(0.050, 0.410)$ 、 $(0.040, 0.470)$ 、 $(0.030, 0.520)$ 、 $(0.020, 0.580)$ 、 $(0.010, 0.620)$ 、 $(0.010, 0.670)$ の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、

(7) $0.030 < H \leq 0.035$ の場合、

$(0.010, 0.770)$ 、 $(0.020, 0.770)$ 、 $(0.030, 0.770)$ 、 $(0.040, 0.760)$ 、 $(0.050, 0.760)$ 、 $(0.060, 0.760)$ 、 $(0.070, 0.760)$ 、 $(0.070, 0.550)$ 、 $(0.060, 0.500)$ 、 $(0.050, 0.545)$ 、 $(0.040, 0.590)$ 、 $(0.030, 0.625)$ 、 $(0.020, 0.650)$ 、 $(0.010, 0.680)$ 、 $(0.010, 0.770)$ の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

及び、 $(0.010, 0.655)$ 、 $(0.020, 0.590)$ 、 $(0.030, 0.540)$ 、 $(0.040, 0.495)$ 、 $(0.050, 0.435)$ 、 $(0.060, 0.395)$ 、 $(0.070, 0.500)$ 、 $(0.070, 0.550)$ 、 $(0.060, 0.380)$ 、 $(0.050, 0.330)$ 、 $(0.040, 0.410)$ 、 $(0.030, 0.470)$ 、 $(0.020, 0.520)$ 、 $(0.010, 0.590)$ 、 $(0.010, 0.655)$ の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれることを特徴とする弾性表面波共振子。

10

20

【請求項3】

請求項1に記載の弾性表面波共振子において、

前記電極指間溝の深さGと前記実効ライン占有率 $e f f$ とが

【数57】

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

【数58】

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

30

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【請求項4】

請求項3に記載の弾性表面波共振子であって、

前記IDTの電極膜厚Hが、

【数59】

$$0 < H \leq 0.035\lambda$$

40

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【請求項5】

請求項4に記載の弾性表面波共振子であって、

前記実効ライン占有率 $e f f$ が、

【数 6 0】

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【請求項 6】

請求項 2、請求項 4、請求項 5 のいずれか 1 項に記載の弾性表面波共振子であって、前記電極指間溝の深さ G と前記電極膜厚 H との和が、

10

【数 6 1】

$$0.0407\lambda \leq G + H$$

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載の弾性表面波共振子であって、前記 と前記 が、

【数 6 2】

$$\psi = 1.191 \times 10^{-3} \times \theta^3 - 4.490 \times 10^{-1} \times \theta^2 + 5.646 \times 10^1 \times \theta - 2.324 \times 10^3 \pm 1.0$$

20

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【請求項 8】

請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか 1 項に記載の弾性表面波共振子であって、前記 I D T におけるストップバンド上端モードの周波数を f_{t2} 、前記 I D T を弾性表面波の伝搬方向に挟み込むように配置される反射器におけるストップバンド下端モードの周波数を f_{r1} 、前記反射器のストップバンド上端モードの周波数を f_{r2} としたとき、

【数 6 3】

$$f_{r1} < f_{t2} < f_{r2}$$

30

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【請求項 9】

請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか 1 項に記載の弾性表面波共振子であって、前記反射器を構成する導体ストリップ間に導体ストリップ間溝を設け、前記電極指間溝よりも前記導体ストリップ間溝の深さの方が浅いことを特徴とする弾性表面波共振子。

【請求項 10】

請求項 1 乃至請求項 9 のいずれか 1 項に記載の弾性表面波共振子と、前記 I D T を駆動するための回路を備えたことを特徴とする弾性表面波発振器。

40

【請求項 11】

請求項 1 乃至請求項 9 のいずれか 1 項に記載の弾性表面波共振子を備えたことを特徴とする電子機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、弾性表面波共振子、およびこれを搭載した弾性表面波発振器及び電子機器に係り、特に基板表面に溝を設けたタイプの弾性表面波共振子、およびこれを搭載した弾性表面波発振器に関する。

50

【背景技術】

【0002】

弾性表面波（SAW：surface acoustic wave）装置（例えばSAW共振子）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圧電基板（例えば水晶基板）のカット角、およびIDT（interdigital transducer）の形成形態等が及ぼす影響が大きい。

【0003】

例えば特許文献1には、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構成、およびストップバンドの上端モード、下端モードにおけるそれぞれの定在波の分布などが開示されている。

10

【0004】

また、特許文献2～5には、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点が記載されている。そして、特許文献2、3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、電極の基準化膜厚（ H/λ ）を0.1程度まで厚くする事が記載されている。

【0005】

また、特許文献4には、レイリー波を利用したSAW装置において水晶基板のカット角を調整すると共に、電極の基準化膜厚（ H/λ ）を0.045程度以上厚くする旨が記載されている。

20

【0006】

また、特許文献5には、回転YカットX伝搬の水晶基板を用い、ストップバンドの上端の共振を利用することで、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旨が記載されている。

【0007】

また、特許文献6、および非特許文献1には、STカット水晶基板を用いたSAW装置において、IDTを構成する電極指間や反射器を構成する導体ストリップ間に溝（グループ）を設けることが記載されている。また非特許文献1には、溝の深さにより二次曲線状の周波数温度特性における頂点温度が変化する旨と、二次温度係数がほぼ $-3.4 \times 10^{-8} / \lambda^2$ となる旨が記載されている。

30

【0008】

また、特許文献7には、LSTカットの水晶基板を用いたSAW装置において、周波数温度特性を示す曲線を三次曲線とするための構成が記載されていると共に、レイリー波を用いたSAW装置においては、三次曲線で示されるような温度特性を持つカット角の基板は発見することができなかつた旨が記載されている。

【0009】

上記のように、周波数温度特性を改善するための要素は多岐に亙り、特にレイリー波を用いたSAW装置では、IDTを構成する電極の膜厚を厚くすることが周波数温度特性に寄与する要因の一つであると考えられている。しかし本願出願人は、電極の膜厚を厚くすると、経時変化特性や耐温度衝撃特性等の耐環境特性が劣化することを実験的に見出した。また、周波数温度特性の改善を主目的とした場合には、前述したように電極膜厚を厚くしなければならず、これに伴って経時変化特性や耐温度衝撃特性等の劣化を余儀なくされていた。これはQ値に関しても当てはめられることであり、電極膜厚を厚くせずに高Q化実現させることは困難であった。

40

【0010】

上記問題を解決するため、特許文献8においては、水晶基板の弾性表面波の伝搬方向垂直な方向にグループを形成して、グループにより形成される凸部の上に電極を形成した構成を開示している。これにより、経時変化特性や耐温度衝撃特性等の耐環境特性を改善し、高いQ値を実現している。また特許文献9、10においては、高いQ値を実現するため、IDT電極間や、IDT電極の両側に配置された反射器を構成するストライプ状の金属

50

膜の間にグループを形成する構成を開示している。

【0011】

さらに特許文献8においては、グループの深さ、グループ上に形成される電極の膜厚、電極のライン占有率について体系的な調査を行っている。そして弾性表面波共振子をストップバンド上端モードで励振させた場合において、与えられたグループ深さ、電極膜厚に対して、ライン占有率を調整することにより、弾性表面波の二次温度係数の絶対値が $0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 以下になる条件について突き止めている。これにより弾性表面波の周波数温度特性が三次曲線状になるため、変曲点近傍の温度範囲では周波数偏差を抑制できることが期待される。

【先行技術文献】

10

【特許文献】

【0012】

- 【特許文献1】特開平11-214958号公報
- 【特許文献2】特開2006-148622号公報
- 【特許文献3】特開2007-208871号公報
- 【特許文献4】特開2007-267033号公報
- 【特許文献5】特開2002-100959号公報
- 【特許文献6】特開昭57-5418号公報
- 【特許文献7】特許第3851336号公報
- 【特許文献8】WO2010/098139号公報
- 【特許文献9】特開昭61-220513号公報
- 【特許文献10】特開昭61-220514号公報
- 【特許文献11】特開2009-225420号公報

20

【非特許文献】

【0013】

【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MW82-59(1982))

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

30

さらに、特許文献11においては、IDT電極を構成する電極指の線幅、すなわちライン占有率が変動した場合の弾性表面波共振子の動作温度範囲における周波数偏差を低減する構成について開示している。しかし、特許文献8乃至11に示される弾性表面波共振子においても、弾性表面波共振子の損失を低減することが強く求められているが、これについて具体的な開示が成されていないのが現状である。

【0015】

そこで、本発明は、上記問題点に着目し、弾性表面波の周波数偏差を低減するとともに弾性表面波共振子の損失を低減した弾性表面波共振子、及びこれを用いた弾性表面波発振器、電子機器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

40

【0016】

本発明は上記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。

[適用例1] オイラー角 $(-1.5^\circ \sim 1.5^\circ, 117^\circ \sim 142^\circ, 42.79^\circ \sim 49.57^\circ)$ の水晶基板と、前記水晶基板上に設けられ、複数の電極指を含み、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、を備え、平面視で、前記電極指の間の位置に、前記水晶基板の窪である電極指間溝を配置し、前記電極指間溝の間に配置されている前記水晶基板の凸部のライン占有率を g 、前記凸部上に配置されている前記電極指のライン占有率を e とし、前記IDTの実効ライン占有率 e_{eff} を前記ライン占有率 g と前記ライン占有率 e との相加平均とした場合、下式の関

50

係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【数 1】

$$\eta_g > \eta_e$$

【数 2】

$$0.59 < \eta_{eff} < 0.73$$

【0017】

10

上記構成により、励振効率を高めて弾性表面波共振子の損失を低減できるとともに、弾性表面波共振子の一次温度係数の変動量を抑制して、共振周波数のバラつきを抑制することができる。

【0018】

[適用例 2] 適用例 1 に記載の弾性表面波共振子において、前記弾性表面波の波長を、前記電極指間溝の深さを G、前記 I D T の電極膜厚を H とし、前記電極指間溝の深さ G を前記弾性表面波の波長で除した値 G/λ と、前記実効ライン占有率 η_{eff} とによる平面座標を $(G/\lambda, \eta_{eff})$ とした場合に、前記平面座標 $(G/\lambda, \eta_{eff})$ が、

(1) $0.000 < H/\lambda < 0.005$ の場合、

(0.010、0.710)、(0.020、0.710)、(0.030、0.710)、(0.040、0.710)、(0.050、0.710)、(0.060、0.710)、(0.070、0.710)、(0.080、0.710)、(0.090、0.710)、(0.090、0.420)、(0.080、0.570)、(0.070、0.590)、(0.060、0.615)、(0.050、0.630)、(0.040、0.635)、(0.030、0.650)、(0.020、0.670)、(0.010、0.710) の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

20

及び、(0.030、0.590)、(0.040、0.580)、(0.050、0.550)、(0.060、0.520)、(0.070、0.480)、(0.080、0.450)、(0.090、0.400)、(0.090、0.180)、(0.080、0.340)、(0.070、0.410)、(0.060、0.460)、(0.050、0.490)、(0.040、0.520)、(0.030、0.550)、(0.030、0.590) の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、

30

(2) $0.005 < H/\lambda < 0.010$ の場合、

(0.010、0.770)、(0.020、0.740)、(0.030、0.715)、(0.040、0.730)、(0.050、0.740)、(0.060、0.730)、(0.070、0.730)、(0.080、0.730)、(0.080、0.500)、(0.070、0.570)、(0.060、0.610)、(0.050、0.630)、(0.040、0.635)、(0.030、0.655)、(0.020、0.680)、(0.010、0.760)、(0.010、0.770) の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

40

及び、(0.020、0.650)、(0.030、0.610)、(0.040、0.570)、(0.050、0.550)、(0.060、0.520)、(0.070、0.470)、(0.070、0.370)、(0.060、0.440)、(0.050、0.480)、(0.040、0.520)、(0.030、0.550)、(0.020、0.590)、(0.020、0.650) の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、

(3) $0.010 < H/\lambda < 0.015$ の場合、

(0.010、0.770)、(0.020、0.760)、(0.030、0.760)、(0.040、0.750)、(0.050、0.750)、(0.060、0.750)、(0.070、0.740)、(0.080、0.740)、(0.080、0

50

. 3 4 0)、(0 . 0 7 0、0 . 5 4 5)、(0 . 0 6 0、0 . 5 9 0)、(0 . 0 5 0、0 . 6 2 0)、(0 . 0 4 0、0 . 6 4 5)、(0 . 0 3 0、0 . 6 7 0)、(0 . 0 2 0、0 . 7 0 5)、(0 . 0 1 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 1 0、0 . 7 7 0) の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

及び、(0 . 0 1 0、0 . 7 4 0)、(0 . 0 2 0、0 . 6 5 0)、(0 . 0 3 0、0 . 6 1 0)、(0 . 0 4 0、0 . 5 7 0)、(0 . 0 5 0、0 . 5 4 0)、(0 . 0 6 0、0 . 4 8 0)、(0 . 0 7 0、0 . 4 3 0)、(0 . 0 7 0、0 . 3 5 0)、(0 . 0 6 0、0 . 4 2 0)、(0 . 0 5 0、0 . 4 7 0)、(0 . 0 4 0、0 . 5 1 0)、(0 . 0 3 0、0 . 5 5 0)、(0 . 0 2 0、0 . 6 1 0)、(0 . 0 1 0、0 . 7 0 0)、(0 . 0 1 0、0 . 7 4 0) の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、

(4) 0 . 0 1 5 < H 0 . 0 2 0 の場合、
(0 . 0 1 0、0 . 7 7 0)、(0 . 0 2 0、0 . 7 7 0)、(0 . 0 3 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 4 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 5 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 6 0、0 . 7 5 0)、(0 . 0 7 0、0 . 7 5 0)、(0 . 0 7 0、0 . 5 1 0)、(0 . 0 6 0、0 . 5 7 0)、(0 . 0 5 0、0 . 6 2 0)、(0 . 0 4 0、0 . 6 4 0)、(0 . 0 3 0、0 . 6 6 0)、(0 . 0 2 0、0 . 6 7 5)、(0 . 0 1 0、0 . 7 0 0)、(0 . 0 1 0、0 . 7 7 0) の順に結ぶ線の範囲、

及び、(0 . 0 1 0、0 . 6 9 0)、(0 . 0 2 0、0 . 6 4 0)、(0 . 0 3 0、0 . 5 9 0)、(0 . 0 4 0、0 . 5 5 0)、(0 . 0 5 0、0 . 5 1 0)、(0 . 0 6 0、0 . 4 7 0)、(0 . 0 7 0、0 . 4 1 5)、(0 . 0 7 0、0 . 2 8 0)、(0 . 0 6 0、0 . 3 8 0)、(0 . 0 5 0、0 . 4 7 0)、(0 . 0 4 0、0 . 5 1 0)、(0 . 0 3 0、0 . 5 5 0)、(0 . 0 2 0、0 . 6 1 0)、(0 . 0 1 0、0 . 6 8 0)、(0 . 0 1 0、0 . 6 9 0) の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、

(5) 0 . 0 2 0 < H 0 . 0 2 5 の場合、
(0 . 0 1 0、0 . 7 7 0)、(0 . 0 2 0、0 . 7 7 0)、(0 . 0 3 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 4 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 5 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 6 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 7 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 7 0、0 . 5 5 0)、(0 . 0 6 0、0 . 5 4 5)、(0 . 0 5 0、0 . 5 9 0)、(0 . 0 4 0、0 . 6 2 0)、(0 . 0 3 0、0 . 6 4 5)、(0 . 0 2 0、0 . 6 8 0)、(0 . 0 1 0、0 . 7 0 0)、(0 . 0 1 0、0 . 7 7 0) の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

及び、(0 . 0 1 0、0 . 6 9 0)、(0 . 0 2 0、0 . 6 4 0)、(0 . 0 3 0、0 . 5 9 0)、(0 . 0 4 0、0 . 5 5 0)、(0 . 0 5 0、0 . 5 1 0)、(0 . 0 6 0、0 . 4 2 0)、(0 . 0 7 0、0 . 4 1 5)、(0 . 0 7 0、0 . 3 4 0)、(0 . 0 6 0、0 . 3 4 0)、(0 . 0 5 0、0 . 4 2 0)、(0 . 0 4 0、0 . 4 7 0)、(0 . 0 3 0、0 . 5 2 0)、(0 . 0 2 0、0 . 5 8 0)、(0 . 0 1 0、0 . 6 5 0)、(0 . 0 1 0、0 . 6 9 0) の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、

(6) 0 . 0 2 5 < H 0 . 0 3 0 の場合、
(0 . 0 1 0、0 . 7 7 0)、(0 . 0 2 0、0 . 7 7 0)、(0 . 0 3 0、0 . 7 7 0)、(0 . 0 4 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 5 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 6 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 7 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 7 0、0 . 5 5 0)、(0 . 0 6 0、0 . 5 0 5)、(0 . 0 5 0、0 . 5 9 0)、(0 . 0 4 0、0 . 6 2 0)、(0 . 0 3 0、0 . 6 4 5)、(0 . 0 2 0、0 . 6 8 0)、(0 . 0 1 0、0 . 7 0 0)、(0 . 0 1 0、0 . 7 7 0) の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

及び、(0 . 0 1 0、0 . 6 7 0)、(0 . 0 2 0、0 . 6 0 5)、(0 . 0 3 0、0 . 5 6 0)、(0 . 0 4 0、0 . 5 2 0)、(0 . 0 5 0、0 . 4 7 0)、(0 . 0 6 0、0 . 3 9 5)、(0 . 0 7 0、0 . 5 0 0)、(0 . 0 7 0、0 . 4 9 0)、(0 . 0 6 0、0 . 2 7 0)、(0 . 0 5 0、0 . 4 1 0)、(0 . 0 4 0、0 . 4 7 0)、(0 . 0 3 0、0 . 5 2 0)、(0 . 0 2 0、0 . 5 8 0)、(0 . 0 1 0、0 . 6 2 0)、(0 . 0 1 0、0 . 6 7 0) の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、

(7) 0 . 0 3 0 < H 0 . 0 3 5 の場合、

10

20

30

40

50

(0.010, 0.770)、(0.020, 0.770)、(0.030, 0.770)、(0.040, 0.760)、(0.050, 0.760)、(0.060, 0.760)、(0.070, 0.760)、(0.070, 0.550)、(0.060, 0.500)、(0.050, 0.545)、(0.040, 0.590)、(0.030, 0.625)、(0.020, 0.650)、(0.010, 0.680)、(0.010, 0.770)の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

及び、(0.010, 0.655)、(0.020, 0.590)、(0.030, 0.540)、(0.040, 0.495)、(0.050, 0.435)、(0.060, 0.395)、(0.070, 0.500)、(0.070, 0.550)、(0.060, 0.380)、(0.050, 0.330)、(0.040, 0.410)、(0.030, 0.470)、(0.020, 0.520)、(0.010, 0.590)、(0.010, 0.655)の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれることを特徴とする弾性表面波共振子。

【0019】

上記構成により、Hの厚みに対応して、弾性表面波共振子の二次温度係数の絶対値を0.01ppm/以下に抑制することができる。

【0020】

[適用例3]請求項1に記載の弾性表面波共振子において、前記電極指間溝の深さGと前記実効ライン占有率 $e f f$ とが

【数3】

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

【数4】

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【0021】

上記構成により、弾性表面波共振子の二次温度係数の絶対値を0.01ppm/以下に抑制することができる。

【0022】

[適用例4]適用例3に記載の弾性表面波共振子であって、前記IDTの電極膜厚Hが、

【数5】

$$0 < H \leq 0.035\lambda$$

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【0023】

このような特徴を有する弾性表面波共振子によれば、動作温度範囲内において良好な周波数温度特性を示すことを実現することができる。また、このような特徴を有することによれば、電極膜厚の増加に伴う耐環境特性の劣化を抑制することが可能となる。

【0024】

[適用例5]適用例4に記載の弾性表面波共振子であって、前記実効ライン占有率 $e f f$ が、

10

20

30

40

【数 6】

$$\eta_{eff} = -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \\ - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \pm 0.04$$

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【0025】

適用例 4 における電極膜厚の範囲内において上述の式を満たすように η_{eff} を定めることで、二次温度係数の絶対値を、 $0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 以下に収めることが可能となる。

10

【0026】

[適用例 6] 適用例 2、適用例 4、適用例 5 のいずれか 1 例に記載の弾性表面波共振子であって、前記電極指間溝の深さ G と前記電極膜厚 H との和が、

【数 7】

$$0.0407\lambda \leq G + H$$

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

電極指間溝の深さ G と電極膜厚 H との和を上式のように定めることで、従来の弾性表面波共振子よりも高い Q 値を得ることができる。

20

【0027】

[適用例 7] 適用例 1 乃至適用例 6 のいずれか 1 例に記載の弾性表面波共振子であって、前記 と前記 が、

【数 8】

$$\psi = 1.191 \times 10^{-3} \times \theta^3 - 4.490 \times 10^{-1} \times \theta^2 + 5.646 \times 10^1 \times \theta - 2.324 \times 10^3 \pm 1.0$$

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【0028】

このような特徴を有するカット角で切り出された水晶基板を用いて弾性表面波共振子を製造することで、広い範囲で良好な周波数温度特性を示す弾性表面波共振子とすることができる。

30

【0029】

[適用例 8] 適用例 1 乃至適用例 7 のいずれか 1 例に記載の弾性表面波共振子であって、

前記 IDT におけるストップバンド上端モードの周波数を f_{t2} 、前記 IDT を弾性表面波の伝搬方向に挟み込むように配置される反射器におけるストップバンド下端モードの周波数を f_{r1} 、前記反射器のストップバンド上端モードの周波数を f_{r2} としたとき、

【数 9】

$$f_{r1} < f_{t2} < f_{r2}$$

40

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【0030】

このような特徴を有することにより、IDT のストップバンド上端モードの周波数 f_{t2} において、反射器の反射係数 $|R|$ が大きくなり、IDT から励振されたストップバンド上端モードの弾性表面波が、反射器にて高い反射係数で IDT 側に反射されるようになる。そしてストップバンド上端モードの弾性表面波のエネルギー閉じ込めが強くなり、低損失な弾性表面波共振子を実現することができる。

【0031】

50

〔適用例 9〕適用例 1 乃至適用例 8 のいずれか 1 例に記載の弾性表面波共振子であって、前記反射器を構成する導体ストリップ間に導体ストリップ間溝を設け、前記電極指間溝よりも前記導体ストリップ間溝の深さの方が浅いことを特徴とする弾性表面波共振子。

【0032】

このような特徴を有することで、反射器のストップバンドを IDT のストップバンドよりも高域側へ周波数シフトさせることができる。このため、数式 9 の関係を実現させることが可能となる。

【0033】

〔適用例 10〕適用例 1 乃至適用例 9 のいずれか 1 例に記載の弾性表面波共振子と、前記 IDT を駆動するための回路を備えたことを特徴とする弾性表面波発振器。

10

【0034】

〔適用例 11〕適用例 1 乃至適用例 9 のいずれか 1 例に記載の弾性表面波共振子を備えたことを特徴とする電子機器。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図 1】第 1 実施形態の SAW デバイスの構成を示す図であって、(A) は平面構成を示す図であり、(B) は側面における部分拡大断面を示す図であり、(C) は (B) における詳細を説明するための部分拡大図であり、(D) は (C) における部分拡大図であって、SAW 共振子をフォトリソグラフィ技法とエッチング技法とを用いて製造したときに想定しえる溝部の断面形状を示す図である。

20

【図 2】本発明で用いる水晶基板の母材となるウェーハの方位の一例を示す図である。

【図 3】第 1 実施形態の変形例として傾斜型 IDT を採用した場合における SAW デバイスの構成例を示す図であって、(A) は電極指を傾斜させて X' 軸に直交させた形態の例であり、(B) は電極指を繋ぐバスターを傾斜させた IDT を有する SAW デバイスの例である。

【図 4】ストップバンド上端モードと下端モードとの関係を示す図である。

【図 5】電極指間溝の深さと動作温度範囲内における周波数変動量との関係を示すグラフである。

【図 6】ST カット水晶基板における温度特性を示す図である。

【図 7】ストップバンド上端モードの共振点とストップバンド下端モードの共振点におけるライン占有率 の変化に伴う二次温度係数の変化の違いを示すグラフであり、(A) は溝深さ G を 2% とした場合におけるストップバンド上端モードの二次温度係数 の変位を示すグラフであり、(B) は溝深さ G を 2% とした場合におけるストップバンド下端モードの二次温度係数 の変位を示すグラフであり、(C) は溝深さ G を 4% とした場合におけるストップバンド上端モードの二次温度係数 の変位を示すグラフであり、(D) は溝深さ G を 4% とした場合におけるストップバンド下端モードの二次温度係数 の変位を示すグラフである。

30

【図 8】電極膜厚を 0 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率 と二次温度係数 との関係を示すグラフであり、(A) は溝深さ G を 1%、(B) は溝深さ G を 1.25%、(C) は溝深さ G を 1.5%、(D) は溝深さ G を 2%、(E) は溝深さ G を 3%、(F) は溝深さ G を 4%、(G) は溝深さ G を 5%、(H) は溝深さ G を 6%、(I) は溝深さ G を 8% とした場合におけるグラフである。

40

【図 9】電極膜厚を 0 とした場合における二次温度係数が 0 となる電極指間溝の深さとライン占有率 との関係を示すグラフである。

【図 10】電極膜厚を 0 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率 と周波数変動量 F との関係を示すグラフであり、(A) は溝深さ G を 1%、(B) は溝深さ G を 1.25%、(C) は溝深さ G を 1.5%、(D) は溝深さ G を 2%、(E) は溝深さ G を 3%、(F) は溝深さ G を 4%、(G) は溝深さ G を 5%、(H) は溝深さ G を 6%、(I) は溝深さ G を 8% とした場合におけるグラフである。

【図 11】電極指間溝の深さと、該電極指間溝の深さが ±0.001 ずれた場合の周波

50

数変動量との関係を示すグラフである。

【図12】電極膜厚を変化させた場合における二次温度係数が0となる電極指間溝の深さとライン占有率との関係を示すグラフであり、(A)は電極膜厚を1%、(B)は電極膜厚を1.5%、(C)は電極膜厚を2%、(D)は電極膜厚を2.5%、(E)は電極膜厚を3%、(F)は電極膜厚を3.5%とした場合におけるグラフである。

【図13】各電極膜厚における二次温度係数 0 ($\text{ppm}/^{\circ}\text{C}^2$)となる 1 と電極指間溝の深さとの関係をグラフにまとめた図であり、(A)は電極膜厚を1% ~ 3.5%まで変化させた際の溝深さ G と 1 との関係を示し、(B)は、 $| \quad | \quad 0.01$ ($\text{ppm}/^{\circ}\text{C}^2$)となる領域が点A乃至Hを結んでなる多角形内であることを説明する図である。

10

【図14】電極膜厚 $H = 0$ から $H = 0.035$ までの電極指間溝の深さとライン占有率との関係を近似曲線で示した図である。

【図15】電極膜厚を 0.01 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と二次温度係数の関係を示すグラフであり、(A)は溝深さ G を0%、(B)は溝深さ G を1%、(C)は溝深さ G を2%、(D)は溝深さ G を3%、(E)は溝深さ G を4%、(F)は溝深さ G を5%の場合におけるグラフである。

【図16】電極膜厚を 0.015 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と二次温度係数の関係を示すグラフであり、(A)は溝深さ G を0%、(B)は溝深さ G を1%、(C)は溝深さ G を1.5%、(D)は溝深さ G を2.5%、(E)は溝深さ G を3.5%、(F)は溝深さ G を4.5%の場合におけるグラフである。

20

【図17】電極膜厚を 0.02 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と二次温度係数の関係を示すグラフであり、(A)は溝深さ G を0%、(B)は溝深さ G を1%、(C)は溝深さ G を2%、(D)は溝深さ G を3%、(E)は溝深さ G を4%、(F)は溝深さ G を5%の場合におけるグラフである。

【図18】電極膜厚を 0.025 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と二次温度係数の関係を示すグラフであり、(A)は溝深さ G を0%、(B)は溝深さ G を1%、(C)は溝深さ G を1.5%、(D)は溝深さ G を2.5%、(E)は溝深さ G を3.5%、(F)は溝深さ G を4.5%の場合におけるグラフである。

30

【図19】電極膜厚を 0.03 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と二次温度係数の関係を示すグラフであり、(A)は溝深さ G を0%、(B)は溝深さ G を1%、(C)は溝深さ G を2%、(D)は溝深さ G を3%、(E)は溝深さ G を4%、(F)は溝深さ G を5%の場合におけるグラフである。

【図20】電極膜厚を 0.035 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と二次温度係数の関係を示すグラフであり、(A)は溝深さ G を0%、(B)は溝深さ G を1%、(C)は溝深さ G を2%、(D)は溝深さ G を3%、(E)は溝深さ G を4%、(F)は溝深さ G を5%の場合におけるグラフである。

【図21】電極膜厚を 0.01 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と周波数変動量 F との関係を示すグラフであり、(A)は溝深さ G を0%、(B)は溝深さ G を1%、(C)は溝深さ G を2%、(D)は溝深さ G を3%、(E)は溝深さ G を4%、(F)は溝深さ G を5%の場合におけるグラフである。

40

【図22】電極膜厚を 0.015 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と周波数変動量 F との関係を示すグラフであり、(A)は溝深さ G を0%、(B)は溝深さ G を1%、(C)は溝深さ G を1.5%、(D)は溝深さ G を2.5%、(E)は溝深さ G を3.5%、(F)は溝深さ G を4.5%の場合におけるグラフである。

【図23】電極膜厚を 0.02 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と周波数変動量 F との関係を示すグラフであり、(A)は溝深さ G を0%、(B)

50

は溝深さGを1%、(C)は溝深さGを2%、(D)は溝深さGを3%、(E)は溝深さGを4%、(F)は溝深さGを5%の場合におけるグラフである。

【図24】電極膜厚を0.025として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と周波数変動量Fとの関係を示すグラフであり、(A)は溝深さGを0、(B)は溝深さGを1%、(C)は溝深さGを1.5%、(D)は溝深さGを2.5%、(E)は溝深さGを3.5%、(F)は溝深さGを4.5%の場合におけるグラフである。

【図25】電極膜厚を0.03として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と周波数変動量Fとの関係を示すグラフであり、(A)は溝深さGを0、(B)は溝深さGを1%、(C)は溝深さGを2%、(D)は溝深さGを3%、(E)は溝深さGを4%、(F)は溝深さGを5%の場合におけるグラフである。

【図26】電極膜厚を0.035として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と周波数変動量Fとの関係を示すグラフであり、(A)は溝深さGを0、(B)は溝深さGを1%、(C)は溝深さGを2%、(D)は溝深さGを3%、(E)は溝深さGを4%、(F)は溝深さGを5%の場合におけるグラフである。

【図27】電極膜厚Hを0 $H < 0.005$ とした場合におけるライン占有率と溝深さGの関係を示すグラフによって $| \quad | \quad 0.01 (ppm / ^2)$ となる範囲を示す図であり、(A)は1、(B)は2の場合を示す。

【図28】電極膜厚Hを0.005 $H < 0.010$ とした場合におけるライン占有率と溝深さGの関係を示すグラフによって $| \quad | \quad 0.01 (ppm / ^2)$ となる範囲を示す図であり、(A)は1、(B)は2の場合を示す。

【図29】電極膜厚Hを0.010 $H < 0.015$ とした場合におけるライン占有率と溝深さGの関係を示すグラフによって $| \quad | \quad 0.01 (ppm / ^2)$ となる範囲を示す図であり、(A)は1、(B)は2の場合を示す。

【図30】電極膜厚Hを0.015 $H < 0.020$ とした場合におけるライン占有率と溝深さGの関係を示すグラフによって $| \quad | \quad 0.01 (ppm / ^2)$ となる範囲を示す図であり、(A)は1、(B)は2の場合を示す。

【図31】電極膜厚Hを0.020 $H < 0.025$ とした場合におけるライン占有率と溝深さGの関係を示すグラフによって $| \quad | \quad 0.01 (ppm / ^2)$ となる範囲を示す図であり、(A)は1、(B)は2の場合を示す。

【図32】電極膜厚Hを0.025 $H < 0.030$ とした場合におけるライン占有率と溝深さGの関係を示すグラフによって $| \quad | \quad 0.01 (ppm / ^2)$ となる範囲を示す図であり、(A)は1、(B)は2の場合を示す。

【図33】電極膜厚Hを0.030 $H < 0.035$ とした場合におけるライン占有率と溝深さGの関係を示すグラフによって $| \quad | \quad 0.01 (ppm / ^2)$ となる範囲を示す図であり、(A)は1、(B)は2の場合を示す。

【図34】電極膜厚、ライン占有率(1:実線、2:破線)を定めた際の電極指間溝の深さとオイラー角との関係を示すグラフであり、(A)は電極膜厚を1%、(B)は電極膜厚を1.5%、(C)は電極膜厚を2%、(D)は電極膜厚を2.5%、(E)は電極膜厚を3%、(F)は電極膜厚を3.5%とした場合のグラフである。

【図35】各電極膜厚Hにおける電極指間溝の深さGとオイラー角との関係をグラフにまとめた図である。

【図36】二次温度係数が $-0.01 (ppm / ^2)$ となる電極指間溝の深さとオイラー角との関係を示すグラフである。

【図37】二次温度係数が $+0.01 (ppm / ^2)$ となる電極指間溝の深さとオイラー角との関係を示すグラフである。

【図38】電極膜厚Hの範囲を $0 < H < 0.005$ とした場合において、 $| \quad | \quad 0.01 (ppm / ^2)$ の要件を満たすの範囲を示すグラフであり、(A)はの最大値と最小値、(B)は、の要件を満たすの領域をそれぞれ示すグラフである。

10

20

30

40

50

【図 39】電極膜厚 H の範囲を $0.005 < H < 0.010$ とした場合において、 $|$
 $| < 0.01$ (ppm/ 2) の要件を満たす の範囲を示すグラフであり、(A) は
 の最大値と最小値、(B) は、 の要件を満たす の領域をそれぞれ示すグラフである

【図 40】電極膜厚 H の範囲を $0.010 < H < 0.015$ とした場合において、 $|$
 $| < 0.01$ (ppm/ 2) の要件を満たす の範囲を示すグラフであり、(A) は
 の最大値と最小値、(B) は、 の要件を満たす の領域をそれぞれ示すグラフである

【図 41】電極膜厚 H の範囲を $0.015 < H < 0.020$ とした場合において、 $|$
 $| < 0.01$ (ppm/ 2) の要件を満たす の範囲を示すグラフであり、(A) は
 の最大値と最小値、(B) は、 の要件を満たす の領域をそれぞれ示すグラフである

【図 42】電極膜厚 H の範囲を $0.020 < H < 0.025$ とした場合において、 $|$
 $| < 0.01$ (ppm/ 2) の要件を満たす の範囲を示すグラフであり、(A) は
 の最大値と最小値、(B) は、 の要件を満たす の領域をそれぞれ示すグラフである

【図 43】電極膜厚 H の範囲を $0.025 < H < 0.030$ とした場合において、 $|$
 $| < 0.01$ (ppm/ 2) の要件を満たす の範囲を示すグラフであり、(A) は
 の最大値と最小値、(B) は、 の要件を満たす の領域をそれぞれ示すグラフである

【図 44】電極膜厚 H の範囲を $0.030 < H < 0.035$ とした場合において、 $|$
 $| < 0.01$ (ppm/ 2) の要件を満たす の範囲を示すグラフであり、(A) は
 の最大値と最小値、(B) は、 の要件を満たす の領域をそれぞれ示すグラフである

【図 45】電極膜厚 0.02 、電極指間溝の深さ 0.04 におけるオイラー角 と二
 次温度係数 との関係を示すグラフである。

【図 46】オイラー角 と二次温度係数 との関係を示すグラフである。

【図 47】周波数温度特性が良好となるオイラー角 とオイラー角 との関係を示すグラ
 フである。

【図 48】周波数温度特性が最も良好となった条件下における 4 つの試験片での周波数温
 度特性データの例を示す図である。

【図 49】電極指間溝の深さと電極膜厚との和である段差と C I 値との関係を示すグラフ
 である。

【図 50】本実施形態に係る S A W 共振子における等価回路定数や静特性の例を示す表で
 ある。

【図 51】本実施形態に係る S A W 共振子におけるインピーダンスカーブデータである。

【図 52】従来の S A W 共振子における段差と Q 値の関係と本実施形態に係る S A W 共振
 子段差と Q 値の関係を比較するためのグラフである。

【図 53】I D T と反射器の S A W 反射特性を示す図である。

【図 54】ヒートサイクル試験における電極膜厚 H と周波数変動との関係を示すグラフで
 ある。

【図 55】実施形態に係る S A W 共振子の構成を示す図である。

【図 56】S A W 共振子の周波数温度特性を示すグラフであり、(A) は特開 2006 -
 203408 号に開示されている S A W 共振子の周波数温度特性を示すグラフ、(B) は
 実質的な動作温度範囲内における周波数温度特性の範囲を示すグラフである。

【図 57】I D T および反射器に保護膜としてアルミナを被覆した S A W 共振子における
 動作範囲内の周波数変動量の変化を示すグラフである。

【図 58】I D T および反射器に保護膜として $S i O_2$ を被覆した S A W 共振子における
 動作範囲内の周波数変動量の変化を示すグラフである。

【図 59】第 2 実施形態に係る S A W 共振子であって、図 59 (A) は第 2 実施形態の S

10

20

30

40

50

A W共振子の平面図であり、図59(B)は部分拡大断面図、図59(C)は同図(B)における詳細を説明するための拡大図、図59(D)は図59(C)の部分拡大図に関して、本発明に係るSAW共振子をフォトリソグラフィ技法とエッチング技法とを用いて製造したときに想定しえる断面形状であって、断面形状が矩形ではなく台形状となった場合における、IDT電極指の実効ライン占有率 $e f f$ の特定方法を説明するための図である。

【図60】例1におけるタイプ1とタイプ2の周波数温度特性を示す図である。

【図61】例2におけるタイプ1とタイプ2の周波数温度特性を示す図である。

【図62】タイプ1のライン占有率 $e f f$ を変化させたときの一次温度係数の変動量の変化を示す図である。

10

【図63】タイプ2の実効ライン占有率 $e f f$ を変化させたときの一次温度係数の変動量の変化を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0036】

以下、本発明の弾性表面波共振子、および弾性表面波発振器に係る実施の形態について図面を参照しつつ詳細に説明する。但し、この実施形態に記載される構成要素、種類、組み合わせ、形状、その相対配置などは特定の記載がない限り、この発明の範囲をそれのみに限定する主旨ではなく単なる説明例に過ぎない。

【0037】

まず、図1を参照して、本発明の弾性表面波(SAW)共振子に係る第1実施形態について説明する。なお図1において、図1(A)はSAW共振子の平面図であり、図1(B)は部分拡大断面図、図1(C)は同図(B)における詳細を説明するための拡大図、図1(D)は図1(C)の部分拡大図に関して、本発明に係るSAW共振子をフォトリソグラフィ技法とエッチング技法とを用いて製造したときに想定しえる断面形状であって、断面形状が矩形ではなく台形状となった場合における、IDT電極指のライン占有率 $e f f$ の特定方法を説明するための図である。ライン占有率 $e f f$ は、溝32の底部から、溝32の深さ(台座の高さ)Gと電極膜厚Hとを足した値である(G+H)の1/2となる高さにおける、凸部の幅Lと溝32の幅Sとを足した値(L+S)に対する前記幅Lの占める割合とするのが適切である。

20

本実施形態に係るSAW共振子10は、水晶基板30と、IDT12、および反射器20を基本として構成される。

30

【0038】

図2は、本発明で用いる水晶基板30の母材となるウェーハ1の方位の一例を示す図である。図2において、X軸は水晶の電気軸、Y軸は水晶の機械軸、Z軸は水晶の光学軸である。ウェーハ1は、後述のようにZ'軸を法線とするカット面を有し、カット面内にX''軸とX'軸に垂直なY''軸を有する。さらに、SAW共振子10を構成するIDT12および反射器20は、後述のようにSAWの伝搬方向を考慮してX'軸に沿って配置される。SAW共振子10を構成する水晶基板30は、ウェーハ1から切り出されて個片化されたものである。水晶基板30の平面視形状は特に限定されないが、X'軸に平行な方向を長辺とし、Y''軸に平行な方向を短辺とした長方形としてもよい。

40

【0039】

本実施形態では水晶基板30として、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カット水晶基板を採用した。ここで、図2を参照して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軸に垂直な主面を有するZカット基板3となる。

【0040】

ここで、オイラー角(α 、 β 、 γ)の α はZカット基板3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。第1の回転後のX軸、Y軸をそれぞれX'軸、Y'軸とする。なお、図

50

2では、オイラー角の説明として、オイラー角の θ が 0° の場合を図示している。よって、図2においては、X軸にX'軸が重なっており、Y軸にY'軸が重なっている。

【0041】

オイラー角の θ はZカット基板3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（即ち、X'軸）を回転軸とし、第1の回転後の+Y軸（即ち、+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、すなわち上述のウェーハ1のカット面は、第1回転角度 θ_1 と第2回転角度 θ_2 とで決定される。つまり、第2回転後のY軸をY''軸とし、第2回転後のZ軸をZ'軸とした場合、X'軸とY''軸の両方に平行な面が圧電基板のカット面となり、Z'軸がこのカット面の法線となる。

10

【0042】

オイラー角の θ はZカット基板3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軸であるZ'軸を回転軸とし、第2の回転後の+X軸（即ち、+X'軸）から第2の回転後の+Y軸（即ち、+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（即ち、X'軸）に対する第3回転角度 θ_3 で表される。つまり、第3の回転後のX軸をX'''軸とし、第3回転後のY軸をY'''軸とした場合、X'''軸とY'''軸の両方に平行な面が圧電基板のカット面となり、その法線はZ'軸となる。このように第3の回転を行っても法線は不変であるので、この圧電基板のカット面も上述のウェーハ1のカット面となる。またX'''軸に平行な方向がSAWの伝搬方向となる。

20

【0043】

なお、SAWの位相速度方向はX'''軸方向に平行な方向となる。SAWのパワーフローと呼ばれている現象は、SAWの位相が進む方向（位相速度方向）と、SAWのエネルギーが進む方向（群速度方向）とにずれが生じる現象である。位相速度方向と群速度方向とがなす角度はパワーフロー角と呼ばれている（図3参照）。

【0044】

IDT12は、複数の電極指18a、18bの基端部をそれぞれバスバー16a、16bで接続した櫛歯状電極14a、14bを一对有し、一方の櫛歯状電極14aを構成する電極指18aと、他方の櫛歯状電極14bを構成する電極指18bとを所定の間隔をあけて交互に配置している。さらに、図1(A)に示す如く電極指18a、18bは、それら電極指の延長方向が、弾性表面波の伝播方向であるX''軸と直交するように配置される。このようにして構成されるSAW共振子10によって励起されるSAWは、Rayleigh型（レイリー型）のSAWであり、X''軸とZ'軸の両方に振動変位成分を有する。そしてこのように、SAWの伝播方向を水晶の結晶軸であるX軸からずらすことで、ストップバンド上端モードのSAWを励起することが可能となるのである。

30

【0045】

また、更に、第1実施形態の変形例に係るSAW共振子10は、図3に示す如き形態とすることができる。即ち、図3に示す如くX''軸からパワーフロー角（以下、PFAと称す）だけ傾斜させたIDTを適用する場合であっても、以下の要件を満たすことによって高Q化することができる。図3(A)は、傾斜型IDT12aの一実施形態例を示す平面図であり、オイラー角で決まるSAWの伝播方向であるX''軸と傾斜型IDT12aの電極指18a、18bの延長方向とが直交関係となるように、傾斜型IDT12aにおける電極指18a、18bの配置形態を傾斜させたものである。

40

【0046】

図3(B)は、傾斜型IDT12aの別の実施形態例を示す平面図である。本例では、電極指18a、18bを相互に接続するバスバー16a、16bを傾斜させることにより、X''軸に対して電極指配列方向を傾斜させて配置しているが、図3(A)と同様にX''軸と電極指18a、18bの延長方向とが直交関係となるように構成されている。

【0047】

どのような傾斜型IDTを用いたとしても、これらの実施形態例のようにX''軸に垂

50

直な方向が電極指の延長方向となるよう電極指を配置することにより、本発明における良好な温度特性を維持しつつ、低損失なSAW共振子を実現することができる。

【0048】

ここで、ストップバンド上端モードのSAWと下端モードのSAWの関係について説明する。図4は、正規型IDT12におけるストップバンド上端モードおよび下端モードの定在波の分布を示す図である。図4に示すような正規型IDT12（図4に示すのはIDT12を構成する電極指18）によって形成されるストップバンド下端モード、および上端モードのSAWにおいて、それぞれの定在波は、腹（又は節）の位置が互いに $\lambda/2$ （即ち、 $\lambda/4$ ）ずれている。

【0049】

図4によれば上述したように、実線で示すストップバンド下端モードの定在波は、電極指18の中央位置、すなわち反射中心位置に腹が存在し、一点鎖線で示したストップバンド上端モードの定在波は反射中心位置に節が存在する。このような電極指間の中心位置に節が存在するモードでは、SAWの振動を電極指18（18a, 18b）によって効率良く電荷に変換することができず、そのモードは電気信号として励振、もしくは、受信することができない場合が多い。しかし、本出願に記載の手法では、オイラー角における θ を零でなくし、SAWの伝播方向を水晶の結晶軸であるX軸からずらすことで、ストップバンド上端モードの定在波を図4の実線の位置、すなわち、そのモードの定在波の腹を電極指18の中央位置にシフトさせることが可能となり、ストップバンド上端モードのSAWを励起することが可能となるのである。

【0050】

また、反射器20は、前記IDT12をSAWの伝播方向に挟み込むように一対設けられる。具体的構成例としては、IDT12を構成する電極指18と平行に設けられる複数の導体ストリップ22の両端をそれぞれ接続したものである。

【0051】

ここで、別の実施例においては、複数の導体ストリップ22の一端のみをそれぞれ接続することができる。さらに別の実施例においては、複数の導体ストリップ22の両端以外の箇所（例えば、導体ストリップ22の延長方向中央）でそれぞれ接続することができる。

【0052】

なお、水晶基板のSAW伝搬方向の端面からの反射波を積極的に利用する端面反射型SAW共振子や、IDTの電極指対数を多くすることでIDT自体でSAWの定在波を励起する多対IDT型SAW共振子においては、反射器は必ずしも必要ではない。

このようにして構成されるIDT12や反射器20を構成する電極膜の材料としては、アルミニウム（Al）やAlを主体とした合金を用いることができる。

【0053】

IDT12や反射器20を構成する電極膜の電極の厚みを極力少なくすることにより電極が有する温度特性の影響を最小限としている。更に、水晶基板部の溝の深さを大きく採り、水晶基板部の溝の性能によって、すなわち水晶の良好な温度特性を利用することで、良好な周波数温度特性を引き出している。それによって電極の温度特性がSAW共振子の温度特性に与える影響を小さくすることができ、電極の質量が10%以内の変動であれば良好な温度特性を維持することができる。

【0054】

なお、上記の理由により電極膜材料として合金を用いる場合、主成分となるAl以外の金属は重量比で10%以下、望ましくは3%以下にすればよい。これにより、純Alを用いた場合とAl合金を用いた場合とで、温度特性やその他電気的特性を互いに同等なものにすることができる。

【0055】

Al以外の金属を主体とした電極を用いる場合には、電極の質量がAlを用いた場合の $\pm 10\%$ 以内となるようにその電極の膜厚を調整すれば良い。このようにすることでAl

10

20

30

40

50

を用いたときと同等の良好な温度特性が得られる。

【 0 0 5 6 】

上記のような基本構成を有する S A W 共振子 1 0 における水晶基板 3 0 は、 I D T 1 2 の電極指間や反射器 2 0 の導体ストリップ間に溝（電極指間溝） 3 2 を設けている。

【 0 0 5 7 】

水晶基板 3 0 に設ける溝 3 2 は、ストップバンド上端モードにおける S A W の波長をとし、溝深さを G とした場合、

【数 1 0 】

$$0.01\lambda \leq G \quad \dots (1)$$

10

とすると良い。なお溝深さ G について上限値を定める場合には、図 5 を参照することで読み取れるように、

【数 1 1 】

$$0.01\lambda \leq G \leq 0.094\lambda \quad \dots (2)$$

の範囲とすると良い。溝深さ G をこのような範囲で定めることにより、動作温度範囲内（ - 4 0 ~ + 8 5 ）における周波数変動量を、詳細を後述する目標値としての 2 5 p p m 以下とすることができるからである。また、溝深さ G について望ましくは、

20

【数 1 2 】

$$0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (3)$$

の範囲とすると良い。溝深さ G をこのような範囲で定めることにより、溝深さ G に製造上のばらつきが生じた場合であっても、 S A W 共振子 1 0 個体間における共振周波数のシフト量を補正範囲内に抑えることができる。

【 0 0 5 8 】

また、ライン占有率 η とは図 1 (C) や図 1 (D) に示すように、電極指 1 8 の線幅（水晶凸部のみの場合には凸部の幅をいう） L を電極指 1 8 間のピッチ $P / 2 (= L + S)$ で除した値である。したがって、ライン占有率 η は、式 (4) で示すことができる。

30

【数 1 3 】

$$\eta = \frac{L}{L+S} \quad \dots (4)$$

ここで本実施形態に係る S A W 共振子 1 0 は、ライン占有率 η を式 (5)、(6) を満たすような範囲で定めると良い。なお、数 (5)、(6) から解るように G は溝 3 2 の深さ G を定めることにより導き出すことができる。

【数 1 4 】

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

$$\dots (5)$$

40

【数 1 5 】

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

$$\dots (6)$$

【 0 0 5 9 】

50

また、本実施形態に係るSAW共振子10における電極膜材料(IDT12や反射器20等)の膜厚は、

【数16】

$$0 < H \leq 0.035\lambda \quad \dots (7)$$

の範囲とすることが望ましい。

【0060】

さらに、ライン占有率について式(7)で示した電極膜の厚みを考慮した場合、式(8)により求めることができる。

【数17】

$$\begin{aligned} \eta = & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ & - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \quad \dots (8) \\ & - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \end{aligned}$$

【0061】

ライン占有率は、電極膜厚が厚いほど電気的特性(特に共振周波数)の製造ばらつきが大きくなり、電極膜厚Hが式(5)、(6)の範囲内においては±0.04以内の製造ばらつき、 $H > 0.035$ においては±0.04より大きい製造ばらつきが生じる可能性が大きい。しかしながら、電極膜厚Hが式(5)、(6)の範囲内であり、且つライン占有率のばらつきが±0.04以内であれば、二次温度係数の絶対値の小さいSAWデバイスが実現できる。即ちライン占有率は、式(8)に±0.04の公差を加えた式(9)の範囲まで許容できる。

【数18】

$$\begin{aligned} \eta = & -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) \\ & - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 \quad \dots (9) \\ & - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \pm 0.04 \end{aligned}$$

【0062】

上記のような構成の本実施形態に係るSAW共振子10では、二次温度係数を±0.01(ppm/°C²)以内とし、望ましくはSAWの動作温度範囲を-40~+85とした場合に、当該動作温度範囲内における周波数変動量Fを25ppm以下とすることができる程度まで、周波数温度特性を向上させることを目的としている。

【0063】

ところで、一般的に弾性表面波共振子の温度特性は、下式で示される。

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

ここで、fは温度Tと頂点温度T₀間の周波数変化量(ppm)、αは一次温度係数(ppm/°C)、βは二次温度係数(ppm/°C²)、Tは温度、T₀は周波数が最大となる温度(頂点温度)を意味する。

【0064】

例えば、圧電基板がいわゆるSTカット(オイラー角(θ、φ) = (0°、120°~130°、0°))の水晶板で形成されている場合、一次温度係数α = 0.0(ppm/°C)、二次温度係数β = -0.034(ppm/°C²)となり、グラフに示すと図6のようになる。図6において、温度特性は上に凸の放物線(二次曲線)を描いている。

【0065】

図6に示すようなSAW共振子は、温度の変化に対する周波数変動量が極めて大きく、

10

20

30

40

50

温度変化に対する周波数変化量 f を抑圧することが必要となる。従って、図 6 に示す二次温度係数 α をより 0 に近づけて、SAW 共振子が実際に使用される際の温度（動作温度）の変化に対する周波数変化量 f が 0 に近づくように、弾性表面波共振子を新たな知見に基づいて実現する必要があるのである。

【0066】

従って、本発明の目的の 1 つは、上記の如き課題を解消し、弾性表面波デバイスの周波数温度特性を極めて良好なものとし、温度が変化しても周波数が安定して動作する弾性表面波デバイスを実現することである。

【0067】

上記の如き技術思想（技術要素）を備えた構成とする SAW デバイスとすれば、前述の如き課題を解決することを実現し得ること、即ち、本願発明者がシミュレーションと実験を繰り返すことによって、如何にして本発明に係る知見に想到したのかについて、以下に詳細に説明し、証明する。

【0068】

なお、前述の ST カットと呼ばれる水晶基板を用いて伝搬方向を結晶 X 軸方向とした SAW 共振子は、動作温度範囲を同一とした場合、動作温度範囲内における周波数変動量 F は約 133 (ppm) となり、二次温度係数 α は、 -0.034 (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$) 程度となる。また、水晶基板のカット角と SAW 伝搬方向をオイラー角表示で $(0, 123^{\circ}, 45^{\circ})$ とし、動作温度範囲を同一とした面内回転 ST カット水晶基板を用いた SAW 共振子においてストップバンド下端モードの励振を利用した場合、周波数変動量 F は約 63 ppm、二次温度係数 α は -0.016 (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$) 程度となる。

【0069】

これら ST カット水晶基板や面内回転 ST カット水晶基板を用いた SAW 共振子はいずれもレイリー波と呼ばれる弾性表面波を利用しており、LST カット水晶基板のリーキー波と呼ばれる弾性表面波に比べて水晶基板や電極の加工精度に対する周波数や周波数温度特性のばらつきが極めて小さいため、量産性に優れ、各種の SAW 装置に利用されている。しかしながら、従来利用されていた ST カット水晶基板や面内回転 ST カット水晶基板などを用いた SAW 共振子は、前述のとおり、周波数温度特性を示す曲線を二次曲線とした二次温度特性であり、更に、その二次温度特性の二次温度係数の絶対値が大きいので、動作温度範囲における周波数変動量が大きく、周波数の安定性を求める有線通信装置や無線通信装置に使用される共振子や発振器などの SAW 装置には利用が困難であった。例えば、ST カット水晶基板の二次温度係数 α の $1/3$ 以下、面内回転 ST カット水晶基板の二次温度係数 α の 37% 以上の改善に相当する二次温度係数 α が ± 0.01 (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$) 以下の二次温度特性を持つ周波数温度特性が得られれば、そのような周波数の安定性を求める装置を実現できる。更に、二次温度係数 α がほぼ零であり、周波数温度特性を示す曲線を三次曲線とした三次温度特性が得られれば、動作温度範囲において、より周波数の安定性が高まり、より望ましい。このような三次温度特性では、 $-40 \sim +85$ もの広い動作温度範囲においても ± 25 ppm 以下の、従来の如き SAW デバイスでは実現し得なかった極めて高い周波数安定度を得られる。

【0070】

SAW 共振子 10 の周波数温度特性の変化には上述したように、IDT 12 における電極指 18 のライン占有率 ϕ や電極膜厚 H 、及び溝深さ G などが関係していることが、本願発明者が行ったシミュレーションと実験に基づく知見により明らかとなった。そして本実施形態に係る SAW 共振子 10 は、ストップバンド上端モードの励振を利用する。

【0071】

図 7 は、図 1 (C) において、電極膜厚 H を零 ($H = 0\%$) として、即ち、水晶基板 30 の表面に凹凸の水晶からなる溝 32 を形成した状態において、水晶基板 30 の表面に SAW を励起して伝播させた場合のライン占有率 ϕ の変化に対する二次温度係数 α の変化を示すグラフである。図 7 において図 7 (A) は溝深さ G を 0.02 とした場合のストップバンド上端モードの共振における二次温度係数 α を示し、図 7 (B) は溝深さ G を 0

10

20

30

40

50

． 0 2 として場合のストップバンド下端モードの共振における二次温度係数 α を示す。また、図 7 において図 7 (C) は溝深さ G を 0 . 0 4 として場合のストップバンド上端モードの共振における二次温度係数 α を示し、図 7 (D) は溝深さ G を 0 . 0 4 として場合のストップバンド下端モードの共振における二次温度係数 α を示す。なお、図 7 に示すシミュレーションは、周波数温度特性を変動させる因子を減らすために、電極膜を設けない水晶基板 3 0 に何らかの形で S A W を伝搬させた場合の例を示すものである。また、水晶基板 3 0 のカット角は、オイラー角 (0 ° , 1 2 3 ° ,) のものを使用した。なお、 α に関しては、二次温度係数 α の絶対値が最小となる値を適宜選択している。

【 0 0 7 2 】

図 7 からは、ストップバンド上端モードの場合も下端モードの場合も、ライン占有率 η が 0 . 6 ~ 0 . 7 となるあたりで二次温度係数 α が大きく変化していることを読み取ることができる。そして、ストップバンド上端モードにおける二次温度係数 α の変化とストップバンド下端モードにおける二次温度係数 α の変化とを比較すると、次のような事を読み取ることができる。すなわち、ストップバンド下端モードにおける二次温度係数 α の変化は、マイナス側からさらにマイナス側へ変化する事により特性が低下している (二次温度係数 α の絶対値が大きくなっている)。これに対し、ストップバンド上端モードにおける二次温度係数 α の変化は、マイナス側からプラス側へ変化する事により特性が向上している (二次温度係数 α の絶対値が小さくなる点が存在している) ということである。

【 0 0 7 3 】

このことより、S A W デバイスにおいて良好な周波数温度特性を得るためには、ストップバンド上端モードの振動を用いることが望ましいということが明らかとなった。

【 0 0 7 4 】

次に発明者は、溝深さ G を種々変化させた水晶基板においてストップバンド上端モードの S A W を伝搬させた際におけるライン占有率 η と二次温度係数 α との関係について調べた。

【 0 0 7 5 】

図 8 (A) 乃至 (I) は、図 7 と同様に電極膜厚 H を零 ($H = 0 \%$) として、それぞれ溝深さ G を 0 . 0 1 (1 %) から 0 . 0 8 (8 %) まで変化させたときのライン占有率 η と二次温度係数 α との関係をシミュレーションしたときの評価結果を示すグラフである。評価結果から、溝深さ G を図 8 (B) に示す如く 0 . 0 1 2 5 (1 . 2 5 %) としてあたりから $\alpha = 0$ となる点、すなわち周波数温度特性を示す近似曲線が三次曲線を示す点が現れ始めていることが読み取れる。そして、図 8 からは、 $\alpha = 0$ となる G がそれぞれ 2 箇所 (G が大きな方における $\alpha = 0$ となる点 (G_1) や、 G が小さい方における $\alpha = 0$ となる点 (G_2)) が存在することも判明した。更に、図 8 に示す評価結果から、 G_2 の方が、 G_1 よりも溝深さ G の変化に対するライン占有率 η の変動量が大きいという事も読み取ることができる。

【 0 0 7 6 】

この点については、図 9 を参照することによりその理解を深めることができる。図 9 は、溝深さ G を変えていった場合において二次温度係数 α が 0 となる G_1 、 G_2 をそれぞれプロットしたグラフである。図 9 は、溝深さ G が大きくなるにつれて、 G_1 、 G_2 は互いに小さくなるが、 G_2 の方は、縦軸 η のスケールを 0 . 5 ~ 0 . 9 の範囲で示したグラフにおいて、溝深さ $G = 0 . 0 4$ となったあたりでスケールアウトしてしまうほど変動量が大きいということを読み取ることができる。つまり、 G_2 は、溝深さ G の変化に対する変動量が大きいということがいえる。

【 0 0 7 7 】

図 1 0 (A) 乃至 (I) は、図 7 や図 8 と同様に電極膜厚 H を零 ($H = 0 \%$) として、図 8 における縦軸を二次温度係数 α に替えて周波数変動量 F として示したグラフである。図 1 0 からは当然に、 $\alpha = 0$ となる 2 つの点 (G_1 、 G_2) において、周波数変動量 F が低下する事を読み取ることができる。さらに図 1 0 からは、 $\alpha = 0$ となる 2 つの点では、溝深さ G を変えたいずれのグラフにおいても、 G_1 にあたる点の方が、周波数変動

10

20

30

40

50

量 F が小さく抑えられているということを読み取ることができる。

【0078】

上記傾向によると、製造時に誤差が生じ易い量産品に関しては、溝深さ G の変動に対する $\Delta f = 0$ となる点の周波数変動量が少ない方、すなわち $G = 0.01\lambda$ を採用することが望ましいと考えられる。図5には、各溝深さ G において二次温度係数 $\Delta f / \Delta T$ が最小となる点 ($\Delta f = 0$) での周波数変動量 Δf と溝深さ G との関係のグラフを示す。図5によると、周波数変動量 Δf が目標値である 25 ppm 以下となる溝深さ G の下限値は、溝深さ G が 0.01λ となり、溝深さ G の範囲はそれ以上、すなわち $0.01\lambda \leq G < 0.094\lambda$ ということになる。

【0079】

なお、図5にはシミュレーションによって、溝深さ G が 0.08λ 以上となる場合の例も追加した。このシミュレーションによれば溝深さ G は、 0.01λ 以上で周波数変動量 Δf が 25 ppm 以下となり、その後、溝深さ G が増す毎に周波数変動量 Δf が小さくなる。しかし、溝深さ G が約 0.9λ 以上となった場合に、周波数変動量 Δf は再び増加し、 0.094λ を越えると周波数変動量 Δf が 25 ppm を超えることとなる。

10

【0080】

図5に示すグラフは水晶基板30上に、IDT12や反射器20等の電極膜を形成していない状態でのシミュレーションであるが、詳細を以下に示す図21～図26を参照すると解るように、SAW共振子10は電極膜を設けた方が周波数変動量 Δf を小さくすることができると考えられる。よって溝深さ G の上限値を定めるとすれば電極膜を形成していない状態での最大値、すなわち $G = 0.094\lambda$ とすれば良く、目標を達成するために好適な溝深さ G の範囲としては、

20

【数19】

$$0.01\lambda \leq G \leq 0.094\lambda \quad \dots (2)$$

と示すことができる。

【0081】

なお、量産工程において溝深さ G は、最大 $\pm 0.001\lambda$ 程度のバラツキを持つ。よって、ライン占有率 η を一定とした場合において、溝深さ G が $\pm 0.001\lambda$ だけズレた場合におけるSAW共振子10の個々の周波数変動量 Δf について図11に示す。図11によれば、 $G = 0.04\lambda$ の場合において、溝深さ G が $\pm 0.001\lambda$ ズレた場合、すなわち溝深さが $0.039\lambda \leq G \leq 0.041\lambda$ の範囲においては、周波数変動量 Δf が $\pm 500 \text{ ppm}$ 程度であるということを読み取ることができる。

30

【0082】

ここで、周波数変動量 Δf が $\pm 1000 \text{ ppm}$ 未満であれば、種々の周波数微調整手段により周波数調整が可能である。しかし、周波数変動量 Δf が $\pm 1000 \text{ ppm}$ 以上となった場合には、周波数の調整により Q 値、 CI (crystal impedance) 値等の静特性や、長期信頼性への影響が生じ、SAW共振子10として良品率の低下へと繋がる。

【0083】

図11に示すプロットを繋ぐ直線について、周波数変動量 Δf [ppm] と溝深さ G との関係を示す近似式を導くと、式(10)を得ることができる。

40

【数20】

$$\Delta f = 16334(G/\lambda) - 137 \quad \dots (10)$$

【0084】

ここで、 $\Delta f < 1000 \text{ ppm}$ となる G の値を求めると、 $G = 0.0695\lambda$ となる。したがって、本実施形態に係る溝深さ G の範囲として好適には、

【数 2 1】

$$0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (3)$$

とすることが望ましいということができる。

【0085】

次に、図12(A)乃至(F)に、二次温度係数 = 0となる、すなわち三次温特を示すライン占有率と溝深さGとの関係をシミュレーションしたときの評価結果のグラフを示す。水晶基板30は、オイラー角を(0°, 123°,)とした。ここで 10

については、周波数温度特性が三次曲線の傾向を示す角度、すなわち二次温度係数 = 0となる角度を適宜選択している。なお、図12と同様な条件において、 = 0となるを得た際のオイラー角と溝深さGとの関係を図34に示す。図34の電極膜厚H = 0.02のグラフ(図34(C))において、 < 42°のプロットが表示されていないが、このグラフの 2のプロットはG = 0.03にて = 41.9°となっている。各電極膜厚における溝深さGとライン占有率との関係については、詳細を後述する図15~図20に基づいてプロットを得ている。

【0086】

図12(A)乃至(F)に示す評価結果からは、いずれの膜厚においても、上述したように、 1は 2に比べて溝深さGの変化による変動が少ないということを読み取ることができる。このため、図12におけるそれぞれの膜厚の溝深さGとライン占有率との関係を示すグラフから 1を抜き出し図13(A)に 0となる点をプロットしてまとめた。それに対して、 0とはならずとも、 | | 0.01 (ppm / °²)を満足する領域を評価したところ、図13(B)に示す如く実線で示す多角形の中に 1が集中していることが明らかとなった。 20

【0087】

図13(B)の点a乃至hの座標を下表1に示す。

【表1】

点	G/λ	η
a	0.01	0.70
b	0.03	0.66
c	0.05	0.62
d	0.07	0.55
e	0.07	0.60
f	0.05	0.65
g	0.03	0.70
h	0.01	0.75

30

【0088】

図13(B)は、点a乃至hで囲まれた多角形内であれば、電極膜厚Hの厚みに係わらず | | 0.01 (ppm / °²)が保証され、良好な周波数温度特性が得られることを示している。この良好な周波数温度特性が得られる範囲は、下に示す式(11)と式(12)、および式(13)の両方を満足する範囲である。 40

【数 2 2】

$$\eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (11)$$

【数 2 3】

$$\eta \geq -2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda \quad \dots (12)$$

【数 2 4】

$$\eta \geq -3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \quad \text{ただし、} 0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (13)$$

10

式(11)、(12)、(13)より、図13(B)において実線で囲った範囲において、ライン占有率は、式(5)と式(6)の両方を満たす範囲として特定することができる。

【数 2 5】

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

... (5)

20

【数 2 6】

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

... (6)

【0089】

ここで、二次温度係数を ± 0.01 (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$) 以内まで許容する場合、 $0.0100 < G \leq 0.0500$ においては、式(3)と式(5)を共に満たし、 $0.0500 < G \leq 0.0695$ においては、式(3)と式(6)を共に満たすように構成すれば、二次温度係数が ± 0.01 (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$) 以内になることを確認した。

30

【0090】

尚、点a乃至hにおける各電極膜厚Hの二次温度係数 (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$) の値を下表2に示す。表2からは、全ての点において、 $|\text{係数}| \leq 0.01$ (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$) となっていることが確認できる。

【表 2】

点	電極膜厚H					
	1%λ	1.5%λ	2%λ	2.5%λ	3%λ	3.5%λ
a	-0.099×10^{-1}	-0.070×10^{-1}	-0.030×10^{-1}	0.030×10^{-1}	-0.050×10^{-1}	-0.060×10^{-1}
b	0.040×10^{-1}	0.030×10^{-1}	0.000×10^{-1}	0.000×10^{-1}	-0.020×10^{-1}	-0.040×10^{-1}
c	0.070×10^{-1}	-0.040×10^{-1}	0.010×10^{-1}	-0.036×10^{-1}	-0.040×10^{-1}	-0.057×10^{-1}
d	0.067×10^{-1}	-0.022×10^{-1}	-0.070×10^{-1}	-0.080×10^{-1}	-0.090×10^{-1}	-0.099×10^{-1}
e	-0.039×10^{-1}	-0.060×10^{-1}	-0.090×10^{-1}	-0.080×10^{-1}	-0.090×10^{-1}	-0.094×10^{-1}
f	-0.023×10^{-1}	-0.070×10^{-1}	-0.050×10^{-1}	-0.062×10^{-1}	-0.060×10^{-1}	-0.070×10^{-1}
g	-0.070×10^{-1}	-0.060×10^{-1}	-0.090×10^{-1}	-0.070×10^{-1}	-0.070×10^{-1}	-0.070×10^{-1}
h	-0.099×10^{-1}	-0.030×10^{-1}	-0.091×10^{-1}	-0.080×10^{-1}	-0.080×10^{-1}	-0.080×10^{-1}

40

【0091】

また、式(11)～(13)およびこれにより導かれる式(5)、(6)を踏まえて電

50

極膜厚 $H = 0, 0.01, 0.02, 0.03$ とした SAW 共振子 10 についてそれぞれ、 $\alpha = 0$ となる溝深さ G とライン占有率 β との関係を近似直線で示すと図 14 のようになる。なお、電極膜を設けない水晶基板 30 における溝深さ G とライン占有率 β との関係については、図 9 に示した通りである。

【0092】

電極膜厚 H を 3.0% (0.030) 以下で変化させたときに、 $\alpha = 0$ 、即ち、三次曲線の周波数温度特性が得られる。このとき、周波数温度特性が良好となる G と β との関係式は式 (8) で示すことができる。

【数 27】

$$\eta = -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \quad \dots (8)$$

10

ここで、 G 、 H の単位は μm である。

但し、この式 (8) は、電極膜厚 H が、 $0 < H \leq 0.030$ の範囲において成立するものである。

【0093】

ライン占有率 β は、電極膜厚が厚いほど電気的特性 (特に共振周波数) の製造ばらつきが大きくなり、電極膜厚 H が式 (5)、(6) の範囲内においては ± 0.04 以内の製造ばらつき、 $H > 0.035$ においては ± 0.04 より大きい製造ばらつきが生じる可能性が大きい。しかしながら、電極膜厚 H が式 (5)、(6) の範囲内であり、且つライン占有率 β のばらつきが ± 0.04 以内であれば、二次温度係数 α の小さい SAW デバイス可以实现できる。即ち、ライン占有率の製造ばらつきを考慮した上で二次温度係数 α を $\pm 0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 以内とする場合、ライン占有率 β は、式 (8) に ± 0.04 の公差を加えた式 (9) の範囲まで許容できる。

20

【数 28】

$$\eta = -1963.05 \times (G/\lambda)^3 + 196.28 \times (G/\lambda)^2 - 6.53 \times (G/\lambda) - 135.99 \times (H/\lambda)^2 + 5.817 \times (H/\lambda) + 0.732 - 99.99 \times (G/\lambda) \times (H/\lambda) \pm 0.04 \quad \dots (9)$$

30

【0094】

図 15 ~ 図 20 に、電極膜厚をそれぞれ 0.01 (1%)、 0.015 (1.5%)、 0.02 (2%)、 0.025 (2.5%)、 0.03 (3%)、 0.035 (3.5%) とした場合において、溝深さ G を変化させた場合におけるライン占有率 β と二次温度係数 α との関係のグラフを示す。

【0095】

また、図 21 ~ 図 26 には、図 15 ~ 図 20 にそれぞれ対応した SAW 共振子 10 におけるライン占有率 β と周波数変動量 F との関係のグラフを示す。なお、水晶基板はいずれもオイラー角 ($0^\circ, 123^\circ, \dots$) のものを使用し、 α については適宜 F が最小となる角度を選択する。

40

【0096】

ここで、図 15 (A) 乃至 (F) は、電極膜厚 H を 0.01 とした場合のライン占有率 β と二次温度係数 α との関係を示す図であり、図 21 (A) 乃至 (F) は電極膜厚 H を 0.01 とした場合のライン占有率 β と周波数変動量 F との関係を示す図である。

【0097】

また、図 16 (A) 乃至 (F) は、電極膜厚 H を 0.015 とした場合のライン占有率 β と二次温度係数 α との関係を示す図であり、図 22 (A) 乃至 (F) は電極膜厚 H を

50

0.015 とした場合のライン占有率 と周波数変動量 F との関係を示す図である。

【0098】

また、図17(A)乃至(F)は、電極膜厚 H を 0.02 とした場合のライン占有率 と二次温度係数 との関係を示す図であり、図23(A)乃至(F)は電極膜厚 H を 0.02 とした場合のライン占有率 と周波数変動量 F との関係を示す図である。

【0099】

また、図18(A)乃至(F)は、電極膜厚 H を 0.025 とした場合のライン占有率 と二次温度係数 との関係を示す図であり、図24(A)乃至(F)は電極膜厚 H を 0.025 とした場合のライン占有率 と周波数変動量 F との関係を示す図である。

【0100】

また、図19(A)乃至(F)は、電極膜厚 H を 0.03 とした場合のライン占有率 と二次温度係数 との関係を示す図であり、図25(A)乃至(F)は電極膜厚 H を 0.03 とした場合のライン占有率 と周波数変動量 F との関係を示す図である。

【0101】

また、図20(A)乃至(F)は、電極膜厚 H を 0.035 とした場合のライン占有率 と二次温度係数 との関係を示す図であり、図26(A)乃至(F)は電極膜厚 H を 0.035 とした場合のライン占有率 と周波数変動量 F との関係を示す図である。

【0102】

これらの図(図15~図26)においては、いずれのグラフにおいても微差はあるものの、その変化の傾向に関しては、水晶基板30のみにおけるライン占有率 と二次温度係数 、およびライン占有率 と周波数変動量 F の関係を示すグラフである図8、図10と似ていることが解る。

つまり、本実施形態に係る効果は、電極膜を除いた水晶基板30単体における弾性表面波の伝播においても奏することができるということが言える。

【0103】

二次温度係数 が0となる2点の 1、 2の各々に対して、 の範囲を | | 0.01 (ppm/°²)まで拡張したときの 1、 2の範囲について、電極膜厚 H の範囲を定めて溝深さ G を変化させた場合について、それぞれシミュレーションを実施した。なお、 1、 2はそれぞれ、 | | 0.01 (ppm/°²)となる大きい方の を 1、 | | 0.01 (ppm/°²)となる小さい方の を 2としている。なお、水晶基板はいずれもオイラー角(0°, 123°,)のものを使用し、 については適宜 F が最少となる角度を選択する。

【0104】

図27(A)は、電極膜厚 H を $0.000 < H < 0.005$ とした場合において、上記 の範囲を満たす 1と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表3は、図27(A)に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標($G/$ 、)と、当該計測点における の値を示す表である。

10

20

30

【表 3】

点	G/λ	η	β (ppm/°C ²)
a	0.010	0.710	-0.098×10^{-1}
b	0.020	0.710	-0.099×10^{-1}
c	0.030	0.710	-0.095×10^{-1}
d	0.040	0.710	-0.100×10^{-1}
e	0.050	0.710	-0.100×10^{-1}
f	0.060	0.710	-0.098×10^{-1}
g	0.070	0.710	-0.099×10^{-1}
h	0.080	0.710	-0.097×10^{-1}
i	0.090	0.710	-0.100×10^{-1}
j	0.090	0.420	0.073×10^{-1}
k	0.080	0.570	0.086×10^{-1}
l	0.070	0.590	0.093×10^{-1}
m	0.060	0.615	0.077×10^{-1}
n	0.050	0.630	0.054×10^{-1}
o	0.040	0.635	0.097×10^{-1}
p	0.030	0.650	0.097×10^{-1}
q	0.020	0.670	0.074×10^{-1}
r	0.010	0.710	0.091×10^{-1}

10

20

【0105】

図 27 (A) と表 3 から、1 では電極膜厚 H が上記範囲内である場合、溝深さ G が $0.01 < G < 0.09$ の範囲において、計測点 a - r を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、 β が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

【0106】

図 27 (B) は、電極膜厚 H を $0.000 < H < 0.005$ とした場合において、上記の範囲を満たす 2 と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表 4 は、図 27 (B) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 (G/λ 、 η) と、当該計測点における β の値を示す表である。

30

【表 4】

点	G/λ	η	β (ppm/°C ²)
a	0.030	0.590	0.097×10^{-1}
b	0.040	0.580	0.097×10^{-1}
c	0.050	0.550	0.054×10^{-1}
d	0.060	0.520	0.077×10^{-1}
e	0.070	0.480	0.093×10^{-1}
f	0.080	0.450	0.086×10^{-1}
g	0.090	0.400	0.073×10^{-1}
h	0.090	0.180	0.056×10^{-1}
i	0.080	0.340	0.093×10^{-1}
j	0.070	0.410	0.078×10^{-1}
k	0.060	0.460	0.094×10^{-1}
l	0.050	0.490	0.085×10^{-1}
m	0.040	0.520	0.099×10^{-1}
n	0.030	0.550	0.098×10^{-1}

40

【0107】

50

図 27 (B) と表 4 から、2 では電極膜厚 H が上記範囲内である場合、溝深さ G が $0.03 < G < 0.09$ の範囲において、計測点 a - n を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、 β が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

【0108】

図 28 (A) は、電極膜厚 H を $0.005 < H < 0.010$ とした場合において、上記の範囲を満たす 1 と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表 5 は、図 28 (A) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 (G/λ 、 η) と、当該計測点における β の値を示す表である。

【表 5】

点	G/λ	η	β (ppm/°C ²)
a	0.010	0.770	-0.099×10^{-1}
b	0.020	0.740	-0.100×10^{-1}
c	0.030	0.715	-0.100×10^{-1}
d	0.040	0.730	-0.098×10^{-1}
e	0.050	0.740	-0.100×10^{-1}
f	0.060	0.730	-0.098×10^{-1}
g	0.070	0.730	-0.100×10^{-1}
h	0.080	0.730	-0.100×10^{-1}
i	0.080	0.500	0.086×10^{-1}
j	0.070	0.570	0.100×10^{-1}
k	0.060	0.610	0.095×10^{-1}
l	0.050	0.630	0.100×10^{-1}
m	0.040	0.635	0.097×10^{-1}
n	0.030	0.655	0.070×10^{-1}
o	0.020	0.680	0.100×10^{-1}
p	0.010	0.760	0.016×10^{-1}

10

20

30

【0109】

図 28 (A) と表 5 から、1 では電極膜厚 H が上記範囲内である場合、溝深さ G が $0.01 < G < 0.08$ の範囲において、計測点 a - p を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、 β が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

【0110】

図 28 (B) は、電極膜厚 H を $0.005 < H < 0.010$ とした場合において、上記の範囲を満たす 2 と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表 6 は、図 28 (B) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 (G/λ 、 η) と、当該計測点における β の値を示す表である。

【表 6】

点	G/λ	η	β (ppm/°C ²)
a	0.020	0.650	0.090×10^{-1}
b	0.030	0.610	0.098×10^{-1}
c	0.040	0.570	0.097×10^{-1}
d	0.050	0.550	0.040×10^{-1}
e	0.060	0.520	0.066×10^{-1}
f	0.070	0.470	0.070×10^{-1}
g	0.070	0.370	-0.094×10^{-1}
h	0.060	0.440	-0.096×10^{-1}
i	0.050	0.480	-0.096×10^{-1}
j	0.040	0.520	-0.095×10^{-1}
k	0.030	0.550	-0.099×10^{-1}
l	0.020	0.590	-0.100×10^{-1}

10

【0111】

図28(B)と表6から、2では電極膜厚Hが上記範囲内である場合、溝深さGが0.02 < G < 0.07の範囲において、計測点a-lを頂点とする多角形で囲まれた領域内では、1が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

【0112】

20

図29(A)は、電極膜厚Hを0.010 < H < 0.015とした場合において、上記1の範囲を満たす1と溝深さGの関係を示すグラフであり、表7は、図29(A)に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標(G/λ、η)と、当該計測点におけるβの値を示す表である。

【表7】

点	G/λ	η	β (ppm/°C ²)
a	0.010	0.770	-0.099×10^{-1}
b	0.020	0.760	-0.099×10^{-1}
c	0.030	0.760	-0.099×10^{-1}
d	0.040	0.750	-0.099×10^{-1}
e	0.050	0.750	-0.099×10^{-1}
f	0.060	0.750	-0.099×10^{-1}
g	0.070	0.740	-0.099×10^{-1}
h	0.080	0.740	-0.098×10^{-1}
i	0.080	0.340	0.088×10^{-1}
j	0.070	0.545	0.088×10^{-1}
k	0.060	0.590	0.099×10^{-1}
l	0.050	0.620	0.090×10^{-1}
m	0.040	0.645	0.060×10^{-1}
n	0.030	0.670	0.030×10^{-1}
o	0.020	0.705	0.076×10^{-1}
p	0.010	0.760	0.010×10^{-1}

30

40

【0113】

図29(A)と表7から、1では電極膜厚Hが上記範囲内である場合、溝深さGが0.01 < G < 0.08の範囲において、計測点a-pを頂点とする多角形で囲まれた領域内では、1が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

【0114】

図29(B)は、電極膜厚Hを0.010 < H < 0.015とした場合において、

50

上記の範囲を満たす 2 と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表 8 は、図 29 (B) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 (G / λ 、 η) と、当該計測点における β の値を示す表である。

【表 8】

点	G/λ	η	β (ppm/°C ²)
a	0.010	0.740	0.099 × 10 ⁻¹
b	0.020	0.650	0.090 × 10 ⁻¹
c	0.030	0.610	0.090 × 10 ⁻¹
d	0.040	0.570	0.080 × 10 ⁻¹
e	0.050	0.540	0.060 × 10 ⁻¹
f	0.060	0.480	0.060 × 10 ⁻¹
g	0.070	0.430	0.099 × 10 ⁻¹
h	0.070	0.350	-0.099 × 10 ⁻¹
i	0.060	0.420	-0.090 × 10 ⁻¹
j	0.050	0.470	-0.090 × 10 ⁻¹
k	0.040	0.510	-0.090 × 10 ⁻¹
l	0.030	0.550	-0.090 × 10 ⁻¹
m	0.020	0.610	-0.099 × 10 ⁻¹
n	0.010	0.700	-0.099 × 10 ⁻¹

10

20

【0115】

図 29 (B) と表 8 から、2 では電極膜厚 H が上記範囲内である場合、溝深さ G が 0.01 < G < 0.07 の範囲において、計測点 a - n を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、β が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

【0116】

図 30 (A) は、電極膜厚 H を 0.015 < H < 0.020 とした場合において、上記の範囲を満たす 1 と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表 9 は、図 30 (A) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 (G / λ 、 η) と、当該計測点における β の値を示す表である。

【表 9】

点	G/λ	η	β (ppm/°C ²)
a	0.010	0.770	-0.100 × 10 ⁻¹
b	0.020	0.770	-0.100 × 10 ⁻¹
c	0.030	0.760	-0.100 × 10 ⁻¹
d	0.040	0.760	-0.100 × 10 ⁻¹
e	0.050	0.760	-0.100 × 10 ⁻¹
f	0.060	0.750	-0.100 × 10 ⁻¹
g	0.070	0.750	-0.100 × 10 ⁻¹
h	0.070	0.510	0.100 × 10 ⁻¹
i	0.060	0.570	0.099 × 10 ⁻¹
j	0.050	0.620	0.097 × 10 ⁻¹
k	0.040	0.640	0.096 × 10 ⁻¹
l	0.030	0.660	0.080 × 10 ⁻¹
m	0.020	0.675	0.076 × 10 ⁻¹
n	0.010	0.700	0.010 × 10 ⁻¹

40

30

50

【0117】

図 30 (A) と表 9 から、1 では電極膜厚 H が上記範囲内である場合、溝深さ G が 0.01 < G < 0.07 の範囲において、計測点 a - n を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、β が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

【 0 1 1 8 】

図 3 0 (B) は、電極膜厚 H を $0.015 < H < 0.020$ とした場合において、上記の範囲を満たす 2 と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表 1 0 は、図 3 0 (B) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 (G/λ 、 η) と、当該計測点における β の値を示す表である。

【表 1 0】

点	G/λ	η	β (ppm/°C ²)
a	0.010	0.690	0.010×10^{-1}
b	0.020	0.640	0.090×10^{-1}
c	0.030	0.590	0.090×10^{-1}
d	0.040	0.550	0.080×10^{-1}
e	0.050	0.510	0.080×10^{-1}
f	0.060	0.470	0.090×10^{-1}
g	0.070	0.415	0.100×10^{-1}
h	0.070	0.280	-0.100×10^{-1}
i	0.060	0.380	-0.090×10^{-1}
j	0.050	0.470	-0.090×10^{-1}
k	0.040	0.510	-0.090×10^{-1}
l	0.030	0.550	-0.090×10^{-1}
m	0.020	0.610	-0.100×10^{-1}
n	0.010	0.680	-0.100×10^{-1}

10

20

【 0 1 1 9 】

図 3 0 (B) と表 1 0 から、2 では電極膜厚 H が上記範囲内である場合、溝深さ G が $0.01 < G < 0.07$ の範囲において、計測点 a - n を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、 β が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

【 0 1 2 0 】

図 3 1 (A) は、電極膜厚 H を $0.020 < H < 0.025$ とした場合において、上記の範囲を満たす 1 と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表 1 1 は、図 3 1 (A) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 (G/λ 、 η) と、当該計測点における β の値を示す表である。

30

【表 1 1】

点	G/λ	η	β (ppm/°C ²)
a	0.010	0.770	-0.100×10^{-1}
b	0.020	0.770	-0.100×10^{-1}
c	0.030	0.760	-0.100×10^{-1}
d	0.040	0.760	-0.100×10^{-1}
e	0.050	0.760	-0.096×10^{-1}
f	0.060	0.760	-0.100×10^{-1}
g	0.070	0.760	-0.100×10^{-1}
h	0.070	0.550	0.100×10^{-1}
i	0.060	0.545	0.090×10^{-1}
j	0.050	0.590	0.097×10^{-1}
k	0.040	0.620	0.100×10^{-1}
l	0.030	0.645	0.100×10^{-1}
m	0.020	0.680	0.070×10^{-1}
n	0.010	0.700	0.030×10^{-1}

40

【 0 1 2 1 】

図 3 1 (A) と表 1 1 から、1 では電極膜厚 H が上記範囲内である場合、溝深さ G が $0.01 < G < 0.07$ の範囲において、計測点 a - n を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、 β が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

50

【 0 1 2 2 】

図 3 1 (B) は、電極膜厚 H を $0.020 < H < 0.025$ とした場合において、上記の範囲を満たす η と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表 1 2 は、図 3 1 (B) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 (G/λ 、 η) と、当該計測点における β の値を示す表である。

【表 1 2】

点	G/λ	η	β (ppm/°C ²)
a	0.010	0.690	0.030×10^{-1}
b	0.020	0.640	0.090×10^{-1}
c	0.030	0.590	0.090×10^{-1}
d	0.040	0.550	0.090×10^{-1}
e	0.050	0.510	0.080×10^{-1}
f	0.060	0.420	0.090×10^{-1}
g	0.070	0.415	0.080×10^{-1}
h	0.070	0.340	-0.098×10^{-1}
i	0.060	0.340	-0.100×10^{-1}
j	0.050	0.420	-0.100×10^{-1}
k	0.040	0.470	-0.100×10^{-1}
l	0.030	0.520	-0.093×10^{-1}
m	0.020	0.580	-0.100×10^{-1}
n	0.010	0.650	-0.090×10^{-1}

10

20

【 0 1 2 3 】

図 3 1 (B) と表 1 2 から、 η では電極膜厚 H が上記範囲内である場合、溝深さ G が $0.01 < G < 0.07$ の範囲において、計測点 a - n を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、 β が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

【 0 1 2 4 】

図 3 2 (A) は、電極膜厚 H を $0.025 < H < 0.030$ とした場合において、上記の範囲を満たす η と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表 1 3 は、図 3 2 (A) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 (G/λ 、 η) と、当該計測点における β の値を示す表である。

30

【表 1 3】

点	G/λ	η	β (ppm/°C ²)
a	0.010	0.770	-0.098×10^{-1}
b	0.020	0.770	-0.100×10^{-1}
c	0.030	0.770	-0.100×10^{-1}
d	0.040	0.760	-0.100×10^{-1}
e	0.050	0.760	-0.099×10^{-1}
f	0.060	0.760	-0.100×10^{-1}
g	0.070	0.760	-0.100×10^{-1}
h	0.070	0.550	0.080×10^{-1}
i	0.060	0.505	0.087×10^{-1}
j	0.050	0.590	0.090×10^{-1}
k	0.040	0.620	0.100×10^{-1}
l	0.030	0.645	0.100×10^{-1}
m	0.020	0.680	0.083×10^{-1}
n	0.010	0.700	0.052×10^{-1}

40

50

【 0 1 2 5 】

図 3 2 (A) と表 1 3 から、 1 では電極膜厚 H が上記範囲内である場合、溝深さ G が $0.01 < G < 0.07$ の範囲において、計測点 $a - n$ を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、 β が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

【 0 1 2 6 】

図 3 2 (B) は、電極膜厚 H を $0.025 < H < 0.030$ とした場合において、上記の範囲を満たす 2 と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表 1 4 は、図 3 2 (B) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 (G/λ 、 η) と、当該計測点における β の値を示す表である。

【表 1 4】

10

点	G/λ	η	β (ppm/°C ²)
a	0.010	0.670	0.052×10^{-1}
b	0.020	0.605	0.081×10^{-1}
c	0.030	0.560	0.092×10^{-1}
d	0.040	0.520	0.099×10^{-1}
e	0.050	0.470	0.086×10^{-1}
f	0.060	0.395	0.070×10^{-1}
g	0.070	0.500	0.080×10^{-1}
h	0.070	0.490	-0.100×10^{-1}
i	0.060	0.270	-0.100×10^{-1}
j	0.050	0.410	-0.100×10^{-1}
k	0.040	0.470	-0.100×10^{-1}
l	0.030	0.520	-0.093×10^{-1}
m	0.020	0.580	-0.099×10^{-1}
n	0.010	0.620	-0.090×10^{-1}

20

【 0 1 2 7 】

図 3 2 (B) と表 1 4 から、 2 では電極膜厚 H が上記範囲内である場合、溝深さ G が $0.01 < G < 0.07$ の範囲において、計測点 $a - n$ を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、 β が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

30

【 0 1 2 8 】

図 3 3 (A) は、電極膜厚 H を $0.030 < H < 0.035$ とした場合において、上記の範囲を満たす 1 と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表 1 5 は、図 3 3 (A) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 (G/λ 、 η) と、当該計測点における β の値を示す表である。

【表 1 5】

点	G/λ	η	β (ppm/°C ²)
a	0.010	0.770	-0.100×10^{-1}
b	0.020	0.770	-0.098×10^{-1}
c	0.030	0.770	-0.100×10^{-1}
d	0.040	0.760	-0.100×10^{-1}
e	0.050	0.760	-0.100×10^{-1}
f	0.060	0.760	-0.100×10^{-1}
g	0.070	0.760	-0.100×10^{-1}
h	0.070	0.550	0.090×10^{-1}
i	0.060	0.500	0.087×10^{-1}
j	0.050	0.545	0.090×10^{-1}
k	0.040	0.590	0.091×10^{-1}
l	0.030	0.625	0.080×10^{-1}
m	0.020	0.650	0.083×10^{-1}
n	0.010	0.680	0.093×10^{-1}

10

【 0 1 2 9】

図 3 3 (A) と表 1 5 から、 1 では電極膜厚 H が上記範囲内である場合、溝深さ G が $0.01 < G < 0.07$ の範囲において、計測点 a - n を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、 β が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

20

【 0 1 3 0】

図 3 3 (B) は、電極膜厚 H を $0.030 < H < 0.035$ とした場合において、上記の範囲を満たす 2 と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表 1 6 は、図 3 3 (B) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 (G/λ 、 η) と、当該計測点における β の値を示す表である。

【表 1 6】

点	G/λ	η	β (ppm/°C ²)
a	0.010	0.655	0.080×10^{-1}
b	0.020	0.590	0.081×10^{-1}
c	0.030	0.540	0.092×10^{-1}
d	0.040	0.495	0.099×10^{-1}
e	0.050	0.435	0.090×10^{-1}
f	0.060	0.395	0.061×10^{-1}
g	0.070	0.500	0.090×10^{-1}
h	0.070	0.550	-0.100×10^{-1}
i	0.060	0.380	-0.090×10^{-1}
j	0.050	0.330	-0.100×10^{-1}
k	0.040	0.410	-0.095×10^{-1}
l	0.030	0.470	-0.099×10^{-1}
m	0.020	0.520	-0.100×10^{-1}
n	0.010	0.590	-0.100×10^{-1}

30

40

【 0 1 3 1】

図 3 3 (B) と表 1 6 から、 2 では電極膜厚 H が上記範囲内である場合、溝深さ G が $0.01 < G < 0.07$ の範囲において、計測点 a - n を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、 β が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

【 0 1 3 2】

図 3 5 に、図 3 4 に示すグラフにおける 1 によって得られる β と溝深さ G との関係を

50

まとめた。なお、 ψ を選択した理由については上述した通りである。図 3 5 に示すように、電極膜の膜厚が変化した場合であっても、 ψ の角度には殆ど違いは無く、 ψ の最適角度は溝深さ G の変動にしたがって変化して行くことが解る。これも、二次温度係数 α の変化が水晶基板 3 0 の形態に起因する割合が高いことの裏付けといえることができる。

【 0 1 3 3 】

上記と同様にして、二次温度係数 $\alpha = -0.01$ (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$) となる ψ と $\alpha = +0.01$ (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$) となる ψ について溝深さ G との関係を求め、図 3 6、図 3 7 にまとめた。これらのグラフ (図 3 5 ~ 図 3 7) から -0.01 ψ + 0.01 とすることのできる ψ の角度を求めると、上記条件下における好適な ψ の角度範囲は $43^{\circ} < \psi < 45^{\circ}$ と定めることができ、さらに好適には $43.2^{\circ} < \psi < 44.2^{\circ}$ と定めることができる。

10

【 0 1 3 4 】

なお、電極膜厚 H を変化させた場合において、溝深さ G を変化させた際に ψ が 0.01 (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$) の要件を満たす ψ の範囲についてシミュレーションを行った。そのシミュレーションの結果を、図 3 8 ~ 図 4 4 に示す。なお、水晶基板はいずれもオイラー角 (0° , 123° , ...) のものを使用し、 ψ については適宜 F が最少となる角度を選択する。

【 0 1 3 5 】

図 3 8 (A) は、電極膜厚 H の範囲を $0 < H \leq 0.005$ とした場合において、 ψ が 0.01 (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$) の要件を満たす ψ の範囲を示すグラフである。ここで、 ψ の最大値を示すプロットを結ぶ直線と、 ψ の最小値を示すプロットを結ぶ破線とで挟まれた範囲が、上記条件を満たす範囲である。

20

【 0 1 3 6 】

溝深さ G を $0.01 \leq G \leq 0.0695$ の範囲として、図 3 8 (A) に示す実線と破線の範囲を多角形状で近似すると、図 3 8 (B) のように示すことができ、図 3 8 (B) において実線で示される多角形の内側にあたる範囲では、 ψ が上記条件を満たすといえる。図 3 8 (B) に示される多角形の範囲を近似式で示すと、式 (14)、(15) で示すことができる。

【 数 2 9 】

$$\psi \leq 3.0 \times G / \lambda + 43.92 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (14)$$

30

【 数 3 0 】

$$\psi \geq -48.0 \times G / \lambda + 44.35 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (15)$$

【 0 1 3 7 】

図 3 9 (A) は、電極膜厚 H の範囲を $0.005 < H \leq 0.010$ とした場合において、 ψ が 0.01 (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$) の要件を満たす ψ の範囲を示すグラフである。ここで、 ψ の最大値を示すプロットを結ぶ直線と、 ψ の最小値を示すプロットを結ぶ破線とで挟まれた範囲が、上記条件を満たす範囲である。

40

【 0 1 3 8 】

溝深さ G を $0.01 \leq G \leq 0.0695$ の範囲として、図 3 9 (A) に示す実線と破線の範囲を多角形状で近似すると、図 2 9 (B) のように示すことができ、図 3 9 (B) において実線で示される多角形の内側にあたる範囲では、 ψ が上記条件を満たすといえる。図 3 9 (B) に示される多角形の範囲を近似式で示すと、式 (16)、(17) で示すことができる。

【数 3 1】

$$\psi \leq 8.0 \times G/\lambda + 43.60 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (16)$$

【数 3 2】

$$\psi \geq -48.0 \times G/\lambda + 44.00 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (17)$$

【0139】

図 40 (A) は、電極膜厚 H の範囲を $0.010 < H \leq 0.015$ とした場合において、 $\left| \frac{\psi}{H} - 0.01 \right| \leq 0.01$ (ppm/ λ^2) の要件を満たす G の範囲を示すグラフである。ここで、 ψ の最大値を示すプロットを結ぶ直線と、 ψ の最小値を示すプロットを結ぶ破線とで挟まれた範囲が、上記条件を満たす範囲である。 10

【0140】

溝深さ G を $0.01 \leq G \leq 0.0695$ の範囲として、図 40 (A) に示す実線と破線の範囲を多角形状で近似すると、図 40 (B) のように示すことができ、図 40 (B) において実線で示される多角形の内側にあたる範囲では、 $\left| \frac{\psi}{H} - 0.01 \right| \leq 0.01$ が上記条件を満たすといえる。図 40 (B) に示される多角形の範囲を近似式で示すと、式 (18)、(19) で示すことができる。 20

【数 3 3】

$$\psi \leq 10.0 \times G/\lambda + 43.40 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (18)$$

【数 3 4】

$$\psi \geq -44.0 \times G/\lambda + 43.80 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (19)$$

【0141】

図 41 (A) は、電極膜厚 H の範囲を $0.015 < H \leq 0.020$ とした場合において、 $\left| \frac{\psi}{H} - 0.01 \right| \leq 0.01$ (ppm/ λ^2) の要件を満たす G の範囲を示すグラフである。ここで、 ψ の最大値を示すプロットを結ぶ直線と、 ψ の最小値を示すプロットを結ぶ破線とで挟まれた範囲が、上記条件を満たす範囲である。 30

【0142】

溝深さ G を $0.01 \leq G \leq 0.0695$ の範囲として、図 41 (A) に示す実線と破線の範囲を多角形状で近似すると、図 41 (B) のように示すことができ、図 41 (B) において実線で示される多角形の内側にあたる範囲では、 $\left| \frac{\psi}{H} - 0.01 \right| \leq 0.01$ が上記条件を満たすといえる。図 41 (B) に示される多角形の範囲を近似式で示すと、式 (20)、(21) で示すことができる。

【数 3 5】

$$\psi \leq 12.0 \times G/\lambda + 43.31 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (20)$$

【数 3 6】

$$\psi \geq -30.0 \times G/\lambda + 43.40 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (21)$$

【0143】

図 42 は、電極膜厚 H の範囲を $0.020 < H \leq 0.025$ とした場合において、 $\left| \frac{\psi}{H} - 0.01 \right| \leq 0.01$ (ppm/ λ^2) の要件を満たす G の範囲を示すグラフである。ここで、 ψ の最大値を示すプロットを結ぶ直線と、 ψ の最小値を示すプロットを結ぶ破線とで挟ま 50

れた範囲が、上記条件を満たす範囲である。

【0144】

溝深さ G を $0.01 \leq G \leq 0.0695$ の範囲として、図42に示す実線と破線の範囲を多角形状で近似すると、図42(B)のように示すことができ、図42(B)において実線で示される多角形の内側にあたる範囲では、 ψ が上記条件を満たすといえる。図42(B)に示される多角形の範囲を近似式で示すと、式(22)~(24)で示すことができる。

【数37】

$$\psi \leq 14.0 \times G / \lambda + 43.16 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (22)$$

10

【数38】

$$\psi \geq -45.0 \times G / \lambda + 43.35 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0600\lambda \quad \dots (23)$$

【数39】

$$\psi \geq 367.368 \times G / \lambda + 18.608 \quad \text{ただし、} 0.0600\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (24)$$

【0145】

図43(A)は、電極膜厚 H の範囲を $0.025 < H \leq 0.030$ とした場合において、 $\lambda \leq 0.01$ (ppm/ λ^2) の要件を満たす ψ の範囲を示すグラフである。ここで、 ψ の最大値を示すプロットを結ぶ直線と、 ψ の最小値を示すプロットを結ぶ破線とで挟まれた範囲が、上記条件を満たす範囲である。

20

【0146】

溝深さ G を $0.01 \leq G \leq 0.0695$ の範囲として、図43(A)に示す実線と破線の範囲を多角形状で近似すると、図43(B)のように示すことができ、図43(B)において実線で示される多角形の内側にあたる範囲では、 ψ が上記条件を満たすといえる。図43(B)に示される多角形の範囲を近似式で示すと、式(25)~(27)で示すことができる。

30

【数40】

$$\psi \leq 12.0 \times G / \lambda + 43.25 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (25)$$

【数41】

$$\psi \geq -50.0 \times G / \lambda + 43.32 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda \quad \dots (26)$$

【数42】

$$\psi \geq 167.692 \times G / \lambda + 32.435 \quad \text{ただし、} 0.0500\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (27)$$

40

図44(A)は、電極膜厚 H の範囲を $0.030 < H \leq 0.035$ とした場合において、 $\lambda \leq 0.01$ (ppm/ λ^2) の要件を満たす ψ の範囲を示すグラフである。ここで、 ψ の最大値を示すプロットを結ぶ直線と、 ψ の最小値を示すプロットを結ぶ破線とで挟まれた範囲が、上記条件を満たす範囲である。

【0147】

溝深さ G を $0.01 \leq G \leq 0.0695$ の範囲として、図44(A)に示す実線と破線の範囲を多角形状で近似すると、図44(B)のように示すことができ、図44(B)において実線で示される多角形の内側にあたる範囲では、 ψ が上記条件を満たすといえる

50

。図 4 4 (B) に示される多角形の範囲を近似式で示すと、式 (2 8) ~ (3 0) で示すことができる。

【数 4 3】

$$\psi \leq 12.0 \times G/\lambda + 43.35 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (28)$$

【数 4 4】

$$\psi \geq -45.0 \times G/\lambda + 42.80 \quad \text{ただし、} 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda \quad \dots (29)$$

【数 4 5】

$$\psi \geq 186.667 \times G/\lambda + 31.217 \quad \text{ただし、} 0.0500\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \dots (30)$$

10

【0148】

次に、図 4 5 に の角度を振った際の二次温度係数 の変化、すなわち と二次温度係数 との関係を示す。ここで、シミュレーションに用いた S A W デバイスは、カット角と S A W 伝搬方向をオイラー角表示で (0 ,) とし、溝深さ G を 0 . 0 4 とした水晶基板であり、電極膜厚 H は 0 . 0 2 としている。なお、 に関しては、 の設定角度に基づいて、上述した角度範囲内において、適宜二次温度係数 の絶対値が最小となる値を選択した。また、 に関しては、上記式 (8) に従って、 0 . 6 3 8 3 とした。

20

【0149】

このような条件の下、 と二次温度係数 との関係を示す図 4 5 からは、 が 1 1 7 ° 以上 1 4 2 ° 以下の範囲内であれば、二次温度係数 の絶対値が 0 . 0 1 (ppm / ° ²) の範囲内にある事を読み取ることができる。よって、上記のような設定値において、 を 1 1 7 ° 1 4 2 ° の範囲で定めることによれば、良好な周波数温度特性を持った S A W 共振子 1 0 を構成することができると言える。

【0150】

と二次温度係数 との関係を表付けるシミュレーションデータとして、表 1 7 ~ 1 9 を示す。

30

【表 1 7】

H/λ	G/λ	θ	β
%	%	°	ppm/°C²
0.01	4.00	117	-0.09 × 10 ⁻¹
0.01	4.00	142	0.05 × 10 ⁻¹
3.50	4.00	117	-0.09 × 10 ⁻¹
3.50	4.00	142	-0.08 × 10 ⁻¹

40

【0151】

表 1 7 は、電極膜厚 H を変えた場合における と二次温度係数 との関係を示す表であり、電極膜厚 H を 0 . 0 1 % とした場合と、電極膜厚 H を 3 . 5 0 % とした場合における の臨界値 (1 1 7 ° 、 1 4 2 °) での二次温度係数 の値を示す。なお、このシミュレーションにおける溝深さ G は、いずれも 4 % である。表 1 7 からは、 1 1 7 ° 1 4 2 ° の範囲では、電極膜厚 H の厚みを変えた場合 (電極膜厚の臨界値として規定した 0 . 0 1 % と 3 . 5 %) であっても、その厚みに依存する事無く | | 0 . 0 1 (ppm / ° ²) を満足するという事を読み取ることができる。

【0152】

【表 1 8】

H/λ	G/λ	θ	β
%	%	°	ppm/°C ²
2.00	1.00	117	-0.09 × 10 ⁻¹
2.00	1.00	142	-0.08 × 10 ⁻¹
2.00	6.95	117	-0.09 × 10 ⁻¹
2.00	6.95	142	-0.09 × 10 ⁻¹

10

表 1 8 は、溝深さ G を変えた場合における θ と二次温度係数 β との関係を示す表であり、溝深さ G を 1 . 0 0 % と 6 . 9 5 % とした場合における θ の臨界値 (1 1 7 °、1 4 2 °) での二次温度係数 β の値を示す。なお、このシミュレーションにおける電極膜厚 H は、いずれも 2 . 0 0 % である。表 1 8 からは、1 1 7 °、1 4 2 ° の範囲では、溝深さ G を変えた場合 (溝深さ G の臨界値として規定した 1 . 0 0 % と 6 . 9 5 %) であっても、その深さに依存する事無く | β | < 0 . 0 1 (p p m / ° C ²) を満足するという読み取ることができる。

【 0 1 5 3】

【表 1 9】

20

H/λ	G/λ	η	θ	β
%	%		°	ppm/°C ²
2.00	4.00	0.62	117	-0.10 × 10 ⁻¹
2.00	4.00	0.62	142	-0.03 × 10 ⁻¹
2.00	4.00	0.76	117	-0.09 × 10 ⁻¹
2.00	4.00	0.76	142	-0.09 × 10 ⁻¹

表 1 9 は、ライン占有率 η を変えた場合における θ と二次温度係数 β との関係を示す表であり、ライン占有率 η を 0 . 6 2 と 0 . 7 6 とした場合における θ の臨界値 (1 1 7 °、1 4 2 °) での二次温度係数 β の値を示す。なお、このシミュレーションにおける電極膜厚 H は、いずれも 2 . 0 0 % であり、溝深さ G は、いずれも 4 . 0 0 % である。表 1 9 からは、1 1 7 °、1 4 2 ° の範囲では、ライン占有率 η を変えた場合 (η = 0 . 6 2、0 . 7 6 は、電極膜厚 H を 0 . 0 2 0 ~ 0 . 0 2 5 の範囲としてライン占有率 η (η = 1) と溝深さ G の関係を示した図 3 1 (A) において、溝深さを 4 % とした場合における β の最小値と最大値) であっても、その値に依存する事無く | β | < 0 . 0 1 (p p m / ° C ²) を満足するという読み取ることができる。

30

【 0 1 5 4】

図 4 6 は、オイラー角表示で (θ , 1 2 3 ° , 4 3 . 7 7 °) の水晶基板 3 0 を用い、溝深さ G を 0 . 0 4、電極膜厚 H を 0 . 0 2、及びライン占有率 η を 0 . 6 5 とした場合において、θ の角度と二次温度係数 β との関係を示すグラフである。

40

【 0 1 5 5】

図 4 6 からは、θ が - 2 °、+ 2 ° の場合にはそれぞれ二次温度係数 β が - 0 . 0 1 (p p m / ° C ²) よりも低くなってしまっているが、θ が - 1 . 5 ° から + 1 . 5 ° の範囲であれば確実に、二次温度係数 β の絶対値が 0 . 0 1 (p p m / ° C ²) の範囲内にある事を読み取ることができる。よって、上記のような設定値において θ を - 1 . 5 ° から + 1 . 5 °、好適には - 1 ° から + 1 ° の範囲で定めることによれば、良好な周波数温度特性を持った S A W 共振子 1 0 を構成することができる。

【 0 1 5 6】

上記説明では、θ、η、G はそれぞれ、一定条件の下に溝深さ G との関係において最適

50

値の範囲を導き出している。これに対し、図47では、 $-40 \sim +85$ における周波数変動量が最小となる非常に望ましいとの関係を示しており、その近似式を求めている。図47によれば、 θ の角度は、 θ の角度上昇に伴って変化し、三次曲線を描くように上昇する。なお、図47の例では、 $\theta = 117^\circ$ とした場合の ψ は 42.79° であり、 $\theta = 142^\circ$ とした場合の ψ は 49.57° である。これらのプロットを近似曲線として示すと図47中破線で示す曲線となり、近似式としては式(31)で示すことができる。
【数46】

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

. . . (31)

10

【0157】

このことより、 ψ は θ が定まることにより定めることができ、 ψ の範囲を $117^\circ \sim 142^\circ$ とした場合における θ の範囲は $42.79^\circ \sim 49.57^\circ$ とすることができる。なお、シミュレーションにおける溝深さG、電極膜厚Hはそれぞれ、 $G = 0.04$ 、 $H = 0.02$ とした。

【0158】

上記のような理由により、本実施形態において種々定めた条件によりSAW共振子10を構成することによれば、目標値を満たす良好な周波数温度特性を実現可能なSAW共振子とすることができる。

20

【0159】

また、本実施形態に係るSAW共振子10では、式(7)や図15～図26に示したように、電極膜の膜厚Hを $0 < H \leq 0.035$ の範囲とした上で周波数温度特性の改善を図っている。これは、従来のように膜厚Hを極度に厚くして周波数温度特性の改善を図るものとは異なり、耐環境特性を維持したまま周波数温度特性の改善を実現するものである。図54に、ヒートサイクル試験における電極膜厚(A1電極膜厚)と周波数変動との関係を示す。なお、図54に示したヒートサイクル試験の結果は、 -55°C 雰囲気下においてSAW共振子を30分間晒した上で雰囲気温度 $+125^\circ\text{C}$ まで上昇させて30分晒すというサイクルを8回続けた後のものである。図54からは、電極膜厚Hを $0.06 \mu\text{m}$ にし、且つ電極指間溝を設けない場合に比べ、本実施形態に係るSAW共振子10の電極膜厚Hの範囲では、周波数変動(F変動)が、 $1/3$ 以下になっていることを読み取ることができる。なお、図54は何れのプロットも $H + G = 0.06 \mu\text{m}$ としている。

30

【0160】

また、図54と同じ条件で製造されたSAW共振子について、 125°C 雰囲気に1000時間放置する高温放置試験を行ったところ、従来のSAW共振子($H = 0.06 \mu\text{m}$ 且つ $G = 0$)に比べ、本実施形態に係るSAW共振子($H = 0.03 \mu\text{m}$ 且つ $G = 0.03 \mu\text{m}$ 、 $H = 0.02 \mu\text{m}$ 且つ $G = 0.04 \mu\text{m}$ 、 $H = 0.015 \mu\text{m}$ 且つ $G = 0.045 \mu\text{m}$ 、 $H = 0.01 \mu\text{m}$ 且つ $G = 0.05 \mu\text{m}$ の4条件)の試験前後の周波数変動量が $1/3$ 以下になることを確認した。

40

【0161】

上記のような条件の下、 $H + G = 0.067 \mu\text{m}$ (アルミ膜厚 2000 \AA 、溝深さ 4700 \AA)、IDTのライン占有率 $i = 0.6$ 、反射器のライン占有率 $r = 0.8$ 、オ일러角(0° , 123° , 43.5°)、IDTの対数120対、交差幅 $40 \mu\text{m}$ ($\theta = 10 \mu\text{m}$)、反射器本数(片側あたり)72本(36対)、電極指の傾斜角度なし(電極指の配列方向とSAWの位相速度方向が一致)、といった条件で製造されたSAW共振子10では、図48に示すような周波数温度特性を示すこととなる。

【0162】

図48は、試験片個数 $n = 4$ 個による周波数温度特性をプロットしたものである。図48によれば、これらの試験片による動作温度範囲内における周波数変動量 ΔF は約 20 p

50

p m以下に抑制されていることを読み取ることができる。

【0163】

本実施形態では溝深さGや電極膜厚H等による周波数温度特性への影響を説明してきた。しかし溝深さGと電極膜厚Hを合わせた深さ(段差)は、等価回路定数やCI値等の静特性やQ値にも影響を与える。例えば図49、段差を0.062 ~ 0.071まで変化させた場合における段差とCI値との関係を示すグラフである。図49によればCI値は、段差を0.067とした時に収束し、段差をそれ以上大きくした場合であっても良化しない(低くならない)ということを読み取ることができる。

【0164】

図48に示すような周波数温度特性を示すSAW共振子10における周波数と等価回路定数、および静特性を図50にまとめた。ここで、Fは周波数、QはQ値、 ϵ 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)をそれぞれ示す。

10

【0165】

また、図52には、従来のSAW共振子と、本実施形態に係るSAW共振子10における段差とQ値との関係を比較するためのグラフを示す。なお、図52においては、太線で示すグラフが本実施形態に係るSAW共振子10の特性を示すものであり、電極指間に溝を設け、且つストップバンド上端モードの共振を用いたものである。細線で示すグラフが従来のSAW共振子の特性を示すものであり、電極指間に溝を設けずにストップバンド上端モードの共振を用いたものである。図52から明らかのように、電極指間に溝を設け、且つストップバンド上端モードの共振を用いると、段差(G+H)が0.0407(4.07%)以上の領域において、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た場合よりも高いQ値が得られる。

20

【0166】

なお、シミュレーションに係るSAW共振子の基本データは以下の通りである。

・本実施形態に係るSAW共振子10の基本データ

H: 0.02

G: 変化

IDTライン占有率 i: 0.6

反射器ライン占有率 r: 0.8

オイラー角(0°, 123°, 43.5°)

対数: 120

交差幅: 40 (= 10 μm)

反射器本数(片側あたり): 60

電極指の傾斜角度なし

・従来のSAW共振子の基本データ

H: 変化

G: ゼロ

IDTライン占有率 i: 0.4

反射器ライン占有率 r: 0.3

オイラー角(0°, 123°, 43.5°)

対数: 120

交差幅: 40 (= 10 μm)

反射器本数(片側あたり): 60

電極指の傾斜角度なし

30

40

【0167】

これらのSAW共振子の特性を比較するため図50や図52を参照すると、本実施形態に係るSAW共振子10が、いかに高Q化されているかを理解することができる。このような高Q化は、エネルギー閉じ込め効果の向上によるものであると考えられ、以下の理由による。

50

【0168】

ストップバンドの上端モードで励振した弾性表面波を効率良くエネルギー閉じ込めするためには、図53のように、IDT12のストップバンド上端の周波数 f_{t2} を、反射器20のストップバンド下端の周波数 f_{r1} と反射器20のストップバンド上端の周波数 f_{r2} との間に設定すれば良い。即ち、

【数47】

$$f_{r1} < f_{t2} < f_{r2} \quad \dots (32)$$

の関係を満たすように設定すれば良い。これにより、IDT12のストップバンド上端の周波数 f_{t2} において、反射器20の反射係数が大きくなり、IDT12から励振されたストップバンド上端モードのSAWが、反射器20にて高い反射係数でIDT12側に反射されるようになる。そしてストップバンド上端モードのSAWのエネルギー閉じ込めが強くなり、低損失な共振子を実現することができる。

10

【0169】

これに対し、IDT12のストップバンド上端の周波数 f_{t2} と反射器20のストップバンド下端の周波数 f_{r1} 、反射器20のストップバンド上端の周波数 f_{r2} との関係を $f_{t2} < f_{r1}$ の状態や $f_{r2} < f_{t2}$ の状態に設定してしまうと、IDT12のストップバンド上端周波数 f_{t2} において反射器20の反射係数が小さくなってしまい、強いエネルギー閉じ込め状態を実現することが困難になってしまう。

20

【0170】

ここで、式(32)の状態を実現するためには、反射器20のストップバンドをIDT12のストップバンドよりも高域側へ周波数シフトする必要がある。具体的には、IDT12の電極指18の配列周期よりも、反射器20の導体ストリップ22の配列周期を小さくすることで実現できる。また、他の方法としては、IDT12の電極指18として形成された電極膜の膜厚よりも反射器20の導体ストリップ22として形成された電極膜の膜厚を薄くしたり、IDT12の電極指間溝の深さよりも反射器20の導体ストリップ間溝の深さを浅くすることで実現できる。また、これらの手法を複数組み合わせても良い。

【0171】

なお図50によれば、高Q化の他、高いフィギュアオブメリットMを得ることができているといえる。また、図51は、図50を得たSAW共振子におけるインピーダンスZと周波数との関係を示すグラフである。図51からは、共振点付近に無用なスプリアスが存在していない事を読み取ることができる。

30

【0172】

以上、説明したように、本発明に係るSAW共振子は、図48で示す如く動作温度範囲(使用温度範囲: -40 ~ +85)内に変曲点を有しているので、三次曲線若しくは三次曲線に近い周波数変動量の極めて小さい、約20ppm以下という周波数温度特性を実現できた。

【0173】

図56(A)は、特開2006-203408号に開示されているSAW共振子の周波数温度特性を示すグラフである。周波数温度特性が三次曲線を示しているが、ご覧のとおり変極点が動作温度範囲(使用温度範囲: -40 ~ +85)を超えた領域に存在しているため、実質的には図56(B)に示す如く上に凸の頂点を有する二次曲線となる。このため、周波数変動量は100(ppm)という極めて大きな値となっている。

40

【0174】

それに対して、本発明に係るSAW共振子は、動作温度範囲内で三次曲線もしくは三次曲線に近い周波数変動量とし、周波数変動量を飛躍的に小さくすることを実現したのである。IDTおよび反射器に保護膜を被覆したSAW共振子における動作範囲内の周波数変動量の変化について、図57、および図58に示す。

50

【0175】

図57に示す例は、電極に対して保護膜としてのアルミナを皮膜した場合における動作温度範囲内における周波数変動量を示す図である。図57によれば、動作温度範囲内における周波数変動量は、10 (ppm) 以下とすることができることを読み取ることができる。

・図57に示す例に係るSAW共振子の基本データ

H (材質:アルミ): 2000 ()

G: 4700 ()

(H+G = 0.067)

IDTライン占有率 i: 0.6

反射器ライン占有率 r: 0.8

オイラー角 (0°, 123°, 43.5°) の面内回転STカット基板

対数: 120

交差幅: 40 (= 10 (μm))

反射器本数 (片側あたり): 36

電極指の傾斜角度なし

保護膜 (アルミナ) の膜厚 400 ()

二次温度係数 = +0.0007 (ppm / °C²)

【0176】

図58に示す例は、電極に対して保護膜としてのSiO₂を皮膜した場合における動作温度範囲内における周波数変動量を示す図である。図58によれば、動作温度範囲内における周波数変動量は、20 (ppm) 以下とすることができることを読み取ることができる。

・図58に示す例に係るSAW共振子の基本データ

H (材質:アルミ): 2000 ()

G: 4700 ()

(H+G = 0.067)

IDTライン占有率 i: 0.6

反射器ライン占有率 r: 0.8

オイラー角 (0°, 123°, 43.5°) の面内回転STカット基板

対数: 120

交差幅: 40 (= 10 (μm))

反射器本数 (片側あたり): 36

電極指の傾斜角度なし

保護膜 (SiO₂) の膜厚 400 ()

二次温度係数 = +0.0039 (ppm / °C²)

【0177】

本願発明者は、上述のように設計されたG及びHに対してライン占有率 を調整することにより、二次温度係数 の絶対値を0.01ppm / °C²以下にすることが可能である点について言及した。一方、ストップバンドの上端モードで励振させた場合において、ライン占有率 に変動が生じた場合に、弾性表面波の周波数温度特性が変動することを本願発明者は見出した。弾性表面波共振子を複数製造する場合に、全ての弾性表面波共振子を所望の設計ライン占有率に一致させることは困難であり、設計ライン占有率とは異なったライン占有率のものが製造される場合がある。このとき、そのライン占有率の設計ライン占有率からの変動量は一定とはならずライン占有率にバラつきが発生する。よって、弾性表面波共振子を複数製造した場合は、弾性表面波の周波数温度特性にバラつきが発生することになる。したがって、これらの原因により弾性表面波素子の動作温度範囲における周波数偏差にバラつきを発生させ、弾性表面波共振子の歩留を低下させる原因となることを本願発明者は見出した。

【0178】

10

20

30

40

50

さらに、上述のように、ライン占有率 にバラつきが発生した場合の一次温度係数の変動量が最小になるときのライン占有率 と、二次温度係数 が最小 (- 0 . 0 1 0 . 0 1) となるライン占有率 の値とが互いに一致しないことも本願発明者は見出した。

そこで第 2 実施形態においては、二次温度係数 の値を上述の範囲に抑制するとともに、動作温度範囲の周波数温度特性において支配的に作用する一次温度係数の変動量を最小にすることが可能な S A W デバイスについて説明する。

【 0 1 7 9 】

図 5 9 に第 2 実施形態に係る S A W 共振子の模式図を示す。なお図 5 9 において、図 5 9 (A) は第 2 実施形態の S A W 共振子の平面図であり、図 5 9 (B) は部分拡大断面図、図 5 9 (C) は同図 (B) における詳細を説明するための拡大図、図 5 9 (D) は図 5 9 (C) の部分拡大図に関して、本発明に係る S A W 共振子をフォトリソグラフィ技法とエッチング技法とを用いて製造したときに想定しえる断面形状であって、断面形状が矩形ではなく台形状となった場合における、 I D T 電極指の実効ライン占有率 $e f f$ の特定方法を説明するための図である。

10

【 0 1 8 0 】

第 2 実施形態の S A W 共振子の基本的構成は、第 1 実施形態の S A W 共振子 1 1 0 と類似する。すなわち、S A W 共振子 1 1 0 は、水晶基板 3 0 と、水晶基板上に形成された I D T 1 1 2 と、I D T 1 1 2 の両側に形成された反射器 1 2 0 を有する構成である。そして I D T 1 1 2 は、弾性表面波 (波長) が伝播する方向に対して、垂直な方向に延長し、且つ互いに交差する櫛歯状電極 1 1 4 a、1 1 4 b により形成されている。そして櫛歯状電極 1 1 4 a は、弾性表面波の伝播方向に等間隔 () に並べて配置された複数の電極指 1 1 8 a と、複数の電極指 1 1 8 a を並列に接続するバスバー 1 1 6 a により構成される。同様に櫛歯状電極 1 1 4 b は、弾性表面波の伝播方向に等間隔 () に並べて配置された複数の電極指 1 1 8 b と、複数の電極指 1 1 8 b を並列に接続するバスバー 1 1 6 b により構成される。よって電極指 1 1 8 a、電極指 1 1 8 b は弾性表面波の伝播方向に交互に等間隔 (/ 2) で配置される。そして反射器 1 2 0 は、弾性表面波の伝播方向に等間隔 (/ 2) で配置された導体ストリップ 1 2 2 を有する。そして S A W 共振子 1 1 0 は、ストップバンド上端モードにより弾性表面波を励振する。

20

【 0 1 8 1 】

第 1 実施形態においては、電極指間溝 3 2 により形成される凸部 3 4 と電極指 1 1 8 a、1 1 8 b の弾性表面波の伝搬方向の幅は一致している。しかし、本実施形態においては、電極指間溝 1 3 2 により形成される凸部 1 3 4 上の電極指 1 1 8 a、1 1 8 b の弾性表面波の伝搬方向の幅は、凸部の弾性表面波の伝搬方向の幅より狭くなっている点で相違する。そして電極指 1 1 8 a、1 1 8 b の弾性表面波の伝播方向の両端は、平面視して凸部 1 3 4 の弾性表面波の伝播方向の両端より内側に配置されている。よって、凸部 1 3 4 の弾性表面波の伝播方向の両端は、電極指 1 1 8 a、1 1 8 b で覆われずに露出した状態となっている。そして同様な構成は I D T 1 1 2 の両端に配置された反射器 1 2 0 にも形成されている。

30

【 0 1 8 2 】

図 5 9 (C) において、凸部 1 3 4 の弾性表面波の伝播方向の幅を L_g とし、電極指 1 1 8 a、1 1 8 b の弾性表面波の伝搬方向の幅を L_e とすると、

40

【 数 4 8 】

$$L_g > L_e \cdots (33)$$

となる。これにより、第 1 実施形態と比較して、電極指 1 1 8 a、1 1 8 b から発散される電気力線を凸部 1 3 4 が取りこむ量 (立体角) が増えるので、弾性表面波の励振効率を向上させ、S A W 共振子 1 1 0 の損失を低減させることができる。

【 0 1 8 3 】

50

ところで、第1実施形態のSAW共振子10では、幅Lの凸部34（図1参照）の両端の厚み（G）方向の段差が立ち上がる部分で弾性表面波が反射する。そしてライン占有率は、Lを調整することにより調整されるので、弾性表面波の反射位置を調整することにより二次温度係数を最小にすることができる。また、一次温度係数の変動量は、凸部34のライン占有率に依存するため、この値を調整することにより一次温度係数の変動量を最小にすることができる。しかし、このライン占有率に対応する凸部134の幅もLとなるため、第1実施形態の構成では、二次温度係数を最小にするライン占有率と、一次温度係数の変動量を最小にするライン占有率を同時に特定することは困難である。

【0184】

一方、第2実施形態のSAW共振子110において、幅L_gの凸部134の両端の厚み（G）方向の段差が立ち上がる部分と、幅L_eの電極指118a、118bの両端の厚み（H）が立ち上がる部分で弾性表面波が反射する。したがって、第2実施形態では電極指118a、118bは、

$$L_{eff} = \frac{L_g + L_e}{2} \dots (34)$$

を実効幅とし、その両端位置で弾性表面波を反射するものと考えることができる。よってこのときの実効ライン占有率 η_{eff} は、凸部134のライン占有率を $\eta_g (= L_g / P)$ 、電極指118a、118bのライン占有率を $\eta_e (= L_e / P)$ とすると、

【数50】

$$\eta_{eff} = \frac{\eta_g + \eta_e}{2} \dots (35)$$

となる。このとき、

【数51】

$$\eta_g > \eta_e \dots (36)$$

となる。よって、この η_{eff} を調整することにより二次温度係数を調整することができる。一方、一次温度係数の変動量は、 η_g により調整することができる。したがって、 η_{eff} を調整することにより二次温度係数を調整し、 η_g を調整することにより一次温度係数の変動量を調整することができる。

【0185】

また、図59（D）のように、電極指119、及び凸部135の幅方向の両側面が傾斜し、断面が台形状になっている場合は、電極指119の厚み方向の下端の幅をL_{eb}、上端の幅をL_{et}とする。そして凸部135の厚み方向の下端の幅をL_{gb}、上端の幅をL_{gt}とする。このとき、

【数52】

$$\begin{cases} L_{eb} > L_{et} \\ L_{gb} > L_{gt} \\ L_{gt} > L_{eb} \end{cases} \dots (37)$$

10

20

30

40

50

である。このとき、 L_e 、 L_g は、
【数53】

$$\begin{cases} L_e = \frac{L_{et} + L_{eb}}{2} \\ L_g = \frac{L_{gt} + L_{gb}}{2} \end{cases} \dots (38)$$

と定義する。

10

【0186】

本願発明者は、第1実施形態のように電極指の幅 L_e と凸部の幅 L_g が一致する場合（タイプ1）と、第2実施形態のように $L_g > L_e$ となる場合（タイプ2）の周波数偏差、CI値、一次温度係数の変動量を調査した。

【0187】

本調査に用いたSAWデバイスは、タイプ1、タイプ2ともに、オイラー角（ $\theta = 0^\circ$ 、 $\theta = 123^\circ$ 、 $\theta = 44^\circ$ ）、 $G = 0.046$ 、 $H = 0.021$ とし、またIDT電極の対数を210対、IDT電極の両端にある反射器の本数を片側あたり94本とした。

【0188】

20

まず、例1として、タイプ1では電極指のライン占有率 e を0.64、凸部34（図1参照）のライン占有率 g を0.64とし、これによりライン占有率 eff を0.64とした。タイプ2では、 e を0.57、 g を0.71とし、実効ライン占有率 eff を0.64とした。

【0189】

次に、例2として、タイプ1では電極指118a、118bのライン占有率 e を0.66、凸部134のライン占有率 g を0.66とし、これによりライン占有率 eff を0.66とした。タイプ2では、 e を0.59、 g を0.73とし、実効ライン占有率 eff を0.66とした。すなわち、いずれの例においても、タイプ2の eff は、タイプ1の eff の値を維持しつつ、 $g > e$ となるように調整している。また、CI値については各タイプのサンプルを多数（1784個）用意し、その平均値を算出した。

30

【0190】

図60に例1におけるタイプ1とタイプ2の周波数温度特性を示し、図61に例2におけるタイプ1とタイプ2の周波数温度特性を示す。図60に示すように、例1では、タイプ1、タイプ2ともに変曲点となる温度（基準温度）が約25となる三次関数的な曲線を描いている。また図61に示すように、例2では、タイプ1、タイプ2ともに変曲点となる温度（基準温度）が約40となる三次関数的な曲線を描いている。よって例1、例2において、タイプ1、タイプ2はともに二次温度係数は極めて小さな値となっていることがわかる。

【0191】

40

図60に示すように、例1において、タイプ1、タイプ2ともに、 $-40^\circ \sim +85^\circ$ における周波数偏差は12ppmであるとともに、同様の曲線形状を有している。そして図61に示すように、例2において、タイプ1の周波数偏差は18ppmであり、タイプ2の周波数偏差は16ppmである。よって、タイプ1からタイプ2に変形させても、タイプ2の eff がタイプ1の eff （ g ）の値を維持する限り、タイプ2はタイプ1の周波数温度特性を維持することがわかる。

【0192】

さらに例1では、タイプ1のCI値は23.8であったが、タイプ2においては20.1に改善している。また例2では、タイプ1のCI値は22.4であったが、タイプ2では19.2に改善し、例1、例2のタイプ2において低損失なSAW共振子を実

50

現している。これは上述のように、電極指から発生する電気力線を凸部が見込む立体角が、タイプ1に比較してタイプ2の方が大きくなり、励振効率が高まったからと考えられる。

【0193】

次に、タイプ1、タイプ2の一次温度係数の変動量の変化を調査した。図62にタイプ1のライン占有率 η を0.01変化させたときの一次温度係数の変動量の変化を示し、図63はタイプ2の実効ライン占有率 η_{eff} を0.01変化させたときの一次温度係数の変動量の変化を示す。本調査に用いたSAWデバイスは、タイプ1、タイプ2ともに、オイラー角 ($\theta = 0^\circ$ 、 $\theta = 123^\circ$ 、 $\theta = 44^\circ$)、 $G = 0.045$ 、 $H = 0.02$ とした。

10

【0194】

図62に示すように、タイプ1においては η (または g) を0.60から上昇させると単調減少し、0.70で一次温度係数の変動量の極小値となり、0.70以上で単調増加となる。

【0195】

一方、図63に示すように、タイプ2においては η_{eff} を0.53から上昇させると一次温度係数の変動量は単調減少し、0.63で極小値となり、0.63以上で単調増加となる。

【0196】

上述のように、例1のタイプ1及びタイプ2は、図60に示すように、12ppmという良好な周波数偏差を有している。しかし、タイプ1においては、図62に示すように、 η (または g) が0.64のときは、一次温度係数の変動量が0.6ppm/°Cとなっている。よって、ライン占有率 (g) のバラつきによる、一次温度係数のバラつき(すなわち周波数温度特性のバラつき)が顕著となる。一方、タイプ2においては、図63のプロットから近似曲線を生成して、近似曲線上の $\eta_{eff} = 0.64$ を抽出すれば、一次温度係数の変動量が0.2程度になっていることがわかる。さらに図63から、

20

【数54】

$$0.58 < \eta_{eff} < 0.73 \cdots (39)$$

30

とすることにより、一次温度係数の変動量を0.6ppm/°C以下に抑制することができる。

【0197】

また例1のタイプ1、タイプ2のサンプルを多数(1784個)用意し、一次温度係数のバラつき、及び25°Cにおける共振周波数のバラつきを調査した。するとタイプ1の一次温度係数のバラつきの大きさを1とすると、タイプ2の一次温度係数のバラつきの大きさは0.2にまで改善されている。上述のように、タイプ1においては凸部34(図1参照)のライン占有率 g が0.64で、図62により、一次温度係数の変動量が0.6ppm/°Cある。一方、タイプ2においては、凸部134のライン占有率 g が0.71で、図62のプロットから近似曲線を生成して、近似曲線上の $g = 0.71$ を抽出すれば、一次温度係数の変動量が0.1ppm/°C程度と確認できる。そして、一次温度係数のバラつきは一次温度係数の変動量に比例するため、このような改善が見られたと考えられる。また25°Cにおける共振周波数のバラつきも、タイプ1においてその大きさを1とすると、タイプ2ではその大きさが0.5にまで改善されている。

40

【0198】

また、上述のことから、タイプ2は η_{eff} の値と一致する g を有するタイプ1の周波数温度特性を維持したものとなっている。よって、上述の横軸を g とする全ての図において η_{eff} を g に置き換えて考えることができる。したがって、 η_{eff} を、式(39)の範囲に含まれ、かつ図13(B)においてアルファベット順に結んで一巡する線に囲ま

50

れた範囲、すなわち上述の式(3)、式(5)、式(6)を満たす範囲に設計することにより、一次温度係数の変動量を抑制してSAW共振子110の動作温度範囲における周波数偏差のバラつきを抑制するとともに、二次温度係数の絶対値を $0.01(\text{ppm}/^{\circ}\text{C}^2)$ 以下に抑制することができる。

【0199】

さらに $e f f$ を式(39)の範囲に含まれ、かつ図27(A) ($0 < H < 0.005$)、図28(A) ($0.005 < H < 0.010$)、図29(A) ($0.010 < H < 0.015$)、図30(A) ($0.015 < H < 0.020$)、図31(A) ($0.020 < H < 0.025$)、図32(A) ($0.025 < H < 0.030$)、図33(A) ($0.030 < H < 0.035$)において、図中の平面座標(G / $e f f$)に示された各点をアルファベット順に結んで一巡する線に囲まれた範囲にそれぞれ含まれる範囲に設定する。これにより、一次温度係数の変動量を抑制して、周波数温度特性のバラつき、すなわちSAW共振子110の動作範囲における周波数偏差のバラつきを抑制するとともに、電極指の膜厚 H に対応して、二次温度係数の絶対値を $0.01(\text{ppm}/^{\circ}\text{C}^2)$ 以下に抑制することができる。

10

【0200】

上記実施形態では、SAW共振子10を構成するIDT12、SAW共振子110を構成するIDT112はすべての電極指が交互に交差しているように示した。しかし、本発明にかかるSAW共振子10、SAW共振子110は、その水晶基板のみによっても相当な効果を奏することができる。このため、IDT12における電極指18、およびIDT112における電極指118a、118bを間引きした場合であっても、同様な効果を奏することができる。

20

【0201】

また、第1実施形態において、溝32は、電極指18間や反射器20の導体ストリップ22間に部分的に設けるようにしても良い。特に、振動変位の高いIDT12の中央部は周波数温度特性に支配的な影響を与えるため、その部分のみに溝32を設ける構造としても良い。このような構造であっても、周波数温度特性が良好なSAW共振子10とすることができる。

【0202】

また、上記実施形態では、電極膜としてAlまたはAlを主体とする合金を用いる旨記載した。しかしながら、上記実施形態と同様な効果を奏することのできる金属であれば、他の金属材料を用いて電極膜を構成しても良い。さらに電極膜上に SiO_2 やアルミナなどの保護膜を設けても良い。

30

【0203】

また、上記実施形態はIDTを一つだけ設けた一端子対SAW共振子であるが、本発明はIDTを複数設けた二端子対SAW共振子にも適用可能であり、縦結合型や横結合型の二重モードSAWフィルタや多重モードSAWフィルタにも適用可能である。

【0204】

次に、本発明に係るSAW発振器について、図55を参照して説明する。本発明に係るSAW発振器は図55に示すように、上述したSAW共振子10(SAW共振子110)と、このSAW共振子10(SAW共振子110)のIDT12に電圧を印加して駆動制御する回路となるIC(integrated circuit)50と、これらを収容するパッケージとから成る。なお、図55において、図55(A)はリッドを除いた平面図であり、図55(B)は、同図(A)におけるA-A断面を示す図である。

40

【0205】

実施形態に係るSAW発振器100では、SAW共振子10とIC50とを同一のパッケージ56に収容し、パッケージ56の底板56aに形成された電極パターン54a~54gとSAW共振子10の櫛歯状電極14a, 14b、およびIC50のパッド52a~52fとを金属ワイヤ60により接続している。そして、SAW共振子10(SAW共振子110)とIC50とを収容したパッケージ56のキャビティは、リッド58により気

50

密に封止している。このような構成とすることで、I D T 1 2 (図 1 参 照) と I C 5 0、及びパッケージ 5 6 の底面に形成された図示しない外部実装電極とを電氣的に接続することができる。

【 0 2 0 6 】

よって、近年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に加え、ブレードサーバをはじめとする筐体の小型化に伴い、内部発熱の影響が大きくなり、内部に搭載される電子デバイスに求められる動作温度範囲の拡大や高精度化の要求、更には、屋外に設置される無線基地局など低温から高温の環境において、長期に亘って安定した動作が必要とされている市場において、本発明に係る S A W 発振器は、動作温度範囲 (使用温度範囲 : - 4 0 ~ + 8 5) で周波数変動量が約 2 0 (p p m) 以下という極めて良好な周波数温度特性を有しているのが好適である。

10

【 0 2 0 7 】

更に、本発明に係る S A W 共振子或は当該 S A W 共振子を備えた S A W 発振器は周波数温度特性の大幅な改善を実現しているのが、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 および C S 放送を受信するチューナ、同軸ケーブル中を伝播する高周波信号または光ケーブル中を伝播する光信号を処理する機器、広い温度範囲にて高周波・高精度クロック (低ジッタ、低位相雑音) を必要とされるサーバ・ネットワーク機器や無線通信用機器などの電子機器において、極めて良好な周波数温度特性と共に、ジッタ特性、位相ノイズ特性に優れた製品を実現することに大きく寄与し、さらなるシステムの信頼性と品質の向上に大きく貢献することは言うまでもない。

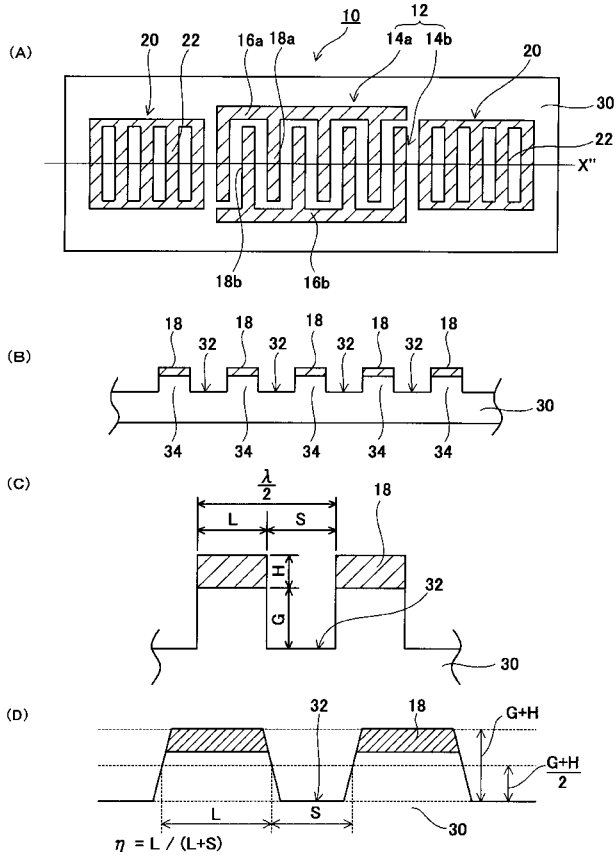
20

【 符号の説明 】

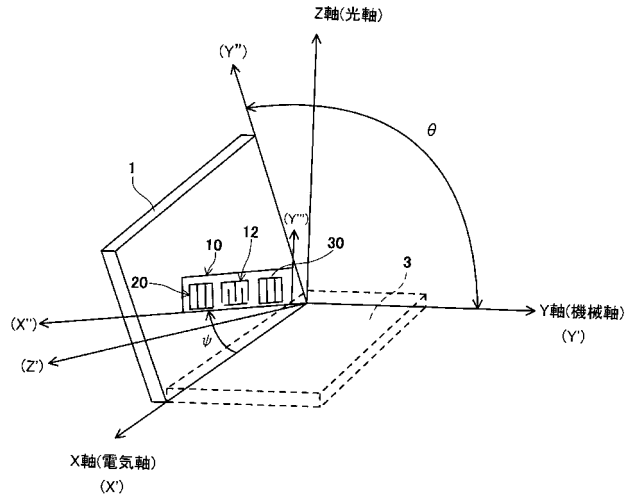
【 0 2 0 8 】

1 0 …… 弾性表面波共振子 (S A W 共振子)、1 2 …… I D T、1 4 a , 1 4 b ……
… 櫛歯状電極、1 6 a , 1 6 b …… バスバー、1 8 a , 1 8 b …… 電極指、2 0 ……
… 反射器、2 2 …… 導体ストリップ、3 0 …… 水晶基板、3 2 …… 溝、3 4 ……
凸部、1 1 0 …… 弾性表面波共振子 (S A W 共振子)、1 1 2 …… I D T、1 1 4 a
, 1 1 4 b …… 櫛歯状電極、1 1 6 a , 1 1 6 b …… バスバー、1 1 8 a , 1 1 8 b ……
… 電極指、1 1 9 …… 電極指、1 2 0 …… 反射器、1 2 2 …… 導体ストリップ、
1 3 2 …… 溝、1 3 4 …… 凸部、1 3 5 …… 凸部。

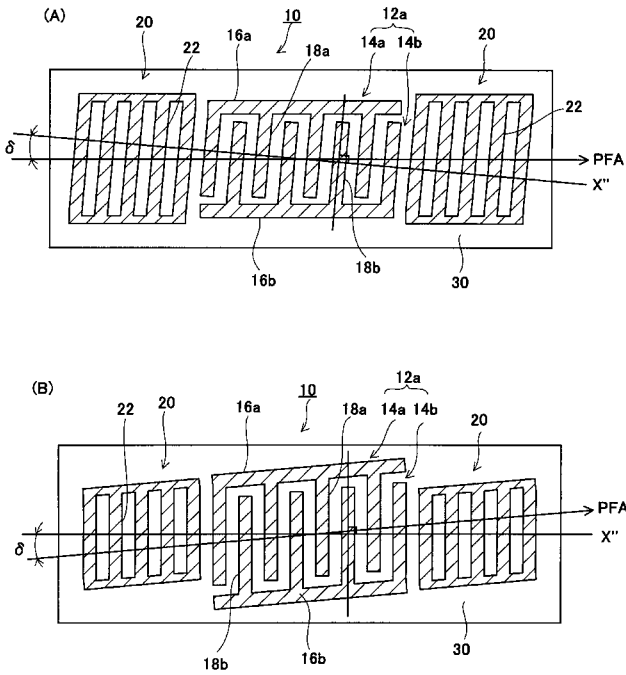
【 図 1 】



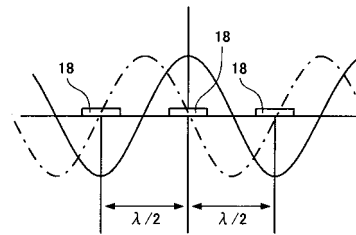
【 図 2 】



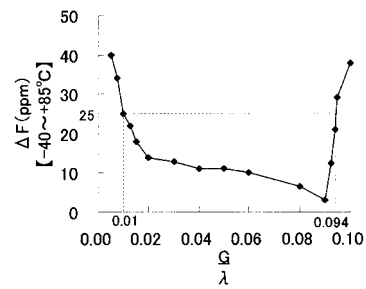
【 図 3 】



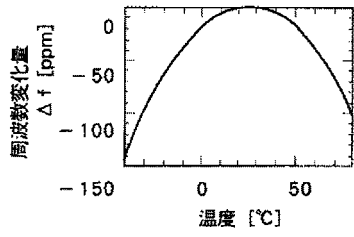
【 図 4 】



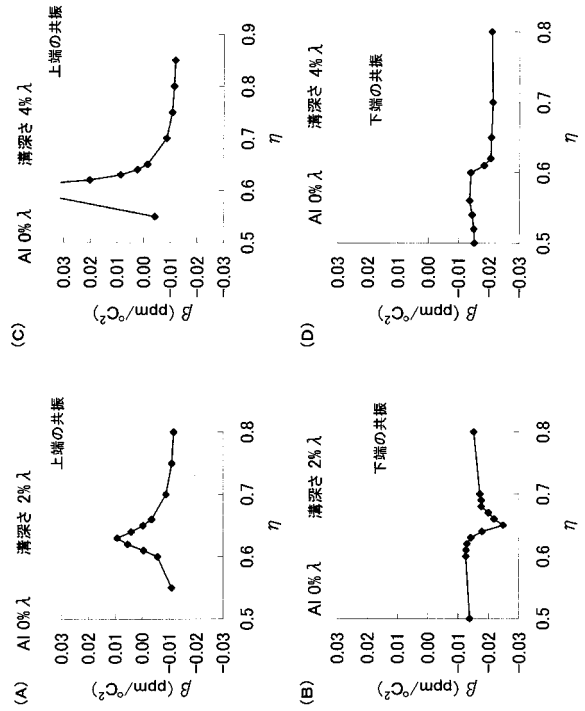
【 図 5 】



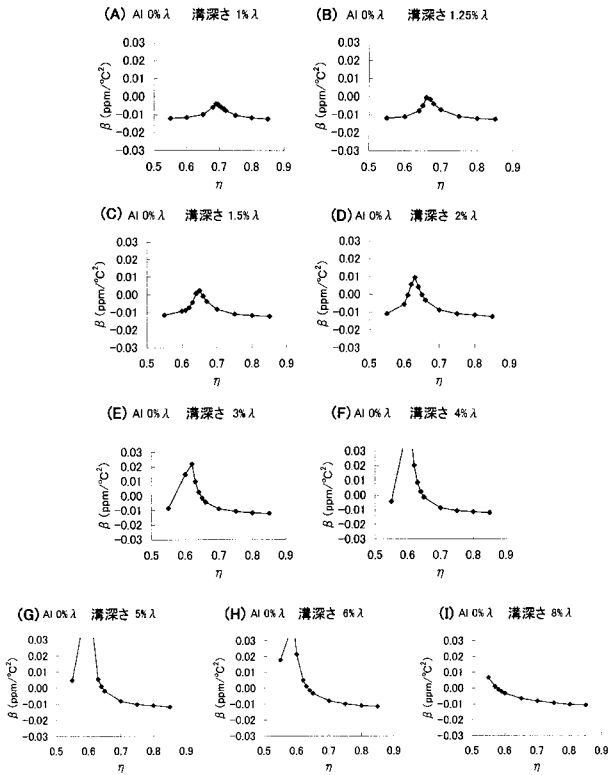
【 図 6 】



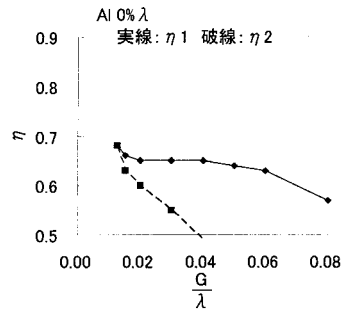
【 図 7 】



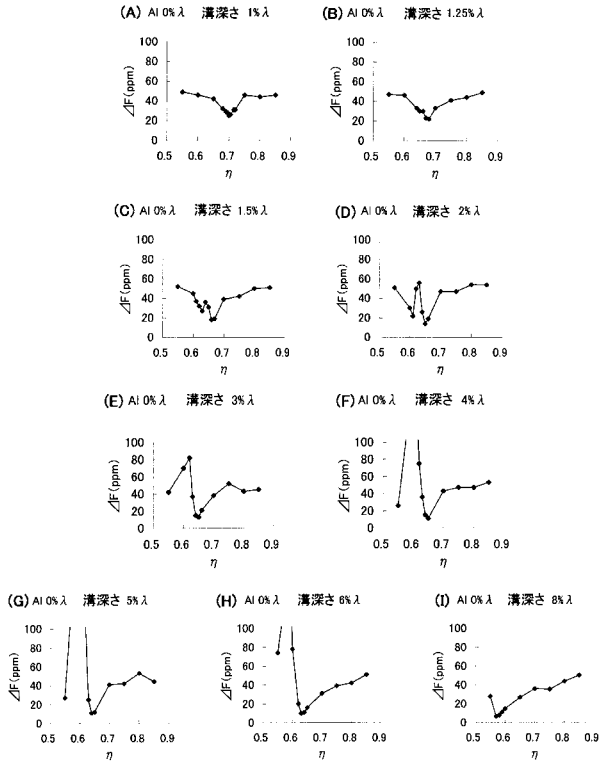
【 図 8 】



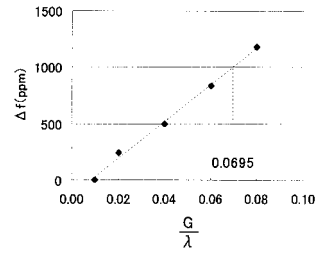
【 図 9 】



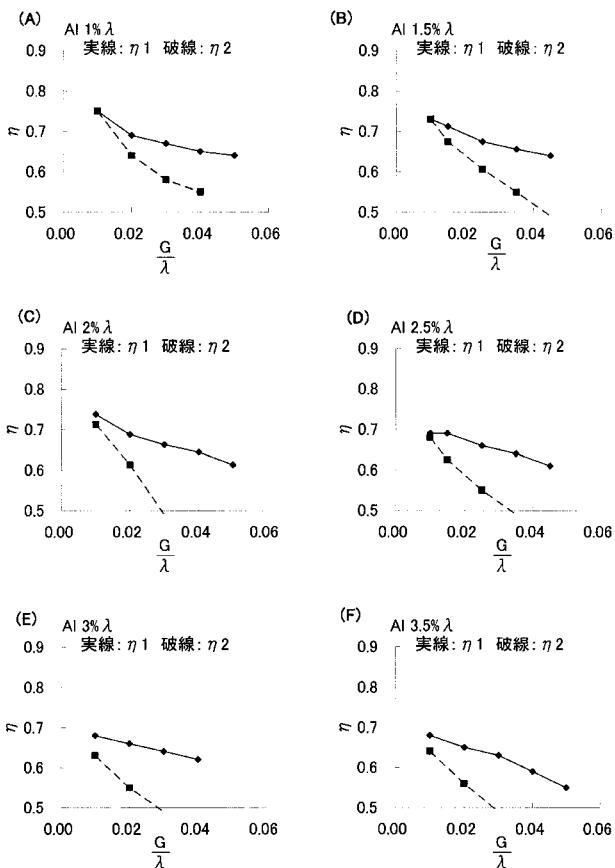
【 図 1 0 】



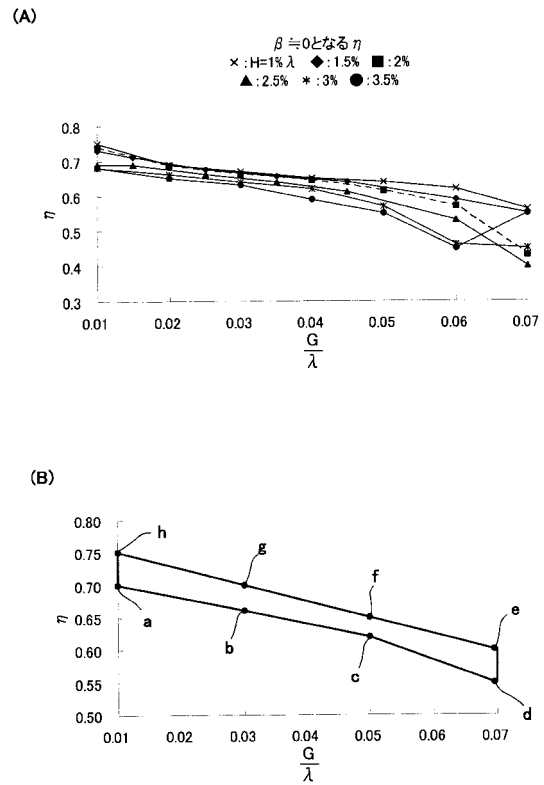
【 図 1 1 】



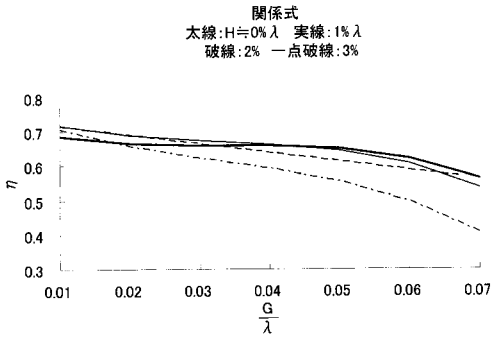
【 図 1 2 】



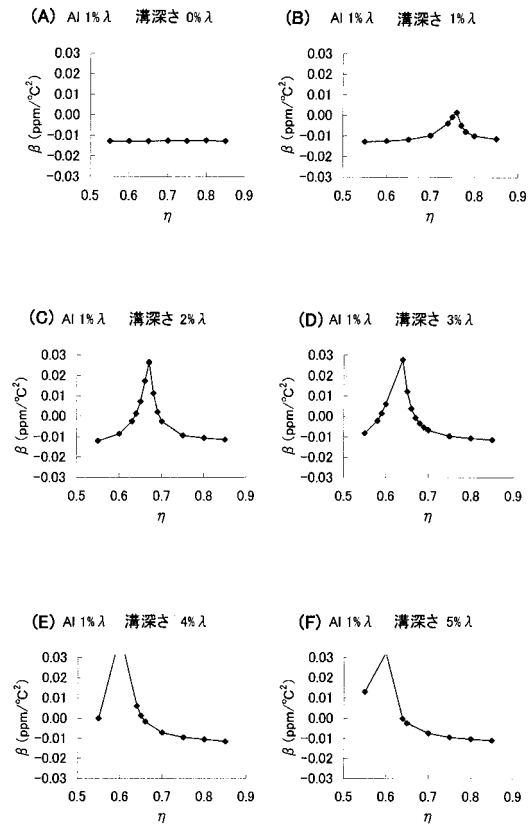
【 図 1 3 】



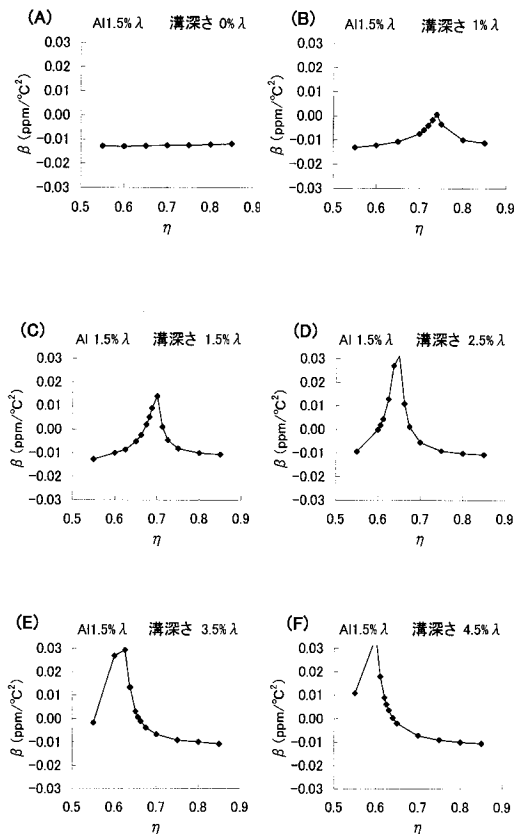
【 図 1 4 】



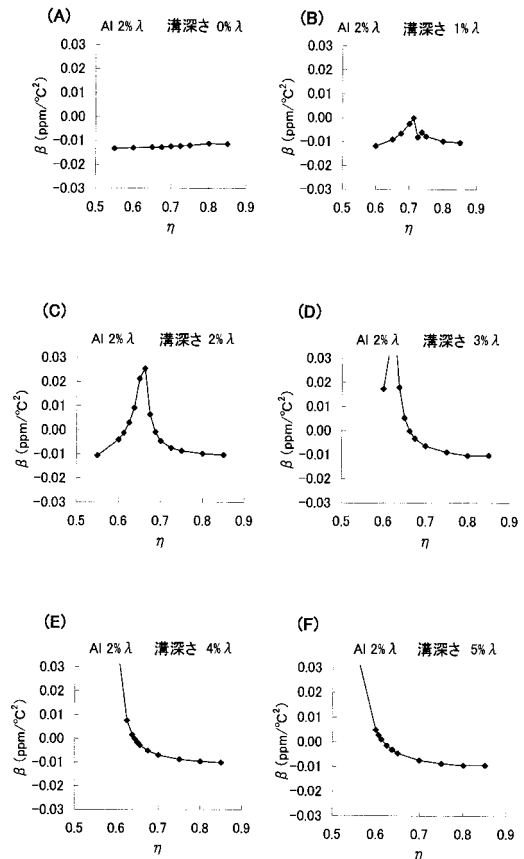
【 図 1 5 】



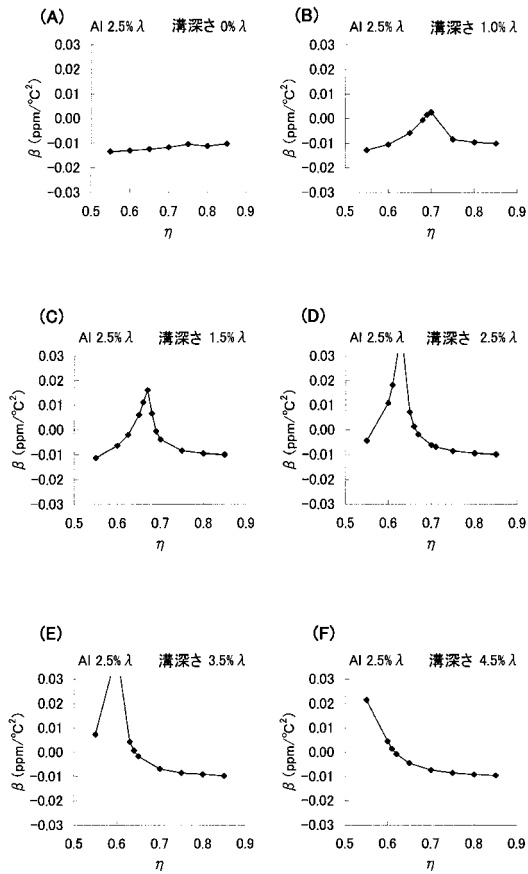
【 図 1 6 】



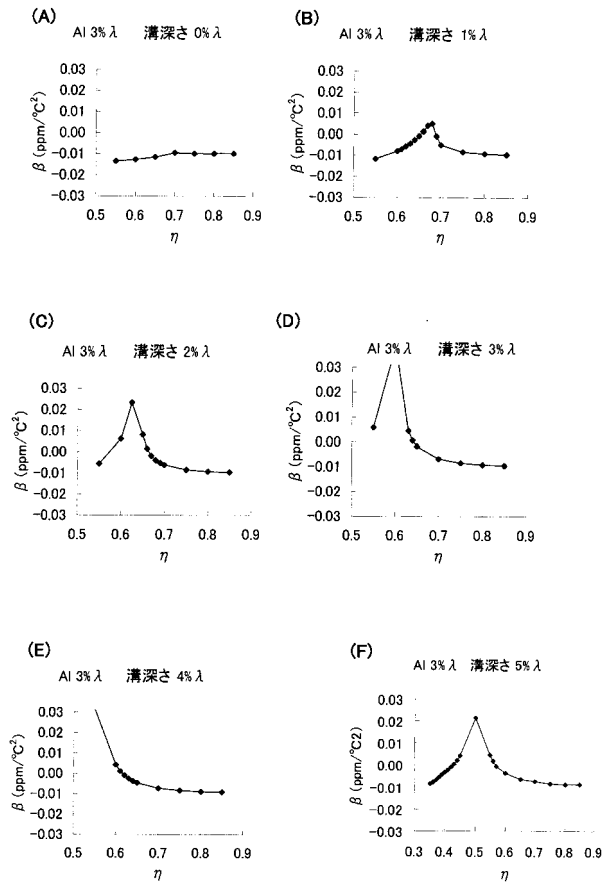
【 図 1 7 】



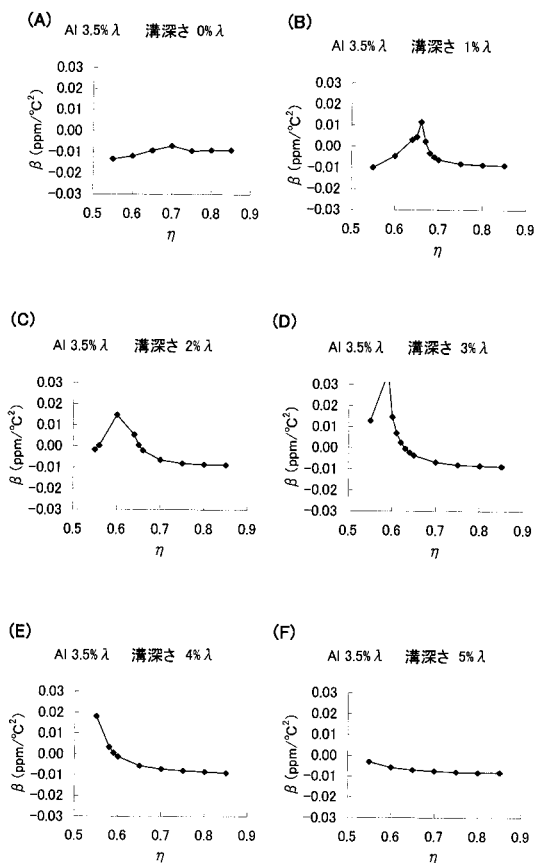
【 図 1 8 】



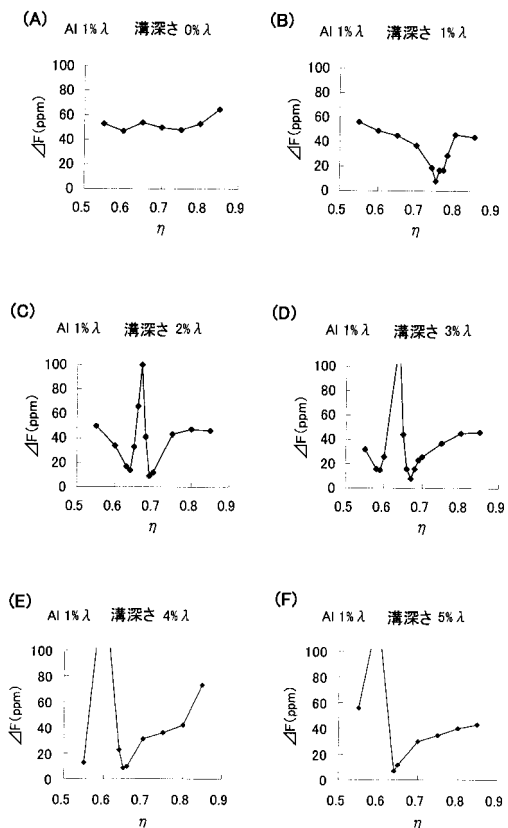
【 図 1 9 】



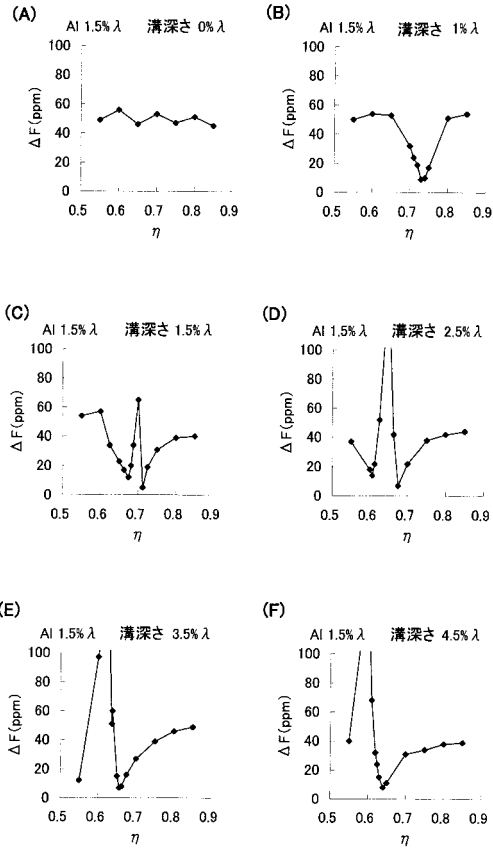
【 図 2 0 】



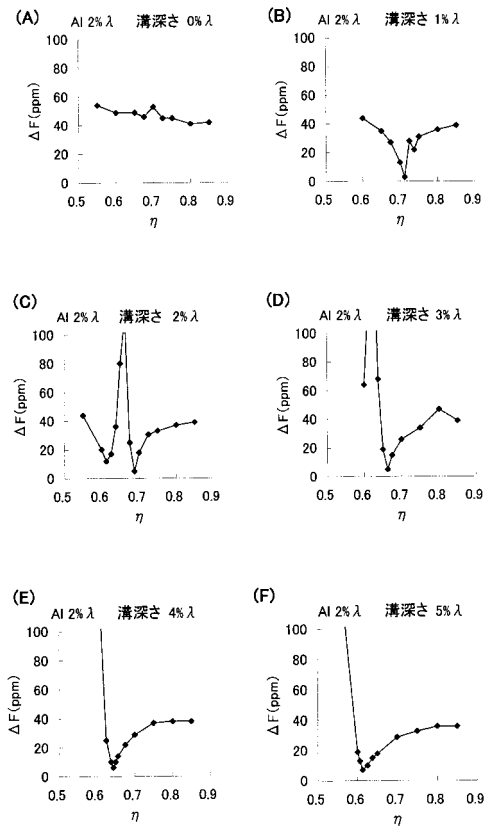
【 図 2 1 】



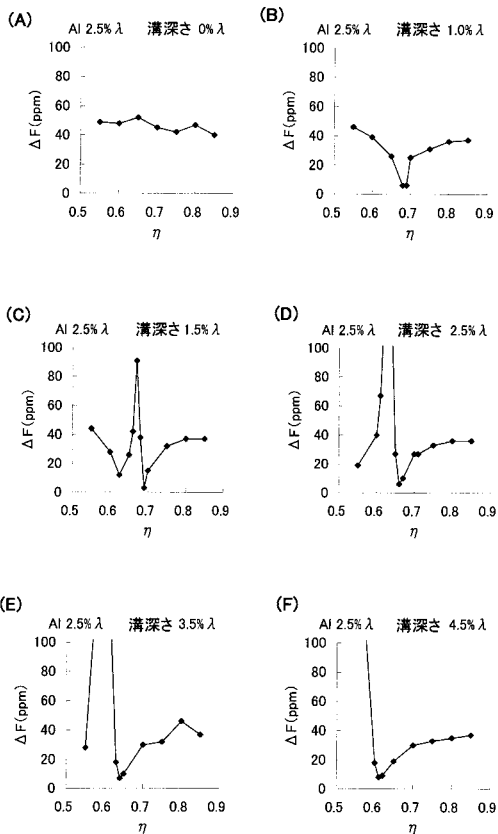
【 図 2 2 】



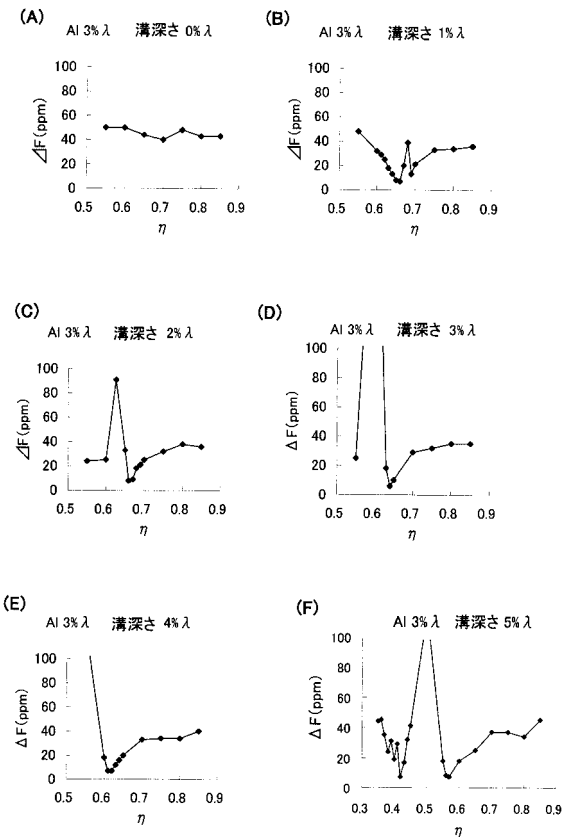
【 図 2 3 】



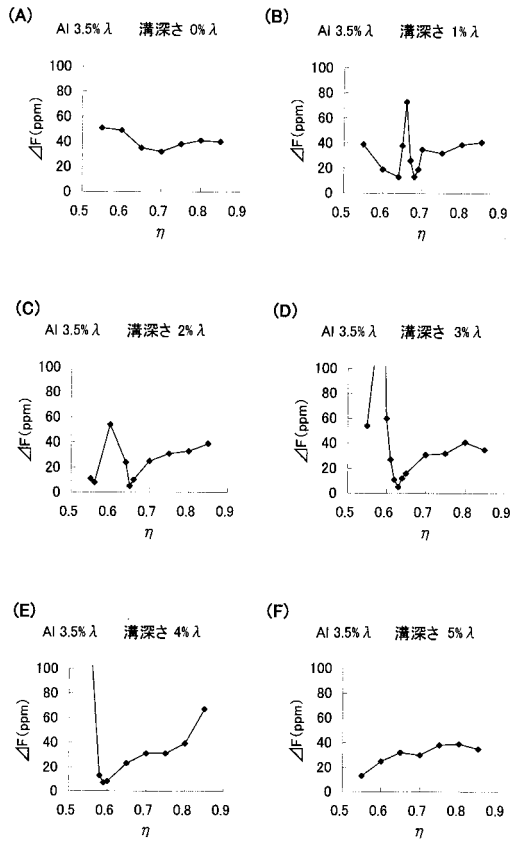
【 図 2 4 】



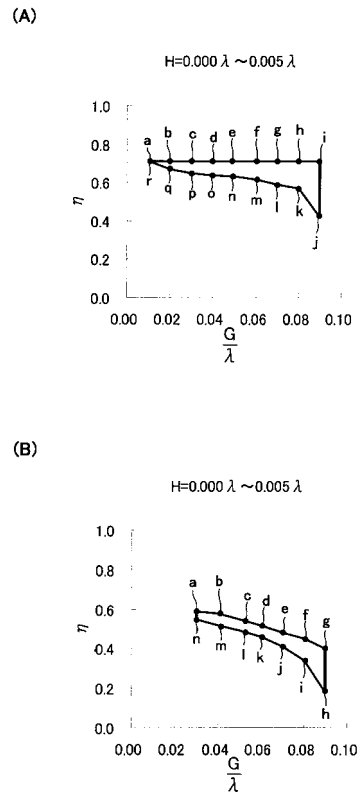
【 図 2 5 】



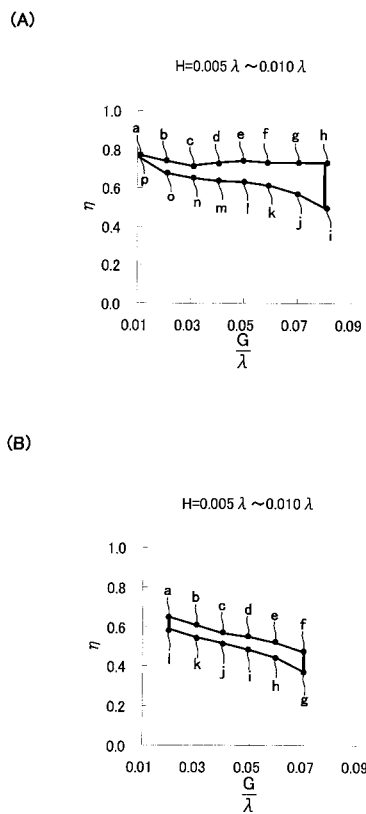
【 図 2 6 】



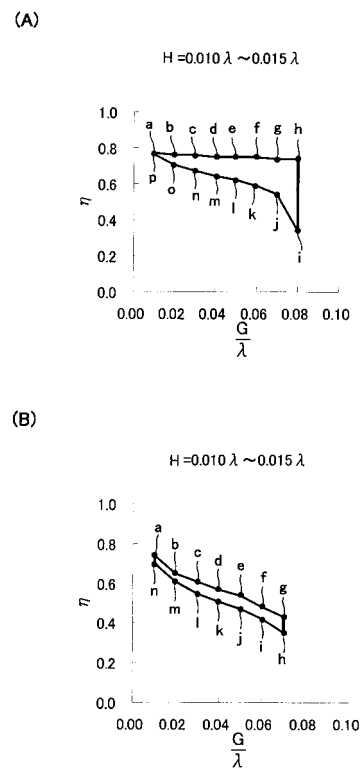
【 図 2 7 】



【 図 2 8 】

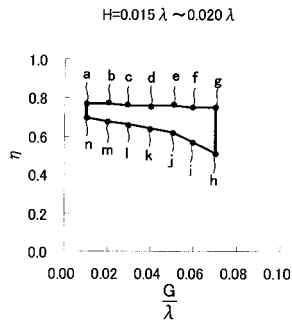


【 図 2 9 】

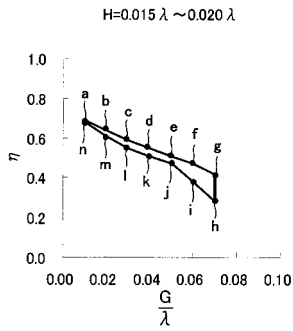


【 図 3 0 】

(A)

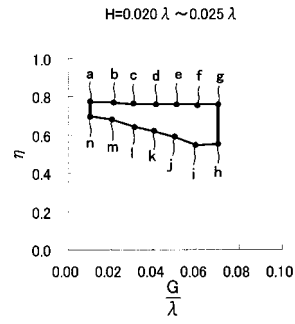


(B)

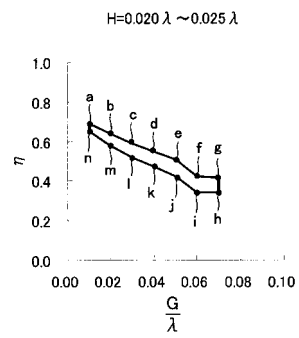


【 図 3 1 】

(A)

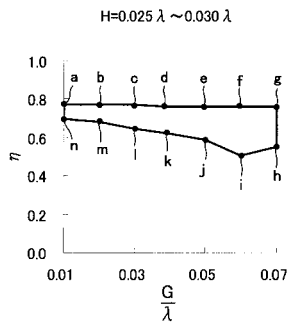


(B)

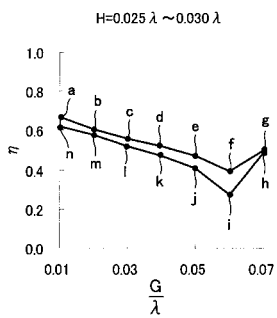


【 図 3 2 】

(A)

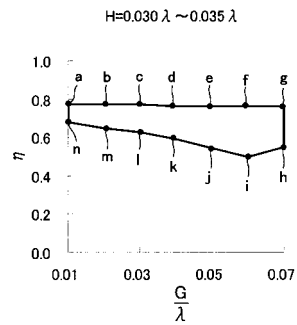


(B)

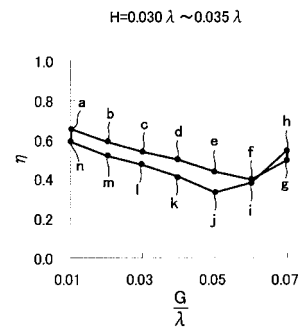


【 図 3 3 】

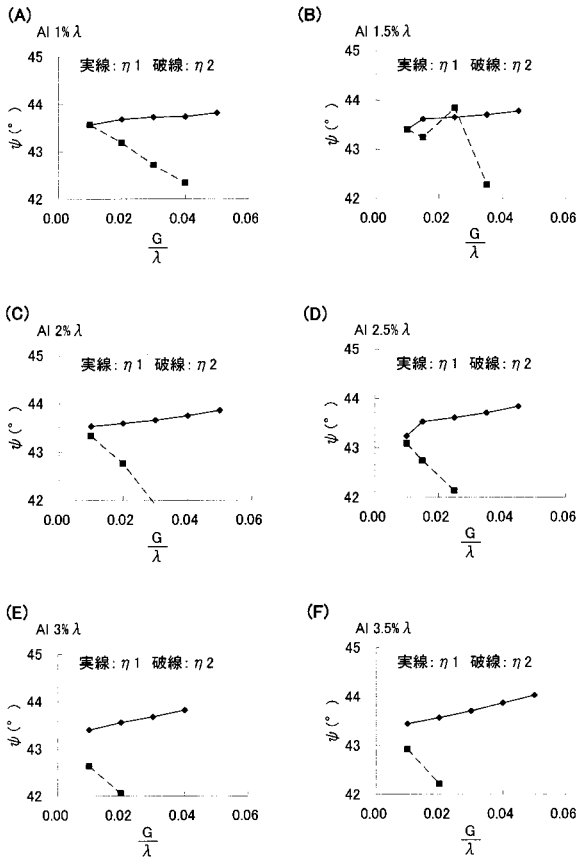
(A)



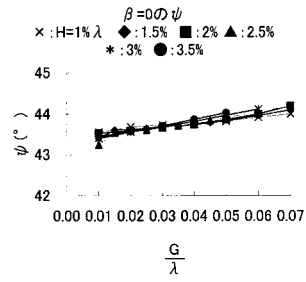
(B)



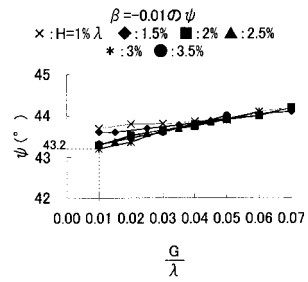
【 図 3 4 】



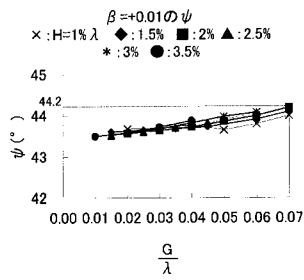
【 図 3 5 】



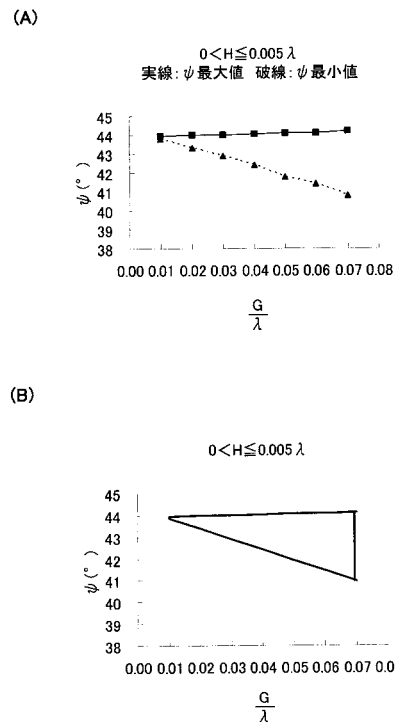
【 図 3 6 】



【 図 3 7 】

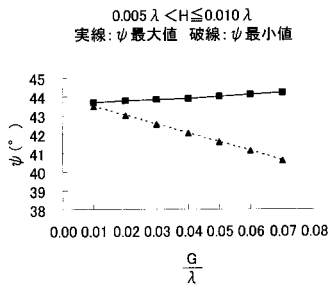


【 図 3 8 】

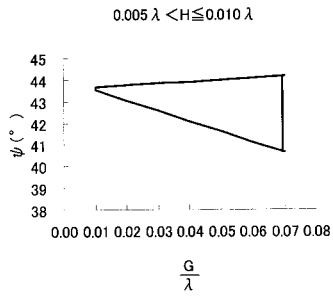


【 図 3 9 】

(A)

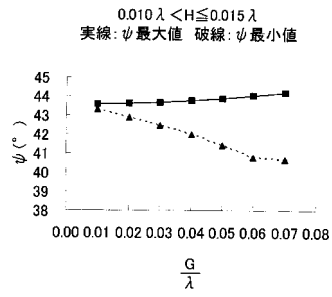


(B)

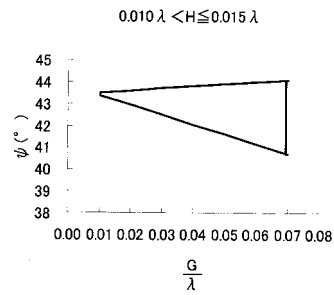


【 図 4 0 】

(A)

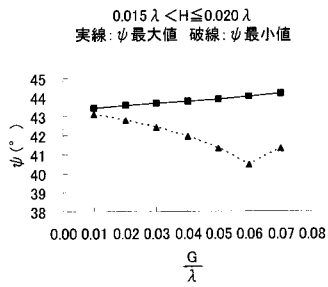


(B)

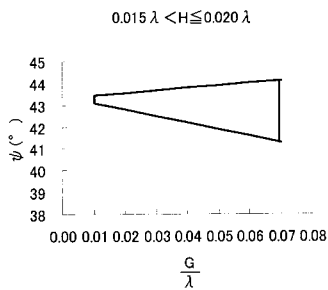


【 図 4 1 】

(A)

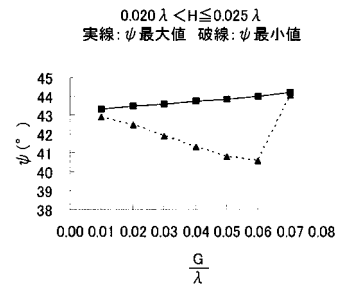


(B)

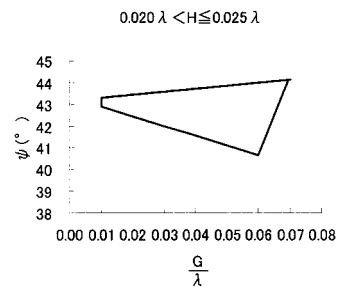


【 図 4 2 】

(A)

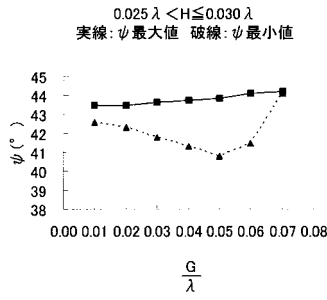


(B)

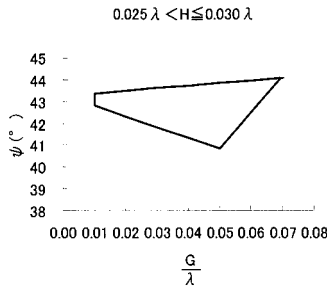


【 図 4 3 】

(A)

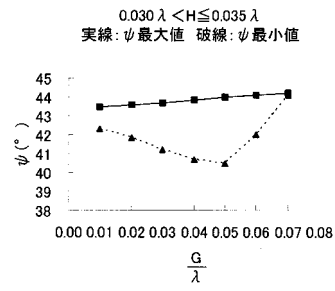


(B)

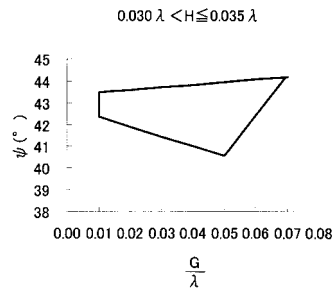


【 図 4 4 】

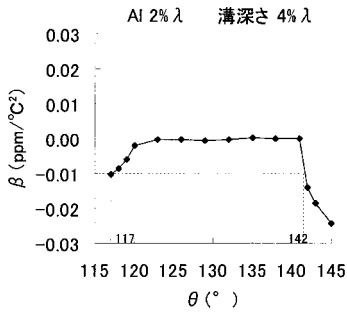
(A)



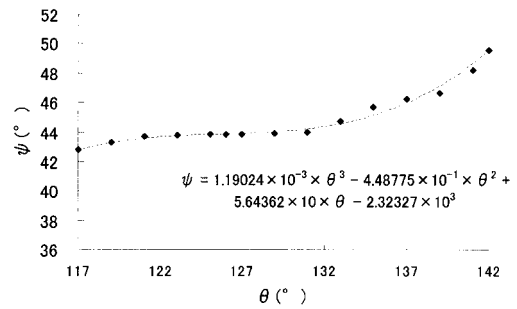
(B)



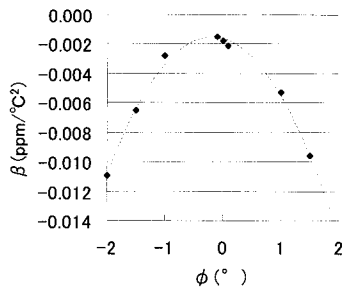
【 図 4 5 】



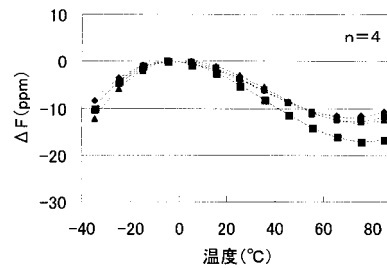
【 図 4 7 】



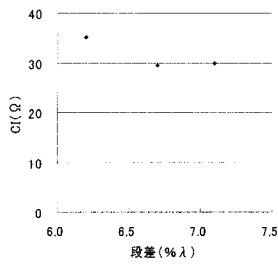
【 図 4 6 】



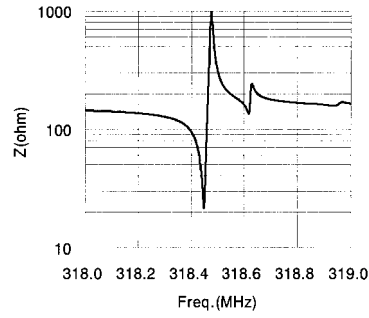
【 図 4 8 】



【図 49】



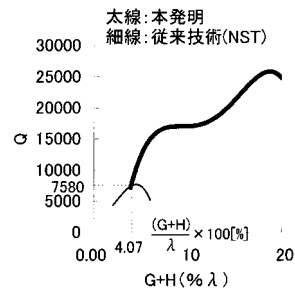
【図 51】



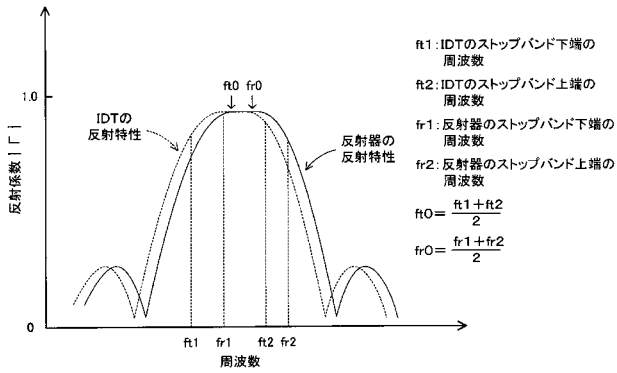
【図 50】

	F	Q	γ	CI	M
	MHz			Ω	
AVG	318.25	13285	2476	21.8	5.4

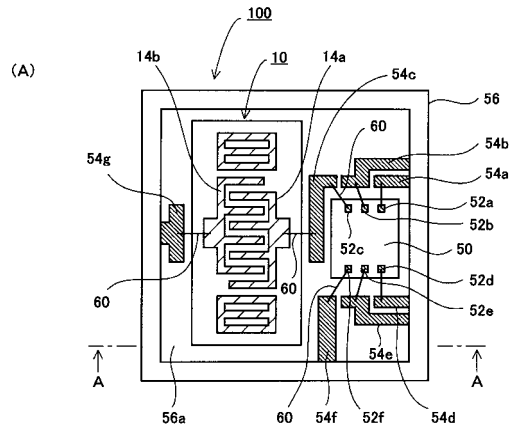
【図 52】



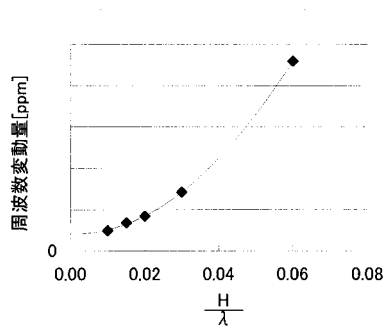
【図 53】



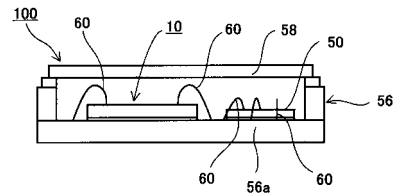
【図 55】



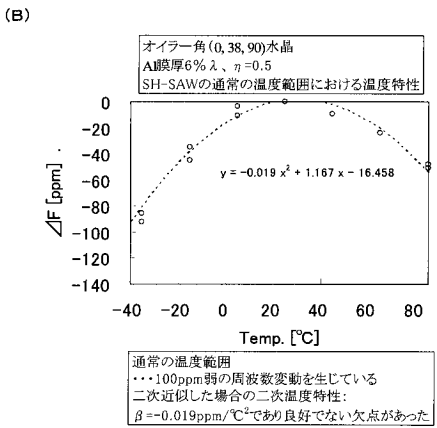
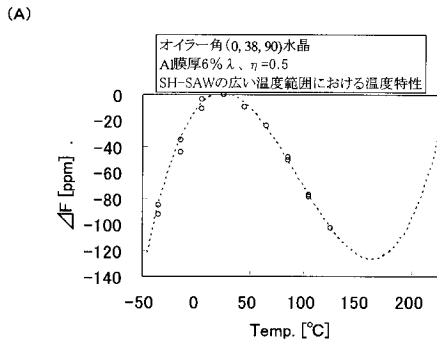
【図 54】



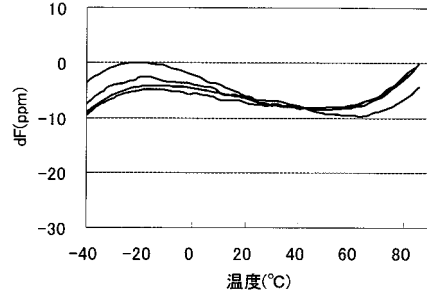
(B)



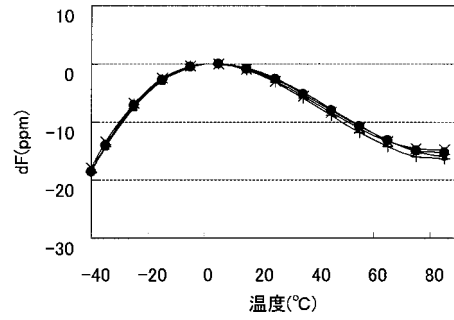
【図56】



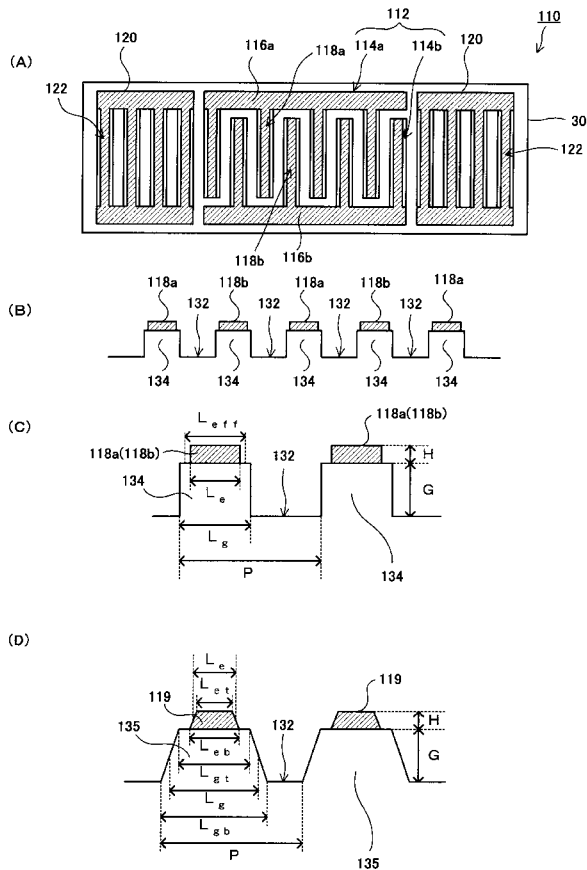
【図57】



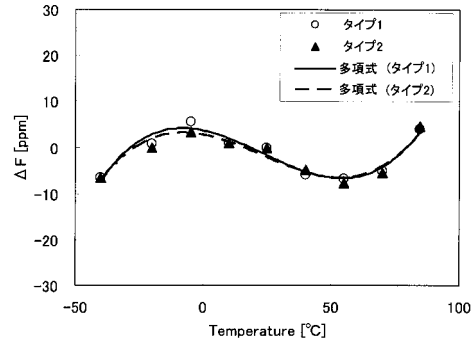
【図58】



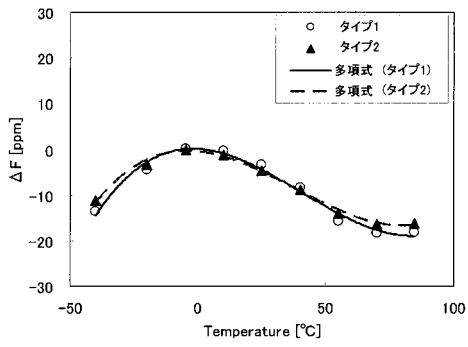
【図59】



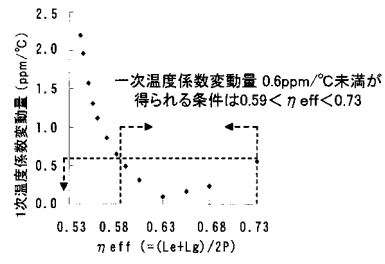
【図60】



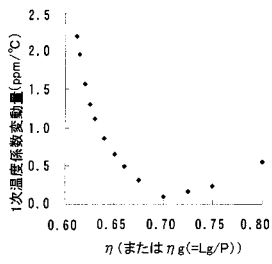
【 図 6 1 】



【 図 6 3 】



【 図 6 2 】



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 41/08 L

(72)発明者 飯澤 慶吾
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 羽野 健一
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 AA06 BA02 BA39 FA01 HA04 HA06 HA09 HA22 JA03 JA06
5J097 AA01 AA21 BB01 DD02 DD09 DD28 EE02 EE03 FF01 GG02
KK07 KK09 KK10

【要約の続き】

【選択図】図5 9