

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5934464号
(P5934464)

(45) 発行日 平成28年6月15日(2016. 6. 15)

(24) 登録日 平成28年5月13日(2016. 5. 13)

(51) Int.Cl. F I
H03H 9/145 (2006.01)
H03H 9/145 C
H03H 9/145 Z

請求項の数 10 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2010-189862 (P2010-189862)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成22年8月26日 (2010. 8. 26)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2012-49816 (P2012-49816A)		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(43) 公開日	平成24年3月8日 (2012. 3. 8)	(74) 代理人	100091306
審査請求日	平成25年8月23日 (2013. 8. 23)		弁理士 村上 友一
審査番号	不服2015-941 (P2015-941/J1)	(72) 発明者	大脇 卓弥
審査請求日	平成27年1月16日 (2015. 1. 16)		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	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	山中 國人
			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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 弾性表面波共振子、および弾性表面波発振器、ならびに電子機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

オイラー角 ($-1.5^\circ \leq \phi \leq 1.5^\circ$, $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$, $42.79^\circ \leq |\psi| \leq 49.57^\circ$) の水晶基板と、

前記水晶基板上に設けられ、A l または A l を主体とした合金により構成された複数の電極指を備え、ストップバンド上端モードの弾性表面波を励振する I D T と、

平面視で、前記電極指の間に位置する前記水晶基板の部分にある電極指間溝と、を有し、

前記弾性表面波の波長を λ 、前記電極指間溝の深さを G として、

$$0.01\lambda \leq G$$

を満たし、

前記 I D T のライン占有率を η として、

$$-2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.675 \leq \eta \leq -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.775 \quad (\text{ただし、} \eta = 0.7 \text{ を除く})$$

を満たし、

かつ、前記 I D T における前記電極指の対数を N として、

$$160 \leq N \leq 220$$

を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【請求項 2】

請求項 1 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 が、

$$0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda$$

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の弾性表面波共振子であって、
前記 I D T の電極膜厚を H として、

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

10

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、
前記ライン占有率 η が、

$$-2.533 \times \frac{G}{\lambda} - 2.269 \times \frac{H}{\lambda} + 0.785 - 0.04 \leq \eta \leq -2.533 \times \frac{G}{\lambda} - 2.269 \times \frac{H}{\lambda} + 0.785 + 0.04$$

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 5】

請求項 3 または請求項 4 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、

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

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 6】

請求項 1 乃至請求項 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 ψ と前記 θ が、

30

$$\begin{aligned} &1.191 \times 10^{-3} \times \theta^3 - 4.490 \times 10^{-1} \times \theta^2 + 5.646 \times 10^1 \times \theta - 2.324 \times 10^3 - 1.0 \leq \psi \\ &\leq 1.191 \times 10^{-3} \times \theta^3 - 4.490 \times 10^{-1} \times \theta^2 + 5.646 \times 10^1 \times \theta - 2.324 \times 10^3 + 1.0 \end{aligned}$$

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 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 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沿って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} として、

40

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

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 7 に記載の弾性表面波共振子であって、

前記反射器は、複数の導体ストリップと、平面視で、前記導体ストリップの間に位置する前記水晶基板の部分にある導体ストリップ間溝と、を有し、

50

前記電極指間溝の深さ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 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を備えたことを特徴とする弾性表面波発振器。

【請求項 10】

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】

10

【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、ならびに電子機器に係り、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、ならびに電子機器に関する。

【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】

20

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。

【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】

30

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。

【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、溝の深さにより周波数温度特性が変化する旨が記載されている。

40

【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元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、三次元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った旨が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

50

【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

【非特許文献】

【0010】

【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））

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

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亘り、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1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化を実現させることは困難であった。

20

【0012】

したがって本願発明において弾性表面波共振子、および弾性表面波発振器、ならびに電子機器を提供する際の課題は第1に、良好な周波数温度特性の実現、第2に耐環境特性の向上、第3に高いQ値を得る、というものである。

【課題を解決するための手段】

【0013】

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。

30

第1の形態の弾性表面波共振子は、オイラー角（ $-1.5^\circ \leq \phi \leq 1.5^\circ$ 、 $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$ 、 $42.79^\circ \leq |\psi| \leq 49.57^\circ$ ）の水晶基板と、前記水晶基板上に設けられ、AlまたはAlを主体とした合金により構成された複数の電極指を備え、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、平面視で、前記電極指の間に位置する前記水晶基板の部分にある電極指間溝と、を有し、前記弾性表面波の波長を λ 、前記電極指間溝の深さをGとして、

$$0.01\lambda \leq G$$

を満たし、前記IDTのライン占有率を η として、

40

$$-2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.675 \leq \eta \leq -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.775 \quad (\text{ただし、}\underline{\eta = 0.7} \text{を除く})$$

を満たし、かつ、前記IDTにおける前記電極指の対数をNとして、

$$160 \leq N \leq 220$$

を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

第2の形態の弾性表面波共振子は、第1の形態に記載の弾性表面波共振子であって、前

50

記電極指間溝の深さ G が、

$$0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda$$

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

第3の形態の弾性表面波共振子は、第1の形態または第2の形態に記載の弾性表面波共振子であって、前記 I D T の電極膜厚を H として、

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

10

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

第4の形態の弾性表面波共振子は、第3の形態に記載の弾性表面波共振子であって、前記ライン占有率 η が、

$$-2.533 \times \frac{G}{\lambda} - 2.269 \times \frac{H}{\lambda} + 0.785 - 0.04 \leq \eta \leq -2.533 \times \frac{G}{\lambda} - 2.269 \times \frac{H}{\lambda} + 0.785 + 0.04$$

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

第5の形態の弾性表面波共振子は、第3または第4の形態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、

20

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

第6の形態の弾性表面波共振子は、第1乃至第5のいずれか1形態に記載の弾性表面波共振子であって、前記 ψ と前記 θ が、

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

30

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

第7の形態の弾性表面波共振子は、第1乃至第6のいずれか1形態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沿って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} として、

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

40

第8の形態の弾性表面波共振子は、第7の形態に記載の弾性表面波共振子であって、前記反射器は、複数の導体ストリップと、平面視で、前記導体ストリップの間に位置する前記水晶基板の部分にある導体ストリップ間溝と、を有し、前記電極指間溝の深さ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。

第9の形態の弾性表面波共振子は、第1乃至第8のいずれか1形態に記載の弾性表面波共振子を備えたことを特徴とする弾性表面波発振器。

第10の形態の弾性表面波共振子は、第1乃至第8のいずれか1形態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。

[適用例1] オイラー角 ($-1.5^\circ \leq \phi \leq 1.5^\circ$, $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$, $42.79^\circ \leq |\psi| \leq 49.57^\circ$) の水晶基板上に設けられ、A1またはA1を主体とし

50

た合金により構成されてストップバンド上端モードの弾性表面波を励振する I D T と、前記 I D T を構成する電極指間に位置する基板を窪ませた電極指間溝を有する弾性表面波共振子であって、前記弾性表面波の波長を λ 、前記電極指間溝の深さを G とした場合に、

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

を満たし、かつ、前記 I D T のライン占有率を η とした場合に、前記電極指間溝の深さ G と前記ライン占有率 η とが

$$-2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.675 \leq \eta \leq -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.775 \quad \cdots (5) \quad 10$$

の関係を満たすと共に、前記 I D T における電極指の対数 N を

$$160 \leq N \leq 220 \quad \cdots (19)$$

の範囲内としたことを特徴とする弾性表面波共振子。

このような特徴を持つ弾性表面波共振子によれば、周波数温度特性の向上を図ることができる。

【0014】

20

〔適用例2〕適用例1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 が、

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【0015】

このような特徴を持つ弾性表面波共振子によれば、電極指間溝の深さ G が製造時の誤差によりずれた場合であっても、個体間における共振周波数のシフトを補正範囲内に抑えることができる。

30

【0016】

〔適用例3〕適用例1または適用例2に記載の弾性表面波共振子であって、前記 I D T の電極膜厚を H とした場合に、

$$0 < H \leq 0.035\lambda \quad \cdots (6)$$

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【0017】

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。

40

【0018】

〔適用例4〕適用例3に記載の弾性表面波共振子であって、前記ライン占有率 η が、

$$\eta = -2.533 \times \frac{G}{\lambda} - 2.269 \times \frac{H}{\lambda} + 0.785 \pm 0.04 \quad \cdots (8)$$

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

適用例3における電極膜厚の範囲内において数式(8)を満たすように η を定めることで、二次温度係数を略、 $\pm 0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 以内に収めることが可能となる。

【0019】

50

〔適用例 5〕 適用例 3 または適用例 4 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、

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

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 との和を上記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。

【0020】

〔適用例 6〕 適用例 1 乃至適用例 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 ψ と前記 θ が、

$$\psi = 1.191 \times 10^{-3} \times \theta^3 - 4.490 \times 10^{-1} \times \theta^2 + 5.646 \times 10^1 \times \theta - 2.324 \times 10^3 \pm 1.0 \quad \cdots (17)$$

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

【0021】

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。

【0022】

〔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 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、

$$f_{r1} < f_{t2} < f_{r2} \quad \cdots (18)$$

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 $|\Gamma|$ 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。

【0024】

〔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。

【0025】

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 (18) の関係を実現させることが可能となる。

【0026】

〔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を備えたことを特徴とする弾性表面波発振器。

〔適用例 10〕 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を備えたことを特徴とする電子機器。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図 1】実施形態に係る SAW デバイスの構成を示す図である。

【図 2】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 3】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。

10

20

30

40

50

【図4】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 η 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る。

【図5】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 η と二次温度係数 β との関係を示すグラフである。

【図6】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 η との関係を示すグラフである。

【図7】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 η と周波数変動量 ΔF との関係を示すグラフである。

【図8】電極指間溝の深さが $\pm 0.001\lambda$ ずれた場合における特定の電極指間溝の深さと、ずれに伴うSAW共振子間に生ずる周波数差の関係を示すグラフである。

10

【図9】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 η との関係を示すグラフである。

【図10】各電極膜厚における二次温度係数が0となる η と電極指間溝との関係を1つのグラフにまとめた図である。

【図11】電極膜厚 H 0から $H=0.035\lambda$ までの電極指間溝とライン占有率 η との関係を近似直線で示した図である。

【図12】電極膜厚を 0.01λ 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 η と二次温度係数 β との関係を示すグラフである。

【図13】電極膜厚を 0.015λ 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 η と二次温度係数 β との関係を示すグラフである。

20

【図14】電極膜厚を 0.02λ 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 η と二次温度係数 β との関係を示すグラフである。

【図15】電極膜厚を 0.025λ 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 η と二次温度係数 β との関係を示すグラフである。

【図16】電極膜厚を 0.03λ 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 η と二次温度係数 β との関係を示すグラフである。

【図17】電極膜厚を 0.035λ 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 η と二次温度係数 β との関係を示すグラフである。

【図18】電極膜厚を 0.01λ 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 η と周波数変動量 ΔF との関係を示すグラフである。

30

【図19】電極膜厚を 0.015λ 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 η と周波数変動量 ΔF との関係を示すグラフである。

【図20】電極膜厚を 0.02λ 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 η と周波数変動量 ΔF との関係を示すグラフである。

【図21】電極膜厚を 0.025λ 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 η と周波数変動量 ΔF との関係を示すグラフである。

【図22】電極膜厚を 0.03λ 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 η と周波数変動量 ΔF との関係を示すグラフである。

【図23】電極膜厚を 0.035λ 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 η と周波数変動量 ΔF との関係を示すグラフである。

40

【図24】電極膜厚、ライン占有率 η を定めた際の電極指間溝とオイラー角 ψ との関係を示すグラフである。

【図25】電極膜厚を変えた電極指間溝とオイラー角 ψ との関係のグラフを1つのグラフにまとめた図である。

【図26】二次温度係数 β が $-0.01\text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ となる電極指間溝とオイラー角 ψ との関係を示すグラフである。

【図27】二次温度係数 β が $+0.01\text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ となる電極指間溝とオイラー角 ψ との関係を示すグラフである。

【図28】電極膜厚 0.02λ 、電極指間溝の深さ 0.04λ におけるオイラー角 θ と二次温度係数 β との関係を示すグラフである。

50

【図 29】オイラー角 ϕ と二次温度係数 β との関係を示すグラフである。

【図 30】周波数温度特性が良好となるオイラー角 θ とオイラー角 ψ との関係を示すグラフである。

【図 31】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 32】電極指間溝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 33】本実施形態に係る SAW 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 34】本実施形態に係る SAW 共振子におけるインピーダンスカーブデータである。

【図 35】従来の SAW 共振子における段差と Q 値の関係と本実施形態に係る SAW 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 36】IDT と反射器の SAW 反射特性を示す図である。

【図 37】ヒートサイクル試験における電極膜厚と周波数変動との関係を示すグラフである。

【図 38】本実施形態に係る SAW 共振子における共振特性の位相を示すグラフであり、ストップバンドの下端モードが上端モードに重畳している場合の例を示す図である。

【図 39】本実施形態に係る SAW 共振子における共振特性の位相を示すグラフであり、ストップバンドの下端モードが上端モードに重畳していない場合の例を示す図である。

【図 40】本実施形態に係る SAW 共振子における共振特性の位相を示すグラフであり、ストップバンドの下端モードが上端モードに重畳している IDT 対数 $N = 144$ の場合の例を示す図である。

【図 41】本実施形態に係る SAW 共振子における共振特性の位相を示すグラフであり、ストップバンドの下端モードが上端モードに重畳していない IDT 対数 $N = 220$ の場合の例を示す図である。

【図 42】本実施形態に係る SAW 共振子における共振特性の位相を示すグラフであり、ストップバンドの下端モードが上端モードに重畳している IDT 対数 $N = 270$ の場合の例を示す図である。

【図 43】実施形態に係る SAW 発振器の構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0028】

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、ならびに電子機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。

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 の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である。

【0029】

本実施形態に係る SAW 共振子 10 は、水晶基板 30 と、IDT 12、および反射器 20 を基本として構成される。水晶基板 30 は、結晶軸を X 軸 (電気軸)、Y 軸 (機械軸)、および Z 軸 (光軸) で示すものを用いる。

【0030】

本実施形態では水晶基板 30 として、オイラー角 ($-1^\circ \leq \phi \leq 1^\circ$, $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$, $41.9^\circ \leq |\psi| \leq 49.57^\circ$) 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、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 カット基板となる。ここで、オイラー角 (ϕ , θ , ψ) の ϕ は Z カット基板の第 1 の回転に関するものであり、Z 軸を回転軸とし、+X 軸から +Y 軸側へ回転する方向を正の回転角度とした第 1 回転角度である。オイラー角の θ は Z カット基板の第 1 の回転後に行う第 2 の回転に関するものであり、第 1 の回転後の X 軸を回転軸とし、第 1 の回転後の +Y 軸から +Z 軸へ回転する方向を正の回転角度

10

20

30

40

50

とした第2の回転角度である。圧電基板のカット面は、第1回転角度 ϕ と第2回転角度 θ とで決定される。オイラー角の ψ はZカット基板の第2の回転後に行う第3の回転に関するものであり、第2の回転後のZ軸を回転軸とし、第2の回転後の+X軸から第2の回転後の+Y軸側へ回転する方向を正の回転角度とした第3回転角度である。SAWの伝搬方向は、第2の回転後のX軸に対する第3回転角度 ψ で表される。

【0031】

IDT12は、複数の電極指18の基端部をバスバー16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（または14b）を構成する電極指18と他方の櫛歯状電極14b（または14a）を構成する電極指18とを所定の間隔をあけて交互に配置している。ここで、電極指18は、弾性表面波の伝播方向であるX'軸と直交する方向に配置される。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、第3の回転後のZ軸と第3の回転後のX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。

10

【0032】

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2に示すような正規型IDT12（図2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 $\pi/2$ ずれている。図2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。

20

【0033】

図2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。

【0034】

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对設けられる。具体的構成としては、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。

30

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。

【0035】

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。なお、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%以下にすればよい。

【0036】

上記のような基本構成を有するSAW共振子10における水晶基板30は、IDT12の電極指間や反射器20の導体ストリップ間に溝（電極指間溝）32を設けている。

40

【0037】

水晶基板30に設ける溝32は、ストップバンド上端モードにおけるSAWの波長を λ とし、溝深さをGとした場合、

【数1】

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

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3を参照することで読み取れるように、

【数 2】

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

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（ $-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ ）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 25 ppm 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、

【数 3】

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

10

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、SAW共振子 10 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。

【0038】

また、ライン占有率 η とは図 1 (C) に示すように、電極指 18 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 18 間のピッチ $\lambda/2$ （ $=L+S$ ）で除した値である。したがって、ライン占有率 η は、数式（4）で示すことができる。

【数 4】

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

20

【0039】

ここで本実施形態に係る SAW共振子 10 は、ライン占有率 η を数式（5）のような範囲で定めると良い。なお、数式（5）からも解るように η は溝 32 の深さ G を定めることにより導き出すことができる。

【数 5】

$$-2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.675 \leq \eta \leq -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.775 \quad \cdots (5)$$

30

【0040】

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 6】

$$0 < H \leq 0.035\lambda \quad \cdots (6)$$

40

の範囲とすることが望ましい。

【0041】

さらに、ライン占有率 η について数式（6）で示した電極膜の厚みを考慮した場合、 η は数式（7）により求めることができる。

【数 7】

$$\eta = -2.533 \times \frac{G}{\lambda} - 2.269 \times \frac{H}{\lambda} + 0.785 \quad \cdots (7)$$

【0042】

50

ライン占有率 η 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 が数式（６）の範囲内においては ± 0.04 以内の製造ばらつき、 $H > 0.035\lambda$ 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 が数式（６）の範囲内であり、且つライン占有率 η のばらつきが ± 0.04 以内であれば、二次温度係数 β の小さい SAW デバイスが実現できる。即ちライン占有率 η は、数式（７）に ± 0.04 の公差を加えた数式（８）の範囲まで許容できる。

【数８】

$$\eta = -2.533 \times \frac{G}{\lambda} - 2.269 \times \frac{H}{\lambda} + 0.785 \pm 0.04 \quad \cdots (8)$$

10

【００４３】

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 β を $\pm 0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 以内とし、望ましくは SAW の動作温度範囲を $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ 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 ΔF を 25 ppm 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。なお、二次温度係数 β は、SAW の周波数温度特性を示す曲線の多項式近似における二次係数であるため、二次温度係数の絶対値が小さい事は周波数変動量が小さい事を意味し、周波数温度特性が良好であるといえることができる。以下は、上記のような構成の SAW デバイスが、本発明の目的を達成することのできる要素を備えていることについてのシミュレーションを用いた証明である。

20

【００４４】

なお、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 ΔF は約 117 ppm となり、二次温度係数 β は、 $-0.030 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 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 共振子の場合、周波数変動量 ΔF は約 63 ppm 、二次温度係数 β は $-0.016 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 程度となる。

【００４５】

30

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 η や電極膜厚 H 、及び溝深さ G などが関係している。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。

【００４６】

図４は、ライン占有率 η を変化させて水晶基板 ３０に SAW を伝播させた場合における二次温度係数 β の変化を示すグラフである。図４において図４（Ａ）は溝深さ G を 0.02λ 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 β を示し、図４（Ｂ）は溝深さ G を 0.02λ とした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 β を示す。また、図４において図４（Ｃ）は溝深さ G を 0.04λ 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 β を示し、図４（Ｄ）は溝深さ G を 0.04λ とした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 β を示す。なお、図４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 ３０に何らかの形で SAW を伝搬させた場合の例を示すものである。また、水晶基板 ３０のカット角は、オイラー角 $(0^\circ, 123^\circ, \psi)$ のものを使用した。なお、 ψ に関しては、二次温度係数 β の絶対値が最少となる値を適宜選択している。

40

【００４７】

図４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 $0.6 \sim 0.7$ となるあたりで二次温度係数 β 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 β の変化とストッ

50

プバンド下端モードにおける二次温度係数 β 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 β 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 β 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 β の変化は、マイナス側からプラス側へ変化的ることにより特性が向上している（二次温度係数 β の絶対値が小さくなっている）ということである。

【0048】

このことより、SAW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えることができる。

【0049】

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SAW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 β との関係について調べた。

【0050】

図5は、溝深さ G を 0.01λ （1% λ ）から 0.08λ （8% λ ）まで変化させた際のライン占有率 η と二次温度係数 β との関係を示すシミュレーションのグラフである。図5からは、溝深さ G を 0.0125λ （1.25% λ ）としたあたりから $\beta=0$ 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5からは、 $\beta=0$ となる η がそれぞれ2箇所（ η が大きな方における $\beta=0$ となる点（ η_1 ）や、 η が小さい方における $\beta=0$ となる点（ η_2 ））がある。なお図5からは、 η_2 の方が、 η_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。

【0051】

この点については、図6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6は、溝深さ G を変えていった場合において二次温度係数 β が0となる η_1 、 η_2 をそれぞれプロットしたグラフである。図6は、溝深さ G が大きくなるにつれて、 η_1 、 η_2 は互いに小さくなるが、 η_2 の方は、溝深さ $G=0.04\lambda$ となったあたりで $0.5\lambda\sim0.9\lambda$ の範囲で示したグラフをスケールアウトしてしまうほど変動量が大きいといえることを読み取ることができる。つまり、 η_2 は、溝深さ G の変化に対する変動量が大きいといえる。

【0052】

図7は、図5における縦軸を二次温度係数 β に替えて周波数変動量 ΔF として示したグラフである。図7からは当然に、 $\beta=0$ となる2つの点（ η_1 、 η_2 ）において、周波数変動量 ΔF が低下する事を読み取ることができる。さらに図7からは、 $\beta=0$ 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、 η_1 にあたる点の方が、周波数変動量 ΔF 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。

【0053】

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 $\beta=0$ となる点の変動量が少ない方、すなわち η_1 を採用することが望ましいと考えられる。図3には、各溝深さ G において二次温度係数 β が最少となる点（ η_1 ）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3によると、周波数変動量 ΔF が目標値である25ppm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 $0.01\leq G$ ということになる。

【0054】

なお、図3にはシミュレーションによって、溝深さ G が 0.08 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25ppm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 0.09λ 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25ppmを超えることとなる。

【0055】

図 3 に示すグラフは水晶基板 30 上に、IDT 12 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 16 ～図 21 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 $G \leq 0.094\lambda$ 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、

【数 9】

$$0.01\lambda \leq G \leq 0.094\lambda \quad \cdots (9)$$

10

と示すことができる。

【0056】

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 8 に示す。図 8 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 ± 500 ppm 程度であるということを読み取ることができる。

【0057】

ここで、周波数変動量 Δf が ± 1000 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と考ええる。しかし、周波数変動量 Δf が ± 1000 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。

20

【0058】

図 8 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、数式 (10) を得ることができる。

【数 10】

$$\Delta f = 16334G - 137 \quad \cdots (10)$$

30

【0059】

ここで、 $\Delta f < 1000$ ppm となる G の値を求めると、 $G \leq 0.0695\lambda$ 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 11】

$$0.01\lambda \leq G \leq 0.0695\lambda \quad \cdots (11)$$

とすることが望ましいということができる。

【0060】

次に、図 9 に、二次温度係数 $\beta = 0$ となる η 、すなわち三次温特を示すライン占有率 η と溝深さ G との関係をグラフに示す。水晶基板 30 は、オイラー角を $(0^\circ, 123^\circ, \psi)$ とした。ここで ψ 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 $\beta = 0$ となる角度を適宜選択している。なお、図 9 と同様な条件において、 $\beta = 0$ となる η を得た際のオイラー角 ψ と溝深さ G との関係を図 24 に示す。図 24 の電極膜厚 $H = 0.02\lambda$ のグラフにおいて、 $\psi < 42^\circ$ のプロットが表示されていないが、このグラフの η のプロットは $G = 0.03\lambda$ にて $\psi = 41.9^\circ$ 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 η との関係については、詳細を後述する図 12 ～図 17 に基づいてプロットを得ている。

40

【0061】

図 9 からは、いずれの膜厚においても、上述したように、 η_1 は η_2 に比べて溝深さ G

50

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 9 におけるそれぞれの膜厚のグラフについて、 η 1 を抜き出し、図 10 にまとめた。図 10 からは、破線で示すラインの中に η 1 が集中していることを読み取ることができる。また、図 10 によると、ライン占有率 η の上限を示すプロットは、電極膜厚 $H = 0.01\lambda$ とした SAW 共振子であり、ライン占有率 η の下限を示すプロットは、電極膜厚 $H = 0.035\lambda$ とした SAW 共振子である。つまり、電極膜厚 H を厚くするに従って二次温度係数 $\beta = 0$ とすることのできるライン占有率 η が小さくなるということができる。

【0062】

これらを踏まえ、ライン占有率 η の上限を示すプロットと下限を示すプロットのそれぞれについて近似式を求めると、数式 (12) と、数式 (13) を導くことができる。

10

【数 12】

$$\eta = -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.775 \quad \cdots (12)$$

【数 13】

$$\eta = -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.675 \quad \cdots (13)$$

数式 (12)、数式 (13) より、図 10 において破線で囲った範囲において η は、数式 (14) の範囲で定めることができるといえる。

20

【数 14】

$$-2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.675 \leq \eta \leq -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.775 \quad \cdots (14)$$

【0063】

ここで、二次温度係数 β を $\pm 0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 以内まで許容する場合、数式 (11) と数式 (14) を共に満たすことで、二次温度係数 β が $\pm 0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 以内になることを確認した。

また、数式 (12) ~ (14) を踏まえて電極膜厚 $H = 0, 0.01\lambda, 0.02\lambda, 0.03\lambda, 0.035\lambda$ とした SAW 共振子 10 についてそれぞれ、 $\beta = 0$ となる溝深さ G とライン占有率 η との関係を近似直線で示すと図 11 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 η との関係については、図 6 に示した通りである。

30

【0064】

これら電極膜厚 H を踏まえた近似直線を示す近似式に基づいて周波数温度特性が良好となる溝深さ G とライン占有率 η の関係式は、数式 (15) のようになる。

【数 15】

$$\eta = -2.533 \times \frac{G}{\lambda} - 2.269 \times \frac{H}{\lambda} + 0.785 \quad \cdots (15)$$

40

【0065】

ライン占有率 η 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 が数式 (6) の範囲内においては ± 0.04 以内の製造ばらつき、 $H > 0.035\lambda$ 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 が数式 (6) の範囲内であり、且つライン占有率 η のばらつきが ± 0.04 以内であれば、二次温度係数 β の小さい SAW デバイスが実現できる。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 β を $\pm 0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 以内とする場合、ライン占有率 η は、数式 (15) に ± 0.04 の公差を加えた数式 (16) の範囲まで許容できる。

50

【数 1 6】

$$\eta = -2.533 \times \frac{G}{\lambda} - 2.269 \times \frac{H}{\lambda} + 0.785 \pm 0.04 \quad \cdots (16)$$

【0066】

図12～図17に、電極膜厚をそれぞれ0.01λ(1%λ)、0.015λ(1.5%λ)、0.02λ(2%λ)、0.025λ(2.5%λ)、0.03λ(3%λ)、0.035λ(3.5%λ)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ηと二次温度係数βとの関係のグラフを示す。

10

【0067】

また、図18～図23には、図12～図17に対応したSAW共振子10におけるライン占有率ηと周波数変動量ΔF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°, 123°, ψ)のものを使用し、ψについては適宜ΔFが最小となる角度を選択する。

【0068】

ここで、図12は、電極膜厚Hを0.01λとした場合のライン占有率ηと二次温度係数βとの関係を示す図であり、図18は電極膜厚Hを0.01λとした場合のライン占有率ηと周波数変動量ΔFとの関係を示す図である。

【0069】

20

また、図13は、電極膜厚Hを0.015λとした場合のライン占有率ηと二次温度係数βとの関係を示す図であり、図19は電極膜厚Hを0.015λとした場合のライン占有率ηと周波数変動量ΔFとの関係を示す図である。

【0070】

また、図14は、電極膜厚Hを0.02λとした場合のライン占有率ηと二次温度係数βとの関係を示す図であり、図20は電極膜厚Hを0.02λとした場合のライン占有率ηと周波数変動量ΔFとの関係を示す図である。

【0071】

また、図15は、電極膜厚Hを0.025λとした場合のライン占有率ηと二次温度係数βとの関係を示す図であり、図21は電極膜厚Hを0.025λとした場合のライン占有率ηと周波数変動量ΔFとの関係を示す図である。

30

【0072】

また、図16は、電極膜厚Hを0.03λとした場合のライン占有率ηと二次温度係数βとの関係を示す図であり、図22は電極膜厚Hを0.03λとした場合のライン占有率ηと周波数変動量ΔFとの関係を示す図である。

【0073】

また、図17は、電極膜厚Hを0.035λとした場合のライン占有率ηと二次温度係数βとの関係を示す図であり、図23は電極膜厚Hを0.035λとした場合のライン占有率ηと周波数変動量ΔFとの関係を示す図である。

【0074】

40

これらの図(図12～図23)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ηと二次温度係数β、およびライン占有率ηと周波数変動量ΔFの関係を示すグラフである図5、図7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。

【0075】

図25に、図24に示すグラフにおけるη1によって得られるψと溝深さGとの関係をまとめた。なお、η1を選択した理由については上述した通りである。図25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

50

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 β の変化が水晶基板30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。

【0076】

上記と同様にして、二次温度係数 $\beta = -0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ となる ψ と $\beta = +0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ となる ψ について溝深さGとの関係を求め、図26、図27にまとめた。これらのグラフ(図25～図27)から $-0.01 \leq \beta \leq +0.01$ 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 $43.2^\circ \leq \psi \leq 44.2^\circ$ と定めることができる。

【0077】

次に、図28に θ の角度を振った際の二次温度係数 β の変化、すなわち θ と二次温度係数 β との関係を示す。ここで、シミュレーションに用いたSAWデバイスは、カット角とSAW伝搬方向をオイラー角表示で $(0, \theta, \psi)$ とし、溝深さGを 0.04λ とした水晶基板であり、電極膜厚Hは 0.02λ としている。なお、 ψ に関しては、 θ 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 β の絶対値が最少となる値を選択した。また、 η に関しては、上記数式(15)に従って、 0.6383 とした。

【0078】

このような条件の下、 θ と二次温度係数 β との関係を示す図28からは、 θ が 117° 以上 142° 以下の範囲内であれば、二次温度係数 β の絶対値が $0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 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 $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$ 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SAW共振子10を構成することができると言える。

【0079】

図29は、オイラー角表示で $(\phi, 123^\circ, 43.77^\circ)$ の水晶基板30を用い、溝深さGを 0.04λ 、電極膜厚Hを 0.02λ 、及びライン占有率 η を 0.65 とした場合において、 ϕ の角度と二次温度係数 β との関係を示すグラフである。

【0080】

図29からは、 ϕ が -2° 、 $+2^\circ$ の場合にはそれぞれ二次温度係数 β が -0.01 よりも低くなってしまっているが、 ϕ が -1.5° から $+1.5^\circ$ の範囲であれば確実に、二次温度係数 β の絶対値が 0.01 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 ϕ を $-1.5^\circ \leq \phi \leq +1.5^\circ$ 、好適には $-1^\circ \leq \phi \leq +1^\circ$ 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SAW共振子10を構成することができる。

【0081】

上記説明では、 ϕ 、 θ 、 ψ 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値の範囲を導き出している。これに対し、図30では、 $-40^\circ\text{C} \sim +85^\circ\text{C}$ における周波数変動量が最小となる非常に望ましい θ と ψ の関係を示しており、その近似式を求めている。図30によれば、 ψ 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30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30中破線で示す曲線となり、近似式としては数式(17)で示すことができる。

【数17】

$$\psi = 1.19024 \times 10^{-3} \times \theta^3 - 4.48775 \times 10^{-1} \times \theta^2 + 5.64362 \times 10^1 \times \theta - 2.32327 \times 10^3 \pm 1.0 \quad \dots (17)$$

【0082】

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、 θ の範囲を $117^\circ \leq \theta \leq 142^\circ$ とした場合における ψ の範囲は $42.79^\circ \leq \psi \leq 49.57^\circ$ 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、 $G = 0.0$

10

20

30

40

50

4λ、 $H = 0.02\lambda$ とした。

【0083】

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。

【0084】

また、本実施形態に係るSAW共振子10では、数式(6)や図12～図23に示したように、電極膜の膜厚 H を $0 < H \leq 0.035\lambda$ 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37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37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37からは、電極膜厚 H を 0.06λ 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37は何れのプロットも $H+G=0.06\lambda$ としている。

10

【0085】

また、図37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($H=0.06\lambda$ 且つ $G=0$)に比べ、本実施形態に係るSAW共振子($H=0.03\lambda$ 且つ $G=0.03\lambda$ 、 $H=0.02\lambda$ 且つ $G=0.04\lambda$ 、 $H=0.015\lambda$ 且つ $G=0.045\lambda$ 、 $H=0.01\lambda$ 且つ $G=0.05\lambda$ 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。

20

【0086】

上記のような条件の下、 $H+G=0.067\lambda$ (アルミ膜厚 $2000\text{\AA}$ 、溝深さ $4700\text{\AA}$)、IDTのライン占有率 $\eta_i=0.6$ 、反射器のライン占有率 $\eta_r=0.8$ 、オイラー角(0° 、 123° 、 43.5°)、IDTの対数120対、交差幅 40λ ($\lambda=10\mu\text{m}$)、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31に示すような周波数温度特性を示すこととなる。

30

【0087】

図31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31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 20ppm 以下に抑制されていることを読み取ることができる。

【0088】

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32、段差を $0.062\lambda\sim 0.071\lambda$ 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32によればCI値は、段差を 0.067λ 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。

40

【0089】

図31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33にまとめた。ここで、 F は周波数、 Q は Q 値、 γ は容量比、CIはCI(クリスタルインピーダンス:Crystal Impedance)値、 M は性能指数(フィギュアオブメリット:Figure of Merit)をそれぞれ示す。

【0090】

また、図35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35においては、太線で

50

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35から明らかなように、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 0.0407λ ($4.07\%\lambda$)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。

【0091】

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

10

H: 0.02λ

G: 変化

IDTライン占有率 η_i : 0.6

反射器ライン占有率 η_r : 0.8

オイラー角 (0° , 123° , 43.5°)

対数N: 120

交差幅W: 40λ ($\lambda = 10\mu\text{m}$)

反射器本数 (片側あたり): 60

電極指の傾斜角度なし

・従来のSAW共振子の基本データ

20

H: 変化

G: ゼロ

IDTライン占有率 η_i : 0.4

反射器ライン占有率 η_r : 0.3

オイラー角 (0° , 123° , 43.5°)

対数N: 120

交差幅W: 40λ ($\lambda = 10\mu\text{m}$)

反射器本数 (片側あたり): 60

電極指の傾斜角度なし

【0092】

30

これらのSAW共振子の特性を比較するため図33や図35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。

【0093】

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36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18】

40

$$f_{r1} < f_{t2} < f_{r2} \quad \cdots (18)$$

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 Γ 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。

【0094】

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

50

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} との関係は $f_{t2} < f_{r1}$ 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 Γ 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。

【0095】

ここで、数式 (18) 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ることで適用しても良い。

【0096】

なお図 33 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ことができる。また、図 34 は、図 33 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 34 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。

【0097】

上記実施形態では、SAW 共振子 10 を構成する IDT12 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 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 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。

【0098】

また、溝 32 に関しても、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。

【0099】

上記実施形態では、電極膜厚 H 、溝深さ G 、ライン占有率 η 、およびオイラー角を種々変化させた場合の周波数温度特性の変化を求め、良好な特性を得ることのできる範囲の限定を行ってきた。このような種々のシミュレーションに対して本願発明者は、電極膜厚 H 、溝深さ G 、ライン占有率 η 、およびオイラー角が良好な範囲にある場合でも、図 38 に示すように共振特性に崩れが生ずる場合があることを実験的に見出した。

【0100】

レイリー波におけるストップバンドの上端モードを主振動とした場合、このような特性の崩れが生ずる要因として、前記上端モードにストップバンドの下端モードの振動の少なくとも一部が重畳していることを挙げることができる。そして本願出願人は、このような下端モードの重畳を抑制するための構成の 1 つとして、IDT における電極指の対数 N があることを見出した。表 1 は、対数 N を段階的に変化させた場合における下端モードの重畳の有り、無しを示すものである。

【表 1】

対数 N	144	160	168	170	180	186	196	200	220	270
下端モードの重畳	有り	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	有り

【0101】

表1によれば、下端モードの重畳は、数式(19)の範囲内であれば生じないということを読み取ることができる。なお、上端モードに対する下端モードの重畳が無い場合、共振特性に崩れは生じず、図39に示すようなグラフを得ることができる。このことより、共振特性の位相を示すグラフを観察することで、下端モードの重畳の有り、無しを判断することができる。具体的には、図39に示すように1 port測定(SAW共振子のインピーダンス測定)で位相の反射特性を見た場合に、位相が0°となる2点の周波数間に変曲点をもつ場合、下端モードの一部が上端モードに重畳していると言える。

【0102】

表1にあるIDT対数Nが144、220、270の場合の共振特性の位相を示すグラフを図40、図41、図42に示す。図40、図42は、位相が0°となる2点の周波数間に変曲点があり、下端モードの一部が上端モードに重畳している。一方、図41は位相が0°となる2点の周波数間に変曲点がなく、下端モードの一部が上端モードに重畳していない。

【数19】

$$160 \leq N \leq 220 \quad \dots (19)$$

【0103】

表1に示すデータを得た際のSAW共振子10の基本データは、以下の通りである。なお、電極膜の構成材料はAlとした。

H: 0.02λ

G: 0.045λ

IDTライン占有率η_i: 0.64

反射器ライン占有率η_r: 0.73

オイラー角(0°, 123°, 44°)

対数N: 変化

交差幅W: 40λ (λ = 10μm)

反射器本数(片側あたり): 178

電極指の傾斜角度なし

【0104】

また、上記実験においては、交差幅などの基本データを変化させた場合であっても、対数Nを数式(19)の範囲とした場合には、下端モードの重畳を抑えることができることを確認した。表2は、対数Nを数式(19)の範囲とした上で、交差幅、オイラー角、IDTライン占有率を変化させた場合における下端モードの重畳の有り、無しを示すものである。本実験では交差幅30λ、オイラー角(0°, 123°, 44.5°)、IDTライン占有率0.62、0.63、0.65、0.66に振っても下端モードの一部が上端モードに重畳しないことを確認した。

【表2】

対数N	220	220	220	220	220	220	220
交差幅[λ]	40	30	40	40	40	40	40
オイラー角[°]	0, 123, 44	0, 123, 44	0, 123, 44.5	0, 123, 44	0, 123, 44	0, 123, 44	0, 123, 44
IDTライン占有率	0.64	0.64	0.64	0.62	0.63	0.65	0.64
下端モードの重畳	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し

【0105】

このように、IDTにおける電極指の対数Nを数式(19)の範囲内とすることで、良好な共振特性を得ることができる。また、このような構成のSAW共振子を用いて発振回路を構成すれば、良好な発振特性を得ることができる。

【0106】

また、上記実施形態では、電極膜としてA1またはA1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。

【0107】

上記実施形態では単純にSAW共振子として説明したが、本発明に係るSAW共振子は、SAWフィルタとしても採用することができる。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。

【0108】

次に、本発明に係るSAW発振器について、図43を参照して説明する。本発明に係るSAW発振器は図43に示すように、上述したSAW共振子10と、このSAW共振子10のIDT12に電圧を印加して駆動制御する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43において、図43(A)はリッドを除いた平面図であり、図43(B)は、同図(A)におけるA-A断面を示す図である。

【0109】

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により気密に封止している。このような構成とすることで、IDT12 (図1参照) とIC50、及びパッケージ56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。

【0110】

また、本発明に係るSAW共振子は、携帯電話やハードディスク、サーバコンピュータ、および有線・無線基地におけるクロック源として用いることができ、本発明に係る電子機器は、これらの携帯電話やハードディスク等に、上述したSAW共振子を搭載したものをいう。

【符号の説明】

【0111】

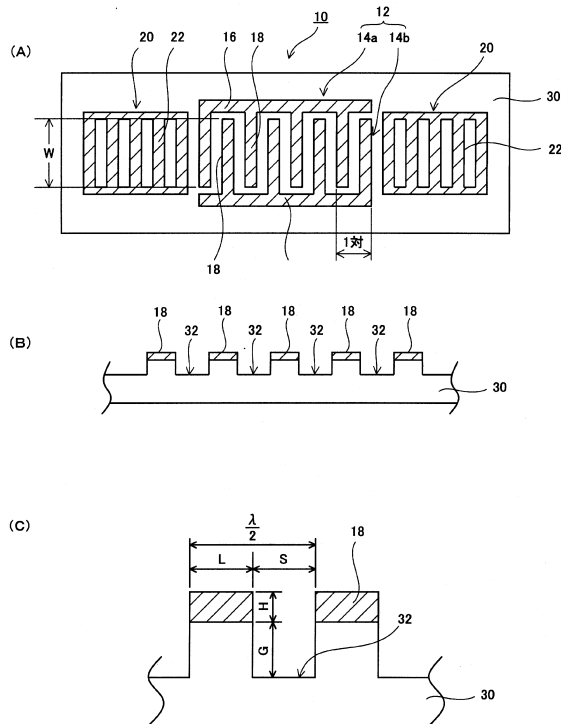
10 …… 弾性表面波共振子 (SAW共振子)、12 …… IDT、14a, 14b …… 櫛歯状電極、16 …… バスバー、18 …… 電極指、20 …… 反射器、22 …… 導体ストリップ、30 …… 水晶基板、32 …… 溝。

10

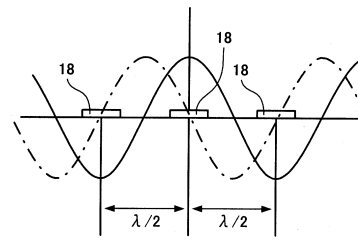
20

30

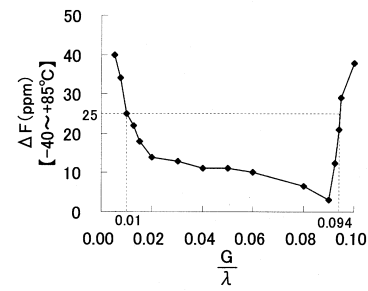
【図 1】



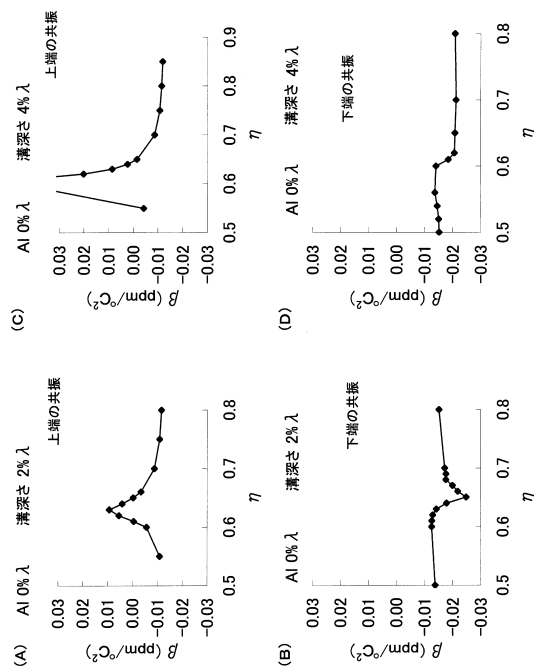
【図 2】



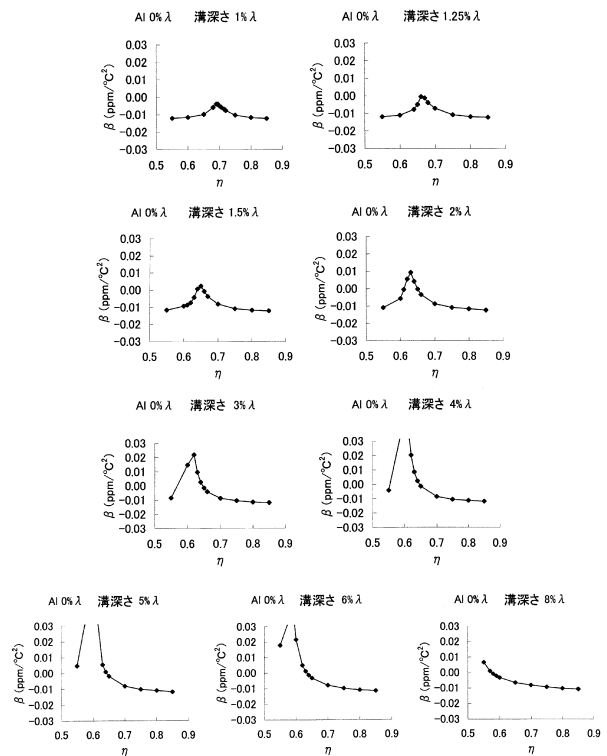
【図 3】



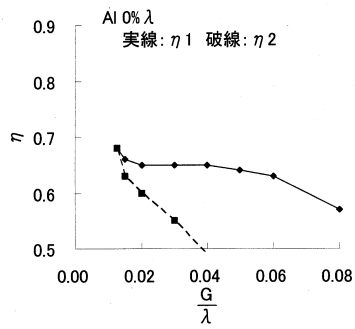
【図 4】



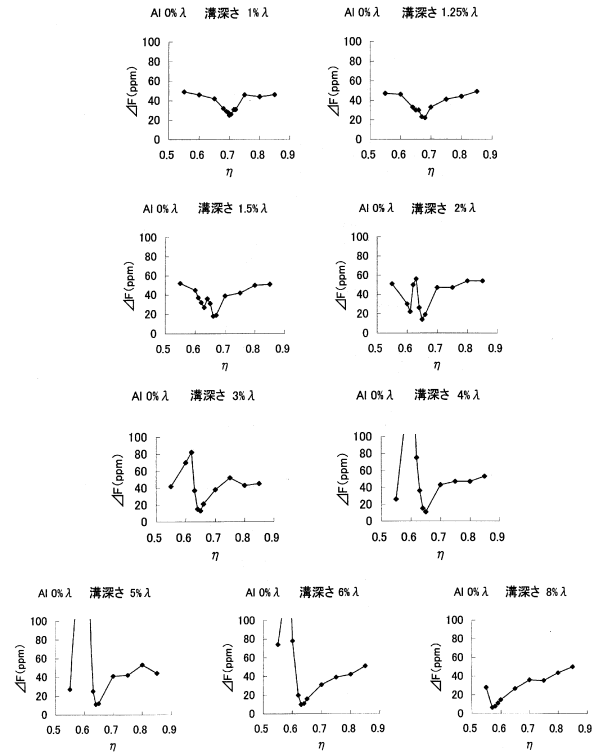
【図 5】



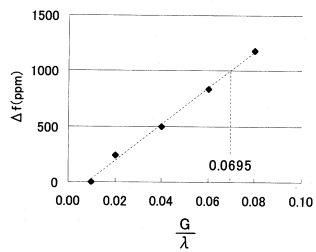
【図 6】



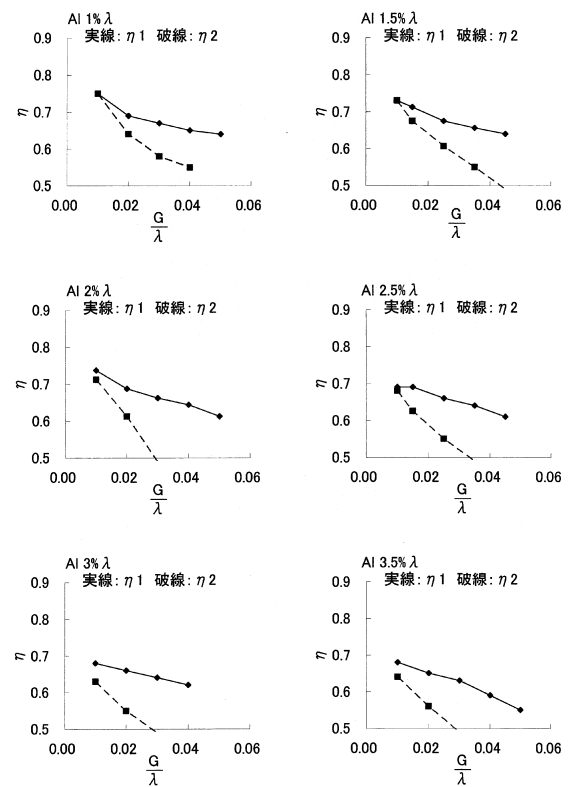
【図 7】



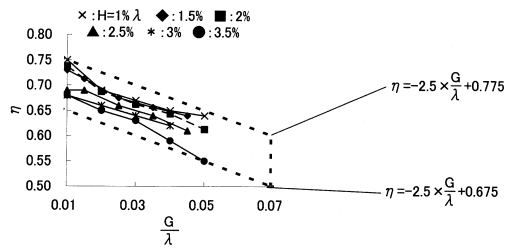
【図 8】



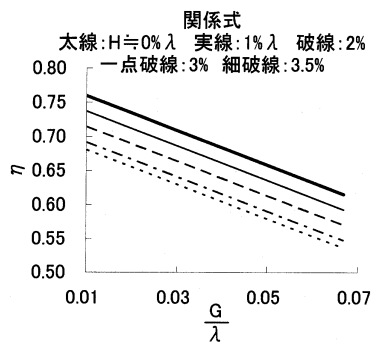
【図 9】



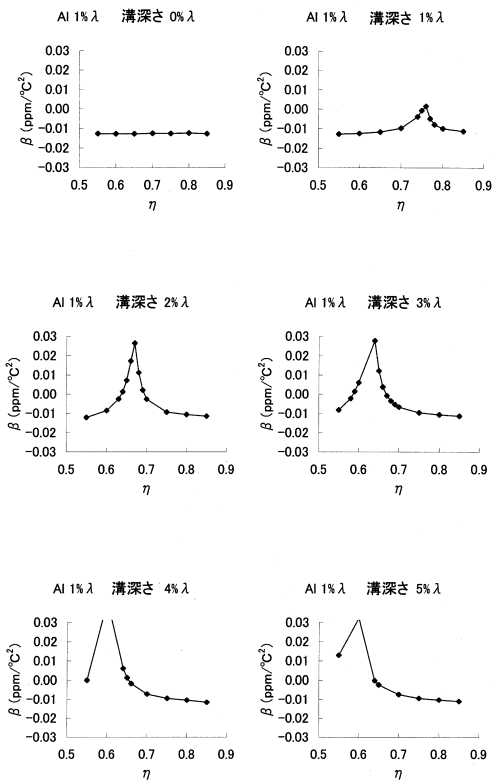
【図 10】



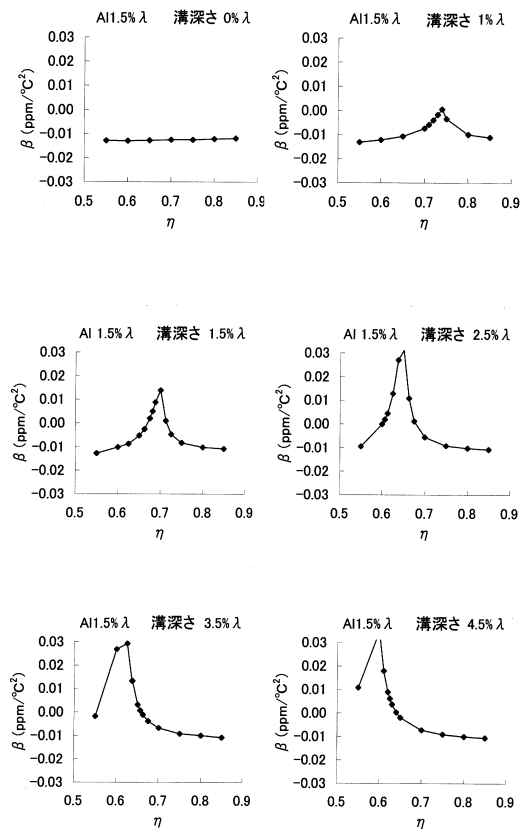
【図 11】



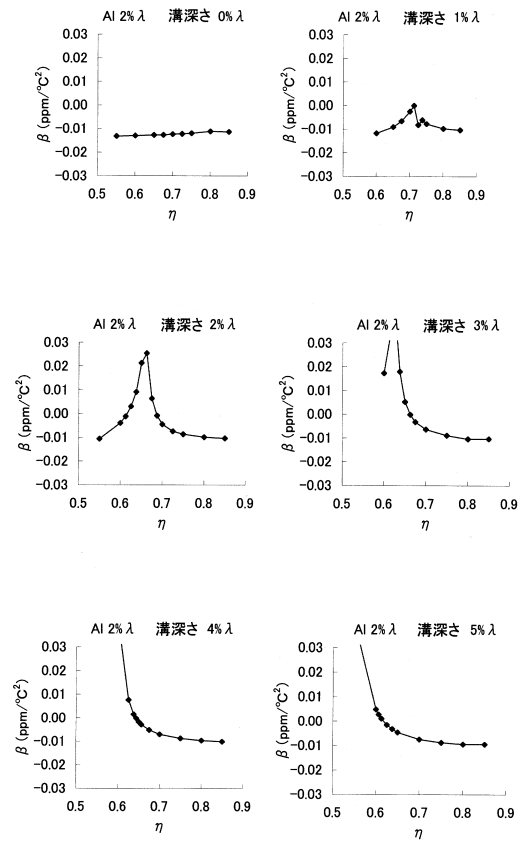
【図 12】



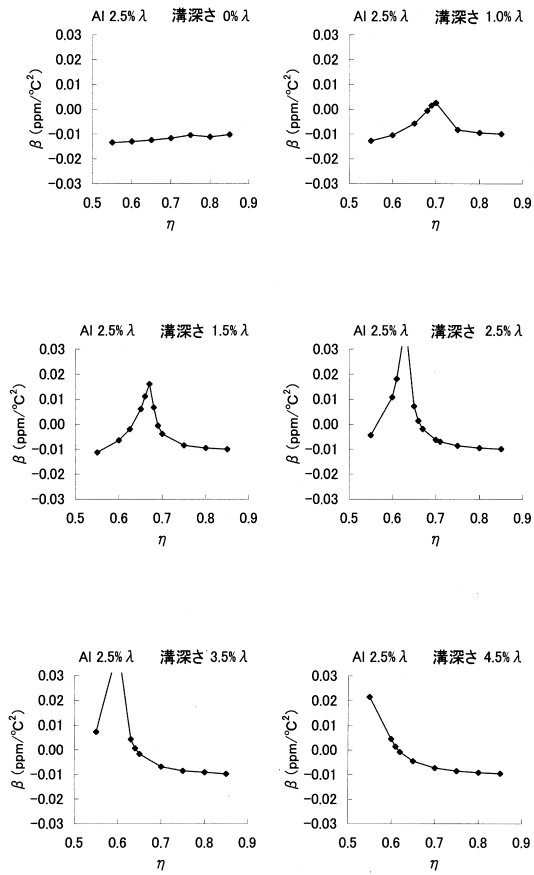
【図 13】



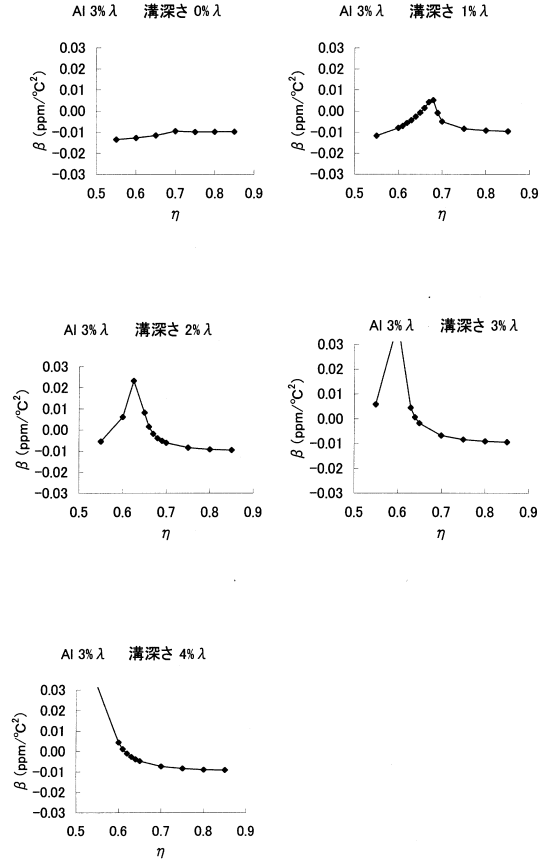
【図 14】



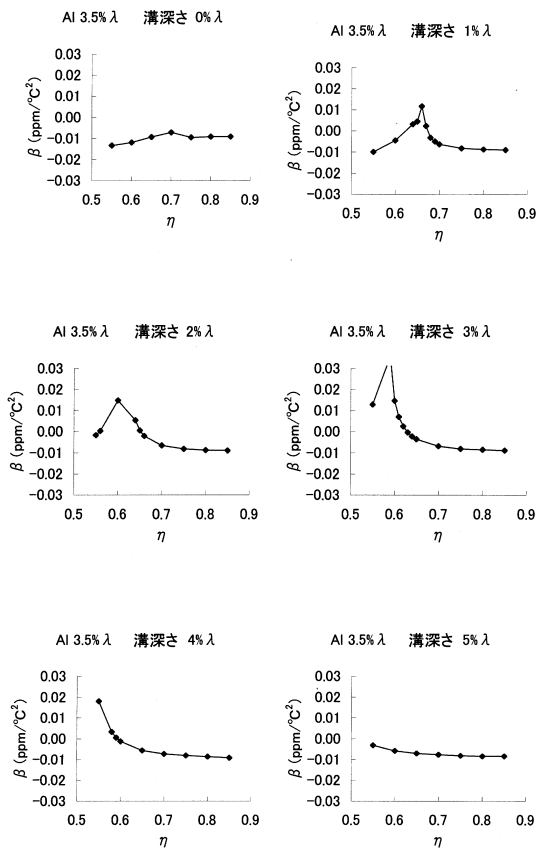
【図 15】



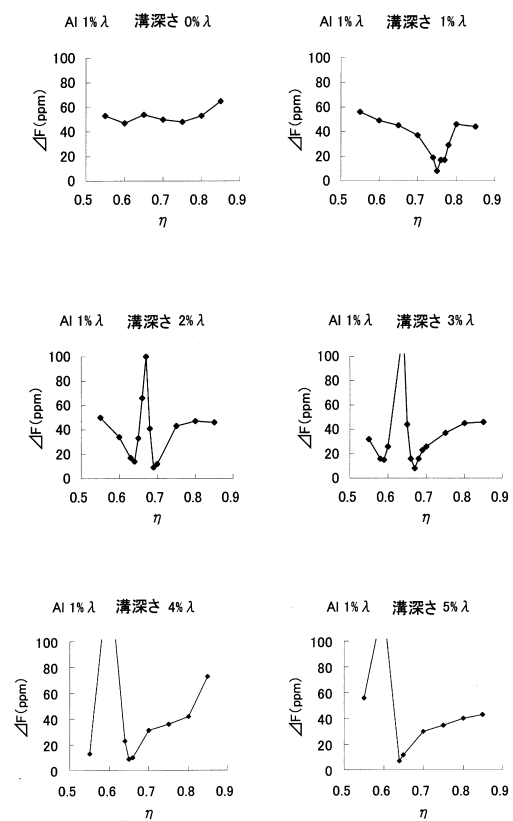
【図 16】



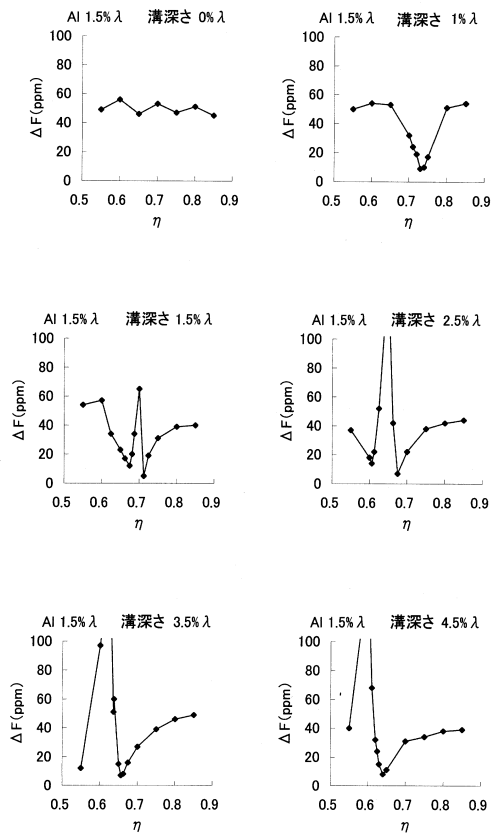
【図 17】



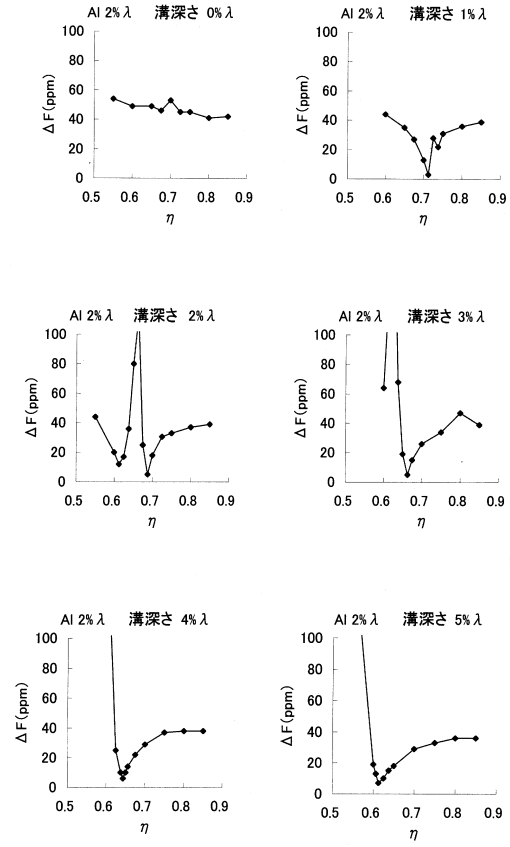
【図 18】



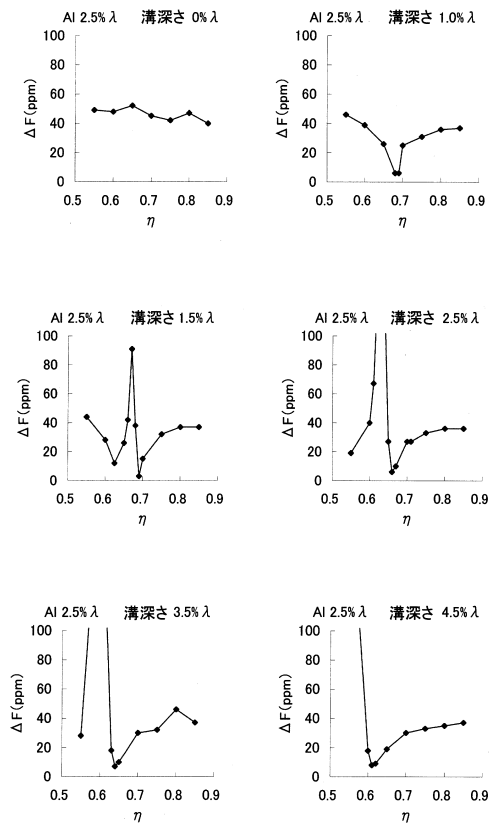
【図 19】



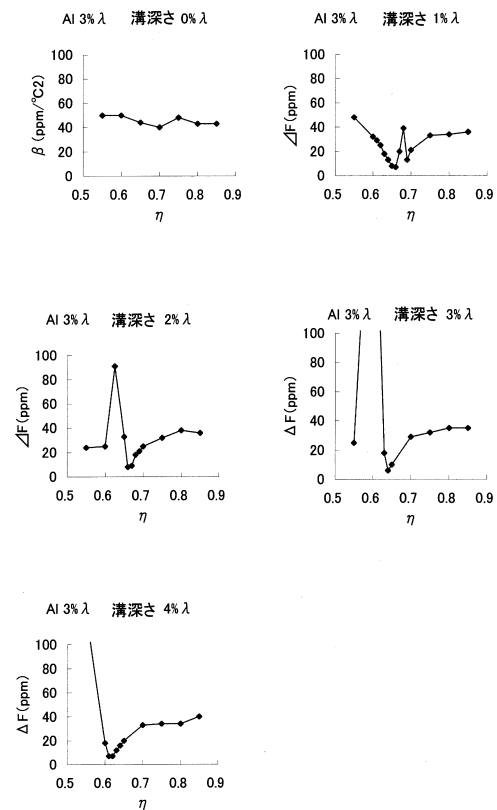
【図 20】



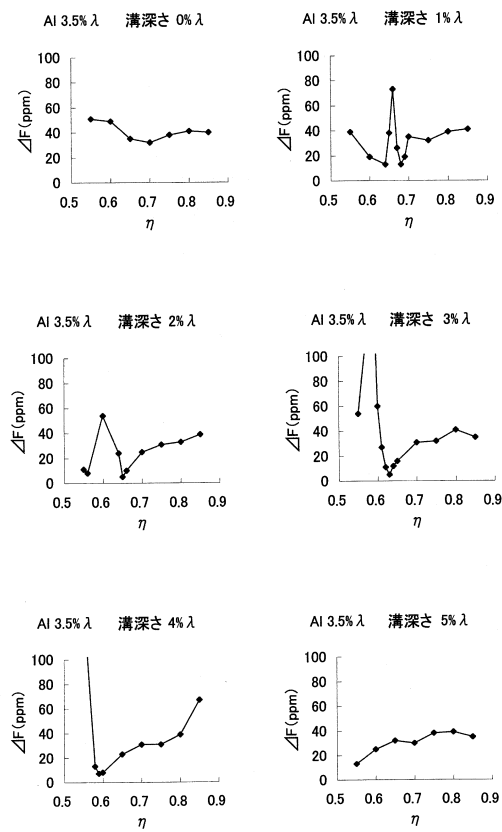
【図 21】



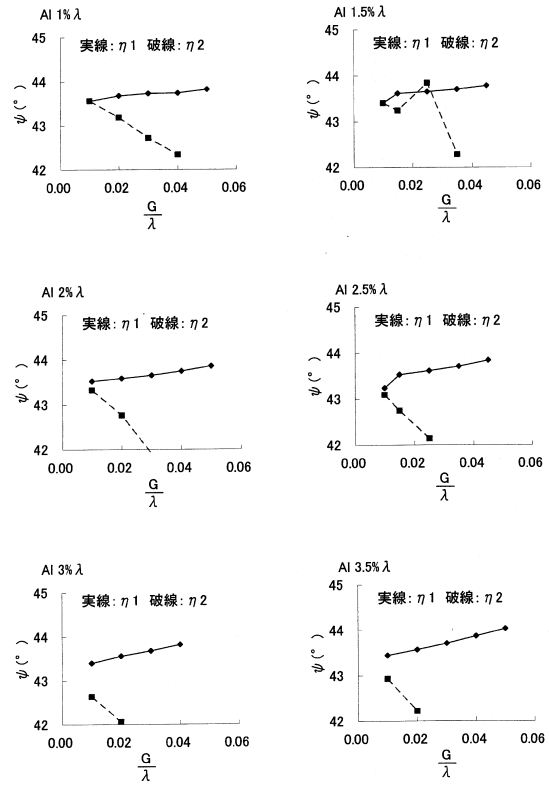
【図 22】



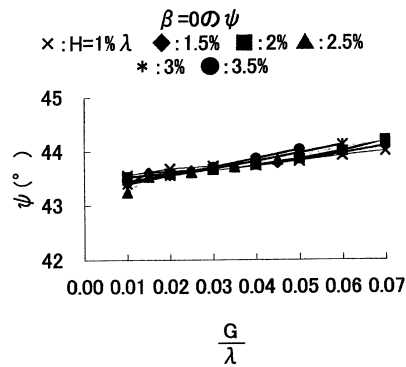
【図 2 3】



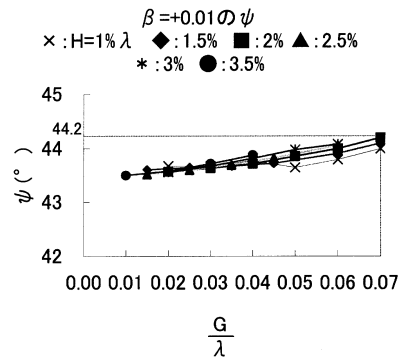
【図 2 4】



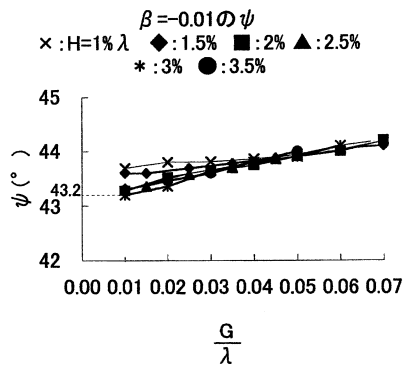
【図 2 5】



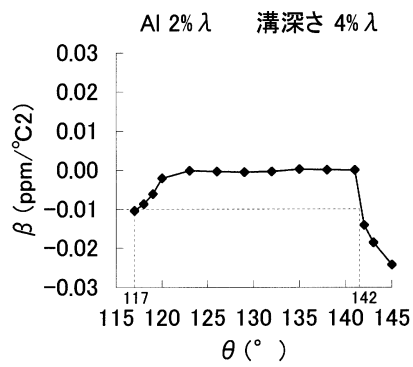
【図 2 7】



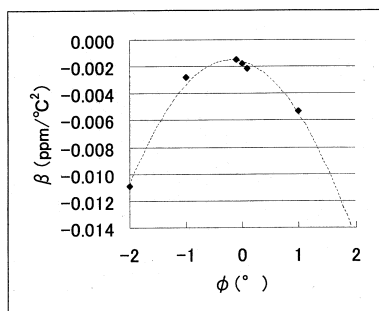
【図 2 6】



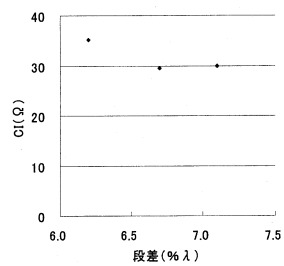
【図 28】



【図 29】



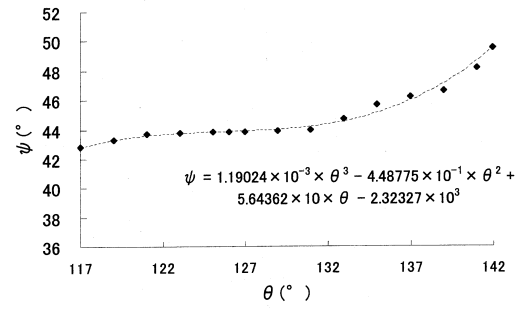
【図 32】



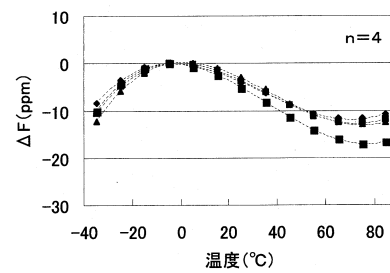
【図 33】

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

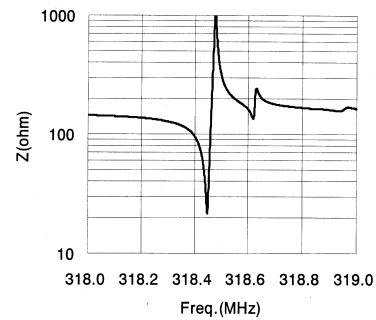
【図 30】



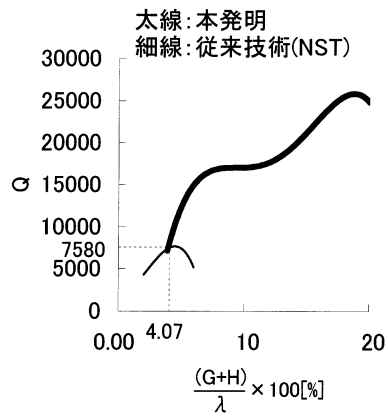
【図 31】



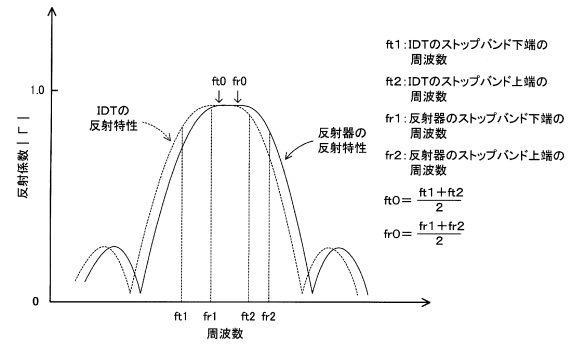
【図 34】



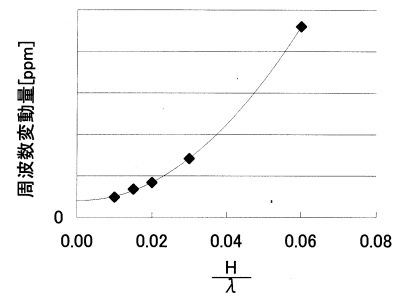
【図 3 5】



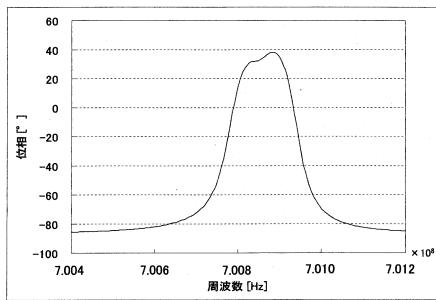
【図 3 6】



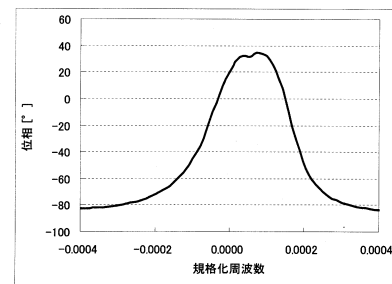
【図 3 7】



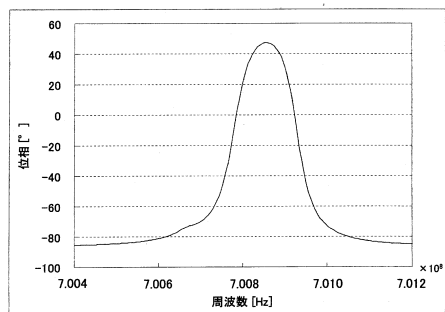
【図 3 8】



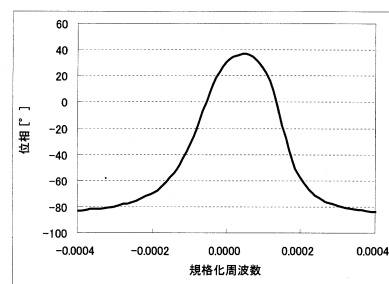
【図 4 0】



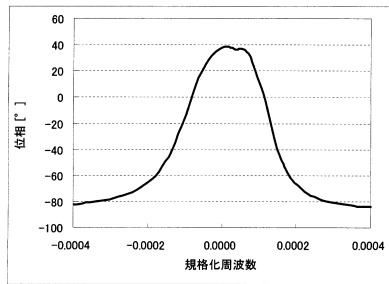
【図 3 9】



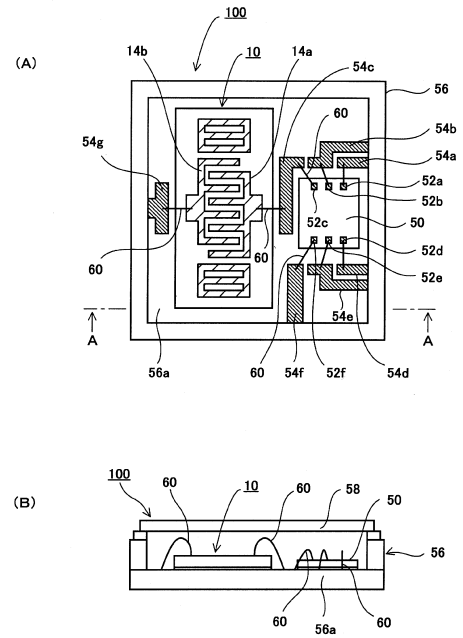
【図 4 1】



【図 4 2】



【図 4 3】



フロントページの続き

合議体

審判長 佐藤 智康

審判官 吉田 隆之

審判官 水野 恵雄

(56)参考文献 特開 2 0 9－2 2 5 4 2 0 (J P, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., D B名)

H03H