

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5737491号
(P5737491)

(45) 発行日 平成27年6月17日(2015.6.17)

(24) 登録日 平成27年5月1日(2015.5.1)

(51) Int.Cl.		F I			
H03H	9/145	(2006.01)	H03H	9/145	Z
H03H	9/25	(2006.01)	H03H	9/25	C
H03H	9/64	(2006.01)	H03H	9/145	C
H03B	5/32	(2006.01)	H03H	9/64	Z
			H03B	5/32	H

請求項の数 11 (全 34 頁)

(21) 出願番号	特願2010-189198 (P2010-189198)	(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2012-49764 (P2012-49764A)		東京都新宿区西新宿2丁目4番1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
		(74) 代理人	100152261
			弁理士 出口 隆弘
		(72) 発明者	大脇 卓弥
			東京都日野市日野421-8 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421-8 エプソント
			ヨコム株式会社内
		審査官	▲高▼橋 徳浩
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 弾性表面波フィルタ、電子機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

オイラー角 (- 1 . 5 ° 1 . 5 ° , 1 1 7 ° 1 4 2 ° , 4 1 . 9 ° |
| 4 9 . 5 7 °) の水晶基板と、

前記水晶基板上に設けられ、複数の電極指を備えるとともに、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、を有する弾性表面波共振子を複数接続させた弾性表面波フィルタであって、

前記弾性表面波共振子は、温度に対しての周波数変動量が、 - 4 0 から 8 5 の温度範囲において極大値と極小値を備えた周波数温度特性を有するとともに、前記周波数温度特性の二次温度係数の絶対値が 0 . 0 1 p p m / ° 以下であり、

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、

かつ、前記 I D T のライン占有率を η とし、

$$-2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.675 \leq \eta \leq -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.775$$

を満たし、

前記 I D T の電極膜厚を H として、

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

の関係を満たし、かつ、

前記ライン占有率 が、

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

10

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波フィルタ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の弾性表面波フィルタであって、

前記電極指間溝の深さ G が、

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

20

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波フィルタ。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の弾性表面波フィルタであって、

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フィルタ。

【請求項 4】

請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか 1 項に記載の弾性表面波フィルタであって、前記 と前記 が、

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

30

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波フィルタ。

【請求項 5】

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の弾性表面波フィルタであって、

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、

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

40

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波フィルタ。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の弾性表面波フィルタであって、

50

前記反射器は、複数の導体ストリップと、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フィルタ。

【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フィルタであって、

前記弾性表面波フィルタは、前記水晶基板上に複数個の前記弾性表面波共振子を梯子状に接続したラダー型弾性表面波フィルタであることを特徴とする弾性表面波フィルタ。

【請求項 8】

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フィルタであって、

前記弾性表面波フィルタは、前記水晶基板上に複数個の前記弾性表面波共振子を格子状に接続したラチス型弾性表面波フィルタであることを特徴とする弾性表面波フィルタ。

【請求項 9】

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フィルタであって、

前記弾性表面波フィルタは、前記水晶基板の弾性表面波の伝搬方向に対して複数個の前記弾性表面波共振子を平行に近接配置した横結合型多重モードフィルタであることを特徴とする弾性表面波フィルタ。

【請求項 10】

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フィルタであって、

前記弾性表面波フィルタは、前記水晶基板の弾性表面波の伝搬方向に沿って複数個の I D T からなる前記弾性表面波共振子を配置した縦結合型多重モードフィルタであることを特徴とする弾性表面波フィルタ。

【請求項 11】

請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか 1 項に記載の弾性表面波フィルタ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、弾性表面波フィルタ、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フィルタ、電子機器に関する。

【背景技術】

【0002】

弾性表面波 (S A W : surface acoustic wave) 装置 (例えば S A W 共振器) において、周波数温度特性の変化には、 S A W のストップバンドや水晶基板のカット角、および I D T (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、 S A W のストップバンドの上端モード、下端モードのそれぞれを励起させる構成、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、 S A W におけるストップバンドの上端モードの方が、ストップバンドの下端モードよりも周波数温度特性が良好である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 S A W 装置において良好な周波数温度特性を得るために、水晶基板のカット角を調整すると共に、電極の基準化膜厚 (H /) 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 S A W 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 /) を 0 . 0 4 5 程度以上厚くする旨が記載されている。

【0006】

10

20

30

40

50

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。

【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つた旨が記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【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

20

【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))

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

30

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高Q値を実現させることは困難であった。

【0012】

したがって本願発明において弾性表面波フィルタ、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。

40

【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。

本発明のある実施形態に係る弾性表面波フィルタは、オイラー角(−1.5°、1.5°、117°、142°、41.9°、49.57°)の水晶基板と、前記水晶基板上に設けられ、複数の電極指を備えるとともに、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

50

部分にある電極指間溝と、を有する弾性表面波共振子を複数接続させた弾性表面波フィルタであって、前記弾性表面波共振子は、温度に対しての周波数変動量が、 -40 から 85 の温度範囲において極大値と極小値を備えた周波数温度特性を有するとともに、前記周波数温度特性の二次温度係数の絶対値が $0.01 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}^2$ 以下であり、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、以下の数式 1 を満たし、

【数 1】

$$0.01\lambda \leq G$$

かつ、前記 IDT のライン占有率を η として、以下の数式 2 を満たし、

【数 2】

$$-2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.675 \leq \eta \leq -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.775$$

前記 IDT の電極膜厚を H として、

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

の関係を満たし、かつ、

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。

本発明のある別の実施形態に係る弾性表面波フィルタは、前記 IDT の電極膜厚を H として、以下の数式 4 の関係を満たすことを特徴とする。

本発明のある別の実施形態に係る弾性表面波フィルタは、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、以下の数式 8 の関係を満たすことを特徴とする。

本発明のある別の実施形態に係る弾性表面波フィルタは、前記反射器は、複数の導体ストリップと、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。

【適用例 1】オイラー角 (-1.5° から 1.5° 、 117° から 142° 、 41.9° から 49.5749°) の水晶基板上に設けられ、Al 又は Al を主体とした合金を用いたストップバンド上端モードの弾性表面波を励振する IDT と、前記 IDT 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を複数接続させたディスクリット型の弾性表面波フィルタであって、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、上記数式 1 を満たし、かつ、前記 IDT 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 とが上記数式 2 の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波フィルタ。

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

【0014】

【適用例 2】適用例 1 に記載の弾性表面波フィルタであって、前記電極指間溝の深さ G が、

【数 3】

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波フィルタ。

【0015】

このような特徴を持つ弾性表面波フィルタによれば、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。

【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フィルタであって、前記 $I D$ T の電極膜厚を H とした場合に、

【数 4】

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波フィルタ。

【0017】

このような特徴を有する弾性表面波フィルタによれば、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。

【0018】

[適用例 4] 適用例 3 に記載の弾性表面波フィルタであって、前記ライン占有率 η が、

【数 5】

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波フィルタ。

適用例 3 における電極膜厚の範囲内において数式 5 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】

[適用例 5] 適用例 3 または適用例 4 に記載の弾性表面波フィルタであって、前記電極指間溝の深さ G と前記電極膜厚 H との和が、

【数 6】

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波フィルタ。

電極指間溝の深さ G と電極膜厚 H との和を数式 6 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フィルタであって、前記 ψ と前記 θ が、

【数 7】

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波フィルタ。

【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フィルタを製造することで、広い範囲で良好な周波数温度特性を示す弾性表面波フィルタ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フィルタであっ

10

20

30

40

50

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 8】

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波フィルタ。

【0023】

このような特徴を有することにより、I D T 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、I D T 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 I D T 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フィルタを実現することができる。

10

【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フィルタであって、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フィルタ。

【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 I D T 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 8 の関係を実現させることが可能となる。

20

【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フィルタであって、前記弾性表面波フィルタは、前記水晶基板上に複数個の前記弾性表面波共振子を梯子状に接続したラダー型弾性表面波フィルタであることを特徴とする弾性表面波フィルタ。

このような特徴を持つ弾性表面波フィルタによれば、周波数温度特性の向上を図ることができる。また通過域近傍の減衰傾度が急峻な帯域通過特性が得られる。

【0027】

[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フィルタであって、前記弾性表面波フィルタは、前記水晶基板上に複数個の前記弾性表面波共振子を格子状に接続したラチス型弾性表面波フィルタであることを特徴とする弾性表面波フィルタ。

30

このような特徴を持つ弾性表面波フィルタによれば、周波数温度特性の向上を図ることができる。また平衡型回路とすることができる。

【0028】

[適用例 11] 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フィルタであって、前記弾性表面波フィルタは、前記水晶基板の弾性表面波の伝搬方向に対して複数個の前記弾性表面波共振子を平行に近接配置した横結合型多重モードフィルタであることを特徴とする弾性表面波フィルタ。

40

このような特徴を持つ弾性表面波フィルタによれば、周波数温度特性の向上を図ることができる。また伝搬方向に対し垂直方向の音響結合を利用することができる。

【0029】

[適用例 12] 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フィルタであって、前記弾性表面波フィルタは、前記水晶基板の弾性表面波の伝搬方向に沿って複数個の I D T からなる前記弾性表面波共振子を配置した縦結合型多重モードフィルタであることを特徴とする弾性表面波フィルタ。

このような特徴を持つ弾性表面波フィルタによれば、周波数温度特性の向上を図ることができる。また広い通過帯域と低いインピーダンスを実現できる。

50

【0030】

〔適用例13〕適用例1乃至適用例12のいずれか1例に記載の弾性表面波フィルタを備えたことを特徴とする電子機器。

このような特徴を持つ電子機器によれば、周波数温度特性の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0031】

【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

【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 α 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 ± 0.001 μm 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j示すグラフである。

20

【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が0からH = 0.035 μm までの電極指間溝とライン占有率 η との関係jを近似直線で示した図である。

【図12】電極膜厚を0.01 μm 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 α との関係を示すグラフである。

【図13】電極膜厚を0.015 μm 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 α との関係を示すグラフである。

30

【図14】電極膜厚を0.02 μm 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 α との関係を示すグラフである。

【図15】電極膜厚を0.025 μm 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 α との関係を示すグラフである。

【図16】電極膜厚を0.03 μm 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 α との関係を示すグラフである。

【図17】電極膜厚を0.035 μm 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 α との関係を示すグラフである。

【図18】電極膜厚を0.01 μm 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19】電極膜厚を0.015 μm 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0.02 μm 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0.025 μm 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0.03 μm 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0.035 μm 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。

50

【図24】電極膜厚、ライン占有率 を定めた際の電極指間溝とオイラー角 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 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 が $-0.01 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}^2$ となる電極指間溝とオイラー角 との関係を示すグラフである。

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

【図28】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。

10

【図29】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30】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。

20

【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】実施形態に係るSAW発振器の構成を示す図である。

【図39】実施形態に係るラダー型SAWフィルタの構成概略を示す説明図である。

【図40】実施形態に係るバンドパスフィルタのフィルタ特性の説明図である。

【図41】実施形態に係るバンドパスフィルタの説明図である。

【図42】実施形態に係るバンドリジエクションフィルタのフィルタ特性の説明図である

30

【図43】実施形態に係るバンドリジエクションフィルタの説明図である。

【図44】実施形態に係るラチス型SAWフィルタの回路構成図である。

【図45】実施形態に係る横結合型二重モードSAWフィルタの構成概略を示す図である

【図46】実施形態に係る縦結合型二重モードSAWフィルタの構成概略を示す図である

【発明を実施するための形態】

【0032】

以下、本発明の弾性表面波フィルタ、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。

40

まず、図1を参照して、本発明の弾性表面波フィルタ、電子機器に適用する弾性表面波(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。

【0033】

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。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。

【0034】

50

本実施形態では水晶基板 30 として、オイラー角 (-1° 、 1° 、 117° 、 142° 、 41.9° 、 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、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 (α 、 β 、 γ) の α は Z カット基板の第 1 の回転に関するものであり、Z 軸を回転軸とし、+X 軸から +Y 軸側へ回転する方向を正の回転角度とした第 1 回転角度である。オイラー角の β は Z カット基板の第 1 の回転後に行う第 2 の回転に関するものであり、第 1 の回転後の X 軸を回転軸とし、第 1 の回転後の +Y 軸から +Z 軸へ回転する方向を正の回転角度とした第 2 の回転角度である。圧電基板のカット面は、第 1 回転角度 α と第 2 回転角度 β とで決定される。オイラー角の γ は Z カット基板の第 2 の回転後に行う第 3 の回転に関するものであり、第 2 の回転後の Z 軸を回転軸とし、第 2 の回転後の +X 軸から第 2 の回転後の +Y 軸側へ回転する方向を正の回転角度とした第 3 回転角度である。SAW の伝搬方向は、第 2 の回転後の X 軸に対する第 3 回転角度 γ で表される。

【0035】

IDT 12 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 14 a、14 b を一対有し、一方の櫛歯状電極 14 a (または 14 b) を構成する電極指 18 と他方の櫛歯状電極 14 b (または 14 a) 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、弾性表面波の伝搬方向である 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 共振器 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 の伝搬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。

【0036】

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 IDT 12 (図 2 に示すのは IDT 12 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 $\lambda/2$ ずれている。図 2 は、正規型 IDT 12 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。

【0037】

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。

【0038】

また、反射器 20 は、前記 IDT 12 を SAW の伝搬方向に挟み込むように一対設けられる。具体的構成としては、IDT 12 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。

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 共振器や、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 共振器においては、反射器は必ずしも必要ではない。

【0039】

このようにして構成される IDT 12 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。

【0040】

上記のような基本構成を有する SAW 共振器 10 における水晶基板 30 は、IDT 12 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。

【0041】

10

20

30

40

50

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 の波長をとし、溝深さを G とした場合、

【数 9】

$$0.01\lambda \leq G$$

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 10】

$$0.01\lambda \leq G \leq 0.094\lambda$$

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、動作温度範囲内 (- 40 ~ + 85) 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 11】

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

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。

【0042】

20

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 12 で示すことができる。

【数 12】

$$\eta = \frac{L}{L+S}$$

【0043】

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 13 のような範囲で定めると良い。なお、数式 13 から解るように 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。

30

【数 13】

$$-2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.675 \leq \eta \leq -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.775$$

【0044】

また、本実施形態に係る SAW 共振子 10 における電極膜材料 (IDT 12 や反射器 20 等) の膜厚は、

【数 14】

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

40

の範囲とすることが望ましい。

【0045】

さらに、ライン占有率 η について数式 14 で示した電極膜の厚みを考慮した場合、 η は数式 15 により求めることができる。

【数 15】

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

【0046】

50

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が数式14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が数式14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、二次温度係数の小さいSAWデバイスが実現できる。即ちライン占有率は、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。

【数16】

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

10

【0047】

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 $\pm 0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 以内とし、望ましくはSAWの動作温度範囲を $-40 \sim +85$ 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 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

【0048】

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Fは約 117 ppm となり、二次温度係数は、 $-0.030 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 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Fは約 63 ppm 、二次温度係数は $-0.016 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 程度となる。

【0049】

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、IDT12における電極指18のライン占有率や電極膜厚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。

【0050】

図4は、ライン占有率を変化させて水晶基板30にSAWを伝搬させた場合における二次温度係数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 0.02 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を示し、図4(B)は溝深さGを 0.02 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を示す。また、図4において図4(C)は溝深さGを 0.04 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を示し、図4(D)は溝深さGを 0.04 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 $(0^\circ, 123^\circ,)$ のものを使用した。なお、 η に関しては、二次温度係数の絶対値が最少となる値を適宜選択している。

40

【0051】

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、ライン占有率が $0.6 \sim 0.7$ となるあたりで二次温度係数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 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こと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っている）ということである。

【0052】

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。

【0053】

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 α との関係について調べた。

【0054】

図5は、溝深さ G を 0.01 （1%）から 0.08 （8%）まで変化させた際のライン占有率 η と二次温度係数 α 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 0.0125 （1.25%）としたあたりから $\alpha = 0$ 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5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（1）や、 G が小さい方における $\alpha = 0$ となる点（2））がある。なお図5からは、2の方が、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。

【0055】

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 α が0となる1、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、1、2は互いに小さくなるが、2の方は、溝深さ $G = 0.04$ となったあたりで $0.5 \sim 0.9$ 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うことを読み取ることができる。つまり、2は、溝深さ G の変化に対する変動量が大きいといえる。

【0056】

図7は、図5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7からは当然に、 $\alpha = 0$ となる2つの点（1、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7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、1にあたる点の方が、周波数変動量 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。

【0057】

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 $\alpha = 0$ となる点の変動量が少ない方、すなわち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 α が最少となる点（1）での周波数変動量 F 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 F 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 0.01 となり、溝深さ G の範囲はそれ以上、すなわち $0.01 < G$ ということになる。

【0058】

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、 0.01 以上で周波数変動量 F 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 F が小さくなる。しかし、溝深さ G が約 0.09 以上となった場合に、周波数変動量 F は再び増加し、 0.094 を越えると周波数変動量 F が 25 ppm を超えることとなる。

【0059】

10

20

30

40

50

図3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 f 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最適な溝深さ G の範囲としては、

【数17】

$$0.01\lambda \leq G \leq 0.094\lambda$$

と示すことができる。

10

【0060】

なお、量産工程において溝深さ G は、最大 ± 0.001 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 ± 0.001 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 f 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 ± 0.001 ズレた場合、すなわち溝深さが $0.039\lambda \sim 0.041\lambda$ の範囲においては、周波数変動量 f が ± 500 ppm程度であるということを読み取ることができる。

【0061】

ここで、周波数変動量 f 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られる。しかし、周波数変動量 f 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

【0062】

図8に示すプロットを繋ぐ直線について、周波数変動量 f [ppm]と溝深さ G との関係を示す近似式を導くと、数式18を得ることができる。

【数18】

$$\Delta f = 16334G - 137$$

【0063】

ここで、 $f < 1000$ ppmとなる G の値を求めると、 $G = 0.0695\lambda$ となる。

30

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19】

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

とすることが望ましいということができる。

【0064】

次に、図9に、二次温度係数 $\alpha = 0$ となる、すなわち三次温度特性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 $(0^\circ, 123^\circ, \dots)$ とした。ここで θ 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 $\alpha = 0$ 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、 $\alpha = 0$ となる θ を得た際のオイラー角 θ 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、 $\theta < 42^\circ$ のプロットが表示されていないが、このグラフの θ のプロットは $G = 0.03\lambda$ にて $\theta = 41.9^\circ$ 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

【0065】

図9からは、いずれの膜厚においても、上述したように、 θ_1 は θ_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9におけるそれぞれの膜厚のグラフについて、 θ_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 θ_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

50

によると、ライン占有率 の上限を示すプロットは、電極膜厚 $H = 0.01$ とした SAW 共振子であり、ライン占有率 の下限を示すプロットは、電極膜厚 $H = 0.035$ 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 $\eta = 0$ とすることができるライン占有率 が小さくなるということができる。

これらを踏まえ、ライン占有率 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 20 と、数式 21 を導くことができる。

【数 20】

$$\eta = -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.775$$

10

【数 21】

$$\eta = -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.675$$

【0066】

数式 20、数式 21 より、図 10 において破線で囲った範囲において η は、数式 22 の範囲で定めることができるといえる。

【数 22】

$$-2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.675 \leq \eta \leq -2.5 \times \frac{G}{\lambda} + 0.775$$

20

【0067】

ここで、二次温度係数 η を $\pm 0.01 \text{ ppm}/^\circ\text{C}^2$ 以内まで許容する場合、数式 19 と数式 22 を共に満たすことで、二次温度係数 η 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 20 ~ 22 を踏まえて電極膜厚 $H = 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.035$ とした SAW 共振子 10 についてそれぞれ、 $\eta = 0$ となる溝深さ G とライン占有率 η との関係を示すと図 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

【0068】

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 23 のようになる。

【数 23】

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

【0069】

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 14 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 が数式 14 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 η の小さい SAW デバイスを実現できる。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 η 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 23 に ± 0.04 の公差を加えた数式 24 の範囲まで許容できる。

40

【数 24】

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

50

【0070】

図12～図17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と二次温度係数の関係のグラフを示す。

【0071】

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°, 123°,)のものを使用し、については適宜Fが最小となる角度を選択する。

10

【0072】

ここで、図12は、電極膜厚Hを0.01とした場合のライン占有率と二次温度係数の関係を示す図であり、図18は電極膜厚Hを0.01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。

【0073】

また、図13は、電極膜厚Hを0.015とした場合のライン占有率と二次温度係数の関係を示す図であり、図19は電極膜厚Hを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。

【0074】

また、図14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の関係を示す図であり、図20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。

20

【0075】

また、図15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の関係を示す図であり、図21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。

【0076】

また、図16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の関係を示す図であり、図22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。

30

【0077】

また、図17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の関係を示す図であり、図23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。

【0078】

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搬においても奏することができるということが言える。

40

【0079】

図25に、図24に示すグラフにおける1によって得られると溝深さGとの関係をまとめた。なお、1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、の角度には殆ど違いは無く、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することができる。

【0080】

上記と同様にして、二次温度係数 $= -0.01 \text{ ppm} / ^2$ となると $= +0.01 \text{ ppm} / ^2$ となるについて溝深さGとの関係を求め、図26、図27にまとめた。

50

これらのグラフ(図25~図27)から -0.01 $+0.01$ とすることのできる
 の角度を求めると、上記条件下における好適な の角度範囲は $43^\circ < < 45^\circ$ と定
 めることができ、さらに好適には 43.2° 44.2 と定めることができる。

【0081】

次に、図28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 $(0, ,)$ とし、溝深さGを 0.04 とした水
 晶基板であり、電極膜厚Hは 0.02 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 の絶対値が最少となる値
 を選択した。また、 に関しては、上記数式23に従って、 0.6383 とした。

10

【0082】

このような条件下、 と二次温度係数 との関係を示す図28からは、 が 117°
 以上 142° 以下の範囲内であれば、二次温度係数 の絶対値が $0.01 \text{ ppm}/^\circ$ 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
 17° 142° 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
 W共振子10を構成することができると言える。

【0083】

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

20

【0084】

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

【0085】

上記説明では、 、 、 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 $+85$ 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30によれば、 の角度は、 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、 $= 117^\circ$ とした場合の は 42.79° であり、
 $= 142^\circ$ とした場合の 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25で示すことができる。

30

【数25】

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

【0086】

このことより、 は が定まることにより定めることができ、 の範囲を 117°
 142° とした場合における の範囲は 42.79° 49.57° 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、 $G = 0.0$
 4 、 $H = 0.02$ とした。

40

【0087】

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。

【0088】

また、本実施形態に係るSAW共振子10では、数式14や図12~図23に示したよ
 うに、電極膜の膜厚Hを $0 < H < 0.035$ の範囲とした上で周波数温度特性の改善を

50

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 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 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0.06 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 $H + G = 0.06$ としている。

【0089】

また、図37と同じ条件で製造されたSAW共振子について、125 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($H = 0.06$ 且つ $G = 0$)に比べ、本実施形態に係るSAW共振子($H = 0.03$ 且つ $G = 0.03$ 、 $H = 0.02$ 且つ $G = 0.04$ 、 $H = 0.015$ 且つ $G = 0.045$ 、 $H = 0.01$ 且つ $G = 0.05$ 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。

【0090】

上記のような条件の下、 $H + G = 0.067$ (アルミ膜厚2000、溝深さ4700)、IDTのライン占有率 $i = 0.6$ 、反射器のライン占有率 $r = 0.8$ 、オイラー角(0° , 123° , 43.5°)、IDTの対数120対、交差幅40 ($= 10 \mu\text{m}$)、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。

【0091】

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 F は約20 ppm以下に抑制されていることを読み取ることができる。

【0092】

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 ~ 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32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好化しない(低くならない)ということを読み取ることができる。

【0093】

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、 C 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。

【0094】

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。

【0095】

10

20

30

40

50

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 ($= 10 \mu\text{m}$)

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

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 ($= 10 \mu\text{m}$)

反射器本数 (片側あたり) : 60

電極指の傾斜角度なし

【0096】

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。

【0097】

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26】

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

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。

【0098】

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。

【0099】

ここで、数式26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

10

20

30

40

50

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、IDT 12 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適用しても良い。

【0100】

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。

【0101】

上記実施形態では、SAW 共振子 10 を構成する IDT 12 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、IDT 12 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。

【0102】

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 IDT 12 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。

【0103】

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。

【0104】

次に、本発明に係る SAW 発振器について、図 38 を参照して説明する。本発明に係る SAW 発振器は図 38 に示すように、上述した SAW 共振子 10 と、この SAW 共振子 10 の IDT 12 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 38 において、図 38 (A) はリッドを除いた平面図であり、図 38 (B) は、同図 (A) における A - A 断面を示す図である。

【0105】

実施形態に係る SAW 発振器 100 では、SAW 共振子 10 と IC 50 とを同一のパッケージ 56 に収容し、パッケージ 56 の底板 56 a に形成された電極パターン 54 a ~ 54 g と SAW 共振子 10 の櫛歯状電極 14 a, 14 b、および IC 50 のパッド 52 a ~ 52 f 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 IC 50 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、IDT 12 (図 1 参照) と IC 50、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。

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る。

【0106】

次に上記 SAW 共振子 10 を複数備えたディスクリット型の SAW フィルタ (弾性表面波フィルタ) について以下説明する。

図 39 は前記 SAW 共振子 10 がラダー接続されているラダー型 SAW フィルタの構成外略を示す説明図であり、(a) は回路構成図であり、(b) は平面図である。図示のようにラダー型 SAW フィルタ 40 では、第 1 ~ 第 3 の SAW 共振子 42, 44, 46 を直列、並列、並列と梯子 (ラダー) 状に配置した構成である。具体的にラダー型 SAW フィルタ 40 は (a) に示すように入力端子 41 及び出力端子 43 の間に直列に接続した第 1 の SAW 共振子 42 の入力側と出力側にそれぞれ第 2 及び第 3 の SAW 共振子 44, 46 を並列に接続させている。また (b) に示すようにラダー型 SAW フィルタ 40 は水晶基板 45 上に入力端子 41 及び出力端子 43 の間に直列に接続した第 1 の SAW 共振子 42

10

20

30

40

50

を間に挟むように第2及び第3のSAW共振子44, 46を接続させている。このようなラダー型SAWフィルタによれば通過域近傍の減衰傾度が急峻な帯域通過特性が得られる。

このようなラダー型SAWフィルタ40は、特定帯域を通過させる帯域通過型のバンドパスフィルタと、特定帯域を阻止する帯域阻止型のバンドリジエクションフィルタとすることができる。

【0107】

図40は実施形態に係るバンドパスフィルタのフィルタ特性の説明図である。同図40(a)は1つの並列SAW共振子 X_p と1つの直列SAW共振子 X_s とで構成されるラダー型SAWフィルタ1区間(例えば図39における第1及び第2のSAW共振子42, 44)の周波数-インピーダンス特性を示すグラフであり、横軸に周波数(f)、縦軸にインピーダンス Z の絶対値をとっている。並列SAW共振子 X_p を直列SAW共振子 X_s よりも低い周波数とし、並列SAW共振子 X_p の反共振周波数 f_{ap} と直列SAW共振子 X_s の共振周波数 f_{rs} を概ね一致させることにより図40(b)に示すような通過域の両側に並列SAW共振子 X_p の共振周波数 f_{rp} と直列SAW共振子 X_s の反共振周波数 f_{as} とからなる減衰域を有する帯域通過型のフィルタ特性が得られる。

【0108】

図41は実施形態に係るバンドパスフィルタの説明図である。同図(a)は回路構成図であり、(b)はフィルタ特性を示す図であり、(c)は周波数温度特性を示す図である。

本実施形態のバンドパスフィルタ50は、第1及び第2の直列SAW共振子51, 52を入力端子56及び出力端子57の間に直列に接続し、入力端子56と第1の直列SAW共振子51の間に第3の並列SAW共振子53を並列に接続し、第1の直列SAW共振子51と第2の直列SAW共振子52の間に第4の並列SAW共振子54を並列に接続し、第2の直列SAW共振子52と出力端子57の間に第5の並列SAW共振子55を並列に接続している。

【0109】

このとき第1及び第2の直列SAW共振子51, 52は、

対数：200対、

IDTの波長：4.5103 μm 、

交差幅：40 ($= 10 \mu\text{m}$)、

IDTのライン占有率 i ：0.64である。

第3及び第5の並列SAW共振子53, 55は、

対数：200対、

IDTの波長：4.5114 μm 、

交差幅：40 ($= 10 \mu\text{m}$)、

IDTのライン占有率 i ：0.64である。

第4の並列SAW共振子54は、

対数：320対、

IDTの波長：4.5116 μm 、

交差幅：50 ($= 10 \mu\text{m}$)、

IDTのライン占有率 i ：0.64である。

【0110】

またIDTのアルミ膜の厚みは、全ての直列SAW共振子の平均値と全ての並列のSAW共振子の平均値を足して平均とした場合、0.02である。水晶段差は0.048である。

上記条件で製造されたバンドパスフィルタ50によれば、略700Hzを中心とする通過域を有し通過域近傍の減衰傾度が急峻な帯域通過特性が得られる。

【0111】

図41(c)は(b)に示すフィルタ特性の通過域の最大値から3dB下げた2点の周

10

20

30

40

50

波数の平均値を温度変化させた場合の周波数温度特性を示すグラフである。図示のようにバンドパスフィルタは3次の周波数温度特性を有している。

【0112】

図42は実施形態に係るバンドリジエクションフィルタのフィルタ特性の説明図である。同図(a)は1つの並列SAW共振子 X_p と1つの直列SAW共振子 X_s とで構成されるラダー型SAWフィルタ1区間の周波数-インピーダンス特性を示すグラフであり、横軸に周波数(f)、縦軸にインピーダンス Z の絶対値をとっている。直列SAW共振子 X_s を並列SAW共振子 X_p よりも低い周波数とすると、同図(b)に示すような通過域の間に並列SAW共振子 X_p の共振周波数 f_{rp} と直列SAW共振子 X_s の反共振周波数 f_{as} とからなる減衰域を有する帯域阻止型のフィルタ特性が得られる。

10

【0113】

図43は実施形態に係るバンドリジエクションフィルタの説明図である。

本実施形態のバンドリジエクションフィルタの回路構成は、図39(a)に示す回路構成と同一である。

このとき第1の直列SAW共振子42は、
対数：200対、
IDTの波長：4.5114 μm 、
交差幅：40 ($= 10 \mu\text{m}$)、
IDTのライン占有率 i ：0.64である。

第2の並列SAW共振子44は、
対数：200対、
IDTの波長：4.5103 μm 、
交差幅：40 ($= 10 \mu\text{m}$)、
IDTのライン占有率 i ：0.64である。

20

第3の並列SAW共振子46は、
対数：200対、
IDTの波長：4.5100 μm 、
交差幅：40 ($= 10 \mu\text{m}$)、
IDTのライン占有率 i ：0.64である。

【0114】

またIDTのアルミ膜の厚みは、直列SAW共振子と、全ての並列のSAW共振子の平均値を足して平均とした場合、0.02である。水晶段差は0.048である。

上記条件で製造されたバンドリジエクションフィルタによれば、略700Hzを中心とする阻止域を有し阻止域近傍の減衰傾度が急峻な帯域阻止特性が得られる。

30

【0115】

図44は実施形態に係るラチス型SAWフィルタの回路構成図である。ラチス接続されたラチス型SAWフィルタ60では、第1のSAW共振子61が第1の入力端子62と第1の出力端子63の間に挿入され、第2のSAW共振子64が第2の入力端子65と第2の出力端子66の間に挿入されている。さらに第3のSAW共振子67が第1の入力端子62と第2の出力端子66の間に挿入され、第4のSAW共振子68が第2の入力端子65と第1の出力端子63の間に挿入されている。これによりラチス型SAWフィルタ60は、第1及び第4のSAW共振子61, 68がラダー接続されたSAWフィルタと、第2及び第3のSAW共振子64, 67がラダー接続されたSAWフィルタとが合成されたSAWフィルタとなる。上記構成によるラチス型SAWフィルタ60は平衡型回路となる。

40

【0116】

図45は実施形態に係る横結合型二重モードSAWフィルタの構成概略を示す図である。横結合型二重モードSAWフィルタ70は、水晶基板72上にSAW共振子74, 76を伝搬方向に対して平行に近接配置したフィルタである。このような構成により伝搬方向に対し垂直方向の音響結合を利用することができる。

【0117】

50

図46は実施形態に係る縦結合型二重モードSAWフィルタの構成概略を示す図である。縦結合型二重モードSAWフィルタ80は、水晶基板82上にIDT84, 86からなるSAW共振子を伝搬方向に沿って配置したフィルタである。このような構成により伝搬方向に対し水平方向の音響結合を利用することができる。また縦結合型二重モードSAWフィルタ80は、横結合型二重モードSAWフィルタ70に比べて、広い通過帯域と低いインピーダンスを実現できる。

【0118】

この他さらに高次のモードを利用した多重モードSAWフィルタや、伝搬方向に対し垂直方向、水平方向に双方で音響結合させた多重モードSAWフィルタに適用することもできる。また、パーソナルコンピュータのハードディスク、携帯端末などに、前記SAWフィルタを搭載すれば電子機器として利用することができる。

10

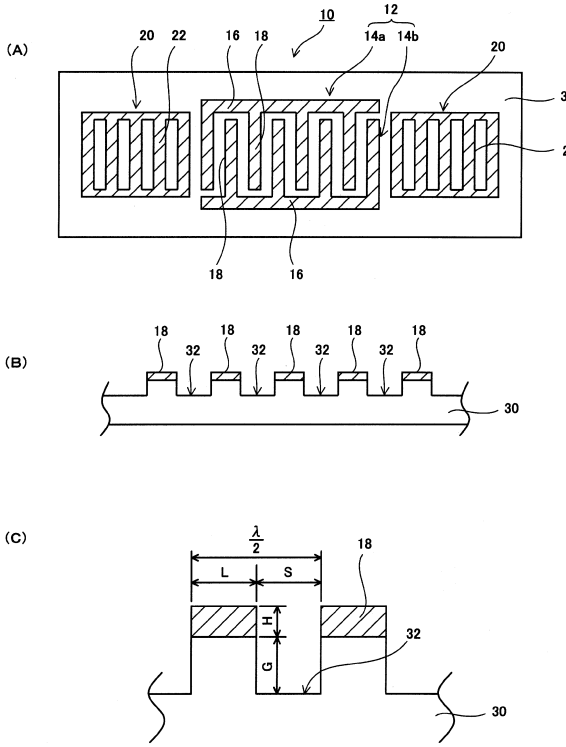
【符号の説明】

【0119】

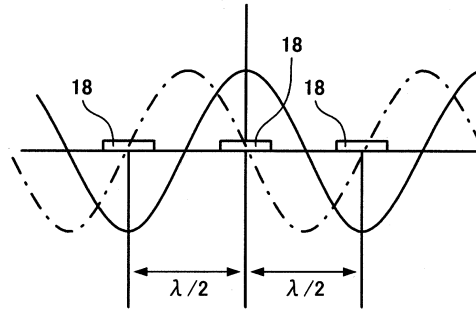
10.....弾性表面波共振子(SAW共振子)、12.....IDT、14a, 14b...
櫛歯状電極、16.....バスバー、18.....電極指、20.....反射器、22.....
 ...導体ストリップ、30.....水晶基板、32.....溝、40.....ラダー型SAWフィ
 ルタ、41.....入力端子、42.....第1のSAW共振子、43.....出力端子、44
第2のSAW共振子、46.....第3のSAW共振子、50.....バンドパスフィ
 ルタ、51.....第1の直列SAW共振子、52.....第2の直列SAW共振子、53...
第3の並列SAW共振子、54.....第4の並列SAW共振子、55.....第5の並
 列SAW共振子、56.....入力端子、57.....出力端子、60.....ラチス型SAW
 フィルタ、61.....第1のSAW共振子、62.....第1の入力端子、63.....第1
 の出力端子、64.....第2のSAW共振子、65.....第2の入力端子、66.....第
 2の出力端子、68.....第4のSAW共振子、70.....横結合型二重モードSAWフ
 ィルタ、72.....水晶基板、74, 76.....SAW共振子、80.....縦結合型二重
 モードSAWフィルタ、82.....水晶基板、84, 86.....IDT。

20

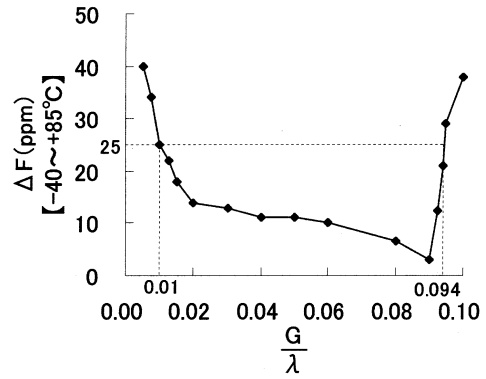
【図1】



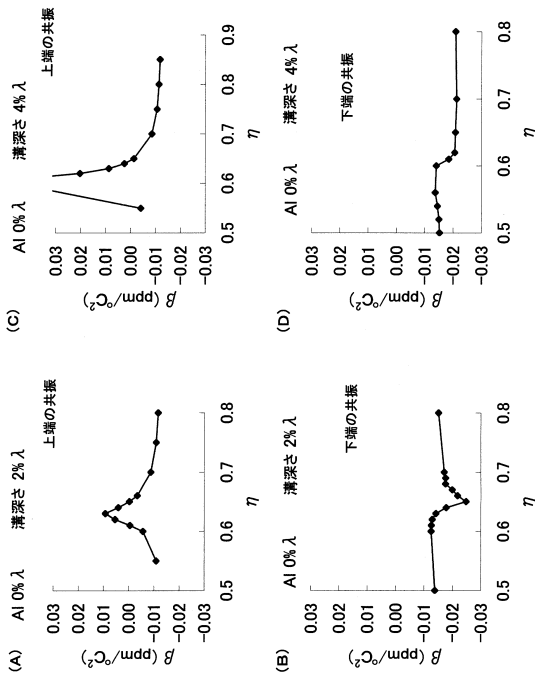
【図2】



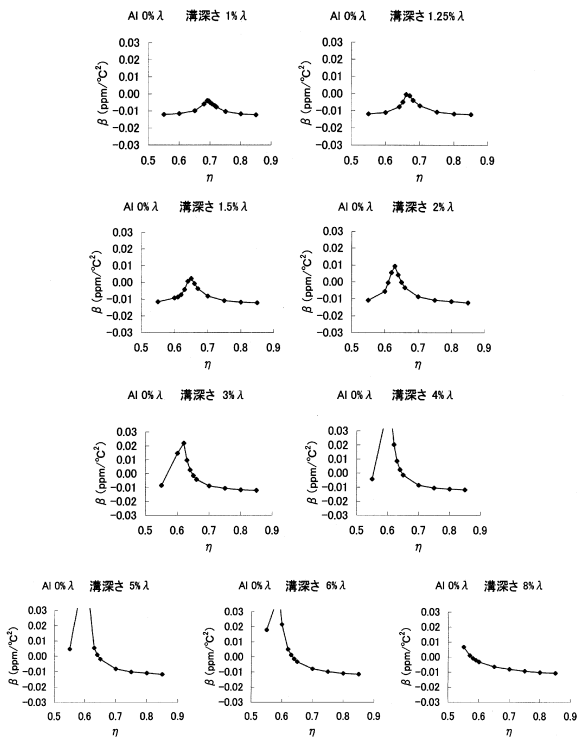
【図3】



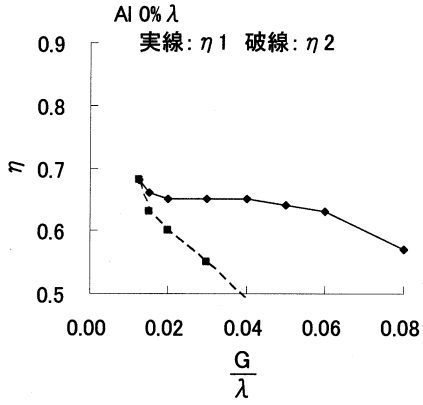
【図4】



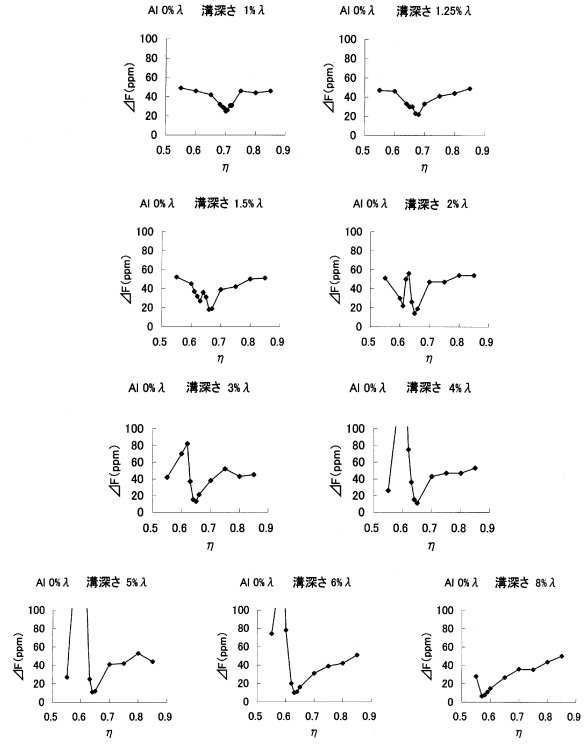
【図5】



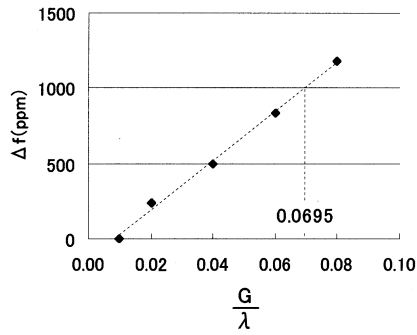
【 図 6 】



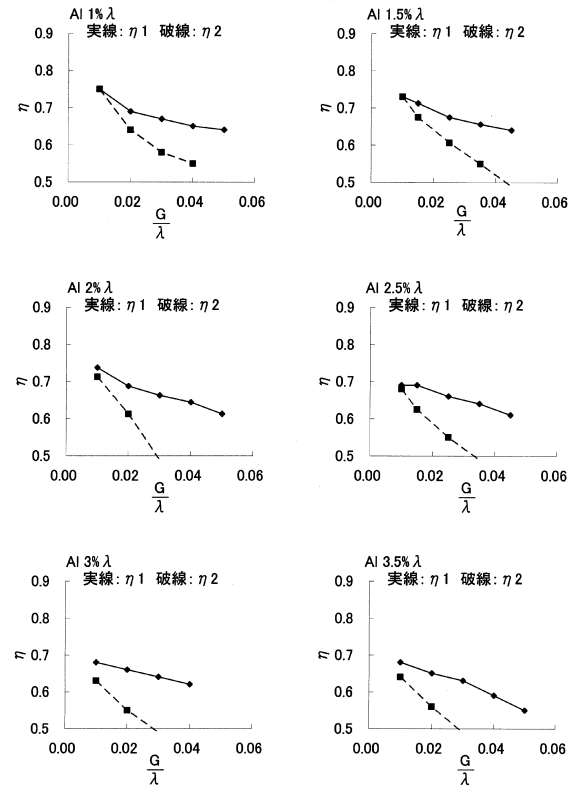
【 図 7 】



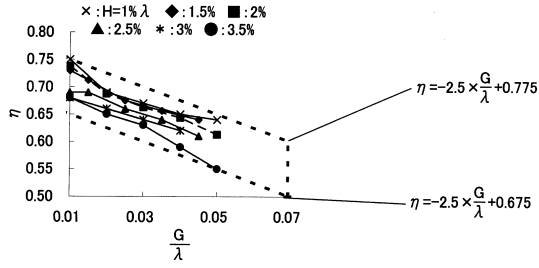
【 図 8 】



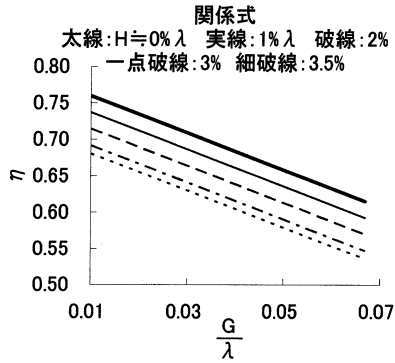
【 図 9 】



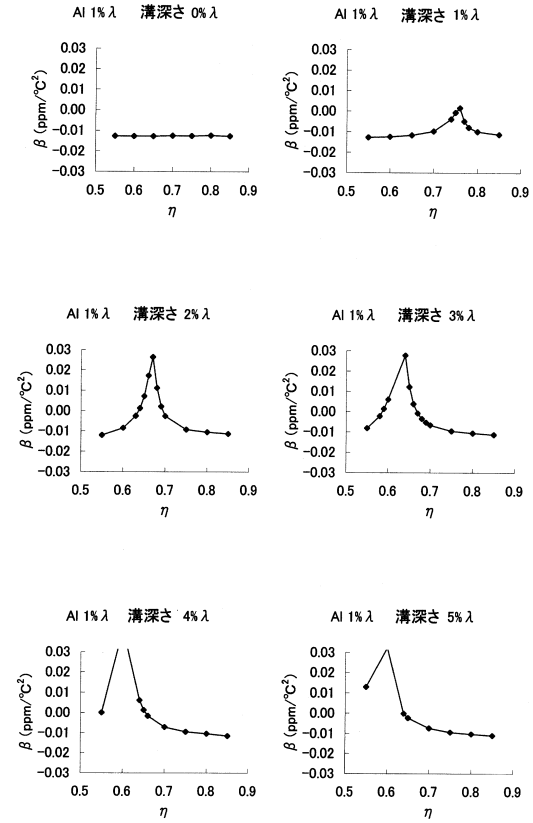
【 図 1 0 】



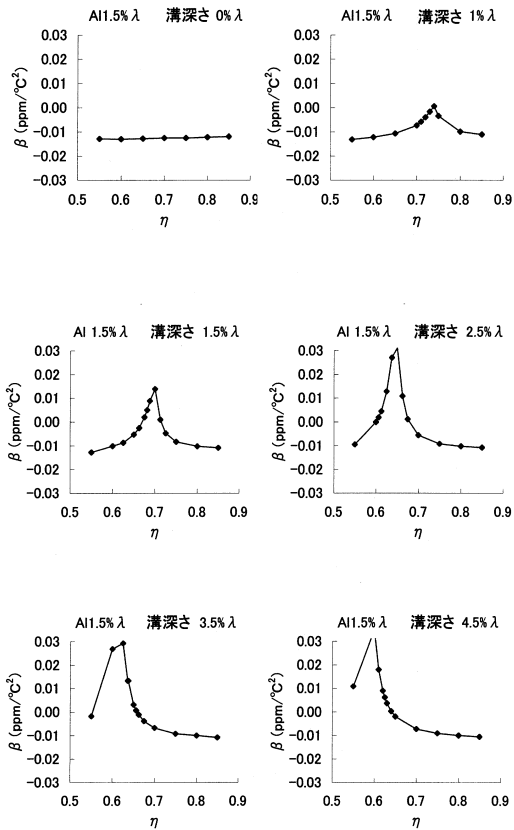
【 図 1 1 】



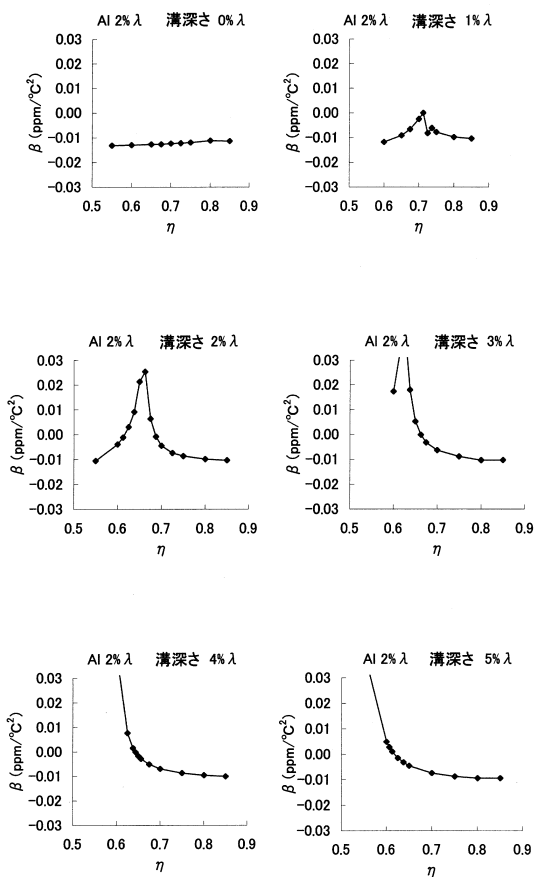
【 図 1 2 】



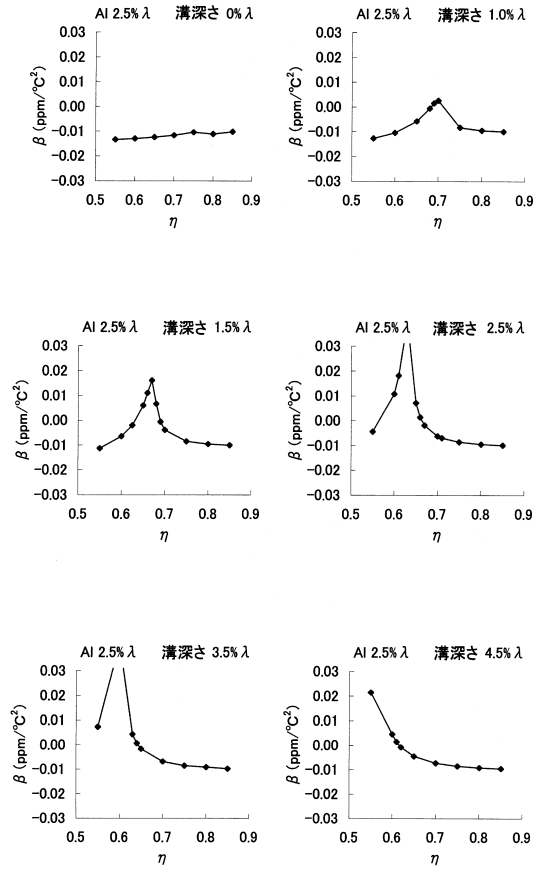
【 図 1 3 】



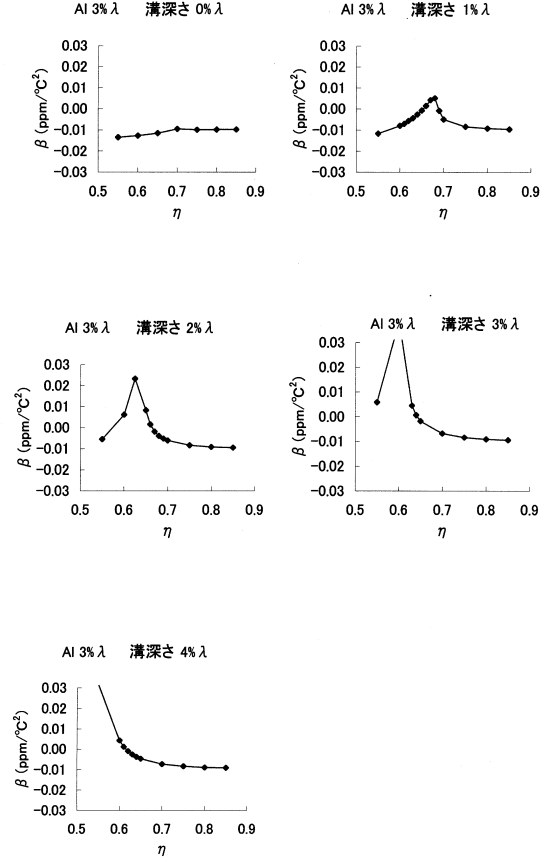
【 図 1 4 】



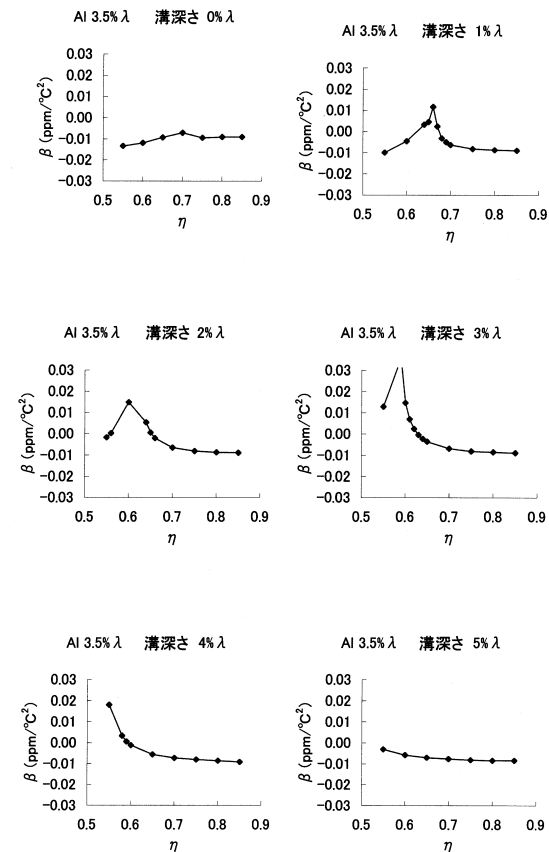
【図 15】



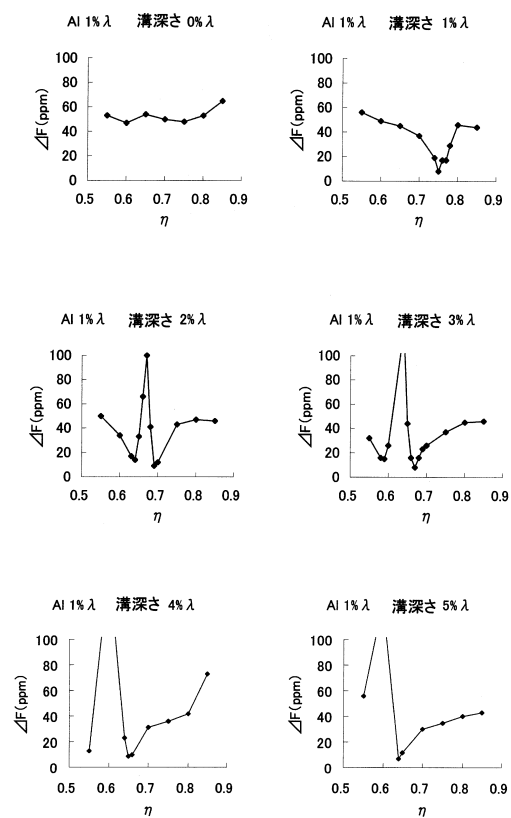
【図 16】



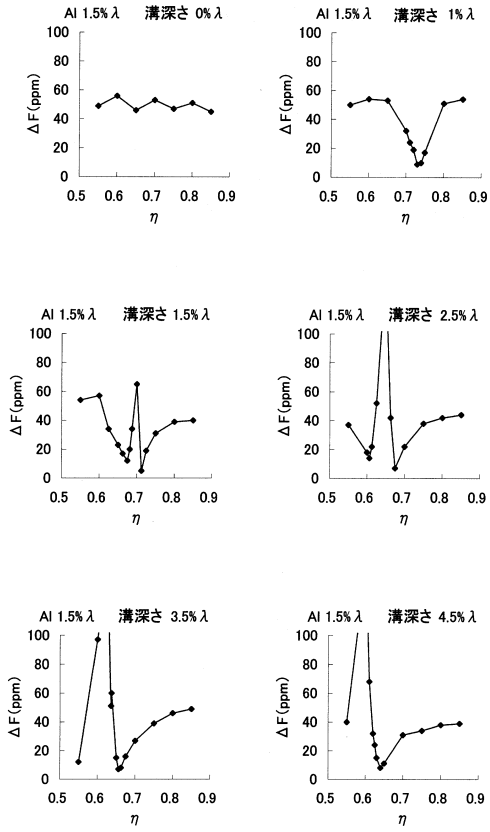
【図 17】



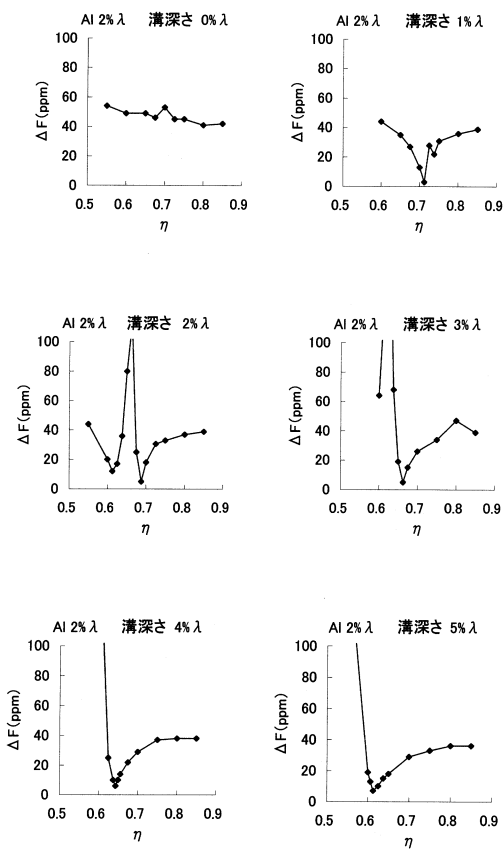
【図 18】



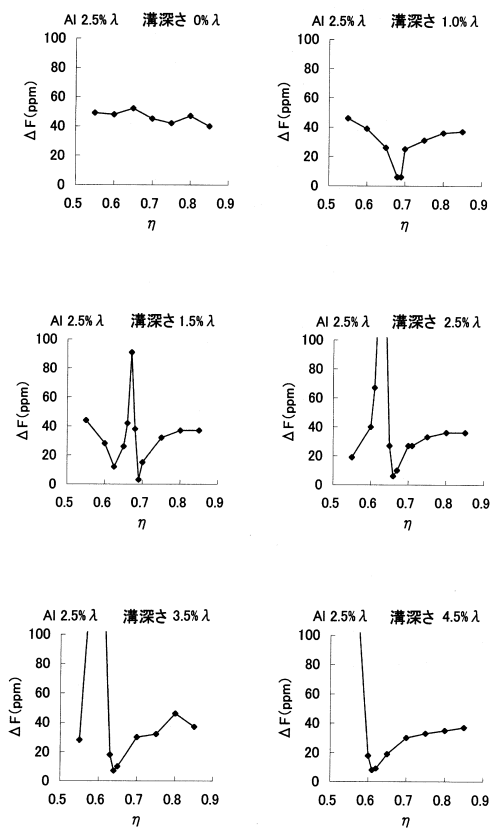
【図19】



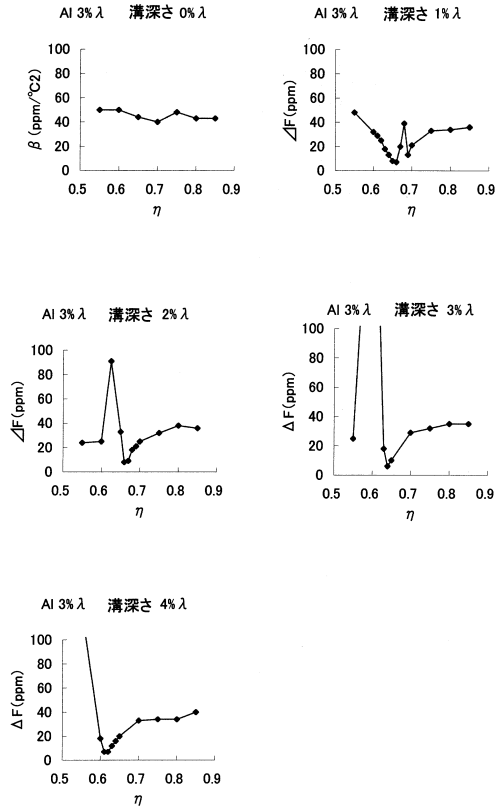
【図20】



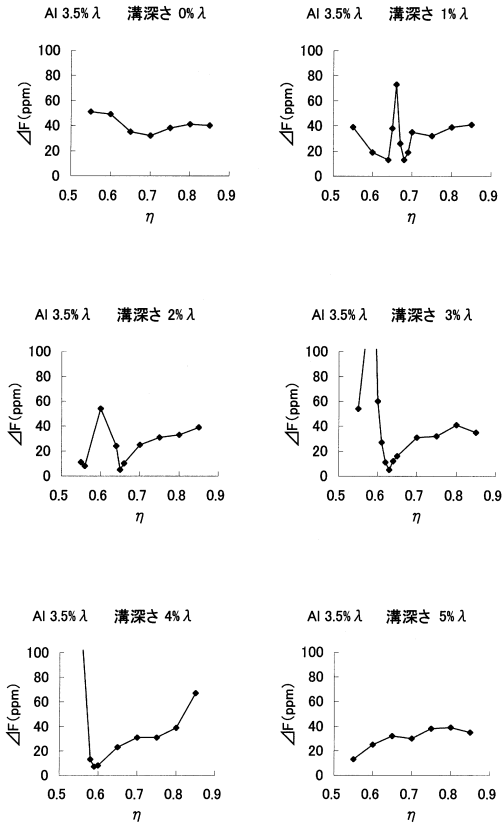
【図21】



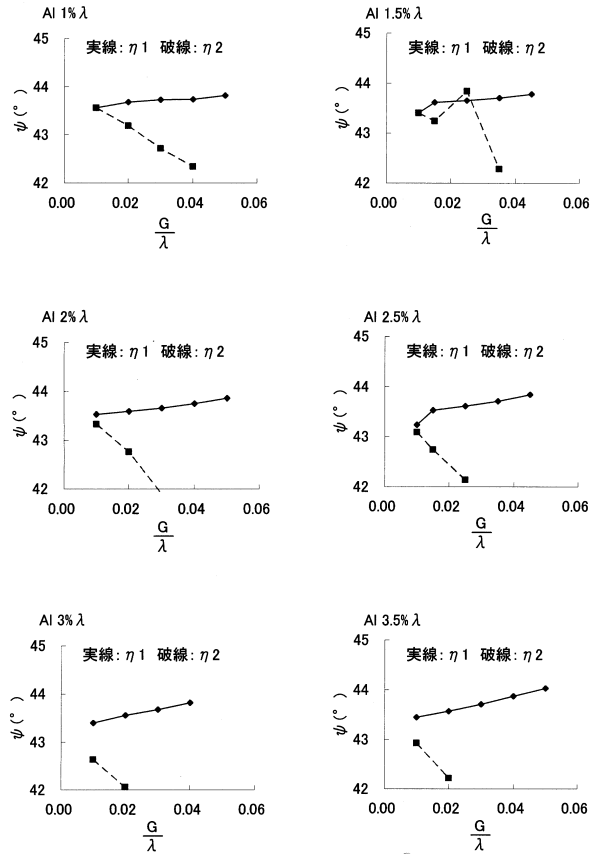
【図22】



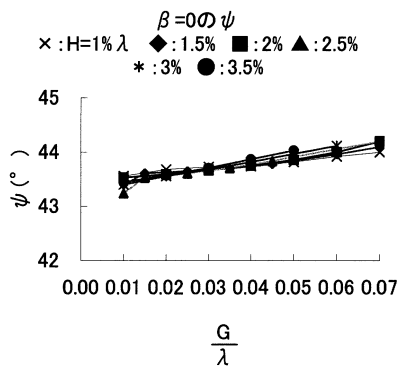
【図 2 3】



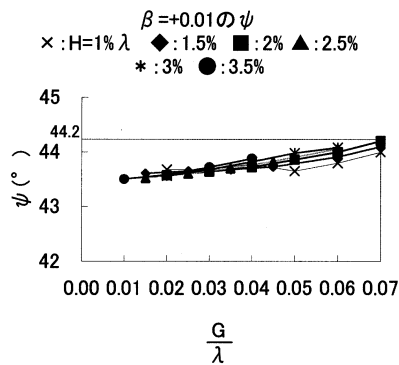
【図 2 4】



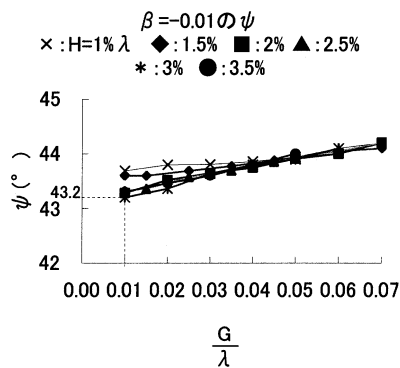
【図 2 5】



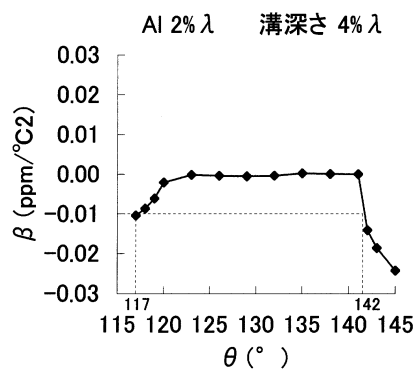
【図 2 7】



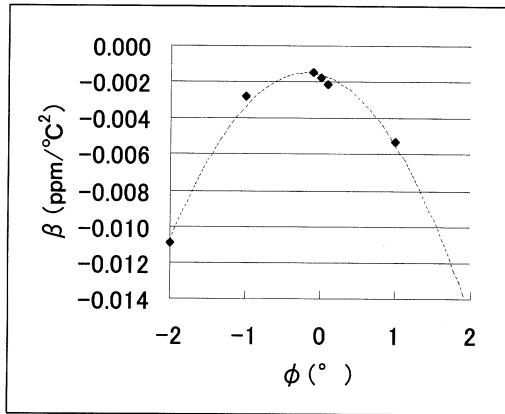
【図 2 6】



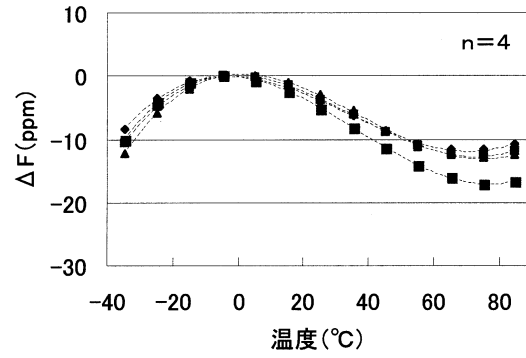
【図 2 8】



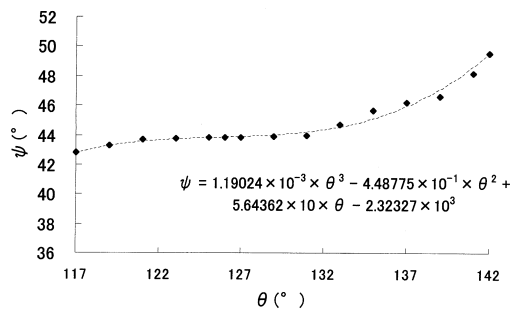
【 図 2 9 】



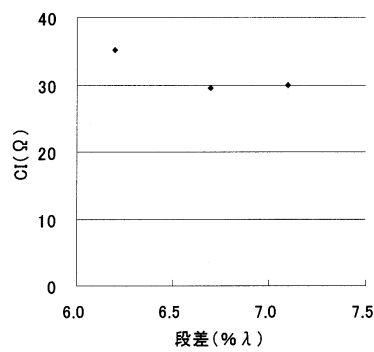
【 図 3 1 】



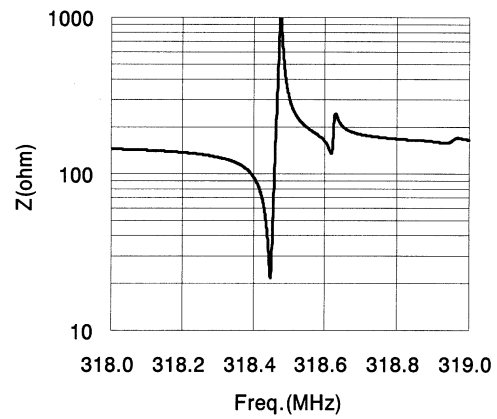
【 図 3 0 】



【 図 3 2 】



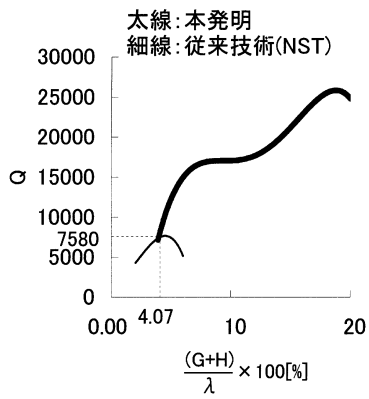
【 図 3 4 】



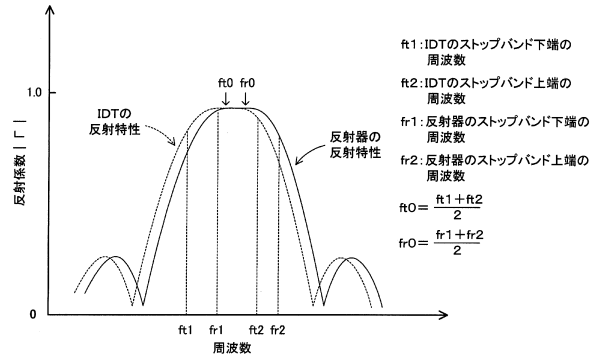
【 図 3 3 】

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

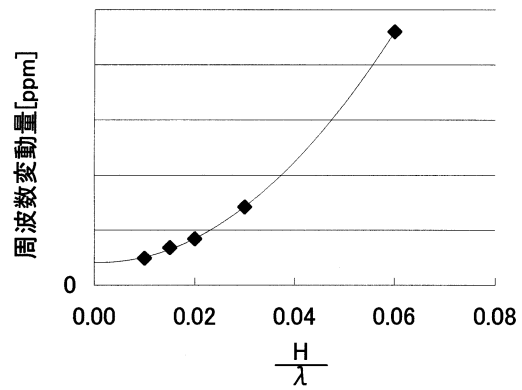
【図35】



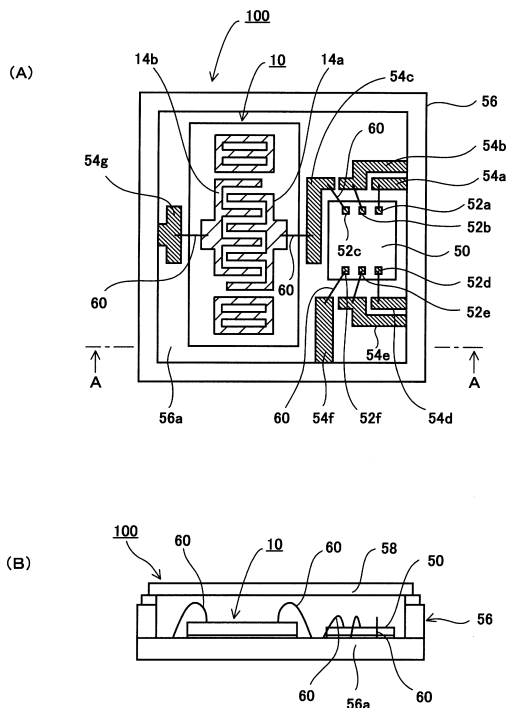
【図36】



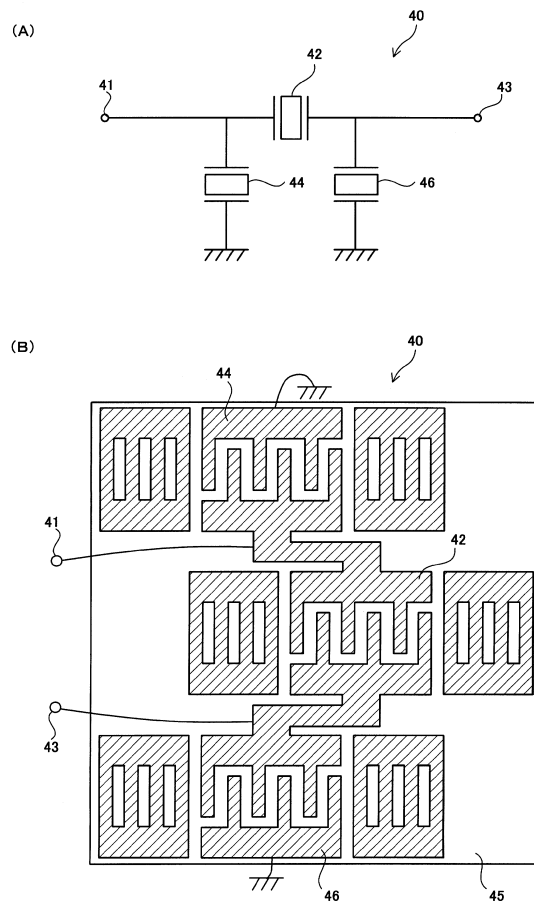
【図37】



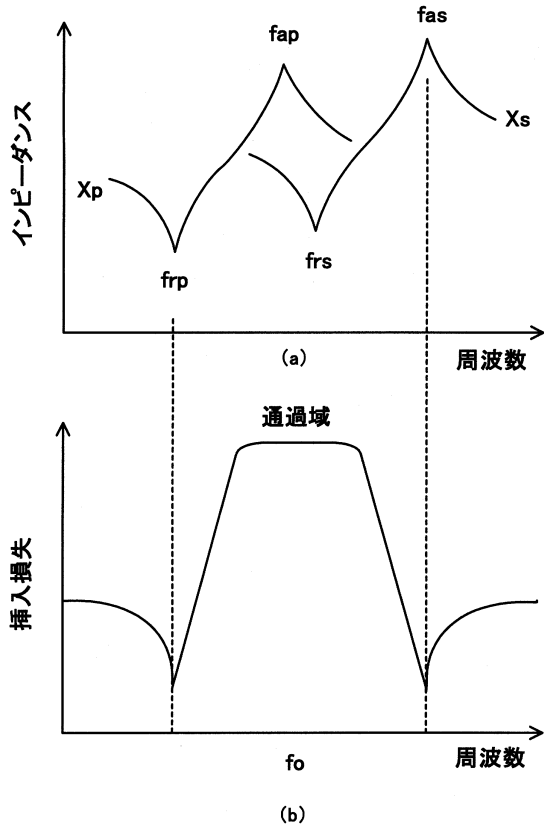
【図38】



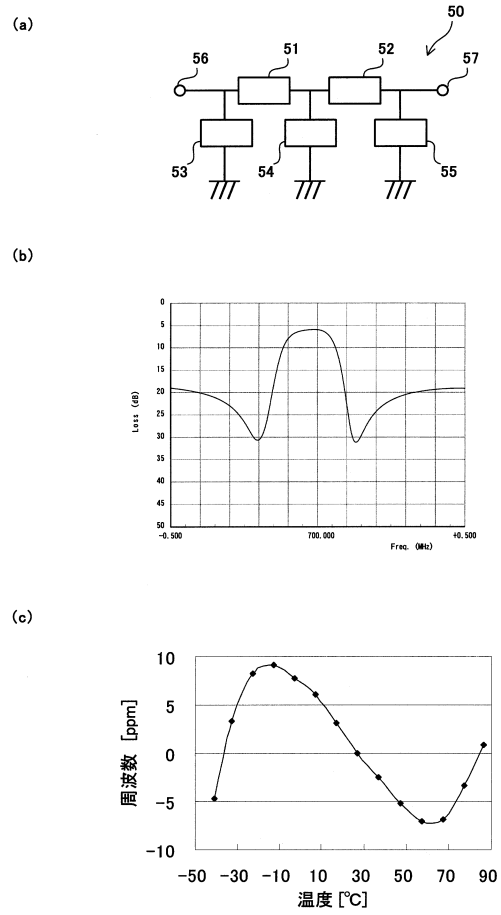
【図39】



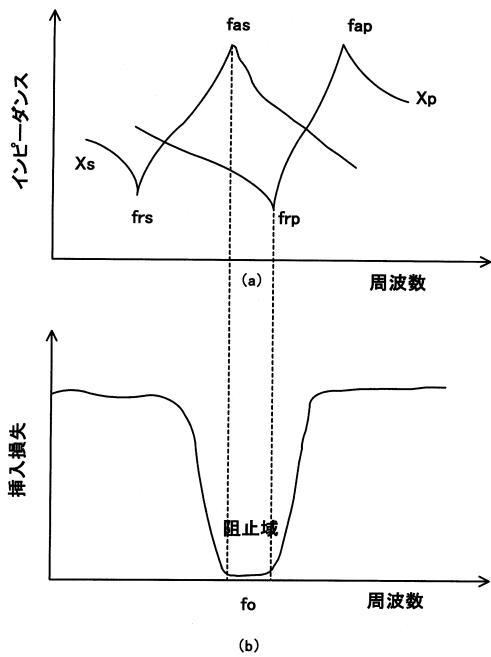
【図40】



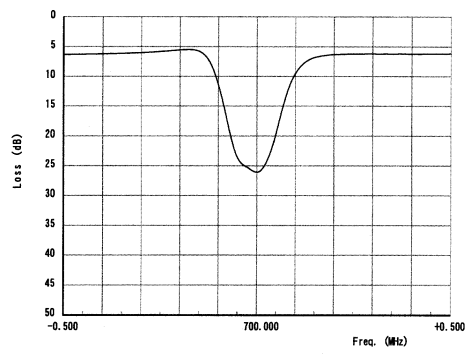
【図41】



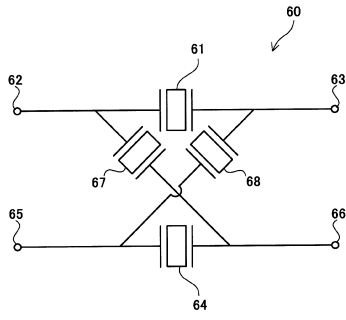
【図42】



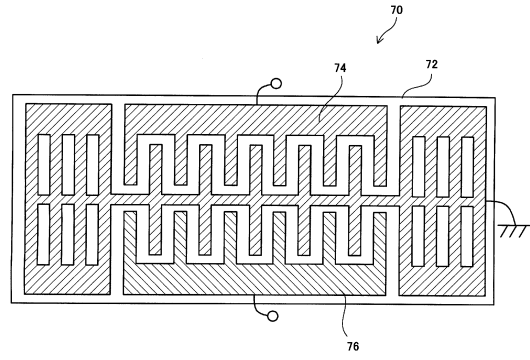
【図43】



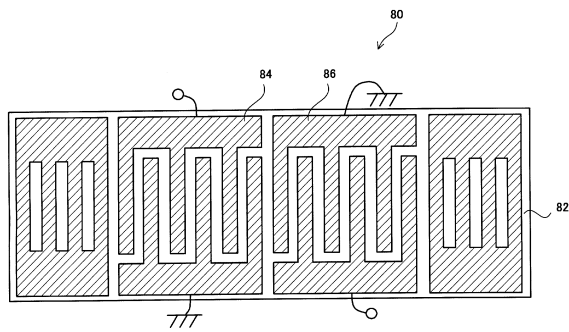
【 図 4 4 】



【 図 4 5 】



【 図 4 6 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平05 - 007124 (JP, A)
特開2009 - 225420 (JP, A)
特開2000 - 216632 (JP, A)
特開2002 - 330051 (JP, A)
特開2006 - 203408 (JP, A)
特開2007 - 288812 (JP, A)
特開2007 - 259414 (JP, A)
特開昭61 - 092011 (JP, A)
特開2007 - 300287 (JP, A)
特開2007 - 267033 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H03H3/007 - H03H3/10
H03H9/00 - H03H9/76
H03B5/30 - H03B5/42