

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2009-27671
(P2009-27671A)

(43) 公開日 平成21年2月5日(2009.2.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H03H 9/25 (2006.01)	H03H 9/25 C	5 J 0 9 7
H03H 9/145 (2006.01)	H03H 9/25 Z	
H01L 41/09 (2006.01)	H03H 9/145 C	
H01L 41/18 (2006.01)	H01L 41/08 L	
	H01L 41/18 1 O 1 A	
審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 9 頁)		

(21) 出願番号	特願2007-191681 (P2007-191681)	(71) 出願人	000002369
(22) 出願日	平成19年7月24日 (2007.7.24)		セイコーエプソン株式会社
			東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
		(74) 代理人	100095728
			弁理士 上柳 雅誉
		(74) 代理人	100107261
			弁理士 須澤 修
		(74) 代理人	100127661
			弁理士 宮坂 一彦
		(72) 発明者	田中 悟
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
		Fターム(参考)	5J097 AA06 AA10 EE09 FF03 GG02 GG05 GG07 KK01 KK06 KK07 KK09 KK10

(54) 【発明の名称】 S H型バルク波共振子

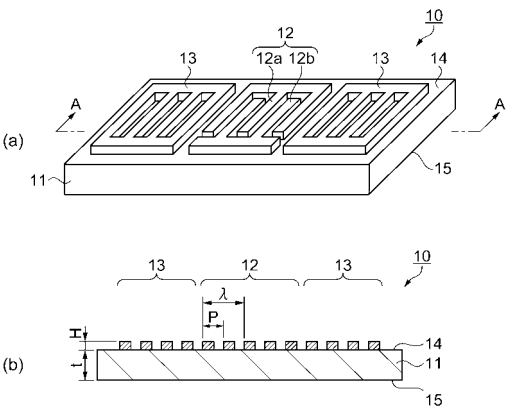
(57) 【要約】

【課題】電気機械結合係数 K^2 が大きくスプリアスが少ないS H型バルク波共振子を提供する。

【解決手段】水晶基板11のカット面および弾性波伝搬方向をオイラー角表示で(0° , ,)とするととき、

が約 $+90^\circ$ 度または約 -90° 度である水晶基板11に少なくとも一つのIDT電極12を配置してなるS H型バルク波共振子10において、IDT電極12がアルミニウムであって、オイラー角表示の角度 が $95^\circ < < 151^\circ$ であり、水晶基板11の厚みを t 、弾性波の波長を λ としたとき、規格化基板厚み t/λ が $t/\lambda < 4$ である。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水晶基板のカット面および弾性波伝搬方向をオイラー角表示で (0° , θ , ϕ) とするとき、前記角度 θ が約 $+90^\circ$ 度または約 -90° 度である前記水晶基板に少なくとも一つの I D T 電極を配置してなる S H 型バルク波共振子であって、

前記 I D T 電極がアルミニウムであって、

オイラー角表示の前記角度 θ が $95^\circ < \theta < 151^\circ$ であり、

前記水晶基板の厚みを t 、前記弾性波の波長を λ としたとき、規格化基板厚み t/λ が $t/\lambda = 4$ であることを特徴とする S H 型バルク波共振子。

【請求項 2】

10

請求項 1 に記載の S H 型バルク波共振子において、

前記 I D T 電極の膜厚を H としたとき、規格化電極厚み H/λ が $H/\lambda = 0.05$ であって、

オイラー角表示の前記角度 θ が次式、

$$\theta = 161.67 \times (H/\lambda)^2 + 21.67 \times (H/\lambda) + 126.00,$$

を満足することを特徴とする S H 型バルク波共振子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、S H 型バルク波を用いた S H 型バルク波共振子に関する。

20

【背景技術】

【0002】

従来から、弾性波デバイスとして、レイリー波、漏洩弾性表面波、擬似縦波型漏洩弾性表面波などの弾性表面波を用いた弾性波デバイスが知られている。また、これらの弾性表面波とは異なり、基板内部を伝搬するバルク波としてラム波を用いた弾性波デバイスが知られている。そして、近年、電子機器の多様化に伴い弾性波デバイスの高周波化の取り組みがなされている。

弾性表面波として代表されるレイリー波は、十分に厚い基板の表面に沿って伝搬する波であり、表面から 1 波長内の表面付近にエネルギーの 90% 以上が集中している。

これに対してラム波は、伝搬させる波の数波長以下である薄い基板において、基板の上下面で反射を繰り返して伝搬する板波である。この板波であるラム波は、境界面と並行でない変位成分を持つ横波 (S V 波) と縦波 (P 波) が基板の両面でモード変換を起こし複雑に結合した波のことである。ラム波は位相速度が速く、電気機械結合係数 K^2 がレイリー波などの表面波に比べて大きいという特徴がある。

30

【0003】

このような弾性表面波およびラム波は、圧電基板に形成された I D T 電極 (すだれ状電極) によって励振でき、弾性表面波を利用した弾性波デバイスとラム波を利用した弾性波デバイスとでは、その形態は似ているが波の伝搬状態が異なる。そして、弾性波デバイスの設計において、弾性表面波とラム波とでは、それぞれの波の解析手法が異なり、両者は異なる種類の波として区別される。

40

【0004】

特許文献 1 には A T カット水晶基板を用い、基板の厚さが 5 波長以下のラム波型高周波共振器が開示されている。ラム波の伝搬可能なモードは、特許文献 1 の分散曲線にあるように基板厚み方向の波数が共振条件を満たすモードであり、基本波モードに高次モードも含め多数のモードが存在する。存在するモードの位相速度は、レイリー波の位相速度以上であり、縦波以上の位相速度をもったモードも多数存在している。このラム波の位相速度が速いモードを用いることで、表面波と比べて同じ I D T 電極の線幅でも高周波化が可能である。

また、特許文献 1 には弾性波の伝搬方向を X 軸に直角な方向 (90° X 伝搬) とした弾性波における、電気機械結合係数 K^2 の計算結果が示されている。

50

【 0 0 0 5 】

特許文献 2 では弾性表面波を用いた高周波化の取り組みとして、表面波の伝搬方向を S T カット水晶の伝搬方向に対して直角な方向とすることで、位相速度が比較的速い S T W (Surface Transverse Wave) が得られることが開示されている。S T W の位相速度は S T カット水晶の約 1 . 6 倍であるため高周波化が可能である。

さらに、この S T W を利用した表面波共振子の電極材料にタンタル (T a)、タングステン (W) を用いることにより大きな電気機械結合係数が得られる。

【 0 0 0 6 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 3 - 2 5 8 5 9 6 号公報 (図 2 参照)

【特許文献 2】特開平 1 0 - 2 3 3 6 4 5 号公報

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 7 】

しかしながら、特許文献 1 に記載のラム波を利用した弾性波デバイスでは伝搬可能なモードが多数存在してスプリアスが発生しやすく、異常発振などの問題がある。

また、特許文献 1 には弾性波の伝搬方向を X 軸に直角な方向 (9 0 ° X 伝搬) とした弾性波の記載があるが、A T カット水晶基板に限定しているため、電気機械結合係数 K^2 が大きくなるような最適設計はされていない。

さらに、特許文献 2 では電極材料としてアルミニウム (A l) に比べて密度の大きいタンタル (T a) またはタングステン (W) を用いて、大きな電気機械結合係数 K^2 を実現しているが、電極材料の密度が大きいことから表面波の位相速度が大きく減少してしまい、本来の位相速度をいかにした高周波化が難しい。

20

また、弾性表面波とラム波とでは、その波の伝搬形態が異なるため、弾性表面波を利用する弾性波デバイスでの着想を、そのままラム波を利用する弾性波デバイスに応用することは困難である。上記説明にもあるように、ラム波は基板厚みによって波の特性が大きく変化してしまい、これは表面波には本来ない概念である。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

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

【 0 0 0 9 】

[適用例 1] 本適用例にかかる S H 型バルク波共振子は、水晶基板のカット面および弾性波伝搬方向をオイラー角表示で (0 ° , ,) とするとき、前記角度 が約 + 9 0 度または約 - 9 0 度である前記水晶基板に少なくとも一つの I D T 電極を配置してなる S H 型バルク波共振子であって、前記 I D T 電極がアルミニウムであって、オイラー角表示の前記角度 が $95^\circ < < 151^\circ$ であり、前記水晶基板の厚みを t 、前記弾性波の波長を λ としたとき、規格化基板厚み t/λ が $t/\lambda = 4$ であることを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

この構成によれば、オイラー角 (0 ° , ,) で表される水晶基板上に、弾性波伝搬方向である角度 が約 + 9 0 度または約 - 9 0 度である I D T 電極が配置され、規格化基板厚み $t/\lambda = 4$ とすることで S H 型バルク波を励振することができる。また、 θ が約 $\pm 90^\circ$ であることで、 θ が 0 度のときに励振される多数のラム波を無くすることができ、スプリアスの発現を抑圧することができる。

40

そして、角度 θ が $95^\circ < < 51^\circ$ の範囲であることで、表面波より電気機械結合係数 K^2 が大きく、高周波化に対応する位相速度 4 0 0 0 m / s 以上の S H 型バルク波を利用することができる。

このように、本発明によれば電気機械結合係数 K^2 が大きく、スプリアスが少ない高周波化に適した S H 型バルク波共振子を提供することができる。

なお、本願では X 軸方向にラム波を励振させる圧電基板において、その弾性波の伝搬方向を 9 0 ° X 伝搬とした波を S H 型バルク波と呼ぶ。

50

【 0 0 1 1 】

[適用例 2] 上記適用例にかかる S H 型バルク波共振子において、前記 I D T 電極の膜厚を H としたとき、規格化電極厚みを H/λ が $H/\lambda = 0.05$ であって、オイラー角表示の前記角度 θ が次式、 $\theta = 161.67 \times (H/\lambda)^2 + 21.67 \times (H/\lambda) + 126.00$ 、を満足することが望ましい。

【 0 0 1 2 】

この構成によれば、オイラー角 (0° , θ , 90°) の θ が、上記の式の範囲であることで、周波数温度特性 TCF が 0 となる範囲を規定できる。このことから、周波数温度特性が良好で高精度の S H 型バルク波共振子を提供することができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

10

【 0 0 1 3 】

以下、本発明を具体化した実施形態について図面に従って説明する。

(実施形態)

【 0 0 1 4 】

図 1 は本実施形態の S H 型バルク波共振子の構成を示す構成図であり、図 1 (a) は模式斜視図、図 1 (b) は同図 (a) の A - A 断線に沿う模式断面図である。

S H 型バルク波共振子 10 は、矩形状の水晶基板 11 に I D T 電極 12 と反射器 13 が備えられている。水晶基板 11 は表裏に主面 14, 15 を有し、一方の主面 14 に I D T 電極 12 と反射器 13 が形成されている。I D T 電極 12 は、アルミニウム (Al) で形成され、交差指電極 12 a, 12 b が交互に挿間されて、それぞれに逆相の電圧が印加されることで S H 型バルク波を励振できるように構成されている。そして、I D T 電極 12 を両側から挟むように反射器 13 が形成され、I D T 電極 12 から伝搬された S H 型バルク波を反射器 13 で反射させて I D T 電極 12 が形成された水晶基板 11 の中央部にエネルギーを閉じ込める役目を果たしている。なお、反射器 13 も I D T 電極 12 と同様にアルミニウムで形成されている。

20

【 0 0 1 5 】

I D T 電極 12 における交差指電極 12 a と交差指電極 12 b 間の距離は等間隔にピッチ P にて形成され、励振される S H 型バルク波の波長 λ は $\lambda = 2P$ の関係にある。また、I D T 電極 12 は膜厚 H に形成されている。水晶基板 11 の厚み t は S H 型バルク波の 4 波長 (4λ) 以下の厚みに設定されている。

30

ここで S H 型バルク波とは、変位が弾性波伝搬方向と垂直かつ基板表面に平行な変位を主成分とし、薄い基板内を進行する波である。

【 0 0 1 6 】

次に、水晶基板 11 のカット面および S H 型バルク波の伝搬方向を特定するためのオイラー角 (θ , ϕ , ψ) について説明する。

図 2 はオイラー角について説明する模式図である。図 2 のように、水晶の結晶軸を X 軸 (電気軸)、Y 軸 (機械軸)、Z 軸 (光軸) とするとき、Z 軸を中心として X 軸を Y 軸側へ角度 ψ だけ回転させて、これを X' 軸とする。次に X' 軸を中心として Z 軸を反時計回りに角度 ϕ だけ回転させ、これを Z' 軸とする。この Z' 軸を法線として X' 軸を含む面方位でカットし、基板とする。そして、この面方位にカットした基板において、Z' 軸を中心として X' 軸を反時計回りに角度 θ だけ回転させた軸を X'' 軸とし、この X'' 軸を弾性表面波伝搬方向とする。このとき、カット面および弾性表面波伝搬方向をオイラー角 (θ , ϕ , ψ) と表示する。

40

【 0 0 1 7 】

本実施形態では、オイラー角 (θ , ϕ , ψ) における角度 θ が 0° 、角度 ϕ が約 90° としている。角度 ψ は 90° に限定されるものではなく、 $90^\circ \pm 5^\circ$ の範囲にあれば S H 型バルク波共振子を構成できることが発明者により確認されている。

また、角度 ψ については + 方向 (反時計方向) に回転した場合と - 方向 (時計方向) に回転した場合とでは、その示す特性は同一であり、それぞれ等価な角度であると言える。

なお、オイラー角 (0° , ϕ , 0°) における水晶基板では主にラム波が励振され、オ

50

イラー角 (0° , , 90°) における水晶基板では主に S H 型バルク波が励振される。

【0018】

続いてオイラー角 (0° , , 90°) における、共振子にて励振される弾性波のモード分布について説明する。

図3および図4はオイラー角 (0° , , 90°) のラム波、S H 型バルク波のモード分布をシミュレーションしたグラフである。両図ともに、縦軸に弾性波の位相速度、横軸にオイラー角の を採って表示している。

図3は電気機械結合係数 $K^2 = 0$ における弾性波の位相速度を示す。この場合、ラム波と S H 型バルク波が混在している。

次に、図4に電気機械結合係数 $K^2 > 0$ における弾性波のモード分布を示す。この場合、グラフに表示されているモードは S H 型バルク波だけである。弾性波の伝搬方向を X 軸に直角な方向とする 90° X 伝搬にすることにより、実際にはラム波は K^2 が 0 であるために励振されず、S H 型バルク波のみが励振されることがわかる。

また、弾性波の伝搬方向を 90° X 伝搬にすることにより多数のラム波モードが減り、大幅にスプリアスを抑圧できる。ここで、位相速度が遅い順に 0 次モード (基本波) の位相速度、1 次モードの位相速度、2 次モードのそれと高次のモードのそれを示す。

【0019】

ここで、高周波帯の S H 型バルク波共振子を考えた場合、位相速度が速いことが必要である。本願では、位相速度が 4000 m/s 以上を高周波化に対応する位相速度とし、図4においては、I D T 電極に用いられる電極の密度、厚みなどによって低下する速度を考慮して 4500 m/s 以上の位相速度をもって高周波に対応する位相速度と規定した。図4から基本波の位相速度が 4500 m/s 以上となるオイラー角 の範囲は、 $95^\circ < 115^\circ$ である。

【0020】

図5は S H 型バルク波の規格化基板厚みに対する位相速度変化の一例 ($= 126^\circ$ のとき) を示すグラフである。このグラフは縦軸に位相速度、横軸に格化基板厚みを採って表示している。なお、水晶基板の厚みを t 、S H 型バルク波の波長を としたとき、水晶基板の厚みを S H 型バルク波の波長で除した値を規格化基板厚み $t/$ とする。

図5において、位相速度が遅い順に 0 次モード (基本波) の位相速度、1 次モードの位相速度、2 次モードのそれと高次のモードのそれを示す。図5から、水晶基板の厚み t を厚くすると S H 型バルク波の高次モードが基本波に接近し密集状態となる。このことから、スプリアスとなる高次モードが基本波に隣接しないように規格化基板厚み $t/$ 4 が望ましい。

また、基本波では水晶基板の厚み t を変化させても位相速度がほとんど変化しないため、水晶基板加工での厚みばらつきに対する周波数変化が非常に少なく、周波数の合わせこみが容易で、製造歩留まりが向上する。

【0021】

図6は S H 型バルク波の基本波における、規格化基板厚み $t/$ による電気機械結合係数 K^2 の変化をそれぞれの規格化電極厚み $H/$ に対して示した一例 (オイラー角の $= 126^\circ$ のとき) のグラフである。なお、I D T 電極の膜厚を H としたとき、I D T 電極の膜厚を S H 型バルク波の波長で除した値を規格化電極厚み $H/$ とし、 $H/ = 0.001$ 、 0.01 、 0.02 、 0.03 、 0.04 、 0.05 、のそれぞれについて示している。なお、一般に知られた S T カット水晶レイリー波では、電気機械結合係数 K^2 はおよそ 0.1% である。

図6において、電気機械結合係数 K^2 が 0.1% より大きくなる範囲は、規格化電極厚み $H/ = 0.01$ で規格化基板厚み $t/ = 0.62$ のときである。さらに、規格化電極厚みが 0.02 $H/ = 0.05$ で、規格化基板厚み $t/ = 4$ のときにおいても電気機械結合係数 K^2 が 0.1% より大きくなる。

また、 $H/ = 0.04$ で、規格化基板厚み $t/ = 4$ のときにおいて電気機械結合係数 K^2 が S T カット水晶レイリー波の約 2 倍の 0.2% より大きくなる。

10

20

30

40

50

このように、I D T 電極にアルミニウムを用いても十分に大きな電気機械結合係数 K^2 を得ることができる。

【0022】

図7はS H型バルク波の基本波における、規格化基板厚み t/λ による位相速度の変化をそれぞれの規格化電極厚み H/λ に対して示した一例のグラフである（オイラー角の $= 126^\circ$ のとき）。

図7において、規格化基板厚み t/λ がおよそ0.5より薄い範囲では、規格化電極厚み H/λ が厚いほど位相速度に影響を与えて位相速度が低下している。つまり、水晶基板の厚さが0.5波長以下の薄いとき、I D T 電極の厚みが位相速度を低下させていることが分かる。

10

これに対して、規格化基板厚み t/λ がおよそ1より厚い範囲では、規格化電極厚み H/λ は位相速度に影響を与えず一定の位相速度を得ることができる。つまり、水晶基板の厚さが1波長以上の厚みのとき、I D T 電極の厚みは位相速度に影響を与えないことがわかる。

さらに、規格化基板厚み $t/\lambda = 0.07$ であれば、規格化電極厚み H/λ が0.05（0.5%）の電極厚みの厚いときであっても、高周波化に対応可能な位相速度 4000 m/s を下回ることがない。このように、本実施形態のS H型バルク波共振子では、電極材料の厚み（質量）により大きく位相速度を犠牲にすることがない。

【0023】

図8は規格化電極厚み H/λ を変化させたとき、オイラー角に対する周波数温度特性 TCF の変化の一例を示すグラフである（規格化基板厚み $t/\lambda = 0.4$ のとき）。周波数温度特性 TCF は、共振周波数の温度変化による変動の割合を示している。

20

図8において、オイラー角（ 0° , , 90° ）におけると周波数温度特性 TCF との関係はほぼ直線にて表され、規格化電極厚み H/λ を変化させると周波数温度特性 TCF が0となるオイラー角 θ が変化することがわかる。この変化は規格化電極厚み H/λ が大きくなるに従い、オイラー角 θ が大きくなる方向に変化している。

【0024】

図9は周波数温度特性 TCF が0となる規格化電極厚み H/λ に対するオイラー角 θ の変化をそれぞれの規格化基板厚み t/λ に対して示したグラフである。このグラフでは、規格化基板厚み t/λ が、 $t/\lambda = 0.4, 0.8, 1.5, 2.0, 2.5$ のそれぞれについて表示している。

30

図9によれば、上記の各規格化基板厚み t/λ において、ほぼ同じ曲線を描き、曲線が重なっている。このように、周波数温度特性 TCF が0となるのは規格化基板厚み t/λ によらず、同条件であることがわかる。

ここで、規格化電極厚み H/λ にて周波数温度特性 TCF が0となるオイラー角 θ を近似した近似式は以下の式（1）のように表せる。

$$\theta = 161.67 \times (H/\lambda)^2 + 21.67 \times (H/\lambda) + 126.00 \dots (1)$$

ただし、規格化電極厚み $H/\lambda = 0.05$ 、I D T 電極の材料としてアルミニウムを用いている。また、式（1）において導かれた θ の値に対して、近似における誤差などを考慮して周波数温度特性 TCF が0となるオイラー角 θ は、 $\pm 0.5^\circ$ を範囲内に含むとする。

40

【0025】

以上、本実施形態のS H型バルク波共振子10において、オイラー角（ 0° , , ）で表される水晶基板11上に、弾性波伝搬方向である角度 θ が約 $+90$ 度または約 -90 度であるI D T 電極12が配置され、規格化基板厚み $t/\lambda = 4$ とすることでS H型バルク波を励振することができる。また、 θ を約 ± 90 度とすることで、 θ が0度のときに励振される多数のラム波を無くすことができ、スプリアスの発現を抑圧することができる。

そして、オイラー角 θ が $95^\circ < \theta < 151^\circ$ の範囲であることで、表面波より電気機械結合係数 K^2 が大きく、高周波化に対応する 4000 m/s 以上の位相速度のS H型バ

50

ルク波を利用することができる。

このように、本実施形態のＳＨ型バルク波共振子によれば電気機械結合係数 K^2 が大きく、スプリアスが少ない高周波化に適したＳＨ型バルク波共振子１０を提供することができる。

【００２６】

また、オイラー角（ 0° ， θ ， 90° ）の θ が、式（１）の範囲であることで、周波数温度特性ＴＣＦが０となる範囲を規定できる。このことから、周波数温度特性が良好で高精度のＳＨ型バルク波共振子１０を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００２７】

【図１】本実施形態のＳＨ型バルク波共振子の構成を示す構成図であり、（ａ）は模式斜視図、（ｂ）は同図（ａ）のＡ－Ａ断線に沿う模式断面図。

【図２】オイラー角について説明する模式図。

【図３】オイラー角（ 0° ， θ ， 90° ）のラム波、ＳＨ型バルク波のモード分布をシミュレーションしたグラフ。

【図４】オイラー角（ 0° ， θ ， 90° ）のラム波、ＳＨ型バルク波のモード分布をシミュレーションしたグラフ。

【図５】ＳＨ型バルク波の規格化基板厚みに対する位相速度変化を示すグラフ。

【図６】ＳＨ型バルク波の基本波における規格化基板厚みに対する電気機械結合係数の変化を示すグラフ。

【図７】規格化基板厚みと位相速度の関係を示すグラフ。

【図８】電極厚みを変化させたときのオイラー角に対する周波数温度特性の変化を示すグラフ。

【図９】基板厚みを変化させたときの、周波数温度特性が０となる規格化電極厚みに対するオイラー角の変化を示すグラフ。

【符号の説明】

【００２８】

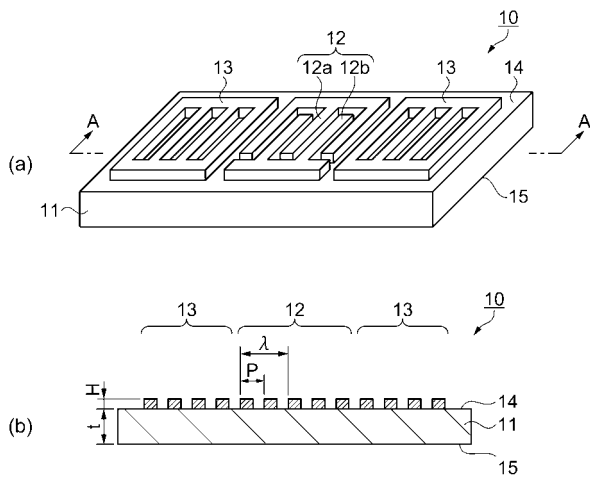
１０... ＳＨ型バルク波共振子、１１... 水晶基板、１２... ＩＤＴ電極、１２ａ，１２ｂ... 交差指電極、１３... 反射器、Ｈ... ＩＤＴ電極の膜厚、Ｐ... ピッチ、ｔ... 水晶基板の厚み、 λ ... ＳＨ型バルク波の波長。

10

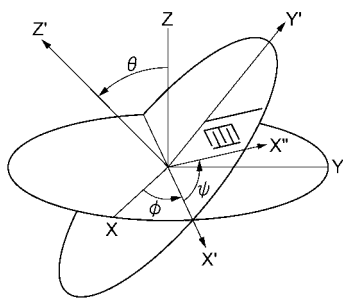
20

30

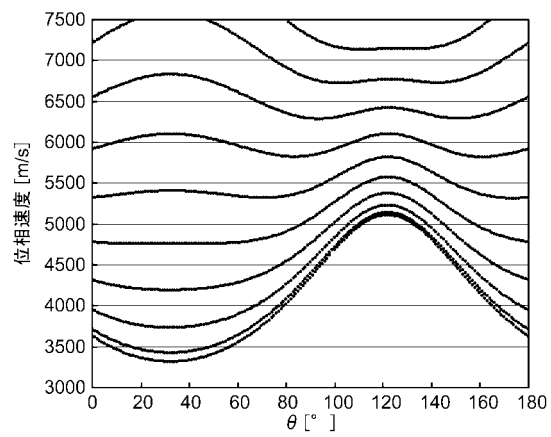
【 図 1 】



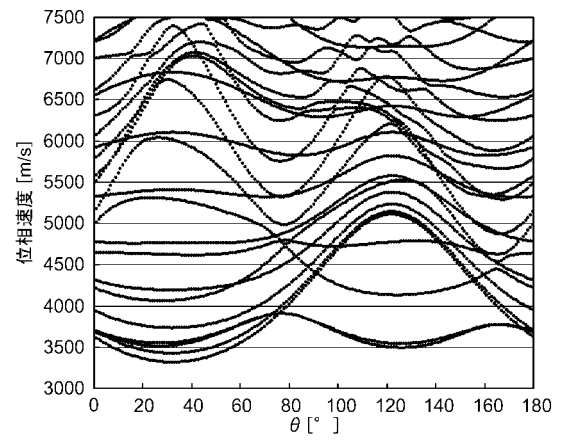
【 図 2 】



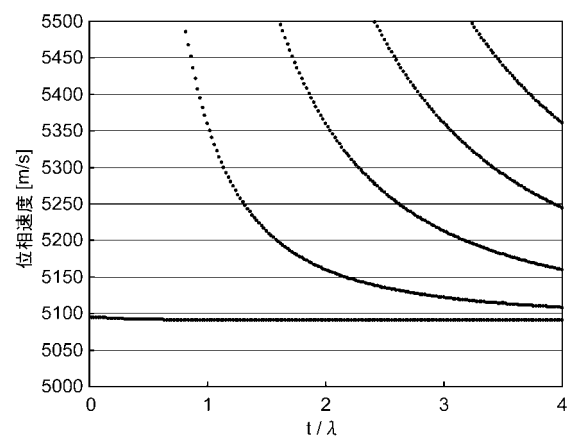
【 図 4 】



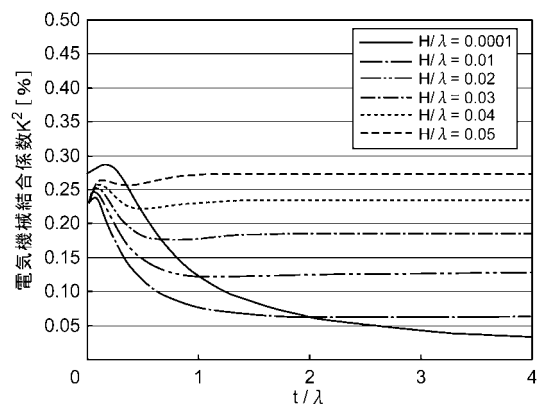
【 図 3 】



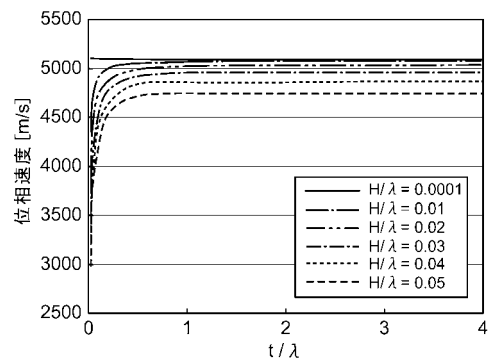
【 図 5 】



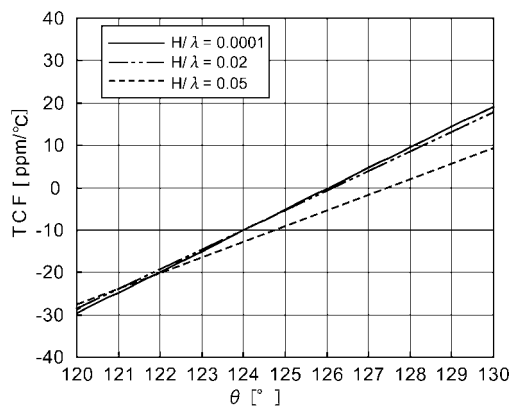
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

