

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5652606号  
(P5652606)

(45) 発行日 平成27年1月14日(2015.1.14)

(24) 登録日 平成26年11月28日(2014.11.28)

(51) Int.Cl.

F 1

<b>H03H</b>	<b>9/25</b>	<b>(2006.01)</b>	H03H	9/25	Z
<b>H03H</b>	<b>9/145</b>	<b>(2006.01)</b>	H03H	9/25	C
<b>H03B</b>	<b>5/30</b>	<b>(2006.01)</b>	H03B	9/145	C
<b>H01L</b>	<b>41/18</b>	<b>(2006.01)</b>	H01L	5/30	A
<b>H01L</b>	<b>41/09</b>	<b>(2006.01)</b>	H01L	41/18	1 O 1 A

請求項の数 9 (全 67 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2010-270953 (P2010-270953)

(22) 出願日

平成22年12月3日(2010.12.3)

(65) 公開番号

特開2012-120138 (P2012-120138A)

(43) 公開日

平成24年6月21日(2012.6.21)

審査請求日

平成25年11月27日(2013.11.27)

(73) 特許権者 000002369

セイコーエプソン株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(74) 代理人 100091306

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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】弹性表面波共振子、弹性表面波発振器、及び電子機器

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

オイラー角(-1.5°, 1.5°, 117°, 142°, 42.79°, |49.57°)の水晶基板と、

アルミニウムまたはアルミニウムを主成分とした合金で構成されるとともに前記水晶基板上に設けられ、複数の電極指を含み、ストップバンド上端モードの弹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、を備え、

前記電極指間溝の間に配置されている前記水晶基板の凸部のライン占有率をg、前記凸部上に配置されている前記電極指のライン占有率をeとし、

前記IDTの実効ライン占有率efを前記ライン占有率gと前記ライン占有率eとの相加平均として、

$$\eta_g > \eta_e$$

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

の関係を満たし、

前記弹性表面波の波長を、前記電極指間溝の深さをG、前記I D Tの電極膜厚をHとし、

前記電極指間溝の深さGと前記実効ライン占有率 e f f とが

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

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

の関係を満たし、

10

前記I D Tの電極膜厚Hが、

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

の関係を満たすことを特徴とする弹性表面波共振子。

【請求項2】

オイラー角 (- 1 . 5 °, 1 . 5 °, 117 °, 142 °, 42 . 79 °, | 49 . 57 °) の水晶基板と、

アルミニウムまたはアルミニウムを主成分とした合金で構成されるとともに前記水晶基板上に設けられ、複数の電極指を含み、ストップバンド上端モードの弹性表面波を励振するI D Tと、

20

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、を備え、

前記電極指間溝の間に配置されている前記水晶基板の凸部のライン占有率を g、前記凸部上に配置されている前記電極指のライン占有率を e とし、

前記I D Tの実効ライン占有率 e f f を前記ライン占有率 g と前記ライン占有率 e の相加平均として、

$$\eta_g > \eta_e$$

30

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

の関係を満たし、

前記弹性表面波の波長を、前記電極指間溝の深さをG、前記I D Tの電極膜厚をHとし、前記電極指間溝の深さGを前記弹性表面波の波長で除した値G/λと、前記実効ライン占有率 e f f とによる平面座標を(G/λ, e f f)として、前記平面座標(G/λ, e f f)が、

(1) 0 . 0 0 0 < H 0 . 0 0 5 の場合、

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

及び、(0 . 0 3 0, 0 . 5 9 0)、(0 . 0 4 0, 0 . 5 8 0)、(0 . 0 5 0, 0 . 5 5 0)、(0 . 0 6 0, 0 . 5 2 0)、(0 . 0 7 0, 0 . 4 8 0)、(0 . 0 8 0, 0 . 4 5 0)、(0 . 0 9 0, 0 . 4 0 0)、(0 . 0 9 0, 0 . 1 8 0)、(0 . 0 8 0, 0 . 3 4 0)、(0 . 0 7 0, 0 . 4 1 0)、(0 . 0 6 0, 0 . 4 6 0)、(0 . 0 5 0, 0 . 4 9 0)、(0 . 0 4 0, 0 . 5 2 0)、(0 . 0 3 0, 0 . 5 5 0)、

40

50

(0.030、0.590)の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、

(2) 0.005 < H 0.010 の場合、

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

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

(3) 0.010 < H 0.015 の場合、

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

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

(4) 0.015 < H 0.020 の場合、

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

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

(5) 0.020 < H 0.025 の場合、

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

及び、(0.010、0.690)、(0.020、0.640)、(0.030、0.60) 50

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

( 6 ) 0 . 0 2 5 < H 0 . 0 3 0 の場合、

( 0 . 0 1 0 、 0 . 7 7 0 )、( 0 . 0 2 0 、 0 . 7 7 0 )、( 0 . 0 3 0 、 0 . 7 7  
 0 )、( 0 . 0 4 0 、 0 . 7 6 0 )、( 0 . 0 5 0 、 0 . 7 6 0 )、( 0 . 0 6 0 、 0 .  
 7 6 0 )、( 0 . 0 7 0 、 0 . 7 6 0 )、( 0 . 0 7 0 、 0 . 5 5 0 )、( 0 . 0 6 0 、  
 0 . 5 0 5 )、( 0 . 0 5 0 、 0 . 5 9 0 )、( 0 . 0 4 0 、 0 . 6 2 0 )、( 0 . 0 3  
 0 、 0 . 6 4 5 )、( 0 . 0 2 0 、 0 . 6 8 0 )、( 0 . 0 1 0 、 0 . 7 0 0 )、( 0 .  
 0 1 0 、 0 . 7 7 0 )の順に結ぶ線で囲まれた範囲、 10

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

( 7 ) 0 . 0 3 0 < H 0 . 0 3 5 の場合、

( 0 . 0 1 0 、 0 . 7 7 0 )、( 0 . 0 2 0 、 0 . 7 7 0 )、( 0 . 0 3 0 、 0 . 7 7  
 0 )、( 0 . 0 4 0 、 0 . 7 6 0 )、( 0 . 0 5 0 、 0 . 7 6 0 )、( 0 . 0 6 0 、 0 .  
 7 6 0 )、( 0 . 0 7 0 、 0 . 7 6 0 )、( 0 . 0 7 0 、 0 . 5 5 0 )、( 0 . 0 6 0 、  
 0 . 5 0 0 )、( 0 . 0 5 0 、 0 . 5 4 5 )、( 0 . 0 4 0 、 0 . 5 9 0 )、( 0 . 0 3  
 0 、 0 . 6 2 5 )、( 0 . 0 2 0 、 0 . 6 5 0 )、( 0 . 0 1 0 、 0 . 6 8 0 )、( 0 .  
 0 1 0 、 0 . 7 7 0 )の順に結ぶ線で囲まれた範囲、 20

及び、( 0 . 0 1 0 、 0 . 6 5 5 )、( 0 . 0 2 0 、 0 . 5 9 0 )、( 0 . 0 3 0 、 0  
 . 5 4 0 )、( 0 . 0 4 0 、 0 . 4 9 5 )、( 0 . 0 5 0 、 0 . 4 3 5 )、( 0 . 0 6 0  
 、 0 . 3 9 5 )、( 0 . 0 7 0 、 0 . 5 0 0 )、( 0 . 0 7 0 、 0 . 5 5 0 )、( 0 . 0  
 6 0 、 0 . 3 8 0 )、( 0 . 0 5 0 、 0 . 3 3 0 )、( 0 . 0 4 0 、 0 . 4 1 0 )、( 0  
 . 0 3 0 、 0 . 4 7 0 )、( 0 . 0 2 0 、 0 . 5 2 0 )、( 0 . 0 1 0 、 0 . 5 9 0 )、  
 ( 0 . 0 1 0 、 0 . 6 5 5 )の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれることを特徴  
 とする弾性表面波共振子。 30

### 【請求項 3】

請求項 1 に記載の弾性表面波共振子であって、

前記実効ライン占有率 e f f が、

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

40

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

### 【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の弾性表面波共振子であって、

前記電極指間溝の深さ G と前記電極膜厚 H との和が、

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

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 5】

50

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の弹性表面波共振子であって、前記 と前記 が、

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

の関係を満たすことを特徴とする弹性表面波共振子。

**【請求項 6】**

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の弹性表面波共振子であって、

10

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  $f_t 2$  、前記 I D T を弹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  $f_r 1$  、前記反射器のストップバンド上端モードの周波数を  $f_r 2$  として、

$$f_r 1 < f_t 2 < f_r 2$$

の関係を満たすことを特徴とする弹性表面波共振子。

**【請求項 7】**

請求項 6 に記載の弹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、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を備え、

20

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弹性表面波共振子。

**【請求項 8】**

請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか 1 項に記載の弹性表面波共振子と、前記 I D T を駆動するための回路を備えたことを特徴とする弹性表面波発振器。

**【請求項 9】**

請求項 1 乃至請求項 8 いずれか 1 項に記載の弹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】**

30

**【0001】**

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

**【背景技術】**

**【0002】**

弹性表面波 ( S A W : surface acoustic wave ) 装置 ( 例えば S A W 共振子 ) 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圧電基板 ( 例えば水晶基板 ) 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。

40

**【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。

50

**【0005】**

また、特許文献4には、レイリー波を利用したSAW装置において水晶基板のカット角を調整すると共に、電極の基準化膜厚( $H / \mu m$ )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して、ストップバンドの下端の共振を用いる場合よりも周波数温度特性が向上する旨が記載されている。

**【0007】**

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

**【0008】**

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

**【0009】**

上記のように、周波数温度特性を改善するための要素は多岐に亘り、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化実現させることは困難であった。20

**【0010】**

上記問題を解決するため、特許文献8においては、水晶基板の弾性表面波の伝搬方向垂直な方向にグループを形成して、グループにより形成される凸部の上に電極を形成した構成を開示している。これにより、経時変化特性や耐温度衝撃特性等の耐環境特性を改善し、高いQ値を実現している。また特許文献9、10においては、高いQ値を実現するため、IDT電極間や、IDT電極の両側に配置された反射器を構成するストライプ状の金属膜の間にグループを形成する構成を開示している。30

**【0011】**

さらに特許文献8においては、グループの深さ、グループ上に形成される電極の膜厚、電極のライン占有率について体系的な調査を行っている。そして弾性表面波共振子をストップバンド上端モードで励振させた場合において、与えられたグループ深さ、電極膜厚に対して、ライン占有率を調整することにより、弾性表面波の二次温度係数の絶対値が0.01 ppm/ $\mu m^2$ 以下になる条件について突き止めている。これにより弾性表面波の周波数温度特性が三次曲線状になるため、変曲点近傍の温度範囲では周波数偏差を抑制できることが期待される。40

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0012】**

【特許文献1】特開平11-214958号公報

【特許文献2】特開2006-148622号公報

【特許文献3】特開2007-208871号公報

【特許文献4】特開2007-267033号公報

10

20

30

40

50

【特許文献 5】特開 2002 - 100959 号公報

【特許文献 6】特開昭 57 - 5418 号公報

【特許文献 7】特許第 3851336 号公報

【特許文献 8】WO 2010 / 098139 号公報

【特許文献 9】特開昭 61 - 220513 号公報

【特許文献 10】特開昭 61 - 220514 号公報

【特許文献 11】特開 2009 - 225420 号公報

【非特許文献】

【0013】

【非特許文献 1】グループ形 SAW 共振器の製造条件と特性（電子通信学会技術研究報告 MW 82 - 59 (1982)）

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

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

【0015】

20

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

【課題を解決するための手段】

【0016】

本発明は上記課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の形態  
または適用例として実現することが可能である。

第 1 の形態に係る弹性表面波共振子は、オイラー角 (-1.5°, 1.5°, 11  
7°, 142°, 42.79° | 49.57°) の水晶基板と、

アルミニウムまたはアルミニウムを主成分とする合金で構成されるとともに前記水晶基  
板上に設けられ、複数の電極指を含み、ストップバンド上端モードの弹性表面波を励振す  
る IDT と、

30

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、を備え  
、

前記電極指間溝の間に配置されている前記水晶基板の凸部のライン占有率を g、前記  
凸部上に配置されている前記電極指のライン占有率を e とし、

前記 IDT の実効ライン占有率  $e_{eff}$  を前記ライン占有率 g と前記ライン占有率  
e との相加平均として、

$$\eta_g > \eta_e$$

40

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

の関係を満たし、

前記弹性表面波の波長を λ、前記電極指間溝の深さを G、前記 IDT の電極膜厚を H と  
し、

前記電極指間溝の深さ G と前記実効ライン占有率  $e_{eff}$  とが

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

50

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

の関係を満たし、

前記 I D T の電極膜厚 H が、

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

の関係を満たすことを特徴とする。

第 2 の形態に係る弾性表面波共振子は、オイラー角 (-1.5°, 1.5°, 117°, 142°, 42.79°, 49.57°) の水晶基板と、アルミニウムまたはアルミニウムを主成分とする合金で構成されるとともに前記水晶基板上に設けられ、複数の電極指を含み、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、を備え、前記電極指間溝の間に配置されている前記水晶基板の凸部のライン占有率を g、前記凸部上に配置されている前記電極指のライン占有率を e とし、前記 I D T の実効ライン占有率 e\_f\_f を前記ライン占有率 g と前記ライン占有率 e との相加平均として、

$$\eta_g > \eta_e$$

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

の関係を満たし、

前記弾性表面波の波長を G、前記電極指間溝の深さを G、前記 I D T の電極膜厚を H とし、前記電極指間溝の深さ G を前記弾性表面波の波長 G で除した値 G / G と、前記実効ライン占有率 e\_f\_f による平面座標を (G / G, e\_f\_f) として、前記平面座標 (G / G, e\_f\_f) が、

(1) 0.000 < H 0.005 の場合、

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

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

(2) 0.005 < H 0.010 の場合、

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

及び、(0.020, 0.650), (0.030, 0.610), (0.040, 0.570), (0.050, 0.550), (0.060, 0.520), (0.070, 0.470), (0.070, 0.370), (0.060, 0.440) の範囲、

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

(3) 0 . 0 1 0 < H 0 . 0 1 5 の場合、  
 (0 . 0 1 0、0 . 7 7 0)、(0 . 0 2 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 3 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 4 0、0 . 7 5 0)、(0 . 0 5 0、0 . 7 5 0)、(0 . 0 6 0、0 . 7 5 0)、(0 . 0 7 0、0 . 7 4 0)、(0 . 0 8 0、0 . 7 4 0)、(0 . 0 8 0、0 . 3 4 0)、(0 . 0 7 0、0 . 5 4 5)、(0 . 0 6 0、0 . 5 9 0)、(0 . 0 5 0、0 . 6 2 0)、(0 . 0 4 0、0 . 6 4 5)、(0 . 0 3 0、0 . 6 7 0)、(0 . 0 2 0、0 . 7 0 5)、(0 . 0 1 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 1 0、0 . 7 7 0)の順に結ぶ線で囲まれた範囲、  
 10

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

(4) 0 . 0 1 5 < H 0 . 0 2 0 の場合、  
 (0 . 0 1 0、0 . 7 7 0)、(0 . 0 2 0、0 . 7 7 0)、(0 . 0 3 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 4 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 5 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 6 0、0 . 7 5 0)、(0 . 0 7 0、0 . 7 5 0)、(0 . 0 7 0、0 . 5 1 0)、(0 . 0 6 0、0 . 5 7 0)、(0 . 0 5 0、0 . 6 2 0)、(0 . 0 4 0、0 . 6 4 0)、(0 . 0 3 0、0 . 6 6 0)、(0 . 0 2 0、0 . 6 7 5)、(0 . 0 1 0、0 . 7 0 0)、(0 . 0 1 0、0 . 7 7 0)の順に結ぶ線の範囲、  
 20

及び、(0 . 0 1 0、0 . 6 9 0)、(0 . 0 2 0、0 . 6 4 0)、(0 . 0 3 0、0 . 5 9 0)、(0 . 0 4 0、0 . 5 5 0)、(0 . 0 5 0、0 . 5 1 0)、(0 . 0 6 0、0 . 4 7 0)、(0 . 0 7 0、0 . 4 1 5)、(0 . 0 7 0、0 . 2 8 0)、(0 . 0 6 0、0 . 3 8 0)、(0 . 0 5 0、0 . 4 7 0)、(0 . 0 4 0、0 . 5 1 0)、(0 . 0 3 0、0 . 5 5 0)、(0 . 0 2 0、0 . 6 1 0)、(0 . 0 1 0、0 . 6 8 0)、(0 . 0 1 0、0 . 6 9 0)の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、  
 30

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

及び、(0 . 0 1 0、0 . 6 9 0)、(0 . 0 2 0、0 . 6 4 0)、(0 . 0 3 0、0 . 5 9 0)、(0 . 0 4 0、0 . 5 5 0)、(0 . 0 5 0、0 . 5 1 0)、(0 . 0 6 0、0 . 4 2 0)、(0 . 0 7 0、0 . 4 1 5)、(0 . 0 7 0、0 . 3 4 0)、(0 . 0 6 0、0 . 3 4 0)、(0 . 0 5 0、0 . 4 2 0)、(0 . 0 4 0、0 . 4 7 0)、(0 . 0 3 0、0 . 5 2 0)、(0 . 0 2 0、0 . 5 8 0)、(0 . 0 1 0、0 . 6 5 0)、(0 . 0 1 0、0 . 6 9 0)の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、  
 40

(6) 0 . 0 2 5 < H 0 . 0 3 0 の場合、  
 (0 . 0 1 0、0 . 7 7 0)、(0 . 0 2 0、0 . 7 7 0)、(0 . 0 3 0、0 . 7 7 0)、(0 . 0 4 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 5 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 6 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 7 0、0 . 7 6 0)、(0 . 0 7 0、0 . 5 5 0)、(0 . 0 6 0、0 . 5 0 5)、(0 . 0 5 0、0 . 5 9 0)、(0 . 0 4 0、0 . 6 2 0)、(0 . 0 3 0、0 . 6 4 5)、(0 . 0 2 0、0 . 6 8 0)、(0 . 0 1 0、0 . 7 0 0)、(0 . 0 1 0、0 . 7 7 0)の順に結ぶ線で囲まれた範囲、  
 50

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

(7) 0.030 < H 0.035 の場合、

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

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

第3の形態に係る弾性表面波共振子は、第1の形態に係る弾性表面波共振子であって、前記実効ライン占有率 e f f が、

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

の関係を満たすことを特徴とする。

第4の形態に係る弾性表面波共振子は、第1乃至第3のいずれか1つの形態に係る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。

第5の形態に係る弾性表面波共振子は、第1乃至第4のいずれか1つの形態に弾性表面波共振子であって、前記 e と前記 f が、

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

の関係を満たすことを特徴とする。

第6の形態に係る弾性表面波共振子は、第1乃至第5のいずれか1つの形態に係る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 t 2 、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 r 1 、前記反射器のストップバンド上端モードの周波数を f r 2 として、

$$fr1 < ft2 < fr2$$

の関係を満たすことを特徴とする。

第7の形態に係る弾性表面波共振子は、第1乃至第6のいずれか1つの形態に係る弾性

10

20

30

40

50

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、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を備え、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。

第8の形態に係る弾性表面波共振子は、第1乃至第7のいずれか1つの形態に係る弾性表面波共振子と、前記IDTを駆動するための回路を備えたことを特徴とする弾性表面波発振器。

本形態に係る電子機器は、第1乃至第8のいずれか1つの形態に係る弾性表面波共振子を備えたことを特徴とする。

[適用例1] オイラー角(-1.5°, 1.5°, 117°, 142°, 42.79°, |, 49.57°)の水晶基板と、前記水晶基板上に設けられ、複数の電極指を含み、ストップバンド上端モードの弾性表面波を励振するIDTと、を備え、平面視で、前記電極指の間の位置に、前記水晶基板の窪である電極指間溝を配置し、前記電極指間溝の間に配置されている前記水晶基板の凸部のライン占有率をg、前記凸部上に配置されている前記電極指のライン占有率をeとし、前記IDTの実効ライン占有率effを前記ライン占有率gと前記ライン占有率eとの相加平均とした場合、下式の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

### 【数1】

$$\eta_g > \eta_e$$

### 【数2】

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

### 【0017】

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

### 【0018】

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

(1) 0.000 < H 0.005 の場合、

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

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

(2) 0.005 < H 0.010 の場合、

(0.010, 0.770), (0.020, 0.740), (0.030, 0.715), (0.040, 0.730), (0.050, 0.740), (0.060, 0.730), (0.070, 0.730), (0.080, 0.730), (0.080, 0.500), (0.070, 0.570), (0.060, 0.610), (0.050

10

20

30

40

50

、(0.630)、(0.040、0.635)、(0.030、0.655)、(0.020、0.680)、(0.010、0.760)、(0.010、0.770)の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

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

(3) 0.010 < H 0.015 の場合、  
 (0.010、0.770)、(0.020、0.760)、(0.030、0.760)、(0.040、0.750)、(0.050、0.750)、(0.060、0.750)、(0.070、0.740)、(0.080、0.740)、(0.080、0.740)、(0.070、0.545)、(0.060、0.590)、(0.050、0.620)、(0.040、0.645)、(0.030、0.670)、(0.020、0.705)、(0.010、0.760)、(0.010、0.770)の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

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

(4) 0.015 < H 0.020 の場合、  
 (0.010、0.770)、(0.020、0.770)、(0.030、0.760)、(0.040、0.760)、(0.050、0.760)、(0.060、0.750)、(0.070、0.750)、(0.070、0.510)、(0.060、0.570)、(0.050、0.620)、(0.040、0.640)、(0.030、0.660)、(0.020、0.675)、(0.010、0.700)、(0.010、0.770)の順に結ぶ線の範囲、

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

(5) 0.020 < H 0.025 の場合、  
 (0.010、0.770)、(0.020、0.770)、(0.030、0.760)、(0.040、0.760)、(0.050、0.760)、(0.060、0.760)、(0.070、0.760)、(0.070、0.550)、(0.060、0.545)、(0.050、0.590)、(0.040、0.620)、(0.030、0.645)、(0.020、0.680)、(0.010、0.700)、(0.010、0.770)の順に結ぶ線で囲まれた範囲、

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

(6) 0.025 < H 0.030 の場合、

10

20

30

40

50

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

及び、 ( 0 . 0 1 0 、 0 . 6 7 0 ) 、 ( 0 . 0 2 0 、 0 . 6 0 5 ) 、 ( 0 . 0 3 0 、 0 . 5 6 0 ) 、 ( 0 . 0 4 0 、 0 . 5 2 0 ) 、 ( 0 . 0 5 0 、 0 . 4 7 0 ) 、 ( 0 . 0 6 0 、 0 . 3 9 5 ) 、 ( 0 . 0 7 0 、 0 . 5 0 0 ) 、 ( 0 . 0 7 0 、 0 . 4 9 0 ) 、 ( 0 . 0 6 0 、 0 . 2 7 0 ) 、 ( 0 . 0 5 0 、 0 . 4 1 0 ) 、 ( 0 . 0 4 0 、 0 . 4 7 0 ) 、 ( 0 . 0 3 0 、 0 . 5 2 0 ) 、 ( 0 . 0 2 0 、 0 . 5 8 0 ) 、 ( 0 . 0 1 0 、 0 . 6 2 0 ) 、 ( 0 . 0 1 0 、 0 . 6 7 0 ) の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれ、  
10

( 7 )  $0 . 0 3 0 < H \leq 0 . 0 3 5$  の場合、

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

及び、 ( 0 . 0 1 0 、 0 . 6 5 5 ) 、 ( 0 . 0 2 0 、 0 . 5 9 0 ) 、 ( 0 . 0 3 0 、 0 . 5 4 0 ) 、 ( 0 . 0 4 0 、 0 . 4 9 5 ) 、 ( 0 . 0 5 0 、 0 . 4 3 5 ) 、 ( 0 . 0 6 0 、 0 . 3 9 5 ) 、 ( 0 . 0 7 0 、 0 . 5 0 0 ) 、 ( 0 . 0 7 0 、 0 . 5 5 0 ) 、 ( 0 . 0 6 0 、 0 . 3 8 0 ) 、 ( 0 . 0 5 0 、 0 . 3 3 0 ) 、 ( 0 . 0 4 0 、 0 . 4 1 0 ) 、 ( 0 . 0 3 0 、 0 . 4 7 0 ) 、 ( 0 . 0 2 0 、 0 . 5 2 0 ) 、 ( 0 . 0 1 0 、 0 . 5 9 0 ) 、 ( 0 . 0 1 0 、 0 . 6 5 5 ) の順に結ぶ線で囲まれた範囲の何れかに含まれることを特徴とする弾性表面波共振子。  
20

#### 【 0 0 1 9 】

上記構成により、Hの厚みに対応して、弾性表面波共振子の二次温度係数の絶対値を0.01 ppm / <sup>2</sup>以下に抑制することができる。

#### 【 0 0 2 0 】

[ 適用例 3 ] 請求項 1 に記載の弾性表面波共振子において、前記電極指間溝の深さGと前記実効ライン占有率  $e_f f$  とが  
30

#### 【 数 3 】

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

#### 【 数 4 】

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

#### 【 0 0 2 1 】

上記構成により、弾性表面波共振子の二次温度係数の絶対値を0.01 ppm / <sup>2</sup>以下に抑制することができる。  
40

#### 【 0 0 2 2 】

[ 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 I D T の電極膜厚Hが、

#### 【 数 5 】

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

#### 【 0 0 2 3 】

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

## 【0024】

[適用例5] 適用例4に記載の弾性表面波共振子であって、

前記実効ライン占有率  $e_f f$  が、

## 【数6】

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

10

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

## 【0025】

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

## 【0026】

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

20

## 【数7】

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

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

## 【0027】

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

## 【数8】

30

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

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

## 【0028】

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

## 【0029】

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

40

、前記IDTにおけるストップバンド上端モードの周波数を  $f_t 2$  、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  $f_r 1$  、前記反射器のストップバンド上端モードの周波数を  $f_r 2$ としたとき、

## 【数9】

$$f_r 1 < f_t 2 < f_r 2$$

の関係を満たすことを特徴とする弾性表面波共振子。

## 【0030】

このような特徴を有することにより、IDTのストップバンド上端モードの周波数  $f_t 2$   
において、反射器の反射係数  $|R|$  が大きくなり、IDTから励振されたストップバン

50

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共振子を実現することができる。

#### 【 0 0 3 1 】

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

#### 【 0 0 3 2 】

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、式 9 の関係を実現させることが可能となる。10

#### 【 0 0 3 3 】

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

#### 【 0 0 3 4 】

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

#### 【 図面の簡単な説明 】

#### 【 0 0 3 5 】

【 図 1 】第 1 実施形態の S A W デバイスの構成を示す図であって、( A ) は平面構成を示す図であり、( B ) は側面における部分拡大断面を示す図であり、( C ) は( B ) における詳細を説明するための部分拡大図であり、( D ) は( C ) における部分拡大図であって、S A W 共振子をフォトリソグラフィ技法とエッチング技法とを用いて製造したときに想定しえる溝部の断面形状を示す図である。20

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

【 図 3 】第 1 実施形態の変形例として傾斜型 I D T を採用した場合における S A W デバイスの構成例を示す図であって、( A ) は電極指を傾斜させて X ' ' 軸に直交させた形態の例であり、( B ) は電極指を繋ぐバスバーを傾斜させた I D T を有する S A W デバイスの例である。

#### 【 図 4 】ストップバンド上端モードと下端モードとの関係を示す図である。

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

#### 【 図 6 】 S T カット水晶基板における温度特性を示す図である。

【 図 7 】ストップバンド上端モードの共振点とストップバンド下端モードの共振点におけるライン占有率 の変化に伴う二次温度係数の変化の違いを示すグラフであり、( A ) は溝深さ G を 2 % とした場合におけるストップバンド上端モードの二次温度係数 の変位を示すグラフであり、( B ) は溝深さ G を 2 % とした場合におけるストップバンド下端モードの二次温度係数 の変位を示すグラフであり、( C ) は溝深さ G を 4 % とした場合におけるストップバンド上端モードの二次温度係数 の変位を示すグラフであり、( D ) は溝深さ G を 4 % とした場合におけるストップバンド下端モードの二次温度係数 の変位を示すグラフである。40

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

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

【 図 10 】電極膜厚を 0 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率 と周波数変動量 F との関係を示すグラフであり、( A ) は溝深さ G を 1 % 、( B ) は溝50

深さ G を 1 . 2 5 % 、 ( C ) は溝深さ G を 1 . 5 % 、 ( D ) は溝深さ G を 2 % 、 ( E ) は溝深さ G を 3 % 、 ( F ) は溝深さ G を 4 % 、 ( G ) は溝深さ G を 5 % 、 ( H ) は溝深さ G を 6 % 、 ( I ) は溝深さ G を 8 % とした場合におけるグラフである。

【図 1 1】電極指間溝の深さと、該電極指間溝の深さが  $\pm 0 . 0 0 1$  ずれた場合の周波数変動量との関係を示すグラフである。

【図 1 2】電極膜厚を変化させた場合における二次温度係数が 0 となる電極指間溝の深さとライン占有率との関係を示すグラフであり、( A ) は電極膜厚を 1 % 、 ( B ) は電極膜厚を 1 . 5 % 、 ( C ) は電極膜厚を 2 % 、 ( D ) は電極膜厚を 2 . 5 % 、 ( E ) は電極膜厚を 3 % 、 ( F ) は電極膜厚を 3 . 5 % とした場合におけるグラフである。  
10

【図 1 3】各電極膜厚における二次温度係数  $0 (\text{ppm}/^2)$  となる 1 と電極指間溝の深さとの関係をグラフにまとめた図であり、( A ) は電極膜厚を 1 % ~ 3 . 5 % まで変化させた際の溝深さ G と 1 との関係を示し、( B ) は、 | | 0 . 0 1 ( ppm /  $^2$  ) となる領域が点 A 乃至 H を結んでなる多角形内であることを説明する図である。

【図 1 4】電極膜厚 H = 0 から H = 0 . 0 3 5 までの電極指間溝の深さとライン占有率との関係を近似曲線で示した図である。

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

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

【図 1 7】電極膜厚を 0 . 0 2 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と二次温度係数との関係を示すグラフであり、( A ) は溝深さ G を 0 、 ( B ) は溝深さ G を 1 % 、 ( C ) は溝深さ G を 2 % 、 ( D ) は溝深さ G を 3 % 、 ( E ) は溝深さ G を 4 % 、 ( F ) は溝深さ G を 5 % の場合におけるグラフである。  
30

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

【図 1 9】電極膜厚を 0 . 0 3 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と二次温度係数との関係を示すグラフであり、( A ) は溝深さ G を 0 、 ( B ) は溝深さ G を 1 % 、 ( C ) は溝深さ G を 2 % 、 ( D ) は溝深さ G を 3 % 、 ( E ) は溝深さ G を 4 % 、 ( F ) は溝深さ G を 5 % の場合におけるグラフである。

【図 2 0】電極膜厚を 0 . 0 3 5 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と二次温度係数との関係を示すグラフであり、( A ) は溝深さ G を 0 、 ( B ) は溝深さ G を 1 % 、 ( C ) は溝深さ G を 2 % 、 ( D ) は溝深さ G を 3 % 、 ( E ) は溝深さ G を 4 % 、 ( F ) は溝深さ G を 5 % の場合におけるグラフである。  
40

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

【図 2 2】電極膜厚を 0 . 0 1 5 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と周波数変動量 F との関係を示すグラフであり、( A ) は溝深さ G を 0 、 ( B ) は溝深さ G を 1 % 、 ( C ) は溝深さ G を 1 . 5 % 、 ( D ) は溝深さ G を 2 . 5 %  
50

、(E)は溝深さGを3.5%、(F)は溝深さGを4.5%の場合におけるグラフである。

【図23】電極膜厚を0.02として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と周波数変動量Fとの関係を示すグラフであり、(A)は溝深さGを0、(B)は溝深さGを1%、(C)は溝深さGを2%、(D)は溝深さGを3%、(E)は溝深さGを4%、(F)は溝深さGを5%の場合におけるグラフである。

【図24】電極膜厚を0.025として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率と周波数変動量Fとの関係を示すグラフであり、(A)は溝深さGを0、(B)は溝深さGを1%、(C)は溝深さGを1.5%、(D)は溝深さGを2.5%、(E)は溝深さGを3.5%、(F)は溝深さGを4.5%の場合におけるグラフである。  
10

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

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

【図27】電極膜厚Hを0 H < 0.005とした場合におけるライン占有率と溝深さGの関係を示すグラフによって| | 0.01 (ppm/<sup>2</sup>)となる範囲を示す図であり、(A)は1、(B)は2の場合を示す。  
20

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

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

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

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

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

【図33】電極膜厚Hを0.030 H < 0.035とした場合におけるライン占有率と溝深さGの関係を示すグラフによって| | 0.01 (ppm/<sup>2</sup>)となる範囲を示す図であり、(A)は1、(B)は2の場合を示す。  
40

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

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

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

【図37】二次温度係数が+0.01 (ppm/<sup>2</sup>)となる電極指間溝の深さとオイ  
50

ラー角との関係を示すグラフである。

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

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

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

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

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

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

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

【図45】電極膜厚 $0.02$ 、電極指間溝の深さ $0.04$ におけるオイラー角と二次温度係数との関係を示すグラフである。

【図46】オイラー角と二次温度係数との関係を示すグラフである。

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

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

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

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

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

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

【図53】I D Tと反射器のS A W反射特性を示す図である。

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

【図55】実施形態に係るS A W発振器の構成を示す図である。

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

【図57】I D Tおよび反射器に保護膜としてアルミナを被覆したS A W共振子における

10

20

30

40

50

動作範囲内の周波数変動量の変化を示すグラフである。

【図58】IDTおよび反射器に保護膜としてSiO<sub>2</sub>を被覆したSAW共振子における動作範囲内の周波数変動量の変化を示すグラフである。

【図59】第2実施形態に係るSAW共振子であって、図59(A)は第2実施形態のSAW共振子の平面図であり、図59(B)は部分拡大断面図、図59(C)は同図(B)における詳細を説明するための拡大図、図59(D)は図59(C)の部分拡大図について、本発明に係るSAW共振子をフォトリソグラフィ技法とエッチング技法とを用いて製造したときに想定しえる断面形状であって、断面形状が矩形ではなく台形状となった場合における、IDT電極指の実効ライン占有率e<sub>eff</sub>の特定方法を説明するための図である。

10

【図60】例1におけるタイプ1とタイプ2の周波数温度特性を示す図である。

【図61】例2におけるタイプ1とタイプ2の周波数温度特性を示す図である。

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

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

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0036】

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

20

##### 【0037】

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

30

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。

##### 【0038】

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

40

##### 【0039】

本実施形態では水晶基板30として、オイラー角(-1.5°, 1.5°, 117°, 142°, 42.79°, 49.57°)で表される面内回転STカット水晶基板を採用した。ここで、図2を参照してオイラー角について説明する。オイラー角(0°, 0°, 0°)で表される基板は、Z軸に垂直な主面を有するZカット基板3となる。

50

## 【0040】

ここで、オイラー角( , , )のはZカット基板3の第1の回転に関するものであり、Z軸を回転軸とし、+X軸から+Y軸側へ回転する方向を正の回転角度とした第1回転角度である。第1の回転後のX軸、Y軸をそれぞれX'軸、Y'軸とする。なお、図2では、オイラー角の説明として、オイラー角のが0°の場合を図示している。よって、図2においては、X軸にX'軸が重なっており、Y軸にY'軸が重なっている。

## 【0041】

オイラー角のはZカット基板3の第1の回転後に行う第2の回転に関するものであり、第1の回転後のX軸(即ち、X'軸)を回転軸とし、第1の回転後の+Y軸(即ち、+Y'軸)から+Z軸へ回転する方向を正の回転角度とした第2の回転角度である。圧電基板のカット面、すなわち上述のウェーハ1のカット面は、第1回転角度と第2回転角度とで決定される。つまり、第2回転後のY軸をY''軸とし、第2回転後のZ軸をZ'軸とした場合、X'軸とY''軸の両方に平行な面が圧電基板のカット面となり、Z'軸がこのカット面の法線となる。

10

## 【0042】

オイラー角のはZカット基板3の第2の回転後に行う第3の回転に関するものであり、第2の回転後のZ軸であるZ'軸を回転軸とし、第2の回転後の+X軸(即ち、+X'軸)から第2の回転後の+Y軸(即ち、+Y''軸)側へ回転する方向を正の回転角度とした第3回転角度である。SAWの伝搬方向は、第2の回転後のX軸(即ち、X'軸)に対する第3回転角度で表される。つまり、第3の回転後のX軸をX'''軸とし、第3回転後のY軸をY''''軸とした場合、X'''軸とY''''軸の両方に平行な面が圧電基板のカット面となり、その法線はZ'軸となる。このように第3の回転を行なっても法線は不变であるので、この圧電基板のカット面も上述のウェーハ1のカット面となる。またX'''軸に平行な方向がSAWの伝搬方向となる。

20

## 【0043】

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

30

## 【0044】

IDT12は、複数の電極指18a、18bの基端部をそれぞれバスバー16a、16bで接続した櫛歯状電極14a、14bを一対有し、一方の櫛歯状電極14aを構成する電極指18aと、他方の櫛歯状電極14bを構成する電極指18bとを所定の間隔をあけて交互に配置している。さらに、図1(A)に示す如く電極指18a、18bは、それら電極指の延長方向が、弾性表面波の伝播方向であるX'''軸と直交するように配置される。このようにして構成されるSAW共振子10によって励起されるSAWは、Rayleigh型(レイリー型)のSAWであり、X'''軸とZ'軸の両方に振動変位成分を有する。そしてこのように、SAWの伝播方向を水晶の結晶軸であるX軸からはずることで、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。

40

## 【0045】

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

## 【0046】

図3(B)は、傾斜型IDT12aの別の実施形態例を示す平面図である。本例では、電極指18a、18bを相互に接続するバスバー16a、16bを傾斜させることにより

50

、X'軸に対して電極指配列方向を傾斜させて配置しているが、図3(A)と同様にX'軸と電極指18a, 18bの延長方向とが直交関係となるように構成されている。

#### 【0047】

どのような傾斜型IDTを用いたとしても、これらの実施形態例のようにX'軸に垂直な方向が電極指の延長方向となるよう電極指を配置することにより、本発明における良好な温度特性を維持しつつ、低損失なSAW共振子を実現することができる。

#### 【0048】

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

#### 【0049】

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

#### 【0050】

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

#### 【0051】

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

#### 【0052】

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

このようにして構成されるIDT12や反射器20を構成する電極膜の材料としては、アルミニウム(A1)やA1を主体とした合金を用いることができる。

#### 【0053】

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

#### 【0054】

なお、上記の理由により電極膜材料として合金を用いる場合、主成分となるA1以外の金属は重量比で10%以下、望ましくは3%以下にすればよい。これにより、純A1を用いた場合とA1合金を用いた場合とで、温度特性やその他電気的特性を互いに同等なもの

10

20

30

40

50

にすることができる。

【0055】

A1以外の金属を主体とした電極を用いる場合には、電極の質量がA1を用いた場合の±10%以内となるようにその電極の膜厚を調整すれば良い。このようにすることでA1を用いたときと同等の良好な温度特性が得られる。

【0056】

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。

【0057】

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10とし、溝深さをGとした場合、

【数10】

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

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5を参照することで読み取れるようだ。

【数11】

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

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 ~ +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25ppm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12】

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

の範囲とすると良い。溝深さGをこのような範囲で定めることにより、溝深さGに製造上のばらつきが生じた場合であっても、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。

【0058】

また、ライン占有率とは図1(C)や図1(D)に示すように、電極指18の線幅(L)を電極指18間のピッチ(S)/2(=L+S)で除した値である。したがって、ライン占有率は、式(4)で示すことができる。

【数13】

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

ここで本実施形態に係るSAW共振子10は、ライン占有率を式(5)、(6)を満たすような範囲で定めると良い。なお、数(5)、(6)からも解るようにG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14】

$$-2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{ただし } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda \\ \dots \quad (5)$$

【数15】

$$-3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 \leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{ただし } 0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda \\ \dots \quad (6)$$

【0059】

10

20

30

40

50

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

【数 16】

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

の範囲とすることが望ましい。

【0060】

さらに、ライン占有率 について式(7)で示した電極膜の厚みを考慮した場合、 は式(8)により求めることができる。 10

【数 17】

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

【0061】

ライン占有率 は、電極膜厚が厚いほど電気的特性（特に共振周波数）の製造ばらつきが大きくなり、電極膜厚 H が式(5)、(6)の範囲内においては ± 0.04 以内の製造ばらつき、 H > 0.035 においては ± 0.04 より大きい製造ばらつきが生じる可能性が大きい。しかしながら、電極膜厚 H が式(5)、(6)の範囲内であり、且つライン占有率 のばらつきが ± 0.04 以内であれば、二次温度係数 の絶対値の小さい SAW デバイスが実現できる。即ちライン占有率 は、式(8)に ± 0.04 の公差を加えた式(9)の範囲まで許容できる。 20

【数 18】

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

【0062】

上記のような構成の本実施形態に係る SAW 共振子 10 では、二次温度係数 を ± 0.01 ( ppm / ° ) 以内とし、望ましくは SAW の動作温度範囲を -40 ~ +85 とした場合に、当該動作温度範囲内における周波数変動量 F を 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。 30

【0063】

ところで、一般的に弾性表面波共振子の温度特性は、下式で示される。

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

ここで、 f は温度 T と頂点温度 T<sub>0</sub> 間の周波数変動量 ( ppm ) 、 α は一次温度係数 ( ppm / ° ) 、 β は二次温度係数 ( ppm / °<sup>2</sup> ) 、 T は温度、 T<sub>0</sub> は周波数が最大となる温度（頂点温度）を意味する。 40

【0064】

例えれば、圧電基板がいわゆる ST カット（オイラー角（ 、 、 ） = (0°, 120° ~ 130°, 0°)）の水晶板で形成されている場合、一次温度係数 = 0.0 ( ppm / ° ) 、二次温度係数 = -0.034 ( ppm / °<sup>2</sup> ) となり、グラフに示すと図 6 のようになる。図 6 において、温度特性は上に凸の放物線（二次曲線）を描いている。

【0065】

図 6 に示すような SAW 共振子は、温度の変化に対する周波数変動量が極めて大きく、 50

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

#### 【0066】

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

#### 【0067】

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

#### 【0068】

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

#### 【0069】

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

#### 【0070】

SAW共振子10の周波数温度特性の変化には上述したように、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ことが、本願発明者が行ったシミュレーションと実験に基づく知見により明らかとなった。そして本実施形態に係るSAW共振子10は、ストップバンド上端モードの励振を利用する。

#### 【0071】

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

10

20

30

40

50

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

#### 【 0 0 7 2 】

図 7 からは、ストップバンド上端モードの場合も下端モードの場合も、ライン占有率 10 が 0 . 6 ~ 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 の変化とストップバンド下端モードにおける二次温度係数 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 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 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 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 の絶対値が小さくなる点が存在している ) ということである。

#### 【 0 0 7 3 】

このことより、 S A W デバイスにおいて良好な周波数温度特性を得るために、ストップバンド上端モードの振動を用いることが望ましいということが明らかとなった。 20

#### 【 0 0 7 4 】

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

#### 【 0 0 7 5 】

図 8 ( A ) 乃至 ( I ) は、図 7 と同様に電極膜厚 H を零 ( H = 0 % ) として、それぞれ溝深さ G を 0 . 0 1 ( 1 % ) から 0 . 0 8 ( 8 % ) まで変化させたときのライン占有率 と二次温度係数 との関係をシミュレーションしたときの評価結果を示すグラフである。評価結果から、溝深さ G を図 8 ( B ) に示す如く 0 . 0 1 2 5 ( 1 . 2 5 % 30 ) としたあたりから = 0 となる点、すなわち周波数温度特性を示す近似曲線が三次曲線を示す点が現れ始めていることが読み取れる。そして、図 8 からは、 = 0 となる がそれぞれ 2 箇所 ( が大きな方における = 0 となる点 ( 1 ) や、 が小さい方における = 0 となる点 ( 2 ) ) が存在することも判明した。更に、図 8 に示す評価結果から、 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 の変動量が大きいという事も読み取ることができる。

#### 【 0 0 7 6 】

この点については、図 9 を参照することによりその理解を深めることができる。図 9 は、溝深さ G をえていった場合において二次温度係数 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 9 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、縦軸 のスケールを 0 . 5 ~ 0 . 9 の範囲で示したグラフにおいて、溝深さ G = 0 . 0 4 となつたあたりでスケールアウトしてしまうほど変動量が大きいということを読み取ることができる。つまり、 2 は、溝深さ G の変化に対する変動量が大きいといえる。 40

#### 【 0 0 7 7 】

図 1 0 ( A ) 乃至 ( I ) は、図 7 や図 8 と同様に電極膜厚 H を零 ( H = 0 % ) として、図 8 における縦軸を二次温度係数 に替えて周波数変動量 F として示したグラフである。図 1 0 からは当然に、 = 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 1 0 からは、 = 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 50

量  $F$  が小さく抑えられているということを読み取ることができる。

#### 【0078】

上記傾向によると、製造時に誤差が生じ易い量に関しては、溝深さ  $G$  の変動に対する  $= 0$  となる点の周波数変動量が少ない方、すなわち 1 を採用することが望ましいと考えられる。図 5 には、各溝深さ  $G$  において二次温度係数  $\alpha$  が最小となる点 ( 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 5 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。

#### 【0079】

なお、図 5 にはシミュレーションによって、溝深さ  $G$  が 0.08 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 0.9 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。

#### 【0080】

図 5 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 21 ~ 図 26 を参照すると解るように、SAW 共振子 10 は電極膜を設けた方が周波数変動量  $F$  を小さくすることができると言えられる。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  $G = 0.94$  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 19】

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

と示すことができる。

#### 【0081】

なお、量産工程において溝深さ  $G$  は、最大  $\pm 0.001$  程度のバラツキを持つ。よって、ライン占有率  $\rho$  を一定とした場合において、溝深さ  $G$  が  $\pm 0.001$  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 11 に示す。図 11 によれば、 $G = 0.04$  の場合において、溝深さ  $G$  が  $\pm 0.001$  ズレた場合、すなわち溝深さが 0.039  $\sim$  0.041 の範囲においては、周波数変動量  $f$  が  $\pm 500$  ppm 程度であるということを読み取ることができる。

#### 【0082】

ここで、周波数変動量  $f$  が  $\pm 1000$  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。しかし、周波数変動量  $f$  が  $\pm 1000$  ppm 以上となつた場合には、周波数の調整により Q 値、C I (crystal impedance) 値等の静特性や、長期信頼性への影響が生じ、SAW 共振子 10 として良品率の低下へと繋がる。

#### 【0083】

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

#### 【数 20】

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

#### 【0084】

ここで、 $f < 1000$  ppm となる  $G$  の値を求めるとき、 $G = 0.0695$  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21】

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

とすることが望ましいということができる。

## 【0085】

次に、図12(A)乃至(F)に、二次温度係数 = 0となる、すなわち三次温特を示すライン占有率 と溝深さGとの関係をシミュレーションしたときの評価結果のグラフを示す。水晶基板30は、オイラー角を(0°, 123°, )とした。ここで については、周波数温度特性が三次曲線の傾向を示す角度、すなわち二次温度係数 = 0となる角度を適宜選択している。なお、図12と同様な条件において、 = 0となるを得た際のオイラー角 と溝深さGとの関係を図34に示す。図34の電極膜厚H = 0.02 のグラフ(図34(C))において、 < 42°のプロットが表示されていないが、このグラフの 2のプロットはG = 0.03 にて = 41.9°となっている。各電極膜厚における溝深さGとライン占有率との関係については、詳細を後述する図15～図20に基づいてプロットを得ている。

## 【0086】

図12(A)乃至(F)に示す評価結果からは、いずれの膜厚においても、上述したように、1は2に比べて溝深さGの変動による変動が少ないということを読み取ることができる。このため、図12におけるそれぞれの膜厚の溝深さGとライン占有率との関係を示すグラフから1を抜き出し図13(A)に 0となる点をプロットしてまとめた。それに対して、0とはならずとも、| 0.01(ppm/m²)を満足する領域を評価したところ、図13(B)に示す如く実線で示す多角形の中に1が集中していることが明らかとなった。

## 【0087】

図13(B)の点a乃至hの座標を下表1に示す。

## 【表1】

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

30

40

## 【0088】

図13(B)は、点a乃至hで囲まれた多角形内であれば、電極膜厚Hの厚みに係わらず| 0.01(ppm/m²)が保証され、良好な周波数温度特性が得られることを示している。この良好な周波数温度特性が得られる範囲は、下に示す式(11)と式(12)、および式(13)の両方を満足する範囲である。

## 【数22】

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

## 【数23】

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

## 【数24】

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

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

## 【数25】

$$\begin{aligned} -2.0000 \times G/\lambda + 0.7200 &\leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{ただし } 0.0100\lambda \leq G \leq 0.0500\lambda \\ \dots \quad (5) \end{aligned}$$

## 【数26】

$$\begin{aligned} -3.5898 \times G/\lambda + 0.7995 &\leq \eta \leq -2.5000 \times G/\lambda + 0.7775 \quad \text{ただし } 0.0500\lambda < G \leq 0.0695\lambda \\ \dots \quad (6) \end{aligned}$$

## 【0089】

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

## 【0090】

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

## 【表2】

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

## 【0091】

また、式(11)～(13)およびこれにより導かれる式(5)、(6)を踏まえて電極膜厚H $0.01$ 、 $0.02$ 、 $0.03$ としたSAW共振子10についてそれぞれ、 $=0$ となる溝深さGとライン占有率との関係を近似直線で示すと図14のようになる。なお、電極膜を設けない水晶基板30における溝深さGとライン占有率との関係については、図9に示した通りである。

## 【0092】

電極膜厚Hを $3.0\%$ ( $0.030$ )以下で変化させたときに、 $=0$ 、即ち、三次曲線の周波数温度特性が得られる。このとき、周波数温度特性が良好となるGととの関係については、図9に示した通りである。

関係式は式(8)で示すことができる。

【数27】

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

ここで、G、Hの単位はである。

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

【0093】

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

【数28】

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

【0094】

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

【0095】

また、図21～図26には、図15～図20にそれぞれ対応したSAW共振子10におけるライン占有率と周波数変動量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。

【0096】

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

【0097】

また、図16(A)乃至(F)は、電極膜厚Hを0.015とした場合のライン占有率と二次温度係数との関係を示す図であり、図22(A)乃至(F)は電極膜厚Hを0.015とした場合のライン占有率と周波数変動量Fとの関係を示す図である。

【0098】

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

【0099】

また、図18(A)乃至(F)は、電極膜厚Hを0.025とした場合のライン占有

10

20

30

40

50

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

#### 【0100】

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

#### 【0101】

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

10

#### 【0102】

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

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

#### 【0103】

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

20

#### 【0104】

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

30

【表3】

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

10

20

## 【0105】

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

## 【0106】

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

30

【表4】

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

40

## 【0107】

図27(B)と表4から、2では電極膜厚Hが上記範囲内である場合、溝深さGが0.03~G=0.09の範囲において、計測点a-nを頂点とする多角形で囲まれた領

50

域内では、 $\lambda$  が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

**【0108】**

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

【表5】

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

10

20

30

**【0109】**

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

**【0110】**

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

【表6】

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

40

50

## 【0111】

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

## 【0112】

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

【表7】

10

点	G / λ	η	β(ppm/°C²)
a	0.010	0.770	-0.099 × 10⁻¹
b	0.020	0.760	-0.099 × 10⁻¹
c	0.030	0.760	-0.099 × 10⁻¹
d	0.040	0.750	-0.099 × 10⁻¹
e	0.050	0.750	-0.099 × 10⁻¹
f	0.060	0.750	-0.099 × 10⁻¹
g	0.070	0.740	-0.099 × 10⁻¹
h	0.080	0.740	-0.098 × 10⁻¹
i	0.080	0.340	0.088 × 10⁻¹
j	0.070	0.545	0.088 × 10⁻¹
k	0.060	0.590	0.099 × 10⁻¹
l	0.050	0.620	0.090 × 10⁻¹
m	0.040	0.645	0.060 × 10⁻¹
n	0.030	0.670	0.030 × 10⁻¹
o	0.020	0.705	0.076 × 10⁻¹
p	0.010	0.760	0.010 × 10⁻¹

20

## 【0113】

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

30

## 【0114】

図29(B)は、電極膜厚Hを0.010 < H 0.015とした場合において、上記 の範囲を満たす 2と溝深さGの関係を示すグラフであり、表8は、図29(B)に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標(G / )と、当該計測点における値を示す表である。

【表 8】

点	$G/\lambda$	$\eta$	$\beta (\text{ppm}/\text{°C}^2)$
a	0.010	0.740	$0.099 \times 10^{-1}$
b	0.020	0.650	$0.090 \times 10^{-1}$
c	0.030	0.610	$0.090 \times 10^{-1}$
d	0.040	0.570	$0.080 \times 10^{-1}$
e	0.050	0.540	$0.060 \times 10^{-1}$
f	0.060	0.480	$0.060 \times 10^{-1}$
g	0.070	0.430	$0.099 \times 10^{-1}$
h	0.070	0.350	$-0.099 \times 10^{-1}$
i	0.060	0.420	$-0.090 \times 10^{-1}$
j	0.050	0.470	$-0.090 \times 10^{-1}$
k	0.040	0.510	$-0.090 \times 10^{-1}$
l	0.030	0.550	$-0.090 \times 10^{-1}$
m	0.020	0.610	$-0.099 \times 10^{-1}$
n	0.010	0.700	$-0.099 \times 10^{-1}$

10

## 【0115】

図29(B)と表8から、2では電極膜厚Hが上記範囲内である場合、溝深さGが0.01～G0.07の範囲において、計測点a-nを頂点とする多角形で囲まれた領域内では、が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

20

## 【0116】

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

【表 9】

点	$G/\lambda$	$\eta$	$\beta (\text{ppm}/\text{°C}^2)$
a	0.010	0.770	$-0.100 \times 10^{-1}$
b	0.020	0.770	$-0.100 \times 10^{-1}$
c	0.030	0.760	$-0.100 \times 10^{-1}$
d	0.040	0.760	$-0.100 \times 10^{-1}$
e	0.050	0.760	$-0.100 \times 10^{-1}$
f	0.060	0.750	$-0.100 \times 10^{-1}$
g	0.070	0.750	$-0.100 \times 10^{-1}$
h	0.070	0.510	$0.100 \times 10^{-1}$
i	0.060	0.570	$0.099 \times 10^{-1}$
j	0.050	0.620	$0.097 \times 10^{-1}$
k	0.040	0.640	$0.096 \times 10^{-1}$
l	0.030	0.660	$0.080 \times 10^{-1}$
m	0.020	0.675	$0.076 \times 10^{-1}$
n	0.010	0.700	$0.010 \times 10^{-1}$

30

40

## 【0117】

図30(A)と表9から、1では電極膜厚Hが上記範囲内である場合、溝深さGが0.01～G0.07の範囲において、計測点a-nを頂点とする多角形で囲まれた領域内では、が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

## 【0118】

図30(B)は、電極膜厚Hを0.015 < H < 0.020とした場合において、上記の範囲を満たす2と溝深さGの関係を示すグラフであり、表10は、図30(B)に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標(G/λ、η)と、当該計測点におけるβの値を示す表である。

50

【表 1 0】

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

10

## 【0 1 1 9】

図 3 0 (B) と表 1 0 から、2 では電極膜厚 H が上記範囲内である場合、溝深さ G が 0 . 0 1 G 0 . 0 7 の範囲において、計測点 a - n を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

20

## 【0 1 2 0】

図 3 1 (A) は、電極膜厚 H を 0 . 0 2 0 < H 0 . 0 2 5 とした場合において、上記の範囲を満たす 1 と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表 1 1 は、図 3 1 (A) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 (G / ) と、当該計測点におけるの値を示す表である。

## 【表 1 1】

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

30

## 【0 1 2 1】

図 3 1 (A) と表 1 1 から、1 では電極膜厚 H が上記範囲内である場合、溝深さ G が 0 . 0 1 G 0 . 0 7 の範囲において、計測点 a - n を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

## 【0 1 2 2】

図 3 1 (B) は、電極膜厚 H を 0 . 0 2 0 < H 0 . 0 2 5 とした場合において、上記の範囲を満たす 2 と溝深さ G の関係を示すグラフであり、表 1 2 は、図 3 1 (B) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 (G / ) と、当該計測点におけるの値を示す表である。

50

【表 1 2】

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

10

## 【0 1 2 3】

図 3 1 (B) と表 1 2 から、2 では電極膜厚  $H$  が上記範囲内である場合、溝深さ  $G$  が 0 . 0 1  $< G < 0 . 0 7$  の範囲において、計測点 a - n を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

20

## 【0 1 2 4】

図 3 2 (A) は、電極膜厚  $H$  を  $0 . 0 2 5 < H < 0 . 0 3 0$  とした場合において、上記の範囲を満たす 1 と溝深さ  $G$  の関係を示すグラフであり、表 1 3 は、図 3 2 (A) に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標 ( $G/\lambda$ 、) と、当該計測点におけるの値を示す表である。

## 【表 1 3】

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

30

## 【0 1 2 5】

図 3 2 (A) と表 1 3 から、1 では電極膜厚  $H$  が上記範囲内である場合、溝深さ  $G$  が 0 . 0 1  $< G < 0 . 0 7$  の範囲において、計測点 a - n を頂点とする多角形で囲まれた領域内では、が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

40

## 【0 1 2 6】

50

図32(B)は、電極膜厚Hを $0.025 < H < 0.030$ とした場合において、上記の範囲を満たす2と溝深さGの関係を示すグラフであり、表14は、図32(B)に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標( $G/\lambda$ 、 $\eta$ )と、当該計測点における $\beta$ の値を示す表である。

【表14】

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

10

20

## 【0127】

図32(B)と表14から、2では電極膜厚Hが上記範囲内である場合、溝深さGが $0.01 < G < 0.07$ の範囲において、計測点a-nを頂点とする多角形で囲まれた領域内では、が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

## 【0128】

図33(A)は、電極膜厚Hを $0.030 < H < 0.035$ とした場合において、上記の範囲を満たす1と溝深さGの関係を示すグラフであり、表15は、図33(A)に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標( $G/\lambda$ 、 $\eta$ )と、当該計測点における $\beta$ の値を示す表である。

30

【表15】

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

40

## 【0129】

図33(A)と表15から、1では電極膜厚Hが上記範囲内である場合、溝深さGが $0.01 < G < 0.07$ の範囲において、計測点a-nを頂点とする多角形で囲まれ

50

た領域内では、 $\gamma$  が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

#### 【0130】

図33(B)は、電極膜厚Hを  $0.030 < H < 0.035$  とした場合において、上記の範囲を満たす  $\gamma$  と溝深さGの関係を示すグラフであり、表16は、図33(B)に示す範囲を定めるための主要な計測点の座標( $G/\lambda$ 、 $\gamma$ )と、当該計測点における $\beta$ の値を示す表である。

#### 【表16】

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

10

20

#### 【0131】

図33(B)と表16から、 $\gamma$  と溝深さGが上記範囲内である場合、溝深さGが  $0.01 < G < 0.07$  の範囲において、計測点a - nを頂点とする多角形で囲まれた領域内では、 $\gamma$  が上記要件を満たすということを読み取ることができる。

#### 【0132】

図35に、図34に示すグラフにおける $\theta_1$ によって得られる $\gamma$ と溝深さGとの関係をまとめた。なお、 $\theta_1$ を選択した理由については上述した通りである。図35に示すように、電極膜の膜厚が変化した場合であっても、 $\gamma$ の角度には殆ど違いは無く、 $\theta_1$ 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 $\beta$ 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ふことができる。

30

#### 【0133】

上記と同様にして、二次温度係数 $\beta = -0.01$  (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$ )となる $\theta_1 = +0.01$  (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$ )となる $\gamma$ について溝深さGとの関係を求め、図36、図37にまとめた。これらのグラフ(図35～図37)から $-0.01 < \theta_1 < +0.01$  とすることのできる $\gamma$ の角度を求めるとき、上記条件下における好適な $\theta_1$ の角度範囲は  $43^{\circ} < \theta_1 < 45^{\circ}$  と定めることができ、さらに好適には  $43.2^{\circ} < \theta_1 < 44.2^{\circ}$  と定めることができる。

#### 【0134】

40

なお、電極膜厚Hを変化させた場合において、溝深さGを変化させた際に  $| \theta_1 | = 0.01$  (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$ )の要件を満たす $\gamma$ の範囲についてシミュレーションを行った。そのシミュレーションの結果を、図38～図44に示す。なお、水晶基板はいずれもオイラー角( $0^{\circ}, 123^{\circ}, 0^{\circ}$ )のものを使用し、 $\theta_1$ については適宜 $\theta_F$ が最少となる角度を選択する。

#### 【0135】

図38(A)は、電極膜厚Hの範囲を  $0 < H < 0.005$  とした場合において、 $| \theta_1 | = 0.01$  (ppm/ $^{\circ}\text{C}^2$ )の要件を満たす $\gamma$ の範囲を示すグラフである。ここで、 $\theta_1$ の最大値を示すプロットを結ぶ直線と、 $\theta_1$ の最小値を示すプロットを結ぶ破線とで挟まれた範囲が、上記条件を満たす範囲である。

50

## 【0136】

溝深さ G を  $0.01 \leq G \leq 0.0695$  の範囲として、図 38 (A) に示す実線と破線の範囲を多角形状で近似すると、図 38 (B) のように示すことができ、図 38 (B)において実線で示される多角形の内側にあたる範囲では、 $\psi$  が上記条件を満たすといえる。図 38 (B) に示される多角形の範囲を近似式で示すと、式 (14)、(15) で示すことができる。

## 【数 29】

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

10

## 【数 30】

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

## 【0137】

図 39 (A) は、電極膜厚 H の範囲を  $0.005 < H < 0.010$  とした場合において、 $|\psi| \leq 0.01 (\text{ppm}/\lambda^2)$  の要件を満たす  $\psi$  の範囲を示すグラフである。ここで、 $\psi$  の最大値を示すプロットを結ぶ直線と、 $\psi$  の最小値を示すプロットを結ぶ破線とで挟まれた範囲が、上記条件を満たす範囲である。

## 【0138】

20

溝深さ G を  $0.01 \leq G \leq 0.0695$  の範囲として、図 39 (A) に示す実線と破線の範囲を多角形状で近似すると、図 29 (B) のように示すことができ、図 39 (B)において実線で示される多角形の内側にあたる範囲では、 $\psi$  が上記条件を満たすといえる。図 39 (B) に示される多角形の範囲を近似式で示すと、式 (16)、(17) で示すことができる。

## 【数 31】

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

## 【数 32】

30

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

## 【0139】

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

## 【0140】

40

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

## 【数 33】

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

## 【数34】

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

## 【0141】

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

## 【0142】

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

## 【数35】

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

## 【数36】

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

## 【0143】

図42は、電極膜厚Hの範囲を  $0.020 < H \leq 0.025$  とした場合において、 $| \quad | \quad 0.01 \text{ (ppm)} / \text{cm}^2$  の要件を満たすの範囲を示すグラフである。ここで、の最大値を示すプロットを結ぶ直線と、の最小値を示すプロットを結ぶ破線とで挟まれた範囲が、上記条件を満たす範囲である。

## 【0144】

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

## 【数37】

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

## 【数38】

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

## 【数39】

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

## 【0145】

図43(A)は、電極膜厚Hの範囲を  $0.025 < H \leq 0.030$  とした場合において、 $| \quad | \quad 0.01 \text{ (ppm)} / \text{cm}^2$  の要件を満たすの範囲を示すグラフである。ここで、の最大値を示すプロットを結ぶ直線と、の最小値を示すプロットを結ぶ破線と

10

20

30

40

50

で挟まれた範囲が、上記条件を満たす範囲である。

【0146】

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

【数 4 0】

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

10

【数 4 1】

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

【数 4 2】

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

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

20

【0147】

溝深さ G を  $0.01 \leq G \leq 0.0695$  の範囲として、図 44 (A) に示す実線と破線の範囲を多角形状で近似すると、図 44 (B) のように示すことができ、図 44 (B) において実線で示される多角形の内側にあたる範囲では、 $\psi$  が上記条件を満たすといえる。図 44 (B) に示される多角形の範囲を近似式で示すと、式 (28) ~ (30) で示すことができる。

【数 4 3】

30

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

【数 4 4】

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

【数 4 5】

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

40

【0148】

次に、図 45 に  $\theta$  の角度を振った際の二次温度係数  $\alpha$  の変化、すなわち  $\alpha$  と二次温度係数  $\beta$  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  $(0^\circ, 0^\circ, 0^\circ)$  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、 $\theta$  に関しては、 $\theta$  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  $\alpha$  の絶対値が最小となる値を選択した。また、 $\beta$  に関しては、上記式 (8) に従って、 $0.6383$  とした。

【0149】

このような条件の下、 $\alpha$  と二次温度係数  $\beta$  との関係を示す図 45 からは、 $\alpha = 117^\circ$

50

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 ( ppm / °C<sup>2</sup> ) 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 117° 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 共振子 10 を構成することができると言える。

## 【0150】

と二次温度係数との関係を裏付けるシミュレーションデータとして、表 17 ~ 19 を示す。

## 【表 17】

H/λ	G/λ	θ	β
%	%	°	ppm/°C <sup>2</sup>
0.01	4.00	117	-0.09 × 10 <sup>-1</sup>
0.01	4.00	142	0.05 × 10 <sup>-1</sup>
3.50	4.00	117	-0.09 × 10 <sup>-1</sup>
3.50	4.00	142	-0.08 × 10 <sup>-1</sup>

10

## 【0151】

表 17 は、電極膜厚 H を変えた場合における と二次温度係数との関係を示す表であり、電極膜厚 H を 0.01% とした場合と、電極膜厚 H を 3.50% とした場合における の臨界値 ( 117° 、 142° ) での二次温度係数の値を示す。なお、このシミュレーションにおける溝深さ G は、いずれも 4% である。表 17 からは、 117° 142° の範囲では、電極膜厚 H の厚みを変えた場合 ( 電極膜厚の臨界値として規定した 0.001% と 3.5% ) であっても、その厚みに依存する事無く | | 0.01 ( ppm / °C<sup>2</sup> ) を満足するということを読み取ることができる。

20

## 【0152】

## 【表 18】

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

30

表 18 は、溝深さ G を変えた場合における と二次温度係数との関係を示す表であり、溝深さ G を 1.00% と 6.95% とした場合における の臨界値 ( 117° 、 142° ) での二次温度係数の値を示す。なお、このシミュレーションにおける電極膜厚 H は、いずれも 2.00% である。表 18 からは、 117° 142° の範囲では、溝深さ G を変えた場合 ( 溝深さ G の臨界値として規定した 1.00% と 6.95% ) であっても、その深さに依存する事無く | | 0.01 ( ppm / °C<sup>2</sup> ) を満足するということを読み取ることができる。

40

## 【0153】

## 【表 19】

H/λ	G/λ	η	θ	β
%	%		°	ppm/°C²
2.00	4.00	0.62	117	-0.10 × 10⁻¹
2.00	4.00	0.62	142	-0.03 × 10⁻¹
2.00	4.00	0.76	117	-0.09 × 10⁻¹
2.00	4.00	0.76	142	-0.09 × 10⁻¹

表 19 は、ライン占有率 を変えた場合における と二次温度係数 との関係を示す表 10 であり、ライン占有率 を 0.62 と 0.76 とした場合における の臨界値 (117°、142°) での二次温度係数 の値を示す。なお、このシミュレーションにおける電極膜厚 H は、いずれも 2.00 % であり、溝深さ G は、いずれも 4.00 % である。表 19 からは、117°～142° の範囲では、ライン占有率 をえた場合 (= 0.62、0.76) は、電極膜厚 H を 0.020 ~ 0.025 の範囲としてライン占有率 (-1) と溝深さ G の関係を示した図 31 (A) において、溝深さを 4 % とした場合における の最小値と最大値) であっても、その値に依存する事無く | | 0.01 (ppm/°²) を満足するということを読み取ることができる。

## 【0154】

図 46 は、オイラー角表示で (123°, 43.77°) 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

## 【0155】

図 46 からは、が -2°、+2° の場合にはそれぞれ二次温度係数 が -0.01 (ppm/°²) よりも低くなってしまっているが、が -1.5° から +1.5° の範囲であれば確実に、二次温度係数 の絶対値が 0.01 (ppm/°²) の範囲内にある事を読み取ることができる。よって、上記のような設定値において を -1.5°、+1.5°、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。

## 【0156】

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 47 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 47 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 47 の例では、 = 117° とした場合の は 42.79° であり、 = 142° 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 47 中破線で示す曲線となり、近似式としては式 (31) で示すことができる。

## 【数 46】

$$\psi = 1.19024 \times 10^{-3} \times \theta^3 - 4.48775 \times 10^{-1} \times \theta^2 + 5.64362 \times 10^1 \times \theta - 2.32327 \times 10^3 \pm 1.0 \quad 40$$

$$\dots (31)$$

## 【0157】

のことより、 は 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 = 0.04 、H = 0.02 とした。

## 【0158】

上記のような理由により、本実施形態において種々定めた条件により SAW 共振子 10

10

20

30

40

50

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ます。

#### 【0159】

また、本実施形態に係る SAW 共振子 10 では、式(7)や図 15～図 26 に示したように、電極膜の膜厚  $H$  を  $0 < H \leq 0.035$  の範囲とした上で周波数温度特性の改善を図っている。これは、従来のように膜厚  $H$  を極度に厚くして周波数温度特性の改善を図るものとは異なり、耐環境特性を維持したまま周波数温度特性の改善を実現するものである。図 54 に、ヒートサイクル試験における電極膜厚（A1 電極膜厚）と周波数変動との関係を示す。なお、図 54 に示したヒートサイクル試験の結果は、-55 霧団気下において SAW 共振子を 30 分間晒した上で霧団気温度 +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 54 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 54 は何れのプロットも  $H + G = 0.06$  としている。

10

#### 【0160】

また、図 54 と同じ条件で製造された SAW 共振子について、125 霧団気に 100 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。

20

#### 【0161】

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 ( $0^\circ, 123^\circ, 43.5^\circ$ )、IDT の対数 120 対、交差幅 40 ( $= 10 \mu m$ )、反射器本数 (片側あたり) 72 本 (36 対)、電極指の傾斜角度なし (電極指の配列方向と SAW の位相速度方向が一致)、といった条件で製造された SAW 共振子 10 では、図 48 に示すような周波数温度特性を示すこととなる。

#### 【0162】

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

30

#### 【0163】

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

40

#### 【0164】

図 48 に示すような周波数温度特性を示す SAW 共振子 10 における周波数と等価回路定数、および静特性を図 50 にまとめた。ここで、F は周波数、Q は Q 値、 $\beta$  は容量比、C/I は C/I (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。

#### 【0165】

また、図 52 には、従来の SAW 共振子と、本実施形態に係る SAW 共振子 10 における段差と Q 値との関係を比較するためのグラフを示す。なお、図 52 においては、太線で示すグラフが本実施形態に係る SAW 共振子 10 の特性を示すものであり、電極指間に溝を設け、且つストップバンド上端モードの共振を用いたものである。細線で示すグラフが従来の SAW 共振子の特性を示すものであり、電極指間に溝を設けずにストップバンド上

50

端モードの共振を用いたものである。図52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0.0407(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。

#### 【0166】

なお、シミュレーションに係るSAW共振子の基本データは以下の通りである。

- ・本実施形態に係るSAW共振子10の基本データ

H : 0.02

G : 変化

IDTライン占有率 i : 0.6

10

反射器ライン占有率 r : 0.8

オイラー角(0°, 123°, 43.5°)

対数 : 120

交差幅 : 40 (= 10 μm)

反射器本数(片側あたり) : 60

電極指の傾斜角度なし

- ・従来のSAW共振子の基本データ

H : 変化

G : ゼロ

IDTライン占有率 i : 0.4

20

反射器ライン占有率 r : 0.3

オイラー角(0°, 123°, 43.5°)

対数 : 120

交差幅 : 40 (= 10 μm)

反射器本数(片側あたり) : 60

電極指の傾斜角度なし

#### 【0167】

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

30

#### 【0168】

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

#### 【数47】

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

40

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。

#### 【0169】

これに対し、IDT12のストップバンド上端の周波数 $f_{t2}$ と反射器20のストップバンド下端の周波数 $f_{r1}$ 、反射器20のストップバンド上端の周波数 $f_{r2}$ との関係を $f_{t2} < f_{r1}$ の状態や $f_{r2} < f_{t2}$ の状態に設定してしまうと、IDT12のストップバンド上端周波数 $f_{t2}$ において反射器20の反射係数が小さくなってしまい、強い

50

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。

**【0170】**

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

10

**【0171】**

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

**【0172】**

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

20

**【0173】**

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

**【0174】**

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

30

**【0175】**

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

・図57に示す例に係るSAW共振子の基本データ

H(材質:アルミ) : 2000( )

G : 4700( )

(H+G = 0.067 )

40

IDTライン占有率 i : 0.6

反射器ライン占有率 r : 0.8

オイラー角(0°, 123°, 43.5°)の面内回転STカット基板

対数: 120

交差幅: 40 ( = 10(μm) )

反射器本数(片側あたり): 36

電極指の傾斜角度なし

保護膜(アルミナ)の膜厚 400( )

二次温度係数 = +0.0007(ppm/°C)

**【0176】**

50

図58に示す例は、電極に対して保護膜としてのSiO<sub>2</sub>を皮膜した場合における動作温度範囲内における周波数変動量を示す図である。図58によれば、動作温度範囲内における周波数変動量は、20( ppm )以下とすることができるこ<sup>10</sup>とが読み取ることができる。

・図58に示す例に係るSAW共振子の基本データ

H(材質:アルミ): 2000( )

G: 4700( )

(H+G = 0.067 )

IDTライン占有率 i : 0.6

反射器ライン占有率 r : 0.8

オイラー角(0°, 123°, 43.5°)の面内回転STカット基板

対数: 120

交差幅: 40 ( = 10( μm ))

反射器本数(片側あたり): 36

電極指の傾斜角度なし

保護膜(SiO<sub>2</sub>)の膜厚 400( )

二次温度係数 = +0.0039( ppm / °C )

【0177】

本願発明者は、上述のように設計されたG及びHに対してライン占有率<sup>20</sup>を調整することにより、二次温度係数の絶対値を0.01 ppm / °C以下にすることが可能である点について言及した。一方、ストップバンドの上端モードで励振させた場合において、ライン占有率<sup>30</sup>に変動が生じた場合に、弾性表面波の周波数温度特性が変動することを本願発明者は見出した。弾性表面波共振子を複数製造する場合に、全ての弾性表面波共振子を所望の設計ライン占有率に一致させることは困難であり、設計ライン占有率とは異なったライン占有率のものが製造される場合がある。このとき、そのライン占有率の設計ライン占有率からの変動量は一定とはならずライン占有率にバラつきが発生する。よって、弾性表面波共振子を複数製造した場合は、弾性表面波の周波数温度特性にバラつきが発生することになる。したがって、これらの原因により弾性表面波素子の動作温度範囲における周波数偏差にバラつきを発生させ、弾性表面波共振子の歩留を低下させる原因となることを本願発明者は見出した。

【0178】

さらに、上述のように、ライン占有率<sup>40</sup>にバラつきが発生した場合の一次温度係数の変動量が最小になるときのライン占有率<sup>50</sup>と、二次温度係数<sup>40</sup>が最小(-0.01 -0.01)となるライン占有率<sup>50</sup>の値とが互いに一致しないことも本願発明者は見出した。

そこで第2実施形態においては、二次温度係数<sup>50</sup>の値を上述の範囲に抑制するとともに、動作温度範囲の周波数温度特性において支配的に作用する一次温度係数の変動量を最小にすることが可能なSAWデバイスについて説明する。

【0179】

図59に第2実施形態に係るSAW共振子の模式図を示す。なお図59において、図59(A)は第2実施形態のSAW共振子の平面図であり、図59(B)は部分拡大断面図、図59(C)は同図(B)における詳細を説明するための拡大図、図59(D)は図59(C)の部分拡大図に関して、本発明に係るSAW共振子をフォトリソグラフィ技法とエッチング技法とを用いて製造したときに想定しえる断面形状であって、断面形状が矩形ではなく台形状となった場合における、IDT電極指の実効ライン占有率effの特定方法を説明するための図である。

【0180】

第2実施形態のSAW共振子の基本的構成は、第1実施形態のSAW共振子10と類似する。すなわち、SAW共振子110は、水晶基板30と、水晶基板上に形成されたIDT112と、IDT112の両側に形成された反射器120を有する構成である。そしてIDT112は、弾性表面波(波長λ)が伝播する方向に対して、垂直な方向に延長し、

且つ互いに交差する櫛歯状電極 114a、114bにより形成されている。そして櫛歯状電極 114aは、弾性表面波の伝播方向に等間隔( )に並べて配置された複数の電極指 118aと、複数の電極指 118aを並列に接続するバスバー 116aにより構成される。同様に櫛歯状電極 114bは、弾性表面波の伝播方向に等間隔( )に並べて配置された複数の電極指 118bと、複数の電極指 118bを並列に接続するバスバー 116bにより構成される。よって電極指 118a、電極指 118bは弾性表面波の伝播方向に交互に等間隔( /2)で配置される。そして反射器 120は、弾性表面波の伝播方向に等間隔( /2)で配置された導体ストリップ 122を有する。そして SAW 共振子 110は、ストップバンド上端モードにより弾性表面波を励振する。

【0181】

10

第 1 実施形態においては、電極指間溝 32 により形成される凸部 34 と電極指 18a、18b の弾性表面波の伝搬方向の幅は一致している。しかし、本実施形態においては、電極指間溝 132 により形成される凸部 134 上の電極指 118a, 118b の弾性表面波の伝搬方向の幅は、凸部の弾性表面波の伝搬方向の幅より狭くなっている点で相違する。そして電極指 118a、118b の弾性表面波の伝播方向の両端は、平面視して凸部 134 の弾性表面波の伝播方向の両端より内側に配置されている。よって、凸部 134 の弾性表面波の伝播方向の両端は、電極指 118a、118b で覆われずに露出した状態となっている。そして同様な構成は IDT 112 の両端に配置された反射器 120 にも形成されている。

【0182】

20

図 59(C)において、凸部 134 の弾性表面波の伝播方向の幅を Lg とし、電極指 118a、118b の弾性表面波の伝搬方向の幅を Le とすると、

【数 48】

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

となる。これにより、第 1 実施形態と比較して、電極指 118a、118b から発散される電気力線を凸部 134 が取りこむ量(立体角)が増えるので、弾性表面波の励振効率を向上させ、SAW 共振子 110 の損失を低減させることができる。

30

【0183】

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

【0184】

40

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

【数 49】

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

50

を実効幅とし、その両端位置で弾性表面波を反射するものと考えることができる。よってこのときの実効ライン占有率  $\eta_{eff}$  は、凸部 134 のライン占有率を  $\eta_g$  ( $= L_g / P$ )、電極指 118a、118b のライン占有率を  $\eta_e$  ( $= L_e / P$ ) とすると、  
【数 5 0】

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

となる。このとき、  
【数 5 1】

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

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

【0185】

また、図 59(D) のように、電極指 119、及び凸部 135 の幅方向の両側面が傾斜し、断面が台形状になっている場合は、電極指 119 の厚み方向の下端の幅を  $L_{eb}$ 、上端の幅を  $L_{et}$  とする。そして凸部 135 の厚み方向の下端の幅を  $L_{gb}$ 、上端の幅を  $L_{gt}$  とする。このとき、  
【数 5 2】

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

である。このとき、 $L_e$ 、 $L_g$  は、  
【数 5 3】

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

と定義する。  
【0186】

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

【0187】

本調査に用いた SAW デバイスは、タイプ 1、タイプ 2 とともに、オイラー角( $\alpha = 0^\circ$ 、 $\beta = 123^\circ$ 、 $\gamma = 44^\circ$ )、G = 0.046、H = 0.021 とし、また IDT 電極の対数を 210 対、IDT 電極の両端にある反射器の本数を片側あたり 94 本とした。  
【0188】

10

20

30

40

50

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

#### 【0189】

次に、例 2 として、タイプ 1 では電極指 118a、118b のライン占有率  $e$  を 0.66、凸部 134 のライン占有率  $g$  を 0.66 とし、これによりライン占有率  $g$  を 0.66 とした。タイプ 2 では、 $e$  を 0.59、 $g$  を 0.73 とし、実効ライン占有率  $e_{eff}$  を 0.66 とした。すなわち、いずれの例においても、タイプ 2 の  $e_{eff}$  は、タイプ 1 の  $e$  の値を維持しつつ、 $g > e$  となるように調整している。また、CI 値については各タイプのサンプルを多数 (1784 個) 用意し、その平均値を算出した。  
10

#### 【0190】

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

#### 【0191】

20

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

#### 【0192】

さらに例 1 では、タイプ 1 の CI 値は 23.8 であったが、タイプ 2 においては 20.1 に改善している。また例 2 では、タイプ 1 の CI 値は 22.4 であったが、タイプ 2 では 19.2 に改善し、例 1、例 2 のタイプ 2 において低損失な SAW 共振子を実現している。これは上述のように、電極指から発生する電気力線を凸部が見込む立体角が、タイプ 1 に比較してタイプ 2 の方が大きくなり、励振効率が高まったからと考えられる。  
30

#### 【0193】

次に、タイプ 1、タイプ 2 の一次温度係数の変動量の変化を調査した。図 62 にタイプ 1 のライン占有率  $g$  を 0.01 変化させたときの一次温度係数の変動量の変化を示し、図 63 はタイプ 2 の実効ライン占有率  $e_{eff}$  を 0.01 変化させたときの一次温度係数の変動量の変化を示す。本調査に用いた SAW デバイスは、タイプ 1、タイプ 2 ともに、オイラー角 ( $\theta = 0^\circ$ 、 $\phi = 123^\circ$ 、 $\psi = 44^\circ$ )、 $G = 0.045$ 、 $H = 0.02$  とした。  
40

#### 【0194】

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

#### 【0195】

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

#### 【0196】

上述のように、例 1 のタイプ 1 及びタイプ 2 は、図 60 に示すように、12 ppm とい  
50

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

【数54】

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

10

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

【0197】

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

20

【0198】

また、上述のことから、タイプ2は $e_{eff}$ の値と一致するを有するタイプ1の周波数温度特性を維持したものとなっている。よって、上述の横軸を $e_{eff}$ とする全ての図において $e_{eff}$ を $e_{eff}$ に置き換えて考えることができる。したがって、 $e_{eff}$ を、式(39)の範囲に含まれ、かつ図13(B)においてアルファベット順に結んで一巡する線に囲まれた範囲、すなわち上述の式(3)、式(5)、式(6)を満たす範囲に設計することにより、一次温度係数の変動量を抑制してSAW共振子110の動作温度範囲における周波数偏差のバラつきを抑制するとともに、二次温度係数の絶対値を0.01(ppm/°)以下に抑制することができる。

30

【0199】

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

40

【0200】

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

50

することができる。

**【0201】**

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

**【0202】**

また、上記実施形態では、電極膜として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。さらに電極膜上にSiO<sub>2</sub>やアルミナなどの保護膜を設けても良い。

10

**【0203】**

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

**【0204】**

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

20

**【0205】**

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

30

**【0206】**

よって、近年の情報通信の高速化によるリファレンスクロックの高周波化に加え、ブレードサーバをはじめとする筐体の小型化に伴い、内部発熱の影響が大きくなり、内部に搭載される電子デバイスに求められる動作温度範囲の拡大や高精度化の要求、更には、屋外に設置される無線基地局など低温から高温の環境において、長期に亘って安定した動作が必要とされている市場において、本発明に係るSAW発振器は、動作温度範囲(使用温度範囲：-40～+85)で周波数変動量が約20(ppm)以下という極めて良好な周波数温度特性を有しているので好適である。

40

**【0207】**

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

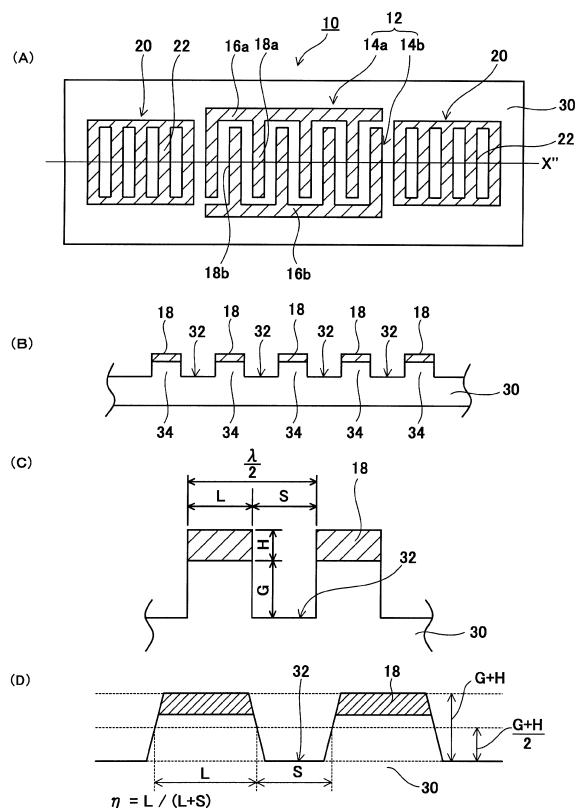
**【符号の説明】**

50

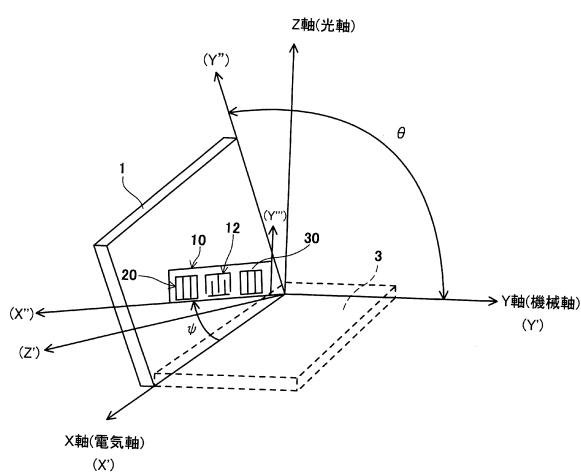
## 【0208】

10 ..... 弹性表面波共振子 (S A W 共振子)、12 ..... I D T、14a, 14b ..... 櫛齒状電極、16a, 16b ..... バスバー、18a, 18b ..... 電極指、20 ..... 反射器、22 ..... 導体ストリップ、30 ..... 水晶基板、32 ..... 溝、34 ..... 凸部、110 ..... 弹性表面波共振子 (S A W 共振子)、112 ..... I D T、114a, 114b ..... 櫛齒状電極、116a, 116b ..... バスバー、118a, 118b ..... 電極指、119 ..... 電極指、120 ..... 反射器、122 ..... 導体ストリップ、132 ..... 溝、134 ..... 凸部、135 ..... 凸部。

【図1】



【図2】



X' (電気軸)  
(X)

Y' (機械軸)  
(Y)

Z' (光軸)

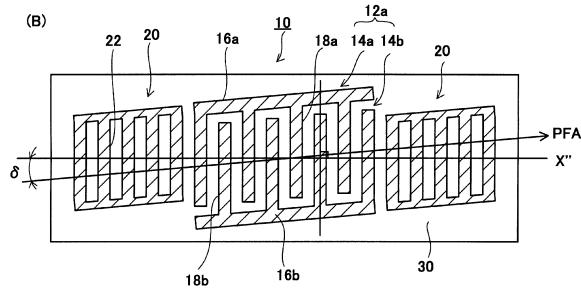
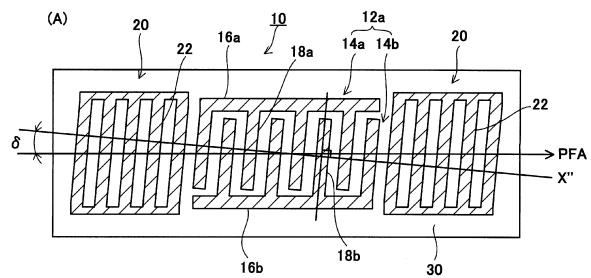
(Y'')

(Y''')

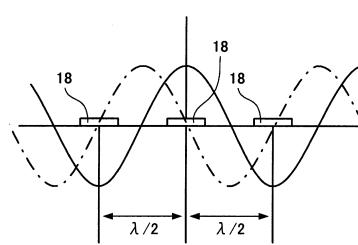
θ

ψ

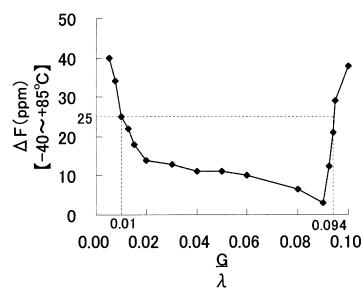
【図3】



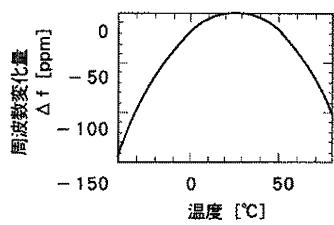
【図4】



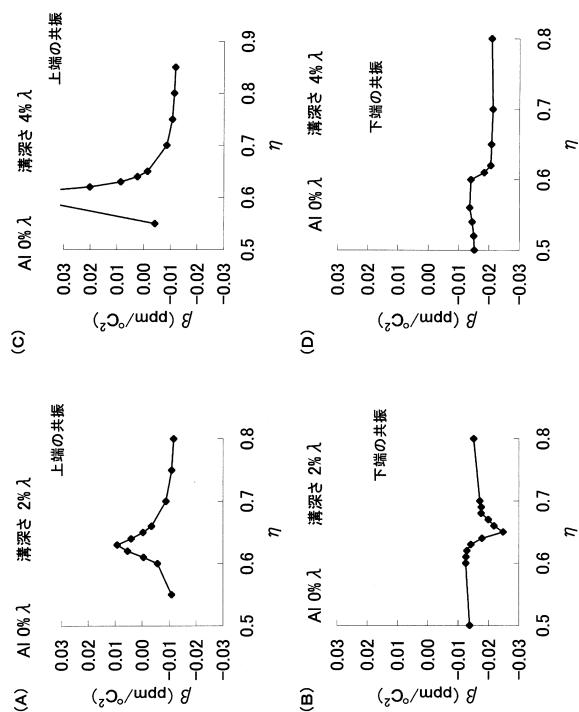
【図5】



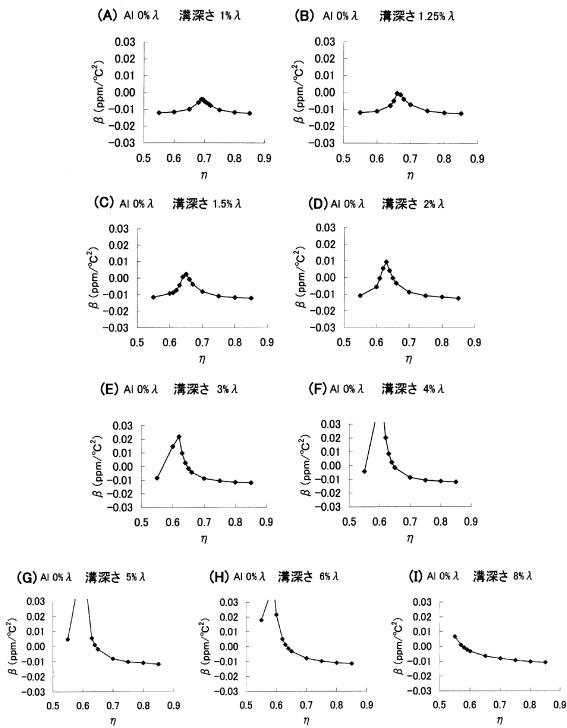
【図6】



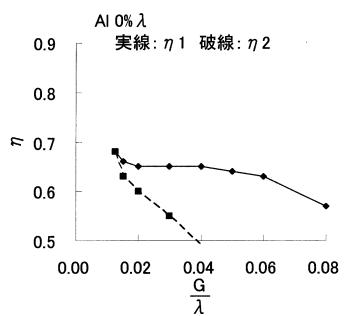
【図7】



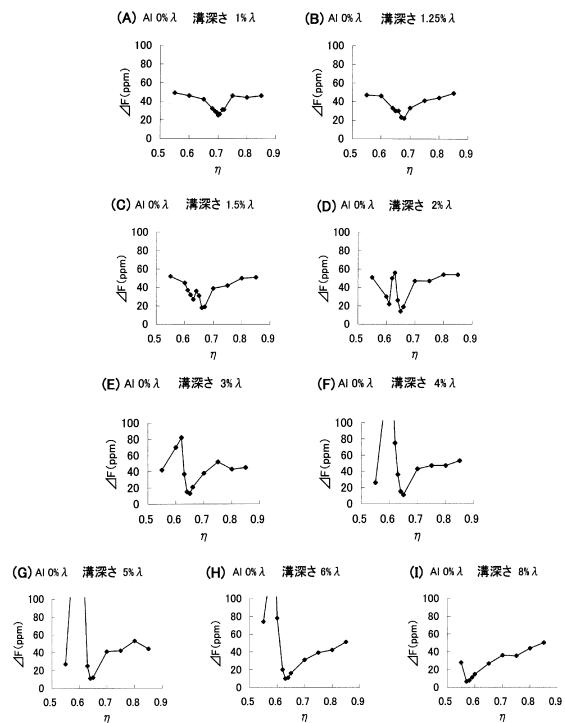
【図8】



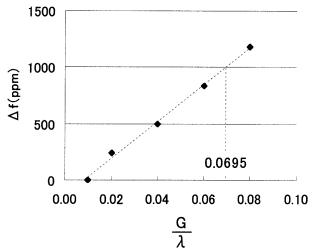
【図9】



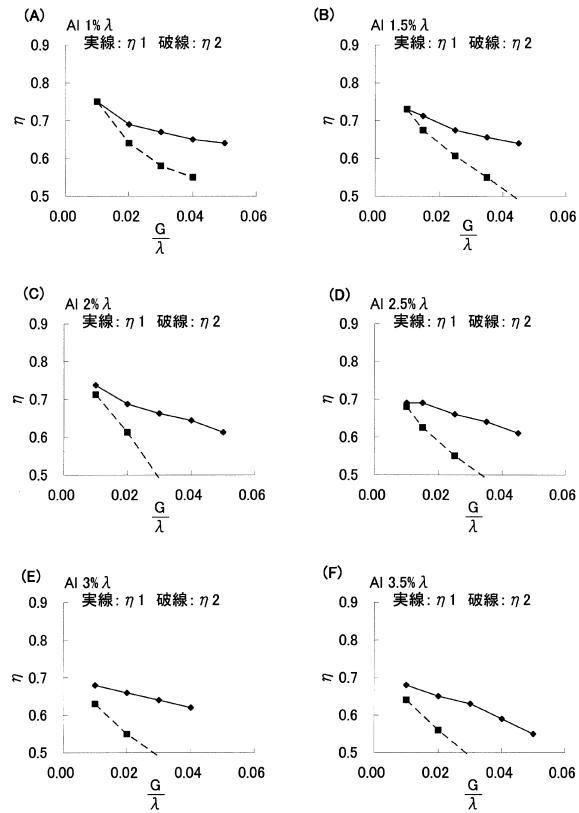
【図10】



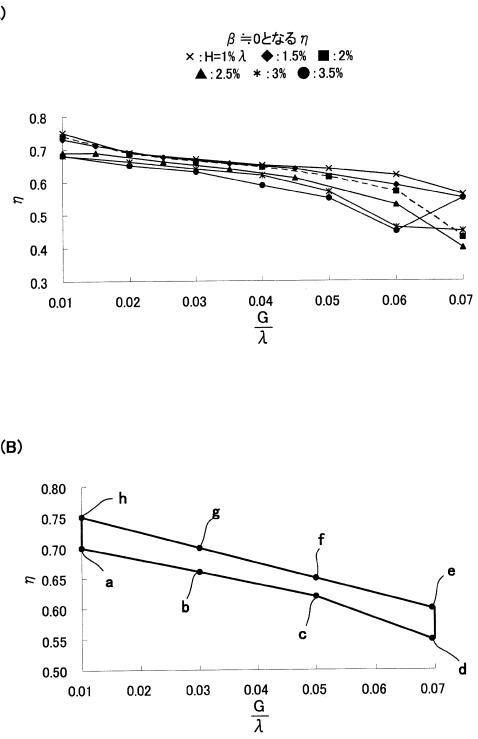
【図11】



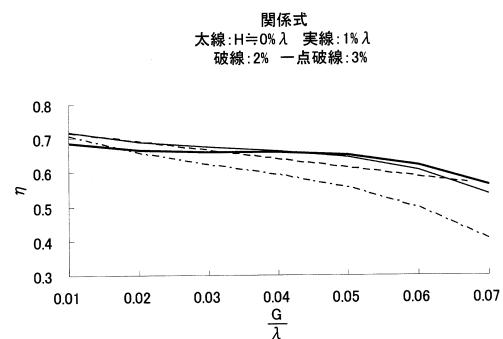
【図12】



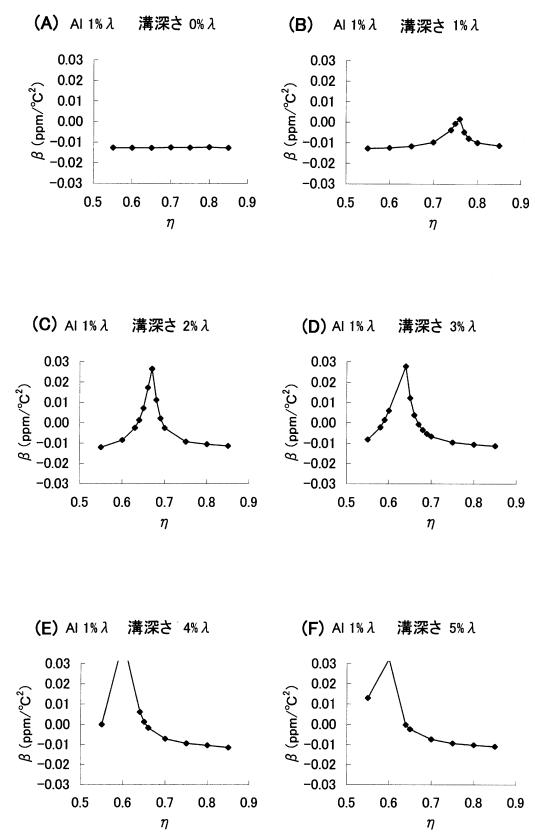
【図13】



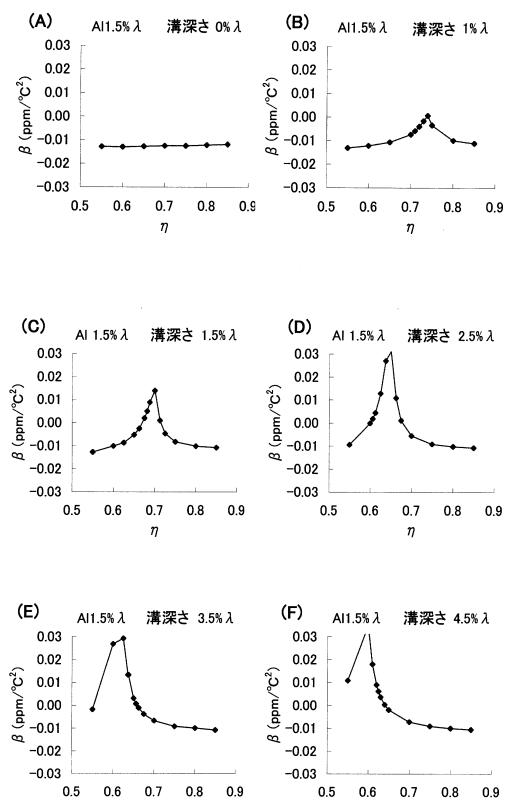
【図14】



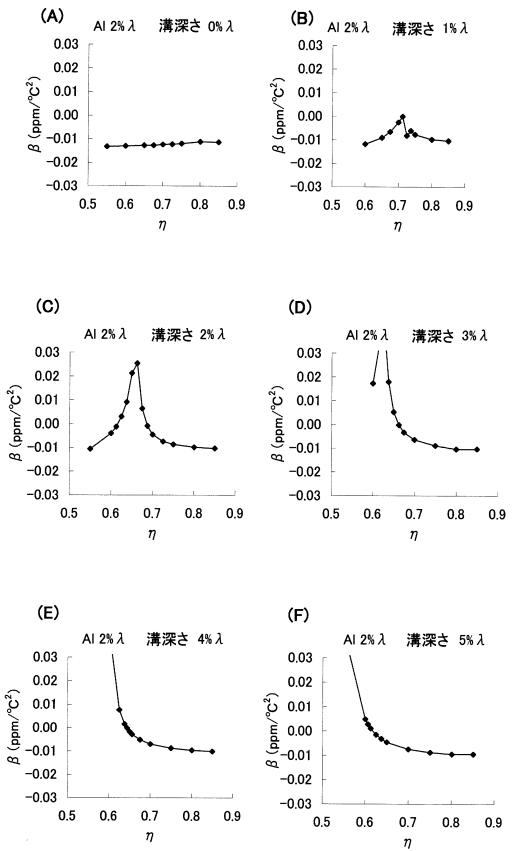
【図15】



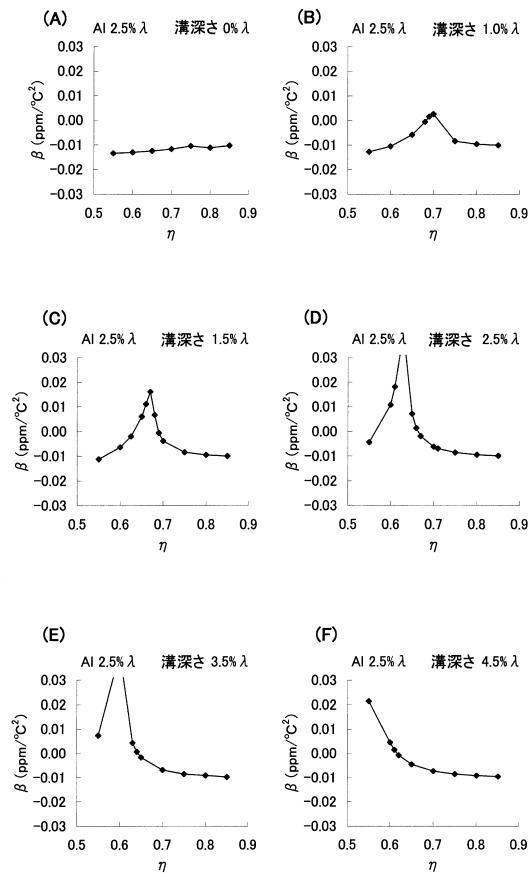
【図16】



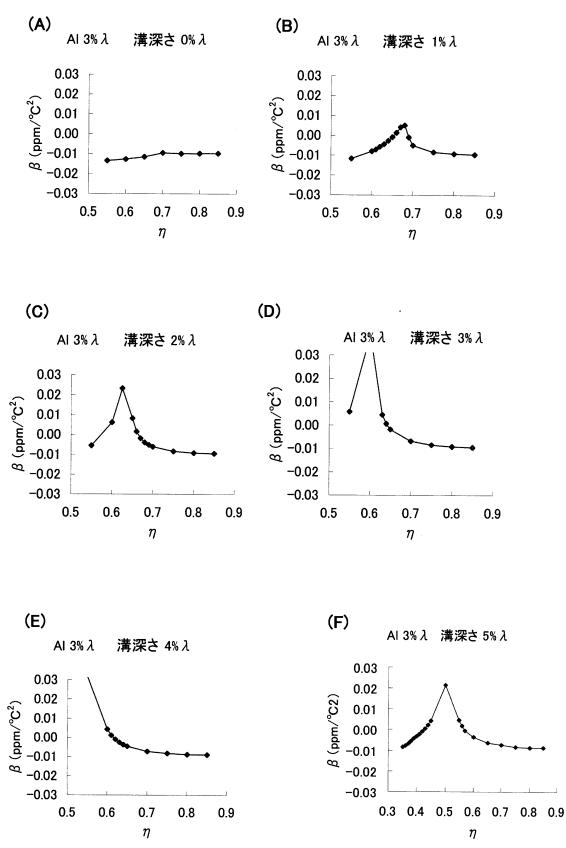
【図17】



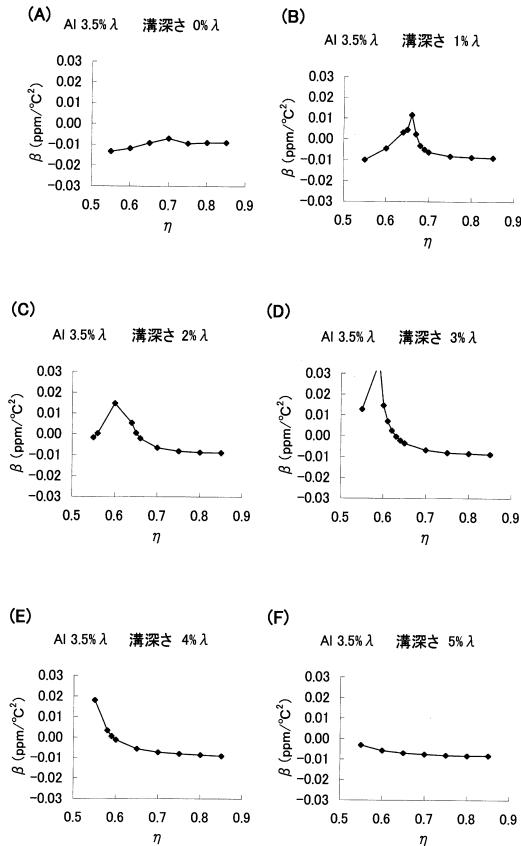
【図18】



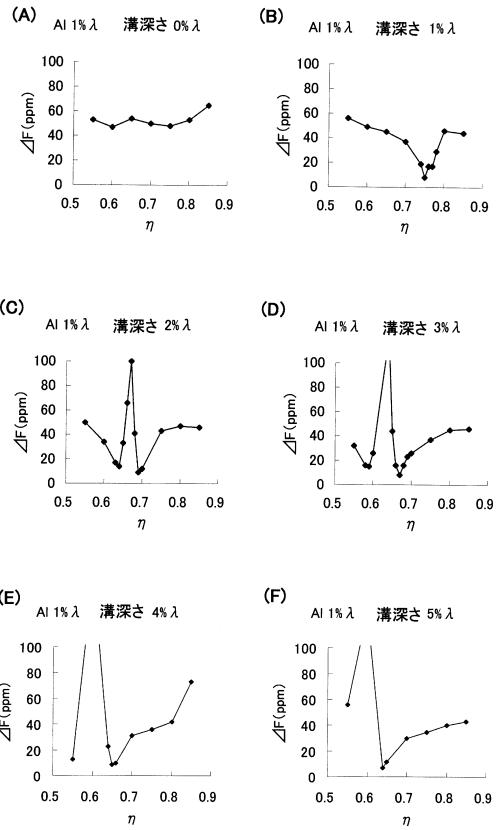
【図19】



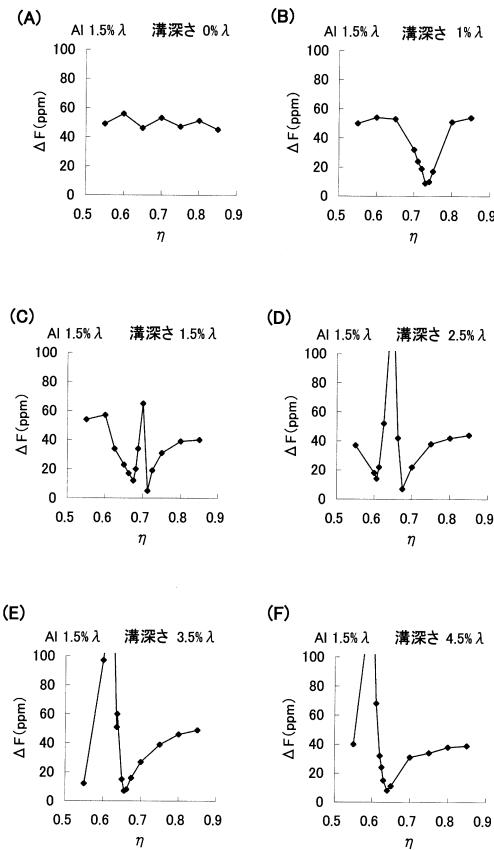
【図20】



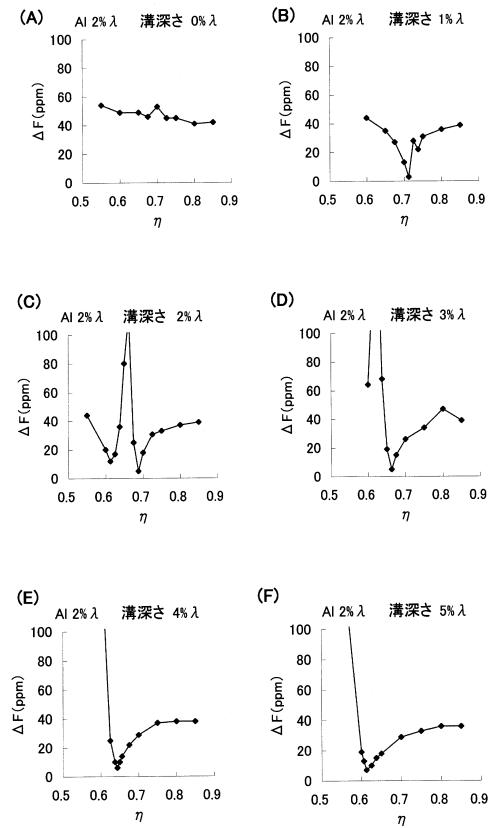
【図21】



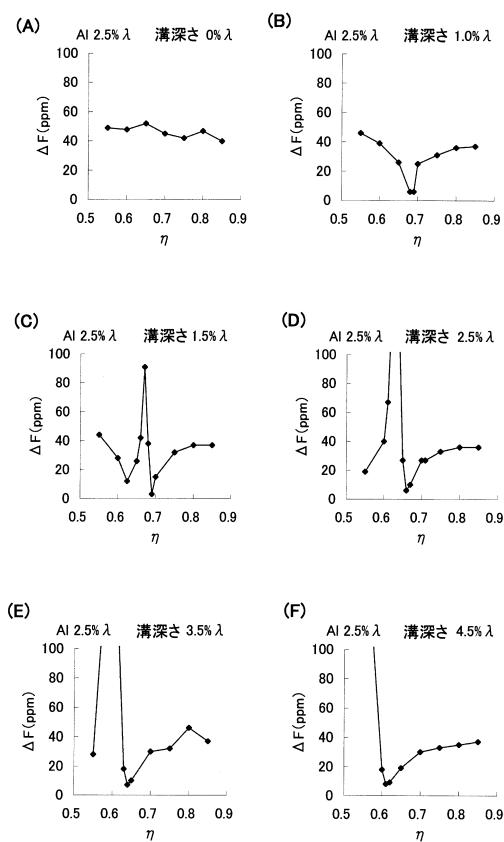
【図22】



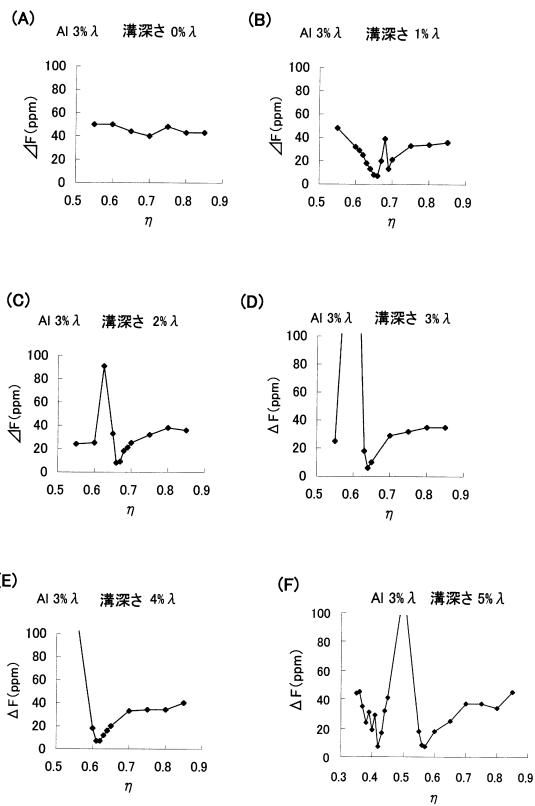
【図23】



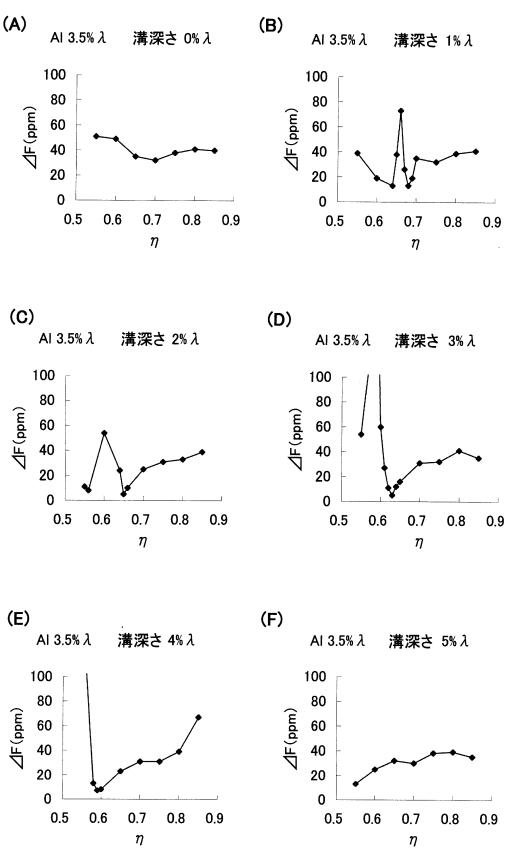
【図24】



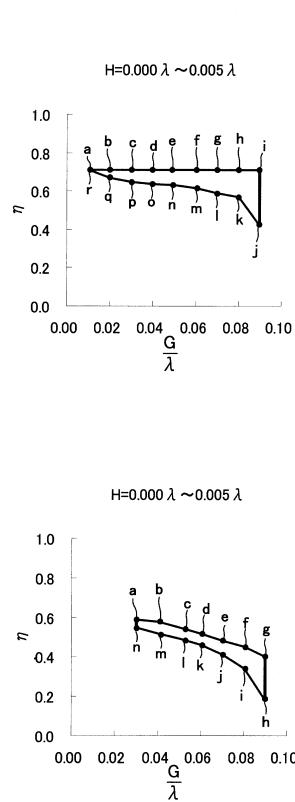
【図25】



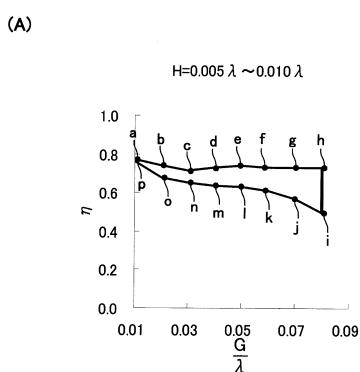
【図26】



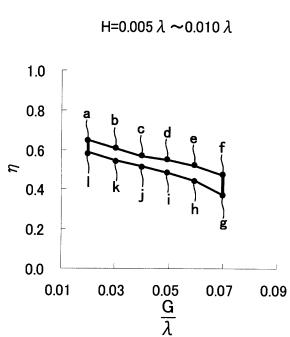
【図27】



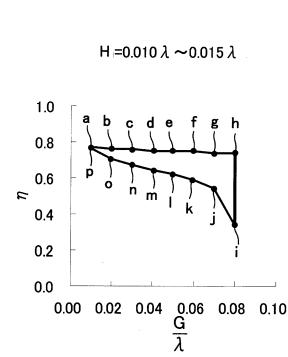
【図28】



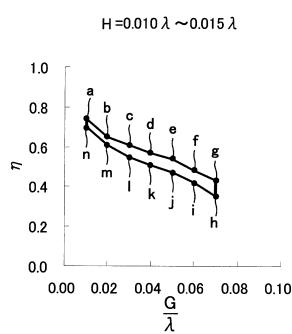
(B)



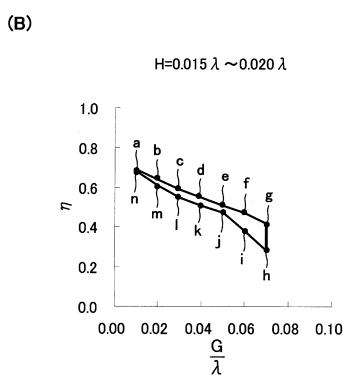
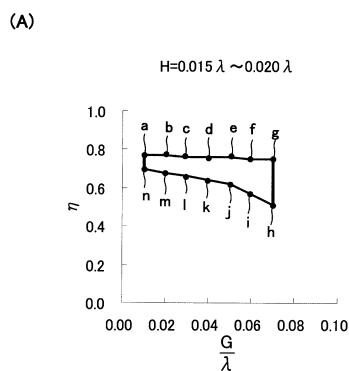
【図29】



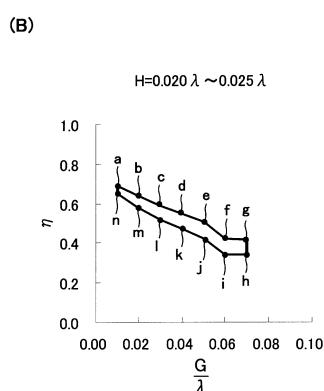
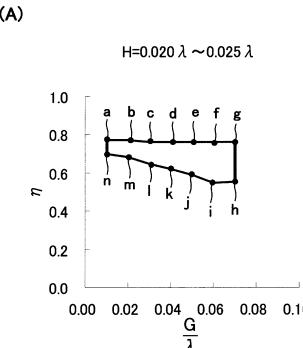
(B)



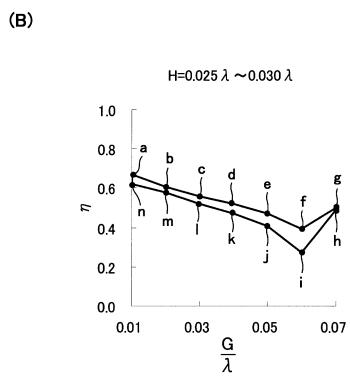
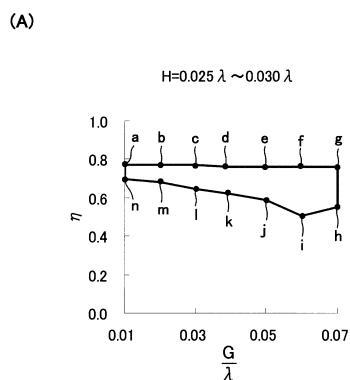
【図30】



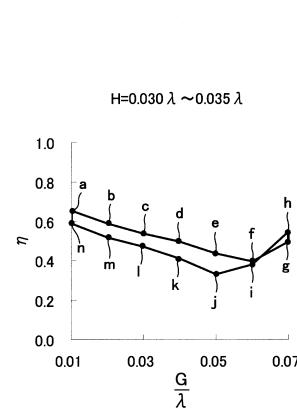
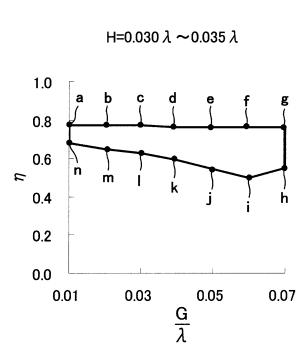
【図31】



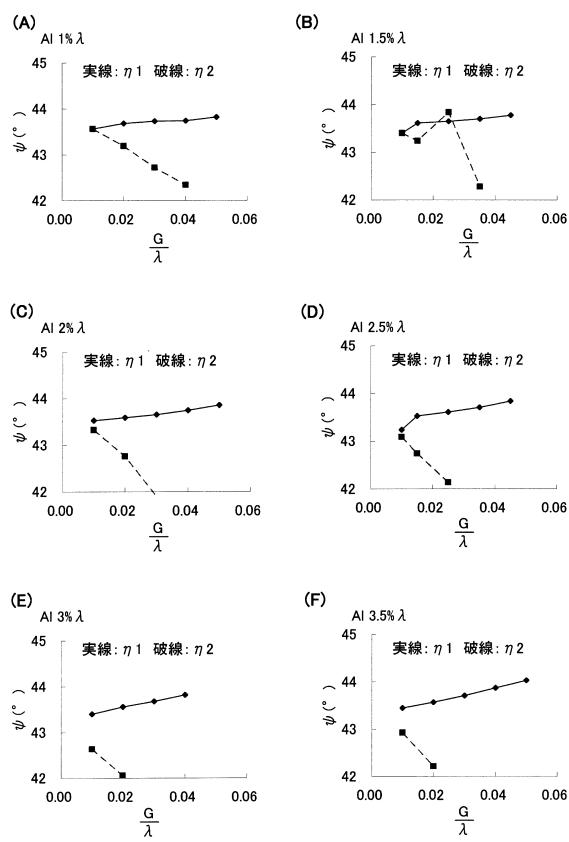
【図3-2】



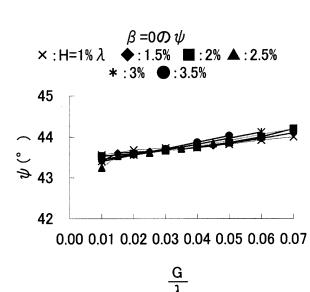
【図3-3】



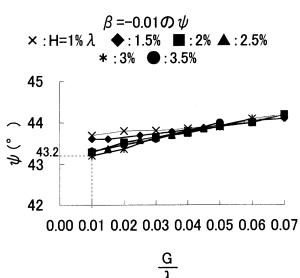
【図3-4】



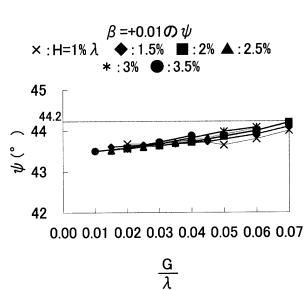
【図3-5】



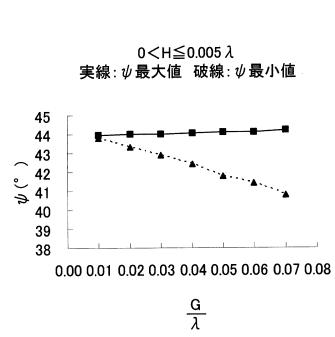
【図3-6】



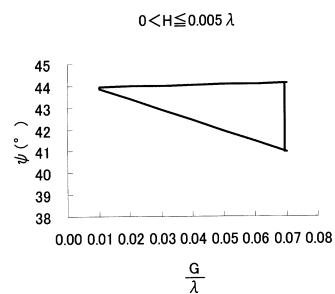
【図37】



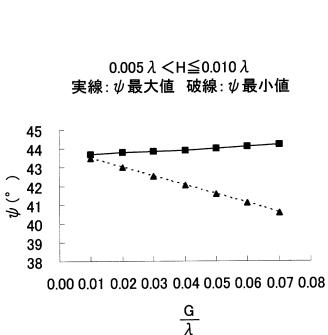
【図38】



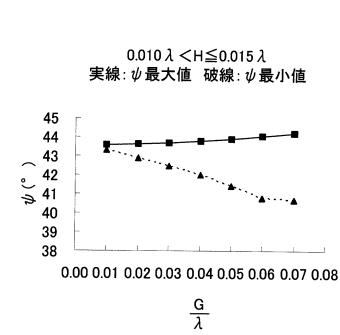
(B)



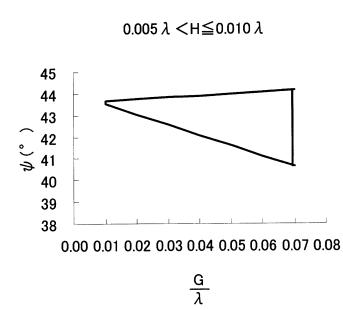
【図39】



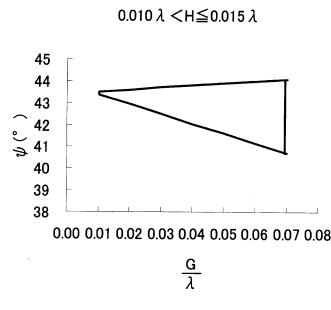
【図40】



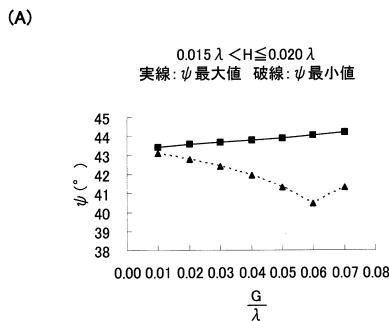
(B)



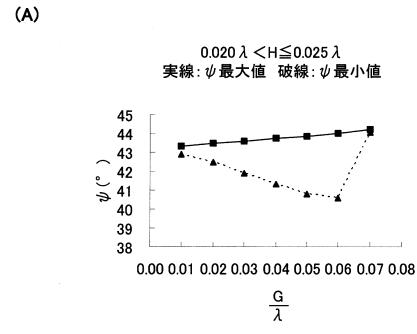
(B)



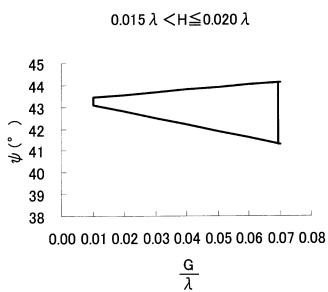
【図4-1】



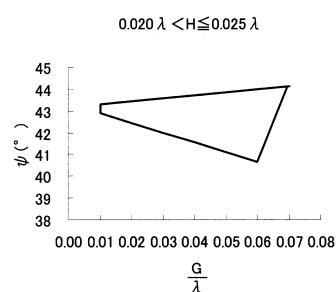
【図4-2】



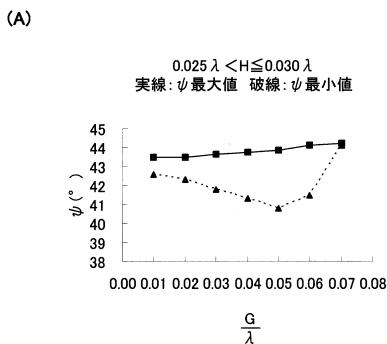
(B)



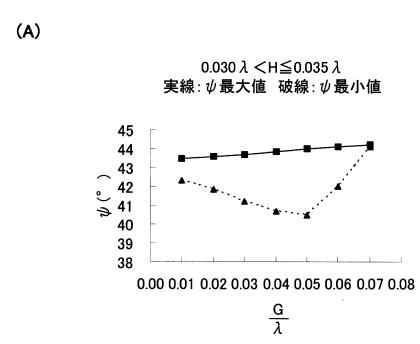
(B)



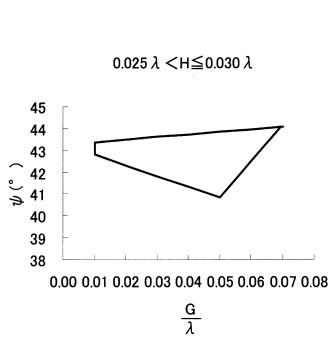
【図4-3】



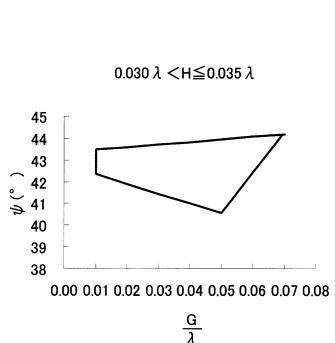
【図4-4】



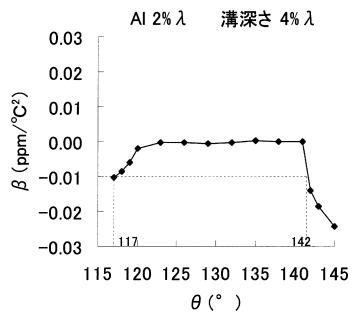
(B)



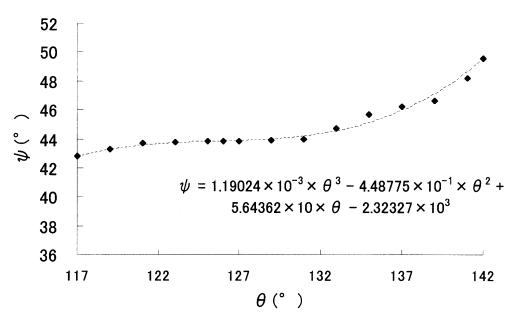
(B)



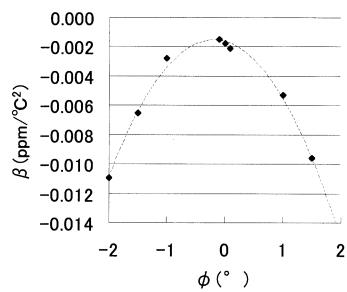
【図45】



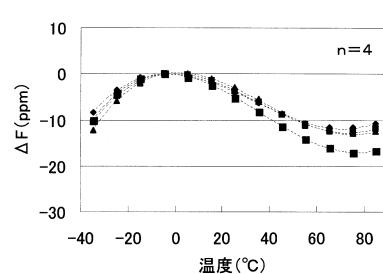
【図47】



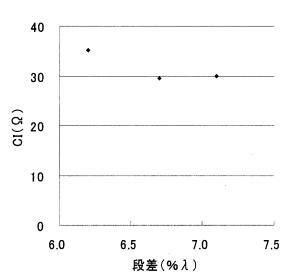
【図46】



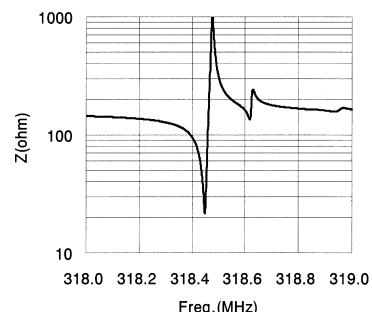
【図48】



【図49】



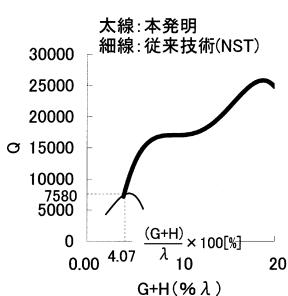
【図51】



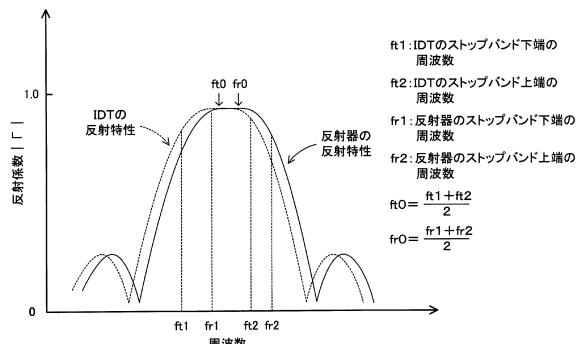
【図50】

	F MHz	Q	$\gamma$	Cl	M
	MHz			$\Omega$	
AVG	318.25	13285	2476	21.8	5.4

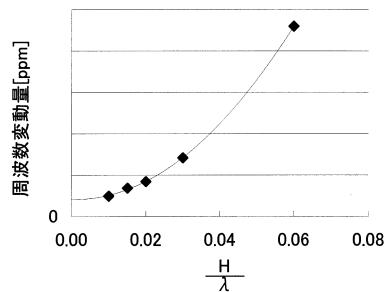
【図52】



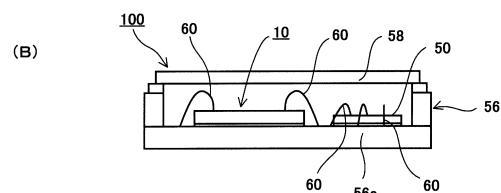
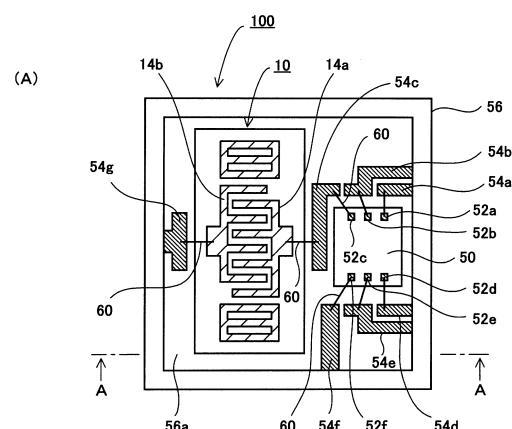
【図 5 3】



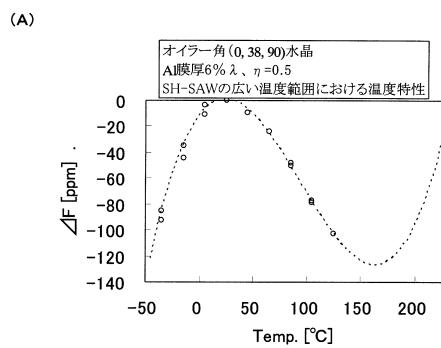
【図 5 4】



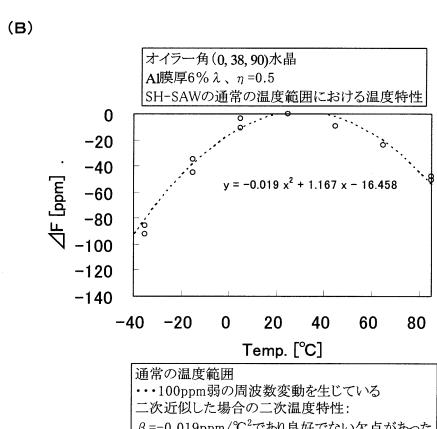
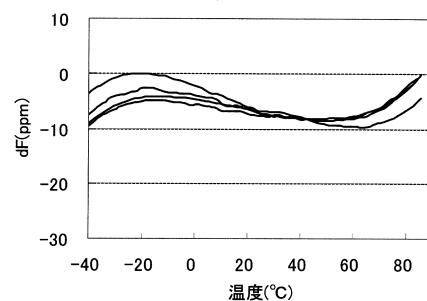
【図 5 5】



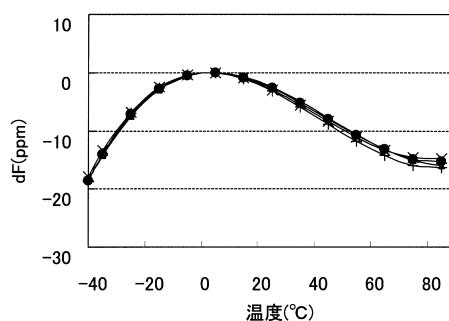
【図 5 6】



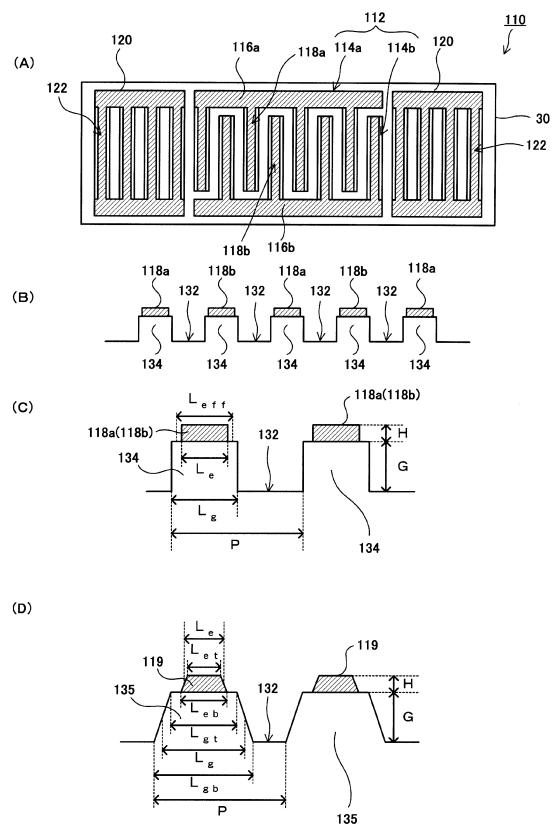
【図 5 7】



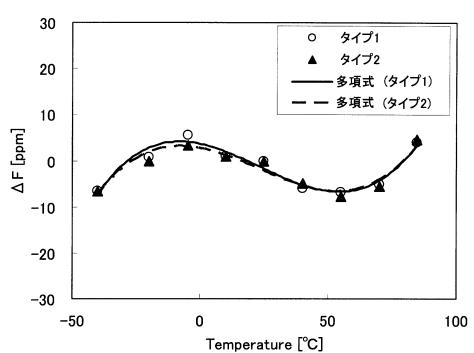
【図 5 8】



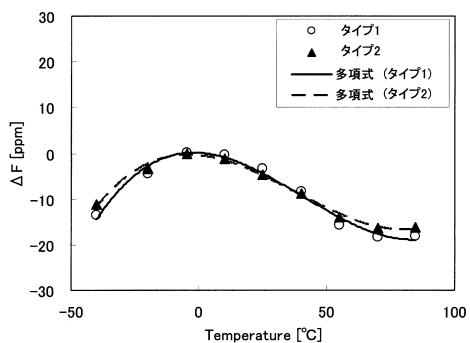
【図 5 9】



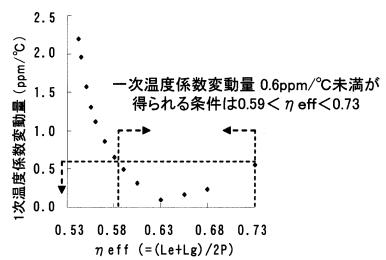
【図 6 0】



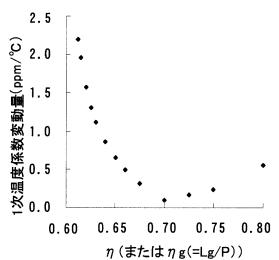
【図 6 1】



【図 6 3】



【図 6 2】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

H 0 1 L 41/08

L

(72)発明者 飯澤 慶吾

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 羽野 健一

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 橋本 和志

(56)参考文献 特開2009-225420 (JP, A)

特開2008-236295 (JP, A)

特開2007-259414 (JP, A)

特開昭61-220513 (JP, A)

特開2006-203408 (JP, A)

特開2003-152487 (JP, A)

国際公開第2010/098139 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 3 H 9 / 2 5

H 0 1 L 4 1 / 0 9

H 0 1 L 4 1 / 1 8

H 0 3 B 5 / 3 0

H 0 3 H 9 / 1 4 5