

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-84535

(P2015-84535A)

(43) 公開日 平成27年4月30日(2015.4.30)

(51) Int.Cl.

F 1

テーマコード (参考)

<b>H03H</b>	<b>9/145</b>	<b>(2006.01)</b>
<b>H03H</b>	<b>9/25</b>	<b>(2006.01)</b>
<b>H03H</b>	<b>9/64</b>	<b>(2006.01)</b>

H 03 H	9/145
H 03 H	9/25
H 03 H	9/64

9/145
9/25
9/64

C
C
A

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2014-238239 (P2014-238239)
(22) 出願日	平成26年11月25日 (2014.11.25)
(62) 分割の表示	特願2010-188741 (P2010-188741) の分割
原出願日	平成22年8月25日 (2010.8.25)

(71) 出願人	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	山中 國人 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(54) 【発明の名称】 トランスバーサル型弾性表面波デバイス、弾性表面波発振器および電子機器

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 良好な周波数温度特性を実現するトランスバーサル型弾性表面波 (SAW) デバイスを提供する。

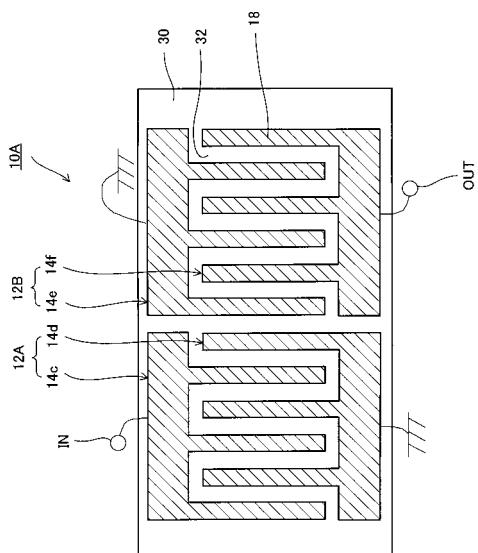
【解決手段】 オイラー角 (-1°, 1°, 117°, 142°, 42.79°, 49.57°) の水晶基板30を用い、ストップバンド上端モードの SAWを励振する入力IDT12A、出力IDT12Bと、入力IDT12A、出力IDT12Bを構成する電極指18間に位置する基板を窪ませた溝32を有する SAWデバイス10Aであって、SAWの波長をλ、溝32の深さをGとした場合に、

$$0.01\lambda \leq G$$

を満たし、かつ、IDT12A、12Bのライン占有率をηとした場合に、溝32の深さGと前記ライン占有率ηが

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

の関係を満たす。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

オイラー角(-1.5°, 1.5°, 117°, 142°, 41.9°, 49.57°)の水晶基板上に設けられ、ストップバンド上端モードの弾性表面波を励振するIDTと、前記IDTを構成する電極指間に位置する基板を窪ませた電極指間溝を有するトランスバーサル型弾性表面波デバイスであって、

前記弾性表面波の波長をλ、前記電極指間溝の深さをGとした場合に、

## 【数 2 5】

$$0.01\lambda \leq G$$

10

を満たし、

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

## 【数 2 6】

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

の関係を満たすことを特徴とするトランスバーサル型弾性表面波デバイス。

## 【請求項 2】

請求項1に記載のトランスバーサル型弾性表面波デバイスであって、

20

前記電極指間溝の深さGが、

## 【数 2 7】

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

の関係を満たすことを特徴とするトランスバーサル型弾性表面波デバイス。

## 【請求項 3】

請求項1または請求項2に記載のトランスバーサル型弾性表面波デバイスであって、前記IDTの電極膜厚をHとした場合に、

## 【数 2 8】

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

30

の関係を満たすことを特徴とするトランスバーサル型弾性表面波デバイス。

## 【請求項 4】

請求項3に記載のトランスバーサル型弾性表面波デバイスであって、

前記ライン占有率ηが、

## 【数 2 9】

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

の関係を満たすことを特徴とするトランスバーサル型弾性表面波デバイス。

40

## 【請求項 5】

請求項1乃至請求項4のいずれか1項に記載のトランスバーサル型弾性表面波デバイスであって、前記Gと前記Hが、

## 【数 3 0】

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

の関係を満たすことを特徴とするトランスバーサル型弾性表面波デバイス。

## 【請求項 6】

請求項1乃至請求項5のいずれか1項に記載のトランスバーサル型弾性表面波デバイス

50

を備えたことを特徴とする弹性表面波発振器。

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載のトランスバーサル型弹性表面波デバイスを備えたことを特徴とする電子機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、トランスバーサル型弹性表面波デバイス、並びにこれを搭載した弹性表面波発振器および電子機器に係り、特に基板表面に溝を設けたタイプのトランスバーサル型弹性表面波デバイス、並びにこれを搭載した弹性表面波発振器および電子機器に関する。 10

【背景技術】

【0002】

弹性表面波 ( SAW : surface acoustic wave ) デバイス ( 例えば SAW 共振子 ) において、周波数温度特性の変化には、 SAW のストップバンドや水晶基板のカット角、および IDT ( interdigital transducer ) の形成形態等が及ぼす影響が大きい。

【0003】

例えば特許文献 1 には、 SAW のストップバンドの上端モード、下端モードのそれぞれを励起させる構成、およびストップバンドの上端モード、下端モードにおけるそれぞれの定在波の分布などが開示されている。 20

【0004】

また、特許文献 2 ~ 5 には、 SAW におけるストップバンドの上端モードの方が、ストップバンドの下端モードよりも周波数温度特性が良好である点が記載されている。そして、特許文献 2 、 3 には、レイリー波を利用した SAW 装置において良好な周波数温度特性を得るために、水晶基板のカット角を調整すると共に、電極の基準化膜厚 ( H / ) を 0 . 1 程度まで厚くする事が記載されている。

【0005】

また、特許文献 4 には、レイリー波を利用した SAW 装置において水晶基板のカット角を調整すると共に、電極の基準化膜厚 ( H / ) を 0 . 045 程度以上厚くする旨が記載されている。 30

【0006】

また、特許文献 5 には、回転 Y カット X 伝搬の水晶基板を用い、ストップバンドの上端の共振を利用することで、ストップバンドの下端の共振を用いる場合よりも周波数温度特性が向上する旨が記載されている。

【0007】

また、特許文献 6 、および非特許文献 1 には、 ST カット水晶基板を用いた SAW 装置において、 IDT を構成する電極指間や反射器を構成する導体ストリップ間に溝 ( グループ ) を設けることが記載されている。また非特許文献 1 には、溝の深さにより周波数温度特性が変化する旨が記載されている。

【0008】

また、特許文献 7 には、 LST カットの水晶基板を用いた SAW 装置において、周波数温度特性を示す曲線を三次元曲線とするための構成が記載されていると共に、レイリー波を用いた SAW 装置においては、三次元曲線で示されるような温度特性を持つカット角の基板は発見することができなかった旨が記載されている。 40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献 1】特開平 11 - 214958 号公報

【特許文献 2】特開 2006 - 148622 号公報

【特許文献 3】特開 2007 - 208871 号公報

10

20

30

40

50

【特許文献4】特開2007-267033号公報

【特許文献5】特開2002-100959号公報

【特許文献6】特開昭57-5418号公報

【特許文献7】特許第3851336号公報

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】グループ形SAW共振器の製造条件と特性（電子通信学会技術研究報告MW82-59(1982)）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0011】

上記のように、周波数温度特性を改善するための要素は多岐に亘り、特にレイリー波を用いたSAW装置では、IDTを構成する電極の膜厚を厚くすることが周波数温度特性に寄与する要因の1つであると考えられている。しかし本願出願人は、電極の膜厚を厚くすると、経時変化特性や耐温度衝撃特性等の耐環境特性が劣化することを実験的に見出した。また、周波数温度特性の改善を主目的とした場合には、前述したように電極膜厚を厚くしなければならず、これに伴って経時変化特性や耐温度衝撃特性等の劣化を余儀なくされていた。これらの問題点はトランスバーサル型弹性表面波デバイスについても当てはまる。

トランスバーサル型弹性表面波デバイスは電極膜厚が薄くなると一方向性度が劣化し、挿入損失が劣化する欠点があった。すなわち、電極膜厚を厚くせずに低損失化を実現することは困難であった。

20

【0012】

したがって本願発明においてトランスバーサル型弹性表面波デバイス、弹性表面波発振器および電子機器を提供する際の課題は第1に、良好な周波数温度特性の実現、第2に耐環境特性の向上、というものである。

【課題を解決するための手段】

【0013】

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

30

[適用例1] オイラー角(-1.5°, 1.5°, 117°, 142°, 41.9°, 49.5749°)の水晶基板上に設けられ、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、前記IDTを構成する電極指間に位置する基板を窪ませた電極指間溝を有するトランスバーサル型弹性表面波デバイスであって、前記弹性表面波の波長をλ、前記電極指間溝の深さをGとした場合に、

【数1】

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

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

40

【数2】

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

の関係を満たすことを特徴とするトランスバーサル型弹性表面波デバイス。

このような特徴を持つトランスバーサル型弹性表面波デバイスによれば、周波数温度特性の向上を図ることができる。

【0014】

[適用例2] 適用例1に記載のトランスバーサル型弹性表面波デバイスであって、前記電極指間溝の深さGが、

50

【数3】

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

の関係を満たすことを特徴とするトランスバーサル型弾性表面波デバイス。

【0015】

このような特徴を持つトランスバーサル型弾性表面波デバイスによれば、電極指間溝の深さGが製造時の誤差によりずれた場合であっても、個体間における共振周波数のシフトを補正範囲内に抑えることができる。

【0016】

[適用例3] 適用例1または適用例2に記載のトランスバーサル型弾性表面波デバイスであって、前記IDTの電極膜厚をHとした場合に、

10

【数4】

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

の関係を満たすことを特徴とするトランスバーサル型弾性表面波デバイス。

【0017】

このような特徴を有するトランスバーサル型弾性表面波デバイスによれば、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できる。

20

【0018】

[適用例4] 適用例3に記載のトランスバーサル型弾性表面波デバイスであって、前記ライン占有率が、

【数5】

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

の関係を満たすことを特徴とするトランスバーサル型弾性表面波デバイス。

【0019】

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

30

【0020】

[適用例5] 適用例1乃至適用例4のいずれか1例に記載のトランスバーサル型弾性表面波デバイスであって、前記 $\eta$ と前記 $\psi$ が、

【数6】

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

の関係を満たすことを特徴とするトランスバーサル型弾性表面波デバイス。

【0021】

このような特徴を有するカット角で切り出された水晶基板を用いてトランスバーサル型弾性表面波デバイスを製造することで、広い範囲で良好な周波数温度特性を示すトランスバーサル型弾性表面波デバイスとすることができる。

40

【0022】

[適用例6] 適用例1乃至適用例5のいずれか1例に記載のトランスバーサル型弾性表面波デバイスを備えたことを特徴とする弾性表面波発振器。

【0023】

[適用例7] 適用例1乃至適用例5のいずれか1例に記載のトランスバーサル型弾性表面波デバイスを備えたことを特徴とする電子機器。

【図面の簡単な説明】

【0024】

50

【図 1】実施形態に係る SAW デバイスの構成を示す図である。

【図 2】トップバンド上端モードと下端モードとの関係を示す図である。

【図 3】電極指間溝の深さと動作温度範囲内における周波数変動量との関係を示すグラフである。

【図 4】トップバンド上端モードの共振点と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る。

【図 5】電極膜厚を 0 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率 と二次温度係数 との関係を示すグラフである。

【図 6】電極膜厚を 0 とした場合における二次温度係数が 0 となる電極指間溝の深さとライン占有率 との関係を示すグラフである。

【図 7】電極膜厚を 0 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率 と周波数変動量  $F$  との関係を示すグラフである。

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

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

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

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

【図 12】電極膜厚を 0.01 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率 と二次温度係数 との関係を示すグラフである。

【図 13】電極膜厚を 0.015 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率 と二次温度係数 との関係を示すグラフである。

【図 14】電極膜厚を 0.02 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率 と二次温度係数 との関係を示すグラフである。

【図 15】電極膜厚を 0.025 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率 と二次温度係数 との関係を示すグラフである。

【図 16】電極膜厚を 0.03 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率 と二次温度係数 との関係を示すグラフである。

【図 17】電極膜厚を 0.035 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率 と二次温度係数 との関係を示すグラフである。

【図 18】電極膜厚を 0.01 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率 と周波数変動量  $F$  との関係を示すグラフである。

【図 19】電極膜厚を 0.015 として電極指間溝の深さを変えた場合におけるライン占有率 と周波数変動量  $F$  との関係を示すグラフである。

【図 20】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る。

【図 21】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る。

【図 22】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る。

【図 23】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る。

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

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

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

10

20

30

40

50

【図27】二次温度係数が+0.01 ppm/°となる電極指間溝とオイラー角との関係を示すグラフである。

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

【図29】オイラー角と二次温度係数との関係を示すグラフである。

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

【図31】周波数温度特性が最も良好となった条件下における4つの試験片での周波数温度特性データの例を示す図である。

【図32】電極指間溝と電極膜厚との和である段差とC I値との関係を示すグラフである。

【図33】本実施形態に係るSAW共振子における等価回路定数や静特性の例を示す表である。

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

【図35】従来のSAW共振子における段差とQ値の関係と本実施形態に係るSAW共振子段差とQ値の関係を比較するためのグラフである。

【図36】IDTと反射器のSAW反射特性を示す図である。

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

【図38】実施形態に係るSAW発振器の構成を示す図である。

【図39】実施形態に係るトランスパーサル型SAWデバイスの構成を示す図である。

【図40】(A)は実施形態に係るトランスパーサル型SAWデバイスの動作温度範囲内の周波数温度特性を示すグラフであり、(B)は従来におけるトランスパーサル型SAWデバイスの動作温度範囲内の周波数温度特性を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しつつ詳細に説明する。

まず、図1を参照して、本実施形態に係る弾性表面波(SAW)共振子について説明する。なお図1において、図1(A)はSAW共振子の平面図であり、図1(B)は部分拡大断面図、図1(C)は同図(B)における詳細を説明するための拡大図である。

【0026】

本実施形態に係るSAW共振子10は、水晶基板30と、IDT12、および反射器20を基本として構成される。水晶基板30は、結晶軸をX軸(電気軸)、Y軸(機械軸)、およびZ軸(光軸)で示すものを用いる。

【0027】

本実施形態では水晶基板30として、オイラー角(-1°, 1°, 117°, 142°, 41.9°, 49.57°)で表される面内回転STカット水晶基板を採用した。ここで、オイラー角について説明する。オイラー角(0°, 0°, 0°)で表される基板は、Z軸に垂直な主面を有するZカット基板となる。ここで、オイラー角(, , )のZカット基板はZカット基板の第1の回転に関するものであり、Z軸を回転軸とし、+X軸から+Y軸側へ回転する方向を正の回転角度とした第1回転角度である。オイラー角のZカット基板はZカット基板の第1の回転後に行う第2の回転に関するものであり、第1の回転後のX軸を回転軸とし、第1の回転後の+Y軸から+Z軸へ回転する方向を正の回転角度とした第2の回転角度である。圧電基板のカット面は、第1回転角度と第2回転角度とで決定される。オイラー角のZカット基板はZカット基板の第2の回転後に行う第3の回転に関するものであり、第2の回転後のZ軸を回転軸とし、第2の回転後の+X軸から第2の回転後の+Y軸側へ回転する方向を正の回転角度とした第3回転角度である。SAWの伝搬方向は、第2の回転後のX軸に対する第3回転角度で表される。

【0028】

IDT12は、複数の電極指18の基端部をバスバー16で接続した櫛歯状電極14a

10

20

30

40

50

, 14bを一对有し、一方の櫛歯状電極14a(または14b)を構成する電極指18と他方の櫛歯状電極14b(または14a)を構成する電極指18とを所定の間隔をあけて交互に配置している。ここで、電極指18は、弾性表面波の伝播方向であるX軸と直交する方向に配置される。このようにして構成されるSAW共振子10によって励起されるSAWは、Rayleigh型(レイリー型)のSAWであり、第3の回転後のZ軸と第3の回転後のX軸の両方に振動変位成分を有する。そしてこのように、SAWの伝播方向を水晶の結晶軸であるX軸からずらすことで、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。

#### 【0029】

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

#### 【0030】

図2によれば上述したように、実線で示す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。

#### 【0031】

また、反射器20は、前記IDT12をSAWの伝播方向に挟み込むように一对設けられる。具体的構成としては、IDT12を構成する電極指18と平行に設けられる複数の導体ストリップ22の両端をそれぞれ接続したものである。

#### 【0032】

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。

#### 【0033】

また、SAW共振子10の替わりにトランスバーサル型SAWデバイスを用いてもよい。図39には、トランスバーサル型SAWデバイス10Aの平面図を示す。

#### 【0034】

トランスバーサル型SAWデバイス10Aは、水晶基板30と、入力IDT12Aと、出力IDT12Bとを基本として構成される。入力IDT12Aおよび出力IDT12Bは、水晶基板30の主面上の弾性表面波の伝搬方向に沿って、所定の間隔を空けて配置されている。入力IDT12Aは一对の櫛歯状電極14c、14dで構成され、出力IDT12Bは一对の櫛歯状電極14e、14fで構成されている。櫛歯状電極14c、14d、櫛歯状電極14e、14fは、互いに間挿し合う複数の電極指18を有している。入力IDT12Aの一方の櫛歯状電極14cは入力端子INに接続され、他方の櫛歯状電極14dは接地されている。出力IDT12Bの一方の櫛歯状電極14fは出力端子OUTに接続され、他方の櫛歯状電極14eは接地されている。また、水晶基板30主面上の電極指18間には溝32が設けられている。

#### 【0035】

入力IDT12Aで励振された弾性表面波は、水晶基板30の表面に沿って伝搬し、出力IDT12Bによって検出される。トランスバーサル型SAWデバイス10Aの周波数特性等は、入力IDT12A、出力IDT12Bの重み付けによって決定される。

#### 【0036】

トランスバーサル型SAWデバイス10Aの弾性表面波の伝搬方式には、双方向性のものと、一方向性のものとが存在する。双方向性のものは、入力IDT12Aで励起された弾性表面波が双方向(出力IDT12Bに向かう方向とその反対方向)に伝搬する。双方向性のものは弾性表面波の反射が発生せず、共振が発生しない。

10

20

30

40

50

## 【0037】

一方向性のものは、入力 IDT12A で励起された弾性表面波が出力 IDT12B に向かう方向の一方に伝搬する。一方向性のものは弾性表面波の反射が生じるように電極指 18 の幅や配列等が形成されており、共振が発生する。

## 【0038】

トランスバーサル型 SAW デバイスは反射を利用しない双方向性のものが一般的であるが、近年においては反射を利用した一方向性のものも利用されており、広義には一方向性のものもトランスバーサル型 SAW デバイスに含まれる。

## 【0039】

このようにして構成される SAW 共振子 10 の IDT12 や反射器 20 を構成する電極膜の材料としては、アルミニウム (Al) や Al を主体とした合金を用いることができる。なお、電極膜材料として合金を用いる場合、主成分となる Al 以外の金属は重量比で 10 % 以下にすればよい。

なお、トランスバーサル型 SAW デバイス 10A の入力 IDT12A および出力 IDT12B についても同様のことがいえる。

## 【0040】

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。

## 【0041】

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

## 【数 7】

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

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 3 を参照することで読み取れるように、

## 【数 8】

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

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 25 ppm 以下とすることができるからである。また、溝深さ G について望ましくは、

## 【数 9】

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

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。

なお、上記の溝 32 の構成および効果は、トランスバーサル型 SAW デバイス 10A についても同様である。

## 【0042】

また、ライン占有率 とは図 1 (C) に示すように、電極指 18 の線幅 (水晶凸部のみの場合には凸部の幅をいう) L を電極指 18 間のピッチ / 2 (= L + S) で除した値である。したがって、ライン占有率 は、数式 (4) で示すことができる。

## 【数 10】

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

## 【0043】

ここで本実施形態に係る SAW 共振子 10 は、ライン占有率 を数式 (5) のような範

10

20

30

40

50

囲で定めると良い。なお、数式(5)からも解るように 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11】

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

【0044】

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

【数12】

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

の範囲とすることが望ましい。

トランスパーサル型SAWデバイス10Aについても同様のことがいえる。

【0045】

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

【数13】

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

20

【0046】

ライン占有率は、電極膜厚が厚いほど電気的特性(特に共振周波数)の製造ばらつきが大きくなり、電極膜厚Hが数式(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が数式(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、二次温度係数の小さいSAWデバイスが実現できる。即ちライン占有率は、数式(7)に±0.04の公差を加えた数式(8)の範囲まで許容できる。

30

【数14】

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

【0047】

上記のような構成の本実施形態に係るSAW共振子10では、二次温度係数を±0.1 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。なお、二次温度係数は、SAWの周波数温度特性を示す曲線の多項式近似における二次係数であるため、二次温度係数の絶対値が小さい事は周波数変動量が小さい事を意味し、周波数温度特性が良好であるということができる。以下は、上記のような構成のSAWデバイスが、本発明の目的を達成することのできる要素を備えていることについてのシミュレーションを用いた証明である。

40

【0048】

なお、STカットと呼ばれる水晶基板を用いて伝搬方向を結晶X軸方向としたSAW共振子は、動作温度範囲を同一とした場合、動作温度範囲内における周波数変動量Fは約117 ppmとなり、二次温度係数は、-0.030 ppm/°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共振子の場合、

50

周波数変動量  $F$  は約 63 ppm、二次温度係数  $\alpha$  は  $-0.016 \text{ ppm}/^2$  程度となる。

【0049】

SAW共振子 10 の周波数温度特性の変化には上述したように、IDT 12 における電極指 18 のライン占有率  $\phi$  や電極膜厚  $H$ 、及び溝深さ  $G$  などが関係している。そして本実施形態に係る SAW共振子 10 は、ストップバンド上端モードの励振を利用する。

【0050】

図 4 は、ライン占有率  $\phi$  を変化させて水晶基板 30 に SAW を伝播させた場合における二次温度係数  $\alpha$  の変化を示すグラフである。図 4 において図 4 (A) は溝深さ  $G$  を 0.02 とした場合のストップバンド上端モードの共振における二次温度係数  $\alpha$  を示し、図 4 (B) は溝深さ  $G$  を 0.02 とした場合のストップバンド下端モードの共振における二次温度係数  $\alpha$  を示す。また、図 4 において図 4 (C) は溝深さ  $G$  を 0.04 とした場合のストップバンド上端モードの共振における二次温度係数  $\alpha$  を示し、図 4 (D) は溝深さ  $G$  を 0.04 とした場合のストップバンド下端モードの共振における二次温度係数  $\alpha$  を示す。なお、図 4 に示すシミュレーションは、周波数温度特性を変動させる因子を減らすために、電極膜を設けない水晶基板 30 に何らかの形で SAW を伝搬させた場合の例を示すものである。また、水晶基板 30 のカット角は、オイラー角 (0°, 123°, 0°) のものを使用した。なお、 $\phi$  に関しては、二次温度係数  $\alpha$  の絶対値が最少となる値を適宜選択している。

10

【0051】

図 4 からは、ストップバンド上端モードの場合も下端モードの場合も、ライン占有率  $\phi$  が 0.6 ~ 0.7 となるあたりで二次温度係数  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\alpha$  の絶対値が小さくなっている）ということである。

20

【0052】

このことより、SAWデバイスにおいて良好な周波数温度特性を得るために、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できる。

30

上記測定結果は一方向性のトランスバーサル型 SAWデバイス 10A についても当てはまる。

【0053】

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

【0054】

図 5 は、溝深さ  $G$  を 0.01 (1%) から 0.08 (8%) まで変化させた際のライン占有率  $\phi$  と二次温度係数  $\alpha$  との関係を示すシミュレーションのグラフである。図 5 からは、溝深さ  $G$  を 0.0125 (1.25%) としたあたりから  $\phi = 0$  となる点、すなわち周波数温度特性を示す近似曲線が三次曲線を示す点が現れ始めていることが読み取れる。そして、図 5 からは、 $\phi = 0$  となる  $\alpha$  がそれぞれ 2箇所（ $\alpha$  が大きな方における  $\phi = 0$  となる点 (1) や、 $\phi$  が小さい方における  $\phi = 0$  となる点 (2)）がある。なお図 5 からは、(2)の方が、(1)よりも溝深さ  $G$  の変化に対するライン占有率  $\phi$  の変動量が大きいという事も読み取ることができる。

40

【0055】

この点については、図 6 を参照することによりその理解を深めることができる。図 6 は、溝深さ  $G$  を変えていった場合において二次温度係数  $\alpha$  が 0 となる  $\phi_1$ 、 $\phi_2$  をそれぞれ

50

プロットしたグラフである。図6は、溝深さGが大きくなるにつれて、1、2は互いに小さくなるが、2の方は、溝深さG = 0.04となつたあたりで0.5 ~ 0.9の範囲で示したグラフをスケールアウトしてしまうほど変動量が大きいということを読み取ることができる。つまり、2は、溝深さGの変化に対する変動量が大きいということがいえる。

#### 【0056】

図7は、図5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7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7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。

10

#### 【0057】

上記傾向によると、製造時に誤差が生じ易い量产品に関しては、溝深さGの変動に対する=0となる点の変動量が少ない方、すなわち1を採用することが望ましいと考えられる。図3には、各溝深さGにおいて二次温度係数が最少となる点(1)での周波数変動量Fと溝深さGとの関係のグラフを示す。図3によると、周波数変動量Fが目標値である25 ppm以下となる溝深さGの下限値は、溝深さGが0.01となり、溝深さGの範囲はそれ以上、すなわち0.01 Gということになる。

20

#### 【0058】

なお、図3にはシミュレーションによって、溝深さGが0.08以上となる場合の例も追加した。このシミュレーションによれば溝深さGは、0.01以上で周波数変動量Fが25 ppm以下となり、その後、溝深さGが増す毎に周波数変動量Fが小さくなる。しかし、溝深さGが約0.09以上となった場合に、周波数変動量Fは再び増加し、0.094を越えると周波数変動量Fが25 ppmを超えることとなる。

20

#### 【0059】

図3に示すグラフは水晶基板30上に、IDT12や反射器20等の電極膜を形成していない状態でのシミュレーションであるが、詳細を以下に示す図16~図21を参照すると解るように、SAW共振子10は電極膜を設けた方が周波数変動量Fを小さくすることができると考えられる。よって溝深さGの上限値を定めるとすれば電極膜を形成していない状態での最大値、すなわちG=0.94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、

30

#### 【数15】

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

と示すことができる。

#### 【0060】

なお、量産工程において溝深さGは、最大±0.001程度のバラツキを持つ。よって、ライン占有率を一定とした場合において、溝深さGが±0.001だけズレた場合におけるSAW共振子10の個々の周波数変動量fについて図8に示す。図8によれば、G=0.04の場合において、溝深さGが±0.001ズレた場合、すなわち溝深さが0.039 G 0.041の範囲においては、周波数変動量fが±500 ppm程度であるということを読み取ることができる。

40

#### 【0061】

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

#### 【0062】

図8に示すプロットを繋ぐ直線について、周波数変動量f[ppm]と溝深さGとの関係を示す近似式を導くと、数式(10)を得ることができる。

50

【数16】

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

【0063】

ここで、 $f < 1000 \text{ ppm}$ 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17】

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

とすることが望ましいということができる。

このことは、トランスバーサル型SAWデバイス10Aについても当てはまる。

【0064】

次に、図9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との関係をグラフに示す。水晶基板30は、オイラー角を $(0^\circ, 123^\circ, \dots)$ とした。ここで $\theta$ 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9と同様な条件において $\theta = 0^\circ$ となるを得た際のオイラー角 $\phi$ と溝深さGとの関係を図24に示す。図24の電極膜厚 $H = 0.02$ のグラフにおいて、 $\phi < 42^\circ$ 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 $\phi = 41.9^\circ$ となっている。各電極膜厚における溝深さGとライン占有率との関係については、詳細を後述する図12～図17に基づいてプロットを得ている。

【0065】

図9からは、いずれの膜厚においても、上述したように、 $\phi = 0^\circ$ は $\phi = 42^\circ$ に比べて溝深さGの変動が少ないということを読み取ることができる。このため、図9におけるそれぞれの膜厚のグラフについて、 $\phi = 0^\circ$ を抜き出し、図10にまとめた。図10からは、破線で示すラインの中に $\phi = 0^\circ$ が集中していることを読み取ることができる。また、図10によると、ライン占有率 $\eta$ の上限を示すプロットは、電極膜厚 $H = 0.01$ としたSAW共振子であり、ライン占有率 $\eta$ の下限を示すプロットは、電極膜厚 $H = 0.035$ としたSAW共振子である。つまり、電極膜厚 $H$ を厚くするに従って二次温度係数 $=0$ とすることのできるライン占有率 $\eta$ が小さくなることができる。

【0066】

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

【数18】

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

【数19】

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

【0067】

数式(12)、数式(13)より、図10において破線で囲った範囲において $\eta$ は、数式(14)の範囲で定めることができるといえる。これはトランスバーサル型SAWデバイス10Aについても同様のこと�이える。

【数20】

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

【0068】

10

20

30

40

50

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

また、式(12)～(14)を踏まえて電極膜厚  $H$  が  $0.001$ 、 $0.002$ 、 $0.003$ 、 $0.0035$  とした SAW 共振子 10 についてそれぞれ、 $\eta = 0$  となる溝深さ  $G$  とライン占有率  $\eta$  の関係を近似直線で示すと図 11 のようになる。なお、電極膜を設けない水晶基板 30 における溝深さ  $G$  とライン占有率  $\eta$  の関係については、図 6 に示した通りである。

#### 【0069】

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

#### 【数 21】

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

#### 【0070】

ライン占有率  $\eta$  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(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(6)の範囲内であり、且つライン占有率  $\eta$  のばらつきが  $\pm 0.04$  以内であれば、二次温度係数  $\eta$  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  $\eta$  を  $\pm 0.01 \text{ ppm}/\lambda^2$  以内とする場合、ライン占有率  $\eta$  は、式(15)に  $\pm 0.04$  の公差を加えた式(16)の範囲まで許容できる。このことはトランスバーサル型 SAW デバイス 10 A についても当てはまる。

#### 【数 22】

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

#### 【0071】

図 12～図 17 に、電極膜厚をそれぞれ  $0.01$ （1%）、 $0.015$ （1.5%）、 $0.02$ （2%）、 $0.025$ （2.5%）、 $0.03$ （3%）、 $0.035$ （3.5%）とした場合において、溝深さ  $G$  を変化させた場合におけるライン占有率  $\eta$  と二次温度係数  $\eta$  の関係のグラフを示す。

#### 【0072】

また、図 18～図 23 には、図 12～図 17 に対応した SAW 共振子 10 におけるライン占有率  $\eta$  と周波数変動量  $F$  の関係のグラフを示す。なお、水晶基板はいずれもオイラー角（ $0^\circ$ 、 $123^\circ$ 、 $180^\circ$ ）のものを使用し、 $F$  については適宜  $F$  が最小となる角度を選択する。

#### 【0073】

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

#### 【0074】

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

#### 【0075】

また、図 14 は、電極膜厚  $H$  を  $0.02$  とした場合のライン占有率  $\eta$  と二次温度係数  $\eta$  の関係を示す図であり、図 20 は電極膜厚  $H$  を  $0.02$  とした場合のライン占有率  $\eta$

10

20

30

40

50

と周波数変動量  $F$  との関係を示す図である。

【0076】

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

【0077】

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

【0078】

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

【0079】

これらの図(図12～図23)においては、いずれのグラフにおいても微差はあるものの、その変化の傾向に関しては、水晶基板30のみにおけるライン占有率と二次温度係数、およびライン占有率と周波数変動量 $F$ の関係を示すグラフである図5、図7と似ていることが解る。

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

【0080】

図25に、図24に示すグラフにおける $\alpha$ によって得られる $\beta$ と溝深さ $G$ との関係をまとめた。なお、 $\alpha$ を選択した理由については上述した通りである。図25に示すように、電極膜の膜厚が変化した場合であっても、 $\alpha$ の角度には殆ど違いは無く、 $\alpha$ の最適角度は溝深さ $G$ の変動にしたがって変化して行くことが解る。これも、二次温度係数の変化が水晶基板30の形態に起因する割合が高いことの裏付けということができる。

【0081】

上記と同様にして、二次温度係数 $\beta = -0.01 \text{ ppm}/\alpha^2$ となる $\alpha = +0.01 \text{ ppm}/\alpha^2$ について溝深さ $G$ との関係を求め、図26、図27にまとめた。これらのグラフ(図25～図27)から $\alpha = -0.01 \text{ ppm}/\alpha^2$ とすることのできる $\alpha$ の角度を求めるとき、上記条件下における好適な $\alpha$ の角度範囲は $43^\circ < \alpha < 45^\circ$ と定めることができ、さらに好適には $43.2^\circ < \alpha < 44.2^\circ$ と定めることができる。

【0082】

次に、図28に $\alpha$ の角度を振った際の二次温度係数の変化、すなわち $\beta$ と二次温度係数との関係を示す。ここで、シミュレーションに用いたSAWデバイスは、カット角とSAW伝搬方向をオイラー角表示で(0, 0, 0)とし、溝深さ $G$ を0.04とした水晶基板であり、電極膜厚 $H$ は0.02としている。なお、 $\alpha$ に関しては、 $\alpha$ の設定角度に基づいて、上述した角度範囲内において、適宜二次温度係数の絶対値が最少となる値を選択した。また、 $\beta$ に関しては、上記式(15)に従って、0.6383とした。

【0083】

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28からは、 $\alpha$ が $117^\circ$ 以上 $142^\circ$ 以下の範囲内であれば、二次温度係数 $\beta$ の絶対値が $0.01 \text{ ppm}/\alpha^2$ 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、 $\alpha$ を $117^\circ$ から $142^\circ$ の範囲で定めることによれば、良好な周波数温度特性を持ったSAW共振子10を構成することができると言える。トランスバーサル型SAWデバイス10Aについても同様のことが言える。

【0084】

図29は、オイラー角表示で(0, 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、 $\alpha$ の角度と二次温度係数 $\beta$ との関係を示すグラフである。

10

20

30

40

50

## 【0085】

図29からは、 $\theta$ が $-2^\circ$ 、 $+2^\circ$ の場合にはそれぞれ二次温度係数 $\theta$ が $-0.01$ よりも低くなってしまっているが、 $\theta$ が $-1.5^\circ$ から $+1.5^\circ$ の範囲であれば確実に、二次温度係数の絶対値が $0.01$ の範囲内にある事を読み取ることができる。よって、上記のような設定値において $\theta$ を $-1.5^\circ$ ～ $+1.5^\circ$ 、好適には $-1^\circ$ ～ $+1^\circ$ の範囲で定めることによれば、良好な周波数温度特性を持ったSAW共振子10を構成することができる。

## 【0086】

上記説明では、 $\theta$ 、 $G$ 、 $H$ はそれぞれ、一定条件の下に溝深さ $G$ との関係において最適値の範囲を導き出している。これに対し、図30では、 $-40^\circ$ ～ $+85^\circ$ における周波数変動量が最小となる非常に望ましい $\theta$ ～ $G$ の関係を示しており、その近似式を求めている。図30によれば、 $\theta$ の角度は、 $G$ の角度上昇に伴って変化し、三次曲線を描くように上昇する。なお、図30の例では、 $\theta = 117^\circ$ とした場合の $G$ は $42.79^\circ$ であり、 $\theta = 142^\circ$ とした場合の $G$ は $49.57^\circ$ である。これらのプロットを近似曲線として示すと図30中破線で示す曲線となり、近似式としては式(17)で示すことができる。これはトランスバーサル型SAWデバイス10Aについても当てはまる。

10

## 【数23】

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

## 【0087】

20

のことより、 $\theta$ は $G$ が定まることにより定めることができ、 $\theta$ の範囲を $117^\circ$ ～ $142^\circ$ とした場合における $G$ の範囲は $42.79^\circ$ ～ $49.57^\circ$ とすることが

できる。なお、シミュレーションにおける溝深さ $G$ 、電極膜厚 $H$ はそれぞれ、 $G = 0.04^\circ$ 、 $H = 0.02^\circ$ とした。

## 【0088】

上記のような理由により、本実施形態において種々定めた条件によりSAW共振子10を構成することによれば、目標値を満たす良好な周波数温度特性を実現可能なSAW共振子とすることができる。同様のことがトランスバーサル型SAWデバイス10Aについてもいえる。

## 【0089】

30

図40(A)は、トランスバーサル型SAWデバイス10Aのオイラー角( $\theta$ 、 $G$ 、 $H$ )を $(0, 123, 43.8)$ 、ライン占有率 $\psi$ を $0.635$ 、電極膜厚 $H$ を $0.02^\circ$ 、溝深さ $G$ を $0.045^\circ$ とした場合の、動作温度範囲内におけるストップバンド上端モードの周波数温度特性を示すグラフである。図40(B)は、従来におけるトランスバーサル型SAWデバイスのオイラー角( $\theta$ 、 $G$ 、 $H$ )を $(0, 127, 44.9)$ 、ライン占有率 $\psi$ を $0.40$ 、電極膜厚 $H$ を $0.04^\circ$ 、溝深さ $G$ を $0.00^\circ$ とした場合の、動作温度範囲内におけるストップバンド下端モードの周波数温度特性を示すグラフである。

## 【0090】

40

これらのグラフを比較して判るように、従来におけるトランスバーサル型SAWデバイスの動作温度範囲内における周波数変動量 $F$ は $30\text{ ppm}$ を超えており、本実施形態に係るトランスバーサル型SAWデバイス10Aの動作温度範囲内における周波数変動量 $F$ は $20\text{ ppm}$ 以下と小さくなっている。本実施形態では目標値を満たす良好な周波数温度特性が実現されている。

## 【0091】

また、本実施形態に係るSAW共振子10では、式(6)や図12～図23に示したように、電極膜の膜厚 $H$ を $0 < H \leq 0.035^\circ$ の範囲とした上で周波数温度特性の改善を図っている。これは、従来のように膜厚 $H$ を極度に厚くして周波数温度特性の改善を図るものとは異なり、耐環境特性を維持したまま周波数温度特性の改善を実現するものである。図37に、ヒートサイクル試験における電極膜厚(A1電極膜厚)と周波数変動との関係を示す。なお、図37に示したヒートサイクル試験の結果は、 $-55^\circ\text{C}$ ～ $50^\circ\text{C}$ の範囲下にお

50

いて SAW 共振子を 30 分間晒した上で雰囲気温度 + 125 まで上昇させて 30 分晒すというサイクルを 8 回続けた後のものである。図 37 からは、電極膜厚 H を 0.06 にし、且つ電極指間溝を設けない場合に比べ、本実施形態に係る SAW 共振子 10 の電極膜厚 H の範囲では、周波数変動 (F 变動) が、1/3 以下になっていることを読み取ることができる。なお、図 37 は何れのプロットも  $H + G = 0.06$  としている。

## 【0092】

また、図 37 と同じ条件で製造された SAW 共振子について、125 雰囲気に 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。  
10

## 【0093】

上記のような条件の下、 $H + G = 0.067$  (アルミ膜厚 2000、溝深さ 4700)、IDT のライン占有率  $i = 0.6$ 、反射器のライン占有率  $r = 0.8$ 、オイラー角 (0°, 123°, 43.5°)、IDT の対数 120 対、交差幅 40 ( $= 10 \mu m$ )、反射器本数 (片側あたり) 72 本 (36 対)、電極指の傾斜角度なし (電極指の配列方向と SAW の位相速度方向が一致)、といった条件で製造された SAW 共振子 10 では、図 31 に示すような周波数温度特性を示すこととなる。

## 【0094】

図 31 は、試験片個数  $n = 4$  個による周波数温度特性をプロットしたものである。図 31 によれば、これらの試験片による動作温度範囲内における周波数変動量 F は約 20 ppm 以下に抑制されていることを読み取ることができる。  
20

## 【0095】

本実施形態では溝深さ G や電極膜厚 H 等による周波数温度特性への影響を説明してきた。しかし溝深さ G と電極膜厚 H を合わせた深さ (段差) は、等価回路定数や CI 値等の静特性や Q 値にも影響を与える。例えば図 32、段差を 0.062 ~ 0.071 まで変化させた場合における段差と CI 値との関係を示すグラフである。図 32 によれば CI 値は、段差を 0.067 とした時に収束し、段差をそれ以上大きくした場合であっても良化しない (低くならない) ということを読み取ることができる。  
30

## 【0096】

図 31 に示すような周波数温度特性を示す SAW 共振子 10 における周波数と等価回路定数、および静特性を図 33 にまとめた。ここで、F は周波数、Q は Q 値、 $\beta$  は容量比、CI は CI (クリスタルインピーダンス: Crystal Impedance) 値、M は性能指数 (フィギュアオブメリット: Figure of Merit) をそれぞれ示す。

## 【0097】

また、図 35 には、従来の SAW 共振子と、本実施形態に係る SAW 共振子 10 における段差と Q 値との関係を比較するためのグラフを示す。なお、図 35 においては、太線で示すグラフが本実施形態に係る SAW 共振子 10 の特性を示すものであり、電極指間に溝を設け、且つストップバンド上端モードの共振を用いたものである。細線で示すグラフが従来の SAW 共振子の特性を示すものであり、電極指間に溝を設けずにストップバンド上端モードの共振を用いたものである。図 35 から明らかなように、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。  
40

## 【0098】

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

Ι D T 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 ° , 1 2 3 ° , 4 3 . 5 ° )  
 対数 : 1 2 0  
 交差幅 : 4 0 ( = 1 0 μ m )  
 反射器本数 ( 片側あたり ) : 6 0  
 電極指の傾斜角度なし

・従来の S A W 共振子の基本データ

H : 変化

G : ゼロ

Ι D T ライン占有率 i : 0 . 4  
 反射器ライン占有率 r : 0 . 3  
 オイラー角 ( 0 ° , 1 2 3 ° , 4 3 . 5 ° )  
 対数 : 1 2 0  
 交差幅 : 4 0 ( = 1 0 μ m )  
 反射器本数 ( 片側あたり ) : 6 0  
 電極指の傾斜角度なし

### 【 0 0 9 9 】

これらの S A W 共振子の特性を比較するため図 3 3 や図 3 5 を参照すると、本実施形態に係る S A W 共振子 1 0 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。

### 【 0 1 0 0 】

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 3 6 のように、Ι D T 1 2 のストップバンド上端の周波数  $f_{t2}$  を、反射器 2 0 のストップバンド下端の周波数  $f_{r1}$  と反射器 2 0 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 2 4 】

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

の関係を満たすように設定すれば良い。これにより、Ι D T 1 2 のストップバンド上端の周波数  $f_{t2}$  において、反射器 2 0 の反射係数 が大きくなり、Ι D T 1 2 から励振されたストップバンド上端モードの S A W が、反射器 2 0 にて高い反射係数で Ι D T 1 2 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 S A W 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。

### 【 0 1 0 1 】

これに対し、Ι D T 1 2 のストップバンド上端の周波数  $f_{t2}$  と反射器 2 0 のストップバンド下端の周波数  $f_{r1}$  、反射器 2 0 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、Ι D T 1 2 のストップバンド上端周波数  $f_{t2}$  において反射器 2 0 の反射係数 が小さくなってしまい、強いエネルギー閉じ込め状態を実現することが困難になってしまう。

### 【 0 1 0 2 】

ここで、数式 ( 18 ) の状態を実現するためには、反射器 2 0 のストップバンドを Ι D T 1 2 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、Ι D T 1 2 の電極指 1 8 の配列周期よりも、反射器 2 0 の導体ストリップ 2 2 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、Ι D T 1 2 の電極指 1 8 として形成された電極膜の膜厚よりも反射器 2 0 の導体ストリップ 2 2 として形成された電極膜の膜厚を薄くしたり、Ι D T 1 2 の電極指間溝の深さよりも反射器 2 0 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

20

30

40

50

## 【0103】

なお図33によれば、高Q化の他、高いフィギュアオブメリットMを得ることができて いるということができる。共振子において高Q化を果たしていることは、トランスバーサル型弾性表面波デバイスでは一方向性度が向上することに繋がる。そのため、本手法を用いたトランスバーサル型弾性表面波デバイスは低挿入損失な性能を実現できるとい うことがいえる。

また、図34は、図33を得たSAW共振子におけるインピーダンスZと周波数との関 係を示すグラフである。図34からは、共振点付近に無用なスプリアスが存在してい ない事を読み取ることができる。

## 【0104】

上記実施形態では、SAW共振子10を構成するIDT12はすべての電極指が交互に 交差しているように示した。しかし、本発明にかかるSAW共振子10は、その水晶基板 のみによっても相当な効果を奏することができる。このため、IDT12における電極指 18を間引きした場合であっても、同様な効果を奏することができる。このことはトランスバーサル型SAWデバイス10Aについても当てはまる。

## 【0105】

また、溝32に関しても、電極指18間や反射器20の導体ストリップ22間に部分的 に設けるようにしても良い。特に、振動変位の高いIDT12の中央部は周波数温度特性 に支配的な影響を与えるため、その部分のみに溝32を設ける構造としても良い。このよ うな構造であっても、周波数温度特性が良好なSAW共振子10とすることができる。このことはトランスバーサル型SAWデバイス10Aについても当てはまる。

## 【0106】

また、上記実施形態では、電極膜としてA1またはA1を主体とする合金を用いる旨記 載した。しかしながら、上記実施形態と同様な効果を奏することのできる金属であれば、 他の金属材料を用いて電極膜を構成しても良い。このことはトランスバーサル型SAWデ バイス10Aについても当てはまる。

## 【0107】

上記実施形態に係るSAW共振子10はSAWフィルタとしても利用することができる。 また、上記実施形態はIDTを一つだけ設けた一端子対SAW共振子であるが、本発明はIDTを複数設けた二端子対SAW共振子にも適用可能であり、縦結合型や横結合型の 二重モードSAWフィルタや多重モードSAWフィルタにも適用可能である。また、トランスバーサル型SAWデバイス10Aについても、SAW発振器を実現するための遅延線 (ディレイライン) としてもフィルタとしても利用することができる。

## 【0108】

次に、本発明に係るSAW発振器について、図38を参照して説明する。本発明に係る SAW発振器は図38に示すように、上述したSAW共振子10と、このSAW共振子10のIDT12に電圧を印加して駆動制御するIC(integrated circuit)50と、これらを収容するパッケージとから成る。なお、図38において、図38(A)はリッドを除いた平面図であり、図38(B)は、同図(A)におけるA-A断面を示す図である。

## 【0109】

実施形態に係るSAW発振器100では、SAW共振子10とIC50とを同一のパッケージ56に収容し、パッケージ56の底板56aに形成された電極パターン54a~54gとSAW共振子10の櫛歯状電極14a, 14b、およびIC50のパッド52a~52fとを金属ワイヤ60により接続している。そして、SAW共振子10とIC50とを収容したパッケージ56のキャビティは、リッド58により気密に封止している。このよ うな構成とすることで、IDT12(図1参照)とIC50、及びパッケージ56の底面に形成された図示しない外部実装電極とを電気的に接続することができる。

## 【0110】

なお、SAW共振子10に替えてトランスバーサル型SAWデバイス10Aをパッケージ56に収容して、SAW発振器としてもよい。

10

20

30

40

50

また、 SAW 共振子 10 やトランスバーサル SAW デバイス 10A は、電子機器に搭載してクロック源として用いることができる。ここで、電子機器としては、携帯電話機、ハードディスク、サーバ、コンピュータ、有線・無線基地局、車載通信機器等がある。

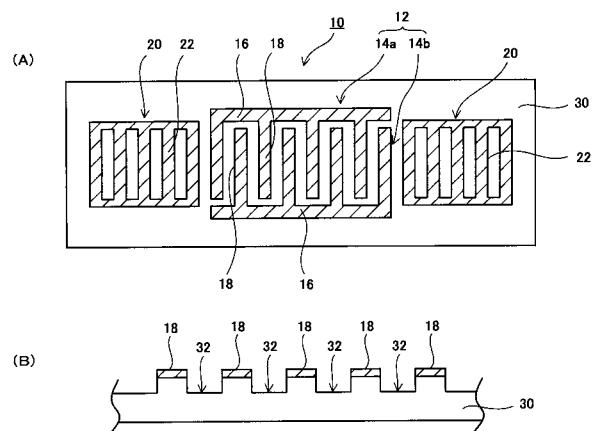
【符号の説明】

【0 1 1 1】

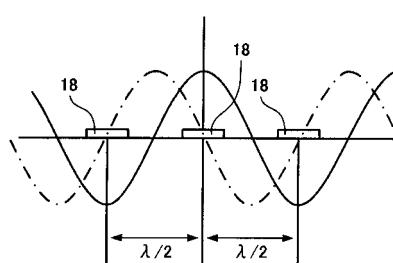
10 …… 弹性表面波共振子 (SAW 共振子)、10A …… トランスバーサル型弾性表面波デバイス (トランスバーサル型 SAW デバイス)、12 …… IDT、12A …… 入力 IDT、12B …… 出力 IDT、14a, 14b, 14c, 14d, 14e, 14f …… 櫛歯状電極、16 …… バスバー、18 …… 電極指、20 …… 反射器、22 …… 導体ストリップ、30 …… 水晶基板、32 …… 溝。

10

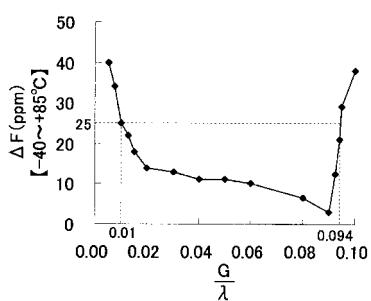
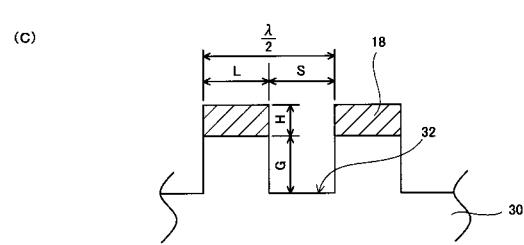
【図 1】



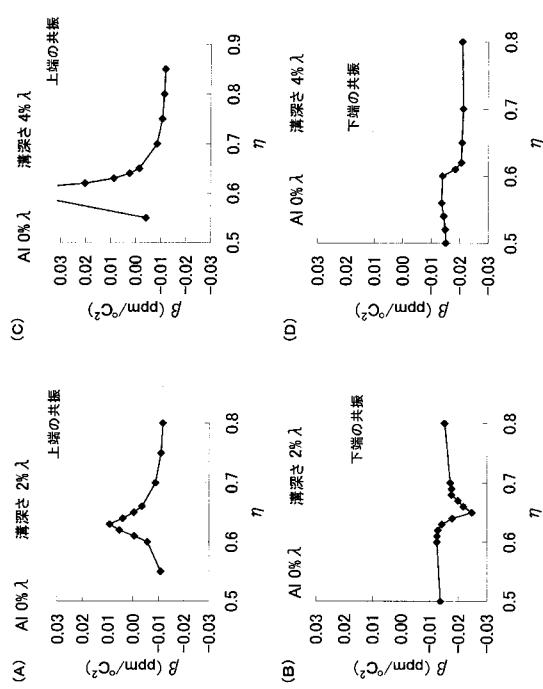
【図 2】



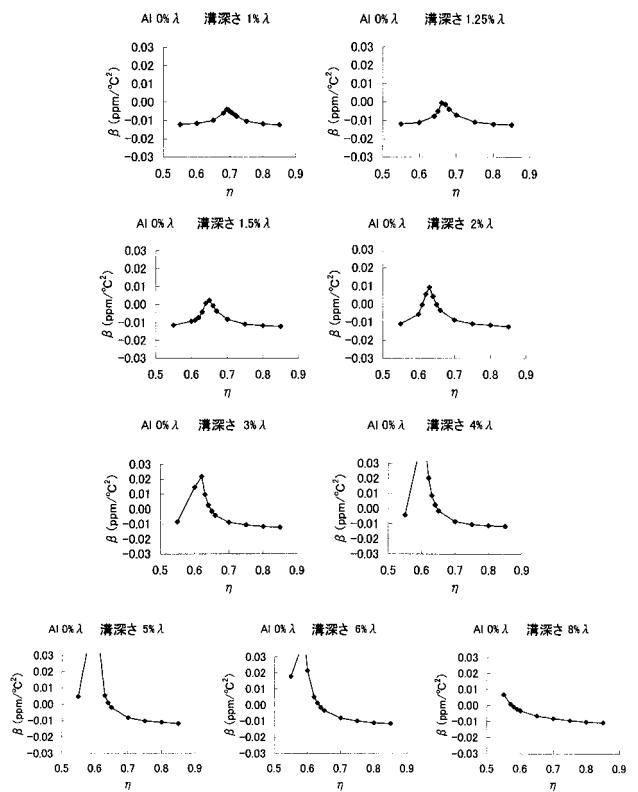
【図 3】



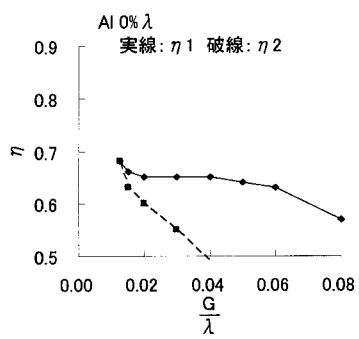
【図4】



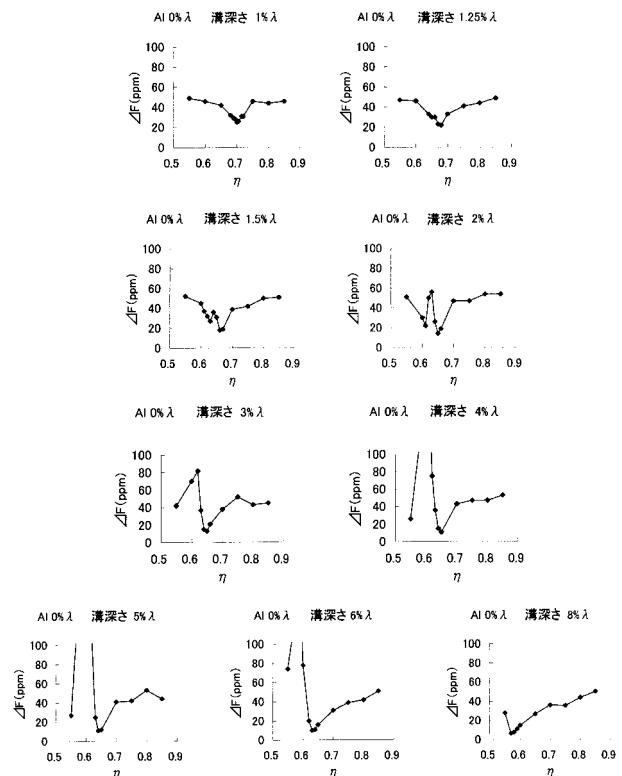
【図5】



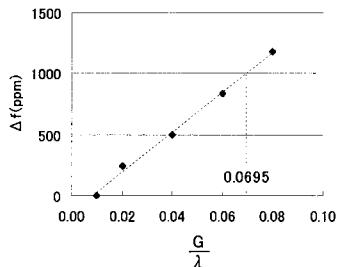
【図6】



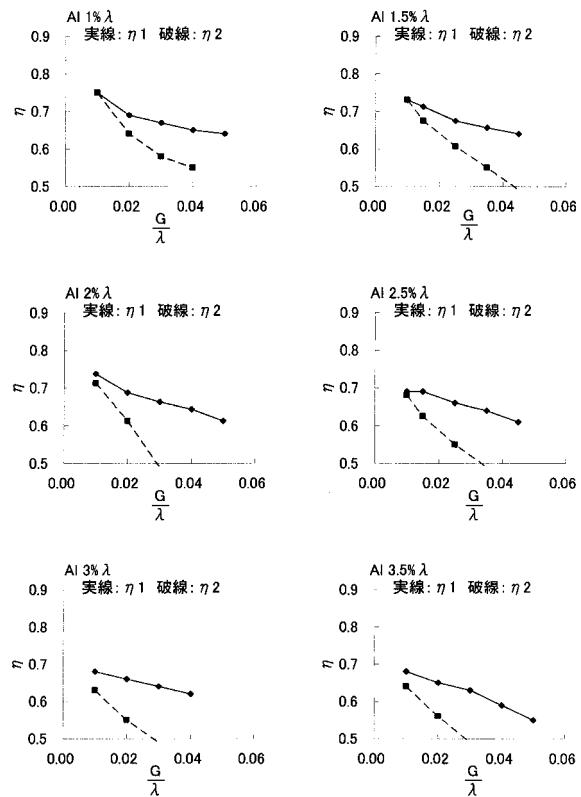
【図7】



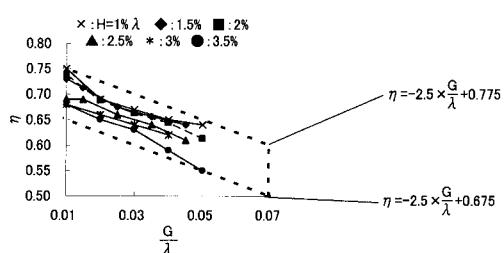
【図 8】



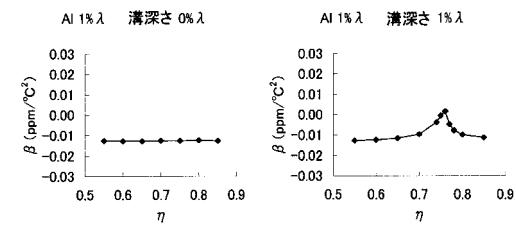
【図 9】



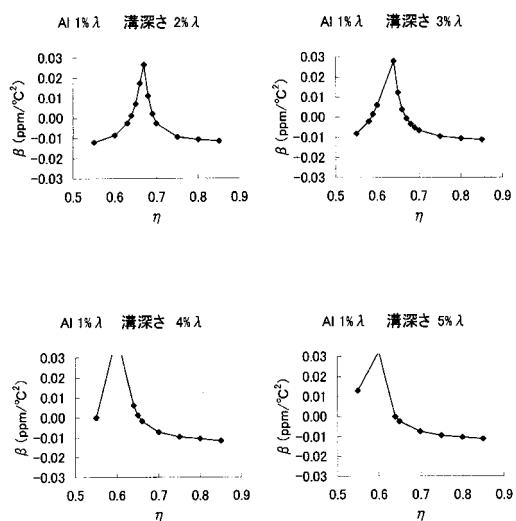
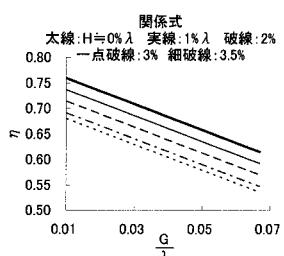
【図 10】



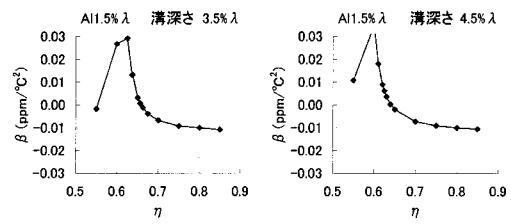
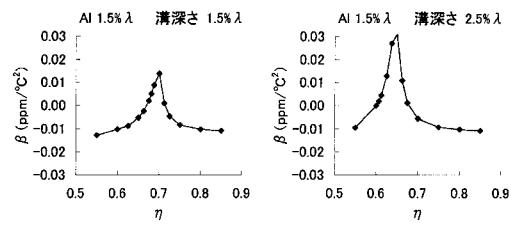
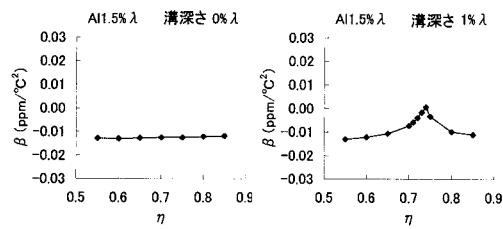
【図 12】



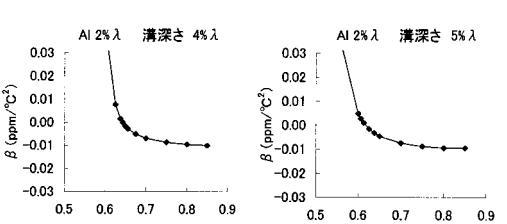
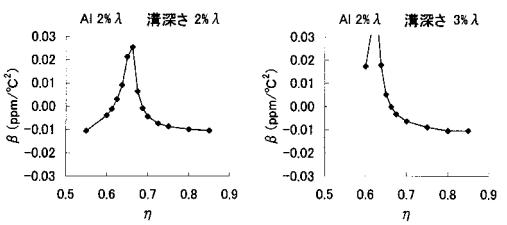
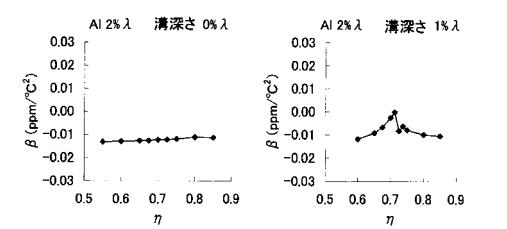
【図 11】



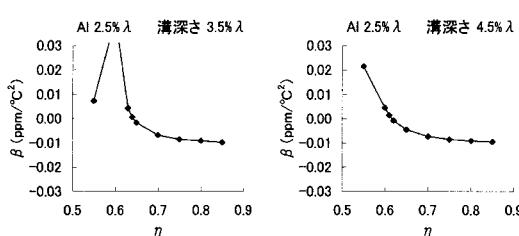
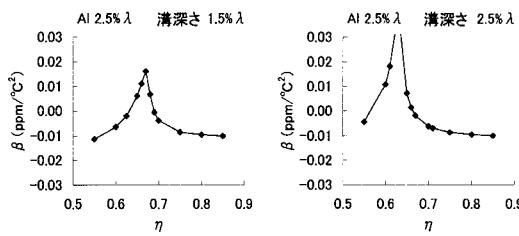
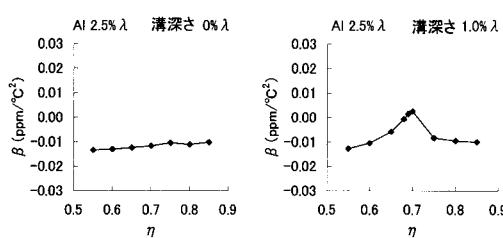
【図 1 3】



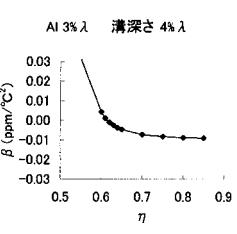
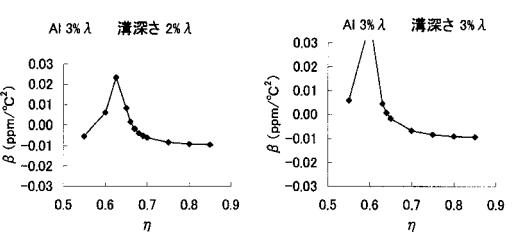
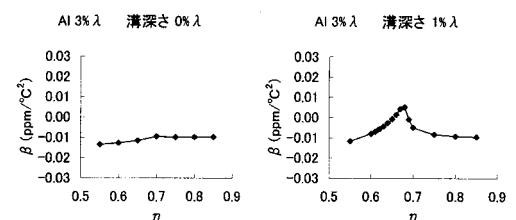
【図 1 4】



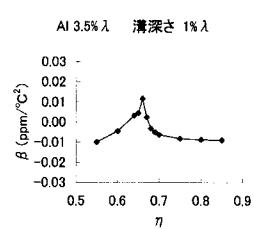
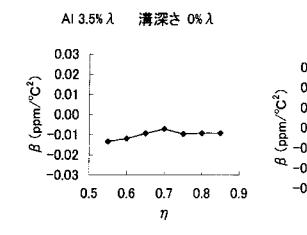
【図 1 5】



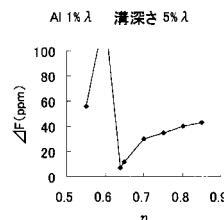
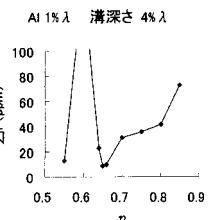
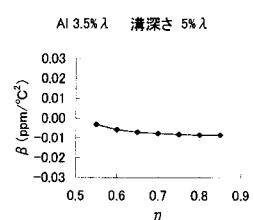
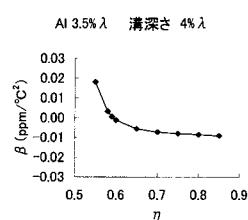
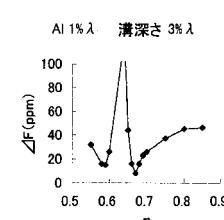
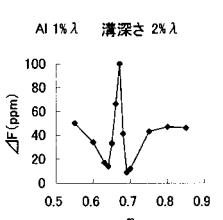
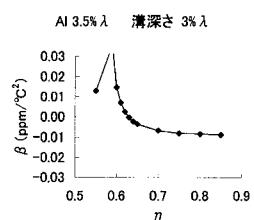
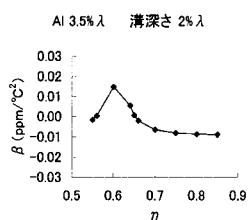
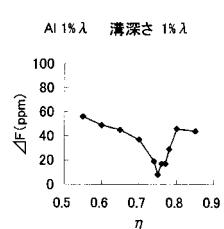
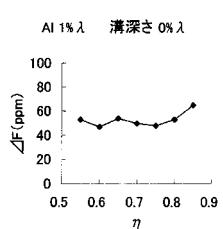
【図 1 6】



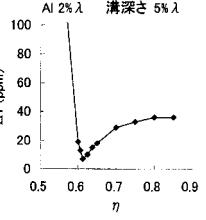
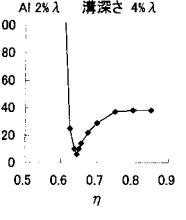
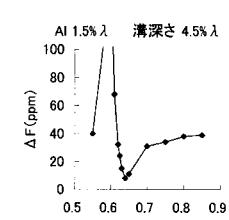
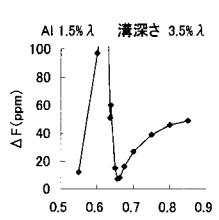
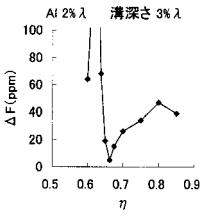
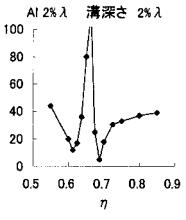
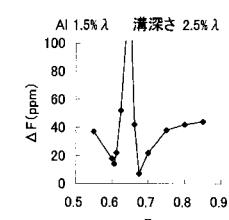
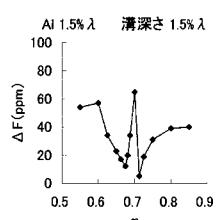
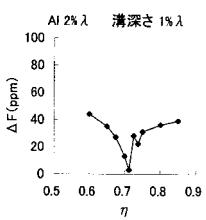
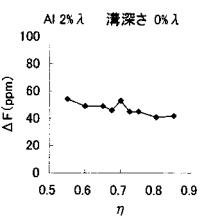
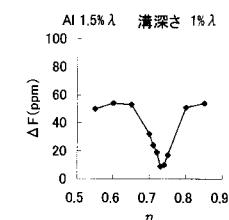
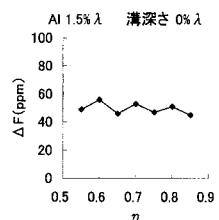
【図 1 7】



【図 1 8】

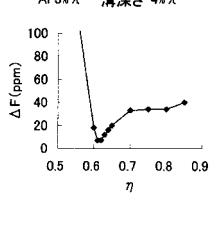
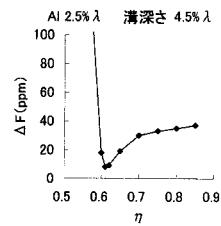
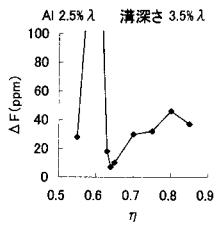
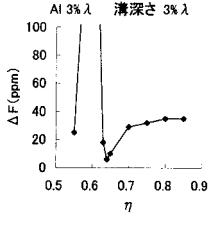
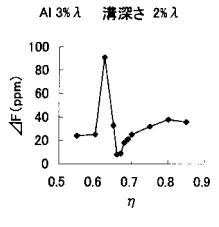
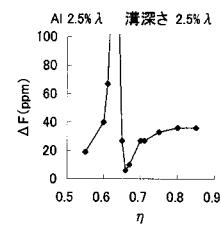
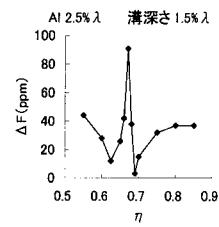
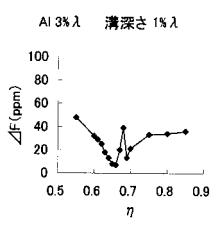
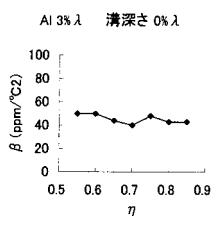
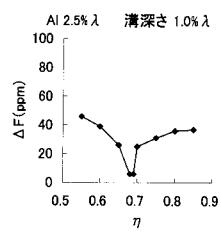
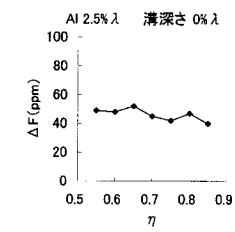


【図 1 9】

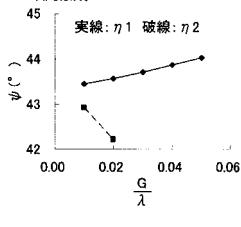
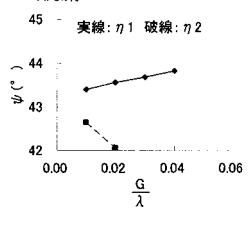
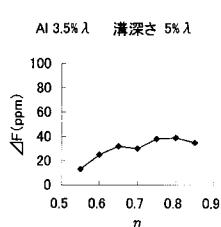
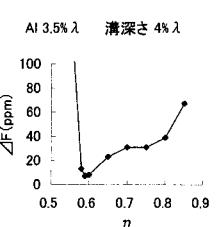
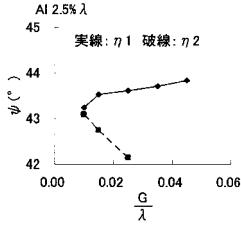
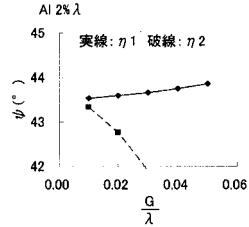
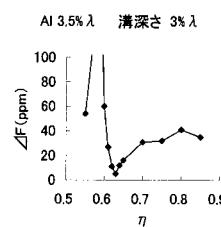
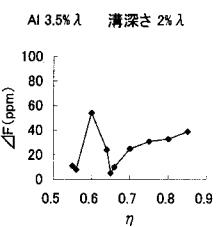
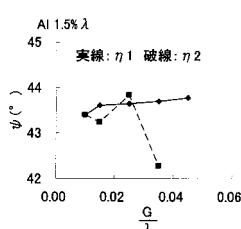
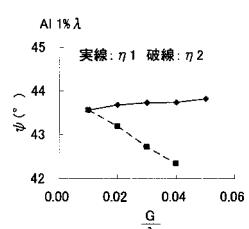
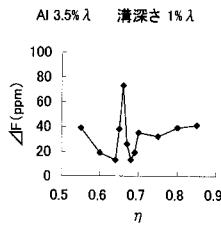
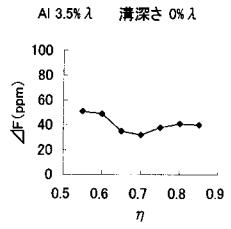


【図 2 0】

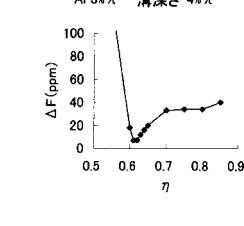
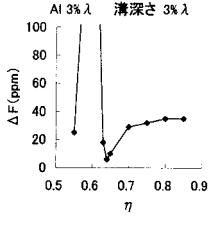
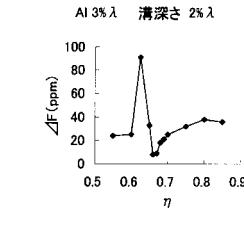
【図2-1】



【図2-3】

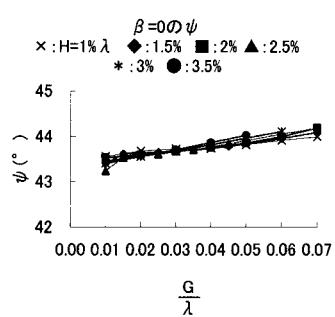


【図2-2】

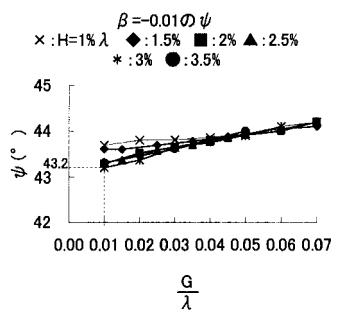


【図2-4】

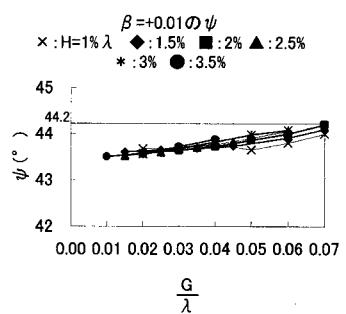
【図 2 5】



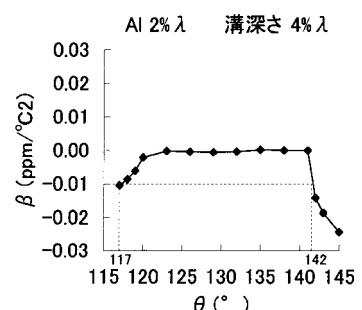
【図 2 6】



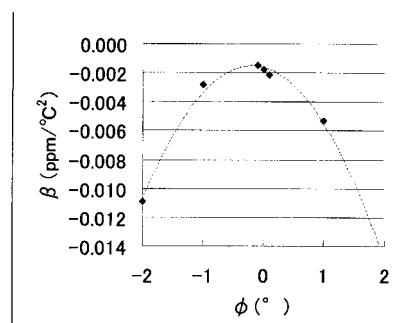
【図 2 7】



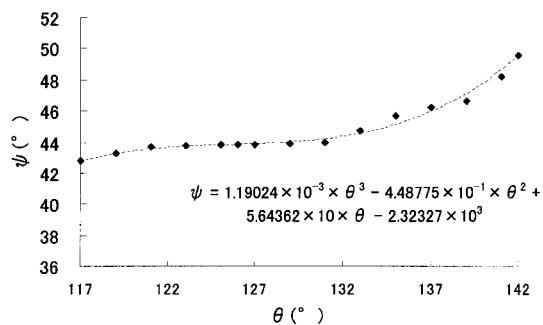
【図 2 8】



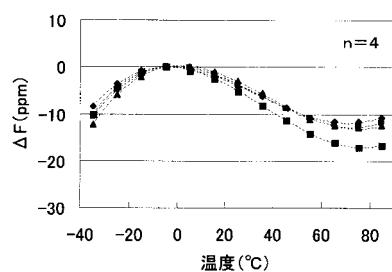
【図 2 9】



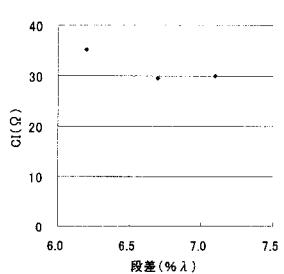
【図30】



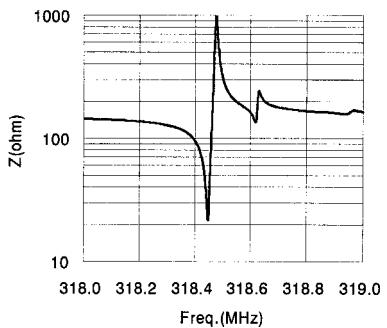
【図31】



【図32】



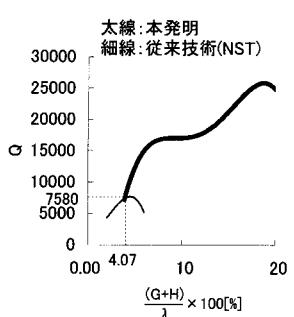
【図34】



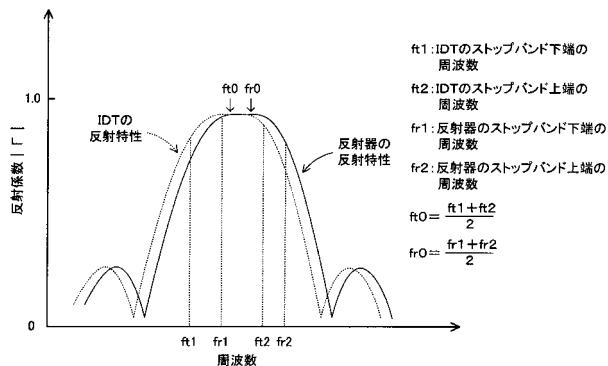
【図33】

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

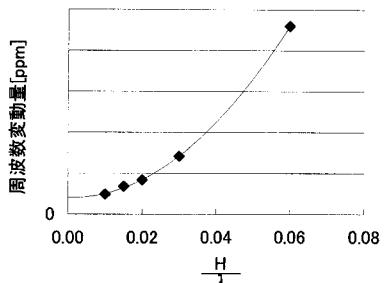
【図 3 5】



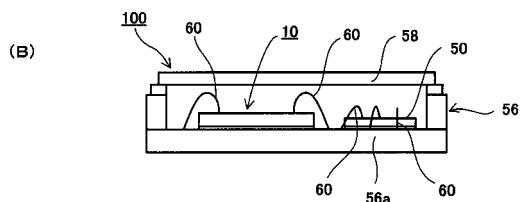
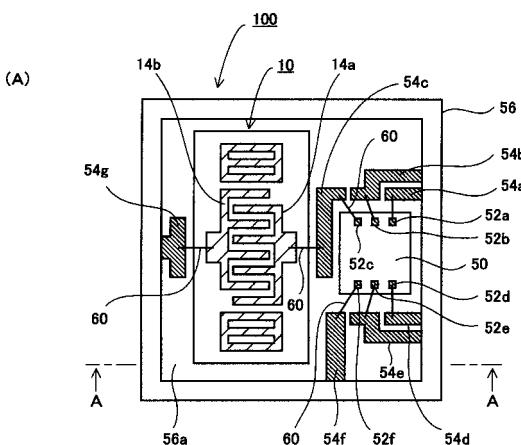
【図 3 6】



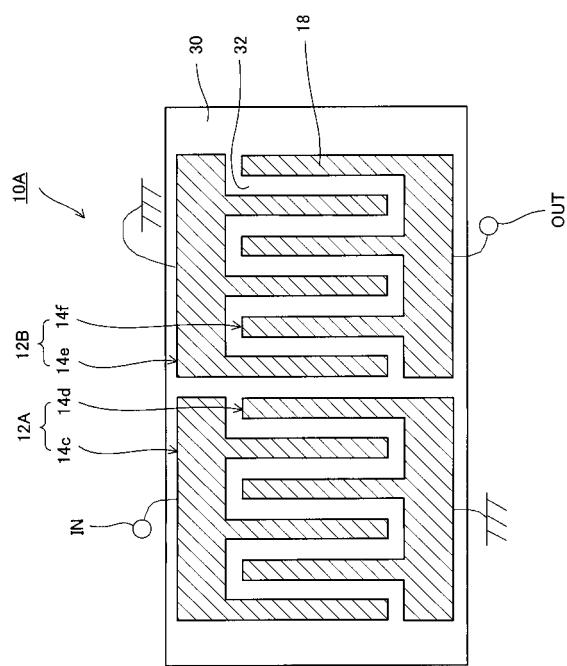
【図 3 7】



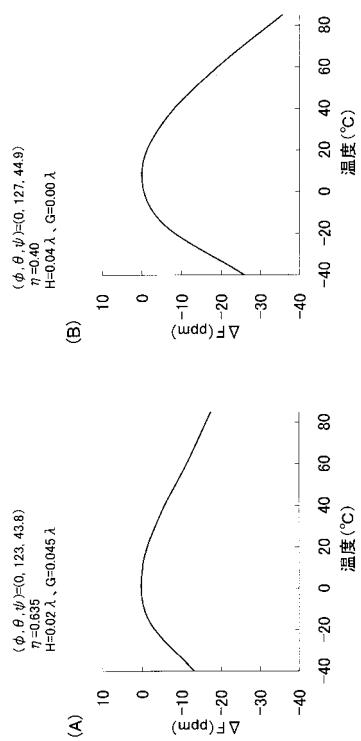
【図 3 8】



【図39】



【図40】



---

フロントページの続き

【要約の続き】

【選択図】図3 9