

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5563378号  
(P5563378)

(45) 発行日 平成26年7月30日(2014.7.30)

(24) 登録日 平成26年6月20日(2014.6.20)

(51) Int.Cl.

F 1

<b>H03H</b>	<b>9/25</b>	<b>(2006.01)</b>	H03H	9/25	C
<b>H03H</b>	<b>9/145</b>	<b>(2006.01)</b>	H03H	9/145	C
<b>H01L</b>	<b>41/18</b>	<b>(2006.01)</b>	H03H	9/145	D
<b>H01L</b>	<b>41/09</b>	<b>(2006.01)</b>	HO1L	41/18	101A
			HO1L	41/08	L

請求項の数 1 (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願2010-133838 (P2010-133838)

(22) 出願日

平成22年6月11日(2010.6.11)

(65) 公開番号

特開2011-259348 (P2011-259348A)

(43) 公開日

平成23年12月22日(2011.12.22)

審査請求日

平成25年6月11日(2013.6.11)

(73) 特許権者 000237444

リバーエレテック株式会社

山梨県韮崎市富士見ヶ丘2丁目1番11号

(74) 代理人 100097043

弁理士 浅川 哲

(72) 発明者 今 大健

山梨県韮崎市富士見ヶ丘2丁目1番11号

リバーエレテック株式会社内

審査官 畑中 博幸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】弾性波素子

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板内部を板波が伝搬するようにオイラー角( $0^\circ$ 、 $37.85^\circ$ 、 $0^\circ$ )によってカット形成された水晶基板と、この水晶基板の表面に板波を励振させる少なくとも1つの励振電極膜と、裏面に周波数の調整を行う周波数調整膜とを備え、

前記水晶基板の板厚をH、励振電極膜及び周波数調整膜がA uを主成分とする材料からなり、励振電極膜の膜厚をH s、周波数調整膜の膜厚をH b、板波の波長をλとした場合に

規格化された板厚H / λが、 $1.00 < H / \lambda < 1.29$ 、且つ

規格化された励振電極膜の膜厚H s / λ及び規格化された周波数調整膜の膜厚H b / λが $0.005 < (H_s / \lambda = H_b / \lambda) < 0.013$

である条件を満たし、

前記水晶基板から位相速度が $4500 \sim 6000 \text{ m/s}$ の範囲の板波を選択して振動モードとしたことを特徴とする弾性波素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、コンピュータや通信機器等における高周波発振源に用いられる弾性波素子に関するものである。

## 【背景技術】

**【0002】**

現在、各種の電子機器に搭載されている発振源としては、主に A T カットの水晶振動子が多く用いられ、高周波で使用する場合は P L L によって所定の周波数に倍増して使用している。また、高周波でノイズ等の少ない信号を必要とする場合は、弾性表面波を利用した共振子を直接発振源として使用する場合もある。

**【0003】**

A T カットによる水晶振動子は、安定した周波数特性が得られることから、多くの電子機器の発振源として用いられているが、高速動作するコンピュータや通信機器などの高周波発振源として用いる場合は、厚みを薄くしたり、平坦度を上げたりするなどの高精度の加工技術が必要とされている。

10

**【0004】**

一方、弾性表面波は、圧電基板の表層面に発生する縦波あるいは横波を利用したものであり、その周波数は速度に比例し、波長に反比例する特性を有している。この弾性表面波を用いたデバイスは、所定のカット角で形成された圧電基板の表面に複数の電極指を櫛形状に配置してなる櫛形励振電極を形成し、この櫛形励振電極の膜厚や各電極指のピッチを調整することによって、所定の発振周波数を得るようになっている。

**【0005】**

特許文献 1 に開示されている圧電デバイスは、回転 Y カット水晶基板に生じる弾性表面波の中のラム波モードを用いたものであり、水晶基板の表面に櫛形励振電極を有し、裏面に周波数調整用の薄膜を有した構造となっている。この圧電振動子は、温度特性が従来型の S T カット共振子と同じ 2 次温度特性を有している。

20

**【0006】**

特許文献 2 , 3 には、ラム波を発振させるための振動子が開示されている。このラム波型の振動子は、3 次温度特性が得られる点で、A T カットのような厚みすべり振動子よりも周波数特性の改善が図られている。しかしながら、水晶基板のカット角が 2 回回転であることから、作製のしやすさや温度特性のばらつき等に課題がある。

**【0007】**

また、特許文献 4 には、オイラー角表示で規定された回転 Y 板を用いて構成された高周波振動子が開示されている。

**【0008】**

30

なお、上記特許文献 2 乃至 4 に開示されている振動子は、圧電基板の表面に櫛形励振電極を配置した構造となっており、圧電基板の裏面には周波数調整目的の薄膜等は設けられていない。

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0009】**

**【特許文献 1】特開昭 57 - 68925 号公報**

**【特許文献 2】特開 2003 - 258596 号公報**

**【特許文献 3】特許第 4465464 号公報**

**【特許文献 4】特許第 4306668 号公報**

40

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0010】**

上記 A T カットによる水晶振動子にあっては、周波数精度は高いが、所定の周波数に倍増する際に、位相雑音や信号の時間的なズレや揺らぎなどによるジッタが発生するなどの問題がある。一方、弾性波素子では、高周波を直接発振することが可能であるため、位相雑音やジッタ特性は良好であるが、発振周波数精度が A T カット振動子に比べて劣るといった問題がある。

**【0011】**

そこで、本発明の目的は、高周波を直接発振させることができると共に、A T カット振

50

動子並みの周波数精度が得られ、発振器を構成した場合において位相雑音やジッタ特性が良好な弾性波素子を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記課題を解決するために、本発明の弾性波素子は、基板内部を板波が伝搬するようにオイラー角 (0°、37°、85°) によってカット形成された水晶基板と、この水晶基板の表面に板波を励振させる少なくとも 1 つの励振電極膜と、裏面に周波数の調整を行う周波数調整膜とを備え、前記水晶基板の板厚を H、励振電極膜及び周波数調整膜が Au を主成分とする材料からなり、励振電極膜の膜厚を Hs、周波数調整膜の膜厚を Hb、板波の波長をとした場合に、規格化された板厚 H / が、1.00 < H / < 1.29 10 且つ規格化された励振電極膜の膜厚 Hs / 及び規格化された周波数調整膜の膜厚 Hb / が、0.005 < (Hs / = Hb / ) < 0.013 である条件を満たし、前記水晶基板から位相速度が 4500 ~ 6000 m / s の範囲の板波を選択して振動モードとしたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0014】

本発明の弾性波素子によれば、水晶基板が従来にない新規なオイラー角 (0°、37°、85°、0°) によってカット形成されている。このカット角で形成された水晶基板を用い、表面に櫛形励振電極、裏面に周波数調整膜をそれぞれ所定厚みに形成することで、高周波による板波を発生させることができる。また、前記水晶基板の板厚、櫛形励振電極及び周波数調整膜の膜厚を調整することで、3 次温度特性を有するとともに、AT カットと略同程度の周波数精度を備えた高周波の発振を基本波で得ることができる。これによって、位相雑音やジッタ特性が良好な弾性波素子の提供が可能となった。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図 1】本発明に係る弾性波素子の斜視図である。

【図 2】水晶基板をカット形成するオイラー角座標図である。

【図 3】本発明のオイラー角における水晶基板単体での板波の位相速度の分散を示すグラフである。

【図 4】上記オイラー角によって形成される水晶基板に所定厚みの櫛形励振電極及び周波数調整膜を形成した場合の板波の位相速度の分散を示すグラフである。

【図 5】オイラー角と 1 次及び 2 次の温度係数との関係を示すグラフである。

【図 6】オイラー角と電気機械結合係数との関係を示すグラフである。

【図 7】水晶基板の板厚と Au による櫛形励振電極の膜厚との関係における温度特性を示すグラフである。

【図 8】水晶基板の板厚と板波の位相速度との関係を計算値と実験値で示したグラフである。

【図 9】周波数調整膜と板波の位相速度との関係を計算値と実験値で示したグラフである。

【図 10】水晶基板の板厚と 1 次温度係数との関係を計算値と実験値で示したグラフである。

【図 11】水晶基板の板厚と 2 次温度係数との関係を計算値と実験値で示したグラフである。

【図 12】周波数調整膜の膜厚と 1 次温度係数との関係を計算値と実験値で示したグラフである。

【図 13】周波数調整膜の膜厚と 2 次温度係数との関係を計算値と実験値で示したグラフである。

【図 14】本発明の弾性波素子と他のカット角による振動子の温度特性を比較したグラフである。

10

20

30

40

50

【図15】水晶基板の板厚とA1による櫛形励振電極の膜厚との関係における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】

【0016】

以下、本発明の弹性波素子の実施形態を添付図面に基づいて説明する。本実施形態の弹性波素子11は、図1に示すように、薄板状の水晶基板12と、この水晶基板12の表面12aに形成される櫛形励振電極（励振電極）13と、水晶基板12の裏面12bに形成される周波数調整膜14とを備えて構成されている。

【0017】

前記水晶基板12は、オイラー角（0°, 37.85°, 0°）によって、所定の板厚にカット形成されている。前記励振電極13は、櫛歯状のIDT（Interdigital Transducer）電極15, 16を対にして構成される。前記IDT電極15, 16は、水晶基板12の長手方向に沿って延びるベース電極部15a, 16aと、このベース電極部15a, 16aの一側面から延びる複数の電極指15b, 16bとを備えている。このように、励振電極13は、一方のベース電極部15aから延びる電極指15bと、他方のベース電極部16aから延びる電極指16bとが非接触状態で交差するようにして配置される。前記電極指15b, 16bの電極指間距離（ピッチ）は、励振させる弹性波の波長に合わせて設定される。また、隣接する電極指のピッチは、前記波長に対して $\sqrt{2}$ 程度である。この励振電極13は、IDT電極15, 16それぞれに極性の異なる電圧を印加することによって、隣接する電極指間に交番電界が発生し、板波が水晶基板12内に励起される。

【0018】

前記水晶基板12は、板厚Hが波長と略同程度まで薄くした回転Yカットによって形成されている。前記板厚Hは、励振電極13及び周波数調整膜14の膜厚とによって、後述するように3次温度特性を有するように調整される。

【0019】

前記励振電極13は、図1に示されるように、水晶基板12の表面12aの略中央部に形成される金（Au）あるいはアルミニウム（Al）を主成分とする金属膜であり、所定の膜厚となるように成膜して形成される。また、この励振電極13を挟んだ両側に反射器（図示せず）を設けることもできる。反射器を設けることで、前記励振電極13で励起させた板波を両反射器間に閉じ込めて大きな共振を得ることができる。

【0020】

周波数調整膜14は、前記励振電極13と対向する水晶基板12の裏面12bに形成される。この周波数調整膜14は、水晶基板12の裏面12bにAuなどの金属材料、あるいは、誘電材料を所定の膜厚となるように成膜して形成される。前記金属材料は、Au以外にAl、Ta、Cuなどが使用でき、誘電材料にはSiO<sub>2</sub>、ZnO、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>などが使用できる。このような材料で形成される周波数調整膜14は、膜厚によって発振周波数の微調整を行うと共に、前記励振電極13との膜厚との関係によって、3次温度特性を保持する。

【0021】

図2は前記水晶基板12のカット角を右手系のオイラー角の座標系を用いて示したものである。以下、弹性波素子11の各種解析並びにカット角の定義に関してはこの座標系を用いて説明する。図3ではオイラー角表記（0°, 37.85°, 0°）で表わされる水晶基板12内を伝搬する板波について、規格化された励振電極膜厚H<sub>s</sub>/λ = 0、規格化された周波数調整膜厚H<sub>b</sub>/λ = 0における分散曲線を示す。また、図4では、励振電極13にAuを用いて、H<sub>s</sub>/λ = H<sub>b</sub>/λ = 0.013とした場合の分散曲線をそれぞれ示す。ここで、横軸は波数kと板厚Hの積、縦軸は位相速度である。

【0022】

図3、図4で示される分散曲線は、縦波と横波が結合した板波あるいはラム波と呼ばれる振動モードである。これらの振動モードは表面波とは異なり板厚に対しても周波数分散

10

20

30

40

50

性を示す。本実施形態にあっては、位相速度が 4500 ~ 6000 m / s に存在する板波を共振子に用いる。

#### 【0023】

図 5 はオイラー角 (0°, , 0°) の水晶基板 12 内を伝搬する振動モードの温度特性 (1 次温度係数 、 2 次温度係数 ) と の関係を計算によって求めた結果である。ここでは、規格化板厚  $H / = 1.194$  とし、励振電極と周波数調整膜の膜厚は無視して計算している。図 6 は右手系オイラー角表記 (0°, , 0°) の水晶基板 12 内を伝搬する振動モードの電気機械結合係数  $K^2$  と の関係を計算によって求めた結果である。

#### 【0024】

図 5 について検討すると、1 次温度係数 = 0 となる切断角度が = 38° 又は = 106° 近辺に存在する。2 次温度係数 は = 38° の方が小さく、 = 0 のときに = 0.5 × 10<sup>-8</sup> 程度となるため、本発明においては、 = 38° 近辺のカット角を採用した。ただし、の方がやや大きいため、このままでは 3 次温度特性を得ることはできない。しかしながら、が 35° < < 40° の条件を満たし、規格化板厚  $H /$  、規格化励振電極膜厚  $H_s /$  、規格化周波数調整膜厚  $H_b /$  の組み合わせを後述するように最適化することで、25 付近に変曲点を持つ略 3 次温度特性を得ることができる。

#### 【0025】

図 6 について検討すると、電気機械結合係数  $K^2$  は、 = 35 ~ 40° の範囲において約 0.08 % であり、やや小さめではあるが共振子として用いるには問題ない数値となっている。

#### 【0026】

次に、規格化板厚  $H /$  、規格化励振電極膜厚  $H_s /$  、規格化周波数調整膜厚  $H_b /$  の最適な組み合わせ例を以下に示す。図 7 は、水晶基板のカット角及び板波の伝搬方向を (0°, 37.85°, 0°) とし、励振電極及び周波数調整膜に Au を用いて同じ膜厚 ( $H_b / = H_s /$ ) とした場合における規格化板厚  $H /$  と、Au 膜厚  $H_{Au} /$  の -20 ~ +80 の温度変化に対する周波数変化量 (+25 基準) との関係を計算によって求めた結果である。

#### 【0027】

図 7 に示した計算結果を検討すると、-25 ~ +80 に対する周波数変化量が ± 10 ppm 以内となる領域が存在することが確認できる。量産時における温度特性のバラツキを考慮すると、± 10 ppm 以内となる領域の面積が可能な限り広い部分で設計するのが好ましい。例えば、板厚  $H$  に対する製作許容誤差を大きくしたい場合には、横軸に広い部分を目標値とし、励振電極 13 及び周波数調整膜 14 による製作許容誤差を大きくしたい場合は、縦軸に広い部分を目標値にするとよい。また、3 次温度曲線を旋回させたい場合は、AT カット水晶振動子と同様にカット角を僅かにずらすことによって行うことができる。

#### 【0028】

3 次温度特性となるカット角度 、 規格化板厚  $H /$  、 規格化励振電極膜厚  $H_s /$  、 規格化周波数調整膜厚  $H_b /$  による組み合わせは無数にあり、また、  $H_s / = H_b /$  としても 3 次温度曲線となる組み合わせも多数存在する。したがって、上記の計算結果に解析誤差も考慮すると、

$$\begin{aligned} 1.000 < H / &< 1.350 \\ 0.003 < H_s / &< 0.020 \\ 0.001 < H_b / &< 0.020 \end{aligned}$$

の範囲で温度特性が最適となる組み合わせを探すことができる。

#### 【0029】

次に、位相速度の実験値と解析値について比較した結果を示す。図 8 は、励振電極及び周波数調整膜に Au を用い、規格化励振電極膜厚  $H_s / = 0.006$  、規格化周波数調整膜厚  $H_b / = 0$  にて共振子の試作を行い、位相速度と規格化板厚  $H /$  の関係につい

10

20

30

40

50

ての計算値と実験値の比較を行った結果である。図9は、励振電極及び周波数調整膜にA<sub>u</sub>を用い、規格化励振電極膜厚H<sub>s/</sub> = 0.012、規格化板厚H<sub>/</sub> = 1.139にて共振子の試作を行い、位相速度と規格化周波数調整膜厚H<sub>b/</sub>の関係についての計算値と実験値の比較を行った結果である。

#### 【0030】

図8と図9の結果から両者ともに計算値と実験値は略一致しており、位相速度に関して精度が良好であることが確認できた。

#### 【0031】

次に、温度特性の実験値と解析値について比較した結果を示す。ここでは、励振電極及び周波数調整膜にA<sub>u</sub>を用い、H<sub>s/</sub> = 0.011、H<sub>b/</sub> = 0として共振子の試作を行い、温度特性の測定を行った。図10に1次温度係数、図11に2次温度係数の板厚依存性についての計算値と実験値を比較した結果を示す。1次温度係数、2次温度係数共に、計算値と実験値は略一致している。10

#### 【0032】

図10に示されるように、1次温度係数は、H<sub>s/</sub>に対して2次曲線状に変化している。そのため、2次曲線の頂点付近が=0となるように設計することで、H<sub>s/</sub>による温度特性のバラツキを低減することができる。2次温度係数は板厚Hに大きく影響され、その他のパラメータには影響されにくい。したがって、図11の実験値からもわかるように、3次温度特性を得るために電気機械結合係数K<sup>2</sup>が小さくなりすぎない範囲でH<sub>/</sub>を大きく設計する必要がある。20

#### 【0033】

次に、励振電極及び周波数調整膜にA<sub>u</sub>を用いて、H<sub>/</sub> = 1.084、H<sub>s/</sub> = 0.011として圧電振動子の試作を行い、温度特性の測定を行った。図12に1次温度係数、図13に2次温度係数の板厚依存性についての計算値と実験値を比較した結果を示す。

#### 【0034】

図12に示されるように、1次温度係数は周波数調整膜の膜厚に対して2次曲線状に変化している。したがって、図10に示した板厚依存性の場合と同様に、2次曲線の頂点が=0となるような条件で設計することで、周波数調整膜のトリミングによる周波数調整後の温度特性の変化を最小にすることができる。2次温度係数に関しては、板厚ほどではないが、周波数調整膜の膜厚が厚くなるほど=0に近づく傾向がある。30

#### 【0035】

図14は計算結果に基づいて、カット角及び伝搬方向が(0°, 37.85°, 0°)、H<sub>/</sub> = 1.14、H<sub>s/</sub> = 0.010、H<sub>b/</sub> = 0.007として共振子の試作を行い、温度特性の測定を行った結果である。温度特性は3次温度特性となり、従来のSTカットSAW共振子よりも優れた温度特性になっている。また、ATカット振動子と比較しても同等以上の温度特性が得られることが確認できた。

#### 【0036】

次に励振電極13の材質としてA1を用いた場合について説明する。励振電極13をA1で形成した場合は、A<sub>u</sub>に対する密度比に応じて規格化励振電極膜厚H<sub>s/</sub>が求められる。一般にA<sub>u</sub>とA1の密度比は約7.2となる。したがって、A<sub>u</sub>の規格化励振電極膜厚H<sub>s/</sub>が、0.003 < H<sub>s/</sub> < 0.020の範囲であるので、A1の規格化励振電極膜厚H<sub>s/</sub>は、約7.2倍の40

0.020 < H<sub>s/</sub> < 0.150の範囲となる。

#### 【0037】

図15は励振電極13及び周波数調整用膜14にA1を用いた場合における温度特性を示したものである。図7に示したA<sub>u</sub>の場合と分布パターンは異なるものの、周波数変化量が±10 ppm以内となる領域(中央部の濃い部分)が存在していることが確認できる。なお、共振子の温度特性は、励振電極及び周波数調整用膜の重さのみならず、弾性定数や線膨張係数の影響も受けるため、カット角をずらして3次温度特性になるように調整す50

る必要がある。図15ではオイラー角( $0^\circ$ 、 $37.3^\circ$ 、 $0^\circ$ )にすることでこれらの影響を補正している。また、周波数調整膜にAuやAlといった金属材料だけではなく誘電材料を用いた場合においても膜厚とカット角の調整により3次温度特性を得ることが出来る。

#### 【0038】

以上説明したように、本発明の弾性波素子によれば、オイラー角( $0 \pm 2^\circ$ 、 $35 \sim 40^\circ$ 、 $0 \pm 2^\circ$ )によってカット形成された水晶基板が3次の温度特性を有し、且つ、位相速度が $4500 \sim 6000\text{ m/s}$ の範囲の板波を生じさせることができることが実証された。また、前記水晶基板の表面に櫛形励振電極、裏面に周波数調整膜を配置した構成されているため、櫛形励振電極及び周波数調整膜の膜厚を所定の範囲で調整することによって、ATカット振動子並みの周波数精度が得られ、発振器を構成した場合において位相雑音やジッタ特性が良好な安定した高周波発振源となる。10

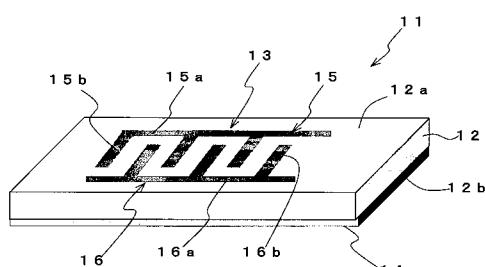
#### 【符号の説明】

#### 【0039】

- 1 1 弾性波素子
- 1 2 水晶基板
- 1 3 櫛形励振電極
- 1 4 周波数調整膜
- 1 5 , 1 6 I D T 電極
- 1 5 a , 1 6 a ベース電極部
- 1 5 b , 1 6 b 電極指

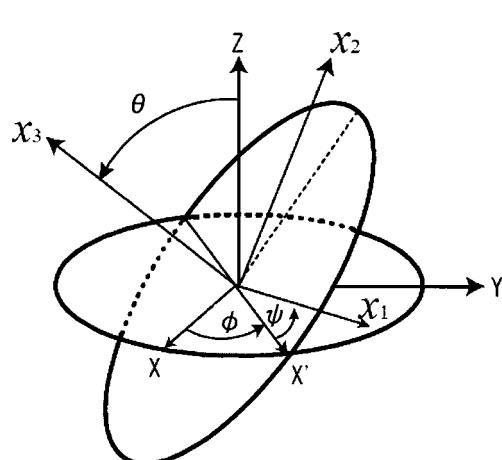
20

【図1】

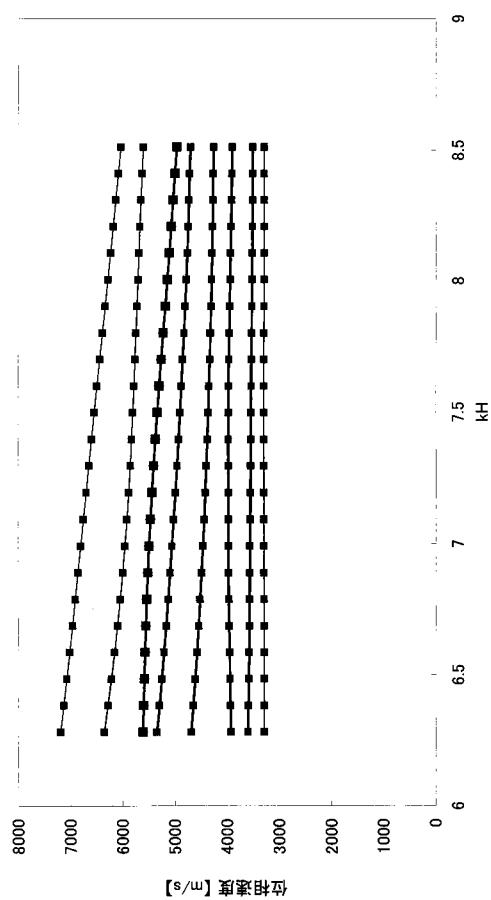


1 1 … 弹性波素子  
1 2 … 水晶基板  
1 3 … 櫛形励振電極  
1 4 … 周波数調整膜

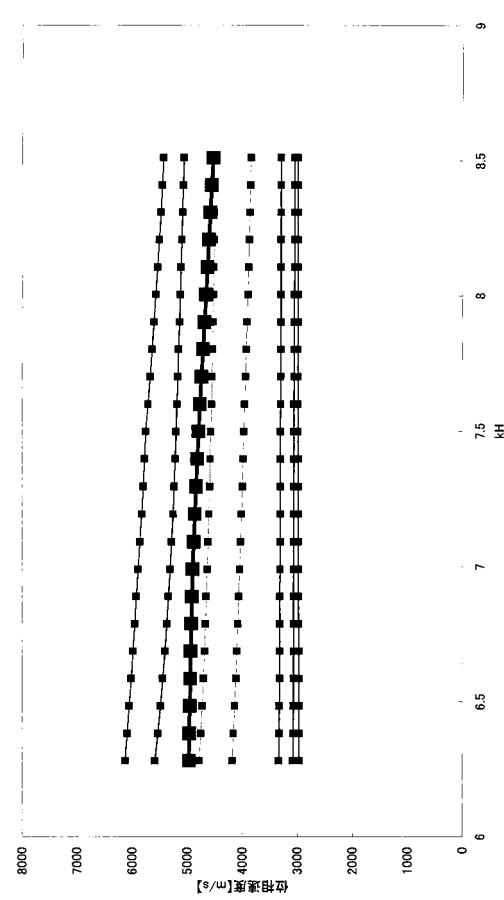
【図2】



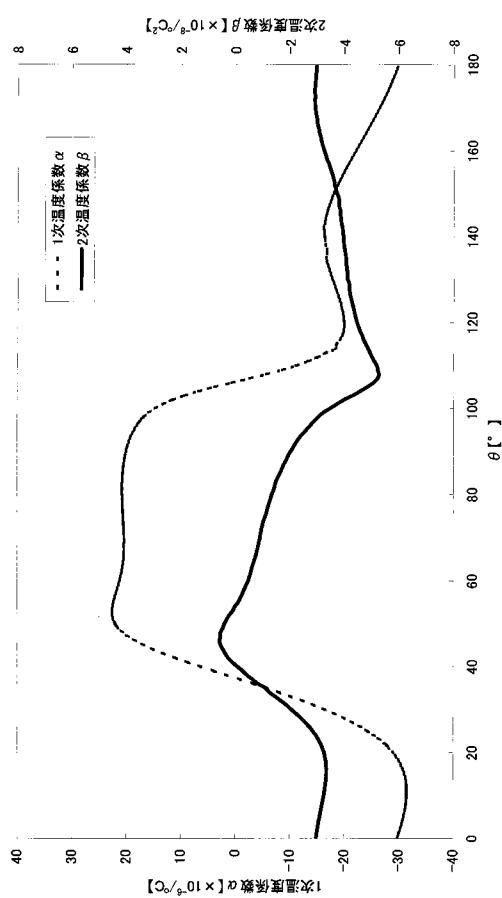
【図3】



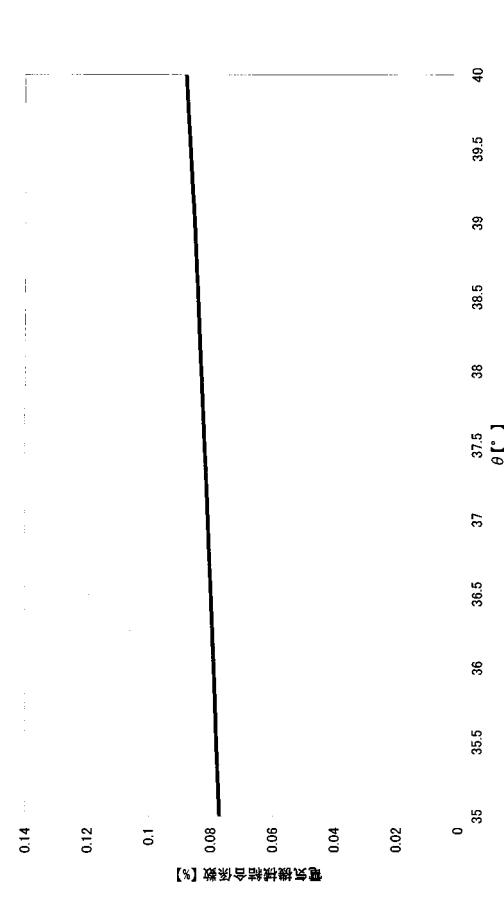
【図4】



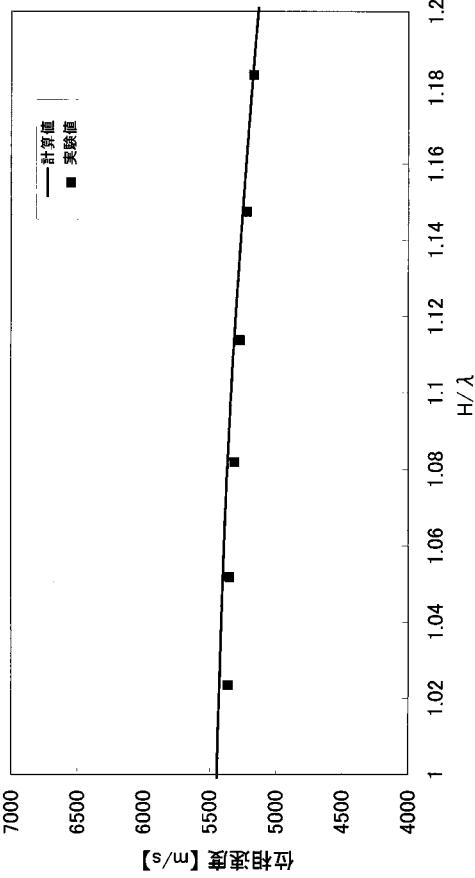
【図5】



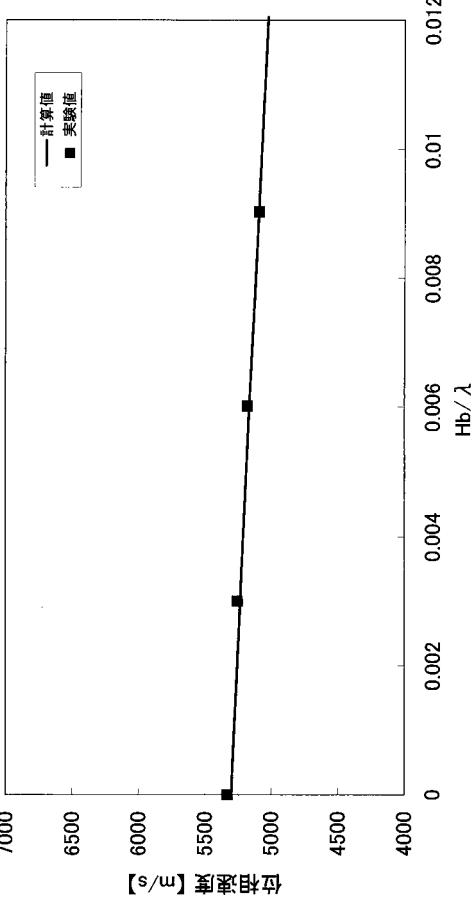
【図6】



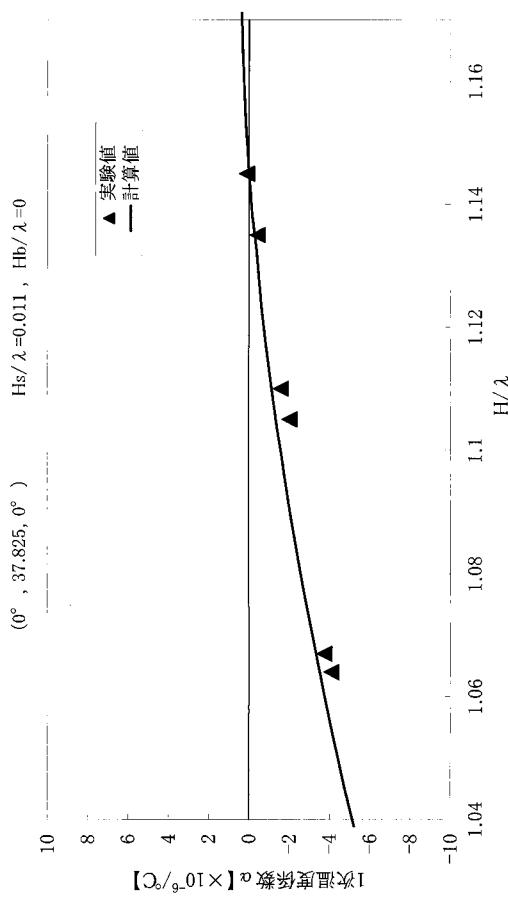
【図 8】



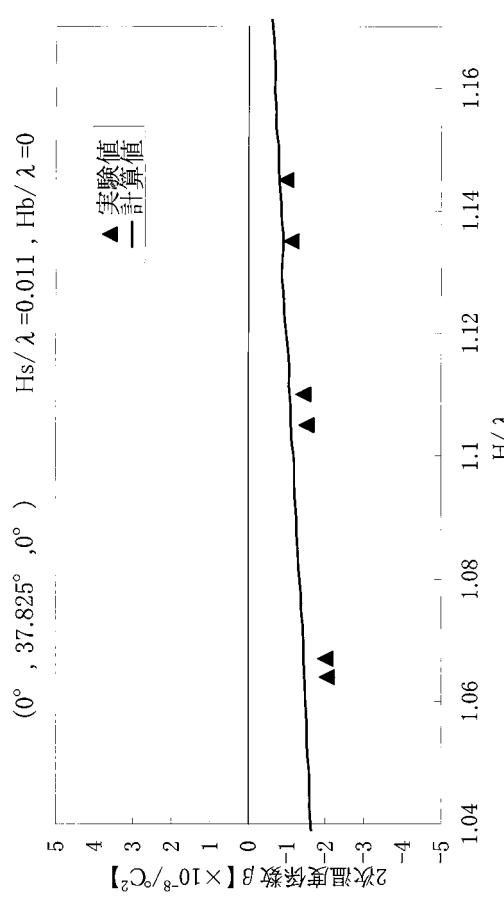
【図 9】



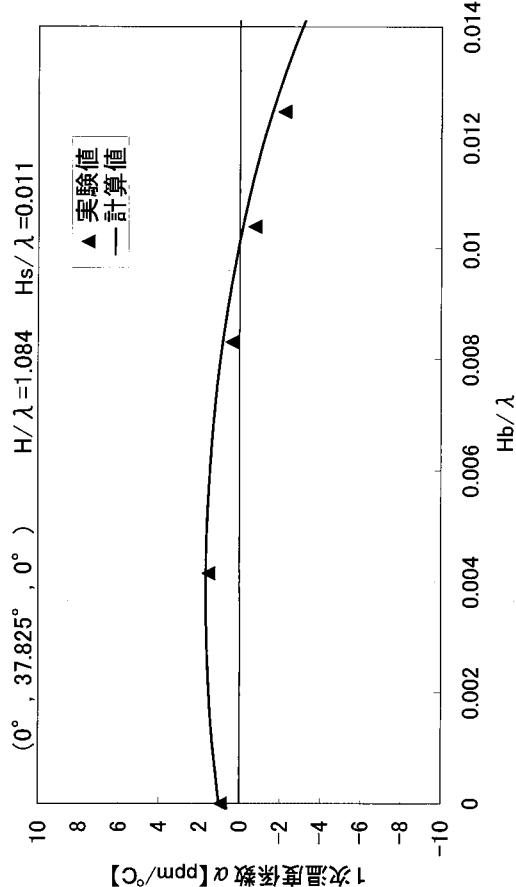
【図 10】



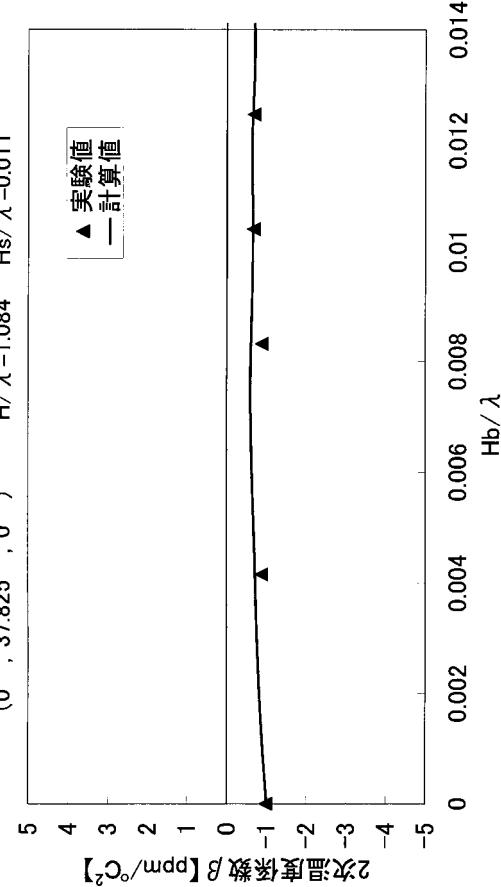
【図 11】



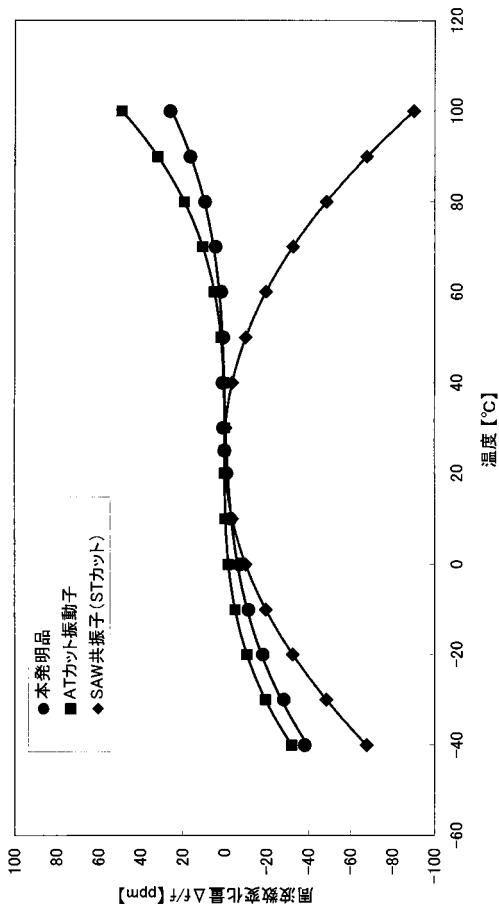
【図12】



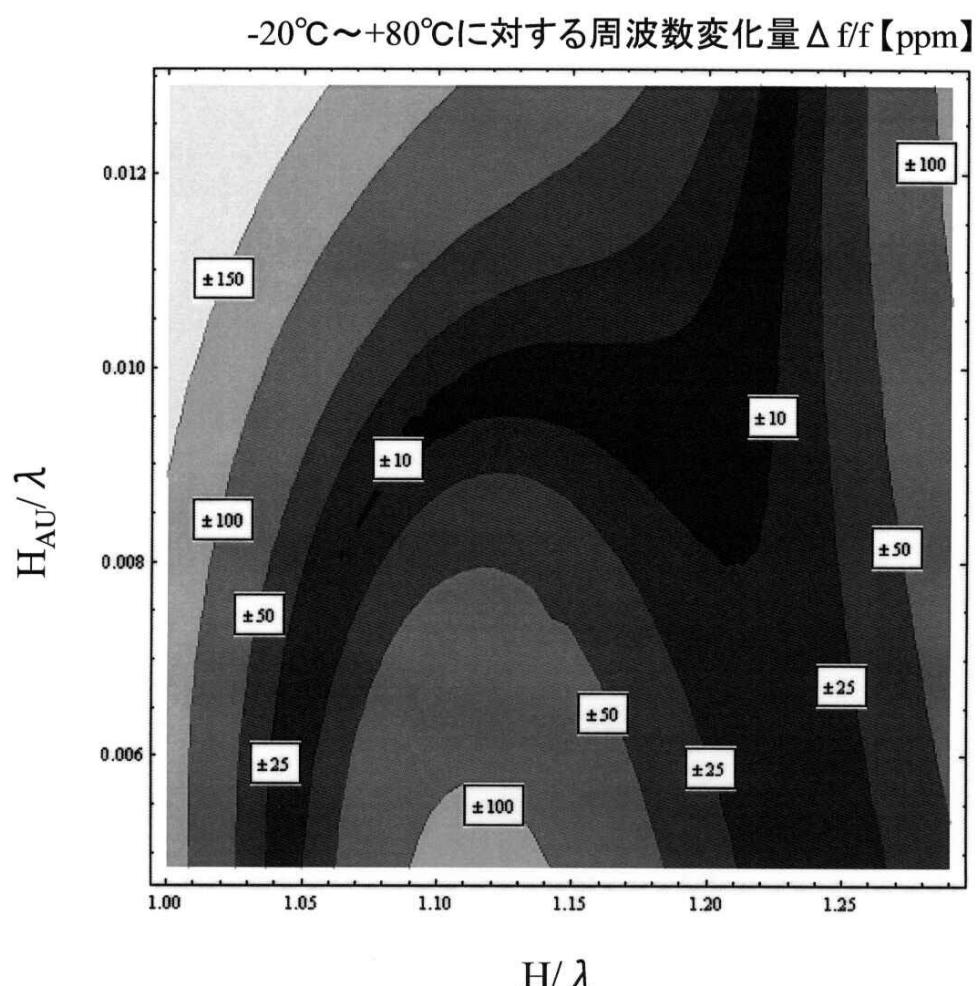
【図13】



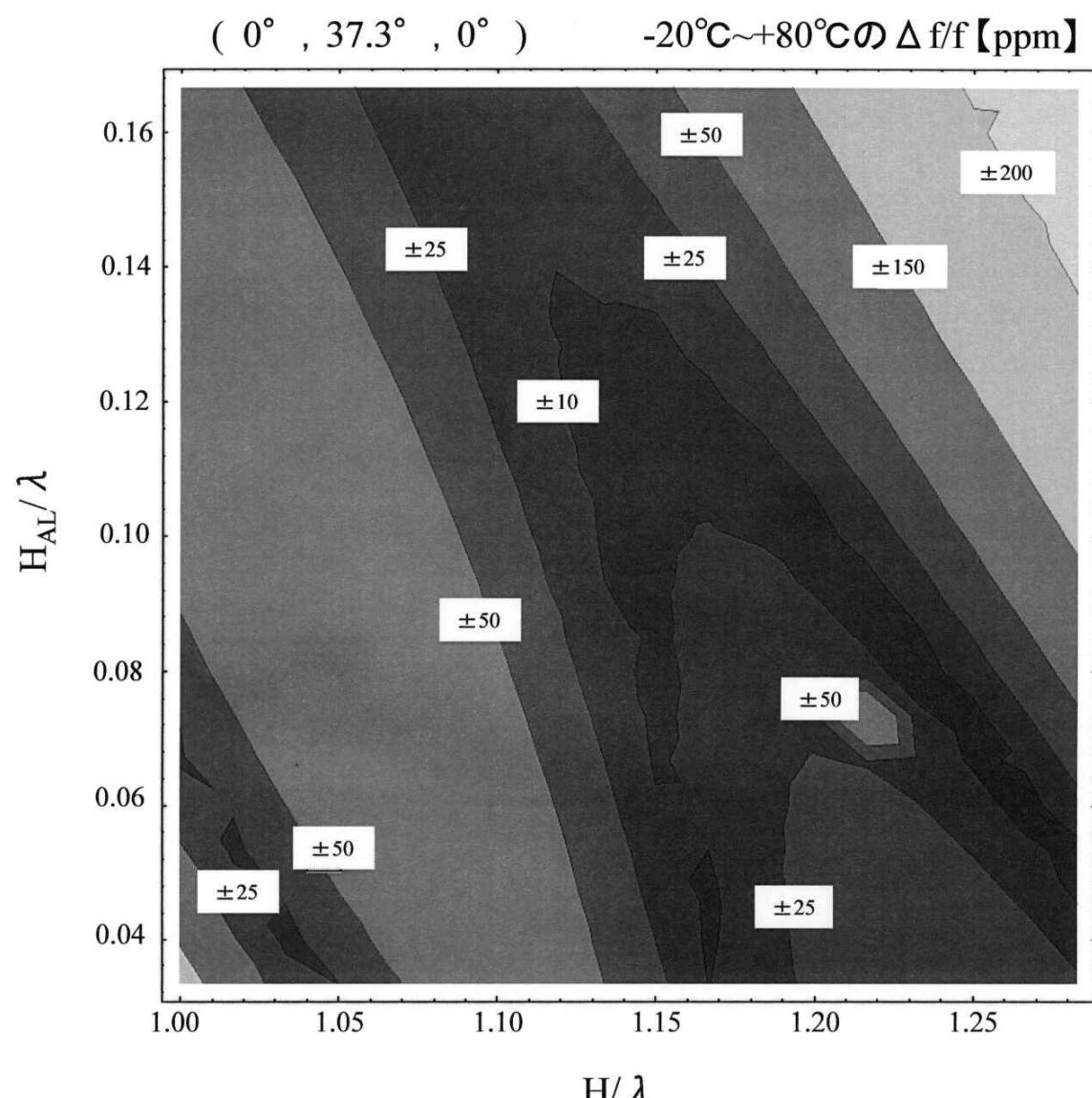
【図14】



【図7】



【図15】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

H 0 1 L 41/08

C

(56)参考文献 特開2006-217566(JP,A)

特開2009-246943(JP,A)

特開2008-054163(JP,A)

特開2008-098974(JP,A)

特開昭57-068925(JP,A)

特開2003-258596(JP,A)

特開平08-340230(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 3 H 9 / 2 5

H 0 3 H 9 / 1 4 5

H 0 1 L 4 1 / 0 9

H 0 1 L 4 1 / 1 8