

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4465464号  
(P4465464)

(45) 発行日 平成22年5月19日(2010.5.19)

(24) 登録日 平成22年3月5日(2010.3.5)

(51) Int.Cl.		F I			
<b>HO3H</b>	<b>9/25</b>	<b>(2006.01)</b>	HO3H	9/25	C
<b>HO1L</b>	<b>41/09</b>	<b>(2006.01)</b>	HO1L	41/08	C
<b>HO1L</b>	<b>41/18</b>	<b>(2006.01)</b>	HO1L	41/18	1 O 1 A

請求項の数 3 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2004-79356 (P2004-79356)	(73) 特許権者	304023994
(22) 出願日	平成16年3月19日(2004.3.19)		国立大学法人山梨大学
(65) 公開番号	特開2005-269284 (P2005-269284A)		山梨県甲府市武田四丁目4番37号
(43) 公開日	平成17年9月29日(2005.9.29)	(72) 発明者	中川 恭彦
審査請求日	平成19年3月19日(2007.3.19)		山梨県東八代郡八代町南1434
		審査官	崎間 伸洋

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ラム波型弾性波素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

水晶基板上に少なくとも一つのラム波型弾性波を発生させるすだれ状電極又は該電極と反射器が配置され、該水晶基板のカット面及びラム波型弾性波の伝搬方向がオイラー角表示( , μ , )で下記(1)式又は(2)式を満たすように構成されていることを特徴とするラム波型弾性波素子。

$$(1) \quad \theta = 11 \sim 19^\circ, \mu = 2 \sim 10^\circ, \phi = 86 \sim 94^\circ$$

$$(2) \quad \theta = 41 \sim 49^\circ, \mu = 170 \sim 178^\circ, \phi = 86 \sim 94^\circ$$

【請求項2】

前記水晶基板の厚みHと前記すだれ状電極の周期長との比H/λが5.0以下である請求項1記載のラム波型弾性波素子。 10

【請求項3】

前記水晶基板の厚みHと前記すだれ状電極の周期長との比H/λが、1.7~2.3の範囲内である請求項1記載のラム波型弾性波素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、共振器や周波数フィルタ等に用いる振動素子に関し、とくに水晶基板内のラム波型弾性波を利用した、きわめて安定な周波数温度特性を持つ弾性波素子に関する。

【背景技術】

## 【 0 0 0 2 】

水晶は、物理的、化学的にきわめて安定した結晶であり、経年変化が少ないことから、水晶振動子として古くから広く用いられてきた。水晶振動子は、水晶の結晶の機械的な共振振動を、圧電現象を介して安定な電気振動として取り出す電子部品であり、電子回路が動作するための基準クロックとして必要不可欠な存在である。また、水晶振動子は、発振器やフィルタなどにおける周波数の標準として広く用いられており、情報通信機器のみならずほとんどあらゆる電子機器に利用されている。このように水晶振動子が広く用いられる理由は、温度変化に伴う周波数変化が、他の電子部品に比べて非常に小さいことにある。

## 【 0 0 0 3 】

振動子や共振器を電子デバイスに用いる場合に、振動子の周波数温度特性はきわめて重要な特性であり、その改善のためにさまざまな努力が積み重ねられてきた。現在最も安定した周波数温度特性を有する振動子基板は、バルク波（厚みすべり波）を用いるATカット水晶基板である。ATカット水晶振動子の一般化した周波数温度特性は3次関数の特性を示し、通常の使用温度範囲（-20 ~ +80）において、周波数変化量はおおよそ12ppmと小さな値である。

## 【 0 0 0 4 】

また、表面弾性波を用いる水晶振動子も広く普及しているが、一般に周波数温度特性が劣るという欠点がある。例えば、表面弾性波用基板として広く用いられているSTカット水晶では、周波数温度特性は2次関数の特性を示し、その周波数変化量はATカット水晶の10倍近い値になる。

一方、従来のバルク波や表面弾性波と異なる弾性波を用いる振動素子として、本発明者らは先にラム波型弾性波を用いた高周波共振器を提案している（特許文献1）。このような振動モードにおける水晶等の圧電振動子の周波数温度特性については、未だほとんど知見が得られていない。

## 【 0 0 0 5 】

【特許文献1】特開2003-258596号公報

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【 0 0 0 6 】

情報通信の高速大容量化の要請から、通信機器の基準クロック周波数はますます高周波になり、ギガヘルツ帯に突入している。基準クロックの周波数が高くなれば、温度変化に伴う周波数変化量の絶対値は大きくなる。例えば周波数が2GHzの場合、12ppmの変化は24kHzの大きさになる。ギガヘルツ帯においても、1チャンネルの周波数帯域幅をキャリア周波数が低い場合と同程度、例えば65kHz程度に抑えようとするれば、現在のATカット水晶の周波数温度特性では、チャンネル間の干渉が起こることになる。したがって、水晶振動子を高周波で使用するためには、温度による周波数変化量をさらに低くしなければならない。

## 【 0 0 0 7 】

そこで本発明は、現在最も周波数温度特性の良いATカット水晶振動子よりも、周波数変化量がさらに大幅に少ない振動子の提供を課題としている。より具体的には、-20 ~ +80の温度範囲において、温度による周波数変化量が2ppm程度以下の振動子の実現を目標としており、水晶基板内のラム波型弾性波を利用してこれを達成しようとするものである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 8 】

本発明の弾性波素子はラム波を利用する。ラム波は、波長に比較して同程度か又はそれ以下の厚みの基板中を表面方向に沿って伝搬する弾性波で、別名「板波」とも呼ばれる。基板の板厚がラム波の波長の5倍程度以下の時に、ラム波を効率良く発生させることができることが知られている。ラム波を利用した高周波共振器は、圧電基板の片面上にラム波

10

20

30

40

50

を励振するすだれ状電極 ( I D T , Inter Digital Transducer ) と、その両側に反射器を配置することによって構成される。この共振器の動作周波数  $f$  は、ラム波の位相速度  $V$  とラム波の波長 ( = 電極の周期長 ) とから、 $f = V / \lambda$  として求められる。

#### 【 0 0 0 9 】

本発明者らは、ラム波の位相速度について理論解析を行い、水晶結晶の材料定数の温度依存性に基づいて、動作周波数  $f$  の温度特性の理論計算を行なった。A T カット水晶基板について、この温度特性の計算値と測定値の対比を検討したところ、両者は良好な一致を示し、この理論計算が適切なことが確かめられた。また、結晶の材料定数は、カット面やラム波の伝搬方向によって変わるので、これらを種々に変えて、周波数温度変化率  $f / f$  の値が小さくなる条件を探索したところ、オイラー角表示 (  $\theta, \mu, \phi$  ) で、(1)  $\theta = 11^\circ \sim 19^\circ, \mu = 2^\circ \sim 10^\circ, \phi = 86^\circ \sim 94^\circ$  又は (2)  $\theta = 41^\circ \sim 49^\circ, \mu = 170^\circ \sim 178^\circ, \phi = 86^\circ \sim 94^\circ$  の時に、いずれもラム波の  $f / f$  の値がきわめて小さくなることを知見した。

#### 【 0 0 1 0 】

この知見に基づく本発明のラム波型弾性波素子は、

水晶基板上に少なくとも一つのラム波型弾性波を発生させるすだれ状電極又は該電極と反射器が配置され、該水晶基板のカット面及びラム波型弾性波の伝搬方向がオイラー角表示 (  $\theta, \mu, \phi$  ) で下記 (1) 式又は (2) 式を満たすように構成されていることを特徴とする。

(1)  $\theta = 11 \sim 19^\circ, \mu = 2 \sim 10^\circ, \phi = 86 \sim 94^\circ$

(2)  $\theta = 41 \sim 49^\circ, \mu = 170 \sim 178^\circ, \phi = 86 \sim 94^\circ$

#### 【 0 0 1 1 】

すなわち、 $\theta = 11 \sim 19^\circ, \mu = 2 \sim 10^\circ$  の範囲内にあるカット面上にすだれ状電極等が、 $\phi$  が  $86^\circ \sim 94^\circ$  の伝搬方向でラム波型弾性波を発生させる配置で設けられているか、又は  $\theta = 41 \sim 49^\circ, \mu = 170 \sim 178^\circ$  の範囲内にあるカット面上にすだれ状電極等が、 $\phi$  が  $86^\circ \sim 94^\circ$  の伝搬方向でラム波型弾性波を発生させる配置で設けられていることを特徴とするものである。

なお、結晶の対称性から、上記 (1) 式又は (2) 式の  $\theta$  の範囲と、この  $\theta$  に  $120^\circ \times n$  (  $n = 1, 2$  ) を加えた範囲は、実質的に等価である。本発明におけるオイラー角の条件は、かかる等価の範囲を当然に含むものである。

#### 【 0 0 1 2 】

この弾性波素子基板において、ラム波を効率良く発生させるためには、水晶基板の厚み  $H$  とすだれ状電極の周期長  $\lambda$  との比  $H / \lambda$  が 5 . 0 以下であることが望ましい。また、周波数温度変化率  $f / f$  をより小さくするためには、この  $H / \lambda$  の値が 1 . 7 ~ 2 . 3 の範囲内であることが好ましい。

#### 【 発明の効果 】

#### 【 0 0 1 3 】

本発明のラム波型弾性波素子の温度依存性は、 $-20 \sim +80$  の温度範囲において、その周波数変化量がおおよそ 1 . 7 p p m という小さな値となる。これは、現在最も安定した周波数温度特性を示す A T カット水晶基板の周波数変化量の 1 / 7 程度の値である。

本発明のラム波型弾性波素子を基準クロックとして用いれば、ギガヘルツ帯においても、その周波数の変動をごく小さな値にすることができる。例えば、2 G H z のキャリア周波数の場合、1 . 7 p p m の周波数変化は、僅か 3 . 4 k H z の変化に過ぎず、チャンネル間の干渉を大幅に減少させることができる。このように周波数温度特性の良好な圧電素子基板は、情報通信機器のみならず各種の信号発生器の基準クロックとして、きわめて重要な意義を有している。

#### 【 発明を実施するための最良の形態 】

#### 【 0 0 1 4 】

図 1 は、本発明の実施例であるラム波型高周波共振器の構成を示す模式図で、図 1 ( a )

10

20

30

40

50

は斜視図、図1(b)は断面図である。発生するラム波の波長と同程度かこれより薄い水晶基板1の表面に、ラム波を励振受信するすだれ状電極2と、弾性的摂動効果を利用する反射器3を図のように配置する。電極の材料としてはアルミニウムを用いることが多く、反射器の材料としては、アルミニウムの他に金、クロム等を用いることができる。この共振器の動作周波数 $f$ は、基板1中を伝搬するラム波の(位相速度 $V$ /波長)で与えられるが、共振状態では、波長はすだれ状電極2の周期長に一致するから、 $f$ は次式で与えられる。

$$f = V / \dots\dots\dots (1)$$

【0015】

周波数の温度依存性は、式(1)より位相速度の温度依存性 $V(T)$ 及び基板の膨張係数(の温度変化)で決まる。周波数変化の温度特性は、通常基準温度として20をとることが多い。したがって、ある温度における動作周波数 $f(T)$ と20における動作周波数 $f(20)$ を求めれば、周波数温度変化率 $f/f$ は下式で与えられる。

$$f/f = \{f(T) - f(20)\} / f(20) \dots\dots\dots (2)$$

【0016】

平板中を伝搬するラム波の位相速度は、下記のような理論解析によって求めることができる。図2は解析モデルの座標系を示す図で、基板厚みを $H$ として、伝搬方向 $x_1$ の弾性波を解析する。運動方程式と圧電基本式を用い、伝搬方向を $x_1$ 軸にとって波動の一般解を求める。得られた一般解に境界条件を課して、ラム波の位相速度 $V$ を求めることができる。境界条件は、基板の上面及び下面において応力=0という条件である。

温度 $T$ における位相速度の値は、水晶結晶の各材料定数(弾性定数、圧電定数、誘電率、密度)の温度 $T$ ( )での値を用いて理論解析より求められる。各材料定数は、基準温度(通常は20)での値と温度係数が測定されている。

【0017】

結晶基板のカット面および波の伝搬特性を論ずる際には、一般にオイラー角表示が用いられるので、その定義を図3により説明する。同図において、 $X, Y, Z$ は結晶軸、 $x_1, x_2, x_3$ は座標軸である。図3(a)は、結晶軸と座標軸が一致している場合で、オイラー角表示( ,  $\mu$ , )の ,  $\mu$ , がいずれも0の場合に相当する。は「Z軸を回転軸として、 $X-Y$ 平面を右ねじ方向に( $X$ 軸から $Y$ 軸の方に)回転させる角度」であり、この回転により座標軸 $x_1$ の方位が定まる(回転後の $X$ 軸の位置に相当、図3(b)参照)。  $\mu$ は「 $x_1$ 軸を回転軸として、これに垂直な平面を右ねじ方向に( $x_2$ 軸から $x_3$ 軸の方に)回転させる角度」であり、この回転により座標軸 $x_3$ の方位が定まる(回転後の $Z$ 軸の位置に相当、図3(c)参照)。

【0018】

結晶基板のカット面は、上記の $x_3$ 軸に垂直な面である。は波の伝搬方向を定義する角であり、「上記の $x_3$ 軸を回転軸として、これに垂直な平面を右ねじ方向に( $x_1$ 軸から $x_2$ 軸の方に)回転させる角度」であり、この回転により定まる $x_1$ 軸の方向が波の伝搬方向として定義される(図3(d)参照)。前述した材料定数は結晶基板内の方向によって異なるが、オイラー角表示を用いて、新しい座標系( $x_1, x_2, x_3$ )に対する材料定数を求めることができる。

【0019】

まず、ATカット水晶の $x_1$ 軸方向のラム波(オイラー角表示で、 $= 0^\circ$ ,  $\mu = 125.25^\circ$ ,  $= 0^\circ$ )の位相速度を計算した結果の例を図4に示す。水晶基板の厚み $H$ は $10 \mu m$ として計算した。図の縦軸は位相速度 $V$ 、横軸は基準化された基板厚み( $kH / = 2H / = 2H /$ )である。位相速度が $10,000 m/s$ 以上のものが多く存在し、(1)式により周波数は容易に $1,000 MHz$ を超えるラム波モードが存在することが分かる。このように、ラム波は位相速度が表面弾性波より大幅に大きいので、ギガヘルツまでの高周波の発振を容易に行いうることが特長である。

【0020】

本発明者らは、水晶基板内のラム波において、周波数温度変化率 $f/f$ の小さいもの

10

20

30

40

50

を探索すべく、 $\theta$ 、 $\mu$ 、 $\phi$ の値を種々に変えて、理論計算を行った。その結果、 $\theta = 11^\circ \sim 19^\circ$ 、 $\mu = 2^\circ \sim 10^\circ$ 、 $\phi = 86^\circ \sim 94^\circ$ とした場合に、 $f/f_0$ の値がきわめて小さくなることを見出した。図5は、 $\theta = 15.0^\circ$ 、 $\mu = 5.8^\circ$ 、 $\phi = 90^\circ$ とした時の $f/f_0$ と温度の関係を示す図である。ここで、 $H/\lambda = 2.0$ として計算した。

#### 【0021】

また、図6は、 $\theta = 15.0^\circ$ 、 $\mu = 4.3^\circ$ 、 $\phi = 90^\circ$ とした時の $f/f_0$ と温度の関係を示す図である（ $H/\lambda = 2.14$ として計算）。この両図に見られるとおり、 $-20 \sim +80$ の全範囲において、 $f/f_0$ の値はほぼ1 ppm以下であり、周波数変化量（ $f/f_0$ の最大値と最小値の差）は、図5においては約1.7 ppm、図6においては約1.5 ppmである。

図5と図6を比較すると、オイラー角 $\mu$ に約 $1.5^\circ$ の差があるのに、ほぼ同等の周波数温度特性を示すことが知れる。このことから、最適な温度特性を示す3個のオイラー角の値にはある程度の幅があると考えられるので、その許容範囲は $\pm 2.0^\circ$ 程度の幅で設定することが望ましい。

#### 【0022】

さらに、オイラー角を $\theta = 41^\circ \sim 49^\circ$ 、 $\mu = 170^\circ \sim 178^\circ$ 、 $\phi = 86^\circ \sim 94^\circ$ とした場合にも、 $f/f_0$ の値がきわめて小さくなることを見出された。図7は、 $\theta = 45.0^\circ$ 、 $\mu = 174.2^\circ$ 、 $\phi = 90^\circ$ とした時の $f/f_0$ と温度の関係を示す図である（ $H/\lambda = 2.0$ として計算）。理論計算の結果は、図5の結果とほぼ同一であり、 $-20 \sim +80$ の全範囲において、 $f/f_0$ の値はほぼ1 ppm以下であり、周波数変化量は約1.7 ppmと小さな値であることが知れる。

#### 【0023】

一方、同様の計算をATカット水晶基板内のバルク波（厚みすべり波）について行なった結果の例を図8に示す。計算結果の周波数変化は、12 ppm程度になり、従来経験的に知られている水晶振動子の周波数温度特性と良く一致する。図5～図7と図8の比較から、本発明のラム波型弾性素子の周波数温度特性がきわめて優れており、従来のATカット水晶振動子に比して、約 $1/8$ と非常に周波数温度変化の少ないことが分かる。

#### 【0024】

さらに、このような理論計算と実測値の対比を検討するため、水晶基板上に図1に示すようなすだれ状電極と反射器を配したラム波型共振器を作成し、周波数変化の温度依存性を実測した。基板には、直径3 mm、厚さ $10 \mu\text{m}$ のATカット水晶基板を用い、波長が $20 \mu\text{m}$ になるよう電極と反射器を形成した。

オイラー角表示で、（ $\theta = 0^\circ$ 、 $\mu = 125.25^\circ$ 、 $\phi = 0^\circ$ ）の場合の理論計算値と測定値の対比を図9に示す。両者は非常に良く一致しており、本発明の根拠となる理論解析の精度が高いことが立証された。

#### 【0025】

また、オイラー角表示で（ $\theta = 0^\circ$ 、 $\mu = 125.25^\circ$ 、 $\phi = 90^\circ$ ）の場合（図9と同じカット面で、これと直角な方向のラム波）の理論計算値と測定値の対比を図10に示す。図の実線が上記のオイラー角での計算値であるが、測定値とやや相違する。この誤差の原因は、計算に用いた各材料定数の測定誤差や、実験に用いた水晶結晶の物性のバラツキにあると思われる。そこで、（ $\theta = 0^\circ$ 、 $\mu = 126.5^\circ$ 、 $\phi = 90^\circ$ ）として計算したのが図の破線である。この破線は測定値と非常によく一致している。このことから、計算で推定されるオイラー角の最適条件に関しては、各材料定数の測定誤差や結晶物性のバラツキに起因する不確定誤差が含まれるので、3個のオイラー角それぞれに $\pm 2^\circ$ 程度の許容範囲を設定することが望ましいと考えられる。

#### 【0026】

また、前述の図5及び図7は、水晶基板の厚み $H$ と電極周期長 $\lambda$ の比 $H/\lambda = 2.0$ として計算した結果であるが、 $H/\lambda$ の周波数温度特性に対する影響について検討した結果、 $H/\lambda = 1.7 \sim 2.3$ の範囲が好ましいことが知れた。なお、上記の $H/\lambda$ の範囲

10

20

30

40

50

であれば、ラム波を効率良く発生させる上で何ら支障はない。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】本発明の実施例であるラム波型高周波共振器の構成を示す模式図である。

【図2】ラム波の解析モデルの座標系を示す図である。

【図3】オイラー角表示を説明するための図である。

【図4】ATカット水晶基板におけるラム波の位相速度の計算結果の例を示す図である。

【図5】本発明のラム波型弾性波素子の周波数温度特性の計算結果の例を示す図である。

【図6】本発明のラム波型弾性波素子の周波数温度特性の計算結果の他の例を示す図である。

10

【図7】本発明のラム波型弾性波素子の周波数温度特性の計算結果の他の例を示す図である。

【図8】ATカット水晶基板におけるバルク波の周波数温度特性の計算結果の例を示す図である。

【図9】ATカット水晶基板におけるラム波の周波数温度特性の計算結果と測定結果の対比の例を示す図である。

【図10】ATカット水晶基板におけるラム波の周波数温度特性の計算結果と測定結果の対比の他の例を示す図である。

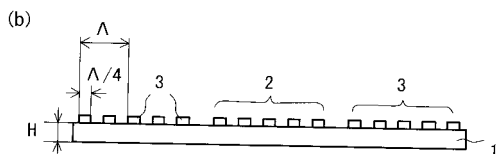
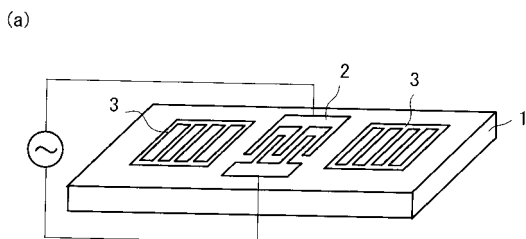
【符号の説明】

【0028】

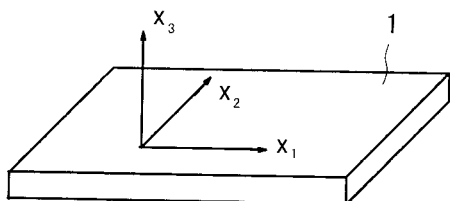
- 1 水晶基板
- 2 すだれ状電極
- 3 反射器

20

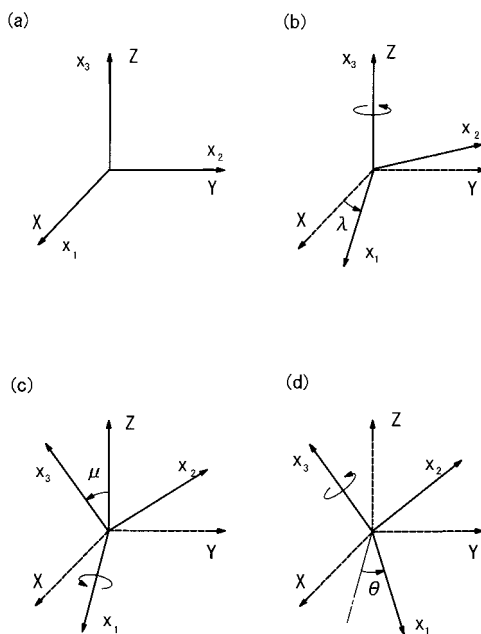
【図1】



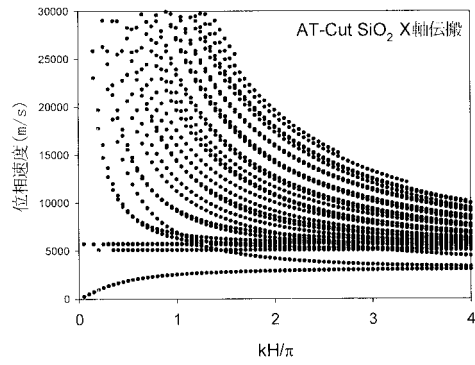
【図2】



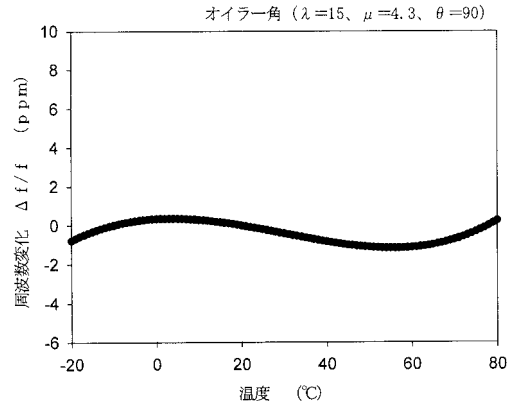
【図3】



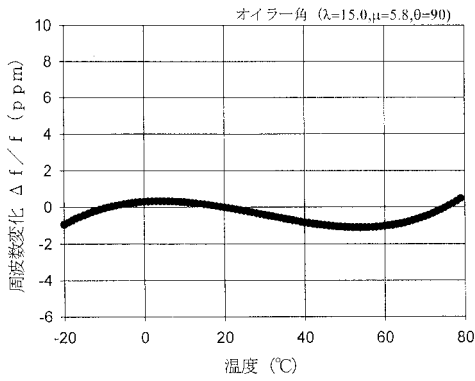
【 図 4 】



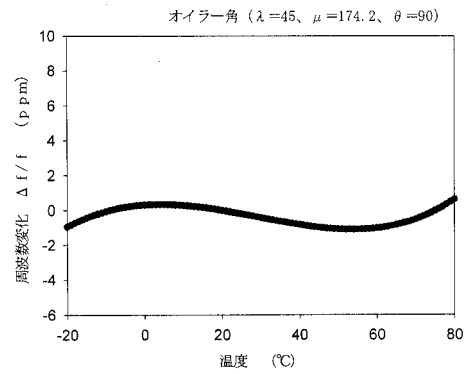
【 図 6 】



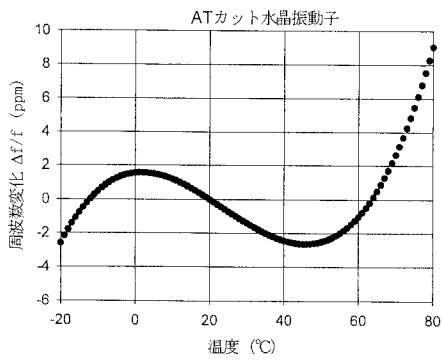
【 図 5 】



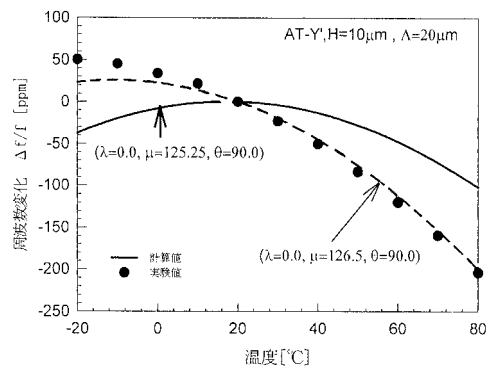
【 図 7 】



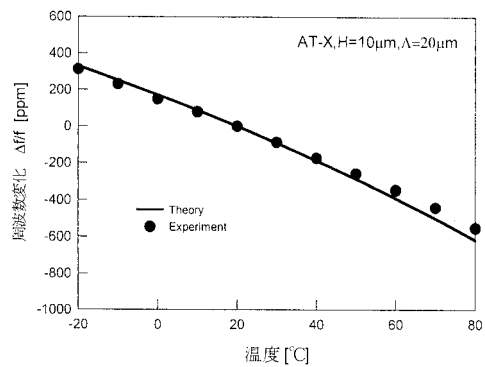
【 図 8 】



【 図 10 】



【 図 9 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2003-258596(JP,A)  
特開平9-36700(JP,A)  
特開2002-152007(JP,A)  
百瀬雅之、中川恭彦、垣生省司、水晶基板上のラム波型共振器、日本音響学会2004年春季研究発表会講演論文集=II=、2004年 3月17日、p.981-p.982  
百瀬雅之、中川恭彦、垣生省司、水晶基板上のラム波型共振器の反射特性、超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム論文集、2003年11月12日、第24巻、p.71-p.72
- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H03H3/007-H03H3/10、H03H9/00-9/76、H01L41/09、  
H01L41/18