

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6064350号
(P6064350)

(45) 発行日 平成29年1月25日(2017.1.25)

(24) 登録日 平成29年1月6日(2017.1.6)

(51) Int.Cl. F I
H03H 9/19 (2006.01) H03H 9/19 F
H03H 9/215 (2006.01) H03H 9/215

請求項の数 5 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2012-70896 (P2012-70896)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成24年3月27日 (2012. 3. 27)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2013-207337 (P2013-207337A)		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(43) 公開日	平成25年10月7日 (2013. 10. 7)	(74) 代理人	100116665
審査請求日	平成27年2月23日 (2015. 2. 23)		弁理士 渡辺 和昭
		(74) 代理人	100164633
			弁理士 西田 圭介
		(74) 代理人	100179475
			弁理士 仲井 智至
		(74) 代理人	100107261
			弁理士 須澤 修
		(72) 発明者	石井 修
			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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動素子、振動子、電子デバイス、及び電子機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

厚み滑り振動し、表裏の関係にある第1の主面および第2の主面を含むATカット水晶基板と、

前記第1の主面に設けられている第1の励振電極と、

前記第2の主面に設けられ、平面視で、前記第1の励振電極よりも大きい第2の励振電極と、

を含み、

前記第1の励振電極は、平面視で、前記第2の励振電極の外縁内に収まっており、

エネルギー閉じ込め係数Mが、

$$M = K \cdot (h_x / 2 \cdot t_s) \cdot ()^{1/2}$$

17.1 M 35.7

(Kは前記ATカット水晶基板の異方性係数、 h_x は前記厚み滑り振動の変位方向に沿った前記第1の励振電極寸法、 t_s は前記ATカット水晶基板の板厚、 $()$ は前記第1の励振電極および前記第2の励振電極のプレートバック量)

を満たし、

前記厚み滑り振動の共振周波数が200MHz以上であることを特徴とする振動素子。

【請求項 2】

請求項1において、

前記第1の励振電極から前記ATカット水晶基板の端部に向かってリード電極が延在し

て設けられ、

前記リード電極の膜厚が前記第1の励振電極の膜厚よりも大きいことを特徴とする振動素子。

【請求項3】

請求項1または2に記載の振動素子と、
該振動素子を収容するパッケージと、
を備えていることを特徴とする振動子。

【請求項4】

請求項1または2に記載の振動素子と、
該振動素子を励振する発振回路と、
を備えていることを特徴とする電子デバイス。

10

【請求項5】

請求項1または2に記載の振動素子を備えている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、厚み滑り振動を励振する振動素子、振動子、電子デバイス、及び電子機器に関する。

【背景技術】

【0002】

主振動の振動モードとして厚み滑り振動を励振するATカット水晶振動子は、小型化、高周波数化に適し、且つ周波数温度特性が優れた三次曲線を呈するので、発振器、電子機器等の多方面で使用されている。特に、近年では伝送通信機器やOA機器の処理速度の高速化、或いは通信データや処理量の大容量化が進むのに伴い、それに用いられる基準周波数信号源としてのATカット水晶振動子に対し高周波化の要求が強まっている。

20

【0003】

特許文献1には、主面の一部に凹陷部を形成して高周波化を図った逆メサ構造のATカット水晶振動子が開示されている。即ち、300MHz以上の基本波振動を得る水晶振動子において、水晶素板の板厚と、電極膜厚を水晶密度に換算した膜厚との比を、7%~13%とすることにより、良好な周波数温度特性が得られるという。

30

更に、特許文献2には、特許文献1と同様に主面の一部に凹陷部を形成して高周波化を図った逆メサ構造のATカット水晶振動子が開示されている。即ち、300MHz以上の基本波振動を得る水晶振動子において、水晶素板の板厚と電極膜厚との比を0.014又は0.012以下(前記水晶基板の板厚と、前記電極膜厚を水晶密度に換算した膜厚との比で、19.2%又は16.5%以下)とすることにより、リフロー前後の周波数変化を防止し、良好な周波数温度特性が得られるという。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平11-284484号公報

【特許文献2】特開2005-203858号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、基本波振動が200MHz以上の共振周波数で振動する水晶振動子の小型化、高周波化を図ろうとすると、前述のごとき構造を備えている水晶振動子は、発振回路で要求されるCI(クリスタル・インピーダンス=水晶振動子の等価抵抗)値の要求を満たせないという問題があることが判明した。特に、周波数が200MHz以上の高周波になると、水晶振動子に形成する励振電極、及びリード電極の電極膜厚が主振動のCI値に大きな影響を与える。水晶振動子の主振動のみを閉じ込めモードにしようとする、電極膜

50

を薄くすることが必要となり、電極膜の薄膜化に伴って電極膜が100nm以下になると、シート抵抗は急激に増大するため、励振電極部やリード電極部で大きなオーミックロス（表面抵抗による抵抗損）が生じ、結果的に水晶振動子のCI値が大きくなるという課題があった。

また、電極膜のオーミックロスを防ぐために膜厚を厚くすると、主振動の他に多くのインハーモニックモードの振動が閉じ込められてしまいスプリアスが発生し、条件によっては主振動のCI値より主振動に近接したスプリアスのCI値の方が小さくなり、発振回路でスプリアスの共振周波数で発振してしまうという課題があった。

そこで、高周波化（特に、200MHz以上）を図ると共に、主振動のCI値を低減し、且つ近接するインハーモニックモードに起因したスプリアスのCI値を抑制して、発振回路が必要とするCI値規格とスプリアス規格を満たした振動素子を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、上述の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。

【0007】

[適用例1] 本適用例に係る振動素子は、厚み滑り振動で振動する基板と、前記基板の表裏の主面に夫々設けられている励振電極と、を含み、前記励振電極は、前記主面と直交する方向から投影して見た場合に、一方の前記主面に形成された前記励振電極の外縁内に、他方の前記主面に形成された前記励振電極が収まるように異なった形状で設けられており、エネルギー閉じ込め係数Mが $1.7 < M < 3.5$ であることを特徴とする。

【0008】

本適用例によれば、基本波の厚み滑り振動モードで励振する高周波の振動素子において、励振電極及びリード電極の薄膜化に伴うオーミックロスの影響によるCI値劣化を回避し、励振電極の寸法や膜厚により決定されるインハーモニックモードのスプリアスの励振強度を抑制することが可能となる。これにより、主振動のCI値を小さくなり、主振動のCI値に対する近接したスプリアスのCI値との比、即ちCI値比（ CI_s / CI_m ）の大きな振動素子が得られるという効果がある。

【0009】

[適用例2] 上記適用例に記載の振動素子において、前記励振電極から前記基板の端部に向かってリード電極が延在して設けられ、前記リード電極の膜厚が前記励振電極の膜厚よりも大きいことを特徴とする。

【0010】

本適用例によれば、基本波の厚み滑り振動モードで励振する高周波の振動素子において、リード電極の薄膜化による電極膜のオーミックロスを回避し、主振動のCI値の劣化を防止できるので、発振回路の電気的要求を満たし、主振動のCI値が小さい振動素子が得られるという効果がある。

【0011】

[適用例3] 上記適用例に記載の振動素子において、前記厚み滑り振動の共振周波数が200MHz以上であることを特徴とする。

【0012】

本適用例によれば、厚み滑り振動モードで励振する振動素子は、その周波数が基板の板厚に反比例し決定されるので、200MHz以上の高周波になると基板の板厚が $8.4 \mu m$ 以下と非常に薄くなるため、形成する励振電極の膜厚も非常に薄くする必要がある。そのため、電極の薄膜化によるオーミックロスの影響が非常に大きくなり、エネルギー閉じ込め係数Mを前記範囲にすることは、これらの問題を回避できるので、発振回路が必要とするCI値規格とスプリアス規格を満足できる振動素子が得られるという効果がある。

【0013】

[適用例4] 上記適用例に記載の振動素子において、前記基板は水晶基板であることを特徴とする。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

本適用例によれば、水晶基板はQ値が高く、温度特性の優れた切断角度を有しているの
で、CI値が小さく、温度特性に優れた振動素子が得られるという効果がある。

【 0 0 1 5 】

[適用例5] 上記適用例に記載の振動素子において、前記水晶基板がATカット水晶基
板であることを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

本適用例によれば、基板に水晶ATカット水晶基板を用いることにより、フォトリソグ
ラフィー技術及びエッチング技術に関する実績や経験が活用でき、CI値が小さく、温度
特性に優れ、不要なスプリアスを抑制した振動素子の量産が可能になるという効果がある
。

10

【 0 0 1 7 】

[適用例6] 本適用例に係る振動子は、上記適用例に記載の振動素子と、該振動素子を
収容するパッケージと、を備えたことを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

本適用例によれば、振動素子をパッケージに収容することで、温度変化や湿度変化等の
外乱の影響や汚染による影響を防ぐことができるため、周波数再現性、周波数温度特性、
CI温度特性、及び周波数エージング特性に優れた振動子が得られるという効果がる。

【 0 0 1 9 】

[適用例7] 本適用例に係る電子デバイスは、上記適用例に記載の振動素子と、該振動
素子を励振する発振回路と、を備えたことを特徴とする。

20

【 0 0 2 0 】

本適用例によれば、基本波で励振する高周波の振動素子を用いて電子デバイスを構成す
ると、振動素子の容量比が小さいので、周波数可変幅が広がり、更に、S/N比の良好な
高周波の電圧制御型発振器が得られるという効果がある。

また、電子デバイスとして発振器、温度補償型発振器等を構成することが可能であり、
周波数再現性、エージング特性、周波数温度特性に優れた発振器を構成できるという効果
がある。

【 0 0 2 1 】

[適用例8] 本適用例に係る電子機器は、上記適用例に記載の振動素子を備えたことを
特徴とする。

30

【 0 0 2 2 】

本適用例によれば、上記適用例に記載の振動素子を電子機器に用いることにより、高周
波で周波数安定度に優れ、S/N比の良好な基準周波数源を備えた電子機器が構成できる
という効果がある。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 3 】

【図1】本発明の一実施形態に係る振動素子の構造を示した概略図であり、(a)は平面
図、(b)はP-P断面図、(c)はQ-Q断面図。

【図2】ATカット水晶基板と結晶軸との関係を示す図。

40

【図3】電極の膜厚に対する抵抗を示す図。

【図4】ATカット水晶振動素子の試作条件と測定結果を示す図。

【図5】エネルギー閉じ込め係数Mに対する振動子のCI値を示す図。

【図6】エネルギー閉じ込め係数Mに対する振動子の主振動CI値とスプリアスCI値と
のCI値比を示す図。

【図7】リード電極とパッド電極を厚膜化したATカット水晶振動素子の試作条件とCI
値を示す図。

【図8】本発明の一実施形態に係る振動子の構造を示した概略図であり、(a)は平面図
、(b)は縦断面図。

【図9】本発明の一実施形態に係る電子デバイスの構造を示した概略図であり、(a)は

50

平面図、(b)は縦断面図。

【図10】本発明の一実施形態に係る振動素子を備える電子機器を適用したモバイル型(又はノート型)のパーソナルコンピュータの構成を示す斜視図。

【図11】本発明の一実施形態に係る振動素子を備える電子機器を適用した携帯電話機(PHSも含む)の構成を示す斜視図。

【図12】本発明の一実施形態に係る振動素子を備える電子機器を適用したデジタルスチールカメラの構成を示す斜視図。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。図1は、本発明の一実施形態に係る振動素子の構成を示す概略図であり、図1(a)は振動素子の平面図、図1(b)は図1(a)のP-P断面図、図1(c)は図1(a)のQ-Q断面図である。

振動素子1は、振動部12及び振動部12に連設され、振動部12の厚みよりも厚い厚肉部13を有する基板10と、振動部12の両主面(±Y'方向の表裏面)に夫々対向するようにして形成された励振電極25a、25bと、励振電極25a、25bから厚肉部に設けられたパッド電極29a、29bに向けて、夫々延出されて形成されたリード電極27a、27bと、を備えている。

【0025】

基板10は、矩形状をなし、且つ肉薄でY'軸に直交し厚みが一定である平板状の振動部12と、振動部12の一辺を除いた三辺に沿って一体化された第1の厚肉部14、第2の厚肉部15、及び第3の厚肉部16(第1、第2及び第3の厚肉部14、15、16とも称する)からなる厚肉部13と、支持固定した際に生じるマウント応力を振動部12に伝わるのを防止するためのスリット17と、を備えている。

なお、第1の厚肉本体14a、第2の厚肉本体15a、及び第3の厚肉本体16a(第1、第2及び第3の厚肉本体14a、15a、16aとも称する)とは、Y'軸に平行な厚みが一定である領域をいう。

また、第1の傾斜部14b、第2の傾斜部15b、及び第3の傾斜部16b(第1、第2及び第3の傾斜部14b、15b、16bとも称する)とは、第1、第2及び第3の厚肉本体14a、15a、16aと、振動部12と、の間に生じる傾斜面をいう。

振動部12の一方の主面と、第1、第2及び第3の厚肉部14、15、16の夫々の一方の面とは、同一平面上、即ち図1に示す座標軸のX-Z'平面上にあり、この面(図1(b)の-Y'方向にある下面側)をフラット面(平坦面)といい、凹陷部11を有する反対側の面(図1(b)の+Y'方向にある上面側)を凹陷面という。

【0026】

励振電極25a、25bは、図1に示す実施形態例では矩形状であり、振動部12のほぼ中央部の表裏面(上面及び下面両面)に夫々対向して形成されている。

リード電極27aは、凹陷面に形成した励振電極25aから延出し、振動部12上から第3の傾斜部16bと、第3の厚肉本体16aとを經由して、第2の厚肉本体15aの凹陷面に形成されたパッド電極29aに導通接続されている。また、リード電極27bは、フラット面に形成された励振電極25bから延出し、基板10のフラット面の端縁部を經由して、第2の厚肉本体15aのフラット面に形成されたパッド電極29bと導通接続されている。

なお、励振電極25a、25bは、リード電極27a、27bと接続している部分について、励振電極形状の外縁(外辺)に沿った延長線(仮想線)を境界として形状や面積として説明する。

【0027】

図1(a)に示した実施形態例は、リード電極27a、27bの引出し構造の一例であり、リード電極27aは他の厚肉部を經由してもよい。ただ、リード電極27a、27bの長さは最短であることが望ましく、リード電極27a、27b同士が基板10を挟んで交差しないように配慮することにより静電容量の増加を抑えることが望ましい。

10

20

30

40

50

また、励振電極 25 a、25 b、リード電極 27 a、27 b、パッド電極 29 a、29 b は、蒸着装置、あるいはスパッタ装置等を用いて、例えば、下地にニッケル (Ni) を成膜し、その上に金 (Au) を重ねて成膜してある。なお、電極材料として、下地のニッケル (Ni) の代わりにクロム (Cr)、また、金 (Au) の代わりに銀 (Ag)、白金 (Pt) を用いても構わない。

【0028】

水晶等の圧電材料は三方晶系に属し、図 2 に示すように互いに直交する結晶軸 X、Y、Z を有する。X 軸、Y 軸、Z 軸は、夫々電気軸、機械軸、光学軸と称される。そして水晶基板は、XZ 面を X 軸の回りに所定の角度だけ回転させた平面に沿って、水晶から切り出された平板が基板 10 として用いられる。例えば、AT カット水晶基板の場合は、角度は略 $35^{\circ}15'$ である。なお、Y 軸及び Z 軸も X 軸の周りに回転させて、夫々 Y' 軸及び Z' 軸とする。従って、AT カット水晶基板は、直交する結晶軸 X、Y'、Z' を有する。AT カット水晶基板は、厚み方向が Y' 軸であって、Y' 軸に直交する XZ' 面 (X 軸及び Z' 軸を含む面) が主面であり、厚み滑り振動が主振動として励振される。

【0029】

即ち、基板 10 は、図 2 に示すように X 軸 (電気軸)、Y 軸 (機械軸)、Z 軸 (光学軸) からなる直交座標系の X 軸を中心として、Z 軸を Y 軸の -Y 方向へ傾けた軸を Z' 軸とし、Y 軸を Z 軸の +Z 方向へ傾けた軸を Y' 軸とし、X 軸と Z' 軸に平行な面で構成され、Y' 軸に平行な方向を厚みとする AT カット水晶基板である。

なお、本実施形態例に係る基板 10 は、角度が略 $35^{\circ}15'$ の AT カットに限定されるものではなく、厚み滑り振動を励振する BT カット等の基板にも広く適用できる。

更に、振動部 12 の外縁に沿って厚肉部を設けた例を用いて説明したが、これに限らず、振動部 12 の外縁全周に沿って厚肉部を設けた基板や厚肉部が設けられていない平板状の基板にも広く適用できる。

【0030】

一般的に厚み滑り振動モードは基板上に部分電極を形成するか、板厚差を設けると、その部分近傍に振動エネルギーを閉じ込めることができ、安定した共振周波数を得ることができる。この場合の閉じ込めモードの共振周波数は、基板の板厚 t_s や励振電極の膜厚 t_e と寸法 h_x により求まるエネルギー閉じ込め係数 M の関数として表される。

エネルギー閉じ込め係数 M は、下記式 (1) で表される。

$$M = K \cdot (h_x / 2 \cdot t_s) \cdot \dots (1)$$

ここで、 K は基板の異方性係数、 h_x は振動モードの変位方向の励振電極寸法、 t_s は基板の板厚、 \dots はプレートバック量である。

また、プレートバック量は下記式 (2) で表される。

$$\dots = (f_s - f_e) / f_s \cdot \dots (2)$$

ここで、 f_s は基板のカットオフ周波数、 f_e は基板全面に励振電極を成膜した場合の周波数である。

なお、表裏の励振電極の形状と面積が同一の場合、基板のカットオフ周波数 f_s は下記式 (3) で、基板全面に励振電極を成膜した場合の周波数 f_e は下記式 (4) で表される。

$$f_s = R / t_s \cdot \dots (3)$$

$$f_e = R / [t_s + t_e \cdot (\rho_e / \rho_x)] \cdot \dots (4)$$

ここで、 R は基板の周波数定数、 t_s は基板の板厚、 t_e は表裏の励振電極の膜厚の和、 ρ_e は励振電極の密度、 ρ_x は基板の密度である。

また、表裏の励振電極の形状と面積が異なる場合、基板のカットオフ周波数 f_s は下記式 (5) で、基板全面に励振電極を成膜した場合の周波数 f_e は下記式 (6) で表される。

$$f_s = R / [t_s + t_e^2 \cdot (\rho_e / \rho_x)] \cdot \dots (5)$$

$$f_e = R / [t_s + t_e \cdot (\rho_e / \rho_x)] \cdot \dots (6)$$

ここで、 R は基板の周波数定数、 t_s は基板の板厚、 t_e^2 は面積の大きい励振電極の

10

20

30

40

50

膜厚、 t_e は表裏の励振電極の膜厚の和、 e は励振電極の密度、 x は基板の密度である。

【0031】

式(1)乃至式(6)より、表裏の励振電極の形状と面積が異なる場合は、基板の板厚 t_s や励振電極の膜厚 t_e と寸法 h_x 等が同一条件である場合、表裏の励振電極の形状と面積が同一の場合に比べ、面積の大きい励振電極の膜厚が基板の板厚に加わり基板が厚くなることで基板のカットオフ周波数 f_s が低下する。そのため、プレートバック量が小さくなるので、エネルギー閉じ込め係数 M は小さくなり、インハーモニックモードのスプリアスを回避し易くなる。

また、エネルギー閉じ込め係数 M を同一とした場合には、表裏の励振電極の形状と面積が同一の場合に比べ、励振電極の膜厚 t_e を厚くすることができる。

10

【0032】

一般的にATカット水晶基板の厚み滑り振動モードにおいて、基本波の単一モードを閉じ込める条件はエネルギー閉じ込め係数 $M = 2.8$ 以下とされている。

例えば、491MHz帯の共振周波数で共振するATカット水晶振動素子は、励振電極寸法 $h_x = 0.30$ mmとした場合、エネルギー閉じ込め係数 $M = 2.8$ となる励振電極の膜厚が約1nmと非常に薄く、製造上実現不可能な膜厚となり、例え実現できたとしても電極薄膜化によるオーミックロスの影響によりCI値が非常に大きくなり発振回路で発振することはできない。

そこで、高周波においては電極膜厚のオーミックロス进行を避けるように成膜する(膜厚を厚くする)と、主振動だけを閉じ込めるエネルギー閉じ込め係数 $M = 2.8$ から大幅に大きくなるため、主振動以外に低次のインハーモニックモードのスプリアスが閉じ込められることは避けられない。しかし、閉じ込められたスプリアスの最小のCI値と主振動CI値とのCI値比が1.8以上であればインハーモニックモードのスプリアスで発振することは理論上無いと言える。そこで、主振動のCI値が20以下と小さくし、スプリアスとのCI値比が製造ばらつきを考慮して2.0以上とすれば、発振回路の要求規格を満たし発振可能となるので実用化が可能であることに思い至った。

20

【0033】

図3はニッケル(Ni)を下地とした金(Au)の膜厚とシート抵抗値を示したものである。下地のニッケル(Ni)の膜厚を7nmで一定とし、金(Au)の膜厚を45nm~150nmに変化させた場合のシート抵抗の測定結果である。図3より、膜厚90nm以下になるとシート抵抗が急激に増大することが判る。従って、エネルギー閉じ込め係数 M を決定する励振電極膜厚以外で、オーミックロスの影響で主振動のCI値が大きくなるのを防ぐためにはリード電極27a、27bやパッド電極29a、29bの膜厚を大きくする必要がある。特に、リード電極部はパッド部に比べ、細く長いいためオーミックロスの影響は大きい。例えば、リード電極部の長さを10(正方形を10個接続した長さ)と仮定した場合、リード電極部の抵抗値を2以下とするには、図3より、シート抵抗が0.2/となる電極膜厚150nm以上とする必要がある。

30

【0034】

図1(a)に示した実施形態例では、凹陷面側(図1(b)の表面側)の励振電極25aの平面形状は、フラット面側(図1(b)の裏面側)の励振電極25bの外形形状の外縁内に収まる大きさに設定してある。つまり、励振電極25aは励振電極25bより小さな形状に形成されている。これは、励振電極の質量負荷効果によるエネルギー閉じ込め係数 M を、必要以上に大きくしないためである。つまり、裏面側(下面側)の励振電極25bを大きくすることにより、プレートバック量は、表面側(上面側)の励振電極25aの質量負荷効果のみに依存するためエネルギー閉じ込め係数 M は、ほぼ半減する。よって、閉じ込められるインハーモニックモードのスプリアスを少なくすることができる。

40

【0035】

例えば、励振電極25a、25bが表裏同一の形状と面積の場合に電極膜厚を表裏それぞれ60nmとすると、励振電極25a、25bの表裏の形状と面積が異なる場合、エネ

50

ルギー閉じ込め係数 M を前記表裏同一の形状と面積の場合と同等にするためには表裏の電極膜厚がそれぞれ 120 nm となる。それぞれの電極膜厚における励振電極部分の抵抗値を計算すると、図 3 より、前記表裏同一の形状と面積の場合は電極膜厚 60 nm のシート抵抗が $1.2 / \square$ であるため、表裏の励振電極部での抵抗値は約 $2.4 / \square$ となる。それに対し、前記表裏の形状と面積が異なる場合は電極膜厚 120 nm のシート抵抗が $0.3 / \square$ となり、表裏の励振電極部での抵抗値は約 $0.6 / \square$ となる。従って、同等のエネルギー閉じ込め係数 M を有する振動素子を設計する場合、励振電極の表裏の形状と面積が異なる設計ではオーミックロスの影響を約 $1/4$ とすることができるので CI 値低下に有利である。

【0036】

図 4 は図 1 の実施形態例で試作した $246 \text{ MHz} \sim 491 \text{ MHz}$ 帯の共振周波数で振動する AT カット水晶振動素子の試作条件と測定結果を示したものである。

表裏の励振電極 25 a、25 b は下地のニッケル (Ni) 膜厚を 7 nm で一定とし、金 (Au) の膜厚を $45 \text{ nm} \sim 120 \text{ nm}$ としている。励振電極 25 a は h_x / h_z を約 1.28 で一定とし、 h_x を $0.14 \text{ mm} \sim 0.70 \text{ mm}$ としている。

また、表裏のリード電極 27 a、27 b とパッド電極 29 a、29 b はオーミックロスの影響を回避するために励振電極と同等の膜厚を形成した上層部に、ニッケル (Ni) を膜厚 7 nm 積層し、その上に金 (Au) を膜厚 200 nm 積層している。

【0037】

図 5 は図 4 に示した AT カット水晶振動素子のエネルギー閉じ込め係数 M に対する CI 値を示したものである。エネルギー閉じ込め係数 M が大きくなると CI 値は小さくなる傾向を示し、電極膜厚が大きくなることでオーミックロスの影響が小さくなることと、電極面積が大きくなることで励振電荷が多くなり抵抗が小さくなるためと考えられる。

よって、図 5 より、エネルギー閉じ込め係数 M が 17.1 以上とすることで、発振回路が必要とする CI 値規格 ($CI = 20$) を満足することができる。

【0038】

図 6 は図 4 に示した AT カット水晶振動素子のエネルギー閉じ込め係数 M に対する主振動の CI 値 (CI_m) とスプリアスの CI 値 (CI_s) との CI 値比 (CI_s / CI_m) を示したものである。エネルギー閉じ込め係数 M が大きくなると CI 値比 (CI_s / CI_m) は小さくなる傾向を示し、励振電極の膜厚や面積が大きくなることでインハーモニクモードのスプリアスを強く閉じ込めてしまうためであると考えられる。

図 6 より、エネルギー閉じ込め係数 M が 35.7 以下とすることで、発振回路が必要とするスプリアス規格 ($CI_s / CI_m = 2.0$) を満足することができる。

【0039】

以上の結果から、励振電極 25 a、25 b の表裏の形状と面積が異なる場合、発振回路が必要とする CI 値規格 ($CI = 20$) とスプリアス規格 ($CI_s / CI_m = 2.0$) を同時に満足できるのはエネルギー閉じ込め係数 M が $17.1 < M < 35.7$ である。

【0040】

図 1 の実施形態例では、励振電極 25 a、25 b の形状として四角形、つまり正方形、又は矩形 (X 軸方向を長辺とする) の例を示したが、これに限定する必要はない。表面側の励振電極 25 a が円形や楕円形であり、裏面側の励振電極 25 b は、励振電極 25 a より十分に大きな四角形、円形および楕円形であっても良い。

更に、AT カット水晶基板を用いた厚み滑り振動モードの場合、結晶の異方性により定まる変位方向の変位分布と、それと直交する方向の変位分が異なり、その電極寸法比 (h_x / h_z) は約 1.28 が最も効率が良いと言われているので、その比の楕円形状や矩形形状の励振電極形状が水晶振動素子の容量比 ($= C_0 / C_1$ 、ここで、 C_0 は静電容量、 C_1 は直列共振容量) を最小にできる。

【0041】

次に、オーミックロスの影響を回避するために表裏のリード電極 27 a、27 b とパッド電極 29 a、29 b を厚膜化した実験結果を図 7 に示す。厚膜化は励振電極 25 a、2

10

20

30

40

50

5 bと同等の膜厚を形成した上層部に、ニッケル(Ni)膜厚を7nm積層し、その上に金(Au)を膜厚200nm積層し形成している。図7は図1の実施形態例で試作した491MHz帯の共振周波数で振動するATカット水晶振動素子のリード電極膜厚に対するCI値を示したものである。

図7より、リード電極27a、27bとパッド電極29a、29bの膜厚を厚膜化することで、CI値は25.1から13.2へと低減することができる。従って、リード電極27a、27bやパッド電極29a、29bの膜厚化は、振動素子1の低CI化に有効である。特に、細く長くする必要のあるリード電極27a、27bは膜厚化による低CI化の効果が非常に大きい。

【0042】

図8は、本発明の一実施形態に係る振動子の構成を示す図であり、図8(a)は蓋部材を省略した平面図であり、図8(b)は縦断面図である。振動子2は、振動素子1と、振動素子1を収容するために矩形の箱状に形成されているパッケージ本体40と、金属、セラミック、ガラス等から成る蓋部材49と、で構成されている。

パッケージ本体40は、図8に示すように、第1の基板41と、第2の基板42と、第3の基板43と、シールリング44と、実装端子45と、を積層して形成されている。実装端子45は、第1の基板41の外部底面に複数形成されている。第3の基板43は中央部が除去された環状体であり、第3の基板43の上部周縁に例えばコパール等のシールリング44が形成されている。

第3の基板43と第2の基板42とにより、振動素子1を収容する凹部(キャビティ)が形成される。第2の基板42の上面の所定の位置には、導体46により実装端子45と電氣的に導通する複数の素子搭載パッド47が設けられている。素子搭載パッド47は、振動素子1を載置した際に第2の厚肉本体15aに形成したパッド電極29aに対応するように配置されている。

【0043】

振動素子1を固定する際には、先ず、振動素子1を反転(裏返し)してパッド電極29aを導電性接着剤30が塗布された素子搭載パッド47に載置して荷重をかける。導電性接着剤30は経年変化を考慮して脱ガスの少ないポリイミド系接着剤を用いている。

【0044】

次に、パッケージ本体40に搭載された振動素子1の導電性接着剤30を硬化させるために、所定の温度の高温炉に所定の時間入れる。導電性接着剤30を硬化させた後、反転して上面側になったパッド電極29bと、パッケージ本体40の電極端子48とをボンディングワイヤーBWで導通接続する。図8(b)に示すように、振動素子1をパッケージ本体40に支持・固定する部分は、一カ所(一点)であるため、支持固定により生じるマウント応力の大きさを小さくすることが可能となる。

アニール処理を施した後、励振電極25bに質量を付加するか、又は質量を減じて周波数調整を行う。その後、パッケージ本体40の上面に形成したシールリング44上に、蓋部材49を載置し、真空中、又は窒素ガスの雰囲気中で蓋部材49をシーム溶接して密封し、振動子2が完成する。又は、パッケージ本体40の第3の基板43の上面に塗布した低融点ガラスに蓋部材49を載置し、熔融して密着する方法もある。この場合もパッケージのキャビティ内は真空にするか、又は窒素ガス等の不活性ガスで充填して、振動子2が完成する。

【0045】

パッド電極29a、29bの間隔をZ'軸方向に離して形成した振動素子1を構成してもよい。この場合も図8で説明した振動子2と同様に振動子を構成することができる。また、パッド電極29a、29bを同一面上に間隔を離して形成した振動素子1を構成してもよい。この場合、振動素子1は、二カ所(二点)に導電性接着剤30を塗布して、導通と支持・固定を図るようにした構造である。低背化に適した構造であるが、導電性接着剤30に起因するマウント応力が少し大きくなる虞がある。

以上の振動子2の実施形態例では、パッケージ本体40に積層板を用いた例を説明した

10

20

30

40

50

が、パッケージ本体 40 に単層セラミック板を用い、蓋体に絞り加工を施したキャップを用いて振動子を構成してもよい。

【0046】

図 8 に示すように、振動素子 1 を支持する部位が一点であり、且つ厚肉部 13 と振動部 12 の間にスリット 17 を設けることにより、導電性接着剤 30 に起因して生じるマウント応力を小さくすることができるため、周波数再現性、周波数温度特性、C I 温度特性、及び周波数エージング特性に優れた振動子 2 が得られるという効果がある。

【0047】

図 9 は、本発明の一実施形態に係る電子デバイスの構成を示す図であって、図 9 (a) は蓋部材を省略した平面図であり、図 9 (b) は縦断面図である。電子デバイス 3 は、パッケージ本体 50 と、蓋部材 49 と、振動素子 1 と、振動素子 1 を励振する発振回路を搭載した IC 部品 51 と、電圧により容量が変化する可変容量素子、温度より抵抗が変化するサーミスター、インダクター等の電子部品 52 の少なくとも一つと、を備えている。

【0048】

パッケージ本体 50 は、図 9 に示すように、第 1 の基板 61 と、第 2 の基板 62 と、第 3 の基板 63 と、を積層して形成されている。実装端子 45 は、第 1 の基板 61 の外部底面に複数形成されている。第 2 の基板 62 と第 3 の基板 63 とは中央部が除去された環状体で形成されている。

第 1 の基板 61 と、第 2 の基板 62 と、第 3 の基板 63 と、により、振動素子 1、IC 部品 51、および電子部品 52 などを収容する凹部（キャビティ）が形成される。第 2 の基板 62 の上面の所定の位置には、導体 46 により実装端子 45 と電氣的に導通する複数の素子搭載パッド 47 が設けられている。素子搭載パッド 47 は、振動素子 1 を載置した際に第 2 の厚肉本体 15a に形成したパッド電極 29a に対応するように配置されている。

【0049】

反転した振動素子 1 のパッド電極 29a を、導電性接着剤（ポリイミド系）30 を塗布したパッケージ本体 50 の素子搭載パッド 47 に載置し、パッド電極 29a と素子搭載パッド 47 との導通を図る。反転して上面側になったパッド電極 29b と、パッケージ本体 50 の電極端子 48 とをボンディングワイヤー BW にて接続し、パッケージ本体 50 の基板間に形成された導体を通じて、IC 部品 51 の一つの電極端子 55 との導通を図る。IC 部品 51 をパッケージ本体 50 の所定の位置に固定し、IC 部品 51 の端子と、パッケージ本体 50 の電極端子 55 とをボンディングワイヤー BW にて接続する。また、電子部品 52 は、パッケージ本体 50 の所定の位置に載置し、金属バンプ等を用いて導体 46 に接続する。パッケージ本体 50 を真空、あるいは窒素等の不活性気体で満たし、パッケージ本体 50 を蓋部材 49 で密封して電子デバイス 3 を完成する。

パッド電極 29b とパッケージ本体 50 の電極端子 48 とをボンディングワイヤー BW で接続する工法は、振動素子 1 を支持する部位が一点所（一点）になり、導電性接着剤 30 に起因して生じるマウント応力を小さくする。また、パッケージ本体 50 に収容するに当たり、振動素子 1 を反転して、より大きな励振電極 25b を上面にしたので、電子デバイス 3 の周波数調整が容易となる。

【0050】

図 9 に示すように、電子デバイス 3 を構成することにより、基本波で励振する高周波の振動素子 1 を用いているので、容量比が小さく、周波数可変幅が広がり、更に、S/N 比の良好な電圧制御型発振器が得られるという効果がある。

また、電子デバイス 3 として発振器、温度補償型発振器等を構成することが可能であり、周波数再現性、エージング特性、周波数温度特性に優れた発振器を構成できるという効果がある。

【0051】

次いで、本発明の一実施形態に係る振動素子を適用した電子機器（本発明の電子機器）について、図 10 ~ 図 12 に基づき、詳細に説明する。

10

20

30

40

50

図10は、本発明の一実施形態に係る振動素子を備える電子機器としてのモバイル型（又はノート型）のパーソナルコンピュータの構成を示す斜視図である。この図において、パーソナルコンピュータ1100は、キーボード1102を備えた本体部1104と、表示部100を備えた表示ユニット1106とにより構成され、表示ユニット1106は、本体部1104に対しヒンジ構造部を介して回動可能に支持されている。このようなパーソナルコンピュータ1100には、フィルター、共振器、基準クロック等として機能する振動素子1が内蔵されている。

【0052】

図11は、本発明の一実施形態に係る振動素子を備える電子機器としての携帯電話機（PHSも含む）の構成を示す斜視図である。この図において、携帯電話機1200は、複数の操作ボタン1202、受話口1204および送話口1206を備え、操作ボタン1202と受話口1204との間には、表示部100が配置されている。このような携帯電話機1200には、フィルター、共振器等として機能する振動素子1が内蔵されている。

【0053】

図12は、本発明の一実施形態に係る振動素子を備える電子機器としてのデジタルスチールカメラの構成を示す斜視図である。なお、この図には、外部機器との接続についても簡易的に示されている。ここで、通常のカメラは、被写体の光像により銀塩写真フィルムを感光するのに対し、デジタルスチールカメラ1300は、被写体の光像をCCD（Charge Coupled Device）等の撮像素子により光電変換して撮像信号（画像信号）を生成する。

デジタルスチールカメラ1300におけるケース（ボディ）1302の背面には、表示部100が設けられ、CCDによる撮像信号に基づいて表示を行う構成になっており、表示部100は、被写体を電子画像として表示するファインダーとして機能する。また、ケース1302の正面側（図中裏面側）には、光学レンズ（撮像光学系）やCCD等を含む受光ユニット1304が設けられている。

撮影者が表示部100に表示された被写体像を確認し、シャッターボタン1306を押下すると、その時点におけるCCDの撮像信号が、メモリー1308に転送・格納される。また、このデジタルスチールカメラ1300においては、ケース1302の側面に、ビデオ信号出力端子1312と、データ通信用の入出力端子1314とが設けられている。そして、図示されるように、ビデオ信号出力端子1312にはテレビモニター1430が、データ通信用の入出力端子1314にはパーソナルコンピュータ1440が、それぞれ必要に応じて接続される。さらに、所定の操作により、メモリー1308に格納された撮像信号が、テレビモニター1430や、パーソナルコンピュータ1440に出力される構成になっている。このようなデジタルスチールカメラ1300には、フィルター、共振器等として機能する振動素子1が内蔵されている。

【0054】

なお、本発明の一実施形態に係る振動素子を備える電子機器は、図10のパーソナルコンピュータ（モバイル型パーソナルコンピュータ）、図11の携帯電話機、図12のデジタルスチールカメラの他にも、例えば、インクジェット式吐出装置（例えばインクジェットプリンター）、ラップトップ型パーソナルコンピュータ、テレビ、ビデオカメラ、ビデオテープレコーダー、カーナビゲーション装置、ページャ、電子手帳（通信機能付も含む）、電子辞書、電卓、電子ゲーム機器、ワードプロセッサ、ワークステーション、テレビ電話、防犯用テレビモニター、電子双眼鏡、POS端末、医療機器（例えば電子体温計、血圧計、血糖計、心電図計測装置、超音波診断装置、電子内視鏡）、魚群探知機、各種測定機器、計器類（例えば、車両、航空機、船舶の計器類）、フライトシミュレーター等に適用することができる。

【符号の説明】

【0055】

1...振動素子、2...振動子、3...電子デバイス、10...基板、11...凹陷部、12...振動部、13...厚肉部、14...第1の厚肉部、14a...第1の厚肉本体、14b...第1の傾

10

20

30

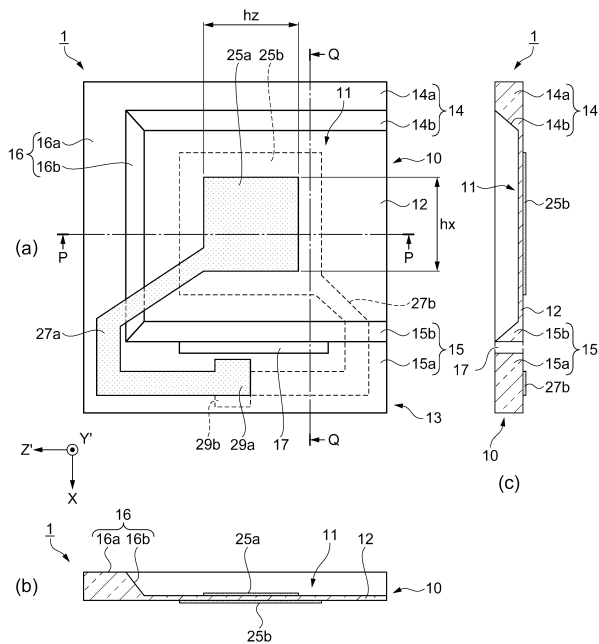
40

50

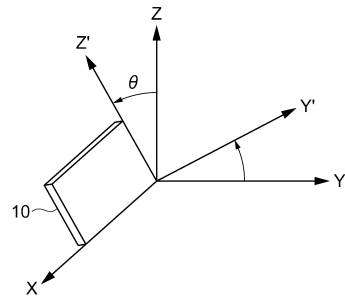
斜部、15...第2の厚肉部、15a...第2の厚肉本体、15b...第2の傾斜部、16...第3の厚肉部、16a...第3の厚肉本体、16b...第3の傾斜部、17...スリット、25a, 25b...励振電極、27a, 27b...リード電極、29a, 29b...パッド電極、30...導電性接着剤、40...パッケージ本体、41...第1の基板、42...第2の基板、43...第3の基板、44...シールリング、45...実装端子、46...導体、47...素子搭載パッド、48...電極端子、49...蓋部材、50...パッケージ本体、51...IC部品、52...電子部品、55...電極端子、61...第1の基板、62...第2の基板、63...第3の基板、100...表示部、1100...パーソナルコンピューター、1102...キーボード、1104...本体部、1106...表示ユニット、1200...携帯電話機、1202...操作ボタン、1204...受話口、1206...送話口、1300...デジタルスチールカメラ、1302...ケース、1304...受光ユニット、1306...シャッターボタン、1308...メモリー、1312...ビデオ信号出力端子、1314...入出力端子、1430...テレビモニター、1440...パーソナルコンピューター。

10

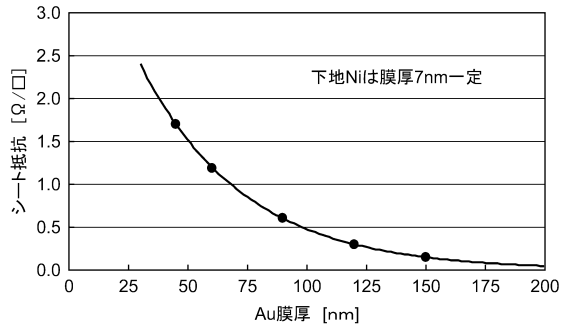
【図1】



【図2】



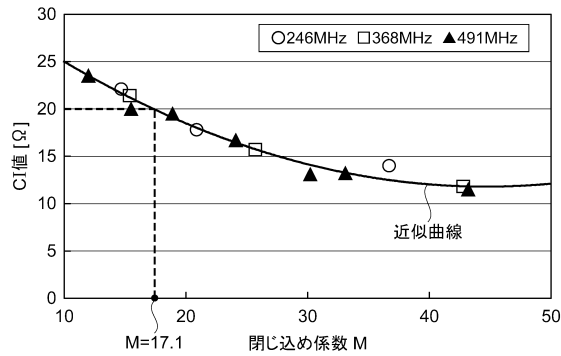
【 図 3 】



【 図 4 】

共振周波数 [MHz]	電極寸法 $h_x \times h_z$ [mm]	膜厚 [nm]	閉じ込め係数 M	CI [Ω]	スプリアス比 (CI _s /CI _m)
491	0.14 × 0.11	45	12.0	23.5	4.7
	0.18 × 0.14	45	15.5	20.0	4.5
	0.18 × 0.14	60	18.9	19.5	4.1
	0.23 × 0.18	60	24.1	16.7	3.1
	0.21 × 0.16	90	30.2	13.1	2.7
	0.23 × 0.18	90	33.1	13.2	2.3
368	0.18 × 0.14	90	15.4	21.4	4.9
	0.30 × 0.24	90	25.7	15.7	3.8
	0.50 × 0.40	90	42.8	11.8	1.5
246	0.28 × 0.22	120	14.7	22.1	4.6
	0.40 × 0.32	120	20.9	17.8	4.0
	0.70 × 0.56	120	36.7	14.0	2.5

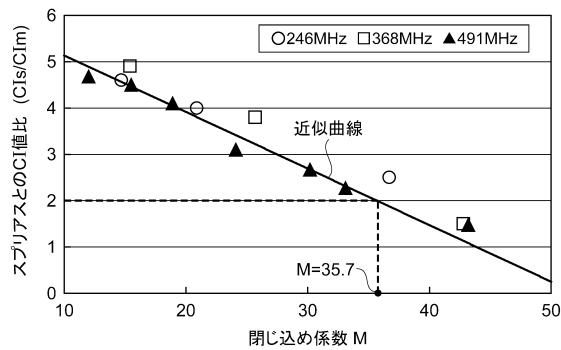
【 図 5 】



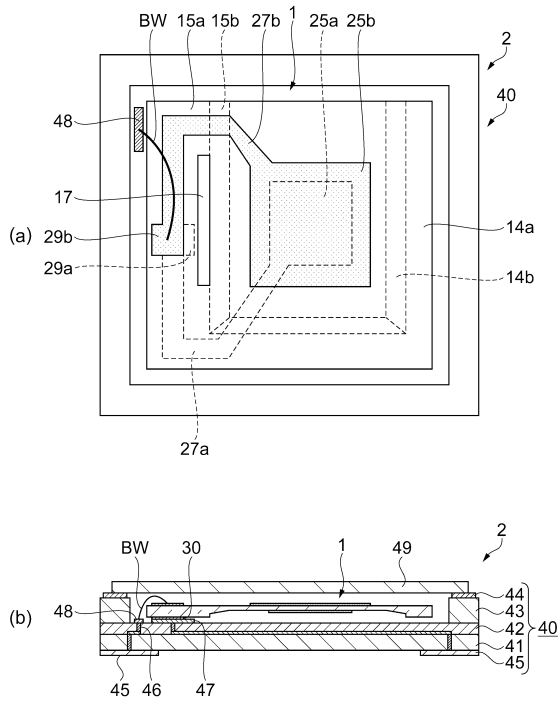
【 図 7 】

共振周波数 [MHz]	電極寸法 $h_x \times h_z$ [mm]	励振電極膜厚 [nm]	リード電極膜厚 [nm]	CI [Ω]
491	0.23 × 0.18	90	200	13.2
			0	25.1

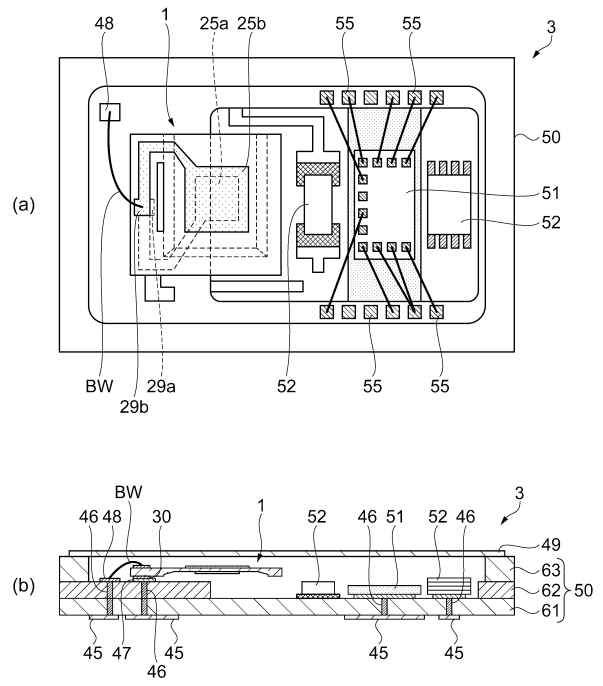
【 図 6 】



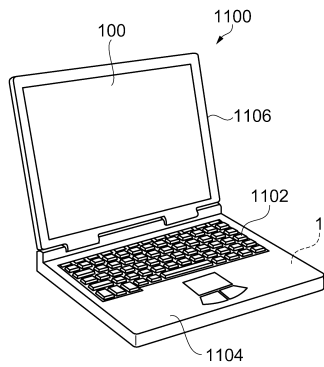
【図 8】



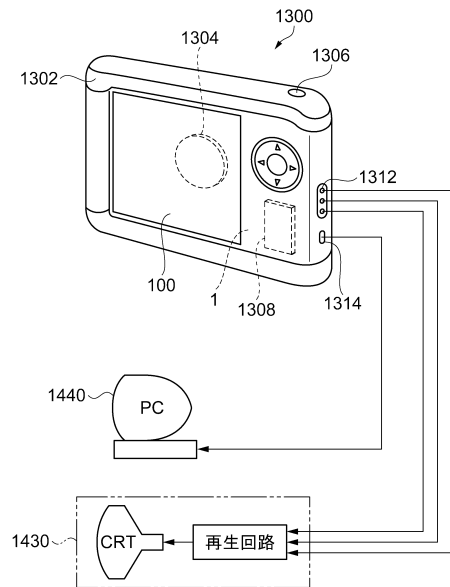
【図 9】



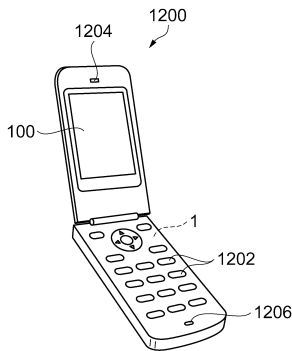
【図 10】



【図 12】



【図 11】



フロントページの続き

審査官 鬼塚 由佳

- (56)参考文献 特開2001-257560(JP,A)
特開2005-203858(JP,A)
特開2001-024470(JP,A)
特開2001-244778(JP,A)
特開2002-190717(JP,A)
特開2004-088137(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03H 9/19
H03H 9/215