

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6119138号
(P6119138)

(45) 発行日 平成29年4月26日(2017.4.26)

(24) 登録日 平成29年4月7日(2017.4.7)

(51) Int.Cl.

H03H 3/02 (2006.01)
H03H 9/19 (2006.01)

F 1

H03H 3/02
H03H 9/193/02
9/19B
D

請求項の数 19 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2012-166733 (P2012-166733)
 (22) 出願日 平成24年7月27日 (2012.7.27)
 (65) 公開番号 特開2014-27506 (P2014-27506A)
 (43) 公開日 平成26年2月6日 (2014.2.6)
 審査請求日 平成27年7月17日 (2015.7.17)

(73) 特許権者 000002369
 セイコーエプソン株式会社
 東京都新宿区新宿四丁目1番6号
 (74) 代理人 100116665
 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 内藤 松太郎
 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】振動片、振動素子、振動子、電子デバイス、電子機器、移動体及び振動片の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

水晶の結晶軸であるX軸と、前記X軸を回転軸として結晶軸であるZ軸を結晶軸であるY軸の-Y軸側へ回転して得られるZ'軸とを含む面を正面とし、前記X軸を回転軸として結晶軸であるY軸を結晶軸である前記Z軸の-Z軸側へ回転して得られるY'軸方向を厚さとする回転Yカット水晶基板を準備する工程と、

前記回転Yカット水晶基板の前記Y'軸方向の厚さを10%以上薄くし、前記回転Yカット水晶基板の前記Z'軸と交差する2つの側面のうち少なくとも一方の前記側面をエッティングした後に少なくとも4つの面が形成されるように、前記回転Yカット水晶基板をエッティングする工程と、

を含むことを特徴とする振動片の製造方法。

【請求項2】

水晶の結晶軸であるX軸と、前記X軸を回転軸として結晶軸であるZ軸を結晶軸であるY軸の-Y軸側へ回転して得られるZ'軸とを含む面を正面とし、前記X軸を回転軸として結晶軸であるY軸を結晶軸である前記Z軸の-Z軸側へ回転して得られるY'軸方向を厚さとする回転Yカット水晶基板を準備する工程と、

前記回転Yカット水晶基板の前記Y'軸方向の厚さを10%以上15%未満の範囲で薄くし、前記回転Yカット水晶基板の前記Z'軸と交差する2つの側面のうち少なくとも一方の前記側面をエッティングした後に少なくとも4つの面が形成されるように、前記回転Yカット水晶基板をエッティングする工程と、

10

20

を含むことを特徴とする振動片の製造方法。

【請求項 3】

水晶の結晶軸である X 軸と、前記 X 軸を回転軸として結晶軸である Z 軸を結晶軸である Y 軸の - Y 軸側へ回転して得られる Z' 軸とを含む面を主面とし、前記 X 軸を回転軸として結晶軸である Y 軸を結晶軸である前記 Z 軸の - Z 軸側へ回転して得られる Y' 軸方向を厚さとする回転 Y カット水晶基板を準備する工程と、

前記回転 Y カット水晶基板の前記 Z' 軸と交差する 2 つの側面のうち少なくとも一方の前記側面をエッチングした後に少なくとも 4 つの面が形成されるように、前記回転 Y カット水晶基板をエッチングする工程と、

を含み

10

前記エッチングする工程は、ウェットエッチングで行われ、且つ、

前記回転 Y カット水晶基板の前記 Y' 軸方向の一方側の前記主面上に第 1 マスクを配置し、前記 Y' 軸方向の他方側の前記主面上に前記第 1 マスクに対して前記 Z' 軸方向の一方側にずれた位置となるように第 2 マスクを配置し、前記第 1 マスク及び前記第 2 マスクを介して前記回転 Y カット水晶基板をウェットエッチングして、振動片の外形を形成する工程と、

前記第 1 マスク及び前記第 2 マスクを除去する工程と、

前記回転 Y カット水晶基板をウェットエッチングして、少なくとも一方の前記側面に、前記少なくとも 4 つの面を形成する工程と、
を含むことを特徴とする振動片の製造方法。

20

【請求項 4】

請求項 1 または請求項 2 において、

前記エッチングする工程は、ウェットエッチングで行うことを特徴とする振動片の製造方法。

【請求項 5】

請求項 4 において、

前記エッチングする工程は、

前記回転 Y カット水晶基板の前記 Y' 軸方向の一方側の前記主面上に第 1 マスクを配置し、前記 Y' 軸方向の他方側の前記主面上に前記第 1 マスクに対して前記 Z' 軸方向の一方側にずれた位置となるように第 2 マスクを配置し、前記第 1 マスク及び前記第 2 マスクを介して前記回転 Y カット水晶基板をウェットエッチングして、前記振動片の外形を形成する工程と、

30

前記第 1 マスク及び前記第 2 マスクを除去する工程と、

前記振動片をウェットエッチングして、少なくとも一方の前記側面に、前記少なくとも 4 つの面を形成する工程と、
を含むことを特徴とする振動片の製造方法。

【請求項 6】

請求項 3 または請求項 5 において、

前記回転 Y カット水晶基板の厚さを T (μm) としたとき、前記第 2 マスクの前記第 1 マスクに対するずらし量 z (μm) は、

$$0.75 \times T \times 0.8 \quad z = 0.75 \times T \times 1.2$$

40

の関係を満足することを特徴とする振動片の製造方法。

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 6 の何れか一項において、

前記少なくとも 4 つの面は、前記 Y' 軸方向に並んでいることを特徴とする振動片の製造方法。

【請求項 8】

水晶の結晶軸である X 軸と、前記 X 軸を回転軸として結晶軸である Z 軸を結晶軸である Y 軸の - Y 軸側へ回転して得られる Z' 軸とを含む面を主面とし、前記 X 軸を回転軸として結晶軸である Y 軸を結晶軸である前記 Z 軸の - Z 軸側へ回転して得られる Y' 軸方向を

50

厚さとする回転Yカット水晶基板を有し、

前記回転Yカット水晶基板の前記Z'軸と交差する2つの側面のうち少なくとも一方の前記側面は、少なくとも4つの面を含み、

前記Y'軸方向の一方側の前記正面、前記Y'軸方向の他方側の前記正面、及び前記少なくとも4つの面を有する前記側面において、

端部が互いに接続されている2つの面がなす角度が鈍角であることを特徴とする振動片。

【請求項9】

請求項8において、

少なくとも一方の前記側面は、5つの面を含むことを特徴とする振動片。

10

【請求項10】

請求項9において、

前記5つの面は、前記Y'軸方向に並んでいることを特徴とする振動片。

【請求項11】

請求項8又は請求項9において、

前記少なくとも4つの面は、前記Y'軸方向に並んでいることを特徴とする振動片。

【請求項12】

請求項8乃至請求項11の何れか一項において、

前記回転Yカット水晶基板の前記Y'軸方向の一方側の前記正面および前記Y'軸方向の他方側の前記正面のうち、少なくとも一方の前記正面に突出部が設けられていることを特徴とする振動片。

20

【請求項13】

請求項8乃至請求項11の何れか一項に記載の振動片の前記Y'軸方向の一方側の前記正面および前記Y'軸方向の他方側の前記正面に励振電極が配置されていることを特徴とする振動素子。

【請求項14】

請求項12に記載の振動片の前記Y'軸方向の一方側の前記正面および前記Y'軸方向の他方側の前記正面に、平面視で、前記突出部と重なる位置に励振電極が配置されていることを特徴とする振動素子。

【請求項15】

30

請求項13または請求項14において、

前記励振電極と電気的に接続しているパッド電極を有し、

前記パッド電極は、平面視で、前記少なくとも4つの面を有する前記側面と重なる位置に配置されていることを特徴とする振動素子。

【請求項16】

請求項13乃至請求項15の何れか一項に記載の振動素子と、

前記振動素子を収容しているパッケージと、

を備えていることを特徴とする振動子。

【請求項17】

請求項13乃至請求項15の何れか一項に記載の振動素子と、

40

電子部品と、

前記振動素子及び前記電子部品が搭載されている容器と、
を備えていることを特徴とする電子デバイス。

【請求項18】

請求項13乃至請求項15の何れか一項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。

【請求項19】

請求項13乃至請求項15の何れか一項に記載の振動素子を備えていることを特徴とする移動体。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】**【0001】**

本発明は、振動片、振動素子、振動子、電子デバイス、電子機器、移動体及び振動片の製造方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

主振動が厚み滑り振動で励振する水晶振動片が用いられている水晶振動子は、小型化、高周波数化に適し、且つ、周波数温度特性が優れているので、発振器、電子機器等の多方面で使用されている。特に、近年では携帯電話やコンピューター等の様々な電子機器の小型化、薄型化に伴い、それに用いられる水晶振動子に対してもより一層の小型化、薄型化の要求が強まっている。10

【0003】

しかし、水晶振動子の小型化を図ろうとすると、振動領域と保持部との間隔が近くなるため振動エネルギーが漏洩しCI(クリスタル・インピーダンス=水晶振動子の等価抵抗)が低減することや主振動である厚み滑り振動の共振周波数近傍に、水晶振動片の輪郭寸法に依存した幅滑り振動等の不要なスプリアスが発生し、主振動と結合することで温度変化に対する周波数及びCIの非連続的な変動、所謂、特異現象(Anomalous Activity Dip)等が生じるという問題があった。これに対し、特許文献1には、CI値の低減やスプリアスとの結合を回避するために、水晶結晶のX軸(電気軸)方向を長辺とする矩形のATカット水晶基板に励振部を有する水晶振動片と、前記励振部の表裏主面に設けられた励振電極とを備え、前記励振部の長辺方向の両側面(Z'軸側の両側面)がそれぞれ水晶結晶のm面とm面以外の結晶面との2面で形成され、前記m面以外の結晶面が前記励振部の主面の法線方向に対して $3^\circ \pm 30'$ の角度をもって傾斜していることを特徴とするATカット水晶振動片が開示されている。20

【先行技術文献】**【特許文献】****【0004】**

【特許文献1】特開2008-67345号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0005】**

上述の特許文献1に開示されている水晶振動片では、更なる小型化を図る場合、前記励振部のZ'軸方向即ち振動片の幅方向に十分なエネルギー閉じ込め効果が得られないという課題があることが分かった。30

そこで、水晶結晶のX軸方向を長辺とするATカット水晶振動片において、主振動である厚み滑り振動モードのZ'軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果を向上させることを可能とする小型の振動片及びその製造方法を提供する。

【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、以下の形態又は適用例として実現することが可能である。40

【形態1】本形態に係る振動片の製造方法は、水晶の結晶軸であるX軸と、前記X軸を回転軸として結晶軸であるZ軸を結晶軸であるY軸の-Y軸側へ回転して得られるZ'軸とを含む面を主面とし、前記X軸を回転軸として結晶軸であるY軸を結晶軸である前記Z軸の-Z軸側へ回転して得られるY'軸方向を厚さとする回転Yカット水晶基板を準備する工程と、前記回転Yカット水晶基板の前記Z'軸と交差する複数の側面のうち少なくとも一方の前記側面をエッティングした後に少なくとも4つの面が形成されるように、前記回転Yカット水晶基板をエッティングする工程と、を含むことを特徴とする。

本形態によれば、回転Yカット水晶基板の振動片を小型化しても、Z'軸側の側面に少なくとも4つの結晶面が形成されるエッティングを施すことで、主振動である厚み滑り振動

10

20

30

40

50

モードのZ'軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果を向上した振動片を製造できるという効果がある。

[形態2] 上記形態に記載の振動片の製造方法において、前記エッチングする工程は、前記回転Yカット水晶基板の前記Y'軸方向の厚さを10%以上薄くする工程を含むことを特徴とする。

本形態によれば、振動片を小型化しても、Y'軸方向の厚さを10%以上薄くなるようにエッチングすることにより、Z'軸側の両側面にそれぞれ4つ以上の結晶面が形成されるので、主振動である厚み滑り振動モードのZ'軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果を向上し、CI値の小さい振動片を製造することができるという効果がある。

[形態3] 上記形態に記載の振動片の製造方法において、前記エッチングする工程は、前記回転Yカット水晶基板の前記Y'軸方向の厚さを10%以上15%未満の範囲で薄くする工程を含むことを特徴とする。

本形態によれば、振動片を小型化しても、Y'軸方向の厚さを10%以上15%未満の範囲で薄くなるようにエッチングすることで、Z'軸側の両側面にそれぞれ4つの結晶面が形成され、主振動である厚み滑り振動モードのZ'軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果を向上し、CI値の小さい振動片を製造することができるという効果がある。

[形態4] 上記形態に記載の振動片の製造方法において、前記エッチングする工程は、ウェットエッチングで行うことを特徴とする。

本形態によれば、エッチングをウェットエッチングで行うことで、水晶の結晶異方性に伴い、ウェットエッチングによって生じる新たな結晶面を利用できるという効果がある。

[形態5] 上記形態に記載の振動片の製造方法において、前記エッチングする工程は、前記回転Yカット水晶基板の+Y'軸側の正面に第1マスクを配置し、-Y'軸側の正面に前記第1マスクに対して-Z'軸側にずれた位置となるように第2マスクを配置し、前記第1マスク及び前記第2マスクを介して前記回転Yカット水晶基板をウェットエッチングして、前記振動片の外形を形成する工程と、前記第1マスク及び前記第2マスクを除去する工程と、前記振動片をウェットエッチングして、少なくとも一方の前記側面に、前記少なくとも4つの面を形成する工程と、を含むことを特徴とする。

本形態によれば、振動片の外形貫通エッチング用のマスクをZ'軸方向にずらすことと、Z'軸側の側面にそれぞれ2つの結晶面を含む振動片を形成でき、その後の厚み調整エッチングにおいて、Z'軸側の両側面に4つの結晶面を形成できるので、主振動である厚み滑り振動モードのZ'軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果を向上した振動片を製造することができるという効果がある。

[形態6] 上記形態に記載の振動片の製造方法において、前記回転Yカット水晶基板の厚さをT(μm)としたとき、前記第2マスクの前記第1マスクに対するずらし量z(μm)は、 $0.75 \times T \times 0.8 \leq z \leq 0.75 \times T \times 1.2$ の関係を満足することを特徴とする。

本形態によれば、マスクのずらし量z(μm)が上記式の関係を満足することで、振動片の外形貫通エッチング後に、確実にZ'軸側の側面にそれぞれ2つの結晶面を含む振動片を形成できるので、その後の厚み調整エッチングにおいて、確実にZ'軸側の両側面に4つ以上の結晶面を形成した振動片を製造することができるという効果がある。

[形態7] 上記形態に記載の振動片の製造方法において、前記少なくとも4つの面は、前記Y'軸方向に並んでいることを特徴とする

本形態によれば、少なくとも4つの面は、水晶の結晶異方性に伴って生じる結晶面を利用できるという効果がある。

[形態8] 本形態に係る振動片は、水晶の結晶軸であるX軸と、前記X軸を回転軸として結晶軸であるZ軸を結晶軸であるY軸の-Y軸側へ回転して得られるZ'軸とを含む面を正面とし、前記X軸を回転軸として結晶軸であるY軸を結晶軸である前記Z軸の-Z軸側へ回転して得られるY'軸方向を厚さとする回転Yカット水晶基板を有し、前記回転Yカット水晶基板の前記Z'軸と交差する複数の側面のうち少なくとも一方の前記側面は、少なくとも4つの面を含むことを特徴とする。

10

20

30

40

50

本形態によれば、振動片を小型化しても、Z'軸側の側面に4つの結晶面があることで、主振動である厚み滑り振動モードのZ'軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果を向上し、且つ幅滑り振動モードの影響を抑制して周波数温度特性を改善することができるという効果がある。

[形態9] 上記形態に記載の振動片において、少なくとも一方の前記側面は、5つの面を含むことを特徴とする。

本形態によれば、振動片を小型化しても、Z'軸側の側面に5つの結晶面があることで、主振動である厚み滑り振動モードのZ'軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果をより一層向上し、且つ幅滑り振動モードの影響をより一層抑制して周波数温度特性を改善することができるという効果がある。

10

[形態10] 上記形態に記載の振動片において、前記5つの面は、前記Y'軸方向に並んでいることを特徴とする。

本形態によれば、5つの面は、水晶の結晶異方性に伴って生じる結晶面を利用できるという効果がある。

[形態11] 上記形態に記載の振動片において、前記少なくとも4つの面は、前記Y'軸方向に並んでいることを特徴とする。

本形態によれば、少なくとも4つの面は、水晶の結晶異方性に伴って生じる結晶面を利用できるという効果がある。

[形態12] 上記形態に記載の振動片において、+Y'軸側の第1正面、-Y'軸側の第2正面、及び前記少なくとも4つの面を有する前記側面において、端部が互いに接続されている2つの面がなす角度が鈍角であることを特徴とする。

20

本形態によれば、Z'軸側の少なくとも4つの面を有する側面において、2つの面がなす角度が全て鈍角であることで、Z'軸側の側面を利用して、励振電極とパッド電極とをリード電極で接続する場合に、リード電極の断線を防止できるという効果がある。

[形態13] 上記形態に記載の振動片において、前記回転Yカット水晶基板の少なくとも一方の正面に突出部が設けられていることを特徴とする。

本形態によれば、振動片を小型化しても、励振電極を形成する位置に厚肉中央部と薄肉周辺部とからなるメサ形状を有することで、主振動に重畳する幅滑り振動モード等の不要波を抑制でき、周波数温度特性を改善できるという効果がある。

[形態14] 上記形態に記載の振動片において、前記突出部は、平面視で、前記少なくとも4つの面を有する前記側面よりも他方の前記側面に近い位置に配置していることを特徴とする。

30

本形態によれば、振動片を小型化しても、水晶基板の励振電極を形成する位置に厚肉中央部と薄肉周辺部とによるメサ形状を形成することで、主振動に重畳する厚み屈曲振動モード等の不要波を大幅に抑制でき、周波数温度特性が大幅に改善できるという効果がある。

[形態15] 本形態に係る振動素子は、上記形態に記載の振動片の前記正面に励振電極が配置していることを特徴とする。

本形態によれば、振動片を小型化しても、励振電極を形成することで、主振動である厚み滑り振動モードを安定して励振することができるという効果がある。

40

[形態16] 上記形態に記載の振動素子において、前記励振電極は、平面視で、前記少なくとも4つの面を有する前記側面よりも他方の前記側面に近い位置に配置していることを特徴とする。

本形態によれば、主振動である厚み滑り振動モードを安定して励振することができるという効果がある。

[形態17] 本形態に係る振動素子は、上記形態に記載の振動片の前記正面に、平面視で、前記突出部と重なる位置に励振電極が配置していることを特徴とする。

本形態によれば、振動片を小型化しても、水晶基板の厚肉中央部と薄肉周辺部とによるメサ形状における肉厚中央部と励振電極とが平面視で重なっているため、主振動に重畳する厚み屈曲振動モード等の不要波を大幅に抑制し、周波数温度特性が大幅に改善した振動

50

素子が得られるという効果がある。

[形態18] 上記形態に記載の振動素子において、前記励振電極は、平面視で、前記少なくとも4つの面を有する前記側面よりも他方の前記側面に近い位置に配置していることを特徴とする振動素子。

本形態によれば、主振動である厚み滑り振動モードを安定して励振することができるという効果がある。

[形態19] 上記形態に記載の振動素子において、前記励振電極と電気的に接続しているパッド電極を有し、前記パッド電極は、平面視で、前記少なくとも4つの面を有する前記側面と重なる位置に配置していることを特徴とする。

本形態によれば、少なくとも4つの面を有するZ'軸側の側面を利用して、励振電極とパッド電極とをリード電極で接続する場合に、リード電極の断線を防止できるという効果がある。

10

[形態20] 本形態に係る振動子は、上記形態に記載の振動素子と、前記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。

本形態によれば、小型の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、C I 温度特性及び周波数エージング特性に優れた、小型の振動子が得られるという効果がある。

[形態21] 本形態に係る電子デバイスは、上記形態に記載の振動素子と、電子部品と、前記振動素子及び前記電子部品を搭載する容器と、を備えていることを特徴とする。

20

本形態によれば、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小型の振動子を用い、発振回路を構成することで、小型で安定した発振特性を有する発振器等の電子デバイスの小型化が図れるという効果がある。

[形態22] 本形態に係る電子機器は、上記形態に記載の振動素子を備えていることを特徴とする。

本形態によれば、C I 値が小さく、周波数温度特性の良好な小型の振動素子を用いることで、良好な基準周波数源を備えた小型の電子機器が構成できるという効果がある。

[形態23] 本形態に係る移動体は、上記形態に記載の振動素子を備えていることを特徴とする。

本形態によれば、C I 値が小さく、周波数温度特性の良好な小型の振動素子を用いることにより、安定な基準周波数源を備えた小型の電子デバイスが構成できるので、移動体を正確に制御することができるという効果がある。

30

【0007】

[適用例1] 本適用例に係る振動片の製造方法は、水晶の結晶軸であるX軸と、前記X軸を回転軸として結晶軸であるZ軸を結晶軸であるY軸の-Z軸側へ回転して得られるZ'軸とを含む面を正面とし、前記X軸を回転軸として結晶軸であるY軸を結晶軸である前記Z軸の-Z軸側へ回転して得られるY'軸方向を厚みとする水晶平板で構成されている回転Yカット水晶基板を準備する工程と、前記Z'軸と交差する少なくとも一方の側面に少なくとも4つの面が形成されるように前記側面をエッチングする工程と、を含むことを特徴とする。

40

【0008】

本適用例によれば、回転Yカット水晶基板の振動片を小型化しても、Z'軸側の側面に少なくとも4つの結晶面が形成されるエッチングを施すことで、主振動である厚み滑り振動モードのZ'軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果を向上した振動片を製造でき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片の製造方法において、前記エッチングする工程は、前記回転Yカット水晶基板の前記Y'軸方向の厚みに対して、前記Y'軸方向の厚みを10%以上薄くすることを特徴とする。

50

【0010】

本適用例によれば、振動片を小型化しても、Y'軸方向の厚みを10%以上薄くなるようにエッティングすることにより、Z'軸側の両側面にそれぞれ4つ以上の結晶面が形成されるので、主振動である厚み滑り振動モードのZ'軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果を向上し、C I値の小さい振動片を製造することができ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片の製造方法において、前記エッティングする工程は、前記回転Yカット水晶基板の前記Y'軸方向の厚みに対して、前記Y'軸方向の厚みを10%以上15%未満の範囲で薄くすることを特徴とする。

【0012】

本適用例によれば、振動片を小型化しても、Y'軸方向の厚みを10%以上15%未満の範囲で薄くなるようにエッティングすることで、Z'軸側の両側面にそれぞれ4つの結晶面が形成され、主振動である厚み滑り振動モードのZ'軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果を向上し、C I値の小さい振動片を製造することができ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片の製造方法において、前記エッティングは、ウェットエッティングであることを特徴とする。

【0014】

本適用例によれば、エッティングをウェットエッティングで行うことで、水晶の結晶異方性に伴い、ウェットエッティングによって生じる新たな結晶面を利用できるという効果がある。

【0015】

[適用例5] 上記適用例に記載の振動片の製造方法において、前記エッティングする工程は、前記回転Yカット水晶基板の+Y'軸側の正面に第1マスクを配置し、-Y'軸側の正面に前記第1マスクに対して-Z'軸側にずれた位置となるように第2マスクを配置し、前記第1マスク及び前記第2マスクを介して前記回転Yカット水晶基板をウェットエッティングすることによって、振動片の外形を形成する工程と、前記第1マスク及び前記第2マスクを除去する工程と、前記マスクを除去された振動片をウェットエッティングすることによって、前記側面に少なくとも4つの面を形成する工程と、を含むことを特徴とする。

【0016】

本適用例によれば、振動片の外形貫通エッティング用のマスクをZ'軸方向にずらすことで、Z'軸側の側面にそれぞれ2つの結晶面を含む振動片を形成でき、その後の厚み調整エッティングにおいて、Z'軸側の両側面に4つの結晶面を形成できるので、主振動である厚み滑り振動モードのZ'軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果を向上した振動片を製造することができるという効果がある。

【0017】

[適用例6] 上記適用例に記載の振動片の製造方法において、前記回転Yカット水晶基板の厚みをT(μm)としたとき、前記第2マスクの前記第1マスクに対するずらし量z(μm)を $0.75 \times T \times 0.8$ ～ $0.75 \times T \times 1.2$ の範囲内で設定することを特徴とする。

【0018】

本適用例によれば、マスクのずらし量z(μm)を上記範囲に設定することで、振動片の外形貫通エッティング後に、確実にZ'軸側の側面にそれぞれ2つの結晶面を含む振動片を形成できるので、その後の厚み調整エッティングにおいて、確実にZ'軸側の両側面に4つ以上の結晶面を形成した振動片を製造することができるという効果がある。

【0019】

[適用例7] 本適用例に係る振動片は、水晶の結晶軸であるX軸と、前記X軸を回転軸として結晶軸であるZ軸を結晶軸であるY軸の-Y軸側へ回転して得られるZ'軸とを含む面を正面とし、前記X軸を回転軸として結晶軸であるY軸を結晶軸である前記Z軸の-Z軸側へ回転して得られるY'軸方向を厚みとする水晶平板で構成されている回転Yカッ

10

20

30

40

50

ト水晶基板の前記Z'軸と交差する少なくとも一方の側面が、少なくとも4つの面を含むことを特徴とする。

【0020】

本適用例によれば、振動片を小型化しても、Z'軸側の側面に4つの結晶面があることで、主振動である厚み滑り振動モードのZ'軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果を向上し、且つ幅滑り振動モードの影響を抑制して周波数温度特性を改善することができるという効果がある。

【0021】

[適用例8] 上記適用例に記載の振動片において、前記一方の側面が5つの面を含むことを特徴とする。

10

【0022】

本適用例によれば、振動片を小型化しても、Z'軸側の側面に5つの結晶面があることで、主振動である厚み滑り振動モードのZ'軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果をより一層向上し、且つ幅滑り振動モードの影響をより一層抑制して周波数温度特性を改善することができるという効果がある。

【0023】

[適用例9] 上記適用例に記載の振動片において、+Y'軸側の第1正面、-Y'軸側の第2正面、及び前記4つの面或いは前記5つの面において、端部が互いに接続されている2つの面がなす角度が鈍角であることを特徴とする。

20

【0024】

本適用例によれば、Z'軸側の側面に4つ或いは5つの結晶面において、2つの面がなす角度が全て鈍角であることで、Z'軸側の側面を利用して、励振電極とパッド電極とをリード電極で接続する場合に、リード電極の断線を防止できるという効果がある。

【0025】

[適用例10] 上記適用例に係る振動片において、前記回転Yカット水晶基板の少なくとも一方の正面に突出部が設けられていることを特徴とする。

【0026】

本適用例によれば、振動片を小型化しても、励振電極を形成する位置に厚肉中央部と薄肉周辺部とからなるメサ形状を有することで、主振動に重畠する幅滑り振動モード等の不要波を抑制でき、周波数温度特性を改善できるという効果がある。

30

【0027】

[適用例11] 本適用例に係る振動素子は、上記適用例に記載の振動片の表裏の正面に励振電極を含むことを特徴とする。

【0028】

本適用例によれば、振動片を小型化しても、励振電極を形成することで、主振動である厚み滑り振動モードを安定して励振することができるという効果がある。

【0029】

[適用例12] 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、前記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。

【0030】

本適用例によれば、小型の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、C I 温度特性及び周波数エーディング特性に優れた、小型の振動子が得られるという効果がある。

40

【0031】

[適用例13] 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、電子部品と、前記振動素子及び前記電子部品を搭載する容器と、を備えていることを特徴とする。

【0032】

本適用例によれば、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ディング

50

グ特性に優れた小型の振動子を用い、発振回路を構成することで、小型で安定した発振特性を有する発振器等の電子デバイスの小型化が図れるという効果がある。

【0033】

[適用例14] 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ていることを特徴とする。

【0034】

本適用例によれば、CI値が小さく、周波数温度特性の良好な小型の振動素子を用いることで、良好な基準周波数源を備えた小型の電子機器が構成できるという効果がある。

【0035】

[適用例15] 本適用例に係る移動体は、上記適用例に記載の振動素子を備えていることを特徴とする。 10

【0036】

本適用例によれば、CI値が小さく、周波数温度特性の良好な小型の振動素子を用いることにより、安定な基準周波数源を備えた小型の電子デバイスが構成できるので、移動体を正確に制御することができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【0037】

【図1】本発明の一実施形態に係る振動片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。

【図2】ATカット水晶基板と結晶軸との関係を説明するための図。 20

【図3】本発明の一実施形態に係る振動片の製造方法の一例を示す工程の水晶基板と振動片の概略断面図。

【図4】本発明の一実施形態に係る振動素子のZ'軸端部断面形状に対する振動変位を説明する図であり、(a)はエッティング量10%未満のZ'軸端部断面形状、(b)はエッティング量10%以上15%未満のZ'軸端部断面形状、(c)はエッティング量15%以上のZ'軸端部断面形状、(d)は各エッティング量に対する振動変位図。

【図5】振動片のX軸方向の寸法1.390(m)、Z'軸方向の寸法0.970(m)である振動素子のCI値の温度特性を示すグラフであり、それぞれ(a)が従来の如き振動片を有する振動素子の特性、(b)は本発明に係る振動片を有する振動素子の特性。 30

【図6】振動片のX軸方向の寸法1.390(m)、Z'軸方向の寸法0.975(m)である振動素子のCI値の温度特性を示すグラフであり、それぞれ(a)が従来の如き振動片を有する振動素子の特性、(b)は本発明に係る振動片を有する振動素子の特性。

【図7】本発明の一実施形態に係る振動素子のX軸端部断面形状に対する振動変位を説明する図であり、(a)はエッティング量10%未満のX軸端部断面形状、(b)はエッティング量10%以上15%未満のX軸端部断面形状、(c)はエッティング量15%以上のX軸端部断面形状、(d)は各エッティング量に対する厚み屈曲振動エネルギー分布図。

【図8】本発明の一実施形態に係る振動片の別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。 40

【図9】本発明の一実施形態に係る振動片の別の製造方法の一例を示す工程(外形加工工程)の水晶基板と振動片の概略断面図。

【図10】本発明の一実施形態に係る振動片の別の製造方法の一例を示す工程(メサ加工工程)の水晶基板と振動片の概略断面図。

【図11】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。

【図12】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13】本発明の一実施形態に係る振動子の変形例を示した縦断面図であり、(a)は変形例1の縦断面図、(b)は変形例2の縦断面図。 50

【図14】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)は平面図、(b)は縦断面図。

【図15】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ーの構成を示す斜視図。

【図16】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17】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。

【図18】本発明の一実施形態に係る振動素子を備える振動子や電子デバイスを適用した自動車の構成を示す斜視図。 10

【発明を実施するための形態】

【0038】

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片の構造を示す概略図であり、図1(a)は振動片の平面図、図1(b)は図1(a)のP-P断面図である。

【0039】

(振動片の構造)

振動片1は、水晶基板10の中央部に振動部12を有しており、水晶基板10の結晶軸であるX軸(電気軸)方向を長辺とし、X軸を回転軸として結晶軸であるZ軸(光学軸)を結晶軸であるY軸(機械軸)の-Y軸方向へ回転して得られるZ'軸方向を短辺とする矩形である。また、振動片1のZ'軸に交差しX軸に沿った方向の両側面22は第1の結晶面24、第2の結晶面25、第4の結晶面27、第5の結晶面28の4面で構成されている。 20

【0040】

水晶基板10は、図2に示すように、互いに直交する結晶軸X、Y、Zを有し、X軸は電気軸、Y軸は機械軸、Z軸は光学軸と、それぞれ呼称され、XZ面をX軸の回りに所定の角度だけ回転させて得られる平面に沿って、切り出された平板であって、所謂、回転Yカット水晶基板である。

【0041】

回転Yカット水晶基板の角度が35.25°(35°15')の場合、ATカット水晶基板と呼称され、優れた温度特性を有する。ここで、ATカット水晶基板は、直交する結晶軸X、Y'、Z'を有し、厚み方向がY'軸であり、Y'軸に直交するX軸とZ'軸を含む面が主面であり、主面に厚み滑り振動が主振動として励振される。 30

【0042】

(振動片の製造方法)

次に、本発明の一実施形態に係る振動片の製造方法について、図3の製造工程の水晶基板と振動片の概略断面図を参照しながら説明する。振動片1は量産性や製造コストを考慮し、大型基板から複数個の振動片1をバッチ処理方式で製造されるのが一般的である。ここでは、一個の振動片1の概略断面図で説明する。また、水晶基板10はATカット水晶基板を用いた例で説明する。 40

X軸方向を長辺、Z'軸方向を短辺、Y'軸方向を厚さとするように、振動片1を外形加工する。先ず、水晶基板10をラッピングやポリッシュ加工等を施し、所望の平面及び厚さを有する水晶基板10を準備する。水晶基板10の表裏両主面に、例えば所定膜厚の下地層となるクロム(Cr)31及び耐食層となる金(Au)32をスパッタまたは蒸着し、レジスト33を塗布後、フォトリソグラフィ技法とウェットエッティング技法とを利用して、マスク30a、30bを形成する(図3(a))。このとき、Z'軸方向の両側面20が2面の結晶面で構成された側面形状となるように、水晶基板10のY'軸方向の+側のマスク30aをY'軸方向の-側のマスク30bに対して、水晶結晶のZ'軸方向に或る量z(μm)だけずらして形成する。

【0043】

マスクのずらし量 z (μm) は、水晶基板 10 の厚さを T (μm) としたとき、 $z = 0.75 \times T \pm 20\%$ 、即ち、 $0.75 \times T \times 0.8 \leq z \leq 0.75 \times T \times 1.2$ の範囲内で設定すればよい。側面 20 を構成する第 1 の結晶面 24 と第 2 の結晶面 25 との割合は、マスクのずらし量 z に或る程度の幅があるので、その値を $0.75 \times T \times 0.8 \leq z \leq 0.75 \times T \times 1.2$ の範囲内で選択することによって変えることができる。

この場合、マスクのずらし量 z (μm) は、ATカット水晶板の厚さを T (μm) として、 $0.75 \times T \times 0.8 \leq z \leq 0.75 \times T \times 1.2$ の範囲内で設定すると、マスクをずらし過ぎたり、或いはマスクのずらし量が足りなくなる虞が無く、X 軸方向に沿った側面 20 をより短いエッティング時間で効率良くかつ確実に加工することができる。

ここで、マスクを Z' 軸方向にずらして配置するとは、水晶基板 10 の両主面にそれぞれマスクを、そのウェットエッティングにより m 面が現れる側の端部において他方のマスクと重なるが、 m 面以外の結晶面が現れる側の端部において他方のマスクと重ならないよう 10 に、ずらして配置することをいうものとする。

【0044】

次に、マスク開口から露出した水晶基板 10 をフッ化アンモニウム溶液等を用いてウェットエッティングする。水晶のエッティング異方性によって、水晶基板 10 の露外面には、水晶基板 10 の主面からそれぞれ異なる角度で傾斜した水晶の第 1 ~ 第 3 の結晶面 24 ~ 26 が現れる(図 3 (b))。図 3 (b)において、水晶基板 10 の Y' 軸方向の + 側には、 Z' 軸方向の - 側に水晶特有の自然面の m 面である第 2 の結晶面 25 と r 面である第 3 の結晶面 26 とが互いに境界を接するように形成され、 Z' 軸方向の + 側に m 面以外の水晶の自然面である第 1 の結晶面 24 が形成される。水晶基板 10 の Y' 軸方向の - 側には、これとは点対称に、 Z' 軸方向の + 側に水晶結晶の m 面である第 2 の結晶面 25 と r 面である第 3 の結晶面 26 とが互いに境界を接するように形成され、 Z' 軸方向の - 側にそれら以外の水晶の自然面である第 1 の結晶面 24 が形成される。その後、水晶基板 10 の露外面のエッティングを更に進めると、マスクされていない水晶部分が完全に貫通し、 Z' 軸方向の両側面 20 は、第 1 の結晶面 24 と第 2 の結晶面 25 とからなる 2 面の結晶面で構成された側面形状となる(図 3 (c))。

【0045】

続いて、レジスト 33 を剥離し、クロム(Cr) 31 及び金(Au) 32 を全て除去する(図 3 (d))。その後、 Z' 軸方向の両側面 20 に 2 面の結晶面を有する振動片 10 1 の全周部をフッ化アンモニウム溶液等を用いてエッティングし、所望の周波数となるように振動部 12 の厚みを調整する。

エッティング量 M_d は水晶基板 10 の振動部 12 の厚みを基準とし、下記式(1)で表すこととする。

$$M_d = (T_0 - T_x) / T_0 \quad (\%) \cdots (1)$$

ここで、 T_0 は厚み調整エッティング前の水晶基板 10 の振動部 12 の厚み、 T_x (ここで x は 1 ~ 3 である) は厚み調整エッティング後の水晶基板 10 の振動部 12 の厚みである。

つまり、 M_d とは、厚み調整エッティング前の水晶基板 10 の振動部 12 の厚みと厚み調整エッティング後の水晶基板 10 の振動部 12 の厚みとの差である除去する厚みの量を厚み調整エッティング前の水晶基板 10 の振動部 12 の厚みに対する割合(%)で表したものである。

ウェットエッティングにより除去する厚みの量 M_d (以後、エッティング量 M_d と称す) が 10 % 未満の場合、振動片 10 2 の Z' 軸方向の両側面 21 は、厚み調整エッティング前の形状である 2 面の結晶面で構成されているが、第 1 の結晶面 24 の領域は大きくなり、第 2 の結晶面 25 の領域は小さくなる傾向となっている(図 3 (e))。

次に、エッティング量 M_d を 10 % 以上 15 % 未満とした場合、実験と解析の結果、振動片 10 3 の Z' 軸方向の両側面 22 は、第 1 の結晶面 24 及び第 2 の結晶面 25 と、新たに生じた第 4 の結晶面 27 と、第 5 の結晶面 28 と、を含む 4 面の結晶面で構成された側面形状となることが分かった(図 3 (f))。

【0046】

10

20

30

40

50

先ず、-Z' 側の側面においては、水晶基板 10 の -Y' 側主面と第 1 の結晶面 24 との間に生じた新たな第 4 の結晶面 27 と第 5 の結晶面 28 を含む 4 面の結晶面で構成された側面形状となる。

水晶基板 10 の -Y' 側主面と第 4 の結晶面 27 とのなす角度、第 4 の結晶面 27 と第 5 の結晶面 28 とのなす角度、第 5 の結晶面 28 と第 1 の結晶面 24 とのなす角度、第 1 の結晶面 24 と第 2 の結晶面 25 とのなす角度、第 2 の結晶面 25 と +Y' 側主面とのなす角度は、全て鈍角になっている。

そして、+Z' 側の側面においては、水晶基板 10 の +Y' 側主面と第 1 の結晶面 24 との間に生じた新たな第 4 の結晶面 27 と第 5 の結晶面 28 を含む 4 面の結晶面で構成された側面形状となる。

水晶基板 10 の +Y' 側主面と第 4 の結晶面 27 とのなす角度、第 4 の結晶面 27 と第 5 の結晶面 28 とのなす角度、第 5 の結晶面 28 と第 1 の結晶面 24 とのなす角度、第 1 の結晶面 24 と第 2 の結晶面 25 とのなす角度、第 2 の結晶面 25 と -Y' 側主面とのなす角度は、全て鈍角になっている。

更にエッチングを施し、エッチング量 M_d を 15 % 以上とした場合、振動片 104 の Z' 軸方向の両側面 23 は、第 1 の結晶面 24 と第 5 の結晶面 28 との間に新たな第 6 の結晶面 29 が生じ、5 面の結晶面で構成された側面形状となることが分かった（図 3 (g)）。

Z' 軸方向の両側面 23 において、水晶基板 10 の主面と第 4 の結晶面 27 とのなす角度、第 4 の結晶面 27 と第 5 の結晶面 28 とのなす角度、第 5 の結晶面 28 と第 6 の結晶面 29 とのなす角度、第 6 の結晶面 29 と第 1 の結晶面 24 とのなす角度、第 1 の結晶面 24 と第 2 の結晶面 25 とのなす角度、第 2 の結晶面 25 と水晶基板 10 の主面とのなす角度は、全て鈍角になっている。

【0047】

従って、振動片の外形を形成した後に、厚み調整等の更なるウェットエッチングを施すことによって、Z' 軸方向の側面に新たな結晶面が生じることが判明したことにより、エッチング量 M_d を 10 % 以上とすると、4 面から 5 面の結晶面で構成された Z' 軸方向の側面を有する振動片を製造することが可能となった。

なお、各結晶面の水晶基板 10 の主面の法線方向に対する傾斜角度は、第 1 の結晶面 24 は約 3°（3° ± 2°、つまり 1° ~ 3° の範囲）、第 2 の結晶面 25 は約 54°（54° ± 2°、つまり 52° ~ 56° の範囲）、第 3 の結晶面 26 は約 68°（68° ± 2°、つまり 66° ~ 70° の範囲）、第 4 の結晶面 27 は約 37°（37° ± 2°、つまり 35° ~ 39° の範囲）、第 5 の結晶面 28 は約 18°（18° ± 2°、つまり 16° ~ 20° の範囲）、第 6 の結晶面 29 は約 10°（10° ± 2°、つまり 8° ~ 12° の範囲）である。

それぞれの結晶面の傾斜角度が上記の傾斜角度の範囲から外れた場合は、主振動である厚み滑り振動モードのエネルギー閉じ込め効果を向上させる効果は得られないことが本願発明者らのシミュレーションと実験による検証から確認されている。また更に、それぞれの結晶面の傾斜角度を上記の傾斜角度の範囲にすることにより不要モードの影響をより一層抑制することができ C I 値の温度特性を改善することができる効果も奏する事が判明した。

【0048】

図 4 (a)、(b)、(c) は、エッチング量 M_d に対する振動片 102、103、104 の Z' 軸端部断面形状を示したものであり、図 4 (d) は、励振電極 15 を形成した振動片 102、103、104 の Z' 軸方向における振動変位を示している。図 4 (d) に示すように、振動片の Z' 軸方向の両側面においてエッチング量 M_d が大きくなるに伴い、Z' 軸方向の端部における主振動の振動変位が減衰する傾向を示している。つまり、振動片の Z' 軸方向の両側面が複数の結晶面で構成された側面形状となることによって、Z' 軸方向の端部の主振動の振動変位がより一層減衰したものと考えられる。本願発明者らは、エッチング量 M_d を大きくすることによって、Z' 軸方向の側面を多くの結晶面で

構成することにより、エネルギー閉じ込め効果をより一層向上させることに成功した。更に、不要モードも抑制することができ、C I 値低減に有効であることも見出した。

【0049】

図5、図6は、C I 値の温度特性を示すグラフであり、図5(a)と図6(a)が従来の如き振動片のZ'軸方向の側面が2つの結晶面から構成されている場合のC I 値の温度特性を示し、図5(b)と図6(b)が本発明に係る振動片のZ'軸方向の側面が4つの結晶面から構成されている場合のC I 値の温度特性を示すグラフである。

振動片の共振周波数が27MHzのとき、水晶片のX軸方向の寸法を1.390(mm)と一定とし、水晶片のZ'軸方向の寸法を0.970(mm)としたときのC I 値の温度特性を示すグラフが図5であり、Z'軸方向の水晶片の寸法を0.975(mm)としたときのC I 値の温度特性を示すグラフが図6である。本発明に係る振動片の方が従来構造に比べて、C I 値を低減できていることが観察できる。更に、本発明は、水晶片のZ'軸方向の寸法によらずC I 値を低減できていることも確認できた。

なお、エッチング量Mdを30%以上施することでZ'軸方向の側面に更なる新たな結晶面を形成し、Z'軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果を高めることも可能と思われるが、振動片正面の表面にエッチピット(エッチチャンネルとも言う)等に起因した凹凸が生じることによるC I 値劣化が予想されるので、エッチング量Mdの上限は30%程度と考えられる。

【0050】

ところで、振動片をウェットエッチングにより厚みを調整する際、X軸に交差する側面においても以下のような現象が生じることとなる。

図7(a)、(b)、(c)は、エッチング量Mdに対する振動片102、103、104のX軸方向の断面形状を示したものであり、図7(d)は、励振電極15を形成した振動片102、103、104のX軸方向における厚み屈曲振動の振幅エネルギーを示している。

エッチング量Mdを10%以上とした場合、振動片103、104のX軸方向の+側の側面131b、131cには、水晶基板10の正面の法線方向に対して新たな傾斜角度を有する結晶面が生じ、4面以上の結晶面で構成された側面形状となり、エッチング量Mdが大きくなるのに比例し、X軸方向の+側の側面を構成する結晶面の数が多くなることが明らかとなった。

つまり、エッチング量Mdが10%以上15%未満の場合には、振動片103のX軸方向の-側の側面121bは、傾斜角度約25°(25°±2°、つまり23°~27°の範囲)の結晶面125、126の2面の結晶面で構成された側面形状であり、エッチング量Mdが10%未満の場合と同等の形状である。しかし、X軸方向の+側の側面131bは、傾斜角度約27°(27°±2°、つまり25°~29°の範囲)の結晶面133、134と、新たに水晶基板10の+Y'側正面と結晶面133との間に生じた傾斜角度約58°(58°±2°、つまり56°~60°の範囲)の結晶面135と、水晶基板10の-Y'側正面と結晶面134との間に生じた傾斜角度約58°(58°±2°、つまり56°~60°の範囲)の結晶面136と、を含む4面の結晶面で構成された側面形状となる(図7(b))。

【0051】

更にエッチングを施し、エッチング量Mdを15%以上とした場合には、振動片104のX軸方向の-側の側面121cは、傾斜角度約25°(25°±2°、つまり23°~27°の範囲)の結晶面125、126の2面の結晶面で構成された側面形状であり、エッチング量Mdが15%未満の場合と同等の形状である。しかし、X軸方向の+側の側面131cは、傾斜角度約27°の結晶面133、134と傾斜角度約58°(32°±2°、つまり30°~34°の範囲)の結晶面135、136との4面の結晶面と、新たに水晶基板10の+Y'側正面と結晶面135との間に生じた傾斜角度約86°(86°±2°、つまり84°~88°の範囲)の結晶面137と、水晶基板10の-Y'側正面と結晶面136との間に生じた傾斜角度約86°(86°±2°、つまり84°~88°の

10

20

30

40

50

範囲)の結晶面 138 と、を含む 6 面の結晶面で構成された側面形状となる(図 7(c))。

このように X 軸端面にも複数の面を形成することにより、図 7(d)に示すように厚み屈曲振動の振幅エネルギーを抑制することができ、C I 値を改善することができる。

つまり、振動片は、前記振動片の Z' に沿った端部が図 7(d)の X1、X2、X3 のような屈曲振動のエネルギーが減衰している位置となる、即ち、屈曲振動の腹となる位置となるように振動片の X 軸方向の寸法を決定しているが、厳密には、屈曲振動のエネルギーはゼロではないため、本発明を適用することにより、減衰領域のエネルギーを更に減衰させることができるので、屈曲振動をより効果的に抑圧することができ、更に、振動片の X 軸方向の寸法に多少のバラツキが生じたとしても屈曲振動を十分抑圧することができるという優れた効果を奏する。10

【0052】

図 8 は、本発明の一実施形態に係る振動片の別の構造を示す概略図であり、図 8(a) は振動片の平面図、図 8(b) は図 8(a) の P-P 断面図である。

(振動片の構造)

振動片 2 は、回転 Y カット水晶基板の X 軸方向を長辺とし、Z' 軸方向を短辺とする矩形である。振動片 2 の Z' 軸方向の両側面 122 は第 1 の結晶面 24、第 2 の結晶面 25、第 4 の結晶面 27、第 5 の結晶面 28 の 4 面で構成されている。また、振動片 2 は、厚肉中央部 13 を振動部 12 とし、厚肉中央部 13 の外縁に沿ってその周囲に薄肉周辺部 14 とを含むメサ型の構造を有している。20

なお、厚肉中央部 13 である振動片 2 の Y' 軸方向の + 側に形成されている突出部であるメサ部の側面は、Z' 軸方向の - 側が第 2 の結晶面 25 と第 3 の結晶面 26 とが互いに境界を空間的に接するように 2 面で構成され、Z' 軸方向の + 側が第 1 の結晶面 24 で構成されている。振動片 2 の Y' 軸方向の - 側に形成されたメサの側面は、これとは点対称に、Z' 軸方向の + 側が第 2 の結晶面 25 と第 3 の結晶面 26 とが互いに境界を空間的に接するように 2 面で構成され、Z' 軸方向の - 側が第 1 の結晶面 24 で構成されている。

このメサ形状により、更に主振動である厚み滑り振動モードのエネルギー閉じ込め効果を向上させ、不要モードの影響をより一層抑制して周波数特性を改善することができる。

【0053】

(振動片の製造方法)

次に、本発明の一実施形態に係る振動片の別の製造方法について、一個の振動片 2 の概略断面図で説明する。また、水晶基板 10 は AT カット水晶基板を用いた例で説明する。

図 9 は振動片の外形加工の製造工程における水晶基板と振動片の概略断面図であり、図 10 は振動片の外形加工後に施すメサ加工の製造工程における振動片の概略断面図である。

水晶基板 10 の露出面のエッチングを行い、マスクされていない水晶部分が完全に貫通し、Z' 軸方向の側面 120 に第 1 の結晶面 24 と第 2 の結晶面 25 とからなる 2 面の結晶面で構成された側面が形成されるまでは、図 3 に示す製造方法と同等である(図 9(d))。

その後、2 面の結晶面で構成された側面が形成された振動片 201 の表裏両主面に、メサ形状パターンのマスク 30c、30d を形成する(図 10(e))。続いて、フッ化アンモニウム溶液等を用いてエッチングを行い、メサ形状を形成するが、このメサの段差を調整するエッチングは図 3 の製造工程における厚み調整エッチングと同等である。そのため、エッチング後の Z' 軸方向の両側面の形状は図 3 の製造方法で形成された側面形状と同一となる。

即ち、エッチング量 M d が 10 % 未満の場合、振動片 202 の Z' 軸方向の両側面 121 はメサ形成エッチング前の形状である 2 面の結晶面で構成されているが、図 3(e) と同様に、第 1 の結晶面 24 の領域は大きくなり、第 2 の結晶面 25 の領域は小さくなる傾向となっている(図 10(f))。

【0054】

10

20

30

40

50

次に、エッティング量 M_d を 10 % 以上 15 % 未満とした場合、振動片 203 の Z' 軸方向の両側面 122 は、エッティングが施され厚み T_2 に相当する主面と第1の結晶面 24 との間に生じた新たな第4の結晶面 27 と第5の結晶面 28 を含む4面の結晶面で構成された側面形状となる（図10（g））。

更にエッティングを施し、エッティング量 M_d を 15 % 以上とした場合、振動片 204 の Z' 軸方向の両側面 123 は、第1の結晶面 24 と第5の結晶面 28 との間に新たな第6の結晶面 29 が生じ、5面の結晶面で構成された側面形状となる（図10（h））。

よって、メサ形状を有する振動片 202、203、204 であっても、 Z' 軸方向の両側面は、エッティング量 M_d に関連し、2面から5面の結晶面で構成することが可能である。

10

【0055】

従って、エッティング量 M_d を大きくすることで、 Z' 軸方向の両側面に多くの結晶面を構成することができるためエネルギー閉じ込め効果が発揮され、CI値低減に有効であり、また、メサ形状を形成することで、更に主振動である厚み滑り振動モードのエネルギー閉じ込め効果を向上させ、不要モードの影響をより一層抑制して周波数特性を改善することができる振動片を製造することができる。

なお、エッティング量 M_d を 30 % 以上施すことで X 軸方向の側面に更なる新たな結晶面を形成し、 X 軸方向におけるエネルギー閉じ込め効果を高めることも可能と思われるが、メサの段差が非常に大きくなることでメサの段差に係わる厚み滑り振動モードのエネルギー閉じ込め効果が減衰することが予想されるので、エッティング量 M_d の上限は 30 % 程度と考えられる。

20

ここで、本発明の一実施形態においては、エッティング量 M_d を、厚み調整エッティング前の水晶基板 10 の振動部 12 の厚みと厚み調整エッティング後の水晶基板 10 の振動部 12 の厚みとの差である除去する厚みの量を厚み調整エッティング前の水晶基板 10 の振動部 12 の厚みに対する割合（%）で表したものと説明した。しかし、メサ型の振動片である場合、エッティング量 M_d は、厚肉中央部 13 と薄肉周辺部 14 との段差の大きさであると共に、厚み調整エッティング前の水晶基板 10 の厚みと薄肉周辺部 14 との厚みの差である薄肉周辺部 14 領域の除去する厚みの量を厚み調整エッティング前の水晶基板 10 の厚みに対する割合（%）で表したものである。

【0056】

30

図8、図10に示した実施形態では、振動片の表裏両主面に段差が1段のメサ形状の例を示したが、これに限定する必要はなく、振動片の表裏両主面に多段のメサ形状や振動片の表または裏の主面のどちらか一方に1段から多段のメサ形状を有していてもよい。また、メサ形状が矩形の例を示したが、これに限定する必要はなく、形状も円形や橢円形であってもよい。

【0057】

図11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11（a）は振動素子の平面図、図11（b）は図11（a）のP-P断面図である。

振動素子 3 は、振動部 12 を有する水晶基板 10 と、水晶基板 10 の両主面（ $\pm Y'$ 方向の表裏面）に夫々対向するように形成された励振電極 15 と、リード電極 16 と、パッド電極 17 と、接続電極 18 と、を備えている。

40

リード電極 16 は、励振電極 15 から延出されて水晶基板 10 の端部に形成されたパッド電極 17 に電気的に接続されている。

パッド電極 17 は、水晶基板 10 の両主面の端部に夫々対向して形成され、水晶基板 10 の側面 22 に形成された接続電極 18 により夫々電気的に接続されている。

【0058】

図11（a）に示した実施形態では、振動部 12 のほぼ中央部の主面に夫々対向して形成された励振電極 15 の形状が矩形の例を示したが、これに限定する必要はなく、形状も円形や橢円形であってもよい。

また、図8、図10に示したメサ型の振動片の場合、振動部 12 となる厚肉中央部 13

50

の正面に励振電極 15 を設け、薄肉周辺部 14 に設けられているパッド電極 17 と励振電極 15 とを電気的に接続しているリード電極 16 とが設けられている。

【0059】

図 12 は本発明の一実施形態に係る振動子の構成を示す概略図であり、図 12 (a) は蓋部材を省略した平面図であり、図 12 (b) は縦断面図である。振動子 5 は、振動素子 3 と、振動素子 3 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、等で構成されている。

パッケージ本体 40 は、図 12 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バール等のシールリング 44 が形成されている。
10

第 3 の基板 43 と第 2 の基板 42 とにより、振動素子 3 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 と電気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 3 を載置した際に水晶基板 10 の端部に形成したパッド電極 17 に対応するよう配置されている。

【0060】

振動素子 3 を支持固定する際には、先ず、振動素子 3 のパッド電極 17 を導電性接着剤 38 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。
20

次に、導電性接着剤 38 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 38 を硬化させた後、アニール処理を施し、励振電極 15 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 の第 3 の基板 43 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 5 が完成する。

又は、パッケージ本体 40 の上面に塗布した低融点ガラスに蓋部材 49 を載置し、溶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 5 が完成する。

【0061】

以上の振動子 5 の実施形態では、パッケージ本体 40 に積層板を用いた例を説明したが、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 5 を構成してもよい。
30

【0062】

図 13 は本発明の一実施形態に係る振動子の変形例を示した縦断面図であり、図 13 (a) は変形例 1 の縦断面図、図 13 (b) は変形例 2 の縦断面図である。

図 13 に示すように、振動子 5a、5b は、振動素子 3 と、温度センサー（感温素子）として機能するサーミスター 70 と、振動素子 3 及びサーミスター 70 が搭載（収納）された容器としてのパッケージ 40a、40b と、を備えている。

図 13 (a) は、第 3 の基板 43 と第 2 の基板 42a とにより、形成された凹部（キャビティ）に振動素子 3 とサーミスター 70 が搭載（収納）された構造である。
40

また、図 13 (b) は、第 3 の基板 43 と第 2 の基板 42b とにより、形成された凹部（キャビティ）に振動素子 3 が搭載（収納）され、第 1 の基板 41b と第 2 の基板 42b とにより、形成された凹部（キャビティ）にサーミスター 70 が搭載された構造である。

【0063】

サーミスター 70 は、例えば、チップ型（直方体形状）の感温素子（感温抵抗素子）であって、温度変化に対して電気抵抗の変化の大きい抵抗体である。

サーミスター 70 には、例えば、温度の上昇に対して抵抗が減少する NTC (Negative Temperature Coefficient) サーミスターと呼ばれるサーミスターが用いられている。NTC サーミスターは、温度の変化に対する抵抗値の変化が比例関係にあるため、温度センサーとして多用されている。
50

サーミスター 70 は、パッケージ 40a、40b に収納（搭載）され、振動素子 3 近傍の温度を検出し、図示しない温度補償回路に出力することにより、温度センサーとして振動素子 3 の温度変化に伴う周波数変動の補正に資する機能を果たしている。

【0064】

図 14 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概略図であって、図 14 (a) は蓋部材を省略した平面図であり、図 14 (b) は縦断面図である。

電子デバイス 7 は、パッケージ本体 50 と、蓋部材 49 と、振動素子 3 と、振動素子 3 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、温度に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 1 つと、を備えている。

10

【0065】

パッケージ本体 50 は、図 14 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 3、IC 部品 51、及び電子部品 52 等を収容する凹部（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 と電気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 の位置は、振動素子 3 を載置した際に水晶基板 10 の端部に形成したパッド電極 17 に対応するように配置されている。

20

【0066】

振動素子 3 のパッド電極 17 を、導電性接着剤 38 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、所定の温度で導電性接着剤 38 を硬化させることで、パッド電極 17 と素子搭載パッド 47 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、或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 7 を完成する。

【0067】

30

また、電圧により容量が変化する可変容量素子や温度により抵抗が変化するサーミスター やインダクター等の電子部品 52 を用い、温度補償回路や電圧制御回路を含む発振回路を構成することで、安定した発振特性を有する温度補償型発振器や電圧制御型発振器等の電子デバイス 7 を構成することできる。

【0068】

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 15～図 17 に基づき、詳細に説明する。

図 15 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ー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ー 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ー 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 3 が内蔵されている。

40

【0069】

図 16 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 及び送話口 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 3 が内蔵されている。

50

【0070】

図17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(ボディー)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。10

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ー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ー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3が内蔵されている。20

【0071】

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15のパーソナルコンピューター(モバイル型パーソナルコンピューター)、図16の携帯電話機、図17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ー、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、ページャー、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、ワードプロセッサー、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。30

【0072】

図18は本発明の一実施形態に係る振動素子を備える移動体の一具体例としての自動車2106を概略的に示す斜視図である。この図において、タイヤ2109を制御する電子制御ユニット2108に振動素子3が内蔵され、車体2107に搭載されている。

自動車2106には本発明に係る振動素子を有する振動子や電子デバイスが搭載されており、例えば、キーレスエントリー、イモビライザー、カーナビゲーションシステム、カーエアコン、アンチロックブレーキシステム(ABS:Antilock Brake System)、エアバック、タイヤプレッシャーモニタリングシステム(TPMS:Tire Pressure Monitoring System)、エンジンコントロール、ハイブリッド自動車や電気自動車の電池モニター、車体姿勢制御システム、等の電子制御ユニット(ECU:electronic control unit)2108に広く適用できる。40

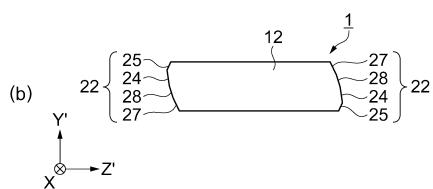
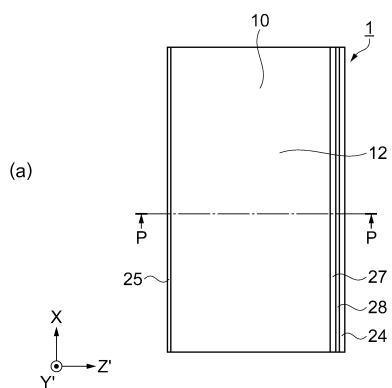
【符号の説明】

【0073】

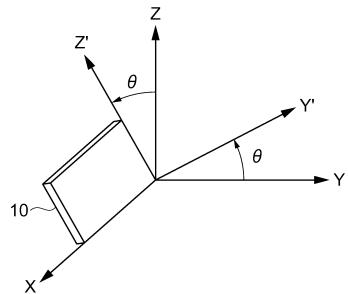
1, 2, 101, 102, 103, 104, 201, 202, 203, 204...振動片
、3...振動素子、5...振動子、7...電子デバイス、10...水晶基板、12...振動部、13...厚肉中央部、14...薄肉周辺部、15...励振電極、16...リード電極、17...パッド電極、18...接続電極、20, 21, 22, 23, 120, 121, 122, 123...側面50

、24…第1の結晶面、25…第2の結晶面、26…第3の結晶面、27…第4の結晶面
 、28…第5の結晶面、29…第6の結晶面、30a, 30b, 30c, 30d…マスク
 、31…クロム(Cr)、32…金(Au)、33…レジスト、38…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、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、70…サービススター、100…表示部、1100…パソコンコンピューター、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…パソコンコンピューター、2106…自動車、2107…車体、2108…電子制御ユニット、2109…タイヤ。
 10

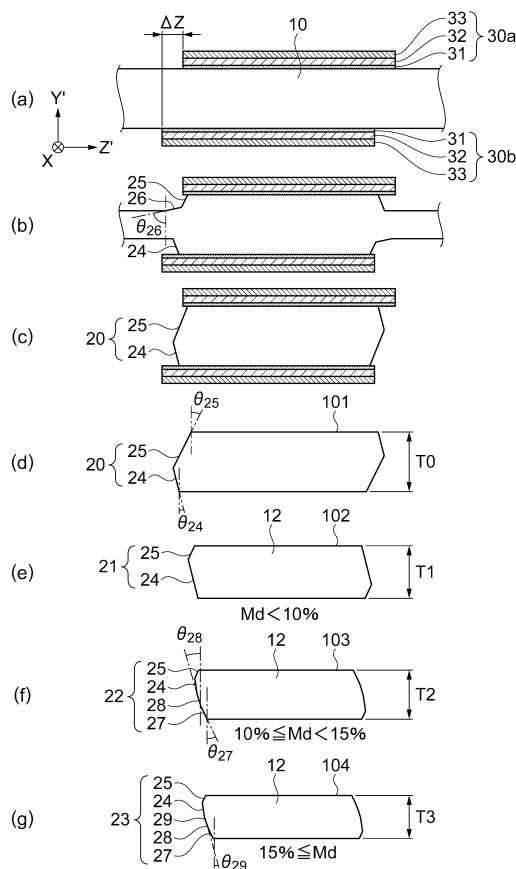
【図1】



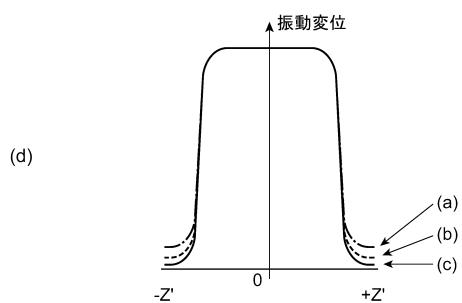
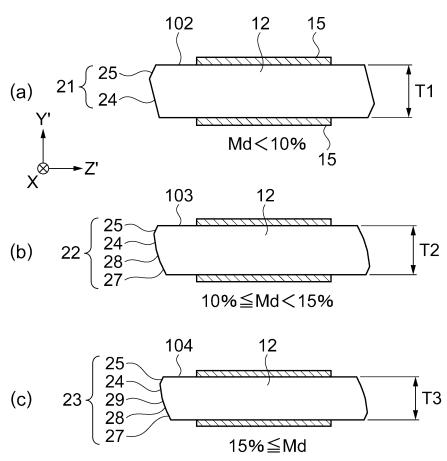
【図2】



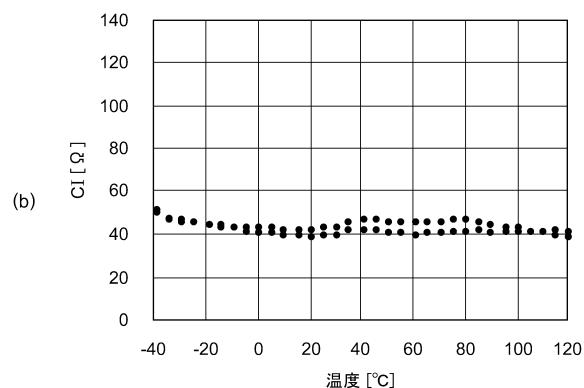
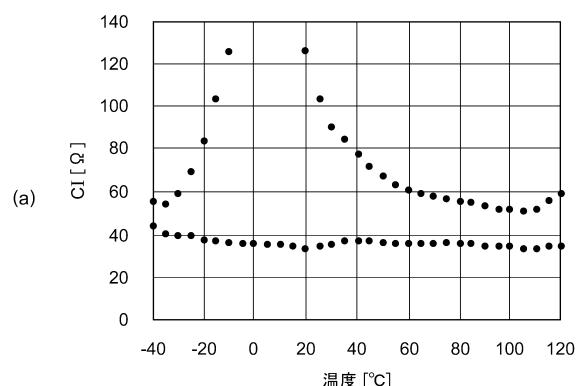
【図3】



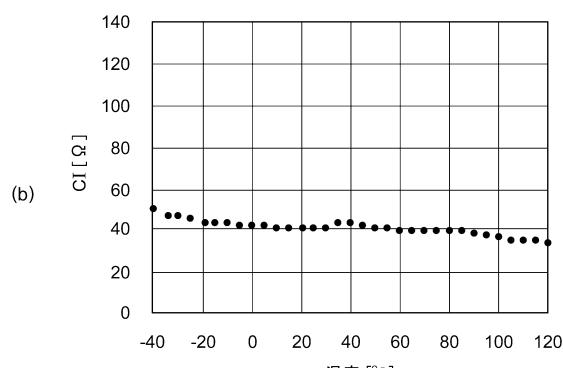
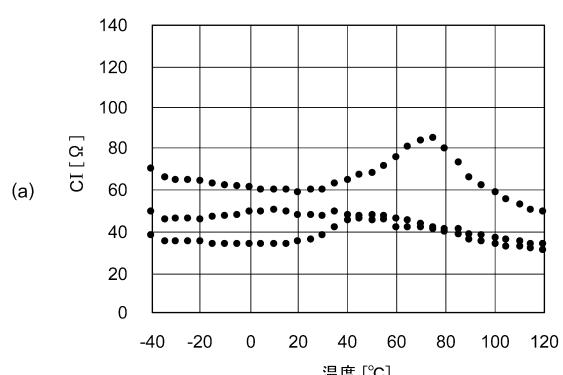
【図4】



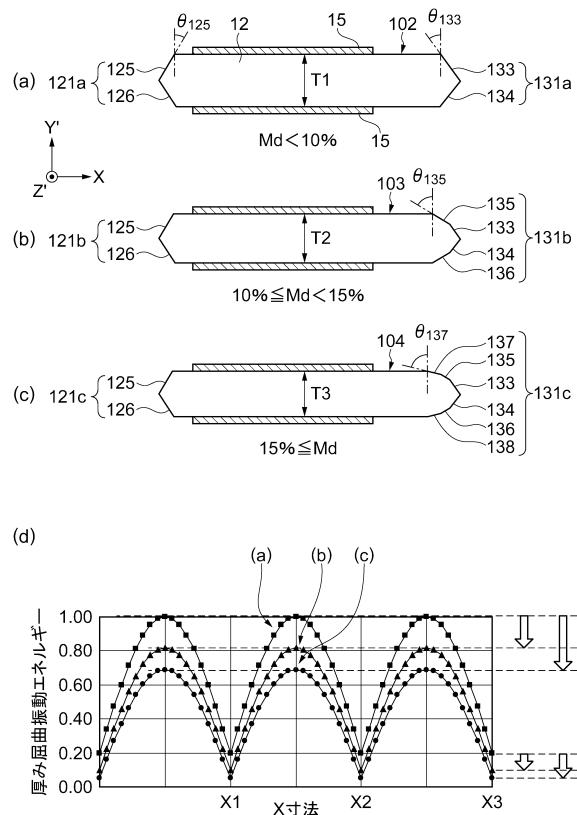
【図5】



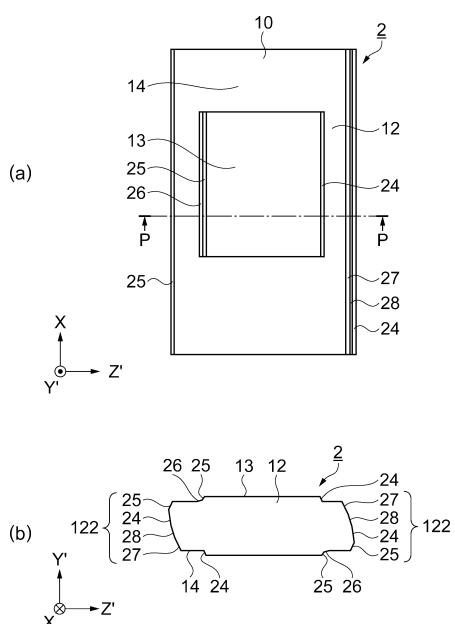
【図6】



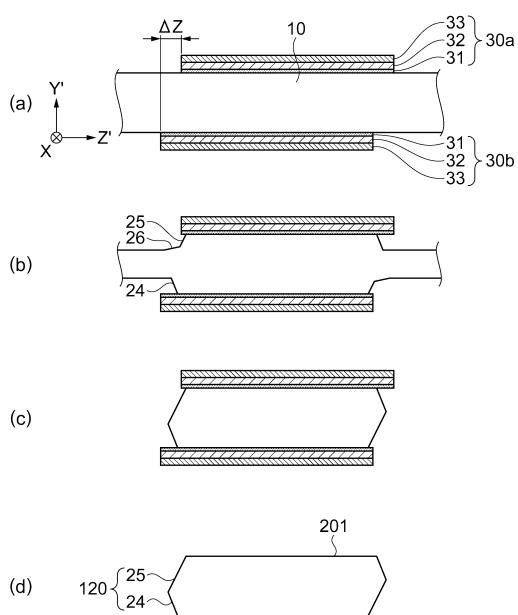
【図7】



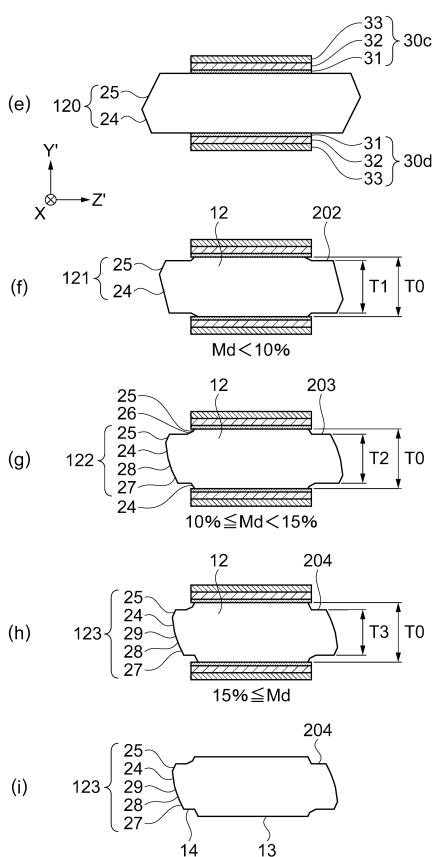
【図8】



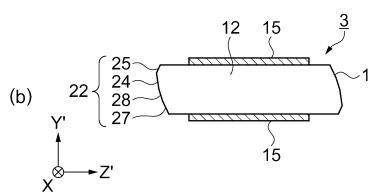
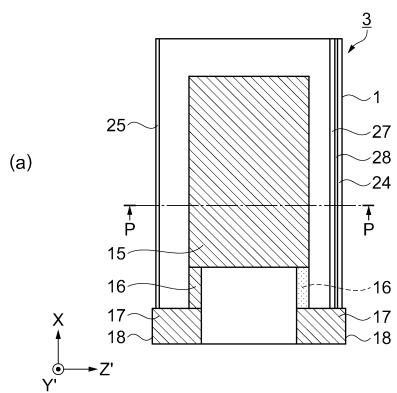
【図9】



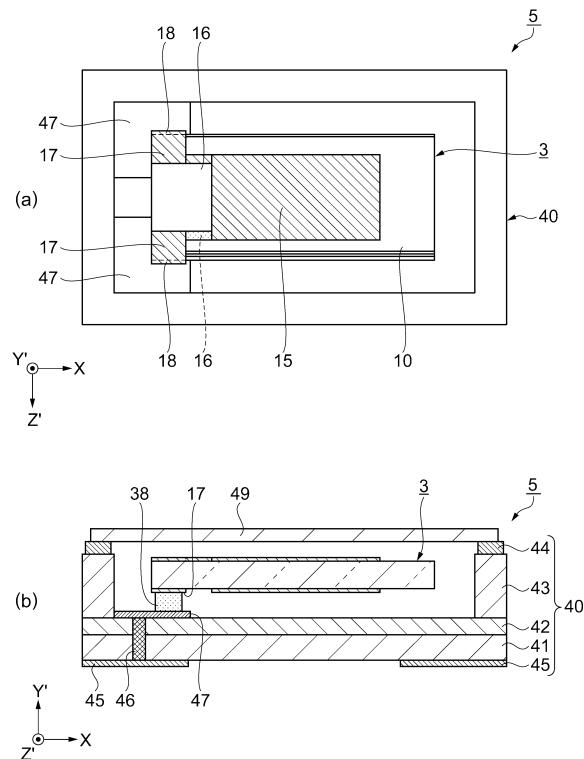
【図10】



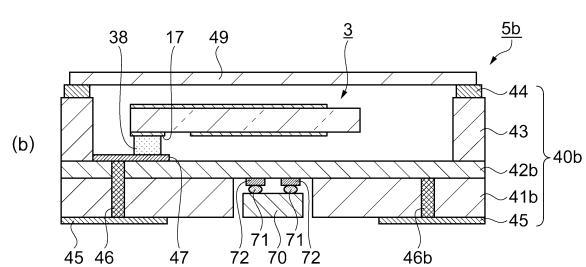
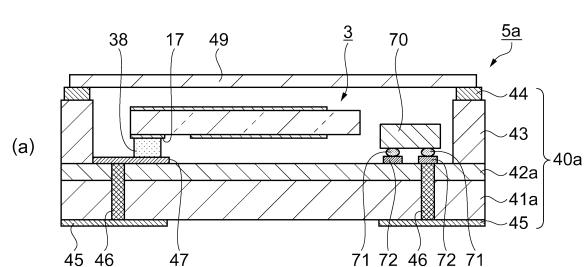
【図11】



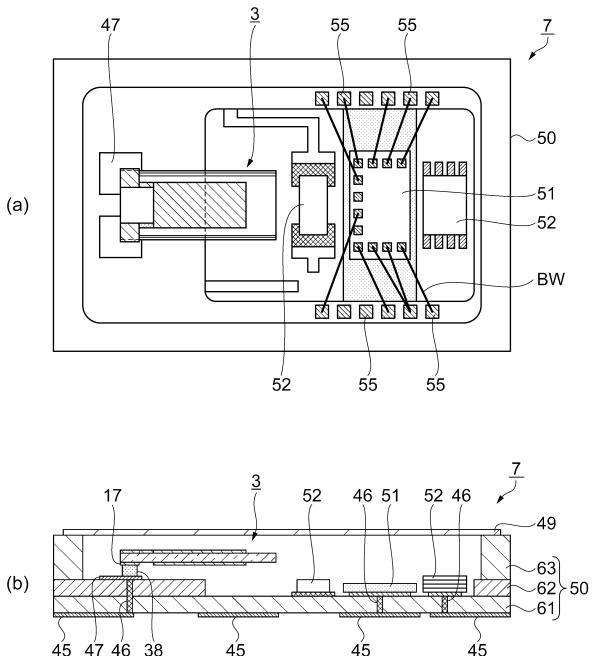
【図12】



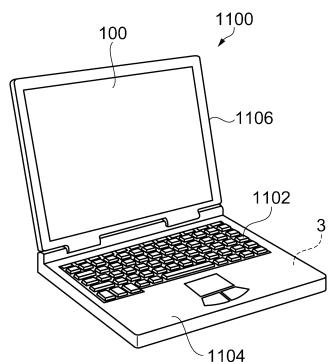
【図13】



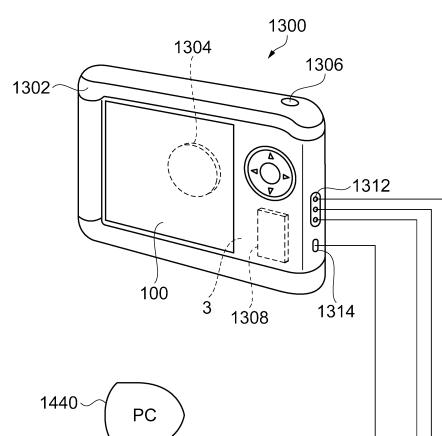
【図14】



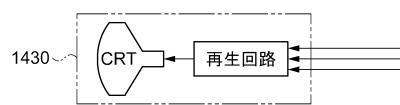
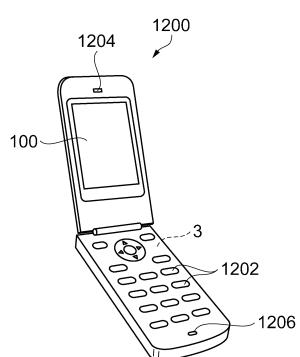
【図15】



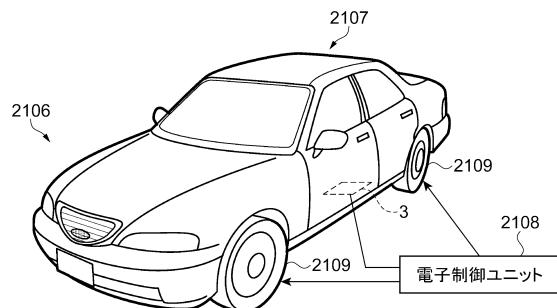
【図17】



【図16】



【図18】



フロントページの続き

(72)発明者 小峰 賢二
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

審査官 鬼塚 由佳

(56)参考文献 特開2012-114496(JP,A)
特開2010-178109(JP,A)
特開平10-107580(JP,A)
特開昭53-049985(JP,A)
特開平04-127709(JP,A)
特開2008-118685(JP,A)
特開2011-193175(JP,A)
特開2008-067345(JP,A)
特開2007-129513(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03H 3/02
H03H 9/19