

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6562101号
(P6562101)

(45) 発行日 令和1年8月21日(2019.8.21)

(24) 登録日 令和1年8月2日(2019.8.2)

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

請求項の数 9 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2018-37271 (P2018-37271)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成30年3月2日(2018.3.2)		セイコーエプソン株式会社
(62) 分割の表示	特願2013-206162 (P2013-206162) の分割		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
原出願日	平成25年10月1日(2013.10.1)	(74) 代理人	100116665
(65) 公開番号	特開2018-110447 (P2018-110447A)		弁理士 渡辺 和昭
(43) 公開日	平成30年7月12日(2018.7.12)	(74) 代理人	100194102
審査請求日	平成30年3月12日(2018.3.12)		弁理士 磯部 光宏
		(74) 代理人	100179475
			弁理士 仲井 智至
		(74) 代理人	100216253
			弁理士 松岡 宏紀
		(72) 発明者	山本 雄介
			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、電子機器、及び移動体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

互いに表裏の関係にある第1の主面及び第2の主面を含み、厚み滑り振動する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の励振電極と重なっている第2の励振電極と、

を含み、

第1方向に沿った第1の辺および第2の辺と、前記第1方向に直交する第2方向に沿った第3の辺および第4の辺と、を有する四角形を想定すると、前記第1の励振電極の外縁は、平面視で、

前記第1の辺に接している直線状の部分を含む第1外縁部、前記第2の辺に接している直線状の部分を含む第2外縁部、前記第3の辺に接している直線状の部分を含む第3外縁部、および前記第4の辺に接している直線状の部分を含む第4外縁部と、

前記第1外縁部と前記第3外縁部との間を繋ぐ第5外縁部、前記第1外縁部と前記第4外縁部との間を繋ぐ第6外縁部、前記第2外縁部と前記第3外縁部との間を繋ぐ第7外縁部、および前記第2外縁部と前記第4外縁部との間を繋ぐ第8外縁部と、を含み、

前記第5外縁部、前記第6外縁部、前記第7外縁部および前記第8外縁部は、前記四角形の隅部よりも内側にあり、且つ、円弧状であり、

前記第1の励振電極の前記第1方向に沿った長さは、前記第2方向に沿った長さよりも

10

20

長く、

前記四角形の面積を S_1 、

前記第 1 の励振電極の面積を S_2 としたとき、

$$69.2\% \left(S_2 / S_1 \right) \leq 80.1\%$$

を満たしてい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 の励振電極の前記第 1 方向に沿った長さを h_x 、

前記第 1 の励振電極の前記第 2 方向に沿った長さを h_z としたとき、

$$1.25 \leq h_x / h_z \leq 1.31$$

を満たしていることを特徴とする振動素子。

10

【請求項 3】

請求項 1 または 2 において、

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いることを特徴とする振動素子。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項において、

前記第 1 の励振電極の外縁のうち、前記第 1 外縁部から延在しているリード電極を含むことを特徴とする振動素子。

【請求項 5】

20

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項において、

前記 AT カット水晶基板は、

前記第 1 の励振電極および前記第 2 の励振電極が設けられている振動部と、

前記第 1 の主面及び前記第 2 の主面に直交する厚さが前記振動部よりも大きい厚肉部と

、

を備え、

前記振動部は、前記第 1 方向に沿った第 1 振動部外縁および第 2 振動部外縁と、前記第 2 方向に沿った第 3 振動部外縁および第 4 振動部外縁と、を含み、

前記厚肉部は、前記第 1 振動部外縁、前記第 3 振動部外縁、および前記第 4 振動部外縁に沿って配置されていることを特徴とする振動素子。

30

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の振動素子と、

前記振動素子が収容され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 7】

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の振動素子と、

前記振動素子を駆動する発振回路と、

を備えていることを特徴とする電子デバイス。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 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。

40

【請求項 9】

請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 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】

【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、電子機器、及び移動体に関する。

【背景技術】

50

【 0 0 0 2 】

主振動である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、ある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。厚み滑り振動で励振するATカット水晶振動子の高周波化には、振動部分の厚みを薄くすることにより高周波化を図るのが一般的である。

【 0 0 0 3 】

しかし、高周波化に伴い、振動部分の厚みが薄くなると、周波数の調整感度が高まるため周波数追い込み精度が悪くなり、振動子の製造歩留りが低下するという問題があった。これに対し、特許文献1には、温度補償型発振器の振動素子において、長形状の励振電極の四隅を略均等に切り欠き、その面積を切り欠く前との面積比で95%～98%とすることで、振動子の容量比（ $=C0/C1$ 、ここで、 $C0$ は等価並列容量、 $C1$ は等価直列容量）を小さくすることができ、周波数可変感度が大きくなるため、発振周波数の合わせ込みの余裕度を大きくすることができるということが開示されている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献1 】 特開2002-111435号公報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

しかしながら、特許文献1に記載の振動子は、容量比を小さくでき、大きな周波数可変感度が得られ電圧制御型発振器の振動子として有利であるが、主振動が振動部分の厚みの平面平行度のばらつき等により発生するスプリアス振動とカップリングを起こす可能性が高くなり、周波数のジャンプ現象が生じて、発振が不安定になるという問題があった。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 6 】

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。

【 0 0 0 7 】

[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し、表裏の関係にある第1の主面及び第2の主面を含む基板と、前記第1の主面に設けられ、仮想の四角形に内接する辺又は円周を含み、前記仮想の四角形の少なくとも三隅を切り欠いた形状の第1の励振電極と、前記第2の主面に設けられている第2の励振電極と、を含み、前記仮想の四角形の面積を $S1$ 、前記第1の励振電極の面積を $S2$ としたとき、 69.2% （ $S2/S1$ ） 80.1% の関係を満たすことを特徴とする。

【 0 0 0 8 】

本適用例によれば、主振動の振動領域は励振電極の中央部に集中しているため、励振電極の四隅を切り欠いた電極形状としても周波数変化への影響が小さく、主振動の周波数はほとんど変わらない。しかし、振動部分の厚みの平面平行度のばらつき等により発生するスプリアス振動の振動領域は、励振電極の四隅や周辺部に集中しているため、励振電極の四隅を切り欠いた電極形状とすると、スプリアス振動の振動領域上の励振電極の面積が小さくなり、励振電極の膜厚を薄くしたものと同等となるので、スプリアス振動の周波数は高くなる。そのため、主振動とスプリアス振動との周波数差を大きくし、スプリアス振動とのカップリングによる周波数のジャンプ現象を低減した振動素子が得られるという効果がある。

また、実際に主振動の振動に寄与しない励振電極の四隅の少なくとも三隅を切り欠いているので、主振動の振動エネルギーを効率的に閉じ込め、等価直列容量 $C1$ を大きくする

10

20

30

40

50

ことができ、且つ、励振電極の面積で決まる等価並列容量 C_0 を小さくできるため、容量比の小さい振動素子を得ることが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素子において、前記第1の励振電極は、前記仮想の四角形の四隅を切り欠いた形状であることを特徴とする。

【0010】

本適用例によれば、実際に主振動の振動に寄与しない励振電極の四隅を切り欠いた形状とすることで、主振動の周波数をほとんど変化させずに、スプリアス振動の振動領域が集中する領域の電極面積を小さくすることができるため、スプリアス振動の周波数を高くすることができる。そのため、スプリアス振動とのカップリングによる周波数のジャンプ現象を低減した振動素子が得られるという効果がある。また、励振電極を小さくできるので、容量比の小さい振動素子を得ることができるという効果がある。

10

【0011】

[適用例3] 上記適用例に記載の振動素子において、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いることを特徴とする。

【0012】

本適用例によれば、厚み滑り振動は平面視で第1の励振電極と第2の励振電極とが重なる領域でのみ振動するので、第1の励振電極25aが第2の励振電極25bの外縁内に収まっていると、主振動の振動エネルギーを効率的に閉じ込めることを、第1の励振電極25aの面積と厚みとで決定することができる。そのため、第1の励振電極と第2の励振電極との面積が同一の場合に比べ、電極の厚みを厚くできるので、電極膜のオーミックロスを低減し、主振動の CI 値の劣化を低減できるという効果がある。

20

また、第1の励振電極と第2の励振電極とを金属マスク法で形成する場合、マスクの多少の位置ずれがあった場合でも、平面視で第1の励振電極と第2の励振電極とが重なる面積が変化し難いため、等価直列容量 C_1 と等価並列容量 C_0 のばらつきが生じないので、容量比のばらつきが小さい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、前記第1の励振電極の外縁のうち前記切り欠いた領域外の外縁から延在して設けられているリード電極を含むことを特徴とする。

30

【0014】

本適用例によれば、リード電極を切り欠いた領域を除く第1の励振電極の外縁から延在することにより、第1の励振電極の周辺部に集中するスプリアス振動の振動領域における第1の励振電極の面積を確実に小さくすることができるため、スプリアス振動の周波数を高くし主振動とのカップリングを低減することができる振動素子が得られ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素子において、前記第1の励振電極の厚み滑り振動方向に沿った長さを h_x 、前記厚み滑り振動方向と直交する方向に沿った長さを h_z としたとき、 $1.25 < h_x / h_z < 1.31$ の関係を満たすことを特徴とする。

40

【0016】

本適用例によれば、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布が異なる基板を用いた場合、主振動のエネルギー閉じ込めの効率を高めることができるので、等価直列容量 C_1 が大きくなり、振動素子の容量比をより小さくできる。

【0017】

[適用例6] 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。

本適用例によれば、水晶基板は Q 値が高く、温度特性に優れているので、安定な振動特性を有する振動素子が得られるという効果がある。

50

【 0 0 1 8 】

〔適用例 7〕上記適用例に記載の振動素子において、前記水晶基板が A T カット水晶基板であることを特徴とする。

本適用例によれば、基板に温度特性に優れた切断角度を有している A T 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、温度特性に優れ、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等の特性ばらつきの小さい振動素子の量産が可能になるという効果がある。

【 0 0 1 9 】

〔適用例 8〕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。

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、信頼性品質の高い振動子が得られる。例えば、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振動子が得られるという効果がある。

【 0 0 2 0 】

〔適用例 9〕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、前記振動素子を駆動する発振回路と、を備えていることを特徴とする。

本適用例によれば、振動素子の主振動とスプリアス振動の周波数差が広いので、スプリアス振動とのカップリングによる周波数のジャンプ現象を低減した安定な発振特性を有し、且つ、振動素子の容量比 が小さいので、広い周波数可変幅を有する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 1 0〕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。

本適用例によれば、スプリアス振動とのカップリングを抑制した振動素子を電子機器に用いることにより、周波数安定度に優れた基準周波数源を備えた電子機器が構成できると

【 0 0 2 2 】

〔適用例 1 1〕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。

本適用例によれば、スプリアス振動の影響を抑制した発振特性の安定な振動素子を備えているため、より高性能の移動体を得ることができる。

【 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す概略図であり、(a) は平面図、(b) は P - P 線断面図、(c) は Q - Q 線断面図。

【図 2】A T カット水晶基板と結晶軸との関係を説明する図。

【図 3】励振電極が設けられた振動素子における振動変位分布を示す説明図であり、(a) は平面図、(b) は縦断面図。

【図 4】A T 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】励振電極の面積比に対する振動素子の C 1 値及び f 値を示す図。

【図 6】本発明の変形例に係る振動素子の構造を示す概略図であり、(a) は第一の変形例を示す平面図、(b) は第二の変形例を示す平面図、(c) は第三の変形例を示す平面図。

【図 7】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 8】本発明の一実施形態に係る電子デバイスの構造を示す概略図であり、(a) は平

10

20

30

40

50

面図、(b)は縦断面図。

【図9】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携帯電話機(PHSも含む)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デジタルステールカメラの構成を示す斜視図。

【図12】本発明の移動体の一例としての自動車を概略的に示す斜視図。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下、本発明の振動素子、振動子、電子デバイス、電子機器及び移動体を図面に示す好適な実施形態に基づいて詳細に説明する。

<振動素子>

先ず、本発明の振動素子について説明する。

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線断面図、図1(c)は図1(a)のQ-Q線断面図である。

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第1の励振電極25a、第2の励振電極25bと、第1の励振電極25a、第2の励振電極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の一边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。

【0026】

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。

【0027】

図1に示す実施形態例において、第1の励振電極25aは、四角形、好ましくは矩形の四隅を切り欠いた形状、つまり、X軸方向に沿った長さ h_x とZ'軸方向に沿った長さ h_z とからなる仮想の四角形25fに辺が内接し、前記仮想の四角形25fの四隅を切り欠いた形状に形成されている。また、第2の励振電極25bについても、第1の励振電極25aと同様に、四角形、好ましくは矩形の四隅を切り欠いた形状に形成されている。更に、第1の励振電極25aと第2の励振電極25bは、振動部12のほぼ中央部の両主面(表面及び裏面)に平面視で重なるように夫々形成されている。なお、第2の励振電極25bの形状は四角形、矩形状、円形、楕円形であっても構わない。

【0028】

第1の励振電極25aと、第2の励振電極25bとは大きさが異なり、第2の励振電極

10

20

30

40

50

25bの方が第1の励振電極25aよりも大きい。振動部12において実際に励振する領域は、第1の励振電極25aと第2の励振電極25bとにより挟まれている領域である。つまり、第2の励振電極25bにおいて、実際に振動部12を励振させることに寄与する領域は、平面視で第1の励振電極25aと重なる部分である。すなわち、第2の励振電極25bは、励振に寄与する電極と、当該励振に寄与する電極の外縁に一体化されている励振に寄与しない電極とから構成されている。

なお、第1の励振電極25aや第2の励振電極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。

【0029】

10

切り欠いた第1の励振電極25aは、第1の励振電極25aの中心点に対して対称であること。または、仮想の四角形25fに対して、四隅の切り欠き面積が同一であることが好ましい。なお、第1の励振電極25aにおいて、仮想の四角形25fの四隅を切り欠いた4つの面積は夫々同一(略均等)であるのが望ましいが、製造ばらつきを考慮すると約10%の差が生じたとしても、実際の振動に影響を及ぼさないことが確認されており、本実施形態例により得られる効果に影響を与えるような問題はない。

【0030】

リード電極27aは、凹陷面に形成した第1の励振電極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とを経由して、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第2の励振電極25bから延出し、基板10のフラット面の端縁部を経由して、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。

20

【0031】

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は他の厚肉部を経由してもよい。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。

【0032】

また、第1の励振電極25a、第2の励振電極25b、リード電極27a, 27b、パッド電極29a, 29bは、蒸着装置、あるいはスパッタ装置等を用いて、例えば、下地層としてニッケル(Ni)を成膜し、その上に上地層として金(Au)を重ねて成膜後、フォトリソグラフィによりパターンニングされ形成されている。なお、電極材料として、下地層のニッケル(Ni)の代わりにクロム(Cr)、また、上地層の金(Au)の代わりに銀(Ag)、白金(Pt)を用いても構わない。

30

【0033】

次に、本実施形態例に係る振動素子1の基板10について説明する。

図2は、ATカット水晶基板と結晶軸との関係を説明する図である。

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、光学軸と呼称される。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「回転Yカット水晶基板」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°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。

40

【0034】

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軸を回転軸として、前記Z軸を前記Y軸の-Y方向へ+Z側が

50

回転するように傾けた軸をZ'軸、前記Y軸を前記Z軸の+Z方向へ+Y側が回転するように傾けた軸をY'軸とし、前記X軸及び前記Z'軸を含む面を主面とし、前記Y'軸に沿った方向を厚みとする「回転Y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°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。

【0035】

ここで、本実施形態例に係る振動素子1は、基板10に温度特性に優れた切断角度を有しているATカット水晶基板を用いることにより、Q値が高く、温度特性に優れた振動素子を得ることができるという効果がある。また、フォトリソグラフィ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るので、特性のばらつきの小さい振動素子1の量産が可能になる。

【0036】

次に、本実施形態例に係る振動素子1が搭載される電圧制御型発振器について説明する。

一般的に、電圧制御型発振器は振動素子1、発振回路部及び可変容量ダイオードを含む制御電圧端子等により構成され、重要な仕様として制御電圧により振動素子1の発振周波数を可変する周波数可変範囲がある。この周波数可変範囲は、伝送通信機器等で必要なAPR（絶対周波数可変範囲）と、周波数許容偏差（周波数常温偏差、周波数温度特性、電源電圧による周波数変動、負荷による周波数変動、リフローによる周波数変動、経時変化による周波数変動）と、の和であるため、電圧制御型発振器は発振器の外部環境や発振回路条件の変化による周波数変化量を発振器自身が補っている。そのため、周波数可変範囲を広く取れることは、製造や設計に起因する周波数許容偏差を緩和できるため、振動素子1の製造歩留りを向上する上で非常に重要である。

【0037】

ここで、電圧制御型発振器の周波数可変感度Sは、下記式(1)で表される。

$$S = - \frac{C_L}{2} \times \frac{C_0}{C_1} \times (1 + \frac{C_L}{C_0})^2 \cdots (1)$$

ここで、 C_L は負荷容量変化、 $\frac{C_0}{C_1}$ は容量比(C_0/C_1)、 C_0 は等価並列容量、 C_L は負荷容量である。

式(1)より、周波数可変感度Sは、発振回路で構成される負荷容量 C_L が一定であれば、振動素子1の等価並列容量 C_0 と容量比 $\frac{C_0}{C_1}$ により決定され、特に、容量比 $\frac{C_0}{C_1}$ による影響が大きい。従って、容量比 $\frac{C_0}{C_1}$ を小さくすれば、電圧制御型発振器の周波数可変感度Sを大きくすることができ、振動素子1の製造歩留りを向上させることができる。

【0038】

次に、振動素子1aの振動変位について説明する。

図3は、励振電極が設けられた振動素子における振動変位分布を示す説明図であり、図3(a)は平面図、図3(b)は図3(a)の縦断面図である。

図3では基板10上に矩形状の励振電極23が設けられた振動素子1aの基本波の厚み滑り振動モードの振動変位分布を有限要素法で計算した結果を示している。この図より、振動変位は励振電極23の四隅部で非常に小さく、この部分が実際の振動に寄与していないことが解る。ここで、振動素子1aの等価並列容量 C_0 は表裏励振電極間の静電容量であるので対向面積に依存するが、等価直列容量 C_1 は実際の振動領域における容量成分であるため励振電極23の面積が十分大きければ対向面積に依存しない。そのため、実際の振動に寄与しない励振電極23の一部を除去することで、等価直列容量 C_1 に影響を及ぼさず、等価並列容量 C_0 のみを小さくでき、容量比 $\frac{C_0}{C_1}$ の小さい振動素子1aを得ることができる。

【0039】

次に、主振動に影響を及ぼすスプリング振動について説明する。

10

20

30

40

50

一般的に、主振動である厚み滑り振動に影響を及ぼすスプリアス振動は、厚み滑り振動のインハーモニックオーバートーンモードといわれ、図3における基板10の長辺方向に振動変位分布する2次モードの(1, 2, 1)モードや3次モードの(1, 3, 1)モードである。

【0040】

2次モードの(1, 2, 1)モードは、基板10の長辺方向に沿って、励振電極23の中心部を境に2つの振動変位分布を有している。2つの振動変位分布で生じる電荷の極性が相反しているため、互いに相殺されて通常はスプリアス振動として振動しない。しかし、振動部分の厚みの平面平行度にばらつきがある場合には、2つの振動変位分布で生じる極性の異なる電荷の量が異なり、相殺されないでスプリアス振動として振動する。また、その周波数は主振動の周波数より高く、主振動の周波数に一番近接している。

10

【0041】

3次モードの(1, 3, 1)モードは、基板10の長辺方向に3つの振動変位分布を有している。励振電極23の中央部の1つの振動変位分布と励振電極23の端部側の2つの振動変位分布とで生じる電荷の極性が相反しており、極性の異なる電荷の量が異なるため、常にスプリアス振動として振動する。また、その周波数は主振動の周波数より高く、(1, 2, 1)モードが振動しない場合には主振動の周波数に一番近接している。

【0042】

上述した厚み滑り振動のインハーモニックオーバートーンモードのスプリアス振動は、励振電極の周辺部を切り欠いた電極形状とすると、スプリアス振動の振動変位分布上の励振電極の面積が小さくなり、励振電極の膜厚が薄くしたものと同等となるので、その周波数は高くなる。また、主振動は、励振電極の周辺部を切り欠いた形状としても、切り欠いた部分が実際に振動に寄与していないので、周波数はほとんど変化しない。そのため、励振電極の周辺部を切り欠いた電極形状とすることで、主振動とスプリアス振動との周波数差を大きくし、スプリアス振動とのカップリングによる周波数のジャンプ現象を低減した振動素子1を得ることができる。

20

【0043】

図4は、図1の実施形態例で試作した114MHz帯の共振周波数を有するATカット水晶振動素子の試作条件と測定結果を示している。また、図5は、図4に示したATカット水晶振動素子の励振電極の面積比(S_2/S_1)に対するC1値及び主振動とスプリアス振動との周波数差 f 値をグラフ上にプロットした図である。

30

【0044】

試作した114MHz帯の共振周波数を有するATカット水晶振動素子(振動素子1)の試作条件は、図1に示すX軸方向に沿った長さ h_x とZ'軸方向に沿った長さ h_z とからなる仮想の四角形25fの面積 S_1 を $0.564\text{mm}^2 \sim 0.705\text{mm}^2$ まで変化させ、仮想の四角形25fに辺が内接した第1の励振電極25aの面積 S_2 を 0.470mm^2 一定としている。また、測定結果は、各試作条件におけるATカット水晶振動素子(振動素子1)の等価直列容量C1と、主振動と主振動の周波数と一番近接したスプリアス振動との周波数差 f である。尚、周波数差 f は主振動の周波数で基準化して示し、等価並列容量C0は第1の励振電極25aの面積 S_2 が 0.470mm^2 と一定のため、 2.76pF である。

40

【0045】

図5では、面積比(S_2/S_1)が大きくなるのに伴い、等価直列容量C1は小さくなる傾向を示し、周波数差 f は大きくなる傾向を示している。ここで、電圧制御型発振器で振動素子1に要求される容量比 C_1/C_0 の仕様を300以下(等価並列容量C0が 2.76pF であるので、等価直列容量C1が 9.2pF 以上)、スプリアス振動との周波数差 f との仕様を $1,300\text{ppm}$ 以上とすると、これを満足する面積比(S_2/S_1)は、図5のグラフより、 $69.2\% \leq (S_2/S_1) \leq 80.1\%$ の範囲である。従って、第1の励振電極25aを周辺部が切り欠いた形状とし、面積比(S_2/S_1)が $69.2\% \leq (S_2/S_1) \leq 80.1\%$ の関係を満たさせることにより、容量比 C_1/C_0 が300以下で、

50

スプリアス振動との周波数差 f が $1,300$ ppm 以上となる AT カット水晶振動素子（振動素子 1）を得ることができる。

【0046】

また、製造ばらつき等を考慮し、容量比 C_1 の仕様を 297 以下（ C_1 が $9.3fF$ 以上）、周波数差 f の仕様を $1,350$ ppm 以上とすると、面積比（ S_2/S_1 ）は、 71.5% （ S_2/S_1 ） 77.8% の範囲であることが好ましい。更に、容量比 C_1 の仕様を 294 以下（ C_1 が $9.4fF$ 以上）、周波数差 f の仕様を $1,400$ ppm 以上とすると、面積比（ S_2/S_1 ）は、 73.8% （ S_2/S_1 ） 75.4% の範囲であることがより好ましい。

【0047】

次に、図 1 に戻り、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）の第 1 の励振電極 25 a の面積の大きさは、フラット面側（図 1 (b) の裏面側）の励振電極 25 b 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、第 1 の励振電極 25 a は第 2 の励振電極 25 b より小さな形状に形成されている。

【0048】

厚み滑り振動は、平面視で第 1 の励振電極 25 a と第 2 の励振電極 25 b とが重なる領域でのみ振動するので、第 1 の励振電極 25 a が第 2 の励振電極 25 b の外縁内に収まっていると、主振動の振動エネルギーを効率的に閉じ込めることを、第 1 の励振電極 25 a の面積と厚みとで決定することができる。そのため、第 1 の励振電極 25 a と第 2 の励振電極 25 b との面積が同一の場合に比べ、電極の厚みを厚くできるので、電極膜のオーミックロス

【0049】

を低減し、主振動の CI 値の劣化を低減することができる。

また、第 1 の励振電極 25 a と第 2 の励振電極 25 b とを金属マスク法で形成する場合でも、電極形成時に多少の位置ずれがあったとしても、振動部 12 を挟んだ第 1 の励振電極 25 a と第 2 の励振電極 25 b との対向面積が変化し難いため、等価直列容量 C_1 や等価並列容量 C_0 のばらつきが生じ難く、容量比 C_1 のばらつきの小さい振動素子 1 を得ることができる。

【0050】

更に、第 1 の励振電極 25 a の厚み滑り振動方向に沿った長さを h_x 、前記厚み滑り振動方向と直交する方向に沿った長さを h_z としたとき、AT カット水晶基板の場合、励振電極の寸法比 h_x/h_z を 1.28 とすることで主振動の振動エネルギーを励振電極の領域内に効率的に閉じ込めることができる。そのため、製造ばらつきを考慮し励振電極の寸法比 h_x/h_z を 1.25 h_x/h_z 1.31 の関係とすることで、主振動の振動エネルギーを効率よく閉じ込めることができるので、等価直列容量 C_1 をより大きくすることができ、容量比 C_1 のより小さい振動素子 1 を得ることができる。

【0051】

以上、図 1 に示めた一実施形態に基づいて説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、図 6 に示す各変形例においても主振動周波数とスプリアス振動周波数との間隔を広げることができ、また、 C_1 値を大きく（容量比 C_1 を小さく）することが確認されている。

【0052】

次に、本発明の一実施形態に係る振動素子 1 の変形例について説明する。

図 6 は、本発明の変形例に係る振動素子の構造を示した概略図であり、図 6 (a) は第一の変形例を示す平面図、図 6 (b) は第二の変形例を示す平面図、図 6 (c) は第三の変形例を示す平面図である。

図 6 (a) に示す第一の変形例において、第 1 の励振電極 25 c は仮想の四角形 25 f の三隅に切り欠き部 26 a を有する形状に形成されており、残りの一隅はリード電極 27 a が接続されているため切り欠き部 26 a は形成されていない。

図 6 (b) に示す第二の変形例において、第 1 の励振電極 25 d は仮想の四角形 25 f の四隅が曲線状、例えば円弧状の切り欠き部 26 b を有する形状に形成されている。また

10

20

30

40

50

、リード電極 27a は、切り欠き部 26b を除く第 1 の励振電極 25d の外縁から延在して形成されている。そのため、第 1 の励振電極 25d の周辺部に集中するスプリアス振動の振動領域における第 1 の励振電極 25d の面積を確実に小さくすることができ、スプリアス振動の周波数を高くし、主振動とのカップリングを低減することができる。

図 6(c) に示す第三の変形例において、第 1 の励振電極 25e は仮想の四角形 25f に円周が内接する楕円形状に形成されている。第 1 の励振電極 25e を楕円形状とすることで主振動の振動エネルギーを効率的に閉じ込めることができ、容量比 をより小さくできるという効果がある。

【0053】

これらの変形例において、面積比 (S_2 / S_1) が $69.2 (S_2 / S_1) 80.1\%$ の関係を満たしていれば、主振動周波数とスプリアス振動周波数との間隔を広げることができ、且つ、 C_1 値を大きく (容量比 を小さく) することができるので、スプリアス振動とのカップリングによる周波数のジャンプ現象を低減し、容量比 の小さい振動素子 1 を得ることができる。

【0054】

< 振動子 >

次に、前述した振動素子 1 を適用した振動子 2 (本発明の振動子) について説明する。

図 7 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 7(a) は蓋部材を省略した平面図であり、図 7(b) は図 7(a) の縦断面図である。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、ガラス等からなる蓋部材 49 と、で構成されている。

【0055】

パッケージ本体 40 は、図 7 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。

【0056】

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。

【0057】

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。

【0058】

次に、パッケージ本体 40 に搭載された振動素子 1 の熱硬化性の導電性接着剤 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 7(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応力の大きさを小さくすることが可能となる。

【0059】

アニール処理を施した後、第 2 の励振電極 25b に質量を付加するか、又は第 2 の励振電極 25b の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、減圧雰囲気中、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、溶融して密着

10

20

30

40

50

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減圧雰囲気にするか、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。

【 0 0 6 0 】

パッド電極 2 9 a , 2 9 b 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 9 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 2 9 a , 2 9 b 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 3 0 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 3 0 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 4 0 に積層板を用いた例を説明したが、パッケージ本体 4 0 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。

【 0 0 6 1 】

図 7 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 1 3 と振動部 1 2 の間にスリット 1 7 を設けることにより、導電性接着剤 3 0 に起因して生じる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。

【 0 0 6 2 】

< 電子デバイス >

次に、前述した振動素子 1 を適用した発振器（本発明の電子デバイス）について説明する。

図 8 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 8 (a) は蓋部材を省略した平面図であり、図 8 (b) は図 8 (a) の縦断面図である。電子デバイス 3 は、パッケージ本体 5 0 と、蓋部材 4 9 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 5 1 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 5 2 の少なくとも 1 つと、を備えている。

【 0 0 6 3 】

パッケージ本体 5 0 は、図 8 に示すように、第 1 の基板 6 1 と、第 2 の基板 6 2 と、第 3 の基板 6 3 と、を積層して形成されている。実装端子 4 5 は、第 1 の基板 6 1 の外部底面に複数形成されている。第 2 の基板 6 2 と第 3 の基板 6 3 とは中央部が除去された環状体で形成されている。

【 0 0 6 4 】

第 1 の基板 6 1 と、第 2 の基板 6 2 と、第 3 の基板 6 3 と、により、振動素子 1、IC 部品 5 1、及び電子部品 5 2 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 6 2 の上面の所定の位置には、導体 4 6 により実装端子 4 5 と電氣的に導通する複数の素子搭載パッド 4 7 が設けられている。素子搭載パッド 4 7 は、振動素子 1 を載置した際に第 2 の厚肉本体 1 5 a に形成したパッド電極 2 9 a に対応するように配置されている。

【 0 0 6 5 】

反転した振動素子 1 のパッド電極 2 9 a を、導電性接着剤（ポリイミド系）3 0 を塗布したパッケージ本体 5 0 の素子搭載パッド 4 7 に載置し、パッド電極 2 9 a と素子搭載パッド 4 7 との導通を図る。反転して上面側になったパッド電極 2 9 b と、パッケージ本体 5 0 の電極端子 4 8 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 5 0 の基板間に形成された導体（図示せず）を通じて、IC 部品 5 1 の 1 つの電極端子 5 5 との導通を図る。IC 部品 5 1 をパッケージ本体 5 0 の所定の位置に固定し、IC 部品 5 1 の端子と、パッケージ本体 5 0 の電極端子 5 5 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 5 2 は、パッケージ本体 5 0 の所定の位置に載置し、金属パンプ等を用いて導体 4 6 に接続する。パッケージ本体 5 0 を減圧雰囲気、あるいは窒素等の不活性気体で満たし、パッケージ本体 5 0 を蓋部材 4 9 で密封して電子デバイス 3 を完成する。

【 0 0 6 6 】

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、より大きな第 2 の励振電極 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。

【 0 0 6 7 】

図 8 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る。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。

【 0 0 6 8 】

< 電子機器 >

次いで、本発明の一実施形態に係る振動素子 1 を適用した電子機器（本発明の電子機器）について、図 9 ~ 図 11 に基づき、詳細に説明する。

図 9 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 1100 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。

【 0 0 6 9 】

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 1 が内蔵されている。

【 0 0 7 0 】

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。

【 0 0 7 1 】

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 1330 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 1340 が、夫々必要に応じて接続される。更に、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 1330 や、パーソナルコンピュータ 1340 に出力される構成

10

20

30

40

50

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。

【0072】

なお、本発明の一実施形態に係る振動素子 1 は、図 9 のパーソナルコンピューター 1100 (モバイル型パーソナルコンピューター)、図 10 の携帯電話機 1200、図 11 のデジタルスチールカメラ 1300 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、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。

10

【0073】

< 移動体 >

次に、本発明の一実施形態に係る振動素子 1 を有する振動子 2 を適用した移動体 (本発明の移動体) について、図 12 に基づき説明する。

図 12 は、振動子 2 を備える移動体としての自動車 1400 を概略的に示す斜視図である。自動車 1400 には本発明の一実施形態に係る振動子 2 を含んで構成されたジャイロセンサーが搭載されている。例えば、同図に示すように、移動体としての自動車 1400 には、タイヤ 1401 を制御する該ジャイロセンサーを内蔵した電子制御ユニット 1402 が搭載されている。また、他の例として、振動子 2 は、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)、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) に広く適用できる。

20

【0074】

上述したように、移動体として、スプリアス振動の影響を抑制した振動特性の良好な振動素子 1 を有する振動子 2 を備えていることにより、より高性能の移動体を提供することができる。

30

【0075】

以上、本発明の振動素子 1、振動子 2、電子デバイス 3、電子機器及び移動体について、図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、各部の構成は、同様の機能を有する任意の構成のものに置換することができる。また、本発明に、他の任意の構成物が付加されていてもよい。また、前述した各実施形態を適宜組み合わせてもよい。

【符号の説明】

【0076】

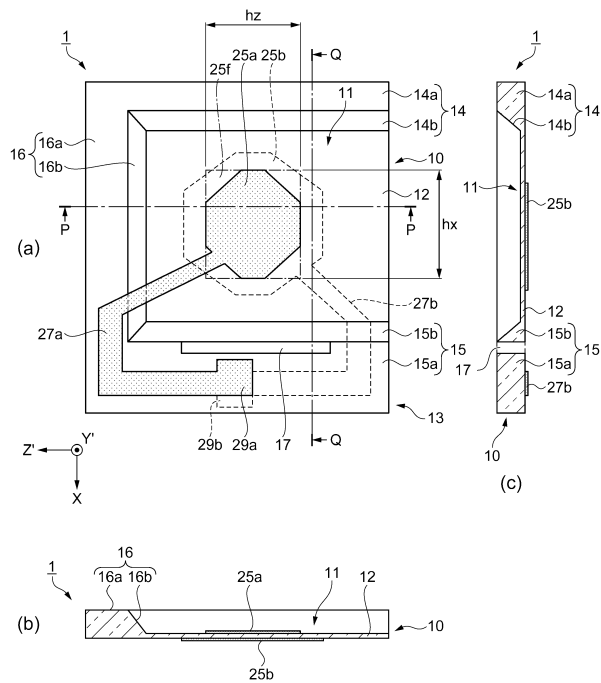
1, 1a ... 振動素子、2 ... 振動子、3 ... 電子デバイス、10 ... 基板、11 ... 凹陷部、12 ... 振動部、13 ... 厚肉部、14 ... 第 1 の厚肉部、14a ... 第 1 の厚肉本体、14b ... 第 1 の傾斜部、15 ... 第 2 の厚肉部、15a ... 第 2 の厚肉本体、15b ... 第 2 の傾斜部、16 ... 第 3 の厚肉部、16a ... 第 3 の厚肉本体、16b ... 第 3 の傾斜部、17 ... スリット、23 ... 励振電極、25a, 25c, 25d, 25e ... 第 1 の励振電極、25b ... 第 2 の励振電極、25f ... 仮想の四角形、26a, 26b ... 切り欠き部、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

40

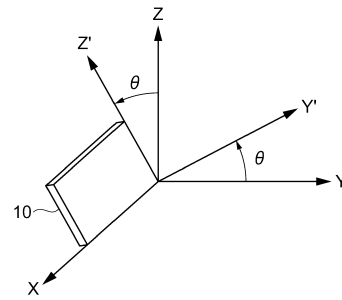
50

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、1330...テレビモニター、1340...パーソナルコンピューター、1400...自
動車、1401...タイヤ、1402...電子制御ユニット。

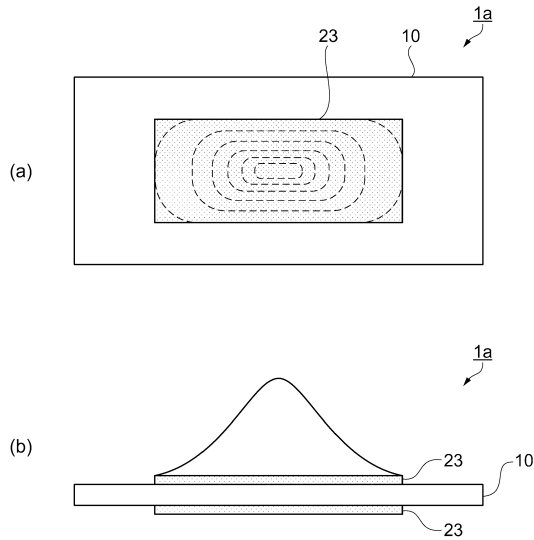
【図1】



【図2】



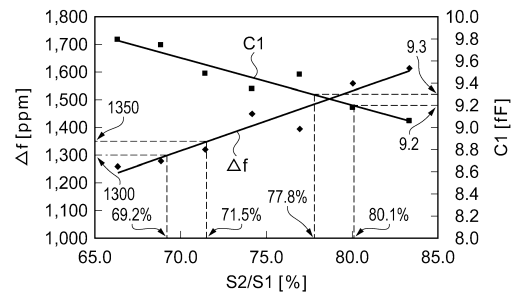
【 図 3 】



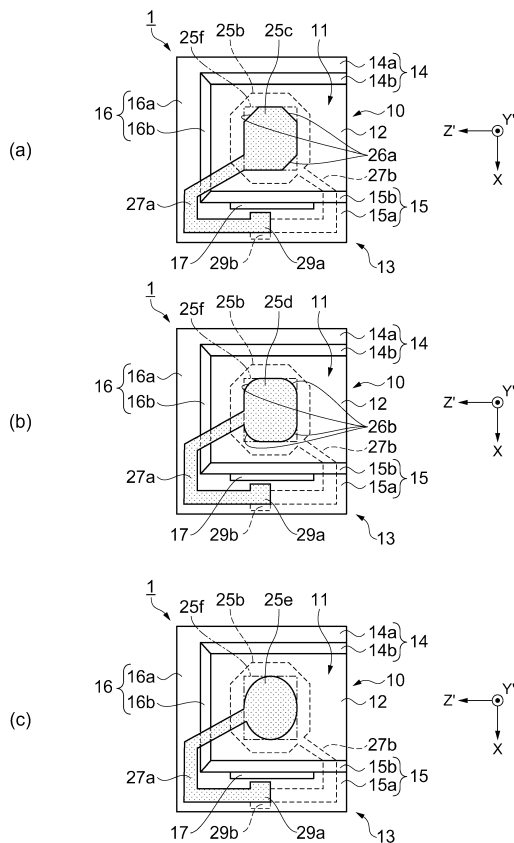
【 図 4 】

No.	hx [mm]	hz [mm]	S1 [mm ²]	S2 [mm ²]	S2/S1 [%]	C1 [fF]	Δf [ppm]
1	0.843	0.668	0.564	0.470	83.3	9.06	1,615
2	0.861	0.682	0.587	0.470	80.0	9.18	1,560
3	0.878	0.696	0.611	0.470	76.9	9.48	1,396
4	0.895	0.709	0.634	0.470	74.1	9.35	1,451
5	0.911	0.722	0.658	0.470	71.4	9.49	1,322
6	0.927	0.735	0.681	0.470	68.8	9.75	1,280
7	0.943	0.748	0.705	0.470	66.3	9.80	1,260

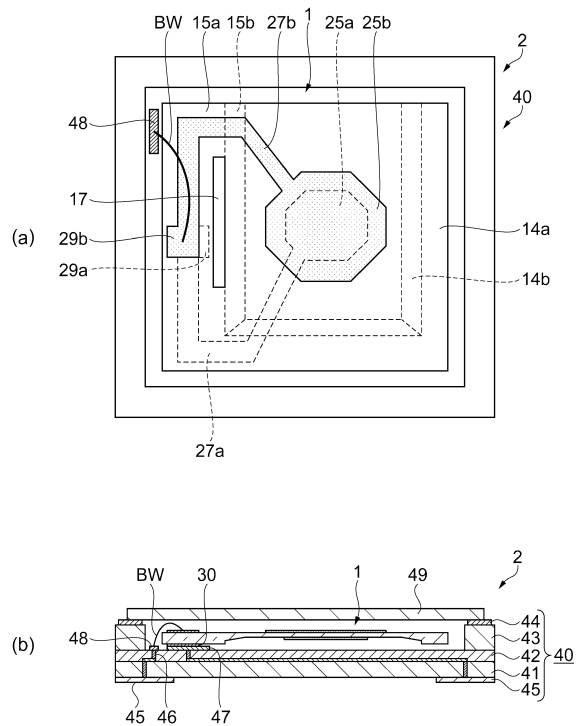
【 図 5 】



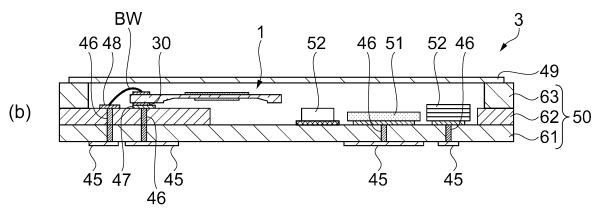
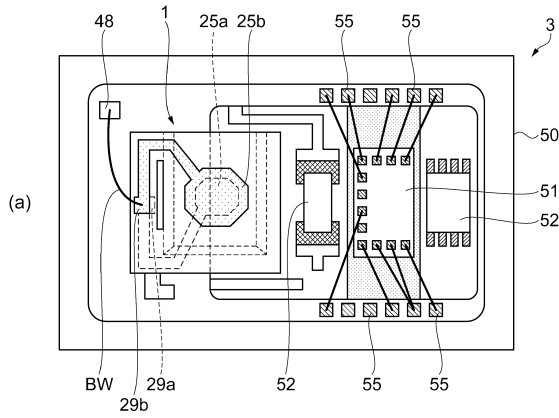
【 図 6 】



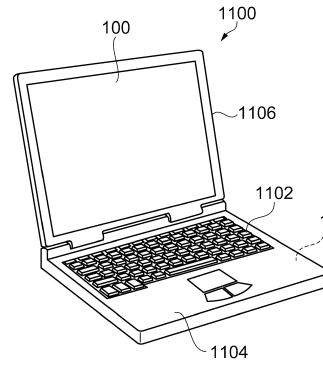
【 図 7 】



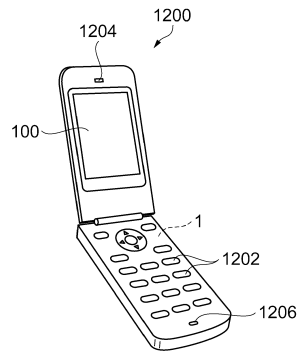
【 図 8 】



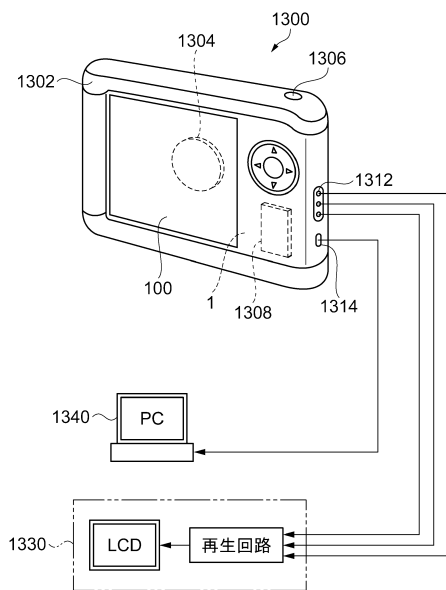
【 図 9 】



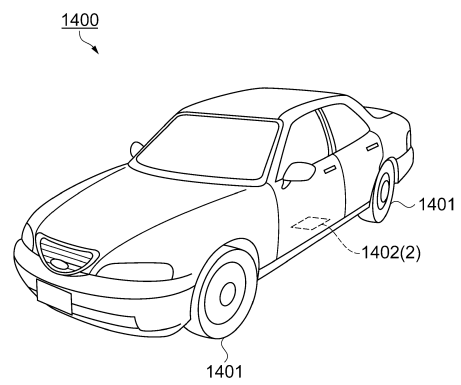
【 図 10 】



【 図 11 】



【 図 12 】



フロントページの続き

審査官 高橋 徳浩

(56)参考文献 特開2002-111435(JP,A)
特開2011-061418(JP,A)
国際公開第2009/020022(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H03H3/007 - H03H3/10
H03H9/00 - H03H9/76