

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6676875号
(P6676875)

(45) 発行日 令和2年4月8日 (2020. 4. 8)

(24) 登録日 令和2年3月17日 (2020. 3. 17)

(51) Int.Cl.

F I

H O 3 H 9 / 1 0 (2 0 0 6 . 0 1)

H O 3 H 9 / 1 9 (2 0 0 6 . 0 1)

H O 3 H 9 / 1 0

H O 3 H 9 / 1 9 A

請求項の数 15 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2015-680 (P2015-680)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成27年1月6日 (2015. 1. 6)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2016-127469 (P2016-127469A)		東京都新宿区新宿四丁目 1 番 6 号
(43) 公開日	平成28年7月11日 (2016. 7. 11)	(74) 代理人	100116665
審査請求日	平成29年12月6日 (2017. 12. 6)		弁理士 渡辺 和昭
前置審査		(74) 代理人	100194102
			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	小幡 直久
			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】 振動デバイス、電子機器、および移動体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、

一方の主面および他方の主面を有し、前記一方の主面および前記他方の主面に交差する方向を厚さとして、第 1 の厚さを有する第 1 領域、および、平面視で前記第 1 領域を囲んでおり前記第 1 の厚さよりも薄い厚さを有する第 2 領域を備えるとともに、前記第 1 領域の前記一方の主面側に配置されている第 1 励振電極、前記第 1 領域の前記他方の主面側に配置されている第 2 励振電極、および、平面視で前記第 1 励振電極と前記第 2 励振電極とが重なっている振動領域を有する振動片と、

前記振動片と前記基板との間を接合している第 1 接合部材および第 2 接合部材と、

を含み、

前記振動片は、

前記第 2 領域に配置され、前記第 1 励振電極と接続している第 1 接続電極と、

前記第 2 領域において、前記第 1 接続電極と並んで配置され、前記第 2 励振電極と接続している第 2 接続電極と、

を含み、

平面視で、前記第 1 励振電極および前記第 2 励振電極は、前記第 1 接続電極と前記第 2 接続電極とが並んでいる方向である第 1 方向において前記第 1 領域の範囲内にあり、かつ、前記第 1 方向に対して交差する方向において前記第 1 領域の外縁よりも外側の前記第 2 領域まで至っており、

平面視で、前記第 1 接合部材は前記第 1 接続電極と重なっており、前記第 2 接合部材は前記第 2 接続電極と重なっており、

前記第 1 接合部材および前記第 2 接合部材は、平面視で前記第 1 接合部材の第 1 接合中心と前記第 2 接合部材の第 2 接合中心とが、前記第 1 方向に沿って並んでおり、

前記第 1 接合中心と前記第 2 接合中心との距離を L_1 、

平面視で前記振動領域の中心から、前記第 1 接合中心と前記第 2 接合中心とを結ぶ仮想線におろした垂線の長さを L_2 、

としたとき、

$$0 < L_1 / L_2 \leq 0.97$$

を満足することを特徴とする振動デバイス。

10

【請求項 2】

請求項 1 において、

前記第 1 方向において、前記第 1 接合部材および前記第 2 接合部材は、前記第 1 領域の前記第 1 方向に沿った幅の範囲内にあることを特徴とする振動デバイス。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 において、

前記第 1 接合中心は、平面視で前記第 1 接続電極の前記第 1 接合部材と重なっている部分の中心であり、

前記第 2 接合中心は、平面視で前記第 2 接続電極の前記第 2 接合部材と重なっている部分の中心であることを特徴とする振動デバイス。

20

【請求項 4】

請求項 1 ないし 3 のいずれか一項において、

前記振動片は、

前記第 1 励振電極と前記第 1 接続電極とを繋いでいる第 1 引出電極と、

前記第 2 励振電極と前記第 2 接続電極とを繋いでいる第 2 引出電極と、

を含んでいることを特徴とする振動デバイス。

【請求項 5】

請求項 4 において、

前記第 1 方向において、前記第 1 引出電極および前記第 2 引出電極は、前記第 1 領域の前記第 1 方向に沿った幅の範囲内にあることを特徴とする振動デバイス。

30

【請求項 6】

請求項 4 または 5 において、

平面視で、前記第 1 引出電極と前記第 2 引出電極との間に、

前記一方の主面および前記他方の主面に交差する方向の厚さが、前記第 1 引出電極が配置された部分および前記第 2 引出電極が配置された部分よりも薄い箇所を有することを特徴とする振動デバイス。

【請求項 7】

請求項 4 または 5 において、

平面視で、前記第 1 引出電極と前記第 2 引出電極との間に、

前記一方の主面から前記他方の主面に貫通している孔を有することを特徴とする振動デバイス。

40

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項において、

前記励振電極は、

前記振動片の主面側から順に、下地層および上層を含み、

前記下地層は、ニッケル、およびタングステンのうち少なくとも 1 つの金属を含み、

前記上層は、金、白金、銀、アルミニウム、および銅のうち少なくとも 1 つの金属を含むことを特徴とする振動デバイス。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項において、

50

$$0 < L1 / L2 \leq 0.85$$

の関係を満足することを特徴とする振動デバイス。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項において、

$$0.185 < L1 / L2 \leq 0.97$$

を満足することを特徴とする振動デバイス。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 7 のいずれか一項において、

$$0.425 < L1 / L2 \leq 0.97$$

を満足することを特徴とする振動デバイス。

10

【請求項 12】

請求項 1 乃至 11 のいずれか一項において、

前記第 1 接合部材および前記第 2 接合部材は、導電性を有することを特徴とする振動デバイス。

【請求項 13】

請求項 1 乃至 12 のいずれか一項において、

前記第 1 接合部材および前記第 2 接合部材の少なくとも一方は、金属バンプで構成されていることを特徴とする振動デバイス。

【請求項 14】

請求項 1 乃至 13 のいずれか一項に記載の振動デバイスを備えていることを特徴とする電子機器。

20

【請求項 15】

請求項 1 乃至 13 のいずれか一項に記載の振動デバイス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、振動デバイス、電子機器、および移動体に関する。

【背景技術】

【0002】

30

従来から、通信機器分野において、安定な周波数の信号を得るために水晶等の圧電体で形成された振動片を用いて、所望の周波数の信号を出力する水晶振動子や水晶発振器等の振動デバイスが用いられてきた。例えば、特許文献 1 に記載されているように、振動片を容器内の接続パッドに導電性接着剤で片持ち支持した振動デバイスにおいて、容器内の電極パッドに土手部を設けることで導電性接着剤の厚さを安定に確保する構成が開示されている。この構成においては、容器外から導電性接着剤を介して振動片に伝わる熱を伝わりにくくすることで、振動片内の温度勾配を小さくして、振動デバイスの周波数特性の変動、例えば、温度変化に対する周波数変化の再現性、いわゆるヒステリシスを低減することのできる振動デバイスが開示されている。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2014 - 86842 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献 1 に示す振動デバイスにおいて、振動デバイスの周波数特性の変動であるヒステリシスは、容器外から伝わる熱以外にも、振動デバイスの周囲温度変化に起因して振動片にかかる応力によっても変化する。振動デバイスの周囲温度変化に起因して振動片にかかる応力は、振動片と容器とを接続する接続部材の間の距離と、振動片の

50

励振電極との位置関係も大きく影響する。そのため、特許文献 1 の振動デバイスのように、容器と振動片とを接続する導電性接着剤の厚さを安定に確保するだけでは、振動デバイスの特性変動、例えば、ヒステリシス等が大きくなってしまう可能性があった。

【課題を解決するための手段】

【0005】

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。

【0006】

[適用例 1] 本適用例に係る振動デバイスは、基板と、表裏の関係にある面に配置されている一对の励振電極に挟まれた振動領域を有する振動片と、前記振動片と、前記基板と、の間を接合し、前記振動片の第 1 辺に沿った第 1 方向に並んで配置されている第 1 接合部材と、第 2 接合部材と、を含み、前記第 1 接合部材の前記振動片側の面の中心を第 1 接合中心、前記第 2 接合部材の前記振動片側の面の中心を第 2 接合中心、前記振動領域の前記一对の励振電極の一方側から見た中心を振動領域中心、とし、前記第 1 接合中心と前記第 2 接合中心との距離を L_1 、前記振動領域中心から前記第 1 接合中心と前記第 2 接合中心とを結ぶ仮想線におろした垂線の長さを L_2 、としたとき、

$$0 < L_1 / L_2 \leq 0.97$$

の関係を満足することを特徴とする。

【0007】

本適用例によれば、振動デバイスの周囲温度の変化にともなう振動片の伸びまたは縮み量と、基板の伸びまたは縮み量と、の差によって応力が発生した場合、

$$0 < L_1 / L_2 \leq 0.97$$

の関係を満足させることで、振動片の伸びまたは縮み量と、基板の伸びまたは縮み量と、の差によって発生した応力が、振動片の振動領域に伝わることを低減できる。振動片の特性、例えば、出力周波数や周波数温度特性や等価直列抵抗等は、振動領域の状態によって大きく変動するため、振動領域に伝わる応力を低減することで、振動デバイスの特性変動、例えば、周波数温度特性の変動やヒステリシス等を低減することができる。

【0008】

[適用例 2] 上記適用例に係る振動デバイスにおいて、

$$0 < L_1 / L_2 \leq 0.85$$

の関係を満足することが好ましい。

【0009】

本適用例によれば、例えば振動デバイスの周囲温度の変化にともなう振動片の伸び又は縮み量と、基板の伸びまたは縮み量と、の差によって応力が発生した場合、

$$0 < L_1 / L_2 \leq 0.85$$

の関係を満足させることで、振動片の伸びまたは縮み量と、基板の伸びまたは縮み量と、の差によって発生した応力が、振動片の振動領域に伝わることをさらに低減できる。従って、振動片の振動領域に伝わる応力をさらに低減することで、振動デバイスの特性変動、例えば、適用例 1 と比較してヒステリシスをさらに低減することができる。

【0010】

[適用例 3] 上記適用例に係る振動デバイスにおいて、前記振動片は、平面視で、前記第 1 接合中心と前記第 2 接合中心とを結ぶ仮想線と、前記励振電極と、の間に、前記表裏の関係にある面の少なくとも一方の面から他方の面に向かう方向に窪みを有することが好ましい。

【0011】

本適用例によれば、振動デバイスの周囲温度の変化にともなう振動片の伸びまたは縮み量と、基板の伸びまたは縮み量と、の差によって発生する応力は、窪みを介しても振動領域に伝わるが、窪みの部分は、窪みが形成されていない部分よりも表裏の関係にある面と交差する方向の長さが短い、すなわち薄くなっているためひずみやすい。従って、振動デバイスの周囲温度の変化にともなう振動片の伸びまたは縮み量と、基板の伸びまたは縮み

10

20

30

40

50

量と、の差によって発生する応力は、窪みが形成されていない部分よりも窪みの部分が大きくひずむことで吸収されるため、振動片の振動領域に伝わる応力をさらに低減することができ、振動デバイスの特性変動、例えば、周波数温度特性の変動やヒステリシス等をさらに低減することができる。

【 0 0 1 2 】

〔適用例 4〕上記適用例に係る振動デバイスにおいて、前記窪みは、前記表裏の関係にある面の一方の面から他方の面までを貫通する孔であることが好ましい。

【 0 0 1 3 】

本適用例によれば、振動デバイスの周囲温度の変化にともなう振動片の伸びまたは縮み量と、基板の伸びまたは縮み量と、の差によって発生する応力は、振動片の孔の開いていない領域と、孔の開いた領域に隣接した領域と、を介して振動領域に伝わるが、振動片の孔の開いた領域に隣接した領域は、孔の開いた領域に隣接していない領域、すなわち孔の開いていない領域よりもひずみやすい。従って、振動デバイスの周囲温度の変化にともなう振動片の伸びまたは縮み量と、基板の伸びまたは縮み量と、の差によって発生する応力は、振動片の孔の開いていない領域よりも孔の開いた領域に隣接した領域が大きくひずむことで吸収されるため、振動片の振動領域に伝わる応力をさらに低減することができ、振動デバイスの特性変動、例えば、周波数温度特性の変動やヒステリシス等をさらに低減することができる。

【 0 0 1 4 】

〔適用例 5〕上記適用例に係る振動デバイスにおいて、前記振動片は、前記表裏の関係にある面と交差する方向において、第 1 の厚さを有する第 1 領域と、前記第 1 の厚さよりも薄い厚さを有する第 2 領域と、を有し、前記振動領域中心は、平面視で、前記第 1 領域と重なっており、前記第 1 接合中心および前記第 2 接合中心は、平面視で、前記第 2 領域と重なっていることが好ましい。

【 0 0 1 5 】

本適用例によれば、振動デバイスの周囲温度の変化にともなう振動片の伸びまたは縮み量と、基板の伸びまたは縮み量と、の差によって発生する応力は、第 2 領域を介して振動領域に伝わるが、第 2 領域は第 1 領域よりも薄いためひずみやすい。従って、振動デバイスの周囲温度の変化にともなう振動片の伸びまたは縮み量と、基板の伸びまたは縮み量と、の差によって発生する応力は、第 1 領域よりも第 2 領域が大きくひずむことで吸収されるため、振動片の振動領域に伝わる応力をさらに低減することができ、振動デバイスの特性変動、例えば、周波数温度特性の変動やヒステリシス等をさらに低減することができる。

【 0 0 1 6 】

〔適用例 6〕上記適用例に係る振動デバイスにおいて、前記第 1 接合部材および前記第 2 接合部材は、導電性を有することが好ましい。

【 0 0 1 7 】

本適用例によれば、第 1 接合部材および第 2 接合部材は、導電性を有するため、振動片と基板との間の機械的接合と電気的接合とを同時に行うことができる。従って、振動片と基板との間の機械的接合と電気的接合とを、それぞれ別の部材を用いて行う場合と比較して、振動デバイスに用いる部材を低減することができ、周波数温度特性の変動やヒステリシス等を低減した振動デバイスを効率よく製造することができる。

【 0 0 1 8 】

〔適用例 7〕上記適用例に係る振動デバイスにおいて、前記第 1 接合部材および前記第 2 接合部材の少なくとも一方は、金属バンプで構成されていることが好ましい。

【 0 0 1 9 】

本適用例によれば、第 1 接合部材および第 2 接合部材の少なくとも一方は、金属バンプ、例えば、めっき法やボンディング法等により形成された金属とすることができる。金属バンプは、接着剤等の樹脂部材と比較して、加熱や時間経過による金属バンプ内部からの気体の放出が少ない。従って、振動デバイスの特性変動、例えば、周波数温度特性の変動

10

20

30

40

50

やヒステリシス等を低減することができるとともに、振動デバイスの加熱や時間経過による特性変動、例えば、出力周波数や周波数温度特性や等価直列抵抗等の変動を低減することもできる。

【0020】

〔適用例8〕本適用例に係る電子機器は、上記のいずれかの振動デバイスを備えていることが好ましい。

【0021】

本適用例によれば、振動デバイスの周囲温度の変化にともなう振動片の伸びまたは縮み量と、基板の伸びまたは縮み量と、の差に応じて発生する応力が振動片に伝わることを低減して特性変動を低減した振動デバイスを用いることで、特性変動の小さい、例えば、周波数温度特性の変動やヒステリシス等が低減した、信頼性の高い電子機器を実現することができる。

10

【0022】

〔適用例9〕本適用例に係る移動体は、上記のいずれかの振動デバイスを備えていることが好ましい。

【0023】

本適用例によれば、振動デバイスの周囲温度の変化にともなう振動片の伸びまたは縮み量と、基板の伸びまたは縮み量と、の差に応じて発生する応力が振動片に伝わることを低減して特性変動を低減した振動デバイスを用いることで、特性変動の小さい、例えば、周波数温度特性の変動やヒステリシス等が低減した、信頼性の高い移動体を実現することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】第1実施形態に係る振動デバイスとしての水晶振動子100の概略構成図であり、図1(a)は平面図、図1(b)は図1(a)のA-A断面図。

【図2】第1実施形態に係る振動片10のたわみを説明する図であり、図2(a)は図1(a)で $L_1 = W_1$ としたときの第1仮想直線での断面図、図2(b)は図1(a)で $L_1 = W_2$ としたときの第1仮想直線での断面図。

【図3】第1実施形態に係る振動片10にかかる応力を説明する図であり、図3(a)は図1(a)の第2仮想直線での断面図、図3(b)は $L_1 = W_1$ 、および $L_1 = W_2$ としたときの応力分布の模式図。

30

【図4】 L_1 / L_2 と水晶振動子の周波数温度特性のヒステリシスとの関係を示す図。

【図5】第2実施形態に係る振動デバイスとしての水晶振動子200の概略構成図であり、図5(a)は平面図、図5(b)は図5(a)のB-B断面図。

【図6】第3実施形態に係る振動デバイスとしての水晶振動子300の概略構成図であり、図6(a)は平面図、図6(b)は図6(a)のC-C断面図。

【図7】第4実施形態に係る振動デバイスとしての水晶振動子400の概略構成図であり、図7(a)は平面図、図7(b)は図7(a)のD-D断面図、図7(c)は励振電極部の部分断面図。

【図8】第4実施形態に係る振動デバイスとしての水晶振動子400における振動片の変形例を示す概略構成図であり、図8(a)は変形例の一例である振動片410の平面図、図8(b)は図8(a)のE-E断面図、図8(c)は変形例の他の例である振動片510の平面図、図8(d)は図8(c)のF-F断面図、図8(e)は図7(d)の励振電極部の部分拡大断面図。

40

【図9】第5実施形態に係る振動デバイスとしての水晶振動子500の概略構成図であり、図9(a)は平面図、図9(b)は図7(a)のG-G断面図。

【図10】第6実施形態に係る電子機器としての発振器の概略構成図であり、図10(a)は平面図、図10(b)は図10(a)のH-H断面図。

【図11】第6実施形態に係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。

50

【図 1 2】第 6 実施形態に係る電子機器としての携帯電話機を示す斜視図。

【図 1 3】第 6 実施形態に係る電子機器としてのデジタルカメラを示す斜視図。

【図 1 4】第 7 実施形態に係る移動体としての自動車を示す斜視図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 5 】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。なお、以下の各図においては、各層や各部材を認識可能な程度の大きさにするため、各層や各部材の尺度を実際とは異ならせしめている。

【 0 0 2 6 】

< 第 1 実施形態 >

本実施形態に係る振動デバイスの一例としての水晶振動子 1 0 0 について説明する。水晶振動子 1 0 0 は、外部から印加される所定の交流電圧によって、所定の周波数で発振する振動デバイスである。

【 0 0 2 7 】

[水晶振動子]

まず、第 1 実施形態に係る振動デバイスとしての水晶振動子 1 0 0 の概略構成について説明する。図 1 は、第 1 実施形態に係る振動デバイスとしての水晶振動子 1 0 0 の概略図であり、図 1 (a) は平面図、図 1 (b) は図 1 (a) 中の A - A 断面図である。

【 0 0 2 8 】

水晶振動子 1 0 0 は、振動片 1 0、パッケージ 2 0、第 1 接合部材 4 1、第 2 接合部材 4 2、リッド 3 0 などから構成されている。なお、説明の便宜上、図 1 (a) ではリッド 3 0 の図示を省略している。また、以下の説明では、図 1 (b) 中の上側を「上」、下側を「下」として説明する。また、図 1 (b) 中の各部材の上側にある面を上面、下側にある面を下面として説明する。

【 0 0 2 9 】

[振動片]

振動片 1 0 は、圧電単結晶の一種である水晶で構成された水晶基板 1 1 と、励振電極 1 2 a、1 3 a、引出電極 1 2 b、1 3 b、および接続電極 1 2 c、1 3 c と、により構成されている。振動片 1 0 は、励振電極 1 2 a、1 3 a に所定の交流電圧が印加されることによって所定の共振周波数で振動する。

【 0 0 3 0 】

水晶基板 1 1 は、表裏の関係にある上面 1 1 a および下面 1 1 b と、第 1 辺 1 1 e と、を有している。水晶基板 1 1 の上面 1 1 a には、励振電極 1 2 a、および引出電極 1 2 b が形成されている。水晶基板 1 1 の下面 1 1 b には、励振電極 1 3 a、引出電極 1 3 b、および接続電極 1 2 c、1 3 c が形成されている。また、接続電極 1 2 c、1 3 c は、水晶基板 1 1 の下面 1 1 b の第 1 辺 1 1 e 側に、第 1 方向 5 4 に並んで配置されている。引出電極 1 2 b は、励振電極 1 2 a から上面 1 1 a と下面 1 1 b とをつなぐ側面を経由して接続電極 1 2 c まで延出されており、励振電極 1 2 a と接続電極 1 2 c とを電氣的に接続している。引出電極 1 3 b は、励振電極 1 3 a から接続電極 1 3 c まで延出されており、励振電極 1 3 a と接続電極 1 3 c とを電氣的に接続している。

【 0 0 3 1 】

励振電極 1 2 a、1 3 a は、平面視で、すなわち上から見て、矩形状をしており、略重なるように配置され、励振電極 1 2 a の中心と、励振電極 1 3 a の中心と、が略重なるように配置されている。また、水晶基板 1 1 には、励振電極 1 2 a、1 3 a で挟まれた振動領域 1 1 c を有している。ここで、励振電極 1 2 a、1 3 a の中心とは、励振電極 1 2 a、1 3 a のそれぞれを、上から見た形状の重心 (図心) である。

【 0 0 3 2 】

本実施形態では、励振電極 1 2 a の中心と励振電極 1 3 a の中心とが、略重なるように配置されているが、これに限らず、上から見て、励振電極 1 2 a と励振電極 1 3 a とが重なり、振動領域 1 1 c を有していればよい。なお、励振電極 1 2 a、1 3 a は、矩形状以

10

20

30

40

50

外にも、円形状、楕円形状、三角形形状等の多角形状等でもよいし、多角形状の角部を丸めた形状でもよい。

【0033】

励振電極12a, 13a、引出電極12b, 13b、および接続電極12c, 13cは、蒸着やスパッタ、めっき等の方法や、金属部材を含むペースト（溶剤）を塗布した後に金属以外の溶剤成分を揮発させる方法等によって形成される。また、励振電極12a, 13a、引出電極12b, 13b、および接続電極12c, 13cは、少なくとも下地層と上層の2層で構成されている。下地層の構成材料には、水晶基板11に対して密着性を有する材料が挙げられ、具体的には、クロム（Cr）、ニッケル（Ni）、チタン（Ti）、タングステン（W）等やこれらの金属元素の1種、または2種以上の混合物または合金が用いられる。一方、上層の構成材料には、電気伝導性が特に高い材料が挙げられ、具体的には、金（Au）、白金（Pt）、銀（Ag）、アルミニウム（Al）、銅（Cu）等の金属元素やこれらの金属元素の1種、または2種以上を含む混合物または合金が用いられる。なお、励振電極12a, 13a、引出電極12b, 13b、および接続電極12c, 13cは、1層で構成されていてもよく、例えば、金（Au）、白金（Pt）、銀（Ag）、アルミニウム（Al）、銅（Cu）等の金属元素やこれらの金属元素の1種、または2種以上を含む混合物または合金で構成されていてもよい。

10

【0034】

振動領域11cは、振動領域中心11dを有する。本実施形態では、励振電極12a, 13aは、上から見て、矩形状をしているとともに略重なるように配置されているため、振動領域11cは、上から見て、矩形状をしているとともに、振動領域中心11dと励振電極12a, 13aの中心とは略重なっている。ここで、振動領域中心11dは、振動領域11cを上から見た形状の重心点（図心）である。

20

【0035】

【パッケージ】

パッケージ20は、基板としての底板21と、側壁22と、シールリング23などから構成されており、底板21は、上面21aおよび下面21bを有している。

【0036】

具体的には、パッケージ20は、底板21の上面21aの周縁部に側壁22が積層されることによって、中央部が窪んだ形状の内部空間26（収納空間）が形成されており、この内部空間26には、振動片10が収納されている。パッケージ20の外形形状は限定されず、例えば、直方体状、円柱状などとすることができる。

30

【0037】

底板21、および側壁22は、振動片10やリッド30の熱膨張係数と一致、あるいは近い熱膨張係数を備えた材料によって形成されるのが好ましく、本実施形態ではセラミックを用いている。

【0038】

シールリング23は、側壁22とリッド30との接合材として、例えば、金ろうや銀ろう等の金属のろう材、ガラス、またはコパールなどの金属で形成されており、側壁22の上面に沿って枠状に設けられている。

40

【0039】

また、底板21の上面21aには、内部接続端子24a, 24bが形成されており、底板21の下面21bには、水晶振動子100の外部の回路や実装基板と少なくとも電氣的に接続される外部接続端子25が複数形成されている。

内部接続端子24a, 24bおよび複数の外部接続端子25は、例えば、タングステンメタライズ、ニッケルめっき、および金めっきの順に形成することにより得られる。

【0040】

内部接続端子24a, 24bは、底板21に配置されている配線（図示せず）によって、複数の外部接続端子25のうち異なる2つの外部接続端子25に電氣的に接続されている。また、複数の外部接続端子25は、外部の実装基板（図示せず）と少なくとも電氣的

50

に接続して、振動片 10 に交流電圧を供給したり、周波数などの電気信号を出力したりするために使用される電極である。

【0041】

[リッド]

リッド 30 は、パッケージ 20 の開口を覆う平板形状を有しており、例えば、コパールや 42 アロイなどの金属、セラミック、またはガラスなどで形成されている。

【0042】

リッド 30 は、パッケージ 20 の内部空間 26 に振動片 10 を収納した後、内部空間 26 が気密状態、となるようにシールリング 23 と接合される。気密状態とされた内部空間 26 は、その内部圧力が所望の圧力に設定されている。例えば、内部空間 26 を、真空（大気圧より低い圧力（ $1 \times 10^5 \text{ Pa} \sim 1 \times 10^{-10} \text{ Pa}$ （JIS Z 8126 - 1 : 1999））の圧力の状態）状態としたり、窒素やアルゴン等の不活性ガスが充てんされ大気圧と同等の圧力状態としたりすることで、振動片 10 は、より安定した振動を継続することができる。

10

【0043】

なお、本実施形態の内部空間 26 は、真空に密閉されている。内部空間 26 が真空に密閉されることにより、収納された振動片 10 の Q 値が高められ、さらに、振動片 10 の振動が安定した状態を継続することができる。

【0044】

[接合部材]

第 1 接合部材 41 と、第 2 接合部材 42 と、は、水晶基板 11 の下面 11b にある第 1 辺 11e が延伸する方向に並んで配置されている。

20

【0045】

第 1 接合部材 41 および第 2 接合部材 42 は、導電性の部材を含有する樹脂、例えば、導電性接着剤で形成されている。導電性の部材としては、例えば、金（Au）、銀（Ag）、銅（Cu）、アルミニウム（Al）、白金（Pt）等の金属元素やこれらの金属元素の一種または二種以上を含む混合物等の金属の微粒子や、前述の金属がめっきされた樹脂微粒子や、炭素微粒子等、である。樹脂としては、エポキシ系の樹脂、シリコン系の樹脂、ポリイミド系の樹脂、ポリアミド系の樹脂、またはアクリル系の樹脂等、が用いられる。

30

【0046】

第 1 接合部材 41 は、接続電極 12c と電気的および機械的に接続されているとともに、内部接続端子 24a と電気的および機械的に接続されている。第 2 接合部材 42 は、接続電極 13c と電気的および機械的に接続されているとともに、内部接続端子 24b と電気的および機械的に接続されている。換言すると、振動片 10 は、第 1 接合部材 41 および内部接続端子 24a と、且つ、第 2 接合部材 42 および内部接続端子 24b と、を介して、底板 21 に支持されている。すなわち、振動片 10 は、上から見て、第 1 辺 11e が励振電極 12a, 13a を挟んで向かい合う辺側の領域では、底板 21、側壁 22、シールリング 23、およびリッド 30 と接触しておらず、底板 21 に片持ち支持されている。

【0047】

第 1 接合部材 41 および第 2 接合部材 42 は、導電性を有するため、接続電極 12c と内部接続端子 24a との間と、接続電極 13c と内部接続端子 24b との間と、の機械的接合と電気的接合とを同時に行うことができる。従って、振動片 10 と底板 21 との機械的接合と電気的接合とをそれぞれ別の部材を用いて行う場合と比較して、振動デバイスに用いる部材を低減することができ、水晶振動子 100 を効率よく製造することができる。

40

【0048】

第 1 接合部材 41 の接続電極 12c 側、すなわち振動片 10 側の上面 41a は、第 1 接合中心 41b を有する。第 2 接合部材 42 の接続電極 13c 側、すなわち振動片 10 側の上面 42a は、第 2 接合中心 42b を有する。

【0049】

50

第1接合中心41bおよび第2接合中心42bは、それぞれ、第1接合部材41および第2接合部材42を上から見た形状、すなわち上面41aおよび上面42aを上から見た形状の重心点(図心)である。

【0050】

次に、振動領域11cと、第1接合部材41および第2接合部材42と、の関係について説明する。

【0051】

まず、第1接合中心41bと第2接合中心42bとを通る仮想線を第1仮想直線51とし、振動領域中心11dを通り第1仮想直線51と直交する仮想線を第2仮想直線52とする。なお、第1仮想直線51と第2仮想直線52との交点53は第1接合中心41bと第2接合中心42bとの間に配置される。すなわち、第1接合部材41と第2接合部材42とは、上から見て、第2仮想直線52を挟んで、第1辺11eが延伸する方向である第1方向54に並んで配置されている。

10

【0052】

ここで、第1接合中心41bから第2接合中心42bまでの距離をL1、振動領域中心11dから第1接合中心41bと第2接合中心42bとを結ぶ線におろした垂線の長さ、すなわち振動領域中心11dから交点53までの距離をL2として、以降に、上述のL1、およびL2と、ヒステリシスの関係について説明する。

【0053】

まず、水晶振動子100のヒステリシスについて説明する。振動片10の共振周波数は、水晶振動子100の周囲温度が上昇している過程における所定の温度Tでの共振周波数と、水晶振動子100の周囲温度が低下している過程における所定の温度Tでの共振周波数と、が異なる特性を有している。この周囲温度が上昇しているときと周囲温度が低下しているときとで異なる特性を有することを、ヒステリシスを持つという。これは、以下の理由によると考えられる。

20

【0054】

本実施形態に係る水晶振動子100は、振動片10と底板21とは同一の材料で構成されていないため、熱膨張係数が異なっており、水晶振動子100の周囲温度の変化にともなう振動片10の伸びまたは縮み量と、底板21の伸びまたは縮み量と、が異なる。従って、水晶振動子100の周囲温度が変化した場合には、振動片10の伸びまたは縮み量と、底板21の伸びまたは縮み量と、の差によって振動片10の内部に応力が発生することになる。

30

【0055】

また、振動片10が水晶振動子100の内部、すなわちパッケージ20の内部に第1接合部材41および第2接合部材42を介して接合されていることにより、水晶振動子100の周囲温度の変化は、底板21よりも振動片10の方が温度変化の伝わり方が遅くなる。すなわち、水晶振動子100の周囲温度が上昇している過程では、水晶振動子100の周囲温度が所定の温度Tとなったときでも、振動片10の温度は所定の温度Tよりも低い状態にあり、水晶振動子100の周囲温度が下降している過程では、水晶振動子100の周囲温度が所定の温度Tとなったときでも、振動片10の温度は所定の温度Tよりも高い状態にある。

40

【0056】

上述のことから、水晶振動子100の周囲温度が所定の温度Tであっても、周囲温度が上昇している過程か、下降している過程か、によって振動片10の温度が異なるので、振動片10の伸びまたは縮み量が異なる。従って、振動片10の伸びまたは縮み量と、底板21の伸びまたは縮み量と、の差によって振動片10に発生する応力は、水晶振動子100の周囲温度が上昇している過程で周囲温度が所定の温度Tになった場合と、周囲温度が下降している過程で周囲温度が所定の温度Tになった場合と、では異なる。

【0057】

また、所定の交流電圧が印加された場合の振動片10の共振周波数は、振動片10にか

50

かる応力によって変化することが知られている。

【 0 0 5 8 】

従って、振動片 1 0 を有する水晶振動子 1 0 0 の共振周波数は、水晶振動子 1 0 0 の周囲温度が上昇している過程における温度 T での共振周波数と、水晶振動子 1 0 0 の周囲温度が低下している過程における温度 T での共振周波数とが異なることになり、これをヒステリシス特性またはヒステリシスという。

【 0 0 5 9 】

上述の振動片 1 0 に応力がかかると振動片 1 0 の共振周波数が変化する理由は、振動片 1 0 が振動している状態において振動エネルギーが多く集まる振動領域 1 1 c に対しても応力がかかり、振動領域 1 1 c 内の振動エネルギーの分布が変化するためと考えられる。また、振動領域 1 1 c 内の一部に応力がかかる場合と比較して、振動領域 1 1 c の全体に応力がかかる場合、すなわち振動領域 1 1 c において応力がかかる領域が広がるほど、振動領域 1 1 c 内の振動エネルギーの分布に影響を与えるため、振動片 1 0 の共振周波数の変化量は大きくなると考えられる。以上のことから、水晶振動子 1 0 0 の周囲温度の変化にともなう振動片 1 0 の伸びまたは縮み量と、底板 2 1 の伸びまたは縮み量と、の間の差によって発生する応力が振動領域 1 1 c に伝わることを低減すれば、振動片 1 0 の共振周波数の変化が低減できると考えられる。

【 0 0 6 0 】

そこで、本願発明者は、振動領域 1 1 c、第 1 接合部材 4 1、および第 2 接合部材 4 2 と、振動片 1 0 内における応力分布と、の関係について検討を行った。

【 0 0 6 1 】

図 2 および図 3 は、水晶振動子の周囲温度が上昇または下降する過程において所定の温度 T となったときに、振動片 1 0 にかかる応力を説明する図である。図 2 (a) は、図 1 の $L 1 = W 1$ である水晶振動子 1 0 0 a において、水晶振動子 1 0 0 a の周囲温度が下降している過程で所定の温度 T となったときの、第 1 仮想直線 5 1 での断面方向から見た振動片 1 0 のたわみを示す図である。図 2 (b) は、図 1 の $L 1 = W 2$ である水晶振動子 1 0 0 b において、水晶振動子 1 0 0 b の周囲温度が下降している過程で所定の温度 T となったときの第 1 仮想直線 5 1 での断面方向から見た振動片 1 0 のたわみを示す図である。なお、 $W 1$ と $W 2$ とは、 $W 1 > W 2$ としている。また、水晶振動子 1 0 0 a と、水晶振動子 1 0 0 b と、は、交点 5 3 から振動領域中心 1 1 d までの距離 $L 2$ が同じである。

【 0 0 6 2 】

図 3 (a) は、図 1 (a) の第 2 仮想直線 5 2 での断面図である。図 3 (b) は、図 2 (a) の水晶振動子 1 0 0 a および図 2 (b) の水晶振動子 1 0 0 b において、周囲温度が所定の温度 T となったときの、第 2 仮想直線 5 2 が延伸する方向における振動片 1 0 内の応力分布を示す模式図であり、 $S a$ は水晶振動子 1 0 0 a における振動片 1 0 内の応力分布を、 $S b$ は水晶振動子 1 0 0 b における振動片 1 0 内の応力分布を示す。また、図 3 (b) において、縦軸は応力 $S [N / m^2]$ の絶対値を、横軸は交点 5 3 からの距離 $D [mm]$ を表わす。なお、図 3 (a)、(b) では、交点 5 3 から振動領域中心 1 1 d に対して第 1 仮想直線 5 1 側にある振動領域 1 1 c の端部 5 5 までの距離を $d 1$ 、第 1 仮想直線 5 1 から振動領域中心 1 1 d までの距離を $d 2$ 、交点 5 3 から振動領域中心 1 1 d に対して第 1 仮想直線 5 1 の反対側にある振動領域 1 1 c の端部 5 6 までの距離を $d 3$ 、としている。

【 0 0 6 3 】

なお、説明の便宜上、図 2 (a)、(b)、図 3 (a) では、側壁 2 2、シールリング 2 3、および外部接続端子 2 5 の図示を省略している。また、水晶振動子 1 0 0 a、1 0 0 b とともに、振動片 1 0 内における励振電極 1 2 a、1 3 a の配置は、同じである。

【 0 0 6 4 】

上述のヒステリシスについての説明のとおり、水晶振動子 1 0 0 a、1 0 0 b の周囲温度が変化すると、熱の伝わり方の違いによって振動片 1 0 と底板 2 1 とに温度差が生じる。一例として、水晶振動子 1 0 0 a、1 0 0 b の周囲温度が下降している過程において、周

囲温度が所定の温度 T となったときでは、底板 21 の温度が所定の温度 T となっても、振動片 10 の温度は所定の温度 T よりも高い状態となる。このため、例えば、振動片 10 と底板 21 とが同じ値の正の熱膨張係数を持つ場合、所定の温度 T においては振動片 10 の温度の方が底板 21 の温度よりも高くなるため、振動片 10 の伸び量の方が底板 21 の伸び量よりも大きくなり、振動片 10 が厚さ方向にたわむ。

【0065】

図2(a)、(b)に、水晶振動子 $100a$ 、 $100b$ の周囲温度が下降している過程において、所定の温度 T となったときの振動片 10 のたわみを示す。この図から、振動片 10 に発生するたわみは、図2(b)の $L1=W2$ の水晶振動子 $100b$ でのたわみ 2 の方が、図2(a)の $L1=W1$ の水晶振動子 $100a$ でのたわみ 1 よりも小さい。これは、振動片 10 を支持している接合部材の間隔である第1接合中心 $41b$ から第2接合中心 $42b$ までの距離 $L1$ が、水晶振動子 $100b$ での距離 $W2$ の方が、水晶振動子 $100a$ での距離 $W1$ よりも短いため、振動片 10 の伸びまたは縮み量と、底板 21 の伸びまたは縮み量と、の差の絶対値が小さくなるためである。

10

【0066】

図3(b)は、図3(a)の断面部の第2仮想直線 52 が延伸する方向において、図2(a)、(b)に示すたわみによって振動片 10 内に発生する応力の分布を示す模式図である。図3(b)から、振動片 10 内の応力の分布は、 Sa および Sb ともに、 $D=0$ 最大値となり、その値は、それぞれ $Sa0$ および $Sb0$ である。また、 Sa 、 Sb ともに、交点 53 からの距離 D が大きくなるに従って、応力が減少する。

20

【0067】

また、振動片 10 内の応力の分布は、 Sb の方が Sa よりも交点 53 からの距離 D の値が大きくなるにつれて早く減少する。さらに、図3(b)において、 $D=d1$ 、 $D=d2$ および $D=d3$ の全ての部分で、 Sb の方が、 Sa よりも小さくなる。すなわち、 $L1=W2$ の水晶振動子 $100b$ の振動領域 $11c$ 内に分布する応力の方が、 $L1=W1$ の水晶振動子 $100a$ の振動領域 $11c$ 内に分布する応力よりも小さくなる。

【0068】

上述のように、振動片 10 内の応力分布は、第1接合中心 $41b$ から第2接合中心 $42b$ までの距離 $L1$ によって変化し、 $L1$ が短い方が、 $L1$ が長い場合と比較して、振動領域 $11c$ 内にかかる応力を減少させることができる。

30

【0069】

しかし、振動領域 $11c$ 内にかかる応力は、 $L1$ の長さを規定しただけでは低減させることができない場合がある。なぜならば、振動領域中心 $11d$ から交点 53 までの距離 $L2$ は、励振電極 $13a$ と、第1接合部材 41 および第2接合部材 42 と、が直接接触しない範囲であれば任意の値にできるため、振動領域 $11c$ が応力の大きな領域に配置される場合があるためである。図2および図3に示す水晶振動子 $100b$ では $L2=d2$ であるが、例えば、水晶振動子 $100b$ における $L2$ の値を励振電極 $13a$ が第1接合部材 41 および第2接合部材 42 に直接接触しない範囲で $d2$ よりも短くすることが可能であり、 $L2$ を $d2$ よりも短くした場合には、 $L2=d2$ の場合と比較して、振動領域 $11c$ 内に分布する応力は大きくなる。なお、水晶振動子 $100a$ においても、上述と同様のことが言える。

40

【0070】

以上のことから、振動領域 $11c$ 内の応力分布は、第1接合中心 $41b$ から第2接合中心 $42b$ までの距離 $L1$ および振動領域中心 $11d$ から交点 53 までの距離 $L2$ それぞれの絶対値ではなく、 $L1$ と $L2$ との比に関係すると考えられる。

【0071】

上述のように、振動片 10 を有する水晶振動子 100 は、振動片 10 にかかる応力に応じたヒステリシスを持つと考えられ、水晶振動子 100 のヒステリシスを低減するためには、第1接合部材 41 および第2接合部材 42 と、振動領域 $11c$ と、の位置関係が重要であると考えられる。従って、本願発明者は、水晶振動子 100 のヒステリシスが、第1

50

接合中心 4 1 b から第 2 接合中心 4 2 b までの距離 L_1 と、振動領域中心 1 1 d から交点 5 3 までの距離 L_2 と、の比である L_1 / L_2 、に關係すると考えて実験を行ない、図 3 に示す結果を得た。

【 0 0 7 2 】

本実験に用いた振動片 1 0 は、図 1 (a) に示す第 1 方向 5 4 の短辺が 1 . 2 5 mm、第 1 方向 5 4 と交差する方向の長辺が 1 . 8 0 mm の矩形 (長方形) である。励振電極 1 2 a , 1 3 a は、上から見て、矩形状であるとともに略重なるように配置され、振動片 1 0 の短辺に沿った方向に短辺が、振動片 1 0 の長辺に沿った方向に長辺が配置されている。

【 0 0 7 3 】

励振電極 1 2 a , 1 3 a は、短辺が 0 . 9 0 mm、長辺が 1 . 0 8 mm の矩形 (長方形) である。

【 0 0 7 4 】

振動片 1 0 の中心および励振電極 1 2 a , 1 3 a の中心は、第 1 仮想直線 5 1 と略重なっている。振動領域 1 1 c は、上から見て、励振電極 1 2 a , 1 3 a の中心が略重なっているため、励振電極 1 2 a , 1 3 a と略同じ大きさおよび位置に配置されている。

【 0 0 7 5 】

第 1 接合中心 4 1 b および第 2 接合中心 4 2 b は、第 1 辺 1 1 e に沿った方向に並んでいるとともに、上から見て、第 1 接合中心 4 1 b から第 1 辺 1 1 e までの距離および第 2 接合中心 4 2 b から第 1 辺 1 1 e までの距離は、0 . 1 7 5 mm である。

【 0 0 7 6 】

また、振動片 1 0、励振電極 1 2 a , 1 3 a、および振動領域 1 1 c は、上から見て、第 2 仮想直線 5 2 に対して略線対称に配置されており、振動領域中心 1 1 d から交点 5 3 までの距離は、0 . 8 2 5 mm である。また、本実施形態の実験において、第 1 接合部材 4 1 の上面 4 1 a および第 2 接合部材 4 2 の上面 4 2 a は、それぞれ、第 1 接合中心 4 1 b を中心とした直径 0 . 3 5 mm の円および第 2 接合中心 4 2 b を中心とした直径 0 . 3 5 mm の円となっている。また、本実験では、振動領域中心 1 1 d から交点 5 3 までの距離 L_2 を略一定にして、第 1 接合中心 4 1 b から第 2 接合中心 4 2 b まで距離 L_1 を変化させて L_1 / L_2 の値を変化させている。

【 0 0 7 7 】

図 4 は、 L_1 / L_2 と水晶振動子 1 0 0 のヒステリシスとの關係を示す図である。ここで、ヒステリシスは、後述するように、温度下降時の各温度における水晶振動子 1 0 0 の共振周波数と、温度上昇時の各温度における水晶振動子 1 0 0 の共振周波数と、を測定し、それぞれの温度における温度下降時の共振周波数と、温度上昇時の共振周波数と、の差の絶対値を求め、その値の最大値としている。

【 0 0 7 8 】

また、図 4 における、水晶振動子 1 0 0 のヒステリシスは、以下のようにして測定および計算をしている。本実験では、 L_1 / L_2 が 0 . 3 6、0 . 5 0、0 . 7 0、0 . 8 0、0 . 9 0 の 5 種類の水晶振動子 1 0 0 についてヒステリシスの測定および計算を行った。本実験における水晶振動子 1 0 0 のヒステリシスの測定および計算は、以下に示す方法を用いた。

【 0 0 7 9 】

まず、水晶振動子 1 0 0 の周囲温度を、常温 (+ 2 5)、から + 8 5 まで加熱する。そして、水晶振動子 1 0 0 の周囲温度を + 8 5 から - 4 0 まで下降させつつ、5 の温度間隔で、温度下降時の水晶振動子 1 0 0 の共振周波数を測定する。次に、水晶振動子 1 0 0 の周囲温度を - 4 0 から + 8 5 まで上昇させつつ、温度下降時に共振周波数を測定した温度で、温度上昇時の水晶振動子 1 0 0 の共振周波数を測定する。次に、温度下降時および温度上昇時に測定された同一温度条件での水晶振動子 1 0 0 の共振周波数に対して、温度下降時の共振周波数と温度上昇時の共振周波数との差である差周波数を求める。次に、各温度条件での差周波数を水晶振動子 1 0 0 の公称周波数 (常温 (+ 2 5)

10

20

30

40

50

での共振周波数)で正規化して、各温度条件での正規化された周波数を求める。最後に、各温度条件での正規化された周波数のうち、絶対値が最大となる値を求め、その値を水晶振動子100のヒステリシスとして抽出する。本実験に用いたL1/L2が5種類の水晶振動子100について、上記の測定を行って、それぞれのL1/L2における水晶振動子100のヒステリシスを計算する。

【0080】

図4から、第1接合中心41bから第2接合中心42bまでの距離L1と、振動領域中心11dから交点53までの距離L2と、の比であるL1/L2が0.97のとき、水晶振動子100のヒステリシスは0.07ppmとなっている。また、図4から、L1/L2に0.36よりも小さな値を外挿しても、さらに水晶振動子100のヒステリシスが小さくなることわかる。従って、 $0 < L1/L2 < 0.97$ の範囲において、水晶振動子100のヒステリシスは0.07ppm以下を満たしている。また、 $L1/L2 = 0.85$ のとき、水晶振動子100のヒステリシスは0.05ppmとなっている。従って、 $0 < L1/L2 < 0.85$ の範囲において、水晶振動子100のヒステリシスは0.05ppm以下となっている。

【0081】

水晶振動子100のヒステリシスは、水晶振動子100や水晶振動子100を用いた発振器等を基準周波数源として電子機器などの製品に用いる場合には、電子機器の性能を低下させないために絶対値が小さいことが要求される。特に、水晶振動子100や水晶振動子100を用いた発振器等が、例えば、携帯電話機のフェムトセル用基地局装置等の基準周波数源に用いられる場合には、水晶振動子100や水晶振動子100を用いた発振等の周波数温度特性の変動は、0.25ppm以下が求められており、この値を満足するために、ヒステリシスは0.1ppm以下が求められている。従って、水晶振動子100や水晶振動子100を用いた発振器等のヒステリシスは、0.07ppm以下であることが好適である。

【0082】

また、水晶振動子100や水晶振動子100を用いた発振器等がさらに高い周波数精度が要求される電子機器に使用される場合、例えば、GPS信号と同期をとるための装置や、携帯電話機のマクロセル用基地局装置や、光ネットワーク(基幹系)用基地局装置等に用いられる場合には、水晶振動子100や水晶振動子100を用いた発振等のヒステリシスは、0.05ppm以下であることが好適である。

【0083】

以上述べたように、本実施形態に係る水晶振動子100によれば、以下の効果を得ることができる。水晶振動子100において、例えば、水晶振動子100の周囲温度の変化にともなう振動片10の伸びまたは縮み量と、底板21の伸びまたは縮み量と、の差によって応力が発生した場合でも、L1/L2が、

$$0 < L1/L2 < 0.97$$

の関係を満足することによって、振動片10の振動領域11cに伝わる応力を低減させることができる。その結果、水晶振動子100の特性変動、例えば、ヒステリシスの大きさを低減することができる。

【0084】

また、水晶振動子100において、例えば、水晶振動子100の周囲温度の変化にともなう振動片10の伸びまたは縮み量と、底板21の伸びまたは縮み量と、の差によって応力が発生した場合でも、L1/L2が、

$$0 < L1/L2 < 0.85$$

の関係を満足することによって、振動片10の振動領域11cに伝わる応力をさらに低減させることができる。その結果、水晶振動子100の特性変動、例えば、ヒステリシスの大きさを $0 < L1/L2 < 0.97$ 場合と比較してさらに低減することができる。

【0085】

なお、本実験においては、第1接合部材41の上面41aおよび第2接合部材42の上

10

20

30

40

50

面 4 2 a の直径が 0 . 3 5 m m であるため、L 1 の下限値としては、第 1 接合部材 4 1 と第 2 接合部材 4 2 とが電氣的に接続しない範囲として、0 . 3 5 m m より大きいことが好適である。すなわち、 $L 1 / L 2$ が、

$$0 . 4 2 5 < L 1 / L 2 \leq 0 . 9 7$$

の関係を満足することが好適である。

【 0 0 8 6 】

また、第 1 接合部材 4 1 および第 2 接合部材 4 2 を導電性接着剤で形成する場合には、第 1 接合部材 4 1 の上面 4 1 a および第 2 接合部材 4 2 の上面 4 2 a の直径は 0 . 1 5 m m 以下で形成することもできるため、L 1 の下限値としては、第 1 接合部材 4 1 と第 2 接合部材 4 2 とが電氣的に接続しない範囲として、0 . 1 5 m m より大きいことが好適である。すなわち、 $L 1 / L 2$ が、

$$0 . 1 8 5 < L 1 / L 2 \leq 0 . 9 7$$

の関係を満足することが好適である。

【 0 0 8 7 】

また、本実験においては、水晶振動子 1 0 0 の周囲温度を下降させたときの共振周波数の測定を先に行っているが、これに限らず、水晶振動子 1 0 0 の周囲温度を上昇させたときの共振周波数の測定を先に行ってもよい。また、測定する温度間隔についても、上記実験で設定した 5 間隔に限らず、ヒステリシスが計算できる温度間隔であればよく、例えば、0 . 5 以上 1 0 以下の範囲内の温度間隔でもよい。さらに、上記実験において、常温を + 2 5 としているが、これに限らず、例えば、常温は 0 以上 + 4 0 以下の範囲としてもよい。

【 0 0 8 8 】

また、本実施形態では、振動片 1 0 に水晶基板 1 1 を用いているが、振動片 1 0 は、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウムなどの他の圧電単結晶で構成されていてもよい。振動片 1 0 が水晶以外の圧電単結晶で構成される場合には、水晶で構成された場合と同様の特性が得られるように、結晶の方位（カット角）などが選択される。振動片 1 0 は、圧電振動片以外にも、弾性表面波素子や MEMS 振動片等を用いることができる。また、振動片 1 0 は、圧電単結晶以外にも、ジルコン酸チタン酸鉛等の圧電セラミックス等の圧電材料、又はシリコン基板等で構成されていてもよい。さらに、振動片 1 0 の形状は、特に限定されず、二脚音叉、H 型音叉、三脚音叉、くし歯型、直交型、角柱型等の形状であってもよい。振動片 1 0 の励振手段としては、圧電効果によるものを用いてもよいし、クーロン力による静電駆動を用いてもよい。加えて、振動片 1 0 としては、物理量を検出する素子、例えば、慣性センサー（加速度センサー、ジャイロセンサー等）、力センサー（傾斜センサー等）用の素子であってもよい。

【 0 0 8 9 】

また、振動片 1 0、励振電極 1 2 a、1 3 a については、本実験に用いた形状や大きさ以外にも、各種の形状や大きさとすることができる。さらに、第 1 接合部材 4 1 の上面 4 1 a および第 2 接合部材 4 2 の上面 4 2 a については、本実験に用いた形状や大きさ以外にも、各種の形状や大きさとすることができる。

【 0 0 9 0 】

また、本実施形態では、第 1 接合部材 4 1 および第 2 接合部材 4 2 は導電性を有する部材を用いているが、これに限らず、第 1 接合部材 4 1 および第 2 接合部材 4 2 の少なくとも一方が導電性を有さない部材、例えば、導電性の部材を含有しない樹脂やガラス等であってもよい。第 1 接合部材 4 1 および第 2 接合部材 4 2 が導電性を有さない部材の場合は、例えば、振動片 1 0 は第 1 接合部材 4 1 および第 2 接合部材 4 2 を介して底板 2 1 に機械的に支持され、励振電極 1 2 a と内部接続端子 2 4 a と、および励振電極 1 3 a と内部接続端子 2 4 b と、は、ボンディングワイヤー等の導電性部材を介して電氣的に接続することができる。また、第 1 接合部材 4 1 および第 2 接合部材 4 2 のうち、一方が導電性を有し他方が導電性を有さない部材であっても、導電性を有さない方の接合部材側は上記と同様の方法を用いて機械的接続および電氣的接続を行い、導電性を有する方の接合部材側

は第 1 実施形態と同様の機械的接続および電氣的接続を行うことができる。

【 0 0 9 1 】

このように、第 1 接合部材 4 1 および第 2 接合部材 4 2 の少なくとも一方に導電性を有さない部材を用いても、第 1 実施形態の少なくとも一部の効果を得ることができる。すなわち、第 1 接合部材 4 1 および第 2 接合部材 4 2 の少なくとも一方に導電性を有さない部材を用いても、振動片 1 0 は第 1 接合部材 4 1 および第 2 接合部材 4 2 を介して底板 2 1 に機械的に接続されている。従って、振動領域 1 1 c、第 1 接合部材 4 1、および第 2 接合部材 4 2 が、

$$0 < L_1 / L_2 \leq 0.97$$

の関係を、満足すれば、水晶振動子 1 0 0 の周囲温度の変化にともなう振動片 1 0 の伸びまたは縮み量と、底板 2 1 の伸びまたは縮み量と、の差によって発生した応力が振動片 1 0 の振動領域 1 1 c に伝わることを低減できる。その結果として、水晶振動子 1 0 0 の特性変動、例えば、ヒステリシスの大きさを低減することができるためである。

【 0 0 9 2 】

さらに、本実施形態において、振動デバイスの一例として振動片 1 0 を有する水晶振動子 1 0 0 を例示して説明したが、これに限らず、各種の振動デバイスに応用することができる。振動デバイスの例としては、物理量を検出するための素子と、素子からの信号を検出する検出回路または素子を発振させるための発振回路と、を有する、慣性センサー（加速度センサー、ジャイロセンサー等）、力センサー（傾斜センサー等）等のセンサーでもよい。上述の発振回路および検出回路は、例えば、底板 2 1 の内部空間 2 6 側に配置されていてもよいし、底板 2 1 の複数の外部接続端子 2 5 が形成されている側に配置されていてもよい。また、上述の発振回路および検出回路は、振動デバイスと離れて配置され、振動デバイスの複数の外部接続端子 2 5 を介して振動片 1 0 と電氣的に接続されていてもよい。

【 0 0 9 3 】

< 第 2 実施形態 >

第 2 実施形態に係る振動デバイスの一例として、水晶振動子 2 0 0 について説明する。なお、上記第 1 実施形態に係る水晶振動子 1 0 0 と同じ構成要素については、同一符号を付して説明を省略し、上記第 1 実施形態に係る水晶振動子 1 0 0 と異なる部分を中心に説明する。

【 0 0 9 4 】

図 5 は、第 2 実施形態に係る振動デバイスとしての水晶振動子 2 0 0 の概略図であり、図 5 (a) は平面図、図 5 (b) は図 5 (a) 中の B - B 断面図である。

【 0 0 9 5 】

[振動片]

図 5 に示すように、水晶振動子 2 0 0 は、振動片 1 1 0 が第 1 実施形態とは異なり、上から見て、第 1 接合中心 4 1 b と第 2 接合中心 4 2 b とを結ぶ第 1 仮想直線 5 1 と、下面 1 1 1 b の励振電極 1 1 3 a と、の間に、水晶基板 1 1 1 の下面 1 1 1 b 側に窪み 1 1 1 f が形成されている。また、窪み 1 1 1 f は、第 1 方向 5 4 に沿った方向において、第 1 接合中心 4 1 b から第 2 接合中心 4 2 b まで延設されている。

【 0 0 9 6 】

窪み 1 1 1 f の部分の水晶基板 1 1 1 の上面 1 1 1 a および下面 1 1 1 b と交差する方向の距離、すなわち窪み 1 1 1 f の厚さ T 1 は、窪み 1 1 1 f が形成されていない水晶基板 1 1 1 の厚さ T 2 よりも薄くなっている。また、窪み 1 1 1 f は、上から見て、水晶基板 1 1 1 の第 1 方向 5 4 の端部よりも内側に形成されている。

【 0 0 9 7 】

本実施形態の水晶振動子 2 0 0 は、周囲温度の変化にともなう水晶振動子 2 0 0 の伸びまたは縮み量と、振動片 1 1 0 と底板 2 1 の伸びまたは縮み量と、の間の差によって発生する応力が、振動片 1 1 0 の振動領域 1 1 1 c、すなわち図 5 (a) の水晶基板 1 1 1 において励振電極 1 1 2 a、1 1 3 a と重なっている領域、および図 5 (b) の水晶基板 1

10

20

30

40

50

11において網掛けハッチングされている領域へは、窪み111fのある領域を介して振動領域111cに伝わる。水晶基板111の窪み111fの厚さT1は、水晶基板111の厚さT2よりも薄い。厚さT1の領域を介して厚さT2の領域に応力が伝わる場合、厚さT1の領域は厚さT2の領域と比較して、より大きくひずむことで応力を吸収するため、厚さT2の領域に伝わる応力は低減する。従って、水晶振動子200の周囲温度の変化にともなう振動片110の伸びまたは縮み量と、基板としての底板21の伸びまたは縮み量と、の間の差によって発生する応力は、窪み111fをひずませることで、振動領域111cに伝わりにくくなる。

【0098】

以上述べたように、本実施形態に係る水晶振動子200によれば、振動領域111c、
第1接合部材41、および第2接合部材42が、

$$0 < L1 / L2 \leq 0.97$$

の関係を、満足することにより、第1実施形態に係る水晶振動子100における効果に加えて、以下の効果を得ることができる。本実施形態の水晶振動子200では、第1実施形態と比較して、周囲温度の変化にともなう振動片110の伸びまたは縮み量と、底板21の伸びまたは縮み量と、の差によって発生して振動領域11cに伝わる応力がさらに低減する。従って、第1実施形態と比較して、水晶振動子200の特性変動、例えば、ヒステリシスの大きさをさらに低減することができる。

【0099】

なお、窪み111fが形成される位置は、本実施形態の位置以外でもよい。窪み111fは、例えば、上から見て、第1接合中心41bと励振電極112a、113aとの間と、第2接合中心42bと励振電極112a、113aとの間と、の2箇所以上に分離して形成されていてもよい。さらに、窪み111fは、第1仮想直線51と、励振電極112a、113aと、の間であれば、第1方向54と交差する方向において、2箇所以上に形成されていてもよい。

【0100】

< 第3実施形態 >

第3実施形態に係る振動デバイスの一例として、水晶振動子300について説明する。なお、上記第1実施形態に係る水晶振動子100と同じ構成要素については、同一符号を付して説明を省略し、上記第1実施形態に係る水晶振動子100と異なる部分を中心に説明する。

【0101】

図6は、第3実施形態に係る振動デバイスとしての水晶振動子300の概略図であり、図6(a)は平面図、図6(b)は図6(a)中のC-C断面図である。

【0102】

[振動片]

図6に示すように、水晶振動子300は、振動片210が第1実施形態とは異なり、上から見て、第1接合中心41bと第2接合中心42bとを結ぶ第1仮想直線51と、励振電極212a、213aと、の間に、水晶基板211の上面211aから下面211bまでを貫通する孔211gが形成されている。また、孔211gは、第1方向54に沿った方向において、第1接合中心41bから第2接合中心42bまで延設されている。

【0103】

本実施形態の水晶振動子300は、周囲温度の変化にともなう振動片210の伸びまたは縮み量と、底板21の伸びまたは縮み量と、の間の差によって発生する応力が、振動片210の振動領域211c、すなわち図6(a)の水晶基板211において励振電極212a、213aと重なっている領域、および図6(b)の水晶基板211において網掛けハッチングされている領域へは、水晶基板211の孔211gに隣接していない領域および孔211gに隣接した領域の両方を介して振動領域211cに伝わる。水晶基板211の孔211gに隣接した領域は、孔211gに隣接していない領域よりもひずみやすい。その結果、水晶振動子300の周囲温度の変化にともなう振動片210の伸びまたは縮み

10

20

30

40

50

量と、基板としての底板 2 1 の伸びまたは縮み量と、の間の差によって発生する応力は、孔 2 1 1 g に隣接した領域をひずませることで、振動領域 2 1 1 c に伝わりにくくなる。

【 0 1 0 4 】

以上述べたように、本実施形態の水晶振動子 3 0 0 によれば、振動領域 2 1 1 c、第 1 接合部材 4 1、および第 2 接合部材 4 2 が、

$$0 < L1 / L2 = 0.97$$

の関係を、満足することにより、第 1 実施形態に係る水晶振動子 1 0 0 における効果に加えて、以下の効果を得ることができる。本実施形態の水晶振動子 3 0 0 では、第 1 実施形態と比較して、水晶振動子 3 0 0 の周囲温度の変化にともなう振動片 2 1 0 の伸びまたは縮み量と、底板 2 1 の伸びまたは縮み量と、の間の差によって発生して振動領域 2 1 1 c に伝わる応力がさらに低減する。従って、第 1 実施形態と比較して、水晶振動子 3 0 0 の特性変動、例えば、ヒステリシスの大きさをさらに低減することができる。

【 0 1 0 5 】

なお、孔 2 1 1 g の形成される位置は、本実施形態の位置以外でもよい。孔 2 1 1 g は、例えば、上から見て、第 1 接合中心 4 1 b と励振電極 2 1 2 a、2 1 3 a との間と、第 2 接合中心 4 2 b と励振電極 2 1 2 a、2 1 3 a との間と、の 2 箇所以上に形成されていてもよい。さらに、孔 2 1 1 g は、第 1 仮想直線 5 1 と、励振電極 2 1 2 a、2 1 3 a と、の間であれば、第 1 方向 5 4 と交差する方向において、2 箇所以上に形成されていてもよい。

【 0 1 0 6 】

< 第 4 実施形態 >

第 4 実施形態に係る振動デバイスの一例として、水晶振動子 4 0 0 について説明する。なお、上記第 1 実施形態に係る水晶振動子 1 0 0 と同じ構成要素については、同一符号を付して説明を省略し、上記第 1 実施形態に係る水晶振動子 1 0 0 と異なる部分を中心に説明する。

【 0 1 0 7 】

図 7 は、第 4 実施形態に係る振動デバイスとしての水晶振動子 4 0 0 の概略図であり、図 7 (a) は平面図、図 7 (b) は図 7 (a) 中の D - D 断面図、図 7 (c) は図 7 (b) の励振電極部の部分断面図である。

【 0 1 0 8 】

[振動片]

本実施形態の水晶振動子 4 0 0 は、振動片 3 1 0 において、水晶基板 3 1 1 の上面および下面と交差する方向の距離、すなわち水晶基板 3 1 1 の厚さが、第 1 の厚さ T 3 を有する第 1 領域 3 1 1 h と、T 3 よりも薄い厚さ T 4 を有する第 2 領域 3 1 1 k と、を有し、いわゆるメサ型の構造を持っている。水晶基板 3 1 1 は、上から見て、第 1 領域 3 1 1 h が第 2 領域 3 1 1 k に囲まれた形状をしている。

【 0 1 0 9 】

図 7 (a) に示すように、励振電極 3 1 2 a、3 1 3 a は、上から見て、矩形状をしており、略重なるように配置されている。すなわち、上から見て、励振電極 3 1 2 a の中心と、励振電極 3 1 3 a の中心とが、略重なるように配置されている。また、水晶基板 3 1 1 には、励振電極 3 1 2 a、3 1 3 a で挟まれた振動領域 3 1 1 c、すなわち図 7 (a) の水晶基板 3 1 1 において励振電極 3 1 2 a、3 1 3 a と重なっている領域、および図 7 (b) の水晶基板 3 1 1 において網掛けハッチングされている領域を有している。さらに、励振電極 3 1 2 a、3 1 3 a は、上から見て、第 1 方向 5 4 においては第 1 領域 3 1 1 h と重なるように、第 1 方向 5 4 と交差する方向においては第 1 領域 3 1 1 h および第 2 領域 3 1 1 k と重なるように配置されている。

【 0 1 1 0 】

振動領域 3 1 1 c は、振動領域中心 3 1 1 d を有する。振動領域 3 1 1 c は、励振電極 3 1 2 a、3 1 3 a が上述の配置となっているため、上から見て、矩形状をしており、振動領域中心 3 1 1 d と励振電極 3 1 2 a、3 1 3 a の中心とは、略重なっている。

【0111】

振動領域中心311dと第1領域311hの中心とは、上から見て、略重なるように配置されている。また、本実施形態では、第1領域311hは、振動領域311cの大部分と重なっている。振動領域311cの大部分とは、例えば80%以上であることが好ましい。なお、上述した励振電極312a, 313aの中心、振動領域中心311d、および第1領域311hの中心は、それぞれ、励振電極312a, 313aを上から見た形状の重心(図心)、振動領域311cを上から見た形状の重心(図心)、および第1領域311hを上から見た形状の重心(図心)である。

【0112】

また、図7(b), (c)に示すように、励振電極312aは、第1方向54と交差する方向において、第1領域311hの上面と、第1領域311hの上面と第2領域311kの上面とをつなぐ側面311mと、第2領域311kの上面と、に連続して配置されている。励振電極313aは、第1方向54と交差する方向において、第1領域311hの下面と、第1領域311hの下面と第2領域311kの下面とをつなぐ側面311nと、第2領域311kの下面と、に連続して配置されている。

【0113】

本実施形態の水晶振動子400は、上から見て、振動領域中心311dが、第1の厚さT3を持つ第1領域311hと重なっていると同時に、第1接合中心41bおよび第2接合中心42bが、T3よりも薄い厚さT4を持つ第2領域311kと重なっている。すなわち、振動片310は、振動片310が振動している状態において振動エネルギーの多くが集まる第1領域311hの厚さT3よりも薄い厚さT4を持つ第2領域311kで、第1接合部材41および第2接合部材42を介して底板21に支持されている。このため、水晶振動子400の周囲温度の変化にともなう振動片310の伸びまたは縮み量と、基板としての底板21の伸びまたは縮み量と、の間の差によって発生する応力は、第2領域311kを介して振動領域311cに伝わる。厚さT4の領域を介して厚さT3の領域に応力が伝わる場合、厚さT4の領域は厚さT3の領域と比較してより大きくひずむことで応力を吸収するため、厚さT3の領域に伝わる応力は低減する。従って、水晶振動子400の周囲温度の変化にともなう振動片310の伸びまたは縮み量と、底板21の伸びまたは縮み量と、の間の差によって発生する応力は、振動片310の第2領域311kをひずませることで、振動領域311cに伝わりにくくなる。

【0114】

以上述べたように、本実施形態に係る水晶振動子400によれば、振動領域311c、第1接合部材41、および第2接合部材42が、

$$0 < L1 / L2 \leq 0.97$$

の関係を、満足することにより、第1実施形態に係る水晶振動子100における効果に加えて、以下の効果を得ることができる。本実施形態の水晶振動子400では、第1実施形態と比較して、水晶振動子400の周囲温度の変化にともなう振動片310の伸びまたは縮み量と、底板21の伸びまたは縮み量と、の間の差によって発生して振動領域311cに伝わる応力がさらに低減する。従って、第1実施形態と比較して、水晶振動子400の特性変動、例えば、ヒステリシスの大きさをさらに低減することができる。

【0115】

なお、本実施形態の振動片310は、上から見て、励振電極312a, 313aの中心、振動領域中心311d、および第1領域311hの中心が略重なるように配置されているが、これに限らず、上から見て、振動領域中心311dと第1領域311hとが重なるように励振電極312a, 313aが配置されていればよい。また、励振電極312a, 313aは、上から見て、一方の励振電極が他方の励振電極の内側に配置されていてもよいし、両方の励振電極が第1領域311hのみと重なるように配置されていてもよい。

【0116】

< 振動片の変形例 >

本実施形態に係る振動デバイスにおいて、振動片は、図7に示した振動片310の形状

10

20

30

40

50

以外でもよい。振動片の変形例について、図8を用いて説明する。なお、第1実施形態に係る振動片10または第4実施形態に係る振動片310と同じ構成要素については、同一符号を付して説明を省略し、第1実施形態に係る振動片10または第4実施形態に係る振動片310と異なる部分を中心に説明する。

【0117】

図8は、本実施形態に係る振動片の変形例を示す概略図であり、図8(a)は、変形例の一例である振動片410の平面図、図8(b)は、図8(a)中のE-E断面図、図8(c)は、変形例の他の例である振動片510の平面図、図8(d)は、図8(c)中のF-F断面図、図8(e)は図8(d)の励振電極部の部分拡大断面図である。なお、以下の説明では、図8(b)、(d)中の上側を「上」、下側を「下」として説明する。また、図8(b)、(d)中の各部材の上側にある面を上面、下側にある面を下面として説明する。

10

【0118】

振動片410は、図8(a)、(b)に示すように、水晶基板411の厚さT3の第1領域411hの上側の面が、厚さT4の第2領域411kの上側の面よりも上側に突出しているとともに、第1領域411hの下側の面と第2領域411kの下側の面とが、平面状につながっている。励振電極412a、413aは、上から見て、略重なるように配置されている。また、水晶基板411には、励振電極412a、413aで挟まれた振動領域411c、すなわち図8(a)の水晶基板411において励振電極412a、413aと重なっている領域、および図8(b)の水晶基板411において網掛けハッチングされている領域を有している。さらに、振動領域中心411dは、第1領域411hの中心と略重なるように配置されている。

20

【0119】

また、励振電極412aは、第1方向54と交差する方向において、第1領域411hの上面と、第1領域411hの上面と第2領域411kの上面とをつなぐ側面411mと、第2領域411kの上面と、に連続して配置されている。

【0120】

振動片510は、図8(c)、(d)に示すように、水晶基板511の第1領域511hの厚さが、第2領域511kの厚さT4よりも厚いT5の領域と、T5よりも厚いT6の領域と、を有している。また、励振電極512aおよび513aは、上から見て、第1領域511hの厚さT6の領域および厚さT5の領域と、第2領域511kと、に重なるように配置されている。また、水晶基板511には、励振電極512a、513aで挟まれた振動領域511c、すなわち図8(c)の水晶基板511において励振電極512a、513aと重なっている領域、および図8(d)の水晶基板511において網掛けハッチングされている領域を有している。さらに、振動領域中心511dは、第1領域511hの厚さT6の領域と重なるように配置されている。

30

【0121】

また、図8(d)、(e)に示すように、励振電極512aは、第1方向54と交差する方向において、第1領域511hの厚さT6の領域の上面と、第1領域511hの厚さT6の領域の上面および厚さT5の領域の上面をつなぐ側面511mと、第1領域511hの厚さT5の領域の上面と、第1領域511hの厚さT5の領域の上面および第2領域511kの上面をつなぐ側面511nと、第2領域511kの上面と、に連続して配置されている。励振電極513aは、第1方向54と交差する方向において、第1領域511hの厚さT6の領域の下面と、第1領域511hの厚さT6の領域の下面および厚さT5の領域の下面をつなぐ側面511pと、第1領域511hの厚さT5の領域の下面と、第1領域511hの厚さT5の領域の下面および第2領域511kの下面をつなぐ側面511qと、第2領域511kの下面と、に連続して配置されている。

40

【0122】

上述の振動片410または振動片510を用いた水晶振動子400においても、振動片310を用いた本実施形態の水晶振動子400と同様の効果を奏することができる。

50

【 0 1 2 3 】

なお、上述の変形例の振動片 4 1 0 は、上から見て、励振電極 4 1 2 a , 4 1 3 a の中心、振動領域中心 4 1 1 d、および第 1 領域 4 1 1 h の中心が略重なるように配置されているが、これに限らず、上から見て、振動領域中心 4 1 1 d と第 1 領域 4 1 1 h とが重なるように励振電極 4 1 2 a , 4 1 3 a が配置されていればよい。また、励振電極 4 1 2 a , 4 1 3 a は、上から見て、一方の励振電極が他方の励振電極の内側に配置されていてもよいし、両方の励振電極が第 1 領域 4 1 1 h のみと重なるように配置されていてもよい。

【 0 1 2 4 】

さらに、上述の変形例の振動片 5 1 0 は、上から見て、励振電極 5 1 2 a , 5 1 3 a の中心、振動領域中心 5 1 1 d、および第 1 領域 5 1 1 h の中心が略重なるように配置されているが、これに限らず、上から見て、振動領域中心 5 1 1 d と第 1 領域 5 1 1 h の厚さ T 6 の領域とが重なるように励振電極 5 1 2 a , 5 1 3 a が配置されていればよい。また、励振電極 5 1 2 a , 5 1 3 a は、上から見て、一方の励振電極が他方の励振電極の内側に配置されていてもよいし、両方の励振電極が第 1 領域 5 1 1 h のみと重なるように配置されていてもよい。

10

【 0 1 2 5 】

< 第 5 実施形態 >

第 5 実施形態に係る振動デバイスの一例として、水晶振動子 5 0 0 について説明する。なお、上記第 1 実施形態に係る水晶振動子 1 0 0 と同じ構成要素については、同一符号を付して説明を省略し、上記第 1 実施形態に係る水晶振動子 1 0 0 と異なる部分を中心に説明する。

20

【 0 1 2 6 】

図 9 は、第 5 実施形態に係る振動デバイスとしての水晶振動子 5 0 0 の概略図であり、図 9 (a) は平面図、図 9 (b) は図 9 (a) の G - G 断面図である。

【 0 1 2 7 】

[接合部材]

本実施形態の水晶振動子 5 0 0 は、図 9 に示すように、第 1 実施形態の水晶振動子 1 0 0 と異なり、第 1 接合部材 1 4 1 および第 2 接合部材 1 4 2 が金属バンプで形成されている。第 1 接合部材 1 4 1 の接続電極 1 2 c 側、すなわち振動片 1 0 側の上面 1 4 1 a は、第 1 接合中心 1 4 1 b を有する。第 2 接合部材 1 4 2 の接続電極 1 3 c 側、すなわち振動片 1 0 側の上面 1 4 2 a は、第 2 接合中心 1 4 2 b を有する。

30

【 0 1 2 8 】

金属バンプは、めっき法やボンディング法等によって形成されている。めっき法では、振動片 1 0 またはパッケージ 2 0 の所定の位置に、第 1 接合部材 1 4 1 および第 2 接合部材 1 4 2 が形成されるように所定のパターンを形成した後に金属をめっきすることで、金属バンプの第 1 接合部材 1 4 1 および第 2 接合部材 1 4 2 を形成することができる。

【 0 1 2 9 】

また、ボンディング法では、金 (A u) 等金属製のワイヤー (細線) を振動片 1 0 またはパッケージ 2 0 の第 1 接合部材 1 4 1 および第 2 接合部材 1 4 2 のそれぞれが形成される位置に接続し、接続された部分以外のワイヤーを切断することで、金属バンプの第 1 接合部材 1 4 1 および第 2 接合部材 1 4 2 を形成することができる。

40

【 0 1 3 0 】

なお、上記のめっき法やボンディング法に代えて、振動片 1 0 またはパッケージ 2 0 の第 1 接合部材 1 4 1 および第 2 接合部材 1 4 2 が形成される位置に金属部材を含むペースト (溶剤) を印刷やディスペンス等で塗布した後に、ペーストが塗布された振動片 1 0 またはパッケージ 2 0 を加熱することで、金属以外の溶剤成分を揮発させて、金属バンプの第 1 接合部材 1 4 1 および第 2 接合部材 1 4 2 を形成することもできる。

【 0 1 3 1 】

金属バンプの形状としては、特に限定されず、柱状 (円柱状) や多角柱や円錐台等であってもよい。また、金属製のワイヤーは、金 (A u) 以外にも、銀 (A g)、銅 (C u)

50

、アルミニウム（Ａｌ）、白金（Ｐｔ）などを主成分とする金属で構成されていてもよい。また、金属部材の材質は、金（Ａｕ）、銀（Ａｇ）、銅（Ｃｕ）、アルミニウム（Ａｌ）、白金（Ｐｔ）などを主成分とする金属や、無鉛はんだや有鉛半田などの合金でもよい。

【０１３２】

金属パンプは、接着剤等の樹脂部材と比較して、加熱や時間経過による金属パンプ内部からの気体の放出が低減する。このため、水晶振動子５００が加熱されたり、水晶振動子５００の製造後に時間が経過したりしても、第１接合部材１４１および第２接合部材１４２が樹脂部材で形成されている場合と比較して、第１接合部材１４１および第２接合部材１４２からの気体の放出が低減する。

10

【０１３３】

また、第１接合部材１４１および第２接合部材１４２から放出される気体は、気密状態とされた内部空間２６に放出されるので、放出された気体が励振電極１２ａ，１３ａに付着して質量を増加させたり、放出された気体が励振電極１２ａ，１３ａを変質させたりすることで、振動片１０の特性、例えば、共振周波数や周波数温度特性や等価直列抵抗を変動させる場合がある。

【０１３４】

上述のことから、加熱や時間経過により、本実施形態に係る水晶振動子５００の第１接合部材１４１および第２接合部材１４２から放出される気体は、第１実施形態に係る水晶振動子１００の第１接合部材４１および第２接合部材４２から放出される気体より低減する。従って、第１実施形態の水晶振動子１００と比較して、水晶振動子５００の特性、例えば、共振周波数や周波数温度特性や等価直列抵抗等の変動を低減することができる。

20

【０１３５】

以上述べたように、本実施形態に係る水晶振動子５００によれば、振動領域１１ｃ、第１接合部材１４１、および第２接合部材１４２が、

$$0 < L1 / L2 \leq 0.97$$

の関係を、満足することにより、第１実施形態に係る水晶振動子１００における効果に加えて、以下の効果を得ることができる。水晶振動子５００は、第１実施形態の水晶振動子１００と比較して、第１接合部材１４１および第２接合部材１４２からの気体の放出を低減することができ、水晶振動子５００の特性変動、例えば、出力周波数や周波数温度特性や等価直列抵抗等の変動を低減することができる。

30

【０１３６】

なお、本実施形態では、第１接合部材１４１および第２接合部材１４２を金属パンプで形成しているが、第１接合部材１４１および第２接合部材１４２の少なくとも一方の接合部材を金属パンプで形成し、他方の接合部材を導電性または非導電性の接着剤等で形成しても、上述の理由により、本実施形態と同様の効果を奏することができる。

【０１３７】

また、第１接合部材１４１および第２接合部材１４２を金属パンプで形成する場合には、第１接合部材１４１の上面１４１ａおよび第２接合部材１４２の上面１４２ａの直径は０．０５ｍｍ以下で形成することもできるため、Ｌ１の下限值としては、第１接合部材１４１と第２接合部材１４２とが電氣的に接続しない範囲として、０．０５ｍｍより大きいことが好適である。すなわち、Ｌ１／Ｌ２が、

40

$$0.065 < L1 / L2 \leq 0.97$$

の関係を満足することが好適である。

【０１３８】

なお、本発明は上述した実施形態に限定されず、上述した実施形態に種々の変更や改良などを加えたり、上述した実施形態を２つ以上組み合わせたりすることが可能である。

【０１３９】

< 第６実施形態 >

次に、第１実施形態から第５実施形態に係る水晶振動子１００，２００，３００，４０

50

0, 500のいずれかを備えた第6実施形態に係る電子機器について、図10から図13を用いて説明する。なお、本実施形態の説明では、振動デバイスとして第1実施形態に係る水晶振動子100を用いた例を示している。

【0140】

図10は、本発明の一実施形態に係る水晶振動子100を備える電子機器の一例としての発振器1000の構成の概略を示す概略構成図であり、図10(a)は平面図、図10(b)は図10(a)のH-H断面図を表わしている。なお、説明の便宜上、図10(a)ではリッド1020の図示を省略している。また、以下の説明では、図10(b)中の上側を「上」、下側を「下」として説明する。また、図10(b)中の各部材の上側にある面を上面、下側にある面を下面として説明する。

10

【0141】

図10に示すように、発振器1000は、水晶振動子100、容器1010、リッド1020、発振回路1030、およびボンディングワイヤー1040などから構成されている。

【0142】

容器1010は、中央部が窪んだ形状の内部空間1018が形成されており、容器1010の上面に沿って枠状にシールリング1012が、内部空間1018側にある面に複数の内部接続端子1014が、下面に複数の外部接続端子1016が、それぞれ設けられている。内部接続端子1014と外部接続端子1016とは、図示しない内部配線を介して電氣的に接続されている。

20

【0143】

水晶振動子100は、容器1010の内部空間1018側に搭載されており、図示しない内部配線を介して内部接続端子1014と電氣的に接続されている。

発振回路1030は、水晶振動子100を発振させるための回路であり、上面に複数のパッド1032を有し、水晶振動子100の上面に図示しない接合部材、例えば、接着剤やはんだ等で接続されている。

ボンディングワイヤー1040は、金(Au)等の金属製のワイヤー(細線)であり、パッド1032と内部接続端子1014とを電氣的に接続する。

リッド1020は、容器1010の開口を覆う平板形状を有しており、容器1010の内部空間1018が気密状態となるように、シールリング1012と接合されている。

30

【0144】

上述の発振器1000は、複数の外部接続端子1016の少なくとも1つの端子に発振回路1030を動作させるための電圧が印加されて、複数の外部接続端子1016の他の端子の少なくとも1つの端子から、発振回路1030から出力される発振信号が出力される。

【0145】

上述のように、電子機器の一例としての発振器1000に、本発明の一実施形態に係る水晶振動子100を備えることにより、発振器の基準周波数源として水晶振動子100から安定した周波数信号が出力されるため、発振器1000の動作の信頼性を向上させることができる。

40

【0146】

図11は、第1実施形態に係る水晶振動子100を備える電子機器の一例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1100の構成の概略を示す斜視図である。図11に示すように、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1106を備えた表示ユニット1108とにより構成され、表示ユニット1108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、水晶振動子100が内蔵されている。

【0147】

上述のように、電子機器の一例としてのモバイル型(又はノート型)のパーソナルコン

50

ピューター 1100 に、本発明の一実施形態に係る水晶振動子 100 を、例えば、クロック源として備えることにより、モバイル型のパーソナルコンピューター 1100 に供給されるクロック源として水晶振動子 100 から安定した周波数信号が出力されるため、モバイル型のパーソナルコンピューター 1100 の動作の信頼性を向上させることができる。

【0148】

図 12 は、第 1 実施形態に係る水晶振動子 100 を備える電子機器の一例としての携帯電話機 1200 (PHS も含む) の構成の概略を示す斜視図である。図 12 に示すように、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 1208 が配置されている。このような携帯電話機 1200 には、水晶振動子 100 が内蔵されている。

10

【0149】

上述のように、電子機器の一例としての携帯電話機 1200 (PHS を含む) に、本発明の一実施形態に係る水晶振動子 100 を、例えば、クロック源として備えることにより、携帯電話機 1200 に供給されるクロック源として水晶振動子 100 から安定した周波数信号が出力されるため、携帯電話機 1200 の動作の信頼性を向上させることができる。

【0150】

図 13 は、第 1 実施形態に係る水晶振動子 100 を備える電子機器の一例としてのデジタルカメラ 1300 の構成の概略を示す斜視図である。なお、図 13 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、従来のフィルムカメラは、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、デジタルカメラ 1300 は、被写体の光像を CCD (Charge Coupled Device) など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。

20

デジタルカメラ 1300 におけるケース 1302 (ボディ) の背面には、表示部 1304 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 1304 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 などを含む受光ユニット 1306 が設けられている。

【0151】

撮影者が表示部 1304 に表示された被写体像を確認し、シャッターボタン 1308 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 1310 に転送・格納される。また、このデジタルカメラ 1300 においては、ケース 1302 の側面に、ビデオ信号の出力端子 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、ビデオ信号の出力端子 1312 にはテレビモニター 1410 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 1420 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 1310 に格納された撮像信号が、テレビモニター 1410 や、パーソナルコンピューター 1420 に出力される構成になっている。このようなデジタルカメラ 1300 には、水晶振動子 100 が内蔵されている。

30

【0152】

上述のように、電子機器の一例としてのデジタルカメラ 1300 に、本発明の一実施形態に係る水晶振動子 100 を、例えば、クロック源として備えることにより、デジタルカメラ 1300 に供給されるクロック源として水晶振動子 100 から安定した周波数信号が出力されるため、デジタルカメラ 1300 の動作の信頼性を向上させることができる。

40

【0153】

なお、第 1 実施形態に係る水晶振動子 100 は、図 10 の発振器 1000、図 11 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 12 の携帯電話機 1200、図 13 のデジタルカメラ 1300 の他にも、他の電子機器に適用することができる。

【0154】

50

他の電子機器の例としては、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、タブレット型パーソナルコンピューター、ルーターやスイッチなどのストレージエリアネットワーク機器、ローカルエリアネットワーク機器、移動体端末基地局用機器、テレビ、ビデオカメラ、ビデオレコーダー、カーナビゲーション装置、リアルタイムクロック装置、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、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、ヘッドマウントディスプレイ、モーショントレース、モーショントラッキング、モーションコントローラー、PDR（歩行者位置方位計測）などが挙げられる。

10

【0155】

<第7実施形態>

次に、第1実施形態から第5実施形態に係る水晶振動子100、200、300、400、500のいずれかを備えた第7実施形態に係る移動体について、図14を用いて説明する。なお、本実施形態の説明では、振動デバイスとして第1実施形態に係る水晶振動子100を用いた例を示している。

図14は、第1実施形態に係る水晶振動子100を備える移動体の一例としての自動車1500を概略的に示す斜視図である。

【0156】

20

自動車1500には第1実施形態に係る水晶振動子100が搭載されている。図14に示すように、移動体としての自動車1500には、水晶振動子100を内蔵してタイヤ1504などを制御する電子制御ユニット1510が車体1502に搭載されている。また、本発明の一実施形態に係る水晶振動子100は、他にも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、ブレーキシステム、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、などの電子制御ユニット（ECU：Electronic Control Unit）に広く適用できる。

30

【0157】

上記のように、移動体の一例としての自動車1500に、本発明の一実施形態に係る水晶振動子100を、例えば、クロック源として備えることにより、自動車1500および電子制御ユニット1510のうち少なくとも一方に供給されるクロック源として水晶振動子100から安定した周波数信号が出力されるため、自動車1500および電子制御ユニット1510のうち少なくとも一方の動作の信頼性を向上させることができる。

【符号の説明】

【0158】

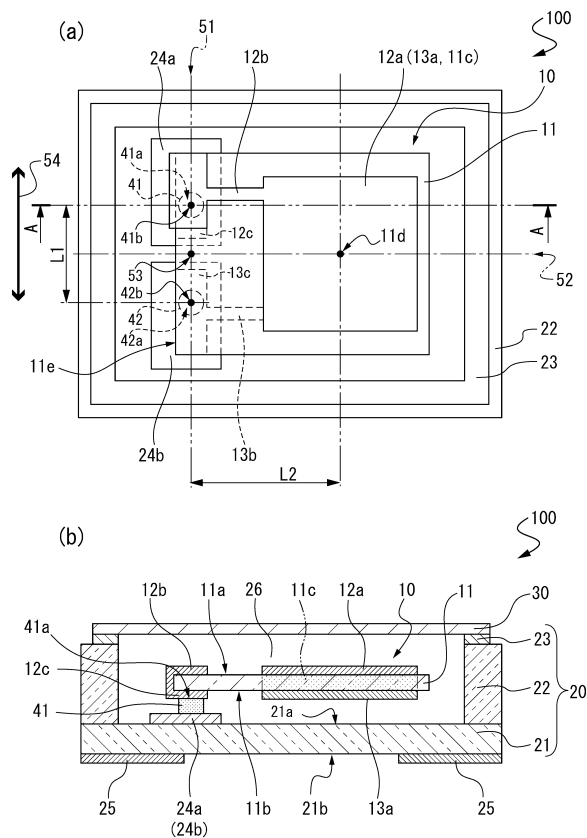
10...振動片、11...水晶基板、11a...上面、11b...下面、12a、13a...励振電極、12b、13b...引出電極、12c、13c...接続電極、11c...振動領域、11d...振動領域中心、11e...第1辺、20...パッケージ、21...底板、21a...上面、21b...下面、22...側壁、23...シールリング、24a、24b...内部接続端子、25...外部接続端子、26...内部空間、30...リッド、41...第1接合部材、42...第2接合部材、41a、42a...上面、41b...第1接合中心、42b...第2接合中心、51...第1仮想直線、52...第2仮想直線、53...交点、54...第1方向、55、56...端部、100、200、300、400、500...水晶振動子、1000...発振器、1010...容器、1012...シールリング、1014...内部接続端子、1016...外部接続端子、1018...内部空間、1020...リッド、1030...発振回路、1032...パッド、1040...ボンディングワイヤー、1100...パーソナルコンピューター、1102...キーボード、1104...本体部、1106...表示部、1108...表示ユニット、1200...携帯電話機

40

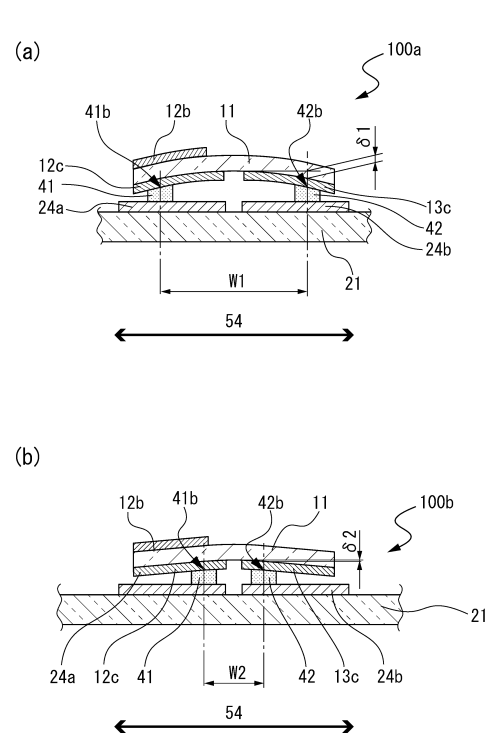
50

、 1 2 0 2 ... 操作ボタン、 1 2 0 4 ... 受話口、 1 2 0 6 ... 送話口、 1 2 0 8 ... 表示部、 1 3 0 0 ... デジタルカメラ、 1 3 0 2 ... ケース、 1 3 0 4 ... 表示部、 1 3 0 6 ... 受光ユニット、 1 3 0 8 ... シャッターボタン、 1 3 1 0 ... メモリー、 1 3 1 2 ... ビデオ信号出力端子、 1 3 1 4 ... 入出力端子、 1 4 1 0 ... テレビモニター、 1 4 2 0 ... パーソナルコンピューター、 1 5 0 0 ... 自動車、 1 5 0 2 ... 車体、 1 5 0 4 ... タイヤ、 1 5 1 0 ... 電子制御ユニット。

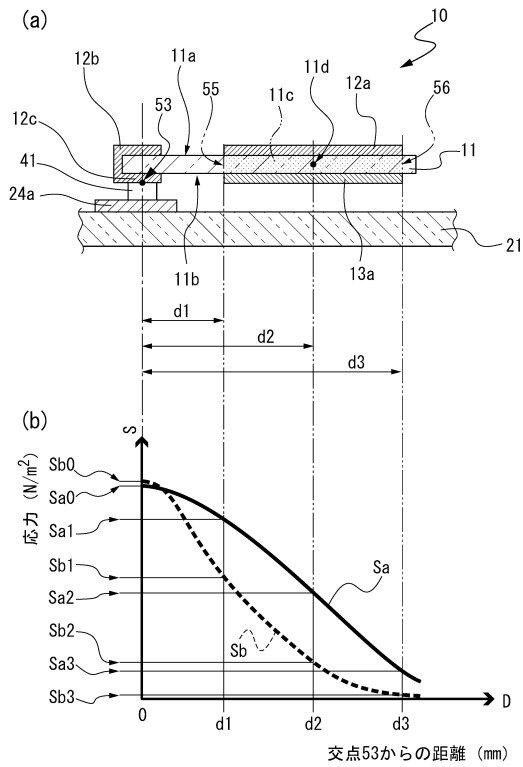
【図 1】



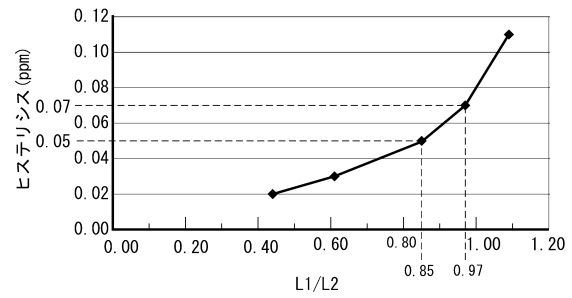
【図 2】



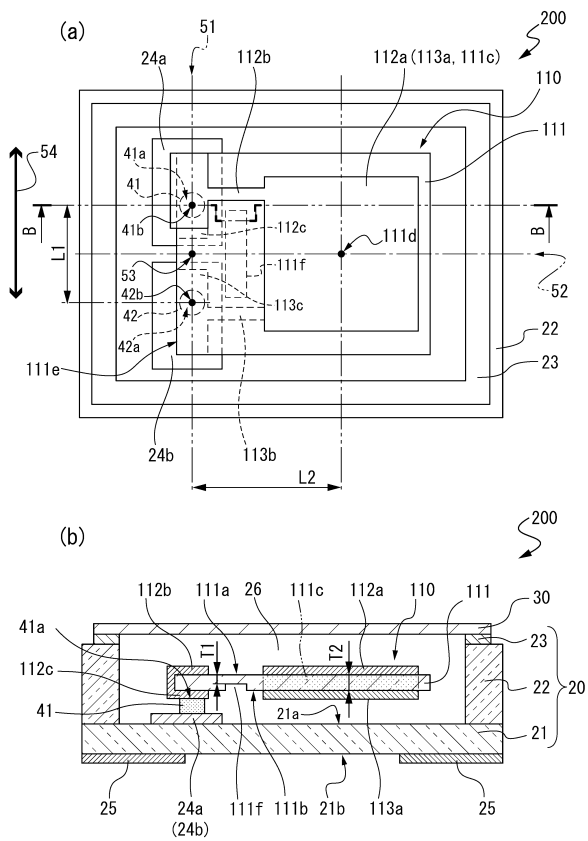
【図 3】



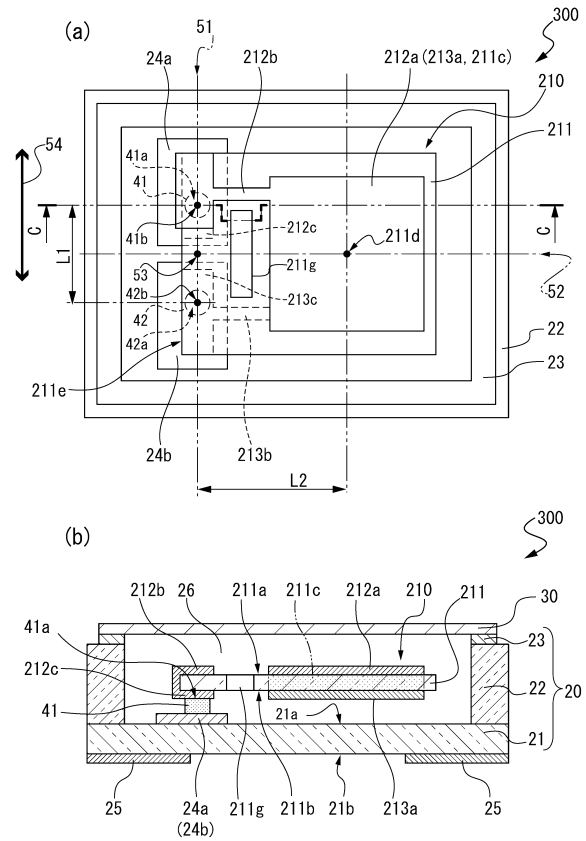
【図 4】



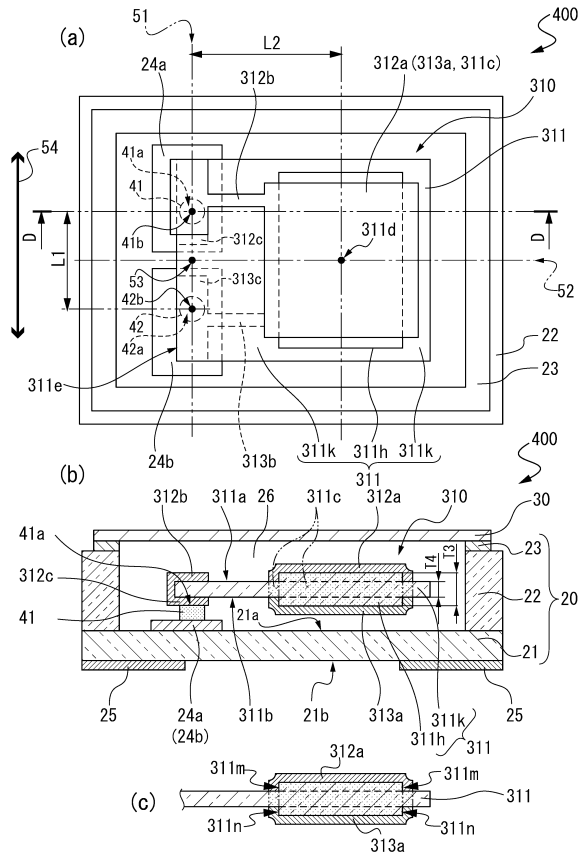
【図 5】



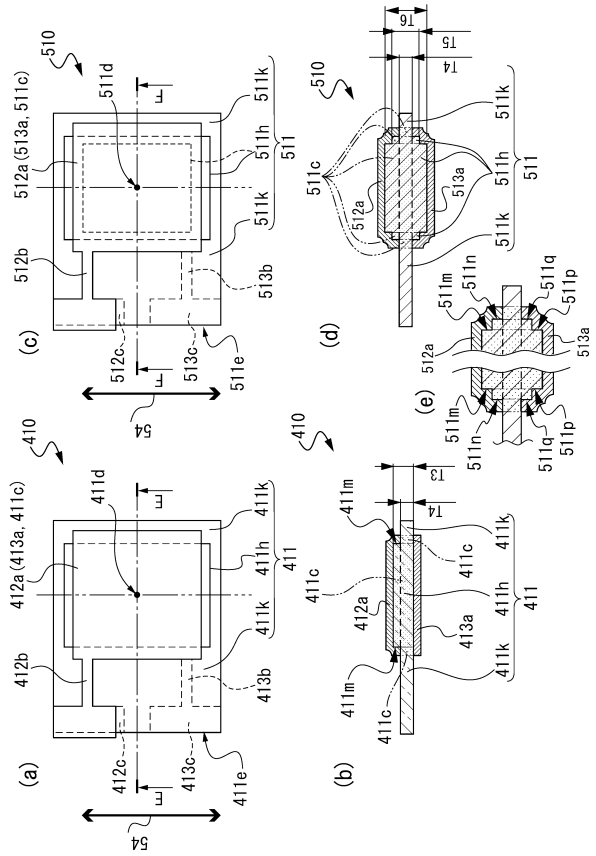
【図 6】



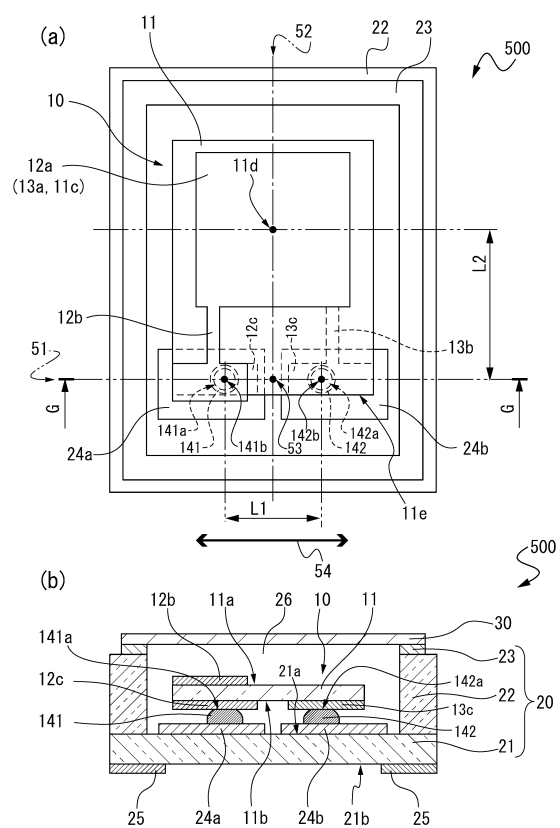
【図 7】



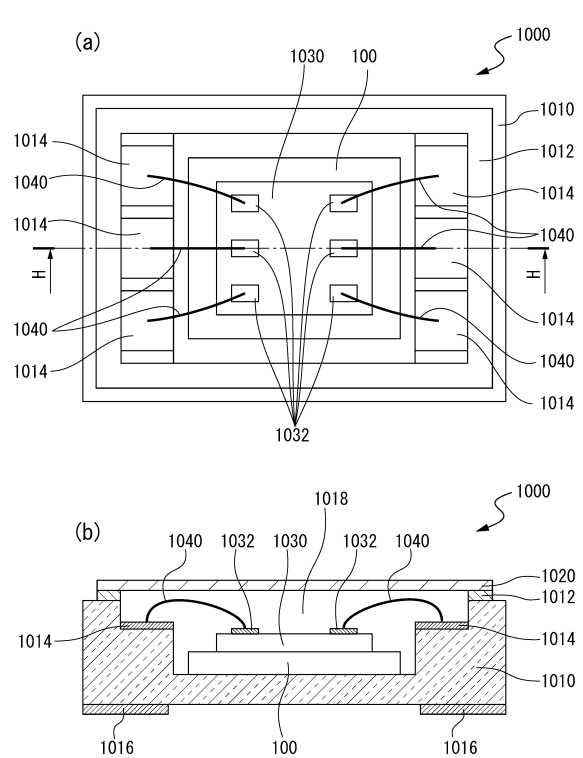
【図 8】



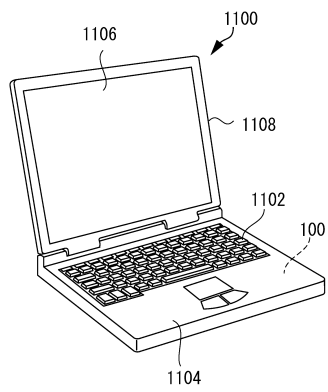
【図 9】



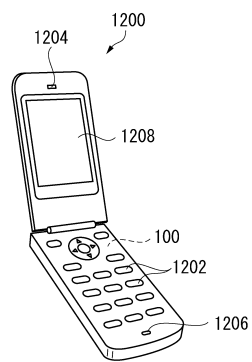
【図 10】



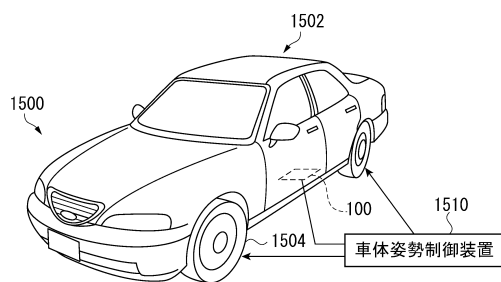
【図 1 1】



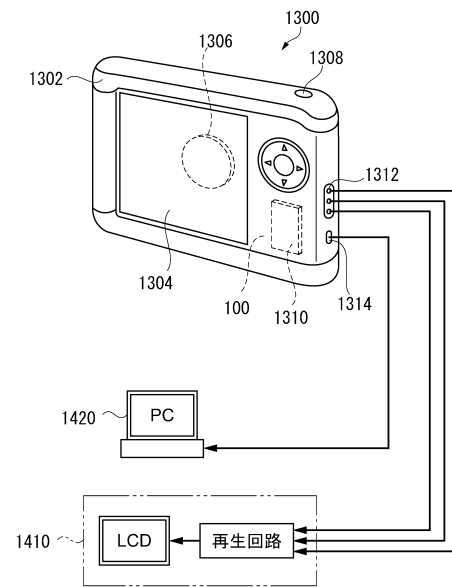
【図 1 2】



【図 1 4】



【図 1 3】



フロントページの続き

審査官 石田 昌敏

- (56)参考文献 特開2013-165465(JP,A)
特開2000-278080(JP,A)
特開平09-326667(JP,A)
特開2013-055400(JP,A)
特開2013-197832(JP,A)
特開2005-159717(JP,A)
特開2014-116977(JP,A)
特開2013-192044(JP,A)
特開2005-192088(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H03H 9/00 - 9/66