

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6155897号
(P6155897)

(45) 発行日 平成29年7月5日(2017.7.5)

(24) 登録日 平成29年6月16日(2017.6.16)

(51) Int.Cl.	F 1
HO3H 9/19 (2006.01)	HO3H 9/19 J
HO3H 9/215 (2006.01)	HO3H 9/19 K
HO3B 5/32 (2006.01)	HO3H 9/215 HO3B 5/32 H

請求項の数 11 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2013-131936 (P2013-131936)
 (22) 出願日 平成25年6月24日 (2013.6.24)
 (65) 公開番号 特開2015-8352 (P2015-8352A)
 (43) 公開日 平成27年1月15日 (2015.1.15)
 審査請求日 平成28年5月25日 (2016.5.25)

(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
 (72) 発明者 山田 明法
 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
 (72) 発明者 吉田 周平
 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】

第1の端面及び前記第1の端面の裏側の第2の端面を有する基部と、
 前記基部の前記第1の端面側から第1方向に延出し、前記第1方向と直交する第2方向
 に離間して配置されている一対の振動腕と、
 を含む振動片であって、

前記第1の端面と前記第2の端面との最短距離をWbとしたとき、

$$\underline{Q} = \{ (\cdot C_p) / (c \cdot \underline{e}^2 \cdot \underline{f}) \} \times [\{ 1 + (2 \cdot \cdot C_p \cdot W e^2 \cdot f / (\cdot k))^2 \} / (2 \cdot \cdot C_p \cdot W e^2 \cdot f / (\cdot k))]$$

0.81 Wb / We 1.70

10

の関係を満足することを特徴とする振動片。

但し、Qは前記振動片のQ値、fは前記振動片の振動周波数 [Hz]、Weは実効幅 [m]、eは質量密度 [kg/m³]、C_pは熱容量 [J/(kg·K)]、cは前記Wbの方向と面内で直交する方向に関する弾性定数 [N/m²]、fは前記Wbの方向と面内で直交する方向に関する熱膨張係数 [1/K]、eは環境温度 [K]、kは前記Wbの方向に関する熱伝導率 [W/(m·K)]

【請求項 2】

請求項1において、

0.91 Wb / We 1.30、

20

の関係を満足することを特徴とする振動片。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 において、

1 . 0 0 W b / W e 1 . 2 0 、

の関係を満足することを特徴とする振動片。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか一項において、

前記基部から支持腕が延出していることを特徴とする振動片。

【請求項 5】

請求項 4 において、

10

前記支持腕は、

前記一対の振動腕の間に配置されていることを特徴とする振動片。

【請求項 6】

請求項 4 において、

2 つの前記支持腕を有し、

平面視で、前記 2 つの支持腕の間に前記一対の振動腕が配置されていることを特徴とする振動片。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の振動片と、

内部に前記振動片が収納されている容器と、

20

を備えていることを特徴とする振動子。

【請求項 8】

請求項 7 において、

前記容器の前記内部が真空であることを特徴とする振動子。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の振動片と、

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 10】

請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の振動片を備えていることを特徴とする電子機器

30

。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の振動片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、振動片、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】

【0002】

HDD (Hard Disk Drive)、モバイルコンピューター、あるいは I C カード等の小型の情報機器や、携帯電話、スマートフォン、又はタブレット端末等の移動体通信機器等において、タイミング信号や同期信号を提供するデバイスとして、振動子や発振器等の電子デバイスが広く使用されている。

40

従来から、振動子や発振器として、パッケージに振動片を収容したものが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。特許文献 1 に開示された振動片は、振動片の全長を短くし小型化を図るために、基部と、基部から互いに平行となるように並んで延出する 2 つの振動腕と、基部から延出し、2 つの振動腕の間に位置する支持腕とを有している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

50

【特許文献1】特開2002-141770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に開示された振動片は、更に小型化しようとして、基部の寸法（振動腕の延出方向の幅）を、例えば40 μmと小さくするとQ値が4,639と著しく劣化するという問題があった。

【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、以下の形態又は適用例として実現することが可能である。 10

【0006】

[適用例1] 本適用例に係る振動片は、第1の端面及び前記第1の端面の裏側の第2の端面を有する基部と、前記基部の前記第1の端面側から第1方向に延出し、前記第1方向と直交する第2方向に離間して配置されている一対の振動腕と、を含む振動片であって、

前記第1の端面と前記第2の端面との最短距離をWbとしたとき、

$$\underline{Q} = \{ (\cdot C_p) / (c \cdot \cdot^2 \cdot) \} \\ \times [\{ 1 + (2 \cdot \cdot C_p \cdot W e^2 \cdot f / (\cdot k))^2 \} \\ / (2 \cdot \cdot C_p \cdot W e^2 \cdot f / (\cdot k))] \\ 0.81 \underline{Wb / We} \underline{1.70}$$

20

の関係を満足することを特徴とする。

但し、Qは前記振動片のQ値、fは前記振動片の振動周波数 [Hz]、Weは実効幅 [m]、 は質量密度 [kg/m³]、Cpは熱容量 [J/(kg·K)]、cは前記Wbの方向と面内で直交する方向に関する弾性定数 [N/m²]、 は前記Wbの方向と面内で直交する方向に関する熱膨張係数 [1/K]、 は環境温度 [K]、kは前記Wbの方向に関する熱伝導率 [W/(m·K)]。

【0007】

本適用例によれば、Wb/Weが0.81 Wb/We 1.70の関係を満足することにより、基部の第1の端面と第2の端面との寸法の小型化に起因する熱弾性損失を低減し、発振回路で安定な発振が可能となる高いQ値を有し、且つ従来設計の振動片に比べ、小型化が図れた振動片を得ることができるという効果がある。 30

【0008】

[適用例2] 上記適用例に記載の振動片において、0.91 Wb/We 1.30、の関係を満足することを特徴とする。

【0009】

本適用例によれば、Wb/Weが0.91 Wb/We 1.30の関係を満足することにより、基部の第1の端面と第2の端面との寸法の小型化に起因する熱弾性損失を低減し、発振回路でより安定な発振が可能となる高いQ値を有し、且つ従来設計の振動片に比べ、小型化が図れた振動片を得ることができるという効果がある。 40

【0010】

[適用例3] 上記適用例に記載の振動片において、1.00 Wb/We 1.20、の関係を満足することを特徴とする。

【0011】

本適用例によれば、Wb/Weが1.00 Wb/We 1.20の関係を満足することにより、基部の第1の端面と第2の端面との寸法の小型化に起因する熱弾性損失を低減し、発振回路で更なる安定な発振が可能となる高いQ値を有し、且つ従来設計の振動片に比べ、更なる小型化が図れた振動片を得ることができるという効果がある。

【0012】

[適用例4] 上記適用例に記載の振動片において、前記基部から支持腕が延出していることを特徴とする。 50

【0013】

本適用例によれば、基部から支持腕が延出していることにより、振動腕の屈曲振動によって生じた振動漏れを抑制することができるので、高いQ値を有する振動片を得ることができるという効果がある。

【0014】

[適用例5] 上記適用例に記載の振動片において、前記支持腕は、前記一対の振動腕の間に配置されていることを特徴とする。

【0015】

本適用例によれば、第1の振動腕と第2の振動腕との間に、支持腕が配置されていることにより、振動片を支持・固定する部分が振動片の中央部となるため、振動片の全長を短くすることができ、振動片の小型化が図れるという効果がある。 10

【0016】

[適用例6] 上記適用例に記載の振動片において、2つの前記支持腕を有し、平面視で、前記2つの支持腕の間に前記一対の振動腕が配置されていることを特徴とする。

【0017】

本適用例によれば、第1の振動腕と第2の振動腕とを挟みこむように一対の支持腕が配置されていることにより、耐振動強度や耐落下強度に優れた振動片を得ることができるという効果がある。

【0018】

[適用例7] 上記適用例に係る振動子は、内部に前記振動片が収納されている容器と、を備えていることを特徴とする。 20

【0019】

本適用例によれば、小型化で高いQ値を有する振動片を搭載した振動子を得ることができる。

【0020】

[適用例8] 本適用例に係る振動子は、前記容器の内部が真空であることを特徴とする。 。

【0021】

本適用例によれば、内部空間を真空にすることにより粘性抵抗が小さくなるので、振動片を安定して振動させることができる。 30

【0022】

[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片と、回路と、を備えていることを特徴とする。

【0023】

本適用例によれば、小型化で高いQ値を有する振動片と振動片を安定に励振する発振回路とにより構成することができるため、安定した発振特性を有する小型の電子デバイスが得られるという効果がある。

【0024】

[適用例10] 本適用例に係る電子機器は、上記適用例に記載の振動片を備えていることを特徴とする。 40

【0025】

本適用例によれば、小型で高いQ値を有する振動片を用いているため、安定した発振特性を有する小型の電子デバイスを備えた電子機器が構成できるという効果がある。

【0026】

[適用例11] 本適用例に係る移動体は、上記適用例に記載の振動片を備えていることを特徴とする。

【0027】

本適用例によれば、小型で高いQ値を有する振動片を備え、周波数再現性や周波数エンジング特性に優れた小型の振動子を用いることができるため、安定で正確な電子制御ユニット等を備えた移動体が構成できるという効果がある。 50

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の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(a)に示すA-A線断面図。

【図2】本発明の実施形態に係る振動子に用いられている振動片の構造を示した概略図であり、(a)は平面図、(b)は(a)に示すB-B線断面図、(c)は基部12の幅Wbの方向と同じ方向の幅Weを有する仮想の梁を示す平面図。

【図3】振動子の等温的領域と断熱的領域について説明する模式図。

【図4】振動子の試作条件と特性結果を示した図。

【図5】試作した振動子のWb/Weに対するQ値を示した図。 10

【図6】本発明の実施形態に係る振動子に用いられている振動片の電極構成を示した平面図であり、(a)は上面図、(b)は下面図(透視図)。

【図7】図6(a)に示すC-C線断面図。

【図8】本発明の実施形態に係る振動子に用いられている振動片の製造方法を示した振動腕及び支持腕の断面図。

【図9】本発明の実施形態に係る振動子に用いられている振動片の変形例を示す平面図であり、(a)は変形例1、(b)は変形例2、(c)は変形例3、(d)は変形例4。

【図10】本発明の実施形態に係る振動子に用いられている振動片の変形例を示す平面図であり、(a)は変形例5、(b)は変形例6、(c)は変形例7、(d)は変形例8。

【図11】本発明の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(a)に示すD-D線断面図。 20

【図12】本発明の実施形態に係る振動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。

【図13】本発明の実施形態に係る振動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。

【図14】本発明の実施形態に係る振動子を備える電子機器としてのデジタルカメラの構成を示す斜視図。

【図15】本発明の実施形態に係る振動子を備える移動体としての自動車の構成を示す斜視図。 30

【発明を実施するための形態】

【0029】

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。

【0030】

(振動子)

図1は、本発明の実施形態に係る振動子の構造を示した概略図であり、図1(a)は平面図、図1(b)は図1(a)に示すA-A線断面図である。図2は、本発明の実施形態に係る振動子に用いられている振動片の構造を示した概略図であり、図2(a)は平面図、図2(b)は図2(a)に示すB-B線断面図である。なお、図1(a)において、振動子1の内部の構成を説明する便宜上、蓋部材56を取り外した状態を図示している。また、各図では、説明の便宜上、互いに直交する3つの軸として、X軸、Y軸及びZ軸を図示している。更に、説明の便宜上、Z軸方向から見たときの平面図において、+Z軸方向の面を上面、-Z軸方向の面を下面として説明する。 40

【0031】

図1に示すように、振動子1は、振動片2、振動片2を収容するための矩形の箱状のパッケージ本体50及びガラス、セラミック、金属等から成る蓋部材56とで構成されている。

【0032】

図1に示す振動片2は、基部12、第1、第2の振動腕21, 22、錘部24, 25及び支持腕23を備えた振動基板10と、この振動基板10上に設けられた駆動用の電極30と、支持腕23の下面に設けられた第1、第2導電パッド37, 38と、で構成されて 50

いる。

【0033】

パッケージ本体50は、図1(b)に示すように、第1の基板51と、第2の基板52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51の外部底面に複数備えられている。また、第1の基板51の上面の所定の位置には、図示しない貫通電極や層間配線を介して、実装端子45と電気的に導通する複数の接続電極47が設けられている。第2の基板52は中央部が除去された環状体であり、振動片2を収容するキャビティー(内部空間)70が設けられている。なお、キャビティー70内はほぼ真空の減圧空間となっている。内部空間を真空にすることにより粘性抵抗が小さくなるので、振動片2は安定して振動することができる。

10

【0034】

パッケージ本体50のキャビティー70内に収納された振動片2は、支持腕23の下面に設けられた第1、第2導電パッド37, 38とパッケージ本体50の第1の基板51の上面に設けられた2つの接続電極47とがそれぞれ対応するように位置合わせされ、接合部材42を介して接合されている。接合部材42は、例えば、金属あるいは半田等からなるバンプや導電性接着剤等の導電性の接合部材を用いることにより、電気的な接続を図るとともに機械的な接合を行うことができる。

【0035】

振動基板10は、結晶材料であり、例えば、圧電基板として、水晶基板、特に、Zカット水晶板で構成されている。これにより、振動片2は、優れた振動特性を発揮することができる。Zカット水晶板とは、水晶のZ軸(光学軸)を厚さ方向とする水晶基板である。Z軸は、振動基板10の厚さ方向と一致しているのが好ましいが、常温近傍における周波数温度変化を小さくする観点からは、厚さ方向に対して若干(例えば、15°未満程度)傾けることになる。

20

【0036】

なお、振動基板10は、水晶基板に限定されず、振動片を圧電駆動させる場合は、ニオブ酸リチウム(LiNbO₃)、タンタル酸リチウム(LiTaO₃)、リチウムテトラボレート(Li₂B₄O₇)、ニオブ酸カリウム(KNbO₃)、リン酸ガリウム(GaPO₄)、ランガサイト(La₃Ga₅SiO₁₄)、等がある。

また、振動片を静電駆動させる場合は、単結晶シリコン、多結晶シリコン、等がある。

30

【0037】

パッケージ本体50の、第1の基板51と第2の基板52は、絶縁性を有する材料で構成されている。このような材料としては、特に限定されず、例えば、酸化物系セラミックス、窒化物系セラミックス、炭化物系セラミックス等の各種セラミックスを用いることができる。また、パッケージ本体50に設けられた各電極、端子、あるいはそれらを電気的に接続する配線パターンや層内配線パターン等は、一般的に、タングステン(W)、モリブデン(Mo)等の金属配線材料を絶縁材料上にスクリーン印刷して焼成し、その上にニッケル(Ni)、金(Au)等のめっきを施すことにより設けられる。

【0038】

蓋部材56は、好ましくは、光を透過する材料、例えば、ホウケイ酸ガラス等により構成されており、封止材58により接合されることで、パッケージ本体50のキャビティー70内を気密封止している。これにより、パッケージ本体50の蓋封止後において、外部からレーザー光を振動片2の先端付近に照射し、ここに設けた電極を一部蒸散させることにより、質量削減方式による周波数調整をすることができるようになっている。なお、このような周波数調整をしない場合には、蓋部材56はコバルト合金等の金属材料で形成することができる。

40

【0039】

(振動片)

以上、振動子1の構成について簡単に説明した。次に、振動片2について図2を参照し詳細に説明する。

50

振動片 2 の振動基板 10 は、図 2 に示すように、第 1 の方向である Y 軸方向に面した第 1 の端面 6 と第 2 の端面 7 を有する基部 12 と、基部 12 から + Y 軸方向へ突出し、且つ第 2 の方向である X 軸方向に並んで設けられた第 1、第 2 の振動腕 21, 22 と、基部 12 の第 1 の端面 6 から + Y 軸方向へ突出するとともに、第 1、第 2 の振動腕 21, 22 の間に位置する支持腕 23 と、を有している。

【0040】

第 1、第 2 の振動腕 21, 22 は、X 軸方向に並んで設けられており、それぞれ、基部 12 から + Y 軸方向に延出（突出）している。また、第 1、第 2 の振動腕 21, 22 の先端には、錘部 24, 25 が設けられている。このような錘部 24, 25 を設けることによつて、振動片 2 の小型化を図ることができたり、第 1、第 2 の振動腕 21, 22 の屈曲振動の周波数を低めたりすることができる。なお、錘部 24, 25 は、必要に応じて複数の幅を有していてもよく、省略してもよい。10

【0041】

また、第 1、第 2 の振動腕 21, 22 には、正面の表裏に、それぞれの正面に開放する有底の溝 28a, 28b, 29a, 29b が設けられている。これら溝 28a, 28b, 29a, 29b は、Y 軸方向に延在して設けられており、互いに同じ形状をなしている。そのため、第 1、第 2 の振動腕 21, 22 は、図 2 (b) に示すように、略「H」状の横断面形状をなしている。

【0042】

このような溝 28a, 28b, 29a, 29b を形成することによつて、屈曲振動により発生する熱が拡散（熱伝導）し難くなり、屈曲振動周波数（機械的屈曲振動周波数） f が熱緩和周波数 f_0 より大きな領域 ($f > f_0$) である断熱的領域では、熱弾性損失を抑制することができる。なお、溝 28a, 28b, 29a, 29b は、必要に応じて設ければよく、省略してもよい。20

【0043】

支持腕 23 は、基部 12 から + Y 軸方向に延出してあり、且つ第 1、第 2 の振動腕 21, 22 の間に位置している。支持腕 23 は、長手形状であり、長手方向の全域に亘って幅 (X 軸方向の長さ) がほぼ一定となっている。また、支持腕 23 の下面に、パッケージ本体 50 に設けられた接続電極 47 と電気的に接続するための第 1、第 2 導電パッド 37, 38 が設けられている。更に、基部 12 との間に、基部 12 における振動が支持腕 23 へ伝わるのを低減するためにくびれ部 18, 19 が設けられている。30

【0044】

（小型化）

次に、課題となっていた振動片 2 (振動子 1) の小型化について、詳細に説明する。

図 3 は、振動子の等温的領域と断熱的領域について説明する模式図である。

Z カット水晶板を振動基板 10 とする振動子 1 は、外部から実装端子 45、接続電極 47、接合部材 42、第 1、第 2 導電パッド 37, 38、電極 30 を経由して駆動信号が印加されることにより、振動片 2 が所定の周波数（例えば、32.768 kHz）で発振（共振）する。

振動片 2 は、機械的な振動周波数 f が熱緩和周波数 f_0 よりも大きくなるように設定されている ($f > f_0$)。これにより、振動片 2 は、断熱的領域において屈曲振動することとなる。40

【0045】

ここで、断熱的領域について概略を説明する。図 3 は、断熱的領域について説明する模式図である。

一般に、屈曲振動を行う振動体の熱弾性損失（屈曲振動する振動片の圧縮部における温度上昇と伸張部における温度低下との間で発生する熱伝導により生じる振動エネルギーの損失）は、屈曲振動モードの振動片において、振動数周波数 f が緩和振動数 $f_m = 1 / (2 \cdot \cdot \cdot)$ (ただし、式中 \cdot は円周率であり、 e をネイピア数とすれば、 \cdot は温度差が熱伝導により e^{-1} 倍になるのに要する緩和時間である) と等しくなったときに最大となる50

。

【0046】

一般に、振動腕が平板構造である場合の緩和周波数 f_0 は、下記式(1)で求まることが知られている。

$$f_0 = (\cdots \cdot k) / (2 \cdot \cdots \cdot C_p \cdot a^2) \cdots \cdots (1)$$

ここで、 π は円周率、 k は振動腕の振動方向(屈曲振動方向)の熱伝導率 [W / (m · K)]、 ρ は振動腕の質量密度 [kg / m³]、 C_p は振動腕の熱容量 [J / (kg · K)]、 a は振動腕の振動方向(屈曲振動方向)の幅 [m] である。

【0047】

この Q 値と周波数との関係を一般的に表すと、図3に示す線Cのようになる。図3において、 Q 値が極小になる周波数が熱緩和周波数 f_0 である。 10

そして、振動腕が平板構造である場合には、 $f / f_0 = 1$ を境にして、振動周波数 f が熱緩和周波数 f_0 よりも大きくなり、周波数比が 1 より高い領域 ($1 < f / f_0$) が断熱的領域であり、周波数比が 1 より低い領域 ($1 > f / f_0$) が等温的領域である。

【0048】

また、振動腕の表裏の関係にある両主面(屈曲振動する方向と垂直な方向に面する2つの主面)のうち少なくとも一方に溝が形成されている構造の場合の熱緩和周波数を f_1 とすれば、 $f / f_1 = 1$ を境にして、振動周波数 f が熱緩和周波数 f_1 よりも大きくなり、周波数比が 1 より高い領域 ($1 < f / f_1$) が断熱的領域であり、周波数比が 1 より低い領域 ($1 > f / f_1$) が等温的領域である。 20

【0049】

なお、振動腕の表裏の関係にある両主面のうち少なくとも一方に溝が形成されている構造の場合には、屈曲振動する振動片の圧縮部における温度上昇と伸張部における温度低下との間で発生する熱の流れる経路は、平板構造の場合に比べて長くなるから、上述の緩和時間も長くなる。即ち、熱緩和周波数 f_1 は平板構造の熱緩和周波数 f_0 に比べて小さくなる ($f_1 < f_0$)。従って、 $f_1 < (f_0 \times f_1)^{1/2} < f_0$ の関係が成立つ。故に、振動腕が平板構造をしている場合には、 f / f_0 の関係(断熱的領域)を満足することが好ましく、振動片腕の表裏主面のうち少なくとも一方に溝が形成されている構造の場合には、 f / f_1 の関係(断熱的領域)を満足することが好ましく、更には $f > (f_0 \times f_1)^{1/2}$ の関係を満たしていることが好ましく、 f / f_0 の関係を満たしていることが最も好ましい。 30

【0050】

この関係を満たすことにより、振動片2の第1、第2の振動腕21、22で発生する熱弾性損失が小さくなる。

なお、振動腕の表裏主面のうち少なくとも一方に溝が形成されている構造の場合には、振動腕の幅(屈曲振動する方向の長さ)から(1)式によって算出される f_0 と振動周波数 f との関係が、 $f > f_0$ を満たしていれば、自ずと f / f_1 の関係を満たすことになる。

【0051】

また、基部12においても第1、第2の振動腕21、22が、互いに離間と近接を交互に繰り返す屈曲振動をするのに伴い、基部12が、図2(c)に示すように、基部12のX軸方向の長さを梁の長さとし、基部12のY軸方向の長さを梁の幅(屈曲振動方向の長さ)とする屈曲振動体が、Y軸方向に変位を有する屈曲振動が生じる。そのため、基部12の第1の端面6と第2の端面7が圧縮と伸張を繰り返すことで、熱弾性損失が生じ、振動片2を備えた振動子1の Q 値の劣化要因となっていたことが解った。 40

【0052】

そこで、本発明では、振動片2の基部12における寸法と熱弾性損失との関係に着目し、第1、第2の振動腕21、22の屈曲振動に起因して生じる基部12の屈曲振動による熱弾性損失と、振動子1の Q 値を基部12の屈曲振動に換算した熱弾性損失との関係を比較することに思い至った。

【0053】

基部12において、最も幅(Y軸方向長さ)の狭い部分は最も剛性が低いために最も屈 50

曲変形するので、この部分の幅方向の両端部に圧縮の変形や伸長の変形が交互に加わることによって熱が発生してこれが拡散することで発生する熱弾性損失によるQ値の劣化が最も大きい部分である。図2(c)に示すように、最も幅の狭い部分の基部12の幅Wbの方向と同じ方向の幅を有する仮想の梁13を想定し、この仮想の梁の屈曲振動によるQ値が振動子1の全体のQ値と等しくなるように設定された仮想梁の幅をWeとして定義し、これと仮想梁の屈曲振動における熱緩和周波数f_{0e}についての関係式を建て、幅Wbと、仮想の梁の幅We(以下、実効幅と称す)との比(Wb/We)の最適化を図ることによって、振動片2の小型化に伴うQ値の劣化の低減を図った。

【0054】

下記式(2)は振動子1全体のQ値を表す式であり、下記式(3)は上記(1)よりQ値が極小になる周波数である熱緩和周波数f_{0e}を表す式である。 10

$$Q = \{ (\dots \cdot C_p) / (c \cdot \dots^2 \cdot \dots) \} \times [\{ 1 + (f / f_{0e}) \} / (f / f_{0e})] \dots \quad (2)$$

$$f_{0e} = (\dots \cdot k) / (2 \cdot \dots \cdot C_p \cdot W e^2) \dots \quad (3)$$

ここで、Weは実効幅(仮想梁の幅)[m]、fは振動子(振動片をパッケージに搭載した状態)で得られる実際の振動周波数[Hz]、f₀は振動子の実効的な熱緩和周波数(仮想梁の熱緩和周波数)[Hz]、Qは振動子で得られる実際のQ値である。

式(2)、(3)から下記式(4)が求まる。この式(4)から分かるように、Q値は、Weの関係式となる。 20

$$Q = \{ (\dots \cdot C_p) / (c \cdot \dots^2 \cdot \dots) \} \times [\{ 1 + (2 \cdot \dots \cdot C_p \cdot W e^2 \cdot f / (\dots \cdot k))^2 \} / (2 \cdot \dots \cdot C_p \cdot W e^2 \cdot f / (\dots \cdot k))] \dots \quad (4)$$

【0055】

また、以下の定数は、材料が決まれば(水晶のカット角が決まれば結晶軸との関係から)一義的に決定する定数であり、 ρ は質量密度[kg/m³]、C_pは熱容量[J/(kg·K)]、cはWbの方向と面内で直交する方向に関する弾性定数[N/m²]、 α はWbの方向と面内で直交する方向に関する熱膨張係数[1/K]、Tは環境温度[K]、kはWbの方向に関する熱伝導率[W/(m·K)]である。

よって、式(2)、(3)において既知ではないものはWeのみであるから、この式(4)からは実効幅Weが算出されることになる。 30

【0056】

次に、振動片2の基部12のWb寸法を変化させて試作した振動子1のQ値とWeとの相関を有限要素法による数値解析を用いて調査し、Wb/Weの最適化を検討した。

図4は、振動子の数値解析条件と特性結果を示した図である。また、図5は、数値解析した振動子のWb/Weに対するQ値を示す図である。

なお、振動子の数値解析条件におけるWb以外の寸法は以下の通りである。

$$L_1 = 573 [\mu m]$$

$$L_2 = Wb$$

$$L_3 = 137 [\mu m]$$

$$W_1 = 40 [\mu m]$$

$$W_2 = 255 [\mu m]$$

$$W_3 = 550 [\mu m]$$

$$T_1 = 130 [\mu m]$$

$$T_2 = 60 [\mu m]$$

【0057】

更に、式(2)と式(3)における各パラメーターは以下の通りである。

なお、振動基板10はZカット水晶板(カット角0度)であるため、 $\rho = \rho_{11} = \rho_{22}$ 、 $C = C_{11} = C_{22}$ である。

$$\rho = 2649 [kg/m^3]$$

$$C_p = 735.3718 [J/(kg·K)]$$

$$\begin{aligned}
 &= c_{11} = c_{22} = 1.37 \times 10^{-5} [\text{N/K}] \\
 c &= c_{11} = c_{22} = 8.67 \times 10^{10} [\text{N/m}^2] \\
 &= 298.15 [\text{K}] \\
 k &= 8.47 [\text{W/(m·K)}]
 \end{aligned}$$

また、振動腕 21、22 の溝 28a、28b、29a、29b の形状は、ウェットエッティング時の異方性を考慮した形状で解析した。

【0058】

図 4 と図 5 から、基部 12 の Wb の寸法を 25 ~ 200 μm まで変化させた場合、Q 値は 1,484 ~ 9,018 と大きく変化し、Wb / We が約 1 以上で Q 値が約 8,500 以上となり、Wb / We が約 1.3 以上では Q 値が約 9,000 とほぼ一定になることが明らかとなった。 10

【0059】

これらの結果より、Wb (= L2) が 200 μm であった全長 (L1 + L2 + L3) 910 μm の従来設計の振動片 2 を有する振動子 1 に比べ、Wb / We を 0.81 以上 1.70 以下の範囲とすることで、Wb が 50 μm ~ 116 μm の範囲となり、Q 値は 6,672 ~ 8,971 の範囲で、全長が 760 μm ~ 826 μm の範囲とする振動片 2 を得ることができる。これは、Q 値が発振回路が安定した発振が可能となる振動片の Q 値が得られ、好ましくは Q 値は 6,600 以上で、且つ従来設計の振動子に比べ、全長が 9.2% ~ 16.5% の小型化が図れる振動子 1 が得られるという効果がある。 20

【0060】

また、Wb / We を 0.91 以上 1.30 以下の範囲とすることで、Wb が 60 μm ~ 89 μm の範囲となり、Q 値は 7,867 ~ 8,882 の範囲で、全長が 770 μm ~ 799 μm の範囲とする振動片 2 を得ることができる。これは、Q 値が発振回路でより安定な発振が可能となる 7,800 以上で、且つ従来設計の振動子に比べ、全長が 12.2% ~ 15.4% のより小型化が図れる振動子 1 が得られるという効果がある。 20

【0061】

更に、Wb / We を 1.00 以上 1.20 以下の範囲とすることで、Wb が約 70 μm ~ 80 μm の範囲となり、Q 値は約 8,500 ~ 8,800 の範囲で、全長が約 780 μm ~ 790 μm の範囲とする振動片 2 を得ることができる。これは、Q 値が発振回路で更なる安定な発振が可能となる 8,500 以上で、且つ従来設計の振動子に比べ、全長が約 13.2% ~ 14.3% の更なる小型化が図れる振動子 1 が得られるという効果がある。 30

【0062】

なお、振動子 1 の振動周波数 f が基部 12 を屈曲振動体と見做したときの熱緩和周波数 f_{0b} よりも高い断熱的領域において、Wb / We は上記範囲にあることが好ましい。

ここで、 f_{0b} は、式 (1) における a の代わりに Wb を代入して得られる熱緩和周波数であり、下記式 (5) で示すことができる。

$$f_{0b} = (\cdot k) / (2 \cdot \cdot C_p \cdot Wb^2) \cdots (5)$$

【0063】

また、振動子 1 の振動周波数 f が前記熱緩和周波数 f_{0b} よりも低い等温的領域においては、図 3 において f_0 の代わりに f_{0b} に置き換えて考えれば分るように、振動周波数 f を固定して考えれば、熱緩和周波数 f_{0b} が大きい程、熱弾性損失が小さくなつて Q 値が大きくなる。つまり、熱緩和周波数 f_{0b} とは逆数の関係にある熱緩和時間が小さい程、即ち、熱の伝搬する経路 Wb が小さい程、熱弾性損失が小さくなつて Q 値が大きくなるので、Wb / We が 1.00 以下の範囲にあることが好ましい。 40

【0064】

(電極構成)

以上、振動片 2 (振動子 1) の小型化について説明した。次に、振動片 2 の振動基板 10 上に設けられた電極 30 について説明する。

図 6 は、本発明の実施形態に係る振動子に用いられている振動片の電極構成を示した平面図であり、図 6 (a) は上面図であり、図 6 (b) は図 6 (a) の下面図 (透視図) で 50

ある。また、図7は、図6(a)に示すC-C線断面図である。

図6及び図7に示すように、電極30は、複数の第1駆動用電極31と、第1導電パッド37と、これら複数の第1駆動用電極31と第1導電パッド37とを接続する配線35a, 35b, 35c, 35d, 35e, 35fと、複数の第2駆動用電極32と、第2導電パッド38と、これら複数の第2駆動用電極32と第2導電パッド38とを接続する配線36a, 36b, 36c, 36d, 36e, 36fと、を有している。

【0065】

第1駆動用電極31は、第1の振動腕21の各溝28a, 28bの内面と、第2の振動腕22の各側面34a, 34bと、に設けられている。溝28aの第1駆動用電極31は、基部12の上面と側面とに跨って設けられた配線35cを介して側面34bの第1駆動用電極31に接続され、溝28bの第1駆動用電極31は、基部12の下面と側面とに跨って設けられた配線35eを介して側面34bの第1駆動用電極31に接続されている。なお、配線35c, 35eは、基部12の側面にて接続されている。

【0066】

次に、側面34bの第1駆動用電極31は、錐部25に設けられた配線35fを介して側面34aの第1駆動用電極31に接続されている。また、側面34aの第1駆動用電極31は、基部12の上面と下面に設けられた配線35bと配線35dを介して支持腕23の上下面や側面に設けられた配線35aに接続されている。更に、配線35aは支持腕23の下面に設けられた第1導電パッド37と電気的に接続されている。

【0067】

一方、第2駆動用電極32は、第2の振動腕22の各溝29a, 29bの内面と、第1の振動腕21の各側面33a, 33bと、に設けられている。溝29aの第2駆動用電極32は、基部12の上面に設けられた配線36bを介して側面33bの第2駆動用電極32に接続され、溝29bの第2駆動用電極32は、基部12の下面に設けられた配線36cを介して側面33bの第2駆動用電極32に接続されている。

【0068】

次に、側面33bに設けられた第2駆動用電極32は、錐部24に設けられた配線36dを介して側面33aに設けられた第2駆動用電極32に接続されている。また、基部12の上面の配線36bは、基部12の上面に設けられた配線36eを介して、基部12の下面の配線36cは、基部12の下面に設けられた配線36fを介して、それぞれ支持腕23の上下面や側面に設けられた配線36aに接続されている。更に、配線36aは支持腕23の下面に設けられた第2導電パッド38と電気的に接続されている。

【0069】

これにより、第1、第2導電パッド37, 38から、各配線を通じて、第1、第2駆動用電極31, 32に駆動電圧が印加されることで、振動片2の振動腕内で電界が適切に発生し、2つの第1、第2の振動腕21, 22が互いに接近、離間を繰り返すように所定の周波数で略面内方向(XY平面方向)に振動する。

【0070】

電極30の構成材料としては、特に限定されず、例えば、金(Au)、金合金、白金(Pt)、アルミニウム(Al)、アルミニウム合金、銀(Ag)、銀合金、クロム(Cr)、クロム合金、銅(Cu)、モリブデン(Mo)、ニオブ(Nb)、タンゲステン(W)、鉄(Fe)、チタン(Ti)、コバルト(Co)、亜鉛(Zn)、ジルコニウム(Zr)等の金属材料、酸化インジウムスズ(ITO)等の導電材料を用いることができる。

【0071】

(製造方法)

以上、振動片2の電極構成について説明した。このような振動片2は、次のようにして製造することができる。なお、以下に説明する製造方法は、1つの例であって、他の製造方法によって振動片2を製造してもよい。

図8は、本発明の実施形態に係る振動子1に用いられている振動片2の製造方法を説明するための溝28a, 28b, 29a, 29bが設けられた第1、第2の振動腕21, 22

10

20

30

40

50

2 と支持腕 2 3 の断面図である。

【0072】

先ず、図 8 (a) に示すように、振動基板 1 0 を用意する。振動基板 1 0 は、Z カット水晶基板に振動片外形形状のパターニングを施し、ウェットエッチングすることにより製造することができる。

次に、図 8 (b) に示すように、例えば、蒸着やスパッタリング等によって、振動基板 1 0 の全面に電極膜 3 0 a を成膜する。

【0073】

その後、図 8 (c) に示すように、電極膜 3 0 a 上にレジスト膜 4 0 (ポジ型のフォトレジスト膜) を塗布し、露光・現像によってパターニングすることにより、電極 3 0 の形状に対応するレジストパターンを形成する。10

次に、レジストパターンから露出している部分の電極膜 3 0 a をウェットエッチングし除去した後、レジストパターンを除去することで、電極 3 0 が形成される。以上によって、図 8 (d) に示すように、電極 3 0 が形成された振動片 2 が得られる。

【0074】

(振動片の変形例)

次に、本発明の実施形態に係る振動子 1 に用いられている振動片 2 の変形例について説明する。

図 9 は、本発明の実施形態に係る振動子に用いられている振動片の変形例を示す平面図であり、図 9 (a) は変形例 1 、図 9 (b) は変形例 2 、図 9 (c) は変形例 3 、図 9 (d) は変形例 4 である。20

図 1 0 は、本発明の実施形態に係る振動子に用いられている振動片の変形例を示す平面図であり、図 1 0 (a) は変形例 5 、図 1 0 (b) は変形例 6 、図 1 0 (c) は変形例 7 、図 1 0 (d) は変形例 8 である。

以下、変形例について、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の構成には、同一符号を付してあり、同様の事項については、その説明を省略する。

【0075】

図 9 (a) に示す変形例 1 の振動片 2 a は、基部 1 2 a の第 2 の端面 7 a 側に - Y 軸方向に向かって幅が漸減する縮幅部 1 6 a を有している。このような縮幅部 1 6 a を有することにより、第 1 、第 2 の振動腕 2 1 , 2 2 の屈曲振動による振動漏れを抑制することができ、高い Q 値を有する振動片 2 a を得ることができる。30

【0076】

図 9 (b) に示す変形例 2 の振動片 2 b は、変形例 1 と同様に、基部 1 2 b の第 2 の端面 7 b 側に - Y 軸方向に向かって幅が漸減する円弧形の縮幅部 1 6 b を有し、第 1 、第 2 の振動腕 2 1 , 2 2 の屈曲振動による振動漏れを抑制しているので、高い Q 値を有する振動片 2 b を得ることができる。

【0077】

図 9 (c) に示す変形例 3 の振動片 2 c は、基部 1 2 c を支持する構造であり、第 1 、第 2 の振動腕 2 1 , 2 2 の間に支持腕がない構造なので、振動片 2 c の幅 (X 軸方向) 寸法を小さくすることができ、幅の狭い小型の振動片 2 c を得ることができる。40

【0078】

図 9 (d) に示す変形例 4 の振動片 2 d は、変形例 3 と同様に、第 1 、第 2 の振動腕 2 1 , 2 2 の間に支持腕がない構造なので、振動片 2 d の幅 (X 軸方向) 寸法を小さくすることができる。また、基部 1 2 d の第 1 の端面 6 d に + Y 軸方向に向かって幅が漸減する円弧形の縮幅部 1 7 d と、基部 1 2 d の第 2 の端面 7 d に - Y 軸方向に向かって幅が漸減する円弧形の縮幅部 1 6 d と、を有しているので、第 1 、第 2 の振動腕 2 1 , 2 2 の屈曲振動による振動漏れをより抑制でき、高い Q 値を有することができる。そのため、小型で高い Q 値を有する振動片 2 d を得ることができる。

【0079】

図 1 0 (a) に示す変形例 5 の振動片 2 e は、基部 1 2 e の第 1 の端面 6 e 及び第 2 の50

端面 7 e に、+ Y 軸方向に向かって幅が漸減する円弧形の縮幅部 17 e と、- Y 軸方向に向かって幅が漸減する円弧形の縮幅部 16 e と、第 1、第 2 の振動腕 21, 22 の間に支持腕 23 e と、を有しており、支持腕 23 e の先端部に支持部 26 e が設けられている。そのため、基部 12 e に円弧形の縮幅部 16 e, 17 e を有し、且つ基部 12 e から離れた位置にある支持部 26 e を支持・固定することができるため、第 1、第 2 の振動腕 21, 22 の屈曲振動による振動漏れをより抑制でき、高い Q 値を有する動片 2 e を得ることができる。

【 0 0 8 0 】

図 10 (b) に示す変形例 6 の振動片 2 f は、支持部 26 f が第 1、第 2 の振動腕 21, 22 及び基部 12 f を囲む枠状に形成されている。そのため、支持部 26 f が蓋とパッケージベースとで狭持され、支持部 26 f が図示しないパッケージの一部を兼ねた、平面サイズが振動片 2 f と等しい振動子 1 を得ることができる。 10

【 0 0 8 1 】

図 10 (c) に示す変形例 7 の振動片 2 g は、基部 12 g の X 軸方向の両端に支持腕 23 g が設けられているため、2 つの支持腕 23 g を支持・固定することができるため、耐振動強度や耐落下強度に優れた振動片 2 g を得ることができる。

【 0 0 8 2 】

図 10 (d) に示す変形例 8 の振動片 2 h は、変形例 6 と同様に、支持部 26 h が第 1、第 2 の振動腕 21, 22 及び基部 12 h を囲む枠状に形成されている。そのため、支持部 26 h が蓋とパッケージベースとで狭持され、支持部 26 h が図示しないパッケージの一部を兼ねた、平面サイズが振動片 2 h と等しい振動子 1 を得ることができる。 20

【 0 0 8 3 】

(電子デバイス)

次に、本発明の振動子 1 を適用した電子デバイス 3 について説明する。

図 11 は、本発明の電子デバイスの構造を示した概略図であり、図 11 (a) は平面図、図 11 (b) は図 11 (a) に示す D - D 線断面図である。

電子デバイス 3 は、振動子 1 と、振動子 1 を駆動するための発振回路を有する IC チップ (チップ部品) 62 と、振動子 1 や IC チップ 62 を収納するパッケージ本体 60 と、ガラス、セラミック、金属等からなる蓋部材 56 と、で構成されている。

【 0 0 8 4 】

パッケージ本体 60 は、図 11 (b) に示すように、本実施形態の振動子 1 と同様に、第 1 の基板 51、第 2 の基板 52 及び実装端子 45 を積層して形成されている。また、パッケージ本体 60 は、上面に開放するキャビティ 72 を有している。なお、振動子 1 と IC チップ 62 を収容するキャビティ 72 内は減圧雰囲気あるいは窒素などの不活性気体雰囲気に気密封止されている。 30

【 0 0 8 5 】

実装端子 45 は、第 1 の基板 51 の外部底面に複数設けられている。また、実装端子 45 は、第 1 の基板 51 の上面に設けられた接続電極 46 や接続端子 48 と、図示しない貫通電極や層間配線を介して、電気的に導通されている。

【 0 0 8 6 】

パッケージ本体 60 のキャビティ 72 内には、振動子 1 と IC チップ 62 が収容されている。振動子 1 は、半田や導電性接着剤を介して第 1 の基板 51 の上面に設けられた接続電極 46 に固定されている。IC チップ 62 は、ろう材あるいは接着剤等の接合部材 42 を介して第 1 の基板 51 の上面に固定されている。また、キャビティ 72 には、複数の接続端子 48 が設けられている。接続端子 48 は、ボンディングワイヤー 44 によって IC チップ 62 の上面に設けられた接続端子 64 と電気的に接続されている。 40

【 0 0 8 7 】

IC チップ 62 は、振動子 1 の駆動を制御するための駆動回路 (発振回路) を有しており、この IC チップ 62 によって振動子 1 を駆動すると、所定の周波数の信号を取り出すことができる。 50

【0088】

(電子機器)

次いで、本発明の振動子1を適用した電子機器について、図12～図14に基づき、詳細に説明する。

図12は、本発明の振動子を備える電子機器としてのモバイル型(又はノート型)のパソコン用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、パソコン用コンピューター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。このようなパソコン用コンピューター1100には、振動子1が内蔵されている。

10

【0089】

図13は、本発明の振動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、振動子1が内蔵されている。

【0090】

図14は、本発明の振動子を備える電子機器としてのデジタ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。

20

【0091】

デジタルカメラ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。

【0092】

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。

30

【0093】

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にはパソコン用コンピューター1440が、それぞれ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1430や、パソコン用コンピューター1440に出力される構成になっている。このようなデジタルカメラ1300には、振動子1が内蔵されている。

40

【0094】

なお、本発明の振動子1を備える電子機器は、図12のパソコン用コンピューター(モバイル型パソコン用コンピューター)、図13の携帯電話機、図14のデジタルカメラの他にも、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)、ラップトップ型パソコン用コンピューター、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、ペーパーメモ、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

50

できる。

【0095】

(移動体)

次に、本発明の振動子1を適用した移動体について説明する。

図15は、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である。自動車1500には、振動子1が搭載されている。振動子1は、キーレスエントリー、イモビライザー、ナビゲーションシステム、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)1510に広く適用できる。 10

【0096】

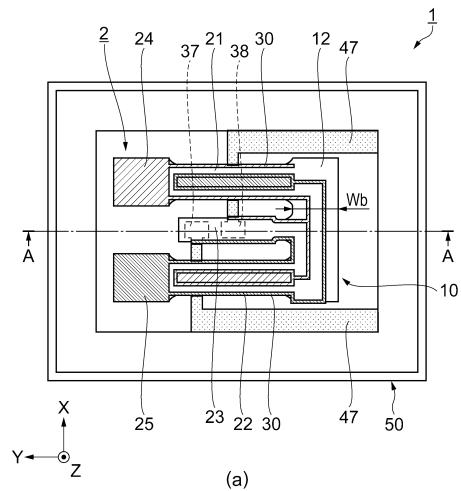
以上、本発明の振動子1、振動片2、電子デバイス3、電子機器及び移動体について、図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、各部の構成は、同様の機能を有する任意の構成のものに置換することができる。また、本発明に、他の任意の構成物が付加されていてもよい。また、各実施形態を適宜組み合わせてもよい。

【符号の説明】

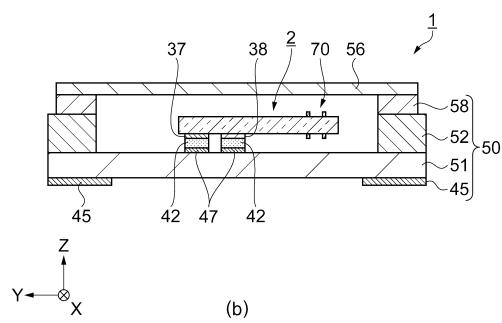
【0097】

1...振動子、2...振動片、3...電子デバイス、6...第1の端面、7...第2の端面、10...振動基板、12...基部、18, 19...くびれ部、21...第1の振動腕、22...第2の振動腕、23...支持腕、24, 25...錘部、28a, 28b, 29a, 29b...溝、30...電極、30a...電極膜、31...第1駆動用電極、32...第2駆動用電極、33a, 33b, 34a, 34b...側面、35a, 35b, 35c, 35d, 35e, 35f, 36a, 36b, 36c, 36d, 36e, 36f...配線、37...第1導電パッド、38...第2導電パッド、40...レジスト膜、42...接合部材、44...ポンディングワイヤー、45...実装端子、46, 47...接続電極、48...接続端子、50...パッケージ本体、51...第1の基板、52...第2の基板、56...蓋部材、58...封止材、60...パッケージ本体、62...ICチップ、64...接続端子、70, 72...キャビティー、100...表示部、1100...パーソナルコンピューター、1102...キーボード、1104...本体部、1106...表示ユニット、1200...携帯電話機、1202...操作ボタン、1204...受話口、1206...送話口、1300...デジタルカメラ、1302...ケース、1304...受光ユニット、1306...シャッターボタン、1308...メモリー、1312...ビデオ信号出力端子、1314...入出力端子、1430...テレビモニター、1440...パーソナルコンピューター、1500...自動車、1510...電子制御ユニット。 20 30

【図1】

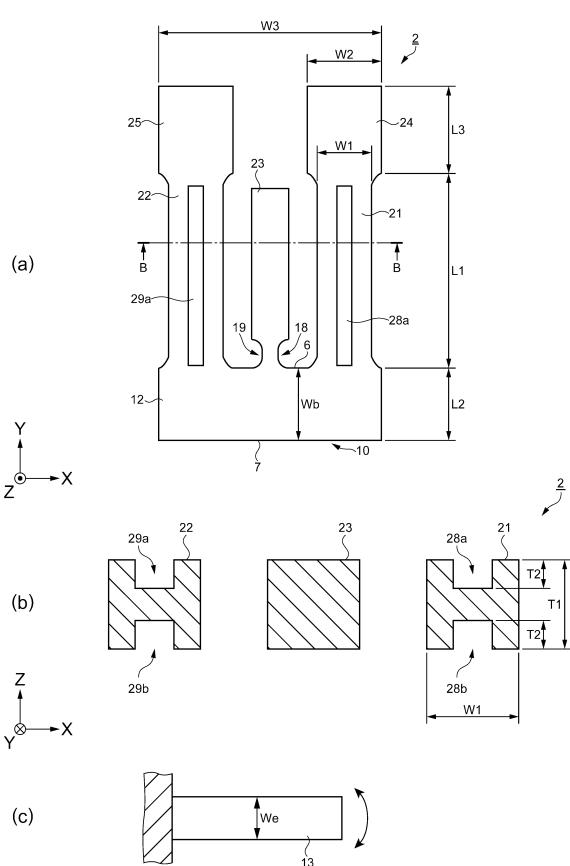


(a)

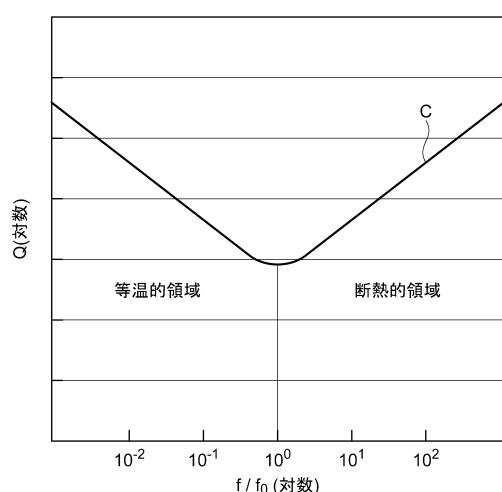


(b)

【図2】



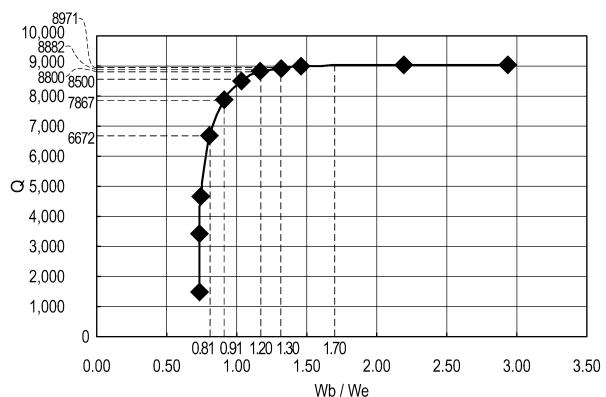
【図3】



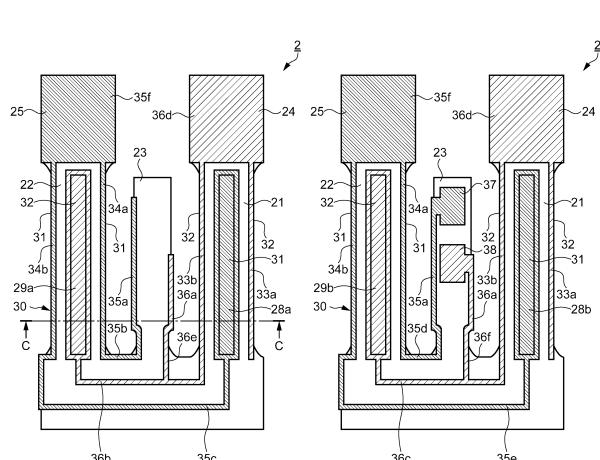
【図4】

Wb [μm]	f [kHz]	Q	We [μm]	Wb / We
25.0	20.101	1,484	34.0	0.74
35.0	25.382	3,434	47.6	0.73
40.0	27.104	4,639	53.8	0.74
50.0	29.359	6,672	62.1	0.81
60.0	30.643	7,867	66.0	0.91
70.0	31.401	8,467	67.6	1.03
80.0	31.873	8,823	68.5	1.17
90.0	32.176	8,888	68.5	1.31
100.0	32.381	8,952	68.5	1.46
150.0	32.793	9,011	68.3	2.20
200.0	32.895	9,018	68.2	2.93

【図5】



【図6】

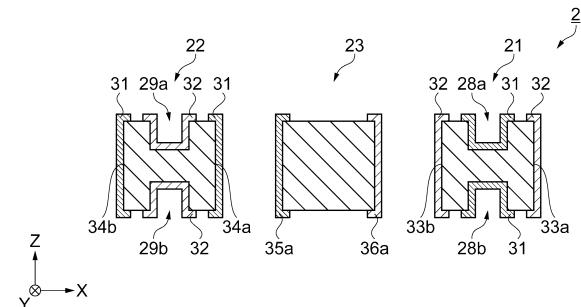


(a)



(b)

【図7】

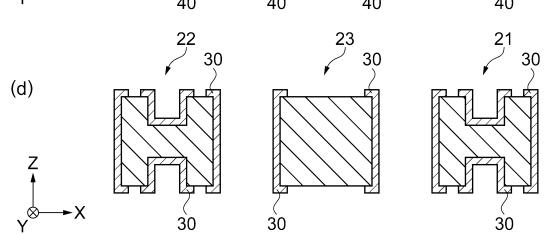
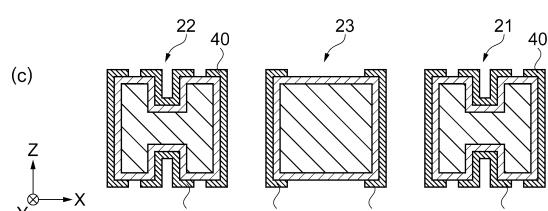
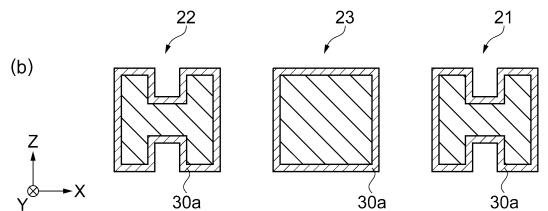
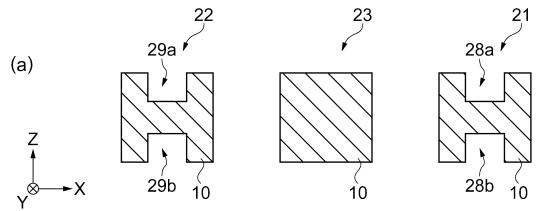


X

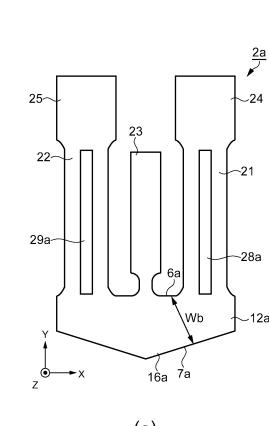
Y

Z

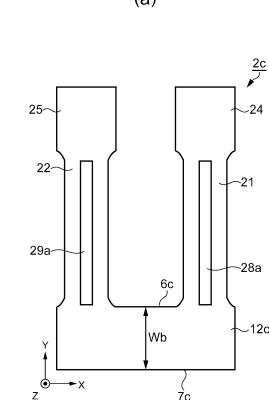
【図8】



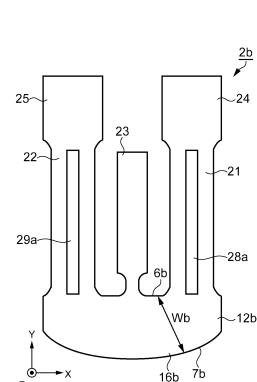
【図9】



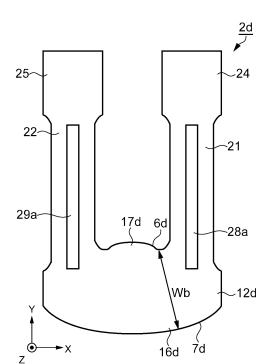
(a)



(c)

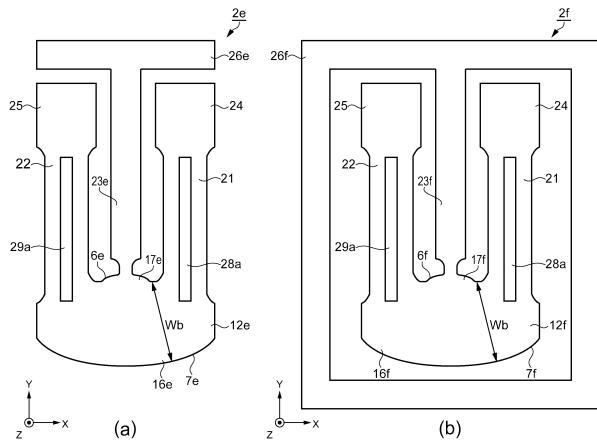


(b)

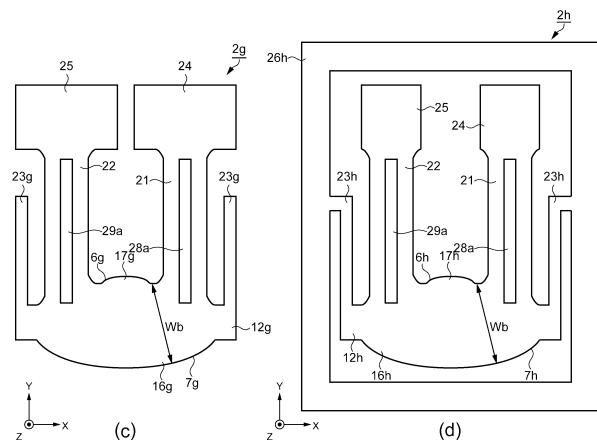
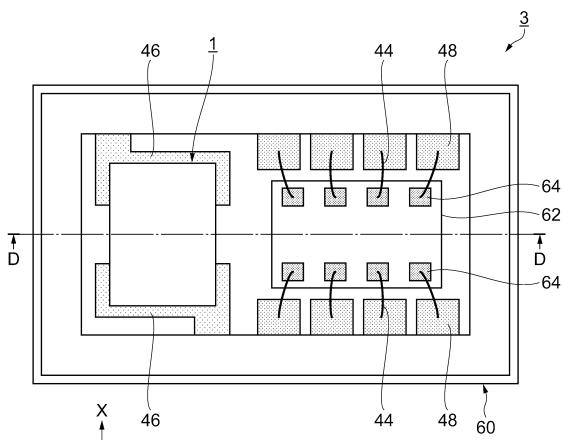


(d)

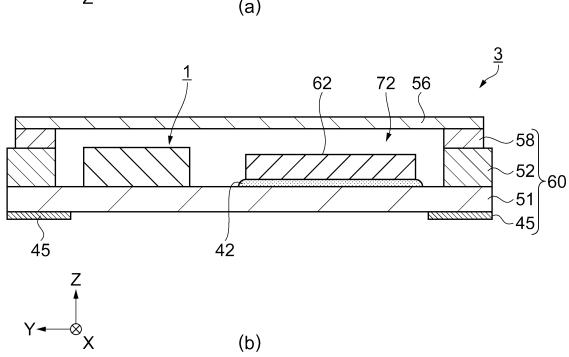
【図10】



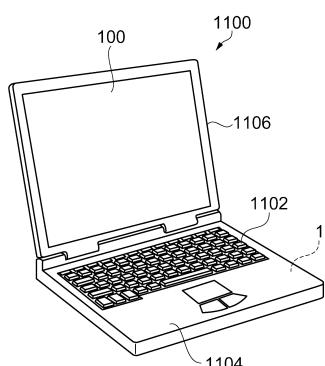
【 図 1 1 】



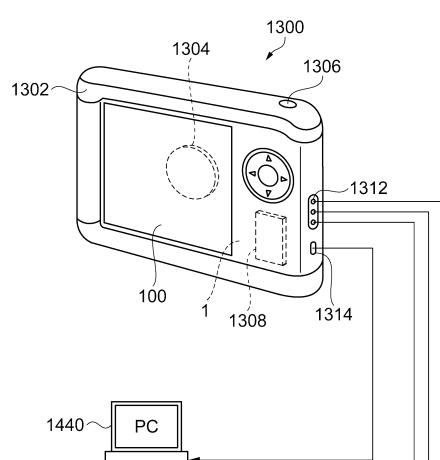
$$Y \leftarrow \bullet_Z$$



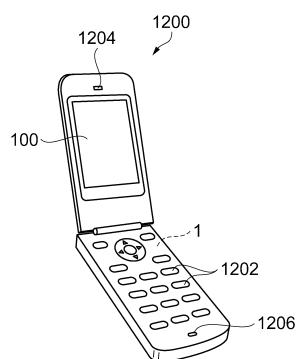
【図12】



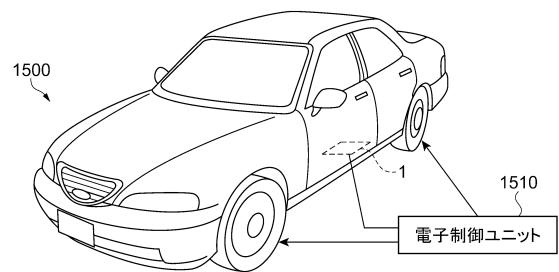
【 図 1 4 】



【図13】



【図15】



フロントページの続き

審査官 角張 亜希子

(56)参考文献 特開2011-124976 (JP, A)

特開2008-072705 (JP, A)

特開2010-098531 (JP, A)

特開2011-082956 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L41/00-41/47

H03H3/007-3/06

9/00-9/135

9/15-9/24

9/30-9/40

9/46-9/62

9/66

9/70

9/74