

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6145288号
(P6145288)

(45) 発行日 平成29年6月7日(2017.6.7)

(24) 登録日 平成29年5月19日(2017.5.19)

(51) Int.Cl.			F I		
HO3H	9/19	(2006.01)	HO3H	9/19	J
HO3H	9/215	(2006.01)	HO3H	9/215	
HO3H	9/02	(2006.01)	HO3H	9/02	K

請求項の数 6 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2013-53826 (P2013-53826)	(73) 特許権者	713005174
(22) 出願日	平成25年3月15日(2013.3.15)		エスアイアイ・クリスタルテクノロジー株式会社
(65) 公開番号	特開2014-179901 (P2014-179901A)		千葉県千葉市美浜区中瀬一丁目8番地
(43) 公開日	平成26年9月25日(2014.9.25)	(74) 代理人	100142837
審査請求日	平成28年1月12日(2016.1.12)		弁理士 内野 則彰
		(74) 代理人	100123685
			弁理士 木村 信行
		(74) 代理人	100166305
			弁理士 谷川 徹
		(72) 発明者	田村 正典
			千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地 セイコーインスツル株式会社内
		審査官	河合 弘明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電振動片、圧電振動子、発振器、電子機器、及び電波時計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

それぞれが溝部を有する2本の振動腕部と、
前記2本の振動腕部の間に配置された基部と、
前記2本の振動腕部のそれぞれの基端と前記基部とを連結する連結部と、
前記基部にのみ配された基板実装用のマウント電極と、
を備え、

前記振動腕部の長手方向において、前記振動腕部の基端から先端までの長さを L_v とし、
前記振動腕部の基端から、前記連結部における前記振動腕部に対して反対側の端までの長さを L_c とした場合、

$$L_c / L_v = 0.1$$

の関係を満たす圧電振動片。

【請求項2】

前記連結部は、前記振動腕部に対して反対側に突出する凸部を有し、
前記凸部は、前記振動腕部の長手方向において、前記連結部における前記振動腕部に対して反対側の端を含む

請求項1に記載の圧電振動片。

【請求項3】

請求項1又は2に記載の圧電振動片と、
前記圧電振動片が実装されるベース部材と、

10

20

前記圧電振動片が収容されるキャビティを、前記ベース部材とともに形成するリッド部材と、を備える圧電振動子。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の圧電振動子と、

前記圧電振動子と電氣的に接続された集積回路と、を備える発振器。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の圧電振動子を含む計時部を備える電子機器。

【請求項 6】

請求項 3 に記載の圧電振動子を含むフィルタ部を備える電波時計。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧電振動片、圧電振動子、発振器、電子機器、及び電波時計に関する。

【背景技術】

【0002】

圧電振動子は、時刻源、制御信号のタイミング源、リファレンス信号源等として、各種のデバイスに利用されている。圧電振動子は、パッケージに圧電振動片が収容された構造である。

【0003】

圧電振動片は、例えば下記の特許文献 1 に開示されているように、一对の振動腕部、一对の振動腕部の間に設けられる基部、及び一对の振動腕部のそれぞれと基部を連結する連結部を備える。圧電振動片は、振動腕部に形成された励振電極に電圧が印加されると、振動腕部が所定の周波数で屈曲振動する。

20

【0004】

このような圧電振動片は、圧電振動片の C I 値 (Crystal Impedance) が小さいものほど、振動に必要な電力が少なくなり、圧電振動片を用いた各種デバイスの消費電力を低減できる。

【0005】

圧電振動片の C I 値は、圧電振動片を等価回路で表す場合に直列抵抗値 (以下、単に抵抗値という) として表されることが多く、本明細書においても抵抗値で表記する。現状で提供されている圧電振動片は、例えば、出力周波数が 32.768 kHz である場合には、抵抗値が 50 から 80 程度である。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開 2006 - 345519 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述のような圧電振動片は、振動腕部に溝部が形成されていると、電界効率が高くなることなどにより抵抗値が低くなる。一般的に、圧電振動片は、溝部の長さが長いほど抵抗値が低くなる。しかしながら、溝部の長さが閾値以上であると、基本振動の抵抗値よりも高次振動の抵抗値の方が小さくなり、振動モードが変化することで、所望の周波数の振動が得られなくなってしまう。換言すると、圧電振動片は、高次振動の発生を抑制しつつ抵抗値を低減することが容易でない。

40

【0008】

本発明は、高次振動の発生を抑制しつつ抵抗値を低減できる圧電振動片を提供することを目的とする。また、本発明は、消費電力を低減できる圧電振動子、発振器、電子機器、及び電波時計を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

50

【0009】

本発明の第1態様の圧電振動片は、それぞれが溝部を有する2本の振動腕部と、2本の振動腕部の間に配置された基部と、2本の振動腕部のそれぞれの基端と基部とを連結する連結部と、基部にのみ配された基板実装用のマウント電極と、を備え、振動腕部の長手方向において、振動腕部の基端から先端までの長さを L_v とし、振動腕部の基端から、連結部における振動腕部に対して反対側の端までの長さを L_c とした場合、 $L_c / L_v > 0.1$ の関係を満たす。

【0010】

第1態様の圧電振動片において、連結部は、振動腕部に対して反対側に突出する凸部を有し、凸部は、振動腕部の長手方向において、連結部における振動腕部に対して反対側の端を含んでいてもよい。

10

【0012】

本発明の第2態様の圧電振動子は、第1態様の圧電振動片と、圧電振動片が実装されるベース部材と、圧電振動片が収容されるキャビティを、ベース部材とともに形成するリッド部材と、を備える。

【0013】

本発明の第3態様の発振器は、第2態様の圧電振動子と、圧電振動子と電気的に接続された集積回路と、を備える。

【0014】

本発明の第4態様の電子機器は、第2態様の圧電振動子を含む計時部を備える。

20

【0015】

本発明の第4態様の電波時計は、第2態様の圧電振動子を含むフィルタ部を備える。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、高次振動の発生を抑制しつつ抵抗値を低減できる圧電振動片を提供する。また、本発明は、消費電力を低減できる圧電振動子、発振器、電子機器、及び電波時計を提供することを目的とする。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本実施形態の圧電振動子を示す分解斜視図である。

30

【図2】本実施形態の圧電振動片を厚み方向から見た平面図である。

【図3】図2のA-A'線の位置における一对の振動腕部の断面図である。

【図4】振動腕部の長さ L_v 、連結部の長さ L_c 、溝部の長さ L_a の組み合わせが異なる複数の圧電振動片のそれぞれの抵抗値を示す表である。

【図5】1次振動の抵抗値 R_1 に対する2次振動の抵抗値 R_2 の比(R_2 / R_1)を、溝部の相対長さ(L_a / L_v)に対してプロットしたグラフである。

【図6】変形例1に係る圧電振動片を示す図である。

【図7】変形例2に係る圧電振動片を示す図である。

【図8】変形例3に係る圧電振動片を示す図である。

【図9】変形例4に係る圧電振動片を示す図である。

40

【図10】変形例5に係る圧電振動片を示す図である。

【図11】変形例6に係る圧電振動片を示す図である。

【図12】圧電振動片の製造方法を示すフローチャートである。

【図13】圧電振動片の形状情報を決定する工程を示すフローチャートである。

【図14】本実施形態の発振器を示す図である。

【図15】本実施形態の携帯情報機器の一例を示す図である。

【図16】本実施形態の電波時計を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

次に、実施形態について説明する。図1は、本実施形態の圧電振動子1を示す分解斜視

50

図である。この圧電振動子 1 は、いわゆるセラミックパッケージタイプの表面実装型振動子である。圧電振動子 1 は、気密に封止されたキャビティ C を有するパッケージ 2 と、キャビティ C に収容された圧電振動片 3 とを備える。

【 0 0 1 9 】

図 1 の圧電振動子 1 は、外形が概ね直方体状である。以下の説明においては、圧電振動片 3 の厚み方向 T からみた場合の圧電振動子 1 の長手方向を長さ方向 L、圧電振動子 1 の短手方向を幅方向 W という。

【 0 0 2 0 】

パッケージ 2 は、パッケージ本体（ベース部材）4 と、封口板（リッド部材）5 とを備える。パッケージ本体 4 は、有底の凹部を有する部材である。封口板 5 は、パッケージ本体 4 の凹部の開口を塞いでおり、パッケージ本体 4 と接合されている。キャビティ C は、パッケージ本体 4 の凹部の内側に相当する内部空間であり、パッケージ本体 4 と封口板 5 とによって、パッケージ 2 の外部と仕切られている。

10

【 0 0 2 1 】

パッケージ本体 4 は、第 1 ベース基板 1 0 と、第 1 ベース基板 1 0 上に配置された第 2 ベース基板 1 1 と、第 2 ベース基板 1 1 上に配置されたシールリング 1 2 とを含む。

【 0 0 2 2 】

第 1 ベース基板 1 0 と第 2 ベース基板 1 1 は、それぞれ、厚み方向 T から見た外形が概ね長方形の板状部材である。第 2 ベース基板 1 1 は、厚み方向 T から見た外形寸法が第 1 ベース基板 1 0 とほぼ同じである。

20

【 0 0 2 3 】

第 1 ベース基板 1 0 と第 2 ベース基板 1 1 は、それぞれ、セラミックス製である。第 1 ベース基板 1 0 と第 2 ベース基板 1 1 の形成材料は、例えば、アルミナを主成分とする高温焼成セラミックス（HTCC）であってもよいし、ガラスセラミックス等の低温焼成セラミックス（LTCC）であってもよい。

【 0 0 2 4 】

第 2 ベース基板 1 1 は、第 1 ベース基板 1 0 に重ねられており、第 1 ベース基板 1 0 と焼結などで結合されている。すなわち、第 2 ベース基板 1 1 は、第 1 ベース基板 1 0 と一体化されている。第 2 ベース基板 1 1 において、第 1 ベース基板 1 0 と反対を向く面は、パッケージ本体 4 の凹部の底面に相当し、圧電振動片 3 がマウントされる実装面 1 1 a である。

30

【 0 0 2 5 】

シールリング 1 2 は、棒状部材であり、パッケージ本体 4 の凹部の側壁を含む。シールリング 1 2 は、厚み方向 T から見た場合の外形寸法が、第 2 ベース基板 1 1 よりも一回り小さい。シールリング 1 2 は、銀ロウ等のロウ材や半田材等を用いた焼付けによって、実装面 1 1 a に接合されている。シールリング 1 2 は、実装面 1 1 a 上に形成された金属接合層に対する溶着等によって、実装面 1 1 a と接合されていてもよい。この金属接合層は、電解メッキ法、無電解メッキ法、蒸着法、スパッタ法の少なくとも一つを用いて形成されていてもよい。

【 0 0 2 6 】

40

シールリング 1 2 は、導電性の部材であり、例えばニッケル基合金を含む。このニッケル基合金は、コパール、エリンパー、インパー、4 2 - アロイのうち 1 種または 2 種以上を含んでいてもよい。シールリング 1 2 の形成材料は、第 1 ベース基板 1 0 及び第 2 ベース基板 1 1 と熱膨張係数が近い材料から選択されていてもよい。例えば、第 1 ベース基板 1 0 及び第 2 ベース基板 1 1 の形成材料として、熱膨張係数が $6.8 \times 10^{-6} /$ のアルミナを用いる場合には、シールリング 1 2 の形成材料は、熱膨張係数が $5.2 \times 10^{-6} /$ のコパールであってもよいし、熱膨張係数が $4.5 \sim 6.5 \times 10^{-6} /$ の 4 2 - アロイであってもよい。

【 0 0 2 7 】

封口板 5 は、シールリング 1 2 上に重ねられており、シールリング 1 2 の開口を塞いで

50

いる。上述のキャビティCは、第2ベース基板11とシールリング12と封口板5とに囲まれる空間である。すなわち、圧電振動片3は、厚み方向Tから見た場合に、シールリング12の内側に収容されている。

【0028】

封口板5は、導電性の基板であり、シールリング12と接合されている。シールリング12は、例えば、ローラ電極を接触させることによるシーム溶接、レーザ溶接、超音波溶接などの溶接によって、封口板5と接合される。封口板5とシールリング12とを溶接する場合に、封口板5の下面とシールリング12の上面の一方または双方にニッケル、金等の接合層が設けられていると、溶接による接合の信頼性が向上し、例えばキャビティCの気密性を確保しやすくなる。

10

【0029】

シールリング12の内側における第2ベース基板11の実装面11a上には、電極パッド14および電極パッド15が設けられている。電極パッド14と電極パッド15は、圧電振動片3と電氣的に接続される一対の端子である。詳しくは後述するが、圧電振動片3には、基板実装用のマウント電極16およびマウント電極17が設けられている。電極パッド14は、圧電振動片3のマウント電極16と電氣的に接続され、電極パッド15は、圧電振動片3のマウント電極17と電氣的に接続される。

【0030】

第1ベース基板10の下面には、外部電極18および外部電極19が設けられている。外部電極18および外部電極19は、圧電振動子1の外部のデバイス、例えば圧電振動子1が実装されるデバイスからの電力の供給を受ける端子である。

20

【0031】

パッケージ本体4には、電極パッド14と外部電極18とを電氣的に接続する第1配線(図示略)と、電極パッド15と外部電極19とを電氣的に接続する第2配線(図示略)とが設けられている。すなわち、外部電極18に印加された電位は、第1配線および電極パッド14を介して、圧電振動片3のマウント電極16に印加される。また、外部電極19に印加された電位は、第2配線および電極パッド15を介して、圧電振動片3のマウント電極17に印加される。圧電振動片3は、マウント電極16およびマウント電極17に供給される電力によって、振動する。

【0032】

なお、第1配線は、例えば、第1ベース基板10を厚み方向Tに貫通して外部電極18と導通する第1貫通電極と、第2ベース基板11を厚み方向Tに貫通して電極パッド14と導通する第2貫通電極と、第1ベース基板10と第2ベース基板との間に設けられ、第1貫通電極と第2貫通電極とを電氣的に接続する接続配線とを含む。電極パッド15と外部電極19とを電氣的に接続する第2配線は、第1配線と同様の構成である。第1配線と第2配線の構成は、適宜変更できる。

30

【0033】

次に、圧電振動片3について説明する。この圧電振動片3は、図1に示すような板状の部品である。圧電振動片3は、水晶、タンタル酸リチウムやニオブ酸リチウム等の圧電体に、電極あるいは配線として機能する導電膜パターンなどの付帯物が形成されたものである。

40

【0034】

図2は、本実施形態の圧電振動片3を厚み方向Tから見た平面図である。本実施形態において、圧電振動片3の外面のうち厚さ方向Tと直交する面を、主面ということがある。すなわち、圧電振動片3の主面は、長さ方向Lと幅方向Wのそれぞれに平行な面である。

【0035】

圧電振動片3は、一対の振動腕部20と、一対の振動腕部20の間に配置された基部21と、一対の振動腕部20と基部21とを連結する連結部22と、を備える。本実施形態において、一対の振動腕部20と基部21と連結部22は、一体的に形成されており、隣接する各部が界面なく連続している。図2には、各部の範囲を示すために、各部の基端あ

50

るいは先端を2点鎖線で示した。

【0036】

実施形態における基部21は、厚み方向Tから見た場合に外形が矩形状であり、その長手方向が長さ方向Lとほぼ平行である。基部21は、長さ方向Lの-T側の端を基端21aとして、+T側に直線的に延びている。基部21は、その基端21aで連結部22と連続している。

【0037】

基部21は、図1に示した圧電振動子1のパッケージ2に実装されるマウント部を含む。本実施形態における基部21は、マウント電極16およびマウント電極17を備え、マウント電極16およびマウント電極17のそれぞれがマウント部である。

10

【0038】

マウント電極16は、図1に示した電極パッド14と電氣的に接続される。例えば、電極パッド14がバンプ電極であり、マウント電極16は、電極パッド14と導電性接着剤を介して接触することで、電極パッド14と導通する。マウント電極17は、マウント電極16と同様にして、電極パッド15と電氣的に接続される。

【0039】

なお、マウント電極16は、電極パッド14と導電性接着剤を介することなく直接的に接触していてもよい。また、マウント電極16と電極パッド14との電氣的な接続には、バンプ電極以外の接続方法が用いられていてもよい。

【0040】

20

一对の振動腕部20は、振動腕部23および振動腕部24を含む。振動腕部23は、長さ方向Lの-T側の端を基端23aとして、+T側に直線的に延びている。振動腕部23は、その基端23aで連結部22と連続しており、連結部22に片持ちで支持されている。振動腕部23の長手方向は、長さ方向Lとほぼ平行であり、基部21の長手方向ともほぼ平行である。

【0041】

振動腕部23の長さLvは、振動腕部23の長手方向(長さ方向L)において、振動腕部23の基端23aから先端23bまでの長さである。圧電振動子1の長さ方向Lの外寸が1mm程度である場合に、振動腕部23の長さLvは、例えば800μm程度である。長さ方向Lにおける振動腕部24の長さは、振動腕部23と実質的に同じであり、振動腕部23の長さLvとの差が製造公差に収まる。

30

【0042】

振動腕部23は、均一な幅で直線的に延びる帯状部25と、帯状部25の長手方向に対する幅(幅方向Wにおける寸法)が帯状部25よりも広いハンマー部26とを含む。帯状部25の-L側の端は、振動腕部23の基端23aに相当し、連結部22と連続している。帯状部25の+L側の端は、ハンマー部26と連続している。

【0043】

振動腕部23の帯状部25には、溝部27が形成されている。溝部27は、振動腕部23の長手方向(長さ方向L)とほぼ平行に延びている。溝部27は、圧電振動片3の主面に形成されており、その深さ方向が圧電振動片3の厚さ方向Tとほぼ平行である。溝部27の長さLaは、振動腕部23の長さ方向において、溝部27の一端から他端までの長さである。

40

【0044】

振動腕部24、基部21の幅方向Wにおける中心線に関して、振動腕部23と対称的に配置されている。振動腕部24は、形状および寸法が振動腕部23とほぼ同じである。そのため、振動腕部24については、振動腕部23と重複する説明を簡略化あるいは省略する。

【0045】

振動腕部24は、長さ方向Lの-T側の端を基端24aとして、+T側に直線的に延びている。振動腕部24は、その基端24aで連結部22と連続しており、連結部22に片

50

持ちで支持されている。振動腕部 24 は、溝部 28 が形成された帯状部 29 と、ハンマー部 30 とを含む。

【0046】

なお、図 2 中の符号 W1 は、圧電振動片 3 の最大幅である。図 2 における最大幅 W1 は、振動腕部 23 のハンマー部 26 における +W 側の端から、振動腕部 24 のハンマー部 30 における -W 側の端までの距離である。例えば、図 1 に示した圧電振動子 1 の幅方向 W の外寸が 800 μm 程度である場合に、圧電振動片 3 の最大幅 W1 は、400 μm 程度である。

【0047】

連結部 22 は、基部 21 の基端 21a と連続しているとともに、振動腕部 23 の基端 23a と連続している。すなわち、連結部 22 は、基部 21 の基端 21a と振動腕部 23 の基端 23a との間で連続しており、基部 21 の基端 21a と振動腕部 23 の基端 23a とを連結している。同様に、連結部 22 は、基部 21 の基端 21a と振動腕部 24 の基端 24a とを連結している。

10

【0048】

図 2 の連結部 22 は、基部 21 の長手方向と交差する方向（幅方向 W）に延びている。連結部 22 は、圧電振動片 3 の厚み方向から見た外形が矩形状である。振動腕部 23 の基端 23a は、連結部 22 の +W 側の端部に配置されており、振動腕部 23 の基端 23a は、連結部 22 の -W 側の端部に配置されている。基部 21 の基端 21a は、振動腕部 23 の基端 23a と振動腕部 24 の基端 24a との中心位置を含む範囲（圧電振動片 3 の幅方向 W の中央部）に、配置されている。

20

【0049】

連結部 22 の長さ Lc は、振動腕部 23 の長手方向において、振動腕部 23 の基端 23a から、連結部 22 における振動腕部 23 に対して反対側の端までの長さである。換言すると、連結部 22 の長さ Lc は、振動腕部 23 の基端 23a と振動腕部 24 の基端 24a とを含む面を基準面として、基準面の法線方向における連結部 22 の端と基準面との間隔である。

【0050】

図 3 は、図 2 の A-A' 線の位置における一对の振動腕部 20 の断面図である。振動腕部 23 は、圧電体 31、励振電極 32、及び励振電極 33 を含む。励振電極 32 は、溝部 27 における圧電体 31 の表面と、溝部 27 の周囲における圧電体 31 の表面とに連続している。励振電極 33 は、励振電極 32 と不連続に形成されており、励振電極 32 と絶縁である。励振電極 33 は、圧電体 31 のうち、圧電振動片 3 の主面と同じ側の表面の一部と、圧電振動片 3 の主面に対して側方を向く表面（側面）とに連続している。

30

【0051】

励振電極 32 は、連結部 22 および基部 21 に設けられた配線を介して、基部 21 のマウント電極 16 と電氣的に接続されている。すなわち、励振電極 32 は、図 1 に示した外部電極 18 と電氣的に接続されている。励振電極 33 は、連結部 22 および基部 21 に設けられた配線を介して、基部 21 のマウント電極 17 と電氣的に接続されている。すなわち、励振電極 33 は、図 1 に示した外部電極 19 と電氣的に接続されている。励振電極 32 及び励振電極 33 は、外部電極 18 および外部電極 19 から電力の供給を受けて、振動腕部 23 における圧電体 31 に電界を印加する。振動腕部 23 は、励振電極 32 及び励振電極 33 から圧電体 31 に電界が印加されると、基部 21 に近づく向きと離れる向きとに、基端 23a（図 2 参照）を起点として振動する。

40

【0052】

振動腕部 24 は、圧電体 31、励振電極 34、及び励振電極 35 を含む。励振電極 34 は、振動腕部 23 における励振電極 33 に対応する位置に形成されている。励振電極 34 は、連結部 22 および基部 21 に設けられた配線を介して、基部 21 のマウント電極 16 と電氣的に接続されている。励振電極 35 は、振動腕部 23 における励振電極 32 に対応する位置に形成されている。励振電極 35 は、連結部 22 および基部 21 に設けられた図

50

示略の配線を介して、基部 2 1 のマウント電極 1 7 と電氣的に接続されている。振動腕部 2 4 は、振動腕部 2 3 と同様に、外部電極 1 8 および外部電極 1 9 から供給される電力によって、励振電極 3 2 及び励振電極 3 3 から圧電体 3 1 に電界が印加され、基部 2 1 に近づく向きと離れる向きとに、基端 2 4 a (図 2 参照) を起点として振動する。

【 0 0 5 3 】

なお、連結部 2 2 において、振動腕部 2 3 の基端 2 3 a の位置またはその近傍の部分は、振動腕部 2 3 とともに振動することがありえるが、その振幅が振動腕部 2 3 の振幅よりも十分に小さい。すなわち、振動腕部 2 3 の基端 2 3 a は、振動する振動腕部 2 3 の基本波の節の位置またはその近傍の位置に相当する。

【 0 0 5 4 】

上述のような圧電振動片 3 は、一對の振動腕部 2 0 のそれぞれに溝部が形成されているので、電界効率が高くなることなどで抵抗値が低くなる。ところで、抵抗値は、溝部の長さが長いほど低くなるが、溝部の長さが閾値以上であると、基本振動の抵抗値よりも高次振動の抵抗値の方が小さくなる。その結果、圧電振動片は、高次振動するようになり、所望の周波数の振動が得られなくなることがある。

【 0 0 5 5 】

本実施形態の圧電振動片 3 は、連結部 2 2 が所定の条件を満たすので、高次振動の発生を抑制しつつ抵抗値を低減することができる。以下、実施例および比較例を参照しつつ、圧電振動片 3 の振動特性について詳しく説明する。

【 0 0 5 6 】

図 4 は、振動腕部 2 3 の長さ L_v 、連結部 2 2 の長さ L_c 、溝部 2 7 の長さ L_a の組み合わせが異なる複数の圧電振動片のそれぞれの抵抗値を示す表 1 である。図 5 は、実施例と比較例の圧電振動片について、1 次振動の抵抗値 R_1 に対する 2 次振動の抵抗値 R_2 の比 (R_2 / R_1) を、溝部の相対長さ (L_a / L_v) に対してプロットしたグラフである。振動腕部 2 3 の長さ L_v 、連結部 2 2 の長さ L_c 、溝部 2 7 の長さ L_a については、図 2 及びその説明を参照されたい。

【 0 0 5 7 】

表 1 には、No. 0 から No. 9 で表される 10 個の試料のデータを示した。これら 10 個の試料は、いずれも、振動腕部 2 3 と振動腕部 2 4 のそれぞれの長さ L_v が $820 \mu\text{m}$ である。No. 1 から No. 3 は、比較例のデータであり、図 5 において比較例 1 のプロットに対応している。No. 4 から No. 9 は、実施例のデータであり、No. 4 から No. 6 は図 5 の実施例 1 に対応し、No. 7 から No. 9 は図 5 の実施例 2 に対応している。

【 0 0 5 8 】

No. 1 から No. 3 は、いずれも連結部の長さ L_c が $50 \mu\text{m}$ であり、 L_c / L_v が約 6.1% である。No. 1 から No. 3 において、溝部の長さ L_a は、No. 1 が最も短く $300 \mu\text{m}$ であり、No. 2 が $400 \mu\text{m}$ 、No. 3 が $500 \mu\text{m}$ と順に長くなっている。また、1 次振動の抵抗値 R_1 は、No. 1 が約 20.51、No. 2 が約 14.72、No. 3 が約 11.81 である。このように、一般的に、溝部の長さ L_a が長いほど、1 次振動の抵抗値 R_1 が低くなる。

【 0 0 5 9 】

一方で、2 次振動の抵抗値 R_2 は、No. 1 が約 45.94、No. 2 が約 8.24、No. 3 が約 2.99 である。このように、溝部の長さ L_a が長いほど、2 次振動の抵抗値 R_2 も低くなる。溝部を長くした際の 2 次振動の抵抗値 R_2 の低下は、1 次振動の抵抗値 R_1 の低下よりも顕著であり、溝部の長さ L_a が長くなるにつれて、 R_2 / R_1 が減少する。

【 0 0 6 0 】

図 5 の比較例 1 においては、 L_a / L_v が約 45% で R_2 / R_1 が 1 未満になっており、 L_a / L_v が 45% 以上になると圧電振動片が 2 次振動すると推測される。図 4 の No. 2 の抵抗値 R_1 が 15 程度であることから、 L_a / L_v が 45% では抵抗値 R_1 が 1

10

20

30

40

50

5 を超えていると推測される。このように、比較例 1 において、圧電振動片を 1 次振動させるためには L_a / L_v を 45% 未満にすることになり、抵抗値 R_1 を 15 未満にすることが難しい。

【0061】

本実施形態の圧電振動片を適用した No. 4 から No. 6 は、いずれも連結部 22 の長さ L_c が $100 \mu\text{m}$ であり、 L_c / L_v が約 12.2% である。No. 4 から No. 6 において、溝部 27 の長さ L_a は、No. 4 が最も短く $300 \mu\text{m}$ であり、No. 5 が $400 \mu\text{m}$ 、No. 6 が $500 \mu\text{m}$ と順に長くなっている。また、1 次振動の抵抗値 R_1 は、No. 4 が約 14.77、No. 5 が約 10.82、No. 6 が約 8.83 である。2 次振動の抵抗値 R_2 は、No. 4 が約 520.33、No. 5 が約 22.36、No. 6 が約 4.88 である。

10

【0062】

図 5 の実施例 1 においては、 L_a / L_v が 53.9% 程度で R_2 / R_1 が 1 になっている。そのため、実施例 1 においては、溝部の長さ L_a が振動腕部 23 の長さの 53.9% 未満であれば、圧電振動片 3 が 1 次振動すると推測される。すなわち、実施例 1 は、 L_c / L_v が 0.1 以上であるので、圧電振動片 3 が 1 次振動する条件下において、溝部の長さ L_a を比較例 1 よりも長くすることができる。図 4 の No. 5 においては、 L_a / L_v が約 48.8% であり、1 次振動の抵抗値 R_1 が約 10.82 であることから、実施例 1 においては、2 次振動の発生を抑制しつつ 1 次振動の抵抗値 R_1 を 10 程度まで下げることが可能であると推測される。以上のように、 $0.49 < L_a / L_v < 0.53$ を満たすことにより、2 次振動の発生を抑制しつつ、1 次振動の抵抗値 R_1 を 15 以下にすることが可能である。

20

【0063】

本実施形態の圧電振動片を適用した No. 7 から No. 9 は、いずれも連結部 22 の長さ L_c が $200 \mu\text{m}$ であり、 L_c / L_v が約 24.4% である。No. 7 から No. 9 において、溝部 27 の長さ L_a は、No. 7 が最も短く $300 \mu\text{m}$ であり、No. 8 が $400 \mu\text{m}$ 、No. 9 が $500 \mu\text{m}$ と順に長くなっている。また、1 次振動の抵抗値 R_1 は、No. 7 が約 14.16、No. 8 が約 10.41、No. 9 が約 8.83 である。2 次振動の抵抗値 R_2 は、No. 7 が約 511.37、No. 8 が約 27.54、No. 9 が約 5.34 である。

30

【0064】

図 5 の実施例 2 においては、 L_a / L_v が 57.0% 程度で R_2 / R_1 が 1 になっている。そのため、実施例 2 においては、溝部の長さ L_a が振動腕部 23 の長さの 57.0% 未満であれば、圧電振動片 3 が 1 次振動すると推測される。すなわち、実施例 2 は、 L_c / L_v が 0.1 以上であるので、圧電振動片 3 が 1 次振動する条件下において、溝部の長さ L_a を比較例 1 よりも長くすることができる。図 4 の No. 5 においては、 L_a / L_v が約 48.8% であり、1 次振動の抵抗値 R_1 が約 10.41 であるが、No. 5 よりも L_a / L_v を 57.0% 以下の範囲で大きくした場合であっても 2 次振動の発生を抑制できることから、実施例 2 においては、1 次振動の抵抗値 R_1 を 10 程度まで下げることが可能であると推測される。

40

【0065】

ところで、図 4 の No. 0 の試料は、連結部 22 の長さ L_c が $80 \mu\text{m}$ 、 L_c / L_v が約 9.8%、溝部 27 の長さが $350 \mu\text{m}$ 、 L_c / L_v が約 42.7% である。この試料は、 L_c / L_v が僅かに 10% に足りないが R_2 / R_1 が 1 を超えており、2 次振動の発生が抑制されている。このことから、 L_c / L_v が 10% 以上であれば、2 次振動の発生を十分に抑制可能であると推測される。また、No. 0 の試料は、1 次振動の抵抗値 R_1 が約 13.08 であることから、 L_c / L_v が 10% 以上であれば、1 次振動の抵抗値 R_1 を 15 以下にすることが十分に可能であると推測される。

【0066】

ここで、圧電振動片が 1 次振動する条件での溝部の長さ L_a の最大値（以下、溝部の上

50

限長さという)に着目する。溝部の上限長さは、比較例1(45%程度)よりも実施例1(54%程度)の方が長く、実施例1よりも実施例2(57%程度)の方が長い。また、図5において任意の L_a/L_v で、実施例1、実施例2、比較例の R_2/R_1 を比較すると、実施例1と実施例2の差は、比較例1と実施例1の差よりも小さい。このことから、 L_c/L_v が大きくなるほど、 L_c/L_v の増加率に対する溝部の上限長さの増加率が小さくなると推測される。そのため、 L_c/L_v は、0.25以下であってもよいし、0.2以下でもよく、0.15以下でもよい。 L_c/L_v を閾値以下にすることで、圧電振動片3の外形寸法を小さくすることができる。

【0067】

このように、本実施形態に係る圧電振動片3は、振動腕部23の長さ L_v と連結部22の長さ L_c が $L_c/L_v = 0.1$ の関係を満たすので、 $R_2/R_1 < 1$ の関係を満たしながら R_1 を減らすことができる。その要因は、必ずしも明らかではないが、例えば以下のようなことが考えられる。

【0068】

1次振動は、振動腕部23の基端23aが節、振動腕部23の先端(ハンマー部26)で振幅が最大になる振動である。2次振動は、振動腕部23の基端23aが節になる点では1次振動と同様であるが、振動腕部23の基端23aと先端との間(帯状部25)に振動の腹が存在する点で1次振動と異なる。そのため、2次振動において、振動腕部23の基端23aが理論上は変位しないが、連結部22には、振動腕部23がたわむことにより1次振動時より大きな曲げ応力が働くと推測される。この曲げ応力は、長さ方向 L および幅方向 W を含む面内で連結部22を曲げるように作用する。2次振動の抵抗値 R_2 が1次振動の抵抗値 R_1 と同じオーダー程度である場合において、連結部22の長さ L_c を長くすると、曲げ応力に対する連結部22の剛性が高くなり、結果として2次振動の抵抗値 R_2 が高くなると考えられる。

【0069】

以上のように、本実施形態に係る圧電振動片3は、2次振動の発生を抑制しつつ1次振動の抵抗値 R_1 を低減できる。そのため、圧電振動片3を所望の周波数で振動させることができるとともに、振動させるのに必要な電力を減らすことなどができる。結果として、圧電振動片3を備える圧電振動子1は、所望の周波数を出力可能であり、しかも低消費電力にすることができる。

【0070】

なお、圧電振動片3の形状については、図2の態様に限定されるものではない。以下、図6~図11を参照しつつ、本実施形態に係る圧電振動片3の変形例について説明する。

【0071】

図6は、変形例1に係る圧電振動片3bを示す図である。この圧電振動片3bにおいて、連結部22は、基部21に連続する本体部40と、本体部40に対して基部21と反対側に配置された凸部41とを含む。

【0072】

本体部40は、厚み方向 T から見た場合に矩形状である。振動腕部23は、本体部40において幅方向 W の $+W$ 側の端部と連続しており、振動腕部24は本体部40の $-W$ 側の端部と連続している。本体部40は、幅方向 W の両端のそれぞれに、振動腕部23と反対側を向く端面40aを有する。本変形例において端面40aは、平面状である。

【0073】

凸部41は、振動腕部23に対して反対側(長さ方向 L の $-T$ 側)に突出している。凸部41は、幅方向 W の寸法が本体部40よりも小さく、幅方向 W における本体部40の中央部と連続している。凸部41は、本体部40に対して振動腕部23と反対側を向く端面41aを有する。本変形例において端面41aは、平面状である。端面41aは、連結部22の本体部40の端面40aとほぼ平行であり、端面40aとの間に段差を有する。端面41aは、振動腕部23の長手方向(長さ方向 L)において、連結部22のうちで振動腕部23の基端23aから最も離れた端を含む。本変形例において、連結部22の長さ L

10

20

30

40

50

c は、長さ方向 L における、連結部 2 2 の凸部 4 1 の端面 4 1 a と振動腕部 2 3 の基端 2 3 a との間隔である。

【 0 0 7 4 】

図 7 は、変形例 2 に係る圧電振動片 3 c を示す図である。この圧電振動片 3 c は、連結部 2 2 が複数の凸部（凸部 4 2、凸部 4 3）を含む点で、変形例 1 と異なる。凸部 4 3 は、幅方向 W において凸部 4 2 との間にギャップを有する。凸部 4 3 は、連結部 2 2 の幅方向 W の中心に関して、凸部 4 2 と対称的に配置されている。本変形例において、凸部 4 3 は凸部 4 2 とほぼ同じ寸法である。凸部 4 2 は、連結部 2 2 の本体部 4 0 に対して振動腕部 2 3 と反対側を向く端面 4 2 a を有する。同様に、凸部 4 3 は、連結部 2 2 の本体部 4 0 に対して振動腕部 2 4 と反対側を向く端面 4 3 a を有する。端面 4 2 a と端面 4 3 a は、それぞれ平面状であり、同一平面に配置される（面一である）。

10

【 0 0 7 5 】

本変形例において、連結部 2 2 の長さ L c は、長さ方向 L における、連結部 2 2 の凸部 4 2 の端面 4 2 a と振動腕部 2 3 の基端 2 3 a との間隔あり、本変形例においては連結部 2 2 の凸部 4 3 の端面 4 3 a と振動腕部 2 4 の基端 2 4 a との間隔としても同じである。

【 0 0 7 6 】

なお、長さ方向 L において、凸部 4 3 の端面 4 3 a の位置（座標）は、凸部 4 2 の端面 4 2 a の位置と異なってもよい。例えば、圧電振動片 3 c の幅方向 W における中心線に対して、圧電振動片 3 c の圧電体 3 1（図 3 参照）とその付帯物の一方または双方が非対称である場合に、凸部 4 3 の形状あるいは寸法を凸部 4 2 と異ならせることで、重量の

20

【 0 0 7 7 】

図 8 は、変形例 3 に係る圧電振動片 3 d を示す図である。この圧電振動片 3 d は、連結部 2 2 の凸部 4 1 の端面 4 1 a が湾曲している点で、変形例 1 と異なる。図 8 において、凸部 4 1 のうち長さ方向 L の最も - L 側の端 4 1 b は、幅方向 W における凸部 4 1 の中心の部分である。本変形例において、連結部 2 2 の長さ L c は、長さ方向 L における、連結部 2 2 の凸部 4 1 の端 4 1 b と振動腕部 2 3 の基端 2 3 a との間隔ある。

30

【 0 0 7 8 】

上述したような変形例 1 ~ 3 の圧電振動片は、振動腕部 2 3 の長さ L v と連結部 2 2 の長さ L c が $L c / L v = 0.1$ の関係を満たすことにより、高次振動の発生を抑制しつつ抵抗値を低減できる。変形例 1 ~ 3 の圧電振動片は、図 2 の圧電振動片 3 と連結部 2 2 の長さ L c が同じである条件で比較すると、連結部 2 2 の一部が切り欠かれている状態に相当するので、軽量にすることができる。また、変形例 1 ~ 3 の圧電振動片は、連結部 2 2 の角の部分において、図 1 に示したパッケージ 2 とのギャップが広がるので、パッケージ 2 と干渉しにくくなり、例えばパッケージ 2 に実装する際の作業性が高くなる。

【 0 0 7 9 】

図 9 は、変形例 4 に係る圧電振動片 3 e を示す図である。この圧電振動片 3 e において、連結部 2 2 の凸部 4 1 は、幅方向 W の寸法が本体部 4 0 よりも大きい。凸部 4 1 は、連結部 2 2 の本体部 4 0 に対して振動腕部 2 3 の反対側を向く端面 4 1 a を有する。本変形例において、連結部 2 2 の長さ L c は、長さ方向 L における、連結部 2 2 の凸部 4 1 の端面 4 1 a と振動腕部 2 3 の基端 2 3 a との間隔である。このような圧電振動片 3 e は、振動腕部 2 3 の長さ L v と連結部 2 2 の長さ L c が $L c / L v = 0.1$ の関係を満たすことにより、抵抗値を低減しつつ高次振動の発生を抑制できる。

40

【 0 0 8 0 】

図 10 は、変形例 5 に係る圧電振動片 3 f を示す図である。この圧電振動片 3 f における基部 2 1 は、略 C 字状であり、長さ方向 L に延びるスリット 4 5 を有する。振動腕部 2 3 の長手方向（長さ方向 L）において、基部 2 1 は、スリット 4 5 を介して配置された基

50

端 2 1 c および基端 2 1 d を有する。振動腕部 2 3 の長手方向（長さ方向 L）において、基端 2 1 c の位置は、振動腕部 2 3 の基端 2 3 a の位置とほぼ同じである。また、振動腕部 2 3 の長手方向（長さ方向 L）において、基端 2 1 d の位置は、基端 2 1 c の位置とほぼ同じであり、振動腕部 2 4 の基端 2 4 a の位置ともほぼ同じである。

【 0 0 8 1 】

本変形例において、連結部 2 2 は、基部 2 1 の基端 2 1 c と振動腕部 2 3 の基端 2 3 a とを連結する第 1 連結部 4 6 と、基部 2 1 の基端 2 1 d と振動腕部 2 4 の基端 2 4 a とを連結する第 2 連結部 4 7 とを含む。第 1 連結部 4 6 は、振動腕部 2 3 の基端 2 3 a に対して振動腕部 2 3 の先端 2 3 b と反対側を向く端面 4 6 a を有する。同様に、第 2 連結部 4 7 は、振動腕部 2 4 の基端 2 4 a に対して振動腕部 2 4 の先端 2 4 b と反対側を向く端面 4 7 a を有する。第 2 連結部 4 7 の端面 4 7 a は、振動腕部 2 3 の長手方向（長さ方向 L）における位置が第 1 連結部 4 6 の端面 4 6 a とほぼ同じである。

10

【 0 0 8 2 】

本変形例において、連結部 2 2 の長さ L_c は、長さ方向 L における、第 1 連結部 4 6 の端面 4 6 a と振動腕部 2 3 の基端 2 3 a との間隔あり、本変形例においては連結部 2 2 の第 2 連結部 4 7 の端面 4 7 a と振動腕部 2 4 の基端 2 4 a との間隔としても同じである。

【 0 0 8 3 】

本変形例の圧電振動片 3 f は、振動腕部 2 3 の長さ L_v と連結部 2 2 の長さ L_c が $L_c / L_v = 0.1$ の関係を満たすことにより、抵抗値を低減しつつ高次振動の発生を抑制できる。また、圧電振動片 3 f は、スリット 4 5 が設けられていることで、軽量にできる。

20

【 0 0 8 4 】

図 1 1 は、変形例 6 に係る圧電振動片 3 g を示す図である。この圧電振動片 3 g において、基部 2 1 にはマウント電極 1 6 が設けられており、連結部 2 2 にはマウント電極 1 7 が設けられている。本変形例の圧電振動片 3 g は、長さ方向 L におけるマウント電極 1 6 とマウント電極 1 7 との間隔を広げやすい。そのため、一对のマウント電極の双方が基部 2 1 に配置されている場合と比較して、圧電振動片 3 g を両持ちに近い状態で支持できる。そのため、圧電振動片 3 g は、例えば実装時の作業性が高くなる。また、圧電振動片 3 g は、圧電振動子 1 が外部から衝撃等を受けた場合に、所望の姿勢から傾くこと、パッケージ 2 の内面との衝突することなどが抑制される。

【 0 0 8 5 】

次に、圧電振動片の製造方法について説明する。図 1 2 は、圧電振動片の製造方法を示すフローチャートである。この製造方法は、それぞれが溝部を有する一对の振動腕部と、一对の振動腕部の間に配置された基部と、一对の振動腕部のそれぞれの基端と前記基部とを連結する連結部と、を備える圧電振動片の製造方法である。

30

【 0 0 8 6 】

圧電振動片の製造方法は、圧電振動片の形状を示す形状情報を決定する第 1 工程（ステップ S 1）と、第 1 工程で決定した形状情報が示す形状に圧電体を成形する第 2 工程（ステップ S 2）と、第 2 工程で成形した圧電体に導電膜パターンを含む付帯物を形成する第 3 工程（ステップ S 3）と、を含む。

【 0 0 8 7 】

形状情報は、振動腕部の長手方向に関して、振動腕部の基端から先端までの長さの情報と、溝部の長さを示す情報と、連結部において振動腕部の基端から振動腕部と反対側の端までの長さを示す情報とを含む。

40

【 0 0 8 8 】

形状情報を決定する第 1 工程（ステップ S 1）は、圧電振動片の 1 次振動の抵抗値 R_1 が目標値の範囲に収まる溝部の長さを決定する第 1 処理（ステップ S 1 1）と、第 1 処理で決定した溝部の長さに対して圧電振動片の 2 次振動の抵抗値 R_2 が抵抗値 R_1 よりも大きくなる連結部の長さを決定する第 2 処理（ステップ S 1 2）とを含む。

【 0 0 8 9 】

第 1 工程については後により詳しく説明することにして、まず第 2 工程および第 3 工程

50

について説明する。第2工程および第3工程においては、多面取り用のウエハを基板として、この基板上的複数のチップ領域のそれぞれに圧電振動片3の各種構造を形成する。そして、基板の各チップ領域を個片化(ダイシング)することで、複数の圧電振動片3を製造する。

【0090】

第2工程では、ステップS21およびステップS22を経て、圧電振動片3の圧電体31を成形する。ステップS21では、圧電材料からなる基板を覆って第1レジスト膜を形成する。そして、圧電振動片3の圧電体31の外形に応じたパターンが形成された第1フォトマスクなどを用いて、第1レジスト膜に第1フォトマスクのパターンを露光により転写する。そして、露光された第1レジスト膜を現像することにより、圧電振動片3の圧電体31の外形に応じた第1レジストパターンを形成する。第1レジストパターンは、基板上の領域のうち、厚み方向Tから見た場合の圧電振動片3の輪郭の内側に相当する領域に、形成される。ステップS22では、ステップS21で形成した第1レジストパターンをマスクとして基板をエッチングし、エッチング後に第1レジストパターンを剥離する。これにより、所望の外形の圧電体31が形成される。

10

【0091】

ステップS21において転写されるパターンは、基部21に相当する部分、振動腕部23に相当する部分、及び連結部22に相当する部分を含み、このパターンの各部分の寸法は、第1工程で決定した形状情報に従って設定される。例えば、パターンのうち連結部22に相当する部分の長さは、ステップS12で決定された連結部22の長さ L_c と、パターンを転写する際の倍率とに応じた寸法に設定される。

20

【0092】

第2工程では、ステップS22に続くステップS23およびステップS24を経て、圧電体31に溝部(溝部27および溝部28)を形成する。ステップS23では、ステップS22で成形した圧電体31を覆って第2レジスト膜を形成する。そして、圧電振動片3の溝部に応じたパターンが形成された第2フォトマスクなどを用いて、第2レジスト膜に第2フォトマスクのパターンを露光により転写する。そして、露光された第2レジスト膜を現像することにより、圧電振動片3の溝部に応じた第2レジストパターンを形成する。第2レジストパターンは、圧電体31のうち溝部を除く部分を覆う領域に、形成される。ステップS24では、ステップS23で形成した第2レジストパターンをマスクとして、圧電体31をエッチングする。そして、第2レジストパターンを剥離する。これにより、圧電体31上の所望の位置に所望の寸法および形状の溝部が形成される。

30

【0093】

ステップS23において転写されるパターンは、溝部に相当する部分を含み、この部分の寸法は、第1工程で決定した形状情報に従って設定される。例えば、パターンのうち溝部に相当する部分の長さは、ステップS11で決定された溝部の長さ L_a と、パターンを転写する際の倍率とに応じた寸法に設定される。

【0094】

以上のような第2工程を経て得られた圧電体31に、第3工程では導電膜パターンなどの付帯物を形成する。この導電膜パターンは、圧電振動片3のマウント電極、励振電極、及びマウント電極と励振電極とを電氣的に接続する配線を含む。

40

【0095】

第3工程において、ステップS31では、第2工程を経て得られた圧電体31を覆って、例えばスパッタリング法、蒸着法等により導電材料を成膜し、導電膜を形成する。ステップS32では、ステップS31で形成した導電膜上に第3レジスト膜を形成する。そして、圧電振動片3の導電膜パターンに応じたパターンが形成された第3フォトマスクなどを用いて、第3レジスト膜に第3フォトマスクのパターンを露光により転写する。そして、露光された第3レジスト膜を現像することにより、圧電振動片3の導電膜パターンに応じた第3レジストパターンを形成する。第3レジストパターンは、圧電体31のうち導電膜パターンの形成領域を除く領域に、形成される。ステップS33では、ステップS32

50

で形成した第3レジストパターンをマスクとして、導電膜をエッチングする。そして、第3レジストパターンを剥離する。これにより、圧電体31上の所望の位置に所望の寸法および形状の導電膜パターンが形成される。そして、第2工程および第3工程を経た基板（ウエハ）を個片化することなどにより、圧電振動片3が得られる。

【0096】

次に、第1工程（ステップS1）について、一例を参照して詳しく説明する。図13は、圧電振動片の形状情報を決定する工程を示すフローチャートである。

【0097】

本実施形態において、第1工程では、まず振動腕部の長さ L_v を決定する（ステップS10）。振動腕部の長さ L_v は、圧電体31の物性値などに基づいて、圧電振動片3の振動周波数が目標値になる値に決定される。圧電振動片3の振動周波数の目標値は、圧電振動子1の用途等に応じて定められ、例えば時刻の計測などに用いられる圧電振動子においては32.768kHzに設定されることが多い。

【0098】

第1工程の第1処理（ステップS11）では、振動腕部の長さ L_v に基づいて、溝部の長さ L_a および深さを決定する。ステップS11では、抵抗値 R_1 が目標値の範囲内になる溝部の長さ L_a を決定する。抵抗値 R_1 の目標値は、10以上15以下の範囲から選択される値である。

【0099】

図4および図5に示したように、圧電振動片の1次振動の抵抗値 R_1 は、 L_a / L_v の関数であり、抵抗値 R_1 が目標値の範囲内になる溝部の長さ L_a は、数値シミュレーションなどを利用することで得られる。例えば、まず、溝部の長さ L_a を系統的に変化させながら抵抗値 R_1 を数値シミュレーションにより算出する。そして、数値シミュレーションにより得られた複数のデータを用いて、抵抗値 R_1 を溝部の長さ L_a の関数として表現する。そして、この関数において抵抗値 R_1 が目標値の範囲内になる溝部の長さ L_a を算出し、算出した値を溝部の長さ L_a として決定する。

【0100】

第1工程の第2処理（ステップS12）では、ステップS11の第1処理で決定した溝部の長さ L_a に対して、2次振動の抵抗値 R_2 が1次振動の抵抗値 R_1 よりも大きくなる条件を満たす連結部22の長さ L_c を決定する。このような条件を満たす連結部の長さ L_c は、例えば、数値シミュレーションなどを利用して求めることが可能である。

【0101】

ここでは、連結部の長さ L_c を決定する方法の1例を説明する。本例では、連結部の長さ L_c の暫定的な値（以下、仮決定値という）を仮決定する（ステップS13）。次に、長さ L_c の仮決定値に応じた2次振動の抵抗値 R_2 を、数値シミュレーションなどを利用して算出する（ステップS14）。長さ L_c の仮決定値は、任意に選択される値であり、例えば振動腕部23の長さ L_v の10%（ $L_c / L_v = 0.1$ ）に設定してもよい。

【0102】

次に、長さ L_c の仮決定値を用いて算出された2次振動の抵抗値 R_2 と、1次振動の抵抗値 R_1 との大小関係を比較する（ステップS15）。ステップS15において比較に用いる1次振動の抵抗値 R_1 は、ステップS15において算出してもよいし、ステップS11において溝部の長さ L_a の決定に用いた1次振動の抵抗値 R_1 の目標値であってもよい。

【0103】

ステップS15の比較結果において、2次振動の抵抗値 R_2 が1次振動の抵抗値 R_1 よりも大きい場合（ステップS15；Yes）には、長さ L_c の仮決定値を連結部22の長さ L_c として本決定する（ステップS16）。ステップS15の比較結果において、2次振動の抵抗値 R_2 が1次振動の抵抗値 R_1 よりも小さい場合（ステップS15；No）には、長さ L_c の仮決定値を更新する（ステップS17）。

【0104】

10

20

30

40

50

図4および図5に示したように、圧電振動片の2次振動の抵抗値 R_2 は、 L_c / L_v の関数であり、 L_c / L_v の増加に対して増加傾向である。そのため、ステップS17においては、長さ L_c の仮決定値をより大きい値に更新すればよい。

【0105】

ステップS17に続いて、更新された長さ L_c の仮決定値を用いて2次振動の抵抗値 R_2 をステップS14において算出し、次いで算出された2次振動の抵抗値 R_2 をステップS15において1次振動の抵抗値 R_1 と比較する。以下同様に、2次振動の抵抗値 R_2 が1次振動の抵抗値 R_1 よりも大きくなるまで、適宜、ステップS14、ステップS15、ステップS17の処理を繰り返す。このようにして、2次振動の抵抗値 R_2 が1次振動の抵抗値 R_1 よりも大きい条件を満たす連結部の長さ L_c が得られる。

10

【0106】

ところで、一般的な圧電振動片の製造方法においては、振動腕部の長さ L_v および連結部の長さ L_c を決定した後、振動腕部の長さ L_v および連結部の長さ L_c に応じて、2次振動が発生しない溝部の長さ L_a を決定することがありえる。このような製造方法にあっては、溝部の長さの上限値が連結部の長さの制約を受けるため、1次振動の抵抗値が所望の値まで低くなる値までは溝部の長さを長くできないことがありえる。例えば、図5に示した比較例1において、 L_c / L_v が6.1%に予め設定された状態で、2次振動が発生しない溝部の長さ L_a を決定することを想定する。この場合に、2次振動が発生しない溝部の長さ L_a は、 R_2 / R_1 が1未満となる範囲、すなわち L_a / L_v が45%未満となる範囲から選択されることになる。そのため、溝部の長さ L_a が振動腕部の長さ L_v の45%程度において、1次振動の抵抗値が下限値になり、この下限値が所望の範囲（例えば15%以下）よりも高くなることがありえる。

20

【0107】

上述のような圧電振動片の製造方法にあっては、1次振動の抵抗値 R_1 が所望の値になる溝部の長さ L_a を決定し、決定した溝部の長さ L_a に対して、2次振動の抵抗値 R_2 が1次振動の抵抗値 R_1 よりも大きくなる条件を満たす連結部の長さ L_c を決定する。そのため、2次振動の発生を抑制しつつ抵抗値 R_1 を所望の値に下げることができる。結果として、この製造方法によれば、2次振動の発生を抑制しつつ抵抗値 R_1 を低減できる圧電振動片を製造できる。

【0108】

なお、仮決定値の初期値を、振動腕部の長さ L_v の10%以上すなわち(L_c / L_v 0.1に設定すると、算出ステップの結果において2次振動の抵抗値 R_2 が1次振動の抵抗値 R_1 よりも大きくなると推測される。そのため、ステップS17および仮決定値の変更に伴う算出ステップ(ステップS14)を省くこと、あるいは仮決定値の変更に伴う算出ステップの回数を減らすことなどができる。

30

【0109】

なお、上述のステップS15において、2次振動の抵抗値 R_2 が1次振動の抵抗値 R_1 よりも大きい場合(ステップS15; Yes)に、長さ L_c の仮決定値をより小さい値に更新してステップS14を行ってもよい。この場合には、ステップS16は、圧電振動片の2次振動の抵抗値 R_2 が1次振動の抵抗値 R_1 よりも大きくなる条件を満たす長さ L_c の仮決定値のうち、相対的に小さい値(例えば最小値)を連結部の長さ L_c に決定する処理を含んでいてもよい。このようにすれば、連結部の長さ L_c を、条件を満たす長さ L_c の複数の仮決定値のうち相対的に小さな値に決定するので、圧電振動片を小型にできる。この場合に、ステップS13において、長さ L_c の仮決定値を振動腕部の長さ L_v の10%よりも十分に大きい値(例えば15%、20%、25%)に設定しておいてもよい。

40

【0110】

なお、上述の例において、抵抗値は、数値シミュレーションにより算出されるが、試料を用いた実験などにより測定された値であってもよい。また、第1処理S11においては、溝部の長さ L_a と抵抗値 R_1 との関係を示す数値テーブルを予め用意しておき、この数値テーブルを参照することで、抵抗値 R_1 が目標値の範囲に収まる溝部の長さ L_a を求め

50

ることにもよい。同様に、第2処理S12においては、連結部の長さ L_c と抵抗値 R_2 との関係を示す数値テーブルを予め用意しておき、この数値テーブルを参照することで、抵抗値 R_2 が抵抗値 R_1 よりも大きくなる連結部の長さ L_c を決定することにもよい。

【0111】

次に、本実施形態に係る発振器について説明する。図14は、本実施形態の発振器100を示す図である。発振器100は、基板101、集積回路102、電子部品103、及び圧電振動子1を備える。電子部品103は、例えばキャパシタなどであり、基板101に実装されている。集積回路102は、発振器用であり、基板101に実装されている。集積回路102は、圧電振動子1と電子部品103のそれぞれと、図示略の配線を介して電氣的に接続されている。圧電振動子1は、例えば、基板101において集積回路102の近傍に実装される。圧電振動子1は、図1などを参照して説明した本実施形態の圧電振動子であり、発振器として機能する。発振器100の少なくとも一部は、適宜、図示しない樹脂によりモールドされていてもよい。

10

【0112】

発振器100は、圧電振動子1に電力が供給されると、圧電振動子1の圧電振動片が振動する。圧電振動片の振動は、圧電振動片が有する圧電特性により、電気信号へ変換される。この電気信号は、圧電振動子1から集積回路102へ出力される。集積回路102は、圧電振動子1から出力された電気信号に各種処理を実行することで、周波数信号を生成する。

20

【0113】

発振器100は、例えば、時計用の単機能発振器、コンピューターなどの各種装置の動作タイミングを制御するタイミング制御装置、時刻あるいはカレンダーなどを提供する装置などに応用できる。集積回路102は、発振器100に要求される機能に応じて構成され、いわゆるRTC(リアルタイムクロック)モジュールを含んでいてもよい。

【0114】

本実施形態の発振器100は、振動不良の発生が抑制された圧電振動子1を備えているので、低消費電力で安定した動作を実現可能である。

【0115】

次に、本実施形態に係る電子機器の一つの形態として、携帯情報機器について説明する。この携帯情報機器は、腕時計のような形態であり、一般的な携帯電話よりも格段に小型および軽量であるが、携帯電話と同様の通信が可能である。この携帯情報機器は、文字盤に相当する部分に液晶ディスプレイなどの表示部が配置されており、表示部に時刻情報などを表示可能である。また、この携帯情報機器は、バンドの内側部分にスピーカ、マイクロフォンなどの入出力部が設けられており、入出力部を利用して通話などが可能である。

30

【0116】

図15は、本実施形態の携帯情報機器110の一例を示す図である。図15に示す携帯情報機器110は、計時部111、表示部112、通信部113、制御部114、電源部115、電圧検出部116、及び電源遮断部117を備える。

【0117】

制御部114は、携帯情報機器110の各部を総括的に制御する。例えば、制御部114は、計時部111による時刻の計測、表示部112による情報の表示、通信部113による外部との通信などを制御する。制御部114は、例えば、予めプログラムが書き込まれたROMと、このROMに書き込まれたプログラムを読み出し、このプログラムに従って各種処理を実行するCPUと、このCPUのワークエリアとして使用されるRAMとを含む。

40

【0118】

計時部111は、集積回路、及び圧電振動子1を備える。この集積回路は、発振回路、レジスタ回路、カウンタ回路、及びインターフェース回路を含む。圧電振動子1は、図1を参照して説明したような本実施形態に係る圧電振動子である。圧電振動子1は、電力の

50

供給を受けて圧電振動片が振動し、この振動を、圧電振動片が有する圧電特性に応じた電気信号に変換する。圧電振動子 1 から出力された電気信号は、集積回路の発振回路へ入力される。

【 0 1 1 9 】

計時部 1 1 1 の集積回路において、発振回路の出力は、二値化されてレジスタ回路とカウンタ回路とにより計数される。この計数結果は、インターフェース回路を介して制御部 1 1 4 に供給される。制御部 1 1 4 は、集積回路からの計数結果に基づいて各種演算などを実行することで時刻や日付などを算出し、その算出結果に基づいて、表示部 1 1 2 に時刻、日付、カレンダーなどの各種情報を表示させる。

【 0 1 2 0 】

通信部 1 1 3 は、外部との通信、すなわち外部へのデータの送信および外部からのデータの受信を行う。通信部 1 1 3 は、無線部 1 2 0、音声処理部 1 2 1、切替部 1 2 2、増幅部 1 2 3、音声入出力部 1 2 4、電話番号入力部 1 2 5、着信音発生部 1 2 6、及び呼制御メモリ部 1 2 7 を含む。

【 0 1 2 1 】

無線部 1 2 0 は、符号化された音声データ等の各種データを、アンテナ 1 2 8 を介して基地局とやりとりする。音声処理部 1 2 1 は、無線部 1 2 0 から入力されたデータを、復号化して増幅部 1 2 3 へ出力する。また、音声処理部 1 2 1 は、増幅部 1 2 3 から入力されたデータを、符号化して無線部 1 2 0 へ出力する。増幅部 1 2 3 は、音声処理部 1 2 1 と音声入出力部 1 2 4 との間の信号の受け渡しを行うとともに、受け渡される信号を適宜、所定のレベルまで増幅する。音声入出力部 1 2 4 は、スピーカおよびマイクロフォンなどを含み、増幅部 1 2 3 からの信号に応じた音声を外部へ出力し、外部から音声の入力を受け付ける。

【 0 1 2 2 】

また、切替部 1 2 2 は、基地局からの呼び出しなどに応じた制御部 1 1 4 からの指令により、着信音発生部 1 2 6 を増幅部 1 2 3 と接続する。着信音発生部 1 2 6 は、基地局からの呼び出しに応じた制御部 1 1 4 からの指令により、着信音のデータを切替部 1 2 2 に出力する。すなわち、制御部 1 1 4 は、基地局からの呼び出しなどに応じて、着信音のデータを増幅部 1 2 3 へ出力させることにより、音声入出力部 1 2 4 によって着信音を出力させる。

【 0 1 2 3 】

呼制御メモリ部 1 2 7 は、通信の発着呼制御に係るプログラムを格納する。また、電話番号入力部 1 2 5 は、例えば 0 から 9 の番号キー及びその他のキーを備え、これら番号キー等の押下により、通話先の電話番号等の入力に利用される。

【 0 1 2 4 】

電源部 1 1 5 は、例えばリチウムイオン二次電池を含み、携帯情報機器 1 1 0 の各部へ電力を供給する。電圧検出部 1 1 6 は、電源部 1 1 5 から携帯情報機器 1 1 0 の各部へ供給されている電圧を検出する。電圧検出部 1 1 6 は、検出した電圧が所定値以下になった場合に、電圧が所定値以下であることを制御部 1 1 4 に通知する。この所定値は、通信部 1 1 3 を安定して動作させるために必要とされる電圧として予め設定されている値であり、例えば 3 V 程度である。電圧検出部 1 1 6 から電圧降下の通知を受けた制御部 1 1 4 は、無線部 1 2 0、音声処理部 1 2 1、切替部 1 2 2、及び着信音発生部 1 2 6 を含む複数の機能部の少なくとも一部の動作を、禁止または制限する。この場合に、制御部 1 1 4 は、複数の機能部のうち相対的に消費電力が大きい機能部の動作を、複数の機能部のうち相対的に消費電力が小さい機能部よりも先に禁止または制限する。制御部 1 1 4 は、供給電力の低下によって機能が停止または制限されていることを示す情報を、表示部 1 1 2 に表示させる。この表示は、文字を含んでいてもよいし、記号を含んでいてもよく、例えば表示部 1 1 2 に表示された電話アイコンに × (バツ) 印を付ける態様でもよい。電源遮断部 1 1 7 は、複数の機能部のうち、電圧低下により機能が停止する機能部への電力の供給を選択的に停止する。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 5 】

上述の携帯情報機器 1 1 0 のような本実施形態の電子機器は、本実施形態に係る圧電振動子 1 を備えているので、低消費電力で安定した動作を実現可能である。

【 0 1 2 6 】

次に、電波時計について説明する。電波時計は、表示する時刻を、標準電波から取得される時刻に合わせる機能を有する。標準電波は、タイムコードと呼ばれる時刻情報を含む変調信号によって、所定周波数の搬送波に A M 変調をかけたものである。標準電波は、例えば日本国内では、福島県の送信所と佐賀県の送信所とから送信されている。福島県の送信所から送信される標準電波は、搬送波の周波数が 4 0 k H z であり、佐賀県の送信所から送信される標準電波は、搬送波の周波数が 6 0 k H z である。

10

【 0 1 2 7 】

図 1 6 は、本実施形態の電波時計 1 3 0 を示す図である。この電波時計 1 3 0 は、アンテナ 1 3 1、アンプ 1 3 2、フィルタ部 1 3 3、検波整流回路 1 3 4、波形整形回路 1 3 5、C P U 1 3 6、及び R T C 1 3 7 を備える。

【 0 1 2 8 】

アンテナ 1 3 1 は、標準電波を受信する。アンプ 1 3 2 は、アンテナ 1 3 1 が受信した標準電波の信号を、増幅してフィルタ部 1 3 3 へ出力する。フィルタ部 1 3 3 は、アンプ 1 3 2 からの信号を、濾波、同調して検波整流回路 1 3 4 へ出力する。検波整流回路 1 3 4 は、フィルタ部 1 3 3 からの信号を、検波復調して波形整形回路 1 3 5 へ出力する。波形整形回路 1 3 5 は、検波整流回路 1 3 4 からの信号からタイムコードを取得し、このタイムコードを C P U 1 3 6 へ供給する。C P U 1 3 6 は、タイムコードから現在の年、積算日、曜日、時刻等の時刻に関する情報を取得する。R T C 1 3 7 は、いわゆるリアルタイムクロックであり、現在の年、月、日、時、分、秒などの情報を保持している。C P U 1 3 6 は、タイムコードから取得した時刻に関する情報を、R T C 1 3 7 が保持する情報に反映させる。R T C 1 3 7 が保持する情報は、適宜読みだされて、時刻の表示に利用される。

20

【 0 1 2 9 】

フィルタ部 1 3 3 は、濾波する信号の周波数に相当する共振周波数の圧電振動子を含む。フィルタ部 1 3 3 において、圧電振動子は、共振子として機能する。例えば、図 1 6 の電波時計 1 3 0 は、日本国内での使用が想定されたものであり、フィルタ部 1 3 3 は、共振周波数が 4 0 k H z の圧電振動子 1 a と、共振周波数が 6 0 k H z の圧電振動子 1 b とを含む。なお、日本国内以外の地域での使用が想定される電波時計 1 3 0 は、使用される地域に対応した標準電波の搬送波の周波数に応じて、フィルタ部 1 3 3 の圧電振動子の共振周波数が設定される。

30

【 0 1 3 0 】

本実施形態において、フィルタ部 1 3 3 の圧電振動子 1 a と圧電振動子 1 b は、それぞれ、図 1 を用いて説明したような本実施形態の圧電振動子である。本実施形態の電波時計 1 3 0 は、本実施形態に係る圧電振動子 1 を備えているので、低消費電力で安定した動作を実現可能である。

【 0 1 3 1 】

なお、本発明の技術範囲は、上記の実施形態あるいは変形例に限定されるものではない。例えば、上記の実施形態あるいは変形例で説明した要素の 1 つ以上は、省略されることがある。また、上記の実施形態あるいは変形例で説明した要素は、適宜組み合わせることができる。

40

【 0 1 3 2 】

なお、上述の実施形態において、圧電振動子 1 は、セラミックパッケージタイプの圧電振動子であるが、いわゆるガラスパッケージタイプの圧電振動子であってもよい。また、第 1 ベース基板 1 0 及び第 2 ベース基板 1 1 の 2 枚の基板でベース基板を構成したが、ベース基板は、1 枚の基板で構成されていてもよい。

【 0 1 3 3 】

50

なお、上述の実施形態において、パッケージ本体 4 は、ベース基板にシールリング 12 を接合することで、キャピティ C となる凹部が形成されているが、シールリング 12 を用いる代わりにベース基板に凹部を形成が形成されていてもよい。

【符号の説明】

【 0 1 3 4 】

1、1 a、1 b 圧電振動子、3、3 b ~ 3 g 圧電振動片、4 パッケージ本体（ベース部材）、5 封口板（リッジ部材）、16 マウント電極、17 マウント電極、20 一对の振動腕部、21 基部、22 連結部、27、28 溝部、41 ~ 43 凸部、100 発振器、110 携帯情報機器（電子機器）、130 電波時計

【 図 1 】

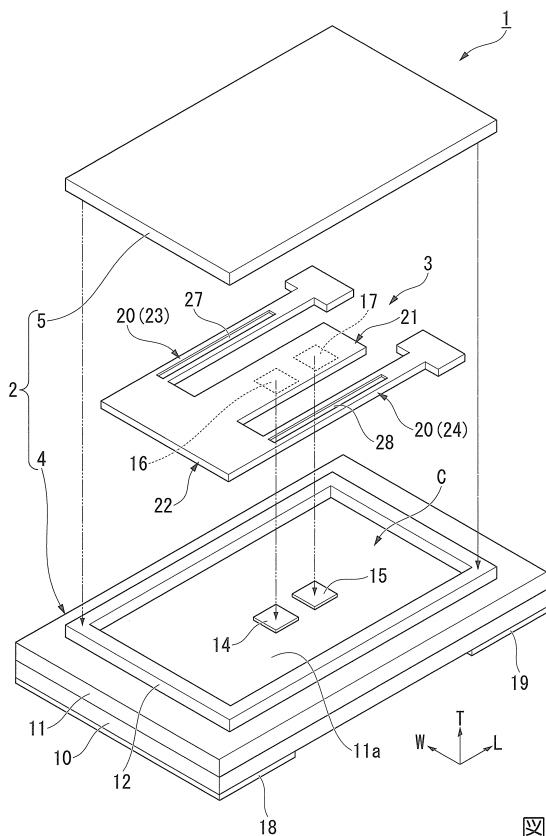


図 1

【 図 2 】

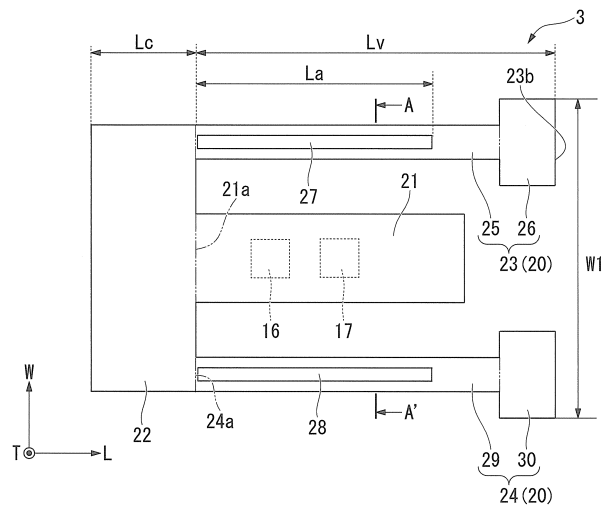


図 2

【 図 3 】

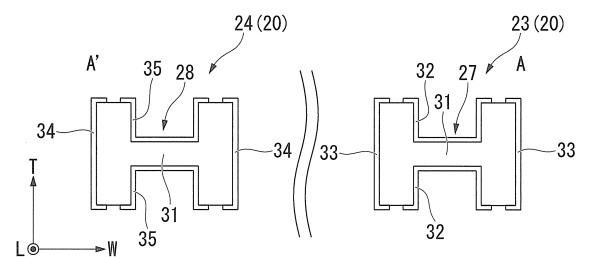


図 3

【 図 4 】

No.	Lv [μm]	Lc [μm]	La [μm]	Lc/Lv [%]	La/Lv [%]	R1 [Ω]	R2 [Ω]	R2/R1 [-]
0	820	80	350	9.8	42.7	13.08	60.16	4.60
1	820	50	300	6.1	36.6	20.51	45.94	2.24
2	820	50	400	6.1	48.8	14.72	8.24	0.56
3	820	50	500	6.1	61.0	11.81	2.99	0.25
4	820	100	300	12.2	36.6	14.77	520.33	35.23
5	820	100	400	12.2	48.8	10.82	22.36	2.07
6	820	100	500	12.2	61.0	8.83	4.88	0.55
7	820	200	300	24.4	36.6	14.16	511.37	36.11
8	820	200	400	24.4	48.8	10.41	27.54	2.65
9	820	200	500	24.4	61.0	8.50	5.34	0.63

図 4

【 図 6 】

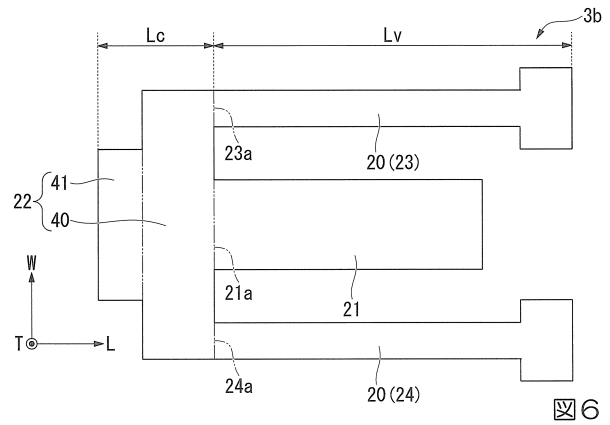


図 6

【 図 5 】

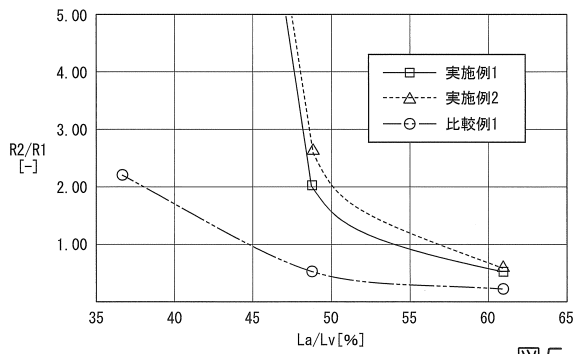


図 5

【 図 7 】

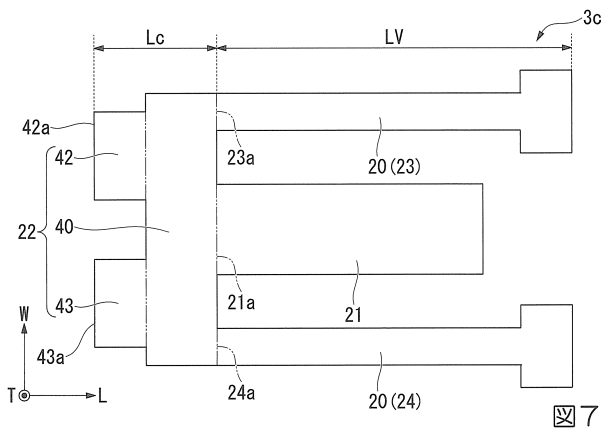


図 7

【 図 9 】

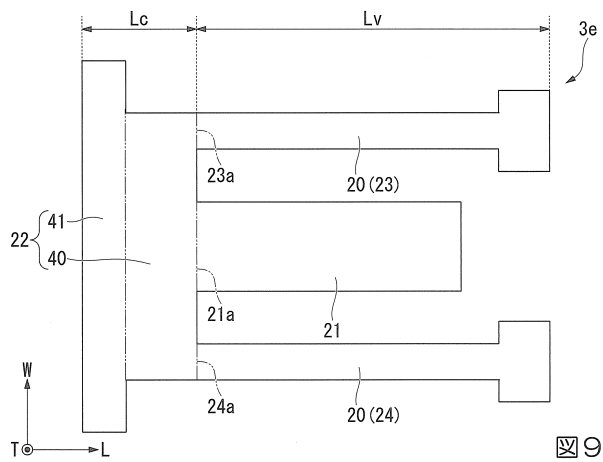


図 9

【 図 8 】

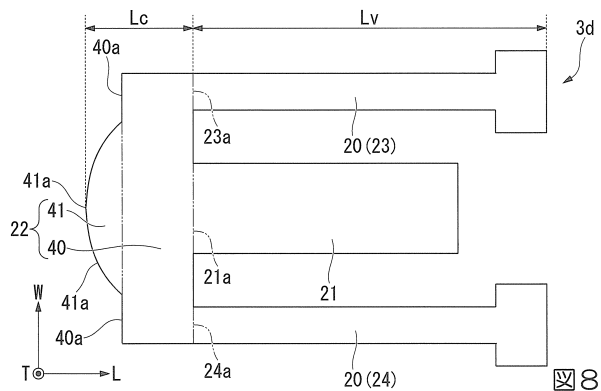
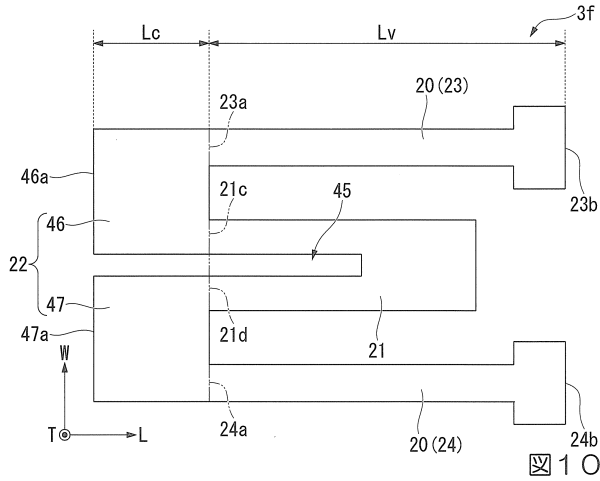
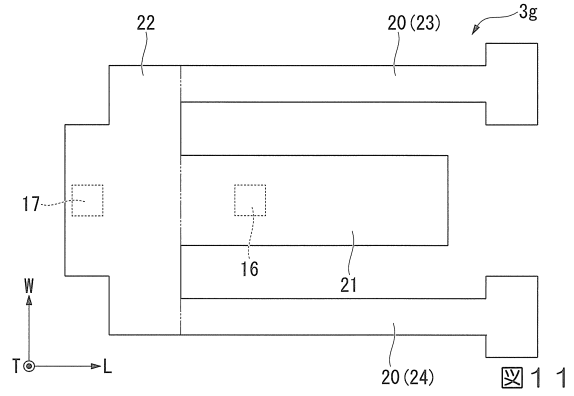


図 8

【図10】



【図11】



【図12】

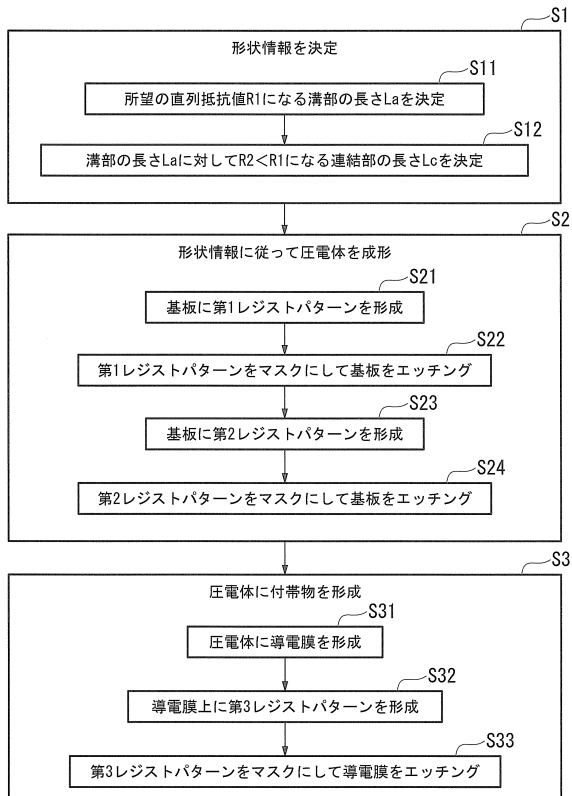


図12

【図13】

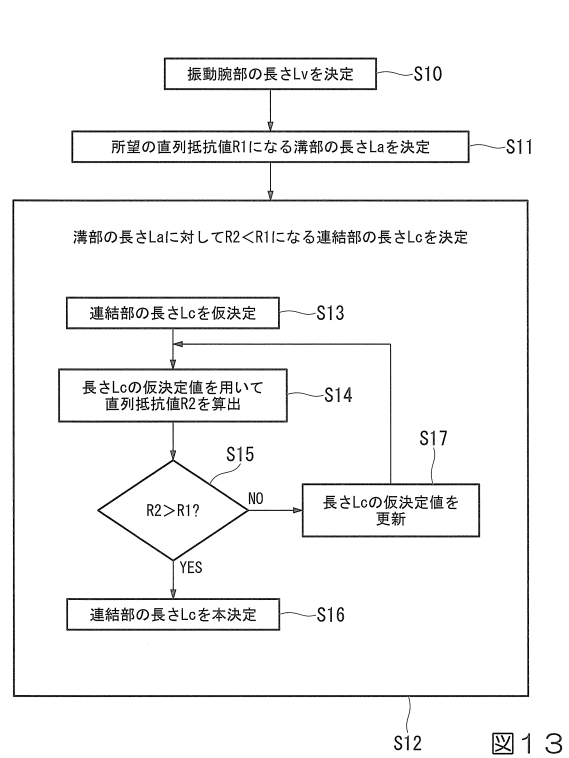


図13

【図14】

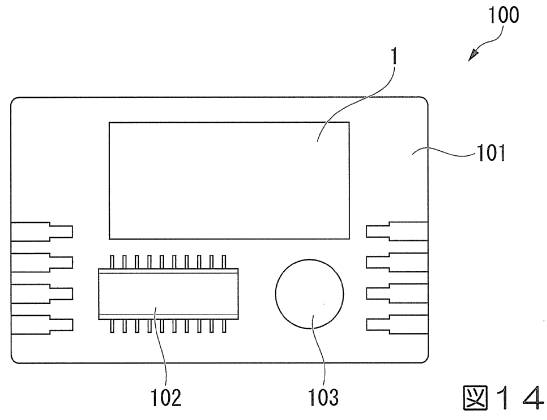


図14

【図15】

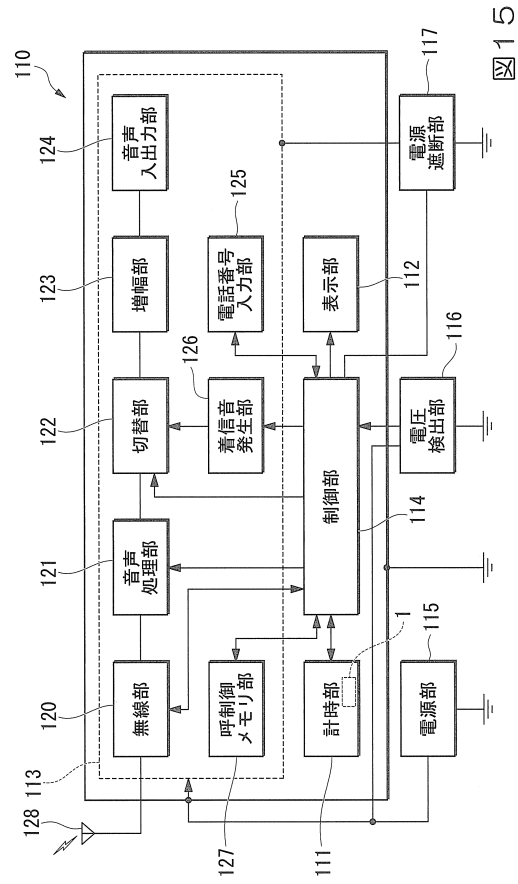


図15

【図16】

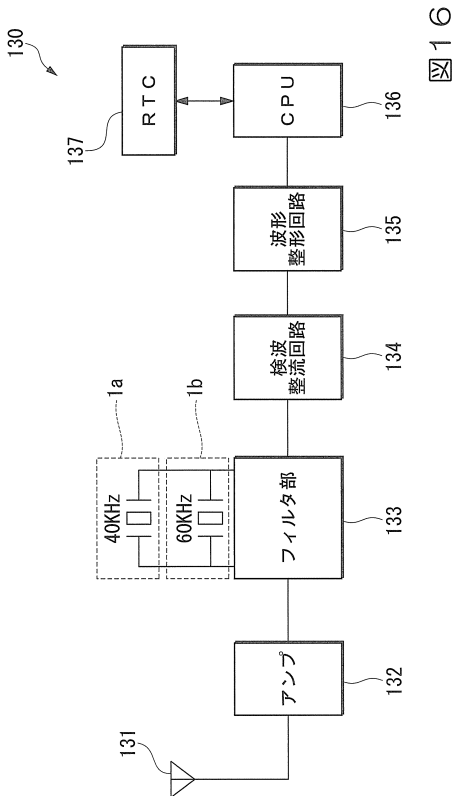


図16

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2012-119920(JP,A)
特開2005-123828(JP,A)
特開昭59-183520(JP,A)
特開2009-164775(JP,A)
特開昭54-007285(JP,A)
特開2012-039509(JP,A)
欧州特許出願公開第01732217(EP,A1)
米国特許出願公開第2003/0067248(US,A1)
米国特許第04540909(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03H 3/007 - 3/06
H03H 9/00 - 9/135
H03H 9/15 - 9/24
H03H 9/30 - 9/40
H03H 9/46 - 9/62
H03H 9/66
H03H 9/70
H03H 9/74