

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6209886号
(P6209886)

(45) 発行日 平成29年10月11日 (2017.10.11)

(24) 登録日 平成29年9月22日 (2017.9.22)

(51) Int.Cl.		F I	
H03H	9/19	(2006.01)	H03H 9/19 J
H03H	9/10	(2006.01)	H03H 9/10
H03H	9/215	(2006.01)	H03H 9/215
H03B	5/32	(2006.01)	H03B 5/32 H

請求項の数 14 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2013-149982 (P2013-149982)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成25年7月18日 (2013.7.18)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2015-23423 (P2015-23423A)		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(43) 公開日	平成27年2月2日 (2015.2.2)	(74) 代理人	100091292
審査請求日	平成28年3月25日 (2016.3.25)		弁理士 増田 達哉
		(74) 代理人	100091627
			弁理士 朝比 一夫
		(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
		審査官	橋本 和志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動片、振動子、発振器、電子機器および移動体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基部と、

前記基部の一端から第1方向に沿って延出され、かつ、前記第1方向に交差する第2方向に沿って並んでいる1対の振動腕と、

を含み、

前記基部は、

前記振動腕が延出している第1基部と、

前記第1基部に対して前記振動腕側とは反対側に設けられている第2基部と、

前記第1基部と前記第2基部とを連結している連結部と、

前記第2方向に沿って設けられ、外側に向うに従って前記第1方向に沿った開口幅が広がっている切り欠き部と、

を含み、

前記切り欠き部の前記第1基部の前記一端側、且つ前記連結部の中央寄りの外縁は、角部を含まない連続的な線であり、

当該外縁の接線と前記第2方向に平行な線分とのなす角を θ としたとき、

$\frac{6}{7} \leq \theta \leq 90$ の関係を満たすことを特徴とする振動片。

【請求項2】

前記第1基部の前記第2方向に沿った幅を S_1 と、前記連結部の前記第2方向に沿った最小幅を S_2 としたとき、

10

20

$S2/S1$ が 0.3 以上 0.6 以下である請求項 1 に記載の振動片。

【請求項 3】

前記振動腕は、
前記基部側に配置されている腕部と、
前記腕部に対して前記基部とは反対側に配置されている錘部と、
を含む請求項 1 または 2 に記載の振動片。

【請求項 4】

前記錘部は、前記腕部よりも前記第 2 方向に沿った幅が大きく、
前記腕部の前記第 2 方向に沿った幅を $W1$ 、
前記錘部の前記第 2 方向に沿った幅を $W2$ としたとき、
 $W2/W1$ が 1.43 以上 1.79 以下である請求項 3 に記載の振動片。

10

【請求項 5】

前記振動腕の互いに表裏の関係にある前記第 1 の主面および前記第 2 の主面のうちの少なくとも一方の主面に、前記第 1 方向に沿って設けられている溝部を含む請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の振動片。

【請求項 6】

前記腕部の前記第 2 方向に沿った幅を $W1$ とし、前記溝部が設けられている前記主面における前記溝部を挟む 2 つの部分のそれぞれの前記第 2 方向に沿った幅を $W3$ とし、 $2 \times W3/W1$ をとしたとき、
 $14.2\% < \quad < 100\%$ の関係を満たす請求項 5 に記載の振動片。

20

【請求項 7】

$20\% \quad 50\%$ の関係を満たす請求項 6 に記載の振動片。

【請求項 8】

$25\% \quad 40\%$ の関係を満たす請求項 7 に記載の振動片。

【請求項 9】

前記振動腕に設けられている励振電極を含み、
前記励振電極は、下地層と、前記下地層の前記振動腕とは反対側に積層された被覆層と、
を含み、
前記下地層の厚さを Tb 、
前記被覆層の厚さを Tc としたとき、
 $Tb/Tc \quad 4/7$ の関係を満たす請求項 1 ないし 8 のいずれか 1 項に記載の振動片。

30

【請求項 10】

前記下地層は、クロムで構成されており、
前記下地層の厚さは、50 以上 700 以下である請求項 9 に記載の振動片。

【請求項 11】

請求項 1 ないし 10 のいずれか 1 項に記載の振動片と、
前記振動片が搭載されているパッケージと、を備えていることを特徴とする振動子。

【請求項 12】

請求項 1 ないし 10 のいずれか 1 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発振器。

40

【請求項 13】

請求項 1 ないし 10 のいずれか 1 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。

【請求項 14】

請求項 1 ないし 10 のいずれか 1 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、発振器、電子機器および移動体に関するものである。

50

【背景技術】

【0002】

振動子としては、いわゆる2脚音叉型の水晶振動子が知られている（例えば、特許文献1参照）。このような振動子が備える振動片は、例えば、特許文献1に開示されているように、基部と、この基部から互いに平行となるように延出する2つの振動腕とを有し、2つの振動腕を互いに接近と離間を繰り返すように面内方向に屈曲振動させる。

特許文献2に係る振動片は、基部を振動腕が並ぶ方向に沿って切り欠いた切欠き部を備えている。この切り欠き部は、ウェットエッチングによる形成時に、切り欠き部の基部の中央側の先端部分にオーバーエッチングによって、前記先端部分に尖ったくさび状のものが形成されて、応力が集中し易くなってしまうという問題を解決するために、切り欠き部の前記振動腕が並ぶ方向の開口側に傾斜部を設けることにより、切り欠き部の振動腕の延出方向に沿った幅が、前記開口側に行くに従って広くなるような形状としたことにより、オーバーエッチングを抑制し、前記先端部分に尖ったくさび状のものが形成されないようにすることによって、耐衝撃性を高めている。

しかしながら、特許文献2に係る振動片では、図17に示すように、平面視における切欠き部の振動腕側の外縁において、曲線12と直線12aとの接続部が曲率の不連続となる角部Aを有するため、その角部Aに応力が集中しやすく、耐衝撃性を十分に高めることができないという問題があった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2011-223229号公報

【特許文献2】特開2011-176665号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の目的は、切り欠き部の応力集中を低減することができる振動片を提供すること、また、かかる振動片を備える振動子、発振器、電子機器および移動体を提供することにある。

【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、以下の適用例として実現することが可能である。

〔適用例1〕

本発明の振動片は、基部と、

前記基部の一端から第1方向に沿って延出され、かつ、前記第1方向に交差する第2方向に沿って並んでいる1対の振動腕と、
を含み、

前記基部は、

前記振動腕が延出している第1基部と、

前記第1基部に対して前記振動腕側とは反対側に設けられている第2基部と、

前記第1基部と前記第2基部とを連結している連結部と、

前記第2方向に沿って設けられ、外側に向うに従って前記第1方向に沿った開口幅が広がっている切り欠き部と、
を含み、

前記切り欠き部の前記第1基部の前記一端側、且つ前記連結部の中央寄りの外縁は、角部を含まない連続的な線であり、

当該外縁の接線と前記第2方向に平行な線分とのなす角を θ としたとき、

$\frac{6}{70}^\circ \leq \theta < 70^\circ$ の関係を満たすことを特徴とする。

【0006】

このような振動片によれば、基部が第1基部、第2基部および連結部を含んでいることにより、基部の第1方向に沿った長さを短くしつつ、振動漏れを小さくことができる。

特に、基部が縮幅部を含んでいることにより、1対の振動腕の互いに同一面内で接近または離間する屈曲振動に伴う第1基部の変形を効果的に抑制することができる。その結果、第1基部の第1方向に沿った長さを短くしても、1対の振動腕の、略面内において互いに接近と離間を交互に繰り返す屈曲振動に伴う第1基部の変形を抑制し、基部から外部への振動漏れを抑制することができる。

しかも、平面視における第1基部および連結部の外縁の形状を最適化することにより、基部に生じる応力を緩和するとともに、熱弾性損失を低減することができる。

このようなことから、本発明の振動片は、耐衝撃性およびQ値を高めることができる。

10

【0007】

また、 6° 70° の関係を満たすことにより、基部に生じる応力を緩和するとともに、熱弾性損失をより効果的に低減することができる。

[適用例2]

本発明の振動片では、前記第1基部の前記第2方向に沿った幅を S_1 、

前記連結部の前記第2方向に沿った最小幅を S_2 としたとき、

S_2 / S_1 が 0.3 以上 0.6 以下であることが好ましい。

これにより、基部の第1方向に沿った長さを短くしつつ、振動漏れを効率的に小さくすることができる。

【0008】

20

[適用例3]

本発明の振動片では、前記振動腕は、

前記基部側に配置されている腕部と、

前記腕部に対して前記基部とは反対側に配置されている錘部と、

を含むことが好ましい。

これにより、振動腕の長さを増大させることなく、振動腕の腕部の幅を大きくし、振動腕の強度を高めるとともに、熱弾性損失を小さくしてQ値を高めることができる。その結果、小型化を図りつつ、耐衝撃性を高めるとともに、CI（クリスタルインピーダンス）値を小さくすることができる。

【0009】

30

[適用例4]

本発明の振動片では、前記錘部は、前記腕部よりも前記第2方向に沿った幅が大きく、

前記腕部の前記第2方向に沿った幅を W_1 、

前記錘部の前記第2方向に沿った幅を W_2 としたとき、

W_2 / W_1 が 1.43 以上 1.79 以下であることが好ましい。

これにより、振動腕の長さを増大させることなく、振動腕の強度およびQ値をより効率的に高めることができる。

【0010】

[適用例5]

本発明の振動片では、前記振動腕の互いに表裏の関係にある前記第1の主面および前記第2の主面のうちの少なくとも一方の主面に、前記第1方向に沿って設けられている溝部を含むことが好ましい。

40

これにより、熱弾性損失を低減することができる。

【0011】

[適用例6]

本発明の振動片では、前記腕部の前記第2方向に沿った幅を W_1 とし、前記溝部が設けられている前記主面における前記溝部を挟む2つの部分のそれぞれの前記第2方向に沿った幅を W_3 とし、 $2 \times W_3 / W_1$ を 14.2% としたとき、

$14.2\% < < 100\%$ の関係を満たすことが好ましい。

これにより、振動腕の強度およびQ値を効率的に高めることができる。

50

【 0 0 1 2 】

[適用例 7]

本発明の振動片では、20% 50%の関係を満たすことが好ましい。
これにより、振動腕の強度およびQ値をより効率的に高めることができる。

[適用例 8]

本発明の振動片では、25% 40%の関係を満たすことが好ましい。
これにより、振動腕の強度およびQ値をさらに効率的に高めることができる。

【 0 0 1 3 】

[適用例 9]

本発明の振動片では、前記振動腕に設けられている励振電極を含み、
前記励振電極は、下地層と、前記下地層の前記振動腕とは反対側に積層された被覆層と、
を含み、
前記下地層の厚さを T_b 、
前記被覆層の厚さを T_c としたとき、
 T_b / T_c 4 / 7の関係を満たすことが好ましい。
これにより、下地層が作動温度範囲の低温側に相転移点を有する場合であっても、作動温度範囲の低温側におけるCI値を小さくすることができる。

10

【 0 0 1 4 】

[適用例 10]

本発明の振動片では、前記下地層は、クロムで構成されており、
前記下地層の厚さは、50 以上700 以下であることが好ましい。
クロムは、下地層としての機能に優れるものの、比較的低温において相転移点を有する。
そこで、クロムで構成された下地層の厚さを50 以上700 以下程度に薄くすることにより、下地層としての機能を発揮させつつ、下地層のクロムの低温領域における相転移に起因するCI値上昇を抑制することができる。

20

【 0 0 1 5 】

[適用例 11]

本発明の振動子は、本発明の振動片と、
前記振動片が搭載されているパッケージと、を備えていることを特徴とする。
これにより、優れた信頼性を有する振動子を提供することができる。

30

[適用例 12]

本発明の発振器は、本発明の振動片と、
回路と、を備えていることを特徴とする。
これにより、優れた信頼性を有する発振器を提供することができる。

【 0 0 1 6 】

[適用例 13]

本発明の電子機器は、本発明の振動片を備えていることを特徴とする。
これにより、優れた信頼性を有する電子機器を提供することができる。

[適用例 14]

本発明の移動体は、本発明の振動片を備えていることを特徴とする。
これにより、優れた信頼性を有する移動体を提供することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 7 】

【図 1】本発明の実施形態に係る振動子を示す平面図である。

【図 2】図 1 中の A - A 線断面図である。

【図 3】図 1 に示す振動子が有する振動片の平面図である。

【図 4】(a) は、図 3 中の B - B 線断面図、(b) は、図 3 中の C - C 線断面図である。

【図 5】図 3 に示す振動片の基部を説明するための部分拡大平面図である。

【図 6】(a) は、図 3 に示す振動片を模式的に示す平面図（縮幅部を考慮した図）、(

50

b) は、(a) に示す振動片の簡略化モデルを示す平面図である。

【図 7】図 6 に示す振動片の振動漏れ抑制の原理を説明する平面図であって、(a) ~ (d) は、基部の各部 (第 1 ~ 4 連結部) の作用を説明する図である。

【図 8】従来の振動片を示す平面図である。

【図 9】(a) は、従来の振動片の振動腕の断面図 (図 8 中の D - D 線断面図)、(b) は、本発明の振動片の振動腕の横断面の一例を示す図である。

【図 10】腕部の幅に対する土手部の幅の割合と Q 値との関係を示すグラフである。

【図 11】錘部占有率と高性能化指数との関係を示すグラフである。

【図 12】本発明の発振器の一例を示す断面図である。

【図 13】本発明の振動片を備える電子機器を適用したモバイル型 (またはノート型) のパーソナルコンピュータの構成を示す斜視図である。 10

【図 14】本発明の振動片を備える電子機器を適用した携帯電話機 (PHS も含む) の構成を示す斜視図である。

【図 15】本発明の振動片を備える電子機器を適用したデジタルスチルカメラの構成を示す斜視図である。

【図 16】本発明の振動片を備える電子機器を適用した移動体 (自動車) の構成を示す斜視図である。

【図 17】従来の振動片の基部を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】 20

以下、本発明の振動片、振動子、発振器、電子機器および移動体を図面に示す好適な実施形態に基づいて詳細に説明する。

1. 振動子

まず、本発明の振動子 (本発明の振動片を備える振動子) について説明する。

< 第 1 実施形態 >

図 1 は、本発明の実施形態に係る振動子を示す平面図、図 2 は、図 1 中の A - A 線断面図である。また、図 3 は、図 1 に示す振動子が有する振動片の平面図、図 4 (a) は、図 3 中の B - B 線断面図、図 4 (b) は、図 3 中の C - C 線断面図、図 5 は、図 3 に示す振動片の基部を説明するための部分拡大平面図である。

【0019】 30

なお、以下では、説明の便宜上、図 1 ~ 図 4 において、互いに直交する X 軸、Y 軸および Z 軸を図示しており、その図示した各矢印の先端側を「+ (プラス) 側」、基端側を「- (マイナス) 側」とする。また、X 軸に平行な方向 (第 2 方向) を「X 軸方向」、Y 軸に平行な方向 (第 1 方向) を「Y 軸方向」、Z 軸に平行な方向を「Z 軸方向」といい、また、+ Z 側 (図 2 中の上側) を「上」、- Z 側 (図 2 の下側) を「下」ともいう。また、以下の説明では、説明の便宜上、各図に示す X 軸、Y 軸および Z 軸は、それぞれ、後述する水晶基板 3 を構成する水晶の X 軸 (電気軸)、Y 軸 (機械軸) および Z 軸 (光学軸) と一致している。

図 1 および図 2 に示す振動子 1 は、振動片 2 (本発明の振動片) と、振動片 2 を収納するパッケージ 9 とを有している。以下、振動片 2 およびパッケージ 9 について、順次詳細に説明する。 40

【0020】

(振動片)

まず、振動片 2 の構成を簡単に説明する。

図 3 および図 4 に示すように、振動片 2 は、水晶基板 3 と、水晶基板 3 上に形成された第 1 駆動用電極 8 4 および第 2 駆動用電極 8 5 とを有している。なお、図 3 では、説明の便宜上、第 1 駆動用電極 8 4 および第 2 駆動用電極 8 5 の図示を一部省略している。

水晶基板 3 は、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。なお、水晶の Z 軸は、水晶基板 3 の厚さ方向と一致しているのが 50

好ましいが、厚さ方向に対して若干（ 1° 未満程度）傾いていてもよい。

【0021】

図3に示すように、水晶基板3は、基部4と、基部4から延出する一对の振動腕5、6と、を有している。

基部4は、X軸およびY軸に平行な平面であるXY平面に広がり、Z軸方向を厚さ方向とする板状をなしている。

この基部4は、Z軸方向から見た平面視（以下、単に「平面視」という）で、基部4のY軸方向の途中の部分がくびれた形状をなしている。すなわち、図5に示すように、基部4は、振動腕5、6が延出している第1基部41と、第1基部41に対して振動腕5、6とは反対側に設けられた第2基部42と、第1基部41と第2基部42とを連結する連結部43と、を含んでいる。なお、図5において、第1基部41と連結部43との境界部、および、第2基部42と連結部43との境界部をそれぞれ破線で示している。

10

【0022】

ここで、連結部43のX軸方向の外縁は、第1基部41よりもX軸方向に沿った幅が徐々に小さくなるように括れ状の切り欠き部Bになっている。言い換えると、連結部43は、第1基部41側の端部にX軸方向に沿った幅が第2基部42側に向かうに従って連続的に小さくなる縮幅部411を有する。これにより、基部41のY軸方向に沿った長さを小さくしつつ、振動漏れを小さくすることができる。

【0023】

連結部43のX軸方向の外縁のうち、楕円で囲まれている領域Aの外縁、すなわち、切り欠き部Bの前記第1基部41の前記一端側、且つ前記連結部43の中央寄りの外縁は、角部を含まない連続的な線で構成されている。

20

従って、従来技術で述べたような曲線と直線との接続部が曲率の不連続となる角部Aを有していないため、応力が集中しやすい部分がなくなり、耐衝撃性を十分に高めることができる。

【0024】

以下、図6および図7に基づいて、縮幅部411の作用について詳述する。

図6(a)は、図3に示す振動片を模式的に示す平面図（縮幅部を考慮した図）、図6(b)は、図6(a)に示す振動片の簡略化モデルを示す平面図である。また、図7は、図6に示す振動片の振動漏れ抑制の原理を説明する平面図であって、(a)～(d)は、基部の各部（第1～4連結部）の作用を説明する図である。

30

【0025】

連結部43のX軸方向の外縁のうち、第1基部41側の縮幅部411の外縁は、振動腕の屈曲振動により第1基部41と連結部43の第1基部41側の領域とに生じる変形を低減する効果を有している。

本発明に係る縮幅部411を振動腕5、6の先端方向と反対側に形成した場合を図6(a)に示す。図6(b)に示したように回転軸155を回転の中心とし、所定の半径Rを有する擬似的な剛体の回転体154に弾性棒151が接続されたものと、回転軸157を回転の中心とし、半径Rを有する擬似的な剛体の回転体156に弾性棒152が接続されたものとが、簡略化された基部168によって接続されているものと見做すことができる。

40

【0026】

また、簡略化された基部168の代表的な連結部として、回転軸155、157よりも弾性棒151、152側に設けられた第1の連結部158と、回転軸155、157との間に設けられた第2の連結部159と、回転軸155、157よりも弾性棒の在る方向とは反対側に設けられた第3の連結部160と、第3の連結部160よりも弾性棒の先端方向とは反対側に設けられた第4の連結部169と、を考える。

【0027】

2本の振動腕5、6が互いに離間するように屈曲変形した場合、弾性棒151、152が互いに離間するように屈曲変形したと見做すが、この場合、振動腕5、6の根元周辺か

50

ら振動腕の先端方向とは反対側の方向の所定の場所に、変位ベクトルの渦が形成される。この渦の中心は、基部 4 を含む振動腕 5、6 の根元付近である場合が多いが、振動腕 5、6 や基部 4 の領域には属さない、仮想的な空間上に形成される場合もある。

【 0 0 2 8 】

ここでは説明の都合上、この渦の中心は基部 4 の領域に属するとし、且つ、弾性棒 1 5 1、1 5 2 からの距離は等しいとすると共に、この渦の中心を図 6 (b) における回転軸 1 5 5、1 5 7 とした。なお、この回転軸 1 5 5、1 5 7 を回転の中心とし、半径 R を有する擬似的な剛体の回転体 1 5 4、1 5 6 の外周の接線方向における変位は、弾性棒 1 5 1、1 5 2 の先端方向の側で最も大きく、弾性棒 1 5 1、1 5 2 の先端方向とは反対側の方向で最も小さい。

10

【 0 0 2 9 】

図 7 (a) において、簡略化された基部 1 6 8 の代表的な第 1 の連結部 1 5 8 は、擬似的な剛体の回転体 1 5 4、1 5 6 の回転運動によって強く伸ばされながら弾性棒 1 5 1、1 5 2 の先端側の方向に小さく移動する。

図 7 (b) において、簡略化された基部 1 6 8 の代表的な第 2 の連結部 1 5 9 も同様に、擬似的な剛体の回転体 1 5 4、1 5 6 の回転運動によって伸ばされながら弾性棒 1 5 1、1 5 2 の先端側の方向に移動する。

【 0 0 3 0 】

図 7 (c) において、簡略化された基部 1 6 8 の代表的な第 3 の連結部 1 6 0 は、擬似的な剛体の回転体 1 5 4、1 5 6 の回転運動によって圧縮されながら弾性棒 1 5 1、1 5 2 の先端側の方向に移動するが、このとき、第 3 の連結部 1 6 0 の長さ方向の中央周辺は、弾性棒 1 5 1、1 5 2 の先端側の方向、或は弾性棒 1 5 1、1 5 2 の先端方向とは反対側の方向のどちらかに変形する潜在力を有している。

20

図 7 (d) において、簡略化された基部 1 6 8 の代表的な第 4 の連結部 1 6 9 の場合は、擬似的な剛体の回転体 1 5 4、1 5 6 の回転運動によって圧縮されるが、アーチ形状をしているために変形し難く、更に変形する場合には、第 4 の連結部 1 6 9 の長さ方向の中央周辺が弾性棒 1 5 1、1 5 2 の先端方向とは反対側の方向に変位するように変形する。

【 0 0 3 1 】

従って、弾性棒 1 5 1、1 5 2 の離間運動によって、簡略化された基部 1 6 8 の代表的な第 1 乃至 4 の連結部 1 5 8、1 5 9、1 6 0、1 6 9 において、回転軸 1 5 5 と 1 5 7 を結ぶ方向へは圧縮や伸張の変形を発生させながら振動変位を相殺させる作用が働く。そして、第 1 乃至 3 の連結部 1 5 8、1 5 9、1 6 0 が弾性棒 1 5 1、1 5 2 の先端側の方向に変位するのを、第 4 の連結部 1 6 9 の変形し難さが妨げると共に、第 4 の連結部 1 6 9 の長さ方向の中央付近が弾性棒 1 5 1、1 5 2 の先端方向とは反対側の方向に変位するように変形することで相殺することができる。

30

結果として、簡略化された基部 1 6 8 に固定部材を形成した場合、即ち、基部 1 6 7 に固定部材を形成した場合、固定部材を介して外部へ漏洩するエネルギーが減少するので、振動漏れを低減させ、Q 値の減少を低減することができる。

【 0 0 3 2 】

振動腕 5、6 は、X 軸方向に並び、かつ、互いに平行となるように、それぞれ、基部 4 から + Y 軸方向に延出している。これら振動腕 5、6 は、それぞれ、長手形状をなし、その基端が固定端となり、先端が自由端となる。また、振動腕 5、6 の先端部には、振動腕 5、6 の基端部よりも X 軸方向に沿った幅が広い錘部 5 9、6 9 が設けられている。

40

図 4 に示すように、振動腕 5 は、XY 平面で構成された一对の主面 5 1、5 2 と、YZ 平面で構成され、一对の主面 5 1、5 2 を接続する一对の側面 5 3、5 4 とを有している。また、振動腕 5 は、主面 5 1 に開放する有底の溝 5 5 (溝部) と、主面 5 2 に開放する有底の溝 5 6 (溝部) とを有している。溝 5 5、5 6 は、それぞれ、Y 軸方向に延在している。このような振動腕 5 は、溝 5 5、5 6 が形成されている部分では、略 H 型の横断面形状をなしている。

【 0 0 3 3 】

50

振動腕 5 と同様に、振動腕 6 は、X Y 平面で構成された一对の主面 6 1、6 2 と、Y Z 平面で構成され、一对の主面 6 1、6 2 を接続する一对の側面 6 3、6 4 とを有している。また、振動腕 6 は、主面 6 1 に開放する有底の溝 6 5 (溝部) と、主面 6 2 に開放する有底の溝 6 6 (溝部) とを有している。溝 6 5、6 6 は、それぞれ、Y 軸方向に延在している。このような振動腕 6 は、溝 6 5、6 6 が形成されている部分では、略 H 型の横断面形状をなしている。

【0034】

このような溝 5 5、5 6 は、図 4 に示すように、横断面において、振動腕 5 の厚みを二等分する線分に対して対称的 (上下対称) に形成されているのが好ましい。同様に、溝 6 5、6 6 は、横断面において、振動腕 6 の厚みを二等分する線分に対して対称的 (上下対称) に形成されているのが好ましい。これにより、振動腕 5、6 の不要な振動を抑制でき、振動腕 5、6 を効率的に水晶基板 3 の面内方向に振動させることができる。

10

【0035】

このような振動腕 5 には、一对の第 1 駆動用電極 8 4 と一对の第 2 駆動用電極 8 5 とが形成されている。具体的には、一方の第 1 駆動用電極 8 4 は、溝 5 5 の内面に形成されており、他方の第 1 駆動用電極 8 4 は、溝 5 6 の内面に形成されている。また、一方の第 2 駆動用電極 8 5 は、側面 5 3 に形成されており、他方の第 2 駆動用電極 8 5 は、側面 5 4 に形成されている。

【0036】

同様に、振動腕 6 にも、一对の第 1 駆動用電極 8 4 と一对の第 2 駆動用電極 8 5 とが形成されている。具体的には、一方の第 1 駆動用電極 8 4 は、側面 6 3 に形成されており、他方の第 1 駆動用電極 8 4 は、側面 6 4 に形成されている。また、一方の第 2 駆動用電極 8 5 は、溝 6 5 の内面に形成されており、他方の第 2 駆動用電極 8 5 は、溝 6 6 の内面に形成されている。

20

このような第 1 駆動用電極 8 4 と第 2 駆動用電極 8 5 との間に交番電圧を印加すると、振動腕 5、6 が互いに接近、離間を繰り返すように面内方向 (X Y 平面方向) に所定の周波数で振動する。

【0037】

第 1 駆動用電極 8 4 および第 2 駆動用電極 8 5 の構成材料としては、それぞれ、特に限定されないが、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、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、モリブデン (Mo)、ニオブ (Nb)、タングステン (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) 等の導電材料により形成することができる。

30

【0038】

以上、振動片 2 の構成を簡単に説明したが、以下、振動片 2 の特徴的部分について詳述する。

前述したように、基部 4 が第 1 基部 4 1、第 2 基部 4 2 および連結部 4 3 を含んでいることにより、基部 4 の Y 軸方向に沿った長さを短くしつつ、振動漏れを小さくことができる。

40

ここで、第 1 基部 4 1 の X 軸方向に沿った幅を S 1 とし、連結部 4 3 の X 軸方向に沿った最小幅を S 2 としたとき、 $S 2 / S 1$ が 0.3 以上 0.6 以下であることが好ましい。これにより、基部 4 の Y 軸方向に沿った長さを短くしつつ、振動漏れを効率的に小さくすることができる。

【0039】

また、第 1 基部 4 1 は、第 1 基部 4 1 の連結部 4 3 側の端部に設けられ、X 軸方向に沿った幅が連結部 4 3 に向かうに従って連続的または断続的に小さくなっている縮幅部 4 1 1 を含んでいる。これにより、1 対の振動腕 5、6 の互いに同一面内で接近または離間する屈曲振動に伴う第 1 基部 4 1 の変形を効果的に抑制することができる。その結果、第 1 基部 4 1 の Y 軸方向に沿った長さを短くしても、1 対の振動腕 5、6 の、略面内において

50

互いに接近と離間を交互に繰り返す屈曲振動に伴う第 1 基部 4 1 の変形を抑制し、基部 4 から外部への振動漏れを抑制することができる。

【 0 0 4 0 】

また、本実施形態では、平面視で、縮幅部 4 1 1 の外縁 4 1 2 と連結部 4 3 の外縁 4 3 1 とが角部を含まない連続した曲線となっており、当該曲線の第 1 基部 4 1 側の部分の接線と X 軸方向に平行な線分とのなす角を θ としたとき、 $0^\circ < \theta < 90^\circ$ の関係を満たす。これにより、基部 4 に生じる応力を緩和するとともに、熱弾性損失を低減することができる。

また、 $6^\circ < \theta < 70^\circ$ の関係を満たすことが好ましい。これにより、縮幅部 4 1 1 および連結部 4 3 による効果を好適に生じさせることができる。すなわち、基部に生じる応力を緩和するとともに、熱弾性損失をより効果的に低減することができる。

【 0 0 4 1 】

また、前述したように、振動片 2 の共振周波数 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場合において、平面視における連結部 4 3 の外縁 4 3 1 と 1 対の振動腕 5、6 間に形成された股部の外縁 4 1 3 との間の最接近距離である基部屈曲幅を W_b とし、振動腕 5、6 の長手方向と直交する面における振動腕 5、6 の断面形状を、熱弾性損失が等価となる同一厚さの矩形形状に置換した振動腕の腕幅である実効腕幅を W_e としたときに、 $W_b > W_e$ の関係を満たしていることが好ましい。これにより、第 1 基部 4 1 の断面で発生する熱弾性損失が振動腕 5、6 で発生する熱弾性損失よりも小さくなることから、第 1 基部 4 1 の熱弾性損失に起因する振動片 2 の Q 値の劣化が抑制され、Q 値の向上を図ることができる。

また、1 対の振動腕 5、6 の全体の X 軸方向に沿った幅を W_a とし、基部 4 の X 軸方向に沿った幅を S としたとき、 W_a / S (より具体的には W_a / S_1) が 85% 以上 115% 以下であることが好ましい。これにより、振動片 2 の X 軸方向に沿った幅を小さくしながら、振動腕 5、6 の強度および Q 値を高めることができる。

【 0 0 4 2 】

また、前述したように、振動腕 5 には、溝 5 5、5 6 が設けられ、同様に、振動腕 6 には、溝 6 5、6 6 が設けられている。すなわち、振動腕 5 は、振動腕 5 の X 軸方向および Y 軸方向に沿った 2 つの主面 5 1、5 2 に形成され、Y 軸方向に延びている有底の溝 5 5、5 6 (溝部) を含んでいる。同様に、振動腕 6 は、振動腕 6 の X 軸方向および Y 軸方向に沿った 2 つの主面 6 1、6 2 に形成され、Y 軸方向に延びている有底の溝 6 5、6 6 (溝部) を含んでいる。

【 0 0 4 3 】

このような溝 5 5、5 6、6 5、6 6 が形成された振動腕 5、6 によれば、振動腕 5、6 の面内屈曲振動に伴って発生する熱が拡散 (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。すなわち、 $f / f_0 > 1$ なる関係を満たすことにより、振動腕 5、6 を断熱的領域とすることができ、Q 値の低下を低減することができる。

【 0 0 4 4 】

一般に、振動腕の主面に溝を形成すると、振動腕の機械的強度が低下する。振動腕の幅や厚さを大きくすることにより、振動腕の強度を高めたり熱弾性損失を低減したりすることができる。

ここで、音叉型振動片の基本波の共振周波数 f は、以下の式を満足することが知られている。

$$f = W / L^2 \quad \dots \dots \dots \text{式 1}$$

なお、 W は腕部の幅、 L は、腕部の長さを示している。

【 0 0 4 5 】

すなわち、基本波の共振周波数を一定とした場合、振動片の腕部の長さ L を短くすればするほど、腕部の幅 W も細くなるという関係になっている。

そこで、振動腕の長さを一定とし、基本波の共振周波数を例えば、 32.768 (kHz) とした場合、単に、Q値を向上させるために、振動腕を第1腕部と、第1腕部より幅の広い第2腕部（錘部）とから構成しようとした場合、錘部の錘効果により周波数が 32.768 (kHz) から低下してしまうため、これを避けて、共振周波数を一定に保つために振動腕の第1腕部の幅を広げる必要がある。一方、第1腕部と、第2腕部（錘部）との接合部に応力が集中してしまう虞があるため、過度な外力が作用した場合などに破損しないように、第1腕部の幅と第2腕部（錘部）の幅との関係において最適化を試み、周波数を 32.768 (kHz) に保ちつつ、耐衝撃性を向上させる必要がある。

【0046】

そこで、振動腕5、6は、以下に述べるような構成を有するとともに寸法の最適化が図られている。

10

前述したように、振動腕5、6の先端部には、振動腕5、6の基端部よりもX軸方向に沿った幅が広い錘部59、69が設けられている。すなわち、振動腕5、6は、基部4から延出している腕部50、60と、腕部50、60に対して基部4とは反対側に設けられ、腕部50、60よりもX軸方向に沿った幅が大きい錘部59、69と、を含んでいる。

【0047】

このように振動腕5、6の先端側に錘部59、69が設けられていることによりQ値の改善を図り、振動腕5、6の腕部50、60の幅を大きくして、屈曲振動の共振周波数を一定に保つことができる。従って、振動腕5、6の強度を高めるとともに、熱弾性損失を小さくしてQ値を高めることができる。その結果、耐衝撃性を高めるとともに、CI値を小さくすることができる。

20

【0048】

特に、腕部50、60のX軸方向に沿った幅（以下、「腕部50、60の幅」または「腕幅」ともいう）を $W1$ とし、振動腕5、6の溝55、56、65、66のそれぞれの両側に位置する部分（以下、「土手部」ともいう）の幅（以下、「土手幅」ともいう）を $W3$ とし、 $2 \times W3 / W1$ をとしたとき、 $14.2\% < < 100\%$ （ 100% とは、腕部に溝が形成されていない状態を示している）の関係を満たすことが好ましい。

【0049】

このように振動腕5、6の腕部50、60の幅に対する溝55、56、65、66のX軸方向に沿った幅（以下、単に「溝55等の幅」ともいう）の割合を最適化することにより、振動腕5、6の強度およびQ値を効率的に高めることができる。ここで、振動腕5の土手部の幅 $W3$ は、主面51における溝55を挟む2つの部分51a、51bのそれぞれのX軸方向に沿った幅、また、主面52における溝56を挟む2つの部分52a、53bのそれぞれのX軸方向に沿った幅である。なお、振動腕6の土手部の幅 $W3$ についても、振動腕5の土手部の幅 $W3$ と同様である。

30

【0050】

以下、について詳述する。

本発明者は、腕部50、60の幅を広げつつ、腕部50、60の幅に対する土手部の幅の割合を変化させた場合のQ値をシミュレーションにより検証を行った。

図8は、従来技術で掲げた特許文献1に記載されている振動片を示す平面図、図9（a）は、従来の特許文献1に記載されている振動片の振動腕の断面図（図8中のD-D線断面図）、図9（b）は、本発明の振動片の振動腕の横断面の一例を示す図である。

40

【0051】

本シミュレーションでは、図3に示す平面視形状（錘部あり）の振動片2および図8に示す平面視形状（錘部なし）の振動片2Xを用いている。本シミュレーションで用いる振動片2Xは、共振周波数が 32.768 kHz となるように、振動腕5X、6Xの横断面が図9（a）に示すような形状および寸法に設定されている。一方、本シミュレーションで用いる振動片2は、振動片2Xと同じ共振周波数、全長および全幅に設定されているとともに、振動片2の振動腕5、6の横断面が図9（b）に示すような形状および寸法に設定されている。

50

【 0 0 5 2 】

振動片 2 の振動腕 5、6 の各寸法は、以下の範囲で評価を行った。

錘部 5 9、6 9 の幅 W_2 : 2 1 5 (μm)

腕部 5 0、6 0 の幅 W_1 : 1 3 0 ~ 1 4 1 (μm)

土手部の幅 W_3 : 1 0 ~ 6 5 (μm)

腕部 5 0、6 0 の厚さ t : 1 2 0 (μm)

溝 5 5、5 6、6 5、6 6 の深さ : 5 0 (μm)

本シミュレーションの結果を表 1 および図 1 0 に示す。

【 0 0 5 3 】

【表 1】

10

表 1

板厚 [μm]	溝深さ [μm]	土手幅 [μm]	腕幅 [μm]	η	Q 値
120	50	10	141	0.142	75.834
		15	141	0.213	71.213
		20	136	0.294	62.267
		25	132	0.379	55.341
		30	130	0.462	50.755
		35	130	0.538	44.943
		40	130	0.615	42.788
		45	130	0.692	41.272
		50	130	0.769	38.714
		57.5	130	0.885	35.961
		65	130	1	35.168

20

【 0 0 5 4 】

30

なお、表 1 に示す Q 値は、共振周波数の多少のずれを補正して、共振周波数が 3 2 . 7 6 8 k H z となる場合の値として算出している。

図 1 0 は、腕部の幅に対する土手部の幅の割合と Q 値との関係を示すグラフである。

図 1 0 に示すように、形状「錘部あり」の場合、1 4 . 2 % < < 1 0 0 % の範囲において、特許文献 1 の Q 値 (3 1 , 5 7 3) を超えて改善されていることが確認された。

【 0 0 5 5 】

また、図 1 0 に示すように、 が小さくなるほど、Q 値が大きくなることが観察できるが、土手部の幅が 7 (μm) より小さくなると、Q 値が下降し始めることがシミュレーションにより確認されている。更に、土手部の幅が 7 (μm) では、 の値が、9 . 9 % (= $7 \times 2 / 1 4 1$)、1 0 . 7 % (= $7 \times 2 / 1 3 0$) と割合が小さくなり振動腕の機械的強度の低下、所謂、耐衝撃性の低下が問題となってくる。

40

【 0 0 5 6 】

更に、腕部 5 0、6 0 の幅 W_1 と土手部の幅 W_3 の範囲を以下のようにしても、Q 値が、特許文献 1 の Q 値 (3 1 , 5 7 3) よりも高いことが確認されている。

腕部 5 0、6 0 の幅 W_1 : 1 2 0 ~ 1 5 0 (μm)

土手部の幅 W_3 : 1 5 ~ 3 0 (μm)

このときの は、以下の通りである。

$$= 2 \times W_3 / W_1 = 2 \times 1 5 \mu\text{m} / 1 2 0 \mu\text{m} = 2 5 . 0 \%$$

$$= 2 \times W_3 / W_1 = 2 \times 3 0 \mu\text{m} / 1 2 0 \mu\text{m} = 5 0 . 0 \%$$

$$= 2 \times W_3 / W_1 = 2 \times 1 5 \mu\text{m} / 1 5 0 \mu\text{m} = 2 0 . 0 \%$$

50

$$= 2 \times W3 / W1 = 2 \times 30 \mu m / 150 \mu m = 40.0\%$$

したがって、は以下を満足する。

$$20.0\% \leq W2 / W1 \leq 50.0\%$$

【0057】

更に、腕部50、60の幅W1に対する錘部59、69の幅W2の割合は以下の通りとなる。

$$W2 / W1 = 215 / 120 = 1.79$$

$$W2 / W1 = 215 / 150 = 1.43$$

従って、W2 / W1は、以下を満足する。

$$1.43 \leq W2 / W1 \leq 1.79$$

10

W2 / W1を上記の関係にすることにより、腕部50、60と、錘部59、69との接合部に応力が集中してしまうことを低減させることができるので、過度な外力が作用した場合であっても、破損せず、耐衝撃性を向上させることが可能である。

【0058】

以上のようなとQ値との関係から、 $14.2\% < Q < 100\%$ の関係を満たすことにより、振動腕5、6の長さを増大させることなく、振動腕5、6の強度およびQ値を効率的に高めることができるが、振動片の耐衝撃性を考慮すれば、その効果をより高めるには、 $20\% \leq Q \leq 50\%$ の関係を満たすことが好ましく、 $25\% \leq Q \leq 40\%$ の関係を満たすことがさらに好ましい。

【0059】

20

また、振動腕5、6のY軸方向に沿った全体の長さ（以下、単に「振動腕5、6の長さ」ともいう）をLとし、錘部59、69のY軸方向に沿った長さ（以下、単に「錘部59、69の長さ」ともいう）をLxとしたとき、 Lx / L が20%以上60%以下であることが好ましい。

このようにLx / Lを最適化することにより、振動腕5、6の長さを増大させることなく、振動腕5、6の強度およびQ値をより効率的に高めることができる。

【0060】

以下、Lx / LおよびW2 / W1について詳述する。

図11は、錘部占有率と高性能化指数との関係を示すグラフである。

図11において、横軸は、振動腕5、6の長さLに対して錘部59、69の長さLxが占める割合（ Lx / L ）である錘部占有率（%）であり、縦軸は、低周波数指数と高Q値化指数とを掛け合わせた値として定義される高性能化指数である。ここで、低周波数化指数は、値が大きくなるほど振動片の低周波数化（言い換えれば振動片の小型化）が効率的に図れることを示す指数である。また、高Q値化指数は、値が大きくなるほど振動片のQ値の低下を効率的に軽減できることを示す指数である。

30

【0061】

図11に示すように、錘部占有率が38%であるときに、高性能化指数が最大（1.0）となる。すなわち、Lx / Lが38%であるときに、振動片の低周波数化（小型化）および高Q値化の双方の両立を最も効率的に図れる。

したがって、本発明に係る振動片2において、Lx / Lを約38%を中心とした20%以上60%以下とすることにより、図11に示すように高性能化指数を0.8以上とし、小型化および高Q値化を効率的に図ることができる。

40

また、Lx / Lは、35%以上41%以下であることが好ましい。これにより、図11に示すように高性能化指数を最大値に近い値とし、小型化および高Q値化をより効率的に図ることができる。

【0062】

以上のような錘部占有率と高性能化指数との関係から高い高性能化指数を実現するうえで、上述したように錘部59、69のX軸方向に沿った幅（以下、単に「錘部59、69の幅」ともいう）をW2としたとき、W2 / W1が1.43以上1.79以下であることが好ましい。

50

このように $W2/W1$ を最適化することにより、振動片2のX軸方向に沿った全体の幅の増大を抑制しつつ、錘部59、60を設けることによる効果（錘効果）を生じさせることができる。

【0063】

また、腕部50、60の幅 $W1$ は、 $120\mu\text{m}$ 以上 $150\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $130\mu\text{m}$ 以上 $141\mu\text{m}$ 以下であることがさらに好ましい。これにより、振動片2の周波数を一定に保ちつつ、振動腕5、6の強度を優れたものとするとともに、熱弾性損失を低減することができる。

また、腕部50、60の厚さ t は、 $100\mu\text{m}$ 以上 $300\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $110\mu\text{m}$ 以上 $200\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $115\mu\text{m}$ 以上 $150\mu\text{m}$ 以下であることがさらに好ましい。これにより、振動腕5、6の腕部50、60の厚さが比較的厚くなるため、振動腕5、6の強度を高めることができる。また、振動腕5、6の腕部50、60の厚さが比較的厚いことにより、振動腕5、6の電界がかかる面積を大きく確保することができる、すなわち第1駆動用電極84と第2駆動用電極85との間に挟まれている励振部の面積を大きくすることができ電界効率を高めることができるので、 CI 値を小さくすることができる。

これに対し、腕部50、60の厚さ t が小さすぎると、振動腕5、6の強度が著しく低下する傾向を示す。一方、腕部50、60の厚さ t が大きすぎると、振動片2の外形をウエットエッチングのみで形成することが難しくなる。

【0064】

また、腕部50、60のそれぞれの厚さを t とし、溝55、56同士の間距離および溝65、66同士の間距離のそれぞれ（すなわち振動腕5、6のそれぞれの幅方向での中央部の厚さ）を $t1$ としたとき、 $t1/t$ が10%以上40%以下であることが好ましく、15%以上30%以下であることがより好ましく、15%以上20%以下であることがさらに好ましい。これにより、振動腕5、6の強度を優れたものとしつつ、振動腕5、6の電界がかかる面積を大きく確保することができる。

また、振動腕5、6の土手部の幅 $W3$ は、 $15\mu\text{m}$ 以上 $30\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $18\mu\text{m}$ 以上 $25\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。これにより、振動腕5、6の強度を優れたものとしつつ、 CI 値を小さくすることができる。

【0065】

また、図4に示すように、溝55は、第1駆動用電極84（励振電極）が設けられている部分である電極形成領域551と、電極形成領域551に対して基部4とは反対側に位置し、駆動用電極が設けられていない部分である電極未形成領域552と、を有している。同様に、溝56は、電極形成領域561および電極未形成領域562を有し、溝65は、電極形成領域651および電極未形成領域652を有し、溝66は、電極形成領域661および電極未形成領域662を有する。

このような電極未形成領域552、562、652、662（以下、「電極未形成領域552等」ともいう）を形成することにより、高次モードの振動（高調波）の発生を抑制しつつ、等価直列容量 $C1$ を小さくしたメインモードの振動（基本波）を発生させることができる。

【0066】

ここで、基本波 CI 値と CI 値比との関係および基本波 CI 値と溝部の長さとの関係について説明する。

振動片2は、その振動により基本波の周波数で信号を発振するようになっているが、同時に高調波の周波数でも同様の信号を発振してしまう特性を有している。そして、この高調波の信号を振動子等の機器において基本波の周波数の信号と間違えて拾ってしまうと、機器に異常をもたらすおそれがある。

【0067】

そこで、このような事態を未然に防ぐ方法として、 CI 値比を基準に設計する方法がある。この CI 値比は、高周波の CI 値を基本波の CI 値で割ったもの（高周波 CI 値/基

10

20

30

40

50

本波 C I 値)である。すなわち、高周波 C I 値が基本波 C I 値より大となり、この C I 値比が 1.0 以上となれば、高周波での信号の発振が発生し難くなり、機器等が誤って高調波の信号を拾うおそれが小さくなり、高性能な振動片となる。

【0068】

溝 55、56、65、66 の Y 軸方向に沿った長さを L_d とし、電極形成領域 551、561、651、661 (以下、「電極形成領域 551 等」ともいう)の Y 軸方向に沿った長さ (以下、「電極形成領域 551 等の長さ」ともいう)を L_1 としたとき、本実施例においては、

$$L_d = 900 (\mu m)$$

$$L_1 = 700 (\mu m)$$

とした。

溝の長さ L_d に対する電極形成領域 L_1 の割合は、77.8%となるが、許容されるバラツキとして $\pm 5\%$ を考慮して、72.8%以上 82.8%以下となることが好ましく、74.8%以上 81.8%以下であることがより好ましい。これにより、効率的に、等価直列容量 C_1 を小さくしつつ、C I 値を小さくすることができる。

【0069】

また、電極未形成領域 552、562 の基部 4 側の端は、錘部 59 と振動腕 5 の高調波振動の節との間に位置していることが好ましい。同様に、電極未形成領域 652、662 の基部 4 側の端は、錘部 69 と振動腕 6 の高調波振動の節との間に位置していることが好ましい。これにより、高次モードの振動の発生を効率的に抑制することができる。

また、振動腕 5、6 の基部 4 とは反対側の端と基部 4 の振動腕 5、6 とは反対側の端との間の距離 (すなわち振動片 2 の Y 軸方向に沿った全長)を L_a とし、1 対の振動腕 5、6 および基部 4 からなる構造体 (すなわち水晶基板 3) の重心と基部 4 の振動腕 5、6 とは反対側の端との間の距離を L_g としたとき、 L_g / L_a が $2/3$ 以下であることが好ましい。これにより、振動片 2 をパッケージ 9 に対して接着剤等により固定する際に、その固定が容易となる。

【0070】

また、駆動用電極 84、85 は、駆動用電極 84、85 の導電性および水晶基板 3 に対する密着性を優れたものとするという観点から、下地層と、その下地層の振動腕 5、6 とは反対側に積層された被覆層と、を含んでいることが好ましく、この場合、下地層の厚さを T_b とし、被覆層の厚さを T_c としたとき、 $T_b / T_c = 4/7$ の関係を満たすことが好ましい。これにより、下地層が作動温度範囲の低温側に相転移点を有する場合であっても、作動温度範囲の低温側における C I 値を小さくすることができる。

【0071】

被覆層の構成材料としては、駆動用電極 84、85 の導電性および耐腐蝕性を確保する観点から、導電性および耐腐蝕性に優れた金属、例えば、金を用いることが好ましい。一方、下地層の構成材料としては、被覆層と水晶基板 3 との密着性を高める観点から、例えば、クロムを用いることが好ましい。

下地層がクロムで構成されている場合、下地層の厚さは、50 以上 700 以下であることが好ましい。クロムは、下地層としての機能に優れるものの、比較的低温において相転移点を有する。そこで、クロムで構成された下地層の厚さを 50 以上 700 以下程度に薄くすることにより、下地層としての機能を発揮させつつ、下地層のクロムの低温領域における相転移に起因する C I 値上昇を抑制することができる。

また、基本波の Q 値を Q_1 とし、高調波の Q 値を Q_2 とし、基本波のクリスタルインピーダンスを R_1 とし、高調波のクリスタルインピーダンスを R_2 としたとき、 $Q_1 < Q_2$ なる関係を満たし、かつ、 $R_1 < R_2$ なる関係を満たしていることが好ましい。これにより、高次モードの振動を効率的に小さくすることができる。

【0072】

(パッケージ)

図 1 および図 2 に示すパッケージ 9 は、上面に開放する凹部 911 を有する箱状のペー

10

20

30

40

50

ス 9 1 と、凹部 9 1 1 の開口を塞ぐようにベース 9 1 に接合されている板状のリッド 9 2 とを有している。このようなパッケージ 9 は、凹部 9 1 1 がリッド 9 2 にて塞がれることにより形成された収納空間を有しており、この収納空間に振動片 2 が気密的に収納されている。また、凹部 9 1 1 には、段差部 9 1 2 が設けられており、振動片 2 は、基部 4 の第 2 基部 4 2 にて、例えば、エポキシ系、アクリル系の樹脂に導電性フィラーを混合した導電性接着剤 1 1 を介して段差部 9 1 2 に固定されている。

なお、収納空間内は、減圧（好ましくは真空）状態となってもよいし、窒素、ヘリウム、アルゴン等の不活性ガスが封入されていてもよい。これにより、振動片 2 の振動特性が向上する。

【 0 0 7 3 】

10

ベース 9 1 の構成材料としては、特に限定されないが、酸化アルミニウム等の各種セラミックスを用いることができる。また、リッド 9 2 の構成材料としては、特に限定されないが、ベース 9 1 の構成材料と線膨張係数が近似する部材であると良い。例えば、ベース 9 1 の構成材料を前述のようなセラミックスとした場合には、コパール等の合金とするのが好ましい。なお、ベース 9 1 とリッド 9 2 の接合は、特に限定されず、例えば、接着剤を介して接合してもよいし、シーム溶接等により接合してもよい。

【 0 0 7 4 】

また、ベース 9 1 の段差部 9 1 2 には、接続端子 9 5 1、9 6 1 が形成されている。図示しないが、振動片 2 の第 1 駆動用電極 8 4 は、基部 4 の第 2 基部 4 2 まで引き出されており、当該部分にて、導電性接着剤 1 1 を接続端子 9 5 1 と電氣的に接続されている。同様に、図示しないが、振動片 2 の第 2 駆動用電極 8 5 は、基部 4 の第 2 基部 4 2 まで引き出されており、当該部分にて、導電性接着剤 1 1 を介して接続端子 9 6 1 と電氣的に接続されている。

20

【 0 0 7 5 】

また、接続端子 9 5 1 は、ベース 9 1 を貫通する貫通電極（図示せず）を介してベース 9 1 の底面に形成された外部端子（図示せず）に電氣的に接続されており、接続端子 9 6 1 は、ベース 9 1 を貫通する貫通電極（図示せず）を介してベース 9 1 の底面に形成された外部端子（図示せず）に電氣的に接続されている。

接続端子 9 5 1、9 6 1、貫通電極および外部端子の構成としては、それぞれ、導電性を有していれば、特に限定されないが、例えば、Cr（クロム）、W（タングステン）などのメタライズ層（下地層）に、Ni（ニッケル）、Au（金）、Ag（銀）、Cu（銅）などの各被膜を積層した金属被膜で構成することができる。

30

【 0 0 7 6 】

以上説明したような振動片 2 によれば、振動腕 5、6 の先端部に錘部 5 9、6 0 が設けられているので、振動腕 5、6 の長さを増大させることなく、振動腕 5、6 の腕部 5 0、6 0 の幅を大きくし、振動腕 5、6 の強度を高めるとともに、熱弾性損失を小さくして Q 値を高めることができる。その結果、小型化を図りつつ、耐衝撃性を高めるとともに、CI（クリスタルインピーダンス）値を小さくすることができる。

【 0 0 7 7 】

特に、 が最適化されているので、振動腕 5、6 の強度および Q 値を効率的に高めることができる。

40

このようなことから、振動片 2 では、小型化を図りつつ、耐衝撃性を高めるとともに、50 k よりも小さい CI 値を実現することができる。

また、このような振動片 2 を備える振動子 1 は、優れた信頼性を有する。

【 0 0 7 8 】

2. 発振器

次いで、本発明の振動片を適用した発振器（本発明の発振器）について説明する。

図 1 2 は、本発明の発振器の一例を示す断面図である。

図 1 2 に示す発振器 1 0 は、振動片 2 と、振動片 2 を駆動するための IC チップ（チップ部品）8 0 とを有している。以下、発振器 1 0 について、前述した振動子との相違点を

50

中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【0079】

パッケージ9Aは、凹部911Aを有する箱状のベース91Aと、凹部911Aの開口を塞ぐ板状のリッド92とを有している。

ベース91Aの凹部911Aには、段差部912Aが設けられている。

段差部912Aには、接続端子(図示せず)が形成されている。また、凹部911Aの底面(段差部912Aよりも底側の面)には、ICチップ80が配置されている。ICチップ80は、振動片2の駆動を制御するための駆動回路(発振回路)を有している。ICチップ80によって振動片2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。

10

【0080】

また、凹部911Aの底面には、ワイヤーを介してICチップ80と電氣的に接続された複数の内部端子(図示せず)が形成されている。これら複数の内部端子には、ベース91Aに形成された図示しないビアを介してパッケージ9Aの底面に形成された外部端子(図示せず)に電氣的に接続された端子と、図示しないビアやワイヤーを介して接続端子(図示せず)に電氣的に接続された端子とが含まれている。

なお、図12の構成では、ICチップ80が収納空間内に配置されている構成について説明したが、ICチップ80の配置は、特に限定されず、例えば、パッケージ9Aの外側(ベースの底面)に配置されていてもよい。

このような発振器10によれば、優れた信頼性を発揮することができる。

20

【0081】

3. 電子機器

次いで、本発明の振動片を適用した電子機器(本発明の電子機器)について、図13～図15に基づき、詳細に説明する。

図13は、本発明の振動片を備える電子機器を適用したモバイル型(またはノート型)のパーソナルコンピュータの構成を示す斜視図である。この図において、パーソナルコンピュータ1100は、キーボード1102を備えた本体部1104と、表示部100を備えた表示ユニット1106とにより構成され、表示ユニット1106は、本体部1104に対しヒンジ構造部を介して回動可能に支持されている。このようなパーソナルコンピュータ1100には、フィルター、共振器、基準クロック等として機能する振動子1が内蔵されている。

30

【0082】

図14は、本発明の振動片を備える電子機器を適用した携帯電話機(PHSも含む)の構成を示す斜視図である。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100が配置されている。このような携帯電話機1200には、フィルター、共振器等として機能する振動子1が内蔵されている。

【0083】

図15は、本発明の振動片を備える電子機器を適用したデジタルスチルカメラの構成を示す斜視図である。なお、この図には、外部機器との接続についても簡易的に示されている。ここで、通常のカメラは、被写体の光像により銀塩写真フィルムを感光するのに対し、デジタルスチルカメラ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。

40

【0084】

デジタルスチルカメラ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、表示部は、被写体を電子画像として表示するファインダとして機能する。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1304が設けられている。

【0085】

50

撮影者が表示部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１３０８に転送・格納される。また、このデジタルスチルカメラ１３００においては、ケース１３０２の側面に、ビデオ信号出力端子１３１２と、データ通信用の入出力端子１３１４とが設けられている。そして、図示されるように、ビデオ信号出力端子１３１２にはテレビモニター１４３０が、データ通信用の入出力端子１３１４にはパーソナルコンピューター１４４０が、それぞれ必要に応じて接続される。さらに、所定の操作により、メモリ１３０８に格納された撮像信号が、テレビモニター１４３０や、パーソナルコンピューター１４４０に出力される構成になっている。このようなデジタルスチルカメラ１３００には、フィルター、共振器等として機能する振動子１が内蔵されている。

10

【００８６】

なお、本発明の振動片を備える電子機器は、図１３のパーソナルコンピューター（モバイル型パーソナルコンピューター）、図１４の携帯電話機、図１５のデジタルスチルカメラの他にも、例えば、インクジェット式吐出装置（例えばインクジェットプリンター）、ラップトップ型パーソナルコンピューター、テレビ、ビデオカメラ、ビデオテープレコーダー、カーナビゲーション装置、ページャ、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）、フライトシュミレーター等に適用することができる。

20

【００８７】

４．移動体

次いで、本発明の振動片を適用した移動体について、図１６に基づき、詳細に説明する。

図１６は、本発明の振動片を備える電子機器を適用した移動体（自動車）の構成を示す斜視図である。この図において、移動体１５００は、車体１５０１と、４つの車輪１５０２とを有しており、車体１５０１に設けられた図示しない動力源（エンジン）によって車輪１５０２を回転させるように構成されている。このような移動体１５００には、発振器１０（振動片２）が内蔵されている。

30

このような電子機器によれば、優れた信頼性を発揮することができる。

なお、発明の振動片を備える移動体は、自動車に限定されず、例えば、オートバイ、鉄道等の他の車両、航空機、船舶、宇宙船等にも適用可能である。

【００８８】

以上、本発明の振動片、振動子、発振器、電子機器およ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。

また、振動片としては、発振器に限定されず、例えば、ジャイロセンサーのようなセンサーにも適用することができる。

40

【符号の説明】

【００８９】

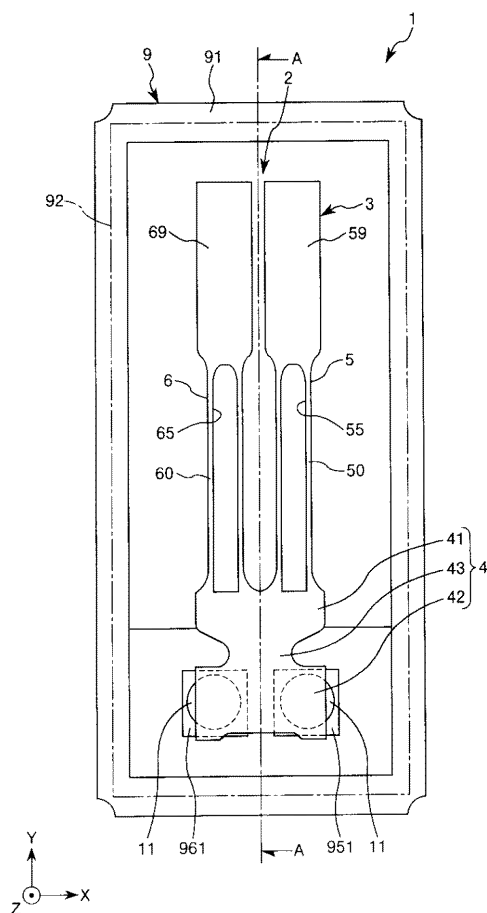
１	振動子	２	振動片	２ X	振動片	３	水晶基板	４	基部	５	
振動腕	５ X	振動腕	６	振動腕	６ X	振動腕	９	パッケージ	９ A		
パッケージ	１０	発振器	１１	導電性接着剤	４１	第１基部	４２	第２基部	４３	連結部	５０
腕部	５１	主面	５１ a	部分	５２	主面	５２ a	部分	５３	側面	５４
側面	５５	溝	５６	溝	５９	錘部	６０	腕部	６１	主面	６２
主面	６３	側面	６４	側面	６５	溝	６６	溝	６９	錘部	８０
ＩＣチップ	８４	駆動用電極	８５	駆動用電極	９１	ベース	９１ A	ベース	９２	リッド	９５
接続端子	９										

50

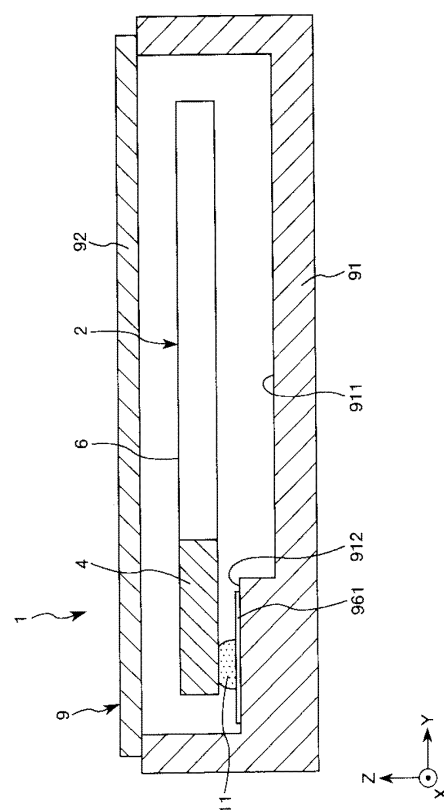
6 接続端子 100 表示部 411 縮幅部 412 外縁 413 外
 縁 431 外縁 551 電極形成領域 552 電極未形成領域 561
 電極形成領域 562 電極未形成領域 651 電極形成領域 652 電極未
 形成領域 661 電極形成領域 662 電極未形成領域 911 凹部 91
 1 A 凹部 912 段差部 912 A 段差部 951 接続端子 961
 接続端子 1100 パーソナルコンピューター 1102 キーボード 110
 4 本体部 1106 表示ユニット 1200 携帯電話機 1202 操作
 ボタン 1204 受話口 1206 送話口 1300 デジタルスチルカメ
 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 1
 430 テレビモニター 1440 パーソナルコンピューター 1500 移動
 体 1501 車体 1502 車輪 151、152 弾性棒 154、156
 回転体 155、157 回転軸 168 基部 158 第1の連結部 1
 59 第2の連結部 160 第2の連結部 169 第4の連結部 12 曲
 線 12a 直線

10

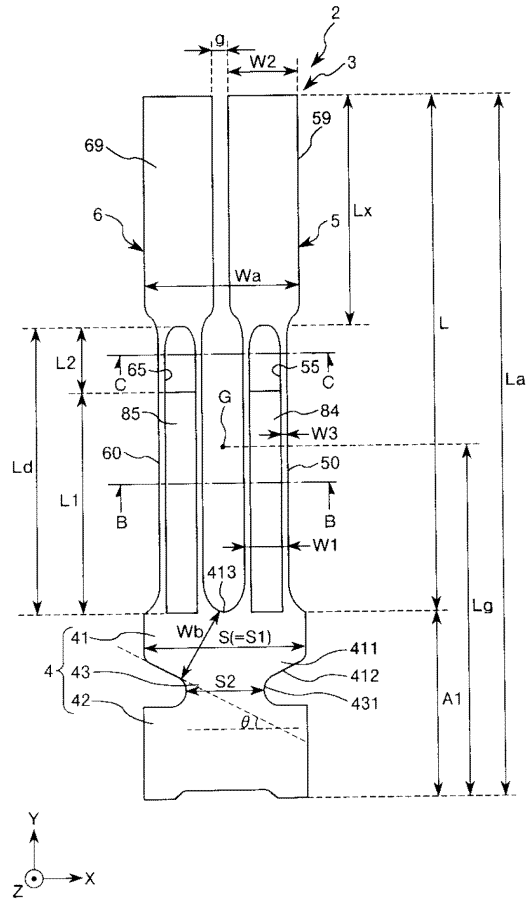
【図1】



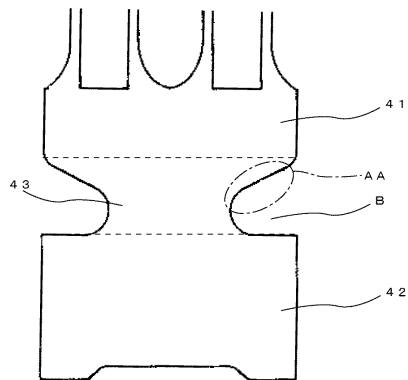
【図2】



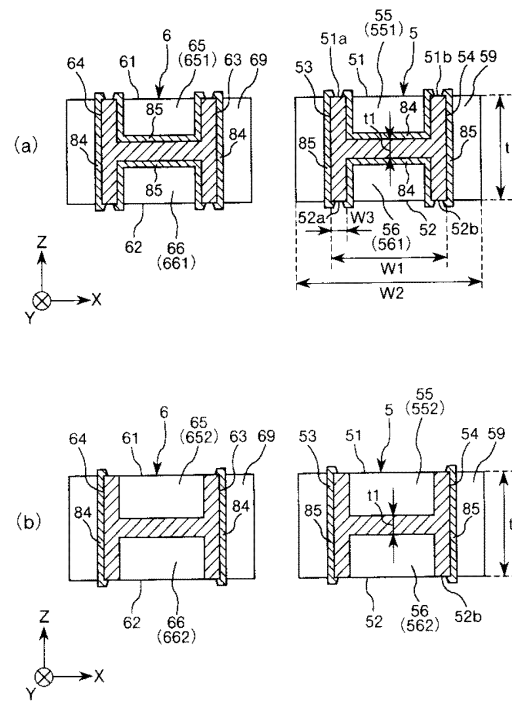
【図 3】



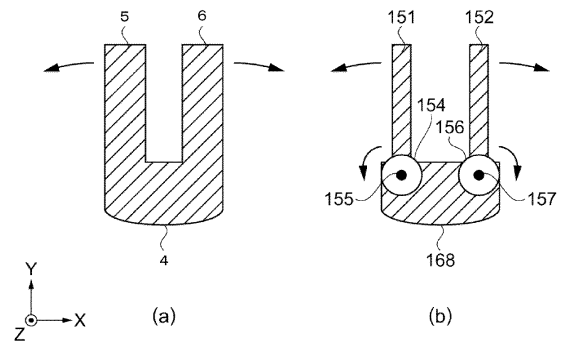
【図 5】



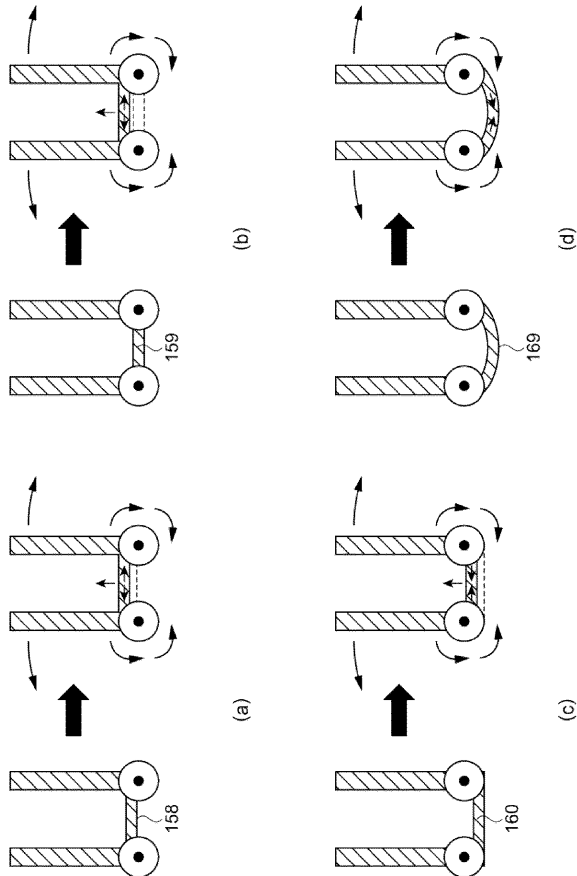
【図 4】



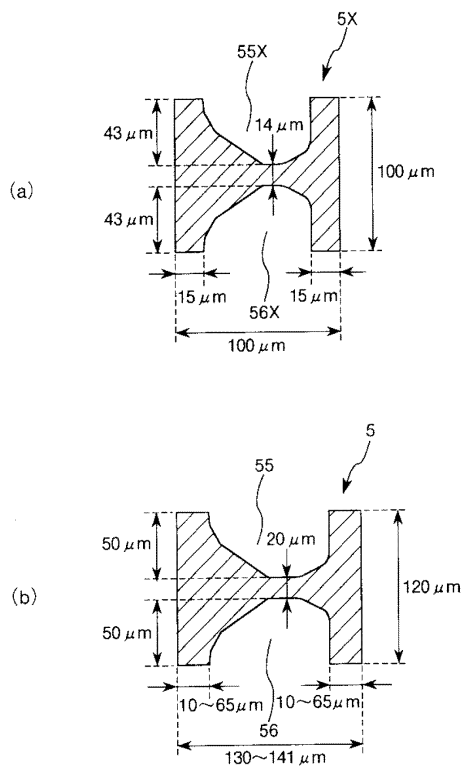
【図 6】



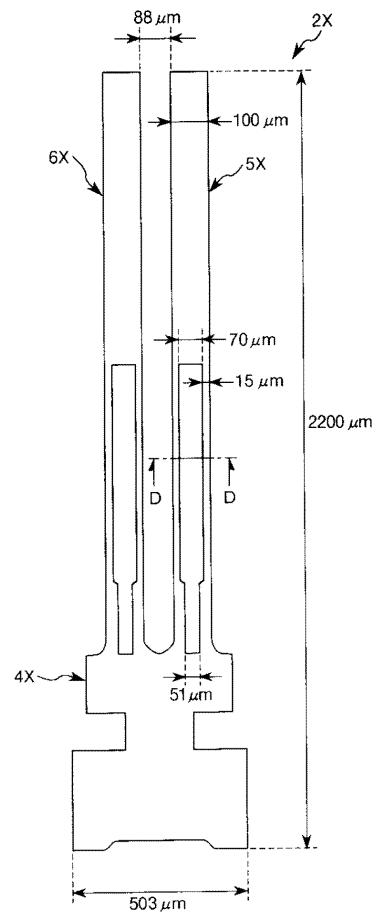
【図 7】



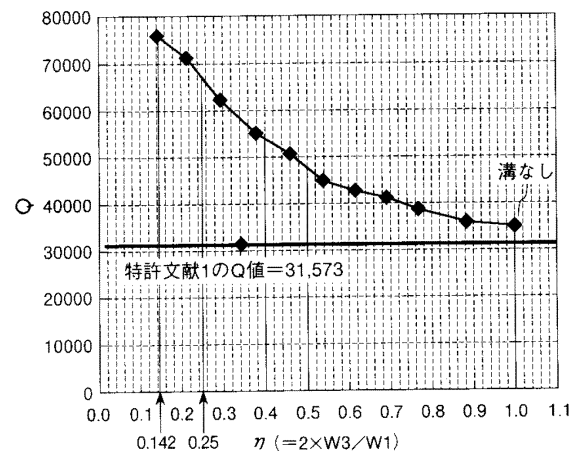
【図 9】



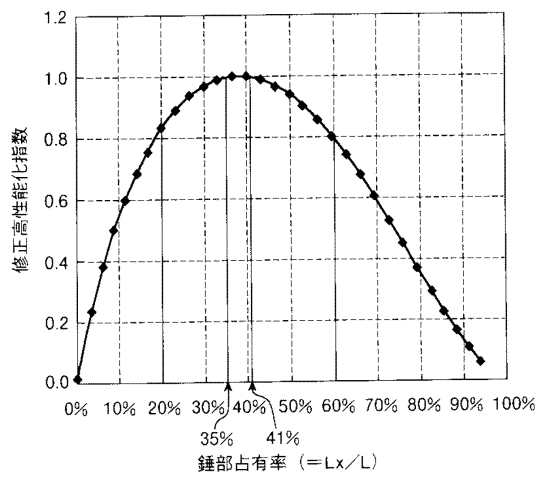
【図 8】



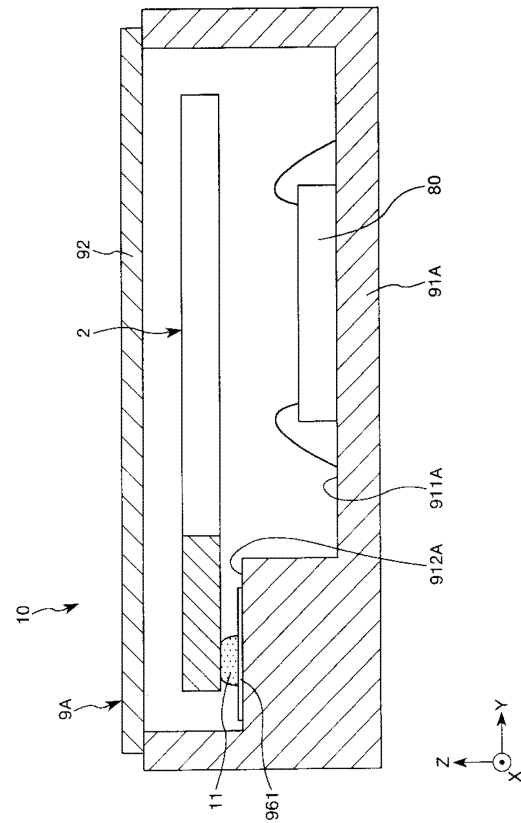
【図 10】



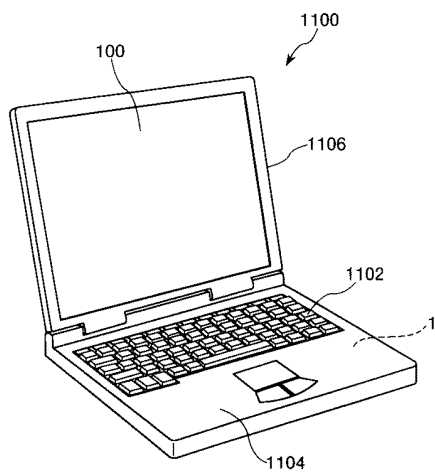
【図 1 1】



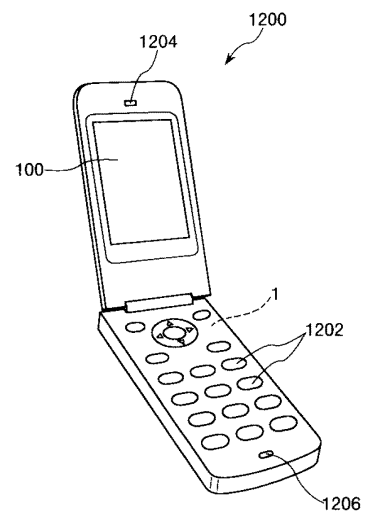
【図 1 2】



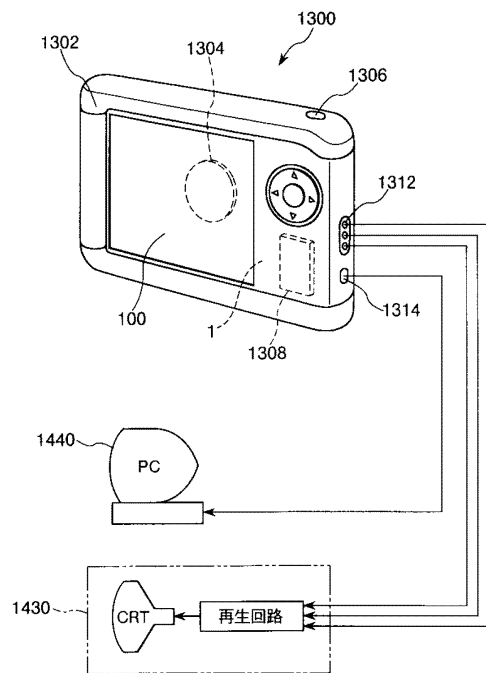
【図 1 3】



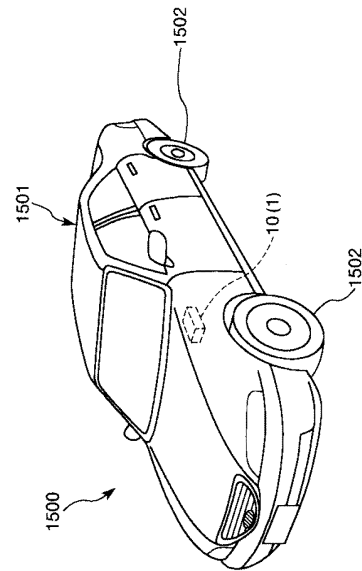
【図 1 4】



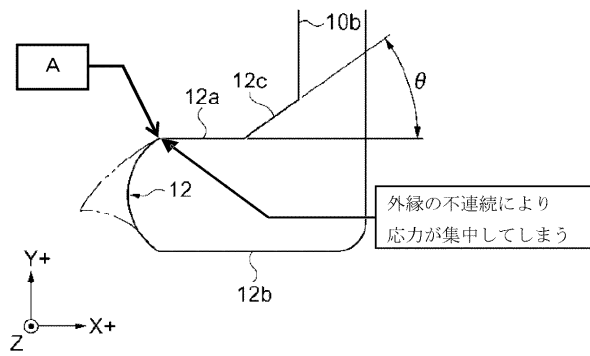
【図 15】



【図 16】



【図 17】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2011-176665 (JP, A)
特開 2010-283804 (JP, A)
特開 2008-048275 (JP, A)
特開 2009-253622 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03H	9 / 19
H03B	5 / 32
H03H	9 / 10
H03H	9 / 215