

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-2548

(P2015-2548A)

(43) 公開日 平成27年1月5日(2015.1.5)

(51) Int. Cl.		F I			テーマコード (参考)	
H03H	9/19	(2006.01)	H03H	9/19	J	5 J 0 7 9
H03H	9/10	(2006.01)	H03H	9/10		5 J 1 0 8
H03H	9/215	(2006.01)	H03H	9/215		
H03B	5/32	(2006.01)	H03B	5/32	H	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2013-127980 (P2013-127980)	(71) 出願人	000002369
(22) 出願日	平成25年6月18日 (2013.6.18)		セイコーエプソン株式会社
			東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
		(74) 代理人	100091292
			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
		(72) 発明者	岩本 修
			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
		Fターム(参考)	5J079 AA04 BA43 FA01 HA03 HA07 HA09 HA22 JA02
			最終頁に続く

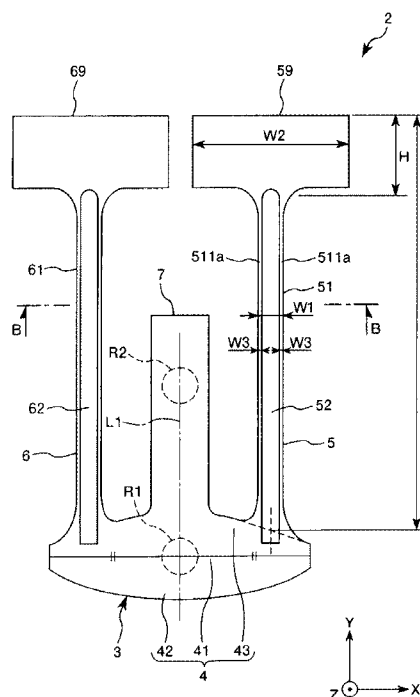
(54) 【発明の名称】 振動素子、振動子、発振器、電子機器および移動体

(57) 【要約】

【課題】対象物へ搭載した状態での固定部材同士の接触を低減することのできる振動素子、並びに、この振動素子を備える振動子、発振器、電子機器および移動体を提供すること。

【解決手段】振動素子2は、基部4と、基部4と一体に設けられ、基部4の先端からY軸方向に延出している一対の振動腕5、6と、基部4と一体に設けられ、振動腕5、6の間に位置し、基部4の先端からY軸方向に延出している保持腕7とを含み、基部4の一方の主面には第1固定部R1が設けられ、保持腕7の一方の主面には第2固定部R2が設けられ、第1固定部R1および第2固定部R2にて固定部材を介して対象物に固定される。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに直交する方向を第 1 方向および第 2 方向としたとき、
基部と、
前記基部と一体に設けられ、前記基部の一方の端部から前記第 1 方向に延出している第 1 振動腕と、
前記基部と一体に設けられ、前記第 1 振動腕と前記第 2 方向に並び、前記基部の前記一方の端部から前記第 1 方向に延出している第 2 振動腕と、
前記基部と一体に設けられ、前記基部の前記一方の端部から前記第 1 方向に延出し、前記第 1 振動腕と前記第 2 振動腕との間に位置している保持腕と、
を含み、
前記基部の一方の主面には第 1 固定部が設けられ、
前記保持腕の一方の主面には第 2 固定部が設けられ、
前記第 1 固定部および前記第 2 固定部にて固定部材を介して対象物に固定されることを特徴とする振動素子。

10

【請求項 2】

互いに直交する方向を第 1 方向および第 2 方向としたとき、
基部と、
前記基部と一体に設けられ、前記基部の一方の端部から前記第 1 方向に延出している第 1 振動腕と、
前記基部と一体に設けられ、前記第 1 振動腕と前記第 2 方向に並び、前記基部の前記一方の端部から前記第 1 方向に延出している第 2 振動腕と、
前記基部と一体に設けられ、前記基部の前記一方の端部とは反対側の他方の端部から前記第 1 方向に延出している保持腕と、
を含み、
前記基部の一方の主面には第 1 固定部が設けられ、
前記保持腕の一方の主面には第 2 固定部が設けられ、
前記第 1 固定部および前記第 2 固定部にて固定部材を介して対象物に固定されることを特徴とする振動素子。

20

【請求項 3】

請求項 1 または 2 において、
前記第 1 固定部は、
前記基部の前記一方の主面の前記第 2 方向の中心点と交わり、前記第 1 方向と平行な直線上の一点を含むようにしている振動素子。

30

【請求項 4】

互いに直交する方向を第 1 方向および第 2 方向としたとき、
基部と、
前記基部と一体に設けられ、前記基部の一方の端部から前記第 1 方向に延出している第 1 振動腕と、
前記基部と一体に設けられ、前記第 1 振動腕と前記第 2 方向に並び、前記基部の前記一方の端部から前記第 1 方向に延出している第 2 振動腕と、
前記基部と一体に設けられ、前記基部の前記一方の端部から前記第 1 方向に延出し、前記第 1 振動腕と前記第 2 振動腕との間に位置している第 1 保持腕と、
前記基部と一体に設けられ、前記基部の前記一方の端部とは反対側の他方の端部から延出している第 2 保持腕と、
を含み、
前記第 1 保持腕の一方の主面には、第 1 固定部が設けられ、
前記第 2 保持腕の一方の主面には、第 2 固定部が設けられ、
前記第 1 固定部および前記第 2 固定部にて固定部材を介して対象物に固定されることを特徴とする振動素子。

40

50

【請求項 5】

請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項において、

前記基部は、前記第 1 振動腕と前記第 2 振動腕との間に位置し、前記第 2 の方向に沿った長さが、前記第 1 振動腕と前記第 2 振動腕との間の中心線に沿って、前記他端から離れるに従って連続的または段階的に減少している縮幅部を含むことを特徴とする振動素子。

【請求項 6】

請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の振動素子と、

前記振動素子が搭載されているパッケージと、

を含むことを特徴とする振動子。

【請求項 7】

請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の振動素子と、

発振回路と、

を備えていることを特徴とする発振器。

【請求項 8】

請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の振動素子を備えていることを特徴とする電子機器。

【請求項 9】

請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の振動素子を備えていることを特徴とする移動体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、振動素子、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。

【背景技術】

【0002】

従来から、水晶を用いた振動素子が知られている。このような振動素子は、周波数温度特性が優れていることから、種々の電子機器の基準周波数源や発信源などとして広く用いられている。

特許文献 1 の図 1 に記載の振動素子は、基部と、基部から並んで延出する 1 対の振動腕とを有しており、基部に設けられた 2 つの固定部にて導電性接着材を介してパッケージに固定されている。しかしながら、このような構成では、振動素子の小型化に伴う基部の小型化によって、電氣的導通と固定を図るために基部に配置される 2 つの固定部が近接しているため接触し、短絡が発生するおそれがある。

【0003】

また、特許文献 2 に記載の振動素子は、基部と、基部から並んで延出する 1 対の振動腕と、基部から 1 対の振動腕の間に延出する保持腕とを有しており、保持腕に設けられた 2 つの固定部にて導電性接着材を介してパッケージに固定されている。しかしながら、このような構成では、2 つの固定部の離間距離が短いため、導電性接着材同士が接触し、短絡が発生するおそれがある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2011 - 19159 号公報

【特許文献 2】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】

【0005】

対象物へ搭載した状態での固定部材同士の接触を低減することのできる振動素子、並びに、この振動素子を備える振動子、発振器、電子機器および移動体を提供することにある。

。

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】

【0006】

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〕

本発明の振動素子は、互いに直交する方向を第1方向および第2方向としたとき、基部と、

前記基部と一体に設けられ、前記基部の一方の端部から前記第1方向に延出している第1振動腕と、

前記基部と一体に設けられ、前記第1振動腕と前記第2方向に並び、前記基部の前記一方の端部から前記第1方向に延出している第2振動腕と、

前記基部と一体に設けられ、前記基部の前記一方の端部から前記第1方向に延出し、前記第1振動腕と前記第2振動腕との間に位置している保持腕と、

を含み、

前記基部の一方の主面には第1固定部が設けられ、

前記保持腕の一方の主面には第2固定部が設けられ、

前記第1固定部および前記第2固定部にて固定部材を介して対象物に固定されることを特徴とする。

これにより、対象物へ搭載した状態での固定部材同士の接触を低減することのできる振動素子となる。さらに、振動漏れも低減することのできる振動子となる。

【0007】

〔適用例2〕

本発明の振動素子は、互いに直交する方向を第1方向および第2方向としたとき、基部と、

前記基部と一体に設けられ、前記基部の一方の端部から前記第1方向に延出している第1振動腕と、

前記基部と一体に設けられ、前記第1振動腕と前記第2方向に並び、前記基部の前記一方の端部から前記第1方向に延出している第2振動腕と、

前記基部と一体に設けられ、前記基部の前記一方の端部とは反対側の他方の端部から前記第1方向に延出している保持腕と、

を含み、

前記基部の一方の主面には第1固定部が設けられ、

前記保持腕の一方の主面には第2固定部が設けられ、

前記第1固定部および前記第2固定部にて固定部材を介して対象物に固定されることを特徴とする。

これにより、対象物へ搭載した状態での固定部材同士の接触を低減することのできる振動素子となる。さらに、振動漏れも低減することのできる振動子となる。

【0008】

〔適用例3〕

本発明の振動素子では、

前記第1固定部は、

前記基部の前記一方の主面の前記第2方向の中心点と交わり、前記第1方向と平行な直線上の一点を含むようにしていることが好ましい。

このような位置は、基部の中でも振動が小さい場所である。そのため、このような位置に第1固定部を設けることによって、振動漏れがより低減された振動素子となる。

【0009】

〔適用例4〕

本発明の振動素子は、互いに直交する方向を第1方向および第2方向としたとき、基部と、

前記基部と一体に設けられ、前記基部の一方の端部から前記第1方向に延出している第

10

20

30

40

50

1 振動腕と、

前記基部と一体に設けられ、前記第 1 振動腕と前記第 2 方向に並び、前記基部の前記一方の端部から前記第 1 方向に延出している第 2 振動腕と、

前記基部と一体に設けられ、前記基部の前記一方の端部から前記第 1 方向に延出し、前記第 1 振動腕と前記第 2 振動腕との間に位置している第 1 保持腕と、

前記基部と一体に設けられ、前記基部の前記一方の端部とは反対側の他方の端部から延出している第 2 保持腕と、

を含み、

前記第 1 保持腕の一方の主面には、第 1 固定部が設けられ、

前記第 2 保持腕の一方の主面には、第 2 固定部が設けられ、

前記第 1 固定部および前記第 2 固定部にて固定部材を介して対象物に固定されることを特徴とする。

これにより、対象物へ搭載した状態での固定部材同士の接触を低減することのできる振動素子となる。さらに、振動漏れも低減することのできる振動子となる。

【0010】

[適用例 5]

本発明の振動素子は、

前記基部は、前記第 1 振動腕と前記第 2 振動腕との間に位置し、前記第 2 の方向に沿った長さが、前記第 1 振動腕と前記第 2 振動腕との間の中心線に沿って、前記他端から離れるに従って連続的または段階的に減少している縮幅部を含むことを特徴とする。

これにより、振動漏れが低減される。

【0011】

[適用例 6]

本発明の振動子は、本発明の振動素子と、

前記振動素子が搭載されているパッケージと、

を含むことを特徴とする。

これにより、高い信頼性を有する振動子が得られる。

【0012】

[適用例 7]

本発明の発振器は、本発明の振動素子と、

発振回路と、

を備えていることを特徴とする。

これにより、高い信頼性を有する発振器が得られる。

【0013】

[適用例 8]

本発明の電子機器は、本発明の振動素子を備えていることを特徴とする。

これにより、高い信頼性を有する電子機器が得られる。

[適用例 9]

本発明の移動体は、本発明の振動素子を備えていることを特徴とする。

これにより、高い信頼性を有する移動体 that 得られる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図 1】本発明の第 1 実施形態にかかる振動子の平面図である。

【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素子の上面図である。

【図 4】図 3 に示す振動素子の機能を説明するための平面図である。

【図 5】図 3 中の B - B 線断面図である。

【図 6】図 3 に示す振動素子の裏面図である。

【図 7】屈曲振動時の熱伝導について説明する振動腕の断面図である。

【図 8】屈曲振動モードの振動素子の Q 値と f / f_m の関係を示すグラフである。

10

20

30

40

50

【図 9】本発明の第 2 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

【図 10】本発明の第 3 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

【図 11】本発明の第 4 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

【図 12】本発明の第 5 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

【図 13】本発明の第 6 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

【図 14】本発明の第 7 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

【図 15】本発明の第 8 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

【図 16】本発明の第 9 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

【図 17】本発明の発振器の好適な実施形態を示す断面図である。

【図 18】本発明の振動素子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 19】本発明の振動素子を備える電子機器を適用した携帯電話機（PHS も含む）の構成を示す斜視図である。

【図 20】本発明の振動素子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 21】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。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の振動素子、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。 20

1. 振動子

まず、本発明の振動子について説明する。

< 第 1 実施形態 >

図 1 は、本発明の第 1 実施形態にかかる振動子の平面図である。図 2 は、図 1 中の A - A 線断面図である。図 3 は、図 1 に示す振動子が有する振動素子の上面図である。図 4 は、図 3 に示す振動素子の機能を説明するための平面図である。図 5 は、図 3 中の B - B 線断面図である。図 6 は、図 3 に示す振動素子の裏面図である。図 7 は、屈曲振動時の熱伝導について説明する振動腕の断面図である。図 8 は、Q 値と f / f_m の関係を示すグラフである。なお、以下では、説明の便宜上、図 1 に示すように、互いに直交する 3 軸を X 軸（水晶の電気軸）、Y 軸（水晶の機械軸）および Z 軸（水晶の光学軸）とする。また、図 2 中の上側を「上（表）」とし、下側を「下（裏）」とする。また、図 3 中の上側を「先端」とし、下側を「基端」とする。 30

図 1 に示すように、振動子 1 は、振動素子（本発明の振動素子）2 と、振動素子 2 を収納するパッケージ 9 とを有している。

【0016】

（パッケージ）

図 1 および図 2 に示すように、パッケージ 9 は、上面に開放する凹部 911 を有する箱状のベース 91 と、凹部 911 の開口を塞いでベース 91 に接合されている板状のリッド 92 とを有している。パッケージ 9 は、凹部 911 がリッド 92 で塞がれることで形成された收容空間 S を有し、この收容空間 S に振動素子 2 を気密的に收容している。收容空間 S 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。 40

【0017】

ベース 91 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 92 の構成材料としては、特に限定されないが、ベース 91 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 91 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 91 とリッド 92 の接合は、特に限定されず、例えば、メタライズ層を介して接合することができる。

【0018】

また、ベース 9 1 の凹部 9 1 1 の底面には、接続端子 9 5 1、9 6 1 が形成されている。そして、接続端子 9 5 1 上には第 1 導電性接着材（固定部材）1 1 が設けられ、接続端子 9 6 1 上には第 2 導電性接着材（固定部材）1 2 が設けられている。そして、これら第 1、第 2 導電性接着材 1 1、1 2 を介して振動素子 2 がベース 9 1 に固定されている。なお、第 1、第 2 導電性接着材 1 1、1 2 としては、導電性および接着性・接合性を有していれば特に限定されず、例えば、シリコン系、エポキシ系、アクリル系、ポリイミド系、ビスマレイミド系、ポリエステル系、ポリウレタン系等の樹脂に銀粒子等の導電性フィラーを混合した導電性接着材、Au 等の金属材料を用いることができる。

【0019】

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 の下面に設けられた外部端子 9 5 3 に電氣的に接続され、同様に、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 の下面に設けられた外部端子 9 6 3 に電氣的に接続されている。接続端子 9 5 1、9 6 1、外部端子 9 5 3、9 6 3 および前記貫通電極の構成としては、それぞれ、導電性を有していれば、特に限定されず、例えば、Cr（クロム）、Ni（ニッケル）、W（タングステン）などの下地層に、Au（金）、Ag（銀）、Cu（銅）などの被膜を積層した金属被膜で構成することができる。

【0020】

（振動素子）

図 3 ないし図 5 に示すように、振動素子 2 は、水晶基板 3 と、水晶基板 3 上に形成された電極 8 と、を有している。

水晶基板 3 は、Z カット水晶板で構成されている。Z カット水晶板とは、Z 軸を厚さ方向とする水晶基板である。なお、Z 軸は、水晶基板 3 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、厚さ方向に対して若干（例えば、15°未満程度）傾けてもよい。

【0021】

すなわち、前記水晶の電気軸としての X 軸、機械軸としての Y 軸、光学軸としての Z 軸からなる直交座標系の前記 X 軸を回転軸として、前記 Z 軸を前記 Y 軸の - Y 方向へ + Z 側が回転するように傾けた軸を Z' 軸、前記 Y 軸を前記 Z 軸の + Z 方向へ + Y 側が回転するように傾けた軸を Y' 軸としたとき、Z' 軸に沿った方向を厚さとし、X 軸と Y' 軸を含む面を主面とする水晶基板 3 となる。

【0022】

なお、水晶基板 3 の厚さ D としては、特に限定されないが、70 μm 未満であるのが好ましい。このような数値範囲とすることにより、例えば、ウェットエッチングによって水晶基板 3 を形成（パターンング）する場合、振動腕 5 と基部 4 の境界部や後述する腕部 5 1 とハンマーヘッド 5 9 の境界部等に不要部（本来なら除去されるべき部分）が残存してしまうのを効果的に防止することができる。そのため、振動漏れを効果的に低減することができる振動素子 2 とすることができる。違う観点から、厚さ D は、70 μm 以上、300 μm 以下程度であるのが好ましく、100 μm 以上、150 μm 以下程度であるのがより好ましい。このような数値範囲とすることにより、後述する第 1、第 2 駆動用電極 8 4、8 5 を振動腕 5、6 の側面に広く形成することができるため、CI 値を低くすることができる。

【0023】

図 3 に示すように、水晶基板 3 は、基部 4 と、基部 4 の先端（一方の端部）から + Y 軸方向（第 1 方向）に延出する一対の振動腕（第 1、第 2 振動腕）5、6 と、基部 4 の先端から + Y 軸方向に延出する保持腕 7 とを有している。これら基部 4、振動腕 5、6 および保持腕 7 は、水晶基板 3 から一体に形成されている。

基部 4 は、XY 平面に広がりをも有し、Z 軸方向に厚さを有する略板状をなしている。基部 4 は、振動腕 5、6 を支持・連結する部分（本体部 4 1）と、振動漏れを低減する縮幅部 4 2、4 3 とを有している。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 4 】

縮幅部 4 2 は、本体部 4 1 の基端側（振動腕 5、6 が延出している側とは反対側）に設けられている。また、縮幅部 4 2 は、その幅（X 軸方向に沿った長さ）が振動腕 5、6 から離れるに従い漸減する。このような縮幅部 4 2 を有することにより、振動素子 2 の振動漏れを効果的に抑制することができる。

具体的に説明すると次のようになる。なお、説明を簡単にするために、振動素子 2 の形状は、Y 軸に平行な所定の軸に対して対称であるとする。

【 0 0 2 5 】

まず、図 4（a）に示すように、縮幅部 4 2 が設けられていない場合について説明する。後述するように、振動腕 5、6 が互いに離間するように屈曲変形した場合、振動腕 5 が接続されている付近の本体部 4 1 では、矢印で示したように時計回りの回転運動に近い変位が発生し、振動腕 6 が接続されている付近の本体部 4 1 では、矢印で示したように反時計回りの回転運動に近い変位が発生する（ただし、厳密には回転運動ということができるような運動ではないため、便宜的に「回転運動に近い」とする）。これらの変位の X 軸方向成分は、互いに反対方向を向いているから、本体部 4 1 の X 軸方向中央部において相殺され、+ Y 軸方向の変位が残ることになる（ただし、厳密には Z 軸方向の変位も残るが、ここでは省略する）。すなわち、本体部 4 1 は、X 軸方向中央部が + Y 軸方向に変位するような屈曲変形をする。この + Y 軸方向の変位を有する本体部 4 1 の Y 軸方向中央部に接着材を形成し、接着材を介してパッケージに固定すると、+ Y 軸方向変位に随伴する弾性エネルギーが接着材を介して外部に漏洩する。これが振動漏れという損失であり、Q 値の劣化の原因となり、結果として C I 値の劣化となる。

【 0 0 2 6 】

これに対して、図 4（b）に示すように、縮幅部 4 2 が設けられている場合では、縮幅部 4 2 がアーチ状（曲線状）の輪郭を有しているため、上述した回転運動に近い変位は、縮幅部 4 2 において互いにつかえることになる。すなわち、縮幅部 4 2 の X 軸方向中央部においては、本体部 4 1 の X 軸方向中央部と同様に X 軸方向の変位が相殺され、それと共に、Y 軸方向の変位が抑制されることになる。さらに、縮幅部 4 2 の輪郭がアーチ状であるから、本体部 4 1 で発生しようとする + Y 軸方向の変位をも抑制することになる。この結果、縮幅部 4 2 が設けられた場合の基部 4 の X 軸方向中央部の + Y 軸方向の変位は、縮幅部 4 2 が設けられていない場合に比べて遥かに小さくなる。すなわち、振動漏れの小さい振動素子を得ることができる。

【 0 0 2 7 】

一方、縮幅部 4 3 は、本体部 4 1 の先端側（振動腕 5、6 が延出している側）に設けられている。また、縮幅部 4 3 は、その幅（X 軸方向に沿った長さ）が + Y 軸方向に向けて漸減する。このような縮幅部 4 3 を有することにより、振動素子 2 の振動漏れを効果的に抑制することができる。縮幅部 4 3 は、本体部 4 1 と保持腕 7 との間に位置しており、これにより、振動腕 5、6 の振動が基部 4 を介して保持腕 7 に伝達され難くなり、効果的に振動漏れを抑制することができる。具体的には、前述したように、振動腕 5、6 の振動は、主に、縮幅部 4 2 によって相殺（緩和・吸収）されるが、縮幅部 4 3 で相殺しきれなかった振動が保持腕 7 へ向かう場合がある（図 4（b）参照）。このような場合には、その振動を、縮幅部 4 3 によって緩和、吸収することができるため、より効率的に振動漏れを低減することができる。

【 0 0 2 8 】

なお、本実施形態では、縮幅部 4 2、4 3 の輪郭がアーチ状をしているが、上述のような作用を呈するものであればこれに限るものではない。例えば、輪郭が複数の直線によって、段差状に形成されている縮幅部であってもよい。

振動腕 5、6 は、X 軸方向（第 2 方向）に並び、かつ、互いに平行となるように基部 4 の先端から + Y 軸方向（第 1 方向）に延出している。振動腕 5、6 は、それぞれ、長手形状をなしており、その基端が固定端となり、先端が自由端となっている。

また、振動腕 5、6 は、腕部 5 1、6 1 と、腕部 5 1、6 1 の先端に設けられたハンマ

ーヘッド 5 9、6 9 とを有している。なお、振動腕 5、6 は、互いに同様の構成であるため、以下では、振動腕 5 について代表して説明し、振動腕 6 については、その説明を省略する。

【0029】

図 5 に示すように、腕部 5 1 は、X Y 平面で構成された一对の主面 5 1 1、5 1 2 と、Y Z 平面で構成され、一对の主面 5 1 1、5 1 2 を接続する一对の側面 5 1 3、5 1 4 とを有している。また、腕部 5 1 は、主面 5 1 1 に開放する有底の溝 5 2 と、主面 5 1 2 に開放する有底の溝 5 3 とを有している。各溝 5 2、5 3 は、Y 軸方向に延在し、先端がハンマーヘッド 5 9 まで延び、基端が基部 4 まで延びている。このように、各溝 5 2、5 3 の先端がハンマーヘッド 5 9 まで延びていると、各溝 5 2、5 3 の先端周辺での応力集中が緩和され、衝撃が加わった際に発生する折れや欠けのおそれが減少する。また、各溝 5 2、5 3 の基端が基部 4 まで延びていると、振動腕 5 と基部 4 の境界部周辺での応力集中が緩和される。そのため、例えば、衝撃が加わった際に発生する折れや欠けのおそれが減少する。

【0030】

溝 5 2、5 3 の深さとしては、特に限定されないが、溝 5 2 の深さを D_1 とし、溝 5 3 の深さを D_2 (本実施形態では、 $D_1 = D_2$) としたとき、 $60\% \leq (D_1 + D_2) / D \leq 95\%$ なる関係を満足するのが好ましい。このような関係を満足することによって、熱移動経路が長くなるから、断熱的領域 (後に詳述する) において、より効果的に、熱弾性損失の低減を図ることができる。

【0031】

なお、溝 5 2、5 3 は、振動腕 5 の断面重心が振動腕 5 の断面形状の中心と一致するように、振動腕 5 の位置に対して溝 5 2、5 3 の位置を X 軸方向に調整して形成されているのが好ましい。こうすることによって、振動腕 5 の不要な振動 (具体的には、面外方向成分を有する斜め振動) を低減するので、振動漏れを低減することができる。また、この場合、余計な振動をも駆動してしまうことを低減することになるので、相対的に駆動領域が増大して C I 値を小さくすることができる。

【0032】

また、主面 5 1 1 の溝 5 2 の X 軸方向両側に位置する土手部 (振動腕の長手方向に直交する幅方向に沿って溝 5 2 を挟んで並んでいる主面) 5 1 1 a および主面 5 1 2 の溝 5 3 の X 軸方向両側に位置する土手部 5 1 2 a の幅 (X 軸方向の長さ) を W_3 としたとき、 $0 \mu m < W_3 \leq 20 \mu m$ なる関係を満足するのが好ましい。これにより、振動素子 2 の C I 値が十分に低くなる。上記数値範囲の中でも、 $5 \mu m < W_3 \leq 9 \mu m$ なる関係を満足するのがより好ましい。これにより、上記効果とともに、熱弾性損失を低減することができる。また、 $0 \mu m < W_3 \leq 5 \mu m$ なる関係を満足するのも好ましい。これにより、振動素子 2 の C I 値をより低くすることができる。

【0033】

ハンマーヘッド 5 9 は、平面視にて、X 軸方向を長手とする略矩形となっている。ハンマーヘッド 5 9 は、腕部 5 1 よりも幅 (X 軸方向の長さ) が広く、腕部 5 1 から X 軸方向の両側へ突出している。ハンマーヘッド 5 9 をこのような構成とすることで、振動腕 5 の全長 L を抑えつつ、ハンマーヘッド 5 9 の質量を高めることができる。言い換えると、振動腕 5 の全長 L が一定の場合、ハンマーヘッド 5 9 の質量効果を損なうことなく、腕部 5 1 をなるべく長く確保することができる。そのため、所望の共振周波数 (例えば 32.768 kHz) を得るために、振動腕 5 の幅を広くすることができる。その結果、後述する熱移動経路が長くなって熱弾性損失が減少し、Q 値が向上する。

また、ハンマーヘッド 5 9 の X 軸方向中心を振動腕 5 の X 軸方向中心から多少ずらしてもよい。こうすることによって、屈曲振動時に振動腕 5 が捩れることによって生じてしまう基部 4 の Z 軸方向の振動を低減することができるので、振動漏れを抑制することができる。

【0034】

また、振動腕 5 の全長（Y 軸方向の長さ）を L とし、ハンマーヘッド 5 9 の長さ（Y 軸方向の長さ）を H としたとき、振動腕 5 は、 $1.2\% < H/L < 30.0\%$ なる関係を満足しているのが好ましく、 $4.6\% < H/L < 22.3\%$ なる関係を満足しているのがより好ましい。このような数値範囲を満足することにより、振動素子 2 の CI 値が低く抑えられるため、振動損失が少なく、優れた振動特性を有する振動素子 2 となる。ここで、本実施形態では、振動腕 5 の基端を、側面 5 1 4 が基部 4 と接続されている箇所と、側面 5 1 3 が基部 4 と接続されている箇所を結んだ線分の振動腕 5 の幅（X 軸方向の長さ）中心に位置する箇所に設定している。また、ハンマーヘッド 5 9 の基端を、腕部 5 1 の先端部に設けられたテーパ部中にて、その幅が腕部 5 1 の幅の 1.5 倍となっている箇所に設定している。

10

【0035】

また、腕部 5 1 の幅（X 軸方向の長さ）を $W1$ とし、ハンマーヘッド 5 9 の幅（X 軸方向の長さ）を $W2$ としたとき、 $1.5 \leq W2/W1 \leq 10.0$ なる関係を満足するのが好ましく、 $1.6 \leq W2/W1 \leq 7.0$ なる関係を満足しているのがより好ましい。このような数値範囲を満足することにより、ハンマーヘッド 5 9 の幅を広く確保することができる。そのため、ハンマーヘッド 5 9 の長さ H が上述のように比較的短くても、ハンマーヘッド 5 9 による質量効果を十分に発揮することができる。

【0036】

なお、 $L = 2\text{ mm}$ 、好ましくは、 $L = 1\text{ mm}$ とすることで、携帯型音楽機器や IC カードのようなものに搭載する発振器に使用する、小型な振動素子を得ることができる。また、 $W1 = 100\text{ }\mu\text{m}$ 、好ましくは、 $W1 = 50\text{ }\mu\text{m}$ とすることで、上記 L の範囲においても、低消費電力を実現する発振回路に使用する、低周波で共振する振動素子を得ることができる。また、断熱的領域であれば、本実施形態ように、水晶 Z 板で Y 軸方向に振動腕 5、6 が延び、X 方向に屈曲振動する場合、 $W1 = 12.8\text{ }\mu\text{m}$ であることが好ましく、水晶 Z 板で X 方向に振動腕 5、6 が延び、Y 方向に屈曲振動する場合、 $W1 = 14.4\text{ }\mu\text{m}$ であることが好ましく、水晶 X 板で Y 方向に振動腕 5、6 が延び、Z 方向に屈曲振動する場合、 $W1 = 15.9\text{ }\mu\text{m}$ であることが好ましい。こうすることによって、確実に断熱的領域にすることができるので、溝 5 2、5 3、6 2、6 3 の形成により熱弾性損失が減少して Q 値が向上し、それと共に溝 5 2、5 3、6 2、6 3 が形成されている領域で駆動することにより（電界効率が高く、駆動面積が稼げる） CI 値が低くなる。

20

30

【0037】

保持腕 7 は、振動腕 5、6 の間に位置し、基部 4 の先端から + Y 軸方向に延出している。また、保持腕 7 の先端は、ハンマーヘッド 5 9、6 9 の基端よりも基部 4 側に位置している。これにより、振動腕 5、6 を互いに接近させることができるため、振動素子 2 の小型化を図ることができる。

以上、水晶基板 3 の外形について説明した。図 2、図 3 および図 6 に示すように、このような水晶基板 3 は、第 1 固定部 R 1 と、第 2 固定部 R 2 とを有しており、これら第 1、第 2 固定部 R 1、R 2 にて、導電性接着材 1 1、1 2 を介してベース 9 1（パッケージ 9）に固定されている。

40

【0038】

第 1 固定部 R 1 は、基部 4 の一方の主面（- Z 軸側の面）であって、本体部 4 1 の X 軸方向中央部に設けられている。言い換えると、第 1 固定部 R 1（特に、第 1 固定部 R 1 の中心）は、平面視にて、基部 4 の幅方向の中心 O（言い換えると、振動腕 5、6 間の中央点）と交わり、Y 軸と平行な直線 L 1 上に位置している。この場所は、前述したように、振動腕 5、6 の振動が互いに相殺され、振動が小さい場所である。そのため、この場所に、第 1 固定部 R 1 を設けることにより、導電性接着材 1 1 を介した振動漏れを効果的に低減することができる。第 1 固定部 R 1 は、基部 4 の中でも、本体部 4 1 に位置しているのが特に好ましい。

【0039】

第 2 固定部 R 2 は、保持腕 7 の一方の主面（- Z 軸側の面）に設けられている。前述し

50

たように、基部 4 の縮幅部 4 2、4 3 によって、保持腕 7 には振動腕 5、6 の振動が伝達され難くなっている。そのため、このような保持腕 7 に第 2 固定部 R 2 を設けることによって、導電性接着材 1 2 を介した振動漏れを効果的に低減することができる。特に、第 2 固定部 R 2 は、第 1 固定部 R 1 と Y 軸方向に並んで設けられていることが好ましい。すなわち、直線 L 1 上に、第 2 固定部 R 2 (特に、第 2 固定部 R 2 の中心) を設けることが好ましい。このように、第 1、第 2 固定部 R 1、R 2 を直線 L 1 に沿って並んで設けることで、振動素子 2 をバランスよくベース 9 1 に固定することができる。さらに、第 1 固定部 R 1 の中心と第 2 固定部 R 2 の中心とが結ぶ線分と、振動素子 2 の重心との平面視での距離が、振動腕 5 の幅 (X 軸方向長さ) 中心を通過して Y 軸と並行な中心線と振動腕 6 の幅中心を通過して Y 軸と並行な中心線との距離の半分以下であることが好ましい。こうすることで、振動素子 2 をさらにバランスよくベース 9 1 に固定することができる。

10

【0040】

本実施形態のように、第 1 固定部 R 1 を基部 4 上の直線 L 1 上に設け、第 2 固定部 R 2 を保持腕 7 に設けることによって、第 1、第 2 固定部 R 1、R 2 がともに振動の小さい領域に設けられることとなり、その結果、振動漏れの少ない振動子 1 となる。また、第 1 固定部 R 1 と第 2 固定部 R 2 とを十分に離間させて配置することができるため、導電性接着材 1 1、1 2 の接触 (ショート) を防止することができる。なお、第 1、第 2 固定部 R 1、R 2 の離間距離は、特に限定されないが、例えば、50 μm 以上であるのが好ましく、100 μm 以上であるのがより好ましい。これにより、導電性接着材 1 1、1 2 の接触をより効果的に防止することができる。

20

【0041】

また、第 1 固定部 R 1 のヤング率は、第 2 固定部 R 2 のヤング率よりも小さいことが好ましい。こうすることによって、X 同相モード (不要振動モード) の共振周波数を X 逆相モード (メインモード) の共振周波数から遠ざけることができる。

電極 8 は、第 1 駆動用電極 8 4 と、第 2 駆動用電極 8 5 と、第 1 駆動用電極 8 4 と接続されている第 1 接続電極 8 1 と、第 2 駆動用電極 8 5 と接続されている第 2 接続電極 8 2 とを有している。

【0042】

図 5 に示すように、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。第 1 駆動用電極 8 4 の一方は、溝 5 2 の側面に形成され、他方は、溝 5 3 の側面に形成されている。また、第 2 駆動用電極 8 5 の一方は、側面 5 1 3 に形成され、他方は、側面 5 1 4 に形成されている。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。第 1 駆動用電極 8 4 の一方は、側面 6 1 3 に形成され、他方は、側面 6 1 4 に形成されている。また、第 2 駆動用電極 8 5 の一方は、溝 6 2 の側面に形成され、他方は、溝 6 3 の側面に形成されている。

30

【0043】

また、図 6 に示すように、第 1 接続電極 8 1 は、第 1 固定部 R 1 に設けられており、図示しない配線を介して各第 1 駆動用電極 8 4 に電氣的に接続されている。また、第 2 接続電極 8 2 は、第 2 固定部 R 2 に設けられており、図示しない配線を介して各第 2 駆動用電極 8 5 に電氣的に接続されている。そのため、第 1 接続電極 8 1 は、導電性接着材 1 1 を介して接続端子 9 5 1 と電氣的に接続され、第 2 接続電極 8 2 は、導電性接着材 1 2 を介して接続端子 9 6 1 と電氣的に接続されている。第 1、第 2 接続電極 8 1、8 2 間に交番電圧を印加すると、振動腕 5、6 が略面内で互いに接近と離間を交互に繰り返すように面内方向 (X 軸方向) に所定の周波数で振動する。すなわち、振動腕 5、6 は、いわゆる X 逆相モードで振動する。

40

【0044】

第 1、第 2 駆動用電極 8 4、8 5 および第 1、第 2 の接続電極 8 1、8 2 の構成としては、特に限定されず、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)、

50

ニッケル合金、銅（C u）、モリブデン（M o）、ニオブ（N b）、タングステン（W）、鉄（F e）、チタン（T i）、コバルト（C o）、亜鉛（Z n）、ジルコニウム（Z r）等の金属材料、酸化インジウムスズ（I T O）等の導電材料により形成することができる。

【0045】

第1、第2駆動用電極84、85および第1、第2接続電極81、82の具体的な構成としては、例えば、700以下のCr層上に700以下のAu層を形成した構成とすることができる。特に、CrやAuは熱弾性損失が大きいので、Cr層、Au層は、好ましくは200以下とされる。また、絶縁破壊耐性を高くする場合には、Cr層、Au層は、好ましくは1000以上とされる。さらに、Niは、水晶の熱膨張係数に近いので、Cr層に替えてNi層を下地にすることで、電極に起因する熱応力を減少させ、長期信頼性（エージング特性）の良い振動素子を得ることができる。

以上、振動素子2について説明した。前述したように、振動素子2は、振動腕5、6に溝52、53、62、63を設けることによって、熱弾性損失の低減を図っている。以下、このことについて、振動腕5を例にして具体的に説明する。

【0046】

振動腕5は、前述したように、第1、第2駆動用電極84、85間に交番電圧を印加することにより略面内方向に屈曲振動する。図7に示すように、この屈曲振動の際、腕部51の側面513が収縮すると側面514が伸張し、反対に、側面513が伸張すると側面514が収縮する。振動腕5がG o u g h - J o u l e効果を発生しない（エネルギー弾性がエントロピー弾性に対して支配的な）場合、側面513、514のうち、収縮する面側の温度は上昇し、伸張する面側の温度は下降する。そのため、側面513と側面514との間、つまり腕部51の内部に温度差が発生する。この温度差から生じる熱伝導によって振動エネルギーの損失が発生し、これにより振動素子2のQ値が低下する。このようなQ値の低下を熱弾性効果とも言い、熱弾性効果によるエネルギーの損失を熱弾性損失とも言う。

【0047】

振動素子2のような構成の屈曲振動モードで振動する振動素子において、振動腕5の屈曲振動周波数（機械的屈曲振動周波数） f が変化したとき、振動腕5の屈曲振動周波数が熱緩和周波数 f_m と一致するときにQ値が最小となる。この熱緩和周波数 f_m は、 $f_m = 1 / (2 \quad)$ で求めることができる（ただし、式中 π は円周率であり、 e をネイピア数とすれば、 τ 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）。

また、平板構造（断面形状が矩形の構造）の熱緩和周波数を f_{m0} とすれば、 f_{m0} は下式で求めることができる。

$$f_{m0} = \frac{k}{(2 \quad C p a^2)} \quad (1)$$

【0048】

なお、 π は円周率、 k は振動腕5の振動方向（X軸方向）の熱伝導率、 ρ は振動腕5の質量密度、 $C p$ は振動腕5の熱容量、 a は振動腕5の振動方向の幅である。式（1）の熱伝導率 k 、質量密度 ρ 、熱容量 $C p$ に振動腕5の材料そのもの（すなわち水晶）の定数を入力した場合、求まる熱緩和周波数 f_{m0} は、振動腕5に溝52、53を設けていない場合の値となる。

【0049】

振動腕5では、側面513、514の間に位置するように溝52、53が形成されている。そのため、振動腕5の屈曲振動時に生じる側面513、514の温度差を熱伝導により温度平衡させるための熱移動経路が溝52、53を迂回するように形成され、熱移動経路が側面513、514間の直線距離（最短距離）よりも長くなる。そのため、振動腕5に溝52、53を設けていない場合と比較して緩和時間 τ が長くなり、熱緩和周波数 f_m が低くなる。

【0050】

図8は、屈曲振動モードの振動素子のQ値の f / f_m 依存性を表すグラフである。同図

10

20

30

40

50

において、点線で示されている曲線 F 1 は、振動素子 2 のように振動腕に溝が形成されている場合を示し、実線で示されている曲線 F 2 は、振動腕に溝が形成されていない場合を示している。同図に示すように、曲線 F 1、F 2 の形状は変わらないが、前述のような熱緩和周波数 f_m の低下に伴って、曲線 F 1 が曲線 F 2 に対して周波数低下方向へシフトする。したがって、振動素子 2 のように振動腕に溝が形成されている場合の熱緩和周波数を f_{m1} とすれば、下記式 (2) を満たすことにより、常に、振動腕に溝が形成されている振動素子の Q 値が振動腕に溝が形成されていない振動素子の Q 値に対して高くなる。

$$f > \sqrt{f_{m0} f_{m1}} \quad \dots (2)$$

【0051】

更に、 $f / f_{m0} > 1$ の関係に限定すれば、より高い Q 値を得ることができる。

なお、図 8 において、 $f / f_m < 1$ の領域を等温的領域とも言い、この等温的領域では f / f_m が小さくなるにつれて Q 値が高くなる。これは、振動腕の機械的周波数が低くなる（振動腕の振動が遅くなる）につれて前述のような振動腕内の温度差が生じ難くなるためである。したがって、 f / f_m を 0（零）に限りなく近づけた際の極限では、等温準静操作となって、熱弾性損失は限りなく 0（零）に接近する。一方、 $f / f_m > 1$ の領域を断熱的領域とも言い、この断熱的領域では f / f_m が大きくなるにつれて Q 値が高くなる。これは、振動腕の機械的周波数が高くなるにつれて、各側面の温度上昇・温度効果の切り替わりが高速となり、前述のような熱伝導が生じる時間がなくなるためである。したがって、 f / f_m を限りなく大きくした際の極限では、断熱操作となって、熱弾性損失は限りなく 0（零）に接近する。このことから、 $f / f_m > 1$ の関係を満たすとは、 f / f_m が断熱的領域にあるとも言い換えることができる。

【0052】

ここで、第 1、第 2 駆動用電極 84、85 の構成材料（金属材料）は、振動腕 5、6 の構成材料である水晶と比較して熱伝導率が高いため、振動腕 5 では、第 1 駆動用電極 84 を介する熱伝導が積極的に行われ、振動腕 6 では、第 2 駆動用電極 85 を介する熱伝導が接触的に行われる。このような第 1、第 2 駆動用電極 84、85 を介する熱伝導が積極的に行われると、緩和時間が短くなってしまふ。そこで、図 5 に示すように、振動腕 5 では溝 52、53 の底面にて第 1 駆動用電極 84 を側面 513 側と側面 514 側とに分割し、振動腕 6 では溝 62、63 の底面にて第 2 駆動用電極 85 を側面 613 側と側面 614 側とに分割し、上記のような熱伝導を低減している。その結果、緩和時間が短くなるのを防ぎ、より高い Q 値を有する振動素子 2 が得られる。

【0053】

< 第 2 実施形態 >

次に、本発明の振動子の第 2 実施形態について説明する。

図 9 は、本発明の第 2 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

以下、第 2 実施形態の振動子について、前述した第 1 実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【0054】

本発明の第 2 実施形態にかかる振動子は、振動素子の構成が異なる以外は、前述した第 1 実施形態と同様である。なお、前述した第 1 実施形態と同様の構成には、同一符号を付してある。

図 9 に示すように、振動素子 2A の基部 4A は、前述の第 1 実施形態の基部 4 から縮幅部 42、43 が省略され、本体部 41 のみで構成されている。このような構成とすることによって、例えば、前述した第 1 実施形態の振動素子 2 と比較して、振動素子の全長を短くすることができる。

このような第 2 実施形態によっても、前述した第 1 実施形態と同様の効果を奏することができる。

【0055】

< 第 3 実施形態 >

次に、本発明の振動子の第 3 実施形態について説明する。

図 10 は、本発明の第 3 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

以下、第 3 実施形態の振動子について、前述した第 1 実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【0056】

本発明の第 3 実施形態にかかる振動子は、振動素子の構成が異なる以外は、前述した第 1 実施形態と同様である。なお、前述した第 1 実施形態と同様の構成には、同一符号を付してある。

図 10 に示すように、振動素子 2 B の保持腕 7 B は、その基端部に、先端側よりも幅（X 軸方向の長さ）が狭い狭幅部 7 1 を有している。そして、第 2 固定部 R 2 は、保持腕 7 の狭幅部 7 1 よりも先端側に位置する領域に設けられている。狭幅部 7 1 を有することによって、X 同相モード（不要振動モード）の共振周波数を X 逆相モード（メインモード）の共振周波数から遠ざけることができる。そのため、メインモードの振動に不要振動が混在するのを低減することができ、振動素子 2 B は、優れた振動特性を発揮することができる。狭幅部 7 1 の幅 W 5 としては、特に限定されないが、よれより先端側の部分の幅 W 4 の 20 % 以上、50 % 以下であることが好ましい。これにより、上述の効果がより向上するとともに、基部 4 の振動が保持腕 7 B により伝達され難くなる。

10

【0057】

また、第 1 固定部 R 1 のヤング率は、第 2 固定部 R 2 のヤング率よりも小さいことが好ましい。こうすることによって、X 同相モード（不要振動モード）の共振周波数を X 逆相モード（メインモード）の共振周波数から遠ざけることができる。

20

このような第 3 実施形態によっても、前述した第 1 実施形態と同様の効果を奏することができる。

【0058】

< 第 4 実施形態 >

次に、本発明の振動子の第 4 実施形態について説明する。

図 11 は、本発明の第 4 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

以下、第 4 実施形態の振動子について、前述した第 1 実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【0059】

30

本発明の第 4 実施形態にかかる振動子は、振動素子の構成が異なる以外は、前述した第 1 実施形態と同様である。なお、前述した第 1 実施形態と同様の構成には、同一符号を付してある。

図 11 に示すように、振動素子 2 C の保持腕 7 C は、基部 4 の基端（他方の端部）から - Y 軸方向に向けて延出している。そして、この保持腕 7 C の一方の主面（- Z 軸側の主面）に第 2 固定部 R 2 が設けられている。

【0060】

ここで、第 1 固定部 R 1 のヤング率は、第 2 固定部 R 2 のヤング率よりも小さいことが好ましい。こうすることによって、X 同相モード（不要振動モード）の共振周波数を X 逆相モード（メインモード）の共振周波数から遠ざけることができる。

40

このような第 4 実施形態によっても、前述した第 1 実施形態と同様の効果を奏することができる。

【0061】

< 第 5 実施形態 >

次に、本発明の振動子の第 5 実施形態について説明する。

図 12 は、本発明の第 5 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

以下、第 5 実施形態の振動子について、前述した第 1 実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【0062】

本発明の第 5 実施形態にかかる振動子は、振動素子の構成が異なる以外は、前述した第

50

1 実施形態と同様である。なお、前述した第 1 実施形態と同様の構成には、同一符号を付してある。

図 1 2 に示すように、振動素子 2 D の保持腕 7 D は、基部 4 の基端（他方の端部）から - Y 軸方向に向けて延出している。また、保持腕 7 D は、基部 4 側の端部に、基端側よりも幅（X 軸方向の長さ）が狭い狭幅部 7 5 を有している。そして、第 2 固定部 R 2 は、保持腕 7 D の狭幅部 7 5 よりも基端側に位置する領域に設けられている。狭幅部 7 5 を有することによって、X 同相モード（不要振動モード）の共振周波数を X 逆相モード（メインモード）の共振周波数から遠ざけることができる。そのため、メインモードの振動に不要振動が混在するのを低減することができ、振動素子 2 D は、優れた振動特性を発揮することができる。

10

【0063】

また、第 1 固定部 R 1 のヤング率は、第 2 固定部 R 2 のヤング率よりも小さいことが好ましい。こうすることによって、X 同相モード（不要振動モード）の共振周波数を X 逆相モード（メインモード）の共振周波数から遠ざけることができる。

このような第 5 実施形態によっても、前述した第 1 実施形態と同様の効果を奏することができる。

【0064】

< 第 6 実施形態 >

次に、本発明の振動子の第 6 実施形態について説明する。

図 1 3 は、本発明の第 6 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

20

以下、第 6 実施形態の振動子について、前述した第 1 実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【0065】

本発明の第 6 実施形態にかかる振動子は、振動素子の構成が異なる以外は、前述した第 1 実施形態と同様である。なお、前述した第 1 実施形態と同様の構成には、同一符号を付してある。

図 1 3 に示すように、振動素子 2 E の保持腕 7 E は、基部 4 の基端から - Y 軸方向に向けて延出する第 1 部分 7 2 と、第 1 部分 7 2 から X 軸方向に延在する第 2 部分 7 3 とを有している。そして、第 2 部分 7 3 の一方の主面（- Z 軸側の主面）に第 2 固定部 R 2 が設けられている。保持腕 7 をこのような構成とすることで、例えば、前述した第 4、第 5 実施形態と比較して、振動素子 2 E の Y 軸方向の全長が長くなることなく、基部 4（第 1 固定部 R 1）と第 2 固定部 R 2 との離間距離を大きくすることができる。そのため、第 1、第 2 固定部 R 1、R 2 をより離間させることができるとともに、基部 4 から第 2 固定部 R 2 への振動の伝達をより低減することができる。

30

【0066】

また、第 1 固定部 R 1 のヤング率は、第 2 固定部 R 2 のヤング率よりも小さいことが好ましい。こうすることによって、X 同相モード（不要振動モード）の共振周波数を X 逆相モード（メインモード）の共振周波数から遠ざけることができる。

このような第 6 実施形態によっても、前述した第 1 実施形態と同様の効果を奏することができる。

40

【0067】

< 第 7 実施形態 >

次に、本発明の振動子の第 7 実施形態について説明する。

図 1 4 は、本発明の第 7 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

以下、第 7 実施形態の振動子について、前述した第 1 実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【0068】

本発明の第 7 実施形態にかかる振動子は、振動素子の構成が異なる以外は、前述した第 1 実施形態と同様である。なお、前述した第 1 実施形態と同様の構成には、同一符号を付してある。

50

図 1 4 に示すように、振動素子 2 F は、基部 4 と、基部 4 の先端から + Y 軸方向に延出する一对の振動腕 5、6 と、基部 4 の先端から + Y 軸方向に延出する保持腕（第 1 保持腕）7 と、基部 4 の基端から - Y 軸方向に延出する保持腕（第 2 保持腕）7 0 とを有している。これら基部 4、振動腕 5、6、保持腕 7、7 0 は、水晶基板 3 から一体に形成されている。

【 0 0 6 9 】

そして、保持腕 7 の一方の主面（- Z 軸側の主面）に第 1 固定部 R 1 が設けられており、保持腕 7 0 の一方の主面（- Z 軸側の主面）に第 2 固定部 R 2 が設けられている。このような構成によれば、例えば、前述した第 1 実施形態と比較して、第 1、第 2 固定部 R 1、R 2 の離間距離を長くすることができ、導電性接着材 1 1、1 2 の接触をより確実に防止することができる。

10

このような第 7 実施形態によっても、前述した第 1 実施形態と同様の効果を奏することができる。

【 0 0 7 0 】

< 第 8 実施形態 >

次に、本発明の振動子の第 8 実施形態について説明する。

図 1 5 は、本発明の第 8 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

以下、第 8 実施形態の振動子について、前述した第 1 実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【 0 0 7 1 】

20

本発明の第 8 実施形態にかかる振動子は、振動素子の構成が異なる以外は、前述した第 1 実施形態と同様である。なお、前述した第 1 実施形態と同様の構成には、同一符号を付してある。

図 1 5 に示すように、振動素子 2 G は、基部 4 と、基部 4 の先端から + Y 軸方向に延出する一对の振動腕 5、6 と、基部 4 の先端から + Y 軸方向に延出する保持腕（第 1 保持腕）7 と、基部 4 の基端から - Y 軸方向に延出する保持腕（第 2 保持腕）7 0 G とを有している。これら基部 4、振動腕 5、6、保持腕 7、7 0 G は、水晶基板 3 から一体に形成されている。また、保持腕 7 0 G は、基部 4 の基端から - Y 軸方向に向けて延出する第 1 部分 7 6 と、第 1 部分 7 2 から X 軸方向に延在する第 2 部分 7 7 とを有している。そして、保持腕 7 の一方の主面（- Z 軸側の主面）に第 1 固定部 R 1 が設けられており、第 2 部分 7 7 の一方の主面（- Z 軸側の主面）に第 2 固定部 R 2 が設けられている。保持腕 7 0 G をこのような構成とすることで、例えば、前述した第 6 実施形態と比較して、振動素子 2 G の Y 軸方向の全長が長くなることなく、第 1、第 2 固定部 R 1、R 2 の離間距離を大きくすることができる。

30

このような第 8 実施形態によっても、前述した第 1 実施形態と同様の効果を奏することができる。

【 0 0 7 2 】

< 第 9 実施形態 >

次に、本発明の振動子の第 9 実施形態について説明する。

図 1 6 は、本発明の第 9 実施形態にかかる振動子が有する振動素子の上面図である。

40

以下、第 9 実施形態の振動子について、前述した第 1 実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【 0 0 7 3 】

本発明の第 9 実施形態にかかる振動子は、振動素子の構成が異なる以外は、前述した第 1 実施形態と同様である。なお、前述した第 1 実施形態と同様の構成には、同一符号を付してある。

図 1 6 に示すように、振動素子 2 H は、基部 4 と、基部 4 の先端から + Y 軸方向に延出する一对の振動腕 5、6 と、基部 4 の先端から + Y 軸方向に延出する保持腕（第 1 保持腕）7 と、基部 4 の基端から - Y 軸方向に延出する保持腕（第 2 保持腕）7 0 H とを有している。これら基部 4、振動腕 5、6、保持腕 7、7 0 H は、水晶基板 3 から一体に形成さ

50

れている。また、保持腕 70H は、基部 4 の基端から延出し、X 軸方向に分岐する分岐部 781 と、分岐部 781 から X 軸方向両側に延出する連結腕 782、783 と、連結腕 782、783 の先端部から Y 軸方向の振動腕 5、6 側に延出する腕部 784、785 とを有している。そして、保持腕 7 の一方の主面（-Z 軸側の主面）に第 1 固定部 R1 が設けられており、腕部 784、785 の一方の主面（-Z 軸側の主面）にそれぞれ第 2 固定部 R2 が設けられている。なお、本実施形態の場合は、2 つの第 2 固定部 R2 のうちのいずれか一方に第 2 接続電極 82 が設けられていればよい。

このような第 9 実施形態によっても、前述した第 1 実施形態と同様の効果を奏することができる。

【0074】

2. 発振器

次に、本発明の振動素子を適用した発振器（本発明の発振器）について説明する。

図 17 は、本発明の発振器の好適な実施形態を示す断面図である。

図 17 に示す発振器 100 は、振動子 1 と、振動素子 2 を駆動するための IC チップ 110 とを有している。以下、発振器 100 について、前述した振動子との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【0075】

図 17 に示すように、発振器 100 では、ベース 91 の凹部 911 に IC チップ 110 が固定されている。IC チップ 110 は、凹部 911 の底面に形成された複数の内部端子 120 と電氣的に接続されている。複数の内部端子 120 には、接続端子 951、961 と接続されているものと、外部端子 953、963 と接続されているものがある。IC チップ 110 は、振動素子 2 の駆動を制御するための発振回路を有している。IC チップ 110 によって振動素子 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。

【0076】

3. 電子機器

次に、本発明の振動素子を適用した電子機器（本発明の電子機器）について説明する。

図 18 は、本発明の振動素子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 2000 を備えた表示ユニット 1106 とにより構成され、表示ユニット 1106 は、本体部 1104 に対しヒンジ構造部を介して回動可能に支持されている。このようなパーソナルコンピュータ 1100 には、フィルター、共振器、基準クロック等として機能する振動素子 2 が内蔵されている。

【0077】

図 19 は、本発明の振動素子を備える電子機器を適用した携帯電話機（PHS も含む）の構成を示す斜視図である。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 2000 が配置されている。このような携帯電話機 1200 には、フィルター、共振器等として機能する振動素子 2 が内蔵されている。

【0078】

図 20 は、本発明の振動素子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。

【0079】

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ーとして機能する。また、ケース 1302 の正面側（図中裏面側）には、光学レンズ（撮像光学系）や CCD などを含む受光ユニ

10

20

30

40

50

ット 1 3 0 4 が設けられている。

【 0 0 8 0 】

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 1 3 0 6 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 1 3 0 8 に転送・格納される。また、このデジタルスチルカメラ 1 3 0 0 においては、ケース 1 3 0 2 の側面に、ビデオ信号出力端子 1 3 1 2 と、データ通信用の入出力端子 1 3 1 4 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 1 3 1 2 にはテレビモニター 1 4 3 0 が、データ通信用の入出力端子 1 3 1 4 にはパーソナルコンピューター 1 4 4 0 が、それぞれ必要に応じて接続される。さらに、所定の操作により、メモリー 1 3 0 8 に格納された撮像信号が、テレビモニター 1 4 3 0 や、パーソナルコンピューター 1 4 4 0 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 1 3 0 0 には、フィルター、共振器等として機能する振動素子 2 が内蔵されている。

10

【 0 0 8 1 】

なお、本発明の振動素子を備える電子機器は、図 1 8 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 1 9 の携帯電話機、図 2 0 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

【 0 0 8 2 】

4. 移動体

次に、本発明の振動素子を適用した移動体（本発明の移動体）について説明する。

図 2 1 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 1 5 0 0 には、振動素子 2 が搭載されている。振動素子 2 は、キーレスエントリー、イモビライザー、カーナビゲーションシステム、カーエアコン、アンチロックブレーキシステム（ABS）、エアバック、タイヤ・プレッシャー・モニタリング・システム（TPMS : Tire Pressure Monitoring System）、エンジンコントロール、ハイブリッド自動車や電気自動車の電池モニター、車体姿勢制御システム、等の電子制御ユニット（ECU : electronic control unit）に広く適用できる。

30

以上、本発明の振動素子、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。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 3 】

1 …… 振動子 1 1 …… 第 1 導電性接着材 1 2 …… 第 2 導電性接着材 2、2 A、2 B、2 C、2 D、2 E、2 F、2 G、2 H、…… 振動素子 3 …… 水晶基板 4、4 A …… 基部 4 1 …… 本体部 4 2、4 3 …… 縮幅部 5 …… 振動腕（第 1 振動腕） 5 1 …… 腕部 5 1 1、5 1 2 …… 主面 5 1 1 a、5 1 2 a …… 土手部 5 1 3、5 1 4 …… 側面 5 2、5 3 …… 溝 5 9、6 9 …… ハンマーヘッド 6 …… 振動腕（第 2 振動腕） 6 1 …… 腕部 6 1 3、6 1 4 …… 側面 6 2、6 3 …… 溝 7、7 B、7 C、7 D、7 E …… 保持腕 7 0、7 0 G、7 0 H …… 保持腕（第 2 保持腕） 7 1 …… 狭幅部 7 2 …… 第 1 部分 7 3 …… 第 2 部分 7 5 …… 狭幅部 7 6 …… 第 1 部分 7 7 …… 第 2 部分 7 8 1 …… 分岐部 7 8 2、7 8 3 …… 連結腕 7 8 4、7 8 5 …… 腕部 8 …… 電極 8 1 …… 第 1 接続電極 8 2 …… 第 2 接続電極 8 4 …… 第 1 駆動用電極 8 5 …… 第 2 駆動用電極 9 …… パッケージ 9 1 …… ベース 9 1 1 …… 凹部 9 2 …… リッ

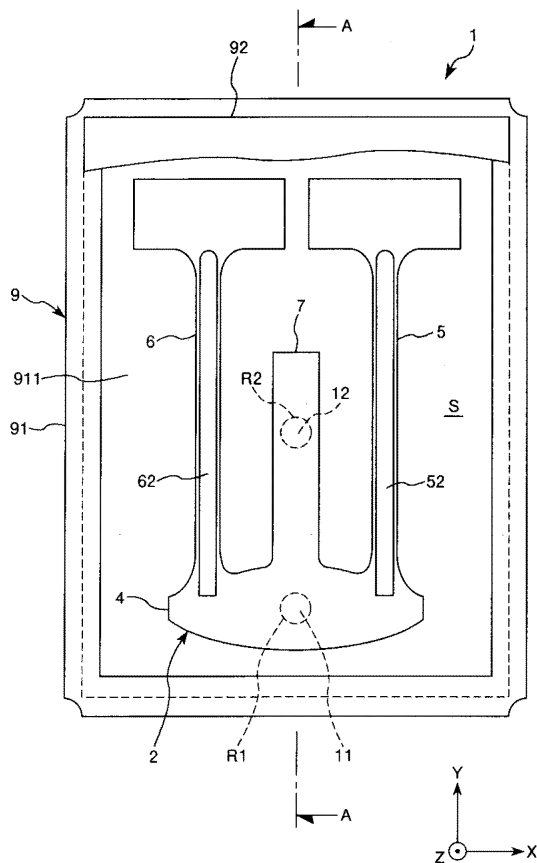
40

50

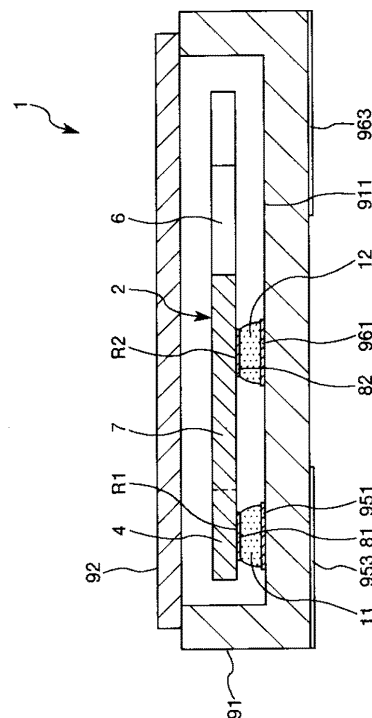
ド 951、961 接続端子 953、963 外部端子 100 発振器 1
 10 ICチップ 120 内部端子 1100 パーソナルコンピューター 1
 102 キーボード 1104 本体部 1106 表示ユニット 1200
 携帯電話機 1202 操作ボタン 1204 受話口 1206 送話口 13
 00 デジタルスチルカメラ 1302 ケース 1304 受光ユニット 1
 306 シャッターボタン 1308 メモリー 1312 ビデオ信号出力端子
 1314 入出力端子 1430 テレビモニター 1440 パーソナルコン
 ピューター 1500 自動車 2000 表示部 L 全長 L1 直線 O
 中心 R1 第1固定部 R2 第2固定部 S 収容空間 W1、W2、W
 3、W4、W5 幅

10

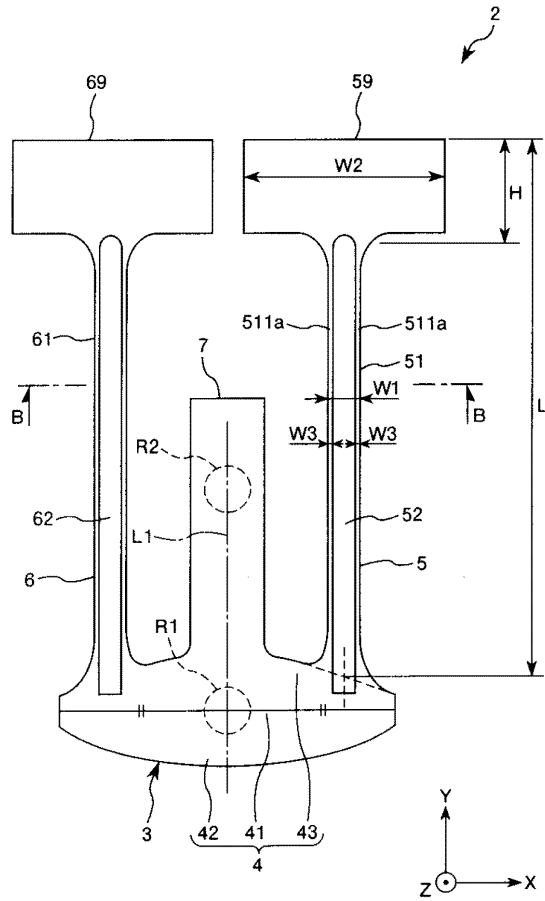
【図1】



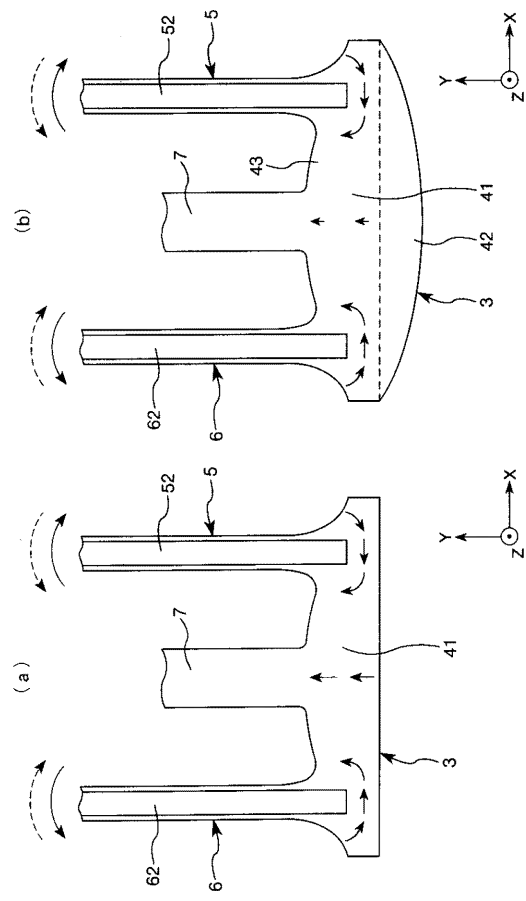
【図2】



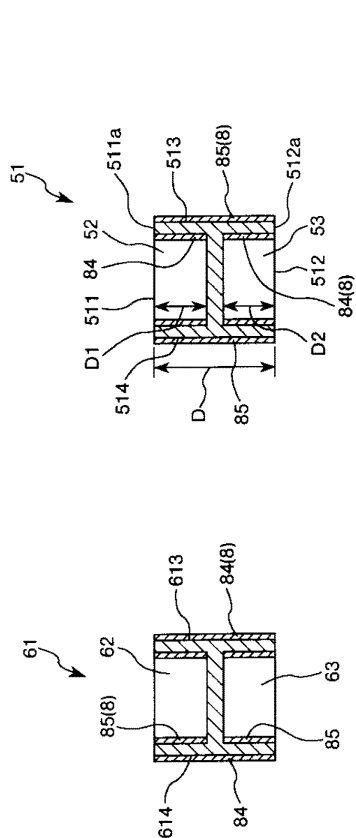
【図 3】



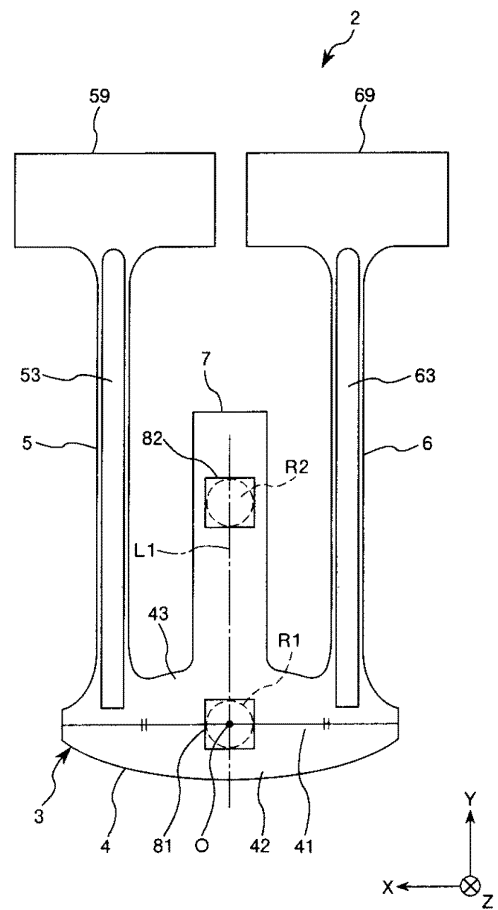
【図 4】



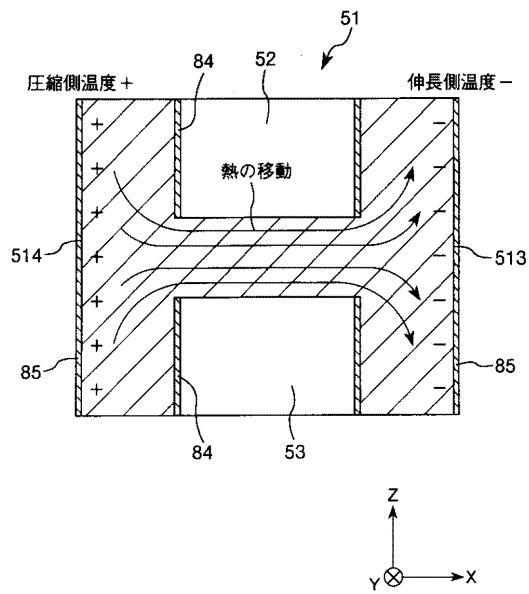
【図 5】



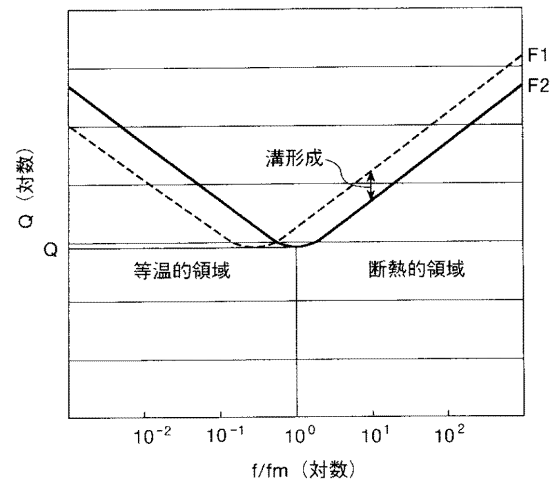
【図 6】



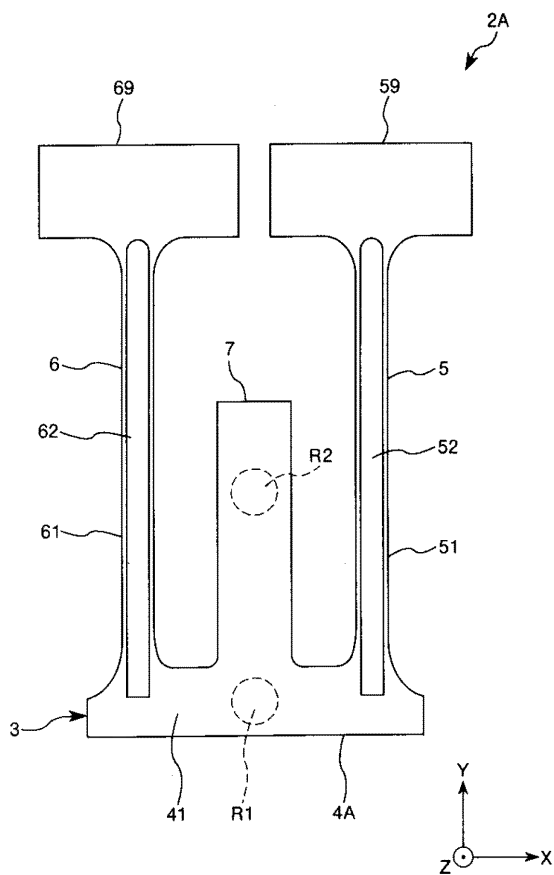
【図 7】



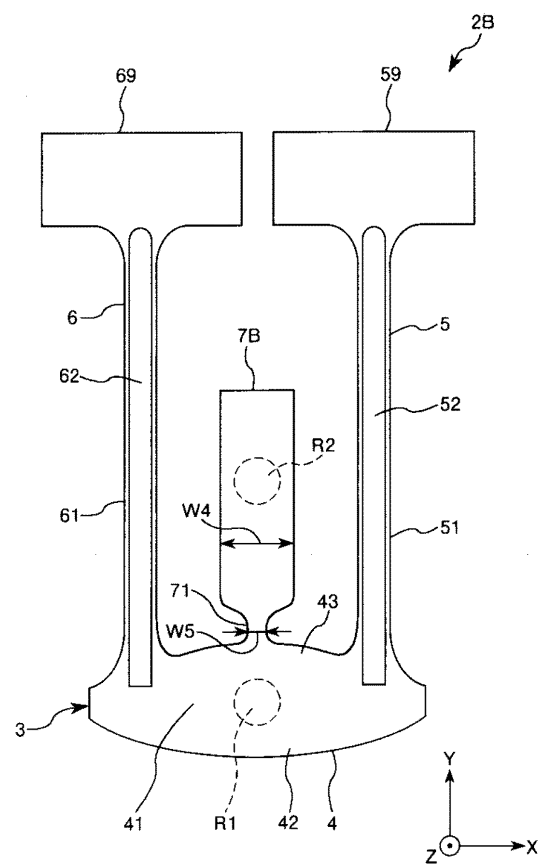
【図 8】



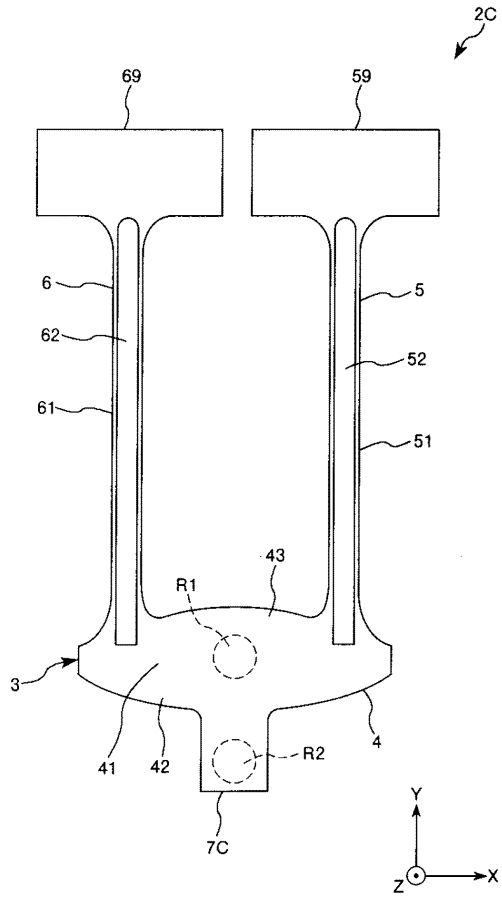
【図 9】



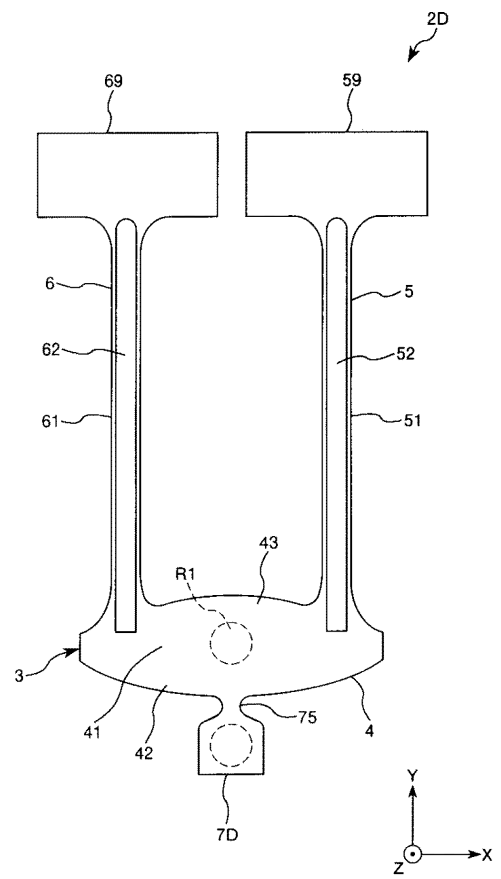
【図 10】



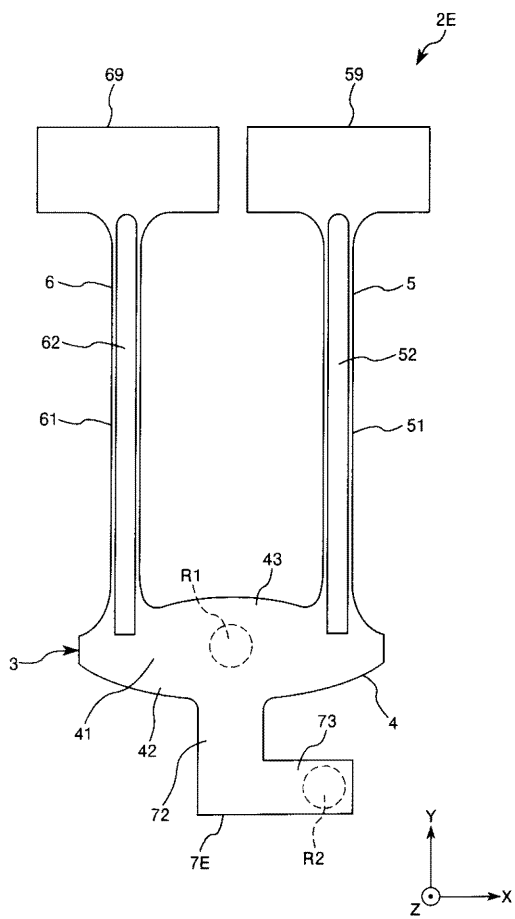
【図 1 1】



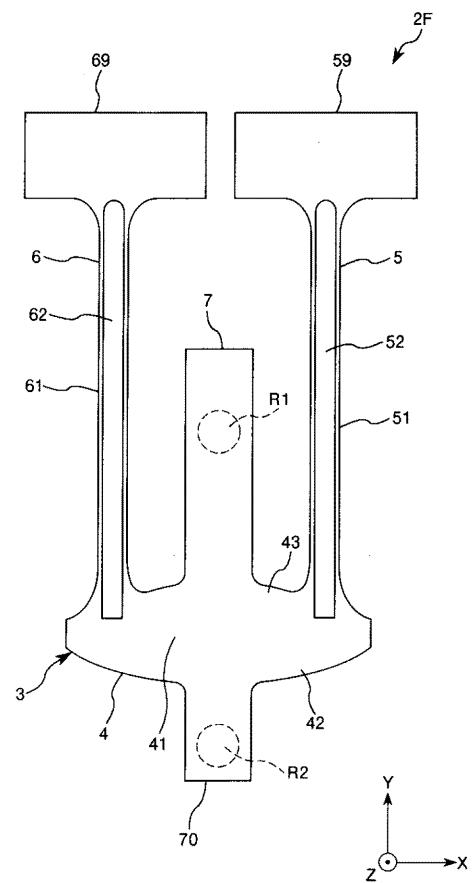
【図 1 2】



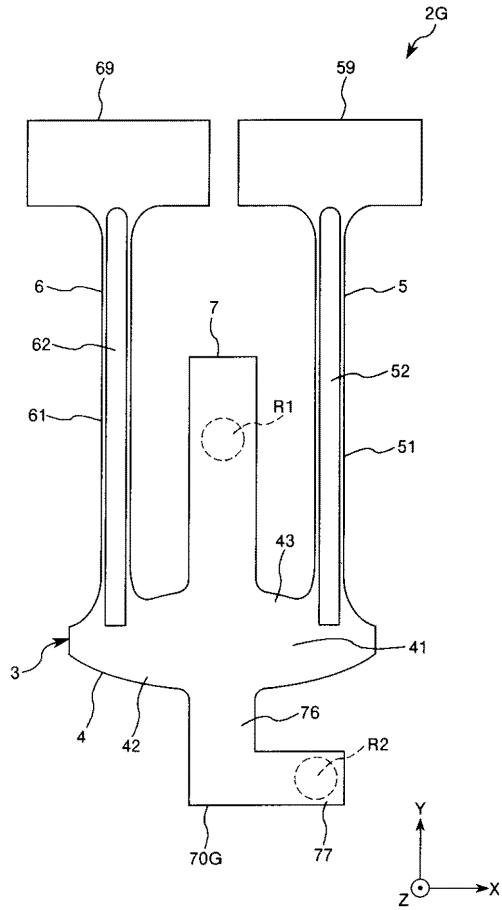
【図 1 3】



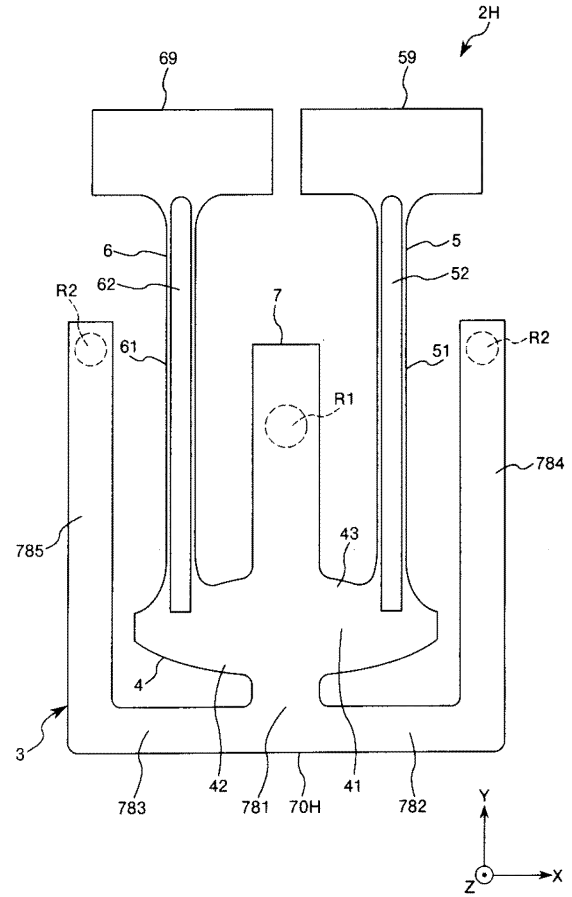
【図 1 4】



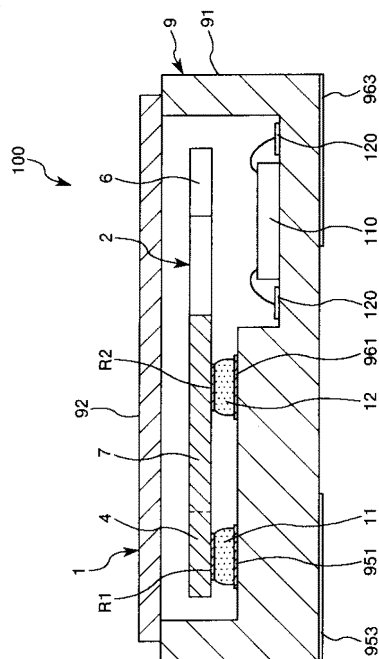
【図 15】



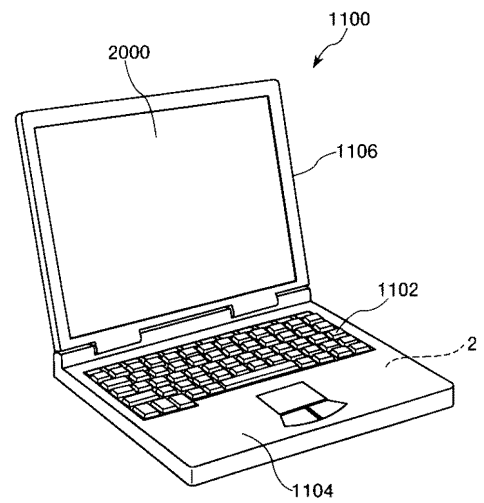
【図 16】



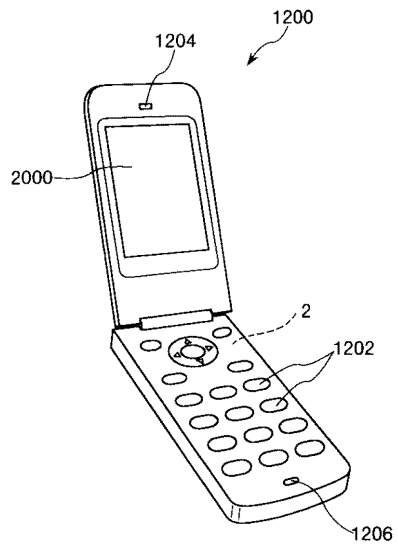
【図 17】



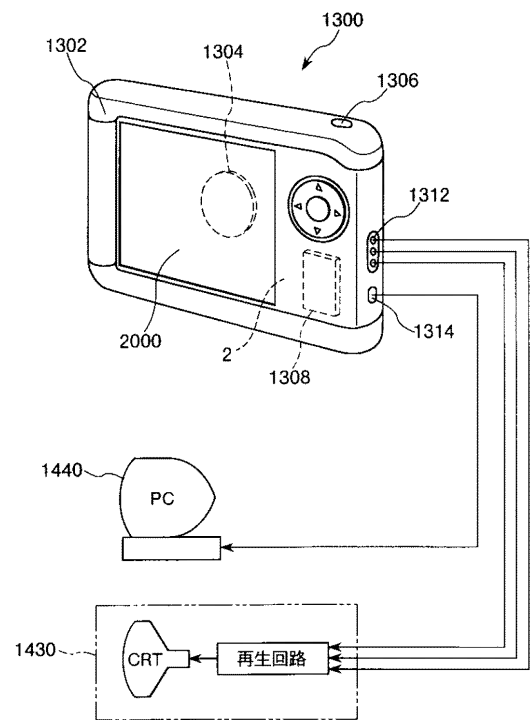
【図 18】



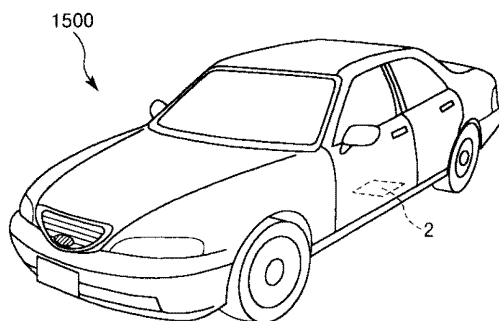
【図 19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5J108 BB02 CC06 CC08 CC09 CC11 DD05 EE03 EE06 EE07 EE13
EE18 GG03 GG15 GG16 GG20 JJ04