

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6107332号
(P6107332)

(45) 発行日 平成29年4月5日 (2017.4.5)

(24) 登録日 平成29年3月17日 (2017.3.17)

(51) Int.Cl.

F I

H03H 9/19 (2006.01)

H03H 9/19 J

H03H 9/215 (2006.01)

H03H 9/215

H03H 9/02 (2006.01)

H03H 9/02 K

H03B 5/32 (2006.01)

H03B 5/32 H

請求項の数 14 (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2013-75328 (P2013-75328)
 (22) 出願日 平成25年3月29日 (2013.3.29)
 (65) 公開番号 特開2014-200043 (P2014-200043A)
 (43) 公開日 平成26年10月23日 (2014.10.23)
 審査請求日 平成28年3月18日 (2016.3.18)

(73) 特許権者 000002369
 セイコーエプソン株式会社
 東京都新宿区新宿四丁目1番6号
 (74) 代理人 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
 審査官 小林 正明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 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、

前記基部から第1の方向に延出し、前記第1の方向と直交する第2の方向に関して互いに接近および離間を繰り返すように屈曲振動する一対の振動腕と、

前記第2の方向において前記一対の振動腕の間に配置され、前記基部から前記第1の方向に沿って延出している支持腕と、を含む振動素子と、

前記振動素子が支持されているベースと、

前記振動素子の前記支持腕を前記ベースに対して固定し、導電性を有している第1の固着部および第2の固着部と、

を含み、

前記支持腕は、

第1の部分と、

前記第1の部分よりも前記基部側に設けられ、前記第2の方向に沿った長さが前記第1の部分の前記第2の方向に沿った長さよりも小さい第2の部分と、

を含み、

前記第2の固着部は、前記第1の固着部と離間して設けられ、平面視で、前記第2の部分の少なくとも一部と接触していることを特徴とする振動子。

【請求項2】

前記第1の固着部および前記第2の固着部のヤング率は、前記振動素子のヤング率より

小さい請求項 1 に記載の振動子。

【請求項 3】

前記第 1 の固着部および前記第 2 の固着部のヤング率は、50 MPa 以上 6000 MPa 以下である請求項 1 または 2 に記載の振動子。

【請求項 4】

前記第 2 の部分の前記第 2 の方向に沿った長さの最小値は、前記第 1 の部分の前記第 2 の方向に沿った長さの平均値の 20 % 以上 50 % 以下である請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の振動子。

【請求項 5】

前記第 2 の固着部は、前記第 1 の方向および前記第 2 の方向と直交する第 3 の方向に沿った前記第 2 の部分の一部と接触している請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の振動子。

10

【請求項 6】

前記振動素子は、

前記第 1 の固着部と電氣的に接続されている第 1 の配線および前記第 2 の固着部と電氣的に接続されている第 2 の配線と、

前記支持腕と前記基部との境界部に前記第 1 の配線および前記第 2 の配線とが、電氣的に接続されていない非接続領域と、
を含む請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の振動子。

【請求項 7】

20

前記第 2 の部分は、前記第 3 の方向の途中に、前記第 2 の方向に突出している突出部を含む請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の振動子。

【請求項 8】

前記支持腕には、前記支持腕の前記第 1 の固着部が接触している接触領域に凹部が設けられている請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の振動子。

【請求項 9】

前記凹部は、前記接触領域を含む面と反対側の面に貫通している請求項 8 に記載の振動子。

【請求項 10】

前記支持腕には、

前記支持腕の前記第 1 の固着部が接触している接触領域と、

前記支持腕の前記第 2 の固着部が接触する接触領域と、

の間に前記第 2 の方向に沿って溝が設けられている請求項 1 ないし 9 のいずれか 1 項に記載の振動子。

30

【請求項 11】

各前記振動腕は、腕部と、前記腕部の前記基部と反対側に位置し、前記腕部よりも前記第 2 の方向に沿った長さが大きい広幅部とを含む請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の振動子。

【請求項 12】

請求項 1 ないし 11 のいずれか 1 項に記載の振動子と、

発振回路と、

を含むことを特徴とする発振器。

40

【請求項 13】

請求項 1 ないし 11 のいずれか 1 項に記載の振動子を含むことを特徴とする電子機器。

【請求項 14】

請求項 1 ないし 11 のいずれか 1 項に記載の振動子を含む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、振動子、発振器、電子機器および移動体に関する。

50

【背景技術】

【0002】

従来から、水晶発振器として、パッケージに振動素子が収容されたものが知られている（例えば、特許文献1参照）。

特許文献1の振動子は、基部と、一端部に拡幅部を有する一对の振動腕と、一对の振動腕の間に設けられ、基部から延出された支持腕を有する振動素子と、振動素子が収納されているパッケージとを有している。また、振動素子は、一对の導電性接着剤を介してパッケージに固定されている。この一对の導電性接着剤は、支持腕の厚み方向の一方の面に設けられている。このような構成により、振動子を比較的小さいものとすることができる。

【0003】

しかしながら、特許文献1の振動子では、一对の振動腕が共に平面視で略面内同一方向へ屈曲振動するX同相モードの共振周波数が、一对の振動腕が互いに接近と離間を繰り返して略面内において屈曲振動するメインモードの共振周波数と近接し、これにより、メインモードにX同相モードが結合して、メインモード駆動時にX同相モードの振動姿態が混在した振動姿態となってしまう。音叉型の振動素子では、支持部に於いてメインモードの振動漏れが極力小さくなる構造になっているものの、X同相モードの振動姿態に対する振動漏れは抑圧されない。従って、特許文献1の振動子では、メインモード振動時の振動漏れが増大して、Q値の劣化やそれに伴うCI値の劣化が発生してしまっていた。

【0004】

特許文献2に記載の振動素子は、特許文献1に記載の振動素子に加え、基部寄りの支持腕に、その幅が減少したくびれ部が形成されている。このような振動素子では、振動素子はくびれ部よりも先端側（基部と反対側）の部分に一对の導電性接着剤が設けられてパッケージに固定される。これにより、X同相モードの共振周波数がメインモードの共振周波数と近接するのを防止することができる。

しかしながら、特許文献2の振動子では、くびれ部を有している分、支持腕におけるくびれ部よりも先端側の部分が短くなる。その結果、振動子の小型化に伴って、一对の導電性接着剤同士の離間距離は自ずと小さくなり、その離間距離によっては接触し、短絡してしまうおそれがある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2002-147177号公報

【特許文献2】特開昭49-98219号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明の目的は、X同相モードの共振周波数をメインモードの共振周波数から十分に離すことができ、かつ、一对の導電性接着剤同士の短絡を防止して、小型で優れた振動特性を発揮し、かつ、高い信頼性を有する振動子、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】

【0007】

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]

本発明の振動子は、基部と、

前記基部から第1の方向に延出し、前記第1の方向と直交する第2の方向に関して互いに接近および離間を繰り返すように屈曲振動する一对の振動腕と、

前記第2の方向において前記一对の振動腕の間に配置され、前記基部から前記第1の方向に沿って延出している支持腕と、を含む振動素子と、

10

20

30

40

50

前記振動素子が支持されているベースと、
前記振動素子の前記支持腕を前記ベースに対して固定し、導電性を有している第１の固着部および第２の固着部と、
を含み、
前記支持腕は、
第１の部分と、
前記第１の部分よりも前記基部側に設けられ、前記第２の方向に沿った長さが前記第１の部分の前記第２の方向に沿った長さよりも小さい第２の部分と、
を含み、

前記第２の固着部は、前記第１の固着部と離間して設けられ、平面視で、前記第２の部分の少なくとも一部と接触していることを特徴とする。

10

これにより、振動子を小型化しても、X同相モードの共振周波数とメインモードの共振周波数から十分に離すことができ、かつ、一对の導電性接着剤同士の短絡を防止することができる。

【０００８】

[適用例２]

本発明の振動子では、前記第１の固着部および前記第２の固着部のヤング率は、前記振動素子のヤング率より小さいのが好ましい。

これにより、振動素子の振動漏れをより効果的に抑制することができる。

[適用例３]

20

本発明の振動子では、前記第１の固着部および前記第２の固着部のヤング率は、５０ＭＰa以上６０００ＭＰa以下であるのが好ましい。

これにより、振動素子の振動漏れをより効果的に抑制することができる。

【０００９】

[適用例４]

本発明の振動子では、前記第２の部分の前記第２の方向に沿った長さの最小値は、前記第１の部分の前記第２の方向に沿った長さの平均値の２０％以上５０％以下であるのが好ましい。

これにより、X同相モードの共振周波数をメインモードの共振周波数からより確実に低周波側に遠ざけることができる。

30

【００１０】

[適用例５]

本発明の振動子では、前記第２の固着部は、前記第１の方向および前記第２の方向と直交する第３の方向に沿った前記第２の部分の一部と接触しているのが好ましい。

これにより、２次高調波モード（メインモードであるX逆相の屈曲振動モードを１次とした場合の２次高調波モード）の振動漏れを大きくすることによって、２次高調波モードのC I値を大きくすることができ、その結果、振動子１００を搭載した発振器が誤って２次高調波モードの周波数で発信してしまう虞を小さくすることができる。

【００１１】

[適用例６]

40

本発明の振動子では、前記振動素子は、前記第１の固着部と電氣的に接続されている第１の配線および前記第２の固着部と電氣的に接続されている第２の配線と、

前記支持腕と前記基部との境界部に前記第１の配線および前記第２の配線とが、電氣的に接続されていない非接続領域と、を含むのが好ましい。

これにより、第２の固着部と、前記第１の配線および前記第２の配線との短絡を防止することができる。

【００１２】

[適用例７]

本発明の振動子では、前記第２の部分は、前記第３の方向の途中に、前記第２の方向に向って突出している突出部を含むのが好ましい。

50

これにより、突出部により、第２の固着部が支持腕の上面に回り込むのを防止する。

[適用例 ８]

本発明の振動子では、前記支持腕には、前記支持腕の前記第１の固着部が接触する接触領域に開放する凹部が形成されているのが好ましい。

これにより、第１の固着部が凹部内に入り込むことができ、第１の固着部と第２の固着部とが短絡するのを防止することができる。

【 ０ ０ １ ３ 】

[適用例 ９]

本発明の振動子では、前記凹部は、前記接触領域を含む面と反対側の面に開放しているのが好ましい。

10

これにより、第１の配線または第２の配線を凹部内に形成することができ、よって、支持腕の端面に第１の配線または第２の配線を設けるのを省略することができる。

[適用例 １ ０]

本発明の振動子では、前記支持腕には、前記支持腕の前記第１の固着部が接触する接触領域と、前記支持腕の前記第２の固着部が接触する接触領域との間に前記第２の方向に沿って溝が形成されている好ましい。

これにより、第１の固着部と第２の固着部との短絡をより確実に防止することができる。

【 ０ ０ １ ４ 】

[適用例 １ １]

20

本発明の振動子では、各前記振動腕は、腕部と、前記腕部の前記基部と反対側に位置し、前記腕部よりも前記第２の方向に沿った長さが大きい広幅部とを含むのが好ましい。

これにより、振動子の小型化を図ることができる。

[適用例 １ ２]

本発明の発振器は、本発明の振動子と、
発振回路とを含むことを特徴とする。

これにより、信頼性の高い発振回路が得られる。

【 ０ ０ １ ５ 】

[適用例 １ ３]

本発明の電子機器は、本発明の振動子を含むことを特徴とする。

30

これにより、信頼性の高い電子機器が得られる。

[適用例 １ ４]

本発明の移動体は、本発明の振動子を含むことを特徴とする。

これにより、信頼性の高い移動体が得られる。

【 図面の簡単な説明 】

【 ０ ０ １ ６ 】

【 図 １ 】 本発明の第 １ 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 】 振動漏れ低減の原理を説明する平面図である。

【 図 ４ 】 図 １ 中の B - B 線断面図である。

40

【 図 ５ 】 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 ６ 】 Q 値と f / f_m の関係を示すグラフである。

【 図 ７ 】 図 １ 中の C - C 線断面図である。

【 図 ８ 】 幅減少部と導電性接着剤の位置関係を示す平面図である。

【 図 ９ 】 図 １ 中の振動素子を示す平面図であって、(a) が上面図、(b) が下面図（透視図）である。

【 図 １ ０ 】 図 １ に示す振動素子の製造方法を説明するための断面図である。

【 図 １ １ 】 本発明の第 ２ 実施形態に係る振動素子を示す平面図であって、(a) が上面図、(b) が下面図（透視図）である。

【 図 １ ２ 】 本発明の第 ３ 実施形態に係る振動素子を示す平面図であって、(a) が上面図

50

、(b)が下面図(透視図)である。

【図13】図12中のD-D線断面図である。

【図14】本発明の第4実施形態に係る振動素子を示す平面図であって、(a)が上面図、(b)が下面図(透視図)である。

【図15】図14中のE-E線断面図である。

【図16】本発明の第5実施形態に係る振動素子を示す平面図であって、(a)が上面図、(b)が下面図(透視図)である。

【図17】本発明の第6実施形態に係る振動素子を示す平面図であって、(a)が上面図、(b)が下面図(透視図)である。

【図18】本発明の振動子を備える発振器を示す断面図である。

10

【図19】本発明の振動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。

【図20】本発明の振動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21】本発明の振動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22】本発明の振動子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。

【発明を実施するための形態】

【0017】

20

以下、本発明の振動子、発振器、電子機器および移動体の好適な実施形態について、添付図面を参照しつつ説明する。

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実施形態に係る振動子を示す平面図、図2は、図1中のA-A線断面図、図3は、振動漏れ低減の原理を説明する平面図、図4は、図1中のB-B線断面図、図5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、図6は、Q値と f/f_m の関係を示すグラフ、図7は、図1中のC-C線断面図、図8は、幅減少部と導電性接着剤の位置関係を示す平面図、図9は、図1中の振動素子を示す平面図であって、(a)が上面図、(b)が下面図(透視図)、図10は、図1に示す振動素子の製造方法を説明するための断面図である。なお、各図では、説明の都合上、互いに直交する3つの軸として、X軸、Y軸およびZ軸を図示している。また、図1、図3、図8および図9の上側を「上(上方)」または「先端」、下側を「下(下方)」または「基端」と言う。また、Z軸方向から見たときの平面視を単に「平面視」とも言う。

30

【0018】

図1および図2に示す振動子100は、振動素子200と、振動素子200を收容するパッケージ(ベース)400とを有している。以下、振動素子200およびパッケージ400について、順次詳細に説明する。

パッケージ400は、上面に開放する凹部411を有するキャビティ型のベース基板410と、凹部411の開口を覆うようにベース基板410に接合されたリッド(蓋体)420とを有し、その内部空間Sに振動素子200を収納している。なお、内部空間Sは、気密的に封止されているのが好ましい。

40

【0019】

図1および図2に示すように、ベース基板410は、絶縁性を有する材料で構成されている。このような材料としては、特に限定されず、例えば、酸化物系セラミックス、窒化物系セラミックス、炭化物系セラミックス等の各種セラミックスを用いることができる。一方、リッド420は、ベース基板410の構成材料と線膨張係数が近似する部材で構成するのが好ましい。このような材料としては、例えば、ベース基板410の構成材料を前述したようなセラミックスとした場合には、コパール等の合金を用いることができる。

50

【0020】

凹部411の底面には、2つの接続電極431、432が形成されており、これら接続電極431、432は、それぞれ、図示しない貫通電極や層間配線を介して、ベース基板410の下面に形成された実装電極433、434と電気的に接続されている。

なお、ベース基板410は平板形状であっても良く、その場合リッド420は内部空間Sを構成するために凹状のキャップ形状であることが良い。

【0021】

図1に示すように、振動素子200は、振動基板210と、この振動基板210上に形成された駆動用の電極300とを有している。また、図7に示すように、電極300は、複数の第1駆動用電極310と、これら複数の第1駆動用電極310を接続する配線320、330、340、350と、複数の第2駆動用電極360と、これら複数の第2駆動用電極360を接続する配線370、380、390とを有している。

10

【0022】

振動基板210は、例えば、圧電基板として、水晶、特にZカット水晶板で構成されている。これにより、振動素子200は、優れた振動特性を発揮することができる。なお、Zカット水晶板とは、水晶のZ軸（光軸）を厚さ方向とする水晶基板である。Z軸は、振動基板210の厚さ方向と一致しているのが好ましいが、常温近傍における周波数温度変化を小さくする観点からは、厚さ方向に対して若干傾けることになる。

【0023】

すなわち、傾ける角度を 度（-5度 15度）とした場合、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 度傾けた軸をZ'軸、前記Y軸を前記Z軸の+Z方向（第3の方向）へ+Y側が回転するように 度傾けた軸をY'軸としとき、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振動基板210となる。

20

振動基板210は、基部220と、基部220から+Y軸方向（第1の方向）へ突出し、かつ、X軸方向に並んで設けられた2つの振動腕230、240と、基部220から+Y軸方向へ突出するとともに、2つの振動腕230、240の間に位置する支持腕250と、を有している。

【0024】

30

図1および図2に示すように、振動基板210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。振動基板210の厚さ（振動腕230、240の厚さ）Dとしては、特に限定されないが、70μm未満であるのが好ましく、特に60μm以下であることが好ましい。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基部220を形成（パターンニング）する場合、振動腕230、240と基部220の境界部や後述するハンマーヘッド260、270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のできる振動素子200とすることができる。違う観点から、厚さDは、70μm以上、300μm以下であるのが好ましく、100μm以上、300μm以下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、電極300を振動基板210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。

40

【0025】

本実施形態の基部220は、腕230、240、250と反対側に、-Y軸方向に向かって幅が漸減する縮幅部221を有している。また、縮幅部221は、その幅（X軸方向（第2の方向）に沿った長さ）が振動腕230、240から離れるに従い漸減する。このような縮幅部221を有することにより、振動素子200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200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。

50

【 0 0 2 6 】

まず、図 3 (a) に示すように、縮幅部 2 2 1 が設けられていない場合について説明する。振動腕 2 3 0、2 4 0 が互いに離間するように屈曲変形した場合、振動腕 2 3 0 が接続されている付近の基部 2 2 0 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 2 4 0 が接続されている付近では、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、基部 2 2 0 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、基部 2 2 0 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部分の Y 軸方向中央部に接着剤を形成し、接着剤を介してパッケージに固定すると、+ Y 軸方向変位に伴う弾性エネルギーが接着剤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。

10

【 0 0 2 7 】

これに対して、図 3 (b) に示すように、縮幅部 2 2 1 が設けられている場合では、縮幅部 2 2 1 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 2 2 1 において互いにつかえることになる。すなわち、縮幅部 2 2 1 の X 軸方向中央部においては、基部 2 2 0 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 2 2 1 の輪郭がアーチ状であるから、基部 2 2 0 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 2 2 1 が設けられた場合の基部 2 2 0 の X 軸方向中央部の + Y 軸方向の変位は、縮幅部 2 2 1 が設けられていない場合に比べて遥かに小さくなる。即ち、振動漏れの小さい振動素子を得ることができる。

20

【 0 0 2 8 】

なお、ここでは縮幅部 2 2 1 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、前記所定の軸に沿って段階的に小さくなり、輪郭が複数の直線によって段差状（階段状）に形成されている縮幅部、平面視で幅が前記所定の軸に沿って直線的（連続的）に小さくなり、輪郭が 2 本の直線によって山状（三角形状）に形成されている縮幅部、平面視で幅が前記所定の軸に沿って直線的（連続的）に小さくなり、輪郭が 3 本以上の直線によって形成されている縮幅部等であってもよい。

30

振動腕 2 3 0、2 4 0 は、X 軸方向（第 2 の方向）に並び、かつ、互いに平行となるように基部 2 2 0 の上端から Y 軸方向（第 1 の方向）に延出している。振動腕 2 3 0、2 4 0 は、それぞれ、腕部 2 6 1、2 7 1 と、腕部 2 6 1、2 7 1 の先端に設けられたハンマーヘッド（広幅部）2 6 0、2 7 0 とを有している。

【 0 0 2 9 】

また、図 1 および図 4 の示すように、振動腕 2 3 0 には、一方の主面 2 3 1 に開放する有底の溝 2 3 5 と、他方の主面 2 3 2 に開放する有底の溝 2 3 6 とが形成されている。同様に、振動腕 2 4 0 には、一方の主面 2 4 1 に開放する有底の溝 2 4 5 と、他方の主面 2 4 2 に開放する有底の溝 2 4 6 とが形成されている。これら溝 2 3 5、2 3 6、2 4 5、2 4 6 は、Y 軸方向に延在して設けられており、互いに同じ形状をなしている。そのため、振動腕 2 3 0、2 4 0 は、略「H」状の横断面形状をなしている。このような溝 2 3 5、2 3 6、2 4 5、2 4 6 を形成することによって、屈曲振動によ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。

40

【 0 0 3 0 】

以下、このことについて、振動腕 2 3 0 を例にして具体的に説明する。

振動腕 2 3 0 は、後述の第 1、第 2 駆動用電極 3 1 0、3 6 0 間に交番電圧を印加する

50

ことにより面内方向に屈曲振動する。図5に示すように、この屈曲振動の際、振動腕230の側面233が収縮すると側面234が伸張し、反対に、側面233が伸張すると側面234が収縮する。側面233、234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ため、側面233と側面234との間、つまり振動腕230の内部に温度差が発生する。このような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200のQ値が低下する。このようなQ値の低下に伴うエネルギーの損失を熱弾性損失と言う。

【0031】

振動素子200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230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230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、 $f_m = 1 / (2 \dots)$ 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、 \dots 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）。

10

また、振動腕230が平板構造（断面形状が矩形の構造）であると見做したときの熱緩和周波数を f_{m0} とすれば、 f_{m0} は下式で求めることができる。

$$f_{m0} = \sqrt{k / (2 C_p a^2)} \quad (1)$$

【0032】

なお、 π は円周率、 k は振動腕230の振動方向の熱伝導率、 ρ は振動腕230の質量密度、 C_p は振動腕230の熱容量、 a は振動腕230の振動方向の幅（実効幅）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230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230に溝52、53を設けていない場合の値となる。

20

【0033】

図5に示すように、振動腕230では、側面233、234の間に位置するように溝235、236が形成されている。そのため、振動腕230の屈曲振動時に生じる側面233、234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55、56を迂回するように形成され、熱移動経路が側面233、234間の直線距離（最短距離）よりも長くなる。そのため、振動腕230に溝235、236を設けていない場合と比較して緩和時間が長くなり、熱緩和周波数 f_m が低くなる。

30

【0034】

図6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。同図において、点線で示されている曲線F1は、振動素子200のように振動腕に溝が形成されている場合（振動腕の横断面形状がH型の場合）を示し、実線で示されている曲線F2は、振動腕に溝が形成されていない場合（連結腕の横断面形状が矩形の場合）を示している。

図6に示すように、曲線F1、F2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F1が曲線F2に対して周波数低下方向へシフトする。したがって、 $f / f_m > 1$ の関係を満たせば、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。

40

【0035】

なお、図5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。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。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。

【0036】

50

なお、後述する第１、第２駆動用電極３１０、３６０の構成材料（金属材料）は、振動腕２３０、２４０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２３０では、第１駆動用電極３１０を介する熱伝導が積極的に行われ、振動腕２４０では、第２駆動用電極３６０を介する熱伝導が積極的に行われる。このような第１、第２駆動用電極３１０、３６０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、振動腕２３０では、溝２３５、２３６の底面にて第１駆動用電極３１０を側面２３３側と側面２３４側とに分割し、振動腕２４０では、溝２３５、２３６の底面にて第２駆動用電極３６０を側面２４３側と側面２４４側とに分割することにより、上記のような熱伝導が起きるのを防止または抑制している。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２００が得られる。

10

【００３７】

また、溝２３５、２３６の長さは限定されるものではなく、溝２３５、２３６の先端がハンマーヘッド２６０まで延びていなくてもよいが、特に、本実施形態のように、各溝２３５、２３６の先端がハンマーヘッド２６０まで延びていると、溝の先端周辺で発生する応力集中が緩和されるから、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２３５、２３６の基端が基部２２０まで延びていることによって、これらの境界部での応力集中が緩和される。そのため、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。

【００３８】

図５に示すように、溝２３５、２３６の深さとしては、特に限定されないが、溝２３５の深さを $D1$ とし、溝２３６の深さを $D2$ （本実施形態では、 $D1 = D2$ ）としたとき、 $60\% < (D1 + D2) / D < 100\%$ 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。

20

【００３９】

なお、溝２３５、２３６は振動腕２３０の断面重心が振動腕２３０の断面形状の中心と一致するように、振動腕２３０の位置に対して溝２３５、２３６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２３０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ＣＩ値を小さくすることができる。

30

【００４０】

また、主面２３１の溝２３５のＸ軸方向両側に位置する土手部（振動腕２３０の長手方向に直交する幅方向に沿って溝２３５を挟んで並んでいる主面）２３１ａおよび主面２３２の溝２３６のＸ軸方向両側に位置する土手部２３２ａの幅（Ｘ軸方向の長さ）を $W3$ としたとき、 $0 \mu m < W3 < 20 \mu m$ なる関係を満足するのが好ましい。これにより、振動素子２００のＣＩ値が十分に低くなる。上記数値範囲の中でも、 $5 \mu m < W3 < 9 \mu m$ なる関係を満足するのが好ましい。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、 $0 \mu m < W3 < 5 \mu m$ なる関係を満足するのも好ましい。これにより、振動素子２００のＣＩ値をより低くすることができる。

40

【００４１】

図１に示すように、ハンマーヘッド２６０は、ＸＹ平面視にて、Ｘ軸方向を長手とする略矩形である。振動腕２３０の全長（Ｙ軸方向の長さ）を L とし、ハンマーヘッド２６０の長さ（Ｙ軸方向の長さ）を $H1$ としたとき、振動腕２３０は、 $0.012 < H1 / L < 0.3$ なる関係を満足している。この関係を満足していれば、特に限定されないが、さらに、 $0.046 < H1 / L < 0.223$ なる関係を満足しているのが好ましい。このような関係を満足することによって、振動素子２００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２００となる。ここで、本実施形態では、振動腕２３０の基端を、側面２３４が基部２２０と接続されている箇所と、側面２３３が基部２２０と接続されている箇所を結んだ線分の、振動腕２３０の幅（Ｘ軸方向の長さ）

50

中心に位置する箇所を設定している。

【0042】

また、振動腕230は、腕部261の幅(X軸方向の長さ)を $W1$ とし、ハンマーヘッド59の幅(X軸方向の長さ)を $W2$ としたとき、 $1.5 \leq W2/W1 \leq 10.0$ なる関係を満足しているのが好ましく、さらに、 $1.6 \leq W2/W1 \leq 7.0$ なる関係を満足しているのがより好ましい。このような関係を満足することにより、ハンマーヘッド260の幅を広く確保すると共に、振動腕230が振れることを防ぐことができる。そのため、ハンマーヘッド260の長さ $H1$ が上述のように比較的短くても(L の30%未満であっても)、ハンマーヘッド59による質量効果を十分に発揮することができる。したがって、 $1.5 \leq W2/W1 \leq 10.0$ なる関係を満足することによって、振動腕230の全長 L が抑えられ、振動素子200の小型化を図ることができる。

10

このように、振動腕230では、 $0.012 < H1/L < 0.3$ なる関係と、 $1.5 \leq W2/W1 \leq 10.0$ なる関係を満足することによって、これら2つの関係の相乗効果によって、小型化で CI 値が十分に抑えられている振動素子200が得られる。

【0043】

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、Zカット水晶板でY方向に振動腕が延び、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、Zカット水晶板でX方向に振動腕が延び、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

【0044】

また、ハンマーヘッド260、270は、振動素子200を所望の屈曲振動周波数で振動させた際に、互いに接触しない程度に、可能な限り近接して設けられている。ハンマーヘッド260およびハンマーヘッド270の離間距離 $H2$ (図1参照)は、 $0.033D \leq H2 \leq 0.489D$ (μm)の関係を満たすように設けられているのが好ましい。以下、上記関係式の算出方法について説明する。

30

【0045】

ここで、ウェットエッチングにより、板厚 D (μm)のZカット水晶板を貫通するのに要する時間を $t1$ (分)このZカット水晶板を実際に加工する時間を $t2$ (分)、所定の係数を k として、時間 $t2$ の間にZカット水晶板が $\pm X$ 軸方向にエッチングされる量(サイドエッチング量)の和を X (μm)とすると、 X は、 $X = t2/t1 \times D \times k$ で表すことができる。この式において、 $t1 = t2$ とした場合には、 $X = D \times k \dots$ (式1)となる。

【0046】

40

そこで、実際に厚さ $D = 100$ (μm)のZカット水晶板が貫通するまで表裏の主面からウェットエッチングし、貫通した時点でウェットエッチングを終了する。その際の X を測定したところ、 X は 1.63 (μm)であった。この実測値を(式1)に代入することにより、 $k = 0.0163$ と計算される。これは一方の主面からウェットエッチングした場合に換算すると、 $k = 0.0326$ と計算される。

【0047】

また、振動素子200を作成する場合には、振動腕230、240の断面形状が高い対称性をもつことによって振動漏れを抑圧するために、 $2 \leq t2/t1 \leq 30 \dots$ (式2)とするのが好ましい。この(式2)および(式1)に基づいて、表裏の主面からウェットエッチングした場合には、 $0.033D \leq H2 \leq 0.489D$ (μm)、一方の主

50

面からウェットエッチングした場合には $0.065D(\mu\text{m}) \leq H2 \leq 0.978D(\mu\text{m})$ が得られる。なお、振動素子 200 をより小型化する観点から、表裏主面からウェットエッチングすることによって X を小さくすることが好ましいため、上記関係式 $0.033D(\mu\text{m}) \leq H2 \leq 0.489D(\mu\text{m})$ が導き出される。

なお、以上説明した離間距離 $H2$ の好ましい条件を示す関係式は、支持腕 250 とハンマーヘッド 260、270 との離間距離 $H3$ (図 1 参照) にもそのまま適用することができる。

【0048】

支持腕 250 は、帯状(板状)をなし、基部 220 から $+Y$ 軸方向に延出しており、かつ、振動腕 230、240 の間に位置している。支持腕 250 は、導電性接着剤 451、452 を介してパッケージ 400 に固定される部分である。この支持腕 250 が設けられていることにより、基部 220 に固定用部位、すなわち、導電性接着剤 451、452 と接着する部分を省略することができ、よって、振動素子 200 の小型化を図ることができる。

10

【0049】

また、支持腕 250 は、幅(X 軸方向の長さ)がほぼ一定となっている先端部(第 1 の部分) 251 と、先端部 251 よりも基端側に設けられ、先端部 251 の平均幅よりもその平均幅が狭い幅減少部(第 2 の部分) 252 とを有している。この幅減少部 252 が設けられていることにより、振動素子 200 では、 X 同相モードの共振周波数をメインモードの共振周波数から低周波側に遠ざけることができる。これにより、メインモードの振動に X 同相モードの振動が混在するのを防止することができる。よって、優れた振動特性を有する振動子 100 を得ることができる。なお、図 1 では幅減少部 252 は $\pm X$ 方向から平面視で円弧状にくりぬかれた形状となっているが、これに限られるものではなく、先端部 251 の平均幅よりも幅が狭く幅が一定の領域が、幅減少部 252 に設けられていると、 X 同相モードの共振周波数をメインモードの共振周波数から低周波側にさらに遠ざけることができる。また、先端部 251 の平均幅よりも幅が狭く幅が一定となっている部分の $+Y$ 方向の端部には $+Y$ 方向へ向かって幅が漸次広がっている部分、 $-Y$ 方向の端部には $-Y$ 方向へ向かって幅が漸次広がっている部分を含んで構成された幅減少部 252 とすることによって、衝撃時に幅減少部 252 と先端部 251 との境界や幅減少部 252 と基部 220 との境界に応力が集中することを防ぎ、破損の虞を低減することができる。

20

30

【0050】

先端部 251 は、短冊状をなし、導電性接着剤 451 が接触する接触領域に開放する凹部 254 と、両側面に設けられた一对の切欠き 256 が形成されている。

図 1、図 2 および図 9 に示すように、凹部 254 は、先端部 251 の下面の平面視で四角形をなしている。凹部 254 の内側面には、後述の接続部 351 が設けられている。

一对の切欠き 256 は、先端部 251 の長手方向の途中に設けられ、先端部 251 の平面視で、両側面が略 V 字状に切り欠かれた部分である。

【0051】

幅減少部 252 の幅(最小幅) $W5$ は、先端部 251 の幅(平均幅) $W4$ の $20 \sim 50\%$ が好ましく、 $25 \sim 45\%$ がより好ましい(図 3(b) 参照)。これにより、 X 同相モードの共振周波数をメインモードの共振周波数からより確実に遠ざけることができると共に、衝撃によって幅減少部 252 が破損してしまう虞を低減することができる。したがって、より優れた振動特性を安定して発揮する振動子 100 を得ることができる。

40

また、幅減少部 252 の両側面を含め、振動基板 210 の側面には、 Z 軸方向の途中に、 X 軸方向に向って突出した一对の突出部 253 が形成されている。この突出部 253 は、例えば、振動素子 200 をウェットエッチングにより形成する際に生じるヒレで構成することができる。

以上、振動基板 210 について説明した。次に、この振動基板 210 上に形成された電極 300 について説明する。

【0052】

50

第1駆動用電極310は、振動腕230の各溝235、236の内側面と、振動腕240の各側面243、244とに形成されている。溝235の第1駆動用電極310は、基部220の上面と側面とに跨って形成された配線320を介して側面243の第1駆動用電極310に接続され、溝236の第1駆動用電極310は、基部220の下面と側面とに跨って形成された配線330を介して側面244の第1駆動用電極310に接続されている。また、側面244の第1駆動用電極310は、ハンマーヘッド270に形成された配線340を介して側面243の第1駆動用電極310に接続されている。配線350の先端部は、後述する導電性接着剤451を介して接続電極431との電氣的接続を図る接続部(第1導電パッド)351を構成している。接続部351は、支持腕250の凹部254に内側面および、その周辺部に形成されている。

10

【0053】

配線350は、側面243から基部220の上面に延在し、そこから支持腕250の上面を介して支持腕250の先端まで伸びている。また、配線350は、支持腕250の先端面を介して支持腕250の下面に延在している。この配線350は、支持腕250の先端面を覆うように設けられており、かつ、先端部(幅減少部よりも+Y軸側の支持腕250の部分)の±X軸側側面を覆っているが、これに限られるものではなく、基部220の上面に延在する配線350と接続部351とが電氣的に接続されていれば、支持腕250の先端面、前記先端部の+X軸側側面、前記先端部の-X軸側側面、のうち少なくとも一つの面の一部の領域に形成されていけばよい。

【0054】

20

一方、第2駆動用電極360は、振動腕230の各側面233、234と、振動腕240の各溝245、246の内面とに形成されている。溝245の第2駆動用電極360は、基部220の上面に形成された配線370を介して側面234の第2駆動用電極360に接続され、溝246の第2駆動用電極360は、基部220の下面に形成された配線380を介して側面233の第2駆動用電極360に接続されている。また、側面233に形成された第2駆動用電極360は、ハンマーヘッド260に形成された配線390を介して側面234に形成された第2駆動用電極360に接続されている。

【0055】

また、配線380は、基部220の下面にて2つに分岐しており、分岐した一方の部分380'が前述したように側面233の第2駆動用電極360に接続され、他方の部分380"が支持腕250の幅減少部252に向う。また、部分380"の先端部は、幅減少部252に位置し、他の部分と比較して幅が広くなっており、導電性接着剤452を介して接続電極432との電氣的接続を図る接続部(導電パッド)381を構成している。

30

【0056】

電極300の構成材料としては、特に限定されず、例えば、金(Au)、金合金、白金(Pt)、アルミニウム(Al)、アルミニウム合金、銀(Ag)、銀合金、クロム(Cr)、クロム合金、銅(Cu)、モリブデン(Mo)、ニオブ(Nb)、タングステン(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)等の導電材料を用いることができる。

40

【0057】

以上、振動素子200について説明した。このような振動素子200は、接続部361、281(第1、第2駆動用電極310、360)間に交番電圧を印加すると、振動腕230、240が互いに接近、離間を繰り返すように面内方向(XY平面方向)に所定の周波数で屈曲振動する振動モードで振動する。この振動モードをメインモードと呼ぶこととする。このメインモードにZ逆相モードや、X同相モードなどのスプリアスモードの振動が結合して、メインモードの振動姿態にスプリアスモードの振動姿態が混在してしまう場合がある。スプリアスモードがメインモードに混在することにより振動子100の振動特性が低減する。これは通常、メインモードの振動漏れは極力小さくなる構造になっているものの、スプリアスモードの振動姿態に対する振動漏れは抑圧されない構造であるために

50

、メインモードで振動している際に振動漏れが増大して、Q値の劣化やそれに伴うC I値の劣化が発生してしまう為である。

これを防止するために、メインモードの共振周波数はスプリアスモードの共振周波数から10%以上離れているのが好ましく、14.7%以上離れているのがより好ましい。また、メインモードのC I値は、スプリアスモードのC I値よりも十分低いのが好ましい。

【0058】

さて、図1、図2および図7に示すように、振動子100は、互いに離間して設けられ、振動素子200をパッケージ400に対して固定する導電性接着剤451、452を有している。導電性接着剤451、452は、それぞれ、導電性を有し、Y軸方向に沿って配置されている。これにより、振動素子200を安定的にパッケージ400に対して固定

10

することができるとともに、振動素子200の振動漏れを抑制することができる。導電性接着剤451は、接続電極431と接続部351とに接触しており、これらを電氣的に接続している。また、導電性接着剤451は、支持腕250の下面の先端部と重なっている。

【0059】

一方、導電性接着剤452は、導電性接着剤451よりも基端側に設けられ、接続電極432と接続部381とに接触しており、これらを電氣的に接続している。この導電性接着剤452は、幅減少部252に接触している。具体的には、導電性接着剤452は、支持腕250の先端部と基部220との間、あるいは間を含んで設けられており、かつ、基部220の下面には、非接触である。これにより、振動素子200の振動漏れをより確実に抑制することができると共に、小型化することができる。これは、導電性接着剤が水晶に比べて十分に柔らかいことで、幅減少部252による効果(X同相モードの狂信周波数をメインモードの共振周波数から離す効果)が損なわれないことによる。

20

【0060】

このように導電性接着剤451と導電性接着剤452とを配置することにより、導電性接着剤451と導電性接着剤452とをできる限り離すことができ、よって、導電性接着剤451と導電性接着剤452とが短絡するのを防止することができる。

なお、図8に示すように、導電性接着剤452は、支持腕250と基部220との境界部よりも+Y軸側に設けられていてもよい。これにより、導電性接着剤451と導電性接着剤452との離間距離を十分に確保しつつ、導電性接着剤452を基部220から十分に離間させることができる。よって、導電性接着剤452と導電性接着剤451との短絡を防止することのみならず、基部220の下面に配置された配線との短絡をも防止することができる。

30

【0061】

また、導電性接着剤451および導電性接着剤452のヤング率は、振動素子200のヤング率よりも小さいことが好ましい。導電性接着剤451および導電性接着剤452のヤング率は、50~6000MPaが好ましく、100~5000MPaがより好ましい。これにより、振動素子200の振動漏れをより効果的に抑制することができる。但し、導電性接着剤451、452あるいは振動素子200が等方性を有する材料ではない場合には、次の等方性近似を行うものとする。即ち、ヤング率Eは座標変換後の弾性スティフネス定数 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{44} を用いて下記式(1)~(3)に示すように導出することとする。

40

【0062】

【数1】

$$\mu = \frac{1}{5}(C_{11} - C_{12} + 3C_{44}) \quad (1)$$

【0063】

【数 2】

$$E = \frac{3\lambda + 2\mu}{\lambda + \mu} \mu \quad (2)$$

【0064】

【数 3】

$$\lambda = \frac{1}{5}(C_{11} + 4C_{12} - 2C_{44}) \quad (3)$$

10

【0065】

また、前述したように、支持腕 250 には、導電性接着剤 451 が接触する接触領域に凹部 254 が設けられている。これにより、導電性接着剤 451 の一部が凹部 254 内に入り込むことができる。よって、導電性接着剤 451 の塗布量が比較的多い場合であっても、導電性接着剤 451 が凹部 254 内に貯留される。その結果、導電性接着剤 451 の余剰分が周辺部に広がるのを低減することができる。したがって、導電性接着剤 451 と導電性接着剤 452 とが短絡するのを効果的に抑制することができる。

【0066】

図 7 に示すように、導電性接着剤 452 は、幅減少部 252 の下面から両側面に這い上がり、それらの一部にも接触している。これにより、2 次高調波モード（メインモードたる X 逆相屈曲振動モードを 1 次とした場合の 2 次高調波モード）の振動漏れを大きくすることができる。すなわち、2 次高調波モードの振動を導電性接着剤 452 を介して外部に逃がすことができる。よって、2 次高調波モードの Q 値を劣化させることに伴い 2 次高調波の CI 値を増大させることができ、その結果、振動子 100 を搭載した発振器が誤って 2 次高調波モードの周波数で発信してしまう虞を小さくすることができる。

20

【0067】

また、幅減少部 252 の両側面には突出部 253 が設けられている。これにより、導電性接着剤 452 を塗布する際、例えば、導電性接着剤 452 の粘度が比較的低い場合であっても、導電性接着剤 452 が、幅減少部 252 の上面に回り込むのを防止することができる。よって、配線 350 およびその周辺の配線と接触するのを防止することができる。このように、突出部 253 は、導電性接着剤 452 が幅減少部 252 の上面に回り込むのを防止する塞き止め部として機能する（図 7 参照）。

30

突出部 253 は、前述したように、例えば、ウェットエッチングにより振動素子 200 を形成する際に、エッチングされずに必然的に残存するヒレである。この残存したヒレを積極的に用いることで、振動素子 200 の製造時間を短縮することができるとともに、振動素子 200 の製造コストの削減に寄与する。

【0068】

さらに、基部 220 の先端面（支持腕 250 と基部 220 との境界部）には、非接続領域が設けられている。これにより、導電性接着剤 451 が、基部 220 の先端面に接触した場合であっても、基部 220 の上面および下面に設けられた配線と接触するのを防止することができる。

40

また、一対の切欠き 256 が設けられていることにより、先端部 251 の両側面は、一対の切欠き 256 を介して先端側の領域 500a と基端側の領域 500b とに分割される（図 9 参照）。

【0069】

先端側の領域 500a には、配線 350 が形成されている。また、基端側の領域 500b には、金属膜 500 が形成されており、電極 300 とは、電氣的に接続されていない。すなわち、基端側の領域 500b に形成された金属膜 500 は、電氣的に浮いた状態となっている。

50

このような構成によれば、導電性接着剤 4 5 1 と導電性接着剤 4 5 2 とが、先端部 2 5 1 の両側面を介した短絡を防止することができるとともに、振動素子 2 0 0 の製造が容易となる。以下、後者の理由を振動素子 2 0 0 の製造方法とともに図 1 0 を参照しつつ説明する。なお、図 1 0 は、図 1 中の C - C 断面図であり、この部分を例に挙げて代表的に説明する。

【 0 0 7 0 】

まず、図 1 0 (a) に示すように、振動基板 2 1 0 を用意する。振動基板 2 1 0 は、Z カット水晶基板をウェットエッチングによってパターニングすることにより製造することができる。なお、前述したように、振動基板 2 1 0 の側面には、ヒレが形成されているため、先端部 2 5 1 の両側面（切欠き 2 5 6 に臨む面）は、それぞれ X Y 平面に対して傾斜しており、上面 2 5 7 a、2 5 8 a および下面 2 5 7 b、2 5 8 b に分けることができる。

10

【 0 0 7 1 】

次に、図 1 0 (b) に示すように、例えば、蒸着やスパッタリング等によって、振動基板 2 1 0 の全面に金属膜 3 0 0 ' を成膜した後、この金属膜 3 0 0 ' 上にフォトリソist膜（ポジ型のフォトリソist膜）を成膜し、フォトリソist膜を露光・現像によってパターニングすることにより、電極 3 0 0 の形状に対応したレジストパターンを形成する。

ここで、露光の際には、振動基板 2 1 0 の上面、下面および側面にそれぞれ露光光を照射する必要がある。このうち、上面、下面の露光に関しては、上面側、下面側から露光光を照射することにより簡単に行うことができる。これに対して、側面に露光する場合、露光光を上面側または下面側から斜めに照射する斜め露光を行う必要があるが、側面は、場所によって向きが異なるため、向きが異なる側面ごとに斜め露光を複数回繰り返す行わなければならない。そのため、レジストパターンの形成に手間がかかる。

20

【 0 0 7 2 】

この点において、本実施形態の振動素子 2 0 0 では、支持腕 2 5 0 の基端側に領域 5 0 0 b に形成された金属膜 3 0 0 ' を除去せずに金属膜 5 0 0 として残しておくため、支持腕 2 5 0 の側面への斜め露光を省略することができ、斜め露光の回数を減らすことができる。したがって、レジストパターンの形成工程の削減を図ることができ、電極 3 0 0 の形成が容易となる。

【 0 0 7 3 】

なお、本実施形態では、基部 2 2 0 の先端面（振動腕 2 3 0、2 4 0 と支持腕 2 5 0 との間の部分）に斜め露光を行うことで、当該部分を電氣的に浮いた部分とすることができる。これにより、導電性接着剤 4 5 2 と基部 2 2 0 の上面に配置された配線との短絡を防止することができる。また、この斜め露光は、1 回行えばよいので、振動素子 2 0 0 の製造工程は比較的容易になる。さらに、基部 2 2 0 の先端面にヒレを意図的に形成し、その傾斜した面に露光光を照射すれば、斜め露光は省略することができる。

30

【 0 0 7 4 】

また、金属膜 3 0 0 ' を先端側の領域 5 0 0 a および基端側の領域 5 0 0 b に分割する必要がある。これを実現するためには、各切欠き 2 5 6 にも露光光を照射する必要があるが、各切欠き 2 5 6 に臨む面である上面 2 5 7 a、2 5 8 a は、傾斜しているため、当該部分への露光光の照射は、上面への露光光の照射とともに行うことができる。同様に、下面 2 5 7 b、2 5 8 b は、傾斜しているため、当該部分への露光光の照射は、下面への露光光の照射とともに行うことができる。すなわち、露光の工程（回数）を増やすことなく、切欠き 2 5 6 への露光光の照射を行うことができるため、レジストパターンの形成工程の削減を図ることができ、電極 3 0 0 の形成が容易となる。

40

次に、上述のようにして形成したレジストパターンを介してウェットエッチングすることにより、金属膜 3 0 0 ' のレジストパターンから露出している部分を除去した後、レジストパターンを除去する。以上によって、図 1 0 (c) に示すように、振動素子 2 0 0 が得られる。

【 0 0 7 5 】

50

< 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 1 1 は、本発明の第 2 実施形態に係る振動素子を示す平面図であって、(a) が上面図、(b) が下面図（透視図）である。

以下、この図を参照して本発明の振動子の第 2 実施形態について説明するが、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項はその説明を省略する。

第 2 実施形態では、支持腕の構成が異なること以外は前記第 1 実施形態と同様である。

【 0 0 7 6 】

図 1 1 に示す振動素子 2 0 0 A では、一对の切欠き 2 5 6 が省略されている。しかしながら、前述した露光工程において、支持腕 2 5 0 の側面の一部、具体的には、支持腕 2 5 0 の両側面の長手方向の途中に、斜め露光を行うことにより、当該部分に対応する金属膜 3 0 0 ' を除去して、金属膜 5 0 0 と配線 3 5 0 とを確実に電氣的に遮断した状態とすることができる。

さらに、切欠き 2 5 6 を形成する工程を省略することができ、よって、比較的容易に振動素子 2 0 0 A を得ることができる。

【 0 0 7 7 】

< 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 1 2 は、本発明の第 3 実施形態に係る振動素子を示す平面図であって、(a) が上面図、(b) が下面図（透視図）、図 1 3 は、図 1 2 中の D - D 線断面図である。

以下、この図を参照して本発明の振動子の第 3 実施形態について説明するが、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項はその説明を省略する。

第 3 実施形態では、支持腕の構成が異なること以外は前記第 1 実施形態と同様である。

【 0 0 7 8 】

図 1 2 および図 1 3 に示す振動素子 2 0 0 B には、先端部 2 5 1 の長手方向の途中に設けられた溝 2 5 5 が形成されている。この溝 2 5 5 は、導電性接着剤 4 5 1 が接触する接触領域と、導電性接着剤 4 5 2 が接触する接触領域との間に位置し、接触領域同士を分割している。また、溝 2 5 5 は、X 軸方向に延在しており、その両端は先端部 2 5 1 の両側面にそれぞれ開放している。これにより、前記接触領域同士をより確実に分割することができる。

【 0 0 7 9 】

なお、溝 2 5 5 の幅（Y 軸方向の長さ）は、本実施形態では切欠き 2 5 6 の Y 軸方向の長さと同じだが、切欠き 2 5 6 の Y 軸方向の長さより大きくてもよく、小さくてもよい。また、溝 2 5 5 は、例えば、ウェットエッチングにより形成される。

このような溝 2 5 5 が設けられていることにより、導電性接着剤 4 5 1 の余剰分が導電性接着剤 4 5 2 に向って広がった場合であっても、導電性接着剤 4 5 1 の余剰分は、溝 2 5 5 内に入り込むことができる。よって、導電性接着剤 4 5 1 と導電性接着剤 4 5 2 とが短絡するのをより確実に防止することができる。

【 0 0 8 0 】

< 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 1 4 は、本発明の第 4 実施形態に係る振動素子を示す平面図であって、(a) が上面図、(b) が下面図（透視図）、図 1 5 は、図 1 4 中の E - E 線断面図である。

以下、この図を参照して本発明の振動子の第 4 実施形態について説明するが、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項はその説明を省略する。

第 4 実施形態では、支持腕の構成が異なること以外は前記第 1 実施形態と同様である。

【 0 0 8 1 】

図 1 4 に示す振動素子 2 0 0 C の支持腕 2 5 0 の凹部 2 5 4 は、厚さ方向（Z 軸方向）に貫通しており、貫通孔 2 5 9 を構成している。この貫通孔 2 5 9 は、導電性接着剤 4 5 1 が接触している接触領域を含む下面と反対側の面である上面にも開放している。

貫通孔 2 5 9 の X 軸方向の長さおよび Y 軸方向の長さは、特に限定されないが、溝 2 3 5、2 3 6、2 4 5、2 4 6 よりも、貫通孔 2 5 9 の X 軸方向の長さが長く、更に貫通孔 2 5 9 の Y 軸方向の長さは貫通孔 2 5 9 の X 軸方向の長さよりも長いのが好ましい。貫通孔 2 5 9 の Y 軸方向の長さが貫通孔 2 5 9 の X 軸方向長さよりも長いことにより、貫通孔 2 5 9 をウェットエッチングにより形成する際に、貫通孔 2 5 9 の Y 軸方向内周面に形成されるヒレによって貫通を阻害されるのを防止することができる。さらに、溝 2 3 5、2 3 6、2 4 5、2 4 6 よりも、貫通孔 2 5 9 の X 軸方向の長さが長い事によって、上側および下側から同時に外形形状を形成する際、確実に貫通させる事ができる。

【 0 0 8 2 】

図 1 5 に示すように、配線 3 5 0 は、貫通孔 2 5 9 の内側面に延在している。配線 3 5 0 は、貫通孔 2 5 9 の上側および下側の開口部の縁部にも設けられている。この貫通孔 2 5 9 の内側面と、上側および下側の開口部の縁部とに設けられた配線 3 5 0 により、接続部 3 5 1 ' が構成されている。

このような貫通孔 2 5 9 が設けられていることにより、導電性接着剤 4 5 1 は貫通孔 2 5 9 に入り込むことができ、振動素子 2 0 0 C と導電性接着剤 4 5 1 との接触面積を大きくすることができる。これにより、振動素子 2 0 0 C とベース基板 4 1 0 との接合強度が向上する。また、導電性接着剤 4 5 1 と接続部 3 5 1 ' との接触面積を大きく確保することができる。よって、導電性接着剤 4 5 1 と接続部 3 5 1 ' とは、より確実に電氣的に接続される。

【 0 0 8 3 】

さらに、支持腕 2 5 0 の先端面に配線 3 5 0 を設けるのを省略することができるため、支持腕 2 5 0 の先端面に斜め露光を行う工程を省略することができる。これにより、支持腕 2 5 0 の先端面に形成されている金属膜 3 0 0 ' は、電氣的に浮いている金属膜 5 0 0 となる。

一般的には、支持腕 2 5 0 の先端面に斜め露光を行う工程は、振動腕 2 3 0、2 4 0 の長さやハンマーヘッド 2 6 0、2 7 0 の形状、これらの離間距離等にもよるが、振動腕 2 3 0、2 4 0 が支持腕 2 5 0 よりも + Y 軸方向に延出している分、困難になる傾向がある。しかしながら、本実施形態の振動素子 2 0 0 C によれば、そのような工程を省略することができるため、振動素子 2 0 0 C の製造工程を簡略化することができる。

【 0 0 8 4 】

< 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 1 6 は、本発明の第 5 実施形態に係る振動素子を示す平面図であって、(a) が上面図、(b) が下面図 (透視図) である。

以下、この図を参照して本発明の振動子の第 5 実施形態について説明するが、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項はその説明を省略する。

第 5 本実施形態では、支持腕の構成が異なること以外は前記第 4 実施形態と同様である。

【 0 0 8 5 】

図 1 6 に示す振動素子 2 0 0 D は、前述した貫通孔 2 5 9 および溝 2 5 5 の双方を有している。これにより、導電性接着剤 4 5 1 を塗布する工程において、導電性接着剤 4 5 1 の塗布量が比較的多い場合であっても、導電性接着剤 4 5 1 の余剰分は、貫通孔 2 5 9 内に入り込むとともに、溝 2 5 5 内に入り込むことができる。このように、振動素子 2 0 0 D では、振動素子 2 0 0 D とベース基板 4 1 0 との高い接合強度で接合し得る効果と、導電性接着剤 4 5 1 および導電性接着剤 4 5 2 の短絡を確実に防止する効果とを両立することができる。

【 0 0 8 6 】

< 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 7 は、本発明の第 6 実施形態に係る振動素子を示す平面図であって、(a) が上面

図、(b)が下面図(透視図)である。

以下、この図を参照して本発明の振動子の第6実施形態について説明するが、前述した実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項はその説明を省略する。

第6実施形態では、支持腕の構成が異なること以外は前記第1実施形態と同様である。

【0087】

図17に示す振動素子200Eはでは、切欠き256が省略されている。これにより、比較的容易に振動素子200Eを得ることができる。

また、支持腕250の側面には、電氣的に浮いている金属膜500が位置している。このため、例えば、支持腕250の側面に導電性接着剤451および導電性接着剤452が這い上がったとしても、導電性接着剤451および導電性接着剤452と、第1駆動用電極310および第2駆動用電極360との短絡を防止することができる。その結果、導電性接着剤451および導電性接着剤452の量を厳密に調整することが不要となる。したがって、振動素子200の製造工程を簡略化することができる。

【0088】

2. 発振器

次に、本発明の振動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18に示す発振器900は、振動素子200と、振動素子200を収納するパッケージ400Aと、振動素子200を駆動するためのICチップ(チップ部品)600とを有している。

【0089】

パッケージ400Aは、ベース基板410Aと、ベース基板410Aに接合されたリッド420Aとを有している。

ベース基板410Aは、上面に開放する第1凹部411Aと、下面に開放する第2凹部412Aとを有している。

第1凹部411Aの開口は、リッド420Aによって塞がれており、その内側に、振動素子200が収納されている。また、第1凹部411A内には、2つの接続電極431、432が形成されている。第1凹部411A内の振動素子200は、支持腕250において、一对の導電性接着剤451、452を介してベース基板410Aに支持、固定されている。また、一方の導電性接着剤451は、接続電極431と接続部351とを電氣的に接続するように設けられており、他方の導電性接着剤452は、接続電極432と接続部381とを電氣的に接続するように設けられている。

【0090】

一方、第2凹部412A内にはICチップ600が収容されており、このICチップ600は、接着剤を介してベース基板410Aに固定されている。また、第2凹部412A内には、少なくとも2つのIC接続電極435、436が形成されている。IC接続電極435は、ボンディングワイヤーによってICチップ600と電氣的に接続されているとともに、図示しない貫通電極や層間配線を介して接続電極431と電氣的に接続されている。同様に、IC接続電極436、ボンディングワイヤーによってICチップ600と電氣的に接続されているとともに、図示しない貫通電極や層間配線を介して接続電極432と電氣的に接続されている。また、第2凹部412A内には樹脂材料700が充填されており、この樹脂材料700によって、ICチップ600が封止されている。

ICチップ600は、振動素子200の駆動を制御するための駆動回路(発振回路)を有しており、このICチップ600によって振動素子200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。

【0091】

3. 電子機器

次いで、本発明の振動子を適用した電子機器(本発明の電子機器)について、図19～図21に基づき、詳細に説明する。

図19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

10

20

30

40

50

コンピューター１１００は、キーボード１１０２を備えた本体部１１０４と、表示部２００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ー１１００には、発振器９００（振動子１００）が内蔵されている。

【００９２】

図２０は、本発明の振動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２００が配置されている。このような携帯電話機１２００には、発振器９００（振動子１００）が内蔵されている。

10

【００９３】

図２１は、本発明の振動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。

【００９４】

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ット１３０４が設けられている。

20

【００９５】

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、メモリー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、メモリー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、発振器９００（振動子１００）が内蔵されている。

30

【００９６】

４．移動体

次いで、本発明の振動子を適用した移動体（本発明の移動体）について、図２２に基づき、詳細に説明する。

図２２は、本発明の振動子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９００（振動子１００）が内蔵されている。

40

【００９７】

なお、本発明の振動子を備える電子機器は、図１９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２０の携帯電話機、図２１のデジタルスチルカメラ、図２２の移動体の他にも、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

50

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。

【0098】

以上、本発明の振動子、発振器、電子機器および移動体を図示の実施形態について説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、振動子、発振器、電子機器および移動体を構成する各部は、同様の機能を発揮し得る任意の構成のものと置換することができる。また、任意の構成物が付加されていてもよい。

また、本発明の振動子、発振器、電子機器および移動体は、前記各実施形態のうちの、任意の2以上の構成(特徴)を組み合わせたものであってもよい。

10

【符号の説明】

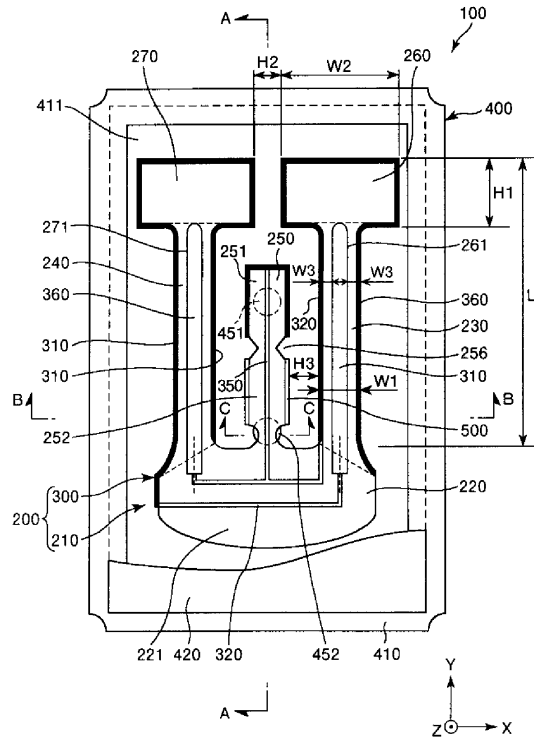
【0099】

100...振動子 200、200A、200B、200C、200D、200E...振動素子 210...振動基板 220...基部 221...縮幅部 230、240...振動腕 231、232、241、241...主面 231a、231b...土手部 233、234、243、244...側面 235、236、245、246...溝 250...支持腕 251...先端部 252...幅減少部 253...突出部 254...凹部 255...溝 256...切欠き 257a、258a...上面 257b、258b...下面 259...貫通孔 260、270...ハンマーヘッド 261、271...腕部 300...電極 300'...金属膜 310...第1駆動用電極 320、330、340、350...配線 351、351'...接続部 360...第2駆動用電極 370、380、390...配線 380'、380"...部分 381...接続部 410...ベース基板 500...金属膜 400、400A...パッケージ 410...ベース基板 411...凹部 411A...第1凹部 412A...第2凹部 420、420A...リッド 431、432...接続電極 433、434...実装電極 451、452...導電性接着剤 500...金属膜 500a、500b...領域 600...ICチップ 700...樹脂材料 900...発振器 1102...キーボード 1104...本体部 1106...表示ユニット 1200...携帯電話機 1202...操作ボタン 1204...受話口 1206...送話口 1300...デジタルスチルカメラ 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 1430...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 2000...表示部 H1、H2、H3...距離 L...長さ W1、W2、W3、W4、W5...幅 S...空間 D...厚さ D1、D2...深さ

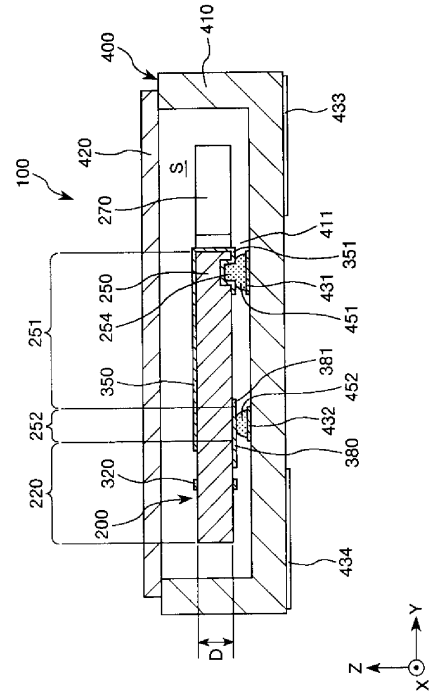
20

30

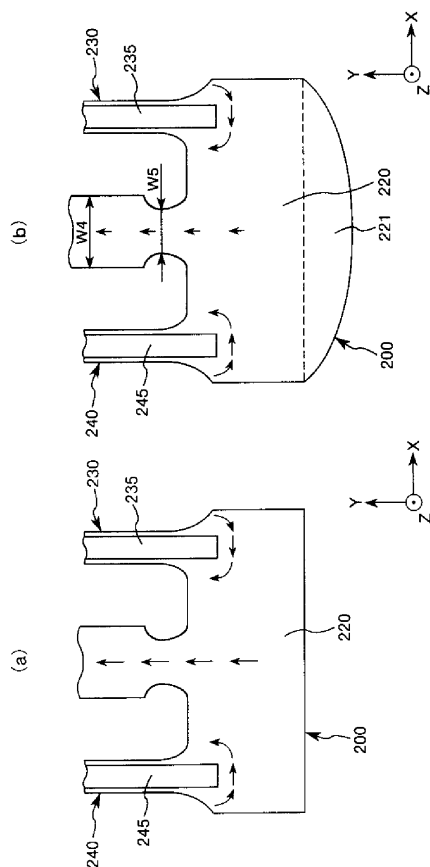
【図 1】



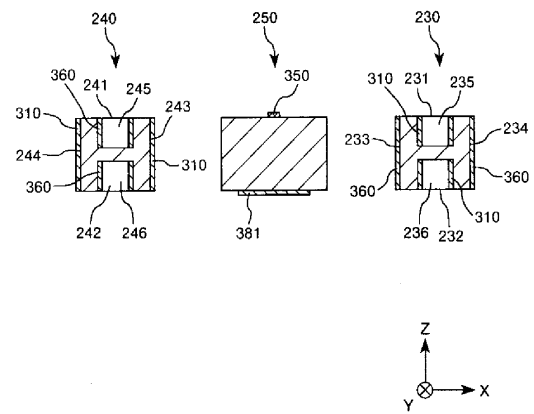
【図 2】



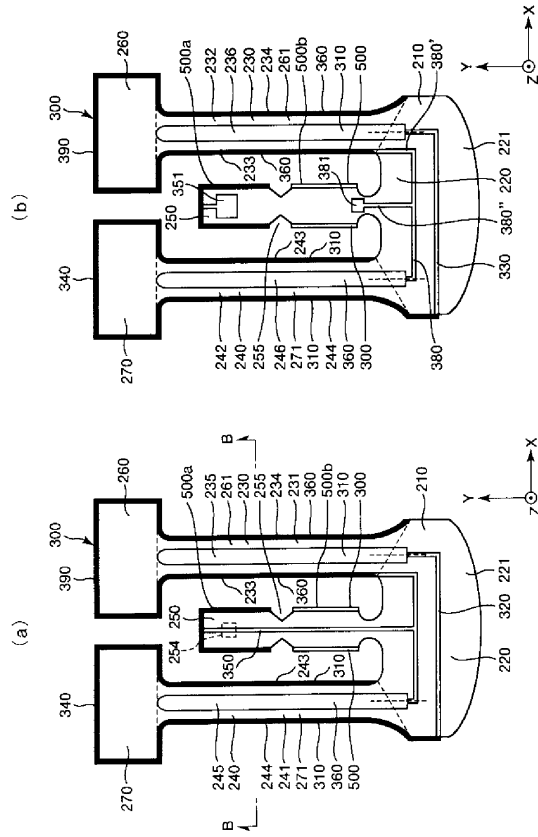
【図 3】



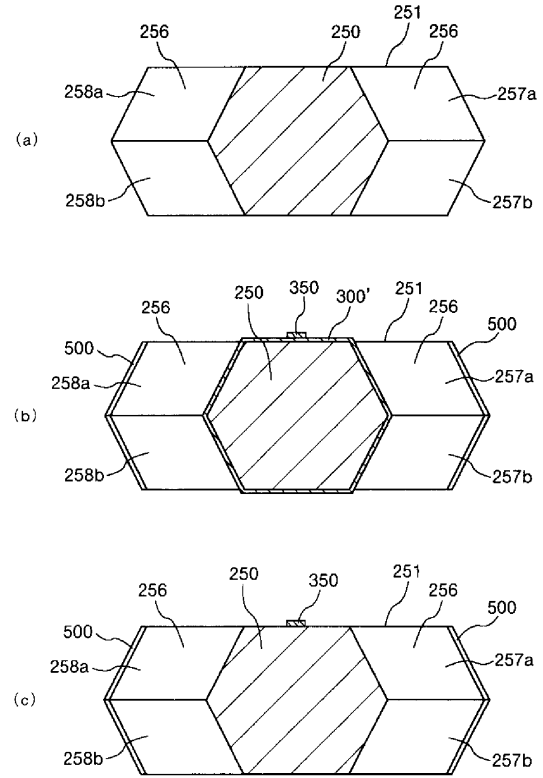
【図 4】



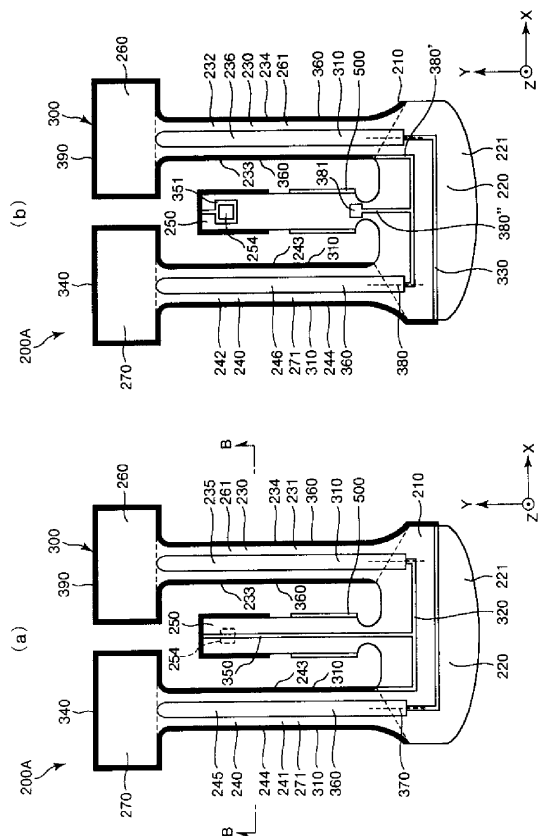
【図 9】



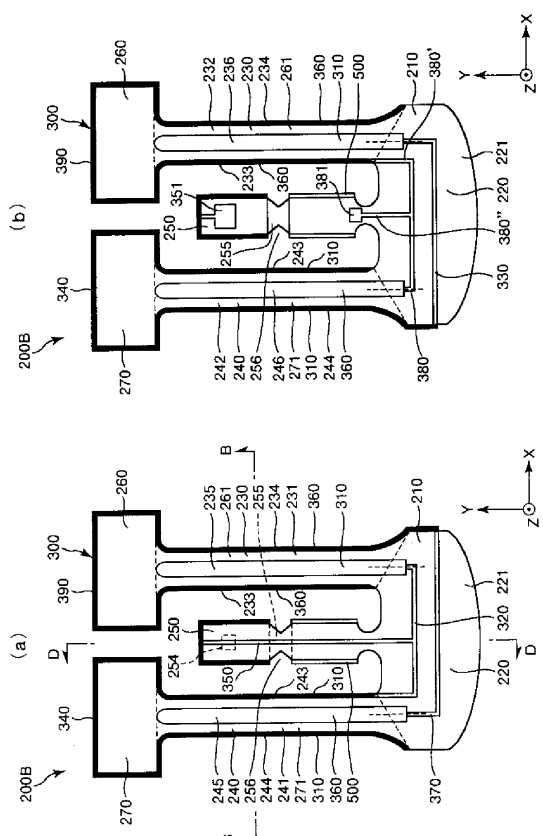
【図 10】



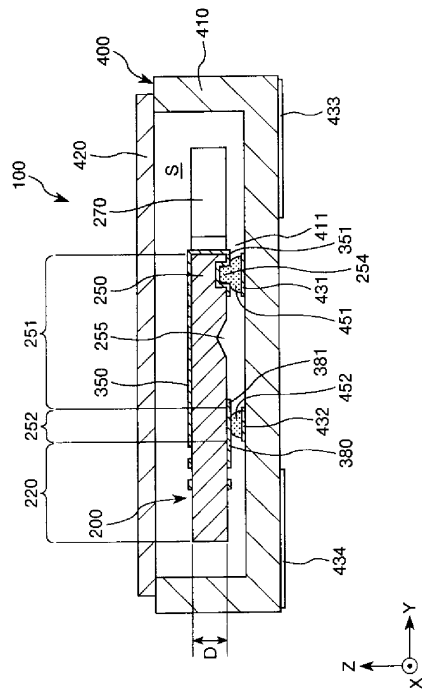
【図 11】



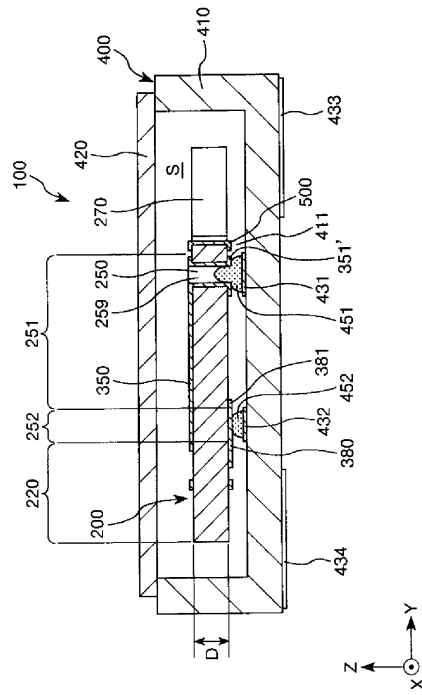
【図 12】



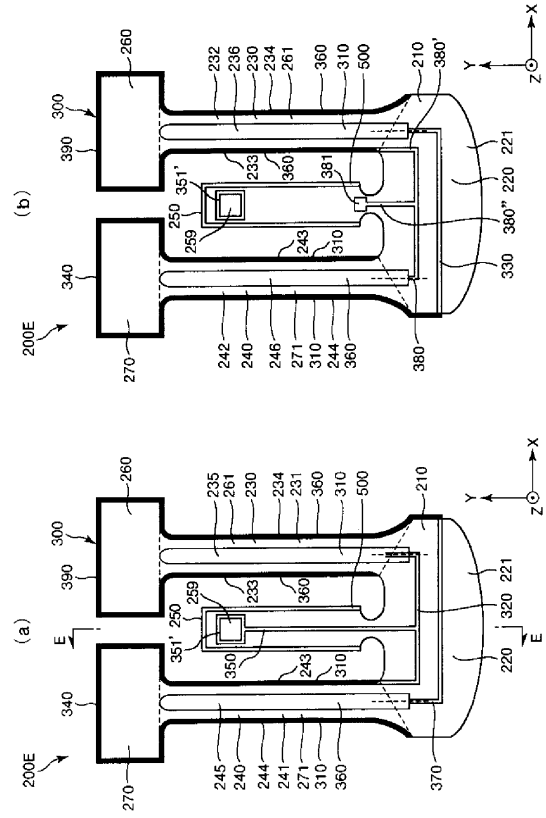
【 図 1 3 】



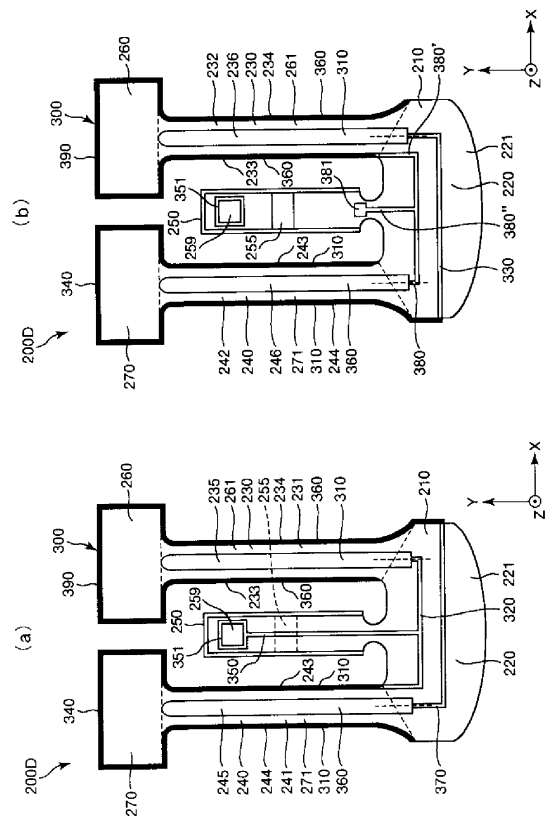
【 図 1 5 】



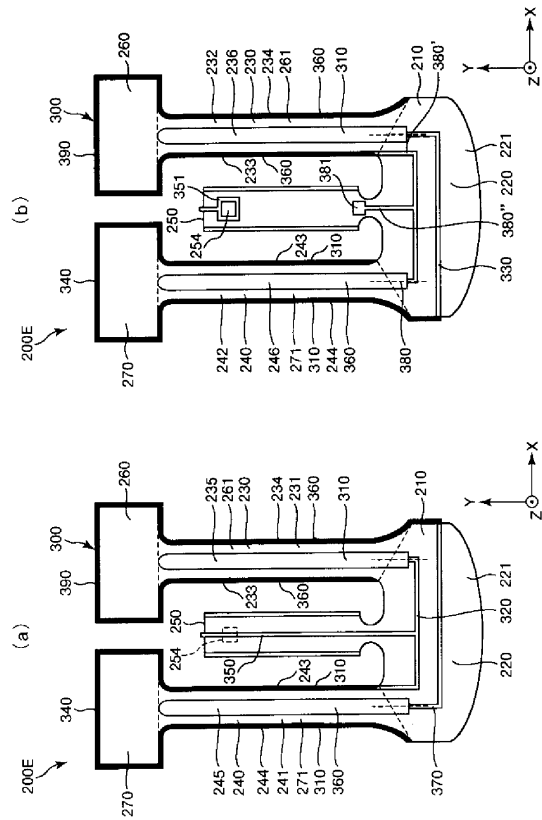
【 図 1 4 】



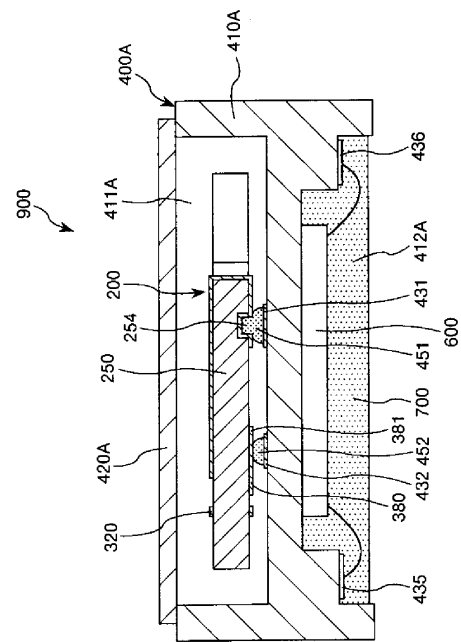
【 図 1 6 】



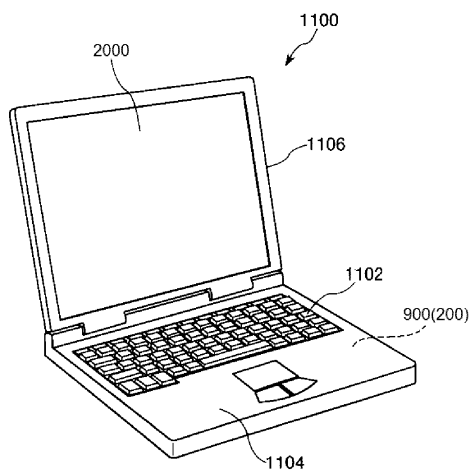
【 図 1 7 】



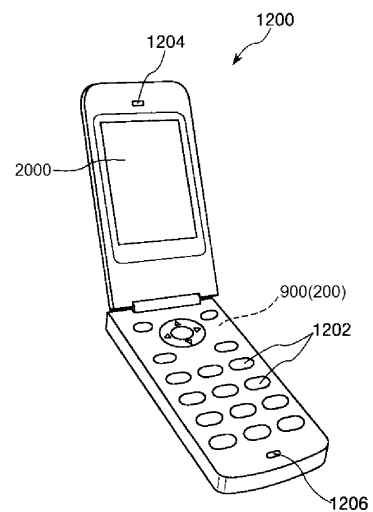
【 図 1 8 】



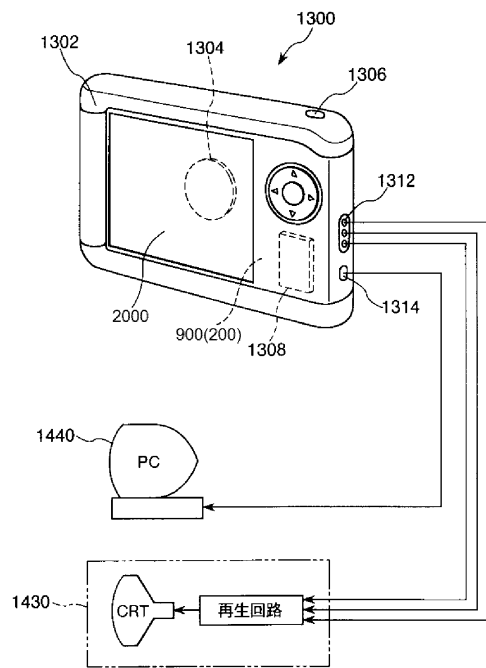
【 図 19 】



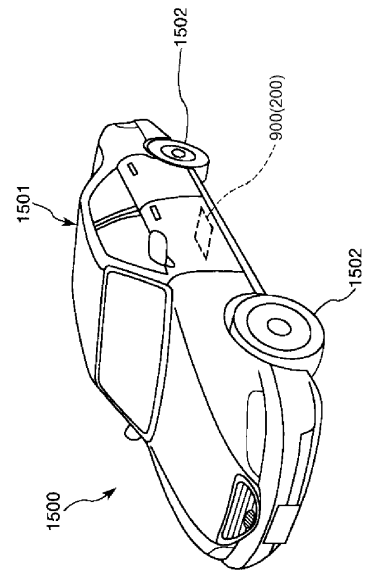
【 図 2 0 】



【図 21】



【図 22】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-345519(JP,A)
特開2006-345518(JP,A)
特公昭48-037392(JP,B1)
実公昭49-046283(JP,Y1)
特開2011-078110(JP,A)
特開2010-206821(JP,A)
特開2008-118501(JP,A)
特開2010-178064(JP,A)
特開2011-211672(JP,A)
特開2005-136705(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03H	9/19
H03B	5/32
H03H	9/02
H03H	9/215