

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6349622号
(P6349622)

(45) 発行日 平成30年7月4日(2018.7.4)

(24) 登録日 平成30年6月15日(2018.6.15)

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

請求項の数 12 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2013-52489 (P2013-52489)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成25年3月14日 (2013.3.14)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2014-179803 (P2014-179803A)		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(43) 公開日	平成26年9月25日 (2014.9.25)	(74) 代理人	100091292
審査請求日	平成28年3月11日 (2016.3.11)		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】 振動素子、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】

互いに直交する方向を第1の方向および第2の方向としたとき、
基部と、
前記基部から前記第1の方向に沿って延出し、前記第2の方向に沿って並んでいる1対の振動腕と、
を含み、
前記振動腕は、
腕部と、
前記腕部の前記基部とは反対側の先端側に位置し、前記腕部よりも前記第2の方向に沿った長さが長い広幅部と、
を含み、
前記第1の方向および前記第2の方向に沿っており、かつ、前記基部から前記腕部に亘って平坦な主面を有し、

前記振動腕の前記第1の方向に沿った長さをL、
前記広幅部の前記第1の方向に沿った長さをHとしたとき、
 $4.6\% < H / L < 22.3\%$

なる関係を満足し、

前記腕部の前記第2の方向に沿った長さをW1、

前記広幅部の前記第2の方向に沿った長さをW2としたとき、

10

20

1.5 W2/W1 10.0

なる関係を満足していることを特徴とする振動素子。

【請求項2】

前記W1および前記W2が、1.6 W2/W1 7.0なる関係を満足している請求項1に記載の振動素子。

【請求項3】

前記腕部の主面には前記第1の方向に沿って延びている有底の溝部が設けられている請求項1または2に記載の振動素子。

【請求項4】

前記広幅部は、
前記腕部の前記先端側に接続されている本体部と、
前記本体部から前記基部側へ向けて、平面視で前記腕部を間に挟んで、それぞれ突出している1対の突出部と、
を含み、

10

前記1対の突出部は、前記腕部と離間して配置されている請求項1ないし3のいずれか1項に記載の振動素子。

【請求項5】

前記第1の方向および前記第2の方向の両方向に直交する方向を第3の方向としたとき、

前記広幅部は、前記突出部と前記腕部とを連結し、前記腕部および前記突出部よりも前記第3の方向に沿った長さが短い連結部を含む請求項4に記載の振動素子。

20

【請求項6】

前記基部は、前記振動腕が延出している側とは反対側に、前記振動腕から離れるに従い前記第2の方向の長さが漸減している縮幅部を含む請求項1ないし5のいずれか1項に記載の振動素子。

【請求項7】

前記1対の振動腕の間に位置し、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項に記載の振動素子。

【請求項8】

前記基部に接続され、平面視で前記第2の方向において前記1対の振動腕を間に挟み、前記第1の方向に沿って延在している1対の支持腕を含む請求項1ないし6のいずれか1項に記載の振動素子。

30

【請求項9】

請求項1ないし8のいずれか1項に記載の振動素子と、
前記振動素子を搭載したパッケージと、を含むことを特徴とする振動子。

【請求項10】

請求項1ないし8のいずれか1項に記載の振動素子と、
前記振動素子と電氣的に接続されている発振回路と、を備えていることを特徴とする発振器。

【請求項11】

請求項1ないし8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。

40

【請求項12】

請求項1ないし8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】

50

【 0 0 0 2 】

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 に記載の振動素子は、音叉型をなしており、基部と、基部から延出する一对の振動腕とを有している。また、小型化を図り、振動特性を高める目的で、各振動腕の先端部にハンマーヘッドと言われる錘部（広幅部）が形成されている。例えば、特許文献 1 ではハンマーヘッドの長さが振動腕の全長の 30% 以上に設定されており、特許文献 2、3 ではハンマーヘッドの長さが振動腕の全長の 35% ~ 41% に設定されている。しかしながら、特許文献 1 ~ 3 のようにハンマーヘッドの長さを振動腕の全長に対して長くし過ぎてしまうと、振動腕が屈曲振動するとき、振動腕の屈曲変形が大きく発生する領域、即ち電氣的に効率よく励振することのできる領域であって、広幅部よりも幅の狭い腕部の領域が減少することによって、振動素子の C I 値が高くなってしまい、振動損失が大きくなってしまう。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 3 】

【特許文献 1】特開 2011 - 19159 号公報

【特許文献 2】特開 2011 - 199331 号公報

【特許文献 3】特開 2012 - 129904 号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

本発明の目的は、C I 値の上昇を低減しつつ、優れた振動特性を発揮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。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

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]

30

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

前記基部から前記第 1 の方向に沿って延出し、前記第 2 の方向に沿って並んでいる 1 対の振動腕と、

を含み、

前記振動腕は、

腕部と、

前記腕部の前記基部とは反対側の先端側に位置し、前記腕部よりも前記第 2 の方向に沿った長さが長い広幅部と、

を含み、

40

前記第 1 の方向および前記第 2 の方向に沿っており、かつ、前記基部から前記腕部に亘って平坦な主面を有し、

前記振動腕の前記第 1 の方向に沿った長さを L、

前記広幅部の前記第 1 の方向に沿った長さを H としたとき、

$$4.6\% < H / L < 22.3\%$$

なる関係を満足し、

前記腕部の前記第 2 の方向に沿った長さを W 1、

前記広幅部の前記第 2 の方向に沿った長さを W 2 としたとき、

$$1.5 \leq W 2 / W 1 \leq 10.0$$

なる関係を満足していることを特徴とする。

50

これにより、C I 値の上昇を低減しつつ、優れた振動特性を発揮することのできる振動素子が得られる。

【0006】

[適用例2]

本発明の振動素子では、前記W1および前記W2が、 $1.6 < W2 / W1 < 7.0$ なる関係を満足していることが好ましい。

これにより、C I 値の上昇をより効果的に低減することができる。

【0007】

[適用例3]

本発明の振動素子では、前記腕部の主面には前記第1の方向に沿って延びている有底の溝部が設けられていることが好ましい。

これにより、熱弾性損失を低減することができ、より優れた振動特性を発揮することができる。

【0008】

[適用例4]

本発明の振動素子では、前記広幅部は、前記腕部の前記先端側に接続されている本体部と、前記本体部から前記基部側へ向けて、平面視で前記腕部を間に挟んで、それぞれ突出している1対の突出部と、

を含み、

前記1対の突出部は、前記腕部と離間して配置されていることが好ましい。

これにより、振動腕の全長を抑えつつ、広幅部の質量を高めることができる。言い換えると、広幅部の質量効果を損なうことなく、腕部を長く確保することができる。

【0009】

[適用例5]

本発明の振動素子では、前記第1の方向および前記第2の方向の両方向に直交する方向を第3の方向としたとき、

前記広幅部は、前記突出部と前記腕部とを連結し、前記腕部および前記突出部よりも前記第3の方向に沿った長さが短い連結部を含むことが好ましい。

これにより、振動腕の全長を抑えつつ、広幅部の質量を高めることができる。言い換えると、広幅部の質量効果を損なうことなく、腕部を長く確保することができる。

【0010】

[適用例6]

本発明の振動素子では、前記基部は、前記振動腕が延出している側とは反対側に、前記振動腕から離れるに従い前記第2の方向の長さが漸減している縮幅部を含むことが好ましい。

これにより、振動腕の振動が相殺（緩和・吸収）され、振動漏れを低減することができる。そのため、優れた振動特性を有する振動素子が得られる。

【0011】

[適用例7]

本発明の振動素子では、前記1対の振動腕の間に位置し、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部を含むことが好ましい。

支持腕を介して振動素子をパッケージに固定することにより、振動漏れをより少なくすることができる。

【0012】

[適用例8]

本発明の振動素子では、前記基部に接続され、平面視で前記第2の方向において前記1対の振動腕を間に挟み、前記第1の方向に沿って延在している1対の支持腕を含むことが好ましい。

両支持腕を介して振動素子をパッケージに固定することにより、振動漏れをより少なく

10

20

30

40

50

することができる。

【0013】

[適用例9]

本発明の振動子は、本発明の振動素子と、
前記振動素子を搭載したパッケージと、を含むことを特徴とする。
これにより、信頼性の高い振動子が得られる。

[適用例10]

本発明の発振器は、本発明の振動素子と、
前記振動素子と電氣的に接続されている発振回路と、を備えていることを特徴とする。
これにより、信頼性の高い振動子が得られる。

10

【0014】

[適用例11]

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、信頼性の高い電子機器が得られる。

[適用例12]

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、信頼性の高い移動体得られる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の第1実施形態にかかる振動素子の平面図である。

20

【図2】(a)が図1中のA-A線断面図、(b)が図1中のB-B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】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5】Q値と f/f_m の関係を示すグラフである。

【図6】シミュレーションに用いた振動腕の形状および大きさを示す斜視図である。

【図7】実効幅 a を説明する斜視図である。

【図8】ハンマーヘッド占有率と低R1化指数の関係を示すグラフである。

【図9】本発明の第2実施形態にかかる振動素子の平面図である。

【図10】本発明の第3実施形態にかかる振動素子の平面図である。

【図11】本発明の第4実施形態にかかる振動素子の平面図である。

30

【図12】本発明の第5実施形態にかかる振動素子の平面図である。

【図13】本発明の第6実施形態にかかる振動素子の平面図である。

【図14】本発明の第7実施形態にかかる振動素子の平面図である。

【図15】本発明の振動子の好適な実施形態を示す平面図である。

【図16】図15中のC-C線断面図である。

【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。

【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。

40

【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】

【0016】

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。

1. 振動素子

まず、本発明の振動素子について説明する。

<第1実施形態>

50

図1は、本発明の第1実施形態にかかる振動素子の平面図、図2は、(a)が図1中のA-A線断面図、(b)が図1中のB-B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、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5は、Q値と f/f_m の関係を示すグラフ、図6は、シミュレーションに用いた振動腕の形状および大きさを示す斜視図、図7は、実効幅 a を説明する斜視図、図8は、ハンマーヘッド占有率と低R1化指数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。

【0017】

図1および図2に示すように、振動素子2は、水晶基板3と、水晶基板3上に形成された第1、第2駆動用電極84、85とを有している。

10

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。

【0018】

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。

20

【0019】

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 μ m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、ウエットエッチングによって水晶基板3を形成(パターニング)する場合、振動腕5と基部4の境界部や後述する腕部51とハンマーヘッド59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 μ m以上、300 μ m以下程度であるのが好ましく、100 μ m以上、150 μ m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、第1、第2駆動用電極84、85を水晶基板3の側面(後述する側面513、514、613、614)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。

30

このような水晶基板3は、基部4と、一对の振動腕5、6とを有している。

【0020】

基部4は、XY平面に広がりをもつ、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41)と、振動漏れを低減する縮幅部42とを有している。

縮幅部42は、本体部41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42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42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。

40

【0021】

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。

まず、図3(a)に示すように、縮幅部42が設けられていない場合について説明する。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41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41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

50

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。

【 0 0 2 2 】

これに対して、図 3 (b) に示すように、縮幅部 4 2 が設けられている場合には、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。即ち、振動漏れの小さい振動素子を得ることができる。

なお、ここでは縮幅部 4 2 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。

【 0 0 2 3 】

振動腕 5、6 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 4 の上端から Y 軸方向（第 1 の方向）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 は、それぞれ、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（広幅部）5 9、6 9 とを有している。

【 0 0 2 4 】

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 には、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。

【 0 0 2 5 】

このように、振動腕 5 に溝 5 2、5 3 を形成することによって、熱弾性損失の低減を図ることができ、優れた振動特性を発揮することができる（後に詳述する）。溝 5 2、5 3 の長さは限定されるものではなく、溝 5 2、5 3 の先端がハンマーヘッド 5 9 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 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、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虞が減少する。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虞が減少する。

【 0 0 2 6 】

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%（D 1 + D 2）/ D 9 5 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）に於いてより効果的に、熱弾性損失の低減を図ることができる。

【 0 0 2 7 】

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

10

20

30

40

50

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。

【 0 0 2 8 】

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、 $0 \mu m < W 3 < 20 \mu m$ 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、 $5 \mu m < W 3 < 9 \mu m$ 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、 $0 \mu m < W 3 < 5 \mu m$ 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。

10

【 0 0 2 9 】

ハンマーヘッド 5 9 は、X Y 平面視にて、略矩形である。また、ハンマーヘッド 5 9 は、腕部 5 1 の先端に接続された本体 5 9 1 と、本体 5 9 1 から振動腕 5 の基端側へ向けて突出する突出部 5 9 2、5 9 3 と、突出部 5 9 2、5 9 3 と腕部 5 1 との間に形成された薄肉部（連結部）5 9 4、5 9 5 とを有している。

本体 5 9 1 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。1 対の突出部 5 9 2、5 9 3 は、腕部 5 1 を挟んで X 軸方向の両側に位置している。突出部 5 9 2、5 9 3 は、それぞれ、腕部 5 1 と X 軸方向に離間し、本体 5 9 1 の基端側外縁から振動腕 5 の基端側へ突出している。

20

【 0 0 3 0 】

薄肉部 5 9 4 は、突出部 5 9 2 と腕部 5 1 の間に、これらを連結して設けられており、突出部 5 9 2 および腕部 5 1 よりも薄い（Z 軸方向の長さが短い）。そのため、腕部 5 1 と突出部 5 9 2 の間には、ハンマーヘッド 5 9 の一方の主面に開口する有底の溝 5 9 6 a と、他方の主面開放する有底の溝 5 9 6 b とが形成されている。同様に、薄肉部 5 9 5 は、突出部 5 9 3 と腕部 5 1 の間に、これらを連結して設けられており、突出部 5 9 3 および腕部 5 1 よりも薄い。そのため、腕部 5 1 と突出部 5 9 3 の間には、ハンマーヘッド 5 9 の一方の主面に開口する有底の溝 5 9 7 a と、他方の主面開放する有底の溝 5 9 7 b とが形成されている。

30

【 0 0 3 1 】

ハンマーヘッド 5 9 をこのような構成とすることによって、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（X 軸方向の長さ）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。

【 0 0 3 2 】

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おくといよい。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。

40

以上、振動腕 5 について説明した。振動腕 6 は、振動腕 5 と同様の構成である。すなわち、腕部 6 1 は、X Y 平面で構成された一对の主面 6 1 1、6 1 2 と、Y Z 平面で構成され、一对の主面 6 1 1、6 1 2 を接続する一对の側面 6 1 3、6 1 4 とを有している。また、腕部 6 1 は、主面 6 1 1 に開放する有底の溝 6 2 と、主面 6 1 2 に開放する有底の溝 6 3 とを有している。各溝 6 2、6 3 は、Y 軸方向に延在し、先端がハンマーヘッド 6 9 まで延び、基端が基部 4 まで延びている。

ハンマーヘッド 6 9 は、X Y 平面視にて、略矩形である。また、ハンマーヘッド 6 9 は

50

、腕部 6 1 の先端に接続された本体 6 9 1 と、本体 6 9 1 から振動腕 6 の基端側へ向けて突出する突出部 6 9 2、6 9 3 と、突出部 6 9 2、6 9 3 と腕部 6 1 との間に形成された薄肉部 6 9 4、6 9 5 とを有している。

【0033】

本体 6 9 1 は、腕部 6 1 よりも幅（X 軸方向の長さ）が広く、腕部 6 1 から X 軸方向の両側へ突出している。1 対の突出部 6 9 2、6 9 3 は、腕部 6 1 を挟んで X 軸方向の両側に位置している。突出部 6 9 2、6 9 3 は、それぞれ、腕部 6 1 と X 軸方向に離間し、本体 6 9 1 の基端側外縁から振動腕 6 の基端側へ突出している。薄肉部 6 9 4 は、突出部 6 9 2 と腕部 6 1 の間に、これらを連結して設けられており、突出部 6 9 2 および腕部 6 1 よりも薄い。そのため、腕部 6 1 と突出部 6 9 2 の間には、ハンマーヘッド 6 9 の一方の主面に開口する有底の溝 6 9 6 a と、他方の主面開放する有底の溝 6 9 6 b とが形成されている。同様に、薄肉部 6 9 5 は、突出部 6 9 3 と腕部 6 1 の間に、これらを連結して設けられており、突出部 6 9 3 および腕部 6 1 よりも薄い。そのため、腕部 6 1 と突出部 6 9 3 の間には、ハンマーヘッド 6 9 の一方の主面に開口する有底の溝 6 9 7 a と、他方の主面開放する有底の溝 6 9 7 b とが形成されている。

10

【0034】

ハンマーヘッド 6 9 をこのような構成とすることによって、振動腕 6 の全長 L を抑えつつ、ハンマーヘッド 6 9 の質量を高めることができる。言い換えると、振動腕 6 の全長 L が一定の場合、ハンマーヘッド 6 9 の質量効果を損なうことなく、腕部 6 1 をなるべく長く確保することができる。

20

また、ハンマーヘッド 6 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おくといよい。こうすることによって、屈曲振動時に振動腕 5 が抜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。

【0035】

図 2 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。具体的には、第 1 駆動用電極 8 4 の一方は、溝 5 2 の内面（側面）に形成されており、他方は、溝 5 3 の内面（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 に形成されており、他方は、側面 5 1 4 に形成されている。なお、第 1 駆動用電極 8 4 をハンマーヘッド 5 9 で囲まれた領域まで延ばして形成しない、或は / 且つ、第 2 駆動用電極 8 5 が、側面 5 1 3 から溝 5 9 6 a、5 9 6 b の内面（腕部 5 1 側の側面）まで延びていない場合は、等価直列容量 C 1 を小さくすることができるので、負荷容量感度 $S (= C 1 / (2 \times (C 0 + C L) ^ 2)$ の絶対値を小さくなり、安定した共振特性を得ることができる。なお負荷容量感度 S は、負荷容量の変動に対する共振周波数の変動を表す指標であり、C 0 は静電容量、C L は負荷容量である。

30

【0036】

また、前記一方の第 2 駆動用電極 8 5 は、側面 5 1 3 から溝 5 9 6 a、5 9 6 b の内面（腕部 5 1 側の側面）まで延びていてもよく、同様に、前記他方の第 2 駆動用電極 8 5 は、側面 5 1 4 から溝 5 9 7 a、5 9 7 b の内面（腕部 5 1 側の側面）まで延びていてもよい。これにより、電界が作用する領域をより広くすることができる。

40

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、第 1 駆動用電極 8 4 の一方は、側面 6 1 3 に形成されており、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 の内面（側面）に形成されており、他方は、溝 6 3 の内面（側面）に形成されている。なお、前記一方の第 1 駆動用電極 8 4 は、側面 6 1 3 から溝 6 9 6 a、6 9 6 b の内面（腕部 6 1 側の側面）まで延びていてもよく、同様に、前記他方の第 1 駆動用電極 8 4 は、側面 6 1 4 から溝 6 9 7 a、6 9 7 b の内面（腕部 6 1 側の側面）まで延びていてもよい。これにより、電界が作用する領域をより広くすることができる。

これら第 1、第 2 駆動用電極 8 4、8 5 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（XY 平面方向）に所定の周波数で振動する

50

【0037】

第1、第2駆動用電極84、85の構成としては、特に限定されず、金(Au)、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)、ニッケル合金、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)等の導電材料により形成することができる。

【0038】

第1、第2駆動用電極84、85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100以下とされる。また、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。

上述したように、振動素子2では、振動腕5、6に溝52、53、62、63を形成することによって、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。

【0039】

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面内方向に屈曲振動する。図4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Gough-Joule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。

【0040】

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 ω 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)。

【0041】

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。

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

なお、 ω は円周率、 k は振動腕5の振動方向の熱伝導率、 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。

【0042】

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が長くなり、熱緩和周波数 f_m

が低くなる。

【 0 0 4 3 】

図 5 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 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（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 F 2 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。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。

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

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 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。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。

【 0 0 4 4 】

次に、振動腕 5、6 の全長と、ハンマーヘッド 59、69 の長さおよび幅の関係について説明する。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。

図 1 に示すように、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 59 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。この関係を満足していれば、特に限定されないが、さらに、 $4.6\% < H / L < 22.3\%$ 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 2 の C I 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 514 が基部 4 と接続されている箇所と、側面 513 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。

【 0 0 4 5 】

また、振動腕 5 は、腕部 51 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、 $1.5 < W2 / W1 < 10.0$ 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、 $1.6 < W2 / W1 < 7.0$ 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り、ハンマーヘッド 59 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 59 の長さ H 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、 $1.5 < W2 / W1 < 10.0$ なる関係を満足することによって、振動腕 5 の全長 L が抑えられ、振動素子 2 の小型化を図ることができる。

このように、振動腕 5 では、 $1.2\% < H / L < 30.0\%$ なる関係と、 $1.5 < W2 / W1 < 10.0$ 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 C I 値が十分に抑えられている振動素子 2 が得られる。

【 0 0 4 6 】

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、 $W_1 = 100 \mu\text{m}$ 、好ましくは、 $W_1 = 50 \mu\text{m}$ 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、水晶 Z 板で Y 方向に振動腕が延び、X 方向に屈曲振動する場合、 $W_1 = 12.8 \mu\text{m}$ であることが好ましく、水晶 Z 板で X 方向に振動腕が延び、Y 方向に屈曲振動する場合、 $W_1 = 14.4 \mu\text{m}$ 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、 $W_1 = 15.9 \mu\text{m}$ 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）C I 値が低くなる。

10

【 0 0 4 7 】

次に、 $1.2\% < H/L < 30.0\%$ なる関係と、 $1.5 W_2/W_1 = 10.0$ なる関係とを満足することによって、上記効果を発揮することができることをシミュレーション結果に基づいて証明する。なお、本シミュレーションは、1本の振動腕 5 を用いて行った。また、本シミュレーションで用いた振動腕 5 は、水晶 Z 板（回転角 0° ）で構成されている。また、振動腕 5 のサイズは、図 6 に示すように、全長 L が $1210 \mu\text{m}$ 、厚さ D が $100 \mu\text{m}$ 、腕部 5 1 の幅 W_1 が $98 \mu\text{m}$ 、ハンマーヘッド 5 9 の幅 W_2 が $172 \mu\text{m}$ 、溝 5 2、5 3 の深さ D_1 、 D_2 が共に $45 \mu\text{m}$ 、土手部 5 1 1 a、5 1 2 a の幅 W_3 がそれぞれ $6.5 \mu\text{m}$ である。このような振動腕 5 において、ハンマーヘッド 5 9 の長さ H を変化させてシミュレーションを行った。なお、発見者らによって、振動腕 5 のサイズ（ L 、 W_1 、 W_2 、 D 、 D_1 、 D_2 、 W_3 ）を変更しても、下記に示すシミュレーション結果と同様の傾向となることが確認されている。

20

【 0 0 4 8 】

下記の表 1 は、ハンマーヘッド 5 9 の長さ H を変化させたときの C I 値の変化を示す表である。なお、本シミュレーションでは、次のようにして、各サンプルの IC 値を算出している。まず、有限要素法によって、熱弾性損失のみを考慮した Q 値を求める。次に、Q 値は、周波数依存性を有しているため、求められた Q 値を 32.768 kHz 時の Q 値（F 変換後 Q 値）に換算する。次に、F 変換後 Q 値に基づいて、 R_1 （C I 値）を算出する。次に、C I 値も周波数依存性を有しているため、求められた R_1 を 32.768 kHz 時の R_1 に換算し、その逆数をとって「低 R_1 指数」とした。低 R_1 指数は、全てのシミュレーションの中で最大であった逆数を 1 としたときの指数である。従って、低 R_1 指数が 1 に近い程、C I 値が小さいことを意味している。図 8 (a) に、横軸にハンマーヘッド占有率（ H/L ）、縦軸に低 R_1 化指数をプロットしたグラフを示し、(b) に同図 (a) の一部を拡大したグラフを示す。

30

なお、Q 値を F 変換後 Q 値へ換算する方法は、次の通りである。

下記式 (3)、(4) を用いて次のような計算を行った。

$$f_0 = k / (2 C_p a^2) \dots (3)$$

$$Q = \{ C_p / (C^2 H) \} \times [\{ 1 + (f / f_0)^2 \} / (f / f_0)] \dots (4)$$

40

ただし、式 (3)、(4) 中の f_0 は円周率、 k は振動腕 5 の幅方向の熱電導率、 ρ は質量密度、 C_p は熱容量、 C は振動腕 5 の長さ方向の伸縮の弾性ステイフネス定数、 β は振動腕 5 の長さ方向の熱膨張率、 H は絶対温度、 f は固有周波数である。また、 a は、振動腕 5 を図 7 に示すような平板形状として見做したときの幅（実効幅）である。なお、図 7 では、振動腕 5 に溝 5 2、5 3 が形成されていないが、この際の a の値を用いても F 変換後 Q 値への換算を行うことができる。

まず、シミュレーションで用いた振動腕 5 の固有周波数を F_1 とし、求められた Q 値を Q_1 とし、式 (3)、(4) を用いて、 $f = F_1$ 、 $Q = Q_1$ となるような a の値を求める。次に、求められた a を用い、また、 $f = 32.768 \text{ kHz}$ とし、式 (2) から Q の値を算出する。このようにして得られた Q 値が F 変換後 Q 値となる。

50

【 0 0 4 9 】

【 表 1 】

	H/L	固有周波数 f1[Hz]	Q1	F変換後 Q値	R1[Ω]	1/R1	低R1指 数
SIM001	0.6%	7.38E+04	159,398	76,483	3.50E+03	1.270E-04	0.861
SIM002	3.3%	5.79E+04	135,317	76,606	4.15E+03	1.363E-04	0.923
SIM003	6.0%	4.99E+04	120,906	79,442	4.58E+03	1.435E-04	0.972
SIM004	8.6%	4.48E+04	111,046	81,157	4.98E+03	1.467E-04	0.994
SIM005	11.2%	4.13E+04	103,743	82,223	5.37E+03	1.476E-04	1.000
SIM006	13.9%	3.88E+04	98,038	82,843	5.74E+03	1.471E-04	0.997
SIM007	16.5%	3.68E+04	93,507	83,225	6.10E+03	1.458E-04	0.988
SIM008	19.8%	3.49E+04	88,856	83,328	6.56E+03	1.430E-04	0.969
SIM009	23.1%	3.35E+04	85,017	83,115	7.02E+03	1.393E-04	0.944
SIM010	26.4%	3.24E+04	81,772	82,657	7.50E+03	1.348E-04	0.914
SIM011	29.8%	3.16E+04	78,811	81,824	8.01E+03	1.298E-04	0.878
SIM012	33.1%	3.09E+04	76,247	80,864	8.56E+03	1.239E-04	0.839
SIM013	36.4%	3.04E+04	73,813	79,591	9.17E+03	1.176E-04	0.796
SIM014	39.7%	3.00E+04	71,409	77,963	9.87E+03	1.106E-04	0.749
SIM015	43.0%	2.98E+04	69,077	76,078	1.07E+04	1.032E-04	0.699
SIM016	46.3%	2.96E+04	66,818	73,978	1.16E+04	9.557E-05	0.648
SIM017	49.6%	2.95E+04	64,449	71,494	1.27E+04	8.750E-05	0.593
SIM018	52.9%	2.96E+04	62,042	68,733	1.40E+04	7.928E-05	0.537
SIM019	56.2%	2.97E+04	59,670	65,800	1.55E+04	7.104E-05	0.481
SIM020	59.5%	3.00E+04	57,018	62,370	1.75E+04	6.257E-05	0.424
SIM021	62.8%	3.03E+04	54,502	58,918	1.98E+04	5.447E-05	0.369
SIM022	66.1%	3.08E+04	51,676	54,983	2.29E+04	4.640E-05	0.314
SIM023	69.4%	3.14E+04	48,788	50,857	2.69E+04	3.871E-05	0.262
SIM024	72.7%	3.23E+04	45,699	46,416	3.23E+04	3.140E-05	0.213
SIM025	76.0%	3.33E+04	42,398	41,687	4.00E+04	2.461E-05	0.167
SIM026	79.3%	3.47E+04	39,084	36,902	5.08E+04	1.857E-05	0.126
SIM027	82.6%	3.65E+04	35,523	31,872	6.77E+04	1.325E-05	0.090
SIM028	85.5%	3.86E+04	32,226	27,387	9.12E+04	9.314E-06	0.063
SIM029	88.3%	4.13E+04	28,763	22,842	1.31E+05	6.056E-06	0.041
SIM030	91.1%	4.50E+04	24,918	18,132	2.11E+05	3.448E-06	0.023
SIM031	93.9%	5.07E+04	21,042	13,614	4.04E+05	1.602E-06	0.011

10

20

30

【 0 0 5 0 】

発明者らは、低R1化指数が0.87以上となる振動素子2を求めている。表1および図8のグラフから分かるように、 $1.2\% < H/L < 30.0\%$ なる関係を満足するもの(SIM002~SIM011)では低R1化指数が目標の0.87以上となっている。特に、 $4.6\% < H/L < 22.3\%$ なる関係を満足するもの(SIM003~SIM008)では低R1化指数が0.95を超えており、よりCI値が低くなっていることが分かる。以上のシミュレーション結果から、 $1.2\% < H/L < 30.0\%$ なる関係を満足することにより、CI値が十分に抑えられている振動素子2が得られることが証明された。

40

【 0 0 5 1 】

< 第2実施形態 >

50

次に、本発明の振動素子の第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素子の平面図である。

以下、第2実施形態の振動素子について、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。

本発明の第2実施形態にかかる振動素子は、ハンマーヘッド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。

【0052】

図9に示すように、ハンマーヘッド59Aは、腕部51の先端に接続された本体591と、本体591から振動腕5の基端側へ向けて突出する突出部592、593とを有している。すなわち、前述した第1実施形態のハンマーヘッド59から薄肉部594、595を省略した構成となっている。ハンマーヘッド59Aをこのような構成とすることによって、振動腕5の全長Lを抑えつつ、ハンマーヘッド59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59の質量効果を損なうことなく、腕部51をなるべく長く確保することができるので、所望の共振周波数（例えば32.768kHz）を得るために、振動腕5の幅（X軸方向の長さ）を広くすることができる。その結果、上述した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。ここで、図9に示すように、ハンマーヘッド59Aの長さHは、ハンマーヘッド59Aと腕部51の接続部から自由端までを言い、突出部592、593分の長さは、長さHに含まれない。また、腕部51の自由端部は、幅が自由端側に向けて漸増するテーパ状をなしているが、このテーパ部分の幅（X軸方向の長さ）が腕部51の幅（X軸方向の長さ）の1.5倍以上となっている部分を腕部51が有している場合には、この部分も長さHに含まれる。

ハンマーヘッド69Aは、前述したハンマーヘッド59Aと同様の構成であるため、その説明を省略する。

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。

【0053】

<第3実施形態>

次に、本発明の振動素子の第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素子の平面図である。

以下、第3実施形態の振動素子について、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。

本発明の第3実施形態にかかる振動素子は、ハンマーヘッド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。

【0054】

図10に示すように、ハンマーヘッド59Bでは、薄肉部594B、595Bがそれぞれ突出部592、593よりも短くなっており、突出部592、593の固定端側の部分だけが薄肉部594B、595Bを介して腕部51と連結している。ハンマーヘッド59Bをこのような構成とすることによって、振動腕5の全長Lを抑えつつ、ハンマーヘッド59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59の質量効果を損なうことなく、腕部51をなるべく長く確保することができるので、所望の共振周波数（例えば32.768kHz）を得るために、振動腕5の幅（X軸方向の長さ）を広くすることができる。その結果、上述した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。ここで、図10に示すように、ハンマーヘッド59Bの長さHは、薄肉部594B、595Bと腕部51の接続部から自由端までを言い、突出部592、593の自由端部の長さは、長さHに含まれない。また、腕部51の自由端部は、幅が自由端側に向けて漸増するテーパ状をなしているが、このテーパ部分の幅（X軸方向の長さ）が腕部51の幅（X軸方向の長さ）の1.5倍以上となっている部分

を腕部 5 1 が有している場合には、この部分も長さ H に含まれる。

ハンマーヘッド 6 9 B は、前述したハンマーヘッド 5 9 B と同様の構成であるため、その説明を省略する。

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。

【 0 0 5 5 】

< 第 4 実施形態 >

次に、本発明の振動素子の第 4 実施形態について説明する。

図 1 1 は、本発明の第 4 実施形態にかかる振動素子の平面図である。

以下、第 4 実施形態の振動素子について、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 5 6 】

本発明の第 4 実施形態にかかる振動素子は、ハンマーヘッド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 1 に示すように、ハンマーヘッド 5 9 C は、略矩形をなしており、前述した第 1 実施形態のハンマーヘッドから、突出部 5 9 2、5 9 3 および薄肉部 5 9 4、5 9 5 を省略した構成となっている。このような構成とすることにより、ハンマーヘッド 5 9 C の構成が簡単なものとなる。また、溝 5 2、5 3 の先端は、腕部 5 1 とハンマーヘッド 5 9 C の境界部に位置している。腕部 5 1 の自由端部は、幅が自由端側に向けて漸増するテーパ状をなしているが、このテーパ部分の幅（X 軸方向の長さ）が腕部 5 1 の幅（X 軸方向の長さ）の 1.5 倍以上となっている部分を腕部 5 1 が有している場合には、この部分もハンマーヘッド 5 9 C の長さ H に含まれる。

ハンマーヘッド 6 9 C は、前述したハンマーヘッド 5 9 C と同様の構成であるため、その説明を省略する。

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。

【 0 0 5 7 】

< 第 5 実施形態 >

次に、本発明の振動素子の第 5 実施形態について説明する。

図 1 2 は、本発明の第 5 実施形態にかかる振動素子の平面図である。

以下、第 5 実施形態の振動素子について、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 5 8 】

本発明の第 5 実施形態にかかる振動素子は、ハンマーヘッド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 2 に示すように、ハンマーヘッド 5 9 D は、略矩形をなしており、前述した第 1 実施形態のハンマーヘッドから、突出部 5 9 2、5 9 3 および薄肉部 5 9 4、5 9 5 を省略した構成となっている。このような構成とすることにより、ハンマーヘッド 5 9 D の構成が簡単なものとなる。腕部 5 1 の自由端部は、幅が自由端側に向けて漸増するテーパ状をなしているが、このテーパ部分の幅（X 軸方向の長さ）が腕部 5 1 の幅（X 軸方向の長さ）の 1.5 倍以上となっている部分を腕部 5 1 が有している場合には、この部分もハンマーヘッド 5 9 D の長さ H に含まれる。

ハンマーヘッド 6 9 D は、前述したハンマーヘッド 5 9 D と同様の構成であるため、その説明を省略する。

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。

【 0 0 5 9 】

< 第 6 実施形態 >

次に、本発明の振動素子の第 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素子の平面図である。

以下、第 6 実施形態の振動素子について、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 6 0 】

本発明の第 6 実施形態にかかる振動素子は、さらに支持部を有している以外は、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 は、振動腕 5、6 の間に位置し、基部 4 から Y 軸方向に延出している支持部 7 を有している。図示しないが、振動素子 2 E は、支持部 7 にて接着剤を介してパッケージに固定される。このような構成とすることによって、振動素子 2 E の振動漏れをより効果的に低減することができる。

10

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。

【 0 0 6 1 】

< 第 7 実施形態 >

次に、本発明の振動素子の第 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素子の平面図である。

以下、第 7 実施形態の振動素子について、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。

20

【 0 0 6 2 】

本発明の第 7 実施形態にかかる振動素子は、さらに支持部を有している以外は、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 4 に示すように、振動素子 2 F は、基部 4 から延出する支持部 7 を有している。支持部 7 は、基部 4 の下端（振動腕 5、6 が延出する側と反対側）から延出し、X 軸方向に分岐する分岐部 7 1 と、分岐部から X 軸方向両側に延出する連結腕 7 2、7 3 と、連結腕 7 2、7 3 の先端部から Y 軸方向の振動腕 5、6 側に延出する支持腕 7 4、7 5 とを有している。また、支持腕 7 4、7 5 は、振動腕 5、6 を介して X 軸方向に対向して配置されている。図示しないが、振動素子 2 F は、支持腕 7 4、7 5 にて接着剤等を介してパッケージに固定される。このような構成とすることによって、振動素子 2 E の振動漏れをより効果的に低減することができる。

30

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 6 3 】

2. 振動子

次に、本発明の振動子について説明する。

図 1 5 は、本発明の振動子の好適な実施形態を示す平面図、図 1 6 は、図 1 5 中の C - C 線断面図である。

図 1 5 に示すように、振動子 1 は、振動素子 2（本発明の振動素子）と、振動素子 2 を収納するパッケージ 9 とを有している。なお、振動素子 2 は、前述した第 1 実施形態で説明した振動素子と同様である。

40

【 0 0 6 4 】

パッケージ 9 は、上面に開放する凹部 9 1 1 を有する箱状のベース 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素子 2 が気密的に収納されている。振動素子 2 は、基部 4 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 を介して凹部 9 1 1 の底面に固定されている。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

50

されていてもよい。これにより、振動素子 2 の振動特性が向上する。

【 0 0 6 5 】

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 6 6 】

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。図示しないが、振動素子 2 の第 1 駆動用電極 8 4 は、基部 4 にて、導電性接着剤 1 1 を介して接続端子 9 5 1 と電氣的に接続されている。同様に、図示しないが、振動素子 2 の第 2 駆動用電極 8 5 は、基部 4 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。

10

【 0 0 6 7 】

また、接続端子 9 5 1 は、ベース 9 1 を貫通する貫通電極 9 5 2 を介してベース 9 1 の底面に形成された外部端子 9 5 3 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 9 6 2 を介してベース 9 1 の底面に形成された外部端子 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、貫通電極 9 5 2、9 6 2 および外部端子 9 5 3、9 6 3 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。

20

【 0 0 6 8 】

3. 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 1 7 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 1 7 に示す発振器 1 0 は、振動子 1 と、振動素子 2 を駆動するための IC チップ 8 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。

30

【 0 0 6 9 】

図 1 7 に示すように、パッケージ 9 は、凹部 9 1 1 を有する箱状のベース 9 1 と、凹部 9 1 1 の開口を塞ぐ板状のリッド 9 2 とを有している。また、ベース 9 1 の凹部 9 1 1 は、ベース 9 1 の上面に開放する第 1 凹部 9 1 1 a と、第 1 凹部 9 1 1 a の底面の中央部に開放する第 2 凹部 9 1 1 b と、第 2 凹部 9 1 1 b の底面の中央部に開放する第 3 凹部 9 1 1 c とを有している。

【 0 0 7 0 】

第 1 凹部 9 1 1 a の底面には、接続端子 9 5、9 6 が形成されている。また、第 3 凹部 9 1 1 c の底面には、IC チップ 8 が配置されている。IC チップ 8 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 8 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。

40

また、第 2 凹部 9 1 1 b の底面には、ワイヤーを介して IC チップ 8 と電氣的に接続された複数の内部端子 9 3 が形成されている。これら複数の内部端子 9 3 には、ベース 9 1 に形成された図示しないビアを介してパッケージ 9 の底面に形成された外部端子 9 4 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 9 5 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 9 6 に電氣的に接続された端子とが含まれている。

なお、図 1 7 の構成では、IC チップ 8 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 8 の配置は、特に限定されず、例えば、パッケージ 9 の外側 (ベー

50

スの底面)に配置されていてもよい。

【0071】

4. 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ー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ー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ー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。

10

【0072】

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。

【0073】

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。

20

【0074】

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。

【0075】

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、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。

30

40

【0076】

なお、本発明の振動素子を備える電子機器は、図18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19の携帯電話機、図20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

50

ことができる。

【0077】

5. 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21は、本発明の移動体の一例としての自動車を概略的に示す斜視図である。自動車1500には、振動素子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：el

10

ectronic control unit）に広く適用できる。
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】

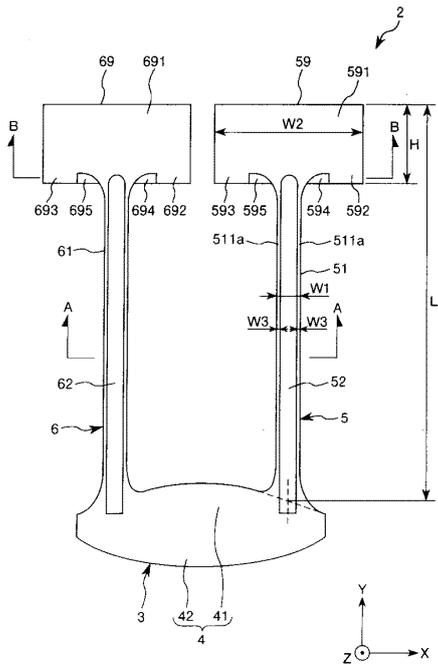
【0078】

1...振動子 10...発振器 11...導電性接着剤 2、2E、2F...振動素子 3...水晶基板 4...基部 41...本体部 42...縮幅部 5...振動腕 51...腕部 511、512...主面 511a、512a...土手部 513、514...側面 52、53...溝 59、59A、59B、59C、59D...ハンマーヘッド 591...本体 592、593...突出部 594、594B、595、595B...薄肉部 596a、596b、597a、597b...溝 6...振動腕 61...腕部 611、612...主面 613、614...側面 62、63...溝 69、69A、69B、69C、69D...ハンマーヘッド 691...本体 692、693...突出部 694、695...薄肉部 696a、696b、697a、697b...溝 7...支持部 71...分岐部 72、73...連結腕 74、75...支持腕 8...ICチップ 84、85...駆動用電極 9...パッケージ 91...ベース 911...凹部 911a...第1凹部 911b...第2凹部 911c...第3凹部 92...リッド 93...内部端子 94...外部端子 95、96...接続端子 951、961...接続端子 952、962...貫通電極 953、963...外部端子 1100...パーソナルコンピュータ 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 1500...自動車 2000...表示部 L...全長 W1、W2、W3...幅 D...厚さ D1、D2...深さ

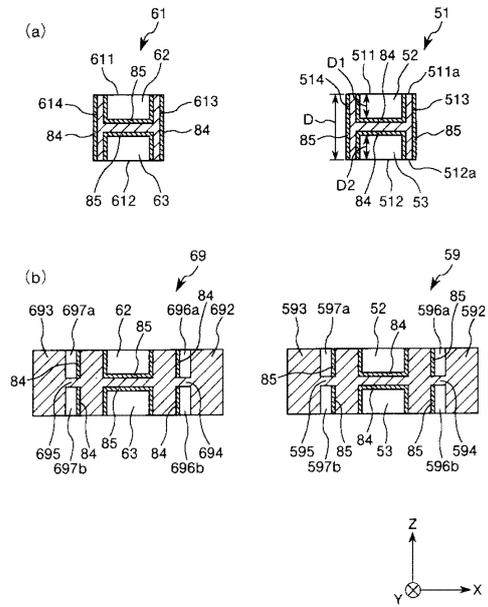
20

30

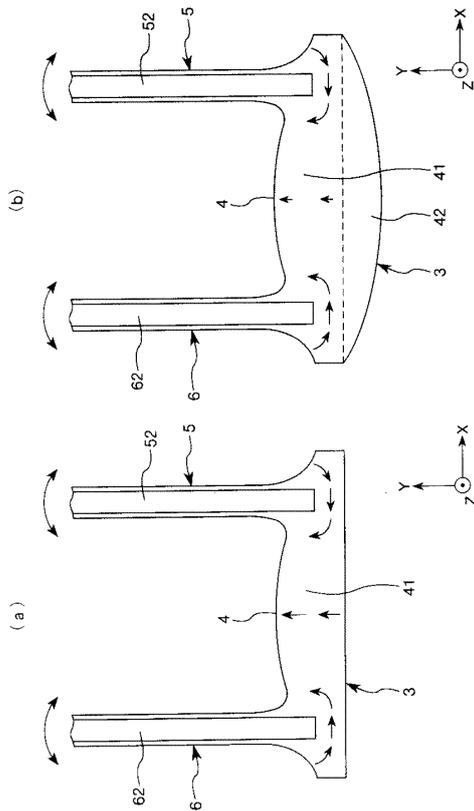
【図1】



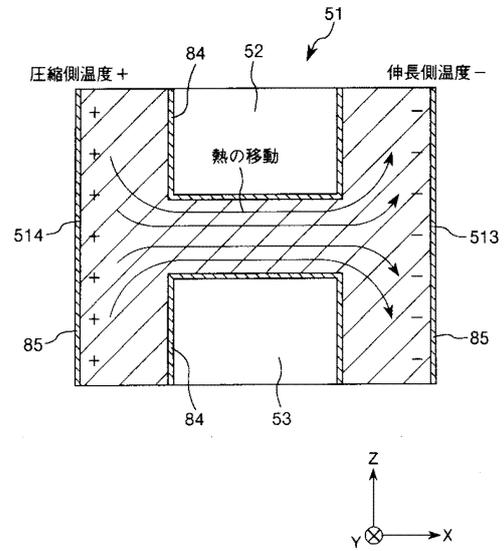
【図2】



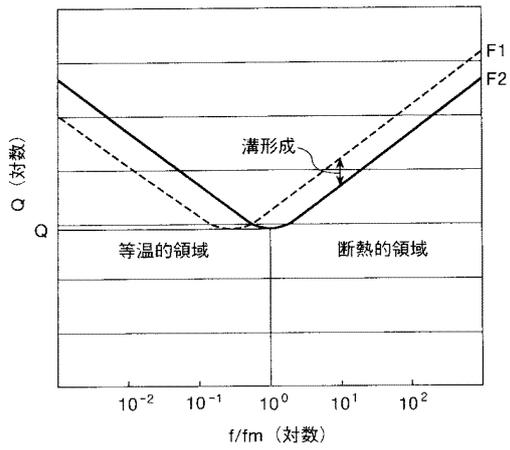
【図3】



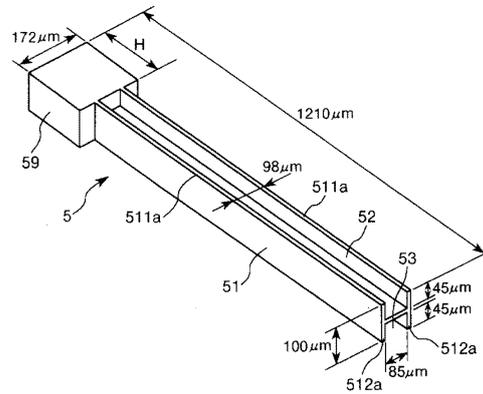
【図4】



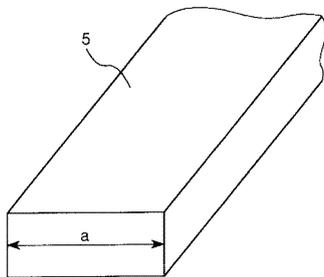
【図5】



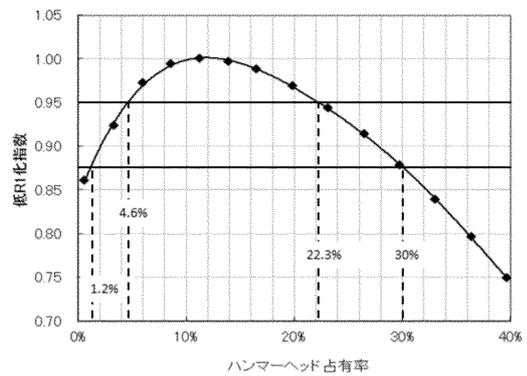
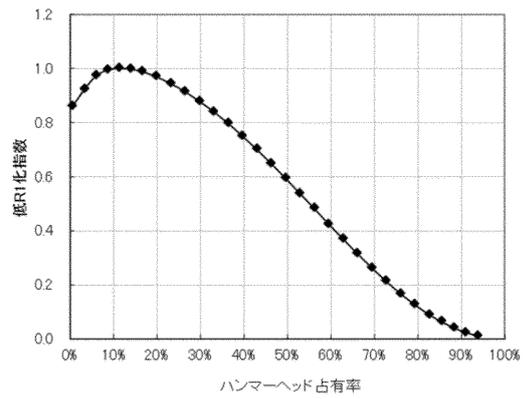
【図6】



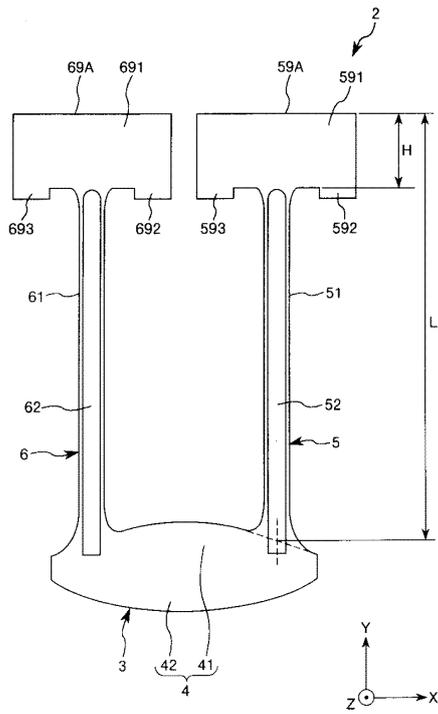
【図7】



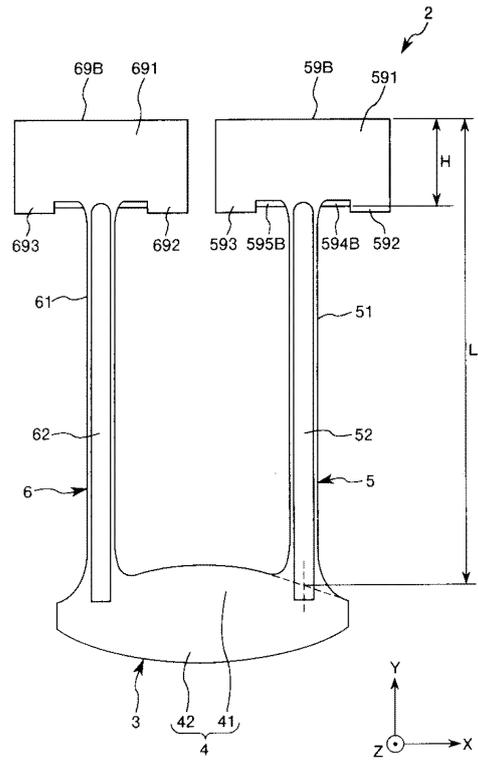
【図8】



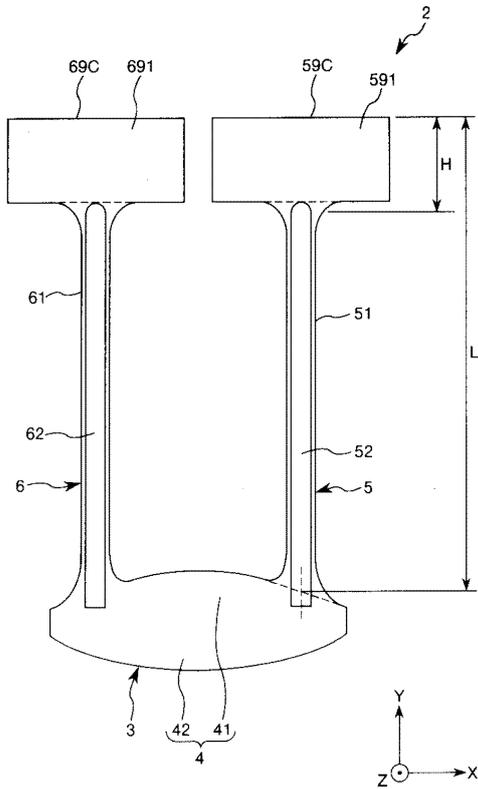
【図 9】



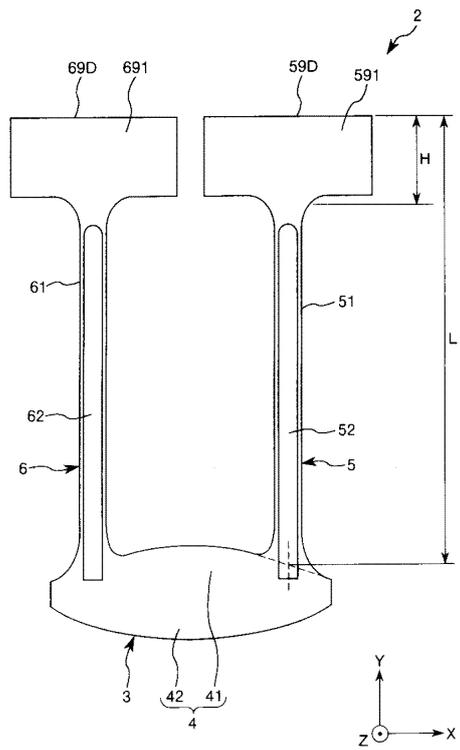
【図 10】



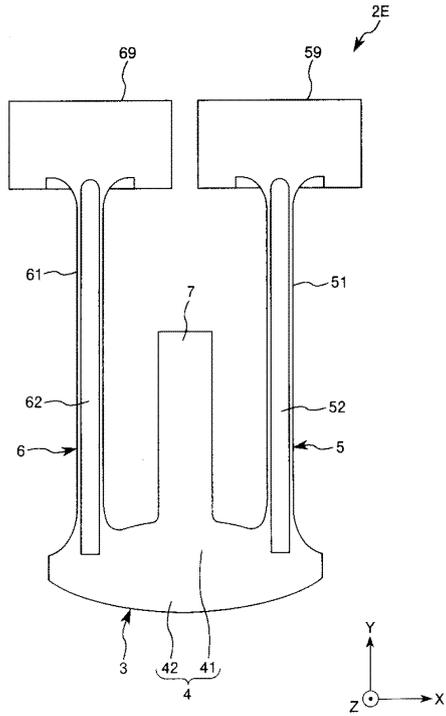
【図 11】



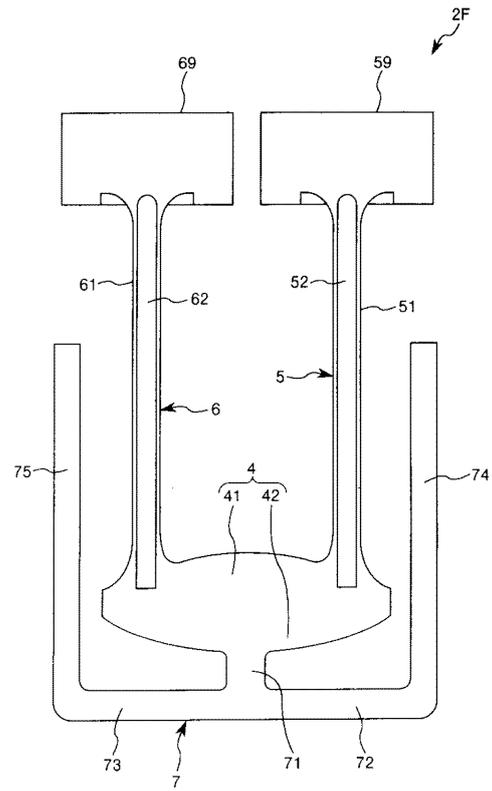
【図 12】



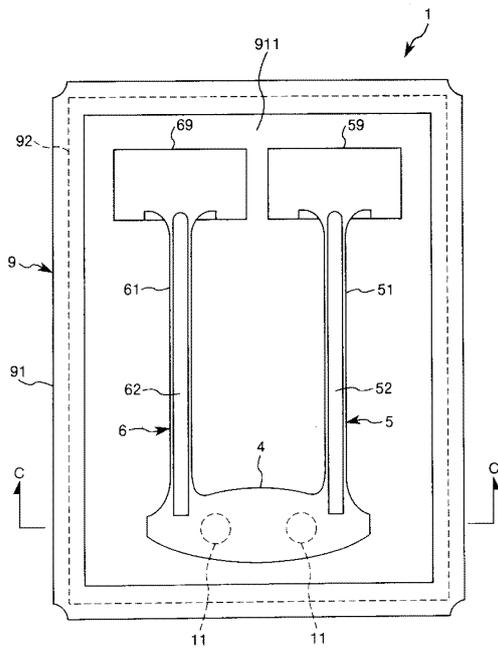
【図13】



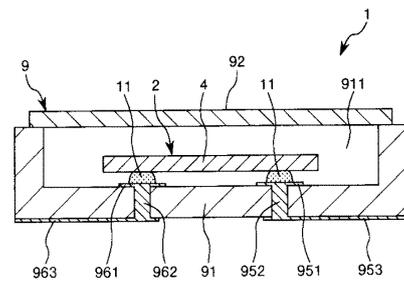
【図14】



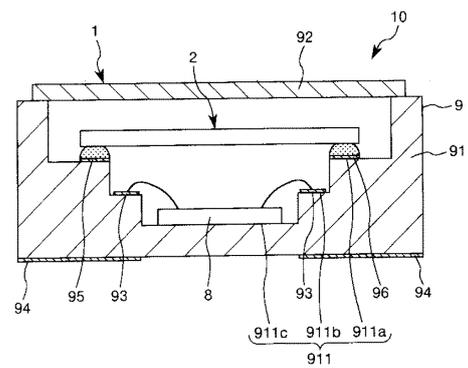
【図15】



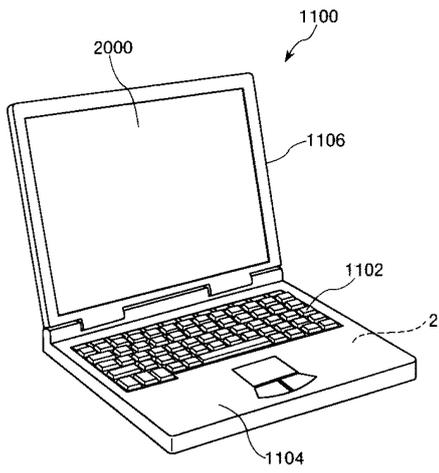
【図16】



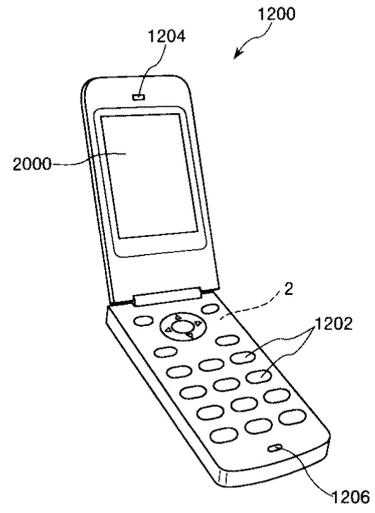
【図17】



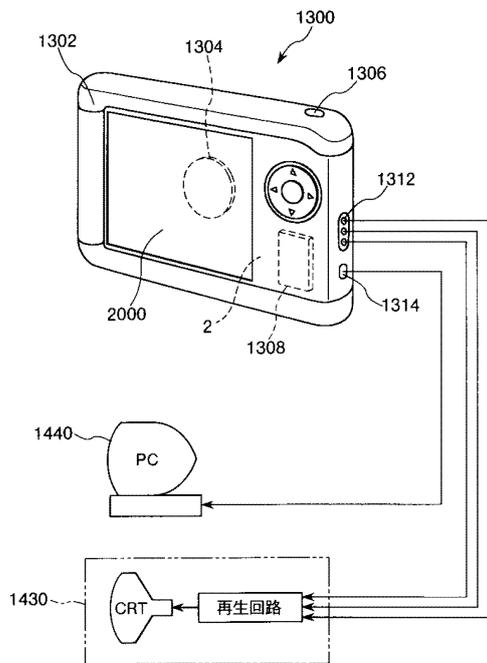
【図18】



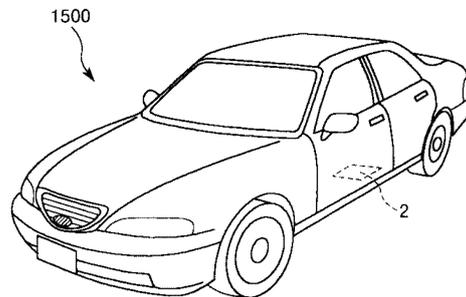
【図19】



【図20】



【図21】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2009-253622(JP,A)
特開2011-101340(JP,A)
特開2010-232932(JP,A)
特開2009-201162(JP,A)
特開2009-100480(JP,A)
特開昭52-129395(JP,A)
特開2011-082956(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

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