

(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2020-123881

(P2020-123881A)

(43) 公開日 令和2年8月13日(2020.8.13)

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

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2019-15322 (P2019-15322)
 (22) 出願日 平成31年1月31日 (2019.1.31)

(71) 出願人 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 100116665
 弁理士 渡辺 和昭
 (74) 代理人 100194102
 弁理士 磯部 光宏
 (74) 代理人 100179475
 弁理士 仲井 智至
 (74) 代理人 100216253
 弁理士 松岡 宏紀
 (72) 発明者 松尾 敦司
 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

最終頁に続く

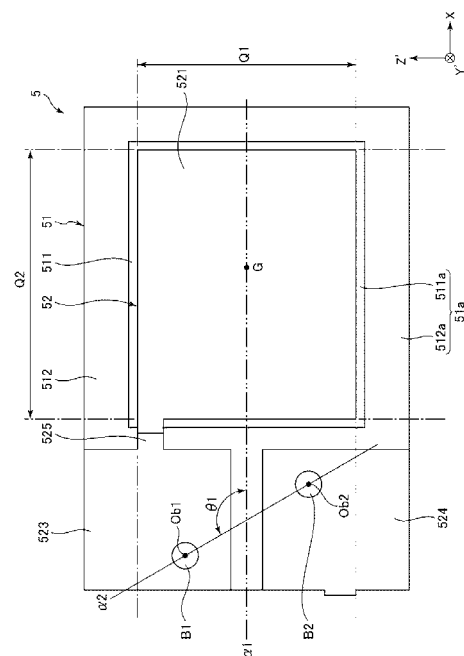
(54) 【発明の名称】 振動デバイス、振動モジュール、電子機器および移動体

(57) 【要約】

【課題】振動素子を安定した姿勢で支持でき、衝撃等によっても振動素子の変形し難い振動デバイス、振動モジュール、電子機器および移動体を提供すること。

【解決手段】振動デバイスは、水晶基板と、水晶基板の第1面に配置された第1励振電極と、水晶基板の第2面に第1励振電極と対向配置された第2励振電極と、第1面に配置され、第1、第2励振電極と接続された第1、第2パッド電極とを含む振動素子と、基板と、基板に配置された第1、第2配線とを含むベースと、第1パッド電極と第1配線とを接合する第1接合部材と、第2パッド電極と第2配線とを接合する第2接合部材とを備え、振動素子の重心を通り、X軸と平行な直線を第1仮想線としたとき、第1、第2接合部材は、第1仮想線を間に挟んで配置され、第1接合部材と第2接合部材とを通る第2仮想線と第1仮想線とのなす角 θ_1 は、 $100^\circ < \theta_1 < 140^\circ$ を満足する。

【選択図】図7



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに表裏関係にあり、電気軸である X 軸に沿っている第 1 面および第 2 面を含む水晶基板と、

前記第 1 面に配置されている第 1 励振電極と、

前記第 2 面に、前記第 1 励振電極と対向して配置されている第 2 励振電極と、

前記第 1 面に配置され、前記第 1 励振電極と電氣的に接続されている第 1 パッド電極と

、前記第 1 面に配置され、前記第 2 励振電極と電氣的に接続されている第 2 パッド電極と

を含む振動素子と、

基板と、

前記基板に配置されている第 1 配線および第 2 配線と、

を含むベースと、

前記第 1 パッド電極と前記第 1 配線とを接合する第 1 接合部材と、

前記第 2 パッド電極と前記第 2 配線とを接合する第 2 接合部材と、

を備え、

前記水晶基板の平面視で、前記振動素子の重心を通り、かつ、前記 X 軸と平行な直線を第 1 仮想線としたとき、

前記第 1 接合部材は、前記平面視で、前記第 1 仮想線に対して一方側に位置し、

前記第 2 接合部材は、前記平面視で、前記第 1 仮想線と重なるか、または前記第 1 仮想線に対して他方側に位置し、

前記平面視で、前記第 1 接合部材と前記第 2 接合部材とを通る直線を第 2 仮想線とし、前記第 1 仮想線と前記第 2 仮想線とのなす角を θ としたとき、

$40^\circ < \theta < 80^\circ$ または $100^\circ < \theta < 140^\circ$ を満足することを特徴とする振動デバイス。

【請求項 2】

$45^\circ < \theta < 75^\circ$ または $105^\circ < \theta < 135^\circ$ を満足する請求項 1 に記載の振動デバイス。

【請求項 3】

前記平面視で、前記第 1 励振電極を前記 X 軸方向に延長した領域を第 1 領域としたとき

、前記第 1 接合部材および前記第 2 接合部材は、それぞれ、前記第 1 領域の内側に位置している請求項 1 または 2 に記載の振動デバイス。

【請求項 4】

前記平面視で、前記第 1 励振電極を前記 X 軸方向に延長した領域を第 1 領域としたとき

、前記第 1 接合部材および前記第 2 接合部材は、それぞれ、前記第 1 領域の外側に位置し、かつ、前記第 1 領域を間に挟んで配置されている請求項 1 または 2 に記載の振動デバイス。

【請求項 5】

前記平面視で、前記第 1 励振電極を前記 X 軸に直交する方向に延長した領域を第 2 領域としたとき、

前記第 1 接合部材および前記第 2 接合部材は、それぞれ、前記第 2 領域の外側に位置し、かつ、前記第 2 領域に対して同じ側に位置している請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の振動デバイス。

【請求項 6】

前記基板は、シリコン基板を含む請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の振動デバイス。

【請求項 7】

請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の振動デバイスを備えることを特徴とする振動モジュール。

【請求項 8】

請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の振動デバイスを備えることを特徴とする電子機器。

【請求項 9】

請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の振動デバイスを備えることを特徴とする移動体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、振動デバイス、振動モジュール、電子機器および移動体に関するものである。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 に記載されている水晶振動素子は、AT カットの水晶基板と、水晶基板の上面に配置された第 1 励振電極と、水晶基板の下面に第 1 励振電極と対向して配置された第 2 励振電極と、水晶基板の上面に配置された第 1 パッド電極および第 2 パッド電極と、第 1 励振電極と第 1 パッド電極とを接続する第 1 引き出し配線と、第 2 励振電極と第 2 パッド電極とを接続する第 2 引き出し配線と、を有する。このような水晶振動素子は、第 1 パッド電極および第 2 パッド電極において導電性の接合部材を介して対象物に取り付けられる。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2011-229167 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

また、特許文献 1 の水晶振動素子では、第 1、第 2 パッド電極が、第 1、第 2 励振電極の中心を通り水晶の X 軸（電気軸）に対して 60° に傾斜した線分上に並んで配置されている。第 1、第 2 パッド電極をこのような配置とすることにより、水晶振動素子が応力の影響を受け難くなり、優れた振動特性を発揮することができる。しかしながら、このような配置では、平面視で、第 1、第 2 パッド電極が水晶基板の中の偏った位置に配置されているため、例えば、外部からの衝撃等によって水晶振動素子の変形し易く、振動特性を低下させるおそれがある。

30

【課題を解決するための手段】

【0005】

本適用例にかかる振動デバイスは、互いに表裏関係にあり、電気軸である X 軸に沿っている第 1 面および第 2 面を含む水晶基板と、

40

前記第 1 面に配置されている第 1 励振電極と、

前記第 2 面に、前記第 1 励振電極と対向して配置されている第 2 励振電極と、

前記第 1 面に配置され、前記第 1 励振電極と電氣的に接続されている第 1 パッド電極と

、

前記第 1 面に配置され、前記第 2 励振電極と電氣的に接続されている第 2 パッド電極と

、

を含む振動素子と、

基板と、

前記基板に配置されている第 1 配線および第 2 配線と、

を含むベースと、

50

前記第 1 パッド電極と前記第 1 配線とを接合する第 1 接合部材と、
前記第 2 パッド電極と前記第 2 配線とを接合する第 2 接合部材と、
を備え、

前記水晶基板の平面視で、前記振動素子の重心を通り、かつ、前記 X 軸と平行な直線を
第 1 仮想線としたとき、

前記第 1 接合部材は、前記平面視で、前記第 1 仮想線に対して一方側に位置し、

前記第 2 接合部材は、前記平面視で、前記第 1 仮想線と重なるか、または前記第 1 仮想
線に対して他方側に位置し、

前記平面視で、前記第 1 接合部材と前記第 2 接合部材とを通る直線を第 2 仮想線とし、
前記第 1 仮想線と前記第 2 仮想線とのなす角を θ としたとき、

$40^\circ < \theta < 80^\circ$ または $100^\circ < \theta < 140^\circ$ を満足する。

【0006】

本適用例にかかる振動デバイスでは、 $45^\circ < \theta < 75^\circ$ または $105^\circ < \theta < 135^\circ$ を満足することが好ましい。

【0007】

本適用例にかかる振動デバイスでは、前記平面視で、前記第 1 励振電極を前記 X 軸方向
に延長した領域を第 1 領域としたとき、

前記第 1 接合部材および前記第 2 接合部材は、それぞれ、前記第 1 領域の内側に位置し
ていることが好ましい。

【0008】

本適用例にかかる振動デバイスでは、前記平面視で、前記第 1 励振電極を前記 X 軸方向
に延長した領域を第 1 領域としたとき、

前記第 1 接合部材および前記第 2 接合部材は、それぞれ、前記第 1 領域の外側に位置し
、かつ、前記第 1 領域を間に挟んで配置されていることが好ましい。

【0009】

本適用例にかかる振動デバイスでは、前記平面視で、前記第 1 励振電極を前記 X 軸に直
交する方向に延長した領域を第 2 領域としたとき、

前記第 1 接合部材および前記第 2 接合部材は、それぞれ、前記第 2 領域の外側に位置し
、かつ、前記第 2 領域に対して同じ側に位置していることが好ましい。

【0010】

本適用例にかかる振動デバイスでは、前記基板は、シリコン基板を含むことが好ましい
。

【0011】

本適用例にかかる振動モジュールは、上述の振動デバイスを備える。

【0012】

本適用例にかかる電子機器は、上述の振動デバイスを備える。

【0013】

本適用例にかかる移動体は、上述の振動デバイスを備える。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図 1】第 1 実施形態に係る振動デバイスを示す斜視図である。

【図 2】図 1 中の A - A 線断面図である。

【図 3】図 1 中の B - B 線断面図である。

【図 4】振動素子の上面図である。

【図 5】振動素子の下面を上側から見た透過図である。

【図 6】A T カットのカット角を示す図である。

【図 7】振動素子の下面を上側から見た透過図である。

【図 8】応力の方向と周波数変動との関係を示すグラフである。

【図 9】振動素子の変形例を示し、その下面を上側から見た透過図である。

【図 10】第 2 実施形態に係る振動素子の下面を上側から見た透過図である。

10

20

30

40

50

【図 1 1】振動素子の変形例を示し、その下面を上側から見た透過図である。

【図 1 2】第 3 実施形態に係る振動素子の下面を上側から見た透過図である。

【図 1 3】第 4 実施形態に係る振動モジュールを示す断面図である。

【図 1 4】第 5 実施形態に係る電子機器を示す斜視図である。

【図 1 5】第 6 実施形態に係る電子機器を示す斜視図である。

【図 1 6】第 7 実施形態に係る電子機器を示す斜視図である。

【図 1 7】第 8 実施形態に係る移動体を示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本適用例の振動デバイス、振動モジュール、電子機器および移動体を添付図面に示す実施形態に基づいて詳細に説明する。

10

【0016】

< 第 1 実施形態 >

図 1 は、第 1 実施形態に係る振動デバイスを示す斜視図である。図 2 は、図 1 中の A - A 線断面図である。図 3 は、図 1 中の B - B 線断面図である。図 4 は、振動素子の上面図である。図 5 は、振動素子の下面を上側から見た透過図である。図 6 は、A T カットのカット角を示す図である。図 7 は、振動素子の下面を上側から見た透過図である。図 8 は、応力の方向と周波数変動との関係を示すグラフである。図 9 は、振動素子の変形例を示し、その下面を上側から見た透過図である。

20

【0017】

図 1 に示すように、振動デバイス 1 は、振動素子 5 と、振動素子 5 を収納するパッケージ 2 と、を有する。また、図 2 および図 3 に示すように、パッケージ 2 は、振動素子 5 を収納する凹部 3 2 を有する箱状のリッド 3 と、凹部 3 2 の開口を塞いでリッド 3 と接合された板状のベース 4 と、を有する。そして、凹部 3 2 の開口がベース 4 で塞がれることにより、振動素子 5 を収納する収納空間 S が形成される。収納空間 S は、気密であり、減圧状態、好ましくはより真空に近い状態となっている。ただし、収納空間 S の雰囲気は、特に限定されず、例えば、窒素または Ar 等の不活性ガスを封入した雰囲気であってもよく、減圧状態でなく大気圧状態または加圧状態となってもよい。

【0018】

ベース 4 は、絶縁性を有する基板 4 0 と、基板 4 0 に配置された電極 4 3 と、を有する。さらに、基板 4 0 は、ベース基板 4 1 と、ベース基板 4 1 の表面に配置された絶縁膜 4 2 と、を有する。

30

【0019】

ベース基板 4 1 は、平面視形状が矩形状の板状であり、互いに表裏関係にある下面 4 1 1 および上面 4 1 2 を有する。また、ベース基板 4 1 は、その上面 4 1 2 と下面 4 1 1 とを貫通する 2 つの貫通孔 4 1 5、4 1 6 を有する。

【0020】

ベース基板 4 1 は、半導体基板である。半導体基板としては、特に限定されず、例えば、シリコン基板、ゲルマニウム基板や、GaP、GaAs、InP 等の化合物半導体基板を用いることができる。ベース基板 4 1 として半導体基板を用いることにより、振動デバイス 1 を半導体プロセスによって形成することができるため、振動デバイス 1 を精度よく製造することができると共に、その小型化を図ることができる。また、ベース 4 に、例えば、発振回路等の半導体回路を形成することができ、ベース 4 を有効活用することができる。特に、本実施形態では、ベース基板 4 1 として、シリコン基板を用いている。これにより、入手し易く、安価なベース基板 4 1 となる。

40

【0021】

ただし、ベース基板 4 1 としては、半導体基板に限定されず、例えば、セラミック基板、ガラス基板等を用いることもできる。なお、セラミック基板やガラス基板を用いた場合のように、ベース基板 4 1 自体が絶縁性を有する場合には、絶縁膜 4 2 を省略することができる。

50

【0022】

また、ベース基板41の表面には絶縁膜42が配置されている。ただし、絶縁膜42は、上面412の外縁部すなわちリッド3との接合部には配置されていない。そのため、上面412の外縁部は、絶縁膜42から露出している。絶縁膜42は、シリコン酸化膜(SiO_2 膜)から構成されている。また、絶縁膜42の形成方法としては、特に限定されず、例えば、ベース基板41の表面を熱酸化することにより形成してもよいし、TEOS(テトラエトキシシラン)を用いたプラズマCVDにより形成してもよい。ただし、絶縁膜42としては、特に限定されず、例えば、ポリイミド等の絶縁性の樹脂材料から構成されていてもよいし、異種材料が積層した複合体で構成されていてもよい。

【0023】

また、絶縁膜42上には電極43が配置されている。電極43は、互いに離間して配置された第1配線44および第2配線45を有する。第1配線44は、基板40の上面に配置され、収納空間S内に臨む内部端子441と、基板40の下面に配置され、パッケージ2の外部に臨む外部端子442と、貫通孔415内に配置され、内部端子441と外部端子442とを電氣的に接続する貫通電極443と、を有する。

【0024】

同様に、第2配線45は、基板40の上面に配置され、収納空間S内に臨む内部端子451と、基板40の下面に配置され、パッケージ2の外部に臨む外部端子452と、貫通孔416内に配置され、内部端子451と外部端子452とを電氣的に接続する貫通電極453と、を有する。

【0025】

また、電極43は、基板40の下面に配置された2つのダミー端子461、462を有する。ダミー端子461、462は、電氣的な役割を担っておらず、例えば、パッケージ2と対象物との接合強度を高めるために設けられている。ただし、ダミー端子461、462の役割としては、これに限定されない。

【0026】

リッド3は、その下面31に開口する有底の凹部32を有する箱状をなす。このようなリッド3は、半導体基板である。半導体基板としては、特に限定されず、例えば、シリコン基板、ゲルマニウム基板や、GaP、GaAs、InP等の化合物半導体基板を用いることができる。リッド3として半導体基板を用いることにより、振動デバイス1を半導体プロセスによって形成することができるため、振動デバイス1を精度よく製造することができると共に、その小型化を図ることができる。特に、本実施形態では、リッド3としてシリコン基板を用いている。これにより、入手し易く、安価なリッド3となる。また、ベース基板41とリッド3の材料を揃えることができ、これらの熱膨張係数差を実質的にゼロとすることができる。そのため、熱膨張に起因する熱応力の発生が抑えられ、優れた振動特性を有する振動デバイス1となる。

【0027】

ただし、リッド3としては、半導体基板に限定されず、例えば、セラミック基板、ガラス基板等を用いることもできる。また、リッド3として、ベース基板41と異種の基板を用いてもよい。特に、リッド3として光透過性を有するガラス基板を用いると、振動デバイス1の製造後に、リッド3を介して振動素子5にレーザーを照射して第1励振電極521の一部を除去し、振動素子5の周波数調整を行うことができる。

【0028】

このようなリッド3は、その下面31において接合部材6を介してベース基板41の上面412と直接接合されている。本実施形態では、直接接合の中でも金属同士の拡散を利用した拡散接合を用いてリッド3とベース基板41とが接合されている。具体的には、リッド3の下面31に金属膜を設けると共に、ベース基板41の上面412に金属膜を設け、これら金属膜同士を拡散接合することにより接合部材6が形成され、この接合部材6を介してリッド3とベース基板41とが接合されている。ただし、接合方法としては、これに限定されず、例えば、リッド3の下面31とベース基板41の上面412とにアルゴン

10

20

30

40

50

ガス等の不活性ガスを照射して、これらの面を活性し、下面 3 1 と上面 4 1 2 とを直接接合してもよい。また、樹脂接着剤、低融点ガラス等の各種接合部材を用いて接合してもよい。

【0029】

図 4 および図 5 に示すように、振動素子 5 は、A T カットの水晶基板 5 1 と、水晶基板 5 1 の表面に配置された電極 5 2 と、を有する。水晶基板 5 1 は、厚みすべり振動モードを有し、三次の周波数温度特性を有している。そのため、優れた温度特性を有する振動素子 5 が得られる。

【0030】

A T カットの水晶基板 5 1 について簡単に説明すると、水晶基板 5 1 は、互いに直交する結晶軸 X、Y、Z を有している。X 軸、Y 軸、Z 軸は、それぞれ、電気軸、機械軸、光学軸と呼ばれる。図 6 に示すように、水晶基板 5 1 は、X - Z 面を X 軸回りに所定の角度回転させた平面に沿って切り出された「回転 Y カット水晶基板」であり、 $\theta = 35.15^\circ$ 回転させた平面に沿って切り出した基板を「A T カット水晶基板」という。なお、以下では、角度 θ に対応して X 軸まわりに回転した Y 軸および Z 軸を Y' 軸および Z' 軸とする。すなわち、水晶基板 5 1 は、Y' 軸方向に厚みを有し、X - Z' 面方向に広がりを持つ。ただし、水晶基板 5 1 としては、厚みすべり振動を励振することができ、X 軸を含む面方向に広がりを持つものであれば、A T カットの水晶基板に限定されない。なお、以下では、各軸の矢印先端側を「プラス側」とも言い、その反対側を「マイナス側」とも言う。

10

20

【0031】

図 4 および図 5 に示すように、水晶基板 5 1 の外形は、Y' 軸方向からの平面視で矩形であり、互いに表裏関係にある下面 5 1 a および上面 5 1 b を有する。そして、水晶基板 5 1 は、下面 5 1 a をベース 4 側に向けて配置されている。また、本実施形態では、水晶基板 5 1 は、X 軸方向を長辺とし、Z' 軸方向を短辺とする長手形である。また、水晶基板 5 1 は、厚みすべり振動する振動部 5 1 1 と、振動部 5 1 1 の周囲に位置し、振動部 5 1 1 と一体化された支持部 5 1 2 と、を有する。また、水晶基板 5 1 は、メサ型をなし、振動部 5 1 1 が支持部 5 1 2 よりも厚く形成されている。振動部 5 1 1 は、支持部 5 1 2 に対して Y' 軸方向の両側に突出している。

【0032】

ただし、水晶基板 5 1 は、これに限定されず、振動部 5 1 1 と支持部 5 1 2 とが同じ厚さであるフラット型であってもよいし、振動部 5 1 1 が支持部 5 1 2 よりも薄い逆メサ型であってもよい。また、水晶基板 5 1 の周囲を研削して面取りするベベル加工や、上面および下面を凸曲面とするコンベックス加工が施されていてもよい。また、メサ型の場合には、下面 5 1 a 側および上面 5 1 b 側の一方にだけ突出した構成であってもよいし、逆メサ型の場合には、下面 5 1 a 側および上面 5 1 b 側の一方にだけ凹没した構成であってもよい。

30

【0033】

電極 5 2 は、振動部 5 1 1 の下面 5 1 1 a に配置された第 1 励振電極 5 2 1 と、振動部 5 1 1 の上面 5 1 1 b に配置され、振動部 5 1 1 を間に挟んで第 1 励振電極 5 2 1 と対向する第 2 励振電極 5 2 2 と、を有する。また、電極 5 2 は、支持部 5 1 2 の下面 5 1 2 a に配置された第 1 パッド電極 5 2 3 および第 2 パッド電極 5 2 4 と、第 1 励振電極 5 2 1 と第 1 パッド電極 5 2 3 とを接続する第 1 引き出し配線 5 2 5 と、第 2 励振電極 5 2 2 と第 2 パッド電極 5 2 4 とを接続する第 2 引き出し配線 5 2 6 と、を有する。

40

【0034】

このような振動素子 5 は、図 2 および図 3 に示すように、導電性の第 1 接合部材 B 1 および第 2 接合部材 B 2 によってベース 4 の上面に固定されている。また、第 1 接合部材 B 1 は、ベース 4 が有する内部端子 4 4 1 と振動素子 5 が有する第 1 パッド電極 5 2 3 とを電氣的に接続し、第 2 接合部材 B 2 は、ベース 4 が有する内部端子 4 5 1 と振動素子 5 が有する第 2 パッド電極 5 2 4 とを電氣的に接続している。

50

【0035】

第1、第2接合部材B1、B2としては、導電性と接合性とを兼ね備えていれば、特に限定されず、例えば、金パンプ、銀パンプ、銅パンプ、はんだパンプ等の各種金属パンプ、ポリイミド系、エポキシ系、シリコン系、アクリル系の各種接着剤に銀フィラー等の導電性フィラーを分散させた導電性接着剤等を用いることができる。第1、第2接合部材B1、B2として前者の金属パンプを用いると、第1、第2接合部材B1、B2からのガスの発生を抑制でき、収納空間Sの環境変化、特に圧力の上昇を効果的に抑制することができる。一方、第1、第2接合部材B1、B2として後者の導電性接着剤を用いると、第1、第2接合部材B1、B2が金属パンプに比べて柔らかくなり、振動素子5に応力が生じ難くなる。

10

【0036】

以上、振動デバイス1の全体構成について説明した。次に、図7に基づいて、振動デバイス1の特徴の1つでもある第1、第2接合部材B1、B2の配置について説明する。なお、以下では、振動素子5の厚さ方向すなわちY'軸方向からの平面視（以下、単に「平面視」とも言う）で、第1励振電極521をX軸方向に延長した領域を第1領域Q1とし、第1励振電極521をZ'軸方向に延長した領域を第2領域Q2とする。第1接合部材B1および第2接合部材B2は、それぞれ、第2領域Q2の外側に位置し、かつ、第2領域Q2に対して同じ側、本実施形態では、X軸方向マイナス側に位置している。このように、第1、第2接合部材B1、B2を第2領域Q2に対して同じ側に配置することにより、振動素子5の小型化を図ることができる。

20

【0037】

また、第1接合部材B1および第2接合部材B2は、それぞれ、第1領域Q1の内側に位置している。このように、第1、第2接合部材B1、B2を第1領域Q1の内側に配置することにより、振動素子5の小型化を図ることができる。

【0038】

また、平面視で、振動素子5の重心Gを通り、かつ、X軸と平行な仮想線を第1仮想線1としたとき、第1接合部材B1は、第1仮想線1に対して一方側、本実施形態ではZ'軸方向プラス側に位置している。一方、第2接合部材B2は、第1仮想線1に対して他方側、本実施形態ではZ'軸方向マイナス側に位置している。また、平面視で、第1接合部材B1と第2接合部材B2とを通る仮想線を第2仮想線2としたとき、第2仮想線2は、第1仮想線1すなわちX軸に対して傾斜している。第1、第2接合部材B1、B2をこのように配置することにより、第1、第2接合部材B1、B2を振動素子5の長手方向および短手方向にそれぞれ離間して配置することができるため、振動素子5をバランスよく、安定した姿勢で支持することができる。

30

【0039】

第1仮想線1と第2仮想線2とのなす角 θ_1 は、 $100^\circ < \theta_1 < 140^\circ$ の関係を満足している。これにより、振動素子5の応力感度（周波数変化/応力）が十分に小さくなる。つまり、応力による周波数変動が十分に小さくなる。そのため、例えば、ベース基板41と水晶基板51との熱膨張係数の差に起因して生じる熱応力が振動素子5に加わっても、さらには、その大小によっても、振動素子5の周波数特性をほぼ一定に保つことができる。したがって、安定した振動特性を有する振動デバイス1となる。

40

【0040】

以下、この理由について簡単に説明する。図8は、応力Fの方向と、受けた応力に起因した周波数変動の関係を示すグラフである。同図から、応力の方向がX軸から 120° 程度傾斜している場合（ $\theta = 1$ ）に、周波数変動がゼロであることが分かる。そのため、前述したように、 $100^\circ < \theta_1 < 140^\circ$ の関係を満足することにより、振動素子5の応力感度が十分に小さくなり、応力に起因する周波数変動を十分に小さく抑えることができる。なお、 $100^\circ < \theta_1 < 140^\circ$ であれば、特に限定されないが、 $105^\circ < \theta_1 < 135^\circ$ であることが好ましく、 $110^\circ < \theta_1 < 130^\circ$ であることがより好ましい。これにより、上述の効果をより顕著に発揮することができる。

50

【0041】

特に、本実施形態では、第1、第2接合部材B1、B2を介して振動素子5が取り付けられているベース基板41がシリコン基板で構成されている。シリコンの線膨張係数が 2.8 ppm/° であるのに対して、水晶のX軸方向の線膨張係数が 13.7 ppm/° であり、Z'軸方向の線膨張係数が 11.6 ppm/° である。このように、シリコンと水晶とでは線膨張係数が大きく異なっているため、本実施形態の振動デバイス1は、振動素子5に熱応力が加わり易く、その強さも大きくなり易い構成となっている。そのため、 $40^\circ < \theta < 80^\circ$ を満足することにより、その効果がより大きなものとなる。なお、例えば、ベース基板41に適用可能なセラミック基板の線膨張係数は、 7.0 ppm/° であり、シリコンと比べて水晶との線膨張係数の差が小さい。そのため、振動素子5に熱応力が加わり難く、その強さも大きくなり難い。このようなことから、ベース基板41がシリコン基板である場合に、特に、その効果を発揮することができると言える。

10

【0042】

なお、図8に示すように、応力Fの方向がX軸から 120° 傾斜している場合(=t2)にも、周波数変動がゼロであることが分かる。そのため、本実施形態の変形例として、図9に示すように、 $40^\circ < \theta < 80^\circ$ となるように、第1、第2接合部材B1、B2が配置されていてもよい。このような配置によっても、振動素子5の応力感度が十分に小さくなり、応力に起因する周波数変動を十分に小さく抑えることができる。なお、 $40^\circ < \theta < 80^\circ$ であれば、特に限定されないが、 $45^\circ < \theta < 75^\circ$ であることが好ましく、 $50^\circ < \theta < 70^\circ$ であることがより好ましい。これにより、上述の効果をより

20

【0043】

ここで、第2仮想線2は、平面視で、第1接合部材B1および第2接合部材B2と重なっているか接していればよいが、好ましくは、第1接合部材B1の中心Ob1と第2接合部材B2の中心Ob2とを通る仮想線であることが好ましい。これにより、上述した効果をより確実に発揮することができる。

【0044】

以上、振動デバイス1について説明した。このような振動デバイス1は、前述したように、互いに表裏関係にあり、電気軸であるX軸に沿っている第1面である下面51aおよび第2面である上面51bを含む水晶基板51と、下面51aに配置されている第1励振電極521と、上面51bに、第1励振電極521と対向して配置されている第2励振電極522と、下面51aに配置され、第1励振電極521と電氣的に接続されている第1パッド電極523と、下面51aに配置され、第2励振電極522と電氣的に接続されている第2パッド電極524と、を含む振動素子5と、基板40と、基板40に配置されている第1配線44および第2配線45と、を含むベース4と、第1パッド電極523と第1配線44とを接合する第1接合部材B1と、第2パッド電極524と第2配線45とを接合する第2接合部材B2と、を備える。また、水晶基板51の平面視で、振動素子5の重心Gを通り、かつ、X軸と平行な直線を第1仮想線1としたとき、第1接合部材B1は、平面視で、第1仮想線1に対して一方側に位置し、第2接合部材B2は、平面視で、第1仮想線1に対して他方側に位置する。そして、平面視で、第1接合部材B1と第2接合部材B2とを通る直線を第2仮想線2とし、第1仮想線1と第2仮想線2とのなす角を θ としたとき、 $40^\circ < \theta < 80^\circ$ または $100^\circ < \theta < 140^\circ$ を満足する。

30

40

【0045】

このような構成とすることにより、振動素子5の応力感度が十分に小さくなる。そのため、振動素子5に応力が加わっても、さらには、その大きさによっても、振動素子5の周波数特性をほぼ一定に保つことができる。したがって、安定した振動特性を有する振動デバイス1となる。また、第1、第2接合部材B1、B2をX軸方向およびZ'軸方向にそれぞれ離間して配置することができ、第1、第2接合部材B1、B2が振動素子5のZ'軸方向の一方側に偏って配置されることもないため、振動素子5をバランスよく、安定し

50

た姿勢で支持することができる。したがって、衝撃等によっても、振動素子 5 が変形し難く、より安定した振動特性を発揮することができる。

【0046】

また、前述したように、振動デバイス 1 は、 $45^\circ < \theta_1 < 75^\circ$ または $105^\circ < \theta_1 < 135^\circ$ を満足することが好ましい。これにより、上述した効果をより顕著に発揮することができる、より安定した振動特性を有する振動デバイス 1 となる。

【0047】

また、前述したように、平面視で、第 1 励振電極 521 を前記 X 軸方向に延長した領域を第 1 領域 Q1 としたとき、第 1 接合部材 B1 および第 2 接合部材 B2 は、それぞれ、第 1 領域 Q1 の内側に位置している。これにより、振動デバイス 1 の小型化を図ることができる。

10

【0048】

また、前述したように、平面視で、第 1 励振電極 521 を X 軸に直交する方向すなわち Z' 軸方向に延長した領域を第 2 領域 Q2 としたとき、第 1 接合部材 B1 および第 2 接合部材 B2 は、それぞれ、第 2 領域 Q2 の外側に位置し、かつ、第 2 領域 Q2 に対して同じ側、本実施形態では X 軸方向マイナス側に位置している。これにより、振動デバイス 1 の小型化を図ることができる。

【0049】

また、前述したように、基板 40 は、シリコン基板を含んでいる。シリコンと水晶とでは線膨張係数が大きく異なっているため、振動デバイス 1 は、振動素子 5 に熱応力が加わり易く、その強さも大きくなり易い構成となる。したがって、上述した効果がより寄与する構成となる。

20

【0050】

< 第 2 実施形態 >

図 10 は、第 2 実施形態に係る振動素子の下面を上側から見た透過図である。図 11 は、振動素子の变形例を示し、その下面を上側から見た透過図である。

【0051】

本実施形態に係る振動デバイス 1 は、第 1、第 2 接合部材 B1、B2 の配置が異なること以外は、前述した第 1 実施形態の振動デバイス 1 と同様である。なお、以下の説明では、第 2 実施形態の振動デバイス 1 に関し、前述した第 1 実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項に関してはその説明を省略する。また、図 10 および図 11 では、前述した実施形態と同様の構成について、同一符号を付している。

30

【0052】

図 10 に示すように、第 1 接合部材 B1 は、第 1 仮想線 11 に対して一方側、本実施形態では Z' 軸方向プラス側に位置している。一方、第 2 接合部材 B2 は、平面視で、第 1 仮想線 11 と重なっている。また、第 1 仮想線 11 と第 2 仮想線 12 とのなす角 θ_1 は、 $100^\circ < \theta_1 < 140^\circ$ の関係を満足している。このような配置によっても、振動素子 5 の応力感度が十分に小さくなり、応力に起因する周波数変動を十分に小さく抑えることができる。なお、本実施形態の变形例として、図 11 に示すように、 $40^\circ < \theta_1 < 80^\circ$ となるように、第 1、第 2 接合部材 B1、B2 が配置されていてもよく、本実施形態と同様の効果を発揮することができる。

40

【0053】

以上のように、本実施形態の振動デバイス 1 では、水晶基板 51 の平面視で、振動素子 5 の重心 G を通り、かつ、X 軸と平行な直線を第 1 仮想線 11 としたとき、第 1 接合部材 B1 は、平面視で、第 1 仮想線 11 に対して一方側に位置し、第 2 接合部材 B2 は、平面視で、第 1 仮想線 11 と重なっている。そして、平面視で、第 1 接合部材 B1 と第 2 接合部材 B2 とを通る直線を第 2 仮想線 12 とし、第 1 仮想線 11 と第 2 仮想線 12 とのなす角を θ_1 としたとき、 $40^\circ < \theta_1 < 80^\circ$ または $100^\circ < \theta_1 < 140^\circ$ である。

【0054】

このような構成とすることにより、振動素子 5 の応力感度が十分に小さくなる。そのた

50

め、振動素子 5 に応力が加わっても、さらには、その大きさによっても、振動素子 5 の周波数特性をほぼ一定に保つことができる。したがって、安定した振動特性を有する振動デバイス 1 となる。また、第 1、第 2 接合部材 B 1、B 2 を X 軸方向および Z' 軸方向にそれぞれ離間して配置することができ、第 1、第 2 接合部材 B 1、B 2 が振動素子 5 の Z' 軸方向の一方側に偏って配置されることもないため、振動素子 5 をバランスよく、安定した姿勢で支持することができる。したがって、衝撃等によっても、振動素子 5 が変形し難く、より安定した振動特性を発揮することができる。

【0055】

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発揮することができる。

【0056】

< 第 3 実施形態 >

図 12 は、第 3 実施形態に係る振動素子の下面を上側から見た透過図である。

【0057】

本実施形態に係る振動デバイス 1 は、第 1、第 2 接合部材 B 1、B 2 の配置が異なること以外は、前述した第 1 実施形態の振動デバイス 1 と同様である。なお、以下の説明では、第 3 実施形態の振動デバイス 1 に関し、前述した第 1 実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項に関してはその説明を省略する。また、図 12 では、前述した実施形態と同様の構成について、同一符号を付している。

【0058】

図 12 に示すように、第 1 接合部材 B 1 は、第 1 領域 Q 1 の外側、本実施形態では第 1 領域 Q 1 に対して Z' 軸方向プラス側に位置している。一方、第 2 接合部材 B 2 は、第 1 領域 Q 1 の外側、本実施形態では第 1 領域 Q 1 に対して Z' 軸方向マイナス側に位置している。つまり、第 1、第 2 接合部材 B 1、B 2 は、第 1 領域 Q 1 を間に挟んで配置されている。このような構成とすることにより、第 1、第 2 接合部材 B 1、B 2 を十分に離間して配置することができ、振動素子 5 をより安定した姿勢でベース 4 に取り付けることができる。

【0059】

以上のように、本実施形態の振動デバイス 1 では、平面視で、第 1 励振電極 521 を X 軸方向に延長した領域を第 1 領域 Q 1 としたとき、第 1 接合部材 B 1 および第 2 接合部材 B 2 は、それぞれ、第 1 領域 Q 1 の外側に位置し、かつ、第 1 領域 Q 1 を間に挟んで配置されている。このような構成とすることにより、第 1、第 2 接合部材 B 1、B 2 を十分に離間して配置することができ、振動素子 5 をより安定した姿勢でベース 4 に取り付けることができる。

【0060】

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発揮することができる。なお、本実施形態の変形例として、例えば、第 1、第 2 接合部材 B 1、B 2 のいずれか一方が第 1 領域 Q 1 内に位置していてもよい。

【0061】

< 第 4 実施形態 >

図 13 は、第 4 実施形態に係る振動モジュールを示す断面図である。

【0062】

図 13 に示す振動モジュール 1000 は、支持基板 1010 と、支持基板 1010 に搭載された回路基板 1020 と、回路基板 1020 に搭載された振動デバイス 1 と、回路基板 1020 および振動デバイス 1 をモールドするモールド材 M と、を有する。

【0063】

支持基板 1010 は、例えば、インターポザー基板である。支持基板 1010 の上面には複数の接続端子 1011 が配置され、下面には複数の実装端子 1012 が配置されている。また、支持基板 1010 内には図示しない内部配線が配置され、この内部配線を介して、各接続端子 1011 が、対応する実装端子 1012 と電氣的に接続されている。こ

10

20

30

40

50

のような支持基板 1010 としては、特に限定されず、例えば、シリコン基板、セラミック基板、樹脂基板、ガラス基板、ガラスエポキシ基板等を用いることができる。

【0064】

また、回路基板 1020 は、ダイアタッチ材を介して支持基板 1010 の上面に接合されている。回路基板 1020 は、振動デバイス 1 が有する振動素子 5 を発振させてクロック信号等の基準信号の周波数を生成する発振回路 1023 が形成されており、その上面に発振回路と電氣的に接続された複数の端子 1022 が配置されている。そして、一部の端子 1022 は、ボンディングワイヤー BW を介して接続端子 1011 と電氣的に接続されており、一部の端子 1022 は、例えば、半田等の導電性接合部材 B3 を介して振動デバイス 1 と電氣的に接続されている。

10

【0065】

モールド材 M は、回路基板 1020 および振動デバイス 1 をモールドし、水分、埃、衝撃等から保護している。モールド材 M としては、特に限定されないが、例えば、熱硬化型のエポキシ樹脂を用いることができ、トランスファーモールド法によってモールドすることができる。

【0066】

以上のような振動モジュール 1000 は、振動デバイス 1 を備える。そのため、前述した振動デバイス 1 の効果を享受でき、優れた信頼性を発揮することができる。

【0067】

< 第 5 実施形態 >

20

図 14 は、第 5 実施形態に係る電子機器を示す斜視図である。

【0068】

図 14 に示すラップトップ型のパーソナルコンピューター 1100 は、本発明の振動デバイスを備える電子機器を適用したものである。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 1108 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、例えば、発振器として用いられる振動デバイス 1 が内蔵されている。

【0069】

このように、電子機器としてのパーソナルコンピューター 1100 は、振動デバイス 1 を備える。そのため、前述した振動デバイス 1 の効果を享受でき、高い信頼性を発揮することができる。

30

【0070】

< 第 6 実施形態 >

図 15 は、第 6 実施形態に係る電子機器を示す斜視図である。

【0071】

図 15 に示す携帯電話機 1200 は、本発明の振動デバイスを備える電子機器を適用したものである。携帯電話機 1200 は、図示しないアンテナ、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 1208 が配置されている。このような携帯電話機 1200 には、例えば、発振器として用いられる振動デバイス 1 が内蔵されている。

40

【0072】

このように、電子機器としての携帯電話機 1200 は、振動デバイス 1 を備える。そのため、前述した振動デバイス 1 の効果を享受でき、高い信頼性を発揮することができる。

【0073】

< 第 7 実施形態 >

図 16 は、本発明の第 7 実施形態に係る電子機器を示す斜視図である。

【0074】

図 16 に示すデジタルスチールカメラ 1300 は、本発明の振動デバイスを備える電子機器を適用したものである。ボディ 1302 の背面には表示部 1310 が設けられ、CC

50

D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1310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、ボディ1302の正面側(図中裏面側)には、光学レンズやCCDなどを含む受光ユニット1304が設けられている。そして、撮影者が表示部1310に表示された被写体像を確認し、シャッターボタン1306を押すと、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。このようなデジタルスチールカメラ1300には、例えば、発振器として用いられる振動デバイス1が内蔵されている。

【0075】

このように、電子機器としてのデジタルスチールカメラ1300は、振動デバイス1を備える。そのため、前述した振動デバイス1の効果を享受でき、高い信頼性を発揮することができる。

10

【0076】

なお、本発明の電子機器は、前述したパーソナルコンピューター、携帯電話機およびデジタルスチールカメラの他にも、例えば、スマートフォン、タブレット端末、時計(スマートウォッチを含む)、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)、デスクトップ型パーソナルコンピューター、テレビ、HMD(ヘッドマウントディスプレイ)等のウェアラブル端末、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、移動体端末基地局用機器、計器類(例えば、車両、航空機、船舶の計器類)、フライトシミュレーター、ネットワークサーバー等に適用することができる。

20

【0077】

<第8実施形態>

図17は、第8実施形態に係る移動体を示す斜視図である。

【0078】

図17に示す自動車1500は、本発明の振動デバイスを備える移動体を適用した自動車である。自動車1500には、例えば、発振器として用いられる振動デバイス1が内蔵されている。振動デバイス1は、例えば、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

【0079】

このように、移動体としての自動車1500は、振動デバイス1を備える。そのため、前述した振動デバイス1の効果を享受でき、高い信頼性を発揮することができる。

【0080】

なお、移動体としては、自動車1500に限定されず、例えば、飛行機、船舶、AGV(無人搬送車)、二足歩行ロボット、ドローン等の無人飛行機等にも適用することができる。

40

【0081】

以上、本適用例の振動デバイス、振動モジュール、電子機器および移動体を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、本発明は、前記各実施形態のうちの、任意の2以上の構成を組み合わせたものであってもよい。

【符号の説明】

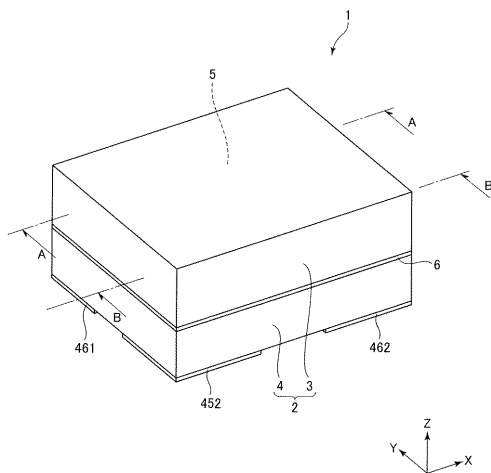
【0082】

50

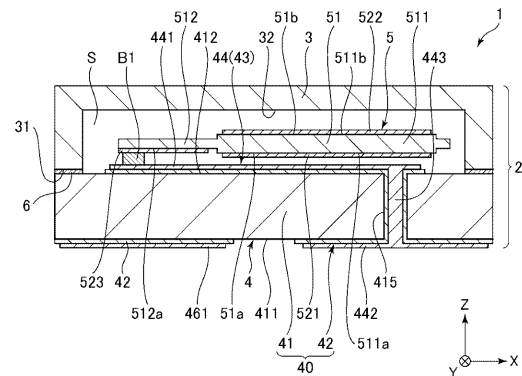
1 ... 振動デバイス、2 ... パッケージ、3 ... リッド、3 1 ... 下面、3 2 ... 凹部、4 ... ベース、4 0 ... 基板、4 1 ... ベース基板、4 1 1 ... 下面、4 1 2 ... 上面、4 1 5 ... 貫通孔、4 1 6 ... 貫通孔、4 2 ... 絶縁膜、4 3 ... 電極、4 4 ... 第 1 配線、4 4 1 ... 内部端子、4 4 2 ... 外部端子、4 4 3 ... 貫通電極、4 5 ... 第 2 配線、4 5 1 ... 内部端子、4 5 2 ... 外部端子、4 5 3 ... 貫通電極、4 6 1 ... ダミー端子、4 6 2 ... ダミー端子、5 ... 振動素子、5 1 ... 水晶基板、5 1 a ... 下面、5 1 b ... 上面、5 1 1 ... 振動部、5 1 1 a ... 下面、5 1 1 b ... 上面、5 1 2 ... 支持部、5 1 2 a ... 下面、5 2 ... 電極、5 2 1 ... 第 1 励振電極、5 2 2 ... 第 2 励振電極、5 2 3 ... 第 1 パッド電極、5 2 4 ... 第 2 パッド電極、5 2 5 ... 第 1 引き出し配線、5 2 6 ... 第 2 引き出し配線、6 ... 接合部材、1 0 0 0 ... 振動モジュール、1 0 1 0 ... 支持基板、1 0 1 1 ... 接続端子、1 0 1 2 ... 実装端子、1 0 2 0 ... 回路基板、1 0 2 2 ... 端子、1 0 2 3 ... 発振回路、1 1 0 0 ... パーソナルコンピューター、1 1 0 2 ... キーボード、1 1 0 4 ... 本体部、1 1 0 6 ... 表示ユニット、1 1 0 8 ... 表示部、1 2 0 0 ... 携帯電話機、1 2 0 2 ... 操作ボタン、1 2 0 4 ... 受話口、1 2 0 6 ... 送話口、1 2 0 8 ... 表示部、1 3 0 0 ... デジタルスチールカメラ、1 3 0 2 ... ボディ、1 3 0 4 ... 受光ユニット、1 3 0 6 ... シャッターボタン、1 3 0 8 ... メモリー、1 3 1 0 ... 表示部、1 5 0 0 ... 自動車、B 1 ... 第 1 接合部材、B 2 ... 第 2 接合部材、B 3 ... 導電性接合部材、B W ... ボンディングワイヤー、G ... 重心、M ... モールド材、O b 1、O b 2 ... 中心、Q 1 ... 第 1 領域、Q 2 ... 第 2 領域、S ... 収納空間、1 ... 第 1 仮想線、2 ... 第 2 仮想線、... 角度、1 ... 角

10

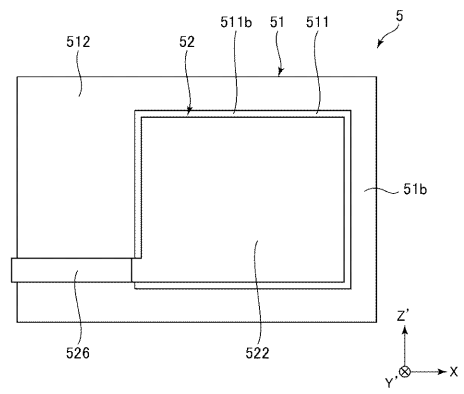
【図 1】



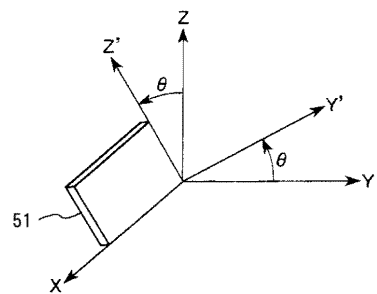
【図 2】



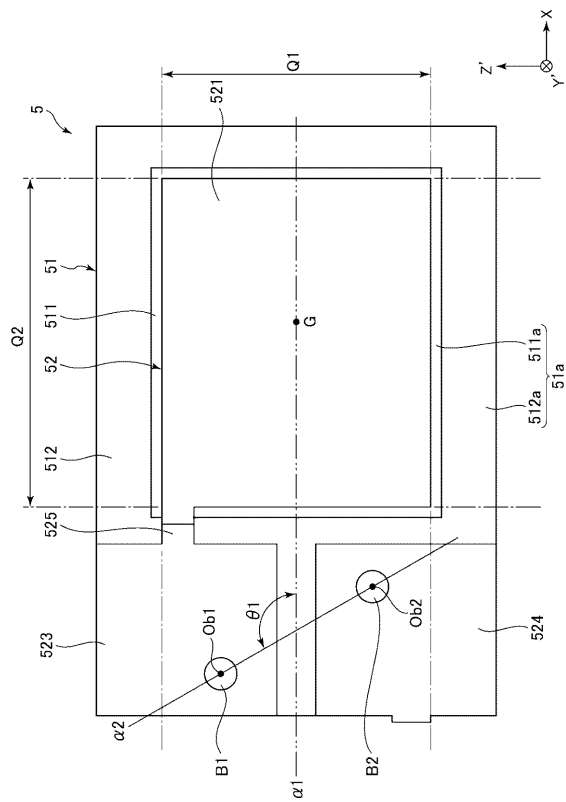
【 図 4 】



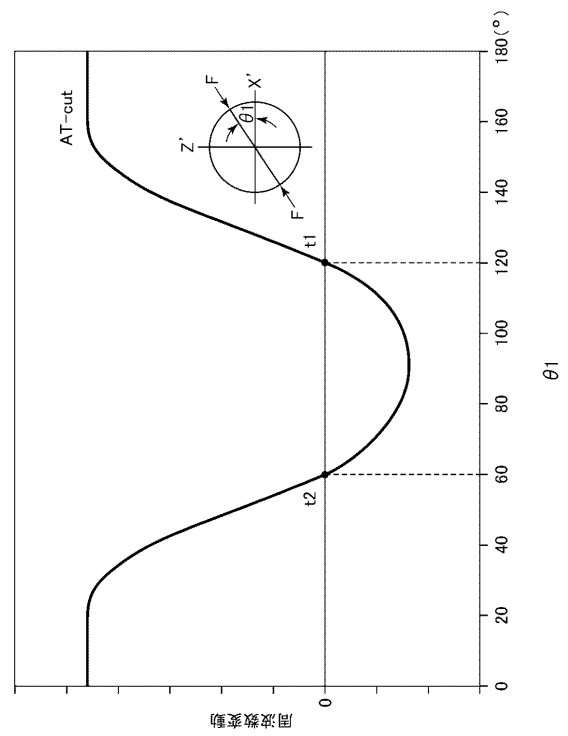
【 図 6 】



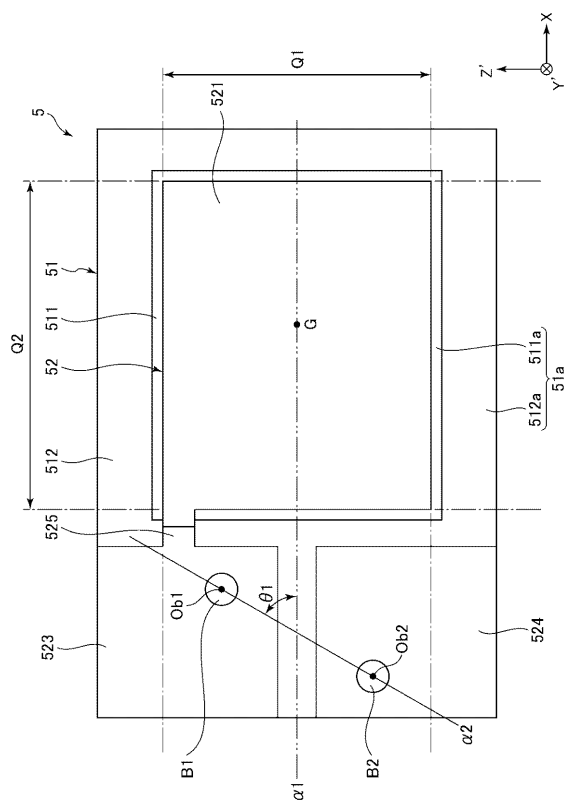
【 図 7 】



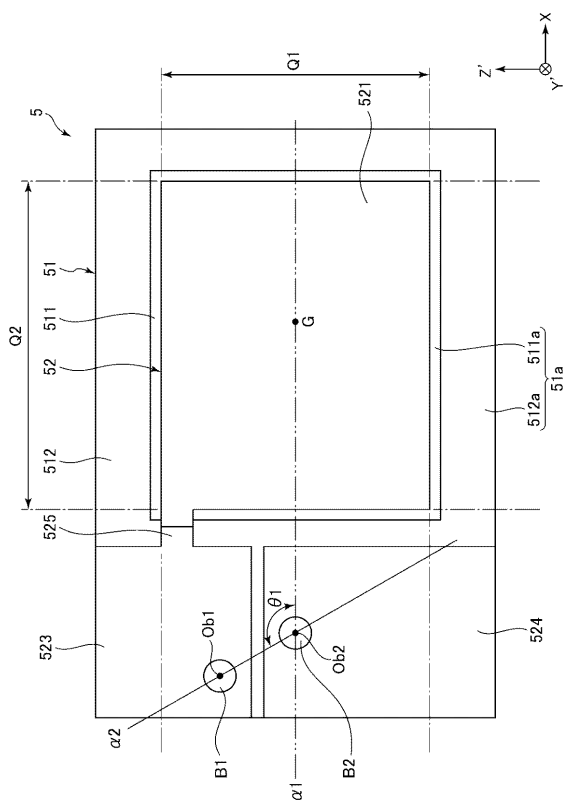
【 図 8 】



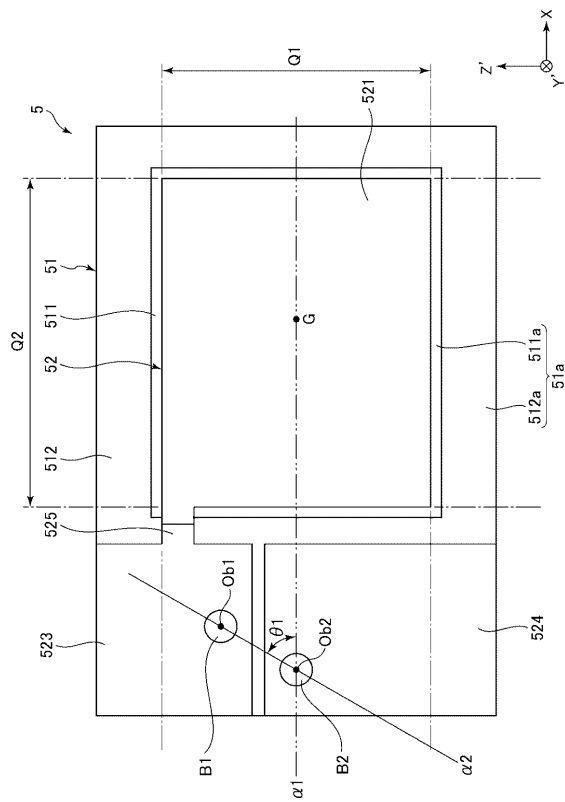
【 図 9 】



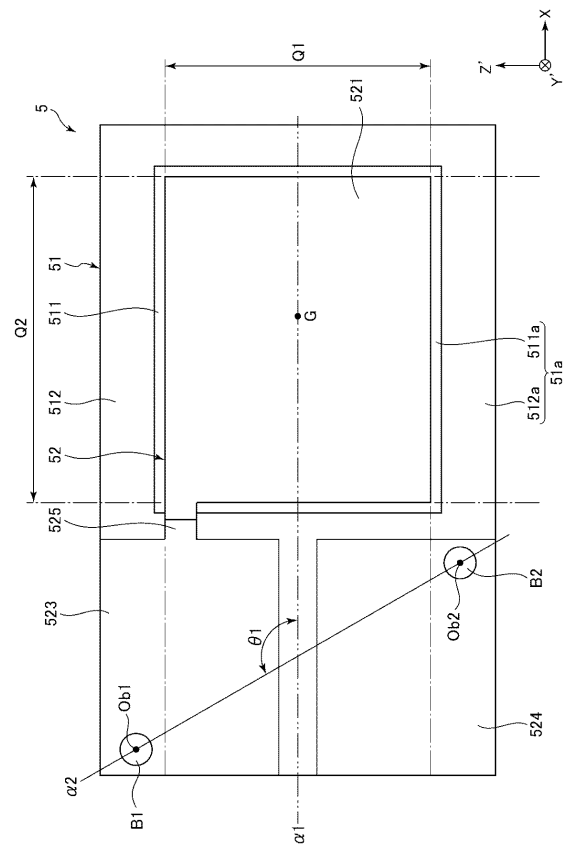
【 図 1 0 】



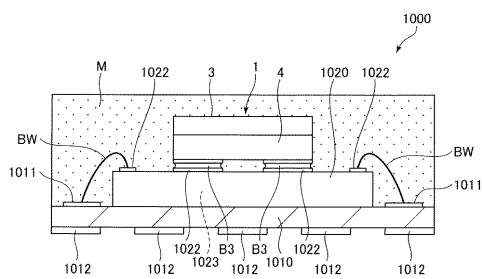
【図 1 1】



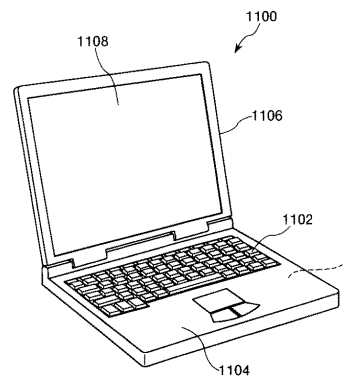
【図 1 2】



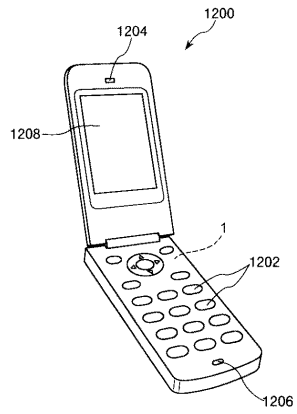
【図 1 3】



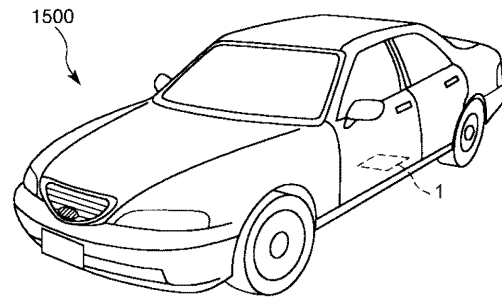
【図 1 4】



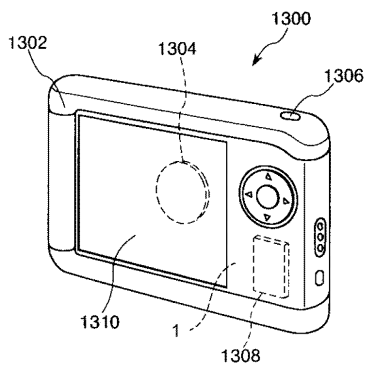
【図 15】



【図 17】



【図 16】



フロントページの続き

(72)発明者 青木 信也

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 柳 炳學

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 西澤 竜太

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) 5J108 AA01 BB02 CC04 DD02 EE03 EE07 EE14 EE18 FF09 GG03
GG08 GG17 GG21