

(19)日本国特許庁(JP)

**(12)特許公報(B2)**

(11)特許番号  
**特許第7247694号**  
**(P7247694)**

(45)発行日 令和5年3月29日(2023.3.29)

(24)登録日 令和5年3月20日(2023.3.20)

(51)国際特許分類

H 03 H	9/02 (2006.01)	H 03 H	9/02	A
H 01 L	23/02 (2006.01)	H 01 L	23/02	J
H 01 L	23/08 (2006.01)	H 01 L	23/08	
H 03 B	5/32 (2006.01)	H 03 B	5/32	H

請求項の数 11 (全18頁)

(21)出願番号 特願2019-57427(P2019-57427)  
 (22)出願日 平成31年3月25日(2019.3.25)  
 (65)公開番号 特開2020-161907(P2020-161907)  
 A)  
 (43)公開日 令和2年10月1日(2020.10.1)  
 審査請求日 令和4年1月24日(2022.1.24)

(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 横山 好彦  
 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 吉村 伊佐雄

最終頁に続く

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

**(57)【特許請求の範囲】****【請求項1】**

半導体材料またはガラス材料により構成され、第1主面に開口している凹部を有する第1基板と、

前記第1主面に接合され、前記凹部の開口を塞ぐ第2基板と、

前記凹部に収納される振動素子と、を備え、

前記凹部の内面は、側面、底面および前記側面と前記底面とを接続している接続面を有し、

前記接続面は、曲面であり、

前記接続面の前記第1基板の厚さ方向である第1方向の長さをL1とし、前記第1方向に直交する第2方向の長さをL2としたとき、

L1 < L2であることを特徴とする振動デバイス。

**【請求項2】**

前記凹部の前記第1方向の深さをL3としたとき、

0.02 < L1 / L3 < 0.2である請求項1に記載の振動デバイス。

**【請求項3】**

前記凹部は、平面視で矩形であり、

前記凹部の内面は、4つの前記側面を有し、

前記側面と前記接続面との境界は、前記側面の両端部よりも中央部が前記底面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】**

前記側面と前記接続面との境界は、前記振動素子よりも前記底面側に位置している請求項 1ないし 3のいずれか 1 項に記載の振動デバイス。

**【請求項 5】**

前記第 1 基板は、前記第 1 主面と表裏関係にある第 2 主面と、前記第 1 主面と前記第 2 主面とを接続する外周面と、前記第 2 主面と前記外周面との間に位置し、前記第 2 主面および前記外周面に対して傾斜している傾斜面と、を有する請求項 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】**

前記接続面の前記側面側の第 1 端部における曲率半径は、 $1 \mu m$ 以上、且つ $10 \mu m$ 以下であり、

前記接続面の前記底面側の第 2 端部における曲率半径は、 $2 \times 10^5 \mu m$ 以上、且つ $3 \times 10^5 \mu m$ 以下であり、

前記第 1 端部と前記第 2 端部との間は、連続的な曲面である請求項 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】**

前記凹部は、ドライエッティングにより形成されたエッティング凹部であり、  
前記側面は、前記ドライエッティングにより形成された複数のスキヤロップを有し、  
前記第 1 端部における前記接続面の曲率半径は、前記スキヤロップの曲率半径よりも大きい請求項 6 に記載の振動デバイス。

**【請求項 8】**

請求項 1ないし 7 のいずれか 1 項に記載の振動デバイスと、  
前記振動素子と電気的に接続され、前記振動素子を発振させる発振回路と、を有することを特徴とする発振器。

**【請求項 9】**

請求項 1ないし 7 のいずれか 1 項に記載の振動デバイスと、  
前記振動デバイスが搭載されているモジュール部品と、  
前記振動デバイスを覆うモールド材と、を有することを特徴とする振動モジュール。

**【請求項 10】**

請求項 8 に記載の発振器と、  
前記発振器から出力される発振信号に基づいて動作する演算処理回路と、を備えていることを特徴とする電子機器。

**【請求項 11】**

請求項 8 に記載の発振器と、  
前記発振器から出力される発振信号に基づいて動作する演算処理回路と、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、振動デバイス、発振器、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 や特許文献 2 には、凹部を有する蓋体と、凹部の開口を塞いで蓋体に接合されているベース基板と、凹部に収納され、ベース基板に固定されている振動素子と、を有する振動デバイスが記載されている。

**【先行技術文献】****【特許文献】****【0003】**

【文献】特開 2011 - 87075 号公報

10

20

30

40

50

特開平4-284006号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献1や特許文献2に記載されている振動デバイスにおいて、蓋体をガラスやシリコンのような機械的強度が十分に高くない材料で構成する場合、蓋体に形成されている凹部の側面と底面との間の形状によっては、当該部分に応力が集中してクラック等が発生し、振動デバイスの特性が劣化するおそれがあった。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本適用例に係る振動デバイスは、半導体材料またはガラス材料により構成され、第1主面に開口している凹部を有する第1基板と、

前記第1主面に接合され、前記凹部の開口を塞ぐ第2基板と、

前記凹部に収納される振動素子と、を備え、

前記凹部の内面は、側面、底面および前記側面と前記底面とを接続している接続面を有し、

前記接続面は、曲面であり、

前記接続面の前記第1基板の厚さ方向である第1方向の長さをL1とし、前記第1方向に直交する第2方向の長さをL2としたとき、

$L_1 < L_2$ であることを特徴とする。

10

【0006】

本適用例に係る振動デバイスでは、前記凹部の前記第1方向の深さをL3としたとき、

$0.02 < L_1 / L_3 < 0.2$ であることが好ましい。

【0007】

本適用例に係る振動デバイスでは、前記凹部は、平面視で矩形であり、

前記凹部の内面は、4つの前記側面を有し、

前記側面と前記接続面との境界は、前記側面の両端部よりも中央部が前記底面側に位置していることが好ましい。

【0008】

本適用例に係る振動デバイスでは、前記側面と前記接続面との境界は、前記振動素子よりも前記底面側に位置していることが好ましい。

30

【0009】

本適用例に係る振動デバイスでは、前記第1基板は、前記第1主面と表裏関係にある第2主面と、前記第1主面と前記第2主面とを接続する外周面と、前記第2主面と前記外周面との間に位置し、前記第2主面および前記外周面に対して傾斜している傾斜面と、を有することを特徴とする振動デバイス。

【0010】

本適用例に係る振動デバイスでは、前記接続面の前記側面側の第1端部における曲率半径は、 $1 \mu m$ 以上、且つ $10 \mu m$ 以下であり、

前記接続面の前記底面側の第2端部における曲率半径は、 $2 \times 10^5 \mu m$ 以上、且つ $3 \times 10^5 \mu m$ 以下であり、

前記第1端部と前記第2端部との間は、連続的な曲面であることが好ましい。

40

【0011】

本適用例に係る振動デバイスでは、前記凹部は、ドライエッチングにより形成されたエッチング凹部であり、

前記側面は、前記ドライエッチングにより形成された複数のスキヤロップを有し、

前記第1端部における前記接続面の曲率半径は、前記スキヤロップの曲率半径よりも大きいことが好ましい。

【0012】

本適用例に係る発振器は、上述の振動デバイスと、

50

前記振動素子と電気的に接続され、前記振動素子を発振させる発振回路と、を有することを特徴とする。

**【0013】**

本適用例に係る振動モジュールは、上述の振動デバイスと、  
前記振動デバイスが搭載されているモジュール部品と、  
前記振動デバイスを覆うモールド材と、を有することを特徴とする。

**【0014】**

本適用例に係る電子機器は、上述の発振器と、  
前記発振器から出力される発振信号に基づいて動作する演算処理回路と、を備えている  
ことを特徴とする。

10

**【0015】**

本適用例に係る移動体は、上述の発振器と、  
前記発振器から出力される発振信号に基づいて動作する演算処理回路と、を備えている  
ことを特徴とする。

**【図面の簡単な説明】**

**【0016】**

【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。

20

【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】図1の振動デバイスが有する振動素子を示す平面図である。

【図5】図4中のC-C線断面図である。

【図6】図4中のD-D線断面図である。

【図7】図1の振動デバイスが有するリッドを示す拡大断面図である。

【図8】第2実施形態に係る発振器を示す断面図である。

【図9】第3実施形態に係る振動モジュールを示す断面図である。

【図10】第4実施形態に係るパーソナルコンピューターを示す斜視図である。

【図11】第5実施形態に係る携帯電話機を示す斜視図である。

【図12】第6実施形態に係るデジタルスチールカメラを示す斜視図である。

【図13】第7実施形態に係る自動車を示す斜視図である。

30

**【発明を実施するための形態】**

**【0017】**

以下、本適用例に係る振動デバイス、発振器、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。

**【0018】**

<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、図1の振動デバイスが有する振動素子を示す平面図である。図5は、図4中のC-C線断面図である。図6は、図4中のD-D線断面図である。図7は、図1の振動デバイスが有するリッドを示す拡大断面図である。なお、説明の便宜上、各図には、互いに直交する3軸をX軸、Y軸およびZ軸として図示している。また、各軸の矢印先端側を「プラス側」とも言い、反対側を「マイナス側」とも言う。また、Z軸方向プラス側を「上」とも言い、マイナス側を「下」とも言う。また、Z軸方向からの平面図を単に「平面図」とも言う。

40

**【0019】**

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、第1基板として振動素子5を収納する凹部35を有する箱状のリッド3と、第2基板として凹部35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35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

50

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いてもよい。

#### 【 0 0 2 0 】

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。ベース基板 4 1 は、平面視形状が矩形の板状であり、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。

#### 【 0 0 2 1 】

ベース基板 4 1 の構成材料は、半導体材料である。半導体材料としては、特に限定されず、例えば、シリコン、ゲルマニウムや、GaP、GaAs、InP 等の化合物半導体材料を用いることができる。ベース基板 4 1 の構成材料として半導体材料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 の構成材料として、シリコンを用いている。これにより、入手し易く、安価なベース基板 4 1 となる。

10

#### 【 0 0 2 2 】

ただし、ベース基板 4 1 の構成材料としては、半導体材料に限定されず、例えば、各種セラミックス材料、各種ガラス材料等を用いることができる。セラミックス材料やガラス材料を用いた場合、ベース基板 4 1 自体が絶縁性を有するため、絶縁膜 4 2 を省略することができる。

20

#### 【 0 0 2 3 】

また、ベース基板 4 1 の表面には絶縁膜 4 2 が配置されている。ただし、絶縁膜 4 2 は、上面 4 1 2 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 4 1 2 の外縁部は、絶縁膜 4 2 から露出している。絶縁膜 4 2 は、シリコン酸化膜 (SiO<sub>2</sub> 膜) から構成されている。また、絶縁膜 4 2 の形成方法としては、特に限定されず、例えば、ベース基板 4 1 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 4 2 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。

30

#### 【 0 0 2 4 】

また、絶縁膜 4 2 上には電極 4 3 が配置されている。電極 4 3 は、互いに離間して配置された第 1 配線 4 4 および第 2 配線 4 5 を有する。第 1 配線 4 4 は、基板 4 0 の上面に配置され、収納空間 S 内に臨む内部端子 4 4 1 と、基板 4 0 の下面に配置され、パッケージ 2 の外部に臨む外部端子 4 4 2 と、貫通孔 4 1 5 内に配置され、内部端子 4 4 1 と外部端子 4 4 2 とを電気的に接続する貫通電極 4 4 3 と、を有する。

30

#### 【 0 0 2 5 】

同様に、第 2 配線 4 5 は、基板 4 0 の上面に配置され、収納空間 S 内に臨む内部端子 4 5 1 と、基板 4 0 の下面に配置され、パッケージ 2 の外部に臨む外部端子 4 5 2 と、貫通孔 4 1 6 内に配置され、内部端子 4 5 1 と外部端子 4 5 2 とを電気的に接続する貫通電極 4 5 3 と、を有する。

40

#### 【 0 0 2 6 】

また、電極 4 3 は、基板 4 0 の下面に配置された 2 つのダミー端子 4 6 1 、 4 6 2 を有する。ダミー端子 4 6 1 、 4 6 2 は、電気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 4 6 1 、 4 6 2 の役割としては、これに限定されない。

#### 【 0 0 2 7 】

リッド 3 は、下面 3 1 (第 1 主面) と、下面 3 1 と表裏関係にある上面 3 2 (第 2 主面

50

)と、下面31と上面32とを接続する外周面33と、上面32と外周面33との間に位置し、上面32および外周面33に対して傾斜している傾斜面34と、を有する。言い換えると、上面32と外周面33の間の角部が面取りされている。これにより、当該部分への応力集中が抑制され、リッド3の機械的強度が高まる。なお、本実施形態では、傾斜面34が平坦面で構成されているが、これに限定されず、曲面で構成されていてもよい。また、本実施形態では、上面32の全周にわたって傾斜面34が形成されているが、これに限定されず、上面32の外周の一部にだけ傾斜面34が形成されていてもよい。また、傾斜面34は、省略してもよい。

#### 【0028】

また、リッド3は、その下面31に開口する有底の凹部35を有する箱状をなす。このようなリッド3の構成材料は、半導体材料である。半導体材料としては、特に限定されず、例えば、シリコン、ゲルマニウムや、GaP、GaAs、InP等の化合物半導体材料を用いることができる。リッド3の構成材料として半導体材料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の構成材料としてシリコンを用いている。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ます。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。

10

#### 【0029】

ただし、リッド3の構成材料としては、半導体材料に限定されず、各種ガラス材料を用いることもできる。リッド3の構成材料として、光透過性を有するガラス材料を用いると、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励振電極522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。

20

#### 【0030】

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31と上面412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。

30

#### 【0031】

図4に示すように、振動素子5は、振動基板51と、振動基板51の表面に配置された電極52と、を有する。振動基板51は、厚みすべり振動モードを有し、本実施形態ではATカット水晶基板から形成されている。ATカット水晶基板は、三次の周波数温度特性を有しており、優れた温度特性を有する振動素子5となる。

40

#### 【0032】

電極52は、振動基板51の下面に配置された励振電極521と、上面に振動基板51を介して励振電極521と対向して配置された励振電極522と、を有する。また、電極52は、振動基板51の下面に配置された一対の端子523、524と、端子523と励振電極521とを電気的に接続する配線525と、端子524と励振電極522とを電気的に接続する配線526と、を有する。

#### 【0033】

なお、振動素子5の構成は、上述の構成に限定されない。例えば、振動素子5は、励振電極521、522に挟まれた振動領域がその周囲から突出したメサ型となっていてもよいし、逆に、振動領域がその周囲から凹没した逆メサ型となっていてもよい。また、振動

50

基板 5 1 の周囲を研削するペベル加工や、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。

#### 【 0 0 3 4 】

また、振動素子 5 としては、厚みすべり振動モードで振動するものに限定されず、例えば、2つの振動腕が面内方向に音叉振動する音叉型の振動素子であってもよい。すなわち、振動基板 5 1 は、A T カット水晶基板に限定されず、A T カット水晶基板以外の水晶基板、例えば、X カット水晶基板、Y カット水晶基板、Z カット水晶基板、B T カット水晶基板、S C カット水晶基板、S T カット水晶基板等であってもよい。また、本実施形態では、振動基板 5 1 が水晶で構成されているが、これに限定されず、例えば、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、四ホウ酸リチウム、ランガライト、ニオブ酸カリウム、リン酸ガリウム等の圧電単結晶体により構成されていてもよいし、これら以外の圧電単結晶体で構成されていてもよい。更にまた、振動素子 5 は、圧電駆動型の振動素子に限らず、静電気力を用いた静電駆動型の振動素子であってもよい。

10

#### 【 0 0 3 5 】

このような振動素子 5 は、図 2、図 3 および図 4 に示すように、導電性の接合部材 B 1、B 2 によってベース 4 の上面に固定されている。また、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 が有する端子 5 2 3 とを電気的に接続し、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 が有する端子 5 2 4 とを電気的に接続している。

20

#### 【 0 0 3 6 】

接合部材 B 1、B 2 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、金バンプ、銀バンプ、銅バンプ、はんだバンプ等の各種金属バンプ、ポリイミド系、エポキシ系、シリコーン系、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。接合部材 B 1、B 2 として前者の金属バンプを用いると、接合部材 B 1、B 2 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、接合部材 B 1、B 2 として後者の導電性接着剤を用いると、接合部材 B 1、B 2 が金属バンプに比べて柔らかくなり、振動素子 5 に応力が伝わり難くなる。

#### 【 0 0 3 7 】

以上、振動デバイス 1 の全体構成について簡単に説明した。次に、振動デバイス 1 の特徴の1つである凹部 3 5 の構成について詳細に説明する。図 4 に示すように、凹部 3 5 は、平面視で矩形であり、特に本実施形態では、X 軸方向を長手とする長方形である。そのため、図 5 および図 6 に示すように、凹部 3 5 の内面は、4つの側面 3 5 1 と、底面 3 5 2 と、を有する。そして、凹部 3 5 の内面は、さらに、各側面 3 5 1 と底面 3 5 2 との間に位置し、これらを接続する接続面 3 5 3 を有する。接続面 3 5 3 は、断面視で、湾曲凹面からなる曲面である。このように、側面 3 5 1 と底面 3 5 2 との間に曲面からなる接続面 3 5 3 を配置することにより、側面 3 5 1 と底面 3 5 2 との間に角が形成されず、当該部分への応力集中が低減される。したがって、本実施形態のように、機械的強度がそれほど高くないシリコンによってリッド 3 を構成しても、十分に高い機械的強度を有する振動デバイス 1 となる。また、応力集中によるクラックが発生し、振動素子 5 を収納する収納空間 S の気密性が破壊され、振動素子 5 の周波数等が変動することを抑制できる。

30

#### 【 0 0 3 8 】

また、側面 3 5 1 と接続面 3 5 3 との境界 Q は、振動素子 5 よりも上側すなわち底面 3 5 2 側に位置している。接続面 3 5 3 が形成されている部分では、接続面 3 5 3 が傾斜している分、収納空間 S の X 軸方向の幅および Y 軸方向の幅が小さくなってしまう。そのため、接続面 3 5 3 を振動素子 5 よりも上側に配置することにより、振動素子 5 の配置スペースが小さくなるのを抑制することができ、振動素子 5 を、リッド 3 との間に十分なクリアランスを持ってベース 4 に配置することができる。ただし、これに限定されず、例えば、境界 Q は、振動素子 5 よりも下側に位置していてもよい。

40

#### 【 0 0 3 9 】

50

また、接続面 353 は、リッド 3 の厚さ方向である Z 軸方向の長さを L1 とし、Z 軸方向に直交する方向である方向すなわち図 5 であれば X 軸方向、図 6 であれば Y 軸方向の長さを L2 としたとき、 $L2 > L1$  である。これにより、例えば、 $L2 = L1$  である場合と比べて、応力の分散効率が高まり、リッド 3 の破損を効果的に抑制することができる。また、 $L2 < L1$  の場合と比べて、接続面 353 の高さが抑えられるため、リッド 3 の小型化を図ることができる。

#### 【0040】

なお、図 5 および図 6 に示すように、本実施形態では、接続面 353 は、その全周において  $L2 > L1$  となっているが、少なくとも一部が  $L2 > L1$  となっていればよい。また、図 5 と図 6 とで L2 や L1 の大きさが異なっていてもよい。この場合は、図 5 に示す L2、L1 が  $L2 > L1$  であり、図 6 に示す L2、L1 が  $L2 > L1$  であればよい。

10

#### 【0041】

また、凹部 35 の深さを L3 としたとき、 $0.02 < L1 / L3 < 0.2$  である。このように、 $0.02 < L1 / L3$  とすることにより、上述した応力分散効果を十分に発揮することができる。一方、 $L1 / L3 < 0.2$  とすることにより、パッケージ 2 の大型化を効果的に抑制することができる。なお、 $0.05 < L1 / L3 < 0.15$  であるのがより好ましく、 $0.07 < L1 / L3 < 0.12$  であるのがさらに好ましい。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。ただし、L1 と L3 との関係は、特に限定されない。

#### 【0042】

また、接続面 353 の側面 351 側の第 1 端部 P1 における曲率半径 r1 と、底面 352 側の第 2 端部 P2 における曲率半径 r2 と、中央部 P3 における曲率半径 r3 と、を比較すると、 $r3 < r1 < r2$  である。また、第 1 端部 P1 と第 2 端部 P2 とは、連続した曲面で接続されており、第 1 端部 P1 から中央部 P3 に向けて曲率半径が漸増し、同じく、第 2 端部 P2 から中央部 P3 に向けて曲率半径が漸増している。このように、第 1 端部 P1 と第 2 端部 P2 とで曲率半径を異ならせることにより、前述した応力分散効果をより顕著に発揮することができる。また、中央部 P3 の曲率半径 r3 を、第 1、第 2 端部 P1、P2 の曲率半径 r1、r2 よりも小さくすることにより、収納空間 S への接続面 353 の張り出しを抑制することができ、収納空間 S の減少を抑制することができる。

20

#### 【0043】

なお、第 1 端部 P1 の曲率半径 r1 としては、特に限定されないが、例えば、 $1 \mu m$  以上、且つ  $10 \mu m$  以下であることが好ましく、 $2 \mu m$  以上、且つ  $8 \mu m$  以下であることがより好ましく、 $3 \mu m$  以上、且つ  $7 \mu m$  以下であることがさらに好ましい。曲率半径 r1 をこのような範囲とすることにより、接続面 353 と側面 351 とをより滑らかに接続することができる。そのため、接続面 353 と側面 351 との境界部への応力の集中を効果的に抑制することができる。一方、第 2 端部 P2 の曲率半径 r2 としては、特に限定されないが、例えば、 $2 \times 10^5 \mu m$  以上、且つ  $3 \times 10^5 \mu m$  以下であることが好ましく、 $2.2 \times 10^5 \mu m$  以上、且つ  $2.8 \times 10^5 \mu m$  以下であることがより好ましく、 $2.4 \times 10^5 \mu m$  以上、且つ  $2.6 \times 10^5 \mu m$  以下であることがさらに好ましい。曲率半径 r2 をこのような範囲とすることにより、接続面 353 と底面 352 とをより滑らかに接続することができる。そのため、接続面 353 と底面 352 との境界部への応力の集中を効果的に抑制することができる。

30

#### 【0044】

また、接続面 353 の Z 軸方向の長さ L1 としては、特に限定されないが、例えば、6 個分のスキヤロップ SC の高さ以上、14 個分のスキヤロップ SC の高さ以下であることが好ましい。すなわち、1 つのスキヤロップ SC の幅を W としたとき、 $6 \leq L1 / W \leq 14$  であることが好ましい。これにより、接続面 353 の長さ L1 が適度なものとなり、リッド 3 の大型化を抑制しつつ、前述した応力分散効果を効果的に発揮することができる。ここで、少なくとも 2 つ以上のスキヤロップ SC の幅の平均値を幅 W としてもよいし、最も大きいスキヤロップ SC の幅を幅 W としてもよいし、最も小さいスキヤロップ SC の幅

40

50

を幅Wとしてもよい。

#### 【0045】

また、側面351と接続面353との境界Qは、側面351の両端部よりも中央部が底面352側に位置している。言い換えると、側面351の両端部での境界Qと底面352との離間距離D1は、側面351の中央部での境界Qと底面352との離間距離D2よりも大きい。つまり、 $D_1 > D_2$ である。このように、境界Qの底面352からの距離を側面351の端部と中央部とで異ならせることにより、前述した応力分散効果を効果的に発揮することができ、より機械的強度の高い振動デバイス1となる。特に、本実施形態では、境界Qが底面352側に凸となるように湾曲している。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。ただし、これに限定されず、 $D_1 = D_2$ であってもよい。

10

#### 【0046】

ここで、凹部35は、ドライエッティングの一種である「ボッシュ・プロセス」により形成されたエッティング凹部である。ボッシュ・プロセスは、エッティング用ガスであるSF<sub>6</sub>と、側壁保護膜形成用ガスであるC<sub>4</sub>F<sub>8</sub>とを交互に供給することにより、高アスペクト比でシリコンに孔を掘り進める技術であり、その製造上、図7に示すように、側面351には「スキヤロップSC」と呼ばれる複数の微小な凹部がZ軸方向に連続して形成される。スキヤロップSCの内周面は、曲面であり、この曲率半径r4よりも第1端部P1の曲率半径r1の方が大きい。すなわち、 $r_4 < r_1$ である。これにより、接続面353を十分に緩やかな曲面とすることができます、前述した応力分散効果を効果的に発揮することができる。ただし、これに限定されず、 $r_4 = r_1$ であってもよい。

20

#### 【0047】

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、半導体材料またはガラス材料により構成され、第1主面である下面31に開口している凹部35を有する第1基板としてのリッド3と、リッド3の下面31に接合され、凹部35の開口を塞ぐ第2基板としてのベース4と、凹部35に収納される振動素子5と、を備えている。また、凹部35の内面は、側面351、底面352および側面351と底面352とを接続している接続面353を有する。そして、接続面353は、曲面であり、接続面353のリッド3の厚さ方向である第1方向としてのZ軸方向の長さをL1とし、Z軸方向に直交する第2方向としてのX-Y面内方向の長さをL2としたとき、 $L_1 < L_2$ である。このように、側面351と底面352との間に曲面からなる接続面353を配置することにより、側面351と底面352との間に角が形成されず、当該部分への応力集中が低減される。したがって、本実施形態のように、機械的強度がそれほど高くないシリコンによってリッド3を構成しても、十分に高い機械的強度を有する振動デバイス1となる。

30

#### 【0048】

また、前述したように、凹部35のZ軸方向の深さをL3としたとき、 $0.02 < L_1 / L_3 < 0.2$ である。このように、 $0.02 < L_1 / L_3 < 0.2$ とすることにより、上述した応力分散効果を十分に発揮することができる。一方、 $L_1 / L_3 < 0.02$ とすることにより、パッケージ2の大型化を効果的に抑制することができる。

40

#### 【0049】

また、前述したように、凹部35は、平面視で矩形であり、凹部35の内面は、4つの側面351を有する。そして、側面351と接続面353との境界Qは、側面351の両端部よりも中央部が底面352側に位置している。このように、境界Qの底面352からの距離を側面351の端部と中央部とで異ならせることにより、前述した応力分散効果を効果的に発揮することができ、より機械的強度の高い振動デバイス1となる。特に、本実施形態では、境界Qが底面352側に凸となるように湾曲している。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。

#### 【0050】

また、前述したように、側面351と接続面353との境界Qは、振動素子5よりも底面352側に位置している。これにより、振動素子5の配置スペースが小さくなるのを抑

50

制することができ、振動素子 5 を、リッド 3 との間に十分なクリアランスを持ってベース 4 に配置することができる。

#### 【 0 0 5 1 】

また、前述したように、リッド 3 は、下面 3 1 と表裏関係にある第 2 主面としての上面 3 2 と、下面 3 1 と上面 3 2 とを接続する外周面 3 3 と、上面 3 2 と外周面 3 3 との間に位置し、上面 3 2 および外周面 3 3 に対して傾斜している傾斜面 3 4 と、を有する。言い換えると、上面 3 2 と外周面 3 3 の間の角部が面取りされている。これにより、当該部分への応力集中が抑制され、リッド 3 の機械的強度が高まる。

#### 【 0 0 5 2 】

また、前述したように、接続面 3 5 3 の側面 3 5 1 側の第 1 端部 P 1 における曲率半径  $r_1$  は、 $1 \mu m$  以上、且つ  $10 \mu m$  以下であり、接続面 3 5 3 の底面 3 5 2 側の第 2 端部 P 2 における曲率半径  $r_2$  は、 $2 \times 105 \mu m$  以上、且つ  $3 \times 105 \mu m$  以下である。また、第 1 端部 P 1 と第 2 端部 P 2 との間は、連続的な曲面である。これにより、接続面 3 5 3 によって、側面 3 5 1 と底面 3 5 2 とをより滑らかに接続することができる。そのため、接続面 3 5 3 への応力集中はもちろんのこと、接続面 3 5 3 と側面 3 5 1 との境界部や接続面 3 5 3 と底面 3 5 2 との境界部への応力集中についても効果的に抑制することができる。

10

#### 【 0 0 5 3 】

また、前述したように、凹部 3 5 は、ドライエッティングにより形成されたエッティング凹部であり、側面 3 5 1 は、ドライエッティングにより形成された複数のスキヤロップ SC を有する。そして、第 1 端部 P 1 における接続面 3 5 3 の曲率半径  $r_1$  は、スキヤロップ SC の曲率半径  $r_4$  よりも大きい。つまり、 $r_4 < r_1$  である。これにより、接続面 3 5 3 を十分に緩やかな曲面とすることができます、前述した応力分散効果を効果的に発揮することができる。

20

#### 【 0 0 5 4 】

##### < 第 2 実施形態 >

図 8 は、第 2 実施形態に係る発振器を示す断面図である。なお、図 8 は、図 2 に相当する断面図である。

#### 【 0 0 5 5 】

本実施形態に係る発振器 1 0 は、ベース 4 に発振回路 4 8 が形成されていること以外は、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 8 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

#### 【 0 0 5 6 】

図 8 に示す発振器 1 0 は、ベース 4 に形成され、振動素子 5 と電気的に接続された発振回路 4 8 を有する。本実施形態では、ベース基板 4 1 の下面 4 1 1 が能動面となっている。また、ベース基板 4 1 の下面 4 1 1 には、絶縁層 4 9 1 と配線層 4 9 2 とが積層した積層体 4 9 が設けられ、この配線層 4 9 2 を介して下面 4 1 1 に形成された複数の図示しない回路要素が電気的に接続され、発振回路 4 8 が構成されている。このように、ベース 4 に発振回路 4 8 を形成することにより、ベース 4 のスペースを有効活用することができる。

40

#### 【 0 0 5 7 】

このように、発振器 1 0 は、振動デバイス 1 と、振動素子 5 と電気的に接続され、振動素子 5 を発振させる発振回路 4 8 と、を有する。そのため、発振器 1 0 は、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。

#### 【 0 0 5 8 】

なお、本実施形態では、ベース基板 4 1 の下面 4 1 1 が能動面となっているが、これに限定されず、ベース基板 4 1 の上面 4 1 2 が能動面となっていてもよい。ベース基板 4 1 の上面 4 1 2 を能動面とすることで、振動素子 5 と発振回路 4 8 との電気的な接続をより低インピーダンスにすることが可能となり、発振器のより安定した発振が可能となる。ま

50

た、発振回路 4 8 は、ベース 4 と別体で形成されていてもよい。この場合、発振回路 4 8 は、収納空間 S 内に配置されていてもよいし、収納空間 S 外に配置されていてもよい。

#### 【 0 0 5 9 】

< 第 3 実施形態 >

図 9 は、第 3 実施形態に係る振動モジュールを示す断面図である。

#### 【 0 0 6 0 】

図 9 に示す振動モジュール 1 0 0 0 は、支持基板 1 0 1 0 と、支持基板 1 0 1 0 に搭載された回路基板 1 0 2 0 と、回路基板 1 0 2 0 に搭載された振動デバイス 1 と、回路基板 1 0 2 0 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。

#### 【 0 0 6 1 】

支持基板 1 0 1 0 は、例えば、インターポーラー基板である。支持基板 1 0 1 0 の上面には複数の接続端子 1 0 1 1 が配置され、下面には複数の実装端子 1 0 1 2 が配置されている。また、支持基板 1 0 1 0 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 1 0 1 1 が、対応する実装端子 1 0 1 2 と電気的に接続されている。このような支持基板 1 0 1 0 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。

10

#### 【 0 0 6 2 】

また、回路基板 1 0 2 0 は、ダイアタッチ材を介して支持基板 1 0 1 0 の上面に接合されている。回路基板 1 0 2 0 には、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 1 0 2 3 が形成されており、その上面に発振回路 1 0 2 3 と電気的に接続された複数の端子 1 0 2 2 が配置されている。そして、一部の端子 1 0 2 2 は、ボンディングワイヤー B W を介して接続端子 1 0 1 1 と電気的に接続されており、一部の端子 1 0 2 2 は、例えば、導電性の接合部材 B 3 を介して振動デバイス 1 と電気的に接続されている。

20

#### 【 0 0 6 3 】

モールド材 M は、回路基板 1 0 2 0 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。

30

#### 【 0 0 6 4 】

このように、振動モジュール 1 0 0 0 は、振動デバイス 1 と、振動デバイス 1 が搭載されているモジュール部品としての回路基板 1 0 2 0 と、振動デバイス 1 を覆うモールド材 M と、を有する。そのため、振動モジュール 1 0 0 0 は、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。特に、前述したように、振動デバイス 1 では、リッド 3 の凹部 3 5 に接続面 3 5 3 を形成すると共に、リッド 3 の外周に傾斜面 3 4 を形成し、応力を効果的に分散できる構成となっている。そのため、モールド中に加わる応力による振動デバイス 1 の破損を効果的に抑制することができる。

#### 【 0 0 6 5 】

< 第 4 実施形態 >

図 1 0 は、第 4 実施形態に係るパーソナルコンピューターを示す斜視図である。

40

#### 【 0 0 6 6 】

図 1 0 に示す電子機器としてのパーソナルコンピューター 1 1 0 0 は、キーボード 1 1 0 2 を備えた本体部 1 1 0 4 と、表示部 1 1 0 8 を備えた表示ユニット 1 1 0 6 とにより構成され、表示ユニット 1 1 0 6 は、本体部 1 1 0 4 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 1 1 0 0 には、発振器 1 0 が内蔵されている。また、パーソナルコンピューター 1 1 0 0 は、キーボード 1 1 0 2 や表示部 1 1 0 8 などの制御に関する演算処理を行う演算処理回路 1 1 1 0 を備えている。演算処理回路 1 1 1 0 は、発振器 1 0 から出力される発振信号に基づいて動作する。

#### 【 0 0 6 7 】

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 1 1 0 0 は、発振器 1 0 と、

50

発振器 10 から出力される発振信号に基づいて動作する演算処理回路 1110 と、を備える。そのため、前述した発振器 10 の効果を享受でき、高い信頼性を発揮することができる。

#### 【0068】

<第5実施形態>

図11は、第5実施形態に係る携帯電話機を示す斜視図である。

#### 【0069】

図11に示す電子機器としての携帯電話機 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、発振器 10 が内蔵されている。また、携帯電話機 1200 は、操作ボタン 1202 などの制御に関する演算処理を行う演算処理回路 1210 を備えている。演算処理回路 1210 は、発振器 10 から出力される発振信号に基づいて動作する。

10

#### 【0070】

このように、電子機器としての携帯電話機 1200 は、発振器 10 と、発振器 10 から出力される発振信号に基づいて動作する演算処理回路 1210 と、を備える。そのため、前述した発振器 10 の効果を享受でき、高い信頼性を発揮することができる。

#### 【0071】

<第6実施形態>

図12は、第6実施形態に係るデジタルスチールカメラを示す斜視図である。

20

#### 【0072】

図12に示すデジタルスチールカメラ 1300 は、ボディ 1302 を有し、ボディ 1302 の背面には CCD による撮像信号に基づいて表示を行う表示部 1310 が設けられている。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 10 が内蔵されている。また、デジタルスチールカメラ 1300 は、表示部 1310 や受光ユニット 1304 などの制御に関する演算処理を行う演算処理回路 1312 を備えている。演算処理回路 1312 は、発振器 10 から出力される発振信号に基づいて動作する。

30

#### 【0073】

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、発振器 10 と、発振器 10 から出力される発振信号に基づいて動作する演算処理回路 1312 と、を備える。そのため、前述した発振器 10 の効果を享受でき、高い信頼性を発揮することができる。

#### 【0074】

なお、本適用例の電子機器は、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）、ラップ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、ビデオオーディオレコーダー、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、ワードプロセッサー、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。

40

#### 【0075】

<第7実施形態>

50

図13は、第7実施形態に係る自動車を示す斜視図である。

#### 【0076】

図13に示す自動車1500には、発振器10と、発振器10から出力される発振信号に基づいて動作する演算処理回路1510が内蔵されている。そのような発振器10と演算処理回路1510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。

10

#### 【0077】

このように、移動体としての自動車1500は、発振器10と、発振器10から出力される発振信号に基づいて動作する演算処理回路1510と、を備える。そのため、前述した発振器10の効果を享受でき、高い信頼性を發揮することができる。

#### 【0078】

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。

#### 【0079】

以上、本適用例の振動デバイス、発振器、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、本適用例は、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、本適用例に、他の任意の構成物が付加されていてもよい。また、本適用例は、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。

20

#### 【符号の説明】

#### 【0080】

1…振動デバイス、10…発振器、2…パッケージ、3…リッド、31…下面、32…上面、33…外周面、34…傾斜面、35…凹部、351…側面、352…底面、353…接続面、4…ベース、40…基板、41…ベース基板、411…下面、412…上面、415、416…貫通孔、42…絶縁膜、43…電極、44…第1配線、441…内部端子、442…外部端子、443…貫通電極、45…第2配線、451…内部端子、452…外部端子、453…貫通電極、461…ダミー端子、462…ダミー端子、48…発振回路、49…積層体、491…絶縁層、492…配線層、5…振動素子、51…振動基板、52…電極、521、522…励振電極、523、524…端子、525、526…配線、6…接合部材、1000…振動モジュール、1010…支持基板、1011…接続端子、1012…実装端子、1020…回路基板、1022…端子、1023…発振回路、1100…パーソナルコンピューター、1102…キーボード、1104…本体部、1106…表示ユニット、1108…表示部、1110…演算処理回路、1200…携帯電話機、1202…操作ボタン、1204…受話口、1206…送話口、1208…表示部、1210…演算処理回路、1300…デジタルスチールカメラ、1302…ボディ、1304…受光ユニット、1306…シャッターボタン、1308…メモリー、1310…表示部、1312…演算処理回路、1500…自動車、1510…演算処理回路、B1…接合部材、B2…接合部材、B3…接合部材、BW…ボンディングワイヤー、D1…離間距離、D2…離間距離、L1、L2…長さ、L3…深さ、M…モールド材、P1…第1端部、P2…第2端部、P3…中央部、Q…境界、S…収納空間、SC…スキヤロップ

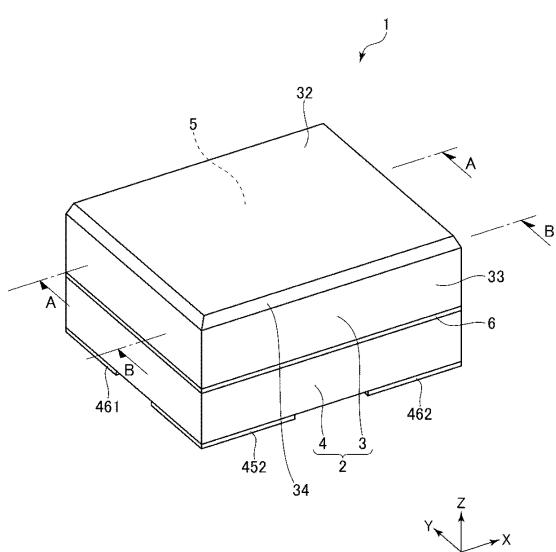
30

40

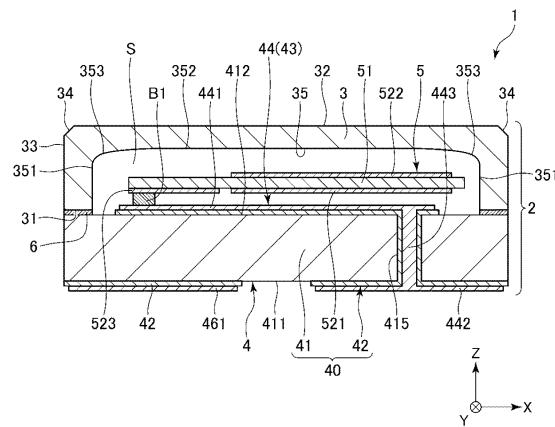
50

【四面】

【図1】



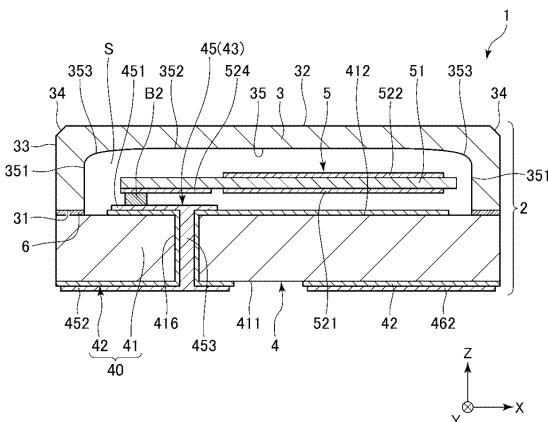
【 図 2 】



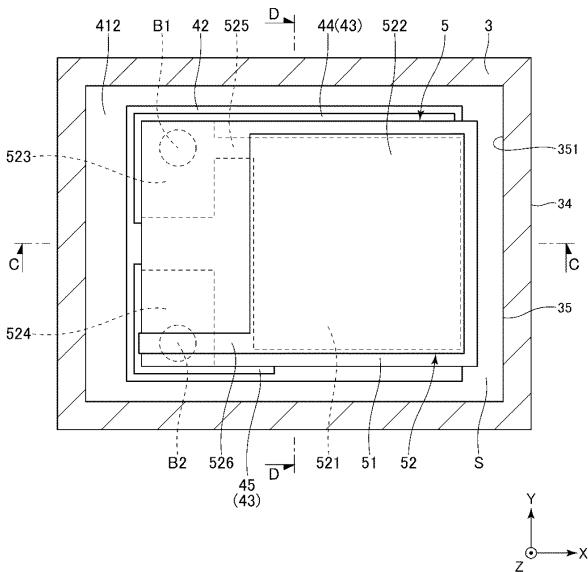
10

20

【図3】



〔 図 4 〕

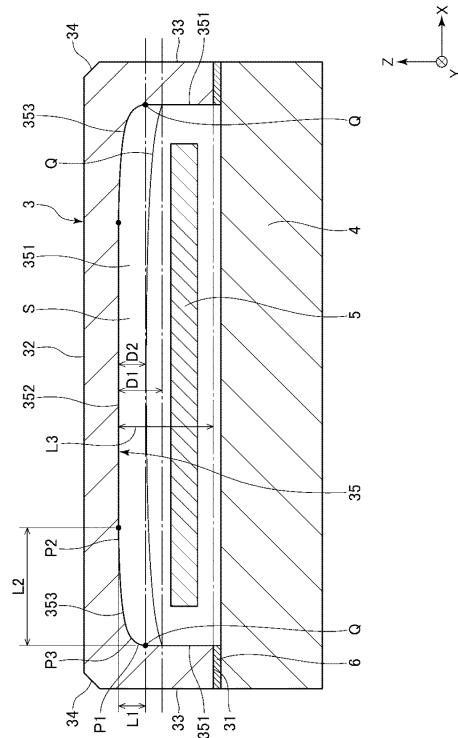


30

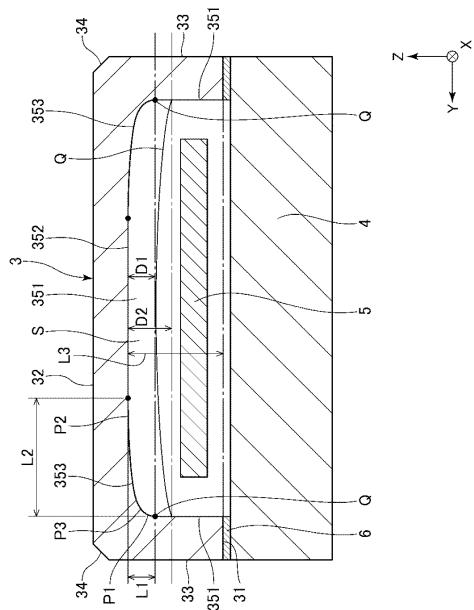
40

50

【図5】



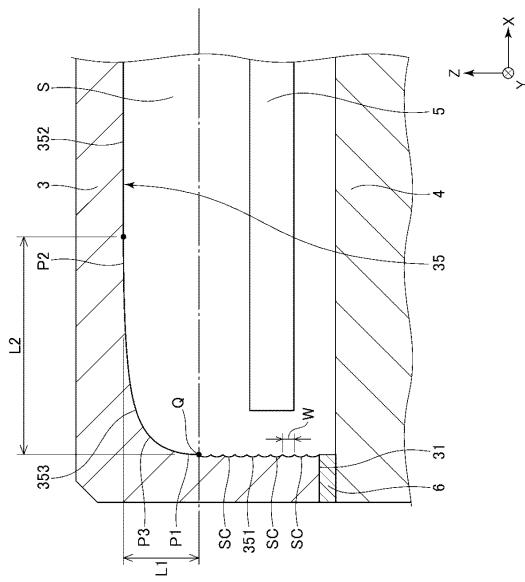
【図6】



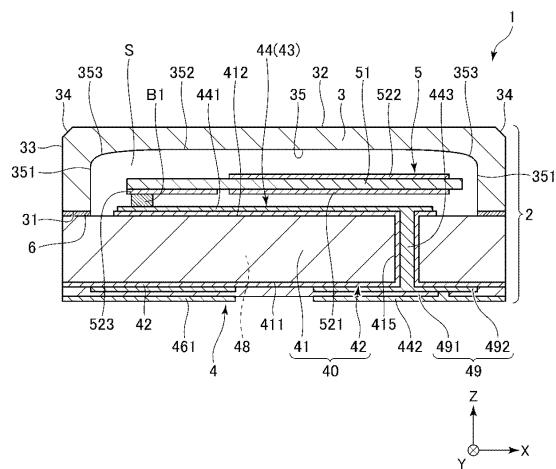
10

20

【図7】



【図8】

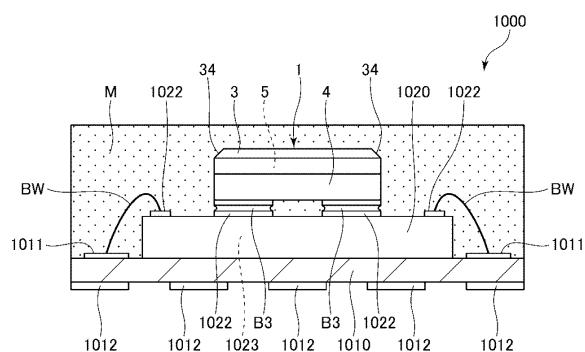


30

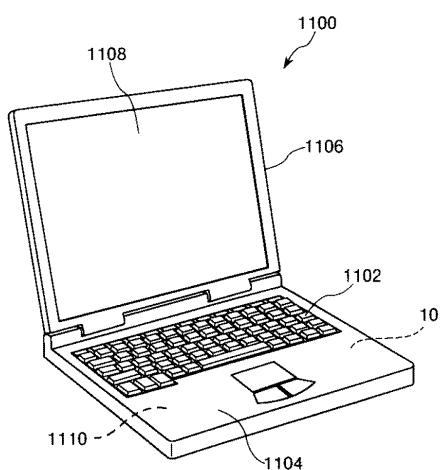
40

50

【図 9】

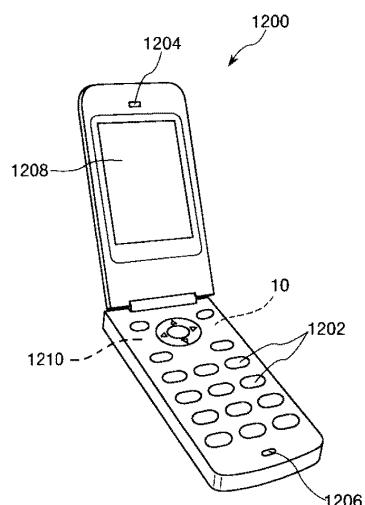


【図 10】

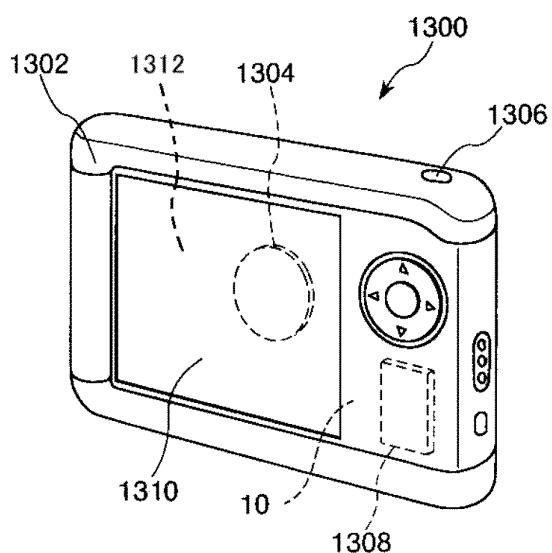


10

【図 11】



【図 12】



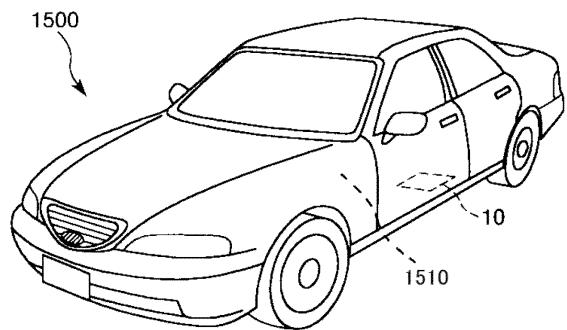
20

30

40

50

【図 1 3】



10

20

30

40

50

---

**フロントページの続き**

- (56)参考文献
- 特開2006-295246 (JP, A)  
特開2015-023052 (JP, A)  
国際公開第2013/172442 (WO, A1)  
特開2018-098599 (JP, A)  
特開2014-150363 (JP, A)  
特開2017-120865 (JP, A)  
特開2012-212797 (JP, A)  
特開2013-165100 (JP, A)  
特開2009-027477 (JP, A)  
国際公開第2016/199918 (WO, A1)  
特開2010-166346 (JP, A)  
特開2004-079467 (JP, A)  
米国特許出願公開第2015/0022988 (US, A1)  
特開平10-264922 (JP, A)  
特開2012-030865 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L21/54  
23/00-23/04  
23/06-23/10  
23/16-23/26  
H03B5/30-5/42  
H01S1/00-1/06  
H03H3/007-3/06  
9/00-9/135  
9/15-9/24  
9/30-9/40  
9/46-9/62  
9/66  
9/70  
9/74