

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6620516号
(P6620516)

(45) 発行日 令和1年12月18日(2019.12.18)

(24) 登録日 令和1年11月29日(2019.11.29)

(51) Int.Cl.	F 1
HO3H 3/02 (2006.01)	HO3H 3/02 D
HO3H 9/19 (2006.01)	HO3H 9/19 K
HO3B 5/32 (2006.01)	HO3B 5/32 H
HO1L 41/113 (2006.01)	HO1L 41/113
HO1L 41/332 (2013.01)	HO1L 41/332

請求項の数 10 (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2015-211600 (P2015-211600)
(22) 出願日	平成27年10月28日 (2015.10.28)
(65) 公開番号	特開2017-85341 (P2017-85341A)
(43) 公開日	平成29年5月18日 (2017.5.18)
審査請求日	平成30年9月26日 (2018.9.26)

(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	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】音叉型振動片の製造方法、振動デバイス、電子機器、および移動体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基部および前記基部から第1方向に沿って延出している振動腕を備えた音叉型振動片の外形により画定される切れき部と、前記振動腕の平面視した面上に前記第1方向に沿って延びる凹部と、をドライエッチング加工で形成する音叉型振動片の製造方法であって、

基板に、前記凹部の前記第1方向に沿った二側面間の幅を形作る第1マスク部、および前記切れき部の開口の幅を形作る第2マスク部を有し、前記第1マスク部の前記二側面間の最大幅を形作る部分の幅が、第2マスク部の前記切れき部の開口の最小幅を形作る部分の幅よりも小さく、且つ、前記第1マスク部の幅が前記第1方向における中央部から両端部に向かうに従って狭くなっているエッチングマスクを形成する工程と、

前記基板に対して前記ドライエッチング加工を行い、前記切れき部と共に、前記凹部を形成するエッチング工程と、

を含み、

前記凹部の前記第1方向に沿った断面の形状が、前記中央部における底から前記両端部の開口側に向かって傾斜しており、且つ、前記両端部において曲線状の部分を有していることを特徴とする音叉型振動片の製造方法。

【請求項2】

前記エッチングマスクを形成する工程において、

前記凹部の前記二側面間の前記最大幅に対して、前記切れき部の開口の前記最小幅が10 μm以上大きく、且つ前記凹部の前記二側面間の最小幅が50 μm以下となるように、

前記第1マスク部および前記第2マスク部を形成することを特徴とする請求項1に記載の音叉型振動片の製造方法。

【請求項3】

前記エッティングマスクを形成する工程において、

前記凹部の前記最小幅が、30μm以下になるように前記第1マスク部を形成することを特徴とする請求項2に記載の音叉型振動片の製造方法。

【請求項4】

前記ドライエッティング加工の後に、前記振動腕に電極を形成する電極形成工程を含むことを特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか一項に記載の音叉型振動片の製造方法。

【請求項5】

基部と、

前記基部から一方向に突出するように配置されている振動腕と、

前記振動腕に、非貫通部を有して設けられている凹部と、を備え、

前記凹部の開口は、前記開口の幅に対して直交する方向の長さが、前記幅よりも大きくなっている、

前記凹部の前記長さの方向における中央部の前記幅は、外形形状を画定する側面間の最小幅よりも小さく、且つ、前記凹部の前記幅は、前記長さの方向における前記中央部から両端部に向かうに従って狭くなっている、

前記凹部の前記長さの方向に沿った断面の形状は、前記中央部における底から前記両端部の前記開口側に向かって傾斜しており、且つ、前記両端部において曲線状の部分を有している、

前記凹部の内面および前記外形形状を画定する側面は、ドライエッティング面であることを特徴とする記載の振動デバイス。

【請求項6】

前記凹部における前記非貫通部の深さは、前記振動腕の厚さに対して20%以上であることを特徴とする請求項5に記載の振動デバイス。

【請求項7】

前記凹部は、前記非貫通部と貫通部とを備え、

前記貫通部は、前記凹部の開口に対して前記底側の開口が小さいことを特徴とする請求項5または請求項6に記載の振動デバイス。

【請求項8】

前記凹部は、前記長さの方向に沿って複数設けられていることを特徴とする請求項5ないし請求項7のいずれか一項に記載の振動デバイス。

【請求項9】

請求項5ないし請求項8のいずれか一項に記載の振動デバイスが備えられていることを特徴とする電子機器。

【請求項10】

請求項5ないし請求項8のいずれか一項に記載の振動デバイスが備えられ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、電子部品の製造方法、振動デバイス、振動デバイスを備えた電子機器、および振動デバイスを備えた移動体に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、携帯機器などの普及により、それに用いられる振動デバイスの小型化が要求されている。小型の圧電デバイス、例えば小型の音叉型振動片では、効率的に屈曲振動をさせるために、振動部に有底の溝（凹部）を設け、溝の内部に励振電極を配設する構成が知ら

10

20

30

40

50

れている。そして、このような構成の振動部（振動片）を形成する方法として、圧電基板（圧電ウェハー）をドライエッティング法によって加工し、振動部（振動片）を形成する方法が開示されている（例えば、特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2015-118027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に記載されている振動部（振動片）を形成する方法では、振動部に形成する溝（凹部）が有底、即ち非貫通であるため、ドライエッティング法によって、貫通させる振動部の外形（貫通部）と貫通させない溝（非貫通部）とを同時に形成することが困難であった。このため、溝の加工においては、ドライエッティング法による加工工程とは別工程の、ウェットエッティング法を用いた加工工程などを用いて形成されていた。これにより、振動部（振動片）の加工工程が煩雑となり、加工のための工数が増加してしまうという課題を有していた。

【課題を解決するための手段】

【0005】

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、以下の形態または適用例として実現することが可能である。

【0006】

[適用例1] 本適用例に係る電子部品の製造方法は、切欠き部と、平面視した面に長手方向に延びる凹部と、をドライエッティング加工で形成する電子部品の製造方法であって、基板に、前記凹部の前記長手方向に沿った二側面間の最大幅を形作る第1マスク部の幅が、前記切欠き部の開口の最小幅を形作る第2マスク部の幅よりも小さいエッティングマスクを形成する工程と、前記基板に対して前記ドライエッティング加工を行い、前記切欠き部と共に、前記凹部を形成するエッティング工程と、を含んでいることを特徴とする。

【0007】

ドライエッティング加工では、マスクの開口幅を大きくした部位のエッティングレートと比較し、マスクの開口幅を小さくした部位のエッティングレートの方が小さくなる。換言すれば、マスクの開口幅を大きくした部位のエッティングスピードよりも、マスクの開口幅を小さくした部位のエッティングスピードが遅くなる。

本適用例によれば、凹部の二つの側面間の最大幅を形作る第1マスク部の幅が、切欠き部の開口の最小幅を形作る第2マスク部の幅よりも小さく形成されたエッティングマスクを用い、ドライエッティング加工する。したがって、切欠き部のエッティングレートの方が、凹部のエッティングレートより大きくなり、切欠き部のエッティングが凹部のエッティングより速く進む。これにより、切欠き部が形成できた時点でエッティング加工を終了すると、有底の凹部を形成することができる。このように、同一のドライエッティング加工によって、貫通部としての切欠き部と、有底の凹部とを形成することができ、振動部（振動片）の加工工程における煩雑さを解消でき、加工工数の低減に寄与することができる。

【0008】

なお、本明細書における長手方向とは、切欠き部によって外形が形成され、凹部の設けられている部位の起点となる部位から突出する方向のこと、換言すれば、凹部の設けられている部位の延在方向をいう。また、複数の凹部が並んで設けられている場合には、複数の凹部が並んでいる方向を長手方向という。

【0009】

[適用例2] 上記適用例に記載の電子部品の製造方法において、前記エッティングマスクを形成する工程において、前記凹部の開口の前記長手方向の端部に向かうに従って、前記二側面間の幅が狭くなるように前記第1マスク部を形成することが好ましい。

10

20

30

40

50

【0010】

本適用例によれば、第1マスク部を凹部の開口の長手方向の端部に向かうに従って、幅が狭くなるように形成する。エッチングレートは、幅が狭ければ狭いほど小さくなるため、凹部の開口の長手方向の端部に曲線状の傾斜を容易に設けることができる。凹部の開口の長手方向の端部を、曲線状の傾斜とすることにより、凹部の形成された部位の剛性を高めることができ、例えば捻り変形などに対する耐性を向上させることが可能となる。

【0011】

[適用例3] 上記適用例に記載の電子部品の製造方法において、前記エッチングマスクを形成する工程において、前記凹部の前記二側面間の前記最大幅に対して、前記切欠き部の開口の前記最小幅が10μm以上大きく、且つ前記凹部の前記二側面間の最小幅が50μm以下となるように、前記第1マスク部および前記第2マスク部を形成することが好ましい。10

【0012】

凹部の最小幅に対して、切欠き部の開口の最小幅を10μm以上大きく設定することで、エッチングレートの差を顕著にすることができます。また、凹部の最小幅が50μmを超えると、切欠き部と同様な貫通部となり、底部を有する凹部が形成できない虞がある。

本適用例によれば、底部を有する凹部の形成と切欠き部の形成とを、同一のドライエッチング工程により行うことが可能となる。

【0013】

[適用例4] 上記適用例に記載の電子部品の製造方法において、前記エッチングマスクを形成する工程において、前記凹部の前記最小幅が、30μm以下になるように前記第1マスク部を形成することが好ましい。20

【0014】

本適用例によれば、凹部の幅を狭くすることに連れて、切欠き部の幅を狭くできるため、より小型の電子部品を形成することができる。また、凹部の最小幅を30μm以下とすることにより、凹部の幅に対する、凹部の端部に形成される曲線状の傾斜の比率を大きくすることができる。

【0015】

[適用例5] 上記適用例に記載の電子部品の製造方法において、前記電子部品は、振動片であり、前記振動片は、基部と、前記基部から同一方向に向かって突出するように配置されている振動腕と、外形により画定される前記切欠き部と、前記振動腕に形成された前記凹部と、を備え、前記ドライエッチング加工の後に、前記振動腕に電極を形成する電極形成工程を含むことが好ましい。30

【0016】

本適用例によれば、基部と、振動腕と、振動腕に形成された凹部と、基部および振動腕の外形により画定される切欠き部とを、同一のドライエッチング加工によって形成することができ、加えて、ドライエッチング加工の後に振動腕に形成された電極を備えた振動片とすることができます。

【0017】

[適用例6] 本適用例に係る振動デバイスは、基部と、前記基部から同一方向に向かって突出するように配置されている振動腕と、前記振動腕に、非貫通部を有して設けられている凹部と、を備え、前記凹部の開口は、前記開口の幅に対して直交する方向の長さが、前記幅よりも大きく、且つ前記幅が、外形形状を画定する側面間の最小幅よりも小さく、前記凹部は、前記長さの方向に沿った断面の形状を、底から開口に向かって広がる曲線をしていることを特徴とする。40

【0018】

本適用例によれば、振動腕に非貫通部を有して設けられている凹部の開口は、開口の幅に対して直交する方向の長さが、幅よりも大きく、且つ幅が、外形形状を画定する側面間の最小幅よりも小さい。また、該凹部は、長さの方向に沿った断面の形状を、底から開口に向かって広がる曲線としている。このような凹部を備えた振動腕を有することにより、50

捻り変形などに対する剛性を備え、且つ効率的な屈曲振動が可能であるため、小型であっても振動特性の安定した振動デバイスを提供することができる。

【0019】

なお、本明細書における長さ方向とは、基部から振動腕が突出する方向に沿った方向であり、長手方向と言い換えることができる。また、本明細書における開口の幅とは、凹部の延在方向である長さ方向に直交する方向の寸法であって、凹部が、表面もしくは裏面に接する位置の寸法である。換言すれば、凹部の開口幅は、表面もしくは裏面に沿った凹部の内側面間の間隔である。

【0020】

[適用例7] 上記適用例に記載の振動デバイスにおいて、前記凹部は、前記開口の前記長さの方向に位置する端部に向かうに従い前記幅が狭いことが好ましい。 10

【0021】

本適用例によれば、凹部の設けられている振動腕の剛性が高まり、捻り変形などが起こり難くなり、振動を安定させることができる。

【0022】

[適用例8] 上記適用例に記載の振動デバイスにおいて、前記凹部における前記非貫通部の深さは、前記振動腕の厚さに対して20%以上であることが好ましい。

【0023】

本適用例によれば、振動腕の剛性を確保しつつ、凹部内に設ける電極の面積を大きくすることができるため、振動の安定および振動効率を高めることができ、例えば振動のし易さを示す特性であるC I値を小さくすることができるなど、振動デバイスの振動特性を向上させることができる。 20

【0024】

[適用例9] 上記適用例に記載の振動デバイスにおいて、前記凹部は、前記非貫通部と貫通部とを備え、前記貫通部は、前記凹部の開口に対して前記底側の開口が小さいことが好ましい。

【0025】

本適用例によれば、凹部が開口側に向かって広がるように開いているため、電極の形成を容易に行うことができる。

【0026】

[適用例10] 上記適用例に記載の振動デバイスにおいて、前記凹部は、前記長さの方向に沿って複数設けられていることが好ましい。 30

【0027】

本適用例によれば、振動腕の剛性を高めることができ、落下などの耐衝撃性を向上させた振動デバイスを提供することができる。

【0028】

[適用例11] 本適用例に係る電子機器は、上記適用例のいずれか一例に記載の振動デバイスを備えていることを特徴とする。

【0029】

本適用例によれば、小型で振動特性の安定した振動デバイスを備えることにより、特性変動の小さい、エージング特性（例えば周波数の経時変化）などの変動が抑制された信頼性の高い電子機器を実現することができる。 40

【0030】

[適用例12] 本適用例に係る移動体は、上記適用例のいずれか一例に記載の振動デバイスを備えていることを特徴とする。

【0031】

本適用例によれば、小型で振動特性の安定した振動デバイスを備えることにより、特性変動の小さい、エージング特性（例えば周波数の経時変化）などの変動が抑制された信頼性の高い移動体を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0032】

【図1】電子部品としての振動デバイスの第1実施形態に係る音叉型振動片の概略構成を模式的に示す平面図。

【図2】図1のP-P断面図。

【図3】図1のQ-Q断面図。

【図4】電子部品としての振動デバイスの第1実施形態に係る音叉型振動片の製造方法を示す工程フロー図。

【図5】音叉型振動片の製造に用いるエッチングマスクを示す平面図。

【図6】エッチングマスクが配置された状態を示し、図5のR-R線に相当する断面図。

【図7】開口幅とエッチングレートとの相関を示すグラフ。

10

【図8】電子部品(振動デバイス)の第2実施形態に係る音叉型振動片の概略構成を模式的に示す平面図。

【図9】図8のP1-P1断面図。

【図10】図8のP1-P1断面における振動腕の拡大図。

【図11】電子部品(振動デバイス)の第3実施形態に係る音叉型振動片の概略構成を模式的に示す平面図。

【図12】電子部品(振動デバイス)の第4実施形態に係る音叉型振動片の概略構成を模式的に示す平面図。

【図13】図12のP2-P2断面図。

【図14】電子部品(振動デバイス)の第5実施形態に係る音叉型振動片の概略構成を模式的に示す平面図。

20

【図15】図14のS-S断面図。

【図16】電子部品(振動デバイス)の第6実施形態に係る振動子の概略構成を模式的に示す正断面図。

【図17】電子部品(振動デバイス)の第7実施形態に係る振動子の概略構成を模式的に示す正断面図。

【図18】電子機器の一例としてのモバイル型のパーソナルコンピューターの構成を示す斜視図。

【図19】電子機器の一例としての携帯電話機の構成を示す斜視図。

【図20】電子機器の一例としてのデジタルスチールカメラの構成を示す斜視図。

30

【図21】移動体の一例としての自動車の構成を示す斜視図。

【発明を実施するための形態】

【0033】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。なお、以下の各図においては、各層や各部材を認識可能な程度の大きさにするため、各層や各部材の尺度を実際とは異ならせている。また、図4および図7を除く図1～図17では、説明の便宜上、互いに直交する3軸として、X軸、Y軸およびZ軸を図示しており、その図示した矢印の先端側を「+側」、基端側を「-側」としている。また、以下の説明では、X軸に平行な方向を「X軸方向」と言い、Y軸に平行な方向を「Y軸方向」と言い、Z軸に平行な方向を「Z軸方向」と言う。また、以下の説明では、説明の便宜上、Z軸方向から見たときの平面図を単に「平面図」とも言う。

40

【0034】

(第1実施形態)

<振動デバイスの構成>

まず、電子部品の一例としての振動デバイスの第1実施形態に係る振動素子として、音叉型振動片を一例として挙げ、その概略構成について図1、図2、および図3を用いて説明する。図1は、電子部品としての振動デバイスの第1実施形態に係る音叉型振動片の概略構成を模式的に示す平面図である。図2は、図1におけるP-P線での断面図である。図3は、図1におけるQ-Q線での断面図である。なお、説明の便宜上、図1においては駆動電極を除く他の電極の図示、および図3においては駆動電極の図示を省略している。

50

【0035】

図1、図2、および図3に示すように、音叉型振動片100は、基部110と、基部110から+Y軸方向に突出するように延出している一対の振動腕120, 130と、基部110から延伸し、振動腕120, 130の外側を囲む枠部115と、を備えている。ここで、基部110、振動腕120, 130、および枠部115などの外形は、切欠き部118によって画定されている。なお、以下では、基部110から振動腕120, 130が突出する方向に沿った方向(Y軸方向に沿った方向)を長さ方向、延出方向、もしくは長手方向として説明し、基部110から振動腕120, 130が突出する方向に沿った方向(Y軸方向に沿った方向)に直交する方向(X軸方向)を幅方向として説明する。

【0036】

基部110は、括れ部112を介して配置された狭幅部111と広幅部113とを備えた平板状をなしている。なお、基部110は、括れ部112が設けられない形状、すなわち略矩形平板状であってもよい。振動腕120, 130は、基部110における狭幅部111の+Y側の一端から、Y軸方向に互いに略平行に延びる一対の角柱状の振動体である。即ち、基部110は、基部110から同一方向に突出する振動腕120, 130の起点となる部位である。音叉型振動片100を構成する基部110、振動腕120, 130、および枠部115は、一体で形成され、水晶が基材として用いられている。なお、第1実施形態の音叉型振動片100は、フォトリソグラフィー法およびフッ素系ガスなどによるドライエッチング法で形成することができる。

【0037】

水晶は、電気軸と呼ばれるX軸、機械軸と呼ばれるY軸および光学軸と呼ばれるZ軸を有している。音叉型振動片100をなす基材は、水晶結晶軸において直交するX軸およびY軸で規定される平面に沿って切り出されて平板状に加工され、平面と直交するZ軸方向に所定の厚みを有している。基材は、X軸を中心に0度から2度の範囲で回転して切り出したものを使用することができる。所定の厚みは、振動周波数、外形サイズ、加工性などにより適宜設定される。

【0038】

基部110、振動腕120, 130、および枠部115は、それぞれの外形形状を画定する側面間の間隔(幅)を有して形成される。なお、本実施形態では、それぞれの外形形状を画定する側面間の間隔(幅)の一例として、図1に振動腕120と振動腕130との間、即ち振動腕120の側面103iと振動腕130の側面103jとの間の距離を間隔A、振動腕120, 130と枠部115との間、即ち振動腕120の側面103hおよび振動腕130の側面103kと枠部115の側面115aとの間の距離を間隔C、振動腕120, 130の延出方向(Y軸方向)における振動腕120, 130の端側面120a, 130aと枠部115の側面115aとの間の距離を間隔Dとして表示している。なお、本実施形態では、外形形状を画定する側面間の間隔(幅)の内における最小幅を、振動腕120, 130の延出方向(Y軸方向)における振動腕120, 130と枠部との間の間隔Dとする。なお、間隔A, B, C, Dは、それぞれの構成部位の側面が表面もしくは裏面に接する位置の寸法であり、換言すれば、間隔A, B, C, Dは、各構成部位の表面もしくは裏面に沿った間隔である。

【0039】

振動腕120および振動腕130は、X軸およびY軸で規定される平面に沿った方向に、互いに逆方向に振動する。すなわち、振動腕120が+X軸方向に向かい変位するときは、振動腕130が-X軸方向に向かい変位し、振動腕120が-X軸方向に向かい変位するときは、振動腕130が+X軸方向に向かい変位する。

【0040】

基部110から延伸された振動腕120は、表面120fと、表面120fと反対側に設けられた裏面120bと、表面120fと裏面120bとを接続する側面103h, 103iと、を備えている。また、基部110から延伸された振動腕130は、表面130fと、表面130fと反対側に設けられた裏面130bと、表面130fと裏面130b

10

20

30

40

50

とを接続する側面 103j, 103k と、を備えている。振動腕 120 には、表面 120f および裏面 120b から掘り込まれ、Y 軸方向に沿って伸びる有底の凹部（溝）148 が設けられている。振動腕 130 には、表面 130f および裏面 130b から掘り込まれ、Y 軸方向に沿って伸びる有底の凹部（溝）158 が設けられている。なお、凹部 148 および凹部 158 の底部は、振動腕 120, 130 を貫通しない非貫通部を構成する。

【0041】

凹部 148, 158 は、表面 120f, 130f もしくは裏面 120b, 130b に開口している。そして、凹部 148, 158 の開口は、開口の幅（幅寸法）B よりも、開口の幅に対して直交する方向の長さ（長さ寸法）L の方が大きく、且つ開口の幅（幅寸法）B が、外形形状を画定する側面間の最小幅である間隔 D よりも小さく設定されている。なお、実施形態における開口の幅 B（B1）とは、凹部 148, 158 の延在方向である長さ方向（図中 Y 軸方向）に直交する方向（図中 X 軸方向）の寸法であって、凹部 148, 158 が、表面 120f, 130f もしくは裏面 120b, 130b に接する位置の寸法である。換言すれば、凹部 148, 158 の開口幅は、表面 120f, 130f もしくは裏面 120b, 130b に沿った凹部 148, 158 の内側面間の間隔である。

【0042】

また、凹部 148, 158 は、図 3 に示すように、延在方向（長さ方向）に沿った断面の形状を、凹部 148（158）の底としての底部 148t から開口（表面 120f もしくは裏面 120b）に向かって広がる曲線である曲線部 148c を有している。具体的に、凹部 148（158）は、延在方向（Y 軸方向に沿った長さ方向）の中央部から、長さ方向に位置する一方の端部 148a（158a）および他方の端部 148b（158b）に向かうに従い深さが浅くなる傾斜面 148d と、傾斜面 148d から連続して開口に向かって曲線的に凹部 148（158）が広がる曲線部 148c を有している。

【0043】

なお、本形態では、図 3 において、振動腕 120 の凹部 148 を示し、代表例として説明しているが、振動腕 130 の凹部 158 においても同様な構成とすることができます。また、本形態では、底部 148t と曲線部 148c との間に設けられている傾斜面 148d は、図 3 に示すような直線的に深さが変化する構成に変えて、曲線的に深さが変化する構成、例えば底部 148t からアール状に曲線部 148c に達する形状をなしている構成であってもよい。

【0044】

このように、凹部 148, 158 の開口が、開口の幅 B に対して直交する方向の長さ L が、該幅 B よりも大きく、且つ幅 B が、外形形状を画定する側面間の最小幅である間隔 D よりも小さい。また、凹部 148, 158 は、長さの方向に沿った断面の形状を、底部 148t から開口に向かって広がる曲線（曲線部 148c）としている。このような凹部 148, 158 を備えた振動腕 120, 130 を有することにより、捻り変形などに対する剛性を備え、且つ効率的な屈曲振動が可能であるため、小型であっても振動特性の安定した振動デバイスとしての音叉型振動片 100 を提供することができる。

【0045】

また、凹部 148, 158 の開口は、延在方向（Y 軸方向に沿った長さ方向）の中央部から、長さ方向に位置する一方の端部 148a, 158a および他方の端部 148b, 158b に向かうに従って、幅（幅寸法）が狭くなっている。具体的には、凹部 148, 158 の開口の中央部の幅（幅寸法）B から、一方の端部 148a, 158a および他方の端部 148b, 158b の幅（幅寸法）B1 までにかけて順次狭くなっている。なお、一方の端部 148a, 158a および他方の端部 148b, 158b では、両側の内側面が曲線形状（本形態では円弧状）で接続されている。このように、両側の内側面を曲線形状で接続することにより、直線で接続する場合と比し、一方の端部 148a, 158a および他方の端部 148b, 158b における応力集中を抑制することができ、振動腕 120, 130 の耐衝撃性を向上させることができる。

【0046】

10

20

30

40

50

このように、凹部 148, 158 の開口が、一方の端部 148a, 158a および他方の端部 148b, 158b に向かうに従い幅（幅寸法）を狭くすることにより、振動腕 120, 130 の剛性が高まり、捻り変形などが起こり難くなり、振動を安定させることができる。

【0047】

なお、上述した開口の幅とは、凹部 148, 158 の延在方向（本形態では図中 Y 軸方向）である長さ方向に直交する方向（本形態では図中 X 軸方向）である幅方向の寸法であって、凹部 148, 158 が、表面 120f, 130f もしくは裏面 120b, 130b に接する位置の寸法である。換言すれば、凹部 148, 158 の開口幅は、表面 120f もしくは裏面 120b に沿った凹部 148 の内側面間の間隔、および表面 130f もしくは裏面 130b に沿った凹部 158 の内側面間の間隔である。

10

【0048】

また、凹部 148, 158 は、表面 120f, 130f もしくは裏面 120b, 130b から底部 148t（図3参照）までの深さ寸法 h を、振動腕 120, 130 の厚さ（Z 軸方向の寸法）寸法 H に対して、20%以上 とすることが好ましい。なお、深さ寸法 h は、凹部 148, 158 の非貫通部の内で深さの最も深い部分の寸法であり、本実施形態では、底部 148t が該当する。

【0049】

凹部 148, 158 の深さ寸法 h を、上述のように設定することにより、振動腕 120, 130 の剛性を確保しつつ、凹部 148, 158 内に設ける駆動電極 121a, 122a（図2参照）の面積を大きくすることができるため、振動の安定および振動効率を高めることができ、例えば振動のし易さを示す特性である C I (C r y s t a l I m p e d a n c e) 値を小さくすることができるなど音叉型振動片 100 の振動特性を向上させることができる。

20

【0050】

なお、上述した本実施形態では、凹部 148, 158 の開口を、一方の端部 148a, 158a および他方の端部 148b, 158b に向かうに従い幅（幅寸法）を狭くする構成で説明したが、これに限らない。凹部 148, 158 の開口は、同じ幅（幅寸法）で、中央部から一方の端部 148a, 158a および他方の端部 148b, 158b に向かう構成であっても良い。

30

【0051】

駆動電極 121 は、振動腕 120 の表面 120f もしくは裏面 120b の一部から側面 103h, 103i に亘って設けられている。駆動電極 122 は、振動腕 130 の表面 130f もしくは裏面 130b の一部から側面 103j, 103k に亘って設けられている。駆動電極 122a は、振動腕 120 の表面 120f もしくは裏面 120b の一部から凹部 148 内の両内壁面および底部に亘って設けられている。駆動電極 121a は、振動腕 130 の表面 130f もしくは裏面 130b の一部から凹部 158 内の両内壁面および底部に亘って設けられている。

【0052】

駆動電極 121, 122 の構成は、特に限定されず、導電性を有し、薄膜形成が可能であればよい。具体的な構成としては、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)、タンゲステン (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。また、クロム (Cr)、クロム合金、ニッケル (Ni) などの下地層が設けられている構成であってもよい。

40

【0053】

なお、図示しないが、駆動電極 121 および駆動電極 121a は、同電位が供給されるようにパターニングされており、駆動電極 122 および駆動電極 122a は、駆動電極 1

50

21 および駆動電極 121a と逆電位が供給されるようにパターニングされている。このようにパターニングされた駆動電極 121, 122 および駆動電極 121a, 122a に、交番電位を印加することにより、振動腕 120, 130 を X 軸および Y 軸で規定される平面に沿った方向に、互いに逆方向に振動させることができる。

【0054】

また、図示されていないが、振動腕 120, 130 の先端部には、振動腕 120, 130 より幅が広い (X 軸方向の寸法が大きい) 略矩形状の幅広部としての錐部が設けられていてもよい。振動腕 120, 130 に、幅広部としての錐部が設けられている構成では、振動腕 120, 130 の長さ (Y 軸方向の寸法) の増大を抑えながら所定の駆動振動を得ることができるため、音叉型振動片 100 を小型化することが可能となる。

10

【0055】

また、本形態において音叉型振動片 100 は、水晶により形成された例を用いたが、水晶以外にも、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム等の様々な圧電単結晶材料を用いることができる。

【0056】

このような第 1 実施形態に係る音叉型振動片 100 によれば、振動腕 120, 130 に非貫通部である底部を有して設けられている凹部 148, 158 の開口の幅寸法 B, B1 よりも、直交する方向の長さ寸法 L の方が大きく、且つ幅寸法が、外形形状を画定する側面間の最小幅 (本形態では間隔 D) よりも小さい。また、図 3 に示すように凹部 148, 158 は、長さの方向 (Y 軸方向) に沿った断面の形状に、底 (底部) から開口に向かつて広がる曲線部 148c を有しているため、振動腕 120, 130 の捻り変形などに対する剛性を高め、且つ効率的な屈曲振動が可能となる。

20

【0057】

また、凹部 148, 158 の深さ h が、振動腕 120, 130 の厚さ H に対して 20 % 以上になっているため、振動腕 120, 130 の剛性を確保しつつ、凹部 148, 158 内に設ける駆動電極 121a, 122a の面積を大きくすることができるため、振動の安定および振動効率を高めることができる。

【0058】

これらにより、小型であっても、例えば振動のし易さを示す特性である C/I 値を小さくすることができるなど振動特性の向上と安定とを実現した振動デバイスとしての音叉型振動片 100 とすることができます。

30

【0059】

<振動デバイス (電子部品) の製造方法 >

次に、上述した電子部品としての振動デバイスの第 1 実施形態に係る音叉型振動片 100 の製造方法の一例を、図面を参照しながら説明する。図 4 は、電子部品 (振動デバイス) の第 1 実施形態に係る音叉型振動片の製造方法を示す工程フロー図である。図 5 は、音叉型振動片の製造に用いるエッチングマスクを示す平面図である。なお、図 5 では、マスキングされる部分、即ちエッチングされない部分をハッチングにて示している。図 6 は、水晶基板にエッチングマスクが配置された状態を示し、図 5 の R - R 線に相当する断面図である。図 7 は、開口幅とエッチングレートとの相関を示すグラフである。なお、音叉型振動片 100 の構成部位については、図 1 から図 3 を参照しながら説明する。また、以下に説明する製造方法は、一例であって、他の製造方法を適用して音叉型振動片 100 を製造することもできる。

40

【0060】

図 4 に示すように、音叉型振動片 100 の製造方法は、音叉型振動片 100 の基材となる基板を用意する工程 (ステップ S101) と、基板にエッチングマスクを配設するエッチングマスク形成工程 (ステップ S103) と、音叉型振動片 100 の外形および凹部 148, 158 を形成するドライエッチング工程 (ステップ S105) と、音叉型振動片 100 に電極を配設する電極形成工程 (ステップ S107) と、を含んでいる。以下、各工程の詳細について順次説明する。

50

【0061】

なお、以下の説明における長手方向とは、上述した切欠き部 118 によって外形が形成され、凹部 148, 158 の設けられている部位である振動腕 120, 130 の起点となる部位（基部 110）から突出する方向（振動腕 120, 130 の延出方向）のこと、換言すれば、凹部 148, 158 の延在方向（図 1 に示す Y 軸方向）をいう。また、後述する第 4 実施形態のように複数の凹部が並んで設けられている場合には、複数の凹部が並んでいる方向を長手方向という。

【0062】

[基板を用意する工程（ステップ S101）]

先ず、音叉型振動片 100 の基材となる基板（水晶ウェハー）110W（図 5 参照）を用意する。基板（水晶ウェハー）110W は、X 軸、Y 軸及び Z 軸からなる直交座標系において、Z 軸を中心に時計回りに 0 度ないし 5 度の範囲で回転して切り出した水晶 Z 板である。基板（水晶ウェハー）110W は、切り出した水晶 Z 板を所定の厚みに切断研磨することによって形成する。なお、一つの基板（水晶ウェハー）110W から複数の音叉型振動片 100 の外形を画定し、最終的に個々の音叉型振動片 100 に分離することができる。

10

【0063】

[エッチングマスク形成工程（ステップ S103）]

次に、図 6 に示すように、基板（水晶ウェハー）110W に、図 5 で示す平面形状のエッチングマスク 100M を配置する。エッチングマスク 100M は、後述するドライエッティング加工に対する耐蝕膜として、例えばニッケル（Ni）などの金属膜で構成され、リフトオフ法などを用いて形成する。リフトオフ法を用いることで、微細な間隔を有するマスク形状を実現することができる。エッチングマスク 100M は、図 5 に示すように、音叉型振動片 100 の凹部 148, 158 に対応する第 1 開口部 148M, 158M と、音叉型振動片 100 の基部 110、振動腕 120, 130、および枠部 115 などの外形を画定する第 2 開口部 118M とを有している。

20

【0064】

第 1 開口部 148M, 158M は、凹部 148, 158 の長手方向（Y 軸方向）に沿って設けられている。第 1 開口部 148M, 158M は、凹部 148, 158 の該長手方向（Y 軸方向）に沿った二側面間の最大幅（本例では幅寸法 B が該当する）を形作る第 1 開口部 148M, 158M（後述する第 1 マスク部）の幅（本例では幅 B M が該当する）が、切欠き部 118 の開口の最小幅を形作る第 2 開口部 118M（後述する第 2 マスク部）の幅（本例では幅 D M が該当する）よりも小さくなるように形成する。

30

【0065】

また、第 1 開口部 148M, 158M は、凹部 148, 158 の長手方向（図中 Y 軸方向）の中央部から両端部に向かうに従って、中央部の幅（幅寸法）B M から両端部の幅（幅寸法）B M 1 まで、順次狭くなるように形成する。また、エッチングマスク 100M は、凹部 148, 158 に対応する第 1 開口部 148M, 158M の最大幅（本例では幅 B M が該当する）に対して、切欠き部 118 に対応する第 2 開口部 118M の最小幅（本例では幅 D M が該当する）が、 $10 \mu m$ 以上大きくなるように、且つ音叉型振動片 100 の凹部 148, 158 の最小幅（本例では幅 B 1 が該当する）が $50 \mu m$ 以下となるように、第 1 開口部 148M, 158M を形成する。なお、第 1 開口部 148M, 158M が第 1 マスク部に相当し、第 2 開口部 118M が第 2 マスク部に相当する。

40

【0066】

図 7 のグラフに示されているように、後述するドライエッティング工程（ステップ S105）におけるドライエッティング加工のエッチングレートは、図に示すエッチングマスク 100M の開口幅によって変化する。即ち、図 7 によれば、エッチングマスク 100M の開口幅が $50 \mu m$ 付近までは、開口幅が広い程エッティングレートが上がり（速くなる）、開口幅が $50 \mu m$ を超えるとエッティングレートは、高い（速い）状態で変化の無くなることが分る。このように、後述するドライエッティング工程（ステップ S105）におけるエッ

50

チングレートは、幅が狭ければ狭いほど小さく（エッティングスピードが遅くなる）なる。なお、 $20\text{ }\mu\text{m}$ より開口幅が狭くなると、エッティングスピードが遅くなり過ぎてしまったり、エッティングが進まなくなったりすることにより、外形を形成するためのエッティング加工を行うことが実用上困難になる。

【0067】

したがって、上述のように第1マスク部としての第1開口部 148 M , 158 M を、長手方向の端部に向かうに従って幅が狭くなるように形成することにより、後述するドライエッティング工程（ステップS105）において、凹部 148 , 158 の開口の長手方向の端部 148 a , 148 b , 158 a , 158 b に傾斜面 148 d 、および曲線部 148 c を容易に設けることができる。

10

【0068】

上述のようなエッティングマスク 100 M を配設して、凹部 148 , 158 の開口の長手方向の端部 148 a , 148 b , 158 a , 158 b を、曲線状の傾斜（傾斜面 148 d 、および曲線部 148 c ）とすることにより、凹部の形成された部位（振動腕 120 , 130 ）の剛性を高めることができ、例えば捻り変形などに対する耐性を向上させることが可能となる。

【0069】

また、上述のようなエッティングマスク 100 M を配設して、凹部 148 , 158 の最小幅に対して、切欠き部 118 の開口の最小幅を $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上に設定することで、エッティングレートの差を顕著にことができる。なお、凹部 148 , 158 の最小幅が $50\text{ }\mu\text{m}$ を超えるとエッティングレートが速くなり、切欠き部 118 のエッティングレートに近づき、凹部 148 , 158 が貫通してしまう虞があるため、凹部 148 , 158 の最小幅を $50\text{ }\mu\text{m}$ 以下とすることが必要となる。したがって、凹部 148 , 158 の最小幅を $50\text{ }\mu\text{m}$ 以下とすることにより、凹部 148 , 158 の形成と切欠き部 118 の形成とを、同一のドライエッティング工程により行うことが可能となる。

20

【0070】

また、音叉型振動片 100 の凹部 148 , 158 の最小幅が、 $30\text{ }\mu\text{m}$ 以下になるように第1マスク部としての第1開口部 148 M , 158 M を形成することが好ましい。このように、凹部 148 , 158 の幅を狭くすることに連れて、切欠き部 118 の幅を狭くできるため、より小型の音叉型振動片 100 を形成することができる。また、凹部 148 , 158 の最小幅を $30\text{ }\mu\text{m}$ 以下とすることにより、凹部 148 , 158 の幅（幅寸法）に対する、凹部 148 , 158 の端部 148 a , 148 b , 158 a , 158 b に形成される曲線状の傾斜（傾斜面 148 d 、および曲線部 148 c ）の比率を大きくすることができる。

30

【0071】

[ドライエッティング工程（ステップS105）]

次に、エッティングマスク 100 M の形成された基板（水晶ウェハー） 110 W （図5参照）に対してドライエッティング加工を行う（ステップS105）。このドライエッティング工程（ステップS105）によって、エッティングマスク 100 M のマスク 118 M に相当する位置に切欠き部 118 が形成され、この切欠き部 118 によって、基部 110 、振動腕 120 , 130 、および枠部 115 などを備えた音叉型振動片 100 の外形が画定される。また、このドライエッティング工程（ステップS105）によって、エッティングマスク 100 M のマスク 148 M , 158 M に相当する位置に有底の凹部 148 , 158 が形成される。なお、音叉型振動片 100 は、振動片の一例であり、他の形態の振動片にも適用することができる。ドライエッティング加工では、 C_4F_8 （ハフッ化シクロブタン）、 C_2F_6 （六フッ化エタン）、 SF_6 （六フッ化硫黄）、 CF_4 （四フッ化炭素）などのエッティングガスを用いることができる。本形態では、 C_4F_8 （ハフッ化シクロブタン）ガスを用いてドライエッティング加工を行った例を示している。

40

【0072】

上述したエッティングマスク形成工程（ステップS103）によって配置されたエッчин

50

グマスク 100M を用いたドライエッティング工程 (ステップ S105) とすることにより、一つのドライエッティング加工によって、切欠き部 118 と凹部 148, 158 とを形成することができる。即ち、切欠き部 118 によって画定された、基部 110、振動腕 120, 130、および枠部 115 など音叉型振動片 100 の外形と、振動腕 120, 130 に設けられる有底の凹部 148, 158 と、を同一のエッティング加工で形成することができる。

【0073】

[電極形成工程 (ステップ S107)]

次に、外形が画定された音叉型振動片 100 に、各種電極を形成する (ステップ S107)。電極形成工程 (ステップ S107) では、少なくとも振動腕 120, 130 に、例えば、スパッタリング法や蒸着法などを用いて後述する導電材料を配設することによって、駆動電極 121, 122, 121a, 122a を形成する。図 1 および図 2 に示されているように、駆動電極 121 は、振動腕 120 の表面 120f もしくは裏面 120b の一部から側面 103h, 103i に亘って設けられている。駆動電極 122 は、振動腕 130 の表面 130f もしくは裏面 130b の一部から側面 103j, 103k に亘って設けられている。駆動電極 122a は、振動腕 120 の表面 120f もしくは裏面 120b の一部から凹部 148 内の両内壁面および底部に亘って設けられている。駆動電極 121a は、振動腕 130 の表面 130f もしくは裏面 130b の一部から凹部 158 内の両内壁面および底部に亘って設けられている。なお、駆動電極 121 および駆動電極 121a は、同電位が供給されるようにパターニングされており、駆動電極 122 および駆動電極 122a は、駆動電極 121 および駆動電極 121a と逆電位が供給されるようにパターニングされている。

【0074】

駆動電極 121, 122 は、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)、タンゲステン (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。また、クロム (Cr)、クロム合金、ニッケル (Ni) などの下地層を設けてもよい。

【0075】

なお、ここでの説明は省略するが、駆動電極 121, 122, 121a, 122a 間を接続する接続電極、外部接続電極、および駆動電極 121, 122, 121a, 122a と外部接続電極とを結ぶ引出電極など他の電極も同様に形成することができる。

【0076】

上述したような、ドライエッティング工程 (ステップ S105) および電極形成工程 (ステップ S107) を適用することにより、基部 110 と、振動腕 120, 130 と、枠部 115 との外形により画定される切欠き部 118、および振動腕 120, 130 に形成される凹部 148, 158 を、同一のドライエッティング加工によって形成することができる。加えて、ドライエッティング加工の後に振動腕 120, 130 に形成される駆動電極 121, 122, 121a, 122a などの電極を形成することができる。このように、容易に振動片としての音叉型振動片 100 を形成することができる。

【0077】

上述した電子部品 (振動デバイス) としての音叉型振動片 100 の製造方法によれば、凹部 148, 158 の二側面間の最大幅を形作る第 1 マスク部 (第 1 開口部 148M, 158M) の幅 BM が、切欠き部 118 の開口を形作る第 2 マスク部 (第 2 開口部 118M) の最小幅 DM よりも小さく形成されたエッティングマスク 100M を用い、ドライエッティング加工する。したがって、切欠き部 118 (第 2 開口部 118M に相当) のエッティングスピードの方が、凹部 148, 158 (第 1 開口部 148M, 158M) のエッティングスピードより速くなり、切欠き部 118 のエッティングが凹部 148, 158 のエッティングより速く進む。これにより、切欠き部 118 が形成できた時点でエッティング加工を終了する

30

40

50

と、有底の凹部 148, 158 を形成することができる。このように、同一のドライエッチング加工によって、貫通部としての切欠き部 118 と、有底（非貫通）の凹部 148, 158 とを形成することができ、振動デバイス（振動片としての音叉型振動片 100）の加工工程における煩雑さを解消でき、加工工数の低減に寄与することができる。

【0078】

（第2実施形態）

次に、電子部品（振動デバイス）の第2実施形態に係る音叉型振動片の概略構成について図8、図9、および図10を用いて説明する。図8は、電子部品（振動デバイス）の第2実施形態に係る音叉型振動片の概略構成を模式的に示す平面図である。図9は、図8におけるP1-P1線での断面図である。図10は、図8のP1-P1断面における振動腕の拡大図である。なお、図8、図9、および図10では、説明の便宜上、駆動電極などの電極についての図示を省略している。また、以下では、前述の第1実施形態と同様な構成については、同符号を付してその説明を省略する。

【0079】

図8、図9、および図10に示すように、第2実施形態に係る音叉型振動片200は、第1実施形態と同様に、基部110と、基部110から+Y軸方向に突出するように延出している一対の振動腕120, 130と、基部110から延伸し、振動腕120, 130の外側を囲む枠部115と、を備えている。なお、音叉型振動片200の構成の詳細については、第1実施形態と同様であるので説明を省略する。第2実施形態の音叉型振動片200は、第1実施形態の音叉型振動片100と比し、振動腕120, 130に設けられている凹部248, 258の構成が異なっている。以下、構成の異なる凹部248, 258を中心に説明する。

【0080】

振動腕120, 130に設けられている凹部248, 258は、表面120f, 130fもしくは裏面120b, 130bに開口している。凹部248, 258は、底部を有する非貫通部243, 253と、底部を含むXY平面まで開口側に広がるように傾斜する傾斜面（内壁）242, 252と、凹部248および凹部258を貫通する貫通部241, 251と、を有している。凹部248, 258は、開口が振動腕120, 130の突出方向（Y軸方向）に沿って伸びる矩形形状であり、Y軸方向を長手方向、長手方向（長さ方向）に直交する方向（X軸方向）を短手方向（幅方向）としている。そして、凹部248, 258の開口は、短手方向である開口の幅（幅寸法）Bよりも、長手方向の長さ（長さ寸法）Lの方が大きく、且つ開口の幅（幅寸法）Bが、外形形状を画定する側面間の最小幅である間隔Dよりも小さく設定されている。なお、実施形態における開口の幅Bは、凹部248, 258が、表面120f, 130fもしくは裏面120b, 130bに接する位置の寸法である。

【0081】

また、凹部248, 258の貫通部241, 251は、凹部248, 258の底部を含むXY平面まで開口側に広がるように傾斜する傾斜面（内壁）242, 252を含んでいる。換言すれば、凹部248, 258は、底部の幅寸法B2よりも、開口の幅寸法Bの方が大きい。このように、凹部248, 258が開口側に開いていることにより、図10に示すように、例えば、スパッタリング法や蒸着法などによる電極の形成時に、供給される電極材料が凹部248, 258の内壁（傾斜面242, 252）に付着しやすく。電極の形成を容易に行うことができる。

【0082】

なお、凹部248, 258の断面形状は、第1実施形態と同様に、延在方向（長さ方向）に沿った断面の形状を、凹部248, 258の底部から開口（表面120fもしくは裏面120b）に向かって広がる曲線である曲線部や傾斜面を有していてもよい。また、第1実施形態と同様に、延在方向（長さ方向）の中央部から、長さ方向に位置する一方の端部148a, 158aおよび他方の端部148b, 158bに向かうに従い幅（幅寸法）が狭くなっている構成でもよい。

10

20

30

40

50

【0083】

また、図10に二点鎖線で示すように、凹部248の内壁面は、曲線状の内壁面242aであってもよく、同様な効果を奏する。なお、図示していないが、他方の凹部258の内面においても同様に、曲線状の内壁面252aとしてもよい。

【0084】

第2実施形態に係る音叉型振動片200によれば、第1実施形態の効果に加えて、凹部248, 258の内面に配設される駆動電極の形成を容易に行うことができ、振動特性を維持しつつ製造コストの低減を図ることができる。

【0085】

(第3実施形態)

10

次に、電子部品(振動デバイス)の第3実施形態に係る音叉型振動片の概略構成について図11を用いて説明する。図11は、電子部品(振動デバイス)の第3実施形態に係る音叉型振動片の概略構成を模式的に示す平面図である。なお、図11では、説明の便宜上、駆動電極などの電極についての図示を省略している。また、以下では、前述の第1実施形態と同様な構成については、同符号を付してその説明を省略する。

【0086】

図11に示すように、第3実施形態に係る音叉型振動片300は、第1実施形態と同様に、基部110と、基部110から+Y軸方向に突出するように延出している一対の振動腕120, 130と、基部110から延伸し、振動腕120, 130の外側を囲む枠部115と、を備えている。なお、音叉型振動片300の構成の詳細については、第1実施形態と同様であるので説明を省略する。第3実施形態の音叉型振動片300は、第1実施形態の音叉型振動片100と比し、振動腕120, 130に設けられている凹部348, 358の構成が異なっている。以下、構成の異なる凹部348, 358を中心に説明する。

20

【0087】

振動腕120に設けられている凹部348は、表面もしくは裏面に開口する有底の複数(本形態では五つ)の凹部348a, 348b, 348c, 348d, 348eを、振動腕120の長手方向(長さ方向)に間隔を有して並設した構成である。同様に、振動腕130に設けられている凹部358は、表面もしくは裏面に開口する有底の複数(本形態では五つ)の凹部358a, 358b, 358c, 358d, 358eを、振動腕130の長手方向(長さ方向)に間隔を有して並設した構成である。なお、複数の凹部348a～348e, 358a～358eにおける断面形状は、前述した第1実施形態と同様な形態とすることができます。

30

【0088】

このように、複数(本形態では五つ)の凹部348a～348eを並設させた凹部348、および、複数(本形態では五つ)の凹部358a～358eを並設させた凹部358を振動腕120および振動腕130に設けることにより、凹部348, 358を設けることによる振動腕120, 130の強度低下を抑制することができ、落下などの耐衝撃性を向上させることができ、可能な音叉型振動片300とすることができます。

(第4実施形態)

40

次に、電子部品(振動デバイス)の第4実施形態に係る音叉型振動片の概略構成について図12、および図13を用いて説明する。図12は、電子部品(振動デバイス)の第4実施形態に係る音叉型振動片の概略構成を模式的に示す平面図である。図13は、図12におけるP2-P2線での断面図である。なお図12および図13では、説明の便宜上、駆動電極などの電極についての図示を省略している。また、以下では、前述の第1実施形態と同様な構成については、同符号を付してその説明を省略する。

【0089】

図12、および図13に示すように、第4実施形態に係る音叉型振動片400は、基部110と、基部110から+Y軸方向に突出するよう延出している一対の振動腕120, 130と、を備えている。第4実施形態の音叉型振動片400は、第1実施形態の音叉型振動片100に備えられている枠部115が設けられていない構成である。音叉型振動

50

片400における他の構成部位である基部110および一対の振動腕120, 130は、第1実施形態の音叉型振動片100と同様である。したがって、音叉型振動片400において、第1実施形態と同様の構成については、詳細な説明を省略する。

【0090】

第1実施形態と同様に、振動腕120, 130には、振動腕120, 130の表面120f, 130fもしくは裏面120b, 130bに開口している凹部148, 158が設けられている。なお、凹部148, 158の説明については、第1実施形態と同様な事項は省略し、異なる事項について説明する。凹部148, 158の開口は、開口の幅(幅寸法)Bよりも、開口の幅に対して直交する方向の長さ(長さ寸法)Lの方が大きく、且つ開口の幅(幅寸法)Bが、外形形状を画定する側面間の最小幅である間隔Aよりも小さく設定されている。なお、本実施形態の音叉型振動片400のように外枠が設けられていなければ、外形形状を画定する側面間の最小幅として、一対の振動腕120と振動腕130との間の距離である間隔Aが該当する。

10

【0091】

このように、外枠の無い構成の第4実施形態に係る音叉型振動片400においても、上述の第1実施形態～第3実施形態に係る音叉型振動片100, 200, 300と同様な効果を奏することができる。

【0092】

(第5実施形態)

次に、電子部品(振動デバイス)の第5実施形態に係る音叉型振動片の概略構成について図14、および図15を用いて説明する。図14は、電子部品(振動デバイス)の第5実施形態に係る音叉型振動片の概略構成を模式的に示す平面図である。図15は、図14におけるS-S線での断面図である。なお図14および図15では、説明の便宜上、駆動電極などの電極についての図示を省略している。また、以下では、前述の第1実施形態と同様な構成については、同符号を付してその説明を省略する。

20

【0093】

図14、および図15に示すように、第5実施形態に係る音叉型振動片100は、基部110と、基部110から+Y軸方向に突出するように延出している一対の振動腕120, 130と、を備えている。そして、音叉型振動片100は、折り取り部161を介して水晶ウェハー(不図示)の支持枠部162に連結されている。なお、水晶ウェハーには、複数の音叉型振動片100を配列し、連結させることができる。本実施形態では、折り取り部161に、表裏面にそれぞれ開口する凹部160が設けられている。凹部160は、折り取り部161と枠部115とを接続する部分である接続部165に設けられ、折り取られる形状に沿って、例えば本形態ではX軸に沿った有底の溝が延設されている。なお、凹部160の深さは、一定もしくは略一定であってもよいし、両端部に向かって浅くなるように形成されていてもよい。凹部160の両端部の深さは、ドライエッチング法を用いることによって容易に設定することができる。一例として、本形態における凹部160では、凹部160の両端部に向かって平面視における幅を狭くすることによって、中央部の深さと比して両端部の深さを浅くすることができる。

30

【0094】

表裏面にそれぞれ開口する凹部160の開口は、開口の幅(幅寸法)B2よりも、開口の幅に対して直交する方向の長さ(長さ寸法)L2の方が大きく、且つ開口の幅(幅寸法)B2が、外形形状を画定する側面間の最小幅である間隔D(切欠き部163を構成する間隔Eが最小幅の場合は間隔E)よりも小さく設定されている。

40

【0095】

このような凹部160を備えた折り取り部161が設けられることにより、接続部165の強度が折り取り部161や基部110よりも弱くなり、音叉型振動片100を水晶ウェハー(不図示)の支持枠部162から折り取る(切り離す)際に、折り取りを容易に、且つ確実に行うことができる。また、折り取り後の形状(折り取り形状)のバラツキを小さくすることができる。

50

【0096】

また、このような凹部160を備えた折り取り部161においても、前述の第1実施形態の振動腕120, 130に設けられている凹部148, 158と同様に、同一のドライエッティング加工によって、貫通部としての切欠き部118および支持枠部162と外枠115の間の切欠き部163と、有底(非貫通)の凹部160とを形成することができ、振動デバイス(振動片としての音叉型振動片100)の加工工程における煩雑さを解消でき、加工工数の低減に寄与することができる。

【0097】

(第6実施形態)

次に、電子部品(振動デバイス)の第6実施形態に係る振動子の概略構成について図16を用いて説明する。図16は、電子部品(振動デバイス)の第6実施形態に係る振動子の概略構成を模式的に示す正断面図である。

10

【0098】

図16に示すように、電子部品(振動デバイス)の第6実施形態に係る振動子500は、外周壁を有する基体501と、基体501の外周壁に枠部115が載置された第1実施形態に係る音叉型振動片100と、音叉型振動片100の枠部115に載置され、基体501との間に収納空間503を画定する蓋体502と、を備えている。このように、振動子500は、基体501と、音叉型振動片100の枠部115と、蓋体502とによってパッケージが画定され、音叉型振動片100の少なくとも振動腕120, 130がパッケージ内の収納空間503に収容されている。音叉型振動片100の振動腕120, 130には、凹部148, 158が設けられている。

20

【0099】

基体501および蓋体502は、水晶材料から形成されている。基体501は、音叉型振動片100の枠部115の一面(裏面)にシロキサン結合(Si-O-Si)によって接合することができる。また、同様に、蓋体502は、音叉型振動片100の枠部115の他方面(表面)にシロキサン結合(Si-O-Si)によって接合することができる。なお、この接合は、シロキサン結合以外にも、基体501と、音叉型振動片100と、蓋体502との形成材料に応じて、陽極接合または樹脂接合により接合することができる。

【0100】

また、パッケージを構成する基体501の外底面(-Z軸方向の外面)には、音叉型振動片100の駆動電極(不図示)と電気的に接続された端子を含む外部接続端子(不図示)が設けられている。

30

【0101】

第6実施形態に係る振動子500によれば、音叉型振動片100に凹部148, 158を備えた振動腕120, 130が備えられているため、捻り変形などに対する剛性を備え、且つ効率的な屈曲振動が可能である。また、振動子500は、基体501と枠部115と蓋体502とで画定されたパッケージに音叉型振動片100の振動部分が収納されているため、低背型(薄型)を実現することができる。

【0102】

なお、上述した第6実施形態では、第1実施形態の音叉型振動片100を用いた例で説明したがこれに限らず、第2実施形態の音叉型振動片200、または第3実施形態の音叉型振動片300のいずれかを用いることとしてもよい。

40

【0103】

(第7実施形態)

次に、電子部品(振動デバイス)の第7実施形態に係る振動子の概略構成について図17を用いて説明する。図17は、電子部品(振動デバイス)の第7実施形態に係る振動子の概略構成を模式的に示す正断面図である。

【0104】

図17に示すように、電子部品(振動デバイス)の第7実施形態に係る振動子600は、第4実施形態の音叉型振動片400と、音叉型振動片400を収容するパッケージ60

50

5と、蓋体としてのリッド606とを備えている。音叉型振動片400の振動腕120, 130には、凹部148, 158が設けられている。

【0105】

パッケージ605は、平板上の第1基板601と、第1基板601上に、枠状の第2基板602、枠状の壁部を構成する第3基板603、シールリング604を順に積層、固着して形成され、音叉型振動片400が収容される凹部が形成される。第1基板601、第2基板602、第3基板603は、例えばセラミックスなどにより形成される。また、シールリング604は、例えばコバルト合金などを矩形環状に型抜きして形成される。

【0106】

第2基板602は、上面に音叉型振動片400が接続される。第2基板602は、第1基板601と音叉型振動片400の振動腕120, 130を含む振動部とが接触しないような空隙を設ける大きさの開口を有する枠状の形状に形成されている。第3基板603は、第2基板602の開口より広い開口を有する枠状の形状に形成されており、第2基板602上に積層され、固着される。そして第2基板602に第3基板603が積層されて第3基板603の開口の内側に現れる第2基板の上面に、図示しない接続パッドが配設され、接続パッドに音叉型振動片400が導電性接着剤607などによって接続される。

【0107】

更に、第3基板603の開口の上面に設けられたシールリング604上に、蓋体としてのリッド606が配置され、パッケージ605の開口を封止し、パッケージ605の内部(収納空間608)が気密封止され、振動子600が得られる。リッド606は、例えば、42アロイ(鉄にニッケルが42%含有された合金)やコバルト(鉄、ニッケルおよびコバルトの合金)等の金属、セラミックス、あるいはガラスなどを用いて形成することができる。リッド606は、例えば金属により形成された場合には、コバルト合金などを矩形環状に型抜きして形成されたシールリング604を介してシーム溶接することにより、パッケージ605と接合される。パッケージ605およびリッド606によって形成される収納空間608は、音叉型振動片400が動作するための空間となるため、減圧空間に密閉・封止することが好ましい。

【0108】

第7実施形態に係る振動子600によれば、音叉型振動片400に凹部148, 158を備えた振動腕120, 130が備えられているため、捻り変形などに対する剛性を備え、且つ効率的な屈曲振動が可能である。また、振動子600は、セラミックスなど入手容易なパッケージ605を用いているため、低コストの振動子600とすることが可能である。

【0109】

なお、上述した第7実施形態では、第4実施形態の音叉型振動片400を用いた例で説明したがこれに限らず、第1実施形態の音叉型振動片100、第2実施形態の音叉型振動片200、または第3実施形態の音叉型振動片300のいずれかを用いることとしてもよい。

【0110】

なお、上述した実施形態では、振動素子としてタイミングデバイスである音叉型振動片100, 200, 300, 400を例示して説明したが、本発明はこれに限らない。本発明が適用可能な振動素子としては、例えば、角速度を検出するジャイロセンサー素子、圧力を測定する圧力センサー素子などが挙げられる。また、パッケージの内に振動素子、および振動素子を発振させる回路素子などを収容した発振器やセンサーデバイスにも適用することができる。

【0111】

<電子機器>

次いで、電子部品(振動デバイス)としての音叉型振動片100, 200, 300, 400、もしくは振動子500, 600のいずれかを適用した電子機器について、図18、図19、および図20を参照しながら詳細に説明する。なお、以下の説明では、音叉型振

10

20

30

40

50

動片 100 を適用した例を示している。

【0112】

図18は、本発明の電子部品（振動デバイス）の一実施形態に係る音叉型振動片100を備える電子機器としてのモバイル型（またはノート型）のパーソナルコンピューターの構成の概略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、信号処理のタイミング源としての機能を備えた音叉型振動片100が内蔵されている。

10

【0113】

図19は、本発明の電子部品（振動デバイス）の一実施形態に係る音叉型振動片100を備える電子機器としての携帯電話機（PHSも含む）の構成の概略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1208が配置されている。このような携帯電話機1200には、信号処理のタイミング源としての機能を備えた音叉型振動片100が内蔵されている。

【0114】

図20は、本発明の電子部品（振動デバイス）の一実施形態に係る音叉型振動片100を備える電子機器としてのデジタルスチールカメラの構成の概略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、従来のフィルムカメラは、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、デジタルスチールカメラ1300は、被写体の光像をCCD（Charge Coupled Device）等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

【0115】

デジタルスチールカメラ1300におけるケース（ボディー）1302の背面には、表示部1304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1304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等を含む受光ユニット1306が設けられている。

30

【0116】

撮影者が表示部1304に表示された被写体像を確認し、シャッターボタン1308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1310に転送、格納される。また、このデジタルスチールカメラ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1410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1420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1310に格納された撮像信号が、テレビモニター1410や、パーソナルコンピューター1420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ールカメラ1300には、信号処理のタイミング源としての機能を備えた音叉型振動片100が内蔵されている。

40

【0117】

なお、本発明の電子部品（振動デバイス）の一実施形態に係る音叉型振動片100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のデジタルスチールカメラの他にも、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、ページヤー、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

50

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)、ライトシミュレーター等の電子機器に適用することができる。

【0118】

<移動体>

次いで、本発明の電子部品(振動デバイス)の一実施形態に係る音叉型振動片100, 200, 300, 400、もしくは振動子500, 600のいずれかを適用した移動体について、図21を参照しながら詳細に説明する。なお、以下の説明では、音叉型振動片100を適用した例を示している。図21は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には本発明に係る音叉型振動片100が搭載されている。例えば、同図に示すように、移動体としての自動車1500には、音叉型振動片100を内蔵してタイヤ1504などを制御する電子制御ユニット1510が車体1502に搭載されている。また、音叉型振動片100は、他にも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。

【符号の説明】

【0119】

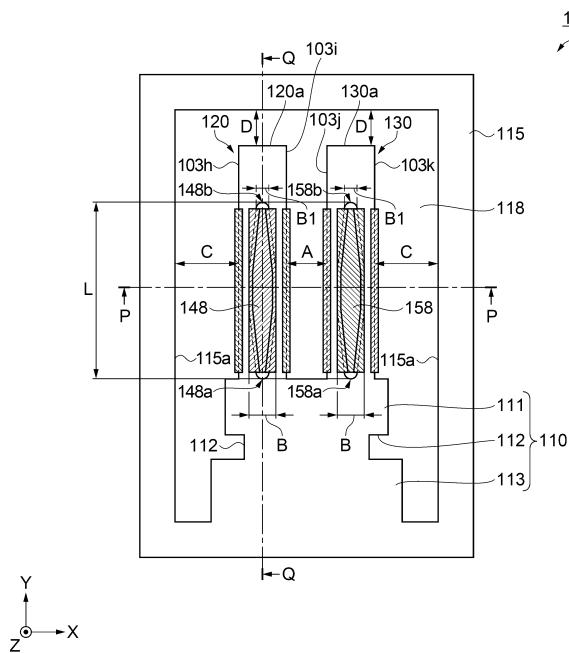
100, 200, 300, 400…電子部品(振動デバイス)としての音叉型振動片、
103h, 103i, 103j, 103k…振動腕の側面、110…基部、110W…基板(水晶ウェハー)、111…狭幅部、112…括れ部、113…広幅部、115…枠部、
115a…枠部の側面、118…切欠き部、120, 130…振動腕、120a, 130a…振動腕の端側面、120f, 130f…表面、120b, 130b…裏面、121, 121a, 122, 122a…駆動電極、148, 158…凹部、148a, 158a…凹部の一方の端部、148b, 158b…凹部の他方の端部、148c…曲線部、148d…傾斜面、148t…底部、500, 600…電子部品(振動デバイス)としての振動子、1100…電子機器としてのモバイル型のパソコンコンピューター、1200…電子機器としての携帯電話機、1300…電子機器としてのデジタルスチールカメラ、1500…移動体としての自動車、A, B, C, D…切欠き部の間隔、B(B1)…凹部の幅(幅寸法)、L…凹部の長さ(長さ寸法)。

10

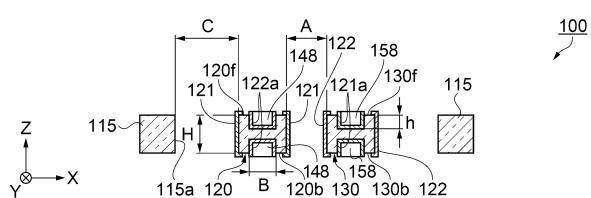
20

30

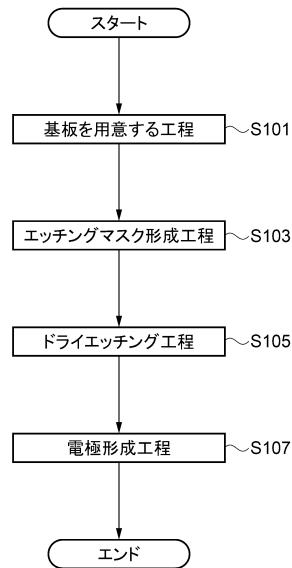
【 図 1 】



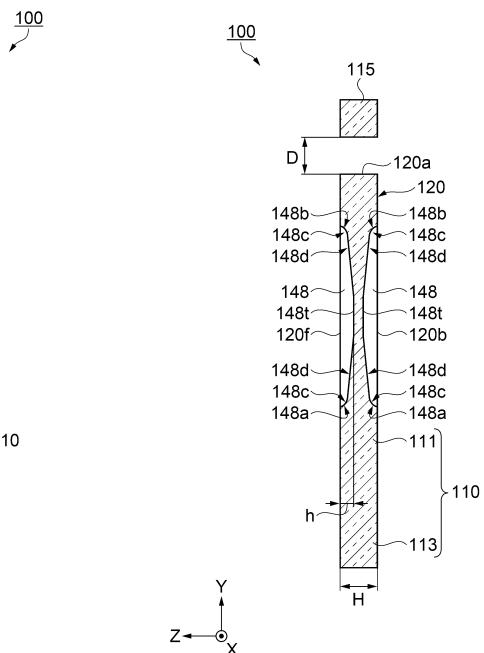
【 図 2 】



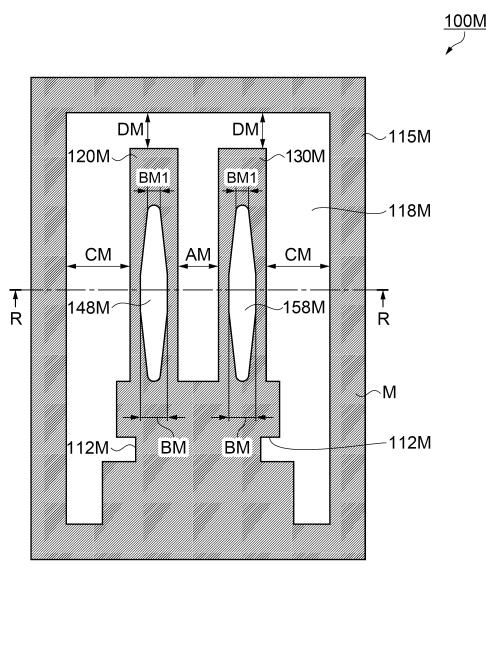
【図4】



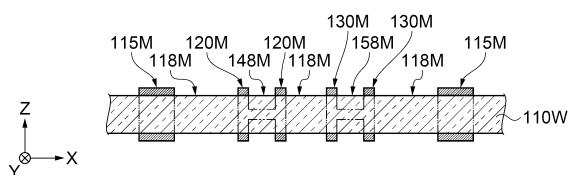
【図3】



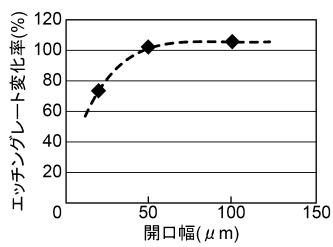
【図5】



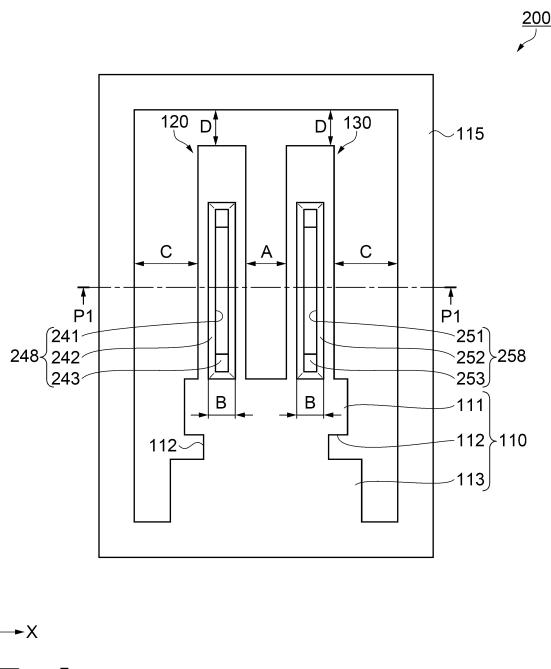
【 6 】



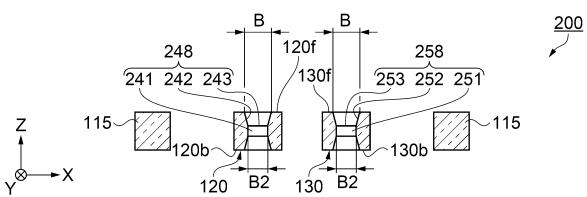
【図7】



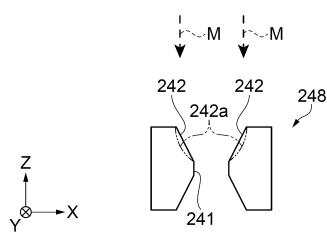
【図8】



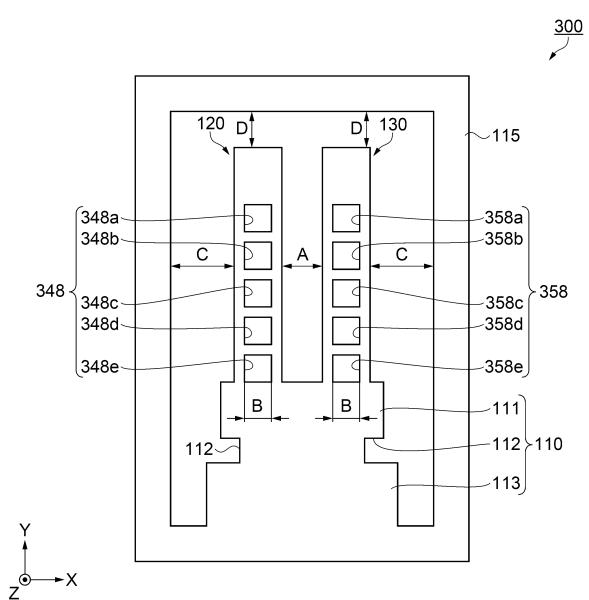
【図9】



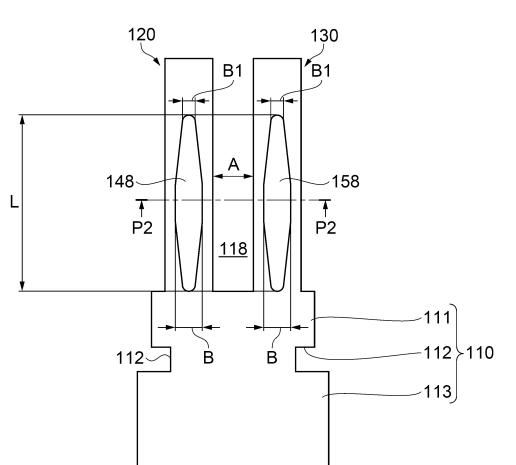
【図10】



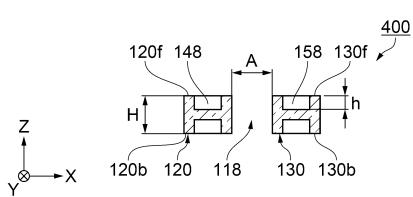
【図11】



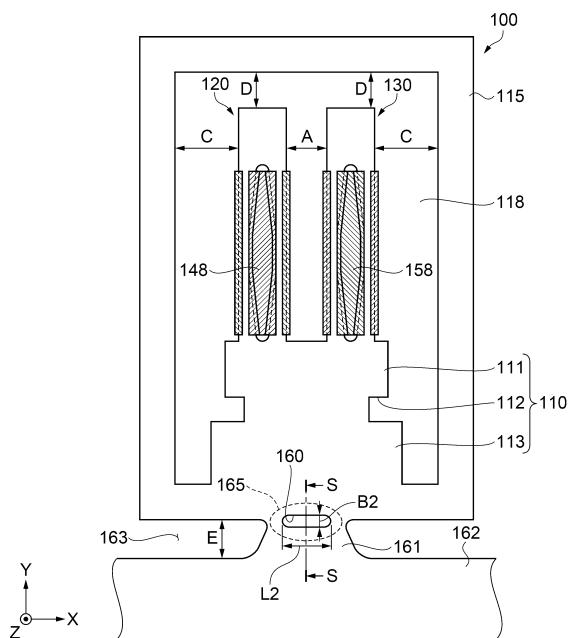
【図12】



【図13】

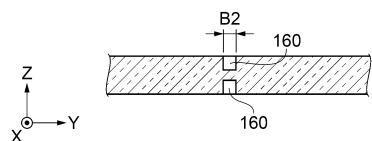
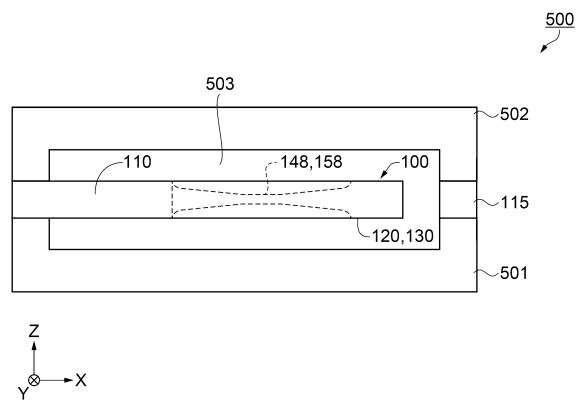


【図14】



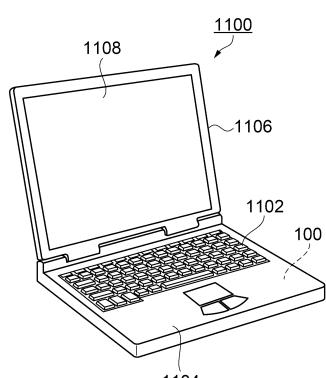
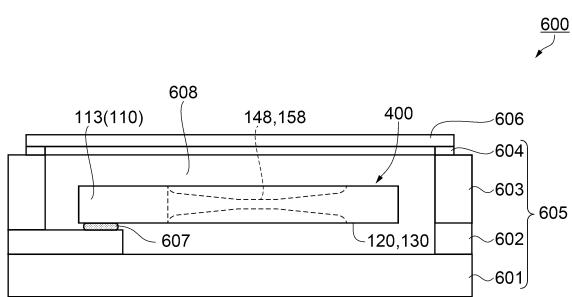
【図15】

【図16】

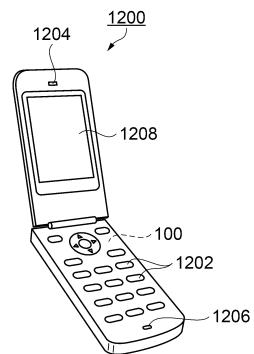


【図17】

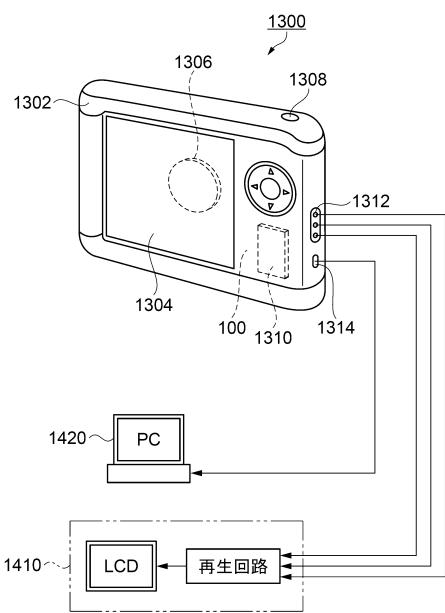
【図18】



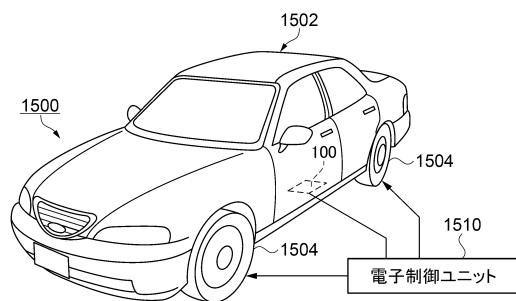
【図19】



【図20】



【図21】



フロントページの続き

(72)発明者 菊池 尊行
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 高 橋 徳浩

(56)参考文献 特開2007-166242(JP,A)
特開2013-229733(JP,A)
特開2014-107603(JP,A)
特開2014-165910(JP,A)
特開2011-166325(JP,A)
特開2011-199330(JP,A)
特開2010-010734(JP,A)
特開2007-013382(JP,A)
特開2009-027711(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03H3/007 - H03H3/10
H03H9/00 - H03H9/76