

(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2010-25898

(P2010-25898A)

(43) 公開日 平成22年2月4日(2010.2.4)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)
GO1C	19/56 (2006.01)	GO1C 19/56	2F105
GO1P	15/18 (2006.01)	GO1P 15/00	K
GO1P	15/12 (2006.01)	GO1P 15/12	D
GO1P	9/04 (2006.01)	GO1P 9/04	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2008-190930 (P2008-190930)
 (22) 出願日 平成20年7月24日 (2008.7.24)

(71) 出願人 000004075
 ヤマハ株式会社
 静岡県浜松市中区中沢町10番1号
 (74) 代理人 100117396
 弁理士 吉田 大
 (74) 代理人 100117466
 弁理士 岩上 渉
 (72) 発明者 服部 敦夫
 静岡県浜松市中区中沢町10番1号 ヤマ
 ハ株式会社内
 Fターム(参考) 2F105 BB13 CC01 CD02 CD06 CD13

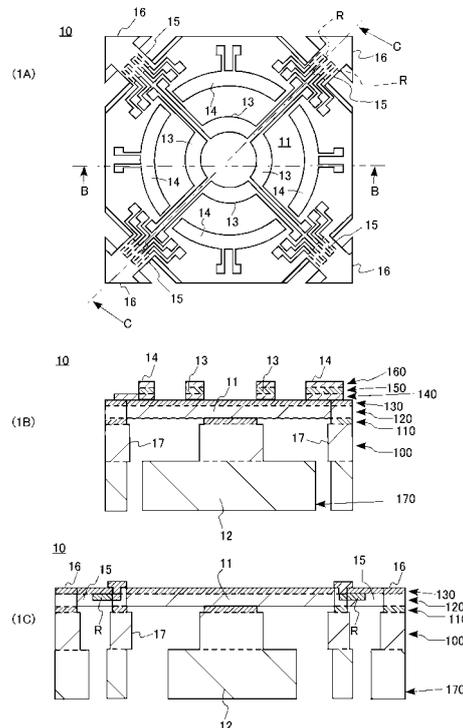
(54) 【発明の名称】 MEMS センサ

(57) 【要約】

【課題】 3次元の角速度と3次元の加速度とを検出できる小型のMEMSセンサを提供する。

【解決手段】 MEMSセンサは、枠形の支持部と、支持部の内側に架設された内可撓部と、内可撓部の中央部に結合している内錘部と、内可撓部に配置され内可撓部を励振する励振手段と、内可撓部に配置され内可撓部の変形に応じた3軸の角速度成分を検出するための角速度検出手段と、支持部から支持部の外側に突出している梁である3個以上の外可撓部と、それぞれの外可撓部の自由端にそれぞれ結合している3個以上の外錘部と、それぞれの外可撓部に配置されそれぞれの外可撓部の変形に応じた3軸の加速度成分を検出するための加速度検出手段と、を備え、支持部と内可撓部と内錘部と励振手段と角速度検出手段と外可撓部と外錘部と加速度検出手段とが一体のダイに形成され、外可撓部は支持部からダイの角部に向かって突出している。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

枠形の支持部と、
 前記支持部の内側に架設された内可撓部と、
 前記内可撓部の中央部に結合している内錘部と、
 前記内可撓部に配置され前記内可撓部を励振する励振手段と、
 前記内可撓部に配置され前記内可撓部の変形に応じた 3 軸の角速度成分を検出するための角速度検出手段と、
 前記支持部から前記支持部の外側に突出している梁である 3 個以上の外可撓部と、
 それぞれの前記外可撓部の自由端にそれぞれ結合している 3 個以上の外錘部と、
 それぞれの前記外可撓部に配置されそれぞれの前記外可撓部の変形に応じた 3 軸の加速度成分を検出するための加速度検出手段と、
 を備え、
 前記支持部と前記内可撓部と前記内錘部と前記励振手段と前記角速度検出手段と前記外可撓部と前記外錘部と前記加速度検出手段とが一体のダイに形成され、
 前記外可撓部は前記支持部から前記ダイの角部に向かって突出している、
 M E M S センサ。

10

【請求項 2】

前記励振手段と前記角速度検出手段とは複数の圧電素子を備え、
 前記加速度検出手段は複数の piezo 抵抗素子を備える、
 請求項 1 に記載の M E M S センサ。

20

【請求項 3】

前記内可撓部はダイヤフラムである、
 請求項 2 に記載の M E M S センサ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は M E M S (Micro Electro Mechanical System) センサに関し、特に 3 次元の角速度と 3 次元の加速度とを検出するための M E M S センサに関する。

【背景技術】

30

【0002】

従来、ビームまたはダイヤフラムの変形を圧電体または piezo 抵抗によって検出することにより加速度センサまたは振動ジャイロスコープとして機能する M E M S センサが知られている (例えば特許文献 1 - 8 参照)。また特許文献 9 には 1 個のダイに 2 個の振動ジャイロスコープと 1 個の加速度センサを配置した M E M S センサが開示されている。

【特許文献 1】特開 2006 - 177823 号公報

【特許文献 2】特開 2006 - 308325 号公報

【特許文献 3】特開 2007 - 3211 号公報

【特許文献 4】特開平 8 - 285883 号公報

【特許文献 5】特開 2004 - 294450 号公報

40

【特許文献 6】特開 2007 - 24864 号公報

【特許文献 7】特開 2007 - 256046 号公報

【特許文献 8】特開 2007 - 33309 号公報

【特許文献 9】特開平 10 - 10148 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

特許文献 9 に開示されているように、1 個のダイに振動ジャイロスコープと加速度センサとを配置する構成では、複数のパッケージやダイにこれら 2 種類のセンサを配置する構成に比べるとスペース効率が高まる。しかし、励振による可撓部の変形に比べてコリオリ

50

力による可撓部の変形は一般に小さくなるために振動ジャイロスコープは加速度センサに比べて大型化する。したがって、特許文献 9 に開示されているように 1 個のダイの周辺部に複数の振動ジャイロスコープを配置することにより 2 軸以上の角速度成分を検出する構成では、ダイが大型化するという問題がある。

【 0 0 0 4 】

本発明は、3次元の角速度と3次元の加速度とを検出できる小型のMEMSセンサを提供することを目的の1つとする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 5 】

(1) 上記目的を達成するためのMEMSセンサは、枠形の支持部と、支持部の内側に架設された内可撓部と、内可撓部の中央部に結合している内錘部と、内可撓部に配置され内可撓部を励振する励振手段と、内可撓部に配置され内可撓部の変形に応じた3軸の角速度成分を検出するための角速度検出手段と、支持部から支持部の外側に突出している梁である3個以上の外可撓部と、それぞれの外可撓部の自由端にそれぞれ結合している3個以上の外錘部と、それぞれの外可撓部に配置されそれぞれの外可撓部の変形に応じた3軸の加速度成分を検出するための加速度検出手段と、を備え、支持部と内可撓部と内錘部と励振手段と角速度検出手段と外可撓部と外錘部と加速度検出手段とが一体のダイに形成され、外可撓部は支持部からダイの角部に向かって突出している。

【 0 0 0 6 】

3次元の角速度を検出するための機械的要素をダイに配置した後に残る領域はダイの複数の角部に偏る。3次元の加速度を検出するための可撓部を3個以上の梁から構成し、ダイの角部に向かって延びる各梁の自由端に錘部を結合することにより、3次元の角速度を検出するための機械的要素を配置した後に残るダイの領域に3次元の加速度を検出するための機械要素を効率よく配置できる。したがって本発明によると3次元の角速度と3次元の加速度とを検出できるMEMSセンサを小型化することができる。

【 0 0 0 7 】

(2) 上記目的を達成するためのMEMSセンサにおいて、励振手段と角速度検出手段とは複数の圧電素子を備え、加速度検出手段は複数の piezo 抵抗素子を備えることが望ましい。

【 0 0 0 8 】

この構成では、piezo 抵抗素子によって角速度を検出する場合に比べ、微弱なコリオリ力に応じた角速度を感度良く検出でき、また圧電素子によって加速度を検出する場合に比べ、周波数の低い加速度を検出できる。

【 0 0 0 9 】

(3) 上記目的を達成するためのMEMSセンサにおいて、内可撓部はダイヤフラムであることが望ましい。

【 0 0 1 0 】

この構成では、内可撓部が梁である場合に比べると面積の広い圧電素子をダイヤフラムに配置できるため、微弱なコリオリ力に応じた角速度を感度良く検出できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 1 】

以下、本発明の実施の形態を添付図面を参照しながら説明する。尚、各図において対応する構成要素には同一の符号が付され、重複する説明は省略される。

【 0 0 1 2 】

本発明のMEMSセンサの第一実施形態としてのモーションセンサ1を図2に、そのダイ10を図1に示す。モーションセンサ1はパッケージ20に収容された固体素子であるダイ10を備えている。ダイ10には、3軸の角速度成分を検出するためのダイヤフラム11と内錘部12と複数の検出用圧電素子13と励振用圧電素子14とが形成されている。またダイ10には、3軸の加速度成分を検出するための4個の梁15と4個の外錘部16と複数のpiezo抵抗素子Rとが形成されている。ダイ10は支持部17のみがパッケー

ジ 20 に固定される。図 1 B、図 1 C、図 2 では、これらの機能要素の境界を実線で示し、層構造の界面を破線で示している。

【 0 0 1 3 】

ダイ 10 は、平面視が略正方形であり、ガラス層 170、厚いシリコン層 100、ストップパ絶縁層 110、薄いシリコン層 120、絶縁層 130、電極層 140、圧電層 150 および電極層 160 からなる積層構造体である。ダイ 10 の外形寸法は、略正方形の一边が約 3 mm、高さが約 1 mm である。

【 0 0 1 4 】

枠形の支持部 17 はガラス層 170、厚いシリコン層 100、ストップパ絶縁層 110、薄いシリコン層 120 および絶縁層 130 からなる。ダイヤフラム 11 に対して垂直な方向から見て（以下、この方向から見ることを平面視という。）支持部 17 の外側の輪郭は八角形であり、内側の輪郭は円形である。支持部 17 の内側にはダイヤフラム 11 が架設されている。支持部 17 から外側に 4 個の梁 15 が突出している。ダイヤフラム 11 の中央部に結合している内錘部 12 および梁 15 の自由端に結合している外錘部 16 はいずれも支持部 17 によってパッケージ 20 から浮いた状態に支持される。

10

【 0 0 1 5 】

内可撓部としてのダイヤフラム 11 は支持部 17 に架設された平面視が円形の薄い膜である。ダイヤフラム 11 は薄いシリコン層 120 と絶縁層 130 とから構成されている。

【 0 0 1 6 】

ダイヤフラム 11 の応力が集中する中央近傍にはほぼ円環状に 4 個の検出用圧電素子 13 が配置されている。ダイヤフラム 11 の変形に応じた 3 軸の角速度成分を検出するための角速度検出手段が 4 個の検出用圧電素子 13 から構成される。ダイヤフラム 11 の周縁部にはほぼ円環状に 4 個の励振用圧電素子 14 が配置されている。ダイヤフラム 11 が 3 次元振動するように励振するための励振手段が 4 個の励振用圧電素子 14 から構成される。検出用圧電素子 13、励振用圧電素子 14 はいずれも、電極を構成する電極層 140、160 および圧電層 150 からなる。電極層 140、160 の材質は例えば白金 (Pt) である。圧電層 150 の材質は例えば PZT (チタン酸ジルコン酸鉛) である。

20

【 0 0 1 7 】

ダイヤフラム 11 の中央部に結合している内錘部 12 の平面視は円形である。内錘部 12 は、ガラス層 170 と、厚いシリコン層 100 と、ストップパ絶縁層 110 とで構成されている。内錘部 12 の重心をダイヤフラム 11 から遠くに設定することによりダイヤフラム 11 に作用するモーメントが大きくなるため、内錘部 12 の平面視はダイヤフラム 11 に近づくにつれて小さくなっている。支持部 17 と内錘部 12 との間には、内錘部 12 が支持部 17 に対して相対的に運動するための空隙が形成されている。

30

【 0 0 1 8 】

励振用圧電素子 14 に励振用電気信号を印加することにより、ダイヤフラム 11 とともに内錘部 12 が 2 次元振動する。角速度が生ずると、角速度と内錘部 12 の速度とに応じたコリオリ力が内錘部 12 に生じる。このコリオリ力によって生ずるダイヤフラム 11 の変形を複数の検出用圧電素子 13 により検出すると 3 軸の角速度成分を検出できる。コリオリ力の検出手段として圧電素子を用いることにより、ピエゾ抵抗によってコリオリ力を検出する場合に比べ、微弱なコリオリ力に応じた角速度を感度良く検出できる。

40

【 0 0 1 9 】

外可撓部としての 4 個の梁 15 は支持部 17 からダイ 10 の角部に向かって突出し自由端が外錘部 16 に結合された薄い膜である。4 個の梁 15 は、90 度間隔の 4 方向に、すなわち十文字の中心から端部に向かう 4 方向に、支持部 17 から突出している。梁 15 は薄いシリコン層 120 と絶縁層 130 から構成されている。

【 0 0 2 0 】

4 個の外錘部 16 は、それぞれ梁 15 の自由端に結合している。4 個の外錘部 16 は内錘部 12 の重心に重心が重なる十文字の 4 個の端部に相当する位置でもあるダイ 10 の角部に配置されている。より具体的には、それぞれの外錘部 16 の重心から内錘部 12 の重

50

心までの距離は等しく、外錘部 16 の重心と内錘部 12 の重心を結ぶ直線のダイヤフラム 11 への投影は 90 度間隔で交差する。それぞれの外錘部 16 はガラス層 170 と厚いシリコン層 100 とストップ絶縁層 110 と薄いシリコン層 120 と絶縁層 130 とから構成されている。

【0021】

それぞれの梁 15 の薄いシリコン層 120 の絶縁層 130 との界面近傍には piezo 抵抗素子 R が形成されている。加速度検出手段として piezo 抵抗素子 R を用いることにより、加速度検出手段として圧電体を用いる場合に比べ、周波数の低い加速度を検出できる。一直線に並ぶ 2 つの梁 15 の撓みを piezo 抵抗素子 R によって検出することにより、その直線と平行な軸 (x 軸または y 軸) の加速度成分と z 軸 (梁の厚さ方向と平行な軸) の加速度成分とを検出できる。各軸の加速度成分を個別に検出するため、軸毎に 4 個の piezo 抵抗素子 R が結線された 3 個または 4 個のブリッジ回路が構成される。piezo 抵抗素子 R を梁 15 が突出している方向に長い U 字に形成することにより、感度を高めることができる。

10

【0022】

(作用・効果)

静止している梁 15 が支持部 17 から突出している方向に図 3 A に示すように加速度 a_x が生ずると、加速度 a_x の方向に並ぶ梁 15 a、梁 15 b の一方の表層に形成されている piezo 抵抗素子 R_a が伸張し、他方の表層に形成されている piezo 抵抗素子 R_b が縮む。したがって支持部 17 から互いに反対方向に突出している 2 つの梁 15 に配置されている piezo 抵抗素子 R の抵抗値の差をブリッジ回路によって検出すると、その 2 つの梁 15 が並んでいる方向の加速度成分を検出できる。4 つの梁 15 は支持部 17 から見て 45 度間隔に配列されているため、4 つの梁 15 のそれぞれに配置された piezo 抵抗素子 R の抵抗値から 2 軸の加速度成分を検出できる。4 つの外錘部 16 が並ぶ平面に対して垂直な方向に図 3 B に示すように加速度 a_z が生ずると、4 つの梁 15 の表層に設けられた piezo 抵抗素子 R はすべて縮む。すなわち piezo 抵抗素子 R の抵抗値の和をブリッジ回路によって検出すると 4 つの外錘部 16 が並ぶ平面に対して垂直な方向の加速度成分を検出できる。

20

【0023】

本実施形態ではダイ 10 の中央部に 3 次元の角速度を検出するために用いるダイヤフラム 11 と内錘部 12 とを配置し、ダイ 10 の角部に各 4 個の梁 15 と外錘部 16 とを配置し、各 4 個の梁 15 と外錘部 16 とを用いて 3 次元の加速度を検出する構成である。したがって 3 次元角速度センサとしてのみ機能するダイと同等の面積を有するダイ 10 に、同等の感度を有する 3 次元角速度センサとしての機能と、3 次元加速度センサとしての機能とを付与できる。その結果、3 次元の加速度と 3 次元の角速度とを検出するモーションセンサを小型化できる。また、検出した加速度を用いて角速度を補正することにより、角速度の検出精度を高めることができる。さらに加速度を検出するための 4 個の外錘部 16 の重心が角速度を検出するための内錘部 12 の重心に対して z 方向に重なっているため、角速度を補正するために用いる加速度として正確な加速度を検出できる。

30

【0024】

(製造方法)

始めに図 4 に示すように SOI (Silicon On Insulator) ウエハ 1000 の薄い方のシリコン層 120 に piezo 抵抗素子 R を形成する。具体的には、まず、薄いシリコン層 120 の表面に piezo 抵抗素子 R に対応するパターンを有しフォトレジストからなる図示しないマスクが形成される。次に、マスクから露出している薄いシリコン層 120 の表層に不純物を注入することにより piezo 抵抗素子 R を形成する。不純物として、例えばボロン (B) イオンを $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ の濃度でイオン注入する。その後、アニールによって活性化する。SOI ウエハ 1000 として、例えば厚い方のシリコン層 100 の厚さが $625 \mu\text{m}$ 、ストップ絶縁層 110 となる二酸化シリコン (SiO_2) 層の厚さが $1 \mu\text{m}$ 、薄いシリコン層 120 の厚さが $10 \mu\text{m}$ であるものを用いる。

40

50

【 0 0 2 5 】

次に図5に示すように薄いシリコン層120にコンタクト抵抗低減部121を形成し、薄いシリコン層120の表面に絶縁層130を形成する。具体的には、まず、薄いシリコン層120の表面にコンタクト抵抗低減部121に対応するパターンを有するフォトリソグラフィからなる図示しないマスクを形成する。続いて、マスクから露出している薄いシリコン層120の表層に不純物を注入することによりコンタクト抵抗低減部121を形成する。不純物として、例えばボロン(B)イオンを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の濃度でイオン注入する。その後、アニールによって活性化するとともに薄いシリコン層120の表面に二酸化シリコンからなる絶縁層130を形成する。

【 0 0 2 6 】

次に図6に示すように絶縁層130にコンタクトホールHを形成する。

【 0 0 2 7 】

次に図7に示すように絶縁層130の表面に電極層140、圧電層150、電極層160をこの順で積層する。例えば電極層140、160として厚さ $0.1 \mu\text{m}$ の白金(Pt)の膜をスパッタリングにより形成し、例えばマグネトロンスパッタ法により圧電層150として厚さ $3 \mu\text{m}$ のPZT(チタン酸ジルコン酸鉛)の膜を形成する。

【 0 0 2 8 】

次に図8に示すように電極層140、電極層160および圧電層150を例えばアルゴン(Ar)イオンを用いたミリング法によってエッチングすることにより、検出用圧電素子13および励振用圧電素子14を形成する。このとき電極層140からなる piezo 抵抗素子Rの配線も同時に形成される。

【 0 0 2 9 】

次に薄いシリコン層120および絶縁層130をエッチングすることにより図1に示す梁15の輪郭を形成する。具体的には、まず、梁15に対応するパターンを有するフォトリソグラフィからなるマスクを絶縁層130の表面に形成する。続いて、 CHF_3 ガスを用いた反応性イオンエッチングにより絶縁層130をパターニングし、 CF_4 ガスを用いた反応性イオンエッチングにより薄いシリコン層120をパターニングすると、梁15の輪郭が形成される。

【 0 0 3 0 】

次に図9に示すように厚いシリコン層100を上にしてワークの下面を犠牲基板99に仮固定する。固定手段Bとしては例えばワックス、フォトリソグラフィ、両面粘着シート等を用いる。

【 0 0 3 1 】

次に図10に示すように厚いシリコン層100をエッチングすることにより、内錘部12、外錘部16および支持部17の厚いシリコン層100からなる部分を形成する。具体的には例えば次の通りである。厚いシリコン層100の表面に、内錘部12、外錘部16および支持部17に対応するパターンのフォトリソグラフィマスクPを形成する。続いて、 SF_6 ガスを用いた反応性イオンエッチングと C_4F_8 ガスを用いたパッシベーションとを交互に繰り返す Deep-RIE (Reactive Ion Etching) により、内錘部12、外錘部16および支持部17の厚いシリコン層100からなる部分を形成する。

【 0 0 3 2 】

次に図11に示すように、エッチングされた厚いシリコン層100をマスクとしてストッパ絶縁層110を緩衝フッ酸でウエットエッチングする。その後、犠牲基板99をワークから取り除く。

【 0 0 3 3 】

次に図12に示すようにガラス層170となるガラスウエハを厚いシリコン層100に陽極接合する。ガラス層170の材料として例えば厚さ $500 \mu\text{m}$ のパイレックスガラス(登録商標)のウエハを用いる。ガラスウエハには、内錘部12、支持部17、外錘部16の間の空隙となる溝Nをダイサーによる切削、エッチング、サンドブラスト加工などによって形成しておく。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 4 】

次に、ガラス層 170 を内錘部 12、支持部 17、外錘部 16 に切り分け、続いて、ダイサーによってダイ毎にワークを切り分けると、図 1 に示すモーションセンサ 1 のダイ 10 が完成する。この工程ではダイサーによる切削、エッチング、サンドブラスト加工によって任意の形状にワークを切り分けることができる。

【 0 0 3 5 】

その後パッケージングなどの後工程を実施すると、図 2 に示すモーションセンサ 1 が完成する。

【 0 0 3 6 】

(他の実施形態)

10

尚、本発明の技術的範囲は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々変更を加え得ることは勿論である。

【 0 0 3 7 】

例えば、図 13 に示すように、支持部 17 の外周面と外錘部 16 の内周面とは円弧状に曲がった曲面であっても良い。また図 14 に示すようにそれぞれの外錘部 16 が互いに平行な 2 つの梁 15、15 によって支持されていても良い。この場合、それぞれの梁 15、15 にピエゾ抵抗素子 R が配置される。また 1 つの外錘部 16 を支持する 2 つの梁 15、15 は、図 15 に示すように互いに平行でなくてもよい。

また例えば、内可撓部は十字梁の形態でもよい。

20

また上記実施形態で示した材質や寸法や成膜方法やマスクパターン形成方法はあくまで例示であるし、当業者であれば自明である工程の追加や削除や工程順序の入れ替えについては説明が省略されている。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 8 】

【 図 1 】 図 1 A は本発明の実施形態にかかる平面図、図 1 B は図 1 A の B B 線断面図、図 1 C は図 1 A の C C 線断面図。

【 図 2 】 本発明の実施形態にかかる断面図。

【 図 3 】 本発明の実施形態にかかる断面図。

【 図 4 】 本発明の実施形態にかかる断面図。

【 図 5 】 本発明の実施形態にかかる断面図。

30

【 図 6 】 本発明の実施形態にかかる断面図。

【 図 7 】 本発明の実施形態にかかる断面図。

【 図 8 】 本発明の実施形態にかかる断面図。

【 図 9 】 本発明の実施形態にかかる断面図。

【 図 10 】 本発明の実施形態にかかる断面図。

【 図 11 】 本発明の実施形態にかかる断面図。

【 図 12 】 本発明の実施形態にかかる断面図。

【 図 13 】 本発明の実施形態にかかる平面図。

【 図 14 】 本発明の実施形態にかかる平面図。

【 図 15 】 本発明の実施形態にかかる平面図。

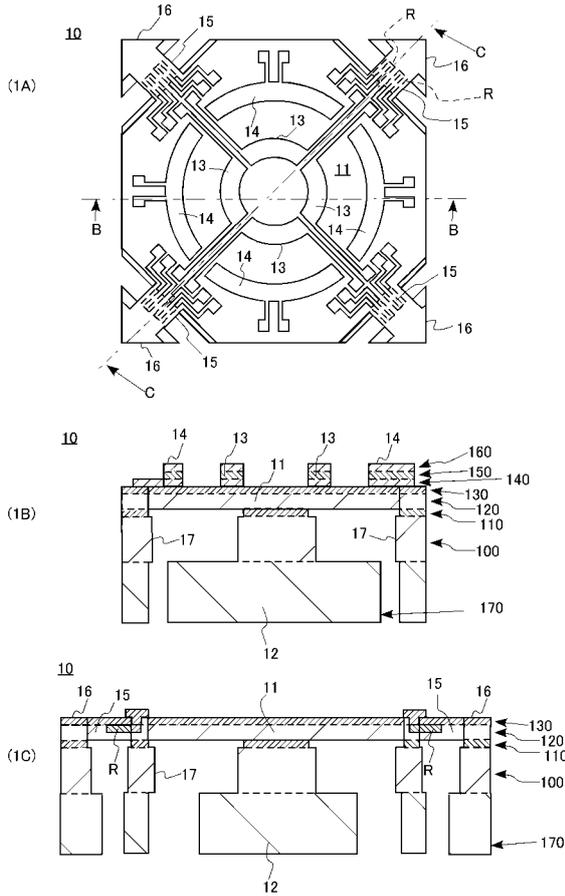
40

【 符号の説明 】

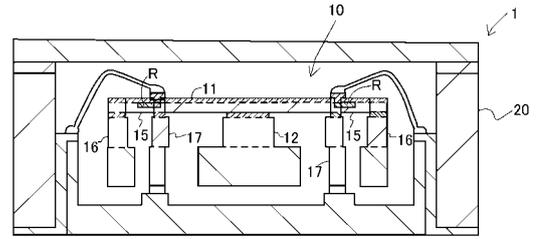
【 0 0 3 9 】

1 : モーションセンサ、10 : ダイ、11 : ダイヤフラム、12 : 内錘部、13 : 検出用圧電素子、14 : 励振用圧電素子、15 : 梁、16 : 外錘部、17 : 支持部、20 : パッケージ、99 : 犠牲基板、100 : 厚いシリコン層、110 : ストップ絶縁層、120 : 薄いシリコン層、121 : コンタクト抵抗低減部、130 : 絶縁層、140 : 電極層、150 : 圧電層、160 : 電極層、170 : ガラス層、1000 : ウエハ、B : 固定手段、H : コンタクトホール、N : 溝、P : フォトレジストマスク、R : ピエゾ抵抗素子

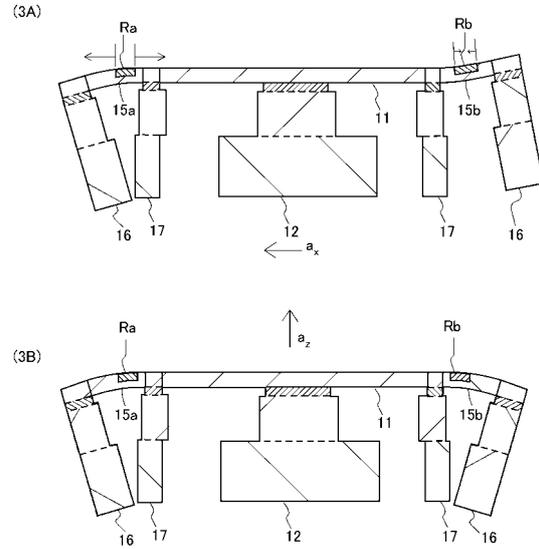
【 図 1 】



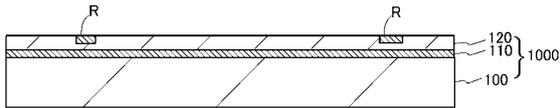
【 図 2 】



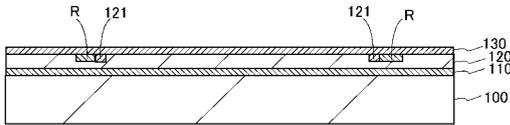
【 図 3 】



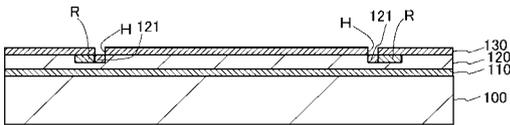
【 図 4 】



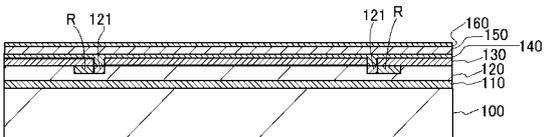
【 図 5 】



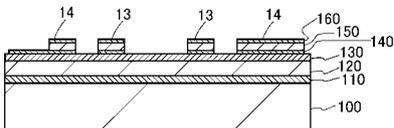
【 図 6 】



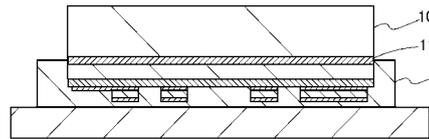
【 図 7 】



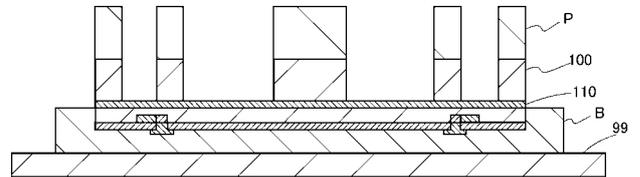
【 図 8 】



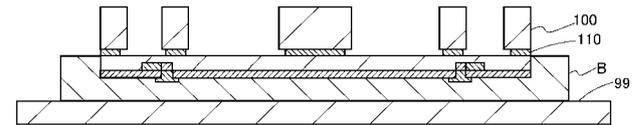
【 図 9 】



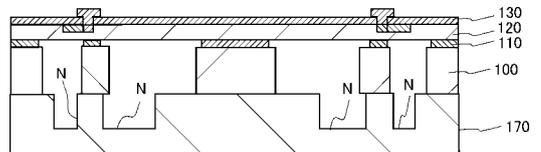
【 図 10 】



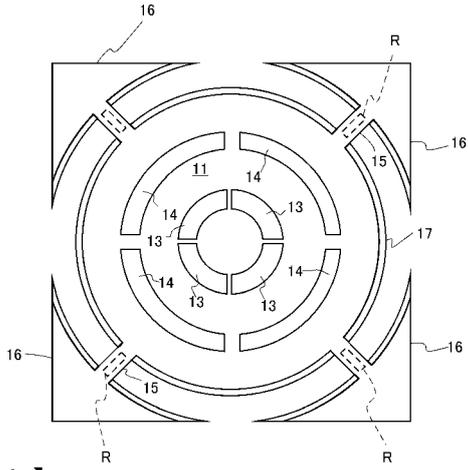
【 図 11 】



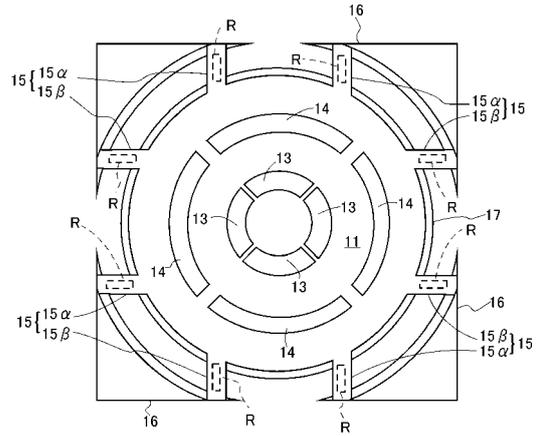
【 図 12 】



【 図 1 3 】



【 図 1 5 】



【 図 1 4 】

