

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2009年6月25日 (25.06.2009)

PCT

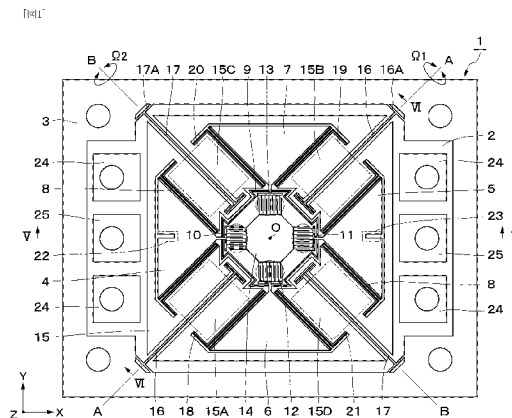
(10) 国際公開番号
WO 2009/078284 A1

- (51) 国際特許分類:
G01C 19/56 (2006.01) H01L 29/84 (2006.01)
G01P 9/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/072037
- (22) 国際出願日: 2008年12月4日 (04.12.2008)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2007-327502
2007年12月19日 (19.12.2007) JP
特願 2008-265489
2008年10月14日 (14.10.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社村田製作所 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 Kyoto (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 持田 洋一 (MOCHIDA, Yoichi) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP). 田村 昌弥 (TAMURA, Masaya) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内 Kyoto (JP).
- (74) 代理人: 広瀬 和彦 (HIROSE, Kazuhiko); 〒1600023 東京都新宿区西新宿3丁目1番2号 H A P 西新宿ビル4階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,

[続葉有]

(54) Title: ANGULAR VELOCITY SENSOR

(54) 発明の名称: 角速度センサ



(57) **Abstract:** Drive mass portions (4 to 7) are arranged above a surface of a substrate (2). The drive mass portions (4 to 7) are arranged symmetrically against a central point O. The drive mass portions (4 to 7) are connected to a detection mass portion (15) by using a drive beam (8) while a connection beam (9) is used for connection in the vicinity of support points (4B to 7B) of the drive mass portions (4 to 7). The detection mass portion (15) is fixed to a support portion (3) on the substrate (2) by using detection beams (16, 17). The drive mass portions (4 to 7) adjacent in the circumferential direction are oscillated with the opposite phases by oscillation generation portions (10 to 13). When angular velocities Ω_1 , Ω_2 are applied in this state, the detection mass portion (15) is displaced to be oscillated in the thickness direction of the substrate (2) with respect to detection axes A and B as centers. Displacement detection units (18 to 21) detect the displacement of the detection mass portion (15) in the thickness direction of the detection mass portion (15).

(57) **要約:** 基板2の表面には、駆動質量部4～7を基板2から離間して設ける。駆動質量部4～7は中心点Oに対して点対称な位置に配置する。駆動質量部4～7は駆動梁8を用いて検出質量部15に接続すると共に、駆動質量部4～7の支点4B～7B付近は連結梁9を用いて連結する。検出質量部15は、検出梁16、17を用いて基板2上の支持部3に固定する。そして、周方向で隣合う駆動質量部4～7は、振動発生部10～13によって互いに逆位相で振動する。この状態で、角速度 Ω_1 、 Ω_2 が加わると、検出質量部15は、検出軸A、Bを中心として基板2の厚さ方向に変位して振動する。変位検出部18～21は、

[続葉有]

WO 2009/078284 A1



BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,

KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

明 細 書

角速度センサ

技術分野

[0001] 本発明は、例えば1つの振動体で2軸方向の角速度を検出するのに好適に用いられる角速度センサに関する。

背景技術

[0002] 一般に、角速度センサとして、基板上に複数の質量部を備えたものが知られている（例えば、特許文献1～3参照）。特許文献1には、基板上の中心点を取囲む円周に沿って4つの質量部を設けると共に、これら4つの質量部を直交する2軸に沿って対称となる位置に配置した構成が開示されている。この場合、4つの質量部は円周方向に駆動振動する。この状態で基板の垂直軸周りの角速度が作用したときには、4つの質量部がコリオリ力によって径方向に変位する。このため、特許文献1の角速度センサは、4つの質量部の径方向の変位を検出することによって、1軸周りの角速度を検出するものである。

[0003] 特許文献2には、基板上の中心点を取囲む円周に沿って4つの質量部を設けると共に、これら4つの質量部を中心点から延びる梁の先端に取付けた構成が開示されている。この場合、4つの質量部は円周方向に駆動振動すると共に、周方向で隣合う質量部は互いに逆方向に振動する。この状態で基板の表面と平行な2軸周りの角速度が作用したときには、4つの質量部がコリオリ力によって基板の垂直方向（厚さ方向）に変位する。このため、特許文献2の角速度センサは、4つの質量部の垂直方向の変位を検出することによって、2軸周りの角速度を検出するものである。

[0004] 特許文献3には、2つの質量部を基板上の横方向に並んで配置すると共に、これら2つの質量部を取囲んで円環状のフレームを設けた構成が開示されている。この場合、フレームは2つの質量部に接続されている。また、2つの質量部はリンク装置を用いて連結されると共に、基板の垂直方向で互いに逆方向に振動する。この状態で質量部が並んだ方向の軸周りに角速度が作用したときには、質量部に作用したコリオリ力によってフレームが周方向に回転振動する。このため、特許文献3の角速度センサ

は、フレームの周方向の変位を検出することによって、1軸周りの角速度を検出するものである。

[0005] 特許文献1:特開2000-180174号公報

特許文献2:特開平11-183179号公報

特許文献3:特表2007-509346号公報

[0006] ところで、特許文献1の角速度センサは、1軸周りの角速度を検出する構成となっている。このため、2軸周りの角速度を検出するために、2つの角速度センサを使用する必要があり、製造コストが増大するという問題がある。

[0007] 一方、特許文献2の角速度センサは、2軸周りの角速度を検出する構成となっている。しかし、この角速度センサは、コリオリ力による質量部の変位を検出するものの、この質量部自体が駆動振動している。このため、例えば質量部の加工ばらつき等によって駆動振動の変位が検出方向にぶれた場合には、角速度が作用していないとき(静止時)でも、変位の検出部分に大きな信号(ノイズ信号)が発生する。静止時にも発生するこのノイズ信号は、コリオリ力による信号との位相の違いを利用することによって分離することも可能である。しかし、ノイズ信号によって同期検波前の増幅率が制限されてしまい、信号処理の後半で大きな増幅が必要になり、相対的にノイズが大きくなる。また、同期検波による位相誤差によって、ノイズ信号に伴う大きなオフセット出力が発生する。さらに、このオフセット出力が温度変化することによるドリフトを引き起こし、角速度の検出精度が低下するという問題がある。

[0008] また、特許文献3の角速度センサは、駆動振動に検出部であるフレームが動かない構成となっているから、静止時に駆動振動による信号が発生することはない。しかし、質量部は基板の垂直方向に対して駆動振動する構成となっているから、大きな駆動振幅を確保することが難しく、角速度の検出感度が低くなる傾向がある。また、1軸周りの角速度を検出する構成となっているから、2軸周りの角速度を検出するために、2つの角速度センサを使用する必要があり、製造コストが増大するという問題もある。

発明の開示

[0009] 本発明は上述した従来技術の問題に鑑みなされたもので、本発明の目的は、2軸周りの角速度を高精度かつ高感度に検出することができる角速度センサを提供する

ことにある。

[0010] (1). 上述した課題を解決するために、本発明による角速度センサは、基板と、該基板と隙間をもって対向し、中心部に対して点対称な位置に配置された4つの駆動質量部と、前記基板と平行な状態で中心部側に位置する支点周りに該各駆動質量部を振動可能に支持する駆動梁と、前記4つの駆動質量部の支点近傍を互いに連結する連結梁と、前記基板の中心部側に設けられ、前記4つの駆動質量部を前記支点を中心として中心部を取囲む周方向に向けて振動させる駆動手段と、前記駆動梁を用いて前記4つの駆動質量部に接続された検出質量部と、該検出質量部と前記基板との間に設けられ、前記基板と平行な2つの軸周りに該検出質量部を振動可能に支持する検出梁と、前記検出質量部が2つの軸周りに振動したときに、前記検出質量部が前記基板の厚さ方向に変位するのを検出する変位検出手段とによって構成している。

[0011] 本発明によれば、4つの駆動質量部は中心部に対して点対称な位置に配置されているから、2つの駆動質量部は中心部を挟んで互いに対向すると共に、残余の2つの駆動質量部も中心部を挟んで互いに対向する。このとき、2つの駆動質量部と残余の2つの駆動質量部とは、互いに異なる位置に配置される。このため、例えば基板がX軸およびY軸に平行なX-Y平面に沿って広がっているときには、2つの駆動質量部は中心部を通る1本の線(例えばX軸)に沿って配置されると共に、残余の2つの駆動質量部は中心部を通る他の線(例えばY軸)に沿って配置される。また、4つの駆動質量部は中心部を取囲む周方向に沿って振動するから、例えばX軸に沿って配置された2つの駆動質量部はY軸方向に振動し、Y軸に沿って配置された2つの駆動質量部はX軸方向に振動する。

[0012] 一方、4つの駆動質量部には駆動梁を用いて検出質量部が接続されると共に、該検出質量部は基板と平行な2つの軸(検出軸A, B)周りに振動可能となっている。このとき、検出質量部の2つの軸は、X軸とY軸の間に位置する2つの軸(傾斜軸)でもよく、X軸およびY軸でもよい。

[0013] そして、一方の検出軸A周りの角速度が作用すると、Y軸方向に振動する駆動質量部には、検出軸A周りの角速度のうちX軸方向周りの成分が作用し、この成分に応じ

てZ軸方向(基板の厚さ方向)に向かうコリオリ力が発生する。同様に、X軸方向に振動する駆動質量部には、検出軸A周りの角速度のうちY軸方向周りの成分が作用し、この成分に応じてZ軸方向(基板の厚さ方向)に向かうコリオリ力が発生する。

[0014] また、他方の検出軸B周りの角速度が作用すると、Y軸方向に振動する駆動質量部には、検出軸B周りの角速度のうちX軸方向周りの成分が作用し、この成分に応じてZ軸方向(基板の厚さ方向)に向かうコリオリ力が発生する。同様に、X軸方向に振動する駆動質量部には、検出軸B周りの角速度のうちY軸方向周りの成分が作用し、この成分に応じてZ軸方向(基板の厚さ方向)に向かうコリオリ力が発生する。

[0015] そして、4つの駆動質量部に作用したコリオリ力は駆動梁を介して検出質量部に伝わるから、検出質量部は2つの検出軸を中心として揺動する。また、周方向で隣合う駆動質量部を互いに逆方向に振動させることによって、検出質量部には中心部を挟んでZ軸方向に逆向きの力が作用する。この結果、X-Y平面上の2つの検出軸周りに作用する角速度に応じて、検出質量部は2つの検出軸周りに振動する。従って、変位検出手段を用いて検出質量部が基板の厚さ方向に変位するのを検出することによって、2つの検出軸周りに作用する角速度を検出することができる。これにより、1つの軸周りのセンサを2個用いた場合に比べて、製造コストを低減することができる。

[0016] また、4つの駆動質量部は中心部に対して点対称な位置に配置されているから、周方向で互いに隣合う駆動質量部を逆方向(逆位相)に振動させることによって、4つの駆動質量部全体の重心位置を固定することができると共に、4つの駆動質量部全体に生じる周方向の回転トルクを相殺することができる。このとき、連結梁は4つの駆動質量部の支点近傍を互いに連結するから、例えば4つの駆動質量部に加工ばらつきが生じたときでも、各駆動質量部は、駆動振幅および位相が揃った状態で振動する。この結果、4つの駆動質量部全体の重心位置の変動や回転トルクを確実に小さくすることができ、駆動質量部の駆動振動が基板に漏れるのを抑制することができる。

[0017] また、駆動質量部に作用するコリオリ力は駆動梁を通じて検出質量部に伝わる構成としたから、検出質量部は、駆動振動せず、コリオリ力によってのみ変位する。このため、例えば加工ばらつきによって駆動質量部が基板の垂直方向(厚さ方向)にぶれ

た(傾いた)状態で振動した場合でも、検出質量部はぶれない。従って、変位検出手段は、駆動質量部のぶれの影響を受けることなく、検出質量部の変位を検出することができる。これにより、変位検出手段が変位の検出信号を出力したときには、この検出信号に対するノイズ、オフセット出力および出力の温度変化を小さくすることができ、センサの検出精度を向上することができる。

[0018] また、駆動質量部は基板と平行な状態で振動するから、基板と垂直な方向に振動させる場合に比べて、駆動振幅を大きくすることができる。このため、駆動質量部に作用するコリオリ力を大きくすることができるから、コリオリ力による検出質量部の変位も大きくすることができ、角速度の検出感度を高めることができる。

[0019] (2). 本発明では、前記4つの駆動質量部は、前記中心部を取囲む周方向に対して互いに等間隔で配置し、前記検出梁は、隣合う2つの駆動質量部の間に位置して前記2つの軸に沿って延びる構成としてもよい。

[0020] 本発明によれば、4つの駆動質量部は中心部を取囲む周方向に対して互いに等間隔で配置し、検出梁は隣合う2つの駆動質量部の間に位置して2つの軸(検出軸)に沿って延びる構成とした。このため、一方の検出軸に沿って延びる検出梁は、この検出梁を中心(支点)として検出質量部を基板の厚さ方向に変位可能に支持することができる。同様に、他方の検出軸に沿って延びる検出梁も、この検出梁を中心として検出質量部を基板の厚さ方向に変位可能に支持することができる。この結果、検出梁は、基板と平行な2つの検出軸周りに検出質量部を振動可能に支持することができる。

[0021] また、検出梁は隣合う2つの駆動質量部の間に位置して2つの検出軸に沿って延びる構成とした。このため、駆動質量部よりも外周側に検出梁を設けた場合に比べて、センサ全体を小型化することができる。

[0022] (3). 本発明では、前記変位検出手段は、隣合う2つの駆動質量部の間に位置して、中心部に対して点対称な位置に配置され、前記検出質量部と対向して設けられた4つの検出電極によって構成してもよい。

[0023] 基板と平行な2つの検出軸周りに角速度が作用したときには、検出質量部は、基板と平行な2つの検出軸周りに振動し、基板の厚さ方向に変位する。このため、角速度

に応じて検出質量部と4つの検出電極との間の距離が変化するから、4つの検出電極と検出質量部との間の静電容量を検出することによって、2つの検出軸周りの角速度を検出することができる。

[0024] (4). 本発明は、前記検出質量部には、前記4つの駆動質量部と隙間をもって当該検出質量部を覆うカバー板を設け、前記変位検出手段は、中心部に対して点対称な位置に配置され、該カバー板と対向して設けられた4つの検出電極によって構成してもよい。

[0025] このように構成したことにより、カバー板は検出質量部と一緒に変位するから、カバー板と検出電極との間の静電容量を検出することによって、2つの検出軸周りの角速度を検出することができる。また、駆動質量部と検出電極との間にカバー板を配置することができる。これにより、カバー板によって駆動質量部の影響を遮断することができるから、駆動質量部と対向する位置まで検出電極を広げることができる。この結果、検出電極の面積を大きくすることができ、角速度の検出感度を高めることができる。

[0026] (5). 本発明では、前記検出質量部は、全部または一部が前記駆動質量部、駆動梁、連結梁、検出梁よりも厚さ寸法が薄い構成としてもよい。

[0027] このように構成したことにより、検出質量部の質量を小さくして、コリオリ力による検出質量部の変位量を大きくすることができる。これにより、角速度の検出感度を向上することができる。

[0028] (6). 本発明では、前記駆動質量部の振動方向の変位をモニタするモニタ手段を設けてもよい。

[0029] このように構成したことにより、モニタ手段を用いて駆動質量部の振動振幅および位相を検出することができる。このため、駆動振動の発振回路はモニタ手段の出力信号を参照信号として利用することができ、共振状態の安定化を図ることができる。また、角速度の検出回路もモニタ手段の出力信号を参照信号として利用することができ、駆動質量部の振動状態に応じて正確な同期検波を行うことができる。

[0030] (7). 本発明では、前記検出梁は、前記検出質量部が基板の厚さ方向に変位するときに、捩れ変形する捩れ支持梁を用いて形成してもよい。

[0031] このように構成したことにより、例えばシリコン材料等を基板の垂直方向に加工する

ことによって捩れ支持梁を形成することができ、容易に加工することができる。また、捩れ支持梁のばね定数は幅寸法の3乗に比例して変動するが、これは駆動梁、連結梁と同じである。従って、幅寸法の加工ばらつきが駆動モードと検出モードの共振周波数差に与える影響を小さくすることができ、センサの感度ばらつきを小さくすることができる。

[0032] (8). 本発明では、前記検出梁は、捩れ変形するときに当該検出梁の端部側に作用する応力を低減する応力低減接続部を用いて前記検出質量部と基板とにそれぞれ接続する構成としてもよい。

[0033] ここで、例えば1枚の細長い板形状をなす捩れ支持梁を用いて検出梁を構成すると共に、この検出梁の両端を固定した場合には、固定部分に作用する応力によって検出梁の捩れ変形が阻害される。このため、検出梁の厚さ寸法が変化したときには、この厚さ寸法の変化分に対する共振周波数の変化が大きくなる。この結果、加工ばらつきが駆動モードと検出モードの共振周波数差に与える影響が大きくなる傾向がある。

[0034] これに対し、本発明では、検出梁は、検出梁の長さ方向に対して自由度を与える応力低減接続部を用いて検出質量部と基板とにそれぞれ接続した。このため、検出梁が捩れ変形するときには、検出梁の端部側はその長さ方向に変位することができるから、検出梁の両端側に作用する歪みや応力を低減することができる。これにより、厚さ寸法の加工ばらつきが駆動モードと検出モードの共振周波数差に与える影響を小さくすることができ、センサの感度ばらつきを小さくすることができる。

図面の簡単な説明

[0035] [図1]図1は本発明の第1の実施の形態による角速度センサを蓋板を除いた状態で示す平面図である。

[図2]図2は図1中の角速度センサの要部を拡大して示す平面図である。

[図3]図3は図1中の振動発生部を拡大して示す平面図である。

[図4]図4は図1中の角速度センサに固定側検出電極を重ねた状態で示す平面図である。

[図5]図5は角速度センサを図1中の矢示V-V方向からみた断面図である。

[図6]図6は角速度センサを図1中の矢示VI－VI方向からみた断面図である。

[図7]図7は角速度センサを検出質量部がZ軸方向に振動した状態で示す図6と同様位置の断面図である。

[図8]図8は角速度センサを示す模式的な説明図である。

[図9]図9は角速度センサを駆動質量部が振動した状態で示す模式的な説明図である。

[図10]図10は角速度センサの振動制御回路および角速度検出回路を示す回路構成図である。

[図11]図11は基板接合工程を示す図5と同様な位置の断面図である。

[図12]図12は薄膜化工程を示す図5と同様な位置の断面図である。

[図13]図13は機能部形成工程を示す図5と同様な位置の断面図である。

[図14]図14は蓋板接合工程を示す図5と同様な位置の断面図である。

[図15]図15は第1の変形例による角速度センサの振動発生部を示す図3と同様位置の平面図である。

[図16]図16は第2の実施の形態による角速度センサを蓋板を除いた状態で示す平面図である。

[図17]図17は図16中の角速度センサに固定側検出電極を重ねた状態で示す平面図である。

[図18]図18は角速度センサを図16中の矢示XVIII－XVIII方向からみた断面図である。

[図19]図19は第3の実施の形態による角速度センサを蓋板を除いた状態で示す平面図である。

[図20]図20は角速度センサを図19中の矢示XX－XX方向からみた断面図である。

[図21]図21は角速度センサを図19中の矢示XXI－XXI方向からみた断面図である。

[図22]図22は第4の実施の形態による角速度センサを蓋板を除いた状態で示す平面図である。

[図23]図23は図22中の角速度センサの要部を拡大して示す平面図である。

[図24]図24は応力低減接続部の周囲を拡大して示す平面図である。

[図25]図25は第2の変形例による応力低減接続部の周囲を拡大して示す平面図である。

[図26]図26は第3の変形例による応力低減接続部の周囲を拡大して示す平面図である。

符号の説明

- [0036] 1, 71, 81, 91 角速度センサ
2 基板
4～7 駆動質量部
4B～7B 支点
8 駆動梁
9 連結梁
10～13, 13' 振動発生部(駆動手段)
15, 82 検出質量部
16, 17, 92, 94 検出梁
18～21, 76～79 変位検出部(変位検出手段)
22, 23 振動モニタ部(モニタ手段)
72～75 カバー板
93, 95, 93' , 93'' 応力低減接続梁(応力低減接続部)

発明を実施するための最良の形態

[0037] 以下、本発明の実施の形態による角速度センサについて、添付図面を参照しつつ詳細に説明する。

[0038] まず、図1ないし図9は第1の実施の形態による角速度センサ1を示している。図において、角速度センサ1は、基板2、駆動質量部4～7、駆動梁8、連結梁9、振動発生部10～13、検出質量部15、検出梁16, 17、変位検出部18～21、振動モニタ部22, 23等によって構成されている。

[0039] 基板2は、角速度センサ1のベース部分を構成している。そして、基板2は、例えばガラス材料等により四角形の平板状に形成され、互いに直交するX軸、Y軸およびZ軸方向のうち、例えばX軸およびY軸方向に沿って水平に延びている。

[0040] また、基板2上には、例えば導電性を有する低抵抗なシリコン材料等にエッチング加工を施すことによって、支持部3、駆動質量部4～7、駆動梁8、連結梁9、検出質量部15、検出梁16、17等が形成されている。

[0041] 支持部3は、基板2の表面に設けられている。また、支持部3は、基板2の外縁側に位置して枠状に形成されている。そして、支持部3の内部には、駆動質量部4～7、駆動梁8、連結梁9、検出質量部15および検出梁16、17が基板2から浮いた状態で設けられ、支持部3を介してグランドに接続されている。このとき、後述する振動発生部10～13の可動側駆動電極10A～13A、変位検出部18～21の可動側検出電極18A～21A等も、支持部3を介してグランドに接続されている。一方、振動発生部10～13の固定側駆動電極10B～13Bは電極支持部14に接続され、変位検出部18～21の固定側検出電極18B～21Bは、基板2上の配線を介して検出用引出部24に接続されている。

[0042] 駆動質量部4～7は、基板2の表面と隙間をもって対向し、中心部(中心点O)に対して点対称な位置に配置されている。また、駆動質量部4～7は、中心点Oを取囲む周方向に対して90°毎に互いに等間隔で配置されている。このため、X軸側駆動質量部4、5は、X軸に沿って配置され、中心点Oを挟んで互に対向している。一方、Y軸側駆動質量部6、7は、X軸と直交したY軸に沿って配置され、中心点Oを挟んで互に対向している。

[0043] また、駆動質量部4～7は、例えば略三角形に形成されている。そして、駆動質量部4～7のうち三角形の頂点部分は、径方向に対して中心点O側(内径側)に位置している。また、駆動質量部4～7の頂点部分(内径側部分)には、内径側に向けて突出した接続部4A～7Aが設けられている。そして、接続部4A～7Aの長さ方向の途中部分は、駆動質量部4～7が駆動振動するときの支点4B～7Bとなっている。

[0044] 駆動梁8は、各駆動質量部4～7の周方向両側にそれぞれ配置されると共に、駆動質量部4～7と後述する検出質量部15との間を接続している。このため、駆動梁8は、各駆動質量部4～7に対して2個ずつ、合計8個設けられている。また、各駆動梁8は、駆動質量部4～7の周方向両側の辺に沿って延びている。このとき、駆動質量部4の周方向両側に位置する2つの駆動梁8は、支点4Bを中心として放射状に延びて

いる。同様に、他の駆動梁8も、支点5B～7Bを中心として放射状に延びている。これにより、駆動梁8は、周方向に対して撓み変形可能となっている。

[0045] さらに、駆動梁8は、長さ方向の途中位置で折り返した状態で形成され、周方向に対して拡開、縮小可能に形成されている。これにより、駆動梁8は、基板2と平行な状態で中心点O側に位置する支点4B～7Bの周りに駆動質量部4～7を振動可能に支持している。

[0046] 連結梁9は、駆動質量部4～7の支点4B～7Bの近傍を互いに連結する。具体的には、連結梁9は、例えば略八角形の細長い棒状に形成され、90° 間隔で配置された4辺の途中位置が接続部4A～7Aの途中位置に接続されている。このとき、接続部4A～7Aのうち連結梁9と交差した部位が、駆動質量部4～7の支点4B～7Bとなっている。そして、駆動質量部4～7が駆動振動したときに、連結梁9全体が撓み変形する。これにより、連結梁9は、各駆動質量部4～7の駆動振幅および位相が一致するように調整する。

[0047] なお、連結梁9は、八角形状に限らず、他の多角形状に形成してもよい。この場合、連結梁9は、例えば四角形状や十二角形状等のように、4の倍数の角を有する多角形状に形成するのが好ましい。また、連結梁9は、角形状に限らず、円形状でもよい。

[0048] 振動発生部10～13は、駆動質量部4～7をそれぞれ駆動振動する駆動手段を構成している。そして、振動発生部10～13は、駆動質量部4～7の接続部4A～7Aの先端に取付けられた可動側駆動電極10A～13Aと、基板2上の電極支持部14に取付けられた固定側駆動電極10B～13Bとによって構成されている。

[0049] このとき、電極支持部14は、中心点O付近に位置して、駆動質量部4～7に取囲まれている。そして、電極支持部14は、基板2に固定され、その周囲には駆動質量部4～7に向けて突出した固定側駆動電極10B～13Bが設けられている。

[0050] また、可動側駆動電極10A, 11Aは、例えばY軸方向に間隔をもって配置された複数の電極板からなる櫛歯状電極によって構成され、これらの電極板はX軸方向に沿って互いに平行に延びている。固定側駆動電極10B, 11Bも、例えばY軸方向に間隔をもって配置された複数の電極板からなる櫛歯状電極によって構成され、これら

の電極板はX軸方向に沿って互いに平行に延びている。

[0051] そして、可動側駆動電極10A, 11Aの電極板と固定側駆動電極10B, 11Bの電極板とは、互いに隙間をもって噛合し、平行平板電極を構成している。これにより、固定側駆動電極10B, 11Bに同じ駆動信号(電圧信号等)を印加すると、可動側駆動電極10A, 11Aと固定側駆動電極10B, 11Bとの間には、Y軸方向に向けて駆動力F1, F2(静電力)が発生する。

[0052] また、可動側駆動電極10Aの電極板は、固定側駆動電極10Bの電極板に対してY軸方向の一側に配置されている。これに対し、可動側駆動電極11Aの電極板は、固定側駆動電極11Bの電極板に対してY軸方向の他側(反対側)に配置されている。このため、駆動力F1と駆動力F2は、Y軸方向に沿って互いに逆方向(逆位相)に作用する。

[0053] 一方、可動側駆動電極12A, 13Aは、例えばX軸方向に間隔をもって配置された複数の電極板からなる櫛歯状電極によって構成され、これらの電極板はY軸方向に沿って互いに平行に延びている。固定側駆動電極12B, 13Bも、例えばX軸方向に間隔をもって配置された複数の電極板からなる櫛歯状電極によって構成され、これらの電極板はY軸方向に沿って互いに平行に延びている。

[0054] そして、可動側駆動電極12A, 13Aの電極板と固定側駆動電極12B, 13Bの電極板とは、互いに隙間をもって噛合し、平行平板電極を構成している。これにより、固定側駆動電極12B, 13Bに同じ駆動信号を印加すると、可動側駆動電極12A, 13Aと固定側駆動電極12B, 13Bとの間には、X軸方向に向けて駆動力F3, F4となる静電力が発生する。

[0055] また、可動側駆動電極12Aの電極板は、固定側駆動電極12Bの電極板に対してX軸方向の一側に配置されている。これに対し、可動側駆動電極13Aの電極板は、固定側駆動電極13Bの電極板に対してX軸方向の他側(反対側)に配置されている。このため、駆動力F3と駆動力F4は、X軸方向に沿って互いに逆方向(逆位相)に作用する。

[0056] さらに、固定側駆動電極10B, 11Bの電極板を基準としたときには、可動側駆動電極10A, 11Aの電極板は、中心点Oを中心とした周方向に対して例えば時計回りと

なる位置に配置されている。これに対して、固定側駆動電極12B, 13Bの電極板を基準としたときには、可動側駆動電極12A, 13Aの電極板は、中心点Oを中心とした周方向に対して例えば反時計回りとなる位置に配置されている。これにより、互いに隣合う振動発生部10, 11と振動発生部12, 13が駆動力F1, F2と駆動力F3, F4を発生したときには、駆動力F1, F2と駆動力F3, F4は、周方向に対して互いに逆向きとなる。

[0057] また、可動側駆動電極10A～13Aは、接続部4A～7Aの両端のうち支点4B～7Bを挟んで駆動質量部4～7とは反対側となる位置に配置されている。このため、駆動質量部4～7には、可動側駆動電極10A～13Aが変位する方向とは逆方向に向けて駆動力F1～F4が作用する。

[0058] 検出質量部15は、駆動梁8を用いて駆動質量部4～7に接続されている。また、検出質量部15(振動体)は、例えば四角形の枠状に形成され、駆動質量部4～7の外周側を取囲んでいる。さらに、検出質量部15は、その対角線に沿って内周側に向けて突出した4つの内側突出部15A～15Dを備えている。ここで、内側突出部15A～15Dは、例えば四角形の板状に形成され、駆動質量部4～7の間にそれぞれ配置されている。このため、内側突出部15Aは駆動質量部4, 6の間に配置され、内側突出部15Bは駆動質量部5, 7の間に配置されている。同様に、内側突出部15Cは駆動質量部4, 7の間に配置され、内側突出部15Dは駆動質量部5, 6の間に配置されている。また、検出質量部15は、中心点Oを中心として点対称な形状となっている。そして、検出質量部15は、1枚の剛体として形成され、基板2の表面と隙間をもって対向している。

[0059] 検出梁16, 17は、検出質量部15と基板2との間に設けられ、基板2(X-Y平面)と平行な2つの検出軸(検出軸Aおよび検出軸B)に沿って延びている。そして、検出梁16, 17は、幅寸法 δ をもった薄い板体状に形成され、検出質量部15が基板2の厚さ方向に変位するときに捩れ変形する捩れ支持梁を用いて形成されている。

[0060] 具体的には、第1の検出梁16は、例えば駆動質量部4, 7と駆動質量部5, 6との間に位置して、X軸に対して45° 傾斜した検出軸Aに沿って延びている。また、第1の検出梁16は、内側突出部15A, 15Bの内部にそれぞれ設けられている。さらに、検

出梁16の両端側には、検出梁16と直交した方向(検出軸B方向)に延びる接続梁16Aがそれぞれ設けられている。このため、検出梁16の一端側は、接続梁16Aを介して検出質量部15に接続されると共に、検出梁16の他端側は、接続梁16Aを介して支持部3に接続されている。

[0061] 一方、第2の検出梁17は、例えば駆動質量部4, 6と駆動質量部5, 7との間に位置して、X軸に対して -45° 傾斜した検出軸Bに沿って延びている。また、第2の検出梁17は、内側突出部15C, 15Dの内部にそれぞれ設けられている。さらに、検出梁17の両端側には、検出梁17と直交した方向(検出軸A方向)に延びる接続梁17Aがそれぞれ設けられている。このため、検出梁17の一端側は、接続梁17Aを介して検出質量部15に接続されると共に、検出梁17の他端側は、接続梁17Aを介して支持部3に接続されている。

[0062] そして、検出質量部15が検出軸Aを中心として振動(揺動)するときには、第1の検出梁16は捩れ変形(捩れ振動)する。一方、第2の検出梁17は、接続梁17Aを用いて検出質量部15および支持部3に接続されている。このため、接続梁17Aが撓み変形することによって、検出質量部15が検出軸Aを中心として振動するのを許容する。

[0063] 同様に、検出質量部15が検出軸Bを中心として振動(揺動)するときには、第2の検出梁17は捩れ変形(捩れ振動)する。一方、第1の検出梁16は、接続梁16Aを用いて検出質量部15および支持部3に接続されている。このため、接続梁16Aが撓み変形することによって、検出質量部15が検出軸Bを中心として振動するのを許容する。これにより、検出梁16, 17は、互いに直交した検出軸Aおよび検出軸B周りに振動可能な状態で検出質量部15を支持している。

[0064] そして、検出軸A周りの角速度 Ω_1 が作用したときには、Y軸方向に振動する駆動質量部4, 5には、角速度 Ω_1 のうちX軸方向周りの成分が作用し、この成分に応じてZ軸方向(基板の厚さ方向)に向かうコリオリ力 F_{ax} が発生する。このとき、X軸方向に振動する駆動質量部6, 7には、角速度 Ω_1 のうちY軸方向周りの成分が作用し、この成分に応じてZ軸方向(基板の厚さ方向)に向かうコリオリ力 F_{ay} が発生する。これにより、検出質量部15は、例えば検出軸Aを中心として検出軸B方向の両端側がZ軸方向に振動する。

- [0065] 一方、検出軸B周りの角速度 $\Omega 2$ が作用したときには、Y軸方向に振動する駆動質量部4, 5には、角速度 $\Omega 2$ のうちX軸方向周りの成分が作用し、この成分に応じてZ軸方向(基板の厚さ方向)に向かうコリオリ力 F_{bx} が発生する。このとき、X軸方向に振動する駆動質量部6, 7には、角速度 $\Omega 2$ のうちY軸方向周りの成分が作用し、この成分に応じてZ軸方向(基板の厚さ方向)に向かうコリオリ力 F_{by} が発生する。これにより、検出質量部15は、例えば検出軸Bを中心として検出軸A方向の両端側がZ軸方向に振動する。
- [0066] 変位検出部18～21は、検出質量部15が基板2の厚さ方向に変位するのを検出する変位検出手段を構成している。また、変位検出部18～21は、内側突出部15A～15Dからなる可動側検出電極18A～21Aと、後述する蓋板26に設けられた固定側検出電極18B～21Bとによって構成されている。ここで、可動側検出電極18A～21Aと固定側検出電極18B～21Bとは、Z軸方向で互いに対向している。このため、固定側検出電極18B～21Bは、内側突出部15A～15Dと対向し、中心点Oに対して点対称な位置に配置されている。
- [0067] そして、検出質量部15が検出軸B周りで振動したときには、内側突出部15A, 15Bが基板2の厚さ方向に変位する。このとき、可動側検出電極18A, 19Aと固定側検出電極18B, 19Bとの間の距離が変化するから、可動側検出電極18A, 19Aと固定側検出電極18B, 19Bとの間の静電容量 C_{s1} , C_{s2} も変化する。
- [0068] 一方、検出質量部15が検出軸A周りで振動したときには、内側突出部15C, 15Dが基板2の厚さ方向に変位する。このとき、可動側検出電極20A, 21Aと固定側検出電極20B, 21Bとの間の距離が変化するから、可動側検出電極20A, 21Aと固定側検出電極20B, 21Bとの間の静電容量 C_{s3} , C_{s4} も変化する。
- [0069] このため、変位検出部18～21は、検出質量部15が検出軸A, B周りの角速度 $\Omega 1$, $\Omega 2$ によってZ軸方向に変位するときに、その変位量を可動側検出電極18A～21Aと固定側検出電極18B～21Bとの間の静電容量 C_{s1} ～ C_{s4} の変化により角速度 $\Omega 1$, $\Omega 2$ として検出する。
- [0070] 振動モニタ部22, 23は、例えば駆動質量部4, 5の振動方向(Y軸方向)の変位を検出するモニタ手段を構成している。また、振動モニタ部22, 23は、駆動質量部4,

5に形成されたX軸方向に延びるスリット22A, 23Aと、該スリット22A, 23Aと対向して蓋板26に取付けられたX軸方向に延びる固定側モニタ電極22B, 23Bとによって構成されている。そして、固定側モニタ電極22B, 23Bは、駆動質量部4, 5の駆動振動に応じて、駆動質量部4, 5との対向面積が変化する。

[0071] ここで、駆動質量部4, 5が静止した状態では、固定側モニタ電極22B, 23Bは、スリット22A, 23Aに対してY軸方向に位置ずれて配置され、スリット22A, 23Aと部分的に対向している。そして、駆動質量部4, 5がY軸方向に変位したときには、スリット22A, 23Aと固定側モニタ電極22B, 23Bとの対向面積が増加、減少する。このため、駆動質量部4, 5の駆動振動に応じて固定側モニタ電極22B, 23Bと駆動質量部4, 5との間の静電容量 C_{m1} , C_{m2} が変化するから、振動モニタ部22, 23は、この静電容量 C_{m1} , C_{m2} の変化によって駆動質量部4, 5の振動状態をモニタする。

[0072] 検出用引出部24は、検出質量部15の外側に位置して、固定側検出電極18B～21Bに対応して4個設けられている。また、検出用引出部24は、例えば検出質量部15を挟んでX軸方向の両側に配置されている。さらに、検出用引出部24は、支持部3等と同様に低抵抗なシリコン材料等を用いて島状に形成されている。そして、検出用引出部24には、固定側検出電極18B～21Bがそれぞれ接続されている。

[0073] モニタ用引出部25は、検出質量部15の外側に位置して、固定側モニタ電極22B, 23Bに対応して2個設けられている。また、モニタ用引出部25は、検出用引出部24と同様に低抵抗なシリコン材料等を用いて島状に形成されている。そして、モニタ用引出部25には、固定側モニタ電極22B, 23Bがそれぞれ接続されている。

[0074] 蓋板26は、例えばガラス材料等によって四角形の板状に形成され、陽極接合等の手段を用いて支持部3、電極支持部14、検出用引出部24およびモニタ用引出部25に接合されている。また、蓋板26は、検出質量部15等との対向面(裏面)側に、四角形状に凹陷したキャビティ26Aが形成されている。そして、キャビティ26Aは、駆動質量部4～7、駆動梁8、連結梁9、検出質量部15および検出梁16, 17と対向した位置に設けられている。これにより、駆動質量部4～7および検出質量部15は、蓋板26に接触することなく、振動変位することができる。

[0075] また、蓋板26のキャビティ26A内は、変位検出部18～21の固定側検出電極18B

～21Bが設けられると共に、振動モニタ部22, 23の固定側モニタ電極22B, 23Bが設けられている。さらに、キャビティ26Aの中心部分には、電極支持部14と接合するための突出部26Bが形成されている。

[0076] そして、蓋板26には、複数のビアホール27が厚さ方向に貫通して形成されている。このとき、ビアホール27は、支持部3、電極支持部14および検出用引出部24と対応した位置にそれぞれ形成されている。これにより、支持部3等は、ビアホール27を通じて蓋板26上に設けられた外部電極(図示せず)に接続される。このため、振動発生部10～13、変位検出部18～21および振動モニタ部22, 23は、外部電極を通じて後述する振動制御回路31および角速度検出回路41等に接続することができる。

[0077] 次に、図10を参照しつつ、駆動質量部4～7の振動状態を制御する振動制御回路31について説明する。振動制御回路31は、振動モニタ部22, 23によるモニタ信号 V_m を用いて振動発生部10～13に出力する駆動信号 V_d を制御する。そして、振動制御回路31は、C-V変換回路32, 33、差動増幅器34、自動利得制御回路35(以下、AGC回路35という)、駆動信号発生回路36等によって構成されている。

[0078] C-V変換回路32, 33は振動モニタ部22, 23の出力側にそれぞれ接続されている。そして、C-V変換回路32, 33は、振動モニタ部22, 23の静電容量 C_{m1} , C_{m2} の変化を電圧変化に変換し、これらの電圧変化を予備モニタ信号 V_{m1} , V_{m2} としてそれぞれ出力する。また、C-V変換回路32, 33の出力側には、差動増幅器34が接続されている。

[0079] ここで、駆動質量部4, 5とが互いに逆位相で振動しているときには、2つの予備モニタ信号 V_{m1} , V_{m2} が互いに逆位相となるように、振動モニタ部22, 23は構成されている。このため、2つの予備モニタ信号 V_{m1} , V_{m2} は差動増幅器34によって差動増幅され、最終的なモニタ信号 V_m としてAGC回路35に出力される。

[0080] AGC回路35の出力側は、駆動信号 V_d を出力する駆動信号発生回路36に接続されている。そして、AGC回路35は、モニタ信号 V_m が一定となるようにゲインを調整する。また、駆動信号発生回路36は、増幅器37を介して振動発生部10～13に接続される。これにより、駆動信号発生回路36は、振動発生部10～13に対して互いに駆動信号 V_d を入力し、振動発生部10～13は、駆動質量部4, 6と駆動質量部5, 7とを

互いに逆位相で振動させる。

[0081] 次に、2軸周り(検出軸A, B周り)の角速度 Ω_1 , Ω_2 を検出する角速度検出回路41(角速度検出手段)について説明する。角速度検出回路41は、変位検出部18~21による変位検出信号 V_a , V_b を振動モニタ部22, 23によるモニタ信号 V_m を用いて同期検波し、駆動質量部4~7に作用する角速度 Ω_1 , Ω_2 を検出する。そして、角速度検出回路41は、例えばC-V変換回路42~45、差動増幅器46, 50、同期検波回路47, 51等によって構成されている。

[0082] C-V変換回路42~45は、変位検出部18~21の静電容量 C_{s1} , C_{s2} , C_{s3} , C_{s4} の変化を電圧変化に変換し、これらの電圧変化を予備的な変位検出信号 V_{s1} , V_{s2} , V_{s3} , V_{s4} としてそれぞれ出力する。

[0083] ここで、隣合う駆動質量部4~7が互いに逆位相で振動している状態で、検出軸A周りの角速度 Ω_1 が作用したときには、検出質量部15は検出軸Aを中心として検出軸B方向の両端側が交互にZ軸方向に変位する。このとき、予備的な変位検出信号 V_{s3} と変位検出信号 V_{s4} は互いに逆位相となる。一方、予備的な変位検出信号 V_{s1} と変位検出信号 V_{s2} は互いに同位相となる。

[0084] このため、差動増幅器46は、C-V変換回路44, 45の出力側に接続され、これらの予備的な変位検出信号 V_{s3} , V_{s4} の差から最終的な変位検出信号 V_a を演算する。

[0085] 同期検波回路47の入力側は、差動増幅器46に接続されると共に、位相シフト回路38を介してAGC回路35に接続されている。また、同期検波回路47の出力側には、角速度信号を取り出すための低域通過フィルタ48(以下、LPF48という)が接続されると共に、LPF48の出力側にはゲインおよびオフセットを調整するための調整回路49が接続されている。ここで、位相シフト回路38は、AGC回路35を介して出力されるモニタ信号 V_m の位相を 90° シフトさせた位相シフト信号 V_m' を出力する。これにより、同期検波回路47は、変位検出信号 V_a から位相シフト信号 V_m' を用いて同期検波し、LPF48、調整回路49を介して検出軸A周りの角速度 Ω_1 に応じた角速度信号を出力する。

[0086] 一方、隣合う駆動質量部4~7が互いに逆位相で振動している状態で、検出軸B周

りの角速度 Ω_2 が作用したときには、検出質量部15は検出軸Bを中心として検出軸A方向の両端側が交互にZ軸方向に変位する。このとき、予備的な変位検出信号Vs1と変位検出信号Vs2は互いに逆位相となる。一方、予備的な変位検出信号Vs3と変位検出信号Vs4は互いに同位相となる。

[0087] このため、差動増幅器50は、C-V変換回路42, 43の出力側に接続され、これらの予備的な変位検出信号Vs1, Vs2の差から最終的な変位検出信号Vbを演算する。これにより、同期検波回路51は、同期検波回路47と同様に、変位検出信号Vbから位相シフト信号Vm' を用いて同期検波し、低域通過フィルタ52(以下、LPF52という)、調整回路53を介して検出軸B周りの角速度 Ω_2 に応じた角速度信号を出力する。

[0088] 次に、図11ないし図14に基づいて、本実施の形態による角速度センサ1の製造方法について説明する。

[0089] 図11に示す基板接合工程では、予めシリコン基板61の裏面にエッチング処理を施して、略四角形の凹陷部62を形成すると共に、凹陷部62の中央位置には突起部63を形成する。その後、例えば陽極接合等の接合手段を用いて、基板2となるガラス基板64の表面に、シリコン基板61の裏面を接合する。

[0090] 次に、図12に示す薄膜化工程では、シリコン基板61の表面側を研磨して、厚さ寸法の薄いシリコン層65を形成する。このとき、シリコン層65の外縁側および中央の突起部63は、ガラス基板64に接合されている。また、シリコン層65のうち凹陷部62と対応した薄肉部65Aは、ガラス基板64と隙間をもって離間している。次に、シリコン層65の表面に、例えば導電性金属材料を用いてコンタクト部66を形成する。このとき、コンタクト部66は、シリコン層65のうち薄肉部65Aよりも外縁側に配置される。

[0091] 次に、図13に示す機能部形成工程では、エッチング処理を施して、シリコン層65のうち薄肉部65Aに対応した位置に、駆動質量部4~7、駆動梁8、連結梁9、検出質量部15、検出梁16, 17を形成する。シリコン層65のうちコンタクト部66と対応した位置には、検出用引出部24およびモニタ用引出部25を形成する。シリコン層65のうち突起部63と対応した位置には、電極支持部14を形成すると共に、電極支持部14の周囲には可動側駆動電極10A~13Aおよび固定側駆動電極10B~13Bからな

る振動発生部10～13を形成する。シリコン層65のうち外縁側には、駆動質量部4～7、検出質量部15等を取囲んで支持部3を形成する。

[0092] 次に、図14に示す蓋板接合工程では、蓋板26となるガラス板67の裏面側に、予めキャビティ26Aとなる凹陷部68を形成する。このとき、凹陷部68は、駆動質量部4～7、駆動梁8、連結梁9、検出質量部15、検出梁16, 17等と対向した位置に形成される。また、凹陷部68の中央位置には、電極支持部14と接触可能な突起部69を形成する。さらに、凹陷部68の内部には、固定側検出電極18B～21Bを設けると共に、固定側モニタ電極22B, 23Bを設ける。

[0093] そして、例えば陽極接合等の接合手段を用いて、シリコン層65の表面に、ガラス板67の裏面を接合する。これにより、ガラス基板67の外縁側は支持部3に接合され、突起部69は電極支持部14に接合される。

[0094] また、固定側検出電極18B～21Bは、変位検出部18～21を構成するために、検出質量部15と対向した位置に固定される。さらに、固定側モニタ電極22B, 23Bは、振動モニタ部22, 23を構成するために、スリット22A, 23Aと対向した位置に固定される。

[0095] 次に、電極形成工程では、蓋板26にサンドブラスト等の穴あけ加工処理を施して、ビアホール27を形成する。このとき、ビアホール27は、支持部3、電極支持部14および検出用引出部24と対応した位置にそれぞれ形成されている。最後に、蓋板26の表面には、外部の回路と接続するための外部電極(図示せず)を設ける。そして、外部電極は、ビアホール27の内面に設けられた導体膜を通じて、支持部3、電極支持部14および検出用引出部24に対して電氣的に接続する。これにより、図1ないし図9に示す角速度センサ1が完成する。そして、振動発生部10～13、変位検出部18～21および振動モニタ部22, 23は、外部電極を通じて振動制御回路31および角速度検出回路41等に接続する。

[0096] 第1の実施の形態による角速度センサ1は上述の如き構成を有するもので、次にその動作について説明する。

[0097] まず、検出軸A周りの角速度 Ω_1 を検出する場合について説明する。外部の振動制御回路31から電極支持部14に駆動信号Vdを入力すると、駆動信号Vdは振動発生

部10～13の固定側駆動電極10B～13Bに印加される。これにより、駆動質量部4, 5にはY軸方向の静電引力が作用し、駆動質量部4, 5はY軸方向に振動する。一方、駆動質量部6, 7にはX軸方向の静電引力が作用し、駆動質量部6, 7はX軸方向に振動する。そして、周方向で隣合う駆動質量部4～7は、互いに逆位相で振動する。

[0098] 駆動質量部4～7が振動している状態で検出軸A周りの角速度 $\Omega 1$ が作用すると、駆動質量部4, 5には、角速度 $\Omega 1$ のうちX軸周りの成分に応じて、以下の数1に示すコリオリ力 F_{ax} が作用する。一方、駆動質量部6, 7には、角速度 $\Omega 1$ のうちY軸周りの成分に応じて、以下の数2に示すコリオリ力 F_{ay} が作用する。そして、駆動質量部4～7に発生したコリオリ力 F_{ax} , F_{ay} は、駆動梁8を介して検出質量部15に伝わる。これにより、検出質量部15は、コリオリ力 F_{ax} , F_{ay} の合力によって検出軸Aを中心として検出軸B方向の両端が交互にZ軸方向に変位し、角速度 $\Omega 1$ に応じて振動する。

[0099] [数1]

$$F_{ax} = 2 \times M \times \Omega 1_x \times v$$

但し、M:駆動質量部4, 5の質量

$\Omega 1_x$:検出軸A周りの角速度 $\Omega 1$ のうちX軸周りの成分

v:駆動質量部4, 5のY軸方向の速度

[0100] [数2]

$$F_{ay} = 2 \times M \times \Omega 1_y \times v$$

但し、M:駆動質量部6, 7の質量

$\Omega 1_y$:検出軸A周りの角速度 $\Omega 1$ のうちY軸周りの成分

v:駆動質量部6, 7のX軸方向の速度

[0101] このため、変位検出部18～21は、検出質量部15のZ軸方向の変位に応じて可動側検出電極18A～21Aと固定側検出電極18B～21Bとの間の静電容量 $C_{s1} \sim C_{s4}$ が変化する。このとき、角速度検出回路41のC-V変換回路42～45は、静電容量 $C_{s1} \sim C_{s4}$ の変化を予備的な変位検出信号 $V_{s1} \sim V_{s4}$ に変換する。そして、差動増幅器46は、変位検出信号 V_{s3} , V_{s4} の差に基づいて、検出軸A周りの角速度 $\Omega 1$ に応じた最終的な変位検出信号 V_a を出力する。同期検波回路47は、変位検出信号 V_a から位相シフト信号 $V_{m'}$ と同期した信号を検波する。これにより、角速度検出回路41

は、検出軸A周りの角速度 $\Omega 1$ に応じた角速度信号を出力する。

[0102] なお、検出軸A周りの角速度 $\Omega 1$ が作用したときには、予備的な変位検出信号 $Vs1$, $Vs2$ は互いに同位相となる。このとき、変位検出信号 Vb は、変位検出信号 $Vs1$, $Vs2$ の差を用いて演算する。このため、検出軸A周りの角速度 $\Omega 1$ が作用したときに、同期検波回路51が変位検出信号 Vb を同期検波しても、角速度 $\Omega 2$ に応じた角速度信号は出力されない。

[0103] 次に、検出軸B周りの角速度 $\Omega 2$ を検出する場合について説明する。外部の振動制御回路31から電極支持部14に駆動信号 Vd を入力し、駆動質量部4～7を振動させる。この振動状態で検出軸B周りの角速度 $\Omega 2$ が作用すると、駆動質量部4, 5には以下の数3に示すコリオリ力 Fbx が作用すると共に、駆動質量部6, 7には以下の数4に示すコリオリ力 Fby が作用する。そして、駆動質量部4～7に発生したコリオリ力 Fbx , Fby は、駆動梁8を介して検出質量部15に伝わる。このため、検出質量部15は、コリオリ力 Fbx , Fby の合力によって検出軸Bを中心として検出軸A方向の両端が交互にZ軸方向に変位し、角速度 $\Omega 2$ に応じて振動する。

[0104] [数3]

$$Fbx = 2 \times M \times \Omega 2x \times v$$

但し、M:駆動質量部4, 5の質量

$\Omega 2x$:検出軸B周りの角速度 $\Omega 2$ のうちX軸周りの成分

v:駆動質量部4, 5のY軸方向の速度

[0105] [数4]

$$Fby = 2 \times M \times \Omega 2y \times v$$

但し、M:駆動質量部6, 7の質量

$\Omega 2y$:検出軸B周りの角速度 $\Omega 2$ のうちY軸周りの成分

v:駆動質量部6, 7のX軸方向の速度

[0106] このため、変位検出部18～21は、検出質量部15のZ軸方向の変位に応じて可動側検出電極18A～21Aと固定側検出電極18B～21Bとの間の静電容量 $Cs1 \sim Cs4$ が変化する。このとき、角速度検出回路41のC-V変換回路42～45は、静電容量 $Cs1 \sim Cs4$ の変化を変位検出信号 $Vs1 \sim Vs4$ に変換する。そして、差動増幅器50は、変位検出信号 $Vs1$, $Vs2$ の差に基づいて、検出軸B周りの角速度 $\Omega 2$ に応じた変位検

出信号Vbを出力する。同期検波回路51は、変位検出信号Vbから位相シフト信号V_{m'}と同期した信号を検波する。これにより、角速度検出回路41は、検出軸B周りの角速度 $\Omega 2$ に応じた角速度信号を出力する。

[0107] なお、検出軸B周りの角速度 $\Omega 2$ が作用したときには、予備的な変位検出信号Vs3, Vs4は互いに同位相となる。このとき、変位検出信号Vaは、変位検出信号Vs3, Vs4の差を用いて演算する。このため、検出軸B周りの角速度 $\Omega 2$ が作用したときに、同期検波回路47が変位検出信号Vaを同期検波しても、角速度 $\Omega 1$ に応じた角速度信号は、出力されない。

[0108] かくして、本実施の形態では、4つの駆動質量部4～7は中心点Oに対して点対称な位置に配置されているから、2つの駆動質量部4, 5は中心点Oを挟んでX軸方向の両側に配置することができ、2つの駆動質量部6, 7は中心点Oを挟んでY軸方向の両側に配置することができる。また、周方向で隣合う駆動質量部4～7は互いに逆位相で振動する。このため、検出軸Aに駆動質量部4～7が近付くときには、駆動質量部4～7は検出軸Bから遠ざけることができる。また、検出軸Aから駆動質量部4～7が遠ざかるときには、駆動質量部4～7は検出軸Bに近付けることができる。

[0109] これにより、検出軸A周りの角速度 $\Omega 1$ が作用したときには、駆動質量部4～7にはZ軸方向に向かうコリオリ力F_{ax}, F_{ay}を発生させることができる。このため、角速度 $\Omega 1$ が作用したときには、検出質量部15は、検出軸Aを中心として検出軸B方向の両端側が交互にZ軸方向に変位して振動する。従って、この振動を変位検出部18～21を用いて検出することによって、検出軸A周りの角速度 $\Omega 1$ を検出することができる。

[0110] 一方、検出軸B周りの角速度 $\Omega 2$ が作用したときには、駆動質量部4～7にはZ軸方向に向かうコリオリ力F_{bx}, F_{by}を発生させることができる。このため、角速度 $\Omega 2$ が作用したときには、検出質量部15は、検出軸Bを中心として検出軸A方向の両端側が交互にZ軸方向に変位して振動する。従って、この振動を変位検出部18～21を用いて検出することによって、検出軸B周りの角速度 $\Omega 2$ を検出することができる。

[0111] これにより、単一の角速度センサ1を用いて2つの検出軸A, B周りに作用する角速度 $\Omega 1$, $\Omega 2$ を検出することができるから、1つの軸周りのセンサを2個用いた場合に比べて、製造コストを低減することができる。

- [0112] また、4つの駆動質量部4～7は中心点Oに対して点対称な位置に配置されているから、周方向で互いに隣合う駆動質量部4～7を逆方向(逆位相)に振動させることによって、4つの駆動質量部4～7全体の重心位置を固定することができると共に、4つの駆動質量部4～7全体に生じる周方向の回転トルク(回転モーメント)を相殺することができる。このとき、連結梁9は4つの駆動質量部4～7の支点4B～7B近傍を互いに連結するから、例えば4つの駆動質量部4～7に加工ばらつきが生じたときでも、各駆動質量部4～7は駆動振幅および位相が揃った状態で振動する。この結果、4つの駆動質量部4～7全体の重心位置の変動や回転トルクを確実に小さくすることができ、駆動質量部4～7の駆動振動が検出質量部15、基板2等に漏れることがなくなる。これにより、角速度信号のオフセット出力が安定する。
- [0113] さらに、検出梁16, 17(検出軸A, B)に対して可動部となる駆動質量部4～7、駆動梁8、連結梁9および検出質量部15は線対称な形状となっている。従って、基板2の垂直方向(Z軸方向)に加速度が作用しても、可動部全体がZ軸方向に変位することはあるが、この変位による変位検出部18～21の静電容量の変化は同じ値になる。このため、変位検出部18～21による変位検出信号Vs1～Vs4を差動検出することによって、角速度信号から加速度による成分を除去することができる。
- [0114] また、駆動質量部4～7に作用するコリオリ力Fax, Fay, Fbx, Fbyは駆動梁8を通じて検出質量部15に伝わる構成としたから、検出質量部15自体は、駆動振動しない。このため、例えば加工ばらつきによって駆動質量部4～7が基板2の垂直方向(Z軸方向)にぶれた状態で振動した場合でも、検出質量部15はぶれない。従って、変位検出部18～21は、駆動質量部4～7のぶれの影響を受けることなく、検出質量部15のZ軸方向の変位を検出することができる。即ち、変位検出部18～21は、振動ぶれによる信号(ノイズ信号)を発生しないから、角速度センサ1の出力信号(角速度信号)の調整が容易となる。この結果、例えば変位検出信号Vs1～Vs4を直接増幅するとき、または差動増幅器46, 50を用いて差動増幅するときでも、ノイズ信号によって利得が飽和することがない。このため、同期検波前の初期段階の増幅率を高くすることができるから、角速度信号に含まれるノイズ信号を相対的に小さくすることができ、S/N比が良い角速度信号を得ることができる。

- [0115] また、変位検出部18～21による変位検出信号 $V_{s1} \sim V_{s4}$ には駆動振動のぶれによるオフセット電圧が加わることがない。このため、調整回路49, 53を用いてオフセット電圧を調整するときでも、オフセット電圧の調整範囲が小さくなると共に、オフセット電圧の温度変化(温度ドリフト)が小さくなる。この結果、角速度 Ω_1 , Ω_2 の検出精度を向上することができる。
- [0116] また、駆動質量部4～7は基板2と平行な状態で振動するから、基板2と垂直なZ軸方向に振動させる場合に比べて、駆動振幅を大きくすることができる。このため、駆動質量部4～7に作用するコリオリ力 F_{ax} , F_{ay} , F_{bx} , F_{by} を大きくすることができるから、コリオリ力 F_{ax} , F_{ay} , F_{bx} , F_{by} による検出質量部15の変位も大きくすることができ、角速度 Ω_1 , Ω_2 の検出感度を高めることができる。
- [0117] さらに、本実施の形態では、4つの駆動質量部4～7は中心点Oを取囲む周方向に対して互いに等間隔で配置し、検出梁16, 17は隣合う2つの駆動質量部4～7の間に位置して2つの検出軸A, Bに沿って延びる構成とした。このため、検出軸Aに沿って延びる検出梁16は、この検出梁16を中心として検出質量部15を基板2の厚さ方向に変位可能に支持することができる。同様に、検出軸Bに沿って延びる検出梁17も、この検出梁17を中心として検出質量部15を基板2の厚さ方向に変位可能に支持することができる。この結果、検出梁16, 17は、基板2と平行な検出軸A, B周りに検出質量部15を振動可能に支持することができる。
- [0118] また、検出梁16, 17は隣合う2つの駆動質量部4～7の間に位置して2つの検出軸A, Bに沿って延びる構成とした。このため、駆動質量部4～7よりも外周側に検出梁を設けた場合に比べて、角速度センサ1全体を小型化することができる。
- [0119] さらに、変位検出部18～21は、隣合う2つの駆動質量部4～7の間に位置して、中心点Oに対して点対称な位置に配置され、検出質量部15と対向して設けられた4つの固定側検出電極18B～21Bによって構成している。ここで、角速度 Ω_1 , Ω_2 に応じて検出質量部15が中心点Oを中心にZ軸方向に振動したときには、角速度 Ω_1 , Ω_2 に応じて検出質量部15(可動側検出電極18A～21A)と固定側検出電極18B～21Bとの間の距離が変化する。このため、検出質量部15と4つの固定側検出電極18B～21Bとの間の静電容量 $C_{s1} \sim C_{s4}$ を検出することによって、2つの検出軸A, B周り

の角速度 Ω_1 , Ω_2 を検出することができる。

[0120] また、駆動質量部4, 5の振動方向の変位をモニタする振動モニタ部22, 23を設けたから、振動モニタ部22, 23を用いて駆動質量部4, 5(駆動質量部6, 7)の振動振幅および位相を検出することができる。このため、振動モニタ部22, 23によるモニタ信号 V_m は振動制御回路31の参照信号として利用することができ、共振状態の安定化を図ることができる。また、振動モニタ部22, 23によるモニタ信号 V_m は角速度検出回路41の参照信号(位相シフト信号 V_m')としても利用することができ、駆動質量部4~7の振動状態に応じて正確な同期検波を行うことができる。

[0121] さらに、検出梁16, 17は、検出質量部15が基板2の厚さ方向に変位するときに捩れ変形する捩れ支持梁を用いて形成したから、例えばシリコン材料等を基板2の垂直方向に加工することによって捩れ支持梁を形成することができ、容易に加工することができる。また、捩れ支持梁のばね定数は幅寸法の3乗に比例して変動するが、これは駆動梁8、連結梁9と同じである。従って、幅寸法の加工ばらつきが駆動モードと検出モードの共振周波数差に与える影響を小さくすることができ、角速度センサ1の感度ばらつきを小さくすることができる。

[0122] なお、第1の実施の形態では、振動発生部10~13は、駆動信号によって可動側駆動電極10A~13Aの電極板と固定側駆動電極10B~13Bの電極板との距離を変化させて、静電力(駆動力 F_1 ~ F_4)を発生させる構成とした。しかし、本発明はこれに限らず、例えば図15に示す第1の変形例による振動発生部13'のように、互いに噛合した2つの櫛歯状電極を用いて可動側駆動電極13A' および固定側駆動電極13B' を構成してもよい。この場合、振動発生部13' は、可動側駆動電極13A' および固定側駆動電極13B' との間の噛合い深さ(対向面積)を変化させて、静電力を発生させるものである。

[0123] また、第1の実施の形態では、振動モニタ部22, 23は、駆動質量部4, 5に設ける構成とした。しかし、本発明はこれに限らず、例えば振動モニタ部を、駆動質量部6, 7に設けて、駆動質量部6, 7の振動方向(X軸方向)の変位を検出する構成としてもよい。また、振動モニタ部を、駆動質量部4と駆動質量部6に設ける構成としてもよく、駆動質量部4~7のうちいずれか1つの駆動質量部にのみ設ける構成としてもよい。

- [0124] また、第1の実施の形態では、駆動質量部4, 5にスリット22A, 23Aを設ける構成とした。しかし、本発明はこれに限らず、駆動質量部4, 5にX軸方向に突出した突起を設け、該突起と駆動質量部4, 5の駆動振動に応じて固定側モニタ電極22B, 23Bとの対向面積を変化させる構成としてもよい。
- [0125] さらに、第1の実施の形態では、振動モニタ部22, 23はZ軸方向で対向するスリット22A, 23Aと固定側モニタ電極22B, 23Bとによって構成した。しかし、本発明はこれに限らず、例えば駆動質量部4, 5のY軸方向の変位に応じて噛合い深さが変化する2つの櫛歯状電極を用いて振動モニタ部を構成してもよい。
- [0126] 次に、図16ないし図18は本発明による第2の実施の形態を示している。そして、本実施の形態の特徴は、検出質量部を覆うカバー板を設けると共に、変位検出部は、該カバー板と対向して設けられた4つの固定側検出電極を用いて構成したことにある。なお、本実施の形態では前記第1の実施の形態と同一の構成要素に同一の符号を付し、その説明を省略するものとする。
- [0127] 角速度センサ71は、第1の実施の形態による角速度センサ1とほぼ同様に、基板2、駆動質量部4～7、駆動梁8、連結梁9、振動発生部10～13、検出質量部15、検出梁16, 17、変位検出部76～79等によって構成されている。但し、検出質量部15のうち蓋板26との対向面(表面)には、カバー板72～75が設けられている。
- [0128] カバー板72～75は、例えば略台形状の薄い平板によって形成され、検出梁16, 17の間に位置して駆動質量部4～7と対応した位置にそれぞれ設けられている。ここで、カバー板72～75は、検出質量部15の表面に固着された薄い平板状の検出側板部72A～75Aと、隙間をもって駆動質量部4～7、駆動梁8および連結梁9の表面を覆う駆動側板部72B～75Bとによって構成されている。そして、カバー板72～75は、例えば低抵抗なポリシリコン材料等を用いて形成され、検出質量部15、支持部3等を介してグランドに接続されている。
- [0129] また、駆動側板部72B～75Bと駆動質量部4～7等との間には隙間が形成されている。このため、駆動質量部4～7が駆動振動したときでも、駆動側板部72B～75Bは、駆動質量部4～7等に接触しない。
- [0130] 変位検出部76～79は、検出質量部15が基板2の厚さ方向に変位するのを検出す

る変位検出手段を構成している。また、変位検出部76～79は、カバー板72～75と対向して蓋板26に設けられた固定側検出電極76A～79Aとによって構成されている。そして、固定側検出電極76A～79Aは、内側突出部15A～15Dと対向し、中心点Oに対して点対称な位置に配置されている。但し、固定側検出電極76A～79Aは、内側突出部15A～15Dに限らず、駆動質量部4～7と対応した位置まで広がっている。このため、固定側検出電極76A～79Aは、第1の実施の形態による固定側検出電極18B～21Bよりも大きな面積を有している。

[0131] そして、検出質量部15が検出軸B周りで振動したときには、内側突出部15A, 15Bが基板2の厚さ方向に変位する。このとき、カバー板72～75のうち検出軸A方向の両端側の部位と固定側検出電極76A, 77Aとの間の距離が変化するから、カバー板72～75と固定側検出電極76A, 77Aとの間の静電容量Cs1, Cs2も変化する。

[0132] 一方、検出質量部15が検出軸A周りで振動したときには、内側突出部15C, 15Dが基板2の厚さ方向に変位する。このとき、カバー板72～75のうち検出軸B方向の両端側の部位と固定側検出電極78A, 79Aとの間の距離が変化するから、カバー板72～75と固定側検出電極78A, 79Aとの間の静電容量Cs3, Cs4も変化する。

[0133] このため、変位検出部76～79は、検出質量部15が検出軸A, B周りの角速度 $\Omega 1$, $\Omega 2$ によってZ軸方向に変位するときに、その変位量をカバー板72～75と固定側検出電極76A～79Aとの間の静電容量Cs1～Cs4の変化により角速度 $\Omega 1$, $\Omega 2$ として検出する。

[0134] かくして、このように構成される本実施の形態でも、第1の実施の形態とほぼ同様の作用効果を得ることができる。そして、特に本実施の形態では、検出質量部15を覆うカバー板72～75を設け、変位検出部76～79は該カバー板72～75と対向して設けられた4つの固定側検出電極76A～79Aを用いて構成した。このため、カバー板72～75は検出質量部15と一体となって検出軸A, B周りに振動するから、カバー板72～75と固定側検出電極76A～79Aとの間の静電容量Cs1～Cs4を検出することによって、2つの検出軸A, B周りの角速度 $\Omega 1$, $\Omega 2$ を検出することができる。また、駆動質量部4～7と固定側検出電極76A～79Aとの間にカバー板72～75を配置することができる。これにより、カバー板72～75によって駆動質量部4～7等の影響を遮断

することができるから、駆動質量部4～7と対向する位置まで固定側検出電極76A～79Aを広げることができる。この結果、固定側検出電極76A～79Aの面積を大きくすることができるから、静電容量Cs1～Cs4も大きく変化させることができ、角速度 $\Omega 1$ 、 $\Omega 2$ の検出感度を高めることができる。

[0135] なお、第2の実施の形態では、4枚のカバー板72～75は、検出梁16, 17を除いた位置に設けた。しかし、本発明はこれに限らず、検出梁16, 17と干渉しない程度の十分な隙間が確保できるのであれば、1枚のカバー板によって検出梁16, 17も含めて覆う構成としてもよい。

[0136] また、第2の実施の形態では、振動モニタ部を省いた構成とした。しかし、例えば固定側モニタ電極を基板2側に形成すれば、第1の実施の形態と同様な振動モニタ部を取付けることもできる。

[0137] 次に、図19ないし図21は本発明による第3の実施の形態を示している。そして、本実施の形態の特徴は、検出質量部の厚さ寸法が、駆動質量部、駆動梁、連結梁、検出梁の厚さ寸法よりも薄い構成としたことにある。なお、本実施の形態では前記第1の実施の形態と同一の構成要素に同一の符号を付し、その説明を省略するものとする。

[0138] 角速度センサ81は、第1の実施の形態による角速度センサ1とほぼ同様に、基板2、駆動質量部4～7、駆動梁8、連結梁9、振動発生部10～13、検出質量部82、検出梁16, 17、変位検出部18～21、振動モニタ部22, 23等によって構成されている。

[0139] 検出質量部82は、第1の実施の形態による検出質量部15とほぼ同様に構成され、検出質量部82は、その対角線に沿って内周側に向けて突出した4つの内側突出部82A～82Dを備えている。そして、内側突出部82A～82Dは、駆動質量部4～7の間にそれぞれ配置されると共に、変位検出部18～21の可動側検出電極18A～21Aを構成している。

[0140] 但し、検出質量部82は、厚さ寸法が薄い薄肉部83を有している点で、第1の実施の形態による検出質量部15とは異なっている。このとき、薄肉部83の厚さ寸法は、駆動質量部4～7、駆動梁8、連結梁9、検出梁16, 17の厚さ寸法に比べて薄い構成と

なっている。また、薄肉部83は、中心点Oを中心として点対称な形状となっている。

[0141] かくして、このように構成される本実施の形態でも、第1の実施の形態とほぼ同様の作用効果を得ることができる。そして、特に本実施の形態では、検出質量部82は駆動質量部4～7等の厚さ寸法よりも薄い薄肉部83を備える構成としたから、検出質量部82の質量を小さくして、コリオリ力による検出質量部82の変位量を大きくすることができる。これにより、角速度 $\Omega 1$ 、 $\Omega 2$ の検出感度を向上することができる。

[0142] なお、第3の実施の形態では、検出質量部82は、その一部(薄肉部83)の厚さ寸法が薄い構成としたが、検出質量部82全体の厚さ寸法を薄くする構成としてもよい。

[0143] また、第3の実施の形態では、厚さ寸法の薄い検出質量部82を第1の実施の形態と同様な構成に適用するものとした。しかし、本発明はこれに限らず、例えば厚さ寸法の薄い検出質量部を第2の実施の形態と同様な構成に適用してもよい。

[0144] 次に、図22ないし図24は本発明による第4の実施の形態を示している。そして、本実施の形態の特徴は、検出梁の両端側を応力低減接続部を用いて検出質量部と基板とにそれぞれ接続する構成としたことにある。なお、本実施の形態では前記第1の実施の形態と同一の構成要素に同一の符号を付し、その説明を省略するものとする。

[0145] 角速度センサ91は、第1の実施の形態による角速度センサ1とほぼ同様に、基板2、駆動質量部4～7、駆動梁8、連結梁9、振動発生部10～13、検出質量部15、検出梁92、94、変位検出部18～21、振動モニタ部22、23等によって構成されている。

[0146] 第1の検出梁92は、第1の実施の形態による検出梁16とほぼ同様に構成され、細長い板形状に形成されている。このため、検出梁92は、検出質量部15と基板2との間に設けられ、基板2(X-Y平面)と平行な検出軸Aに沿って延びている。そして、検出梁92は、検出軸Aを中心として検出質量部15が基板2の厚さ方向に変位するときに、捩れ変形する捩れ支持梁を用いて形成されている。

[0147] 具体的には、第1の検出梁92は、例えば駆動質量部4、7と駆動質量部5、6との間に位置して、X軸に対して45° 傾斜した検出軸Aに沿って延びている。また、第1の検出梁92は、内側突出部15A、15Bの内部にそれぞれ設けられている。

- [0148] 但し、検出梁92の一端部側は、応力低減接続部としての応力低減接続梁93を用いて検出質量部15とに接続されている。また、検出梁92の他端部側は、応力低減接続梁93を用いて支持部3に接続されている。このように応力低減接続梁93を用いる点で、検出梁92と第1の実施の形態による検出梁16とは異なっている。
- [0149] このとき、応力低減接続梁93は、例えば検出梁92を挟んで検出梁92と直交した方向(検出軸B方向)の両側にそれぞれ設けられた2つのL型梁93Aによって構成されている。また、各L型梁93Aは、検出軸B方向に延びると共に、その両端側がL字形状に屈曲している。そして、各L型梁93Aの一端側は検出梁92の端部に接続され、各L型梁93Aの他端側は検出質量部15または支持部3に接続されている。
- [0150] これにより、第1の検出梁92の両端側は、その長さ方向となる検出軸A方向に対して自由度をもった状態で支持される。この結果、検出梁92が振れ変形するときには、検出梁92の両端側が長さ方向に変位することができるから、検出梁92の両端側に作用する歪みや応力が低減されている。
- [0151] 第2の検出梁94は、第1の実施の形態による検出梁17とほぼ同様に構成され、細長い板形状に形成されている。このため、検出梁94は、検出質量部15と基板2との間に設けられ、基板2(X-Y平面)と平行な検出軸Bに沿って延びている。そして、検出梁94は、検出軸Bを中心として検出質量部15が基板2の厚さ方向に変位するとき、振れ変形する振れ支持梁を用いて形成されている。
- [0152] 具体的には、第2の検出梁94は、例えば駆動質量部4, 6と駆動質量部5, 7との間に位置して、X軸に対して -45° 傾斜した検出軸Bに沿って延びている。また、第2の検出梁94は、内側突出部15C, 15Dの内部にそれぞれ設けられている。
- [0153] 但し、検出梁94の一端部側は、応力低減接続部としての応力低減接続梁95を用いて検出質量部15に接続されている。また、検出梁94の他端部側は、応力低減接続梁95を用いて支持部3に接続されている。このように応力低減接続梁95を用いる点で、検出梁94と第1の実施の形態による検出梁17とは異なっている。
- [0154] このとき、応力低減接続梁95は、例えば検出梁94を挟んで検出梁94と直交した方向(検出軸A方向)の両側にそれぞれ設けられた2つのL型梁95Aによって構成されている。また、各L型梁95Aは、検出軸A方向に延びると共に、その両端側がL字形状

状に屈曲している。そして、各L型梁95Aの一端側は検出梁94の端部に接続され、各L型梁95Aの他端側は検出質量部15または支持部3に接続されている。

[0155] これにより、第2の検出梁94の両端側は、その長さ方向となる検出軸B方向に対して自由度をもった状態で支持される。この結果、検出梁94が捩れ変形するときには、検出梁94の両端側が長さ方向に変位することができるから、検出梁94の両端側に作用する歪みや応力が低減されている。

[0156] そして、検出質量部15が検出軸Aを中心として振動(揺動)するときには、第1の検出梁92は捩れ変形(捩れ振動)する。一方、第2の検出梁94は、応力低減接続梁95を用いて検出質量部15および支持部3に接続されている。このため、応力低減接続梁95が撓み変形することによって、検出質量部15が検出軸Aを中心として振動するのを許容する。

[0157] 同様に、検出質量部15が検出軸Bを中心として振動(揺動)するときには、第2の検出梁94は捩れ変形(捩れ振動)する。一方、第1の検出梁92は、応力低減接続梁93を用いて検出質量部15および支持部3に接続されている。このため、応力低減接続梁93が撓み変形することによって、検出質量部15が検出軸Bを中心として振動するのを許容する。これにより、検出梁92, 94は、互いに直交した検出軸Aおよび検出軸B周りに振動可能な状態で検出質量部15を支持している。

[0158] かくして、このように構成される本実施の形態でも、第1の実施の形態とほぼ同様の作用効果を得ることができる。そして、特に本実施の形態では、検出梁92, 94の両端側は応力低減接続梁93, 95を用いて検出質量部15と基板2に固定された支持部3とにそれぞれ接続したから、角速度センサ91の感度ばらつきを小さくすることができる。

[0159] ここで、応力低減接続梁93, 95と感度ばらつきとの関係を詳しく説明する。まず、検出梁92, 94の両端を固定した場合には、固定部分に作用する応力によって検出梁92, 94の捩れ変形が阻害される。このため、検出梁92, 94の厚さ寸法が変化したときには、この厚さ寸法の変化分に対する共振周波数の変化が大きくなる。この結果、加工ばらつきが駆動モードと検出モードの共振周波数差に与える影響が大きくなる傾向がある。

- [0160] これに対し、本実施の形態では、検出梁92, 94の両端側は応力低減接続梁93, 95を用いて検出質量部15と支持部3とにそれぞれ接続したから、検出梁92, 94が振れ変形するときに検出梁92, 94の両端側に作用する歪みや応力を低減することができる。これにより、厚さ寸法の加工ばらつきが駆動モードと検出モードの共振周波数差に与える影響を小さくすることができ、センサの感度ばらつきを小さくすることができる。
- [0161] なお、第4の実施の形態では、応力低減接続梁93, 95は、L型梁93A, 95Aを用いて形成した。しかし、本発明はこれに限らず、応力低減接続部は、検出梁の長さ方向(振れ軸方向)に対して自由度を与える構成であればよい。このため、例えば図25に示す第2の変形例による応力低減接続梁93' のように、検出質量部15に接続された一端側がT形状となったT型梁93A' を用いて形成してもよい。また、例えば図26に示す第3の変形例による応力低減接続梁93'' のように、検出梁92と直交する方向に対して1回または複数回往復した折返し梁93A'' を用いて形成してもよい。
- [0162] また、前記各実施の形態では、検出梁16, 17, 92, 94は、検出軸A, Bに沿って直線状に伸びる振れ支持梁を用いて形成したが、例えば検出軸A, Bに沿って1回または複数回往復した振れ支持梁を用いて形成してもよい。
- [0163] また、前記各実施の形態では、検出梁16, 17, 92, 94は、検出質量部15, 82が基板2の厚さ方向に変位するときに振れ変形する振れ支持梁を用いて形成した。しかし、本発明はこれに限らず、例えば検出質量部が基板の厚さ方向に変位するときに撓み変形する撓み支持梁を用いて検出梁を形成してもよい。
- [0164] さらに、前記各実施の形態では、検出梁16, 17は、検出質量部15, 82の外周側に設けられた支持部3と検出質量部15, 82の内周側との間を接続する構成とした。しかし、本発明はこれに限らず、例えば検出質量部の内周側に支持部を設け、該支持部と検出質量部の外周側との間を検出梁を用いて接続する構成としてもよい。

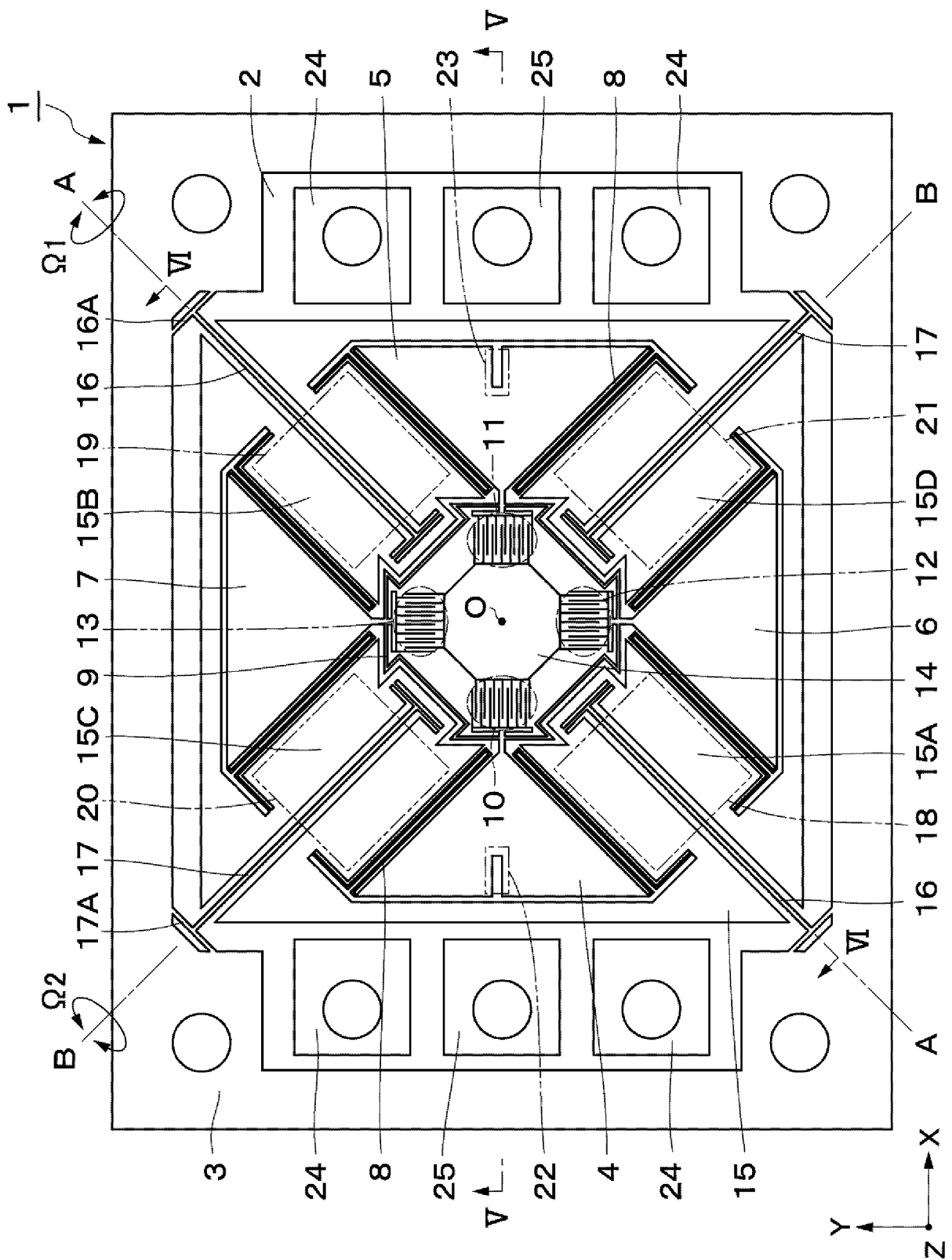
請求の範囲

- [1] 基板と、
 該基板と隙間をもって対向し、中心部に対して点対称な位置に配置された4つの駆動質量部と、
 前記基板と平行な状態で中心部側に位置する支点周りに該各駆動質量部を振動可能に支持する駆動梁と、
 前記4つの駆動質量部の支点近傍を互いに連結する連結梁と、
 前記基板の中心部側に設けられ、前記4つの駆動質量部を前記支点を中心として中心部を取囲む周方向に向けて振動させる駆動手段と、
 前記駆動梁を用いて前記4つの駆動質量部に接続された検出質量部と、
 該検出質量部と前記基板との間に設けられ、前記基板と平行な2つの軸周りに該検出質量部を振動可能に支持する検出梁と、
 前記検出質量部が2つの軸周りに振動したときに、前記検出質量部が前記基板の厚さ方向に変位するのを検出する変位検出手段とによって構成してなる角速度センサ。
- [2] 前記4つの駆動質量部は、前記中心部を取囲む周方向に対して互いに等間隔で配置し、
 前記検出梁は、隣合う2つの駆動質量部の間に位置して前記2つの軸に沿って延びる構成としてなる請求項1に記載の角速度センサ。
- [3] 前記変位検出手段は、隣合う2つの駆動質量部の間に位置して、中心部に対して点対称な位置に配置され、前記検出質量部と対向して設けられた4つの検出電極によって構成してなる請求項1に記載の角速度センサ。
- [4] 前記検出質量部には、前記4つの駆動質量部と隙間をもって当該検出質量部を覆うカバー板を設け、
 前記変位検出手段は、中心部に対して点対称な位置に配置され、該カバー板と対向して設けられた4つの検出電極によって構成してなる請求項1に記載の角速度センサ。
- [5] 前記検出質量部は、全部または一部が前記駆動質量部、駆動梁、連結梁、検出梁

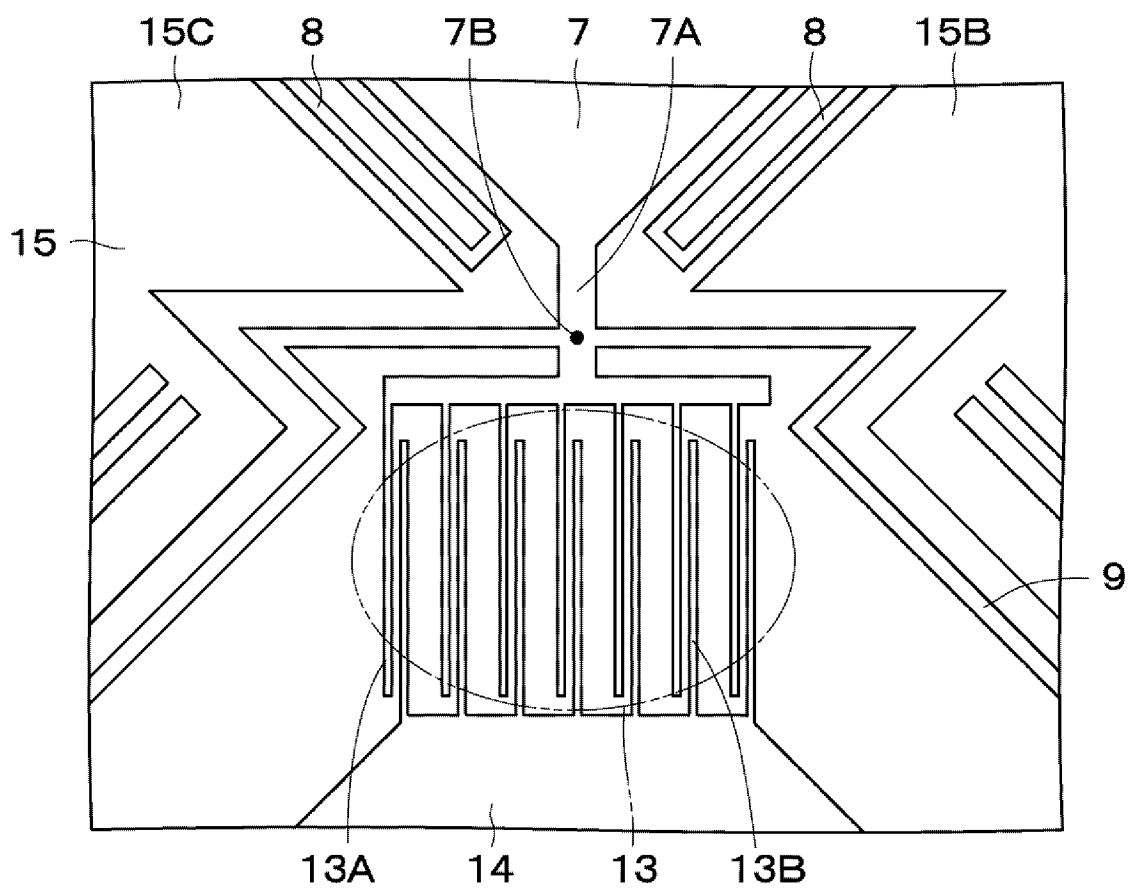
よりも厚さ寸法が薄い構成としてなる請求項1に記載の角速度センサ。

- [6] 前記駆動質量部の振動方向の変位をモニタするモニタ手段を設けてなる請求項1に記載の角速度センサ。
- [7] 前記検出梁は、前記検出質量部が基板の厚さ方向に変位するときに、捩れ変形する捩れ支持梁を用いて形成してなる請求項1に記載の角速度センサ。
- [8] 前記検出梁は、捩れ変形するときに当該検出梁の端部側に作用する応力を低減する応力低減接続部を用いて前記検出質量部と基板とにそれぞれ接続する構成としてなる請求項7に記載の角速度センサ。

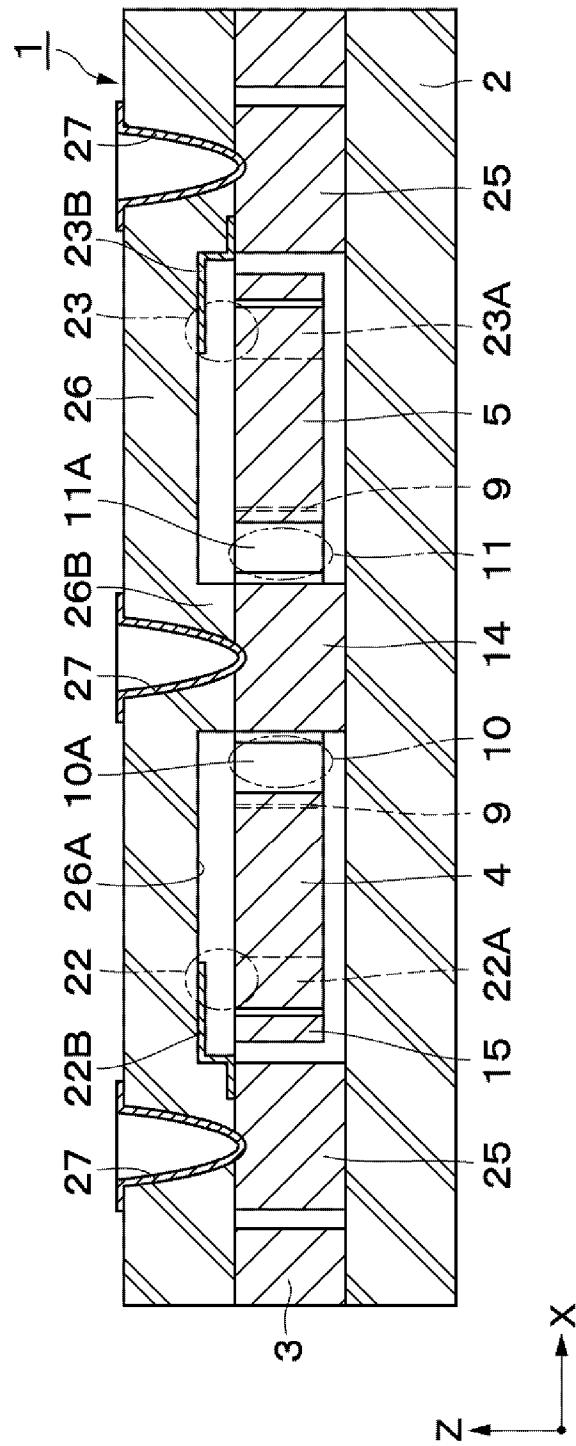
[図1]



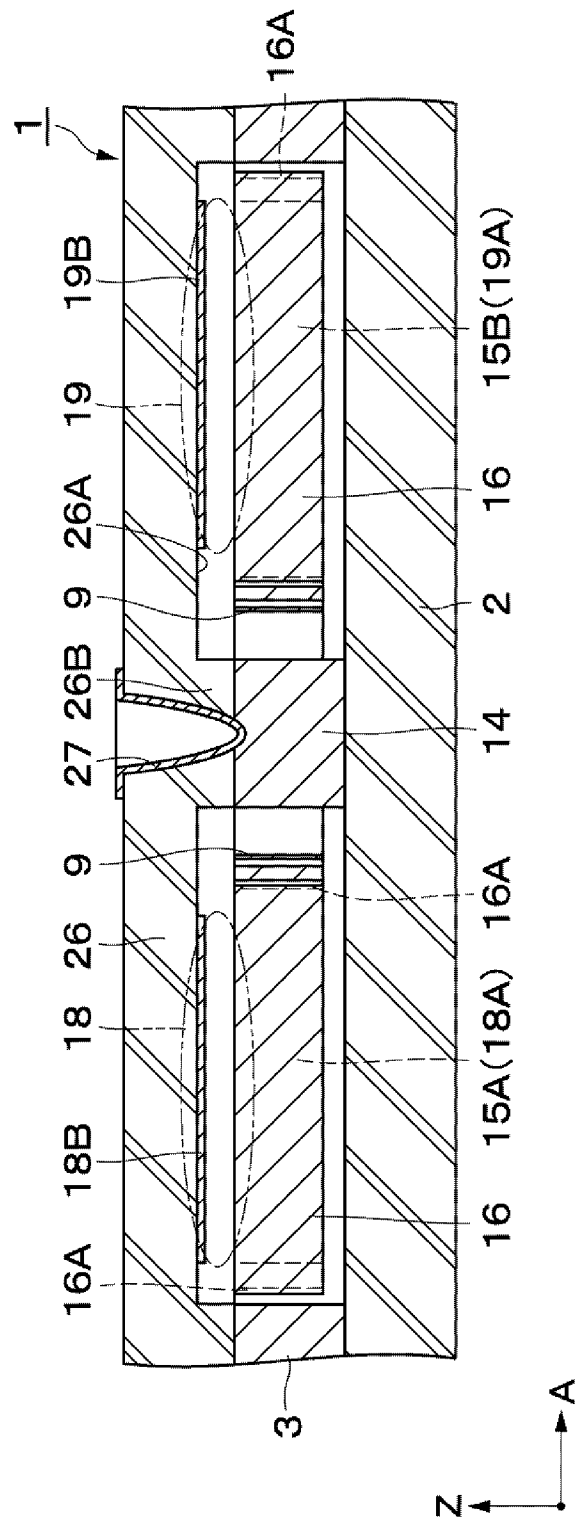
[図3]



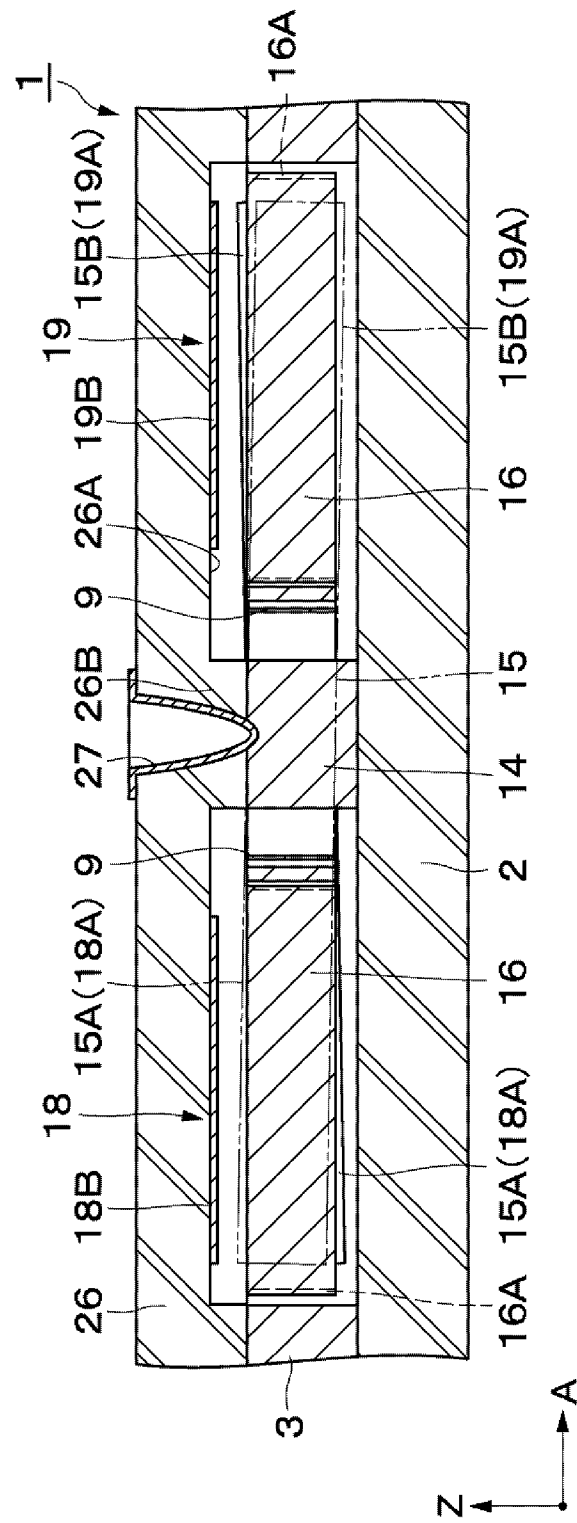
[図5]



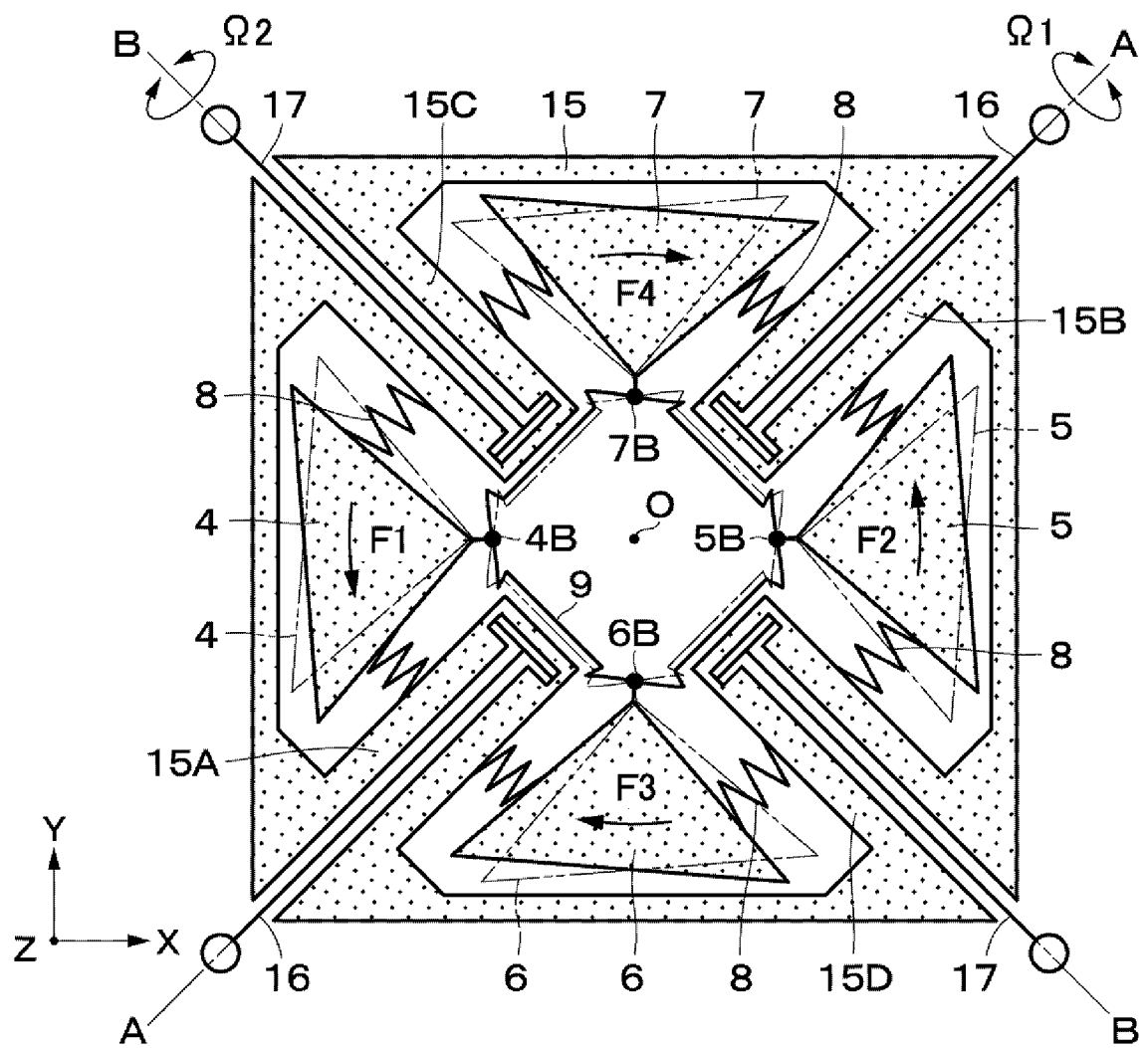
[図6]



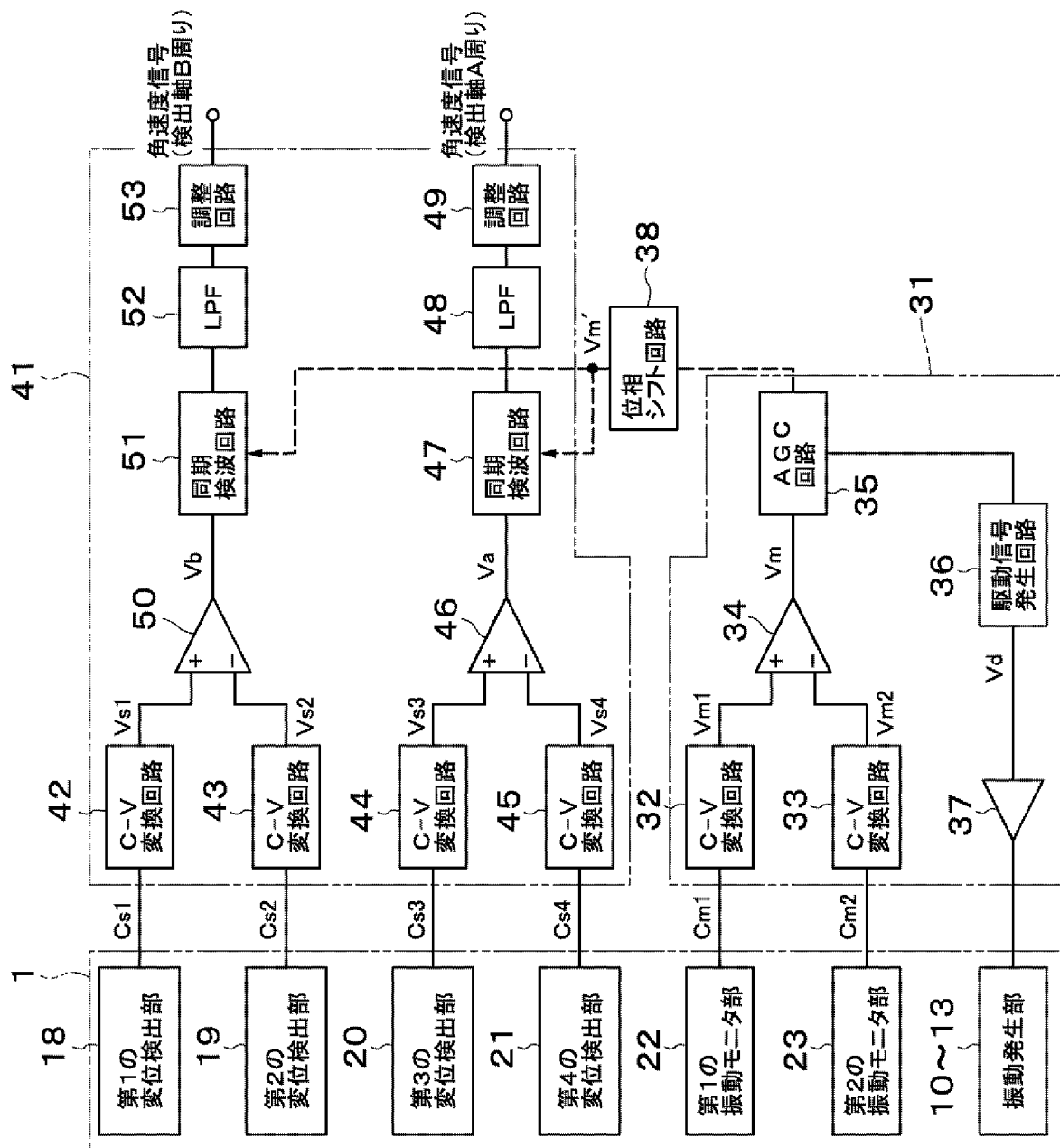
[図7]



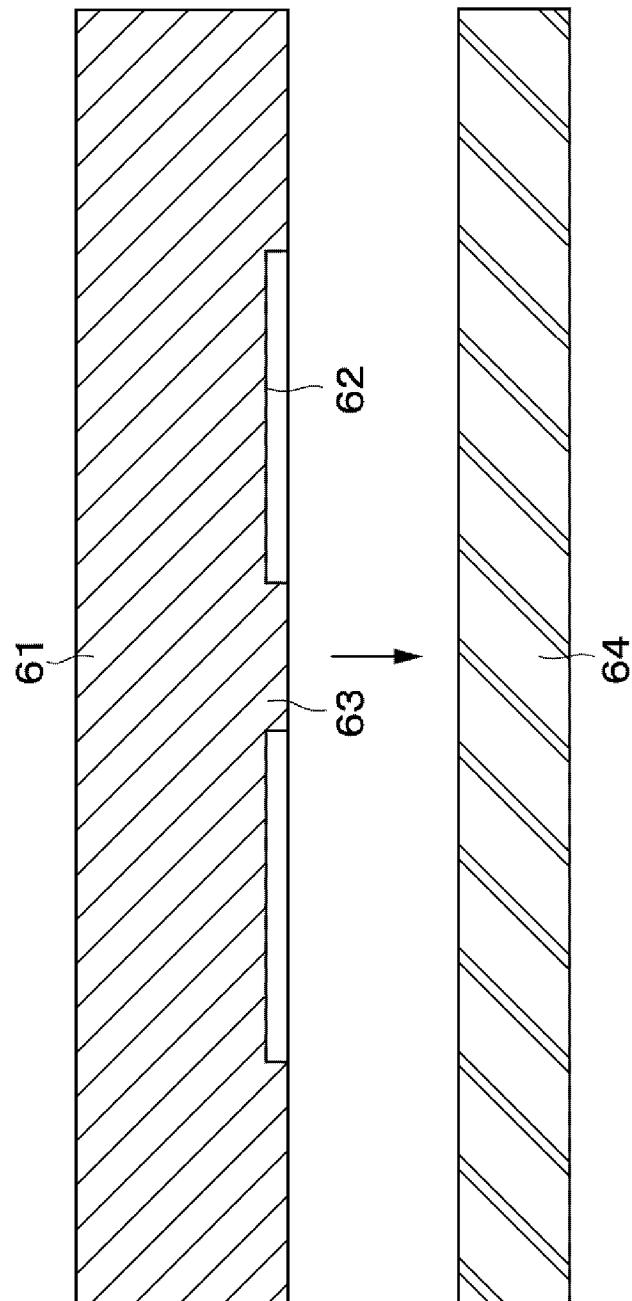
[図9]



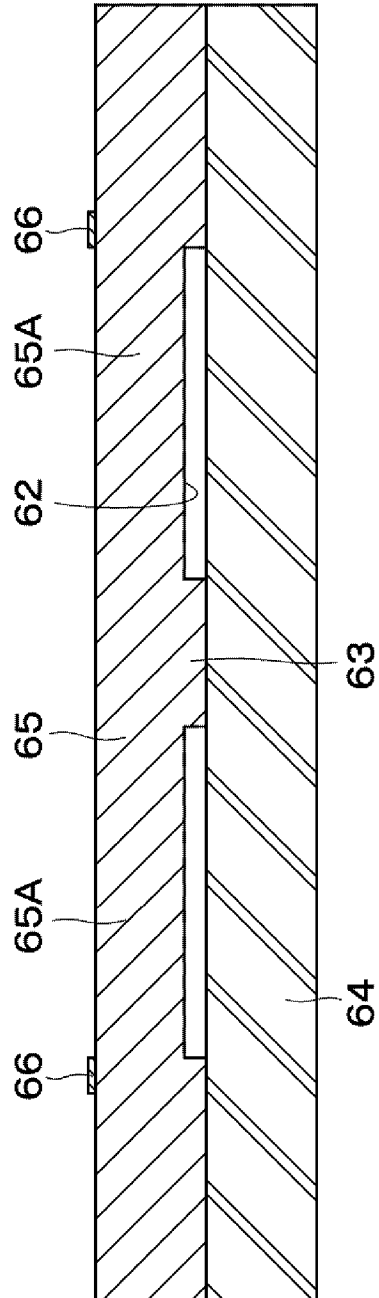
[図10]



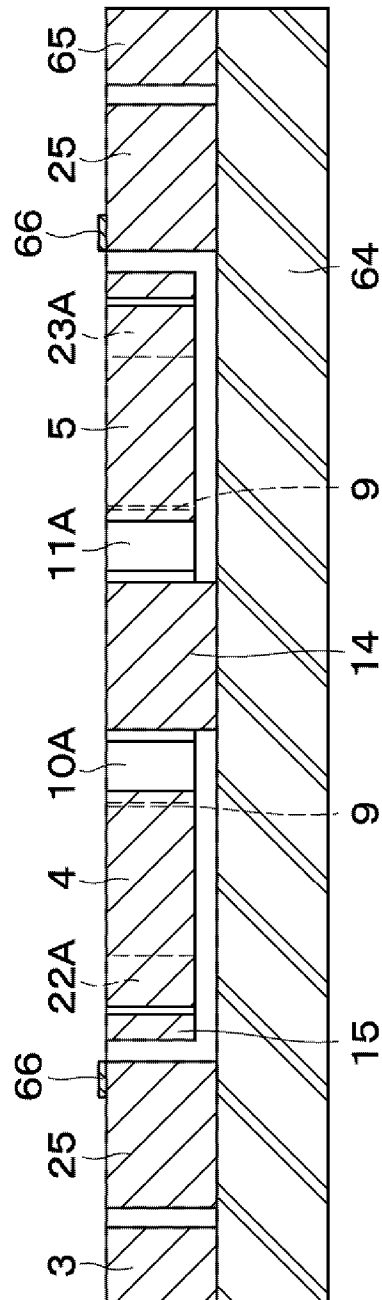
[図11]



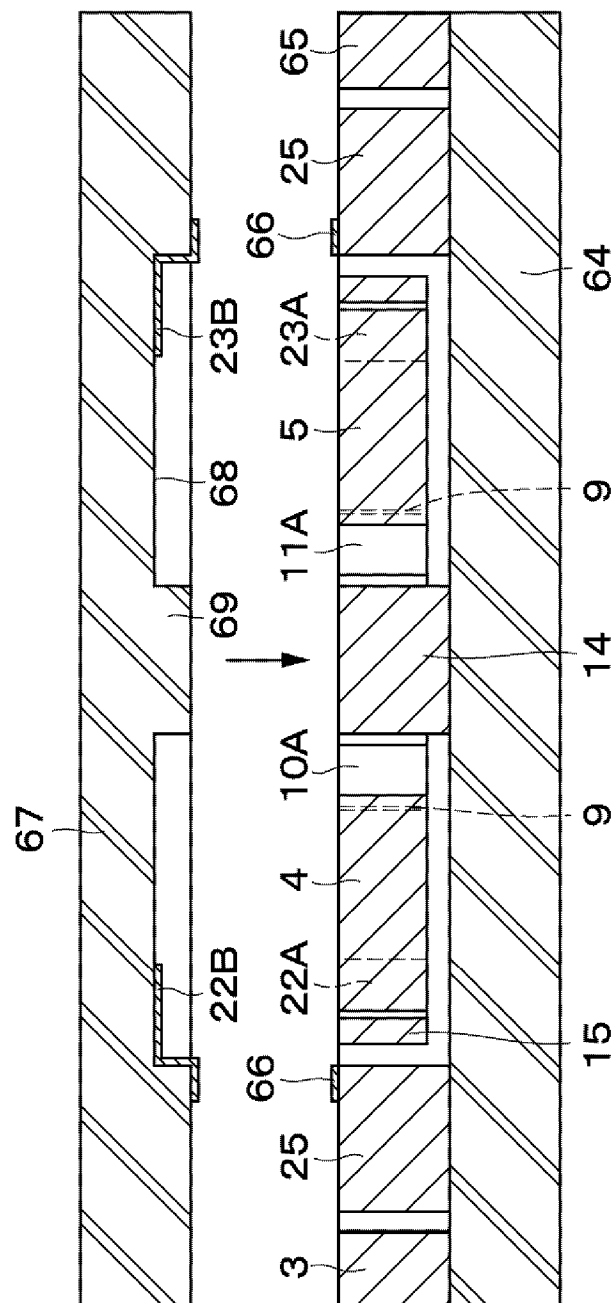
[図12]



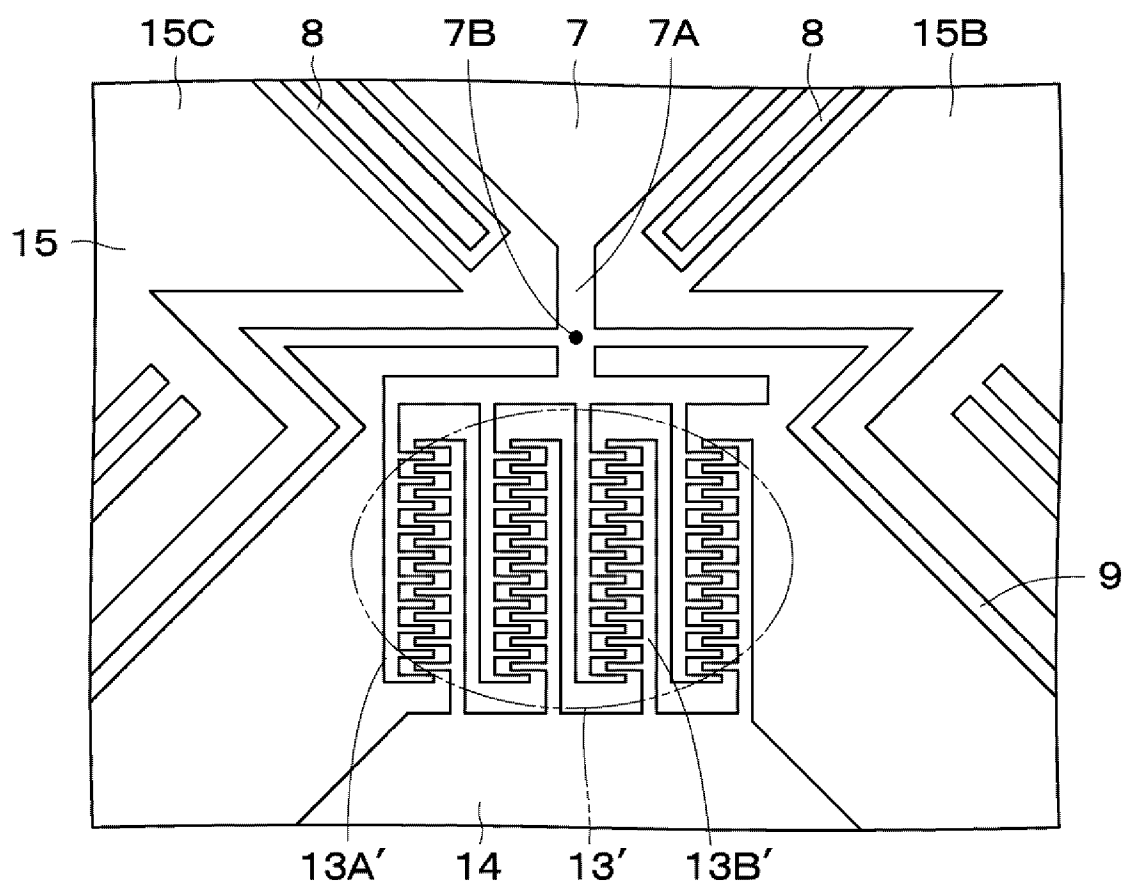
[図13]



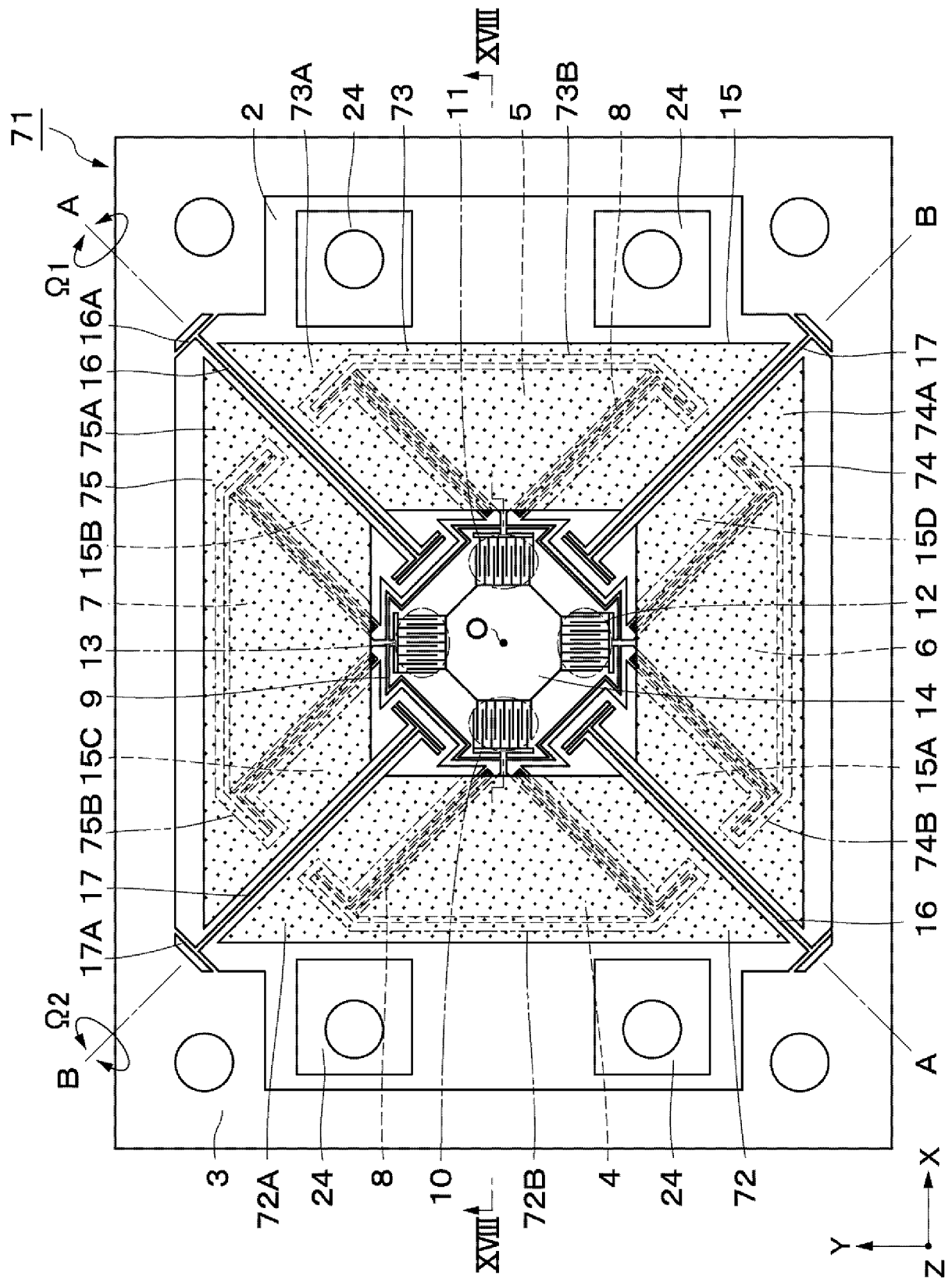
[図14]



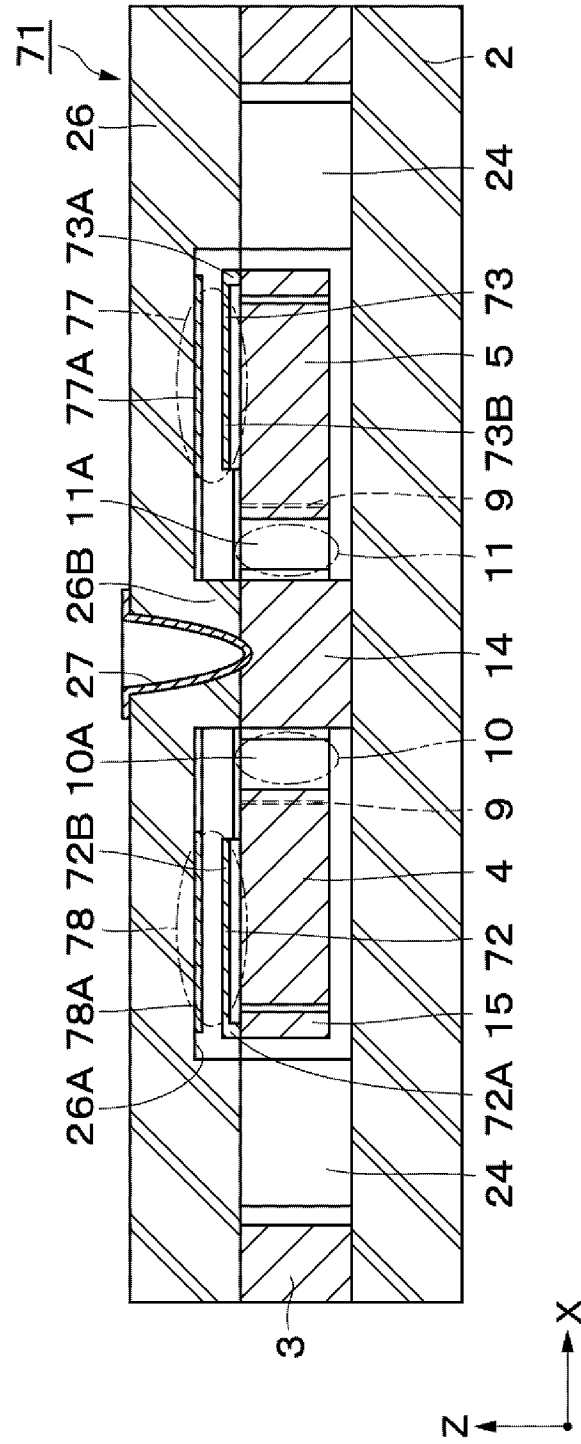
[図15]



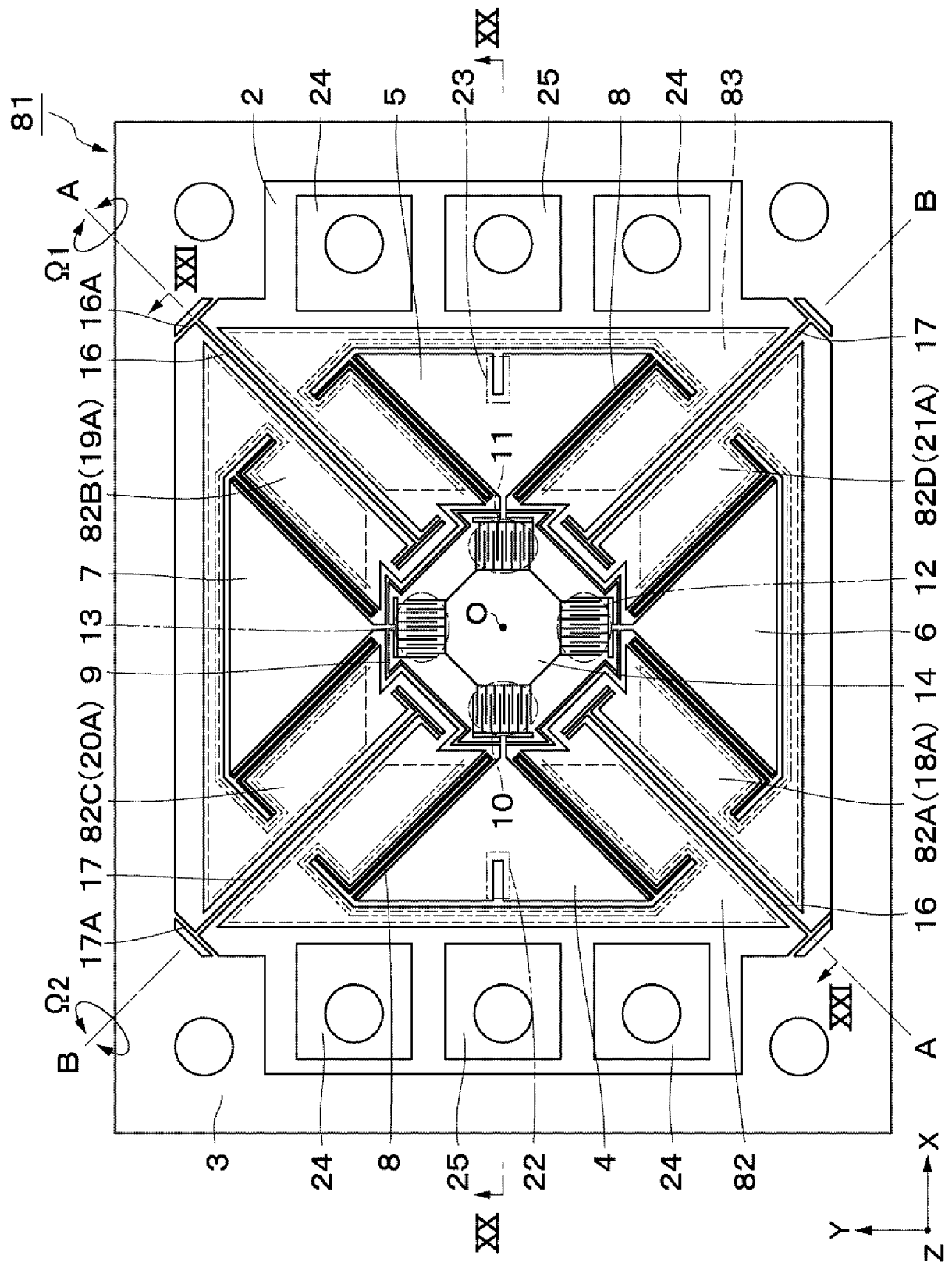
[図16]



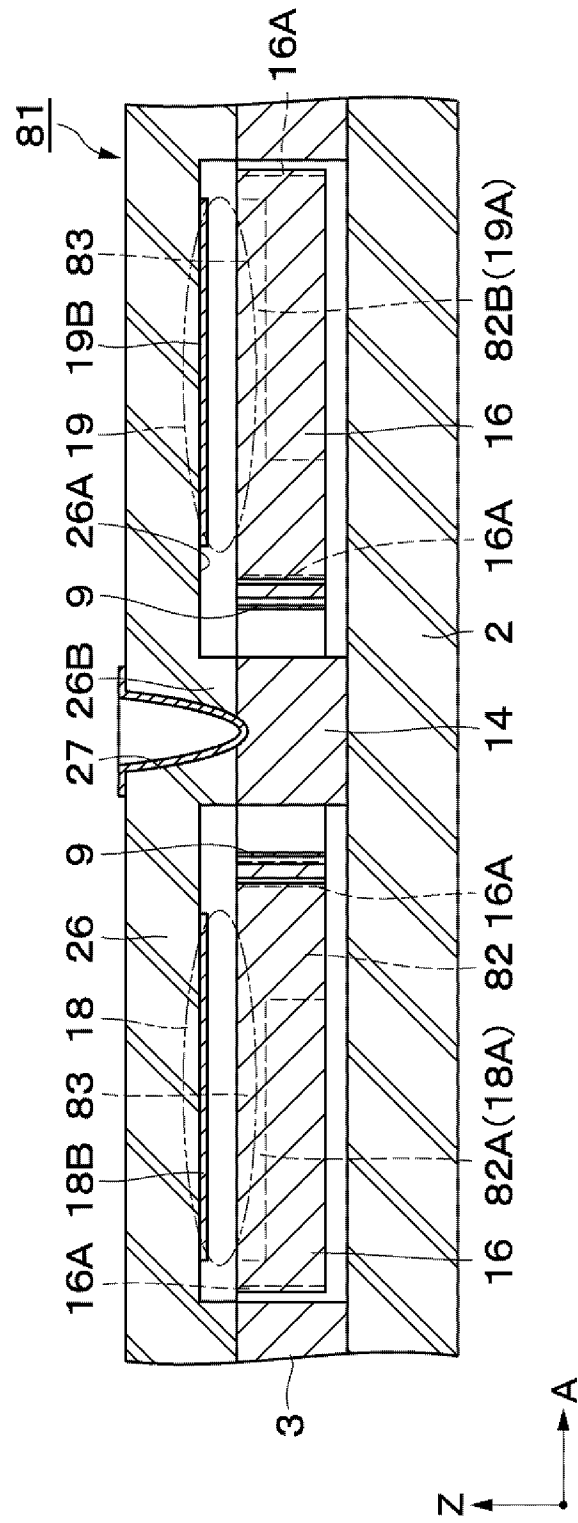
[図18]



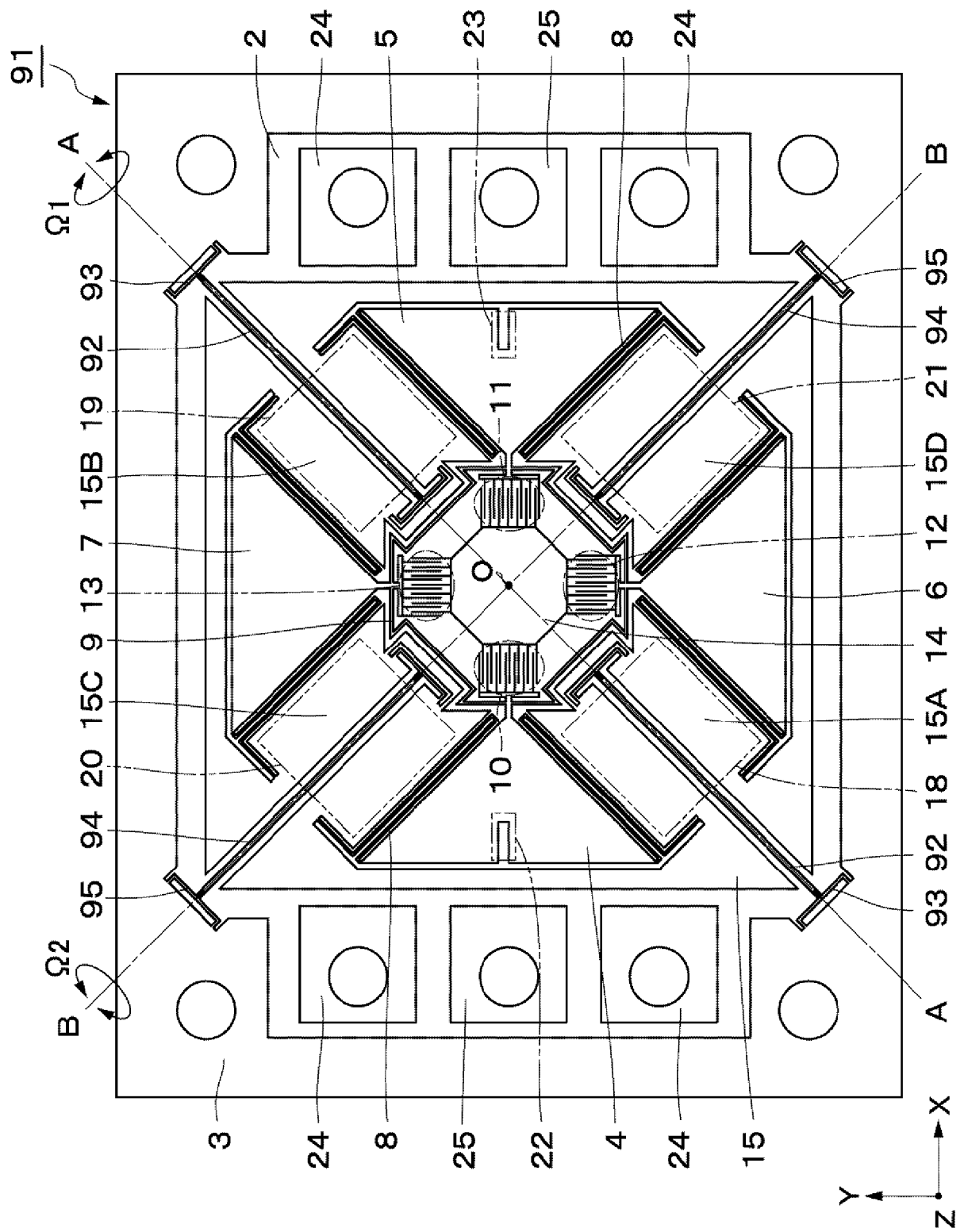
[図19]



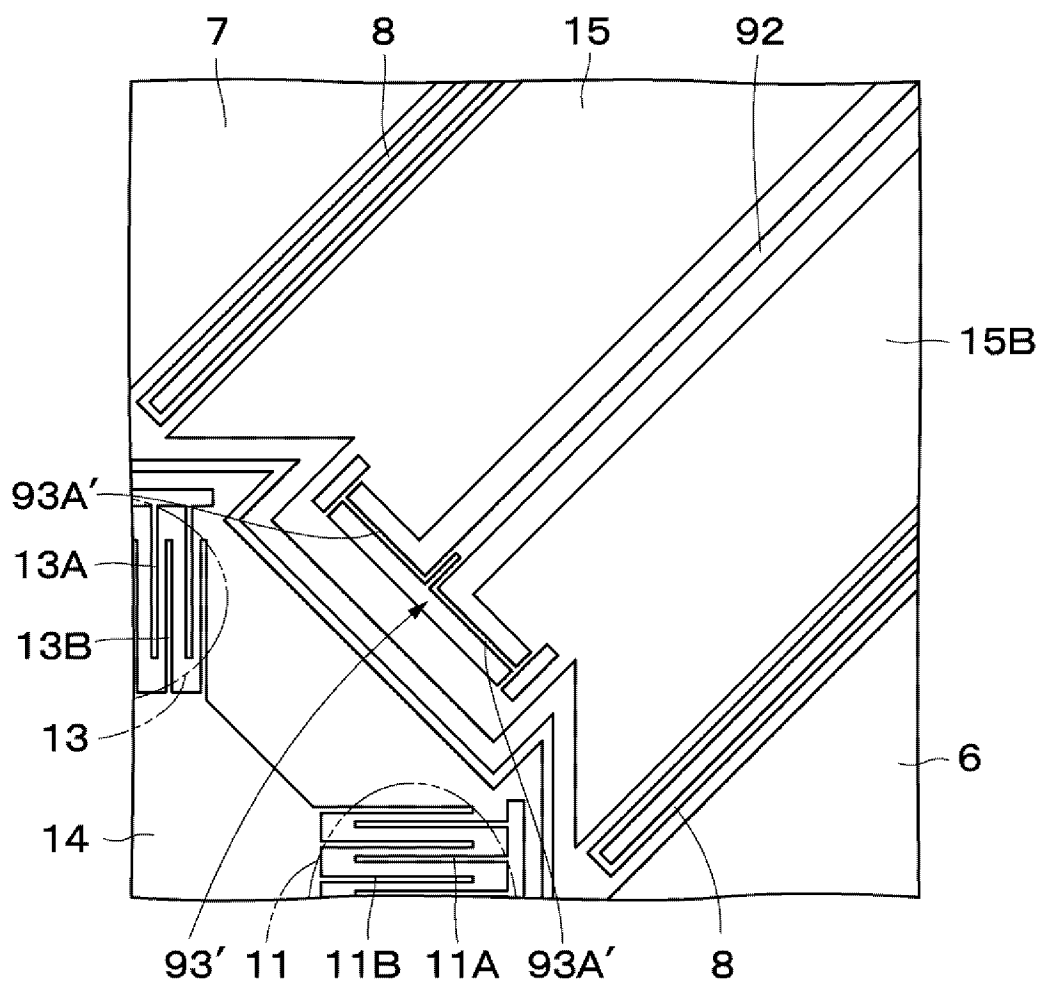
[図21]



[図22]



[図25]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/072037

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01C19/56(2006.01) i, G01P9/04(2006.01) i, H01L29/84(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01C19/56, G01P9/04, H01L29/84

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2009

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2009 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 11-183179 A (Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc.), 09 July, 1999 (09.07.99), Par. Nos. [0042] to [0044]; Figs. 8 to 10 & US 6158280 A	1-8
Y	JP 10-239347 A (Japan Aviation Electronics Industry Ltd.), 11 September, 1998 (11.09.98), Par. No. [0027]; Figs. 1, 3 (Family: none)	1-8
Y	US 2006/0272411 A1 (Cenk Acar), 07 December, 2006 (07.12.06), Par. Nos. [0037] to [0057]; Figs. 6 to 9 & EP 1899734 A & WO 2006/132773 B	1-8



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

03 March, 2009 (03.03.09)

Date of mailing of the international search report

10 March, 2009 (10.03.09)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/072037

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2004-354109 A (Matsushita Electric Works, Ltd.), 16 December, 2004 (16.12.04), Par. Nos. [0002] to [0004]; Figs. 6 to 7 (Family: none)	3, 4
Y	JP 2006-250850 A (Japan Aviation Electronics Industry Ltd.), 21 September, 2006 (21.09.06), Par. No. [0017]; Fig. 10 (Family: none)	5
Y	US 5203208 A (Jonathan J. Bernstein), 20 April, 1993 (20.04.93), Column 2, lines 44 to 49; Fig. 1 (Family: none)	8
A	JP 2007-271611 A (ST Microelectronics S.r.l.), 18 October, 2007 (18.10.07), Full text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2000-509812 A (Hahn-Schickard-Gesellschaft fuer Angewandten Forschung Eingetragener Verein), 02 August, 2000 (02.08.00), Full text; all drawings & US 2007/0214883 A1 & EP 1832841 A1	1-8
A	JP 2000-180177 A (Mitsumi Electric Co., Ltd.), 30 June, 2000 (30.06.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 2006-153798 A (Denso Corp.), 15 June, 2006 (15.06.06), Full text; all drawings & US 2006/0112764 A1 & DE 102005051048 A & KR 10-2006-0061218 A & CN 1782713 A	1-8
A	US 5955668 A (Irvine Sensors Corp.), 21 September, 1999 (21.09.99), Full text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 7-91958 A (Canon Inc.), 07 April, 1995 (07.04.95), Full text; all drawings (Family: none)	1-8
A	JP 10-89968 A (Murata Mfg. Co., Ltd.), 10 April, 1998 (10.04.98), Par. No. [0036] (Family: none)	5

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. G01C19/56(2006.01)i, G01P9/04(2006.01)i, H01L29/84(2006.01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. G01C19/56, G01P9/04, H01L29/84			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 日本国公開実用新案公報 日本国実用新案登録公報 日本国登録実用新案公報 1 9 2 2－1 9 9 6 年 1 9 7 1－2 0 0 9 年 1 9 9 6－2 0 0 9 年 1 9 9 4－2 0 0 9 年			
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示		関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 11-183179 A(株式会社豊田中央研究所) 1999.07.09, 段落【0042】－【0044】、第8－10図 & US 6158280 A		1-8
Y	JP 10-239347 A(日本航空電子工業株式会社) 1998.09.11, 段落【0027】、第1, 3図（ファミリーなし）		1-8
Y	US 2006/0272411 A1(Cenk Acar) 2006.12.07, 段落【0037】 －【0057】、第6－9図 & EP 1899734 A & WO 2006/132773 B		1-8
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願			
国際調査を完了した日 0 3 . 0 3 . 2 0 0 9		国際調査報告の発送日 1 0 . 0 3 . 2 0 0 9	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / J P） 郵便番号 1 0 0－8 9 1 5 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官（権限のある職員） 谷口 智利 電話番号 0 3－3 5 8 1－1 1 0 1 内線 3 2 5 8	2 S 3 4 0 5

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2004-354109 A(松下電工株式会社) 2004. 12. 16, 段落【0002】 －【0004】，第6－7図（ファミリーなし）	3, 4
Y	JP 2006-250850 A(日本航空電子工業株式会社) 2006. 09. 21, 段落【0017】，第10図（ファミリーなし）	5
Y	US 5203208 A(Jonathan J. Bernstein) 1993. 04. 20, 第2欄第44－ 49行，第1図（ファミリーなし）	8
A	JP 2007-271611 A(エスティーマイクロエレクトロニクス エス. ア ール. エル.) 2007. 10. 18, 全文全図(ファミリーなし)	1-8
A	JP 2000-509812 A(ハーナーシッカートーゲゼルシャフト ファ ア アンゲワンテ フォルシュンク アインゲトラーゲナー フェライ ン) 2000. 08. 02, 全文全図 & US 2007/0214883 A1 & EP 1832841 A1	1-8
A	JP 2000-180177 A(ミツミ電機株式会社) 2000. 06. 30, 全文全図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 2006-153798 A(株式会社デンソー) 2006. 06. 15, 全文全図 & US 2006/0112764 A1 & DE 102005051048 A & KR 10-2006-0061218 A & CN 1782713 A	1-8
A	US 5955668 A(Irvine Sensors Corporation) 1999. 09. 21, 全文全図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 7-91958 A(キヤノン株式会社) 1995. 04. 07, 全文全図 (ファミリーなし)	1-8
A	JP 10-89968 A(株式会社村田製作所) 1998. 04. 10, 段落【0036】 (ファミリーなし)	5