

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 12 月 11 日(11.12.2014)



(10) 国際公開番号

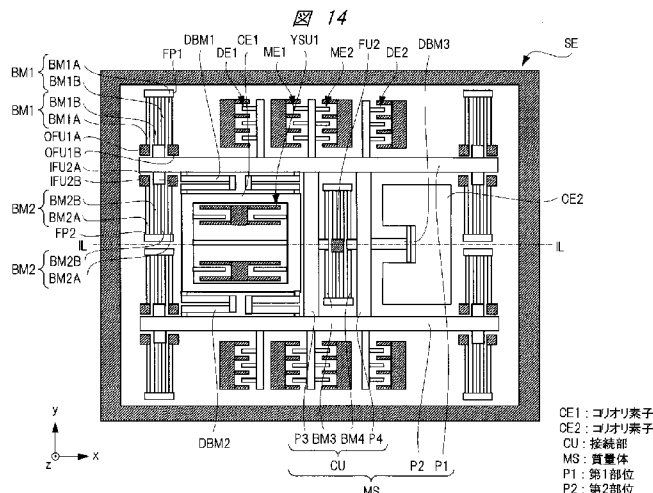
WO 2014/196221 A1

- (51) 国際特許分類:
G01C 19/5762 (2012.01) G01C 19/5747 (2012.01)
B81B 3/00 (2006.01) H01L 29/84 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/052202
- (22) 国際出願日: 2014 年 1 月 31 日(31.01.2014)
- (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 2013-120738 2013 年 6 月 7 日(07.06.2013) JP
- (71) 出願人: 日立オートモティブシステムズ株式会社 (HITACHI AUTOMOTIVE SYSTEMS, LTD.)
[JP/JP]; 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場 2 5 2 0 番地 Ibaraki (JP).
- (72) 発明者: 鄭 希元(JEONG, Heewon); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP). 林 雅秀(HAYASHI, Masahide); 〒3128503 茨城県ひたちなか市高場 2 5 2 0 番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内 Ibaraki (JP). 山中 聖子(YAMANAKA, Kiyoko); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 井上 学, 外(INOUE, Manabu et al.); 〒1008220 東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 1 号 株式会社日立製作所内 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, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, 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, IR, IS, KE, KG, 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, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: ANGULAR VELOCITY SENSOR

(54) 発明の名称: 角速度センサ



CE1 Coriolis element
CE2 Coriolis element
CU Connection section
MS Mass body
P1 First portion
P2 Second portion

(57) Abstract: Provided is a multi-axis angular velocity sensor configured so that control circuits are simplified, manufacturing steps are simplified, and so that the sensor is unlikely to suffer from fluctuations in characteristics arising due to fluctuations in the surrounding environment. A mass body (MS), a Coriolis element (CE1), and a Coriolis element (CE2) are formed in the same device layer. The device layer is disposed above the front surface of the substrate so as to be parallel with the back surface of the substrate. The mass body (MS) has a first portion (P1) which extends in an excitation direction, a second portion (P2) which is spaced apart from the first portion (P1) and extends in the excitation direction, and a connection section (CU) for linking the first portion (P1) and second portion (P2). In plan view, the Coriolis element (CE1) and the Coriolis element (CE2) are disposed so as to sandwich the connection section (CU).

(57) 要約: 多軸の角速度センサに着目して、制御回路の簡素化や製造工程の簡素化や周辺環境の変動に起因する特性変動を受けにくい多軸の角速度センサを提供する。質量体MSとコリオリ素子CE1とコリオリ素子CE2は、同一のデバイス層に形成され、デバイス層は、基板の裏面と並行するように、基板の表面の上方に配置されている。さらに、質量体MSは、励振方向に延在する第1部位P1、第1部位P1と離間しながら励振方向に延在する第2部位P2、第1部位P1と第2部位P2とを連結する接続部CUを含み、平面視において、コリオリ

素子CE1とコリオリ素子CE2は、接続部CUを挟むように配置されている。



(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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：角速度センサ

技術分野

[0001] 本発明は、半導体微細加工技術により形成される微小電気機械システム（MEMS：Micro Electro Mechanical Systems）に関し、例えば、微小電気機械システムの1つである角速度センサに適用して有効な技術に関する。

背景技術

[0002] 角速度センサ（ジャイロ）の方式には、回転体の歳差運動を利用する機械式、筐体内で周回するレーザー光の筐体回転に伴う受光タイミング変化を利用する光学式、筐体内でセンシング用のガスを熱線に噴射し、その噴射量が筐体の回転により変化するのを熱線温度で検知する流体式などが知られている。

[0003] 一方、カーナビゲーションや車の横滑り防止システム、二足歩行ロボットや一輪乗り物等のバランス制御システム等における車両方向や姿勢検知用の角速度センサの需要が近年急速に高まっている。これらの用途に使用される角速度センサとしては、上述した各方式と比較してより安価で軽量かつ小型な振動式の角速度センサ（例えば、特許文献1参照）が主流となりつつある。振動式の角速度センサは、予め定められた基準方向（励振方向）に振動する励振素子（振動子）に角速度が作用したとき、励振方向と直交する検出方向へのコリオリ力に基づく新たな振動成分を検出し、この振動成分に基づいて角速度を検出するものである。この振動式の角速度センサは、現在では様々な用途に使用されている。

[0004] 例えば、カーナビゲーションシステムの場合、GPS（Global Positioning System）による現在位置のモニタリングは、車両のマクロな進行方向の変化を検知することはできても、交差点などにおける急激な方向変化には追従できないことから、車両の旋回運動を角速度の形で検知し、その角速度の時間的な積分値により方向転換角度をトレースすることが行なわれている。

- [0005] また、別の例として、車の横滑り防止システムの場合、ハンドルに装着されている操舵角センサの値（指令値）と横滑り防止システムに組み込まれている角速度センサの出力値（実測値）を比較することで車の横滑りを判定し、その結果に基づいて、エンジン出力や四輪それぞれの制動力を制御することで車体の横滑りを防止することが行なわれている。
- [0006] さらに、別の例として、車の横転検知システムの場合、車の横転を検知するシステムに組み込まれている角速度センサと、重力の方向を測定する加速度センサの出力値から車の横転を判定し、その結果に基づいて、エアバックを作動させ、さらに、燃料の供給も停止することで2次的な事故を防ぐことが行なわれている。
- [0007] また、別の例として、車の配光制御システムの場合、車体に組み込まれている加速度センサおよび角速度センサからの情報より車体の姿勢を判定し、より広い視野を確保できるようにヘッドライトの上下および左右の角度を調整することが行なわれている。
- [0008] さらに、別の例として、一輪乗り物や二足歩行ロボットのバランス制御システムの場合、姿勢が崩れないように常時バランスを制御する必要がある。また、風や、傾斜、積荷等によって回転や重心の移動が発生した場合には、角速度センサや加速度センサを用いることで回転や重心移動を計測し、回転方向に車輪を動かす、若しくは、重心が移動した方向のアクチュエータにより強い力を発生させることでバランスを制御することが行なわれている。
- [0009] 上述した用途においては、それぞれ異なる検出方向の角速度を測定する必要がある。例えば、車の横滑り防止システムでは、地面から垂直となる垂直軸周りの回転を検知する必要がある一方、横転検知システムでは、地面と水平となる水平軸周りの回転を検知しなければならない。さらに、配光制御システムにおいても、ヘッドライトの左右の角度を制御するためには地面から垂直となる垂直軸周りの回転を検知する必要がある一方、上下の角度を制御するためには、地面と水平となる水平軸周りの回転を検知しなければならない。当然、ロボットのバランス制御システムにおいても、前後の回転と共に

左右の回転も制御する必要があり、異なる検出方向の角速度を検出できる角速度センサが望まれている。

[0010] ここで、特許文献2には、面外方向に変位する励振素子を設けるとともに、面内方向に変位する2つのコリオリ素子において、それぞれ90度向きを変えて配置し、コリオリ素子の変位によって圧電素子に発生する電荷量の変化を検出することにより、2軸方向の角速度を検出できる構成が記載されている。

[0011] 特許文献3には、各コリオリ素子の静電容量の変化を検出し、信号処理を行うことで角速度と同時に加速度も検出できる複合センサの構成が記載されている。

[0012] 特許文献4には、異なる2つの層にそれぞれのコリオリ素子を形成することで複数軸の角速度および加速度を検出できる構成が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0013] 特許文献1：米国特許第4,524,619号

特許文献2：特開平5-333038号公報

特許文献3：特開2007-333467号公報

特許文献4：特開2011-237393号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0014] 上述した例においても同じことが言えるが、ここでは、説明が明確で分かりやすい横滑り防止システムと横転検知システムに組み込まれる角速度センサを例に挙げて説明する。上述したように横滑り防止システムに採用される角速度センサと横転検知システムに採用される角速度センサはその検出方向が異なる。さらに、より正確な姿勢の判定のためには角速度のみならず加速度の情報も必要となる。このため、従来のシステムでは、例えば、それぞれのシステムに独立した角速度センサおよび加速度センサを用いるか、あるい

は、複雑な構成を持つ複合センサを採用することがある。しかし、この場合、各システムの総コストが増大するとともに、複雑な構成に起因する長期信頼性にも課題がある。

[0015] 近年、横滑り防止システムとともに横転検知システムも法規制による標準装着化が進む中、それぞれのシステムに使用される角速度センサおよび加速度センサを1つに統合できれば、システムのコストを削減できると考えられる。

[0016] この点に関し、特許文献2に記載されている圧電素子を使った検出方式では、静的な姿勢を測定することが困難となる。このため、加速度センサは必ず別体とし、測定方式も静電容量方式、若しくは、圧抵抗方式など圧電方式とは異なる方式を採用する必要がある。

[0017] また、特許文献3に記載されている複合センサの構成では、角速度と同時に加速度も測定することができるが、異なる軸回りの角速度には対応できない。さらに、この構成の複合センサを同じ基板上に2つ形成することにより、異なる方向の加速度および角速度を検出することは可能となるが、2つの励振素子を持つこととなり、制御回路の構成が複雑となる。

[0018] また、特許文献4に記載されている複合センサの構成では、2つの角速度、若しくは、加速度を検出することができる。ところが、特許文献4に記載されている構成では、各検出方向に対応するコリオリ素子が異なる層に形成されており、製造工程の複雑さに起因する歩留まり低下やコストの増大が懸念される。さらに、特許文献4に記載されている構成では、それぞれのコリオリ素子において、面内変位には、屈曲する梁が採用される一方、面外変位には、ねじれる梁が採用されている。このため、周辺温度の変動による感度誤差が大きくなることも懸念される。

[0019] 本発明の目的は、異なる軸回りの角速度を検出することができる多軸の角速度センサと加速度センサを含む複合センサを実現するにあたって、特に、多軸の角速度センサに着目して、制御回路の簡素化や製造工程の簡素化や周辺環境の変動に起因する特性変動を受けにくい多軸の角速度センサを提供す

ることにある。なお、本明細書では、異なる軸回りの角速度を検出できる角速度センサを「多軸の角速度センサ」と呼ぶことにする。

[0020] その他の課題と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

課題を解決するための手段

[0021] 一実施の形態における角速度センサは、（a）励振方向と前記励振方向に直交する第1検出方向とを面内に含む裏面を有する基板、（b）前記基板の前記裏面とは反対側の表面に固定された第1固定部、（c）第1支持梁を介して前記第1固定部と接続され、かつ、前記励振方向に振動可能な励振素子、を備える。そして、（d）第1検出梁を介して前記励振素子と接続され、かつ、前記第1検出方向に変位可能な第1コリオリ素子、（e）第2検出梁を介して前記励振素子と接続され、かつ、前記励振方向および前記第1検出方向に直交する第2検出方向に変位可能な第2コリオリ素子、を備える。ここで、前記励振素子と前記第1コリオリ素子と前記第2コリオリ素子は、同一のデバイス層に形成され、前記デバイス層は、前記基板の前記裏面と並行するように、前記基板の前記表面の上方に配置されている。

[0022] また、一実施の形態における角速度センサは、励振方向と前記励振方向に直交する第1検出方向とを面内に含む裏面を有する基板上に形成された第1センサエレメントと第2センサエレメントとを含む。そして、前記第1センサエレメントおよび前記第2センサエレメントのそれぞれは、（a）前記基板の前記裏面とは反対側の表面に固定された第1固定部、（b）第1支持梁を介して前記第1固定部と接続され、かつ、前記励振方向に振動可能な励振素子、を備える。さらに、（c）第1梁を介して前記励振素子と接続され、かつ、前記第1検出方向に変位可能な第1コリオリ素子、（d）第2梁を介して前記励振素子と接続され、かつ、前記励振方向および前記第1検出方向に直交する第2検出方向に変位可能な第2コリオリ素子、を備える。ここで、前記励振素子と前記第1コリオリ素子と前記第2コリオリ素子は、同一のデバイス層に形成され、前記デバイス層は、前記基板の前記裏面と並行する

ように、前記基板の前記表面の上方に配置される。また、前記第1センサエレメントの前記励振素子と、前記第2センサエレメントの前記励振素子は、互いにリンク梁で接続されている。

発明の効果

[0023] 一実施の形態によれば、多軸の角速度センサにおいて、制御回路の簡素化を図ることができる。また、一実施の形態によれば、多軸の角速度センサにおいて、製造工程の簡素化を図ることができる。また、一実施の形態によれば、周辺環境の変動に起因する特性変動を受けにくい多軸の角速度センサを実現することができる。

図面の簡単な説明

[0024] [図1] x 方向、 y 方向および z 方向のそれぞれと自動車の位置関係を示す模式図である。

[図2] 実施の形態1における角速度センサの全体構成を示す断面図である。

[図3] 実施の形態1におけるセンサエレメントの断面構成を示す模式図である。
。

[図4] 実施の形態1におけるセンサエレメントの製造工程を示す断面図である。
。

[図5] 実施の形態1におけるセンサエレメントの製造工程を示す断面図である。
。

[図6] 実施の形態1におけるセンサエレメントの製造工程を示す断面図である。
。

[図7] 実施の形態1におけるセンサエレメントの製造工程を示す断面図である。
。

[図8] 実施の形態1におけるセンサエレメントの製造工程を示す断面図である。
。

[図9] 実施の形態1におけるセンサエレメントの製造工程を示す断面図である。
。

[図10] 実施の形態1におけるセンサエレメントの製造工程を示す断面図であ

る。

[図11]実施の形態1におけるセンサエレメントの製造工程を示す断面図である。

[図12]実施の形態1におけるセンサエレメントの製造工程を示す断面図である。

[図13]実施の形態1におけるセンサエレメントの製造工程を示す断面図である。

[図14]実施の形態1におけるセンサエレメントの平面構成を示す模式図である。

[図15]実施の形態1における角速度センサの動作を説明する図である。

[図16]変形例における角速度センサの平面構成を示す図である。

[図17]実施の形態2におけるセンサエレメントの平面構成を示す図である。

[図18] (a) は、屈曲による変位する屈曲梁を示す模式図であり、(b) は、ねじれにより変位するねじれ梁を示す模式図である。

[図19]固有振動数の温度依存性を説明するためのグラフである。

発明を実施するための形態

[0025] 以下の実施の形態においては便宜上その必要があるときは、複数のセクションまたは実施の形態に分割して説明するが、特に明示した場合を除き、それらはお互いに無関係なものではなく、一方は他方の一部または全部の変形例、詳細、補足説明等の関係にある。

[0026] また、以下の実施の形態において、要素の数等（個数、数値、量、範囲等を含む）に言及する場合、特に明示した場合および原理的に明らかに特定の数に限定される場合等を除き、その特定の数に限定されるものではなく、特定の数以上でも以下でもよい。

[0027] さらに、以下の実施の形態において、その構成要素（要素ステップ等を含む）は、特に明示した場合および原理的に明らかに必須であると考えられる場合等を除き、必ずしも必須のものではないことは言うまでもない。

[0028] 同様に、以下の実施の形態において、構成要素等の形状、位置関係等に言

及するときは、特に明示した場合および原理的に明らかにそうではないと考えられる場合等を除き、実質的にその形状等に近似または類似するもの等を含むものとする。このことは、上記数値および範囲についても同様である。

[0029] また、実施の形態を説明するための全図において、同一の部材には原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。なお、図面をわかりやすくするために平面図であってもハッチングを付す場合がある。

[0030] (実施の形態1)

角速度センサは、例えば、 x 方向（駆動方向）に常に駆動振動している励振素子である質量体において、この質量体が駆動振動している x 方向と直交する z 方向回りに角速度（回転）が印加された場合、 x 方向に駆動振動している質量体が、 x 方向および z 方向に直交する y 方向（検出方向）に、外部から印加された角速度に比例した大きさを振動するコリオリ現象を利用して角速度を検出するセンサである。特に、本実施の形態1における角速度センサは、それぞれ異なる検出方向の角速度を測定することを想定している。すなわち、本実施の形態1における技術的思想は、 z 方向回りの角速度だけでなく、 y 方向回りの角速度も検出することができる多軸の角速度センサに関するものである。このような多軸の角速度センサは、例えば、横滑り防止システムと横転検知システムの両方を搭載した自動車に使用される。

[0031] 図1は、 x 方向、 y 方向および z 方向のそれぞれと自動車CARの位置関係を示す模式図である。図1に示すように、例えば、自動車CARの側面と垂直な方向を x 方向と定義し、自動車CARの進行方向と並行する方向を y 方向と定義する。また、自動車CARの上面と垂直な方向を z 方向と定義することにする。図1において、自動車CARの横滑り防止システムでは、地面から垂直となる z 方向周りの回転を検知することになる一方、自動車CARの横転検知システムでは、地面と水平となる y 方向周りの回転を検知することになる。以下に示す実施の形態1では、 y 方向回りの角速度と z 方向回りの角速度とを検出する多軸の角速度センサについて説明することにする。

[0032] <実施の形態1における角速度センサの全体構成>

まず、本実施の形態１における角速度センサの全体構成について、図面を参照しながら説明する。図２は、本実施の形態１における角速度センサＳ１の全体構成を示す断面図である。図２に示すように、本実施の形態１における角速度センサＳ１は、リードＬＤと同じ構成材料から形成されたチップ搭載部ＴＡＢ上に、接着材ＡＤＨ１を介して半導体チップＣＨＰ１が搭載されている。そして、この半導体チップＣＨＰ１上には、接着材ＡＤＨ２を介して、センサエレメントＳＥが搭載されている。

[0033] このとき、半導体チップＣＨＰ１には、例えば、ＭＩＳＦＥＴ（Metal Insulator Semiconductor Field Effect Transistor）などに代表される半導体素子や多層配線からなる集積回路が形成されている。一方、センサエレメントＳＥには、半導体微細加工技術を使用することにより、例えば、多軸の角速度センサを構成する構造体が形成されている。つまり、本実施の形態１における角速度センサＳ１は、集積回路が形成された半導体チップＣＨＰ１と、多軸の角速度センサＳ１を構成する構造体が形成されたセンサエレメントＳＥを有し、半導体チップＣＨＰ１とセンサエレメントＳＥを電氣的に接続することにより、多軸の角速度センサＳ１が構成されていることになる。

[0034] したがって、例えば、センサエレメントＳＥと半導体チップＣＨＰ１は、例えば、図２に示すように、金属線からなるワイヤＷ１で電氣的に接続され、半導体チップＣＨＰ１とリードＬＤは、例えば、金属線からなるワイヤＷ２で電氣的に接続されている。

[0035] これにより、センサエレメントＳＥに形成されている構造体において、励振素子が振動した状態で角速度が印加されると、角速度に起因したコリオリ素子の変位が生じるとともに、センサエレメントＳＥ内に設けられた角速度検出部で、このコリオリ素子の変位を電気容量の変化として捉えるようになっている。そして、センサエレメントＳＥ内の角速度検出部で検出された電気容量の変化は、センサエレメントＳＥとワイヤＷ１で電氣的に接続されている半導体チップＣＨＰ１へ出力され、半導体チップＣＨＰ１内に形成されている信号処理回路で信号処理される。その後、半導体チップＣＨＰ１とワ

イヤW2で電氣的に接続されているリードLDへ角速度信号が出力されるようになっている。

[0036] さらに、本実施の形態1における角速度センサS1では、センサエレメントSE、半導体チップCHP1、ワイヤW1、ワイヤW2、および、リードLDの一部が、例えば、熱硬化性樹脂からなる樹脂MRで封止されている。このように構成されている本実施の形態1における角速度センサS1は、例えば、横滑り防止システムと横転検知システムに代表される上位のシステムに組み込まれ、検出した角速度信号を上位システムに供給するように構成されている。

[0037] <実施の形態1におけるセンサエレメントの断面構成>

続いて、本実施の形態1におけるセンサエレメントSEの断面構成について説明する。図3は、本実施の形態1におけるセンサエレメントSEの断面構成を示す模式図である。図3において、本実施の形態1におけるセンサエレメントSEは、例えば、酸化シリコン膜からなる絶縁膜1aが形成された基板1Sを有し、シリコンからなる基板1Sの表面には溝DITが形成されている。この基板1Sは、励振方向であるx方向と励振方向と直交する第1検出方向であるy方向とを面内に含む裏面を有し、かつ、x方向およびy方向と直交するz方向を厚さ方向としている。そして、この基板1Sの表面上に、例えば、シリコン層からなるデバイス層DLが形成されている。このデバイス層DLもx方向とy方向を含む平面を有している。すなわち、デバイス層DLは、基板1Sの裏面と並行するように、基板1Sの表面の上方に配置されている。このデバイス層DLには、例えば、図3に示すように、コリオリ素子CE1、コリオリ素子CE2、梁BMおよび固定部FUが形成されている。つまり、本実施の形態1におけるセンサエレメントSEにおいては、コリオリ素子CE1、コリオリ素子CE2、梁BMおよび固定部FUが同一のデバイス層DLに形成されていることになる。そして、コリオリ素子CE1、コリオリ素子CE2および梁BMは、空間SP上に懸架されるように配置される一方、固定部FUは絶縁膜1aを介して基板1Sの表面に固定さ

れている。

[0038] さらに、図3において、デバイス層DL上には、キャップCAPが配置されている。このキャップCAPと基板1Sの間には空間SPが設けられており、この空間SPの内部にコリオリ素子CE1、コリオリ素子CE2、梁BMおよび固定部FUが形成されているデバイス層DLが配置されていることになる。そして、キャップCAPには、貫通ビア（プラグ）VAが形成されており、この貫通ビアVAは、例えば、デバイス層DLに形成された固定部と接続されている。

[0039] また、キャップCAPには、角速度検出部YSU2を構成する固定電極FEが形成されており、この固定電極FEとコリオリ素子CE2によって静電容量素子からなる角速度検出部YSU2が構成されることになる。つまり、本実施の形態1においては、コリオリ素子CE2は、y方向回りの角速度が印加された場合に、コリオリ力によってz方向に変位するように構成されており、このz方向の変位を角速度検出部YSU2によって静電容量値の変化として捉えるように構成されていることになる。このように、本実施の形態1において、y方向回りの角速度を検出する角速度検出部YSU2は、z方向に変位するコリオリ素子CE2の外部に設けられていることになる。

[0040] そして、キャップCAPの上面には、パターニングされた絶縁膜IF1が形成されており、例えば、この絶縁膜IF1を貫通して、キャップCAPに形成された貫通ビアVAと接続するとともに、絶縁膜IF1上にわたってパッドPD1が配置されている。また、キャップCAPの上面に形成されている絶縁膜IF1を貫通して、キャップCAPと接続するとともに、絶縁膜IF1上にわたってパッドPD2も配置されている。

[0041] <実施の形態1におけるセンサエレメントの製造方法>

本実施の形態1におけるセンサエレメントSEは上記のように断面構成されており、以下に、断面図を使用して、本実施の形態1におけるセンサエレメントSEの製造方法について説明することにする。

[0042] 本実施の形態1における角速度センサS1のセンサエレメントSEの各構

成要素は、半導体製造技術を用いることにより形成される。センサエレメント S E の形成に使用される代表的な半導体製造技術としては、基板上に光や電子ビームなどに反応するレジスト膜を塗布した後、紫外線などの光や電子ビームを照射することにより、レジスト膜を変質させて除去することで微細なパターンを形成するフォトリソグラフィ技術がある。また、代表的な半導体製造技術には、フォトリソグラフィ技術によって形成されたレジスト膜の開口部の底部に露出する酸化シリコン膜やシリコンなどの材料をフッ酸もしくは T M A H や K O H などのアルカリ性薬品で除去するウェットエッチング技術がある。さらに半導体製造技術としては、レジスト膜の開口部に露出している酸化シリコン膜やシリコン、アルミニウムなどをそれぞれの材料と反応するガスとプラズマを用いることで除去する R I E (Reactive Ion Etching) などのドライエッチング技術がある。これらを含めた半導体製造技術がこれから説明するセンサエレメント S E の製造工程に使用される。

[0043] 図 4 および図 5 は、センサエレメント S E の構成要素である基板 1 S の製造工程である。まず、図 4 に示すように、基板 1 S は、後述するセンサエレメント S E の固定部と接続されて他の構成要素を支持する機能を有する。この基板 1 S は、例えば、酸化シリコン膜からなる絶縁膜 1 a が形成されたシリコン (S i) 基板より構成される。そして、基板 1 S 上にフォトリソグラフィ技術を使用することにより、図示しないレジスト膜をパターンニングして開口部を形成する。その後、この開口部から露出している絶縁膜 1 a をフッ酸などのガス若しくは液体を用いて除去する。次に、図 5 に示したように、R I E (Reactive Ion Etching) を用いたドライエッチング技術や、T M A H や K O H などのアルカリ性薬品を用いたウェットエッチング技術を駆使することにより、露出する基板 1 S を除去することにより、溝 D I T を形成して空間 S P を形成する。

[0044] この空間 S P の深さは、後述するデバイス層の厚さよりも小さく形成されていることが望ましい。本実施の形態 1 におけるセンサエレメント S E では、例えば、後述するデバイス層の厚さが $40\ \mu\text{m}$ になるように形成し、空間

S Pの深さは $38\mu\text{m}$ になるように形成する。この結果、外部からの振動や衝撃によって、デバイス層に形成される構成要素が面外方向（z方向）に動いたとしても、空間S Pによって、その最大変位が制限されるため、これらの構成要素が固定部上に乗り上げることによって、衝撃などが解消された際に元の状態に回復しなくなる不具合を防ぐことができる。

[0045] 続いて、図6～図8は、基板1 S上にデバイス層を形成し、このデバイス層にセンサエレメントS Eの構成要素を形成する製造工程を説明する図である。まず、図6に示すように、デバイス層と中間絶縁層とハンドル層を構成要素とするS O I（Silicon On Insulator）基板2 Sを基板1 Sに接合する。このとき、限定することではないが、例えば、本実施の形態1では、基板1 SとS O I基板2 Sのそれぞれの表面をプラズマで清浄化した後、純水で洗浄処理することにより水酸基を形成する水素結合法で基板1 SとS O I基板2 Sとを接合する。その後、約 1000°C の熱で加熱することにより、基板1 SとS O I基板2 Sとの結合力を強くしている。

[0046] なお、基板1 SとS O I基板2 Sとを接合する方法は、上述した接合方法に限らず、例えば、基板1 Sをガラス材料としながら、S O I基板2 Sとの間で高電圧を印加することにより基板1 SとS O I基板2 Sとを接合する陽極接合方法や、ガラスフリットや金属の接着材を使用した共有結合を用いることにより、基板1 SとS O I基板2 Sを接合してもよい。もちろん、S O I基板2 S以外でも、単なるシリコン基板を基板1 Sと接合した後、研磨して薄くすることにより、デバイス層を形成してもよい。

[0047] 本実施の形態1におけるセンサエレメントS Eでは、図6に示すように、S O I基板2 Sを基板1 Sに接合している。このとき、本実施の形態1では、S O I基板2 Sを基板1 Sに接合した後、ハンドル層をアルカリ性薬品によるウェットエッチング技術、若しくは、R I Eによるドライエッチング技術で除去する。そして、図7に示すように、フッ酸（HF）溶液を使用することにより、中間絶縁層を除去して、デバイス層D Lだけを残存させる。これにより、基板1 S上にデバイス層D Lを形成することができる。

[0048] 次に、図8に示すように、フォトリソグラフィ技術およびドライエッチング技術を使用することにより、デバイス層DLを加工する。この結果、固定部FU、励振素子（図示されず）、コリオリ素子CE1、コリオリ素子CE2、および、梁BMなどの構成要素を同一のデバイス層DL上に形成することができる。

[0049] 続いて、図9～図11は、キャップCAPを形成する製造工程を説明する図である。この工程で形成されるキャップCAPは、図3に示す励振素子（図示されず）、コリオリ素子CE1、コリオリ素子CE2および角速度検出部YSU2の固定電極FEなどに外部の制御回路(集積回路)からの電気信号を伝達するための電極としての機能を有する。さらに、キャップCAPは、デバイス層DLをキャップCAPと基板1によって上下に挟むような形で配置されることにより、気密な空間SPを形成するチャンバとしての機能も有する。以下に、このような機能を有するキャップCAPの製造工程について説明する。

[0050] まず、図9に示すように、酸化シリコン膜からなる絶縁膜IL1が形成されたキャップCAPを用意する。そして、フォトリソグラフィ技術とエッチング技術を駆使することにより、励振素子、コリオリ素子CE1、コリオリ素子CE2などを可動状態とするための空間SP2を形成する。この空間SP2は、基板1Sに形成される空間SPと同じ機能を有する。すなわち、空間SP2の深さは、空間SPと同様に、デバイス層DLの厚さよりも浅く形成されることが望ましい。例えば、本実施の形態1におけるセンサエレメントSEでは、空間SP2の深さを空間SPと同様の $38\mu\text{m}$ としている。

[0051] 次に、図10に示すように、キャップCAPを熱酸化することにより、空間SP2を形成する際に露出したキャップCAPの表面に酸化シリコン膜からなる絶縁膜OX1を形成する。その後、キャップCAPに形成されている絶縁膜IL1を加工し、加工した絶縁膜IL1をマスクとして、キャップCAPをドライエッチングすることにより、絶縁膜OX1に到達する貫通孔THを形成する。この結果、電氣的に独立した固定電極FEおよび貫通ビアV

Aを形成することができる。このとき、絶縁膜OX1は、ドライエッチング加工が止まる層、すなわち、エッチングストップ層として機能するとともに、貫通孔THを形成することにより完全に分離された固定電極FEや貫通ビアVAを支える機能も有する。

[0052] 続いて、図11に示すように、キャップCAPを高温に加熱することにより、貫通孔THが完全に埋まるまで絶縁膜OX2を成長させる。シリコンを高温で加熱することで絶縁膜OX2を形成する場合、初期のシリコン表面を境界にシリコンの内部に45%、外部に55%の絶縁膜OX2が形成される。また、熱酸化によって絶縁膜OX2を成長させる原理上、4 μ mよりも大きな膜厚の絶縁膜OX2を形成するためには非常に長い時間を必要とすることから、貫通孔THの幅は4 μ mにしている。さらに、貫通孔THを形成するドライエッチング加工においても、貫通孔THの幅と深さによって定義されるアスペクト比が量産に適した25以下になるようにしている。すなわち、貫通孔THは、幅が4 μ mで、深さが100 μ mになるように形成されている。なお、貫通孔THが絶縁膜OX2で完全に埋まった後、キャップCAPの表面に形成されている絶縁膜IL1や絶縁膜OX1などは、フッ酸溶液で除去される。このようにして、キャップCAPを製造することができる。

[0053] 次に、図12および図13は、デバイス層DLを形成した基板1SとキャップCAPを接合する工程と、キャップCAPの表面に配線を形成する工程を説明する図である。

[0054] まず、図12に示すように、キャップCAPと、デバイス層DLおよび基板1Sは、上述したSOI基板2Sと基板1Sを接合した方法と同じ方法で接合することができる。このとき、接合時の周辺圧力を制御することにより、励振素子、コリオリ素子CE1、コリオリ素子CE2、梁BMおよび固定部FUなどが封止される空間SPの圧力を制御する。

[0055] そして、図13に示すように、キャップCAPの表面上に、例えば、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法を使用することにより、酸化シリコン膜からなる絶縁膜IF1を形成した後、キャップCAPに形成された固定電極

F E および貫通ビア V A の上部に開口部を形成する。続いて、開口部を形成した絶縁膜 I F 1 上に、例えば、スパッタリング法を使用することにより、例えば、アルミニウム膜からなる金属膜 M F を形成する。

[0056] 次に、図 3 に示すように、フォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を使用することにより、金属膜 M F を加工して、パッド P D 1 およびパッド P D 2 含む配線を形成する。このようにして、本実施の形態 1 におけるセンサエレメント S E を製造することができる。

[0057] <実施の形態 1 におけるセンサエレメントの平面構成>

続いて、本実施の形態 1 におけるセンサエレメント S E の平面構成について、図面を参照しながら説明する。図 1 4 は、本実施の形態 1 におけるセンサエレメント S E の平面構成を示す模式図である。図 1 4 において、本実施の形態 1 におけるセンサエレメント S E は、まず、励振素子として機能する質量体 M S を有している。

[0058] この質量体 M S は、x 方向に長い第 1 部位 P 1 と、x 方向に長い第 2 部位 P 2 と、これらの第 1 部位 P 1 と第 2 部位 P 2 とを繋ぐように y 方向に延びる接続部 C U によって構成されている。第 1 部位 P 1 は、x 方向に延在するように構成され、第 2 部位 P 2 は、x 方向と直交する y 方向に第 1 部位 P 1 から所定距離だけ離間しながら x 方向に延在するように構成されている。そして、接続部 C U は、第 1 部位 P 1 と第 2 部位 P 2 に連結するように y 方向に延在するように構成されている。このため、質量体 M S は、例えば、アルファベットの「H」を横にしたような開放端を有する形状をしていることになる。

[0059] 例えば、y 方向の中心を通る仮想線 I L に対して、第 1 部位 P 1 と第 2 部位 P 2 が対称に配置され、この第 1 部位 P 1 と第 2 部位 P 2 を接続するように接続部 C U が配置されている。そして、y 方向の中心に位置して、上述した仮想線 I L 上に配置される固定部 F U 2 が設けられており、接続部 C U は、x 方向において、基板と固定された固定部 F U 2 を挟むように配置された第 3 部位 P 3 と第 4 部位 P 4 を備える。そして、第 3 部位 P 3 は、第 1 部位

P 1 と第 2 部位 P 2 とを連結するように配置される。同様に、第 4 部位 P 4 も、第 1 部位 P 1 と第 2 部位 P 2 とを連結するように配置される。さらに、第 3 部位 P 3 は、支持梁 B M 3 を介して固定部 F U 2 と接続され、かつ、第 4 部位 P 4 は、支持梁 B M 4 を介して固定部 F U 2 と接続されている。

[0060] このように構成されている質量体 M S においては、励振方向である x 方向には柔軟で、第 1 検出方向である y 方向には硬い支持梁 B M 1 および支持梁 B M 2 で支持されている。具体的に、2 つの支持梁 B M 1 と 2 つの支持梁 B M 2 とを組み合わせることで支持梁群と呼ぶことにすると、質量体 M S の 4 隅にそれぞれ支持梁群が設けられている。そして、質量体 M S の 4 隅のそれぞれに着目した場合、1 つの端部には、1 つの支持梁群を構成する 2 つの支持梁 B M 1 と 2 つの支持梁 B M 2 が設けられている。このとき、2 つの支持梁 B M 1 のそれぞれは、単位梁 B M 1 A と単位梁 B M 1 B から構成され、2 つの支持梁 B M 2 のそれぞれは、単位梁 B M 2 A と単位梁 B M 2 B から構成されている。

[0061] なお、図 1 4 では、質量体 M S を左上の端部で支持する 2 つの支持梁 B M 1 と 2 つの支持梁 B M 2 が図示されているが、質量体 M S のその他の 3 つの端部のそれぞれも同様に 2 つの支持梁 B M 1 と 2 つの支持梁 B M 2 で支持されていることになる。

[0062] 具体的に、第 1 部位 P 1 の端部近傍には、基板に固定された外側固定部 O F U 1 A および外側固定部 O F U 1 B が配置されているとともに、基板に固定された内側固定部 I F U 2 A および内側固定部 I F U 2 B が配置されている。特に、外側固定部 O F U 1 A、外側固定部 O F U 1 B、内側固定部 I F U 2 A、内側固定部 I F U 2 B は、仮想線 I L に対して同じ側に配置されている。さらに、外側固定部 O F U 1 A と内側固定部 I F U 2 A は、第 1 部位 P 1 に対して対称に配置されており、外側固定部 O F U 1 B と内側固定部 I F U 2 B も、第 1 部位 P 1 に対して対称に配置されている。

[0063] そして、第 1 部位 P 1 の外側に自由端 F P 1 が設けられており、第 1 部位 P 1 と自由端 F P 1 が y 方向に延在する単位梁 B M 1 B で接続され、自由端

F P 1 と外側固定部 O F U 1 A が y 方向に延在する単位梁 B M 1 A で接続されている。したがって、第 1 部位 P 1 と外側固定部 O F U 1 A は、自由端 F P 1 に接続された単位梁 B M 1 A および単位梁 B M 1 B で接続されていることになる。同様に、第 1 部位 P 1 と自由端 F P 1 が y 方向に延在する単位梁 B M 1 B で接続され、自由端 F P 1 と外側固定部 O F U 1 B が y 方向に延在する単位梁 B M 1 A で接続されている。したがって、第 1 部位 P 1 と外側固定部 O F U 1 B も、自由端 F P 1 に接続された単位梁 B M 1 A および単位梁 B M 1 B で接続されていることになる。

[0064] さらに、第 1 部位 P 1 の内側に自由端 F P 2 が設けられており、第 1 部位 P 1 と自由端 F P 2 が y 方向に延在する単位梁 B M 2 B で接続され、自由端 F P 2 と内側固定部 I F U 2 A が y 方向に延在する単位梁 B M 2 A で接続されている。したがって、第 1 部位 P 1 と内側固定部 I F U 2 A は、自由端 F P 2 に接続された単位梁 B M 2 A および単位梁 B M 2 B で接続されていることになる。同様に、第 1 部位 P 1 と自由端 F P 2 が y 方向に延在する単位梁 B M 2 B で接続され、自由端 F P 2 と内側固定部 I F U 2 B が y 方向に延在する支持梁 B M 2 A で接続されている。したがって、第 1 部位 P 1 と内側固定部 I F U 2 B も、自由端 F P 2 に接続された単位梁 B M 2 A および単位梁 B M 2 B で接続されていることになる。

[0065] 以上は、質量体 M S の第 1 部位 P 1 の左端部の接続構成について説明したが、第 1 部位 P 1 の右端部の接続構成、第 2 部位 P 2 の左端部の接続構成、および、第 2 部位 P 2 の右端部の接続構成を同様であるため、その説明は省略する。

[0066] このように構成されている質量体 M S において、固定電極として機能する第 1 駆動電極との間で容量素子 D E 1 を形成するとともに、固定電極として機能する第 2 駆動電極との間でも容量素子 D E 2 を形成するように第 1 可動電極が質量体 M S と一体的に形成されている。さらに、質量体 M S において、固定電極として機能する第 1 駆動振幅モニタ電極や第 2 駆動振幅モニタ電極との間でも、それぞれ、容量素子 M E 1 および容量素子 M E 2 を形成する

ように第2可動電極が質量体MSと一体的に形成されている。

[0067] そして、図14に示すように、平面視において、質量体MSの内部には、コリオリ素子CE1が配置されている。詳細には、質量体MSの第1部位P1と第2部位P2に挟まれ、かつ、接続部CUの左側に位置するようにコリオリ素子CE1が配置されている。このコリオリ素子CE1は、x方向には硬く、y方向には柔軟な検出梁DBM1で質量体MSの第1部位P1と接続されているとともに、x方向には硬く、y方向には柔軟な検出梁DBM2で質量体MSの第2部位P2と接続されている。これにより、コリオリ素子CE1は、質量体MSとだけ接続され、基板自体とは直接接続されていない。この結果、コリオリ素子CE1は、第1検出方向であるy方向に変位可能なように構成されていることになる。この第1検出方向は、x方向とy方向を含む平面内に含まれることから、「面内方向」と呼ぶこともでき、この場合、コリオリ素子CE1は、面内方向に変位可能なように構成されているということもできる。

[0068] ここで、質量体MSが励振方向であるx方向に振動している状態で、z方向回りに角速度が印加された場合、コリオリ素子CE1は、コリオリ力によってy方向に変位することになる。つまり、本実施の形態1において、コリオリ素子CE1は、z方向回りの角速度を検出するための構成要素であることがわかる。

[0069] このように構成されているコリオリ素子CE1に内包されるように角速度検出部YSU1が形成されている。具体的に、この角速度検出部YSU1は、コリオリ素子CE1と一体的に形成された第1検出用可動電極と、固定部材に固定された第1検出用固定電極を含むように構成される。この場合、外部からz方向回りに角速度が印加されると、コリオリ力によって、コリオリ素子CE1がy方向に変位する。したがって、コリオリ素子CE1と一体的に形成されている第1検出用可動電極もy方向に変位する。一方、第1検出用固定電極は、固定部材に接続されていることから、角速度に起因するコリオリ力が印加されても変位しない。このことから、第1検出用可動電極と第

1 検出用固定電極との間の距離が変化する。このことは、第1 検出用可動電極と第1 検出用固定電極で構成される容量素子の静電容量（電気容量）が変化することを意味する。このようにして、角速度検出部Y S U 1は、コリオリ素子C E 1のy方向の変位を静電容量の変化として捉えるように構成されていることになる。

[0070] 一方、図14に示すように、平面視において、質量体M Sの内部には、コリオリ素子C E 2も配置されている。詳細には、質量体M Sの第1部位P 1と第2部位P 2に挟まれ、かつ、接続部C Uの右側に位置するようにコリオリ素子C E 2が配置されている。このコリオリ素子C E 2は、z方向にねじれる検出梁D B M 3で質量体M Sの第4部位P 4と接続されている。これにより、コリオリ素子C E 2も、質量体M Sとだけ接続され、基板自体とは直接接続されていない。この結果、コリオリ素子C E 2は、第2検出方向であるz方向に変位可能なように構成されていることになる。この第2検出方向は、x方向とy方向を含む平面に垂直なz方向であることから、「面外方向」と呼ぶこともでき、この場合、コリオリ素子C E 2は、面外方向に変位可能なように構成されているということもできる。

[0071] ここで、質量体M Sが励振方向であるx方向に振動している状態で、y方向回りに角速度が印加された場合、コリオリ素子C E 2は、コリオリ力によってz方向に変位することになる。つまり、本実施の形態1において、コリオリ素子C E 2は、y方向回りの角速度を検出するための構成要素であることがわかる。

[0072] このように構成されているコリオリ素子C E 2の外側に角速度検出部Y S U 2が形成されている。具体的に、例えば、図3に示すように、角速度検出部Y S U 2は、コリオリ素子C E 2自体を第2検出用可動電極とし、キャップC A Pに固定された第2検出用固定電極を含むように構成される。この場合、外部からy方向回りに角速度が印加されると、コリオリ力によって、検出梁D B M 3がねじれることにより、コリオリ素子C E 2がz方向に変位する。したがって、コリオリ素子C E 2自体からなる第2検出用可動電極もz

方向に変位する。一方、第2検出用固定電極は、キャップCAPに接続されていることから、角速度に起因するコリオリ力が印加されても変位しない。このことから、第2検出用可動電極と第2検出用固定電極との間の距離が変化する。このことは、第2検出用可動電極と第2検出用固定電極で構成される容量素子の静電容量（電気容量）が変化することを意味する。このようにして、角速度検出部YSU2は、コリオリ素子CE2のz方向の変位を静電容量の変化として捉えるように構成されていることになる。

[0073] 以上のことから、本実施の形態1におけるセンサエレメントSEは、励振方向であるx方向に励振振動する1つの励振素子である質量体MSと、z方向回りの角速度によってy方向に変位するコリオリ素子CE1と、y方向回りの角速度によってz方向に変位するコリオリ素子CE2とを備える。このため、本実施の形態1におけるセンサエレメントSEは、励振素子を共有し、かつ、異なる方向回りの角速度を検出するコリオリ素子CE1とコリオリ素子CE2を有していることになり、多軸の角速度センサを構成することになる。

[0074] そして、コリオリ素子CE1とコリオリ素子CE2は、質量体MSの構成要素である第1部位P1と第2部位P2で挟まれる位置に配置されるとともに、質量体MSの接続部CUを構成する第3部位P3と第4部位P4を挟むように、接続部CUの左側にコリオリ素子CE1が配置され、接続部CUの右側にコリオリ素子CE2が配置される。

[0075] さらに、質量体MSを構成する第1部位P1と第2部位P2は、仮想線LLに対して対称となる位置に配置されている。また、質量体MSを構成する第3部位P3および第4部位P4のそれぞれ自体も、仮想線LLに対して対称となるように配置されている。同様に、コリオリ素子CE1およびコリオリ素子CE2のそれぞれ自体も、仮想線LLに対して対称となるように配置されているとともに、コリオリ素子CE1に内包される角速度検出部YSU1も、仮想線LLに対して対称となるように配置されている。

[0076] なお、本実施の形態1において、支持梁BM1、支持梁BM2、支持梁B

M3、支持梁BM4、検出梁DBM1、検出梁DBM2は、梁の屈曲によって変形する屈曲梁から構成されている一方、検出梁DBM3は、梁のねじれによって変形するねじれ梁から構成されている。したがって、本実施の形態1におけるセンサエレメントSEでは、屈曲とねじれという2種類の異なる変形態様の梁が混在していることになる。

[0077] <実施の形態1における角速度センサの動作>

本実施の形態1における角速度センサは、上記のように構成されており、以下に、その動作について説明する。

[0078] 図15は、本実施の形態1における角速度センサの動作を説明する図である。図15において、容量素子DE1および容量素子DE2は、質量体MSをx方向に振動させる駆動手段を構成する。そして、容量素子DE1の一部を構成する固定電極である第1駆動電極には、図2に示す半導体チップCHP1内に形成されている信号処理回路から駆動信号として、 $V_{com} + V_b + V_d$ が印加される。一方、容量素子DE2の一部を構成する固定電極である第2駆動電極には、図2に示す半導体チップCHP1内に形成されている信号処理回路から駆動信号として、 $V_{com} + V_b - V_d$ が印加される。

[0079] また、質量体MSには、支持梁を介して接続されている固定部を介して、図2に示す半導体チップCHP1内に形成されている信号処理回路から V_{com} が印加される。したがって、固定電極である第1駆動電極と質量体MSとの間の電位差は、 $V_b + V_d$ となり、固定電極である第2駆動電極と質量体MSとの間の電位差は、 $V_b - V_d$ となる。この結果、容量素子DE1および容量素子DE2には、上述した電位差に起因する静電力が発生し、質量体MSがx方向に駆動振動（励振振動）することになる。

[0080] なお、質量体MSには、信号処理回路からキャリア信号 V_c も印加されているが、キャリア信号 V_c の周波数は、数百kHzであり、上述した駆動振動が追従できないほど十分に高いため、駆動力としては機能しない。

[0081] また、角速度センサの構成要素以外の基板1SおよびキャップCAPの周辺領域は、図3に示すパッドPD2を介して V_{com} の電位に接続される。

これらの周辺領域を一定電位に固定することにより、キャリア信号 V_c が質量体 MS 、コリオリ素子 $CE1$ およびコリオリ素子 $CE2$ の外部に漏れることを防止できる。特に、半導体チップ $CHP1$ に形成されている集積回路、および、本実施の形態 1 における角速度センサが実装されるシステム側の周辺回路への信号干渉を防ぐことができる。言い換えれば、システム側の電子回路、および、半導体チップ $CHP1$ に形成されている集積回路から角速度センサへの不要な高周波信号の影響を遮断する効果も期待できる。

[0082] ここで、下記に示す(式 1)は質量体 MS の駆動変位 (x) と駆動力 (F_d) の関係を示す式であり、(式 2)はコリオリ力 (F_{cy}) を示す式である。また、(式 3)は検出方向 (y 方向)の振幅とコリオリ力 (F_{cy}) の関係を示す式である。なお、ここでは、便宜上、 z 方向回りの角速度 Ω_z によって、コリオリ素子 $CE1$ が y 方向へ変位する場合を例にした添字を使用して説明するが、 y 方向回りの角速度 Ω_y によって、コリオリ素子 $CE2$ が z 方向へ変位する場合においても同じ原理を適用することができる。

[0083]

$$x = \frac{F_d}{k_d} \times \frac{1}{\sqrt{\{ [1 - (\omega_d / \omega_{rx})^2]^2 + [1 / Q_d \times (\omega_d / \omega_{rx})]^2 \}}} \quad \dots \text{(式 1)}$$

このとき、 x は駆動変位、 $\omega_d / 2\pi$ は駆動周波数、 ω_{rx} は駆動方向の固有振動数、

Q_d は駆動方向の機械品質係数、 k_d は支持梁 $BM1A \sim BM1D$ のばね定数、 F_d は駆動力を示している。

[0084]

$$F_{cy} = 2 \cdot m_y \cdot \Omega_z \cdot X \cdot \omega_d \cdot \cos(\omega_d \cdot t) \quad \dots \text{(式 2)}$$

このとき、 F_{cy} は Ω_z によって発生する y 方向のコリオリ力、 m_y はコリオリ素子 $CE1$ の質量、 Ω_z は z 方向回りに印加される角速度、 X は駆動方向の最大振幅、 $\omega_d / 2\pi$ は駆動周波数、 t は時間を示している。

[0085]

$$y = F_{cy} \cdot Q_{sy} / k_s \quad \dots \text{(式3)}$$

このとき、 y は検出変位、 Q_{sy} はコリオリ素子CE1と検出梁DBM1～DBM2で構成される検出振動系の機械品質係数、 k_s は検出梁DBM1～DBM2のばね定数を示している。

[0086] 上述した(式1)からは、質量体MSと支持梁BM1と支持梁BM2で構成される振動系において駆動力 F_d が一定である場合、駆動変位 x は、駆動周波数 ω_d (2π で割れば周波数となるため、駆動角振動数と駆動周波数を混用する)に依存することがわかる。そして、(式1)から、振動系の固有振動数 ω_{rx} と駆動周波数 ω_d が一致する場合、最も大きい駆動変位 x が得られることになり、駆動周波数 ω_d が固有振動数 ω_{rx} から離れるほど駆動変位 x が小さくなることをわかる。

[0087] また、(式2)と(式3)に示すコリオリ力 F_{cy} と検出変位 y の関係式からは、印加される角速度 Ω_z によって得られるコリオリ力 F_{cy} と検出変位 y は、駆動方向の最大振幅 X (駆動変位 x)と比例関係にあることがわかる。

[0088] ここで、(式2)において、コリオリ素子CE1の質量 m_y と、駆動周波数 ω_d 、印加される角速度 Ω_z を一定であると仮定すると、角速度センサの出力として変換されるコリオリ力 F_{cy} と検出振幅 y は、駆動方向の最大振幅 X (駆動変位 x)のみの関数となる。

[0089] したがって、周辺圧力の変動や振動外乱がある場合でも、角速度センサの感度を一定に維持して信頼性を確保するためには、駆動方向の最大振幅 X を常にモニタし、フィードバック制御を行なうことにより、駆動方向の最大振幅 X が一定値になるよう管理する必要がある。このフィードバック制御は、AGC(Auto Gain Control)によって実施される。

[0090] 以下に、上述したAGCによるフィードバック制御について説明する。本実施の形態1において、図15に示すように、質量体MSの駆動振幅は、固

定電極として機能する第1駆動振幅モニタ電極と、質量体MSと一体的に形成されている第1可動電極からなる容量素子ME1の静電容量の変化を検出することでモニタされている。同様に、質量体MSの駆動振幅は、固定電極として機能する第2駆動振幅モニタ電極と、質量体MSと一体的に形成されている第2可動電極からなる容量素子ME2の静電容量の変化を検出することでモニタされている。

[0091] 具体的には、質量体MSに、周波数が数百kHzのキャリア信号Vcを印加する。この場合、キャリア信号Vcによって、質量体MSと第1駆動振幅モニタ電極（固定電極）で構成される容量素子ME1や、質量体MSと第2駆動振幅モニタ電極（固定電極）で構成される容量素子ME2の静電容量に変化が生じ、この静電容量の変化に応じて電荷の移動が発生する。この静電容量の変化は、図15に示すC/V変換部10でアナログ電圧信号に変換された後、AD変換部11でデジタル電圧信号に変換される。そして、容量素子ME1からC/V変換部10およびAD変換部11を経て生成された第1デジタル電圧信号と、容量素子ME2からC/V変換部10およびAD変換部11を経て生成された第2デジタル電圧信号とが、差動検出部12で演算される。このとき、駆動振幅が0の場合は、容量素子ME1と容量素子ME2の初期の静電容量が互いに相殺されるため、同期検波部13への入力電圧は0となる。

[0092] 一方、質量体MSが振動している場合は、質量体MSの駆動振幅に追従して容量素子ME1の静電容量が増加し、容量素子ME2の静電容量が減少する。あるいは、質量体MSの駆動振幅に追従して容量素子ME1の静電容量が減少し、容量素子ME2の静電容量が増加する。このことから、差動検出部12からは、駆動振動の駆動振幅に比例したデジタル信号が出力される。

[0093] 差動検出部12から出力されたデジタル信号は、同期検波部13で駆動周波数の成分（例えば、数十kHz）と、必要に応じてDCを含む低周波数の成分（例えば、DCから数百Hz）に変換される。低周波数のデジタル信号に変換された駆動振幅は、AGC（Auto Gain Control）15に入力され、予

め設定されている駆動振幅の目標値と比較される。そして、この比較結果に基づいて、D/A変換部16で駆動信号V_dの大きさを調整することにより、駆動振幅が予め設定されている目標値になるようにフィードバック制御されることになる。以上のようにして、本実施の形態1における角速度センサでは、質量体MSを一定駆動振幅でx方向に駆動振動させることができる。

[0094] なお、限定するわけではないが、本実施の形態1における角速度センサでは、小さい駆動電圧で大きなx方向の駆動振幅を得るために駆動信号V_dの周波数（駆動周波数）を、質量体MSと支持梁BM1と支持梁BM2によって構成される駆動振動系の固有振動数に合わせている。また、本実施の形態1では、周辺環境の変動に起因する駆動振動系の固有振動数の変化に駆動振動数を追従させるため、PLL（Phase Locked Loop）によるAFC（Auto Frequency Control）14およびD/A変換部16を用いてフィードバック制御を行なっている。ただし、本実施の形態1における技術的思想は、駆動周波数 ω_d と駆動振動系の固有振動数 ω_{rx} を一致させない非共振モードでの駆動においても適用できることは言うまでもない。

[0095] 続いて、質量体MSをx方向に駆動振動させた状態で、z方向回りに角速度が印加された場合の角速度の検出動作について説明する。

[0096] まず、質量体MSが駆動振動している状態で、z方向回りに角速度 Ω_z が印加されると、質量体MSには、（式2）で示されるコリオリ力 F_{cy} が発生し、印加された角速度 Ω_z に比例するy方向の振動が発生する。

[0097] ここで、質量体MSは、x方向には柔軟で、y方向には硬い支持梁BM1および支持梁BM2で支持されているため、上述したコリオリ力 F_{cy} が発生しても、質量体MSは、y方向にはほとんど変位しない。同様に、コリオリ素子CE2も、y方向にはほとんど変位しない。一方、コリオリ素子CE1は、x方向には硬く、y方向には柔軟な検出梁DBM1および検出梁DBM2を介して質量体MSに接続されているため、（式3）に示すような関係で、コリオリ力 F_{cy} に基づきy方向に変位する。

[0098] 図15に示すように、コリオリ素子CE1がy方向に変位すると、コリオ

り素子C E 1 と接続されるように設けられた角速度検出部Y S U 1 を構成する容量素子の静電容量が変化する。角速度検出部Y S U 1 を構成する容量素子の静電容量の変化は、C/V変換部20Aでアナログ電圧信号に変換された後、AD変換部21Aでデジタル電圧信号に変換される。その後、差動検出部22Aで演算された後、同期検波部23Aで復調信号が抽出される。

[0099] そして、同期検波部23Aで復調された復調信号は、LPF（低周波数帯域通過フィルタ）24Aを通過することにより、最終的に、角速度 Ω_z に対応した角速度信号が出力端子OUT1から出力されることになる。以上のようにして、本実施の形態1における角速度センサによれば、z方向回りの角速度 Ω_z を検出することができる。

[0100] 次に、質量体MSをx方向に駆動振動させた状態で、z方向回りに角速度が印加された場合の角速度の検出動作について説明する。

[0101] まず、質量体MSが駆動振動している状態で、y方向回りに角速度 Ω_y が印加されると、質量体MSには、（式2）と同等の式で示されるコリオリ力 F_{cz} が発生し、印加された角速度 Ω_y に比例するz方向の振動が発生する。

[0102] ここで、質量体MSおよびコリオリ素子C E 1は、上述したコリオリ力 F_{cz} が発生しても、z方向にほとんど変位しない。一方、コリオリ素子C E 2は、z方向にねじれる検出梁DBM3を介して質量体MSに接続されているため、コリオリ力 F_{cz} に基づきz方向に変位する。

[0103] 図15に示すように、コリオリ素子C E 2がz方向に変位すると、コリオリ素子C E 2の外部に設けられた角速度検出部Y S U 2を構成する容量素子の静電容量が変化する。角速度検出部Y S U 2を構成する容量素子の静電容量の変化は、C/V変換部20Bでアナログ電圧信号に変換された後、AD変換部21Bでデジタル電圧信号に変換される。その後、差動検出部22Bで演算された後、同期検波部23Bで復調信号が抽出される。

[0104] そして、同期検波部23Bで復調された復調信号は、LPF（低周波数帯域通過フィルタ）24Bを通過することにより、最終的に、角速度 Ω_y に対

応した角速度信号が出力端子OUT2から出力されることになる。以上のようにして、本実施の形態1における角速度センサによれば、y方向回りの角速度 Ω_y を検出することができる。

[0105] このように本実施の形態1における角速度センサによれば、質量体MSをx方向に駆動振動させた状態で、z方向回りに角速度 Ω_z が印加された場合には、コリオリ素子CE1のy方向の変位に基づいて、角速度 Ω_z に対応する角速度信号を出力端子OUT1から出力することができる。一方、本実施の形態1における角速度センサによれば、y方向回りに角速度 Ω_y が印加された場合には、コリオリ素子CE2のz方向の変位に基づいて、角速度 Ω_y に対応する角速度信号を出力端子OUT2から出力することができることがわかる。つまり、本実施の形態1における角速度センサは、異なる軸回りの角速度を検出できる多軸の角速度センサを構成していることがわかる。

[0106] <実施の形態1における特徴>

続いて、本実施の形態1における角速度センサの特徴点について説明する。まず、本実施の形態1における第1特徴点は、例えば、図14に示すように、駆動振動可能な1つの質量体MSに対して、2つのコリオリ素子CE1およびコリオリ素子CE2が設けられている点にある。つまり、本実施の形態1における第1特徴点は、互いに異なる方向に変位可能なコリオリ素子CE1とコリオリ素子CE2で、駆動振動可能な質量体MSを共有している点にある。これにより、本実施の形態1によれば、例えば、図15に示すように、質量体MSを駆動振動するとともに駆動振幅をフィードバック制御する制御回路を1つに簡素化しながらも、異なる軸方向の角速度信号を出力することができる。つまり、本実施の形態1によれば、多軸の角速度センサを構成しながらも、駆動振動させる質量体MSを共有することによって、質量体MSを駆動振動するとともに駆動振幅をフィードバック制御する制御回路の簡素化を図ることができる。

[0107] 次に、本実施の形態1における第2特徴点は、質量体MSとコリオリ素子CE1とコリオリ素子CE2が同一のデバイス層DLに形成されている点に

ある。これにより、本実施の形態 1 によれば、フォトリソグラフィ技術とドライエッチング技術による 1 回のパターニングで、質量体 MS とコリオリ素子 CE 1 とコリオリ素子 CE 2 を一括して同一のデバイス層 DL に形成することができる。この結果、本実施の形態 1 によれば、製造時に必要なマスクの枚数を減らすことができるため、センサエレメント SE を製造する製造工程の簡略化を図ることができ、この簡略化によって製造コストの低減を図ることができる。特に、本実施の形態 1 では、質量体 MS とコリオリ素子 CE 1 とコリオリ素子 CE 2 だけでなく、その他の構成要素である梁（支持梁 BM 1、支持梁 BM 2、支持梁 BM 3、支持梁 BM 4、検出梁 DBM 1～3）や固定部（外側固定部 OFU 1 A、OFU 1 B、内側固定部 IFU 2 A、IFU 2 B、固定部 FU 2）なども同一のデバイス層 DL で形成するため、さらなる製造工程の簡略化を図ることができる。

[0108] 続いて、本実施の形態 1 における第 3 特徴点および第 4 特徴点について説明する。

[0109] 本実施の形態 1 における角速度センサは、例えば、図 2 に示すように、チップ搭載部 TAB、半導体チップ CHP 1、接着材 ADH 1、ADH 2、センサエレメント SE などの異種材料が積層される構造となっている。また、センサエレメント SE および半導体チップ CHP 1 を含む上述した構成要素は、樹脂 MR で封止されている。すなわち、本実施の形態 1 における角速度センサは、線膨張係数の異なる複数材料の積層構造として構成される。このような積層構造を有する角速度センサが、例えば、車のエンジンルームなどの温度変化の激しい場所で使用される場合には、それぞれの構成材料の線膨張係数の差によって、センサエレメント SE が変形する。例えば、図 14 において、外側固定部 OFU 1 A、OFU 1 B、および、内側固定部 IFU 2 A、IFU 2 B の位置が変動する。

[0110] 材料力学の理論によれば、温度変化と線膨張係数の差によって、センサエレメント SE は、均一な曲率を持つように変形する。このため、支持梁 BM 1 に接続されている外側固定部 OFU 1 A、OFU 1 B、および、支持梁 B

M2に接続されている内側固定部IFU1A、IFU2Bは、いずれも、センサエレメントSEの中心から放射状に離れる方向、もしくは、近づく方向に移動する。この結果、支持梁BM1および支持梁BM2には内部応力が発生して、支持梁BM1および支持梁BM2のばね定数が変化する。これにより、(式1)に記載されている駆動方向の固有振動数 ω_{rx} が変動することになる。

[0111] 上述しているように、低い駆動電圧で大きな駆動変位 x を得るため、本実施の形態1では、例えば、図15に示すように、PLLによるAFC14およびDA変換部16を用いることにより、フィードバック制御を行なっている。これにより、本実施の形態1によれば、駆動周波数 ω_d を駆動方向の固有振動数 ω_{rx} に合わせている。したがって、駆動方向の固有振動数 ω_{rx} が変化すれば、駆動周波数 ω_d も変化することになる。この結果、(式2)に定義されるコリオリ力 F_{cy} も変動し、これによって、角速度センサの感度が変わることになる。さらに、駆動方向の固有振動数 ω_{rx} の変動幅が大きい場合には、AFC14によるフィードバック制御が追従できず、角速度センサの機能が停止する場合もある。

[0112] そこで、本実施の形態1では、質量体MSの形状や、支持梁BM1および支持梁BM2の配置位置を工夫しており、この工夫点为本実施の形態1における第3特徴点である。すなわち、本実施の形態1における第3特徴点を備えることにより、内部応力の軽減および相殺を図ることができる。この結果、本実施の形態1によれば、周辺環境温度の変化や封止樹脂に起因する基板歪が発生する場合でも、駆動方向の固有振動数 ω_{rx} の変動を少なくすることにより、安定性が高く、かつ、高信頼性を有する角速度センサを提供することができる。

[0113] 以下に、本実施の形態1における第3特徴点について説明する。本実施の形態1における第3特徴点は、質量体MSの形状と支持梁BM1および支持梁BM2の配置位置にある。例えば、図14に示すように、本実施の形態1における質量体MSは、駆動方向である x 方向に延在する2つの長い第1部

位 P 1 と第 2 部位 P 2 とを有し、第 1 部位 P 1 の両端部、および、第 2 部位 P 2 の両端部に、支持梁 B M 1 および支持梁 B M 2 が接続されており、この支持梁 B M 1 および支持梁 B M 2 が基板に固定された外側固定部 O F U 1 A、O F U 1 B と内側固定部 I F U 2 A、I F U 2 B と接続されている。

[0114] このように支持梁 B M 1 および支持梁 B M 2 を、質量体 M S の x 方向に長い第 1 部位 P 1 の先端部と第 2 部位 P 2 の先端部に配置することにより、例えば、周辺の環境温度や実装に起因する基板歪が発生して、外側固定部 O F U 1 A、O F U 1 B および内側固定部 I F U 2 A、I F U 2 B が変位した場合であっても、基板歪に起因するこの変位の一部は、x 方向に長い第 1 部位 P 1 および第 2 部位 P 2 の変形として吸収される。つまり、本実施の形態 1 における第 3 特徴点は、質量体 M S を x 方向に長い第 1 部位 P 1 と第 2 部位 P 2 を有するように構成し、かつ、第 1 部位 P 1 および第 2 部位 P 2 の先端部に支持梁 B M 1 および支持梁 B M 2 を配置する点にある。これにより、基板歪が発生した場合でも、質量体 M S 自体が変形しやすくなり、質量体 M S 自体で基板歪の一部を吸収しやすくなるのである。このことから、本実施の形態 1 における第 3 特徴点によれば、支持梁 B M 1 および支持梁 B M 2 に発生する内部応力を軽減することができるため、支持梁 B M 1 および支持梁 B M 2 のばね定数の変動を抑制することができ、これによって、駆動方向の固有振動数 ω_{rx} の変動も抑制することができるのである。

[0115] ただし、質量体 M S の変形ですべての基板歪を吸収することは困難であるため、質量体 M S の変形で吸収し切れなかった基板歪が存在し、この残存する基板歪は、支持梁 B M 1 および支持梁 B M 2 を構成する部材の内部応力となる。この点に関し、本実施の形態 1 では、さらに、支持梁 B M 1 と支持梁 B M 2 の配置位置、および、外側固定部 O F U 1 A、O F U 1 B および内側固定部 I F U 2 A、I F U 2 B の配置位置に工夫を施している。この工夫点が本実施の形態 1 における第 4 特徴点であり、この第 4 特徴点によって、本実施の形態 1 によれば、支持梁 B M 1 および支持梁 B M 2 に発生する内部応力を相殺することができるのである。以下に、本実施の形態 1 における第 4

特徴点について説明する。

[0116] 本実施の形態 1 における第 4 特徴点は、支持梁 BM 1 と支持梁 BM 2 の配置位置、および、外側固定部 OFU 1 A、OFU 1 B および内側固定部 IFU 2 A、IFU 2 B の配置位置に存在する。例えば、図 14 に示すように、外側固定部 OFU 1 A、外側固定部 OFU 1 B、内側固定部 IFU 2 A、内側固定部 IFU 2 B は、仮想線 IL に対して同じ側に配置されている。このような配置の場合、基板歪がセンサエレメント SE の中心から外側に向かう方向に発生することを考慮すれば、外側固定部 OFU 1 A、外側固定部 OFU 1 B、内側固定部 IFU 2 A、内側固定部 IFU 2 B には、同じ方向の基板歪が発生することになる。

[0117] さらに、外側固定部 OFU 1 A と内側固定部 IFU 2 A は、第 1 部位 P 1 に対して対称に配置されており、外側固定部 OFU 2 B と内側固定部 IFU 2 B も、第 1 部位 P 1 に対して対称に配置されている。このような配置の場合、第 1 部位 P 1 および第 2 部位 P 2 を含む質量体 MS は基板と直接接続されていない。このことから、質量体 MS 自体は、基板歪に対して変位しないことを考慮すると、例えば、上述した対称配置されている外側固定部 OFU 1 A と内側固定部 IFU 2 A に着目した場合、外側固定部 OFU 1 A と内側固定部 IFU 2 A が同じ方向に変位し、かつ、質量体 MS が変位しないことから、基板歪によって、外側固定部 OFU 1 A と第 1 部位 P 1 の間の距離が大きくなり、内側固定部 IFU 2 A と第 1 部位 P 1 の間の距離が小さくなるか、または、外側固定部 OFU 1 A と第 1 部位 P 1 の間の距離が小さくなり、内側固定部 IFU 2 A と第 1 部位 P 1 の間の距離が大きくなることになる。このことは、外側固定部 OFU 1 A と第 1 部位 P 1 とを接続している支持梁 BM 1 の単位梁 BM 1 A に引張応力が働く場合には、内側固定部 IFU 2 A と第 1 部位 P 1 とを接続している支持梁 BM 2 の単位梁 BM 2 A に圧縮応力が働くことを意味している。言い換えれば、外側固定部 OFU 1 A と第 1 部位 P 1 とを接続している支持梁 BM 1 の単位梁 BM 1 A に圧縮応力が働く場合には、内側固定部 IFU 2 A と第 1 部位 P 1 とを接続している支持梁 B

M2の単位梁BM2Aには、引張応力が働くことを意味している。

[0118] 例えば、支持梁BM1および支持梁BM2の駆動方向（x方向）におけるばね定数は、支持梁BM1および支持梁BM2の形状や構成材料のヤング率などの関数となるが、構成材料のヤング率は、構成材料固有の物性値でありながらも材料の内部応力によって、見かけ上の値が変化する。図示はしないが、基板歪による支持梁BM1および支持梁BM2のy方向の主応力の有限要素解析結果によれば、支持梁BM1と支持梁BM2は、外側固定部OFU1A、OFU1Bおよび内側固定部IFU2A、IFU2Bの位置変動による内部応力を互いに打ち消すように内部応力が発生していることがわかる。

[0119] このように本実施の形態1の第3特徴点および第4特徴点によれば、センサエレメントSEに発生する基板歪のうちの一部は、質量体MSのx方向に長い第1部位P1と第2部位P2の変形によって吸収されるとともに、残りの基板歪に起因して支持梁BM1および支持梁BM2に発生する内部応力は、支持梁BM1および支持梁BM2を構成する構成要素間で相殺されることとなる。この結果、本実施の形態1によれば、支持梁BM1および支持梁BM2のばね定数の変動を抑えることができるため、駆動方向の固有振動数 ω_{rx} の変動に起因する角速度センサの感度の変動を抑制することができる。

[0120] ここで、本実施の形態1において、y方向の主応力成分に着目した理由は、基板歪によって外側固定部OFU1A、OFU1Bおよび内側固定部IFU2A、IFU2Bが角速度センサの中心部に対して放射線状に発生した場合、x方向の移動においては、支持梁BM1および支持梁BM2が変形することで吸収されるため、内部応力が発生することはないことを考慮したものである。一方、y方向の移動においては、質量体MSのx方向に長い第1部位P1と第2部位P2の変形によって吸収し切れなかった一部の変形が、支持梁BM1および支持梁BM2に引張方向や圧縮方向に働く。このため、y方向に硬く形成されている支持梁BM1および支持梁BM2の内部にはy方向の引張応力や引張応力が発生することになる。特に、y方向の内部応力は支持梁BM1および支持梁BM2の駆動方向（x方向）のばね定数に影響を

及ぼすため、質量体MSと支持梁BM1および支持梁BM2によって構成される振動系の固有振動数 ω_{rx} の変動が発生する。すなわち、環境温度の変動に起因した基板歪の発生と、この基板歪に基づく振動系の固有振動数 ω_{rx} の変動による角速度センサの感度の変動の主要因がy方向の主応力成分に起因するのである。このため、本実施の形態1では、上述した第3特徴点および第4特徴点を採用することによって、y方向における基板歪の影響を抑制しているのである。

[0121] 以上のことから、本実施の形態1によれば、上述した第3特徴点と第4特徴点の相乗効果により、温度変化に基づく駆動方向の固有振動数 ω_{rx} の変動を十分に抑制することができる。このため、本実施の形態1によれば、振動系の固有振動数 ω_{rx} の変動に起因する角速度センサの感度の変動も抑制することができる。

[0122] 例えば、角速度センサの温度変化に起因する特性変動を補正する方法として、各温度点での角速度センサの出力値を記録し、これらが全使用温度範囲の中で、予め決められた仕様範囲内に収まるように補正する電氣的な補正方法がある。ところが、角速度センサの各温度点における出力値が非線形的な挙動を示す場合には、補正のために、多くの温度点における出力値と複雑な補正演算処理が必要となるとともに、恒温槽を装備した高価な評価装置が必要となり、製造コストの上昇に繋がる。

[0123] この点に関し、本実施の形態1における角速度センサによれば、上述した第3特徴点および第4特徴点を有しているため、広い使用温度範囲においても、振動系の固有振動数 ω_{rx} の変動を抑制できる。このため、本実施の形態1における角速度センサによれば、信号処理回路による高度な温度特性補正が不要となり、角速度センサの信頼性向上や、信号処理回路の小型化、角速度センサの出荷時における温度特性補正の簡素化などを図ることができる。これによって、製造コストの低減を図ることができる。

[0124] 続いて、本実施の形態1における第5特徴点について説明する。

[0125] 本実施の形態1における角速度センサは、駆動振動する1つの質量体MS

を共有しながら、互いに異なる方向に変位可能な2つのコリオリ素子C E 1 およびコリオリ素子C E 2を備えることにより、例えば、z方向回りの角速度 Ω_z と、y方向回りの角速度 Ω_y を同時に検出することができる。ところが、質量体M Sを共有するために、質量体M Sにコリオリ素子C E 1とコリオリ素子C E 2を接続するように配置する場合、例えば、図14に示すように、質量体M Sを構成する第1部位P 1および第2部位P 2のx方向の長さが長くなる。言い換えれば、支持梁B M 1と支持梁B M 2を1つの支持梁群とした場合、質量体M Sの四隅に配置されている4つの支持梁群の間の距離が必然的に長くなる。この結果、駆動振動系の駆動固有振動数の近傍、若しくは、低い周波数帯域に、例えば、z方向に振動するモードなどに代表される角速度センサの動作には不要な共振モードが出現するおそれがある。つまり、質量体M Sの長さが長くなって、支持梁群の間の距離が大きくなることに起因して、角速度センサの動作には無関係な振動系を構成する不要モードが発生しやすくなるのである。

[0126] これらの不要モードは、角速度センサのx方向の駆動振動を構成する駆動モードとは異なる振動系を構成する。このため、温度変動に伴う周波数変動特性に代表される温度特性も異なり、不要モードが上述した駆動モードと隣接した周波数帯域に存在する場合には、特定温度で不要モードと駆動モードが混じることによって誤動作の原因ともなる。

[0127] この点に関し、不要モードが発生しにくくするためには、もっと多くの支持梁を配置して質量体M Sを支持することが考えられるが、配置位置を考慮しないと、上述した内部応力に起因する駆動方向の固有振動数 ω_{rx} の変動と、それに伴う角速度センサの感度の変動が問題点として顕在化する。

[0128] そこで、本実施の形態1では、上述した第3特徴点および第4特徴点による歪にロバストな特性を維持しながらも、例えば、図14に示すように、上述した不要モードの発生を抑制するための工夫を施している。この工夫点が第5特徴点である。具体的に、まず、y方向の中心に位置して、仮想線I L上に配置される固定部F U 2を設ける。そして、接続部C Uは、x方向にお

いて、基板と固定された固定部F U 2を挟むように配置された第3部位P 3と第4部位P 4を備える。このとき、第3部位P 3は、第1部位P 1と第2部位P 2とを連結するように配置される。同様に、第4部位P 4も、第1部位P 1と第2部位P 2とを連結するように配置される。そして、第3部位P 3は、支持梁B M 3を介して固定部F U 2と接続され、かつ、第4部位P 4は、支持梁B M 4を介して固定部F U 2と接続されている。このように構成する点に本実施の形態1における第5特徴点がある。

[0129] この場合、周辺環境温度による基板歪が発生しても、固定部F U 2が変位することはなく、支持梁B M 3および支持梁B M 4には内部応力が発生しない。一方で、質量体M Sの第1部位P 1および第2部位P 2が支持梁B M 3および支持梁B M 4を介して固定部F U 2とも接続される。この結果、本実施の形態1によれば、歪にロバストな特徴構成を維持しながらも、角速度センサの動作には不必要な不要モードを抑制することができる。

[0130] 特に、支持梁B M 3および支持梁B M 4は、質量体M Sのy方向に長い第3部位P 3と第4部位P 4の間に配置され、平面視において第3部位P 3と第4部位P 4を挟むようにコリオリ素子C E 1とコリオリ素子C E 2を配置している。このような配置にすることにより、支持梁B M 3および支持梁B M 4を中心に左右に配置されたコリオリ素子C E 1とコリオリ素子C E 2の重さがバランスを取ることとなる。このため、y方向回りに回転する不要モードを抑制することができる。専門用語を用いるとこれは、y方向における慣性モーメントを小さくしたこととなり、y方向周りに回転する不要モードの固有周波数を高くしたことになる。この結果、本実施の形態1によれば、駆動振動系の固有振動数よりも高周波帯域にy方向周りに回転する不要モードの固有周波数をシフトさせることができる。これにより、環境温度変化によって、駆動振動系の固有振動数が変化したとしても、特定温度において不要モードと駆動モードが混じることを効果的に抑制することができ、これによって、角速度センサの誤動作の可能性を低くすることができる。

[0131] 本実施の形態1における角速度センサは、コリオリ素子C E 1の変位を角

速度検出部 Y S U 1 で静電容量値の変化をして捉えることにより、 z 方向回りの角速度を検出し、コリオリ素子 C E 2 の変位を角速度検出部 Y S U 2 の静電容量値の変化として捉えることにより、 y 方向回りの角速度を検出している。この点に関し、物体の変位を検出する方法としては、静電容量値の変化を検出する方式の他に、物体の変位を構造の歪として捉え、特殊な薄膜の内部に存在する電気双極子間の距離の変動に伴って発生する電荷を電流として検出する圧電効果を使用する方式もある。ところが、圧電効果を使用する方式では、物体の変位によって発生した電荷がすぐに消滅するため、傾斜などの静的な変位（例えば、重力加速度に起因する変位）を検出することは困難である。つまり、角速度センサと加速度センサを統合することを考えた場合、圧電効果を使用する方式では、静的な変位も検出する加速度センサを実現することが困難になる。このため、圧電効果を使用する方式では、角速度センサと加速度センサとを統合することが困難となる。

[0132] これに対し、静電容量値を検出する方式では、重力加速度に代表される静的な変位も容易に検出することができる。このことから、本実施の形態 1 における角速度センサでは、容易に加速度センサと統合することができる。したがって、本実施の形態 1 における多軸の角速度センサは、加速度センサと角速度センサを 1 つのセンサに統合するトレンドに適合したアプローチを提供するものと考えられる。

[0133] <変形例>

本変形例では、音叉構造の角速度センサについて説明する。図 16 は、本変形例における角速度センサ S 2 の平面構成を示す図である。図 16 において、基板には、センサエレメント S E 1 とセンサエレメント S E 2 が設けられており、このセンサエレメント S E 1 とセンサエレメント S E 2 は、互いの振動エネルギーを共有する音叉構造を構成するように、リンク梁 L B M によって接続されている。そして、センサエレメント S E 1 およびセンサエレメント S E 2 のそれぞれの構成は、前記実施の形態 1 におけるセンサエレメント S E の構成と同様である。

[0134] 特に、本変形例においては、センサエレメント S E 1 の構成要素と、センサエレメント S E 2 の構成要素は、 x 方向の中心線に対して（リンク梁 L B M に対して）、鏡像対称となるように配置されている。そして、センサエレメント S E 1 の質量体（励振素子）と、センサエレメント S E 2 の質量体（励振素子）は、励振方向である x 方向において互いに逆相振動するように制御されている。

[0135] これにより、本変形例における角速度センサの利点としては、コモンリジエクションと呼ばれる電氣的な同相モードノイズのキャンセルや外部からの外乱振動のキャンセルなどを挙げることができる。例えば、加速度に起因するような同相モードノイズが発生しても、音叉構造の場合、センサエレメント S E 1 の変位とセンサエレメント S E 2 の変位の差分を取るため、相殺することができ、検出精度を向上させることができる。さらには、検出振動系においても、振動外乱のようなノイズ成分を除去し、角速度の印加に起因する信号だけを分離することが容易となる。また、音叉構造とすることにより、例えば、駆動振動系を構成する質量体や支持梁に加工時の誤差が存在する場合であっても、きれいな共振特性を得ることができる。

[0136] （実施の形態 2）

図 1 7 は、本実施の形態 2 における角速度センサのセンサエレメント S E の平面構成を示す図である。図 1 7 において、本実施の形態 2 におけるセンサエレメント S E の構成は、例えば、図 1 4 に示す前記実施の形態 1 におけるセンサエレメント S E の構成とほぼ同様であるため、相違点を中心に説明する。

[0137] 図 1 4 および図 1 7 に示すように、前記実施の形態 1 と本実施の形態 2 の相違点は、コリオリ素子 C E 2 を支持する検出梁の構成である。すなわち、前記実施の形態 1 では、構成要素がねじれる変形態様の検出梁 D B M 3 を採用している一方、本実施の形態 2 では、構成要素が屈曲する変形態様の検出梁 D B M 4 を採用している点に相違点がある。その他の構成や製造方法については、前記実施の形態 1 と同様であるため、ねじれ梁である検出梁 B M 3

の代わりに屈曲梁である検出梁D B M 4を採用することによって得られる利点を重点的に説明する。

[0138] まず、(式4)は、上述した(式2)を(式3)に代入して、角速度センサの感度 S_z を駆動周波数 ω_d (ここでは、駆動周波数 ω_d を駆動方向の固有振動数 ω_{rx} に一致させているため、 $\omega_d = \omega_{rx}$ となる。)と、コリオリ素子C E 1と検出梁D B M 1および検出梁D B M 2から構成される検出系の検出方向の固有振動数 ω_{ry} との関係式として表現したものである。さらに、(式3)の中の Q_{sy} を駆動周波数 ω_d と検出方向の固有振動数 ω_{ry} が異なる場合でも対応できるように一般化している。さらに、(式5)は、応答倍率を示す関係式であり、(式6)は、角速度センサの応答周波数を示す関係式である。

[0139]

$$\begin{aligned} S_z &= y / \Omega_z \\ &= 2 \cdot m_y \cdot X \cdot \omega_d / \omega_{ry}^2 \\ &\quad \times 1 / \{ [1 - (\omega_d / \omega_{ry})^2]^2 + [\omega_d / (Q_{sy} \omega_{ry})]^2 \}^{1/2} \end{aligned} \quad \dots (式4)$$

このとき、 S_z は角速度センサの感度、 y はコリオリ素子C E 1の y 方向の変位、 Ω_z は z 方向回りの角速度、 m_y はコリオリ素子C E 1の質量、 X は駆動方向の最大振幅、 $\omega_d / 2\pi$ は駆動周波数、 ω_{ry} は第1検出方向(y 方向)の固有振動数を示している。

[0140]

$$Q_{sye} = 1 / \{ [1 - (\omega_d / \omega_{ry})^2]^2 + [\omega_d / (Q_{sy} \omega_{ry})]^2 \}^{1/2} \quad \dots (式5)$$

このとき、 Q_{sye} は、応答倍率を示している。

[0141]

$$f_b = \omega_{ry} / (1/2 \cdot \pi \cdot Q_{sye}) \quad \dots (式6)$$

このとき、 f_b は、角速度センサの応答周波数である。

[0142] (式4) から、角速度センサの感度 S_z は、駆動周波数 ω_d と検出方向の固有振動数 ω_{ry} の比の関数であることが分かる。さらに、(式5) からは、駆動周波数 ω_d と検出方向の固有振動数 ω_{ry} とを近づけるほど、応答倍率 Q_{sye} は高くなるため、高い感度 S_z を得られることがわかる。つまり、駆動周波数 ω_d を検出方向の固有振動数 ω_{ry} に一致させれば、応答倍率 Q_{sye} は検出振動系の機械品質係数 Q_{sy} と同じ値となり、最大となる。ところが、(式6) に示すように応答倍率 Q_{sye} が高すぎると、角速度センサの応答周波数 f_b が制限される。さらに、駆動周波数 ω_d を検出方向の固有振動数 ω_{ry} に一致させた場合には、コリオリ素子 $CE1$ の位相が周波数のわずかな変動で大きく変化して不安定な状態となるため、一般的には、駆動周波数 ω_d の値と、検出方向の固有振動数 ω_{ry} の値を一定間隔で分離している。したがって、感度変動の少ない高い信頼性を有する角速度センサを提供するためには、駆動方向の固有振動数 ω_{rx} (= 駆動周波数 ω_d) と検出方向の固有振動数 ω_{ry} の比および周波数差を温度変化に対してなるべく一定に保持することが重要であることがわかる。

[0143] そこで、本実施の形態2では、以下に示す工夫を施している。すなわち、本実施の形態2における角速度センサでは、質量体 MS とともに駆動振動系を構成する支持梁 $BM1$ 、 $BM2$ 、 $BM3$ 、 $BM4$ が屈曲する屈曲梁として構成されている。さらに、本実施の形態2における角速度センサでは、コリオリ素子 $CE1$ とともに第1検出振動系を構成する検出梁 $DBM1$ 、 $DBM2$ も屈曲する屈曲梁として構成され、また、コリオリ素子 $CE2$ とともに第2検出振動系を構成する検出梁 $DBM4$ も屈曲する屈曲梁として構成されている点に特徴点がある。すなわち、本実施の形態2における角速度センサでは、支持梁 $BM1$ 、 $BM2$ 、 $BM3$ 、 $BM4$ 、検出梁 $DBM1$ 、 $DBM2$ 、 $DBM4$ のすべてが屈曲する屈曲梁から構成されている点に特徴点がある。以下に、この理由について説明する。

[0144] 図18(a) は、屈曲による変位する屈曲梁を示す模式図であり、図18(b) は、ねじれにより変位するねじれ梁を示す模式図である。図18(a)

）に示すように、屈曲梁BMWが屈曲変形することにより質量体Mが変位していることがわかる。一方、図18（b）に示すように、ねじれ梁BMTがねじれることにより質量体Mが変位していることがわかる。このように屈曲梁BMWとねじれ梁BMTは、変形態様が異なることがわかる。

[0145] ここで、（式7）は屈曲梁BMWのばね定数を示す関係式であり、（式8）はねじれ梁BMTのばね定数を示す関係式である。

[0146]

$$k_b = E \cdot b \cdot h^3 / L^3 \quad \dots \text{（式7）}$$

このとき、 k_b は屈曲梁BMWのばね定数、 E は縦弾性係数、 b は屈曲梁BMWの高さ、 h は屈曲梁BMWの幅、 L は屈曲梁BMWの長さを示している。

[0147]

$$k_t = E \cdot b \cdot h^3 / \{2(1 + \nu) \cdot L\} \times [1/3 - 0.21h(1 - h^4/12b^4)/b] \quad \dots \text{（式8）}$$

このとき、 k_t はねじれ梁BMTのばね定数、 E は縦弾性係数、 b はねじれ梁BMTの高さ、 h はねじれ梁BMTの幅、 L はねじれ梁BMTの長さ、 ν はポアソン比を示している。

[0148] このことから、図18（a）に示す屈曲梁BMWを使用する振動系の固有振動数 ω_{rb} は、 $\omega_{rb} = \sqrt{k_b/m}$ であり、図18（b）に示すねじれ梁BMTを使用する振動系の固有振動数 ω_{rt} は、 $\omega_{rt} = \sqrt{k_t/J}$ として定義できる。このとき、 m は質量体Mの質量であり、 J は質量体Mの慣性モーメントである。図18（b）における慣性モーメント J は、 $J = \rho b c a^3 / 12$ であり、 ρ は密度である。

[0149] さらに、梁を構成する材料として、＜110＞結晶軸の単結晶シリコンを使用した場合、縦弾性係数 E は、（式9）に示す温度依存性を有する。

[0150]

$$E = E_0 - B T \exp(-T_0/T) \quad \dots \text{(式9)}$$

このとき、 E_0 は、0 Kでの $\langle 110 \rangle$ 単結晶シリコンの縦弾性係数（167.5 GPa）、 B は温度係数（15.8 MPa/K）、 T_0 は近似係数（317 K）、 T は温度を示している。

[0151] 以上のことから、屈曲梁BMWを使用する振動系の固有振動数 ω_{rb} は、（式7）に示すばね定数 k_b の温度変化に基づく温度依存性を有することになる一方、ねじれ梁BMTを使用する振動系の固有振動数 ω_{rt} は、（式8）に示すばね定数 k_t の温度変化に基づく温度依存性を有することになる。ここで、（式7）に示すばね定数 k_b と、（式8）に示すばね定数 k_t とは、関係式が異なることから、屈曲梁BMWを使用する振動系の固有振動数 ω_{rb} の温度依存性と、ねじれ梁BMTを使用する振動系の固有振動数 ω_{rt} の温度依存性は異なることになる。したがって、1つのセンサエレメントSE上に屈曲梁と質量体として構成される屈曲振動系と、ねじり梁と慣性モーメントとして構成されるねじり振動系が混在する場合には、2つの固有振動数の比および周波数差を広い使用温度範囲内で一定に維持することが困難である。つまり、図19に示すように、例えば、角速度センサにおいて、駆動振動系に屈曲振動系を採用し、検出振動系にねじれ振動系を採用する場合、それぞれの固有振動数の温度依存性が異なることから、2つの固有振動数の比および周波数差を広い使用温度範囲内で一定に維持することが困難であることがわかる。

[0152] もちろん、上述した（式7）～（式9）を駆使することで、図14に示す前記実施の形態1におけるセンサエレメントSEにおいて、質量体MS、屈曲梁から構成される支持梁BM1、BM2、BM3、BM4、屈曲梁から構成される検出梁DBM1、DBM2、ねじれ梁から構成される検出梁DBM3、コリオリ素子CE1、コリオリ素子CE2の形状および配置を工夫することで、駆動振動系と検出振動系の間の固有振動数の温度依存性を合わせる

ことは不可能ではないが、大きな構造設計の制約となる。

[0153] これに対し、本実施の形態2における角速度センサのセンサエレメントSEでは、支持梁BM1、BM2、BM3、BM4、検出梁DBM1、DBM2、DBM4のすべてが屈曲する屈曲梁から構成されている。この場合、図19に示すように、駆動振動系に屈曲振動系を採用し、検出振動系にも屈曲振動系を採用する場合、それぞれの固有振動数の温度依存性がほぼ同様になることから、2つの固有振動数の比および周波数差を広い使用温度範囲内で一定に維持することが可能となる。すなわち、本実施の形態2では、質量体MSと支持梁BM1、BM2、BM3、BM4として構成される駆動振動系の固有振動数 ω_{rx} 、コリオリ素子CE1と検出梁DBM1、DBM2として構成される第1検出振動系の固有振動数 ω_{ry} 、コリオリ素子CE2と検出梁DBM4として構成される第2検出振動系の固有振動数 ω_{rz} が存在する。このとき、本実施の形態2では、すべての梁を屈曲する屈曲梁から構成しているため、図19からわかるように、固有振動数の比および周波数差を広い使用温度範囲で一定に維持することができる。この結果、本実施の形態2によれば、感度の温度依存性が少ない高い信頼性を有する角速度センサを提供することができる。

[0154] さらに、本実施の形態2によれば、広い温度範囲においても感度の変動が少ないため、角速度センサの出荷時の補正および調整の工数を軽減することができ、これによって、より低コストで高信頼性を有する角速度センサを提供することができる。

[0155] なお、本実施の形態2における角速度センサにおいても、前記実施の形態1における角速度センサと同様に音叉構造とすることもできる。

[0156] また、本実施の形態2では、駆動振動系および2つの異なる検出振動系において、すべて屈曲モードで構成する例を挙げて説明しているが、(式7)から(式9)を考慮すれば、本実施の形態2の基本思想は、駆動振動系および2つの異なる検出振動系において、すべて同一の変形態様(変形モード)で構成する点に本質があることは明らかである。したがって、例えば、駆動

振動系および2つの異なる検出振動系において、すべてねじりモードで構成しても上述した効果と同様の効果を得ることができる。

[0157] 以上、本発明者によってなされた発明をその実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることは言うまでもない。

[0158] 本発明は、自動車やロボットなどの姿勢検知、デジタルカメラの手ぶれ補正、ナビゲーションシステムの姿勢・方向検知、ゲーム機の姿勢検知などに使用される慣性センサの分野に幅広く利用することができる。特に、異なる方向の角速度を検出する場合に優れた効果を発揮することができる。

符号の説明

- [0159]
- 1 a 絶縁膜
 - 1 S 基板
 - 2 S SOI 基板
 - 1 0 C/V変換部
 - 1 1 AD変換部
 - 1 2 差動検出部
 - 1 3 同期検波部
 - 1 4 AFC
 - 1 5 AGC
 - 1 6 DA変換部
 - 2 0 A C/V変換部
 - 2 0 B C/V変換部
 - 2 1 A AD変換部
 - 2 1 B AD変換部
 - 2 2 A 差動検出部
 - 2 2 B 差動検出部
 - 2 3 A 同期検波部
 - 2 3 B 同期検波部

2 4 A L P F

2 4 B L P F

A D H 1 接着材

A D H 2 接着材

B M 梁

B M T ねじれ梁

B M W 屈曲梁

B M 1 支持梁

B M 1 A 単位梁

B M 1 B 単位梁

B M 2 支持梁

B M 2 A 単位梁

B M 2 B 単位梁

B M 3 支持梁

B M 4 支持梁

C A P キャップ

C A R 自動車

C E 1 コリオリ素子

C E 2 コリオリ素子

C H P 1 半導体チップ

C U 接続部

D B M 1 検出梁

D B M 2 検出梁

D B M 3 検出梁

D B M 4 検出梁

D E 1 容量素子

D E 2 容量素子

D I T 溝

D L デバイス層
F E 固定電極
F P 1 自由端
F P 2 自由端
F U 固定部
F U 2 固定部
I F U 2 A 内側固定部
I F U 2 B 内側固定部
I F 1 絶縁膜
I L 仮想線
I L 1 絶縁膜
L B M リンク梁
L D リード
M 質量体
M E 1 容量素子
M E 2 容量素子
M F 金属膜
M R 樹脂
M S 質量体
O F U 1 A 外側固定部
O F U 1 B 外側固定部
O U T 1 出力端子
O U T 2 出力端子
O X 1 絶縁膜
O X 2 絶縁膜
P D 1 パッド
P D 2 パッド
P 1 第1部位

P 2 第2部位

P 3 第3部位

P 4 第4部位

S E センサエレメント

S E 1 センサエレメント

S E 2 センサエレメント

S P 空間

S P 2 空間

S 1 角速度センサ

S 2 角速度センサ

T A B チップ搭載部

T H 貫通孔

V A 貫通ビア

W 1 ワイヤ

W 2 ワイヤ

Y S U 1 角速度検出部

Y S U 2 角速度検出部

請求の範囲

- [請求項1] （a）励振方向と前記励振方向に直交する第1検出方向とを面内に含む裏面を有する基板、
- （b）前記基板の前記裏面とは反対側の表面に固定された第1固定部、
- （c）第1支持梁を介して前記第1固定部と接続され、かつ、前記励振方向に振動可能な励振素子、
- （d）第1検出梁を介して前記励振素子と接続され、かつ、前記第1検出方向に変位可能な第1コリオリ素子、
- （e）第2検出梁を介して前記励振素子と接続され、かつ、前記励振方向および前記第1検出方向に直交する第2検出方向に変位可能な第2コリオリ素子、
- を備え、
- 前記励振素子と前記第1コリオリ素子と前記第2コリオリ素子は、同一のデバイス層に形成され、
- 前記デバイス層は、前記基板の前記裏面と並行するように、前記基板の前記表面の上方に配置されている、角速度センサ。
- [請求項2] 請求項1に記載の角速度センサにおいて、
- 前記励振素子は、
- （f 1）前記励振方向に延在する第1部位、
- （f 2）前記第1部位と離間しながら前記励振方向に延在する第2部位、
- （f 3）前記第1部位と前記第2部位とを連結する接続部、
- を含み、
- 平面視において、前記第1コリオリ素子と前記第2コリオリ素子は、前記接続部を挟むように配置されている、角速度センサ。
- [請求項3] 請求項2に記載の角速度センサにおいて、
- 前記接続部は、

(g 1) 前記第 1 検出方向の中心を通り、前記励振方向に延在する仮想線上に配置された第 2 固定部であって前記基板に固定された前記第 2 固定部と、第 2 支持梁を介して接続され、かつ、前記第 1 部位と前記第 2 部位を連結するように前記第 1 検出方向に延在する第 3 部位、

(g 2) 第 3 支持梁を介して前記第 2 固定部と接続され、かつ、前記第 1 部位と前記第 2 部位を連結するように前記第 1 検出方向に延在する第 4 部位、

を含み、

平面視において、前記第 3 部位と前記第 4 部位は、前記第 2 固定部を挟むように配置されている、角速度センサ。

[請求項4]

請求項 1 に記載の角速度センサにおいて、

前記第 1 支持梁、前記第 1 検出梁、および、前記第 2 検出梁は、同一の変形態様を有する梁である、角速度センサ。

[請求項5]

請求項 4 に記載の角速度センサにおいて、

前記第 1 支持梁、前記第 1 検出梁、および、前記第 2 検出梁は、屈曲によって変形する屈曲梁である、角速度センサ。

[請求項6]

請求項 2 に記載の角速度センサにおいて、

前記第 1 固定部は、第 1 外側固定部と第 1 内側固定部を含み、

前記第 1 支持梁は、第 1 外側支持梁と第 1 内側支持梁を含み、

前記第 1 部位は、前記第 1 外側支持梁を介して前記第 1 外側固定部と接続され、かつ、前記第 1 内側支持梁を介して前記第 1 内側固定部と接続され、

前記第 1 外側固定部と前記第 1 内側固定部は、前記第 1 検出方向の中心を通り、前記励振方向に延在する仮想線に対して、同じ側に配置されている、角速度センサ。

[請求項7]

請求項 6 に記載の角速度センサにおいて、

前記第 1 外側固定部と前記第 1 内側固定部は、前記第 1 部位に対し

て、反対側に配置されている、角速度センサ。

[請求項8]

請求項1に記載の角速度センサにおいて、

前記第1コリオリ素子は、前記励振方向に前記励振素子を振動させた状態で、前記第2検出方向回りに第1角速度が印加された場合に、前記第1検出方向に変位し、

前記第2コリオリ素子は、前記励振方向に前記励振素子を振動させた状態で、前記第1検出方向回りに第2角速度が印加された場合に、前記第2検出方向に変位する、角速度センサ。

[請求項9]

請求項1に記載の角速度センサにおいて、

(h1) 前記第1コリオリ素子の前記第1検出方向の変位を静電容量値の変化として捉える第1角速度検出部、

(h2) 前記第2コリオリ素子の前記第2検出方向の変位を静電容量値の変化として捉える第2角速度検出部、

を含む、角速度センサ。

[請求項10]

請求項9に記載の角速度センサにおいて、

前記第1角速度検出部は、平面視において、前記第1コリオリ素子の内部に設けられ、

前記第2角速度検出部は、前記第2コリオリ素子の外部に設けられる、角速度センサ。

[請求項11]

請求項1に記載の角速度センサにおいて、

前記第1コリオリ素子および前記第2コリオリ素子は、前記基板と直接接続されていない、角速度センサ。

[請求項12]

請求項1に記載の角速度センサにおいて、

前記第1検出方向は、前記基板の前記裏面内に含まれる面内方向であり、

前記第2検出方向は、前記基板の厚さ方向となる面外方向である、角速度センサ。

[請求項13]

励振方向と前記励振方向に直交する第1検出方向とを面内に含む裏

面を有する基板上に形成された第1センサエレメントと第2センサエレメントとを含み、

前記第1センサエレメントおよび前記第2センサエレメントのそれぞれは、

(a) 前記基板の前記裏面とは反対側の表面に固定された第1固定部、

(b) 第1支持梁を介して前記第1固定部と接続され、かつ、前記励振方向に振動可能な励振素子、

(c) 第1梁を介して前記励振素子と接続され、かつ、前記第1検出方向に変位可能な第1コリオリ素子、

(d) 第2梁を介して前記励振素子と接続され、かつ、前記励振方向および前記第1検出方向に直交する第2検出方向に変位可能な第2コリオリ素子、

を備え、

前記励振素子と前記第1コリオリ素子と前記第2コリオリ素子は、同一のデバイス層に形成され、

前記デバイス層は、前記基板の前記裏面と並行するように、前記基板の前記表面の上方に配置され、

前記第1センサエレメントの前記励振素子と、前記第2センサエレメントの前記励振素子は、互いにリンク梁で接続されている、角速度センサ。

[請求項14] 請求項13に記載の角速度センサにおいて、

前記第1センサエレメントの前記励振素子と、前記第2センサエレメントの前記励振素子は、前記励振方向において互いに逆相振動する、角速度センサ。

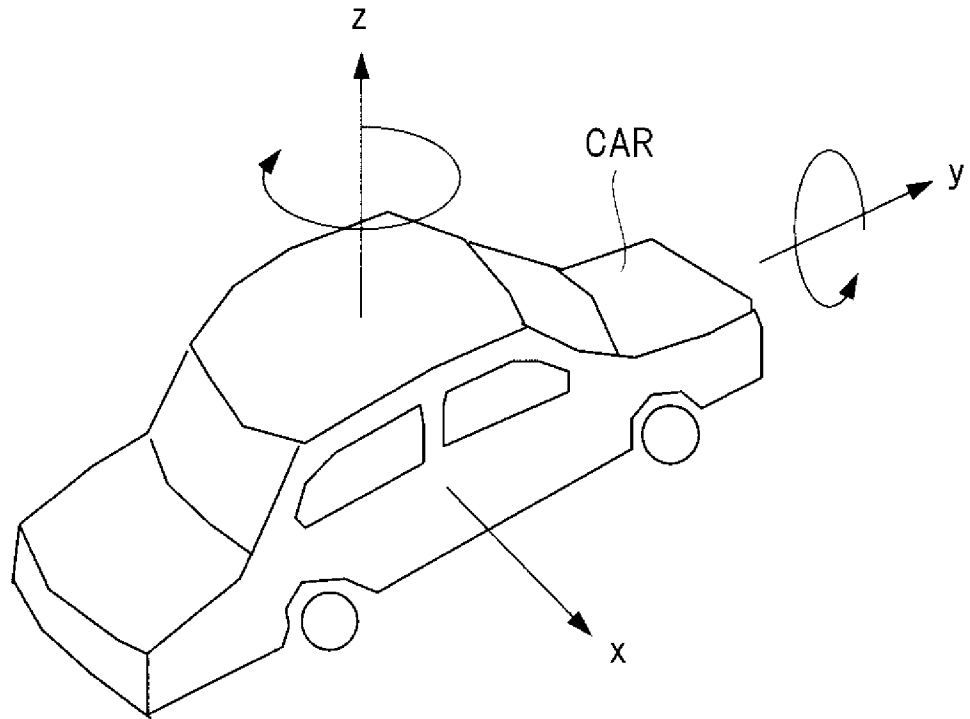
[請求項15] 請求項13に記載の角速度センサにおいて、

前記第1センサエレメントの構成要素と、前記第2センサエレメントの構成要素は、鏡像対称となるように配置されている、角速度セン

サ。

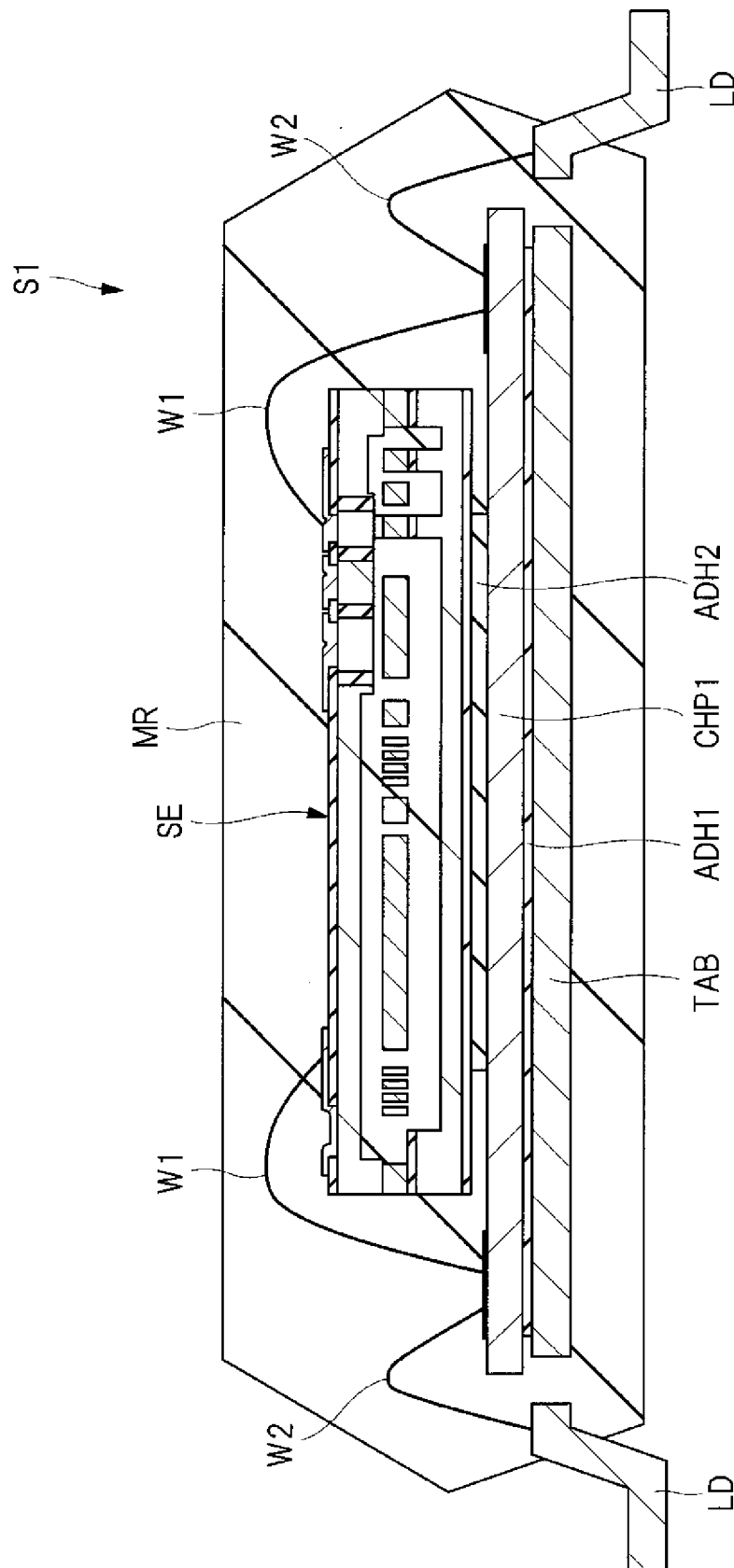
[図1]

図 1



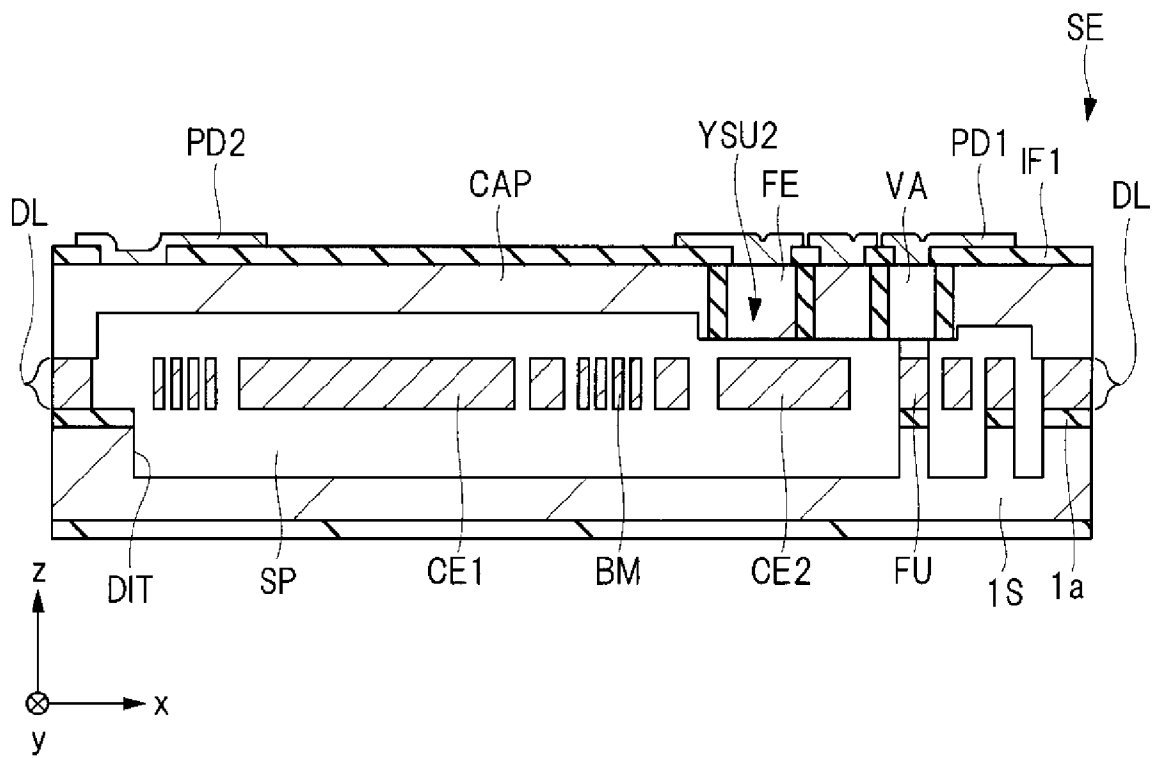
[図2]

2



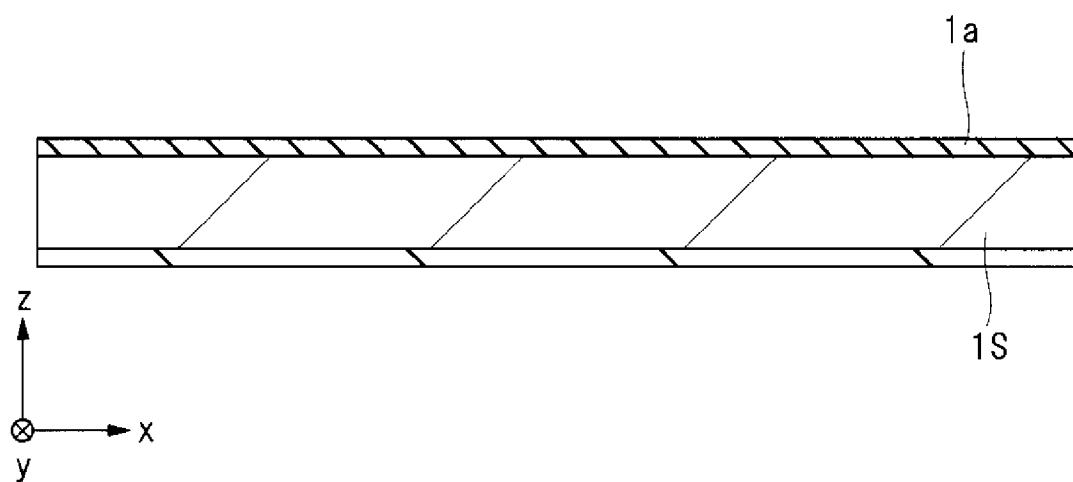
[図3]

図 3



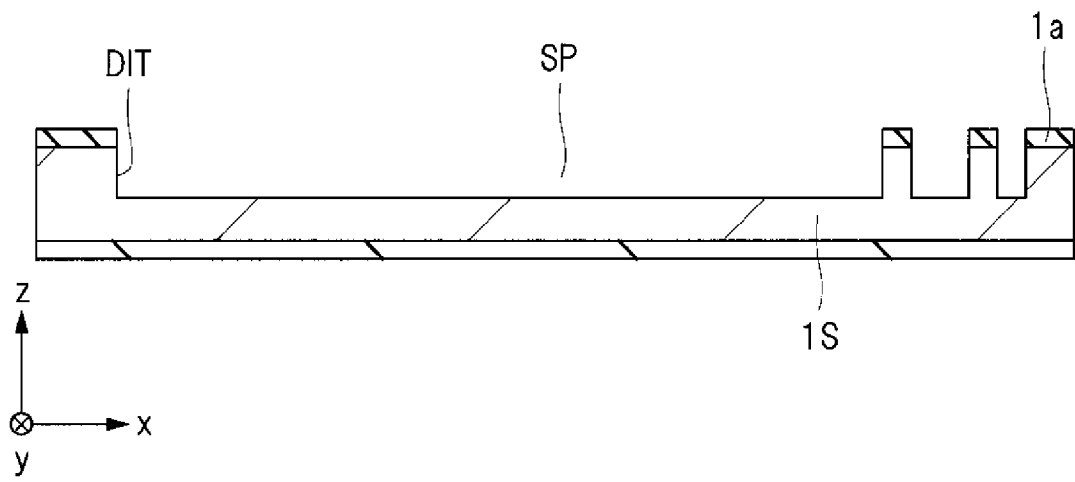
[図4]

図 4



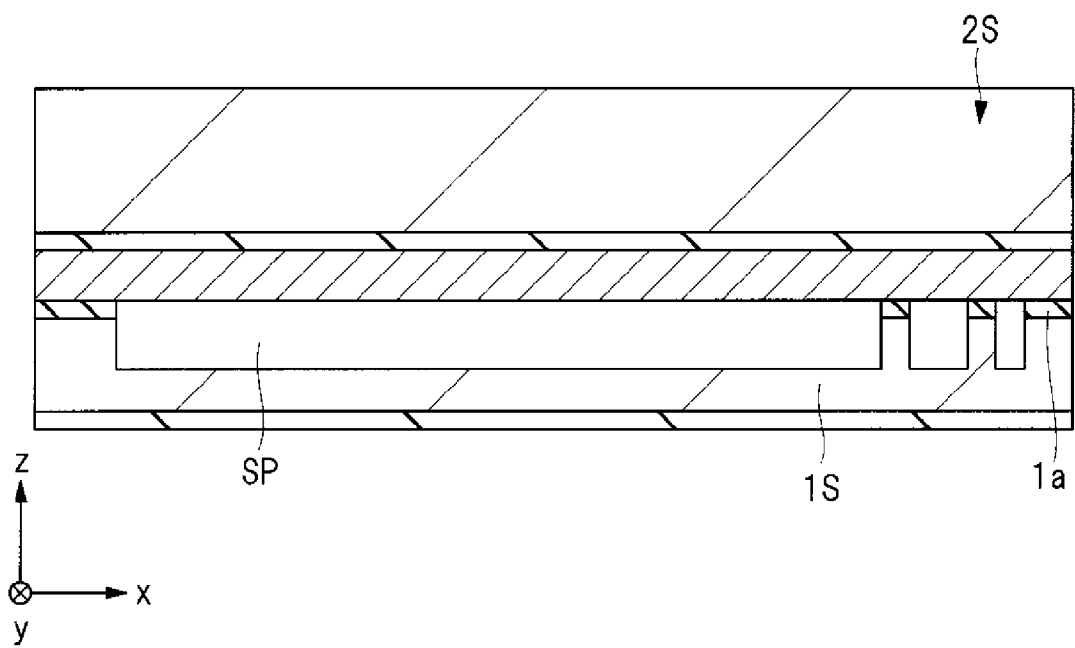
[図5]

図 5



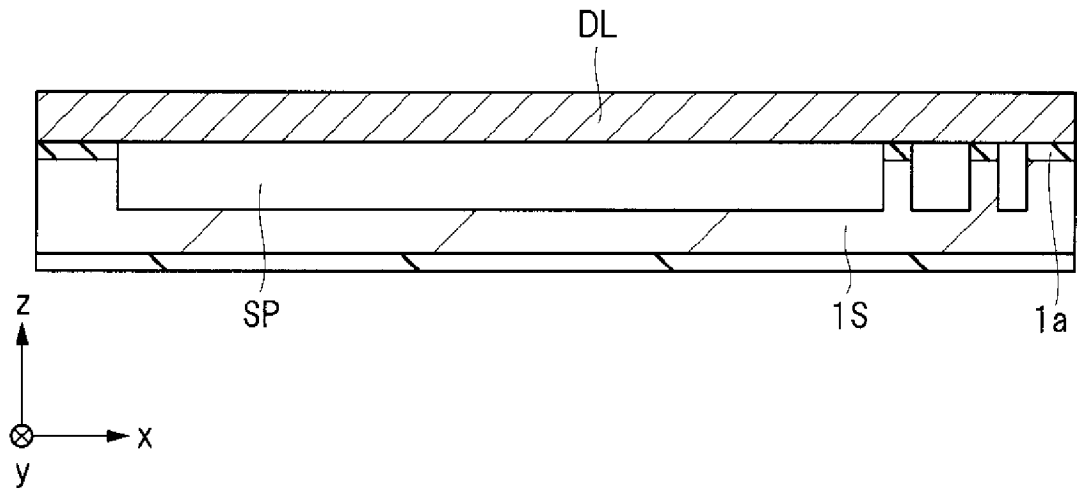
[図6]

図 6



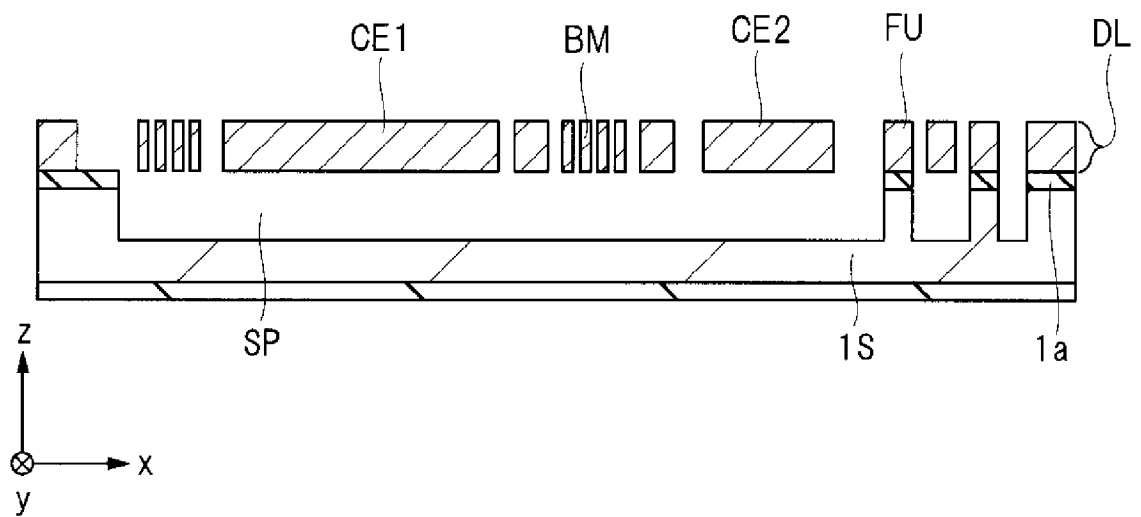
[図7]

図 7

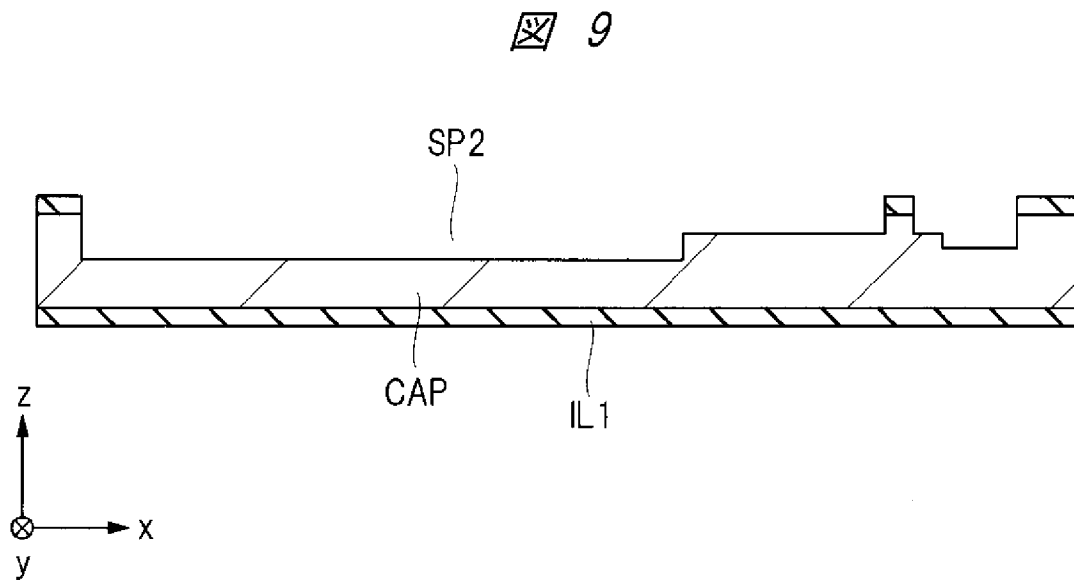


[図8]

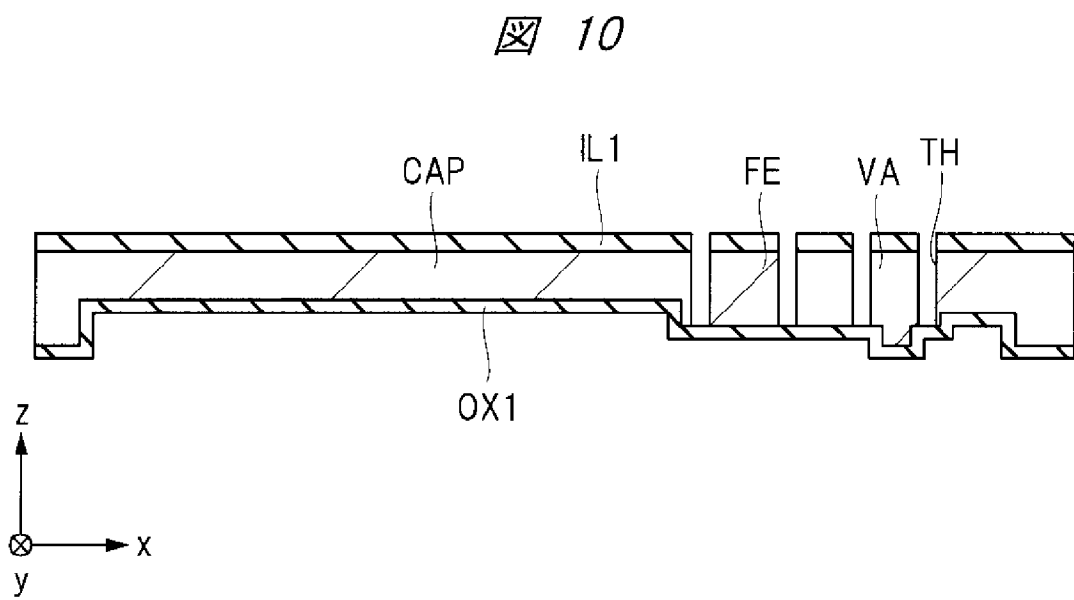
図 8



[図9]

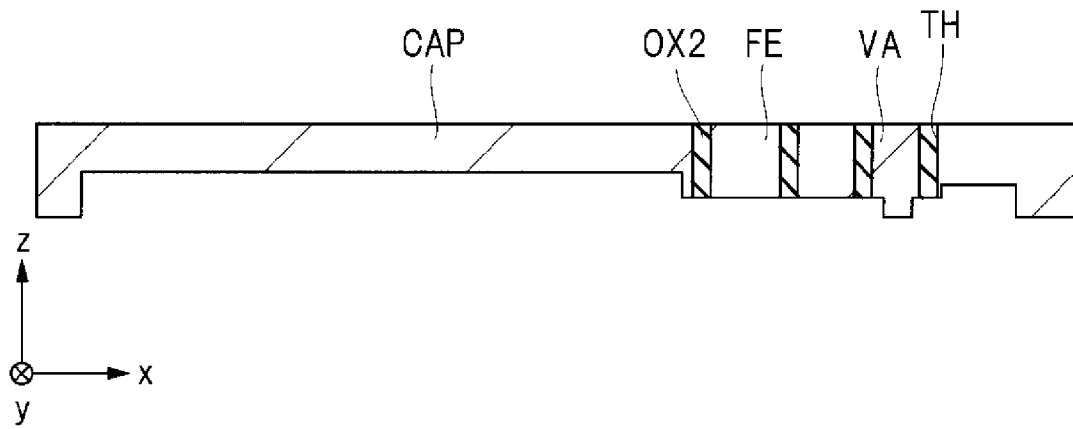


[図10]



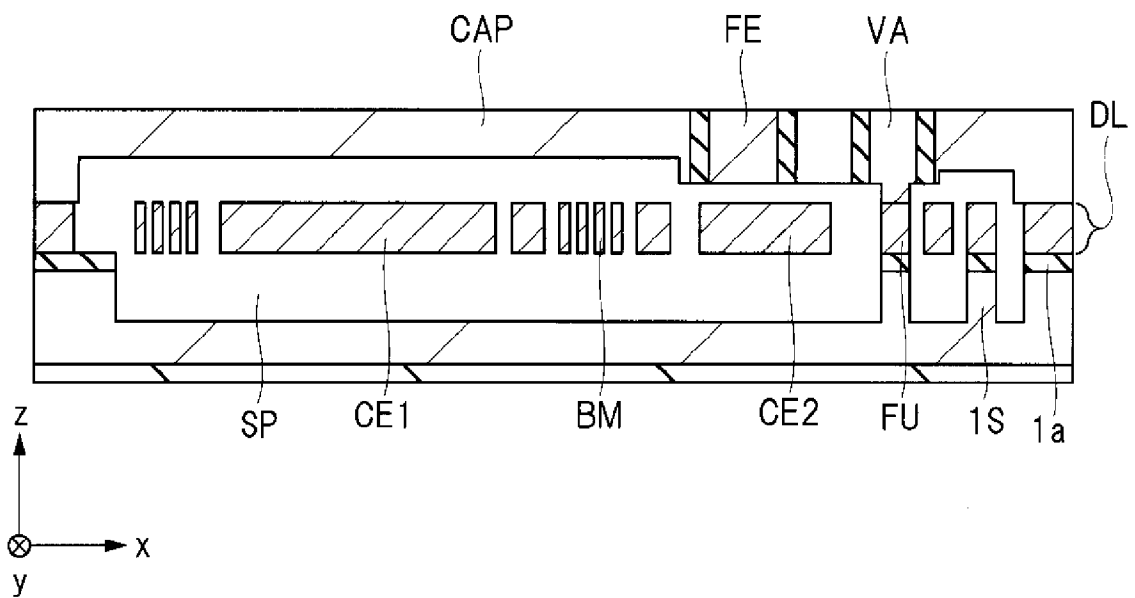
[図11]

図 11



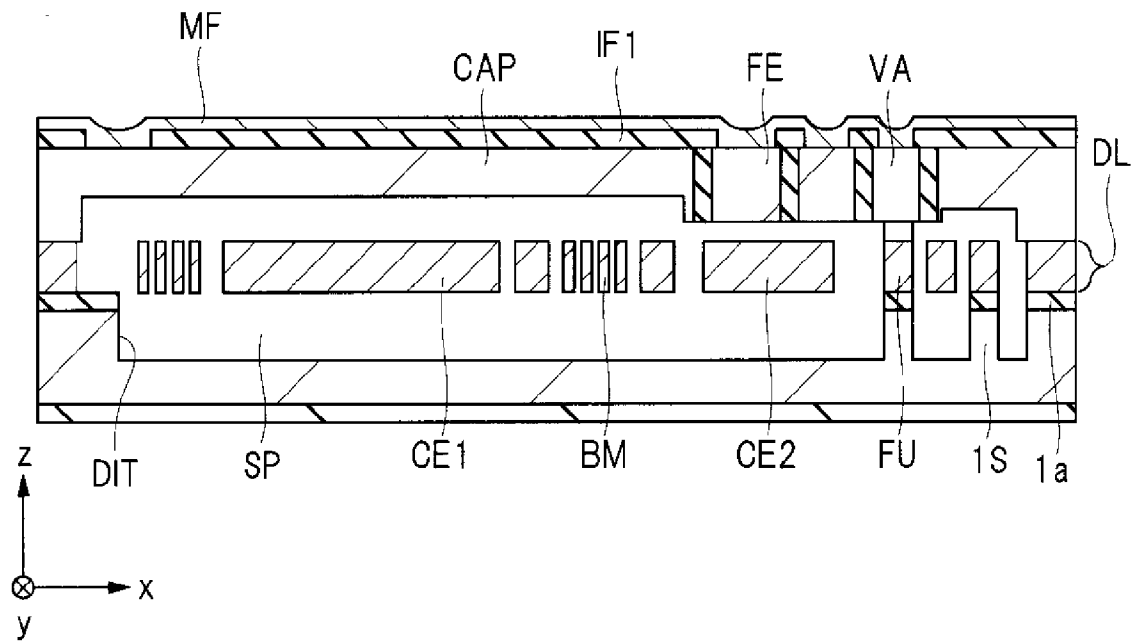
[図12]

図 12

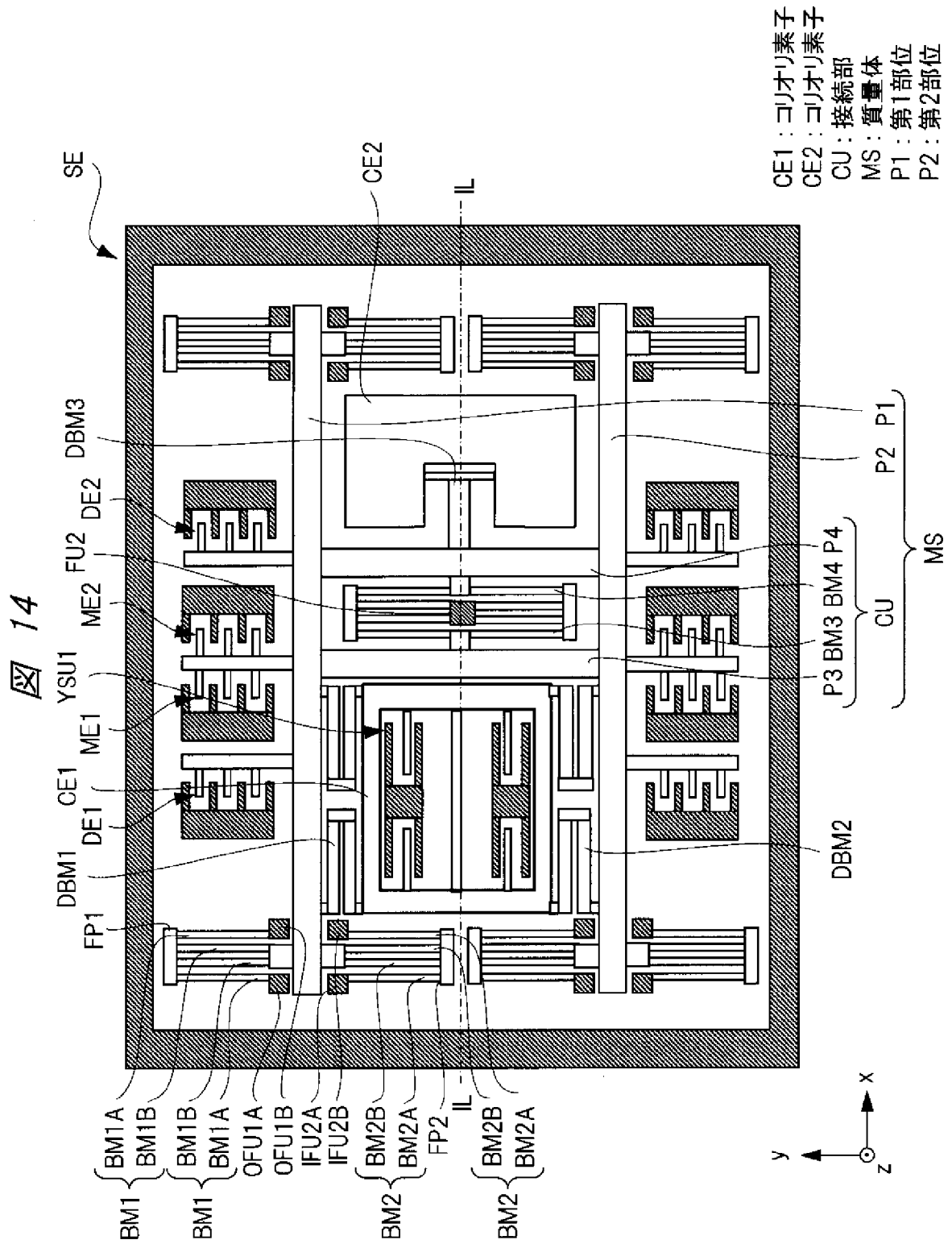


[図13]

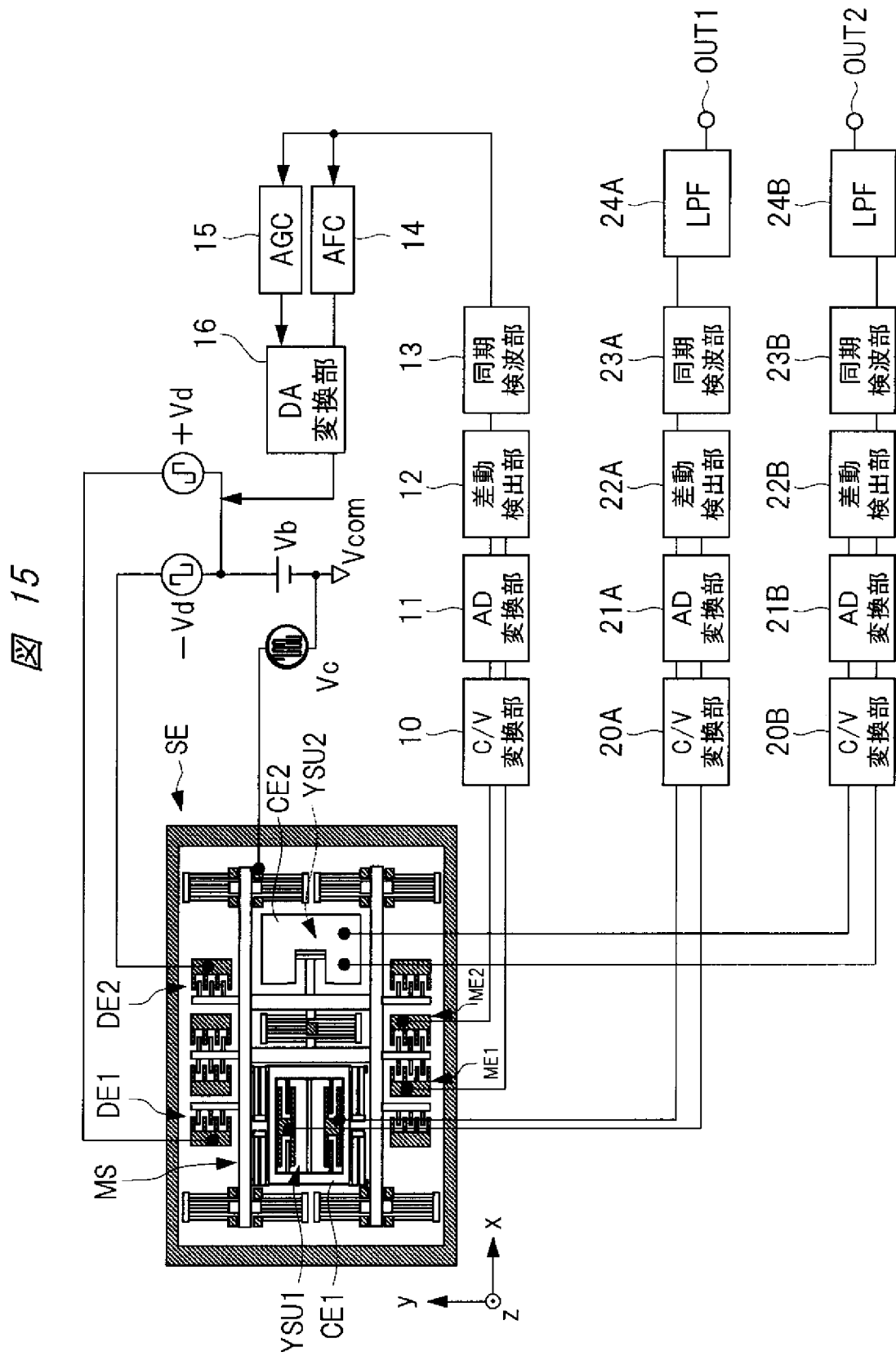
図 13



[図14]

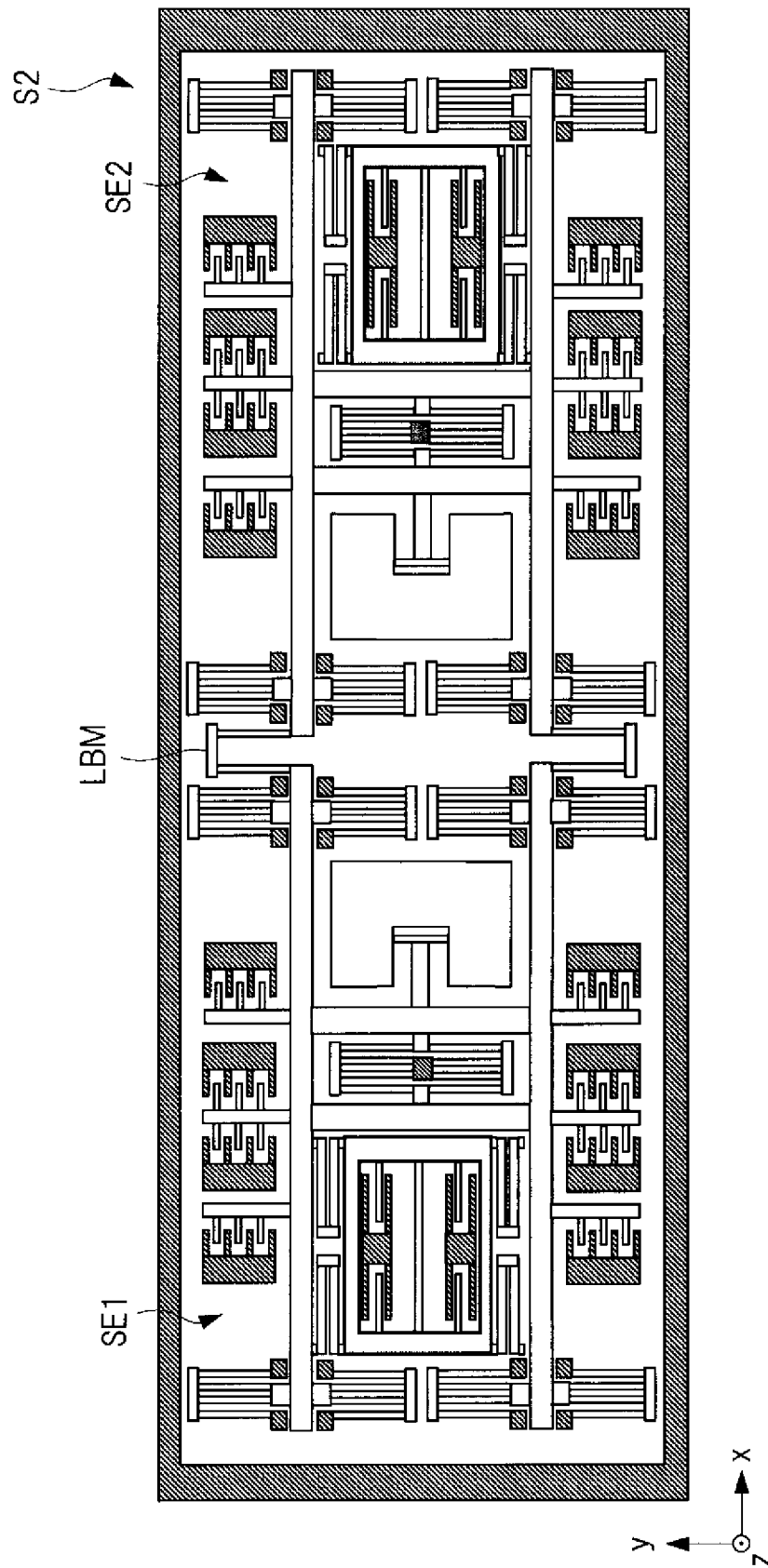


[図15]

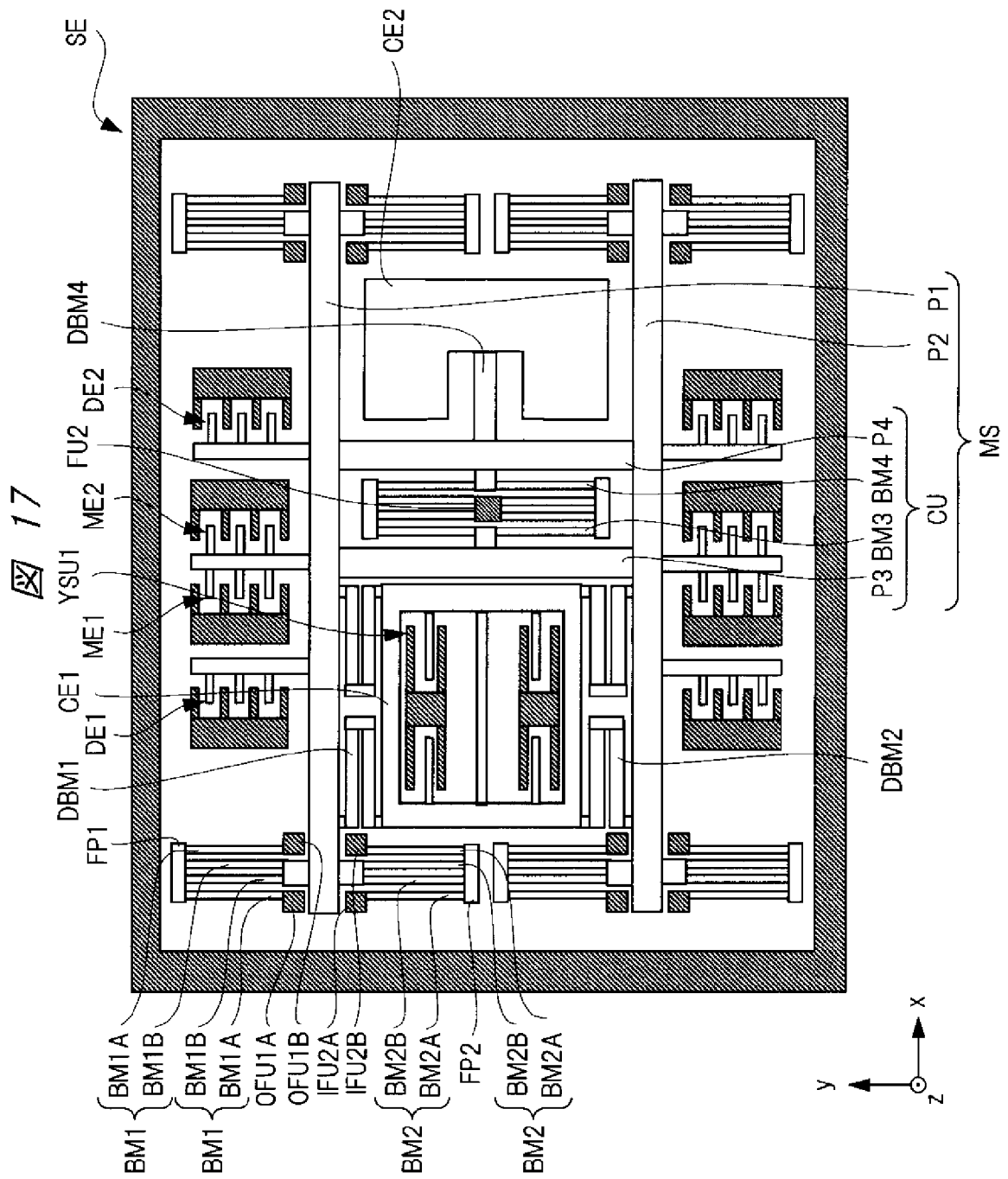


[図16]

図 16



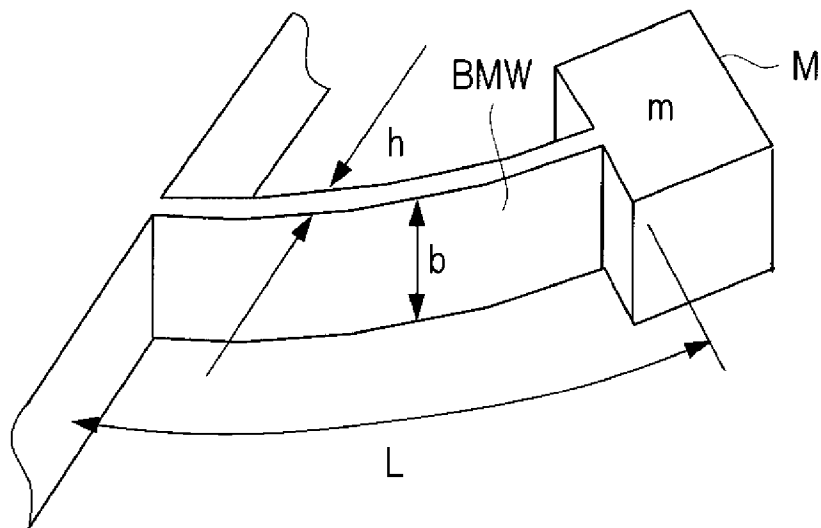
[図17]



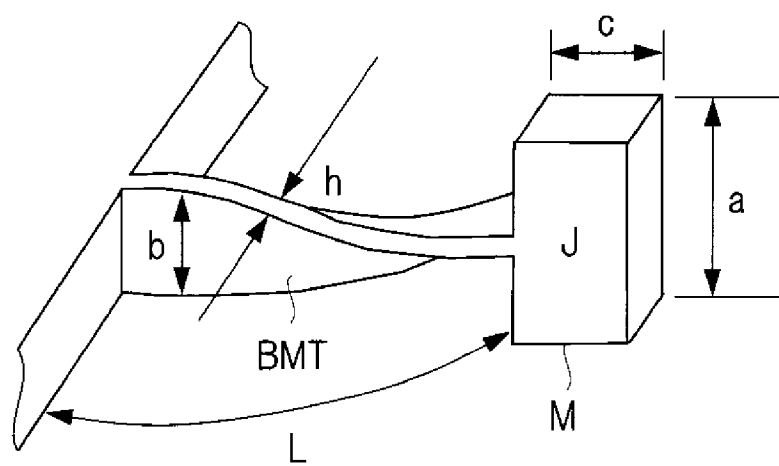
[図18]

図 18

(a)

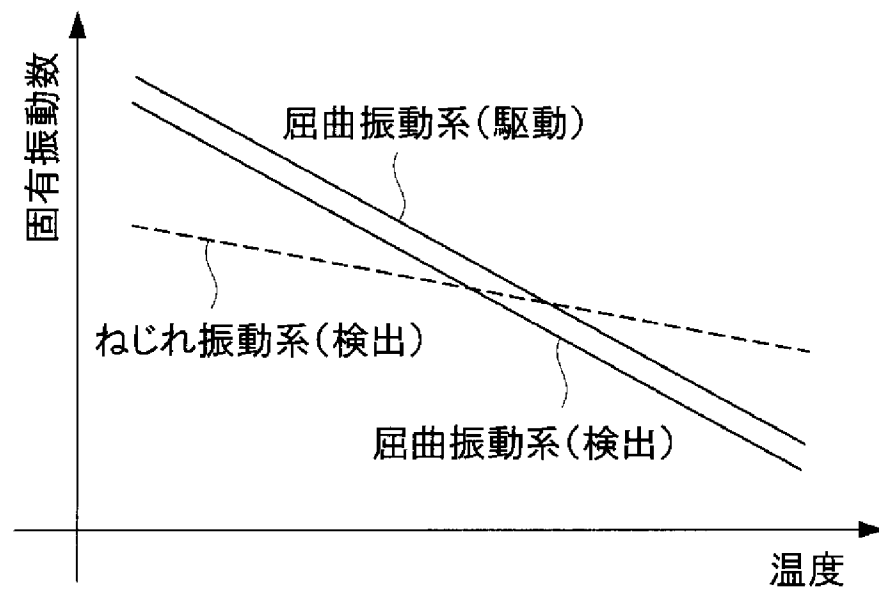


(b)



[図19]

図 19



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/052202

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G01C19/5762(2012.01)i, B81B3/00(2006.01)i, G01C19/5747(2012.01)i, H01L29/84(2006.01)i</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 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 1996-2014 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014 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.
X Y A	JP 2011-504585 A (Robert Bosch GmbH), 10 February 2011 (10.02.2011), paragraphs [0019] to [0032]; fig. 1 & US 2012/0060604 A1 & EP 2208020 A & WO 2009/062786 A1 & DE 102007054505 A & DE 102007054505 A1 & CN 101868692 A	1, 2, 6-15 4, 5 3
Y	JP 2008-46058 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 28 February 2008 (28.02.2008), paragraph [0026]; fig. 1 & US 2009/0320594 A1 & EP 2056068 A1 & WO 2008/023653 A1 & CN 101506617 A	4, 5
☒ 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 02 May, 2014 (02.05.14)		Date of mailing of the international search report 20 May, 2014 (20.05.14)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/052202

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-522228 A (SensorDynamics AG), 20 September 2012 (20.09.2012), entire text; all drawings & US 2012/0017678 A1 & EP 2414773 A & WO 2010/112268 A1 & DE 102009002066 A & CA 2756849 A & CN 102378895 A & KR 10-2012-0030343 A	1-15
A	JP 2008-58259 A (Sony Corp.), 13 March 2008 (13.03.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-15

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. G01C19/5762(2012.01)i, B81B3/00(2006.01)i, G01C19/5747(2012.01)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			
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 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2014年 日本国実用新案登録公報 1996-2014年 日本国登録実用新案公報 1994-2014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 請求項の番号	
X Y A	JP 2011-504585 A（ローベルト ボツシュ ゲゼルシャフト ミツ ト ベシユレンクテル ハフツング）2011.02.10, 【0019】～ 【0032】、【図1】 & US 2012/0060604 A1 & EP 2208020 A & WO 2009/062786 A1 & DE 102007054505 A & DE 102007054505 A1 & CN 101868692 A	1, 2, 6-15 4, 5 3	
Y	JP 2008-46058 A（松下電器産業株式会社）2008.02.28, 【0026】、 【図1】 & US 2009/0320594 A1 & EP 2056068 A1 & WO 2008/023653 A1 & CN 101506617 A	4, 5	
☒ 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		の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 02.05.2014		国際調査報告の発送日 20.05.2014	
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100-8915 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） 目黒 大地 電話番号 03-3581-1101 内線 3258	2S 5060

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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 請求項の番号
A	JP 2012-522228 A (センサーダイナミクス アクチエングゼルシャフト) 2012.09.20, 全文全図 & US 2012/0017678 A1 & EP 2414773 A & WO 2010/112268 A1 & DE 102009002066 A & CA 2756849 A & CN 102378895 A & KR 10-2012-0030343 A	1-15
A	JP 2008-58259 A (ソニー株式会社) 2008.03.13, 全文全図 (ファミリーなし)	1-15