

(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
2017年10月26日(26.10.2017)



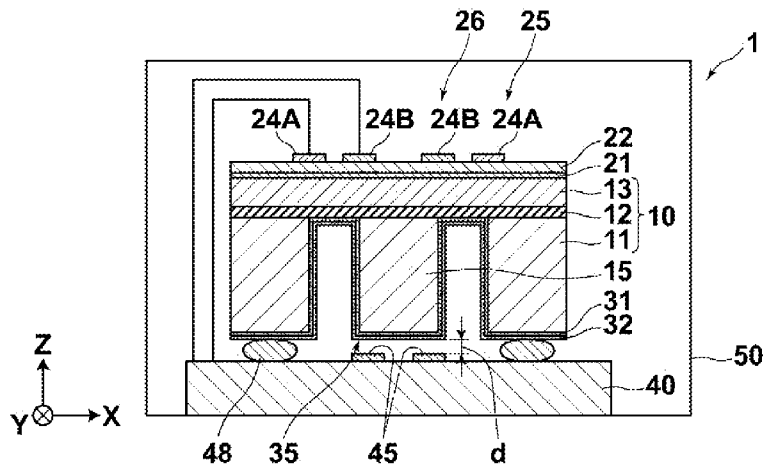
(10) 国際公開番号

WO 2017/183646 A1

- (51) 国際特許分類:
G01C 19/56 (2012.01) H01L 29/84 (2006.01)
G01P 15/08 (2006.01) H01L 41/047 (2006.01)
G01P 15/125 (2006.01) H01L 41/09 (2006.01)
G01P 15/18 (2013.01) H01L 41/113 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/015646
- (22) 国際出願日: 2017年4月19日(19.04.2017)
- (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 2016-084895 2016年4月21日(21.04.2016) JP
- (71) 出願人: 富士フイルム株式会社 (FUJIFILM CORPORATION) [JP/JP]; 〒1068620 東京都港区西麻布2丁目2番30号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 藤井 隆満 (FUJII, Takamichi); 〒2588577 神奈川県足柄上郡開成町牛島577番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人太陽国際特許事務所 (TAIYO, NAKAJIMA & KATO); 〒1600022 東京都新宿区新宿4丁目3番17号 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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,

(54) Title: COMPOSITE SENSOR

(54) 発明の名称: 複合センサ



(57) **Abstract:** [Problem] To provide a composite sensor that is capable of detecting static acceleration in addition to angular velocity and that can be readily manufactured while allowing a compact implementation. [Solution] Provided is a composite sensor (1) including: an angular-velocity sensor including a weight (15) configured as a part of a plate-shaped substrate (10), a vibration exciting section that induces vibration in the weight (15) in the direction of a predetermined vibration axis, and an angular-velocity detecting section that calculates an angular velocity by detecting a displacement of the weight (15), which occurs as a result of receiving a Coriolis force, wherein the vibration exciting section and the angular-velocity detecting section respectively include piezoelectric elements (25), (26) formed of laminated bodies of a lower electrode (21), a piezoelectric film (22), and upper electrodes (24A), (24B) provided on one face of the plate-shaped substrate (10); and an acceleration sensor including a movable electrode (35) provided on a portion of the weight (15), a fixed electrode (45) provided so as to face the movable electrode (35), and an acceleration detecting section that calculates an acceleration by detecting a change in the electrostatic capacitance between these electrodes (35), (45).

ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, 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:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

(57) 要約: 【課題】製造が容易であり、かつ小型化が実現できる、角速度に加え静的加速度の検出が可能な複合センサを提供する。 【解決手段】板状基材(10)の一部として構成された錘部(15)と、錘部(15)に対して所定の振動軸の方向に振動を誘起する振動励起部と、コリオリ力を受けて生じる錘部(15)の変位を検知して角速度を算出する角速度検出部とを備え、振動励起部および角速度検出部が、それぞれ板状基材(10)の一面に設けられた下部電極(21)、圧電膜(22)および上部電極(24A)、(24B)の積層体からなる圧電素子(25)、(26)を備えてなる角速度センサと、錘部(15)の一部に設けられた可動電極(35)、可動電極(35)に対向して設けられた固定電極(45)、および両電極(35)、(45)間の静電容量の変化を検出して加速度を算出する加速度検出部を備えた加速度センサとを備えた複合センサ(1)とする。

明 細 書

発明の名称：複合センサ

技術分野

[0001] 本発明は、角速度および加速度を検出する複合センサに関する。

背景技術

[0002] ゲーム機、携帯情報端末、デジタルカメラなどの電子機器、自動車、航空機、船舶などの姿勢制御やナビゲーション等には、角速度センサや加速度センサが用いられている。角速度および加速度などの物理量を検出するセンサとしては、固定電極と可動電極との間の静電容量の変位に基づいて物理量の変化を検出する静電方式、および圧電素子により歪量の変化に基づいて物理量の変化を検出する圧電方式などが知られている。

[0003] 特許文献 1、2 および 8 などには、圧電素子を用いた角速度センサが開示されている。また、特許文献 1 および非特許文献 1 には、圧電素子を用いて 6 軸（加速度 3 軸、角速度 3 軸）が測定可能である旨開示されている。しかしながら、圧電方式のセンサでは、応力変化によって生じる電荷を検出するという原理から、重力加速度のような静的加速度は検出することができない。また、動的な加速度であっても、その動き（変化）が非常に遅い場合（例えば、1 Hz 以下）には検出ができない場合がある。

[0004] 一方、静電方式を用いたセンサでは、静的加速度の検出も可能である（特許文献 3、4 など）。また、圧電方式の角速度検出にピエゾ抵抗方式による加速度検出を組み合わせることにより、角速度、動的加速度および静的加速度を検出可能とした複合センサ（特許文献 5、6）や、圧電方式の角速度検出に静電方式による加速度検出を組み合わせた複合センサ（特許文献 7 など）が提案されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献 1：特開 2006-23320 号公報

特許文献2：特開2014-66708号公報

特許文献3：特開平11-230760号公報

特許文献4：特開2010-181240号公報

特許文献5：特開2008-190931号公報

特許文献6：特開2015-92145号公報

特許文献7：特開2014-157063号公報

特許文献8：特開2013-217872公報

非特許文献

- [0006] 非特許文献1：Kazuaki Okada et.al. "Development of 6-axis Motion Sensors Using Piezoelectric Elements", PROCEEDINGS OF THE 21ST SENSOR SYMPOSIUM, 2004. pp. 385～390

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0007] 特許文献5、6に記載の複合センサは、角速度を測定する圧電センサとピエゾ抵抗式の加速度センサを組み合わせたものであり、サイズを大きくすることなく小型に実現でき、静的加速度も測定可能である。しかしながら、ピエゾ抵抗を形成するため、基板へのイオン注入や不純物拡散などの工程が必要であるため、製造工程が煩雑なものとなる。
- [0008] また、特許文献7に記載の複合センサは、圧電方式による角速度センサと静電方式による加速度センサを一体化したものであるが、それぞれのセンサを連結して構成するために、十分な小型化が実現できず、サイズが大きくなる可能性がある。
- [0009] 本発明は、上記事情に鑑み、製造が容易であり、かつ小型化が実現できる、角速度に加え静的加速度の検出が可能な複合センサを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0010] 本発明の複合センサは、錘部と、その錘部に対して所定の振動軸の方向に

振動を誘起する振動励起部と、コリオリ力を受けて生じる錘部の変位を検知して角速度を算出する角速度検出部とを備えた角速度センサであって、振動励起部および角速度検出部が、それぞれ板状基材の一面に設けられた下部電極、圧電膜および上部電極の積層体からなる圧電素子を備えてなり、錘部が板状基材の一部として構成されてなる角速度センサと、

錘部の一部に設けられた可動電極、その可動電極に対向する固定位置に設けられた固定電極、および可動電極と固定電極との間の静電容量の変化を検出して加速度を算出する加速度検出部を備えた加速度センサとを備えている。

[0011] なお、錘部は1つに限らず、2つ以上備えられていてもよい。

[0012] 本発明の複合センサは、角速度センサおよび加速度センサを内包する筐体を備え、筐体内の気圧が大気圧未満であることが好ましい。

[0013] 本発明の複合センサは、固定電極が1つの錘部に対して2つ以上の固定電極片からなることが好ましい。

[0014] 本発明の複合センサは、可動電極と固定電極との間隔が、両者間が近接する方向へ錘部が変位することにより圧電膜に与える応力が破壊応力となる距離未満であることが好ましい。

[0015] 本発明の複合センサは、固定電極が、板状基材とは別部材である副板状基材の一面に備えられており、板状基材は、可動電極と固定電極とが、非駆動時において所定の間隔で対向配置される位置で副板状基材と接合されていることが好ましい。

[0016] なお、上記板状基材と副板状基材がスペーサを介して接合されていることが好ましい。

そして、スペーサを備える場合には、スペーサが導電性を有して、電極配線機能を有することが好ましい。

[0017] 本発明の複合センサは、副板状基材が、角速度センサによる角速度検出制御の回路を有していることが好ましい。

[0018] 本発明の複合センサにおいては、角速度センサの一部を構成する圧電素子

が、動的加速度を検出する動的加速度センサの一部として機能することが好ましい。

発明の効果

[0019] 本発明の複合センサは、圧電方式の角速度センサを備え、その角速度センサの構成要素の一つである錘部の一部に設けられた可動電極、その可動電極に対向する固定位置に設けられた固定電極、および可動電極と固定電極との間の静電容量の変化を検出して加速度を算出する加速度検出部を備えた加速度センサとを備えており、この加速度検出部では静的な加速度を検出することが可能である。かかる構成の複合センサは、静電容量の検出用の可動電極を角速度センサの錘部の一部に備えているので、小型化が実現でき、かつ作製も容易である。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の第1の実施の形態に係る複合センサの切断端面図
[図2]実施形態に係る複合センサの角速度センサの上部電極パターンを示す図
[図3]固定電極の一例を示す図
[図4]第1の実施形態に係る複合センサの製造工程を示す図（その1）
[図5]第1の実施形態に係る複合センサの製造工程を示す図（その2）
[図6]設計変更例1の複合センサの切断端面図
[図7]設計変更例2の複合センサの切断端面図
[図8]本発明の第2の実施の形態に係る複合センサの切断端面図
[図9]第2の実施形態に係る複合センサの角速度センサの上部電極パターンを示す図

発明を実施するための形態

[0021] 本発明の実施の形態のセンサについて図面を参照して詳細に説明する。以下に示す図面においては、視認しやすくするため、構成要素の縮尺は実際のものとは適宜異ならせてある。

[0022] 図1は、本発明の実施の形態に係る複合センサ1の切断端面模式図である。

本実施形態の複合センサ１は、錘部１５および圧電素子２５、２６が作り込まれた板状基材１０と、錘部１５の一部に設けられた可動電極３５に対向する固定電極４５を備えた副板状基材４０と、板状基材１０および副板状基材４０が内包される筐体５０とを備えている。

[0023] 板状基材１０は、一方の面側に周囲が深掘りされて形成された錘部１５を備えている。板状基材１０の一部が深掘りされて厚みが薄くなった領域（深掘り領域）は、その深掘り領域の周りの板状基材１０の本来の厚みを有する部分を支持部とするダイヤフラムを構成している。すなわち、板状基材１０にダイヤフラムが設けられ、そのダイヤフラムの略中央に錘部１５が設けられた構成となっている。板状基材１０の他方の面側には、下部電極２１、圧電膜２２、および上部電極２４Ａ、２４Ｂが順次積層されてなる、複数の圧電素子２５、２６が備えられている。下部電極２１および圧電膜２２は、他方の面側に略全域に亘って連続膜状に形成されており、圧電膜２２上に設けられている上部電極２４Ａ、２４Ｂはパターンニング形成されて個々の圧電素子２５、２６を規定している。なおここで、「下部」および「上部」は天地を意味するものではない。圧電膜を挟んで設けられる一対の電極に関し、板状基材１０側に配される一方の電極を下部電極、他方の電極を上部電極と称しているに過ぎない。

[0024] 図２は上部電極２４Ａ、２４Ｂのパターン例を示す平面模式図である。本例においては、振動励起用の圧電素子２５を規定する４つの上部電極２４Ａおよび角速度検出用の圧電素子２６を規定する４つの上部電極２４Ｂを備えている。上部電極２４Ａはダイヤフラムの外周縁と支持部の境界を跨いで形成されており、上部電極２４Ｂは錘部１５の外周縁と深掘り領域の境界を跨いで形成されている。すなわち、圧電素子２５が振動励起部の一部を構成し、圧電素子２６がコリオリ力を受けて生じる錘部１５の変位を検知して角速度を算出する角速度検出部の一部を構成する。

[0025] ４つの圧電素子２５を駆動してダイヤフラムに所望の振動が与えることにより錘部１５を所定の振動軸の方向の振動を誘起する。この振動している錘

部 1 5 が受けるコリオリ力により生じる錘部の変位に伴い圧電膜 2 2 に歪が生じ、この歪に伴い生じる電荷を圧電素子 2 6 により検出して角速度を求める。

[0026] すなわち、板状基材 1 0 に形成された錘部 1 5 および錘部 1 5 を含むダイアフラム上に設けられた下部電極 2 1、圧電膜 2 2 および上部電極 2 4 A の積層体からなる圧電素子 2 5 が圧電アクチュエータとして機能し、下部電極 2 1、圧電膜 2 2 および上部電極 2 4 B の積層体からなる圧電素子 2 6 が圧電センサとして機能するものであり、これらの圧電素子 2 5 および圧電素子 2 6 が角速度センサの一部を構成する。圧電素子 2 5 を駆動する駆動制御および圧電素子 2 6 で検出された電流値に基づいて加速度を求める演算部は後記の角速度検出制御回路に備えられている。

[0027] 本構成の角速度センサでは、ダイアフラムの中心位置に原点 O を持ち、ダイアフラムの表面を含む X Y 平面とし、それに垂直な方向を Z とする X Y Z の三次元直交座標系を定義する。X 軸および Z 軸のうちの一方を振動軸、他方を変位軸とし、変位検出部を構成する角速度検出用電極からの検出値に基づいて Y 軸周りの角速度を検出する。X 軸周りおよび Y 軸周りの角速度を検出するためには、錘部を Z 軸方向に振動させ、Y 軸方向および X 軸方向への変位を検出すればよい。また、Z 軸周りの角速度を検出するためには、錘部を X 軸方向または Y 軸方向に振動させ、Y 軸方向または X 軸方向への変位を検出すればよい。

[0028] なお、上記角速度センサのダイアフラムおよび電極の構成は一例であり、角速度センサとしての精度を向上させるため、例えば、既述の特許文献 2（特開 2 0 1 4 - 6 6 7 0 8 号公報）記載のものを適用してもよい。さらには、特許文献 8（特開 2 0 1 3 - 2 1 7 8 7 2 公報）のような構造のものでもかまわない。

[0029] 板状基材 1 0 の、錘部 1 5 が設けられた面側には、密着層 3 1 を介して電極膜 3 2 が一様に形成されている。この電極膜 3 2 のうち、錘部 1 5 の図中下端面に設けられている部分が可動電極 3 5 として機能する。ここでは、電

極膜 32 が板状基材 10 の錘部 15 側全面に設けられているが、少なくとも錘部 15 の下端面に設けられていればよい。なお、本構成においては、可動電極 35 を接地電位とする。

[0030] 板状基材 10 とは別部材として用意された副板状基材 40 の一面に固定電極 45 が備えられており、板状基材 10 は、錘部 15 の可動電極 35 と固定電極 45 とを対向配置させた状態で副板状基材 40 と接合（接着）されている。また、板状基材 10 と副板状基材 40 とは、本センサ 1 が駆動していない状態（非駆動時）において、可動電極 35 と固定電極 45 との間隔 d を所定距離となるように規定する間隔維持機構としてスペーサ 48 を備えている。スペーサ 48 は接着機能と間隔維持機能とを備えるものが好ましく、例えば、共晶結合のための $Au-Sn$ 金属材料に間隔 d を維持するため形状が変化しないガラスビーズなどを混合したものをを用いることができる。

[0031] この可動電極 35 と固定電極 45 との間隔 d が変化すると両電極間の静電容量が変化する。固定電極 45 に対する可動電極 35 の相対位置の変化を静電容量の変化を検出することにより検出して加速度を求める。すなわち、錘部 15 に設けられた可動電極 35 と副板状基材 40 に設けられた固定電極 45 とが加速度センサの一部を構成している。可動電極 35 と固定電極 45 との間の静電容量の変化から加速度を求める演算部は後記の加速度検出制御回路に備えられている。本構成の加速度センサによれば静的加速度を検出することが可能である。

[0032] 図 3 は固定電極 45 の構成の一例を示す模式図である。

図 3 に示すように、本実施形態においては、可動電極 35 が備え得られている 1 つの錘部 15 に対して設けられる固定電極 45 は、4 つの固定電極片 $45x_1$, $45x_2$, $45y_1$, $45y_2$ から構成されている。固定電極 45 は 2 つ以上の固定電極片から構成されていればよいが、4 つ以上であることがより好ましい。ここで、可動電極 35 と固定電極 45 との間の静電容量の変化を検出するとは、可動電極 35 と個々の固定電極片 $45x_1$, $45x_2$, $45y_1$, $45y_2$ との各静電容量 C_{x_1} , C_{x_2} , C_{y_1} , C_{y_2} の変化、または

それらの静電容量の比の変化を検出することを意味する。

[0033] 4つの固定電極片 $45x_1$, $45x_2$, $45y_1$, $45y_2$ は、それらの中心が可動電極 35 の中心と一致するように配置されており、重力加速度の向きが z 軸方向と一致しているとき、静電容量の比 $C_{x_1} : C_{x_2} : C_{y_1} : C_{y_2}$ が $1 : 1 : 1 : 1$ となるようにしておくことが好ましい。図1に示す本構成のセンサ1において、錘部15にかかる重力加速度の向きによって、固定電極片 $45x_1$, $45x_2$, $45y_1$, $45y_2$ と可動電極 35 との静電容量の比の変化を検出することにより、 Z 軸方向に静的な重力加速度を観察することができる。

[0034] センサ1の、 X 方向もしくは Y 方向への傾きは、図3における固定電極片 $45x_1$, $45x_2$ からの出力 X_1 と X_2 、あるいは固定電極片 $45y_1$, $45y_2$ からの出力 Y_1 と Y_2 から検出することができる。それぞれの絶対値は、予め基準測定することで可能である。例えば、基準測定として、事前にセンサに既知の加速度を加えてその際の静電容量を測定し、加速度と静電容量の関係をグラフ化しておき、それらのデータを元に補正することで絶対値を求めることができる。

[0035] 上述のように可動電極 35 と固定電極 45 との間の静電容量の変化を検出するが、可動電極 35 と副板状基材 40 に設けられた固定電極 45 との間隔 d が大きくなるほど、静電容量が小さくなり、静電容量の変化は微小になってしまうため、可能な限り可動電極 35 と固定電極 45 との間隔 d は狭い方がよい。一方で、間隔 d は角速度のセンシングのため錘部15の Z 方向へ振動させることが必要であるため、角速度センシングに必要な振幅よりは大きくする必要がある。錘部15の周囲に空気が存在すると空気のダンピング効果により動きが抑制されてしまう場合があるので、錘部15の周囲の空気を排除して気圧を小さくすることが好ましい。そのため、筐体50内部の気圧は、少なくとも大気圧（1気圧）未満とし、真空度が小さいほど好ましい。

[0036] なお、錘部15の周囲が大気圧であってもセンシングは可能であるが、錘部15の動きが空気によって邪魔されるため、位置変化が小さくなり、静電

容量の変化が小さくなることから、より高い感度が要求される。測定感度は回路側の工夫である程度高めることができる。回路の工夫としては、ブリッジ回路、各電極間の容量の比較および比を取るなどが考えられる。

[0037] また、複合センサ 1 に大きな衝撃が加わった時（落下試験時など）、錘部 15 が大きく変位すると、圧電膜 22 に破壊応力以上の応力を与えてしまい、圧電膜 22 が破壊されてしまう。圧電膜 22 に破壊応力以上の応力が加えられないように構成されていることが好ましい。すなわち、可動電極 35 と固定電極 45 との間隔 d は、両者間が近接する方向（すなわち、本例では Z 軸方向）に錘部 15 が変位することにより圧電膜 22 に与える応力が破壊応力となる距離未満として、固定電極 45 側を錘部の 15 の可動量を制限するストッパーとして機能させることが好ましい。

[0038] 複合センサ 1 を駆動していない静止状態における、可動電極 35 と固定電極 45 との間隔 d は例えば $15\ \mu\text{m}$ 以下、 $0.5\ \mu\text{m}$ 以上程度が好ましく、例えば、 $1\ \mu\text{m}$ とする。但し、好ましい間隔 d は錘部 15 の大きさ、ダイアフラムの大きさ、厚み圧電膜の厚みなどに応じて適宜定める必要がある。例えば、PZT (lead zirconate titanate) からなる $2\ \mu\text{m}$ 厚の圧電膜の場合、略 200MPa 以上の応力が印加されると、破壊されてしまう。したがって、圧電膜に 200MPa 以上の応力が印加されないように間隔 d を設定するなどである。

[0039] 破壊応力は、圧電膜の材料および厚み等により異なり、例えば、Si 基板上に電極を介して形成した圧電膜に上部電極を形成したものを、片持ち梁構造にして測定することができる。すなわち片持ち梁構造の圧電膜の上下電極間に交流の電圧を印加させて、共振駆動させ、駆動電圧を印加することで大きく片持ち梁が変位する。駆動電圧を大きくすることで変位が大きくなり圧電膜が構造的に破壊される。その時の変位量を FEM (Finite Element Method; 有限要素法) 等で破壊応力を算出することができる。

[0040] 上記構成の加速度センサは静的加速度のみならず、動的加速度の検出も可能である。動的加速度と静的加速度の検出とでは、変位量が大きく異なるた

め、検出回路側において2つのダイナミックレンジを用意しておき、所定の閾値においてダイナミックレンジを切り替えて検出するように構成しておくことが好ましい。

[0041] あるいは、加速度センサにおける検出側のダイナミックレンジは1つとして、上記加速度センサは、静的加速度もしくは非常に遅い動的加速度を検出するために利用するものとし、角速度センサが動的加速度センサを兼ねるように（既述の特許文献1：特開2006-23320号公報参照）構成されていてもよい。

[0042] なお、副板状基材40に、ASIC（Application specific integrated circuit）が備えられていることが好ましい。ASICには、角速度センサの角速度検出制御回路および加速度センサの加速度検出制御回路が含まれる。

[0043] 可動電極35と電氣的に同電位である電極膜32と接触するスペーサ48は、可動電極35の上記副板状基材40の回路に対する電氣的な接続のため、あるいは外部への電氣的な接続のため導電性を有して、電極配線機能を有していることが好ましい。

[0044] 板状基材10および副板状基材40としては、加工が容易である点などからSiウエハやSOI（silicon on insulator）ウエハなどを用いることが好ましい。

[0045] 下部電極21の材料は特に限定されず、金属でもよいし、酸化物導電体材料であってもよい。具体的には、Pt（白金）、Al（アルミニウム）、Mo（モリブデン）、TiN（窒化チタン）、Ru（ルテニウム）、Au（金）、銀（Ag）、Ir（イリジウム）、ITO（インジウムスズ酸化物）などの材料を用いることができる。また、Si活性層13との密着性を高めるための密着層としてTiやTiW等をSi活性層13と下部電極21との間に設けてもよい。

[0046] 下部電極21の厚みは、適宜の膜厚に設計することが可能であるが、50～500nmであることが好ましい。下部電極21は厚すぎると剛性が高くなり圧電膜22の変位を制限してしまう恐れがあるため、厚みは50～300

0 nmがより好ましい。

[0047] 圧電膜22の材料、厚みに制限はなく、角速度センサとして好適なものを
用いることができる。好ましくは、成膜後に分極処理不要なものがよい。

圧電膜22としては、例えば、下記一般式(P)で表される1種または複
数種のペロブスカイト型酸化物を用いることができ、スパッタ法に代表され
る気相成長法により基板温度を上げて(好ましくは400℃以上で)成膜中
に結晶化させる方法で形成することができる。

[0048] 一般式 $ABO_3 \cdots (P)$

(式中、A：Aサイト元素であり、Pbを含む少なくとも1種の元素、B：
Bサイトの元素であり、Ti、Zr、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Sc、Co、Cu、In、Sn、Ga、Zn、Cd、Fe、Ni、およ
びランタニド元素からなる群より選ばれた少なくとも1種の元素、O：酸素
原子。A：B：Oのモル比は1：1：3が標準であるが、このモル比はペロ
ブスカイト構造を取り得る範囲内でずれてもよい。)

[0049] 特には、 $Pb(Zr_y, Ti_z, Nb_{1-y-z})O_3$, $0 < y < 1$, $0 < z < 1$
で表される、所謂PZT (lead zirconate titanate)、あるいはNb-PZ
T (Nb doped lead zirconate titanate)と称される、ペロブスカイト型酸化
物であることが好ましく、特には、 $Nb / (Zr + Ti + Nb)$ モル比が0
.06以上0.20以下であるNb-PZTが好ましい。Nb-PZT膜は
成膜直後の状態(asdepo状態, as-deposited)で自発分極を示し、分極処理
が不要である。

[0050] 圧電膜22の膜厚については、0.3 μm以上10 μm以下とすることが
好ましく、より好ましくは、0.5 μm以上8 μm以下、さらに好ましくは
1 μm以上7 μm以下である。0.3 μm以上の厚みがあれば、アクチュエ
ータとして十分な駆動力を発生することができ、センサや発電デバイスとし
て十分な電圧信号を取り出すことが可能となる。

[0051] 図4および図5を参照して上記実施形態の複合センサの製造工程について
説明する。

まず、板状基材 10 を用意する。板状基材 10 としては、Si 基材 11、 SiO_2 からなる BOX (Buried Oxide) 層 12、および BOX 層 12 を挟んで Si 基材 11 と対向する Si 活性層 13 からなる SOI ウエハ（以下において、「SOI ウエハ 10」とする。）が好適である。SOI ウエハ 10 の Si 活性層 13 表面に下部電極 21 を形成し、さらに下部電極 21 上に圧電膜 22 を形成する（図 4 の工程 S1）。

[0052] SOI ウエハ 10 の仕様は角速度センサに適した仕様とすることが好ましい。例えば、BOX 層 12 の膜厚は $0.3 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 、Si 活性層 13 の厚みは $3 \sim 50 \mu\text{m}$ とすることが好ましい。しかしながら、これらの仕様は、センサの構造によって適宜選択することができる。

[0053] 下部電極および圧電膜は、公知の薄膜形成法によって形成することができる。薄膜形成法には、物理的気相成膜法（PVD: physical vapor deposition）、化学的気相成膜法（CVD: chemical vapor deposition）、液相成膜法（めっき、塗布、ゾルゲル法、スピコート法など）、熱酸化法が含まれる。それぞれの層について適宜の成膜方法を選択できるが、すべての層を気相成長法で成膜する構成が最も好ましい。気相成長法は高精度な厚さ寸法制御が可能である。また、材料が安価で、成膜レートが高く、量産適性があるので、デバイスのコストダウンが可能である。特に、スパッタ法により成膜することが好ましい。

[0054] なお、圧電膜の成膜方法としてはスパッタ法に限らず、イオンプレーティング法、MOCVD 法（有機金属気相成長法）、PLD 法（パルスレーザー堆積法）など、各種の方法を適用し得る。また、気相成長以外の方法（例えば、ゾルゲル法など）を用いることも考えられる。

[0055] しかしながら、圧電膜をスパッタ法により基板に直接成膜し、圧電膜を薄膜化することで製造プロセスを簡便にすることができる。

[0056] 次に、圧電膜 22 上に上部電極層を成膜し、その後、所望の位置に圧電アクチュエータおよび圧電センサとして機能する圧電素子を形成するために上部電極層を個々の上部電極 24A、24B および配線にパターニングする（

図４の工程Ｓ２）。さらに圧電膜２２の一部をエッチングすることにより、下部電極２１を露出させて制御回路への接続を可能とする。

[0057] その後、ＳＯＩウエハ１０のＳｉ基材１１側の面からＢＯＸ層１２までＳｉ基材１１を深掘り工程にてエッチングし、錘部１５を作製する（図４の工程Ｓ３）。

[0058] さらに、このＳＯＩウエハのＳｉ基材１１側の面の全面に、スパッタ法にてＴｉ密着層を形成し、その上にＡｕ電極を形成する（図４の工程Ｓ４）。錘部１５の図中下面のＡｕ電極部が静電容量検出のための可動電極３５として機能する部分であり、接地電位とする。なお、錘部１５側の面は深掘り工程にて大きな凹凸が形成されているため、この面に均一に電極膜を形成するためには、例えば、蒸着法よりもスパッタ法、スパッタ法よりＣＶＤ法がカバレッジ性がよく好ましい。

[0059] 別途に作製した、一面に加速度センサ用の固定電極４５がパターンニング形成された副板状基材４０を用意する（図５の工程Ｓ５）。副板状基材４０としては、例えば、Ｓｉウエハが好適である。この副板状基材４０はセンサを駆動、処理するＡＳＩＣ機能を備えていることが好ましい。

[0060] その後、錘部１５、圧電素子などおよび可動電極が組み込まれたＳＯＩウエハ１０と副板状基材４０を、錘部１５の可動電極３５が、副板状基材４０上の固定電極４５と対向するように位置決めして貼り合わせる（図５の工程Ｓ６）。貼り合わせには、共晶結合、Ａｕ粒子による結合、あるいはエポキシ系樹脂による接合などを用いることができる。例えば、Ａｕ－Ｓｎ金属を１μｍエッジ部に形成し加熱、加圧状態とすることで接合することができる。貼り合せ時の可動電極３５と固定電極４５との間のギャップ制御が重要であるので、接合材料中にスペーサ４８として機能するガラスビーズのようなものを混合してもよい。

[0061] なお、錘部１５と副板状基材４０との絶縁が取れるように、ＳＯＩウエハ１０の錘部１５側に成膜形成された電極膜３２の副板状基材４０と接触する部分は予めＳｉＯ₂膜などの絶縁膜（図示していない。）で被覆しておく。

[0062] 最後に、各種配線の接続後、減圧雰囲気下にて筐体50内に封止することにより図1に示す複合センサ1を作製することができる。

[0063] 上記説明いた第1の実施形態の複合センサ1は、角速度センサの構成要素の一つである錘部15の一部に可動電極35を備え、可動電極35と、この可動電極35に対向した設けられた固定電極45との間の静電容量の変化を検出して加速度を算出する加速度検出部を備えた加速度センサとを備えたことにより、小型な構成で、静的な加速度を検出可能となっている。また、上記複合センサ1は簡単な構成であるため、作製も容易である。

[0064] なお、上記第1の実施形態の複合センサ1においては、可動電極35と固定電極45との間隔を制御する間隔維持機構としてスペーサ48を備えるものとしたが、間隔維持のための機構はこれに限らない。図6および図7に、それぞれ設計変更例1の複合センサ1Aおよび設計変更例2の複合センサ1Bの切断端面図を示す。

[0065] 図6に示すように、錘部15Aの長さをダイアフラムの周りの支持部の厚みと比較して短くしておくことにより間隔dを調整することも可能である。あるいは、図7に示すように、副板状基材40の固定電極45を形成する部分に凹部43を設け、この凹部の深さによって間隔dを調整することも可能である。

[0066] 図6および図7の場合には、板状基材10側の副板状基材40と接続させる部分の密着層31および電極膜32を除去し、Siウエハ直接接合技術を用いて板状基材10と副板状基材40を直接接合することができる。かかる構成によれば、接着剤を用いた場合と比較して、間隔の調整精度を向上させることが可能であり、かつ、接合強度を高めることもできる。

[0067] 次に、本発明の第2の実施形態の複合センサについて説明する。

図8は第2の実施形態に係る複合センサ2の切断端面図である。本構成においては、第1の実施形態の複合センサ2における板状基材10が天地を反対に配置されている。第1の実施形態の複合センサ2と同一の構成要素については同一の符号を付し、詳細な説明は省略する。

[0068] 図8に示すように、本複合センサ2においては、錘部15のダイアフラム側の一部に可動電極24C(35)が設けられている。図9に板状基材10の一方の面における上部電極パターンを示す。圧電素子25、26の上部電極24A、24Bに加えて可動電極24Cが上部電極24A、24Bの中心部に設けられている。可動電極24Cは、上部電極24A、24Bと同時にパターンニング形成することができる。

[0069] かかる構成によれば、可動電極35を錘部15の下端側に設ける場合と比較して、製造工程を簡略化することができる。また、本構成においては、可動電極24Cおよび固定電極45のいずれを接地電位としてもよい。

[0070] 本実施形態の複合センサ2における角速度の検出および加速度の検出方法は第1の実施形態の複合センサ1と同様である。本複合センサ2によれば、複合センサ1と同様の小型化という同様の効果を奏し、かつ、さらに製造を容易なものとすることができる。

[0071] 上記各実施形態においては、ダイアフラムの中央に錘部が設けられてなる1つの錘部(可動部)で3軸の角速度を検出可能な角速度センサを備えるものとしたが、本発明の複合センサにおいて備えられる角速度センサの可動部としては、公知の角速度センサに用いられる音叉型、バタフライ型など他の形状のものであっても構わない。すなわち、可動部は1つのみに限らず複数備えていてもよく、また、可動部の一部に可動電極を設け、それに対向して固定電極が配置されていれば、同様の原理により静的な加速度を検出可能な加速度センサを構成することができる。

符号の説明

[0072] 1, 1A, 1B, 2 複合センサ

10 板状基材(SOIウエハ)

11 Si基材

12 BOX層

13 Si活性層

15, 15A 錘部

2 1 下部電極

2 2 圧電膜

2 4 A, 2 4 B 上部電極

2 4 C, 3 5 可動電極

2 5, 2 6 圧電素子

3 1 密着層

3 2 電極膜

4 0 副板状基材

4 3 凹部

4 5 固定電極

4 5 x_1 , 4 5 x_2 , 4 5 y_1 , 4 5 y_2 固定電極片

4 8 スペーサ

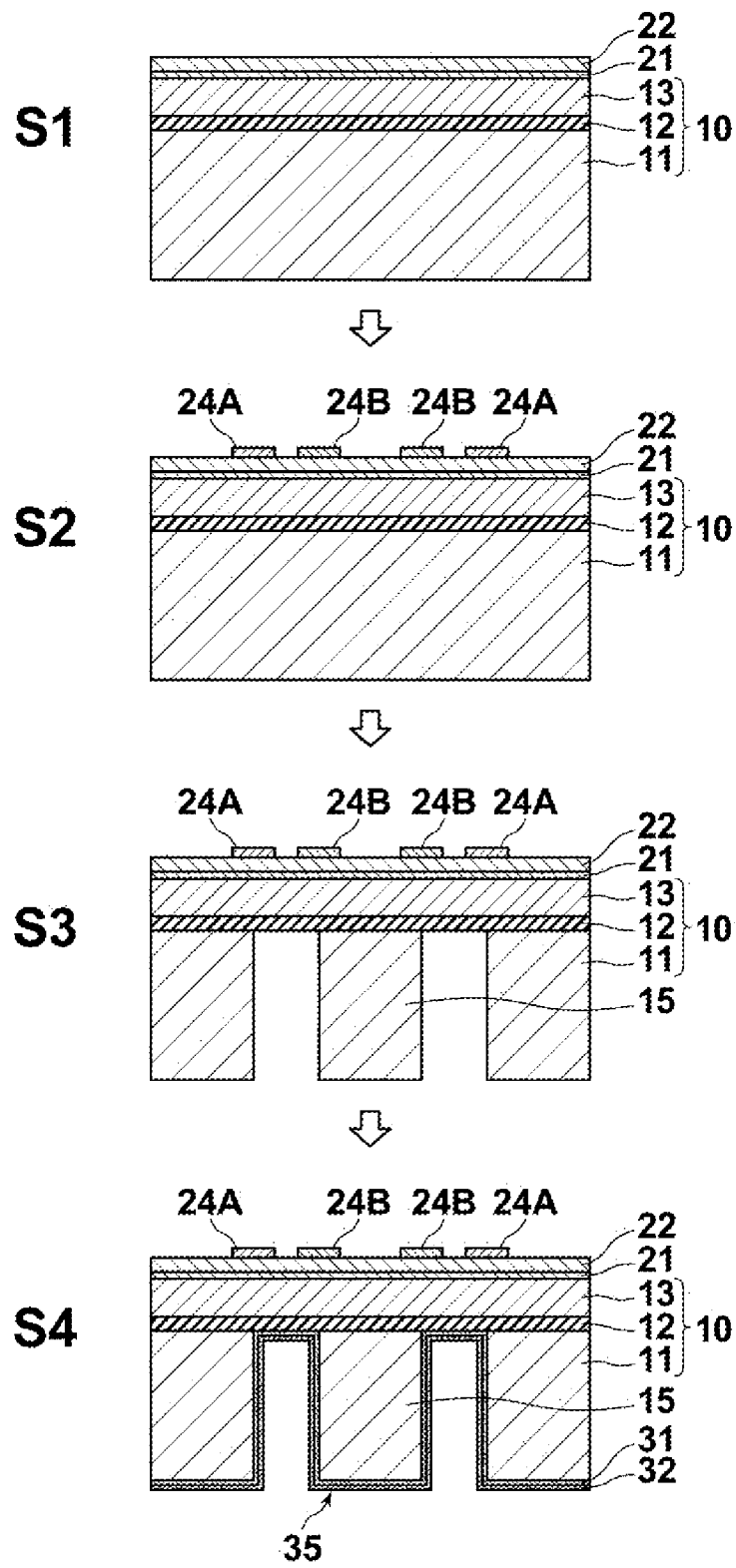
5 0 筐体

請求の範囲

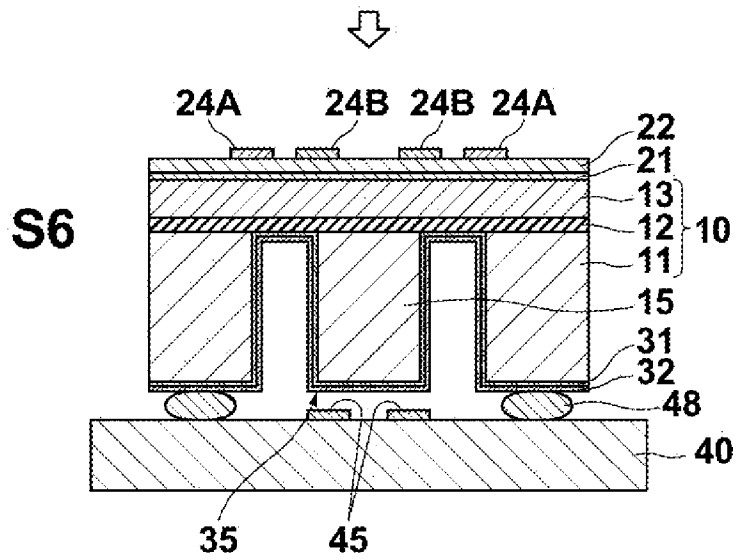
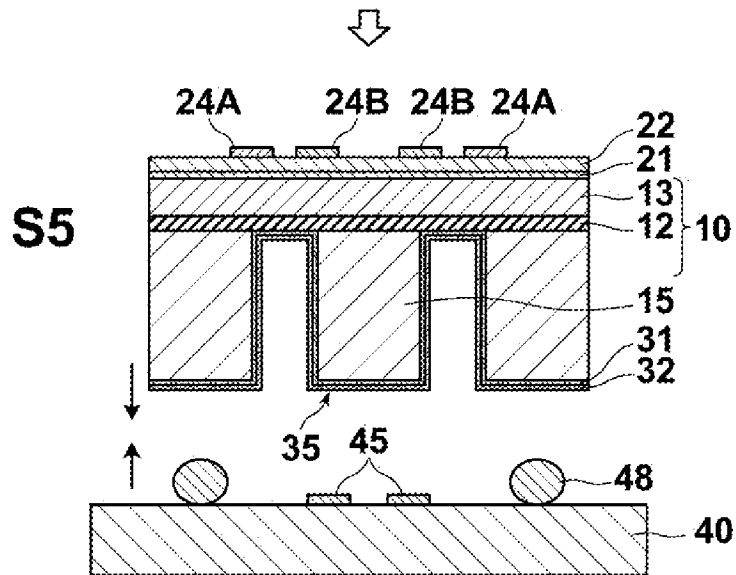
- [請求項1] 錘部と、該錘部に対して所定の振動軸の方向に振動を誘起する振動励起部と、コリオリ力を受けて生じる前記錘部の変位を検知して角速度を算出する角速度検出部とを備えた角速度センサであって、前記振動励起部および前記角速度検出部が、それぞれ板状基材の一面に設けられた下部電極、圧電膜および上部電極の積層体からなる圧電素子を備えてなり、前記錘部が前記板状基材の一部として構成されてなる角速度センサと、
- 前記錘部の一部に設けられた可動電極、該可動電極に対向する固定位置に設けられた固定電極、および前記可動電極と前記固定電極との間の静電容量の変化を検出して加速度を算出する加速度検出部を備えた加速度センサとを備えた複合センサ。
- [請求項2] 前記角速度センサおよび前記加速度センサを内包する筐体を備え、該筐体内の気圧が大気圧未満である請求項1記載の複合センサ。
- [請求項3] 前記固定電極が1つの前記錘部に対して2つ以上の固定電極片からなる請求項1または2記載の複合センサ。
- [請求項4] 前記可動電極と前記固定電極との間隔が、両者間が近接する方向へ前記錘部が変位することにより前記圧電膜に与える応力が破壊応力となる距離未満である請求項1から3いずれか1項記載の複合センサ。
- [請求項5] 前記固定電極が、前記板状基材とは別部材である副板状基材の一面に備えられており、前記板状基材は、前記可動電極と前記固定電極とが、非駆動時において所定の間隔で対向配置される位置で前記副板状基材と接合されている請求項1から4いずれか1項記載の複合センサ。
- [請求項6] 前記板状基材と前記副板状基材がスペーサを介して接合されている請求項5記載の複合センサ。
- [請求項7] 前記スペーサが導電性を有して、電極配線機能を有する請求項6記載の複合センサ。

- [請求項8] 前記副板状基材が、前記角速度センサによる角速度検出制御の回路を有している請求項5から7いずれか1項記載の複合センサ。
- [請求項9] 前記角速度センサの一部を構成する前記圧電素子が、動的加速度を検出する動的加速度センサの一部として機能する請求項1から8いずれか1項記載の複合センサ。

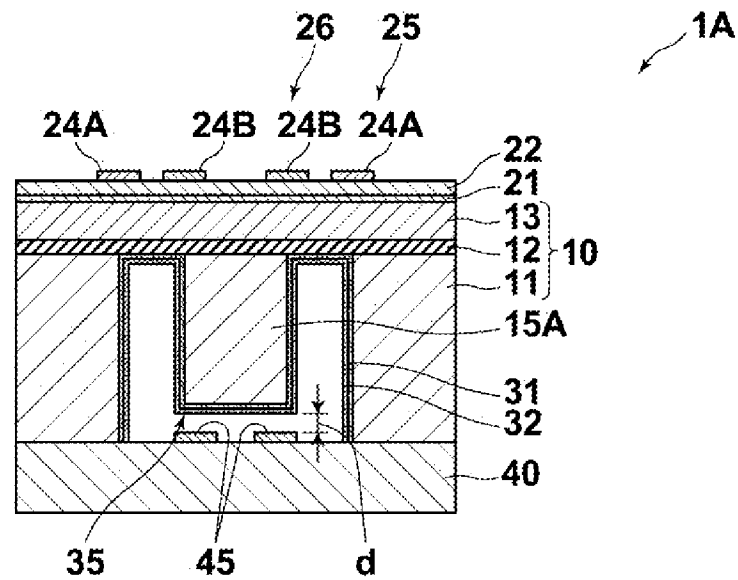
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/015646

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01C19/56(2012.01)i, G01P15/08(2006.01)i, G01P15/125(2006.01)i, G01P15/18(2013.01)i, H01L29/84(2006.01)i, H01L41/047(2006.01)i, H01L41/09(2006.01)i, H01L41/113(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)

G01C19/56-19/5783, G01P15/00-15/18, H01L27/20, 29/84

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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	WO 2014/155997 A1 (Asahi Kasei Corp.), 02 October 2014 (02.10.2014), paragraphs [0008] to [0016]; fig. 1 & US 2016/0003616 A1 paragraphs [0017] to [0025]; fig. 1	1-9
Y	JP 2010-25840 A (Wacoh, Co., Ltd.), 04 February 2010 (04.02.2010), paragraphs [0056] to [0060]; fig. 8 (Family: none)	1-9
Y	JP 2011-191318 A (Wacoh, Co., Ltd.), 29 September 2011 (29.09.2011), paragraph [0108]; fig. 19 (Family: none)	1-9

☒ 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
18 July 2017 (18.07.17)

Date of mailing of the international search report
01 August 2017 (01.08.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/015646

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 2003-50248 A (Akashi Corp.), 21 February 2003 (21.02.2003), paragraph [0025] (Family: none)	2-9
Y	JP 2007-194611 A (Seiko Instruments Inc.), 02 August 2007 (02.08.2007), paragraphs [0247], [0252] to [0253] (Family: none)	2-9
Y	JP 2003-344438 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 03 December 2003 (03.12.2003), paragraphs [0014], [0030] (Family: none)	4-9
Y	JP 2011-247768 A (Seiko Epson Corp.), 08 December 2011 (08.12.2011), paragraphs [0040], [0049], [0066] to [0067]; fig. 1 & US 2011/0291208 A1 paragraphs [0041], [0072], [0084] to [0085]; fig. 1 & CN 102331514 A	5-9
Y	JP 2003-263853 A (Tokyo Electron Ltd.), 19 September 2003 (19.09.2003), paragraphs [0019] to [0021]; fig. 3 to 6 & WO 2004/093076 A1 & AU 2003271190 A1	9
A	JP 8-68636 A (Kazuhiro OKADA), 12 March 1996 (12.03.1996), entire text; all drawings (Family: none)	1-9
A	US 2013/0133426 A1 (PARK Jung Tae et al.), 30 May 2013 (30.05.2013), entire text; all drawings & KR 10-2013-0067336 A	1-9
A	US 2013/0167640 A1 (Lim Seung Mo et al.), 04 July 2013 (04.07.2013), entire text; all drawings & KR 10-2013-0077394 A	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01C19/56(2012.01)i, G01P15/08(2006.01)i, G01P15/125(2006.01)i, G01P15/18(2013.01)i,
H01L29/84(2006.01)i, H01L41/047(2006.01)i, H01L41/09(2006.01)i, H01L41/113(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 (IPC))

Int.Cl. G01C19/56-19/5783, G01P15/00-15/18, H01L27/20, 29/84

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
Y	WO 2014/155997 A1 (旭化成株式会社) 2014.10.02, 段落[0008]-[0016], 第1図 & US 2016/0003616 A1, 段落[0017]-[0025], 第1図	1-9
Y	JP 2010-25840 A (株式会社ワコー) 2010.02.04, 段落[0056]-[0060], 第8図 (ファミリーなし)	1-9
Y	JP 2011-191318 A (株式会社ワコー) 2011.09.29, 段落[0108], 第19図 (ファミリーなし)	1-9

☑ 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

18.07.2017

国際調査報告の発送日

01.08.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/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)

梶田 真也

2 S

3303

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

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 請求項の番号
Y	JP 2003-50248 A (株式会社アカシ) 2003.02.21, 段落[0025] (ファミリーなし)	2-9
Y	JP 2007-194611 A (セイコーインスツル株式会社) 2007.08.02, 段落[0247], [0252]-[0253] (ファミリーなし)	2-9
Y	JP 2003-344438 A (松下電器産業株式会社) 2003.12.03, 段落[0014], [0030] (ファミリーなし)	4-9
Y	JP 2011-247768 A (セイコーエプソン株式会社) 2011.12.08, 段落[0040], [0049], [0066]-[0067], 第1図 & US 2011/0291208 A1, 段落[0041], [0072], [0084]-[0085], 第1図 & CN 102331514 A	5-9
Y	JP 2003-263853 A (東京エレクトロン株式会社) 2003.09.19, 段落[0019]-[0021], 第3-6図 & WO 2004/093076 A1 & AU 2003271190 A1	9
A	JP 8-68636 A (岡田 和廣) 1996.03.12, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-9
A	US 2013/0133426 A1 (PARK Jung Tae et al.) 2013.05.30, 全文, 全図 & KR 10-2013-0067336 A	1-9
A	US 2013/0167640 A1 (Lim Seung Mo et al.) 2013.07.04, 全文, 全 図 & KR 10-2013-0077394 A	1-9