

(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 10 月 9 日(09.10.2014)



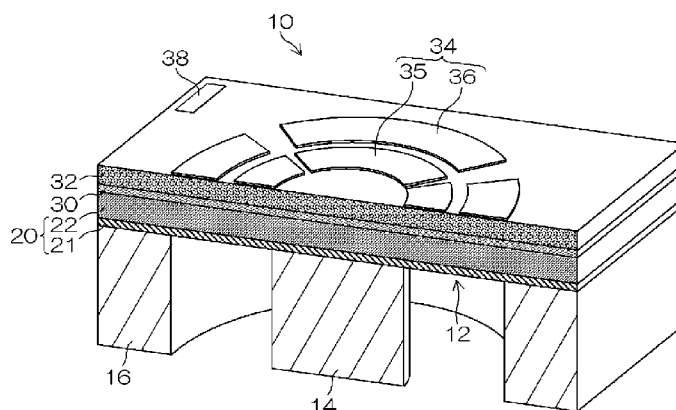
(10) 国際公開番号
WO 2014/162940 A1

- (51) 国際特許分類:
G01C 19/56 (2012.01) *H01L 41/29* (2013.01)
H01L 41/047 (2006.01) *H01L 41/31* (2013.01)
H01L 41/113 (2006.01) *H01L 41/316* (2013.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/058472
- (22) 国際出願日: 2014 年 3 月 26 日(26.03.2014)
- (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 2013-076750 2013 年 4 月 2 日(02.04.2013) 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 6 番 3 0 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 中野 琢磨(NAKANO Takuma); 〒2588577 神奈川県足柄上郡開成町牛島 5 7 7 番地 富士フイルム株式会社内 Kanagawa (JP).
- (74) 代理人: 小田原 修一, 外(ODAHARA Shuichi et al.); 〒2500111 神奈川県南足柄市竹松 1 2 5 0 番地 F F T P M O 棟 6 F Kanagawa (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.
- (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))

(54) Title: ANGULAR VELOCITY SENSOR AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

(54) 発明の名称: 角速度センサ及びその製造方法

FIG.3



(57) Abstract: The present invention provides an angular velocity sensor capable of being manufactured at a lower cost than conventional angular velocity sensors and suppressing resonant frequency variation, and a manufacturing method therefor. On a silicon substrate not having an SOI structure, a metallic thin-plate diaphragm (22) comprising a metallic material including at least 50 wt. % of iron or a metal having an atomic mass less than that of iron is formed, and thereabove, a lower electrode (30), piezoelectric layer (32), and upper electrode (34) are formed so as to be layered. A flexible diaphragm member (12) is formed through the removal of a portion of the silicon substrate, and remaining portions of the substrate after removal are used to form a seat member (16) for supporting the periphery of the diaphragm member (12) and an anchor member (14) at the center portion of the diaphragm member (12). The present invention makes it possible to use an inexpensive commercially available standard substrate instead of an SOI substrate.

(57) 要約:

[続葉有]



従来の角速度センサよりも低コストで製作でき、共振周波数のばらつきを抑えることができる角速度センサ及びその製造方法を提供する。非ＳＯＩ構造のシリコン基板の上に、鉄又は鉄よりも原子量の小さい金属を５０質量％以上含む金属材料から成る金属薄膜振動板２２を形成し、その上に下部電極３０、圧電体層３２、上部電極３４を積層形成する。シリコン基板の一部を除去加工して可撓性のあるダイヤフラム部１２を形成するとともに、除去加工によって残る基板の残部によってダイヤフラム部１２の外周を支持する台座部１６と、ダイヤフラム部１２の中心部に錘部１４とを形成する。市販標準品の安価な基板をＳＯＩ基板の代替材料として用いることができる。

明 細 書

発明の名称：角速度センサ及びその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は角速度センサ及びその製造方法に係り、特に圧電ダイヤフラムに錘（おもり）が支持された構造を持つ振動ジャイロ式の角速度センサとその製造技術に関する。

背景技術

[0002] MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）技術を用いた振動ジャイロセンサは、様々な用途で使用されている。これらのセンサは小型及び省電力を特徴とし、コリオリ力を利用して角速度を検出している。この原理を利用して、特許文献1に記載のように錘を水平及び垂直方向に駆動させ、3軸角速度センサを実現している例もある。

[0003] 振動ジャイロ式の角速度センサにおける錘の駆動及び検出は共振振動を利用するため、デバイスの共振周波数の設計は非常に重要となる。このため有限要素法（FEM：Finite Element Method）などを用いて共振周波数を計算し、これを元にデバイス設計を行い、SOI（Silicon On Insulator）基板を用いて錘と振動板を構成し、ジャイロデバイスを実現するのが一般的である。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2010-160095号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかし、SOI基板は、標準市販品である通常のSiウエハ（SOI構造を有しないSi基板）に比べて非常に高価な材料であり、デバイスコストが増加してしまうという問題がある。

[0006] また、SOI基板の代替材料を用いてデバイスの製造を試みた場合、実際

に得られるデバイスの共振周波数が設計値どおりにならず、共振周波数のばらつきが生じる。特に、ダイヤフラムのように複数の薄膜を積層した多層薄膜が用いられている場合、それぞれの層に存在する残留応力が共振周波数に大きく影響し、デバイスとして設計値どおりの感度が得られない。また、形成された膜の応力のばらつきが大きく、膜の応力が制御できなかった場合、共振周波数のばらつきを発生させてしまう。

[0007] 本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、上記の課題を解決し、従来の角速度センサよりも低コストで製作でき、共振周波数のばらつきを抑えることができる角速度センサ及びその製造方法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

[0008] 前記目的を達成するために、次の発明態様を提供する。

[0009] (第1態様)：第1態様に係る角速度センサは、駆動電極部と検出電極部とがパターン配置された上部電極と、圧電体層と、下部電極と、1層以上の振動板層と、がこの順に積層された積層構造を有し、かつ、可撓性を有するダイヤフラム部と、ダイヤフラム部の外周を支持する台座部と、ダイヤフラム部の中心部に接合されている錘部と、を備え、駆動電極部を介して圧電体層に電界を印加することによって圧電体層の逆圧電効果を利用して錘部を振動させ、コリオリ力に基づいて錘部に生じた変位を圧電効果によって検出電極部から検出する角速度センサであって、振動板層は、鉄(Fe)又はFeよりも原子量の小さい金属を50質量%以上含む金属材料で構成された金属薄膜振動板を含む角速度センサである。

[0010] 第1態様によれば、金属材料で構成された金属薄膜を振動板として用いるため、SOI構造の基板を用いる必要がなく、非SOI構造の基板を用いて角速度センサを製造することが可能となる、したがって、高価なSOI基板の代替材料として、市販標準品である安価な非SOI構造の基板を用いることが可能になり、コストダウンを実現できる。

[0011] 従来のSOI基板において活性層シリコンの代替材料として用いる鉄又は

鉄よりも原子量の小さい金属を質量パーセントで50質量%以上含む金属材料は、主成分である鉄又は鉄よりも原子量の小さい金属の性質が大きく反映され、成膜条件の変動（ガス量など）の影響を受けにくく、形成された膜の内部応力のばらつきが小さいものとなる。すなわち、第1態様で特定した金属材料は膜の応力が安定しやすい材料であり、このような金属材料を用いたデバイスの共振周波数のばらつきは小さいものとなる。

[0012] 本実施形態によれば、製造されるデバイスの共振周波数のばらつきを抑えることができ、安定した品質のデバイスを提供することができる。

[0013] （第2態様）：第1態様に記載の角速度センサにおいて、金属薄膜振動板の厚さは、 $1\text{ }\mu\text{m}$ （マイクロメートル）以上である構成とすることができる。

[0014] 金属薄膜を振動板として有効に機能させる観点からその膜厚が $1\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。なお、振動板層の厚みは、デバイスの用途、仕様等から要求される共振周波数の設計値や振動板を構成する材料の選択などに応じて適宜設計される。

[0015] （第3態様）：第1態様又は第2態様に記載の角速度センサにおいて、金属薄膜振動板は、気相成膜によって形成されたものとすることができる。

[0016] スパッタ法に代表される気相成膜法は、所望の膜厚を高精度に成膜できる点で有益である。このため、デバイス動作の設計からの誤差を大幅に低減させることができる。

[0017] また、材料が比較的安価で、成膜レートが高く、量産適性があるため、デバイスの低コスト化が可能である。

[0018] （第4態様）：第1態様から第3態様のいずれか1項に記載の角速度センサにおいて、金属材料は、Ti、V、Cr及びFeのうち少なくとも1つの金属を50質量%以上含むものとすることができる。

[0019] （第5態様）：第1態様から第4態様のいずれか1項に記載の角速度センサにおいて、金属薄膜振動板の熱膨張係数が、圧電体層の熱膨張係数の $\pm 10\%$ 以内であるものが好ましい。

- [0020] 圧電体層の熱膨張係数と金属薄膜振動板の熱膨張係数とが近い値であるほど、膜が剥離しにくく、デバイス製造の歩留まりが良好となる。両者の熱膨張係数の差が、圧電体層の熱膨張係数の10%以内であることが好ましい。
- [0021] (第6態様)：第1態様から第5態様のいずれか1項に記載の角速度センサにおいて、金属薄膜振動板は、Tiを50質量%以上含む金属薄膜で構成されるものとすることができる。
- [0022] Tiは、膜の応力ばらつき（共振ばらつき）が小さく、素子の歩留まりも非常に良好であり、Tiを主成分とする（50質量%以上含む）金属薄膜は特に好ましい。
- [0023] (第7態様)：第1態様から第6態様のいずれか1項に記載の角速度センサにおいて、金属薄膜振動板は、非SOI構造のシリコン基板の上に成膜されている構成とすることができる。
- [0024] (第8態様)：第1態様から第7態様のいずれか1項に記載の角速度センサにおいて、ダイヤフラム部は、積層構造の積層する方向から平面視した場合に、円又は楕円の外周形状を有し、錘部は、ダイヤフラム部と中心軸を共通にする円又は楕円の同心位置に配置されている構成とすることができる。
- [0025] (第9態様)：第9態様に係る角速度センサの製造方法は、非SOI構造のシリコン基板の上に、鉄又は鉄よりも原子量の小さい金属を50質量%以上含む金属材料から成る金属薄膜振動板を形成する振動板形成工程と、金属薄膜振動板の上に下部電極を形成する下部電極形成工程と、下部電極の上に圧電体層を形成する圧電体層形成工程と、圧電体層の上に駆動電極部と検出電極部とがパターン配置された上部電極を形成する上部電極形成工程と、シリコン基板の一部を除去加工することによって、上部電極と圧電体層と下部電極と金属薄膜振動板とを含む積層構造を有する可撓性のあるダイヤフラム部、ダイヤフラム部の外周を支持する台座部、及びダイヤフラム部の中心部に接合されている錘部、を形成する加工工程と、を含む角速度センサの製造方法である。
- [0026] 第9態様によれば、SOI基板を使用しないため、コストダウンを実現で

きる。また、金属薄膜振動板の応力のばらつきを抑えることができ、共振周波数のばらつきを抑制することができる。

[0027] 第9態様において、第2態様から第8態様の特定事項を適宜組み合わせることができる。

[0028] (第10態様) 第9態様に記載の角速度センサの製造方法において、金属薄膜振動板を形成する工程は、気相成膜法を用いる構成とすることができる。

発明の効果

[0029] 本発明によれば、従来の角速度センサよりも低コストで角速度センサを製造することが可能になる。また、共振周波数のばらつきを抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]本発明の実施形態に係る角速度センサの構成を示す平面図

[図2]図1の2-2線に沿う断面図

[図3]図1の2-2線断面を含む斜視図

[図4]z方向（垂直方向）の共振振動駆動時の様子を示す模式図

[図5]x方向（水平方向）の共振振動駆動時の様子を示す模式図

[図6]図6(a)～図6(e)は、本実施形態による角速度センサの製造方法の説明図である

[図7]本実施形態による角速度センサの製造方法の説明図である

[図8]図8(a)～図8(d)は、SOI基板を用いた角速度センサの製造プロセスの説明図

[図9]共振周波数の測定方法の説明図

[図10]試作した角速度センサ（実施例1～4及び比較例）の振動板の材料、応力ばらつき、共振ばらつきをまとめた図表

[図11]試作した角速度センサ（実施例1～4及び比較例）の振動板材料の熱膨張係数と、素子の歩留まり評価をまとめた図表

発明を実施するための形態

[0031] 以下、添付図面に従って本発明の実施形態について詳細に説明する。

[0032] <角速度センサの構造例>

図1から図3に本実施形態に係る角速度センサ10のデバイスの概要を示す。図1は平面図、図2は図1の2-2線断面図、図3は図1の2-2線断面を含む斜視図である。本実施形態では、角速度センサ10として薄膜ダイヤフラム型ジャイロセンサを例示する。有限要素法により仕様共振周波数を満たす寸法設計を行った。一般的に、この仕様共振周波数は20~35kHz（キロヘルツ）程度であることが多いが、本発明の適用範囲はこれに限るものではない。

[0033] 角速度センサ10は、平面視で円形の外周形状を有するダイヤフラム部12と、ダイヤフラム部12の中心部に支持された錘部14と、ダイヤフラム部12の外周を支持する台座部16と、を備える。ダイヤフラム部12は、錘部14が接合されている側（図2で下面側）から膜厚方向（図2の上方向）に向かって、振動板層20、下部電極30、圧電体層32及び上部電極34の順に積層された積層構造（多層構造）を有する。このダイヤフラム部12は可撓性があり、その外周部の全周が台座部16に固定されている。台座部16及び錘部14はシリコン（Si）基板を加工して形成される。ダイヤフラム部12は、このダイヤフラム12部の積層構造の積層する方向から平面視した場合に、円形の外周形状となっている。

[0034] 本実施形態の振動板層20は、シリコンの熱酸化膜（ SiO_2 ）21と、金属薄膜振動板22とを含み、これら二層の積層体部分が振動板として機能する。本実施形態では、市販標準品であるシリコン熱酸化膜付きSi基板を用いてデバイスを作製している。このため、振動板層20に熱酸化膜21が含まれている。なお、熱酸化膜21を有していないベアのSi基板を用いて作製するようにしてもよい。この場合、熱酸化膜21が省略された形態となる。すなわち、振動板層20は、金属薄膜振動板22を含む1層以上の膜で構成するようにしてもよい。

[0035] 金属薄膜振動板22は、スパッタ法に代表される薄膜形成技術を用いて形

成されている。金属薄膜振動板 22 のみならず、ダイヤフラム部 12 の多層構造を構成する他の材料層（30、32、34）についても薄膜形成技術を用いて成膜される。薄膜形成技術には、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、スピンコート法など）、熱酸化法が含まれる。それぞれの層について適宜の成膜法が選択される。

[0036] 金属薄膜振動板 22 は、気相成膜法で形成することが好ましい。気相成膜法は、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。

[0037] なお、図 2 及びその他の図面に示す各層の膜厚やそれらの比率は、説明の都合上、適宜変更して描いており、必ずしも実際の膜厚や比率を反映したものではない。また、本明細書では、積層構造を表現するにあたり、「Aの上にBを積層する」というときの「上」とは、基板から膜の厚み方向に離れる方向を表現する。Aを水平に保持した状態でこのAの上面にBを重ねて構成する場合には、重力方向を下方向とするときの上下の方向と一致する。ただし、Aの姿勢を傾けたり、上下反転させたりすることも可能であり、基板や膜の姿勢に依存する積層構造の積み重ね方向が必ずしも重力の方向を基準とする上下方向と一致しない場合もある。このような場合も、積層構造の上下関係を混乱なく表現するために、ある基準となる部材（例えばA）の面を基準にして、その面から厚み方向に離れる方向を「上」と表現する。また、「Aの上にBを積層する」という表現は、Aに接してBをこのA上に直接積層する場合に限らず、AとBの間に他の1又は複数の層を介在させ、Aの上方にBを積層する場合も含む。

[0038] 図 2 の例においては、台座部 16 と錘部 14 とが設けられた熱酸化膜 21 付きの Si 基板の上に金属薄膜振動板 22、下部電極 30、圧電体層 32 及び上部電極 34 の順に成膜が行われる。

[0039] 上部電極 34 は、検出用の電極として機能する検出電極部 35A～35D と、駆動用の電極として機能する駆動電極部 36A～36D とを有する。検

出電極部 35 A～35 D と駆動電極部 36 A～36 D とは、圧電体層 32 の上にパターンニングされている（図 1 参照）。検出電極部 35 A～35 D と駆動電極部 36 A～36 D とはそれぞれ独立した電極として機能するように、各電極部（35 A～35 D、36 A～36 D）は個別に分離された形態でパターン配置されている。

[0040] 図 1 において、グランド電極 38 は、図示せぬ導電部材を介して下部電極 30 と接続している。グランド電極 38 は、上部電極 34（検出電極部 35 A～35 D、駆動電極部 36 A～36 D）から分離されて（絶縁されて）、平面視において台座部 16 の領域に設けられている。

[0041] 本実施形態では、上部電極 34 の電極パターンは、ダイヤフラム部 12 の円の中心を通る中心軸 CL を対称軸として回転対称となっている。錘部 14 は、ダイヤフラム部 12 と中心軸 CL を共通にする同心位置に配置されている。

[0042] 図 1 に示した検出電極部 35 A～35 D と駆動電極部 36 A～36 D のパターン配置は、中心軸 CL の周りを 90 度回転させると重なる 4 回対称のパターンを例示しているが、上部電極 34 のパターン配置形態は図 1 の例に限定されず、様々な配置形態が可能である。また、検出電極部 35 A～35 D と駆動電極部 36 A～36 D との配置を入れ替えることも可能である。本実施形態においては、検出電極部 35 A～35 D が駆動電極部 36 A～36 D の内側に配置されているが、これに限らず、検出電極部 35 A～35 D が駆動電極部 36 A～36 D の外側に配置されるようにしてもよい。

[0043] 駆動電極部 36 A～36 D と下部電極 30 との間に圧電体層 32 が介在する部分によって、「駆動用の圧電素子部」が構成される。駆動用の圧電素子部において、電極間に駆動電圧を印加することにより（圧電体層 32 に電界を印加することにより）、圧電体層 32 の逆圧電効果によってダイヤフラム部 12 と錘部 14 を振動させることができる。駆動電極部 36 A～36 D を含む駆動用の圧電素子部は、図示せぬ駆動用電力の供給源（駆動回路）と接続されることにより、錘部 14 を振動させる励振手段として機能する。

[0044] 検出電極部 35 A～35 D と下部電極 30 との間に圧電体層 32 が介在する部分によって、「検出用の圧電素子部」が構成される。振動している錘部 14 に角速度が加わるとコリオリ力が作用して、錘部 14 の振動に変位が生じる。このコリオリ力に基づいて錘部 14 に生じた変位を圧電体層 32 の圧電効果によって検出して、検出電極部 35 A～35 D から電気信号（検出信号）を得る。検出電極部 35 A～35 D を含む検出用の圧電素子部は、図示せぬ検出信号の処理回路（検出回路）と接続されることにより、錘部 14 の変位を検出する変位検出手段として機能する。

[0045] 以下、説明の便宜上、ダイヤフラム部 12 の円の中心を原点とし、図 1 の左右方向を x 軸方向、これに直交する図 1 の縦方向を y 軸方向、図 1 の紙面垂直方向を z 軸方向とする直交 x y z 軸を導入する。図 2 に示した中心軸 C は z 軸と平行な軸である。ダイヤフラム部 12 の積層構造は、z 軸と平行な方向に積層している。

[0046] 図 3 では、検出電極部 35 A～35 D については「検出電極部 35」として記載し、駆動電極部 36 A～36 D については「駆動電極部 36」として記載した。

[0047] 図 4 は z 方向の共振振動駆動時の様子を示す模式図、図 5 は x 方向の共振振動駆動時の様子を示す模式図である。図 4 及び図 5 においては、台座部 16 の図示を省略してダイヤフラム部 12 と錘部 14 を示した。

[0048] 図 4 のように、錘部 14 をダイヤフラム部 12 の面と垂直方向（z 方向）に共振駆動させると、可撓性を持つダイヤフラム部 12 は z 方向に変位する。その変位に応じて検出電極部 35 A～35 D から検出信号が得られる。

[0049] 図 5 のように、錘部 14 を x 方向（水平方向）に共振駆動させると、その振動方向に対応してダイヤフラム部 12 が変位する。その変位に応じて検出電極部 35 A～36 D から検出信号が得られる。駆動振動の検出信号を元に自励発振回路を動作させることで、共振振動状態を保つことができる。また、コリオリ力の作用によって錘部 14 が共振駆動方向と異なる方向に振動すると、その変位に応じた検出信号が得られるため、検出信号から角速度を検

知することができる。

[0050] なお、角速度の検出原理については、特許文献 1 に記載されている通りであり、ダイヤフラム部 12 の駆動方法については、特許文献 1 に記載の方法を適用することができる。

[0051] <金属薄膜振動板 22 について>

金属薄膜振動板 22 は、形成された膜（形成膜）の内部応力のばらつきが小さい材料で構成されることが好ましい。一般的に、原子量の小さい金属は成膜時のガス量の影響を受けづらく、形成膜の内部応力はばらつきが小さくなる。一方、原子量の大きい金属は成膜時のガス量の影響を受けやすく、形成膜の内部応力はばらつきが大きくなる。

[0052] 実験に基づく知見によれば、鉄（Fe）の原子量を目安にして、それ以下の原子量の金属は成膜時のガス量の影響を受けづらく、形成膜の内部応力のばらつきが小さい。逆に、鉄（Fe）よりも原子量の大きい金属は成膜時のガス量の影響を受けやすく、形成膜の内部応力のばらつきが大きい。

[0053] 具体例を示すと、応力が安定しやすい材料として、チタン（Ti）、バナジウム（V）、クロム（Cr）及び鉄（Fe）のうちいずれか、又は、これらを主成分とする合金を挙げることができる。「主成分とする」とは、材料に対する割合が質量パーセントで 50%以上であることをいう。

[0054] 応力がばらつきやすい材料として、Ti 質量比が 10%程度のチタンタングステン（TiW）やジルコニウム（Zr）を挙げることができる。

[0055] 応力のばらつきやすさを考慮に入れて材料を選定をすることが好ましく、製造される素子の共振周波数（共振値）のばらつきをデバイス仕様の許容範囲（例えば、設計値に対して±5%以内）に収めるようにする。

[0056] 本実施形態では、振動板層 20 として、Fe 又は Fe よりも原子量の小さい金属を 50 質量%以上含む金属材料から成る金属薄膜振動板 22 が含まれる。

[0057] <角速度センサの製造方法の例>

図 6（a）～図 6（e）は、本実施形態による角速度センサの製造方法の

説明図である。

- [0058] (手順1) まず、Si基板102を用意する(図6(a)参照)。ここで用いるSi基板102は、SOI構造を有していない非SOI構造の基板である。具体的には、Si基板102は、SOI基板ではなく、安価な市販標準品であるシリコンウエハである。「SOI基板」とは、Si基板と表面のSi層との間にSiO₂が挿入された構造を有する基板である。本実施形態では、Si基板102の表面に熱酸化膜104が形成されている熱酸化膜付きSi基板110が用いられる。ただし、熱酸化膜付きSi基板110に代えて、熱酸化膜104のないベアのSi基板を用いることもできる。本実施形態では、熱酸化膜104の膜厚1μm(マイクロメートル)、Si基板102の厚み400μmの熱酸化膜付きSi基板110を用いた。ただし、熱酸化膜104の膜厚や基板の厚みについては、様々な寸法のものを用いることが可能であり、デバイスの用途(仕様)に応じて適切な厚みが選択される。
- [0059] また、熱酸化膜104を省略したSi基板(ベアのもの)を用いる態様も可能である。すなわち、コスト削減の観点から採用される安価なSi基板は、市販されている基板の中で、ベアのもの、又は、Si酸化膜付きものであり、標準品であって簡単に入手可能なものである。
- [0060] (手順2) 次に、この熱酸化膜付きSi基板110の上に、スパッタ法により金属薄膜振動板120を形成する(「振動板形成工程」、図6(b))。金属薄膜振動板120の材料については、チタン(Ti)、バナジウム(V)、クロム(Cr)及び鉄(Fe)のうちいずれか1種類、又は、これらを主成分とする合金が用いられる。金属薄膜振動板120の膜厚は、1μm以上とすることが好ましい。膜厚1μm以上の金属薄膜振動板120を形成することにより、振動板としての役割を効果的に果たすことができる。
- [0061] 従来のSOI基板を用いる構成においては、5μm以下の薄膜を形成することは困難である。これに対して、気相成膜法は、5μm以下の薄膜を形成するのに適している。このため、本実施形態は5μm以下の薄膜を形成することについて特に有益である。

- [0062] (手順3) 次に、金属薄膜振動板120の上に下部電極130を形成する(「下部電極形成工程」、図6(c))。本実施形態では、下部電極130としてイリジウム(Ir)をスパッタ法により150nmの膜厚で形成した。下部電極130の材料や膜厚については、この態様に限らず、適宜の設計が可能である。
- [0063] (手順4) 次に、下部電極130の上に圧電体層132を形成する(「圧電体層形成工程」)。図6(d)には、下部電極130と圧電体層132とを成膜した様子を図示した。本実施形態では、圧電体層132として、ジルコンチタン酸鉛(PZT、チタン酸ジルコン酸鉛)をスパッタ法により2 μ mの膜厚で成膜した。本実施形態では、高周波(Rf; radio frequency)スパッタ装置を用い、成膜ガスに97.5%Arと2.5%O₂を用い、ターゲット材料としてはPb_{1.3}((Zr_{0.52}Ti_{0.48})_{0.88}Nb_{0.12})O₃の組成のものを用いた。成膜圧力は2.2mTorr(約0.293Pa)、成膜温度は450℃とした。得られたPZT膜は、Nbが原子組成比で12%添加されたNbドーピングPZT薄膜であった。
- [0064] (手順5) 次に、圧電体層132の上に上部電極134を形成する。上部電極134として、検出電極部135と駆動電極部136とがパターンニングされる(図6(e)参照、「上部電極形成工程」)。本実施形態では、上部電極134にチタン(Ti)とプラチナ(Pt)の積層膜(Ti/Pt)を用いている。スパッタ法により、チタン(Ti)を15nm(ナノメートル)の膜厚で形成し、その上にプラチナ(Pt)を150nmの膜厚で形成した。このような上部電極134の膜構成を、「Ti(15nm)/Pt(150nm)」と表記する。上部電極134の材料や膜厚については、この態様に限らず、適宜の設計が可能である。
- [0065] なお、電極をパターンニングする手法として、マスク蒸着やリフトオフを適用できる。
- [0066] (手順6) その後、Si基板102を裏面側から深掘加工を行うことにより、Si基板102の一部を除去加工し、その残部によって錘部114と、

台座部 116 とを形成する（（図 7）、「基板加工工程」）。深堀加工としては、例えば、深堀り反応性イオンエッチング（DeepRIE）などが挙げられる。この基板加工工程により、錘部 114 の周りが円環上の溝として除去され、その除去した部分がダイヤフラム部 112 の駆動部及び検出部として機能する領域となる。図 7 の構成は、図 1 ～ 3 で説明した角速度センサ 10 の構成と同等である。

[0067] <SOI 基板を用いた角速度センサの製造プロセスの説明>

比較のために、SOI 基板を用いた角速度センサの製造プロセスについて説明する。図 8（a）～図 8（d）は SOI 基板を用いた角速度センサの製造プロセスの説明図である。

[0068] 図 8（a）に示すように、SOI 基板 600 は、ハンドル層 602 としての Si 基板と、表面の Si 層（「活性層」という。）604 との間に、SiO₂ 層 606 が挿入された多層構造の基板である。活性層 604 は、最終的にダイヤフラム部の振動板として機能する層であり、その膜厚は研磨によって調整される。

[0069] 図 8（b）に示すように、SOI 基板 600 の活性層 604 の上に下部電極 630 が形成され、その上に圧電体層 632 が成膜される。

[0070] その後、図 8（c）に示すように、圧電体層 632 の上に上部電極 634 としての検出電極部 635 と駆動電極部 636 とがパターニングされる。

[0071] 次いで、図 8（d）に示すように、ハンドル層 602 を裏面側から深堀加工（深堀エッチング）することにより、ハンドル層 602 の一部を除去加工して、その残部によって錘部 614 と、台座部 616 とを形成する。深堀エッチングによって除去された部分に残る活性層 604 の Si が、振動板の役割を果たす。

[0072] 図 8（a）～（d）で説明した製造プロセスは、高価な SOI 基板を用いており、コスト面で課題がある。

[0073] この点、図 6（a）～（e）、図 7 で説明した本実施形態の製造プロセスによれば、市販標準品である安価な Si 基板を用い、SOI 基板の活性層 S

i に当たる層を金属材料で代替し、振動板として用いる。また、本実施形態によれば、活性層 S_i に代えて金属材料を用いた場合であっても、共振値（共振周波数）のばらつきが抑制される。

[0074] 金属薄膜振動板の材料や成膜条件（ガス量など）を変えて、様々なデバイスの試作を行い、共振値（共振周波数）の測定を行った（図9参照）。構造体の寸法と、構造体を構成する材料の弾性パラメータとから、有限要素法（FEM; finite element method）を用いてジャイロ駆動及び検出のいずれかに用いる共振振動モードの共振周波数を計算し、FEM計算値を算出した。そして、このFEM計算値と、試作したデバイスから測定された共振値との比較評価を行った。また、それぞれの金属薄膜振動板について応力値を算出し、応力のばらつきを調べた。

[0075] なお、本実施形態ではz方向の共振駆動の周波数を評価したが、これに限らず、z方向共振駆動の共振周波数の設計値を「 f_z 」とし、x方向共振駆動の共振周波数の設計値を「 f_x 」として、z方向の共振振動及びx方向の共振振動のそれぞれについて共振周波数を測定するようにしてもよい。また、z方向及びx方向のいずれか一方の共振振動を利用するデバイスも可能であり、z方向及びx方向のいずれか一方の共振モードの共振周波数について評価を行う態様が可能である。

[0076] <共振周波数の測定方法>

図9は共振周波数を測定する方法の説明図である。図示のように、試作した角速度センサ10の駆動電極部36にファンクションジェネレータ212を接続して、電圧を入力し、錘部14を振動させ、検出電極部35にオシロスコープ214を接続して出力電圧を測定した。

[0077] 入力電圧の周波数を変化させることで出力電圧の変化を測定し、出力電圧が最大値となった入力電圧周波数が共振周波数となる。

[0078] <膜の内部応力値の測定方法>

金属薄膜振動板22の内部応力（残留応力）の測定は、金属薄膜を形成した後のサンプルについて基板の反り量（曲率）を測定し、ストーニーの式（

式 1) を用いることで算出することができる。

[0079] [数1]

$$\sigma = \frac{Eb^2}{6(1-\nu)rd} \quad \dots \text{ (式 1)}$$

[0080] ここで、EはS i 基板のヤング率、bは基板の厚さ、 ν はS i 基板のポアソン比、rは反り量として把握される曲率、dは膜の厚み、を示す。

[0081] <実施例 1 ～ 4 及び比較例の試作に係るデバイス>

金属薄膜振動板 2 2 の材料と成膜条件とを変えて様々なデバイスを試作し（実施例 1 ～ 4 及び比較例）、金属薄膜振動板 2 2 の応力のばらつきと、デバイスの共振周波数のばらつき（「共振ばらつき」という。）とを調べた。

図 1 0 にその実施結果の表を示す。

[0082] 金属薄膜振動板 2 2 の材料について、実施例 1 ではC r、実施例 2 はT i、実施例 3 はV、実施例 4 はF eを用いた。また、比較例としてT i W（質量比でT i : W = 1 : 9 のもの）を用いた。金属薄膜振動板 2 2 の成膜条件については、成膜時のガス圧条件を0. 1 P a（パスカル）から2. 5 P a の範囲で段階的に設定し、各材料についてサンプル数n = 3 で実施した。

[0083] 比較例のT i Wは、タングステンの性質が大きく反映されたものとなっており、応力値が− 3 7 0 M P a（メガパスカル）から4 0 0 M P aと大きくばらついている。なお「−（マイナス）」の値（負の値）は圧縮方向の応力を表し、正の値は引っ張り方向の応力を表している。

[0084] 図 1 0 の表における「応力ばらつき」の欄に併記したパーセントの値は、「応力値のばらつき範囲」の中心値からのずれ量の最大値（ばらつき幅の半分の値）を、中心値に対する割合（百分率）として表している。

[0085] 例えば、実施例 1 の場合、膜の応力が3 0 0 ～ 5 0 0 M P a の範囲でばらつく。このため、ばらつき範囲の中心値は「4 0 0 M P a」であり、中心値からのずれ量の最大値（ばらつき幅の半分の値）は1 0 0 M P a（= 4 0 0 − 3 0 0 [M P a] = 5 0 0 − 4 0 0 [M P a] = (5 0 0 − 3 0 0) / 2 [

MPa])である。したがって、「中心値からのずれ量の最大値（ばらつき幅の半分の値）」の中心値に対する割合は、 $100\text{MPa}/400\text{MPa}=0.25$ となり、百分率で示すと25.0%である。

[0086] 一方、共振ばらつきを示す「%」の値は、サンプル（ここでは $n=3$ ）の測定値のばらつきを示している。測定値のばらつきの計算方法は、サンプル（ここでは $n=3$ ）の平均値からのズレ量をばらつきとして、百分率（%）表示している。

[0087] 共振ばらつきの評価に際しては、ばらつきが5%以内であるものを「A」、ばらつきが5%を超えて実用に向かないレベルを「C」と評価した。実施例1の場合、得られたデバイスの共振周波数を測定したところ、共振ばらつきは2.6%というわずかなばらつきであった。実施例1～4については、共振ばらつきが5%以内となっている。これに対し、比較例では、共振周波数のばらつきが、20.9%であった。

[0088] 実施例1～4に用いた材料は膜の応力ばらつきが比較的小さく、デバイスの共振周波数のばらつきを5%以内に収めることができる。膜の応力ばらつきを一定量（ある規定の値範囲以内）に抑えることで、デバイスの共振周波数のばらつきを所要の範囲内に抑えられる。

[0089] 振動板を構成する金属薄膜の応力ばらつきは45%以内であることが好ましく、図10によれば、応力ばらつきが40%以内であることが特に好ましい。

[0090] 実施例1～4で用いた材料に限らず、これらを主成分とする合金（金属材料）に関しても、主成分の材料の性質が大きく反映されるため、応力ばらつきは主成分材料に近い値となる。例えば、TiW（ただし、Tiが質量パーセントで50%以上のもの）は、Tiの性質が大きく反映されるので、応力ばらつきがTiに近い値となる。また、他のTi合金に関しても、Tiの質量パーセントが50%以上のもの（Tiを主成分とする合金）は、Tiの性質が大きく反映されるため、Tiと類似した性質となり、応力ばらつきがTiに近い値になる。

[0091] Tiを主成分とする合金も、Tiを用いた場合（実施例2）と同様に共振ばらつきを抑制できるため、振動板に好適な材料である。Tiのほか、Cr、V及びFeのいずれかを主成分とする（50質量%以上の）金属材料についても、同様に、振動板として好適な材料である。

[0092] <金属材料の熱膨張係数について>

金属薄膜によって振動板を形成する際、上述した応力ばらつきの観点に加え、熱膨張係数を考慮することが望ましい。材料の選択によっては、異なる膜材料の境界面で膜が剥離してしまったり、マイクロクラックが発生してしまったりするため、熱膨張係数は製造の歩留まりに関係する要素である。

[0093] 図11に、金属材料の熱膨張係数と、素子の歩留まりの関係をまとめた。圧電体膜（PZT）の線膨張係数は概ね $8\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ であることから、この値を基準にして熱膨張係数の違いの程度を「%」の指標で表した値を併記した。

[0094] デバイスを量産した場合の歩留まりの評価については、サンプルにおける膜の剥離性、クラックの発生状況等を調べ、特に良好なものを「AA」、良好なものを「A」、量産適性に劣るものを「C」と評価した。なお、「C」評価となっている実施例1及び4は、「AA」評価及び「A」評価のものと比較して量産の生産ラインへの適性が劣るものの、デバイスの製造は可能である。

[0095] 図11に示したように、金属薄膜振動板の熱膨張係数が圧電体膜の熱膨張係数に対して一定の範囲内であるものを選定することで、金属薄膜振動板と圧電体膜との剥離を抑制することができ、デバイスの歩留まりが向上する。図11によれば、金属薄膜振動板に用いる金属材料の熱膨張係数は、圧電体膜の熱膨張係数に対して $\pm 10\%$ の範囲内の値であることが好ましい。すなわち、圧電体膜の線膨張係数を C_{pzt} 、金属材料の線膨張係数を α とすると、 α が C_{pzt} の $\pm 10\%$ 以内であること（ $0.9C_{pzt} \leq \alpha \leq 1.1C_{pzt}$ ）が好ましい。

[0096] 実施例1～4で用いた材料に限らず、これらを主成分とする合金に関して

も、主成分の材料の性質が大きく反映されるため、熱膨張係数の値は主成分材料に近い値となる。

[0097] 例えば、TiW（ただし、Tiが質量パーセントで50%以上のもの）は、Tiの性質が大きく反映されるので、熱膨張係数の値がTiに近い値となる。また、他のTi合金に関しても、Tiの質量パーセントが50%以上のもの（Tiを主成分とする合金）は、Tiの性質が大きく反映されるため、Tiと類似した性質となり、熱膨張係数がTiに近い値になる。

[0098] このため、Tiを主成分とする金属材料も、Tiを用いた場合（実施例2）と同様に、歩留まりが良好となり、量産適性があり、振動板として好適な材料である。

[0099] Tiのほか、Vを主成分とする金属材料も、Vを用いた場合（実施例3）と同様に、歩留まりが良好となり、量産適性があり、振動板として好適な材料である。

[0100] 図10及び図11の結果を総合すると、TiやVを主成分とする金属材料を用いて振動板を形成することが好ましい形態であり、特に、Tiを主成分とする金属材料が最も好ましい。

[0101] <圧電材料について>

本実施形態に好適な圧電体層32（圧電体）としては、下記一般式で表される1種又は2種以上のペロブスカイト型酸化物（P）を含むものが挙げられる。

[0102] 一般式： $ABO_3 \cdots (P)$

（式中、

A：Aサイトの元素であり、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, Sb, Cr, Mo, W, Mn, Sc, Co, Cu, In, Sn, Ga, Zn, Cd, Fe, 及びNiからなる群より選ばれた少なくとも1種の元素。

O：酸素元素。

Aサイト元素、Bサイト元素及び酸素元素のモル比は1：1：3が標準であ

るが、これらのモル比はペロブスカイト構造を取り得る範囲内で基準モル比からずれてもよい)。

[0103] 上記一般式 (P) で表されるペロブスカイト型酸化物としては、チタン酸鉛、チタン酸ジルコン酸鉛 (P Z T)、ジルコニウム酸鉛、チタン酸鉛ランタン、ジルコン酸チタン酸鉛ランタン、マグネシウムニオブ酸ジルコニウムチタン酸鉛、ニッケルニオブ酸ジルコニウムチタン酸鉛、亜鉛ニオブ酸ジルコニウムチタン酸鉛等の鉛含有化合物、及びこれらの混晶系；チタン酸バリウム、チタン酸ストロンチウムバリウム、チタン酸ビスマスカトリウム、チタン酸ビスマスカリウム、ニオブ酸ナトリウム、ニオブ酸カリウム、ニオブ酸リチウム、ビスマスフェライト等の非鉛含有化合物、及びこれらの混晶系、が挙げられる。

[0104] また、本実施形態の圧電体層 3 2 (圧電体膜) は、下記式で表される 1 種又は 2 種以上のペロブスカイト型酸化物 (P X) を含むことが好ましい。

[0105] 一般式： $A_a (Z r_x, T i_y, M_{b-x-y})_b O_c \cdots (P X)$

(式中、

A：A サイトの元素であり、P b を含む少なくとも 1 種の元素。

M：V、Nb、Ta、及び Sb からなる群より選ばれた少なくとも 1 種の元素。

$0 < x < b$ 、 $0 < y < b$ 、 $0 \leq b - x - y$ 。

$a : b : c = 1 : 1 : 3$ が標準であるが、これらのモル比はペロブスカイト構造を取り得る範囲内で基準モル比からずれてもよい。)

[0106] ペロブスカイト型酸化物 (P X) は、真性 P Z T、あるいは P Z T の B サイトの一部が M で置換されたものである。被置換イオンの価数よりも高い価数を有する各種ドナーイオンを添加した P Z T では、真性 P Z T よりも圧電性能等の特性が向上することが知られている。M は、4 価の Z r、T i よりも価数の大きい 1 種又は 2 種以上のドナーイオンであることが好ましい。このドナーイオンとしては、 V^{5+} 、 Nb^{5+} 、 Ta^{5+} 、 Sb^{5+} 、 Mo^{6+} 、及び W^{6+} 等が挙げられる。

[0107] $b-x-y$ は、ペロブスカイト構造を取り得る範囲であれば特に制限されない。例えば、 M が Nb である場合、 $Nb / (Zr + Ti + Nb)$ モル比が 0.05 以上 0.25 以下であることが好ましく、0.06 以上 0.20 以下であることがより好ましい。

[0108] 上述の一般式 (P) 及び (PX) で表されるペロブスカイト型酸化物からなる圧電体膜は、高い圧電歪定数 (d_{31} 定数) を有する。このため、この圧電体膜を備えた圧電素子は、変位特性及び検出特性の優れたものとなる。

[0109] また、一般式 (P) 及び (PX) で表されるペロブスカイト型酸化物からなる圧電体膜を備えた圧電素子は、リニアリティの優れた電圧－変位特性を有している。これらの圧電材料は、本発明を実施する上で良好なアクチュエータ特性及びセンサ特性を示すものである。なお、一般式 (PX) で表されるペロブスカイト型酸化物の方が、一般式 (P) で表されるものよりも圧電定数が高くなる。

[0110] 本実施形態における圧電体層 32 の一具体例として、 Nb を原子組成百分率で 12% ドープしたチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) 薄膜を用いることができる。スパッタリング法等によって Nb を 12% ドープした PZT を成膜することにより、圧電定数 $d_{31} = 250 \text{ pm/V}$ という高い圧電特性を持つ薄膜を安定的に作製できる。気相成膜法やゾルゲル法などにより、基板上に圧電薄膜を直接成膜する構成が好ましい。特に、本実施形態の圧電体層 32 としては、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 以下の厚さの薄膜であることが好ましい。

[0111] <成膜方法について>

圧電体層 32 の成膜方法としては気相成膜法が好ましい。気相成膜法としては、例えば、スパッタリング法のほか、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。

[0112] PZT 薄膜をスパッタリング法により基板に直接成膜し、圧電体を薄膜化することで製作プロセスを簡便にすることができる。また、このようにして

成膜された圧電体薄膜は、エッチング等によって微細加工が容易であり、所望の形状にパターニングが可能である。これによって、歩留まりが大幅に向上するとともにデバイスのさらなる小型化に対応することができる。

[0113] 本発明の実施に際しては、基板の材料、電極材料、圧電材料、膜厚、成膜条件などは、目的に応じて適宜選択することができる。

[0114] <変形例>

図1では、平面視で円形のダイヤフラム部を説明したが、円形に限らず、平面視で楕円形のダイヤフラム部や平面視で多角形のダイヤフラム部とする構成も可能である。

[0115] 本発明は以上説明した実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想内で当該分野の通常の知識を有するものにより、多くの変形が可能である。

符号の説明

[0116] 10…角速度センサ
12…ダイヤフラム部
14…錘部
16…台座部
20…振動板層
21…熱酸化膜
22…金属薄膜振動板
30…下部電極
32…圧電体層
34…上部電極
35A～35D, 35…検出電極部
36A～36D, 36…駆動電極部
110…シリコン(Si)基板
112…ダイヤフラム部
114…錘部

1 1 6 … 台座部

1 2 0 … 振動板層

1 2 1 … 熱酸化膜

1 2 2 … 金属薄膜振動板

1 3 2 … 圧電体層

1 3 4 … 上部電極

1 3 5 … 駆動電極部

1 3 6 … 検出電極部

請求の範囲

- [請求項1] 駆動電極部と検出電極部とがパターン配置された上部電極と、圧電体層と、下部電極と、1層以上の振動板層と、がこの順に積層された積層構造を有し、可撓性のあるダイヤフラム部と、
前記ダイヤフラム部の外周を支持する台座部と、
前記ダイヤフラム部の中心部に接合されている錘部と、
を備え、
前記駆動電極部を介して前記圧電体層に電界を印加することによって前記圧電体層の逆圧電効果を利用して前記錘部を振動させ、コリオリ力に基づいて前記錘部に生じた変位を圧電効果によって前記検出電極部から検出する角速度センサであって、
前記振動板層は、Fe又はFeよりも原子量の小さい金属を50質量%以上含む金属材料で構成された金属薄膜振動板を含む角速度センサ。
- [請求項2] 前記金属薄膜振動板の厚さは、1 μm 以上である請求項1に記載の角速度センサ。
- [請求項3] 前記金属薄膜振動板の厚さは、5 μm 以下である請求項1又は2に記載の角速度センサ。
- [請求項4] 前記金属材料は、Ti、V、Cr及びFeのうち少なくとも1つの金属を50質量%以上含む請求項1から3のいずれか1項に記載の角速度センサ。
- [請求項5] 前記金属薄膜振動板の熱膨張係数が、前記圧電体層の熱膨張係数の $\pm 10\%$ 以内である請求項1から4のいずれか1項に記載の角速度センサ。
- [請求項6] 前記金属薄膜振動板は、Tiを50質量%以上含む金属薄膜で構成される請求項1から5のいずれか1項に記載の角速度センサ。
- [請求項7] 前記金属薄膜振動板は、非SOI構造のシリコン基板の上に成膜されている請求項1から6のいずれか1項に記載の角速度センサ。

[請求項8] 前記ダイヤフラム部は、前記積層構造の積層する方向から平面視した場合に、円又は楕円の外周形状を有し、

前記錘部は、前記ダイヤフラム部と中心軸を共通にする前記円又は前記楕円の同心位置に配置されている請求項1から7のいずれか1項に記載の角速度センサ。

[請求項9] 非S O I構造のシリコン基板の上に、F e又はF eよりも原子量の小さい金属を50質量%以上含む金属材料から成る金属薄膜振動板を形成する工程と、

前記金属薄膜振動板の上に下部電極を形成する工程と、

前記下部電極の上に圧電体層を形成する工程と、

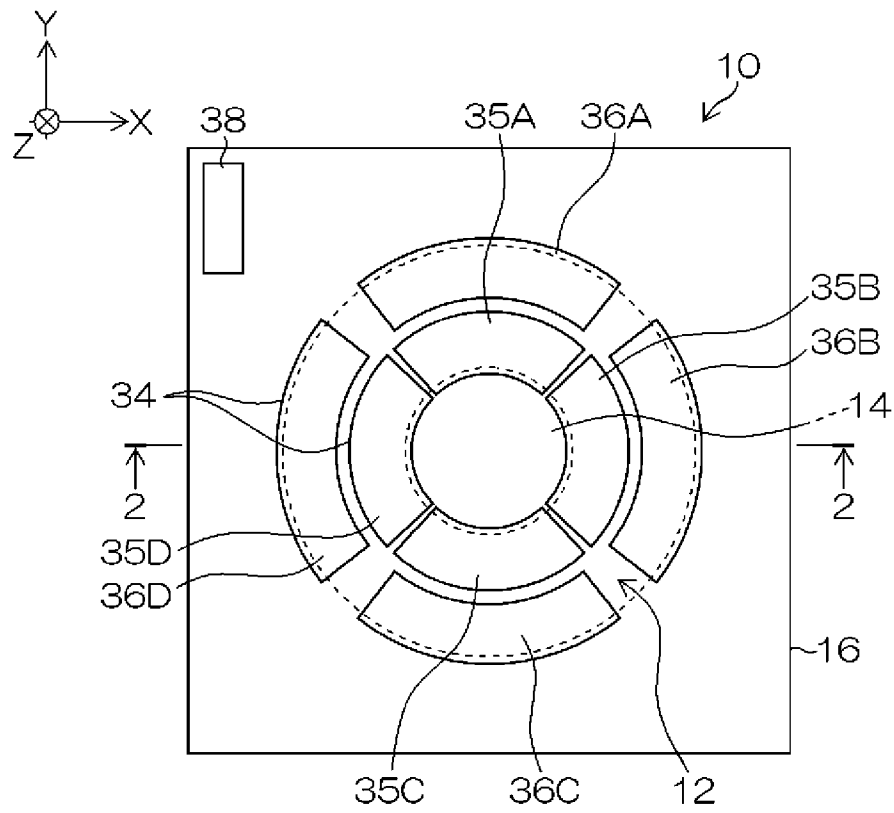
前記圧電体層の上に駆動電極部と検出電極部とがパターン配置された上部電極を形成すると、

前記シリコン基板の一部を除去加工することによって、前記上部電極と前記圧電体層と前記下部電極と前記金属薄膜振動板とを含む積層構造を有する可撓性のあるダイヤフラム部、前記ダイヤフラム部の外周を支持する台座部、及び前記ダイヤフラム部の中心部に接合されている錘部、を形成する工程と、

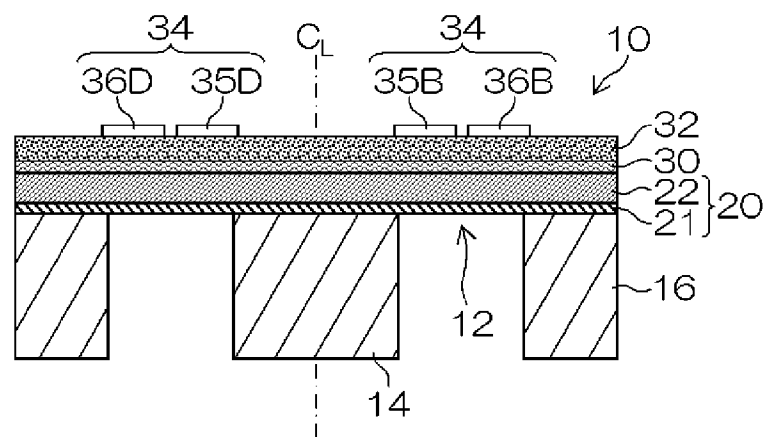
を含む角速度センサの製造方法。

[請求項10] 前記金属薄膜振動板を形成する工程は、気相成膜法を用いる請求項9記載の角速度センサの製造方法。

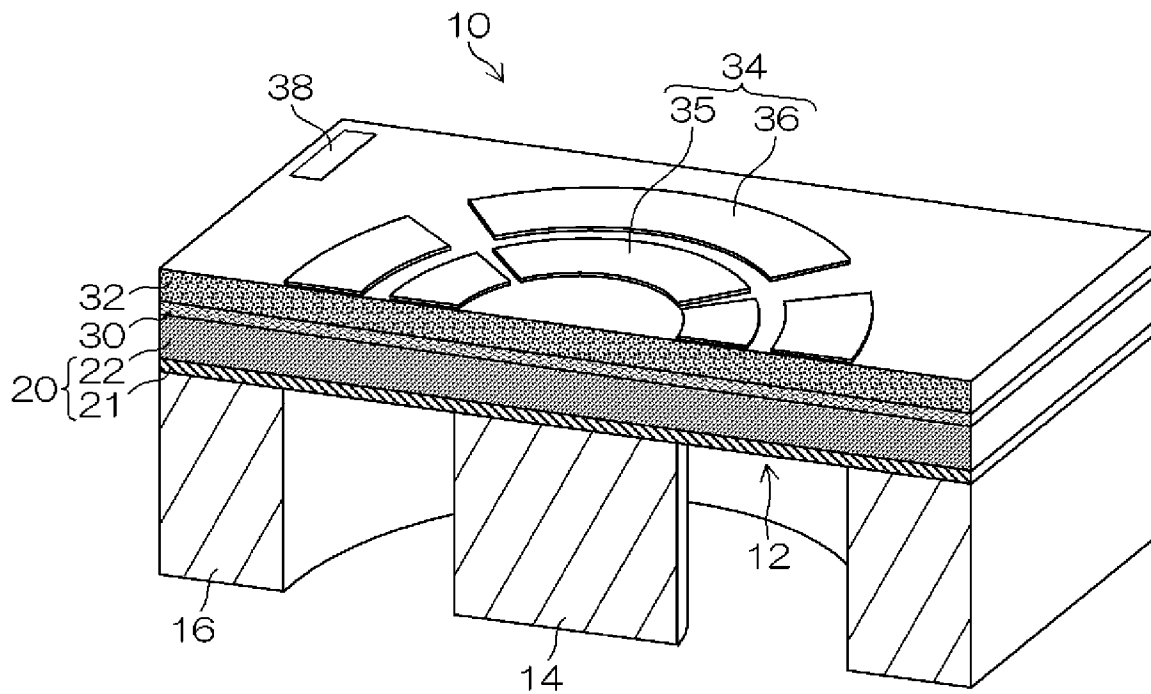
[図1]

FIG. 1

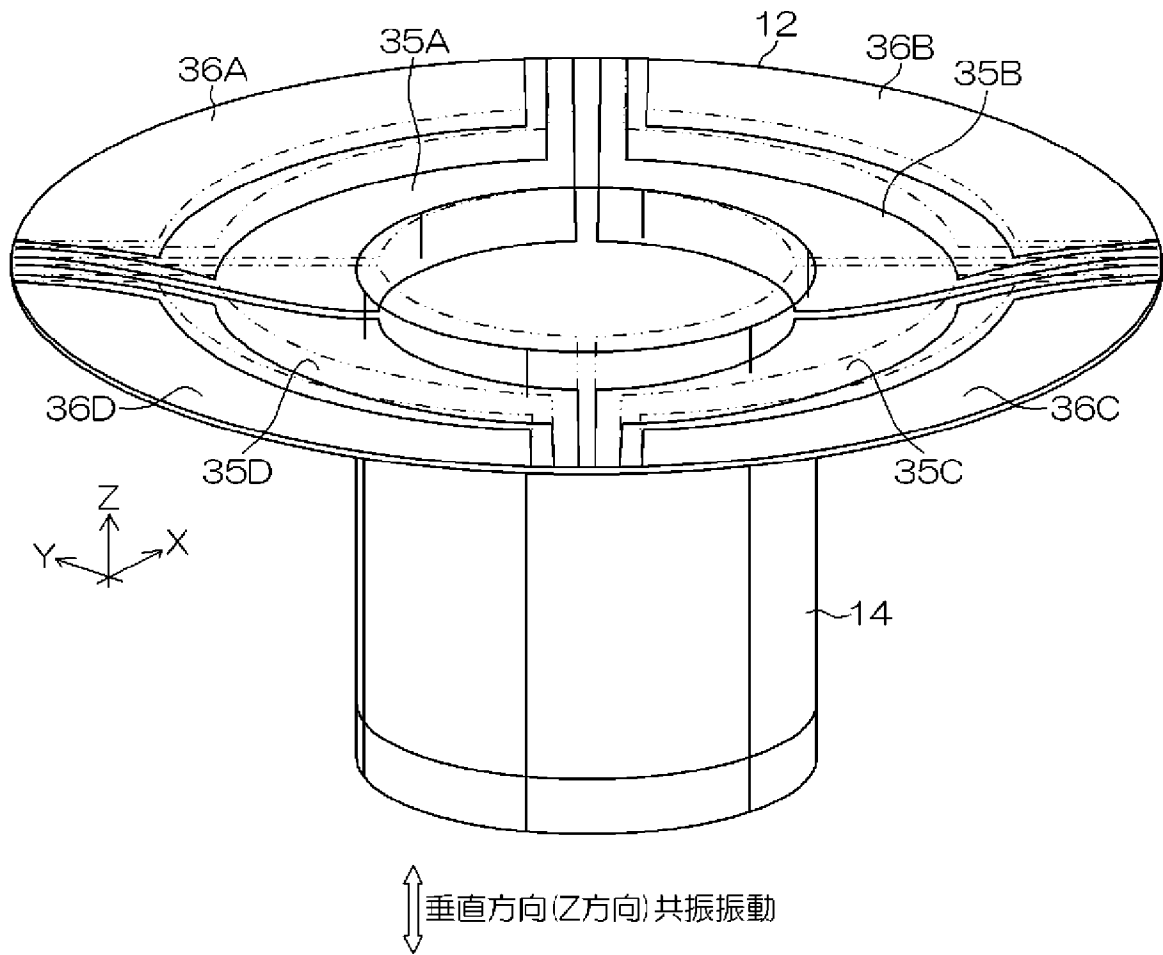
[図2]

FIG. 2

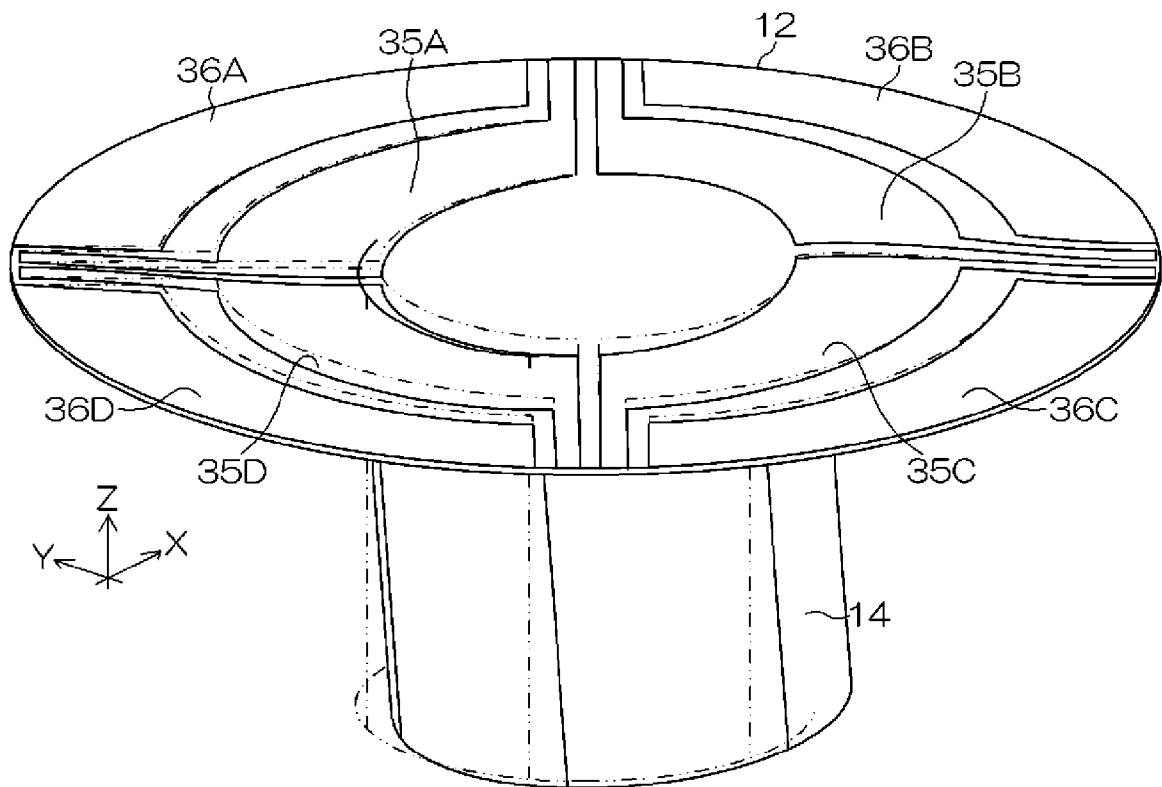
[図3]

FIG.3

[図4]

FIG. 4

[図5]

FIG.5

水平方向(X方向)共振振動

[図6]

FIG. 6A

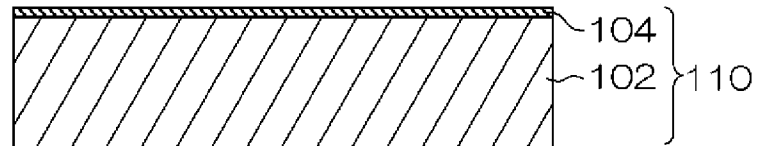


FIG. 6B

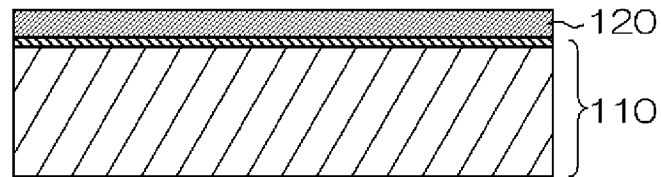


FIG. 6C

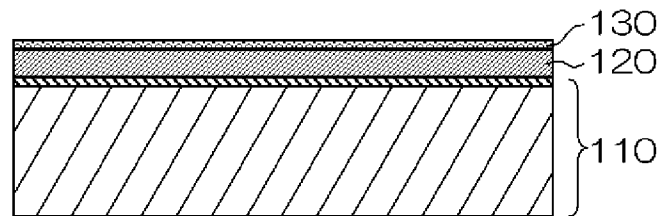


FIG. 6D

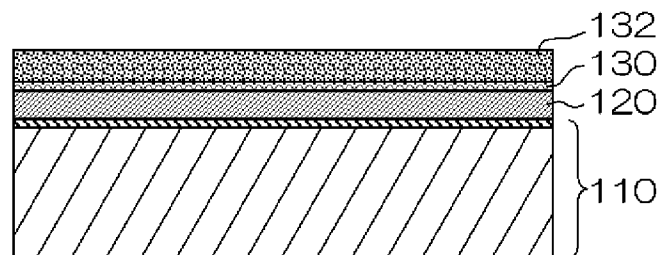
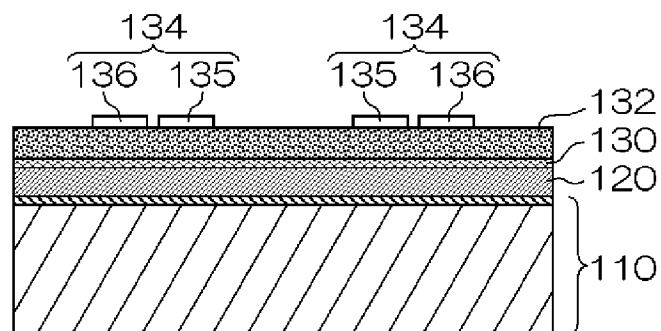
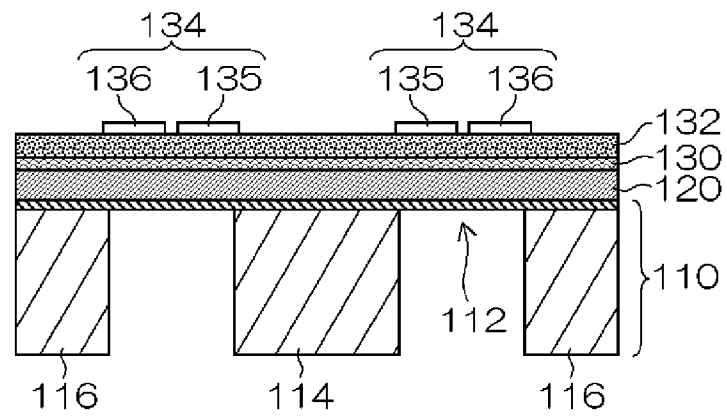


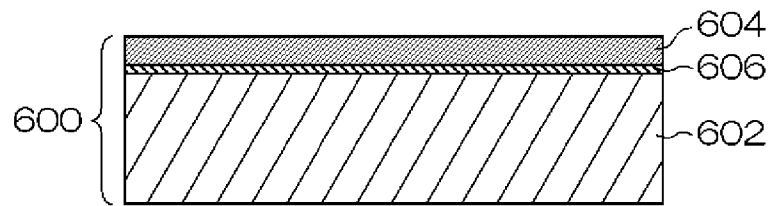
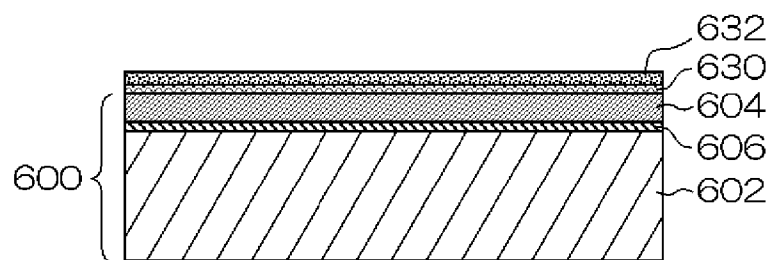
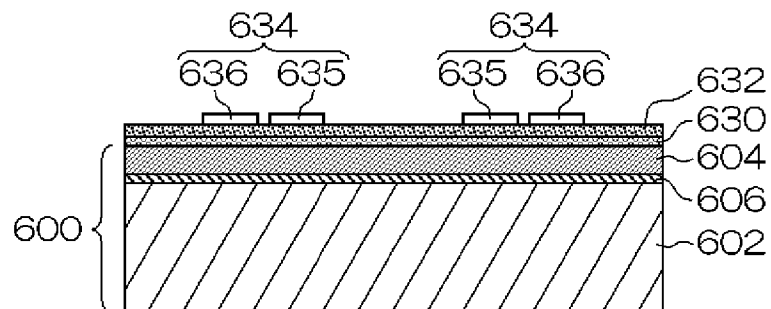
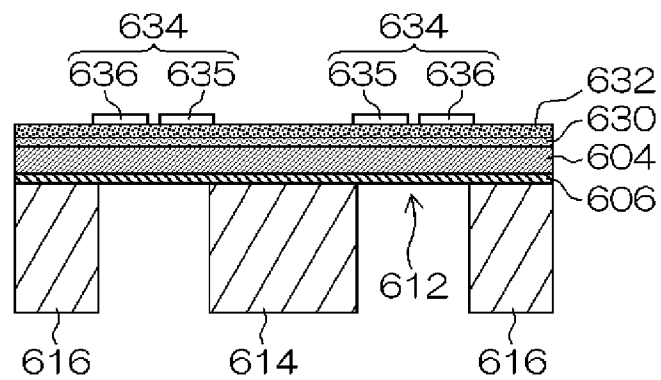
FIG. 6E



[図7]

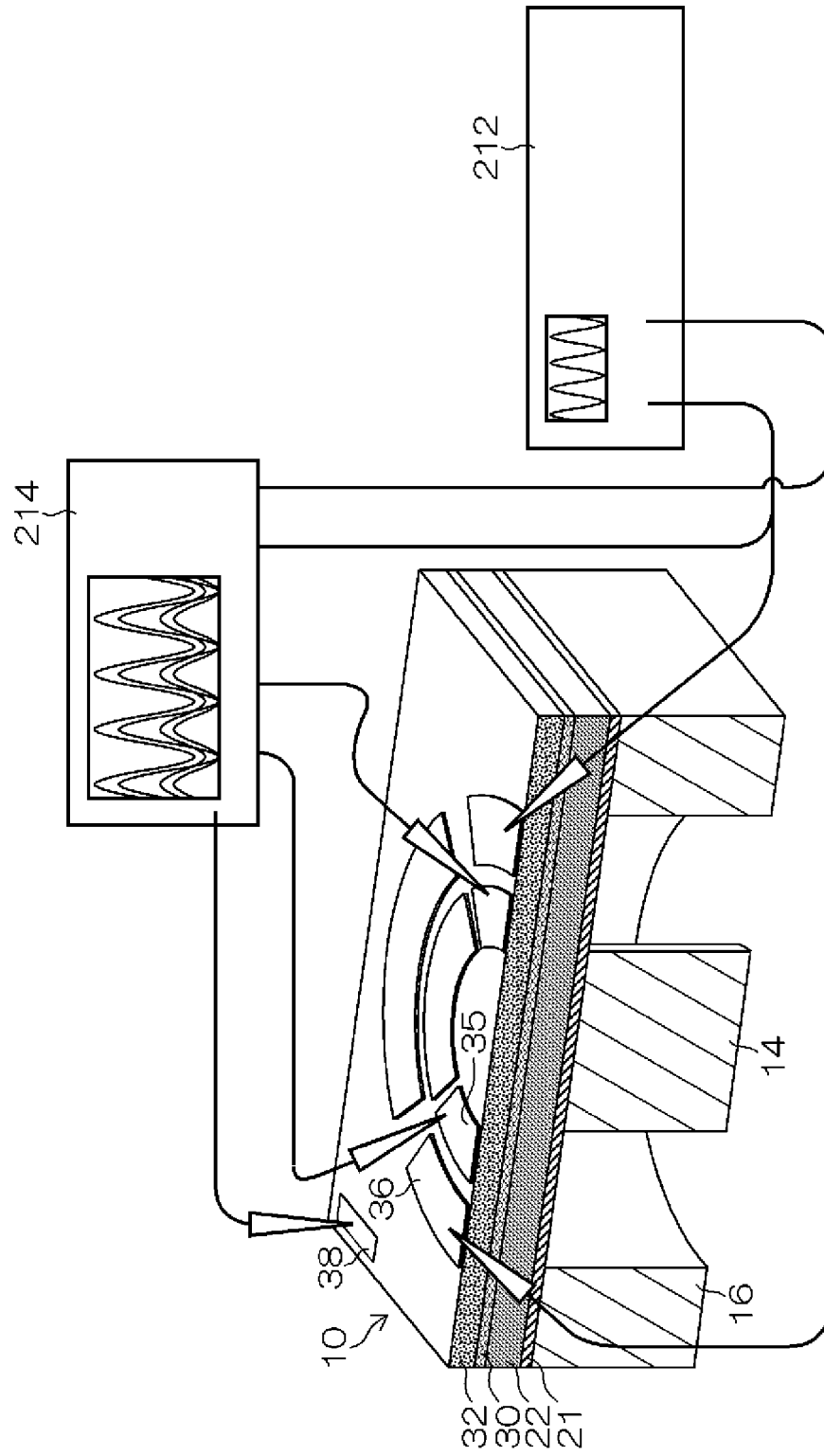
FIG. 7

[図8]

FIG. 8A**FIG. 8B****FIG. 8C****FIG. 8D**

[図9]

FIG. 9



[図10]

FIG. 10

	材料	応力ばらつき		共振ばらつき	
実施例1	Cr	300 ~ 500 MPa	25.0%	2.6%	A
実施例2	Ti	300 ~ 550 Mpa	29.4%	3.3%	A
実施例3	V	250 ~ 550 MPa	37.5%	4.7%	A
実施例4	Fe	250 ~ 450 MPa	28.5%	3.1%	A
比較例	TiW(Ti:W = 1: 9 wt%)	-370 ~ 400 MPa	2566.6%	20.9%	C

[図11]

FIG.11

	材料	熱膨張係数		素子の歩留まり
実施例1	Cr	4.9 $\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$	38.8%	C
実施例2	Ti	8.5 $\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$	6.25%	AA
実施例3	V	8.4 $\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$	6.25%	A
実施例4	Fe	11.8 $\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$	47.5%	C
比較例	TiW(Ti:W = 1: 9 wt%)	4.3 $\mu\text{m}/^{\circ}\text{C}$	46.3%	C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/058472

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01C19/56(2012.01)i, H01L41/047(2006.01)i, H01L41/113(2006.01)i,
H01L41/29(2013.01)i, H01L41/31(2013.01)i, H01L41/316(2013.01)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, G01P15/09, H01L41/00

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.
Y A	JP 2007-309946 A (Kazuhiro OKADA), 29 November 2007 (29.11.2007), paragraphs [0135] to [0156]; fig. 57 to 65 (Family: none)	1-5, 7-9 6, 10
Y A	JP 10-153614 A (Hokuriku Electric Industry Co., Ltd.), 09 June 1998 (09.06.1998), paragraphs [0015] to [0020]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-5, 7-9 6, 10
Y A	JP 2000-162235 A (Wacoh, Co., Ltd.), 16 June 2000 (16.06.2000), paragraph [0097]; fig. 34 (Family: none)	1-5, 7-9 6, 10

☒ 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
21 May, 2014 (21.05.14)

Date of mailing of the international search report
03 June, 2014 (03.06.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/058472

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	US 2004/0221651 A1 (Peter J. SCHILLER), 11 November 2004 (11.11.2004), paragraph [0040]; fig. 1 & WO 2005/116580 A1	2-3, 7, 9 6, 10

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(2012.01)i, H01L41/047(2006.01)i, H01L41/113(2006.01)i, H01L41/29(2013.01)i, H01L41/31(2013.01)i, H01L41/316(2013.01)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, G01P15/09, H01L41/00

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 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 A	JP 2007-309946 A（岡田 和廣）2007. 11. 29, 【0135】 - 【0156】 , 第 57-65 図（ファミリーなし）	1-5, 7-9 6, 10
Y A	JP 10-153614 A（北陸電気工業株式会社）1998. 06. 09, 【0015】 - 【0020】 , 第 1-3 図（ファミリーなし）	1-5, 7-9 6, 10
Y A	JP 2000-162235 A（株式会社ワコー）2000. 06. 16, 【0097】 , 第 34 図（ファミリーなし）	1-5, 7-9 6, 10

☒ 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

2 1 . 0 5 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 3 . 0 6 . 2 0 1 4

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）

岸 智史

2 S

3 6 0 3

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 8

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 A	US 2004/0221651 A1 (Peter J. SCHILLER) 2004. 11. 11, [0040], FIG. 1 & WO 2005/116580 A1	2-3, 7, 9 6, 10