(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
2003 年12 月18 日 (18.12.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/104749 A1

(51) 国際特許分類[7]: G01C 19/56, G01P 9/04

(21) 国際出願番号: PCT/JP03/07115

(22) 国際出願日: 2003 年6 月5 日 (05.06.2003)

(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2002-168757 2002 年6 月10 日 (10.06.2002) JP
特願 2002-306938
2002 年10 月22 日 (22.10.2002) JP

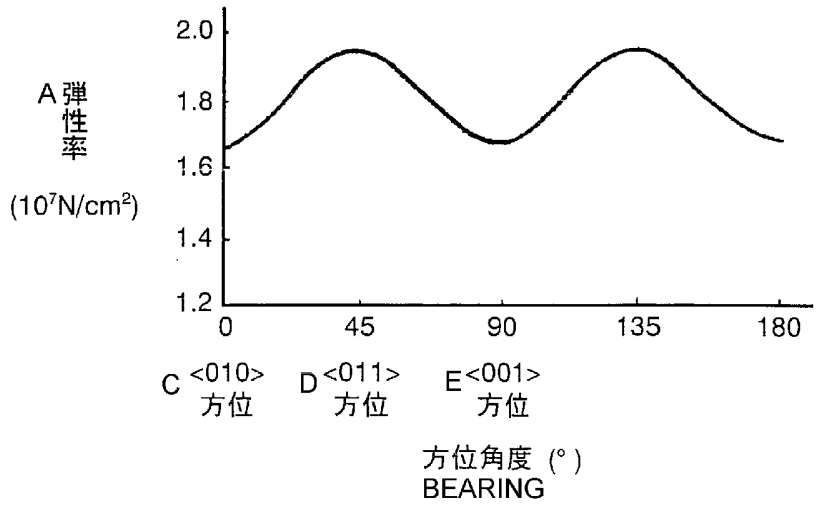
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒571-8501 大阪府 門真市大字門真１００６番地 Osaka (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 林 道彦 (HAYASHI,Michihiko) [JP/JP]; 〒910-3111 福井県 福井市島山梨子町 ２１－１－１ Fukui (JP). 多鹿 博文 (TAJIKA,Hirofumi) [JP/JP]; 〒534-0016 大阪府 大阪市都島区友渕町 １－６－５－１３１１ Osaka (JP). 中谷 将也 (NAKATANI,Masaya) [JP/JP]; 〒665-0054 兵庫県 宝塚市 鹿塩１－４－２９－２０３ Hyogo (JP).

[続葉有]

(54) Title: ANGULAR VELOCITY SENSOR

(54) 発明の名称: 角速度センサ



A...ELASTIC MODULUS
C...BEARING 010>
D...BEARING 011>
E...BEARING 001>

(57) Abstract: An angular velocity sensor capable of increasing the reliability of the sensitivity of detection signals to an applied angular velocity by suppressing a variation in resonance frequency of a vibrating body during driving, comprising the vibrating body, the vibrating body, i.e., a tuning fork, further comprising a silicon substrate using a surface bearing (100) as a principal plane, wherein the side face of the tuning fork generally orthogonal to the driving direction (X-direction) of an arm becomes the surface bearing in which an elastic modulus depends less on a bearing.

(57) 要約: 振動体の駆動共振周波数のばらつきを抑え、印加された角速度に対する検出信号の感度の信頼性を向上させた角速度センサが提供される。この角速度センサは振

[続葉有]

WO 03/104749 A1

(74) 代理人: 岩橋 文雄, 外(IWAHASHI,Fumio et al.); 〒571-8501 大阪府 門真市 大字門真１００６番地 松下電器産業株式会社内 Osaka (JP).

(81) 指定国 (国内): CN, JP, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

動体を有し、その振動体としての音叉は面方位（１００）を主面とするシリコン基板で形成され、その音叉のアームの駆動方向（Ｘ方向）とほぼ直交する側面が弾性率の方位角依存性の少ない面方位となるように構成される。

明細書

角速度センサ

技術分野

本発明は航空機、自動車、ロボット、船舶、車両等の姿勢制御やナビゲーションシステム等に用いられる角速度センサに関する。

背景技術

従来の角速度センサとしては、米国特許第５４３８２３１号公報に記載されたものが知られている。この角速度センサについて図８を用いて説明する。

図８は従来の角速度センサの斜視図である。図８において、角速度センサ１０１は、シリコンなどの非圧電材料からなる音叉１０２、アーム１０３、アーム１０４、基部１０５、アーム１０３の上に設けられた下部電極１０６、アーム１０４の上に設けられた下部電極１０７、下部電極１０６の上に設けられた圧電薄膜１０８、下部電極１０７の上に設けられた圧電薄膜１０９、圧電薄膜１０８の上に設けられた上部電極１１０及び上部電極１１１、圧電薄膜１０９の上に設けられた上部電極１１２及び上部電極１１３で構成されている。そして、上部電極１１０、１１１、１１２、１１３に交流電圧を印加することにより音叉１０２が共振する。

上述の角速度センサ１０１の音叉１０２は、直交する２つの振動モード（Ｘ方向の振動モードとＺ方向の振動モード）を有している。音叉１０２は、その一方の振動モード（例えばＸ方向の振動モード）のみが駆動される。この状態で、上述の直交する２つの振動モードの軸（Ｘ軸、Ｚ軸）と互いに直交する軸（Ｙ軸）を中心に回転角速度が印加された時、音叉１０２はコリオリ力によってもう一方（Ｚ方向）の

振動モードが励振される。角速度センサ１０１は、この原理を利用している。このような角速度センサ１０１の構成において、印加された角速度に対して信頼性の高い検出信号を得るためには、音叉１０２の直交する２つの振動モード（Ｘ方向の振動モードとＺ方向の振動モード）の共振周波数は離れていることが必要となる。しかし、印加された角速度に対して検出信号の感度を向上させるためには、音叉１０２の直交する２つの振動モード（Ｘ方向の振動モードとＺ方向の振動モード）の共振周波数が互いに近接していることが有利となる。すなわち、印加された角速度に対する検出信号の信頼性と感度の観点から、２つの共振周波数は結合を起こさない程度に十分接近していることが望ましい。しかし、印加された角速度に対する検出信号の感度の信頼性に関して、音叉を構成する材料の結晶の面方位による弾性率の違いと共振周波数の観点から考察した文献は上述の米国特許第５４３８２３１号公報を含めてこれまでになかった。

上述の点について、以下に詳述する。共振周波数ｆは、（式１）で表される。ここで、ｃは弾性率を、ρは密度を、ｄはアームの幅を、ｌはアームの長さを夫々表している。

$$f \propto \sqrt{(c / \rho)} * d / l^2 \qquad \text{（式１）}$$

上記（式１）より、音叉１０２のＸ方向の振動モードの共振周波数は、弾性率ｃによって変化することは明らかである。ところで、従来の角速度センサでは、アーム１０３、１０４の側面に結晶の面方位としてどの面を選択するかによって、音叉１０２のＸ方向（駆動方向）の弾性率ｃがばらつき、印加された角速度に対する検出信号の感度がばらつくといった信頼性の低下を招くという課題があった。

発明の開示

振動体を備えた角速度センサにおいて、

その振動体は面方位（１００）を主面とするシリコン基板で形成され、

その振動体の駆動方向とほぼ直交する面が弾性率の方位角のずれに対して変化の少ない面方位である

角速度センサ。

図面の簡単な説明

図１は、本発明の角速度センサの実施の形態１の斜視図である。

図２は、図１に示された角速度センサのＡ－Ａ断面図である。

図３は、本発明における角速度センサのシリコン基板内の配置図である。

図４は、シリコン基板の面方位図である。

図５は、シリコン基板の弾性率と方位角度との関係を示す特性図である。

図６Ａ～図６Ｈは、本発明における角速度センサを図３のＤ－Ｄ断面を用いて説明した製造工程図である。

図７は、本発明の角速度センサの実施の形態２におけるシリコン基板内の配置図である。

図８は、従来の角速度センサの斜視図である。

発明を実施する最良の形態

本発明は、上述した従来方式での課題を解決し、振動体の駆動共振周波数のばらつきを抑え、印加された角速度に対する検出信号の感度の信頼性を向上させた角速度センサを提供することを目的とする。

以下、本発明の実施の形態について、図１から図７を用いて説明する。本発明の角速度センサは振動体を有しているが、以下に示す実施の形態では、その振動体として音叉を採用した場合を例に挙げて説明

する。

（実施の形態１）

図１は本発明の角速度センサの実施の形態１の斜視図、図２は図１の角速度センサのＡ－Ａ断面図、図３はシリコン基板内の角速度センサの配置図、図４は図３に示すシリコン基板の面方位図、図５は図３に示すシリコン基板の弾性率と方位角度との関係を示す特性図である。

図１の矢印Ｘ、矢印Ｙ、矢印Ｚはそれぞれお互いに直交する３つの方向を示している。また、以降の説明では、矢印Ｘ、矢印Ｙ、矢印Ｚはそれぞれ方向Ｘ、方向Ｙ、方向Ｚとも記載される。図１、図２、図３に示すように、平行な２本のアーム１及びアーム２と、この２本のアーム１及びアーム２を連結する基部３を有した振動体としての音叉４は、非圧電材料のシリコンからなる。音叉４の主面５はシリコン基板３０の面方位（１００）である。また、この主面５は図３に示されたシリコン基板３０のオリフラ３１を基準にしてアーム１及びアーム２のそれぞれの側面６及び側面７が面方位（００１）であって、アーム１及びアーム２の長手方向（Ｙ方向）に直交する面が面方位（０１０）になるように形成されている。第１の電極１０はアーム１の主面５上にあって、アーム１の中心線８の内側に設けられている。第２の電極１１はアーム１の主面５上にあって、中心線８の外側に設けられている。第１の電極１０と第２の電極１１はそれぞれ離間されている。第１の電極１２はアーム２の主面５上にあって、アーム２の中心線９の内側に設けられている。第２の電極１３はアーム２の主面５上にあって、中心線９の外側に設けられている。第１の電極１２と第２の電極１３はそれぞれ離間されている。第１の圧電薄膜１４、１６はそれぞれ中心線８、９の内側にあって、かつ、第１の電極１０、１２上にそれぞれ設けられている。第２の圧電薄膜１５、１７はそれぞれ中心線８、９外側にあって、かつ、第２の電極１１、１３上にそれぞれ設

けられている。第３の電極１８、２０は第１の圧電薄膜１４、１６の上にそれぞれ設けられている。第４の電極１９、２１は第２の圧電薄膜１５、１７の上にそれぞれ設けられている。

以上の第１の電極１０、１２、第２の電極１１、１３、第１の圧電薄膜１４、１６、第２の圧電薄膜１５、１７、第３の電極１８、２０、第４の電極１９、２１により駆動部が構成されている。

第５の電極２２はアーム１の主面５上であって基部３よりの側に設けられている。かつ、第５の電極２２は、第１の電極１０と第２の電極１１に対して離間して設けられている。第６の電極２３は、第５の電極２２上に設けられた第３の圧電薄膜２６上に設けられている。尚、第３の圧電薄膜２６は、図１と図３では第６の電極２３で隠れていて見えていないが、断面図である図６Ｄに明示されている。同じく、第５の電極２４はアーム２の主面５上であって基部３よりの側に設けられている。かつ、第５の電極２４は、第１の電極１２と第２の電極１３に対して離間して設けられている。第６の電極２５は、第５の電極２４上に設けられた第３の圧電薄膜２７上に設けられている。尚、第３の圧電薄膜２７は、図１と図３では第６の電極２５で隠れていて見えていないが、断面図である図６Ｄに明示されている。

以上の第５の電極２２、２４、第３の圧電薄膜２６、２７、第６の電極２３、２５により検知部が構成されている。

上述のようにして、角速度センサ５０が構成されている。

次に、角速度センサ５０の動作原理について説明する。

図１、図２において、第１の電極１０と第３の電極１８との間、第１の電極１２と第３の電極２０との間、第２の電極１１と第４の電極１９との間、第２の電極１３と第４の電極２１との間にそれぞれ２０Ｖ程度の直流電圧を印加すると、第１圧電薄膜１４、１６、第２の圧電薄膜１５、１７の分極はそれぞれ一定方向に揃う。同じく、第５の

電極２２と第６の電極２３との間、第５の電極２４と第６の電極２５との間にそれぞれ２０Ｖ程度の直流電圧を印加すると、第３の圧電薄膜２６、２７の分極は一定方向に揃う。

例えば、第１の電極１０、１２、第２の電極１１、１３、及び第５の電極２２、２４が高電位側になるように直流電圧を印加すると、第１の圧電薄膜１４、１６、第２の圧電薄膜１５、１７及び第３の圧電薄膜２６、２７の分極の方向は、第１の電極１０、１２、第２の電極１１、１３及び第５の電極２２、２４から第３の電極１８、２０、第４の電極１９、２１及び第６の電極２３、２５の方向に向く。この分極方向は、上述の直流電圧の印加を止めても一定方向のままで維持される。これは自発分極と呼ばれる。第１の圧電薄膜１４、１６、第２の圧電薄膜１５、１７及び第３の圧電薄膜２６、２７がこのような自発分極を持つとき、第３の電極１８、２０、第４の電極１９、２１及び第６の電極２３、２５が第１の電極１０、１２、第２の電極１１、１３及び第５の電極２２、２４よりも高電位の場合は、第１の圧電薄膜１４、１６、第２の圧電薄膜１５、１７及び第３の圧電薄膜２６、２７はそれぞれの分極の方向が緩和する方向に動く。従って、第１の圧電薄膜１４、１６、第２の圧電薄膜１５、１７及び第３の圧電薄膜２６、２７は分極と平行な方向に縮み、垂直な方向に伸びる。逆に、第３の電極１８、２０、第４の電極１９、２１及び第６の電極２３、２５が第１の電極１０、１２、第２の電極１１、１３及び第５の電極２２、２４よりも低電位の場合は、第１の圧電薄膜１４、１６、第２の圧電薄膜１５、１７及び第３の圧電薄膜２６、２７は分極と平行な方向に伸び、垂直な方向に縮む。

したがって、第１の電極１０をＧＮＤ電極又は仮想ＧＮＤ電極とし、第３の電極１８に交流電圧を印加すると、第１の圧電薄膜１４はＹ軸方向に伸び縮みする。以上は、アーム１上の内側に設けられた駆動部

について説明したが、アーム１上の外側に設けられた駆動部、アーム２上の内側、外側に設けられた駆動部についても同様な動作をする。

また、図１、図２に示す第３の電極１８と第４の電極１９に互いに位相が１８０°異なる交流電圧を印加することで、第１の圧電薄膜１４が伸びる時に第２の圧電薄膜１５は縮む。逆に、第１の圧電薄膜１４が縮む時に第２の圧電薄膜１５は伸びる。

以上の原理に基づき、第３の電極１８、２０に同位相、第４の電極１９、２１に対しては第３の電極１８、２０と逆位相の交流電圧を印加すると、アーム１とアーム２は互いに逆方向（Ｘ方向）に音叉振動する。

また、アーム１、２は形状に依存した固有共振周波数を有している。第３の電極１８、２０、第４の電極１９、２１に印加する交流電圧の周波数をこの形状の固有の共振周波数と同じにすれば、アーム１、２はＸ方向（駆動方向）へ駆動共振させられる。Ｘ方向（駆動方向）で共振している状態でＹ軸の回りに角速度が印加されると、アーム１、２はコリオリ力によりＺ方向（検出方向）に互いに逆向きに撓む。この撓みによりアーム１、２上にそれぞれ設けられている第３の圧電薄膜２６、２７には、それぞれ逆向きの電荷が発生する。この逆向きの電荷を第６の電極２３、２５が検出することにより、印加された角速度に対応した出力が得られる。

なお、アーム１、２はＸ方向（駆動方向）へ動く振動モードと、Ｚ方向（検出方向）へ動く振動モードを持っている。この２つの振動モードの共振周波数を同じに設定すると、駆動共振によって検出側（Ｚ方向）にも共振が発生するので、コリオリ力によって発生したひずみの識別が困難となる。そのため、検出側（Ｚ方向）の共振周波数は駆動側（Ｘ方向）の共振周波数と少し異なる設定にして検出側（Ｚ方向）の共振周波数と駆動側（Ｘ方向）の共振周波数の結合を抑制する

必要がある。

しかし、大きく異なる周波数に設定すると、検出側（Ｚ方向）にコリオリ力が発生しても駆動側（Ｘ方向）の共振周波数と離れているため、検出側（Ｚ方向）は大きな振動が発生しなくなる。つまり駆動側（Ｘ方向）の共振周波数と検出側（Ｚ方向）の共振周波数とは、結合を起こさない程度には離し、検出側（Ｚ方向）の感度を高めるためには両共振周波数は近くに設定する必要がある。

本実施の形態においては、アーム１、２の駆動方向（Ｘ方向）の幅を検出方向（Ｚ方向）の厚みより大きくした例について、説明する。一例として、図２に示すようにアーム１、２の幅を０．２ｍｍ、厚みを０．１９ｍｍにしている。この音叉４の駆動方向（Ｘ方向）の共振周波数は例えば２２ｋＨｚ、検出方向（Ｚ方向）の共振周波数は例えば２０ｋＨｚになる。

ここで、図４に示すようにシリコンの面方位（１００）、面方位（０１０）、面方位（００１）はそれぞれ垂直な面の関係にあり、＜０１０＞方位と＜０１１＞方位、＜０１１＞方位と＜００１＞方位はそれぞれ４５°異なる関係にある。

また、図５はシリコンの方位角度と弾性率との関係を示している。横軸は＜０１０＞方位を基準とした方位角度を表し、縦軸は弾性率を表している。図５に示すように、面方位（１００）のシリコンの弾性率は＜０１０＞方位近傍（即ち方位角度が０°近傍）、＜０１１＞方位近傍（即ち方位角度が４５°近傍）、＜００１＞方位近傍（即ち方位角度が９０°近傍）では弾性率の方位角度に対する変動量が少ない。＜０１０＞方位と＜００１＞方位の弾性率は同じである。このように面方位（１００）のシリコンの弾性率に関しては、方位角度が４５°周期で弾性率の方位角度依存性が少ないところがあり、弾性率自体は方位角度が９０°周期で変化する。つまり、図３に示すように面方位

（１００）のシリコン基板３０を用いて立体的に形成した音叉４のアーム１、２の長手方向（Ｙ方向）を＜０１０＞方位で構成することにより、音叉４の駆動方向（Ｘ方向）が＜００１＞方位となる。また、検出方向（Ｚ方向）が＜１００＞方位であるため、駆動方向（Ｘ方向）と検出方向（Ｚ方向）の振動モードにおいて、弾性率をほぼ同じにすることができるとともに方位角度ずれに対する弾性率の変化を少なくできる。従って、駆動方向（Ｘ方向）の共振周波数のばらつきが小さくなり高精度化が図れるため、印加された角速度の検出信号の感度の信頼性が向上する。同じく、音叉４のアーム１、２の長手方向（Ｙ方向）を＜００１＞方位で構成し、駆動方向（Ｘ方向）が＜０１０＞方位になるように構成しても同様の効果が得られる。

なお、上記の説明では、面方位（１００）に着目して、面方位（１００）における方位＜１００＞、方位＜０１０＞、方位＜００１＞と弾性率との関係を記載した。面方位（０１０）や面方位（００１）の場合についても、弾性率は方位＜１００＞、方位＜０１０＞、方位＜００１＞に依存して変化する。これは即ちシリコンの結晶性は対称軸を有しており、＜１００＞、＜０１０＞、＜００１＞は対称な軸であるからである。よって、本発明では主面を（１００）としたが、（０１０）、（００１）としてもよく、これは便宜上、方位の名前が変わるだけで実質的には全く同じことが適応される。即ち、面方位を決定すればそれに対する３つの方位が一義的に決定される。そうして、これら２つの面方位においても、方位角度と弾性率との関係は図５に示された関係と同等の特徴を有する。

次に、本実施の形態に示す角速度センサの製造方法について、以下に説明する。

図６Ａ～図６Ｈは、図３に示された角速度センサのＤ－Ｄ断面を用いて説明した製造工程図である。

図６Ａに示されたように面方位（１００）で厚み２００μｍ程度のシリコン基板３０が準備される。次に、図６Ｂに示されるように、シリコン基板３０の主面５上に貴金属材料と酸化されやすい材料との合金膜がスパッタもしくは蒸着により２０００Å程度の厚みに成膜される。貴金属材料と酸化されやすい材料との合金膜としては、白金（Ｐｔ）－チタン（Ｔｉ）またはイリジウム（Ｉｒ）－チタン（Ｔｉ）などである。この成膜によって下部電極膜４０が形成される。さらにこの下部電極膜４０の上にチタン酸ジルコン酸鉛（ＰＺＴ）などの圧電材料がスパッタにより１～４μｍ程度の厚みに成膜され、圧電薄膜４１が形成される。この圧電薄膜４１の上に金（Ａｕ）、クロム（Ｃｒ）、アルミニウム（Ａｌ）、銅（Ｃｕ）、チタン（Ｔｉ）などの材料からなる上部電極膜４２がスパッタあるいは蒸着により２０００Å程度の厚みに成膜される。

次に、図６Ｃに示されるように、上部電極膜４２の上にレジスト４３がパターンニングされる。このレジスト４３は、所定の形状である第３の電極１８、２０、第４の電極１９、２１、第６の電極２３、２５、第１の圧電薄膜１４、１６、第２の圧電薄膜１５、１７、第３の圧電薄膜２６、２７とをフォトリソグラフィ技術を用いて形成するためにパターンニングされる。続いて、図６Ｄに示されるように上部電極膜４２および圧電薄膜４１がエッチングされる。そうして、図６Ｅに示されるようにレジスト４４がパターンニングされる。このレジスト４４は、フォトリソグラフィ技術を用いて所定の形状である第１の電極１０、１２、第２の電極１１、１３、第５の電極２２、２４を形成するために作成される。レジスト４４は、第３の電極１８、２０、第４の電極１９、２１、第６の電極２３、２５、第１の圧電薄膜１４、１６、第２の圧電薄膜１５、１７、第３の圧電薄膜２６、２７を覆うように形成され、パターンニングされる。そうして、図６Ｆに示され

るように下部電極膜４０が所定形状にエッチングされる。

次に、図６Ｇに示されるように、第１の電極１０、１２、第２の電極１１、１３、第５の電極２２、２４、第１の圧電薄膜１４、１６、第２の圧電薄膜１５、１７、第３の圧電薄膜２６、２７、第３の電極１８、２０、第４の電極１９、２１、第６の電極２３、２５とシリコン基板３０の主面５上を覆うように形成したレジスト４５がパターンニングされる。このレジスト４５は、フォトリソグラフィ技術を用いて所定の形状のシリコンからなる音叉４を形成するためにパターンニングされる。そうして、図６Ｈに示されるように、シリコン基板３０は誘導結合型の反応性イオンエッチングされる。

上述の角速度センサの製造方法において、図６Ｃ、図６Ｅ、図６Ｇに示されたレジスト４３、４４、４５のパターニングの際には、図３に示されているようにオリフラ３１の位置を＜０１１＞方位として、このオリフラ３１とフォトマスクとの位置を調整し、アーム１、２のそれぞれの側面４６、４７が（００１）の面方位となるようにパターニングされる。また、図６Ｈに示されるアーム１、２の幅はシリコン基板３０の厚みよりわずかに大きくなるように形成されているため、駆動側（Ｘ方向）の共振周波数が検出側（Ｚ方向）の共振周波数より高くなる。

シリコン基板３０を誘導結合性の反応性イオンエッチングする際は、少なくとも２種類以上のガスが用いられる。２種類以上のガスは少なくともエッチングを促進するガスとエッチングを抑制するガスであり、これによりエッチングの促進と抑制を高精度に行うことができる。その結果、シリコン基板３０の主面５に対して垂直方向にのみエッチングが進行するようにできる。結果として、シリコン基板３０の主面５に対して垂直な側面４６、４７が得られる。

さらに、図６Ｈに示されるように、音叉４がシリコン基板３０内に

ほぼ同じ間隔Ｄ１、Ｄ２、Ｄ３になるように配置され、反応性イオンエッチングされる幅が均一になることで、エッチング状態が安定し、音叉４の切り出し断面がより垂直となる。つまり、アーム１、２の加工方法による幅の寸法精度が向上し、音叉４の駆動方向（Ｘ方向）での共振周波数のばらつきが小さくなり、高精度化が図れることで、印加された角速度の検出感度の信頼性がより一層向上する。

本実施の形態においては、第１の電極、第２の電極、第５の電極としての下部電極膜４０に白金（Ｐｔ）－チタン（Ｔｉ）またはイリジウム（Ｉｒ）－チタン（Ｔｉ）を用いた例について説明した。しかし、下部電極膜４０として下部（シリコン基板３０）側に設けられたＴｉ膜と上部（第１の圧電薄膜１４，１６、第２の圧電薄膜１５、１７、第３の圧電薄膜２６、２７）側に設けられたＰｔ－Ｔｉ膜またはＩｒ－Ｔｉ膜から構成されるのがより好ましい。この構成により、Ｔｉ膜はシリコン及びＰｔ－Ｔｉ膜またはＩｒ－Ｔｉ膜と密着性が強固で、Ｐｔ－Ｔｉ膜またはＩｒ－Ｔｉ膜はＰＺＴ等の圧電薄膜の配向を良好にすることができる。

また、本実施の形態においては、白金（Ｐｔ）－チタン（Ｔｉ）またはイリジウム（Ｉｒ）－チタン（Ｔｉ）からなる下部電極膜４０の上に直接圧電薄膜４１を設けた構成とした例について説明した。しかし、Ｐｔ－Ｔｉ膜と圧電薄膜との間に、さらにランタン（Ｌａ）とマグネシウム（Ｍｇ）が添加されたチタン酸鉛（ＰＬＭＴ）膜が設けられた構成にするのがより好ましい。この構成により、ＰＺＴ等の圧電薄膜の良好な配向を得るための製造条件の許容範囲を広くすることができる。

また、本実施の形態においては、圧電薄膜としてチタン酸ジルコン酸鉛（ＰＺＴ）を用いた例について説明した。しかし、圧電薄膜をマグネシウム（Ｍｇ）、ニオブ（Ｎｂ）、マンガン（Ｍｎ）の内から少な

くとも１つが加えられたチタン酸ジルコン酸鉛（ＰＺＴ）系から構成することも可能である。この構成により、ＰＺＴと同様に圧電薄膜の圧電定数が大きく、電気・機械変換効率が高くなり、印加された角速度に対する検出信号の高感度化を図ることができる。また、本実施の形態においては、圧電薄膜４１は、ＰＺＴまたはＭｇ、Ｎｂ、Ｍｎの内から少なくとも一つが加えられたＰＺＴ系で構成されており、この圧電薄膜４１の結晶構造のいずれかの面は、アーム１、２の主面に平行に優先的に配向している。そのため、印可された駆動電界の方向に対して複数の分極ベクトルの角度が前記優先的配向度に応じて等しくなり、印可された角速度に対する検出信号の安定性が図れる。

好ましくは、圧電薄膜４１の結晶構造は菱面体晶構造もしくは正方晶構造であり、これの（００１）面がアーム１、２の主面に平行に優先的に配向していることである。この構造により、圧電薄膜４１の圧電特性は印可電圧に対して非線形性を持つことなく、より安定した角速度センサの駆動及び角速度の検出が行えるようになる。

また、別の目的のため好ましくは、圧電薄膜４１の結晶構造は菱面体晶構造もしくは正方晶構造であり、これの（１１１）面がアーム１、２の主面に平行に優先的に配向していることである。この構造により、圧電薄膜４１の圧電特性は印可電圧に対して非線形性を持つことになるが、印可する電圧が高電圧ほど高い圧電特性を示すようになり、より大きな駆動振幅を必要とする場合に有効である。

また、本実施の形態においては、駆動部がアーム１、２の中央部より先端側に設けられ、検知部がアーム１、２の中央部から基部３近傍の間に設けられた構成の例について説明した。しかし、駆動部を少なくともアーム１、２のいずれか一方の少なくともいずれか一方の主面のほぼ中央部から基部３近傍の間に設け、検知部は駆動部を構成する第１の電極１０、１２と第２の電極１１、１３よりもアーム１、２の

先端側に設ける方がより好ましい。この構成により、アーム１、２の２次モードの共振周波数におけるアドミッタンスを小さくすることが可能となり、振動の安定性が高まり、印加された角速度に対する検出信号の精度が高くなる。

（実施の形態２）

図７は本発明の角速度センサの実施の形態２におけるシリコン基板内の配置図である。本実施の形態２において、実施の形態１において述べられた構成と同一構成部分には同一番号を付与して詳細な説明を省略し、異なる部分についてのみ詳述する。本実施の形態２において、実施の形態１と異なるのは、シリコン基板内における角速度センサの配置である。

図７において、オリフラ５０は面方位（１００）のシリコン基板３０の主面５に垂直で、かつ、＜０１－１＞方位に垂直である。アーム１、２の長手方向（Ｙ方向）が＜０１－１＞方位になるように選択されているため、駆動方向（Ｘ方向）は＜０１１＞方位となる。従って、図５に示すように駆動方向（Ｘ方向）となる＜０１１＞方位は、方位の角度ずれに対する弾性率の変化が少なくなり、且つ駆動方向（Ｘ方向）に対する弾性率が一段と大きくなる。これにより、音叉４の駆動方向（Ｘ方向）の共振周波数の変動が小さく抑えられ、且つ弾性率自体も大きい。そのため、音叉４の駆動方向（Ｘ方向）の共振周波数を大きくでき、印加された角速度に対する検出信号の感度の信頼性が向上し、且つ感度自体も大きくできる。

なお、実施の形態１および２においては、２本のアーム１、２と基部３から構成された音叉４について説明した。しかし、アームは１本あるいは３本以上であっても本発明は適応可能である。即ち、本発明の技術思想である方位の角度ずれに対する弾性率の変化が少なくなる面方位を選択すれば、駆動方向の共振周波数の変動が小さく抑えられ、

印加された角速度に対する検出信号の感度の信頼性を向上させることができる。

以上のように本発明は、振動体を備えた角速度センサにおいて、その振動体は面方位（１００）を主面とするシリコン基板から形成され、さらにその振動体の駆動方向とほぼ直交する面が弾性率の方位角依存性の少ない面方位となるように構成されている。そのため、面方位に多少のずれがあっても振動体の駆動共振周波数の変動が小さく抑えられ、印加された角速度に対する検出信号の感度の信頼性を向上させることができる。

また、本発明はアームの側面が弾性率の方位角依存性の少ない面方位となるように選択することも示した。こうすることで、面方位に多少のずれがあっても音叉の駆動共振周波数の変動が小さく抑えられ、印加された角速度に対する検出信号の感度の信頼性を向上させることができる。

また、本発明はアームの側面が（０１０）または（００１）の面方位であることも示した。こうすることで、面方位に多少のずれがあっても音叉の駆動共振周波数の変動が小さく抑えられ、印加された角速度に対する検出信号の感度の信頼性を向上させることができる。

また、本発明はアームの側面が＜０１１＞方位であることも示した。こうすることで、面方位に多少のずれがあっても音叉の駆動共振周波数の変動が小さく抑えることができる。更に、弾性率自体も大きいため、音叉の駆動共振周波数を大きくでき、印加された角速度に対する検出信号の感度の信頼性を向上でき、且つ感度自体も大きくできる。

また、本発明はアームの検出方向（Ｚ方向）の厚みを駆動方向（Ｘ方向）の厚みより薄くなるように構成することも示した。こうすることで、角速度センサの薄型化を図ることができる。

また、本発明は第１の電極、第２の電極、第５の電極は貴金属材料

と酸化されやすい材料との合金膜からなるように構成することも示した。こうすることで、貴金属材料と酸化されやすい材料との合金膜はＰＺＴ等の圧電薄膜の配向を良好にすることができる。

また、本発明はその貴金属材料がＰｔまたはＩｒで構成することも示した。こうすることで、ＰｔまたはＩｒからなる貴金属材料はＰＺＴ等の圧電薄膜の配向を良好にすることができる。

また、本発明はその酸化されやすい材料との合金膜がＰｔ－Ｔｉ膜またはＩｒ－Ｔｉ膜で構成することも示した。こうすることで、Ｐｔ－Ｔｉ膜またはＩｒ－Ｔｉ膜からなる合金膜はＰＺＴ等の圧電薄膜の配向をさらに良好にすることができる。

また、本発明は第１の電極、第２の電極、第５の電極は下部に設けられたＴｉ膜と上部に設けられたＰｔ－Ｔｉ膜またはＩｒ－Ｔｉ膜で構成することも示した。こうすることで、Ｔｉ膜はシリコンおよびＰｔ－Ｔｉ膜またはＩｒ－Ｔｉ膜と密着性が強固で、Ｐｔ－Ｔｉ膜またはＩｒ－Ｔｉ膜はＰＺＴ等の圧電薄膜の配向を良好にすることができる。

また、本発明はＰｔ－Ｔｉ膜と圧電薄膜またはＩｒ－Ｔｉ膜と圧電薄膜の間に、さらにランタンとマグネシウムが添加されたチタン酸鉛（ＰＬＭＴ）膜が設けて構成することも示した。こうすることで、ＰＺＴ等の圧電薄膜の良好な配向を得るための製造条件の許容範囲を広くすることができる。

また、本発明は圧電薄膜としてチタン酸ジルコン酸鉛（ＰＺＴ）、または、Ｍｇ、Ｎｂ、Ｍｎの内から少なくとも１つが加えられたチタン酸ジルコン酸鉛（ＰＺＴ）系で構成することも示した。こうすることで、圧電薄膜の圧電定数が大きく、電気・機械変換効率が高くなり、印加された角速度に対する検出信号の高感度化を図ることができる。

また、本発明は圧電薄膜として、この結晶構造のいずれかの面が、アームの主面に優先的に配向した構造で構成することも示した。こう

することで、印可された駆動電界の方向に対して複数の分極ベクトルの角度が前記優先的配向度に応じて等しくなり、印可された角速度に対する検出信号の安定性が図れる。

また本発明は、圧電薄膜として、その結晶構造は菱面体晶構造もしくは正方晶構造であり、これの（００１）面がアームの主面に平行に優先的に配向した構造で構成することも示した。こうすることで、圧電薄膜の圧電特性は印可電圧に対して非線形性を持つことなく、より安定した角速度センサの駆動及び角速度の検出が行えるようになる。

また、本発明は別の目的のため、圧電薄膜として、その結晶構造は菱面体晶構造もしくは正方晶構造であり、これの（１１１）面がアームの主面に平行に優先的に配向した構造で構成することも示した。こうすることで、圧電薄膜の圧電特性は印可電圧に対して非線形性を持つことになるが、印可する電圧が高電圧ほど高い圧電特性を示すようになり、より大きな駆動振幅を必要とする場合に有効である。

また、本発明は駆動部としていずれかのアームの少なくともいずれか一方の主面のほぼ中央部から基部近傍の間に設け、検知部は第１の電極と第２の電極よりもアームの先端側に設ることも示した。こうすることで、アームの２次モードの共振周波数におけるアドミッタンスを小さくすることが可能となり、振動の安定性が高まり、印加された角速度に対する検出信号の精度が高くなる。

また、本発明は少なくとも２種類以上のガスを用いた誘導結合性の反応性イオンエッチングにより面方位（１００）を主面とするシリコン基板に対して垂直方向にエッチングし音叉を形成することも示した。こうすることで、アームの側面の主面に対する直交度を高精度にすることができる。

産業の利用可能性

本発明による角速度センサは、面方位（１００）を主面とするシリコン基板で形成された振動体を備え、その振動体の駆動方向とほぼ直交する面が弾性率の方位角依存性の少ない面方位となるように構成されている。こうすることで、本発明による角速度センサは、振動体の駆動共振周波数の変動が小さく抑えることができ、印加された角速度に対する検出信号の感度の信頼性を向上させることができる。

請求の範囲

1． 振動体を備えた角速度センサにおいて、

前記振動体は面方位（１００）を主面とするシリコン基板で形成され、前記振動体の駆動方向とほぼ直交する面が弾性率の方位角のずれに対して変化の少ない面方位である角速度センサ。

2． 前記振動体は、

１個または複数個のアームと、

前記アームを連結する少なくとも１つの基部とを有した音叉と、

少なくとも１つの前記アームの少なくとも１つの主面上の中心線を隔ててそれぞれ離間するように設けられた第１の電極及び第２の電極と、

前記第１の電極及び前記第２の電極上にそれぞれ設けられた第１の圧電薄膜及び第２の圧電薄膜と、

前記第１の圧電薄膜及び前記第２の圧電薄膜上にそれぞれ設けられた第３の電極及び第４の電極と

を有する駆動部と、

前記第１の電極及び前記第２の電極に対して離間するように設けられた第５の電極と、

前記第５の電極上に設けられた第３の圧電薄膜と、

前記第３の圧電薄膜上に設けられた第６の電極とを有する検知部と

を備え、

前記アームの駆動方向（Ｘ方向）とほぼ直交する側面が弾性率の方位角のずれに対して変化の少ない面方位であり、

前記第３の電極及び前記第４の電極に互いに逆相の交流電圧を印加することにより前記音叉がＸ方向に共振し、

前記第６の電極は、印加された角速度により前記アームの主面に直角の方向である検出方向（Ｚ方向）に発生するコリオリカに起因した振動によって生ずる電荷を検出する

請求項１に記載の角速度センサ。

３．　前記アームの側面は（０１０）面方位または（００１）面方位である請求項２に記載の角速度センサ。

４．　前記アームの側面は（０１１）面方位である請求項２に記載の角速度センサ。

５．　前記アームは前記検出方向（Ｚ方向）の厚みが前記駆動方向（Ｘ方向）の厚みより薄い請求項２に記載の角速度センサ。

６．　前記第１の電極と前記第２の電極と前記第５の電極は貴金属材料と酸化されやすい材料との合金膜からなる請求項２に記載の角速度センサ。

７．　前記貴金属材料は少なくとも白金（Ｐｔ）とイリジウム（Ｉｒ）の何れかを含む請求項６に記載の角速度センサ。

８．　前記合金膜は白金（Ｐｔ）－チタン（Ｔｉ）膜またはイリジウム（Ｉｒ）－チタン（Ｔｉ）膜である請求項６に記載の角速度センサ。

９．　前記第１の電極と前記第２の電極と前記第５の電極は

下層に設けられたチタン（Ｔｉ）膜と、

上層に設けられた白金（Ｐｔ）－チタン（Ｔｉ）膜またはイリジウム（Ｉｒ）－チタン（Ｔｉ）膜

からなる請求項２に記載の角速度センサ。

１０．前記白金（Ｐｔ）－チタン（Ｔｉ）膜と前記圧電薄膜との間、または前記イリジウム（Ｉｒ）－チタン（Ｔｉ）と前記圧電薄膜との間に、ランタン（Ｌａ）とマグネシウム（Ｍｇ）が添加されたチタン酸鉛（ＰＬＭＴ）膜を更に有する請求項９に記載の角速度センサ。

１１．前記第１の圧電薄膜と前記第２の圧電薄膜と前記第３の圧電薄膜は、チタン酸ジルコン酸鉛（ＰＺＴ）、またはチタン酸ジルコン酸鉛（ＰＺＴ）系かなり、

前記チタン酸ジルコン酸鉛（ＰＺＴ）系は、Ｍｇ、Ｎｂ、Ｍｎの内から少なくとも１つが加えられている

請求項２に記載の角速度センサ。

１２．前記第１の圧電薄膜と前記第２の圧電薄膜と前記第３の圧電薄膜は、これらの結晶構造のいずれかの面が、前記アームの主面に平行に優先的に配向した請求項１１記載の角速度センサ。

１３．前記結晶構造が菱面体晶構造もしくは正方晶構造であり、前記優先的に配向した面は（００１）面方位である請求項１２記載の角速度センサ。

１４．前記結晶構造が菱面体晶構造もしくは正方晶構造であり、前記優先的に配向した面は（１１１）面方位である請求項１２記載の角速

度センサ。

１５．前記駆動部は、少なくともいずれか１個の前記アームの主面の中央部から前記基部の間に設けられ、

前記検知部は前記第１の電極及び前記第２の電極よりも前記アームの先端側に設けられる

請求項２に記載の角速度センサ。

FIG. 1

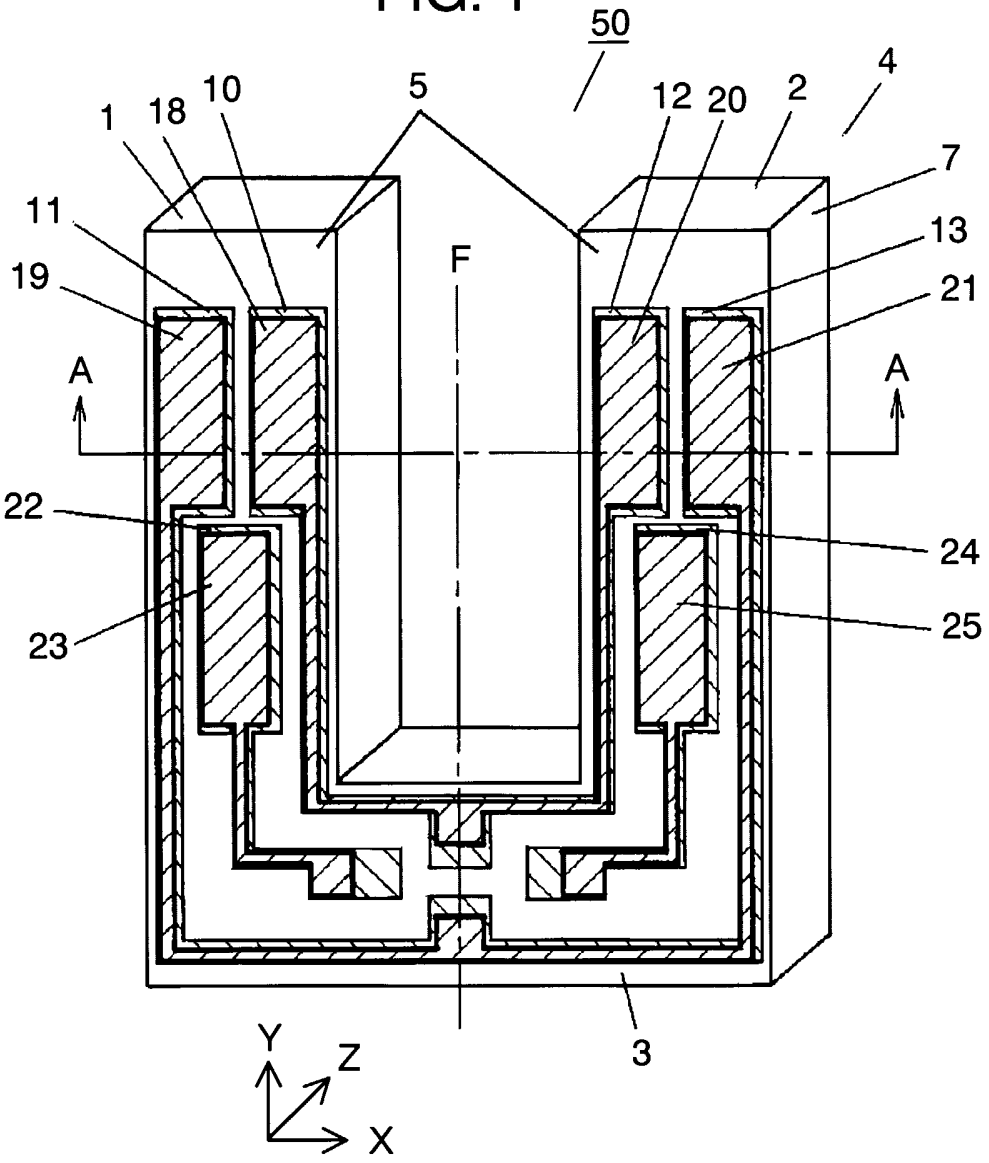

50
1
18
10
5
12
20
2
4
7
11
13
19
F
21
A
A
22
24
23
25
3
Y
Z
X

FIG. 2

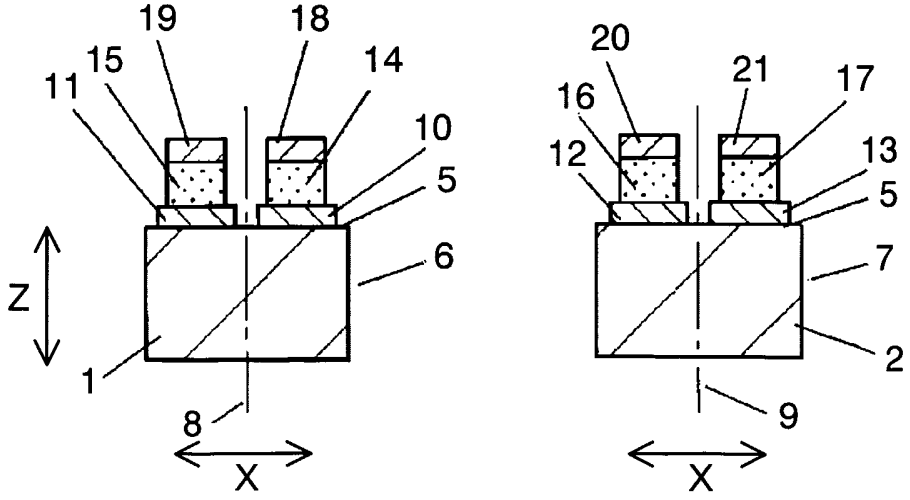

19
18
15
14
11
10
5
6
Z
1
8
X
20
21
17
16
12
13
5
7
2
9
X

FIG. 3

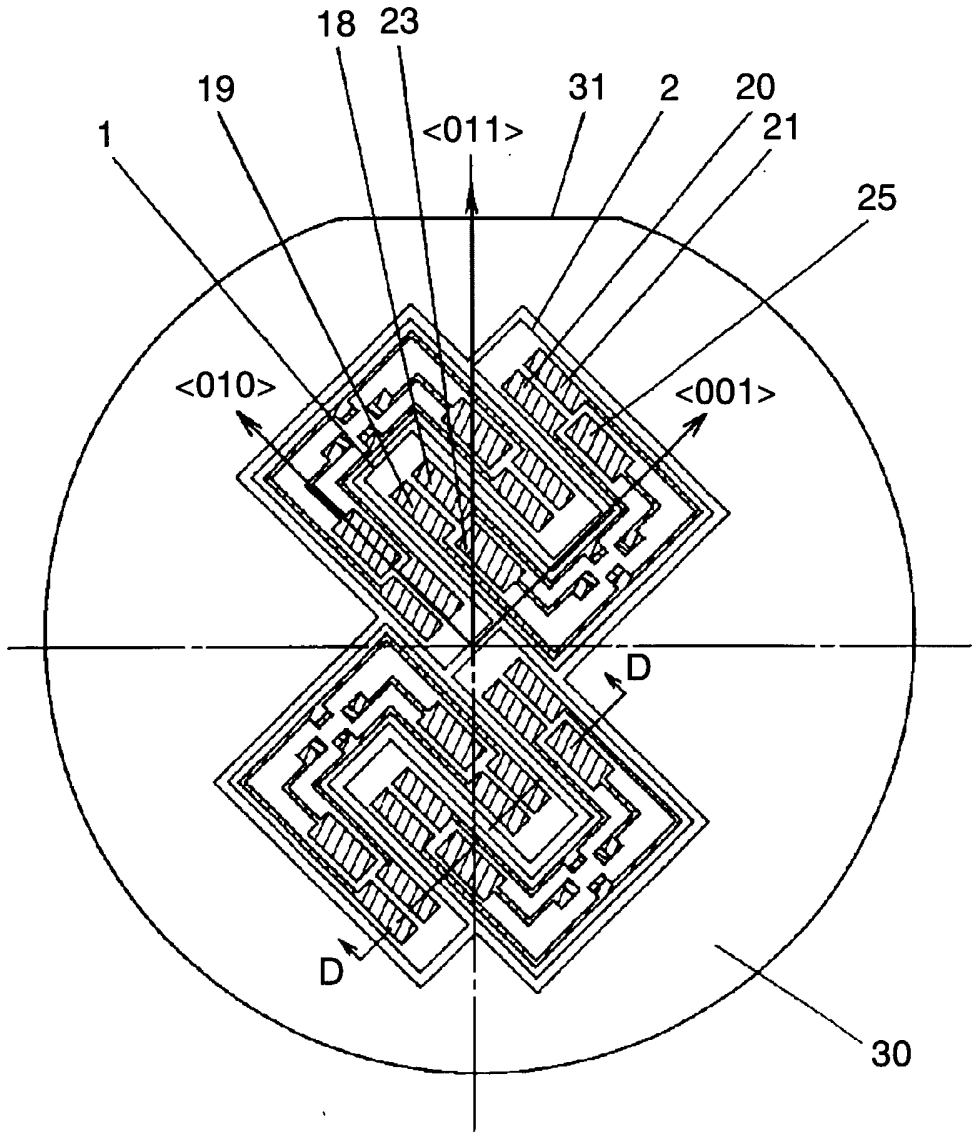


FIG. 4

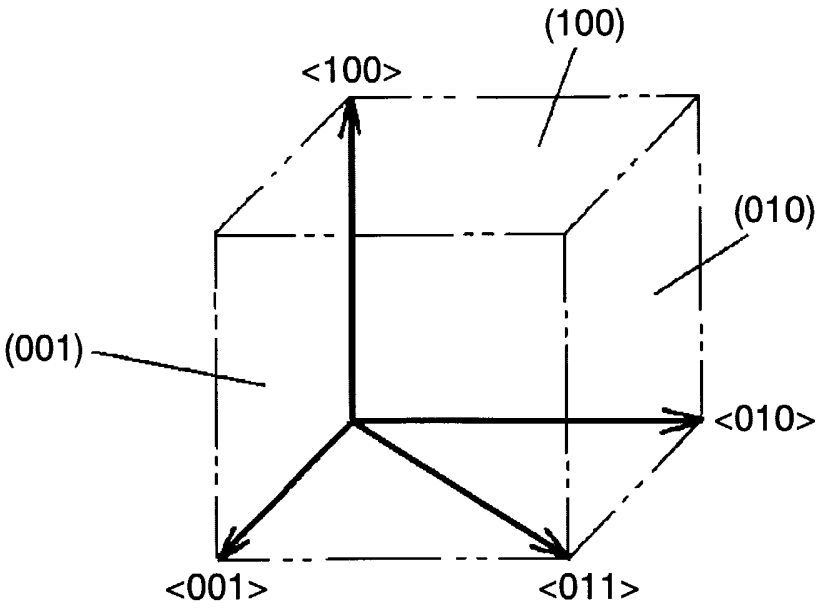

(100)
<100>
(010)
(001)
<010>
<001>
<011>

FIG. 5

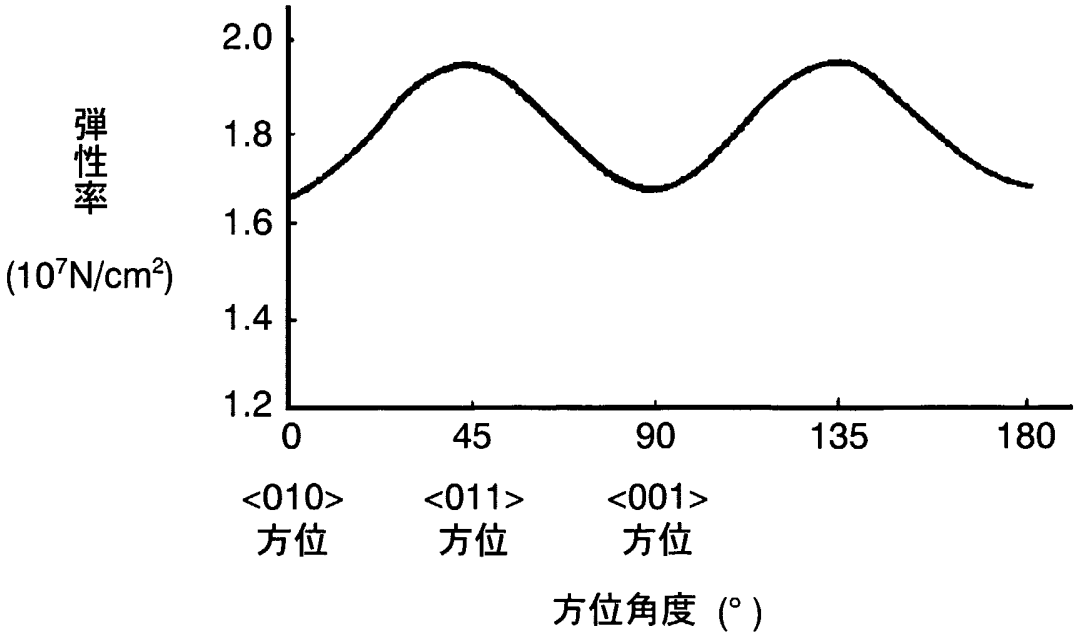

弾性率
(10⁷N/cm²)
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
0
45
90
135
180
<010> 方位
<011> 方位
<001> 方位
方位角度 (°)

FIG. 6A

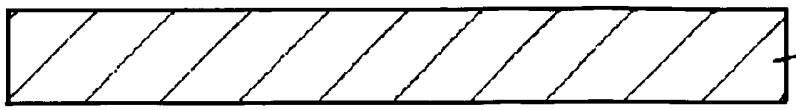


FIG. 6B

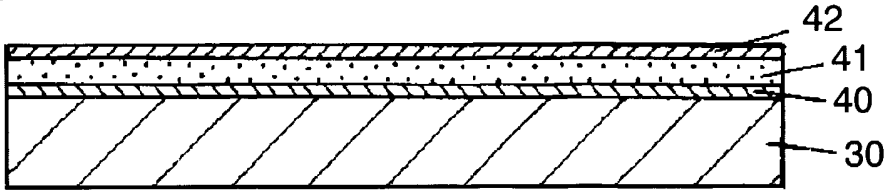


FIG. 6C

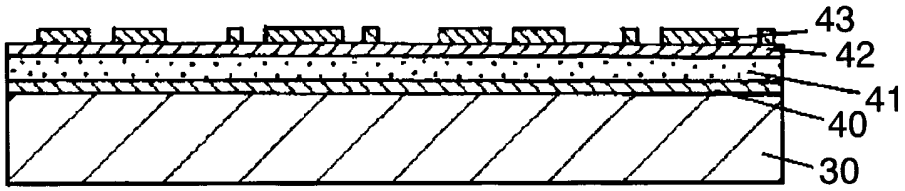


FIG. 6D

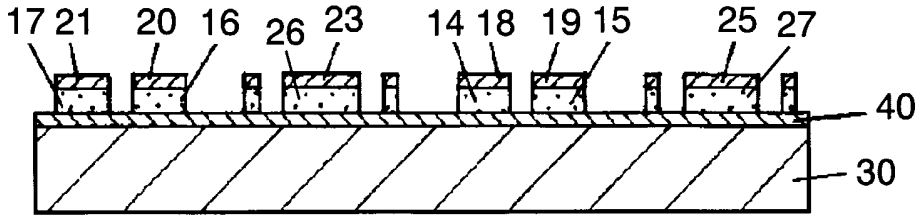


FIG. 6E

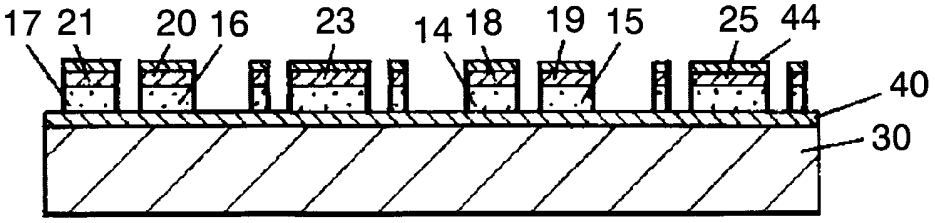


FIG. 6F

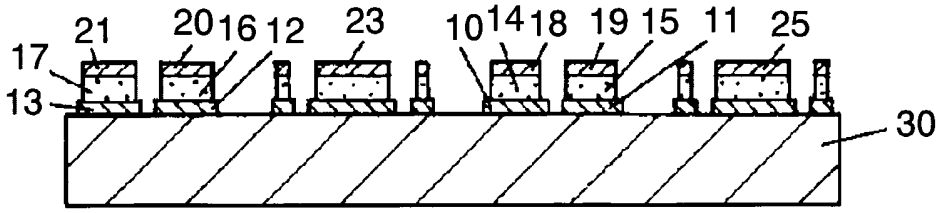


FIG. 6G

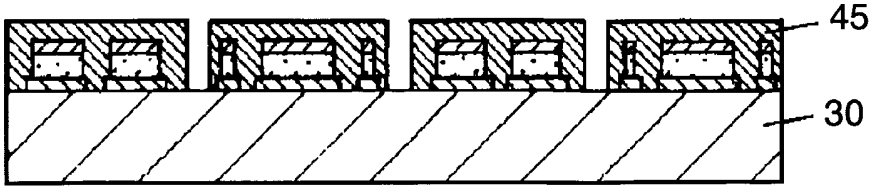


FIG. 6H

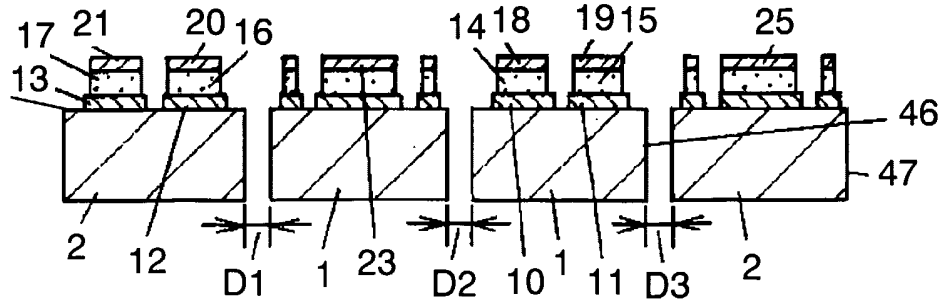


FIG. 7

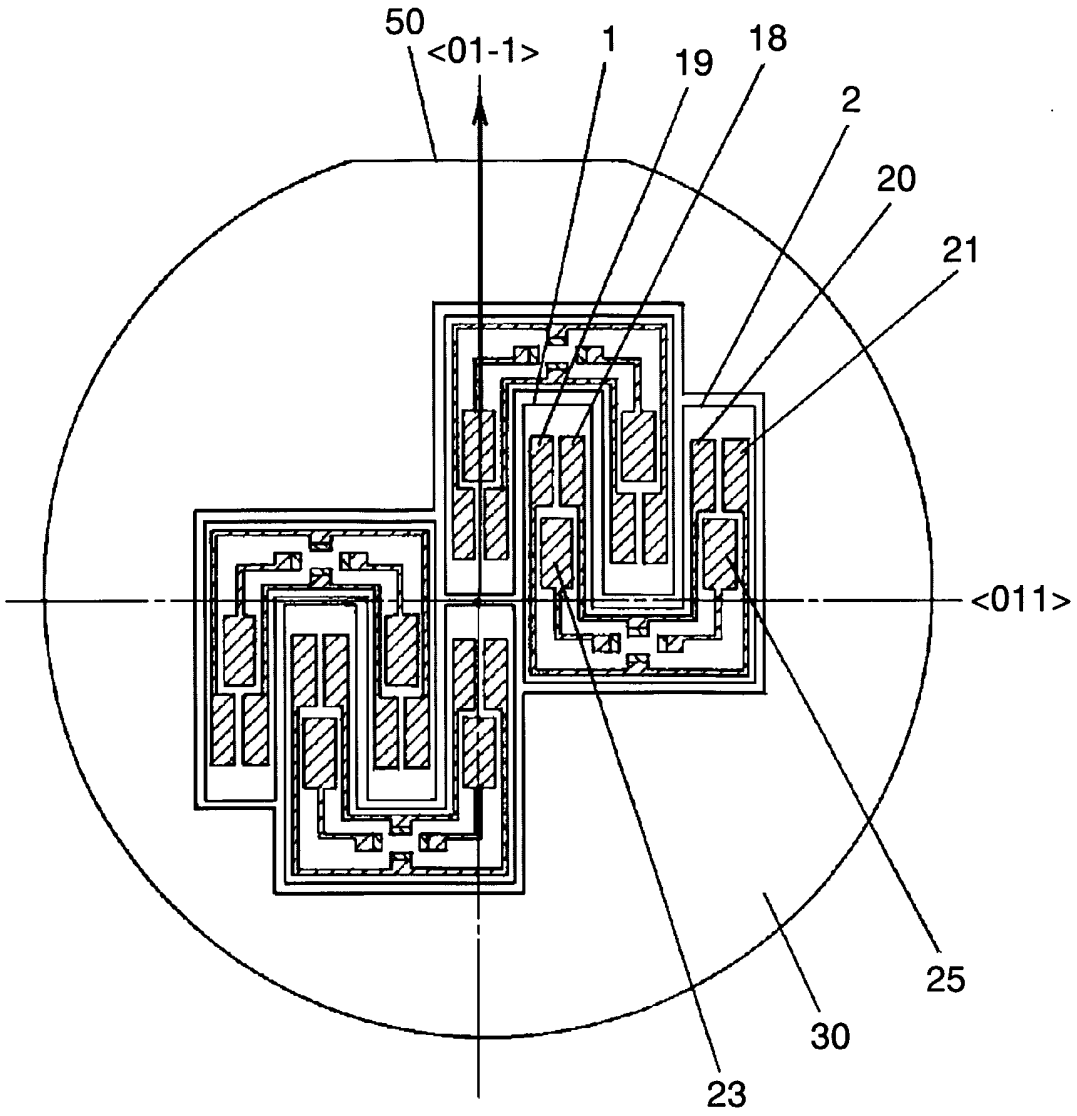
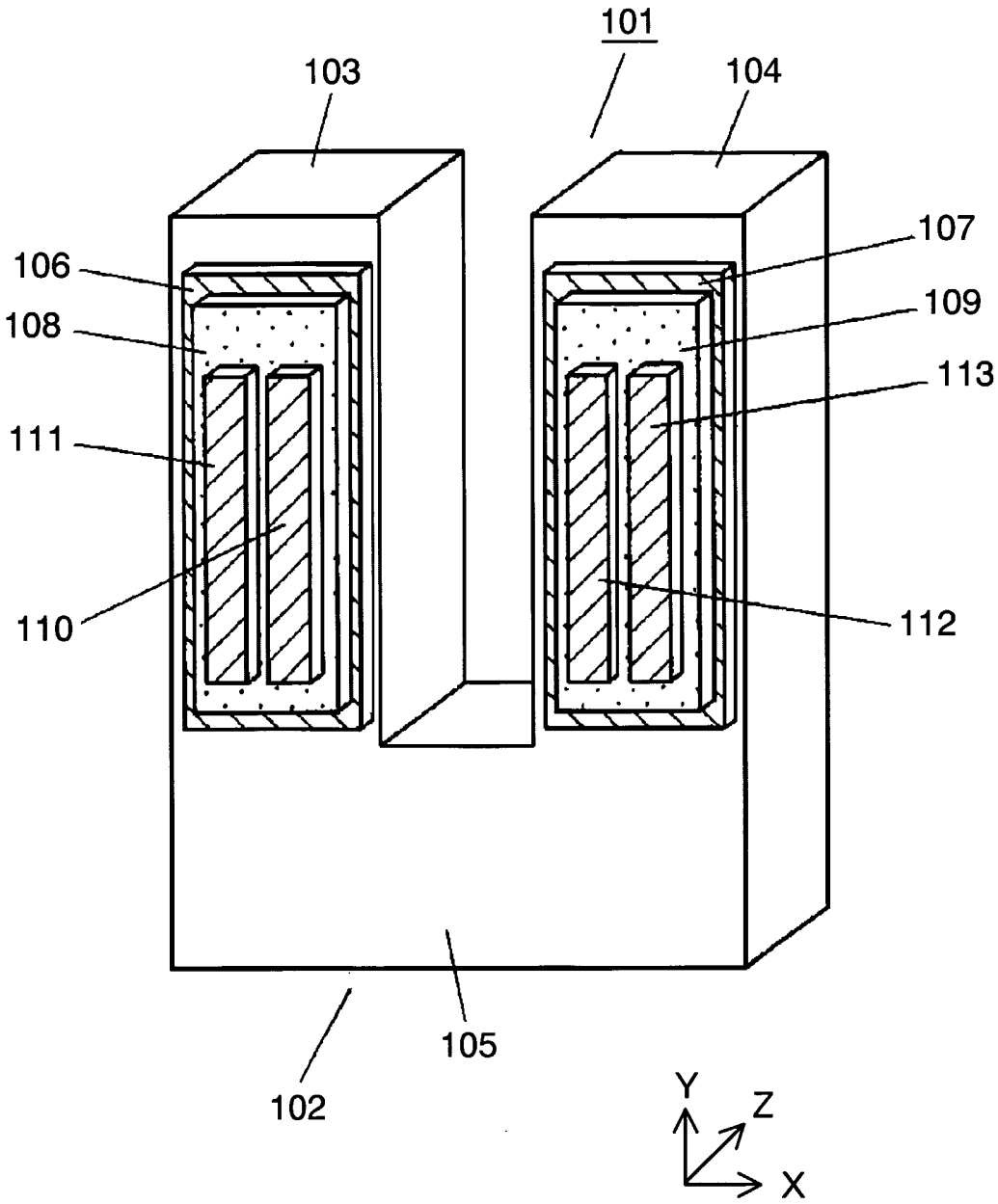


FIG. 8



図面の参照符号の一覧表

１、２　　アーム
３　　基部
４　　音叉
５　　主面
６、７、４６、４７　　側面
８、９　　中心線
１０、１２　　第１の電極
１１、１３　　第２の電極
１４、１６　　第１の圧電薄膜
１５、１７　　第２の圧電薄膜
１８、２０　　第３の電極
１９、２１　　第４の電極
２２、２４　　第５の電極
２３、２５　　第６の電極
２６、２７　　第３の圧電薄膜
３０　　シリコン基板
３１、５０　　オリフラ
４０　　下部電極膜
４１　　圧電薄膜
４２　　上部電極膜
４３、４４、４５　　レジスト
５０　　角速度センサ

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/07115

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl[7] G01C19/56, G01P9/04

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)
Int.Cl[7] G01C19/56, C01P9/04, G01P15/00-15/18, H01L29/84, H03H9/00-9/76

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	1996-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003

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.
A	K. MAENAKA, "Analysis of a highly sensitive silicon gyroscope with cantilever beam as vibrating mass", Sensors and Actuators A54, 1996, pages 568 to 573, Fig. 10	1-15
A	JP 8-327364 A (Nikon Corp.), 13 December, 1996 (13.12.96), Par. Nos. [0012], [0016] (Family: none)	1-15
A	Hong Chen, "A Piezoresistive Accelerometer with a Novel Vertical Beam Structure", Transducers '97, 1997, pages 1201 to 1204, Fig. 2	1-15

[X] 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 document 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 27 June, 2003 (27.06.03)	Date of mailing of the international search report 08 July, 2003 (08.07.03)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP03/07115

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 10-339637 A (Nippon Soken, Inc.), 22 December, 1998 (22.12.98), Fig. 5 & US 6018996 A	2-15
A	JP 9-105634 A (Nippon Soken, Inc.), 22 April, 1997 (22.04.97), Claim 5 (Family: none)	2-15
A	JP 10-19574 A (Nikon Corp.), 23 January, 1998 (23.01.98), Par. No. [0022]; Fig. 6 (Family: none)	12-14
A	JP 2001-148522 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 29 May, 2001 (29.05.01), Full text; all drawings (Family: none)	12-14

国際調査報告

国際出願番号　PCT／JP03／07115

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int. Cl[7]　G01C19／56, G01P9／04

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[7]　G01C19／56, G01P9／04, G01P15／00－15／18, H01L29／84, H03H9／00－9／76

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　1971－2003年
日本国実用新案登録公報　1996－2003年
日本国登録実用新案公報　1994－2003年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
A	K. Maenaka, 'Analysis of a highly sensitive silicon gyroscope with cantilever beam as vibrating mass', Sensors and Actuators A54, 1996, P. 568-P. 573, Fig. 10	1－15
A	JP　8－327364　A（株式会社ニコン）1996. 12. 13, [0012]段落, [0016]段落（ファミリーなし）	1－15
A	Hong Chen, 'A Piezoresistive Accelerometer with a Novel Vertical Beam Structure', Transducers'97, 1997, P. 1201-P. 1204, Fig. 2	1－15

☒ 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	国際調査報告の発送日
27. 06. 03	08.07.03

国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官（権限のある職員）	
日本国特許庁（ISA／JP） 郵便番号100－8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	有家　秀郎	2S　9402
	電話番号　03－3581－1101　内線　3216	

様式PCT／ISA／210（第2ページ）（1998年7月）

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ０３／０７１１５

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
Ａ	ＪＰ　１０－３３９６３７　Ａ（株式会社日本自動車部品総合研究所）1998.12.22，第５図　＆ＵＳ　６０１８９９６　Ａ	２－１５
Ａ	ＪＰ　９－１０５６３４　Ａ（株式会社日本自動車部品総合研究所）1997.04.22，請求項５（ファミリーなし）	２－１５
Ａ	ＪＰ　１０－１９５７４　Ａ（株式会社ニコン）1998.01.23，[0022]段落，第６図（ファミリーなし）	１２－１４
Ａ	ＪＰ　２００１－１４８５２２　Ａ（松下電器産業株式会社）2001.05.29，全文，全図（ファミリーなし）	１２－１４