

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-71758
(P2010-71758A)

(43) 公開日 平成22年4月2日(2010.4.2)

| | | |
|-----------------------|-----------------|-------------|
| (51) Int. Cl. | F I | テーマコード (参考) |
| GO1C 19/56 (2006.01) | GO1C 19/56 | 2F105 |
| GO1P 9/04 (2006.01) | GO1P 9/04 | |
| HO1L 41/08 (2006.01) | HO1L 41/08 Z | |
| HO1L 41/187 (2006.01) | HO1L 41/18 1O1D | |
| HO1L 41/18 (2006.01) | HO1L 41/18 1O1Z | |

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2008-238344 (P2008-238344)
(22) 出願日 平成20年9月17日 (2008.9.17)

(71) 出願人 000002185
ソニー株式会社
東京都港区港南1丁目7番1号
(74) 代理人 100104215
弁理士 大森 純一
(74) 代理人 100117330
弁理士 折居 章
(72) 発明者 稲熊 輝往
東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内
Fターム(参考) 2F105 AA02 AA08 BB03 BB04 BB13
CC01 CD02 CD06 CD13

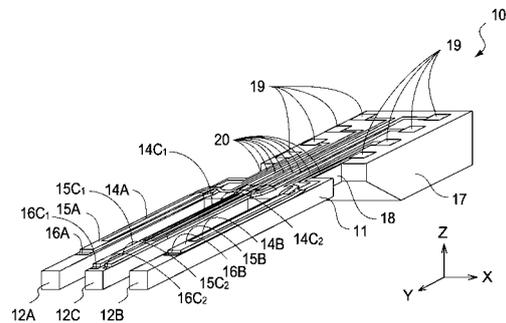
(54) 【発明の名称】 角速度センサ素子、角速度センサ及び電子機器

(57) 【要約】

【課題】 安定した感度特性と低い電源電圧抑圧比を持つ角速度センサを提供すること。

【解決手段】 本発明に係る角速度センサ素子10は、駆動用の2本の外側アーム12A及び12Bと、当該2本のアームの中央に配置された、検出用の一本の中央アーム12Cを有する。各々のアーム12には、下部電極層16、圧電層15、上部電極層14が積層されてなる圧電機能体13が設けられている。外側アーム12A及び12Bに設けられる圧電機能体13A及び13Bは、駆動用であり、中央アーム12Cに設けられる圧電機能体13Cは検出用である。圧電機能層13Cは、離間して配置された圧電機能層13C₁、13C₂によって構成される。駆動、検出に係るアーム12が別々であり、検出用の圧電機能層13C₁、13C₂が離間していることにより、駆動、検出電極間でのリーク電圧を抑制し、Null電圧、電源電圧変動抑圧比を低減することが可能である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 の位相で振動する振動子部と、前記第 1 の位相と逆の第 2 の位相で振動する振動子部とを含む 3 本の振動子部を有する本体と、

前記第 1 の位相で振動する振動子部上に形成され、前記第 1 の位相で振動する振動子部の振動を検出するための第 1 の検出用圧電膜と、

前記第 1 の位相で振動する振動子部上に形成され、かつ、前記第 1 の検出用圧電膜と分離された、前記第 1 の振動子部の振動を検出するための第 2 の検出用圧電膜と、

前記第 2 の位相で振動する振動子部上に形成され、かつ、前記第 1 及び第 2 の検出用圧電膜と分離された、第 2 の振動子部を振動させるための駆動用圧電膜と

を具備する角速度センサ素子。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の角速度センサ素子であって、

前記 3 本の振動子部は、前記第 2 の位相で振動する第 1 及び第 2 の振動子部と、前記第 1 及び第 2 の振動子部の間に位置し、前記第 1 の位相で振動する第 3 の振動子部とからなる

角速度センサ素子。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の角速度センサ素子であって、

前記第 1 の検出用圧電膜を挟んで対向する第 1 の上部電極層と第 1 の下部電極層とを有する第 1 の電極と、

前記第 1 の電極と分離して配置され、前記第 2 の検出用圧電膜を挟んで対向する第 2 の上部電極層と第 2 の下部電極層とを有する第 2 の電極と

をさらに具備する角速度センサ素子。

20

【請求項 4】

請求項 1 に記載の角速度センサ素子であって、

前記本体は、

第 1 の方向に幅方向、及び、前記第 1 の方向と直交する第 2 の方向に厚み方向を有し、実装基板に固定される固定部と、

前記 3 本の振動子部を連結する連結部と、

前記固定部と前記連結部との間に接続され、前記固定部の厚みより小さい厚みと前記固定部の幅より小さい幅を有する支持部とを有する

角速度センサ素子。

30

【請求項 5】

請求項 1 に記載の角速度センサ素子であって、

前記 3 本の振動子部は、前記第 1 の位相で振動する第 1 及び第 2 の振動子部と、前記第 1 及び第 2 の振動子部の間に位置し、前記第 2 の位相で振動する第 3 の振動子部である

角速度センサ素子。

【請求項 6】

第 1 の位相で振動する振動子部と、前記第 1 の位相と逆の第 2 の位相で振動する振動子部とを含む 3 本の振動子部を有する本体と、前記第 1 の位相で振動する振動子部上に形成され、前記第 1 の位相で振動する振動子部の振動を検出するための第 1 の検出用圧電膜と、前記第 1 の位相で振動する振動子部上に形成され、かつ、前記第 1 の検出用圧電膜と分離された、前記第 1 の振動子部の振動を検出するための第 2 の検出用圧電膜と、前記第 2 の位相で振動する振動子部上に形成され、かつ、前記第 1 及び第 2 の検出用圧電膜と分離された、第 2 の振動子部を振動させるための駆動用圧電膜とを有する角速度センサ素子と、

40

前記角速度センサ素子の実装される回路基板とを具備する角速度センサ。

【請求項 7】

50

第1の位相で振動する振動子部と、前記第1の位相と逆の第2の位相で振動する振動子部とを含む3本の振動子部を有する本体と、前記第1の位相で振動する振動子部上に形成され、前記第1の位相で振動する振動子部の振動を検出するための第1の検出用圧電膜と、前記第1の位相で振動する振動子部上に形成され、かつ、前記第1の検出用圧電膜と分離された、前記第1の振動子部の振動を検出するための第2の検出用圧電膜と、前記第2の位相で振動する振動子部上に形成され、かつ、前記第1及び第2の検出用圧電膜と分離された、第2の振動子部を振動させるための駆動用圧電膜とを有する角速度センサ素子と

前記角速度センサ素子が実装される回路基板と
を具備する角速度センサを搭載した電子機器。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えば、ビデオカメラの手振れ検知やパーチャルリアリティ装置における動作検知、カーナビゲーションシステムにおける方向検知などに用いられる角速度センサ素子及び角速度センサに関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、民生用の角速度センサとしては、振動子を所定の共振周波数で振動させておき、角速度の影響によって生じるコリオリ力を圧電素子などで検出することによって角速度を検出する、いわゆる振動型のジャイロセンサが広く用いられている。振動型ジャイロセンサは、単純な機構、短い起動時間、安価に製造可能といった利点を有しており、例えば、ビデオカメラ、パーチャルリアリティ装置、カーナビゲーションシステムなどの電子機器に搭載され、それぞれ手振れ検知、動作検知、方向検知などをする際のセンサとして活用されている。

20

【0003】

振動型ジャイロセンサは、搭載される電子機器の小型化、高性能化に伴い、小型化、高性能化が要求されている。例えば、電子機器の多機能化のため、他の用途に用いられる各種センサと組み合わせると同一集合基板上に搭載し、小型化を図るといった要請がある。この小型化を行う上で、シリコン(Si)などの単結晶基板と、半導体製造分野で用いられている薄膜形成プロセスと、フォトリソグラフィ技術とを用いて構造体を形成する、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)と呼ばれる加工技術を用いることが一般的となってきた。

30

【0004】

下記特許文献1には、振動子を構成する単一のアーム部の一表面に、圧電膜を介して励振用の駆動電極と角速度検出用の検出電極がそれぞれ形成された片持ち梁型の角速度センサが開示されている。この角速度センサは、圧電膜の形成面に垂直な方向にアーム部を励振させ、圧電膜の形成面と平行な方向の振動成分を角速度の検出方向としたものである。

【0005】

また、下記特許文献2には、振動子を構成する2本のアーム部の各々の一表面に、圧電膜を介して励振用の駆動電極と角速度検出用の検出電極がそれぞれ形成された音叉型の角速度センサが開示されている。この角速度センサは、圧電膜の形成面に水平な方向にアーム部を励振させ、圧電膜の形成面と垂直な方向への振動を角速度検出方向としている。

40

【0006】

【特許文献1】特開2005-241382号公報

【特許文献2】特開2006-17569号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献1に記載の角速度センサは、駆動電極と検出電極が1つの連続

50

する圧電膜上に形成されている。駆動電極は外部から電圧を印加されて圧電膜を振動させ、検出電極は圧電膜の振動を受けて電圧を得る。すなわち、単一の圧電膜において、圧電効果と逆圧電効果が同時に発生する。このため、両者が干渉し、角速度の検出精度に影響を与えるおそれがある。また、駆動電極に印加された電圧が検出電極に流入するリーク電圧が発生する可能性もある。特に、左右の検出電極へのリーク電圧が不均一である場合、電源電圧変動抑圧比 (PSRR: Power Supply Rejection Ratio) が悪化する。なお、電源電圧変動抑圧比は、電源電圧が変動した時の検出感度が変化する割合をいい、値が低いほど外乱の影響を受け難い。

【0008】

また、特許文献2に記載の角速度センサは、各アームが圧電膜の形成面に平行な方向で励振されるように形成されている。このため圧電膜による振動の剛心が振動子の重心からずれた位置となり、外乱信号の重畳により駆動周波数にずれが生じると、共振状態の振動子の振動面がずれ易くなる。この結果、角速度が生じていない状態で検出出力が変動することになり、ノイズが増加するおそれがある。

【0009】

本発明は上述の問題に鑑みてなされ、安定した感度特性と低い電源電圧変動抑圧比を持つ角速度センサを提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一形態に係る角速度センサ素子は、本体と、第1の検出用圧電膜と、第2の検出用圧電膜と、駆動用圧電膜とを具備する。

前記本体は、第1の位相で振動する振動子部と、前記第1の位相と逆の第2の位相で振動する振動子部とを含む3本の振動子部を有する。

前記第1の検出用圧電膜は、前記第1の位相で振動する振動子部上に形成され、第1の位相で振動する振動子部の振動を検出する。

前記第2の検出用圧電膜は、前記第1の位相で振動する振動子部上に形成され、かつ、前記第1の検出用圧電機能層と分離された、第1の振動子部の振動を検出する。

前記駆動用圧電膜は、前記第2の位相で振動する振動子部上に形成され、かつ、前記第1及び第2の検出用圧電膜と分離され、第2の振動子部を振動させる。

【0011】

第1及び第2の検出用圧電膜は、互いに、及び駆動用圧電膜と分離されて配置されているため、圧電効果と逆圧電効果が同時に発生することがなく、両者が干渉することはない。また、駆動電極と検出電極との間のリーク電圧が発生せず、電源電圧変動抑圧比を低下させることが可能である。

【0012】

前記3本の振動子部は、以下のように構成される、第1及び第2の振動子部と、第3の振動子部であってもよい。

前記第1及び第2の振動子部は、前記第2の位相で振動する。

前記第3の振動子部は、前記第1及び第2の振動子部の間に位置し、前記第1の位相で振動する。

【0013】

第1及び第2の検出用圧電膜が形成される第3の振動子部が、駆動用圧電膜が形成される第1及び第2の振動子部の間に配置されることにより、当該角速度センサ素子に角速度が与えられた際に、第1及び第2の検出用圧電膜により第3の振動子部に発生するコリオリ力を検出することが可能である。

【0014】

前記角速度センサ素子は、以下のように構成される、第1の電極と、第2の電極とをさらに具備してもよい。

前記第1の電極は、前記第1の検出用圧電膜を挟んで対向する第1の上部電極層と第1の下部電極層とを有する。

10

20

30

40

50

前記第 2 の電極は、前記第 1 の電極と分離して配置され、前記第 2 の検出用圧電膜を挟んで対向する第 2 の上部電極層と第 2 の下部電極層とを有する。

【0015】

第 1 の電極と、第 2 の電極が相互に分離されていることにより、第 1 の電極と、第 2 の電極間のリーク電流の発生を抑制することが可能である。

【0016】

前記角速度センサ素子は、以下のように構成される、固定部と、連結部と、支持部とを有していてもよい。

前記固定部は、第 1 の方向に幅方向、及び、前記第 1 の方向と直交する第 2 の方向に厚み方向を有し、実装基板に固定される。

前記連結部は、前記 3 本の振動子部を連結する。

前記支持部は、前記固定部と前記連結部との間に接続され、前記固定部の厚みより小さい厚みと前記固定部の幅より小さい幅を有する。

【0017】

上記角速度センサ素子は、固定部と振動子部との間に固定部よりも幅の小さい支持部を有することで、振動子の振動が固定部や実装基板に漏出することを抑制できる。これにより、振動の漏出による振動子部の振動の変動を防止することが可能となる。

【0018】

前記 3 本の振動子部は、第 1 及び第 2 の振動子部と、第 3 の振動子部であってもよい。

前記第 1 及び第 2 の振動子部は、前記第 1 の位相で振動する。

前記第 3 の振動子は、前記第 1 及び第 2 の振動子の間に位置し、前記第 2 の位相で振動する。

【0019】

本発明の一形態に係る角速度センサは、角速度センサ素子と、回路基板とを具備する。

前記角速度センサ素子は、第 1 の位相で振動する振動子部と、前記第 1 の位相と逆の第 2 の位相で振動する振動子部とを含む 3 本の振動子部を有する本体と、前記第 1 の位相で振動する振動子部上に形成され、前記第 1 の位相で振動する振動子部の振動を検出するための第 1 の検出用圧電膜と、前記第 1 の位相で振動する振動子部上に形成され、かつ、前記第 1 の検出用圧電膜と分離された、前記第 1 の振動子部の振動を検出するための第 2 の検出用圧電膜と、前記第 2 の位相で振動する振動子部上に形成され、かつ、前記第 1 及び第 2 の検出用圧電膜と分離された、第 2 の振動子部を振動させるための駆動用圧電膜とを有する。

前記回路基板は、前記角速度センサ素子が実装される。

【0020】

本発明の一形態に係る電子機器は、角速度センサ素子と、回路基板とを具備する角速度センサを搭載する。

前記角速度センサ素子は、第 1 の位相で振動する振動子部と、前記第 1 の位相と逆の第 2 の位相で振動する振動子部とを含む 3 本の振動子部を有する本体と、前記第 1 の位相で振動する振動子部上に形成され、前記第 1 の位相で振動する振動子部の振動を検出するための第 1 の検出用圧電膜と、前記第 1 の位相で振動する振動子部上に形成され、かつ、前記第 1 の検出用圧電膜と分離された、前記第 1 の振動子部の振動を検出するための第 2 の検出用圧電膜と、前記第 2 の位相で振動する振動子部上に形成され、かつ、前記第 1 及び第 2 の検出用圧電膜と分離された、第 2 の振動子部を振動させるための駆動用圧電膜とを有する。

前記回路基板は、前記角速度センサ素子が実装される。

【発明の効果】

【0021】

以上のように、本発明によれば、安定した感度特性と低い電源電圧変動抑圧比を持つ角速度センサを提供することが可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

10

20

30

40

50

【0022】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づき説明する。

【0023】

図1は、角速度センサ素子10を示す斜視図である。

図2は、角速度センサ素子10の階層構造を示す斜視図である。

図3は、角速度センサ素子10を示す平面図である。

本実施形態に係る角速度センサ素子10は、連結部11と、連結部11から同一方向へ延出された断面四角形状の3本のアーム12(12A、12B、12C)とを備える。3本のアーム12は横並びに(平面的に)配列している。3本のアーム12が配列する方向をX軸方向とし、3本のアーム12が延出される方向をY軸方向とする。X軸方向及びY軸方向に直交する方向をZ軸方向とする。以下の図においても同様とする。

10

【0024】

これら連結部11及びアーム12は、シリコンウェハ等の圧電特性を有さない単結晶基板から所定形状に切りだされ、一表面に、後述する駆動部あるいは検出部、各種リード配線部が形成されることによって、角速度センサ素子10を構成する。なお、この角速度センサ素子10の概ねの大きさは、X軸方向0.5mm、Y軸方向3mm、Z軸方向0.3mmである。各アーム12の長さ(Y軸方向)は1.8~1.9mm、幅(X軸方向)は0.1mmである。

【0025】

アーム12A~12Cは、角速度センサ素子10の振動子を構成する。本実施形態に係る角速度センサ素子10において、各アーム12A~12Cは、例えば、それぞれ同一のアーム長、幅、厚さに形成されているが、これに限られない。アーム12A~12Cのうち、外側に位置するものを、外側アーム12A及び12Bとし、中央に位置するものを中央アーム12Cとする。以下、各アーム12(12A、12B、12C)に設けられる構造に、対応する符号(A、B、C)を付する。

20

【0026】

角速度センサ素子10は、角速度センサ素子10を図示しない実装基板に固定するための固定部17と、固定部17と連結部11との間を支持する支持部18を有する。

【0027】

支持部18は、連結部11及び固定部17より小さい幅(X軸方向)に形成される。支持部18の幅を調節することによりアーム12から固定部へ伝わる振動を減衰させ、アーム12の振動が固定部17及び固定部17と固定された実装基板へ漏出することを防止することが可能である。

30

【0028】

固定部17は、角速度センサ素子10を実装基板に物理的に固定し、電氣的に接続することが可能に構成される。

図2及び図3に示すように、角速度センサ素子10の連結部11には、外部接続端子19が形成され、各上部電極層(14A、14B、14C₁、14C₂)、各下部電極層(16A、16B、16C₁、16C₂)がそれぞれ、配線20を介して外部接続端子19と接続されている。

40

本実施形態に係る角速度センサ素子10は、後述する制御回路30を備えた図示しない実装基板(回路基板)にフリップチップ実装により実装される。角速度センサ素子10と上記実装基板との間は、角速度センサ素子10の外部接続端子19と上記実装基板上の電極パターン(ランド)と、これらの間に形成されたバンプ(金バンプ)を介して電氣的、機械的に接続される。実装方法はこれに限られず、配線あるいは外部接続端子の構成も図示するものに限られない。また、実装前に、角速度センサ素子10の圧電機能体13及び配線20上に、図示しない保護膜が形成される。

【0029】

角速度センサ素子10と上記実装基板とにより角速度センサが構成され、例えばセンサモジュールとしてパッケージ化される。更に、この角速度センサ素子は、上記実装基板を

50

介して、電子機器の制御回路（図示せず）に接続される。当該電子機器としては、例えばデジタルカメラ、携帯型情報端末、携帯型ゲーム機、ハンドヘルド型表示装置などが該当する。

【0030】

図4は、アーム12A～12Cの、X-Z平面の断面図である。

図4は、図3における一点鎖線[4] [4]で示す箇所の断面図である。

外側アーム12A、12Bの一表面には、圧電機能体13A、13Bがそれぞれ形成されている。圧電機能体13A、13Bは、外側アーム12A、12B上に形成された下部電極層16A、16Bと、この下部電極層16A、16Bの上に形成された圧電層15A、15Bと、この圧電層15A、15Bの上に形成された上部電極層14A、14Bによって構成されている。

10

【0031】

一方、中央アーム12Cの一表面には、2つの圧電機能体13C（13C₁、13C₂）が形成されている。圧電機能体13C（13C₁、13C₂）は、中央アーム12C上に形成された下部電極層16C（16C₁、16C₂）と、この下部電極層16Cの上に形成された圧電層15C（15C₁、15C₂）と、この圧電層15Cの上に形成された上部電極層14C（14C₁、14C₂）によって構成されている。圧電機能体13C₁、13C₂は、中央アーム12Cの一表面のY軸方向における中心線に対して対称な位置にそれぞれ形成されている。

【0032】

下部電極層16C₁、圧電層15C₁、上部電極層14C₁が積層されて形成される圧電機能層13C₁と、下部電極層16C₂、圧電層15C₂、上部電極層14C₂が積層されて形成される圧電機能層13C₂とは、離間するように配置されている。

20

【0033】

下部電極層16A～16Cは、Si基板にスパッタ法で形成したTi（チタン）とPt（白金）の積層膜からなり、各アーム12A～12C上に形成されている。圧電層15A～15Cは、例えばPZT（チタン酸ジルコン酸鉛）のターゲットを酸素雰囲気中でRFスパッタすることで形成される。上部電極層14A～14Cは、圧電層15A～15C上に、例えばPtをスパッタすることで成膜される。さらに、フォトリソグラフィ技術を用いて各電極形状にパターニングし、エッチングやリフトオフをすることによって各種パターンが形成される。

30

【0034】

PZTの組成は、 $Pb_{1-x} (Zr_y Ti_{1-y}) O_{3+x}$ で表すことができる。具体的なPZTの組成は、例えば、Xを0以上0.3以下、Yを0以上0.55以下とすることができる。この場合のPZTの膜厚は、例えば、400nm以上1000nm以下とすることができる。

【0035】

図5は、角速度センサ素子10と制御回路との電気的接続を示す模式図である。

同図に示すように、角速度センサ素子10は、IC回路素子等によって構成される制御部30と接続される。この制御部30は例えば、上述の実装基板上に設けられる。

40

制御部30は、演算回路31、自励発振回路32、検波回路33、平滑回路34から構成され、G0端子、Ga端子、Gb端子、Vref端子を有する。各回路の接続及び機能は後述する。

【0036】

角速度センサ素子10の下部電極層16A～16Cは、制御部30のVref端子にそれぞれ接続され、各圧電機能体15の基準電極として機能する。

【0037】

上部電極層14A、14Bは、制御部30のG0端子にそれぞれ接続される。上部電極層14A及び14Bには、制御部30によって生成された駆動信号が入力される。すなわち、上部電極層14A及び14Bは、アーム12A及び12Bを励振する駆動電極として

50

機能する。

【 0 0 3 8 】

上部電極層 1 4 C₁ は、制御部 3 0 の G a 端子に接続され、上部電極層 1 4 C₂ は、制御部 3 0 の G b 端子に接続される。上部電極層 1 4 C₁ 及び 1 4 C₂ からの検出信号が、制御部 3 0 に入力され、角速度が検出される。すなわち、上部電極層 1 4 C₁ 及び 1 4 C₂ は、アーム 1 2 C の振動を検出する検出電極として機能する。

【 0 0 3 9 】

以上のように構成された角速度センサ素子 1 0 の動作を説明する。

【 0 0 4 0 】

図 6 は、角速度センサ素子 1 0 の、角速度検出の原理を示す図である。

10

図 6 (A) は、角速度センサ素子 1 0 に角速度が印加されていない状態を示す。

制御部 3 0 の自励発振回路 3 2 から、駆動電極である上部電極層 1 4 A 及び 1 4 B に同位相の駆動信号が入力される。これにより圧電層 1 5 A 及び 1 5 B に電圧が印加され、その圧電効果により外側アーム 1 2 A 及び 1 2 B が励振され、同位相で振動する。外側アーム 1 2 A 及び 1 2 B が振動する（励振される）方向は、圧電層 1 5 A 及び 1 5 B の形成面に対して垂直な方向（Z 軸方向）である。

【 0 0 4 1 】

外側アーム 1 2 A 及び 1 2 B が振動すると、中央アーム 1 2 C は、その振動の反作用を受けて外側アーム 1 2 A 及び 1 2 B と逆位相で振動する。図 6 (A) に、外側アーム 1 2 A 及び 1 2 B、中央アーム 1 2 C の振動方向を白矢印で示す。

20

【 0 0 4 2 】

この際、各アーム 1 2 はその一端が連結部 1 1 に固定されているため、各アーム 1 2 には、（振動をしていない）初期の位置からの変位に応じて（Z 軸方向の）歪みが発生する。

この歪みにより、中央アーム 1 2 C の圧電層 1 5 C₁ 及び 1 5 C₂ に圧電効果が発生する。

中央アーム 1 2 C は Z 軸方向のみに歪むため、圧電層 1 5 C₁ と圧電層 1 5 C₂ に発生する圧電効果は原理的に同程度となる。

【 0 0 4 3 】

この圧電効果により、上部電極層 1 4 C₁ に圧電層 1 5 C₁ により発生した電流（以下、検出信号 G a ）が流れ、上部電極層 1 4 C₂ に圧電層 1 5 C₂ により発生した電流（以下、検出信号 G b ）が流れる。

30

検出信号 G a 及び G b は、演算回路 3 1 において加算および減算され、和信号 G a + G b 及び差分信号 G a - G b が生成される。和信号 G a + G b は、自励発振回路 3 2 にフィードバックされ、差分信号 G a - G b は検波回路 3 3 を経て平滑回路 3 4 に出力されて角速度信号として処理される。角速度センサ素子 1 0 に角速度が印加されていない場合、角速度信号は（原理的に）0 となる。

【 0 0 4 4 】

図 6 (B) は、角速度センサ素子 1 0 に角速度が印加されている状態を示す。

図 6 (A) に示す、各アーム 1 2 が振動している状態において、角速度センサ素子 1 0 に Y 軸周りの角速度が印加されると、各アーム 1 2 にコリオリ力が発生する。コリオリ力は、物体の移動方向に垂直な方向に発生するため、図 6 (A) に示す状態において、Z 軸方向である振動方向に対して垂直な方向（主として X 軸方向）に発生する。すなわち、各アーム 1 2 は、励振による Z 軸方向成分（白矢印）とコリオリ力による X 軸方向成分（黒矢印）の合成成分の力を受けて、Z 軸方向を長径とする楕円軌道をとって運動する。

40

【 0 0 4 5 】

この際、各アーム 1 2 はその一端が連結部 1 1 に固定されているため、各アーム 1 2 には、（振動をしていない）初期の位置からの変位に応じて歪みが発生する。この歪みにより圧電層 1 5 C₁ 及び 1 5 C₂ に圧電効果が発生する。中央アーム 1 2 C は Z 軸方向に加え、X 軸方向にも歪むため、圧電層 1 5 C₁ と圧電層 1 5 C₂ に発生する圧電効果は、一

50

方が圧縮作用、他方が伸長作用を受けることで、相違する。したがって、上部電極 14C₁ (検出信号 G a)、14C₂ (検出信号 G b)にはそれぞれ異なる電圧が発生する。

【0046】

この圧電効果により、検出信号 G a 及び G b が得られ、制御部 30 に入力される。

演算回路 31 において差分信号 G a - G b が算出されると、(15C₁ 及び 15C₂ の Z 軸方向の圧電効果は同程度であるため) Z 軸方向の信号が除去され、コリオリ力に起因する主として X 軸方向の成分が抽出される。以上により、角速度信号が得られる。

【0047】

本実施形態に係る角速度センサ素子 10 においては、外側アーム 12A 及び 12B に駆動電極 (上部電極層 14A、14B) が形成され、中央アーム 12C に検出電極 (上部電極層 14C₁、14C₂) が形成される。すなわち、外側アーム 12A 及び 12B 上の圧電層 15A 及び 15B は駆動を担当し、中央アーム 12C 上の圧電層 15C₁ 及び 15C₂ は検出を担当する。上述のように、駆動を担当する圧電層においては圧電効果が、検出を担当する圧電層においては逆圧電効果が発生するが、圧電層が分離していることによつて両者の干渉は発生しない。

10

【0048】

同一のアーム上に駆動電極と検出電極が存在する場合、両者は近接するため、駆動電極に印加した電圧が検出電極に漏出し、リーク電圧となる。特に、2つの検出電極へのリーク電圧に差異がある場合、Null 電圧 (角速度が印加されていない状態において、2つの検出電極が検出する電圧の差の絶対値) が上昇し、電源電圧変動抑圧比も上昇するおそれがある。逆に、Null 電圧が低いと、検出信号 G a 及び G b のバラツキが減少する。また、PSRR が低いと、電源電圧が変動しても、検出信号 G a 及び G b のバラツキが減少する。

20

【0049】

図 11 は、2つの検出電極間のリーク電圧差と、Null 電圧の関係をプロットしたグラフである。同図に示すように、2つの検出電極間のリーク電圧差と、Null 電圧間には相関関係が認められる。

【0050】

図 12 は、本実施形態に係る角速度センサ素子 10 (サンプル 1) と、比較例 1 に係る角速度センサ素子 40 (サンプル 2: 下記、比較例参照) 及び比較例 2 に係る角速度センサ素子 50 (サンプル 3: 下記、比較例参照) について、2つの検出電極間のリーク電圧を測定した結果を示す。なお、実験に用いた各サンプルには、実装基板 (回路基板) 上に上記角速度センサ素子が実装されたセンサモジュール (角速度センサ) を用いた。

30

【0051】

リーク電圧は、駆動電極に駆動電圧 1.0 V (DC) を印加したときの、左右それぞれの検出電極 (上層電極と下層電極との間) にかかる電圧を測定し、駆動電圧との比を表したものである。

図 12 における左検出と右検出は、固定部から見た場合の左右それぞれの検出電極におけるリーク電圧を指す。測定数は、無作為に抽出した 4 素子である。

本実施形態に係る角速度センサ素子 10 においては、比較例に係る角速度センサ素子に比べリーク電圧が小さいことがわかった。サンプル 1 とサンプル 2 の違いは、左右の検出電極が同一圧電膜上にあるか異なる圧電膜上にあるかの構成の違いに基づく。したがって、サンプル 1 によれば、サンプル 2 と比較して、圧電膜間の相互作用を回避できることから、角速度の検出精度を高めることができる。

40

【0052】

図 13 は、Null 電圧と PSRR の関係をプロットしたグラフである。

同図に示すように、Null 電圧の上昇に伴い、PSRR も増加する。PSRR は、センサモジュール (角速度センサ) の入力電圧 3.0 V に対して ± 0.5 V の正弦波を印加したときの出力電圧変動量であり、角速度センサ素子の特性を表すものである。

【0053】

50

図14は、本実施形態に係る角速度センサ素子10(サンプル1)と、比較例1に係る角速度センサ素子40(サンプル2:下記、比較例参照)及び比較例2に係る角速度センサ素子50(サンプル3:下記、比較例参照)について、無作為に抽出した7素子のPSRRを測定した結果を示す。

本実施形態に係る角速度センサ素子10においては、比較例に係る角速度センサに比べ、PSRRが低いことがわかった。

【0054】

また、同一の圧電層上に駆動電極と検出電極を形成した場合、印加された駆動電圧により微小電流が発生して発熱し、当該圧電層の圧電特性が変動し得る。これは、当該圧電層上に形成された検出電極から得られる検出信号に変動をもたらす。

【0055】

図15は、本実施形態に係る角速度センサ素子10(サンプル1)と、比較例1に係る角速度センサ素子40(サンプル2:下記比較例参照)及び比較例2に係る角速度センサ素子50(サンプル3:下記、比較例参照)について、感度変化率を測定した結果を示す。

同図は、リフロー後経過時間と、感度変化率の関係をプロットしたグラフである。

リフロー経過時間とは、角速度センサを実装基板上に、リフローにより熱実装した時点からの経過時間である。感度変化率は、リフロー後の各経過時間における感度とリフロー前の感度の差をリフロー前の感度で除して算出した。この感度変化率の経時変化は、駆動電極による圧電層への電圧印加によって発生する圧電層の発熱が、検出信号に与える影響とみることができる。ここでは、角速度が $\omega/2$ [rad/s] (90 [deg/s]) のときの検出電圧が60mVである感度特性を有する角速度センサ素子をサンプルとして使用した。

本実施形態に係る角速度センサ素子10においては、測定範囲のいずれの時点においても、感度変化率が低いことがわかった。

【0056】

上述の測定結果が示すように、本実施形態に係る角速度センサ素子10においては、駆動電極と検出電極が別のアーム12上に形成され、かつ、中央アーム12上に形成された圧電機能層13C₁及び13C₂が離間して配置されていることにより、角速度センサとしての優れた特性を有する。

【0057】

本発明の他の実施形態に係る角速度センサ素子60について説明する。本実施形態以降においては、上記実施形態と同一の構成等には同一の符号を付しその説明を省略し、異なる箇所を中心に説明する。

【0058】

図7は、角速度センサ素子60を示す平面図である。

本実施形態に係る角速度センサ素子60は、連結部61と、連結部61から同一方向へ延出された断面四角形状の3本のアーム62(62A、62B、62C)とを備える。3本のアーム12は横並びに(平面的に)配列している。

【0059】

アーム62A~62Cのうち、外側に位置するものを、外側アーム62A及び62Bとし、中央に位置するものを中央アーム62Cとする。以下、各アーム62(62A、62B、62C)に設けられる構造に、対応する符号(A、B、C)を付する。

【0060】

角速度センサ素子60は、角速度センサ素子60を図示しない実装基板に固定するための固定部67と、固定部67と連結部61との間を支持する支持部68を有する。

角速度センサ素子60の連結部61には、外部接続端子69が形成され、各電極が、配線70を介して外部接続端子69と接続されている。

【0061】

図8は、アーム62A~62Cの、X-Z平面の断面図である。

10

20

30

40

50

図 8 は、図 7 における一点鎖線 [8] [8] で示す箇所の断面図である。

外側アーム 6 2 A、6 2 B の一表面には、圧電機能体 6 3 A、6 3 B がそれぞれ形成されている。圧電機能体 6 3 A、6 3 B は、外側アーム 6 2 A、6 2 B 上に形成された下部電極層 6 6 A、6 6 B と、この下部電極層 6 6 A、6 6 B の上に形成された圧電層 6 5 A、6 5 B と、この圧電層 6 5 A、6 5 B の上に形成された上部電極層 6 4 A、6 4 B によって構成されている。上部電極層 6 4 A 及び 6 4 B は、各外側アーム 6 2 A 及び 6 2 B 上の、中央アーム 6 2 C 側に偏って形成されている。

【 0 0 6 2 】

一方、中央アーム 6 2 C の一表面には、圧電機能体 6 3 C が形成されている。圧電機能体 6 3 C は、中央アーム 6 2 C 上に形成された下部電極層 6 6 C と、この下部電極層 6 6 C 10
C の上に形成された圧電層 6 5 C と、この圧電層 6 5 C の上に形成された上部電極層 6 4 C によって構成されている。

【 0 0 6 3 】

角速度センサ素子 6 0 は、角速度センサ素子 1 0 と同様に制御部 3 0 に電氣的に接続される。

角速度センサ素子 6 0 の下部電極層 6 6 A ~ 6 6 C は、制御部 3 0 の V r e f 端子にそれぞれ接続され、各圧電機能体 6 3 の基準電極として機能する。

【 0 0 6 4 】

上部電極層 6 4 C は、制御部 3 0 の G 0 端子にそれぞれ接続される。上部電極層 6 4 C 20
には、制御部 3 0 によって生成された駆動信号が入力される。すなわち、上部電極層 6 4 C は、アーム 6 2 C を励振する駆動電極として機能する。

【 0 0 6 5 】

上部電極層 6 4 A は制御部 3 0 の G a 端子に接続され、上部電極層 6 4 B は制御部 3 0 の G b 端子に接続される。上部電極層 6 4 A 及び 6 4 B からの検出信号が、制御部 3 0 に入力され、角速度が検出される。すなわち、上部電極層 6 4 A 及び 6 4 B は、アーム 6 2 A 及び 6 2 B の振動を検出する検出電極として機能する。

【 0 0 6 6 】

本実施形態に係る角速度センサ素子 6 0 の動作を説明する。

【 0 0 6 7 】

角速度センサ素子 6 0 に角速度が印加されていない状態の動作は以下ようになる。 30

制御部 3 0 の自励発振回路 3 2 から、駆動電極である上部電極層 6 4 C に同位相の駆動信号が入力される。これにより圧電層 6 5 C に電圧が印加され、その圧電効果により中央アーム 6 2 C が励振され振動する。中央アーム 6 2 C が振動する（励振される）方向は、圧電層 6 5 C の形成面に対して垂直な方向（Z 軸方向）である。

【 0 0 6 8 】

中央アーム 6 2 C が振動すると、外側アーム 6 2 A 及び 6 2 B は、その振動の反作用を受けて中央アーム 6 2 C と逆位相で振動する。

【 0 0 6 9 】

この振動により圧電層 6 5 A と 6 5 B に圧電効果が発生し、検出信号 G a 及び G b が得られる。 40

【 0 0 7 0 】

角速度センサ素子 6 0 に角速度が印加されている状態の動作は以下ようになる。

上述のように、各アーム 6 2 が振動している状態において、角速度センサ素子 6 0 に Y 軸周りの角速度が印加されると、各アーム 6 2 にコリオリ力が発生する。

このコリオリ力に起因する、外側アーム 6 2 A 及び 6 2 B の歪みにより圧電層 6 5 A 及び 6 5 B に圧電効果が発生し、上部電極層 6 4 A 及び 6 4 B から、検出信号 G a 及び G b が得られる。上部電極層 6 4 A 及び 6 4 B は、中央アーム 6 2 C 側に偏って配置されているため、X 軸方向の伸縮変位により検出信号 G a 及び G b の信号強度が異なり、コリオリ力を検出することが可能である。

【 0 0 7 1 】

10

20

30

40

50

これらの信号が制御部 30 によって処理され、角速度センサ素子 60 に印加されている角速度が算出される。

【0072】

本実施の形態においては、検出用の上部電極層 64A、64B が駆動用の上部電極層 64C と異なる圧電層の上に形成されているので、電極間のリーク電圧の発生を防止でき、精度の高い角速度検出が可能となる。また、各々の検出用電極 64A 及び 64B が相互に異なる圧電層上に形成されていることから、角速度の検出感度の更なる向上を図ることが可能となる。

【0073】

本発明は上述の実施形態にのみ限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々の変更を加え得る。

10

【0074】

(比較例 1)

図 9 に示す角速度センサ素子 40 を作製し、サンプル 2 とした。

比較例 1 に係る角速度センサ素子 40 は、上記実施形態に係る角速度センサ素子 10 に対し、中央アームの圧電機能体の構成が異なる。

同図に示すように、角速度センサ素子 40 は、支持部 41 から一方向に延出された 3 本のアーム 42A、42B、42C を有する。各アーム 42 には、圧電機能体 43 (43A、43B、43C) が形成されている。外側アーム 42A 及び 42B の圧電機能体 43 (43A、43B) は、アーム 42 側から順に積層された下部電極層 46 (46A、46B)、圧電層 45 (45A、45B)、駆動電極である上部電極層 44 (44A、44B) からなる。

20

【0075】

中央アーム 42C の圧電機能体 43C は、アーム 42 側から順に積層された下部電極層 46C、圧電層 45C、検出電極である二つの上部電極層 44C (44C₁、44C₂) からなる。

図示しない他の部分は、実施例 1 に係る角速度センサ素子 10 と同一である。下部電極層 46C と、圧電層 45C は、それぞれ単一である点で、実施例 1 に係る角速度センサ素子 10 と異なる。

【0076】

30

(比較例 2)

図 10 に示す角速度センサ素子 50 を作製し、サンプル 3 とした。

比較例 2 に係る角速度センサ素子 50 は、実施例 1 に係る角速度センサ素子 10 に対し、中央アームの圧電機能体の構成が異なる。

同図に示すように、角速度センサ素子 50 は、支持部 51 から一方向に延出された 3 本のアーム 52A、52B、52C を有する。各アーム 52 には、圧電機能体 53 (53A、53B、53C) が形成されている。外側アーム 52A 及び 52B の圧電機能体 53 (53A、53B) は、アーム 52 側から順に積層された下部電極層 56 (56A、56B)、圧電層 55 (55A、55B)、駆動電極である上部電極層 54 (54A、54B) からなる。

40

【0077】

中央アーム 52C の圧電機能体 53C は、アーム 52 側から順に積層された下部電極層 56C、圧電層 55C、上部電極層 54C からなる。上部電極層 54C は、検出電極である二つの上部電極層 54C₁、54C₂ と、54C₁ と 54C₂ の間に配置された、駆動電極である上部電極層 54C₃ である。

図示しない他の部分は、実施例 1 に係る角速度センサ素子 10 と同一である。下部電極層 56C と、圧電層 55C は、それぞれ単一であり、また、中央アーム 42C 上にも駆動電極が形成されている点で、実施例 1 に係る角速度センサ素子 10 と異なる。

【図面の簡単な説明】

【0078】

50

- 【図 1】本発明の実施形態に係る角速度センサ素子 10 を示す斜視図である。
 【図 2】角速度センサ素子 10 の階層構造を示す斜視図である。
 【図 3】角速度センサ素子 10 を示す平面図である。
 【図 4】アーム 12A ~ 12C の、X - Z 平面の断面図である。
 【図 5】角速度センサ素子 10 と制御回路との電氣的接続を示す模式図である。
 【図 6】角速度センサ素子 10 の、角速度検出の原理を示す模式図である。
 【図 7】本発明の実施形態に係る角速度センサ素子 60 を示す平面図である
 【図 8】アーム 62A ~ 62C の、X - Z 平面の断面図である。
 【図 9】比較例に係る角速度センサ素子 40 を示す平面図である。
 【図 10】比較例に係る角速度センサ素子 50 を示す平面図である。
 【図 11】リーク電圧差と Null 電位の関係をプロットしたグラフである。
 【図 12】各サンプルについて測定したリーク電圧をプロットしたグラフである。
 【図 13】Null 電圧と PSRR の関係をプロットしたグラフである。
 【図 14】各サンプルについて測定した PSRR をプロットしたグラフである。
 【図 15】各サンプルについて測定した感度変化率をプロットしたグラフである。

10

【符号の説明】

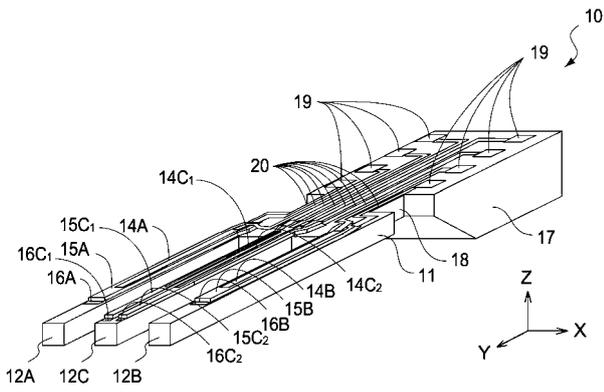
【0079】

- 10 角速度センサ素子
 12 アーム
 13 圧電機能体
 14 下部電極層
 15 圧電層
 16 上部電極層
 17 固定部
 18 支持部
 60 角速度センサ素子
 62 アーム
 63 圧電機能体
 64 下部電極層
 65 圧電層
 66 上部電極層
 67 固定部
 68 支持部

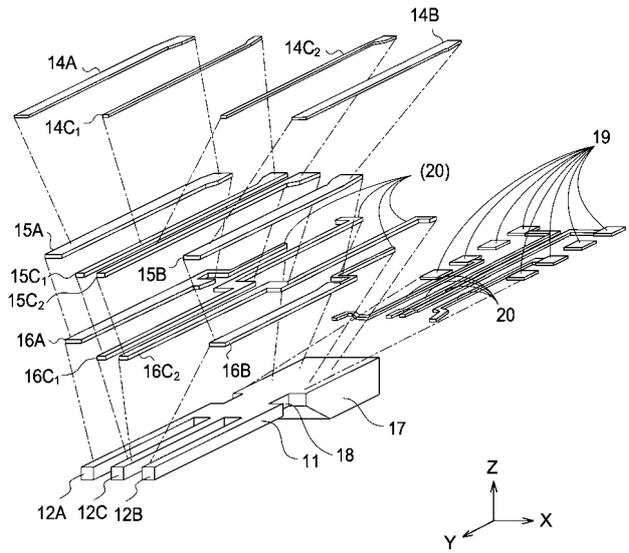
20

30

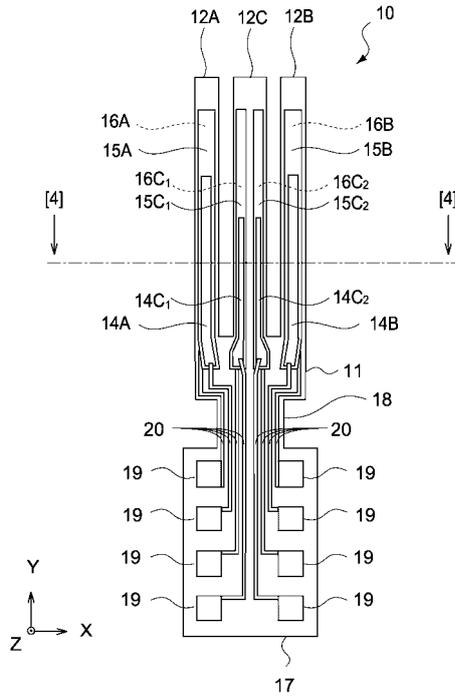
【 図 1 】



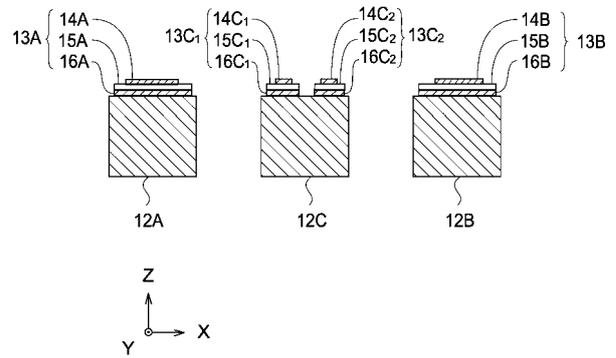
【 図 2 】



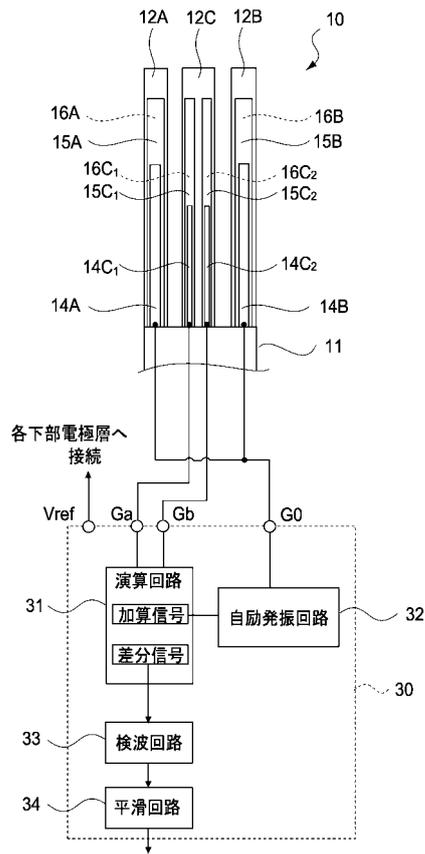
【 図 3 】



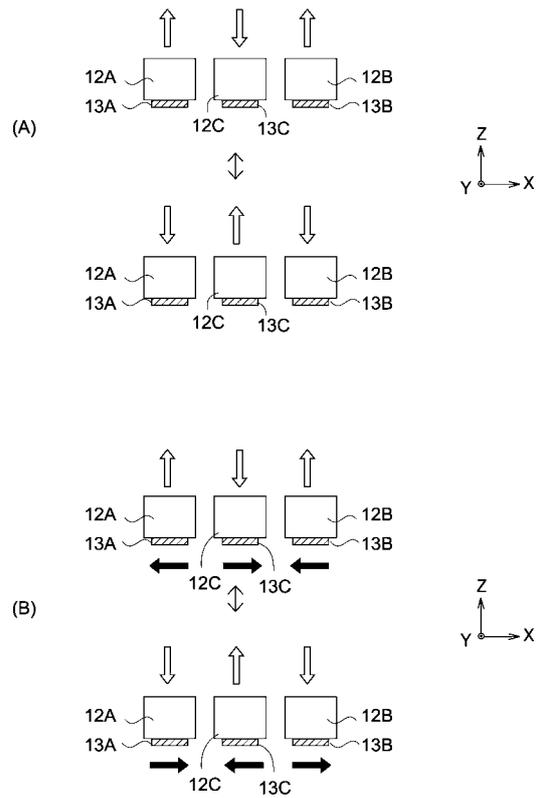
【 図 4 】



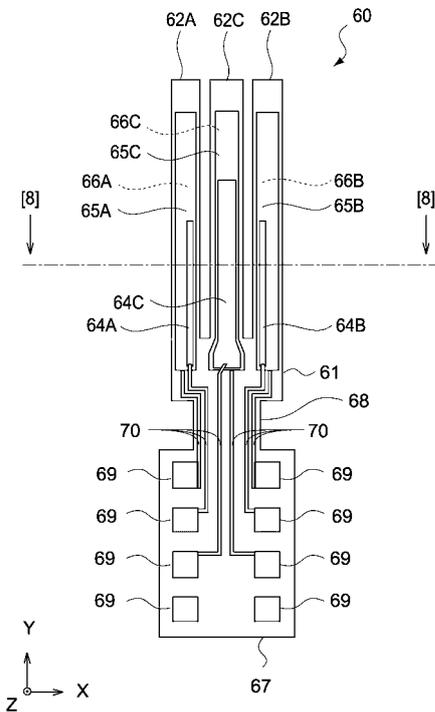
【 図 5 】



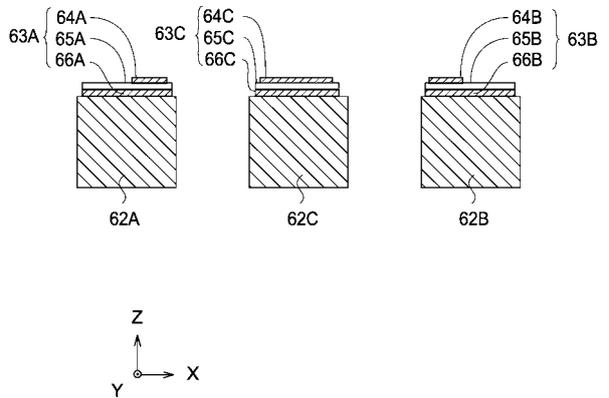
【 図 6 】



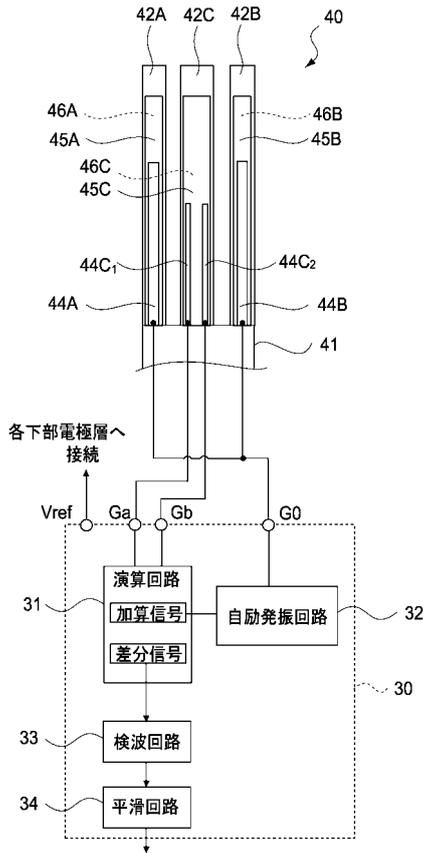
【 図 7 】



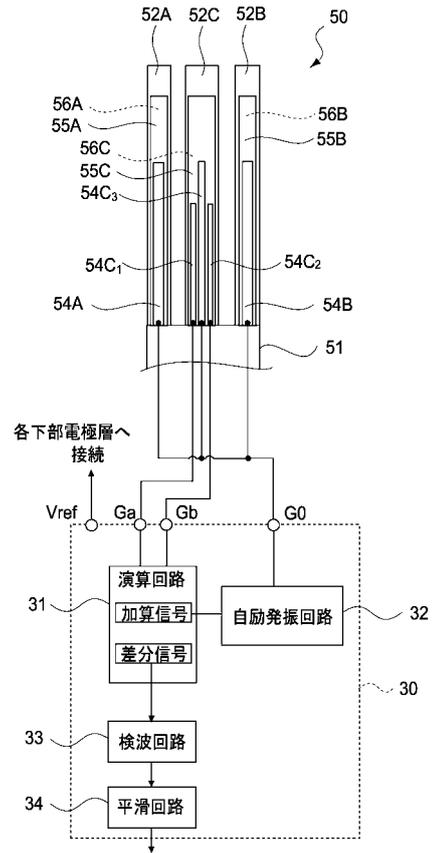
【 図 8 】



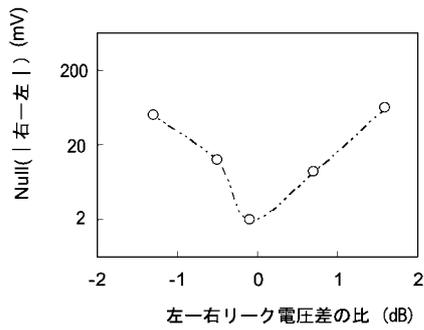
【 図 9 】



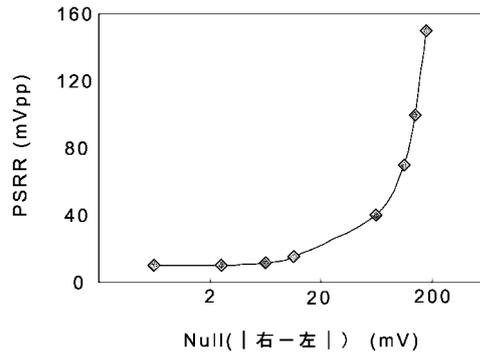
【 図 1 0 】



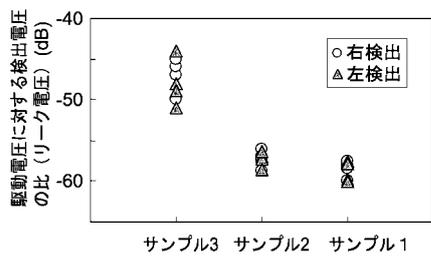
【 図 1 1 】



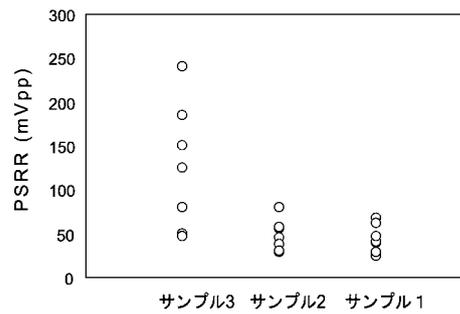
【 図 1 3 】



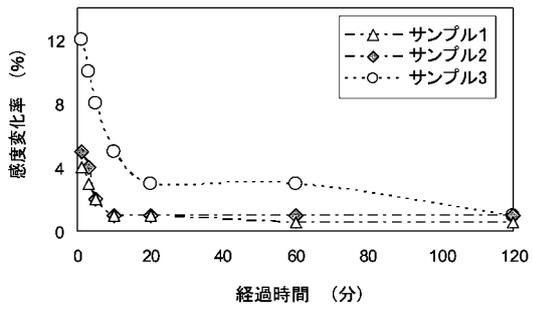
【 図 1 2 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

| | | | | | | |
|----------------------|------------------|--|---------------|--|---|------------|
| (51)Int.Cl. | | | F I | | | テーマコード(参考) |
| H 0 1 L 41/22 | (2006.01) | | H 0 1 L 41/22 | | Z | |