

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

長手方向に対して平行で且つ互いに平行な 2 面を含む少なくとも 2 本の第 1 の腕部と該第 1 の腕部を振動させるための第 1 の圧電素子とを含む振動部と、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な 2 面を含む少なくとも 2 本の第 2 の腕部と該第 2 の腕部に発生した振動を検出するための第 2 の圧電素子とを含む検出部とを有する角速度センサにおいて、前記第 1 及び第 2 の腕部と一体形成された支持部を有し、前記第 1 及び第 2 の腕部の少なくとも一方における前記支持部側の端が該第 1 又は第 2 の腕部の胴体幅よりも細くなっていることを特徴とする角速度センサ。

【請求項 2】

前記第 1 及び第 2 の腕部の少なくとも一方における前記支持部側の端に溝を有することを特徴とする請求項 1 記載の角速度センサ。

【請求項 3】

前記溝は前記腕部を外周するように形成されていることを特徴とする請求項 2 記載の角速度センサ。

【請求項 4】

長手方向に対して平行で且つ互いに平行な 2 面を含む少なくとも 2 本の第 1 の腕部と該第 1 の腕部を振動させるための第 1 の圧電素子とを含む振動部と、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な 2 面を含む少なくとも 2 本の第 2 の腕部と該第 2 の腕部に発生した振動を検出するための第 2 の圧電素子とを含む検出部とを有する角速度センサにおいて、前記第 1 及び第 2 の腕部と一体形成された支持部と、該支持部に形成された 2 つ以上の穴とを有することを特徴とする角速度センサ。

【請求項 5】

前記穴は前記支持部の中心に関して点対称に形成されていることを特徴とする請求項 4 記載の角速度センサ。

【請求項 6】

長手方向に対して平行で且つ互いに平行な 2 面を含む少なくとも 2 本の第 1 の腕部と該第 1 の腕部を振動させるための第 1 の圧電素子とを含む振動部と、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な 2 面を含む少なくとも 2 本の第 2 の腕部と該第 2 の腕部に発生した振動を検出するための第 2 の圧電素子とを含む検出部とを有する角速度センサにおいて、前記第 1 及び第 2 の圧電素子の少なくとも一方は前記腕部の胴体部分であって対向する 2 面に形成されていることを特徴とする角速度センサ。

【請求項 7】

前記第 1 及び / 又は第 2 の圧電素子は、第 1 及び第 2 の電極膜で挟まれた圧電体を含んで構成され、

前記第 1 の電極膜は、少なくとも前記圧電体を位置決めするための凸部を有することを特徴とする請求項 1 から 6 の何れか 1 項に記載の角速度センサ。

【請求項 8】

前記支持部と前記第 1 の腕部と前記第 2 の腕部とのうち少なくとも 1 つは、前記第 1 及び / 又は第 2 の圧電素子を位置決めするための凸部又は凹部を有することを特徴とする請求項 1 から 6 の何れか 1 項に記載の角速度センサ。

【請求項 9】

前記第 1 及び / 又は第 2 の圧電素子は、樹脂により前記支持部と前記第 1 又は第 2 の腕部とのうち少なくとも一方に固定されていることを特徴とする請求項 1 から 8 の何れか 1 項に記載の角速度センサ。

【請求項 10】

前記樹脂は導電性樹脂又は異方性導電性樹脂であることを特徴とする請求項 9 記載の角速度センサ。

【請求項 11】

前記第 1 及び / 又は第 2 の圧電素子は、少なくとも 1 面に第 1 の金属膜を有し、

10

20

30

40

50

前記支持部と前記第 1 又は第 2 の腕部の少なくとも一方は、前記第 1 又は第 2 の圧電素子を接合するための第 2 の金属膜を有し、

前記第 1 及び第 2 の金属膜を直接接合することで、前記第 1 又は第 2 の圧電素子を固定していることを特徴とする請求項 1 から 8 の何れか 1 項に記載の角速度センサ。

【請求項 1 2】

長手方向に対して平行で且つ互いに平行な 2 面を含む圧電素子で形成された少なくとも 2 本の第 1 の腕部を該第 1 の腕部の表面に形成された第 1 の電極膜を用いて振動させる振動部と、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な 2 面を含む圧電素子で形成された少なくとも 2 本の第 2 の腕部に発生した振動を該第 2 の腕部の表面に形成された第 2 の電極膜を用いて検出する検出部とを有する角速度センサにおいて、

10

前記第 1 及び第 2 の腕部と一体形成された支持部を有し、

前記第 1 及び第 2 の腕部の少なくとも一方における前記支持部側の端が該第 1 又は第 2 の腕部の胴体幅よりも細くなっていることを特徴とする角速度センサ。

【請求項 1 3】

長手方向に対して平行で且つ互いに平行な 2 面を含む圧電素子で形成された少なくとも 2 本の第 1 の腕部を該第 1 の腕部の表面に形成された第 1 の電極膜を用いて振動させる振動部と、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な 2 面を含む圧電素子で形成された少なくとも 2 本の第 2 の腕部に発生した振動を該第 2 の腕部の表面に形成された第 2 の電極膜を用いて検出する検出部とを有する角速度センサにおいて、

20

前記第 1 及び第 2 の腕部と一体形成された支持部と、

該支持部に形成された 2 つ以上の穴とを有することを特徴とする角速度センサ。

【請求項 1 4】

前記第 1 又は第 2 の腕部の断面は、2 本の該第 1 又は第 2 の腕部が延在する面に対して垂直で且つ該第 1 又は第 2 の腕部の長手方向と平行な面に関して面对称を成し、

前記第 1 及び第 2 の腕部と前記支持部とを含む振動子は、該支持部の中心に関して点对称を成していることを特徴とする請求項 1 から 1 3 の何れか 1 項に記載の角速度センサ。

【請求項 1 5】

前記支持部と前記第 1 及び第 2 の腕部との外周に形成されたフレームと、

該フレームと前記支持部とを連結して固定するトーションバーとを有し、

前記トーションバーの幅が前記支持部の厚さよりも薄いことを特徴とする請求項 1 から 1 4 の何れか 1 項に記載の角速度センサ。

30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、回転する物体の角速度を検出する角速度センサに関し、特に MEMS (Micro Electro Mechanical System) を使用した角速度センサに関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、ビデオカメラの手振れや検知技術、カーナビゲーションの自立走行システム、サイド・エアバック開放タイミング用のロール角検知、車やロボットの姿勢制御用等において、振動型ジャイロスコープによる角速度センサが広く使用されている。また、角速度センサの分野においては、車両の走行安定性を向上すべく、車両横滑り防止システムやカーブ走行時の姿勢制御システムなどに採用し得る程度にまで小型で且つ高精度化及び高信頼性化が図られたものが強く求められている。

40

【0003】

圧電材を用いた従来の角速度センサとしては、振動子の形状に基づいて類別されたビーム型及び音叉型のものがある。図 4 5 は、従来のビーム型角速度センサの一例である角速度センサ 800 を表す。図 4 5 (a) は、角速度センサ 800 の斜視図であり、図 4 5 (b) は、図 4 5 (a) の線 B 1 - B 1 に沿った断面図である。角速度センサ 800 は、ビー

50

ム形状乃至直方状の振動子 810 と、これを図外の支持体に対して固定するための支持ワイヤ 820 と、駆動用圧電素子 830 と、一对の検出用圧電素子 840 とを備える。振動子 810 は、エリンバ等の恒弾性金属を含んで構成され、接地されている。支持ワイヤ 820 にはピアノ線等が用いられる。駆動用圧電素子 830 は、振動子 810 上に形成された圧電体 831 と、これに積層形成された電極 832 とを有する。一对の検出用圧電素子 840 は、各々、振動子 810 において駆動用圧電素子 830 が設けられた面に対して垂直な面に設けられ、振動子 810 上に形成された圧電体 841 と、これに積層形成された電極 842 とを有する。圧電体 831, 841 には圧電セラミックが用いられる。

【0004】

このような構成の角速度センサ 800 において、駆動用圧電素子 830 に対して所定の交流電圧を印加すると、圧電体 831 が逆圧電効果によって伸縮し、これに起因して振動子 810 が X 軸方向に屈曲振動する。この状態において、振動子 810 を Z 軸回りに角速度で回転させると、振動子 810 に対して、Y 軸方向にコリオリ力 F ($F = -2mV$, m : 振動子質量, V : 振動速度) が作用し、振動子 810 は Y 軸方向にも振動する。即ち、振動子 810 の屈曲振動は、X 軸方向及び Y 軸方向の成分を有する合成振動となる。合成振動する振動子 810 における Y 軸に垂直な面の歪みは、検出用圧電素子 840 の圧電体 841 による圧電効果に基づいて検出され、検出用圧電素子 840 からは、コリオリ力 F 乃至角速度 に比例した出力が得られる。

【0005】

図 46 は、従来の音叉型角速度センサの一例である角速度センサ 900 を表す。角速度センサ 900 は、音叉形状の振動子 910 と、駆動用圧電素子 920 と、一对の検出用圧電素子 930 とを備える。振動子 910 は、エリンバ等の恒弾性金属を含み、又部 911 と、これから延出する 2 本のアーム 912, 913 とを有して構成され、接地されている。アーム 912 は、駆動板 912a 及びこれに直交して接合された検出板 913b を有する。駆動用圧電素子 920 は、アーム 912 の駆動板 912a に設けられ、圧電体 912 と、これに積層形成された電極 922 とを有する。一对の検出用圧電素子 930 は、各々、検出板 912b, 913b に設けられ、圧電体 931 と、これに積層形成された電極 932 とを有する。検出用圧電素子 930 は、駆動用圧電素子 920 に対して直交に配向するように配設されている。

【0006】

このような構成の角速度センサ 900 において、駆動用圧電素子 920 に対して所定の交流電圧を印加すると、圧電体 921 の逆圧電効果に基づいて、アーム 912 及びアーム 913 は、X 軸方向において図中矢印で示すような音叉振動する。このとき、振動子 910 を Z 軸回りに角速度で回転させると、上記の方程式に基づいて、振動子 910 には Y 軸方向にコリオリ力 F が作用し、アーム 912, 913 が Y 軸方向にも振動する。アーム 912, 913 における Y 軸に垂直な面の歪みを、検出用圧電素子 930 による圧電効果に基づいて検出することによって、コリオリ力 F 乃至角速度 に比例した出力が得られる。

【0007】

以上のようなコリオリ力 F を利用した振動型角速度センサ (ジャイロ) は、フォトリソグラフィーをはじめとした半導体加工技術を用いて小型化することが望まれている。例えば、振動子部分を水晶等の圧電素子で形成したジャイロ等は以下に示す特許文献 1 等で、また、振動子部分に半導体基板を使って形成したジャイロ等は以下に示す特許文献 2 又は 3 等で、その小型化が提案されている。

【0008】

【特許文献 1】

特開平 11 - 206162 号公報

【特許文献 2】

特開平 11 - 237247 号公報

【特許文献 3】

特開平 10 - 47971 号公報

【0009】

しかしながら、以上の文献で開示されたように半導体技術を用いて角速度センサを小型化した場合、振動子質量 m が小さくなり、発生するコリオリ力 F が減少する。このため、角速度センサの感度が低下してしまうという問題が発生する。尚、低下した感度を補うために、後段にアンプを設けることは、所望の信号以外にノイズも増幅してしまうため、 S/N 比が劣化する。従って、角速度センサの感度を向上させるためには、ノイズ成分を減らすか、振動子単体での高感度化を図ることが重要な課題となっている。

【0010】

本発明は、このような課題を解決することを目的としており、例えば半導体技術を用いて小型化された場合でも、感度よく回転角速度を検知できる角速度センサを提供することを

10

【0011】

【課題を解決するための手段】

かかる目的を達成するために、本発明は、請求項1記載のように、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な2面を含む少なくとも2本の第1の腕部と該第1の腕部を振動させるための第1の圧電素子とを含む振動部と、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な2面を含む少なくとも2本の第2の腕部と該第2の腕部に発生した振動を検出するための第2の圧電素子とを含む検出部とを有する角速度センサにおいて、前記第1及び第2の腕部と一体形成された支持部を有して構成され、この構成において、前記第1及び第2の腕部の少なくとも一方における前記支持部側の端が該第1又は第2の腕部の胴体幅よりも細くな

20

【0012】

また、請求項1記載の前記角速度センサは、例えば請求項2記載のように、前記第1及び第2の腕部の少なくとも一方における前記支持部側の端に溝を有することで、上記した根

30

【0013】

また、請求項2記載の前記溝は、例えば請求項3記載のように、前記腕部を外周するように形成されていてもよい。

【0014】

また、本発明は、請求項4記載のように、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な2面を含む少なくとも2本の第1の腕部と該第1の腕部を振動させるための第1の圧電素子とを含む振動部と、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な2面を含む少なくとも2本の第2の腕部と該第2の腕部に発生した振動を検出するための第2の圧電素子とを含む検出部とを有する角速度センサにおいて、前記第1及び第2の腕部と一体形成された支持部と、該支持部に形成された2つ以上の穴とを有して構成される。振動部分である腕と発生した振動を検出するための腕とを連結する支持部に穴を設けることで、この部分の剛性が低下する。連結部(支持部)の剛性を低下させることで、振動部分の腕で発生した振動を検出用の腕に効率よく伝播させることが可能となる。従って、発生した振動を効率よく検出することが可能となる。即ち、角速度センサの感度が向上される。また、上記のように腕を支持する支持部の剛性を低下させることは、腕自体の自由度を増大させることにも繋がるため、結果として面内振動で腕が開閉する駆動モードにおける腕のモーメントを増大させることができ、アームの駆動速度を増加させることが達成される。これにより、回転角速度が加わった際に発生するコリオリ力が大きくなり、角速度センサの高感度化を図ることができる。尚、これらの効果は、例えば半導体技術を用いて小型化された角速度センサ

40

50

でも同様にすることができる。

【0015】

また、請求項4記載の前記穴は、好ましくは請求項5記載のように、前記支持部の中心に関して点対称に形成される。2対の腕を効率よく共振させるためには、振動子自体の対称性を保つことが重要である。従って、この振動子に形成する穴にも対称性が要求される。

【0016】

また、本発明は、請求項6記載のように、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な2面を含む少なくとも2本の第1の腕部と該第1の腕部を振動させるための第1の圧電素子とを含む振動部と、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な2面を含む少なくとも2本の第2の腕部と該第2の腕部に発生した振動を検出するための第2の圧電素子とを含む検出部とを有する角速度センサにおいて、前記第1及び第2の圧電素子の少なくとも一方が前記腕部の胴体部分であって対向する2面に形成された構成を有する。駆動モードでは、振動部分の腕の側面が印加された高周波信号に基づいて伸縮を繰り返す。そこで、圧電定数 d_{31} を有効に活用するために、この伸縮部分を挟み込むように圧電素子を形成する。これにより、振動側の腕の振幅を増大することができ、対応する形で検出側の腕に伝播する振動の振幅を増大することができる。検出側の腕における振幅が増大するということは、検出される信号の振幅も増大するということに繋がるため、結果的に角速度センサの検出感度を向上させることが可能となる。また、検出モードでは、腕を挟み込むように圧電素子を形成することで、これらから出力された2つの信号を差動信号として使用することが可能となる。このように差動信号を使用することで、外来ノイズ等による影響を排除でき、S/N比が向上される。従って、角速度センサの検出感度を向上させることができる。

【0017】

また、請求項7記載のように、請求項1から6の何れか1項に記載の前記第1及び/又は第2の圧電素子は、第1及び第2の電極膜で挟まれた圧電体を含んで構成され、同じく前記第1の電極膜は、少なくとも前記圧電体を位置決めするための凸部を有して構成されることが好ましい。これにより、例えばバルク等で作製した圧電素子の振動子への貼り合わせを正確且つ容易に行うことが可能となり、角速度センサの歩留り及び製造効率を向上させることが可能となる。

【0018】

また、請求項1から6の何れか1項に記載の前記支持部と前記第1の腕部と前記第2の腕部とのうち少なくとも1つは、請求項8記載のように、前記第1及び/又は第2の圧電素子を位置決めするための凸部又は凹部を有して構成されることが好ましい。これにより、例えばバルク等で作製した圧電素子の振動子への貼り合わせを正確且つ容易に行うことが可能となり、角速度センサの歩留り及び製造効率を向上させることが可能となる。

【0019】

また、請求項1から8の何れか1項に記載の前記第1及び/又は第2の圧電素子は、例えば請求項9記載のように、樹脂により前記支持部と前記第1又は第2の腕部とのうち少なくとも一方に固定されているように構成することもできる。

【0020】

尚、請求項9記載の前記樹脂は、請求項10記載のように、導電性樹脂又は異方性導電性樹脂であることが好ましい。

【0021】

また、例えば請求項11記載のように、請求項1から8の何れか1項に記載の前記第1及び/又は第2の圧電素子は、少なくとも1面に第1の金属膜を有し、同じく前記支持部と前記第1又は第2の腕部の少なくとも一方は、前記第1又は第2の圧電素子を接合するための第2の金属膜を有して構成されていても良い。このように各構成の接合面に第1及び第2の金属膜を形成しておくことで、両者を直接接合することが可能となり、前記第1又は第2の圧電素子を良好な導電性を有しつつ確実に固定することが可能となる。

【0022】

また、本発明は、請求項12記載のように、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な2

面を含む圧電素子で形成された少なくとも２本の第１の腕部を該第１の腕部の表面に形成された第１の電極膜を用いて振動させる振動部と、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な２面を含む圧電素子で形成された少なくとも２本の第２の腕部に発生した振動を該第２の腕部の表面に形成された第２の電極膜を用いて検出する検出部とを有する角速度センサにおいて、前記第１及び第２の腕部と一体形成された支持部を有して構成され、この構成において、前記第１及び第２の腕部の少なくとも一方における前記支持部側の端が該第１又は第２の腕部の胴体幅よりも細くなっている。このように、腕の根元を細くすることで得られる高感度化の効果は、材料基板に圧電基板を用いて角速度センサを構成した場合でも奏することができる。

【００２３】

10

また、本発明は、請求項１３記載のように、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な２面を含む圧電素子で形成された少なくとも２本の第１の腕部を該第１の腕部の表面に形成された第１の電極膜を用いて振動させる振動部と、長手方向に対して平行で且つ互いに平行な２面を含む圧電素子で形成された少なくとも２本の第２の腕部に発生した振動を該第２の腕部の表面に形成された第２の電極膜を用いて検出する検出部とを有する角速度センサにおいて、前記第１及び第２の腕部と一体形成された支持部と、該支持部に形成された２つ以上の穴とを有して構成される。このように、支持部に穴を設けることで得られる高感度化の効果は、材料基板に圧電基板を用いて角速度センサを構成した場合でも奏することができる。

【００２４】

20

また、請求項１４記載のように、請求項１から１３の何れか１項に記載の前記第１又は第２の腕部の断面は、２本の該第１又は第２の腕部が延在する面に対して垂直で且つ該第１又は第２の腕部の長手方向と平行な面に関して面对称を成し、同じく前記第１及び第２の腕部と前記支持部とを含む振動子は、該支持部の中心に関して点对称を成しているように構成されていることが好ましい。第１及び第２の腕と支持部とで構成された振動子の対称性を確保することで、駆動側において効率良く振動を発生することが可能となる。また、この発生した振動を効率よく検出側へ伝播させることが可能となる。更に、検出した信号に重畳されるノイズも低減されるため、より高感度化を図ることが可能となる。

【００２５】

また、請求項１から１４の何れか１項に記載の前記角速度センサは、請求項１５記載のように、前記支持部と前記第１及び第２の腕部との外周に形成されたフレームと、該フレームと前記支持部とを連結して固定するトーションバーとを有し、前記トーションバーが前記支持部の厚さよりも薄く形成されていることが好ましい。このように支持部及び腕を有して構成される振動子を支持するトーションバーの剛性を支持部よりも低く構成することで、トーションバーにおける振動の減衰を極力抑えることが可能となる。

30

【００２６】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を好適に実施した形態について説明するにあたり、本発明の基本構成について図面を用いて詳細に説明する。尚、以下の説明では、Ｈ型圧電振動ジャイロタイプの角速度センサについて例を挙げて説明する。

40

【００２７】

図１から図３は、本発明による角速度センサ１００の基本構成を示す平面図である。尚、図１は角速度センサ１００の平面図を示し、図２及び図３は、図１の線ⅠⅠ－ⅠⅠ及び線ⅡⅡ－ⅡⅡに沿った断面図を示す。

【００２８】

図１に示すように、角速度センサ１００は、Ｈ型振動子１０と、フレーム２０と、これらを連結する一对のトーションバー３０と、Ｈ型振動子１０に設けられた駆動用圧電素子４０及び一对の検出用圧電素子５０、６０とを有する。Ｈ型振動子１０、フレーム２０及びトーションバー３０は、材料基板としてのシリコン基板に対して反応性イオンエッチング（ＲＩＥ）又は結晶異方性エッチングを施すことによって、一体形成されたものである。

50

具体的には、例えば厚さ $500\mu\text{m}$ のシリコン基板の片面にエッチングマスクとしてのフォトレジストや金属膜をパターン形成し、当該エッチングマスクを介して基板の片面からDeep-RIEを行うことによって、或いは、基板の両面にエッチングマスクとしてのフォトレジストや金属膜をパターン形成し、当該エッチングマスクを介して基板の両面から結晶異方性エッチングを行うことによって、各部位が形成されている。尚、Deep-RIEを採用する場合、エッチングと側壁保護とを交互に行うBoschプロセスにおいて、例えば、 SF_6 ガスによるエッチングを8秒間程度行い、 C_4F_8 ガスによる側壁保護を7秒間程度行う。この際、ウェハに印加するバイアスは 20W 程度とする。また、ウェットエッチングである結晶異方性エッチングを採用する場合には、エッチング液としてEPW(エチレンジアミン+ピロカテコール+水)液や KOH を用いる。

10

【0029】

H型振動子10は、支持部11と、これから延出する一対の第1アーム12a, 12bと、第1アーム12a, 12bとは反対方向へ支持部11から延出する一対の第2アーム13a, 13bとを有して構成されている。即ち、第1アーム12a, 12b及び第2アーム13a, 13bは、支持部11に支持されるように、支持部11とモノリシックに一体形成されている。本基本構成では、例えば支持部11の長さ L_1 を $1000\mu\text{m}$ 、幅 L_2 を $1100\mu\text{m}$ 、厚さを上述の材料基板(例えばシリコン基板)の厚さと同じ $500\mu\text{m}$ とする。一対の第1アーム12a, 12bは、それぞれ長手方向(Z方向)に対して平行で且つ互いに平行な2面を含んで構成され、これらが互いに同一形状を有して平行に延びている。それぞれのアームは、例えば長さ L_3 が $2500\mu\text{m}$ 、幅 L_4 が $500\mu\text{m}$ 、厚さが材料基板と同じ $500\mu\text{m}$ であって、互いの離隔距離 L_5 が $100\mu\text{m}$ である。同様に、一対の第2アーム13a, 13bは、それぞれ長手方向(Z方向)に対して平行で且つ互いに平行な2面を含んで構成され、互いに同一形状を有して平行に延びており、例えば長さ L_3 が $2500\mu\text{m}$ 、幅 L_4 が $500\mu\text{m}$ 、厚さが $500\mu\text{m}$ であって、互いの離隔距離 L_5 が $100\mu\text{m}$ である。H型振動子10は、図1及び図2に示すように、アーム延出方向に対して平行な対称面A1-A1を有すると共に、アーム延出方向に対して平行であって対称面A1-A1に対して直行する対称面A2-A2を有する対称性の高い形状に形成されている。

20

【0030】

基板材料からの一体形成において、Deep-RIEによる片面エッチングを採用すると、第1アーム12a, 12b及び第2アーム13a, 13bの断面形状は、図2(a)に示すように、正方形とすることができる。一方、結晶異方性エッチングによる両面エッチングを採用すると、図2(b)に示すように、六角形とすることができる。アーム断面を六角形状とする場合には、上述のアーム幅 L_4 は表面幅を示し、第1アーム12a, 12b及び第2アーム13a, 13bは、表面幅 L_4 よりも太い最大幅 L_4' を有するものとなる。例えば、シリコン基板の(100面)を利用して結晶異方性エッチングを行う場合、表面幅 L_4 を $500\mu\text{m}$ とすると、表面幅 L_4 よりも約 $350\mu\text{m}$ 程度太い最大幅 L_4' を有することとなる。このように、アーム断面を正方形や六角形のような対称性の高い形状とすることで、H型振動子10においてドリフトの低減を図ることが可能となる。

30

【0031】

一対のトーションバー30は、各々、図1に示すように、H型振動子10のアーム延出方向における中央に位置する支持部11にてH型振動子10をフレーム20に固定している。本基本構成では、例えばトーションバー30の長さ L_6 を $500\mu\text{m}$ 、幅 L_7 を $500\mu\text{m}$ 、厚さ L_8 を $500\mu\text{m}$ とする。トーションバー30の断面形状は、材料基板からの一体形成においてDeep-RIEによる片面エッチングを採用する場合には、図3(a)に示すように、正方形とすることができる。一方、結晶異方性エッチングによる両面エッチングを採用する場合には、図3(b)に示すように、六角形とすることができる。トーションバー断面を六角形状とする場合には、上述の幅 L_7 は表面幅を示し、トーションバー30は、表面幅 L_7 よりも太い最大幅 L_7' を有するものとする。例えば、シリコン基板の(100)面を利用して結晶異方性エッチングを行う場合、表面幅 L_7 を 500μ

40

50

mとすると、表面幅 L_7 よりも約 $350\mu\text{m}$ 程度太い最大幅 L_7' を有することとなる。また、例えば図3(c)に示すように、トーションバー30の断面の幅を他の構成よりも薄くすることで、第1アーム側に生じた振動を低減衰で第2アーム側へ伝播させることが可能となる。これは、例えばRIE等のエッチングを用いて加工することが可能である。このように、トーションバー30の断面形状は、強度およびセンサ性能の観点から、当該断面の中心を通過して直行する2軸 A_3-A_3 、 A_4-A_4 に対して対称な形状であるのが好ましい。また、本発明においては、トーションバー30の断面をより小寸法に設計しても良い。具体的には、トーションバー30の幅 L_7 を小さくすると共に、厚さ L_8 を材料基板の厚さ $500\mu\text{m}$ より小さくする。トーションバー30の形状は、センサ感度に多大な影響を与える。本発明において、トーションバー30の厚さを上述のように基板の厚さ10
に対して等しいか又は薄くすることにより、トーションバー30の捩れ抵抗を低下し、その結果、H型振動子10の高感度化を達成することができる。また、トーションバー30について断面を正方形や六角形とすると共に厚みを小さくし、且つ、一對のトーションバー30の各々の重心を通る軸上に支持部11の在るH型振動子10の重心が載るようにすることによって、トーションバー30の曲げ強度を確保しつつ捩れ抵抗を下げるができることと共に、H型振動子の感度を高めることができる。これらの構成によって、H型振動子10においてドリフトの低減を図ることができ、高性能な角速度センサ100を製造することが可能となる。

【0032】

本基本構成において、例えばフレーム20のアーム延出方向の長さ L_9 を $7000\sim 9000\mu\text{m}$ とし、幅 L_{10} を $3100\sim 4100\mu\text{m}$ とした。また、図2(a)及び図2(b)に示すように、第1アーム12a、12b及び第2アーム13a、13bとフレーム20との離隔距離 L_{11} をトーションバー30の長さ L_6 に等しい $500\mu\text{m}$ とし、第1アーム12a、12b間の離隔距離 L_5 を $100\mu\text{m}$ とした。また、図1に示すように、第1アーム20との離隔距離 L_{11}' も $500\mu\text{m}$ とした。20

【0033】

駆動用圧電素子40は、図1に示すように、第1アーム12a、12bと支持部11とにより規定される又部11'、即ち、第1アーム12aと支持部11と第1アーム12bとにわたる箇所に設けられており、第1アーム12a、12bを入力された高周波振動に基づいて振動させる。即ち、駆動用圧電素子40は第1アーム12a、12bと一体となっ30
て振動の発生源(振動部)として機能する。

【0034】

駆動用圧電素子40は、下部電極41と、上部電極43と、これらに挟まれた圧電膜42とを含んだ積層構造を有する。下部電極41は、何れか一方のトーションバー30の上を通過するようにパターン形成された配線71を介して駆動下部電極パッド81に接続されている。上部電極43は、もう一方のトーションバー30の上を通過するようにパターン形成された配線73を介して駆動上部電極パッド83に接続されている。圧電膜42は、酸化亜鉛(ZnO)、窒化アルミニウム(AlN)、PZT(ペロブスカイト型の結晶構造を持つ酸化物強誘電体)等を主成分として構成される。また、電極41、43は、アルミニウム(Al)、銅(Cu)、金(Au)等を主成分として構成される。40

【0035】

検出用圧電素子50、60は、図1に示すように、第2アーム13aと支持部11との接合部、及び、第2アーム13bと支持部11との接合部に各々設けられており、第2アーム13a、13bに発生した振動を電圧値に変換して、それぞれ出力する。即ち、検出用圧電素子50、60は、第2アーム13a又は13bと一体となって発生した振動を検出する検出部として機能する。H型振動子10において、支持部11とアームとの接合部が最も歪むので、本実施形態の検出用圧電素子50、60は、H型振動子10の振動を感度よく検出することができる。

【0036】

検出用圧電素子50は、下部電極54と、上部電極56と、これらに挟まれた圧電膜5550

とを含む積層構造を有する。下部電極 54 は、一方のトーションバー 30 の上を通るようにパターン形成された配線 74 を介して検出下部電極パッド 84 に接続されている。上部電極 56 は、同一のトーションバー 30 の上を通るようにパターン形成された配線 76 を介して検出上部電極パッド 86 に接続されている。また、検出用圧電素子 60 は、下部電極 67 と、上部電極 69 と、これらに挟まれた圧電膜 68 とを含んだ積層構造を有する。下部電極 67 は、一方のトーションバー 30 の上を通るようにパターン形成された配線 77 を介して検出下部電極パッド 87 に接続されている。上部電極 69 は、同一のトーションバー 30 の上を通るようにパターン形成された配線 79 を介して検出上部電極パッド 89 に接続されている。圧電膜 55, 68 は、ZnO, AlN, PZT 等を主成分として構成される。また、電極 54, 56, 67, 69 は、Al, Cu, Au 等を主成分として構成される。

10

【0037】

このような構成の角速度センサ 100 において、駆動用圧電素子 40 に対して所定の交流電圧を印加すると、圧電膜 42 が逆圧電効果によって伸縮し、これに起因して一對の第 1 アーム 12a, 12b が図 1 又は図 4 に示す X 軸方向において、互いに逆位相で屈曲振動乃至面内振動 V1, V2 する（駆動モード）。これに伴い、第 2 アーム 13a, 13b も、X 軸方向において、互いに逆位相で屈曲振動乃至面内振動 V1, V2 する。駆動において最適な印加電圧周波数は、第 1 アーム 12a, 12b の面内振動モードと略等しい周波数であり、H 型振動子 10 のサイズ条件等によって決まるところ、上述した具体的寸法による構成例では約 80 kHz の交流電圧によって駆動する。これによって、H 型振動子 10 を効率的に駆動でき、高感度の角速度センサ 100 を実現できる。H 型振動子 10 を定常的に振動させた状態において、H 型振動子 10 が Z 軸回りに角速度 ω で回転すると、H 型振動子 10 は、Y 軸方向即ち図 1 の紙面に対して垂直方向にコリオリ力 F ($F = -2mV\omega$, m : 振動子質量, V : 振動速度) を受ける。すると、H 型振動子 10 の屈曲振動は、振動モードが変わり、面垂直方向即ち Y 軸方向にも振動するようになる（検出モード）。このように振動する H 型振動子 10 における Y 軸に垂直な面の歪みは、検出用圧電素子 50, 60 の圧電膜 55, 68 による圧電効果に基づいて検出され、検出用圧電素子 50, 60 からは、コリオリ力 F 乃至角速度 ω に比例した出力が得られる。

20

【0038】

図 5 に、本基本構成による角速度センサ 100 における H 型振動子 10 の部位の歪み量を示す。図 5 を参照すると明らかなように、H 型振動子 10 が面内振動を行う駆動モードにおいて、最も歪みの大きな部分は、支持部 11 と第 1 アーム 12a, 12b とによって規定される又部 11'、及び、支持部 11 と第 2 アーム 13a, 13b とによって規定される又部 11' である。そのため、本基本構成では、図 1 に示すように、駆動用圧電素子 40 を H 型振動子 10 の又部 11' に設置し、これによって、H 型振動子 10 の駆動を効率よく行うことができる。

30

【0039】

第 1 アーム 13a に配設した検出用圧電素子 50 からの検出信号、及び、第 2 アーム 13b に配設した検出用圧電素子 60 からの検出信号は、例えば、図 6 に示すような差動回路として構成された検出回路で取り出すことができる。図 6 に示すような差動回路によると、検知感度を向上することができると共に、外来ノイズを低減することもできる。尚、図 6 に示す差動回路において、図中の二点鎖線より左側の領域のゲインは $1 + (R2 + R3) / R1$ で表され、二点鎖線より右側の領域のゲインは $R5 / R6$ (但し、 $R5 = R4$, $R6 = R7$ である) で表される。

40

【0040】

また、上述した基本構成は、例えば図 7 に示すように変形することも可能である。図 7 に示す角速度センサ 100a は、図 1 に示す角速度センサ 100 と比較して、支持部 11 の長さ $L1$ がアームの長さ $L3$ と同程度とされている点、即ち、支持部 11 がアーム方向に長く構成されている点と、駆動用圧電素子 40 が第 1 アーム 12a, 12b の又部 11' に接するように支持部 11 上に形成されている点とが異なる。このように構成しても、上

50

述の角速度センサ 100 と同一の断面形状を有し、且つ同様な効果を得ることができる。

【0041】

〔第1の実施形態〕

次に、上述した基本構成を発展させた本発明による角速度センサを、以下に第1の実施形態として図面を用いて詳細に説明する。尚、以下の説明では、角速度センサ 100a を基本として発展させた場合について例に挙げ、且つ同一の構成には同一の符号を付して説明を省略する。

【0042】

図8は、本実施形態に係る角速度センサ 101 の構成を示す平面図である。図1に示すように、角速度センサ 101 は、図1又は図7に示す角速度センサ 100 , 100a と同様に、H型振動子 10 と、フレーム 20 とこれらを連結する一対のトーションバー 30 と、H型振動子 10 に設けられた駆動用圧電素子 40 及び一対の検出用圧電素子 50 , 60 とを有する。 10

【0043】

H型振動子 10 は、支持部 11 と、これから延出する一対の第1アーム 12a , 12b と、第1アーム 12a , 12b とは反対方向へ支持部 11 から延出する一対の第2アーム 13a , 13b とを有して構成されている。一対の第1アーム 12a , 12b 及び第2アーム 13a , 13b は、互いに同一形状を有して平行に延在している。また、図8における線II-IIに沿った断面に示される各アームの断面形状は、図2に示す形状と同一である。このように、H型振動子 10 は、図8及び図2に示すように、アーム延出方向に対して平行な対称面 A1 - A1 と有すると共に、アーム延出方向に対して平行であって対称面 A1 - A1 に対して直行する対称面 A2 - A2 を有する対称性の高い形状に形成されている。 20

【0044】

一対のトーションバー 30 は、図1と同様に、H型振動子 10 のアーム延出方向における中央に位置する支持部 11 にてH型振動子 10 をフレーム 20 に固定している。また、図8における線III-IIIに沿った断面に示される各トーションバー 30 の断面形状は、図3に示す形状と同一である。但し、上述にもあるように、トーションバー 30 について断面を正方形や六角形とすると共に厚みを小さくし、且つ、一対のトーションバー 30 の重心を支持部 11 の在るH型振動子 10 の重心に一致させることによって、トーションバー 30 の曲げ強度を確保しつつ捩れ抵抗を下げることができると共に、H型振動子の感度を高めることができる。これらの構成によって、H型振動子 10 においてドリフトの低減を図ることができ、高性能な角速度センサ 100 を製造することが可能となる。 30

【0045】

駆動用圧電素子 40 は、図7と同様に、第1アーム 12a , 12b と支持部 11 とにより規定される又部 11' に接するように支持部 11 上に設けられており、下部電極 41 及び上部電極 43 と、これらに挟まれた圧電膜 42 とを含んだ積層構造を有している。破線で示す下部電極 41 は、何れか一方のトーションバー 30 の上を通るようにパターン形成された配線 71 を介して駆動下部電極パッド 81 に接続されている。上部電極は、もう一方のトーションバー 30 の上を通るようにパターン形成された配線 73 を介して駆動上部電極パッド 83 に接続されている。両電極 41 , 43 に挟まれた圧電膜 42 は、酸化亜鉛 (ZnO) , 窒化アルミニウム (AlN) , PZT (ペロブスカイト型の結晶構造を持つ酸化物強誘電体) 等を主成分として構成される。尚、電極 41 , 43 は、アルミニウム (Al) , 銅 (Cu) , 金 (Au) 等を主成分として構成される。 40

【0046】

検出用圧電素子 50 , 60 は、図1又は図7と同様に、第2アーム 13a と支持部 11 との接合部、及び、第2アーム 13b と支持部 11 との接合部に各々設けられている。検出用圧電素子 50 は、下部電極 54 及び上部電極 56 と、これらに挟まれた圧電膜 55 とを含む積層構造を有する。下部電極 54 は、一方のトーションバー 30 の上を通るようにパターン形成された配線 74 を介して検出下部電極パッド 84 に接続されている。上部電極 50

56は、同一のトーションバー30の上を通るようにパターン形成された配線76を介して検出上部電極パッド86に接続されている。また、検出用圧電素子60は、下部電極67及び上部電極69と、これらに挟まれた圧電膜68とを含んだ積層構造を有する。下部電極67は、一方のトーションバー30の上を通るようにパターン形成された配線77を介して検出下部電極パッド87に接続されている。上部電極69は、同一のトーションバー30の上を通るようにパターン形成された配線79を介して検出上部電極パッド89に接続されている。圧電膜55, 68は、ZnO, AlN, PZT等を主成分として構成される。また、電極54, 56, 67, 69は、Al, Cu, Au等を主成分として構成される。

【0047】

このような構成において、第1アーム12a, 12b及び第2アーム13a, 13bの付け根には、図8に示すような溝21, 22, 23, 24, 31, 32, 33, 34が形成されている。換言すれば、各アームの支持部11側の端(これを根元とする)がアームの胴体幅よりも細く形成されている。アームの根元を細くすることで、この部分の剛性を低下させることができる。このように、アームの根元の剛性を低下させることで、見かけ上のアームの長さが長くなり、H型振動子10の面内振動でアームが開閉する駆動モードにおけるアームのモーメントを増大させることができる。この結果、同一の共振周波数に対してアームの駆動速度V1(V2)を増加させることが達成されるため、回転角速度が加わった際に発生するコリオリ力が大きくなり、角速度センサ101の高感度化を図ることができる。

【0048】

また、図8に示す線IV-IVに沿った材料基板のみの断面形状を図9に示す。図8及び図9に示すように、各アームの根元にそれぞれ深さL12の溝21~24, 31~34が設けられている。この溝21~24, 31~34は、H型振動子10の耐久性を鑑みて、最も深く形成されることが好ましい。例えばアームの胴体幅L4を500μmとした場合、深さL12を100μm程度とすることで、H型振動子10に要求する耐久性を満足しつつ、感度を向上させることができる。

【0049】

図10に、本実施形態による角速度センサ101におけるH型振動子10の各部の歪み量を示す。図10を参照すると明らかなように、H型振動子10が面内振動を行う振動モードにおいて、支持部11と第1アーム12a, 12bとによって規定される又部11'、及び、支持部11と第2アーム13a, 13bとによって規定される又部11'、即ち、溝21~24, 31~34が形成された部分における歪み量が、図5に示すグラフ(溝の無い状態)と比較して、増加している。そのため、この部分に配設された検出用圧電素子50, 60を介して感度良く検出を行うことが可能となったことがわかる。

【0050】

尚、第1アーム13aに配設した検出用圧電素子50からの検出信号、及び、第2アーム13bに配設した検出用圧電素子60からの検出信号は、上述と同様に、図6に示すような差動回路として構成された検出回路で取り出すことができる。

【0051】

このように一対のアームの離隔距離L5とアーム-フレーム間距離L11, L11'とが異なる設計において、図10及び図11を参照して後述するように材料基板に対するエッチングを行う際には、図11及び図12に示すように、レジストパターン116に加えてエッチング幅調整用レジストパターン116'を有するレジストパターンを用いるのが好ましい。レジストパターン116は、材料基板においてH型振動子10, フレーム20及びトーションバー30へと形成される領域をマスクするためのものである。エッチング幅調整用レジストパターン116'は、レジストパターン116から一定の間隔で形成されている。図11は、エッチング幅調整用レジストパターン116'が、レジストパターン116から独立する場合を表す。図12は、エッチング幅調整用レジストパターン116'が、その架橋部116'aを介してレジストパターン116に接続している場合を表す

10

20

30

40

50

。例えばレジストパターン 116 及びエッチング幅調整用レジストパターン 116' の離隔距離 L12 は 100 μ m であり、一对のアームの離隔距離 L5 に等しい。上述のように、本実施形態では、一对のアームの離隔距離 L5 とフレーム - アーム間の離隔距離 L11, L11' とが異なるところ、レジストパターン 116 に加えてエッチング幅調整用レジストパターン 116' を有するレジストパターンを、図 11 及び図 12 に示すように形成することにより、各部位を形成するためのエッチングにおいてエッチングレートを同一とすることができる。その結果、フレーム 20, 第 1 アーム 12a, 12b, 及び第 2 アーム 13a, 13b の断面形状のばらつきを適切に抑制することが可能となる。更に、このレジストパターン 116 に予め溝 21 ~ 24, 31 ~ 34 作成用の窪み 21' ~ 24', 31' ~ 34' を設けておくことで、エッチングの際に同時に溝 21 ~ 24, 31 ~ 34 も形成することが可能となる。 10

【0052】

但し、図 11 に示した態様のレジストパターンを介してシリコン基板に対してエッチングを施すと、シリコン基板においてエッチング幅調整用レジストパターン 116' にマスクされていた部分が、シリコン基板乃至フレーム 20 から分離することとなる。そのため、シリコン基板に対するエッチング終了と同時に、又は、その後の工程で、当該分離部分は、シリコン基板から外れる際に振動子を傷つける可能性がある。ここで、その後の工程とは、例えば、エッチングのストップ層としてシリコン基板の裏面（但し、H 型振動子 10 における駆動用圧電素子 40 及び検出用圧電素子 50, 60 が形成される面を表面とする）に二酸化シリコン（ SiO_2 ）膜またはレジスト膜が設けられている場合において、エッチング終了後に当該 SiO_2 膜又はレジスト膜を除去する工程をいう。振動子に傷が付くということは、アーム形状の対称性が崩れるということであり、角速度センサの性能に影響を与える。これに対して、図 12 に示したマスクパターンを介してシリコン基板にエッチングを施す場合、シリコン基板においてエッチング幅調整用レジストパターン 116' にマスクされていた部分は、架橋部 116' a にマスクされていた部分を介してシリコン基板乃至フレーム 20 に固定されることとなる。そのため、エッチング終了と同時ににおいても、その工程においても、シリコン基板においてエッチング幅調整用レジストパターン 116' にマスクされていた部分は、振動子に損傷を与えることは無い。 20

【0053】

また、本発明では、エッチング幅調整用レジストパターン 116' を用いる方法に代えて、例えば図 2 (c) に示すように、第 1 アーム 12a, 12b 及び第 2 アーム 13a, 13b とフレームとの離隔距離 L11 を 200 μ m とし、第 1 アーム 12a, 12b 間の離隔距離及び第 2 アーム 13a, 13b 間の離隔距離 L5 を 200 μ m とし、第 1 アーム 12a, 12b 及び第 2 アーム 13a, 13b の先端とフレーム 20 との離隔距離 L11' を 200 μ m とし、3 種類の離隔距離を等しくしても良い。このような構成によると、材料基板に対するエッチングレートについて、エッチング幅調整用レジストパターン 116' を用いることなく、アーム - アーム間とフレーム - アーム間とで同一とすることができる。 30

【0054】

次に、上述した角速度センサ 101 をパッケージングした場合の構成を図 13 を用いて説明する。図 13 は、図 8 の線 II - II に沿ってパッケージごと角速度センサ 101 を切断した際の断面形状を示す図である。角速度センサ 101 は、H 型振動子 10 とフレーム 20 とがトーションバー 30 を介して一体形成された構造をとる。そのため、角速度センサ 101 のパッケージングは、図 13 (a) に示すように、陽極接合法や直接接合法等によって、ガラスやシリコン (Si) のパッケージング部材 90a とフレーム 20 とを、スペーサ 90b を介して接合することにより容易に行うことができる。或いは、図 13 (b) に示すように、ガラスや Si のパッケージング部材 90a に対して RIE 又はサンドブラスト加工の技術によって予め退避部 90a' を形成し、このパッケージング部材 90a を、陽極接合法や直接接合法等によって、角速度センサ 101 に接合しても良い。 40

【0055】

次に、本実施形態による角速度センサ 101 の製造方法について、図面を用いて詳細に説明する。

【0056】

図 14 及び図 15 に、図 8 に示す角速度センサ 101 の製造方法における一部の工程の一例を示す。尚、図 14 及び図 15 では、製造工程における、図 8 の線 I X - I X に沿った断面形状の様子を表す。また、材料基板にはシリコン基板 S を使用する。

【0057】

角速度センサ 101 の製造において、まず、図 14 (a) に示すように、シリコン基板 S に対して、熱酸化法等により、酸化シリコン (SiO_2) を有してなる酸化膜 121 を成膜し、更に、角速度センサ 101 において最終的に下部電極 41, 54, 67 等にパターン形成される金属膜 122 を、アルミニウム (Al) 等の金属材料のスパッタリング又は蒸着等により成膜する。酸化膜 121 の膜厚は例えば $0.2 \mu\text{m}$ 程度であり、金属膜 122 の膜厚は例えば $0.1 \mu\text{m}$ 程度である。酸化膜 121 は、シリコン基板 S として抵抗率がおよそ $1000 \cdot \text{cm}$ 未満の低抵抗基板を使用する場合に、完成品の角速度センサ 101 において不要な容量成分が発生するのを防ぐために形成されるものである。従って、シリコン基板 S として、抵抗率がおよそ $1000 \cdot \text{cm}$ 以上の高抵抗基板を使用する場合には、酸化膜 121 は成膜しなくともよい。

【0058】

次に、図 14 (b) に示すように、所定のエッチングマスクを介して、金属膜 122 をエッチングする。エッチングは、ドライエッチング又はウェットエッチングで行う。ウェットエッチングの場合、エッチング液としては、リン酸、酢酸、硝酸等を主成分とするものなどを使用することができる。このエッチングによって、H 型振動子 10 に成形される領域に下部電極 41, 54, 67 がパターン形成され、フレーム 20 に形成される領域に下部電極パッド 81, 84, 87 がパターン形成され、且つ、これらを接続する配線 71, 74, 77 がパターン形成される。

【0059】

次に、図 14 (c) に示すように、シリコン基板 S に対して、ZnO, AlN, PZT 等の圧電材料をスパッタリング、蒸着、又は印刷等によって、圧電薄膜 123 を積層形成する。圧電薄膜 123 の膜厚は、H 型振動子 10 を所望の周波数で振動させるのに必要な膜厚、例えば $1 \mu\text{m}$ 程度である。そして、図 14 (d) に示すように、所定のエッチングマスクを介して、当該圧電薄膜 123 をエッチングする。このとき、ウェットエッチングを採用する場合、エッチング液としては、酢酸水溶液等を使用することができる。このエッチングによって、下部電極 41, 54, 67 に重なる圧電膜 42, 55, 68 がパターン形成される。

【0060】

次に、図 14 (e) に示すように、シリコン基板 S に対して、金属膜 114 を、Al 等の金属材料のスパッタリング又は蒸着等により成膜する。金属膜 114 の膜厚は例えば $1 \mu\text{m}$ 程度である。そして、図 14 (f) に示すように、所定のエッチングマスクを介して、当該金属膜 114 をエッチングする。エッチングは、ドライエッチング又はウェットエッチングで行う。ドライエッチングの場合、エッチングガスとしては、三塩化ホウ素 (BCl_3) 及び塩素 (Cl_2) の混合ガス等を使用することができる。このエッチングによって、圧電膜 42, 55, 68 に重なる上部電極 43, 56, 69 と、フレーム 20 に成形される領域の上部電極パッド 83, 86, 89 と、これらを接続する配線 73, 76, 79 とがパターン形成される。

【0061】

以上のようにして、シリコン基板 S 上において、駆動用圧電素子 40、検出用圧電素子 50, 60、及びこれらに伴う配線構造を形成した後、図 15 (a) に示すように、フォトリジスト 115 を、シリコン基板 S に対して積層する。次に、図 15 (b) に示すように、露光及び現像を経てフォトリジスト 115 をパターンニングすることで、図 11 又は図 12 に示すようなレジストパターン 116 を形成する。レジストパターン 116 は、角速度

10

20

30

40

50

センサ１０１における、Ｈ型振動子１０，フレーム２０，及びトーションバー３０に対応する平面視形態を有し、駆動用圧電素子４０及び検出用圧電素子５０，６０を覆っている。

【００６２】

次に、図１５（ｃ）に示すように、レジストパターン１１６を介して、シリコン基板Ｓを貫通するまで、Deep-RIEを行う。これによって、Ｈ型振動子１０と、フレーム２０と、トーションバー３０とが一体形成される。且つ、この際、溝２１～２４，３１～３４も一緒に形成される。この後、図１５（ｄ）に示すように、レジストパターン１１６を除去することによって、Ｈ型振動子１０と、フレーム２０と、トーションバー３０とが一体となつて、Ｈ型振動子１０上に駆動用圧電素子４０及び検出用圧電素子５０，６０が設けられた角速度センサ１０１が完成する。但し、本発明では、図１５（ｂ）に示す工程において、図１１又は図１２を参照して上述したように、レジストパターン１１６と共にエッチング幅調整用レジストパターン１１６'を形成しても良い。これによって、図１５（ｃ）に示す工程において、Deep-RIEによる各エッチング箇所のエッチングレートを同一とすることができる。

10

【００６３】

図１５では、図９に示す一連の工程の後における、Ｈ型振動子１０，フレーム２０，及びトーションバー３０の一体形成に際して、片面エッチングを採用する場合の工程を表した。本実施形態では、これに代えて、以下のような両面エッチングを採用することもできる。両面エッチングにおいては、まず、図１４に示す一連の工程の後、図１５（ａ）及び図１５（ｂ）を参照して説明した工程を経て、図１６（ａ）に示すような状態とする。即ち、シリコン基板Ｓに対してフォトレジスト１１５を積層し、露光及び現像を経てレジストパターン１１６を形成する。次に、図１６（ｂ）に示すように、レジストパターン１１６を介して、シリコン基板Ｓの中間位置まで、ウェットエッチングである結晶異方性エッチングを行う。これによって、Ｈ型振動子１０と、フレーム２０と、トーションバー３０との基板上位半分が形成されたこととなる。

20

【００６４】

次に、図１６（ｃ）に示すように、シリコン基板Ｓに対してフォトレジスト１１７を積層する。次いで、図１６（ｄ）に示すように、露光及び現像を経て、フォトレジスト１１７をパターニングしてレジストパターン１１８を形成する。次に、図１６（ｅ）に示すように、レジストパターン１１８を介して、シリコン基板Ｓの中間位置にて貫通するまで、結晶異方性エッチングを行う。これによって、Ｈ型振動子１０と、フレーム２０と、トーションバー３０とが一体形成される。この後、図１６（ｆ）に示すように、レジストパターン１１６，１１８を除去することによって、Ｈ型振動子１０と、フレーム２０と、トーションバー３０とが一体となつて、Ｈ型振動子１０上に駆動用圧電素子４０及び検出用圧電素子５０，６０が設けられた角速度センサ１０１が完成する。但し、本発明では、図１６（ａ）及び図１６（ｂ）に示す工程において、図１１又は図１２を参照して上述したように、レジストパターン１１６，１１８と共にエッチング幅調整用レジストパターンを形成してもよい。これによって、図１６（ｂ）及び図１６（ｅ）に示す工程において、結晶異方性エッチングによる各エッチング箇所のエッチングレートを同一とすることができる。

30

40

【００６５】

また、以上の製造方法では、スパッタリング又は蒸着法等を用いて駆動用圧電素子４０及び検出用圧電素子５０，６０を形成する場合を例に挙げていた。本実施形態では、これに代えて、駆動用圧電素子４０及び検出用圧電素子５０，６０を形成する領域に導電性の樹脂を塗布し、これにバルクのＰＺＴ等の圧電体（圧電膜４２，５５，６８）を接着するように構成することも可能である。この際、塗布しておいた導電性の樹脂は、下部電極４１，５４，６７として機能する。また、圧電膜４２，５５，６８には予め上部電極４３，５６，６９を形成しておくとも良い。このほか、下部電極４１，５４，６７を上述と同様にスパッタリング又は蒸着法等で形成し、且つ、圧電体（圧電膜４２，５５，６８）における下部電極４１，５４，６７との接着面に金属膜を形成しておき、両者を直接接合により接

50

合するように構成することも可能である。この際、同様に、圧電膜 42, 55, 68 には予め上部電極 43, 56, 69 を形成しておくが良い。

【0066】

また、以上では、H型振動子 10 とフレーム 20 とトーションバー 30 とを一体形成する場合について例を挙げたが、本実施形態では、これに限定されず、例えば図 17 に示すように、H型振動子 10 及びトーションバー 30 と、フレーム 20 とを個別に形成し、これらを接合することで、角速度センサ 101 を作製することも可能である。

【0067】

更に、本実施形態では、図 7 に示すような、駆動用圧電素子 40 が又部 11' に接する支持部 11 上に形成された角速度センサ 100a を発展させた場合を例に挙げたが、歪みが最も発生する部位を考慮した場合、図 1 に示すような、駆動用圧電素子 40 が又部 11' の側端を取り囲むように形成された角速度センサ 100 に適用することもできる。この場合の構成及び製造方法は、上述より容易に想到し得るため、ここでは説明を省略する。

10

【0068】

〔第 2 の実施形態〕

次に、本発明の第 2 の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。尚、以下の説明において、上述と同一の構成には、同一の符号を付して説明を省略する。

【0069】

図 18 は、本実施形態に係る角速度センサ 102 の構成を示す平面図である。図 18 に示すように、角速度センサ 102 は、図 1, 図 7 及び図 8 に示す角速度センサ 100, 100a, 101 と同様に、H型振動子 10 と、フレーム 20 とこれらを連結する一对のトーションバー 30 と、H型振動子 10 に設けられた駆動用圧電素子 40 及び一对の検出用圧電素子 50, 60 とを有する。

20

【0070】

この構成において、本実施形態では、第 1 の実施形態における溝 21 ~ 24, 31 ~ 34 の代わりに、貫通穴 25, 26 が設けられている。この貫通穴 25, 26 は、支持部 11 の剛性を H型振動子 10 の中心 (= 支持部 11 の中心) に対して点対称に低減させ、支持部 11 にバネ性を持たせるための構成である。即ち、H型振動子 10 の中心に点対称に 1 つ以上の貫通穴 25, 26 を設けることで、支持部 11 の剛性が対称性良く低下する。貫通穴 25, 26 の寸法は、例えばアームの延在方向と垂直方向の長さ L13 を 300 μm 程度とし、アームの延在方向の長さ L14 を 100 μm 程度とする。このような貫通穴 25, 26 を複数設けることにより、駆動用圧電素子 40 による歪み量及び検出用圧電素子 50, 60 に入力される変位量が増加し、角速度センサ 102 の感度を向上させることが可能となる。

30

【0071】

これを図 19 を用いて詳細に説明する。尚、図 19 では、H型振動子 10 の第 1 アーム 12a, 12b 及び支持部 11 にのみ着目し、且つ第 1 アーム 12a, 12b が開く若しくは閉じる場合を例に挙げて説明する。図 19 (a) に示すように、アームを駆動用圧電素子 40 を用いて開いた場合、若しくは、図 19 (b) に示すように、アームを閉じた場合、支持部 11 には図示するような変形力が加わる。この変形力は、支持部 11 の中央 (対称面 A1 - A1 が延在する位置を中央とする) 付近と外側付近とで相反する方向へ働いている。支持部 11 の剛性が高いと、生じた変形力により変形する量 (変形量) が少ない。このため、検出用圧電素子 50, 60 に入力する変位量も小さい。そこで、本実施形態のように、H型振動子 10 の中心 C に対して対称に複数の貫通穴 25, 26 を設けて支持部 11 の剛性を低下させる。これにより、支持部 11 中央と外側との変位量が大きくなる。即ち、検出用圧電素子 50, 60 に入力する変位量が大きくなり、結果として、角速度センサ 102 の感度を向上させることができる。但し、支持部 11 の中央及び外側付近貫通穴を設けた場合、発生した変形力が減衰してしまう。このため、支持部 11 における中央側と外側との相対する変位を有効に生み出すために、貫通穴 25, 26 を設ける位置は、支持部 11 の中央及び外側以外の領域とすることが好ましい。尚、他の構成は、上述した

40

50

第 1 の実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【 0 0 7 2 】

また、参考として、貫通穴を点対称に 2 つ以上、例えば 4 つ (2 5 a , 2 5 b , 2 6 a , 2 6 b) 設けた場合の H 型振動子 1 0 の概略構成を図 2 0 の平面図に示す。

【 0 0 7 3 】

また、本実施形態による角速度センサ 1 0 2 の製造方法では、例えば図 2 1 又は図 2 2 に示すような、貫通穴 2 5 , 2 6 を形成するための穴 2 5 ' , 2 6 ' を有するレジストパターン 1 1 6 が用いられる。このほかの工程は、上述した第 1 の実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【 0 0 7 4 】

10

〔 第 3 の実施形態 〕

次に、本発明の第 3 の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。上記した基本構成では、駆動用圧電素子 4 0 と検出用圧電素子 5 0 , 6 0 とを H 型振動子 1 0 における表面 (又は裏面) であって同一面上に形成していた。本発明では、これに限らず、例えば駆動用圧電素子 4 0 及び / 又は検出用圧電素子 5 0 , 6 0 を第 1 アーム 1 2 a , 1 2 b 又は第 2 アーム 1 3 a , 1 3 b の胴体側面であって、これらが配置された面と垂直を成す面 (これを側面とする) に形成することも可能である。以下、これを第 3 の実施形態として例を挙げて説明する。但し、以下の説明では、駆動用圧電素子 4 0 を側面に形成した場合を例に挙げて説明する。

【 0 0 7 5 】

20

図 2 3 は、本実施形態による角速度センサ 1 0 3 の構成を示す平面図である。図 2 3 に示すように、角速度センサ 1 0 3 における駆動用圧電素子 4 0 a , 4 0 b , 4 0 c , 4 0 d は、各々の第 1 アーム 1 2 a , 1 2 b の両側面に形成される。

【 0 0 7 6 】

上述において例えば図 4 又は図 1 9 を用いて説明したように、駆動モードにおける第 1 アーム 1 2 a , 1 2 b の側面は、印加された高周波信号に基づいて伸縮を繰り返す。従って、圧電定数 d_{31} (p C / N) を有効に使うために、アームの側面に d_{31} が大きな圧電素子を成膜する。これにより、効率良くアームを駆動させることが可能となる。ここで、図 2 3 における線 V I - V I に沿った断面構成を図 2 4 (a) に示す。

【 0 0 7 7 】

30

図 2 4 (a) に示すように、第 1 アーム 1 2 a の外側の側面には、下部電極 4 3 a と圧電膜 4 2 a と上部電極 4 1 a とが積層された駆動用圧電素子 4 0 a が形成され、内側の側面には、同じく、下部電極 4 3 b と圧電膜 4 2 b と上部電極 4 1 b とが積層された駆動用圧電素子 4 0 b が形成されている。また、第 1 アーム 1 2 b も同様に、外側の側面に下部電極 4 3 a と圧電膜 4 2 a と上部電極 4 1 a とが積層された駆動用圧電素子 4 0 a が形成され、内側の側面に下部電極 4 3 b と圧電膜 4 2 b と上部電極 4 1 b とが積層された駆動用圧電素子 4 0 b が形成されている。それぞれの下部電極及び上部電極は、同一のアームに関わる 2 つ (上部電極及び下部電極、又は、上部電極 / 下部電極同士) が 1 組となってフレーム 2 0 上に設けられた電極パッド 8 3 a , 8 3 c 又は電極パッド 8 1 a , 8 1 c に接続される。例えば図 2 5 (a) では、アーム毎において、上部電極同士又は下部電極同士を共通に接続した場合の回路構成を示し、また、図 2 5 (b) では、アーム毎において、異なる駆動用圧電素子間の上部電極及び下部電極をそれぞれ共通に接続した場合の回路構成を示す。図 2 5 中の矢印は分極方向を示す。尚、図 2 3 では、アーム毎において、上部電極同士又は下部電極同士を共通に接続した場合の構成を示している。更に、図 2 3 では、ボンディングされた金 (A u) や銅 (C u) やアルミニウム (A l) 等のワイヤ 7 1 a ' , 7 1 b ' , 7 1 c ' , 7 1 d ' , 7 3 a ' , 7 3 b ' , 7 3 c ' , 7 3 d ' を介して各電極と電極パッドとが相互に接続されている。

40

【 0 0 7 8 】

一方、検出モードは、駆動振動と直行する方向に振動を行うモードであるので、アームの表裏面が伸縮を繰り返す。従って、圧電定数 d_{31} (p C / N) が大きな圧電素子を第 2

50

アーム 13a, 13b の表裏面に成膜することで、効率よく検出信号を得ることが可能となる。ここで、図 23 における線 V I I - V I I に沿った断面形状を図 24 (b) に示す。

【0079】

図 24 (b) に示すように、第 2 アーム 13a (13b : 以下、13b 側を括弧付きで説明する) の何れか一方の主面 (これを表面とする) には、下部電極 54a (67a) と圧電体 55a (68a) と上部電極 56a (69a) とが積層された検出用圧電素子 50a (60a) が形成されている。また、第 2 アーム 13a (13b) の裏面には、下部電極 54b (67b) と圧電体 55b (68b) と上部電極 56b (69b) とが積層された検出用圧電素子 50b (60b) が形成されている。即ち、本実施形態において第 2 アーム 13a (13b) には、2 つの検出用圧電素子 50a, 50b (60a, 60b) が表裏面にそれぞれ形成されている。

10

【0080】

このような検出回路側の回路構成は、分極方向との組み合わせより多数のパターンが考えられる。このなかで、差動検出により外来ノイズを極力抑えるように構成した場合の回路構成を図 26 に示す。図 26 中の矢印は分極方向を示す。このように第 2 アーム 13a, 13b を挟み込むように形成した検出用圧電素子 50a 及び 50b, 60a 及び 60b から出力される信号を差動信号として使用することで、S/N 比を向上させ、結果として検出感度を向上させることが可能となる。尚、図 26 (a) は、アーム毎において、上部電極同士又は下部電極同士を共通に接続した場合の回路構成を示し、また、図 26 (b) では、アーム毎において、異なる駆動用圧電素子間の上部電極及び下部電極をそれぞれ共通に接続した場合の回路構成を示す。

20

【0081】

本実施形態による検出用圧電素子 50a, 50b, 60a, 60b は、第 1 の実施形態で説明した検出用圧電素子 50, 60 の製造工程を、シリコン基板 S の表裏面に対して行うことで形成できる。また、駆動用圧電素子 40a, 40b, 40c, 40d は、例えば駆動用圧電素子を形成する領域に導電性の樹脂を塗布し、これにバルクの PZT 等の圧電体 (圧電膜 42a, 42b, 42c, 42d) を接着するように構成することも可能である。この際、塗布しておいた導電性の樹脂は、下部電極 41a, 41b, 41c, 41d として機能する。また、圧電膜 42a, 42b, 42c, 42d には予め上部電極 43a, 43b, 43c, 43d を形成しておく方が良い。このほか、下部電極 41a, 41b, 41c, 41d を上述と同様にスパッタリング又は蒸着法等で形成し、且つ、圧電体 (圧電膜 42a, 42b, 42c, 42d) における下部電極 41a, 41b, 41c, 41d との接着面に金属膜を形成しておき、両者を直接接合により接合するように構成することも可能である。この際、同様に、圧電膜 42a, 41b, 41c, 41d には予め上部電極 43a, 43b, 43c, 43d を形成しておく方が良い。

30

【0082】

また、本実施形態では、1 つのアームにおいて、対向する平行な 2 面にそれぞれ駆動用圧電素子又は検出用圧電素子を形成したが、本発明ではこれに限定されず、例えば第 1 アーム 12a, 12b の外側の面にだけ、駆動用圧電素子 (40a, 40c) を形成する構成としても、1 つのアームに駆動用圧電素子と検出用圧電素子との双方を形成する構成としても良い。

40

【0083】

以上のように構成することで、圧電体の圧電定数 d_{31} を有効に活用することが可能となり、アームの駆動効率及び検出回路での検出感度を向上させることが可能である。尚、他の構成及び製造方法については、上述した第 1 の実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0084】

〔第 4 の実施形態〕

また、上述の第 1 の実施形態における溝 21 ~ 24, 31 ~ 34 の他の構成例を以下に第

50

2の実施形態として図面を用いて詳細に説明する。図27(a)は、本実施形態による角速度センサ104の第1アーム12a, 12bの付け根部分を拡大した部分上面図である。また、図27(a)の線I V - I Vに沿った断面形状を(b)に示す。

【0085】

図27(a)及び(b)に示すように、本実施形態による溝27a, 27bは、第1アーム12a, 12bの付け根部分を外周するように形成されている。この溝27a, 27bの深さL12は、例えば均一で、第1の実施形態における溝21~24, 31~34の深さと同じである。これにより、この部分の剛性が低下し、角速度センサ104の感度をより向上させることが可能となる。尚、本実施形態では、同様の溝が第2アーム13a, 13bの付け根部分にも形成される。

10

【0086】

このような溝27a, 27b(但し、第2アーム側に形成する溝も含む)は、第1の実施形態における図15(c)で示した工程の後又は前に、表面及び裏面に形成する溝部分に対応する領域が開口されたフォトレジストを形成し、この開口部分を深さを制御しつつエッチングすることで形成される。尚、他の構成及び製造方法は、上述した第1の実施形態と同様であるため、ここでは説明を省略する。

【0087】

〔第5の実施形態〕

また、本発明を好適に実施した第5の実施形態を以下に図面を用いて詳細に説明する。但し、本実施形態では上述の第1の実施形態による角速度センサ101を基礎とした形態について例を挙げて説明する。

20

【0088】

図28は、本発明の第5の実施形態に係る角速度センサ105の平面図である。図29は、図28の線X I I I - X I I Iに沿った断面図である。角速度センサ105は、駆動用圧電素子40, 検出用圧電素子50, 60、及び配線構造の一部の形態において、下部電極41と、上部電極43と、これらに挟まれた圧電体42'とを含む積層構造を有する。圧電体42'は、100 μ m程度の厚みを有する。下部電極41は、一方のトーションバー30の上を通過してパターン形成された配線71を介して駆動下部電極パッド81に接続されている。上部電極43は、ワイヤ73'を介して駆動上部電極パッド83に接続されている。ワイヤ73'は例えば金で構成される。圧電体42'は、ZnO, AlN, PZT等によって構成される。また、電極41, 43は、Al, Cu, Au等によって構成される。但し、本発明においては、駆動用圧電素子40の圧電体42'と下部電極41との間に、圧電素子の下部電極の一部として、更に、Al, Cu, Au等により構成される金属膜を介在させても良い。

30

【0089】

検出用圧電素子50は、下部電極54と、上部電極56と、これらに挟まれた圧電体55'とを含む積層構造を有する。下部電極54は、一方のトーションバー30の上を通過してパターン形成された配線74を介して検出下部電極パッド84に接続されている。上部電極56は、例えば金を含んで構成されたワイヤ76'を介して検出上部電極パッド86に接続されている。また、検出用圧電素子60は、下部電極67と、上部電極69と、これらに挟まれた圧電体68'とを含む積層構造を有する。下部電極67は、一方のトーションバー30の上を通過してパターン形成された配線77を介して検出下部電極パッド87に接続されている。上部電極69は、例えば金を含むワイヤ79'を介して検出上部電極パッド89に接続されている。圧電体55', 68'は、100 μ m程度の厚みを有し、ZnO, AlN, PZT等を含んで構成される。また、電極54, 56, 67, 69は、Al, Cu, Au等を含んで構成される。但し、本発明において、検出用圧電素子50の圧電体55'と下部電極54との間に、圧電素子の下部電極の一部として、更に、Al, Cu, Au等を含んで構成される金属膜を介在させても良い。同様に、検出用圧電素子60の圧電体68'と下部電極67との間に、圧電素子の下部電極の一部として、更に、Al, Cu, Au等を含んで構成される金属膜を介在させても良い。また、本発明では、フレ

40

50

ーム 20 上に設けられた上部電極パッド 83, 86, 89 を有しない構造を採用すること
もできる。その場合、上部電極 43, 56, 69 に接続するワイヤ 73', 76', 79'
'の一端は、角速度センサ 105 のための駆動回路又は検出回路に対して直接に接続され
る。

【0090】

このような構成の角速度センサ 105 において、駆動用圧電素子 40 に対して所定の交流
電圧を印加すると、圧電体 42' が逆圧電効果によって伸縮する。これに起因して、H 型
振動子 10 における一对の第 1 アーム 12a, 12b 及び一对の第 2 アーム 13a, 13
b は、図 28 における X 軸方向において面内振動 V1, V2 する。このように H 型振動子
10 を定常的に振動させた状態において、H 型振動子 10 が Z 軸回りに角速度 で回転す
ると、H 型振動子 10 の振動モードは変わり、H 型振動子 10 は面垂直方向即ち Y 軸方向
にも振動するようになる。H 型振動子 10 における Y 軸に垂直な面の歪みは、検出用圧電
素子 50, 60 の圧電体 55', 68' による圧電効果に基づいて検出され、検出用圧電
素子 50, 60 からは、角速度 に比例した出力が得られる。検出用圧電素子 50, 60
からの検出信号は、例えば図 6 に示すような検出回路で取得することができる。

10

【0091】

角速度センサ 105 の有する駆動用圧電素子 40 及び検出用圧電素子 50, 60 の圧電体
42', 55', 68' は、角速度センサ 101 における圧電膜 42, 55, 68 よりも
分厚く、従って圧電定数の大きなものが得られ易い。このような駆動用圧電素子 40 及び
検出用圧電素子 50, 60 を備えているため、圧電定数の観点から、角速度センサ 105
は角速度センサ 101 よりも高性能化を図ることが可能である。尚、他の構成、例えば第
1 アーム 12a, 12b 及び第 2 アーム 13a, 13b の根元に設けられた溝 21 ~ 24
, 31 ~ 34 の構成は、第 1 の実施形態と同様であり、これから得られる効果も同様であ
るため、ここでは説明を省略する。

20

【0092】

次に、図 30 及び図 31 を用いて角速度センサ 105 の製造方法の一例を示す。図 30 及
び図 31 は、製造工程における、図 28 の線 X I I I - X I I I に沿った断面形状の様子
を表す。まず、図 30 (a) に示すように、シリコン基板 S に対して、熱酸化法等により
酸化膜 121 を成膜し、更に、角速度センサ 105 において最終的に下部電極 41, 54
, 67 等にパターン形成される金属膜 122 を成膜する。但し、シリコン基板 S として抵
抗率がおよそ 1000 \cdot cm 以上の高抵抗基板を使用する場合には、酸化膜 121 は成
膜しなくとも良い。次に、図 30 (b) に示すように、所定のエッチングマスクを介して
、金属膜 122 をエッチングする。このエッチングによって、H 型振動子 10 に成形され
る領域に下部電極 41, 54, 67 がパターン形成され、フレーム 20 に成形される領域
に下部電極パッド 81, 84, 87 がパターン形成され、且つ、これらを接続する配線 7
1, 74, 77 がパターン形成される。このとき、フレーム 20 に成形される領域には、
上部電極パッド 83, 86, 89 も形成される。酸化膜 121 及び金属膜 122 について
、構成材料、成膜手段及びエッチング手法は、図 14 (a) 及び図 14 (b) を参照して
第 1 の実施形態に係る角速度センサ 101 に関して上述したのと同様である。

30

【0093】

次に、図 30 (c) に示すように、フォトリジスト 115 を、シリコン基板 S に対して積
層する。次に、図 30 (d) に示すように、露光及び現像を経てフォトリジスト 115 を
パターンニングしてレジストパターン 116 を形成する。レジストパターン 116 は、角速
度センサ 105 における、H 型振動子 10, フレーム 20, 及びトーションバー 30 に対
応する平面視形態を有し、下部電極 41, 54, 67、下部電極パッド 81, 84, 87
、これらを連結する配線 71, 74, 77、及び上部電極パッド 83, 86, 89 を覆っ
ている。更に、第 1 の実施形態と同様に、レジストパターン 116 には溝 21 ~ 24, 3
1 ~ 34 を形成するための窪み 21' ~ 24', 31' ~ 34' も含まれている。

40

【0094】

次に、図 31 (a) に示すように、レジストパターン 116 を介して、シリコン基板 S を

50

貫通するまで Deep - R I E を行う。これによって、角速度センサ 1 0 5 における、H 型振動子 1 0 と、フレーム 2 0 と、トーションバー 3 0 とが一体成形される。この後、図 3 1 (b) に示すように、レジストパターン 1 1 6 を除去する。

【 0 0 9 5 】

次に、図 3 1 (c) に示すように、予め上部電極 4 3 , 5 6 , 6 9 が貼り合わされている圧電体 4 2 ' , 5 5 ' , 6 8 ' を、下部電極 4 1 , 5 4 , 6 7 上に形成する。例えば圧電体 4 2 ' , 5 5 ' , 6 8 ' を下部電極 4 1 , 5 4 , 6 7 上に接着する場合には、導電性接着剤が用いられる。予め上部電極 4 3 , 5 6 , 6 9 が貼り合わされている圧電体 4 2 ' , 5 5 ' , 6 8 ' は、パルクの圧電材料の所定面に金属膜を成膜した後に所望の形状に加工することによって用意される。圧電体 4 2 ' , 5 5 ' , 6 8 ' は、Z n O , A l N , P Z T 等を含んで構成され、1 0 0 μ m 程度の厚みを有する。上部電極 4 3 , 5 6 , 6 9 は、A l , C u , A u 等のスパッタリングや蒸着により圧電体 4 2 ' , 5 5 ' , 6 8 ' 上に成膜されたものである。下部電極 4 1 , 5 4 , 6 7 上への形成の後、圧電体 4 2 ' , 5 5 ' , 6 8 ' と、H 型振動子 1 0 上に予め形成されていた下部電極 4 1 , 5 4 , 6 7 との間に圧電を印加することによって行う。

10

【 0 0 9 6 】

圧電体 4 2 ' , 5 5 ' , 6 8 ' には、上部電極 4 3 , 5 6 , 6 9 の成膜と共に、上部電極 4 3 , 5 6 , 6 9 とは反対側に、下部電極の一部としての金属膜を成膜しても良い。そのような圧電体 4 2 ' , 5 5 ' , 6 8 ' は、圧電材料の所定の 2 面に金属膜を成膜した後に所望の形状に加工することによって用意される。この場合、圧電体 4 2 ' , 5 5 ' , 6 8 ' を下部電極 4 1 , 5 4 , 6 7 上に設ける前に、圧電体 4 2 ' , 5 5 ' , 6 8 ' に対する分極処理を行うことができる。この分極処理は、上部電極 4 3 , 5 6 , 6 9 と、これとともに形成された金属膜との間に圧電を印加することによって行う。分極処理の後、圧電体 4 2 ' , 5 5 ' , 6 8 ' を前述の金属膜を介して下部電極 4 1 , 5 4 , 6 7 上に設ける。例えば導電性接着剤を用いることによって、圧電体 4 2 ' , 5 5 ' , 6 8 ' を前述の金属膜を介して下部電極 4 1 , 5 4 , 6 7 上に形成することができる。

20

【 0 0 9 7 】

次に、図 3 1 (d) に示すように、上部電極 4 3 , 5 6 , 6 9 と、これに対応する上部電極パッド 8 3 , 8 6 , 8 9 とを、例えば金を含むワイヤ 7 3 ' , 7 6 ' , 7 9 ' のワイヤボンディング等により接続する。これによって、H 型振動子 1 0 と、フレーム 2 0 と、トーションバー 3 0 とが一体となって、H 型振動子 1 0 上に駆動用圧電素子 4 0 および検出用圧電素子 5 0 , 6 0 が設けられた角速度センサ 1 0 5 が完成する。但し、本実施形態では、図 3 0 (d) に示す工程において、図 1 1 及び図 1 2 を参照して上述したように、レジストパターン 1 1 6 と共にエッチング幅調整用レジストパターン 1 1 6 ' を形成しても良い。これによって、図 3 1 (a) に示す工程において、Deep - R I E による各エッチング箇所のエッチングレートを同一とすることができる。また、H 型振動子 1 0 とフレーム 2 0 とトーションバー 3 0 とを一体成形する際、第 1 の実施形態の角速度センサ 1 0 1 の製造方法における図 1 6 (d) に示す工程にて示した結晶異方性エッチングによる両面エッチングを採用しても良い。

30

【 0 0 9 8 】

尚、上述では、第 1 の実施形態を基礎として説明したが、このほか、例えば第 2 又は第 3 の実施形態を基礎として、本実施形態を実現することも可能である。

40

【 0 0 9 9 】

〔 第 6 の実施形態 〕

次に、本発明の第 6 の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。但し、本実施形態では、図 1 に示す基本構成を利用した第 1 の実施形態を基礎とした概略形態について例を挙げて説明する。

【 0 1 0 0 】

図 3 2 は、本実施形態に係る角速度センサ 1 0 6 の構成を示す平面図である。角速度センサ 1 0 6 は、検出用圧電素子の配設態様が角速度センサ 1 0 1 と異なる。具体的には、検

50

出用圧電素子 70 が、支持部 11 と第 1 アーム 12 a との接合部に設けられ、検出用圧電素子 80 が、支持部 11 と第 1 アーム 12 b との接合部に設けられている。検出用圧電素子 70, 80 は、各々検出用圧電素子 50, 60 と同様な積層構造を有しており、H 型振動子 10 の対称面 A1 - A1 について対称に配設されている。これによって、H 型振動子 10 の振動バランスを保つことができるので、長期間にわたってドリフトの増大を防ぎ、角速度センサ 106 の信頼性を確保することが可能となる。他の構成については、角速度センサ 101 に関して上述したのと同様であるため、ここでは説明を省略する。尚、説明の簡略化のため、配線構造は省略する。また、上述のように、H 型振動子 10 においては、支持部 11 とアームの接合部が最も歪むので、本実施形態の検出用圧電素子の配設態様によっても、角速度センサ 101 と略同様に角速度を検出することが可能である。尚、本実施形態の駆動用圧電素子 40 及び検出用圧電素子 70, 80 は、第 5 の実施形態に係る分厚い圧電体を用いて構成しても良い。

10

【0101】

〔第 7 の実施形態〕

次に、本発明の第 7 の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。但し、本実施形態では、図 1 に示す基本構成を利用した第 1 の実施形態を基礎とした概略形態について例を挙げて説明する。

【0102】

図 33 は、本実施形態に係る角速度センサ 107 の構成を示す平面図である。角速度センサ 107 は、駆動用圧電素子及び検出用圧電素子の配設態様が角速度センサ 101 と異なる。具体的には、支持部 11 と第 1 アーム 12 a, 12 b との接合部には、一对の検出用圧電素子 70, 80 が設けられており、支持部 11 と第 2 アーム 13 a, 13 b との接合部には、第 2 アーム 13 a と支持部 11 と第 2 アーム 13 b とにわたって駆動用圧電素子 40' が設けられると共に、一对の検出用圧電素子 70', 80' が設けられている。検出用圧電素子 70 及び検出用圧電素子 70' は、H 型振動子 10 の対称面 A1 - A1 について、検出用圧電素子 80 及び検出用圧電素子 80' に対して対称に配設されている。これと共に、駆動用圧電素子 40' 及び検出用圧電素子 70', 80' は、対称面 A1 - A1 に直行する面 A5 - A5 について、駆動用圧電素子 40 及び検出用圧電素子 70, 80 に対して対称に配設されている。これによって、H 型振動子 10 の振動バランスは均一に保たれている。他の構成については、角速度センサ 101 に関して上述したのと同様であるため、ここでは説明を省略する。尚、説明の簡略化のため、配線構造は省略する。また、上述のように、H 型振動子 10 においては、支持部 11 とアームの接合部とが最も歪むので、本実施形態の検出用圧電素子の配設態様によっても、角速度センサ 101 と略同様に角速度を検出することが可能である。尚、本実施形態の駆動用圧電素子 40, 40' 及び検出用圧電素子 70, 70', 80, 80' は、第 5 の実施形態に係る分厚い圧電体を用いて構成しても良い。

20

30

【0103】

〔第 8 の実施形態〕

次に、本発明の第 8 の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。但し、本実施形態では、図 1 に示す基本構成を利用した第 1 の実施形態を基礎とした概略形態について例を挙げて説明する。

40

【0104】

図 34 は、本実施形態に係る角速度センサ 108 の構成を示す平面図である。角速度センサ 108 は、駆動用圧電素子の配設態様が角速度センサ 101 と異なる。具体的には、駆動用圧電素子 40 に加えて、駆動用圧電素子 45, 46 が、支持部 11 と第 1 アーム 12 a, 12 b との接合部に設けられている。駆動用圧電素子 40, 45, 46 は、H 型振動子 10 の対称面 A1 - A1 について対称に配設され、H 型振動子 10 のバランスが保たれている。他の構成については、角速度センサ 108 の駆動に際しては、駆動用圧電素子 40 と駆動用圧電素子 45, 46 とに対して、各々、図 35 に示すような逆位相の電位信号を印加することによって、各々の圧電素子の振動乃至伸縮を逆位相にし、各アームの面内

50

方向の振動量を、単一の駆動用圧電素子 40 によって駆動される角速度センサ 101 に比べて大きくすることができる。これによって、角速度センサ 108 の感度が向上し、高性能化が図られる。他の構成については、角速度センサ 101 に関して上述したのと同様であるため、ここでは説明を省略する。尚、説明の簡略化のため、配線構造は省略する。また、本実施形態の駆動用圧電素子 40, 45, 46 及び検出用圧電素子 50, 60 は、第 5 の実施形態に係る分厚い圧電体を用いて構成しても良い。

【0105】

〔第 9 の実施形態〕

次に、本発明の第 9 の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。但し、本実施形態では、図 1 に示す基本構成を利用した第 1 の実施形態を基礎とした概略形態について例を

10

【0106】

図 36 は、本実施形態に係る角速度センサ 109 の構成を示す平面図である。角速度センサ 109 は、駆動用圧電素子の配設態様が角速度センサ 101 と異なる。具体的には、駆動用圧電素子 40 に加えて、駆動用圧電素子 45, 46, 47, 48 が、支持部 11 と第 1 アーム 12a, 12b との接合部に設けられている。駆動用圧電素子 40, 45, 46, 47, 48 は、H 型振動子 10 の対称面 A1 - A1 について対称に配設され、H 型振動子 10 のバランスが保たれている。他の構成については、角速度センサ 101 に関して上述したのと同様である。角速度センサ 109 の駆動に際しては、駆動用圧電素子 40, 45, 46, 47, 48 に対して、各々、図 37 に示すような振幅の異なる電位信号を印加することによって、各々の圧電素子の振動乃至伸縮の歪みの大きさを代え、各アームの面内方向の振動量を、単一の駆動用圧電素子 40 によって駆動される角速度センサ 101 に比べて、大きくすることができる。その結果、角速度センサ 109 の感度が向上し、高性能化が図られる。他の構成については、角速度センサ 101 に関して上述したのと同様であるため、ここでは説明を省略する。尚、説明の簡略化のため、配線構造は省略する。また、本実施形態の駆動用圧電素子 40, 45, 46, 47, 48 及び検出用圧電素子 50, 60 は、第 5 の実施形態に係る分厚い圧電体を用いて構成しても良い。

20

【0107】

〔第 10 の実施形態〕

次に、本発明の第 10 の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。但し、本実施形態では、図 1 に示す基本構成を利用した第 1 の実施形態を基礎とした概略形態について例を

30

【0108】

図 38 は、本実施形態に係る角速度センサ 110 の構成を表す。図 38 (a) は角速度センサ 110 の平面図であり、図 38 (b) は図 38 (a) の線 B2 - B2 から見た矢視図である。角速度センサ 110 は、角速度センサ 101 の第 1 アーム 12a, 12b 及び第 2 アーム 13a, 13b の各々の先端に嵩高部 91 が形成された構成をとる。嵩高部 91 は、H 型振動子 10 の対称面 A1 - A1 及び対称面 A2 - A2 について対称に配設されて、H 型振動子 10 のバランスが保たれ、これによって、H 型振動子 10 の雑音モード等が防がれている。他の構成については、角速度センサ 101 に関して上述したのと同様であるため、ここでは説明を省略する。尚、説明の簡略化のため、配線構造は省略する。このように、H 型振動子 10 のアームの先端形状をアームの基礎部分よりも大きくすることにより、大きなコリオリ力を発生させることができる。すると、検出モードにおけるアームの振動変位量が大きくなり、角速度センサ 110 の高感度化が図られる。尚、本実施形態の駆動用圧電素子 40 及び検出用圧電素子 50, 60 は、第 5 の実施形態に係る分厚い圧電体を用いて構成しても良い。

40

【0109】

〔第 11 の実施形態〕

次に、本発明の第 11 の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。但し、本実施形態では、図 1 に示す基本構成を利用した第 1 の実施形態を基礎とした概略形態について例

50

を挙げて説明する。

【 0 1 1 0 】

図 3 9 は、本発明の第 1 1 の実施形態に係る角速度センサ 1 1 1 を表す。図 3 9 (a) は角速度センサ 1 1 1 の平面図であり、図 3 9 (b) は図 3 9 (a) の線 B 3 - B 3 から見た矢視図である。角速度センサ 1 1 1 は、角速度センサ 1 0 1 の第 1 アーム 1 2 a , 1 2 b 及び第 2 アーム 1 3 a , 1 3 b の各々の先端に重り部 9 2 が設けられていた構成をとる。重り部 9 2 は、H 型振動子 1 0 の対称面 A 1 - A 1 について対称に配設され、これによって H 型振動子 1 0 のバランスが保たれている。また、図示していないが、表裏面に対称に重り部を配設すれば更なるバランス確保に伴うドリフトの向上および感度向上が可能であることは言うまでも無い。他の構成については、角速度センサ 1 0 1 に関して上述したのと同様であるため、ここでは説明を省略する。尚、説明の簡略化のため、配線構造は省略する。このように、H 型振動子 1 0 のアーム先端部に重り部 9 2 を設けると、H 型振動子 1 0 の振動時に、アームに対してより大きなコリオリ力が発生する。すると、検出モードにおけるアームの振動変位量が大きくなり、角速度センサ 1 1 1 の高感度化を図ることができる。尚、本実施形態の駆動用圧電素子 4 0 及び検出用圧電素子 5 0 , 6 0 は、第 5 の実施形態に係る分厚い圧電体を用いて構成しても良い。

10

【 0 1 1 1 】

〔 第 1 2 の実施形態 〕

次に、本発明の第 1 2 の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。但し、本実施形態では、図 1 に示す基本構成を利用した第 1 の実施形態を基礎とした概略形態について例

20

【 0 1 1 2 】

図 4 0 は、本実施形態に係る角速度センサ 1 1 2 の構成を示す平面図である。角速度センサ 1 1 2 は、角速度センサ 1 0 1 とは異なる H 型振動子 1 0 ' を備える。具体的には、H 型振動子 1 0 ' は、支持部 1 1 と、当該支持部 1 1 よりも短い第 1 アーム 1 2 a , 1 2 b 及び第 2 アーム 1 3 a , 1 3 b とを備える。より具体的には、例えば本実施形態の支持部 1 1 の長さ L 1 は 3 0 0 0 μ m であり、アームの長さ L 3 は 1 5 0 0 μ m である。支持部 1 1 の長さをアーム長さ L 3 以上にするこことで、H 型振動子 1 0 の支持部 1 1 において、捩れ振動が少ない部位が増加し、これによってトーションバー 3 0 の形成が容易となる。即ち、支持部 1 1 がアーム長に対して長いことから、トーションバー 3 0 を大きくすることができ、実質的な機械的強度を増加させて信頼性を向上させることができる。具体的には、本実施形態では、トーションバー 3 0 の幅 L 7 は 8 0 0 μ m である。尚、他の構成については、角速度センサ 1 0 1 に関して上述したのと同様であるため、ここでは説明を省略する。尚、説明の簡略化のため、配線構造は省略する。また、他の実施形態の駆動用圧電素子 4 0 及び検出用圧電素子 5 0 , 6 0 は、第 5 の実施形態に係る分厚い圧電体を用いて構成してもよい。

30

【 0 1 1 3 】

〔 第 1 3 の実施形態 〕

図 4 1 は、本発明の第 1 3 の実施形態に係る角速度センサ 1 1 3 を表す。角速度センサ 1 1 3 では、センサ部 1 1 3 a と回路部 1 1 3 b とが一体となっている。センサ部 1 1 3 a は角速度センサ 1 0 1 と同一の構成である。回路部 1 1 3 b は、センサ部 1 1 3 a の駆動用圧電素子 4 0 を駆動するための駆動回路 9 3 , 及び、センサ部 1 1 3 a の検出用圧電素子 5 0 , 6 0 からの信号を検出するための、例えば図 6 に示したような検出回路 9 4 が形成されている。より具体的には、H 型振動子 1 0 , フレーム 2 0 及びトーションバー 3 0 を形成する際のシリコン基板として、駆動回路 9 3 及び検出回路 9 4 を形成するための領域を有するものを用意し、当該シリコン基板に対して、図 1 4 ~ 図 1 6 を参照して説明したように H 型振動子 1 0 , フレーム 2 0 及びトーションバー 3 0 を形成する。これとともに、駆動回路 9 3 及び検出回路 9 4 並びにこれらを駆動用圧電素子 4 0 及び検出用圧電素子 5 0 , 6 0 に接続するために必要な配線構造を形成する。このような一体構成により、センサ部 1 1 3 a に対する駆動回路 9 3 及び検出回路 9 4 の配設が容易化される。尚、本

40

50

実施形態の駆動用圧電素子 40 及び検出用圧電素子 50, 60 は、第 5 の実施形態に係る分厚い圧電体を用いて構成しても良い。

【0114】

〔第 14 の実施形態〕

次に、本発明の第 14 の実施形態について図面を用いて詳細に説明する。図 42 は、本実施形態による角速度センサ 114 の構成を示す平面図（左側）及び拡大図（右側）である。尚、以下の説明では、第 1 の実施形態による構成を基礎として以下に例を挙げる。

【0115】

図 42 に示すように、本実施形態では、例えばバルクの PZT 等の圧電体を有して構成された駆動用圧電素子 40 及び検出用圧電素子 50, 60 を H 型振動子 10 に固定する際の位置決めを正確且つ容易に行うための位置決めマーカ 98, 99 が、予め H 型振動子 10 上の搭載位置に設けられている。この位置決めマーカ 98, 99 は、各圧電素子の下部電極 41, 54, 67 と一体形成されている。即ち、製造工程において、位置決めマーカ 98, 99 と一体の下部電極 41, 54, 67 をシリコン基板 S の所定領域に形成し、これに上部電極 43, 56, 69 が形成されたバルクの圧電膜 42, 55, 68 を固着する。固着には、例えば接着材等を用いることができる。この際、導電性接着剤等の樹脂が有効である。特に、異方導電性接着材を用いることで、下部電極と圧電膜との電極面のみを確実に導電させることが可能である。このほか、圧電膜における下部電極 41, 54, 67 との接着面に予め金属膜を形成しておき、これを下部電極と直接接合するように構成することも可能である。このように位置決めマーカ 98, 99 を設けておくことで、本実施形態では角速度センサの歩留り及び製造効率を向上させることが可能となる。

10

20

【0116】

また、このほか、駆動用圧電素子 40 及び検出用圧電素子 50, 60 の位置決めのために、シリコン基板 S 上に例えば酸化シリコン膜で位置決め用マーカ（上記 98, 99 と同様の形状）を設けても、シリコン基板 S 自体を位置決め用マーカ（上記 98, 99 と同様の形状）を有するように加工してもよい。このほか、例えば図 43 に示すように、シリコン基板 S 自体に貼り付ける圧電素子と同形状の凹部 97 を所定の深さに設けても良い。これにより、同様に、角速度センサの歩留りを向上させることが可能となる。尚、図 43（a）は、この際の角速度センサ 114 における H 型振動子 10 の上面図を示し、（b）は（a）の線 B4 - B4 に沿った断面形状を示す。

30

【0117】

〔第 15 の実施形態〕

また、上述した各実施形態では、H 型振動子 10 の基板にシリコン基板を用いていたが、本発明では、このほかにも、例えば水晶やタンタル酸リチウム（LT）やニオブ酸リチウム（LN）や PZT 等の圧電素子の基板を用いることが可能である。これらの材料の何れか 1 つ以上を用いて、上述した何れかの実施形態による角速度センサを形成することで、同様に、高感度の角速度センサを製造することが可能である。

【0118】

〔第 16 の実施形態〕

また、上記した各実施形態では、材料基板としてシリコン基板（S）を用いていた。本発明ではこれに限定されず、材料基板として例えば圧電基板を用いることも可能である。以下、これを第 16 の実施形態として図面に示す。

40

【0119】

図 44 は、本実施形態による角速度センサ 116 の構成を表す。図 44（a）は角速度センサ 116 の平面図であり、（b）はその線 B5 - B5 に沿った断面形状を示す図である。図 44 に示すように、本実施形態では圧電材料で形成された第 2 アーム 13A, 13B を挟んで、検出用圧電素子を形成するための下部電極 154, 167 及び上部電極 156, 169 が形成されている。尚、駆動用圧電素子側に関しても、H 型振動子 10A の裏面には上部電極 143 に対向して下部電極が形成されている。

【0120】

50

このような構成において、第 1 アーム 1 2 A , 1 2 B の根元には上述した第 1 の実施形態と同様に溝 2 1 ~ 2 4 が形成されており、また、第 2 アーム 1 3 A , 1 3 B の根元には同様に溝 3 1 ~ 3 4 が形成されている。従って、本実施形態においても見かけ上のアームの長さが長くなり、検出感度を向上させることが達成されている。

【 0 1 2 1 】

また、以上のように圧電基板を用いた構成は、第 1 の実施形態に限らず、他の実施形態に関しても、適宜適用することができるものである。

【 0 1 2 2 】

〔他の実施形態〕

以上、説明した実施形態は本発明の好適な一実施形態にすぎず、本発明はその趣旨を逸脱しない限り種々変形して実施可能である。 10

【 0 1 2 3 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、半導体基板及び圧電素子を用いた小型の角速度センサにおいて、アーム根元部分の形状を細くすることで剛性を低下させ、又は支持部に穴を設けることでバネ性を持たせるため、アームの変位量を増大することができ、これにより高感度化が実現される。また、基板の両面に駆動用、圧電用又はその両方の圧電素子を設けることでも角速度センサの高感度化が実現されている。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の基本構成に係る角速度センサ 1 0 0 の構成を示す平面図である。 20

【図 2】図 1 の線 I I - I I に沿った部分断面図であり、(a) は D e e p - R I E による片面エッチングを用いて形成した場合を示し、(b) は結晶異方性エッチングを用いた形成した場合を示し、(c) は各アーム間及びアーム - フレーム間の距離を等しくすることでエッチング幅調整用レジストパターン 1 1 6 ' を用いることなく作製した場合を示す。

【図 3】図 1 の線 I I I - I I I に沿った断面図であり、(a) は D e e p - R I E による片面エッチングを用いて形成した場合を示し、(b) は結晶異方性エッチングを用いた形成した場合を示し、(c) はトーシヨンバー 3 0 の幅を他の構成よりも狭く加工した場合を示す。

【図 4】図 1 に示す角速度センサ 1 0 0 の動作モードと検出モードとを説明するための図 30 である。

【図 5】図 1 に示す角速度センサ 1 0 0 における H 型振動子 1 0 の部位毎の歪み量を示すグラフである。

【図 6】本発明で用いられる検出回路の一例を示す回路図である。

【図 7】本発明の基本構成に係る別の角速度センサ 1 0 0 a の構成を示す平面図である。

【図 8】本発明の第 1 の実施形態に係る角速度センサ 1 0 1 の構成を示す平面図である。

【図 9】図 8 の線 I V - I V に沿った部分断面図である。

【図 1 0】図 8 に示す角速度センサ 1 0 1 における H 型振動子 1 0 の部位毎の歪み量を示すグラフである。

【図 1 1】本発明の第 1 の実施形態に係る角速度センサ 1 0 1 の製造方法で用いられるエッチング幅調整用レジストパターン 1 1 6 ' を有するレジストパターン 1 1 6 の構成を示す平面図である。 40

【図 1 2】図 1 1 の別のレジストパターン 1 1 6 の構成を示す平面図である。

【図 1 3】本発明の第 1 の実施形態に係るパッケージングされた角速度センサ 1 0 1 を図 8 の線 I I - I I に沿ってパッケージごと切断した際の断面形状を示す図である。

【図 1 4】本発明の第 1 の実施形態に係る角速度センサ 1 0 1 の製造方法を説明するためのプロセス図である。

【図 1 5】図 1 4 に続く製造方法を示すプロセス図である。

【図 1 6】図 1 4 に続く別の製造方法を示すプロセス図である。

【図 1 7】図 8 に示す角速度センサ 1 0 1 をフレーム 2 0 と H 型振動子 1 0 及びトーショ 50

ンバー 30 とを別々に作製した場合の構成を示す平面図である。

【図 18】本発明の第 2 の実施形態に係る角速度センサ 102 の構成を示す平面図である。

【図 19】図 18 に示す角速度センサ 102 における駆動モードでの様子を示す図であり、(a) はアームが開く場合の各部の変位を示し、(b) はアームが閉じる場合の各部の変位を示す。

【図 20】本発明の第 2 の実施形態に係る角速度センサ 102 において貫通穴を 4 つ設けた場合の構成を示す平面図である。

【図 21】本発明の第 2 の実施形態に係る角速度センサ 102 の製造方法で用いられるエッチング幅調整用レジストパターン 116' を有するレジストパターン 116 の構成を示す平面図である。 10

【図 22】図 11 の別のレジストパターン 116 の構成を示す平面図である。

【図 23】本発明の第 3 の実施形態に係る角速度センサ 103 の構成を示す平面図である。

【図 24】(a) は図 23 の線 V I - V I に沿った部分断面図であり、(b) は図 23 の線 I X - I X に沿った部分断面図である。

【図 25】図 23 に示す角速度センサ 103 の駆動用圧電素子側の接続形態を示す図であり、(a) はアーム毎において上部電極同士及び下部電極同士を共通に接続した場合を示し、(b) はアーム毎において異なる駆動用圧電素子間の上部電極及び下部電極をそれぞれ共通に接続した場合を示す。 20

【図 26】図 23 に示す角速度センサ 103 の検出用圧電素子側において差動検出を実現した場合の接続形態を示す図であり、(a) はアーム毎において上部電極同士及び下部電極同士を共通に接続した場合を示し、(b) はアーム毎において異なる駆動用圧電素子間の上部電極及び下部電極をそれぞれ共通に接続した場合を示す。

【図 27】本発明の第 4 の実施形態に係る角速度センサ 104 の構成を示す図であり、(a) はその部分平面図であり、(b) は(a) の線 I V - I V に沿った部分断面図である。

【図 28】本発明の第 5 の実施形態に係る角速度センサ 105 の構成を示す平面図である。

【図 29】図 28 の線 I X - I X に沿った断面図である。 30

【図 30】本発明の第 5 の実施形態に係る角速度センサ 105 の製造方法を説明するためのプロセス図である。

【図 31】図 30 に続く製造方法を示すプロセス図である。

【図 32】本発明の第 6 の実施形態に係る角速度センサ 106 の構成を示す平面図である。

【図 33】本発明の第 7 の実施形態に係る角速度センサ 107 の構成を示す平面図である。

【図 34】本発明の第 8 の実施形態に係る角速度センサ 108 の構成を示す平面図である。

【図 35】図 34 に示す角速度センサ 108 の駆動用圧電素子 40, 45, 46 へ印加する電圧波形の一例を示す図である。 40

【図 36】本発明の第 9 の実施形態に係る角速度センサ 109 の構成を示す平面図である。

【図 37】図 36 に示す角速度センサ 109 の駆動用圧電素子 40, 45, 46, 47, 48 へ印加する電圧波形の一例を示す図である。

【図 38】本発明の第 10 の実施形態に係る角速度センサ 110 の構成を示す図であり、(a) はその平面図を示し、(b) は(a) の線 B 2 - B 2 に沿った部分断面図である。

【図 39】本発明の第 11 の実施形態に係る角速度センサ 111 の構成を示す図であり、(a) はその平面図を示し、(b) は(a) の線 B 3 - B 3 に沿った部分断面図である。

【図 40】本発明の第 12 の実施形態に係る角速度センサ 112 の構成を示す平面図であ 50

る。

【図４１】本発明の第１３の実施形態に係る角速度センサ１１３の構成を示す平面図である。

【図４２】本発明の第１４の実施形態に係る角速度センサ１１４の構成を示す平面図及びその部分拡大図である。

【図４３】本発明の第１４の実施形態に係る別の角速度センサ１１４におけるＨ型振動子１０の構成を示す図であり、（ａ）はその上面図であり、（ｂ）は（ａ）の線Ｂ４－Ｂ４に沿った部分断面図である。

【図４４】本発明の第１６の実施形態に係る角速度センサ１１６の構成を示す図であり、（ａ）はその上面図であり、（ｂ）は（ａ）の線Ｂ５－Ｂ５に沿った部分断面図である。 10

【図４５】従来のビーム型角速度センサ８００の構成を示す図であり、（ａ）はその斜視図であり、（ｂ）は（ａ）の線Ｂ１－Ｂ１に沿った断面図である。

【図４６】従来の音叉型角速度センサ９００の構成を示す斜視図である。

【符号の説明】

１０、１０Ａ Ｈ型振動子

１１ 支持部

１１' 又部

１２ａ、１２Ａ、１２ｂ、１２Ｂ 第１アーム

１３ａ、１３Ａ、１３ｂ、１３Ｂ 第２アーム

２０ フレーム 20

２１、２２、２３、２４、２７ａ、２７ｂ、３１、３２、３３、３４ 溝

２１'、２２'、２３'、２４'、３１'、３２'、３３'、３４' 窪み

２５、２５ａ、２５ｂ、２６、２６ａ、２６ｂ 貫通穴

２５'、２６' 穴

３０ トーションバー

４０、４０'、４０ａ、４０ｂ、４０ｃ、４０ｄ、４５、４６、４７、４８ 駆動用圧電素子

４１、４１ａ、４１ｂ、４１ｃ、４１ｄ、５４、５４ａ、５４ｂ、６７、６７ａ、６７ｂ、１５４、１６７ 下部電極

４３、４３ａ、４３ｂ、４３ｃ、４３ｄ、５６、５６ａ、５６ｂ、６９、６９ａ、６９ｂ 30
、１４３、１５６、１６９ 上部電極

４２、４２ａ、４２ｂ、４２ｃ、４２ｄ、５５、５５ａ、５５ｂ、６８、６８ａ、６８ｂ
圧電膜

５０、６０、５０ａ、５０ｂ、６０ａ、６０ｂ、７０、７０'、８０、８０' 検出用圧電素子

５５'、６８' 圧電体

７１、７３、７４、７６、７７、７９ 配線

７１ａ'、７１ｂ'、７１ｃ'、７１ｄ'、７３'、７３ａ'、７３ｂ'、７３ｃ'、７
３ｄ'、７６'、７９' ワイヤ

８１ 駆動下部電極パッド 40

８１ａ、８１ｃ、８３ａ、８３ｃ 電極パッド

８３ 駆動上部電極パッド

８４、８７ 検出下部電極パッド

８６、８９ 検出上部電極パッド

９０ａ パッケージング部材

９０ａ' 退避部

９０ｂ スペース

９１ 嵩高部

９２ 重り部

９３ 駆動回路 50

9 4 検出回路

9 7 凹部

98、99 位置決めマーカ

1 0 0、1 0 0 a、1 0 2、1 0 3、1 0 4、1 0 5、1 0 6、1 0 7、1 0 8、1 0 9

、 1 1 0、 1 1 1、 1 1 2、 1 1 3、 1 1 4、 1 1 6 角速度センサ

1 1 3 a センサ部

1 1 3 b 回路部

1 1 6、1 1 8 レジストパターン

1 1 6 ' エッチング幅調整用レジストパターン

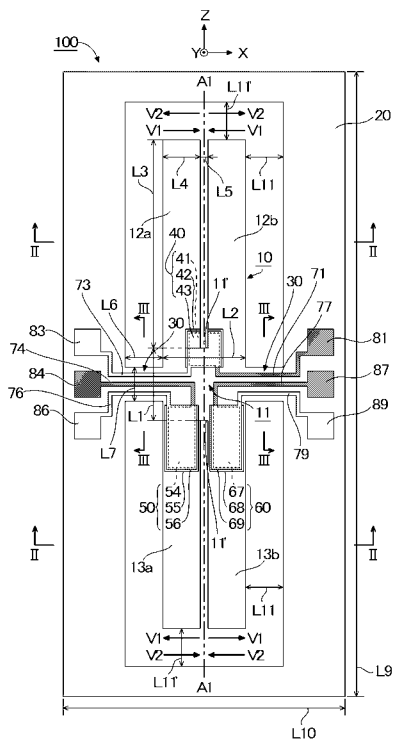
1 1 6 ' a 架橋部

S シリコン基板

10

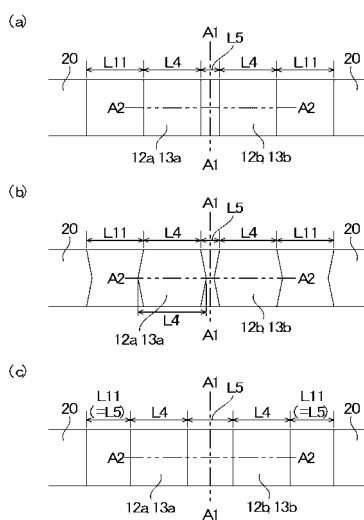
【 図 1 】

本発明の基本構成に係る角速度センサ



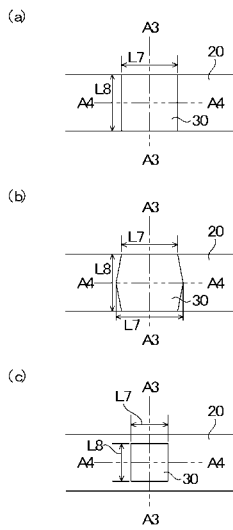
【圖 2】

図1の線Ⅱ－Ⅱに沿った部分断面図

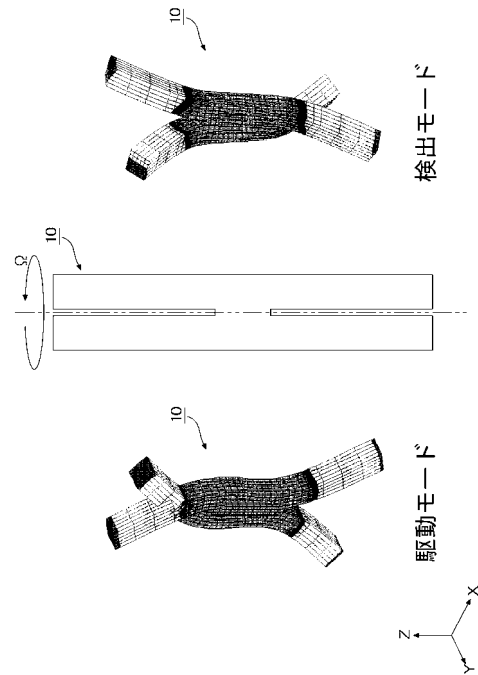


【図 3】

図1の線Ⅲ-Ⅲに沿った断面図

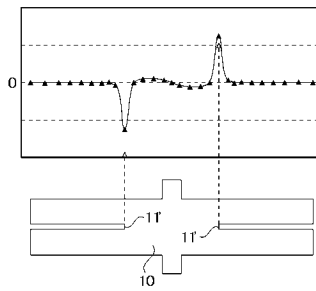


【図 4】



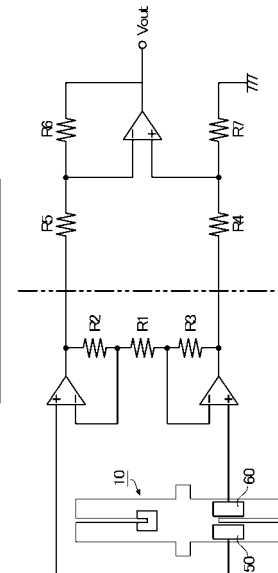
【図 5】

H振動子の歪み量



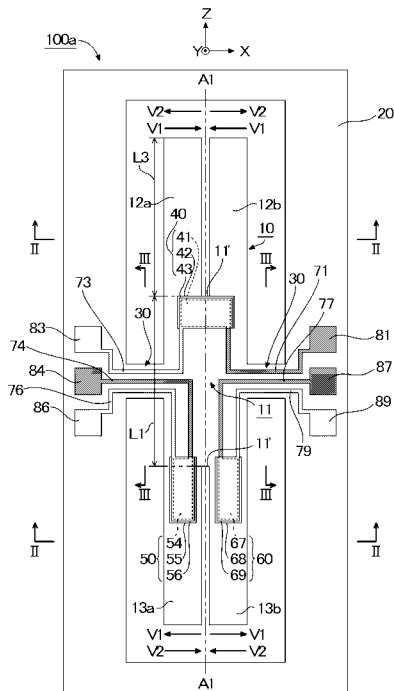
【図 6】

本発明で用いる検出回路の一例



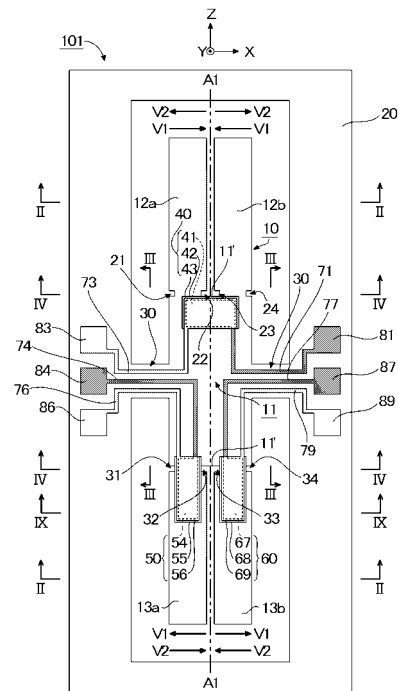
【図 7】

本発明の基本構成に係る別の角速度センサ



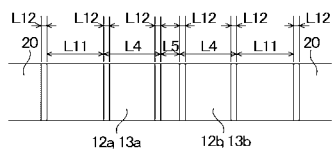
【図 8】

本発明の第1の実施形態に係る角速度センサ

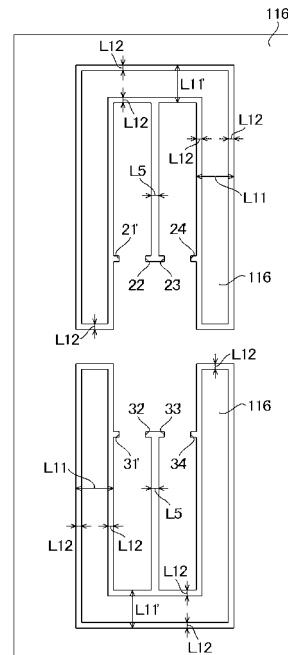


【図 9】

図8の線IV-IVに沿った部分断面図

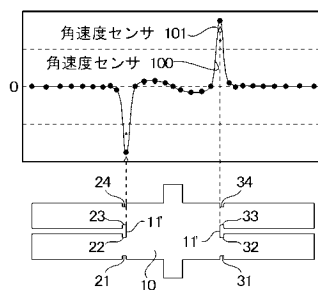


【図 11】

エッチング幅調整用レジストパターンを有する
レジストパターン

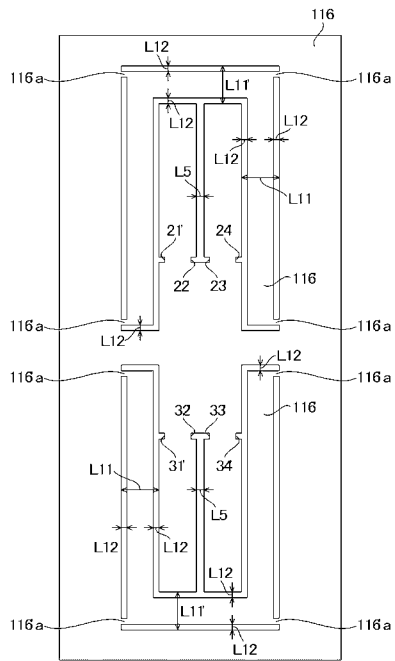
【図 10】

H型振動子の歪み量



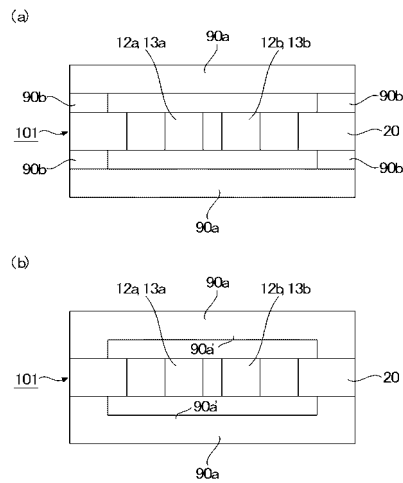
【図 12】

エッチング幅調整用レジストパターンを有する
別のレジストパターン



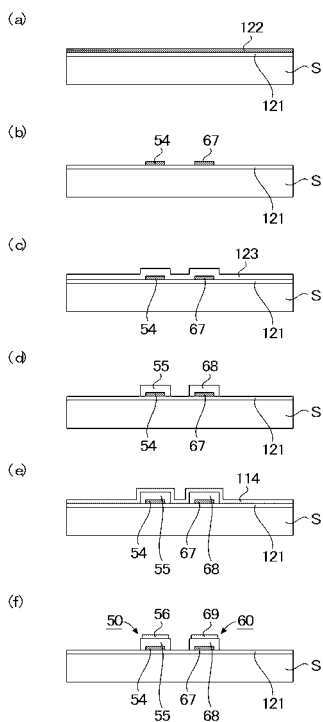
【図 13】

パッケージングされた角速度センサの断面図



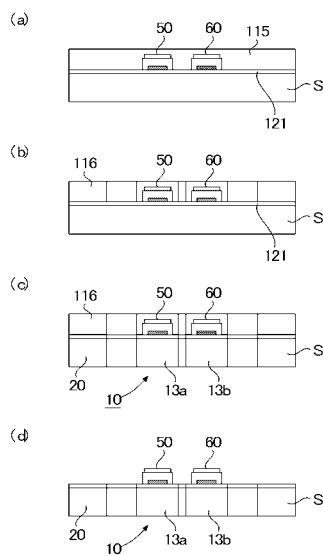
【図 14】

図8の角速度センサの製造工程



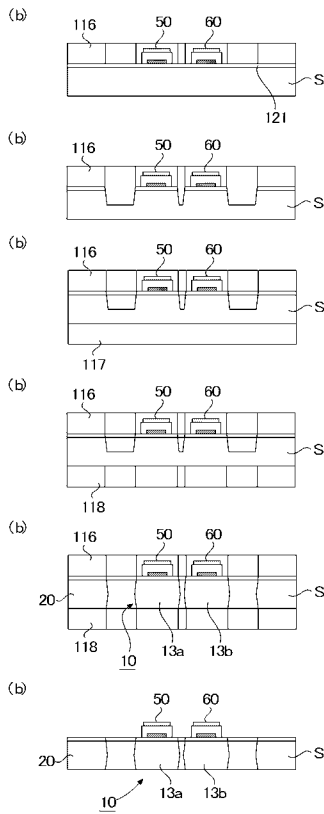
【図 15】

図14に続く工程



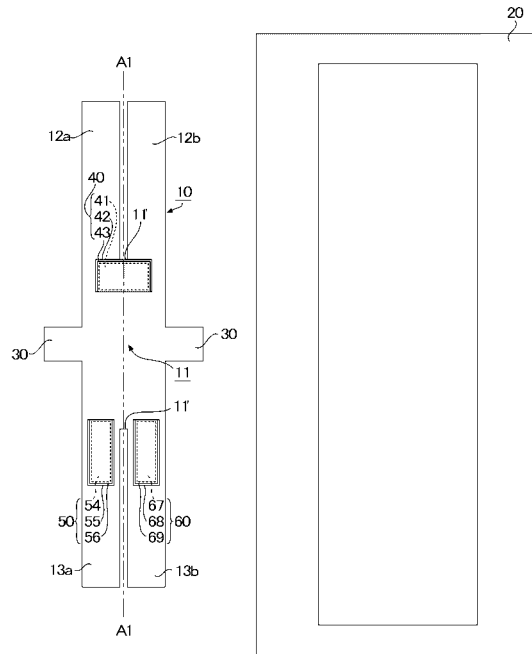
【図 16】

図14に続く工程



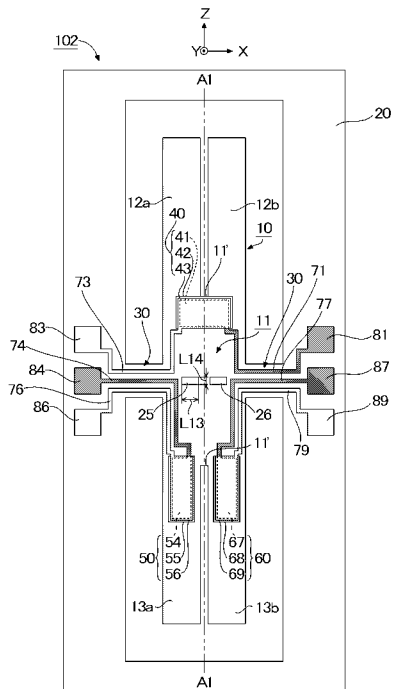
【図 17】

本発明の第1の実施形態に係る角速度センサの分離図



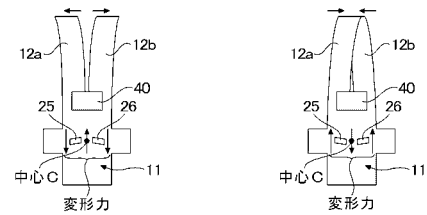
【図 18】

本発明の第2の実施形態に係る角速度センサ



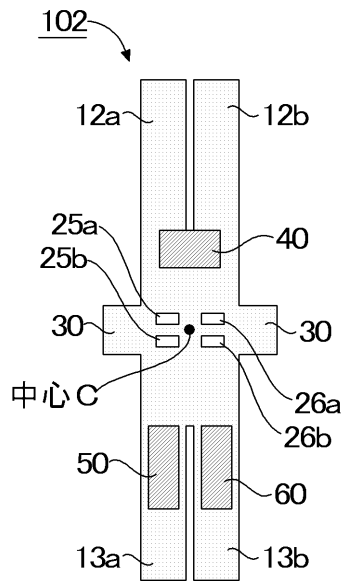
【図 19】

(a) アームが開く場合の各部の変位 (b) アームが閉じる場合の各部の変位



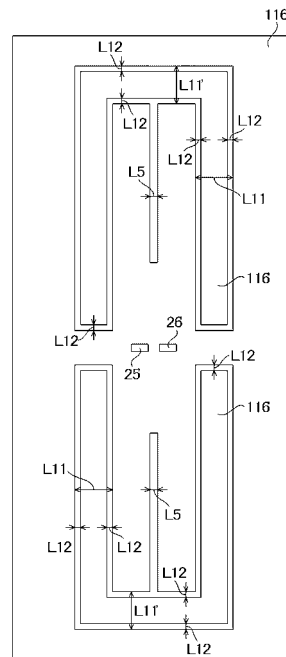
【図 20】

貫通穴を4つ設けた場合の
第2の実施形態に係る角速度センサ



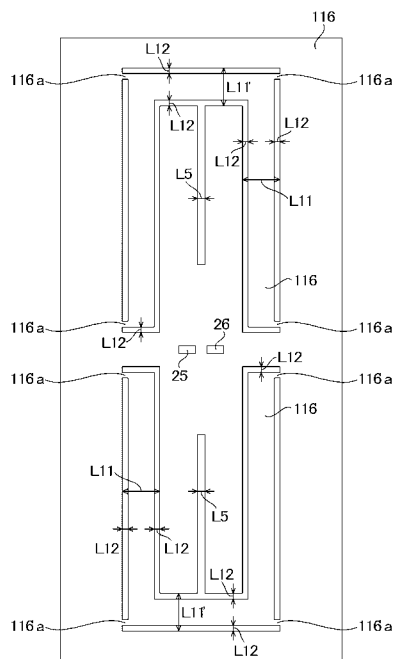
【図 21】

エッチング幅調整用レジストパターンを有する
レジストパターン



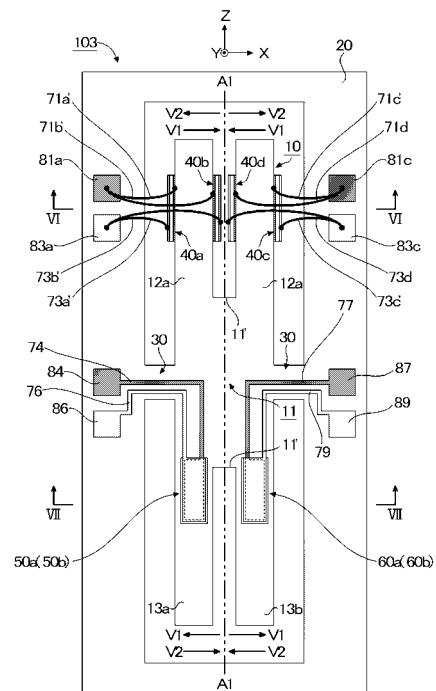
【図 22】

エッチング幅調整用レジストパターンを有する
別のレジストパターン

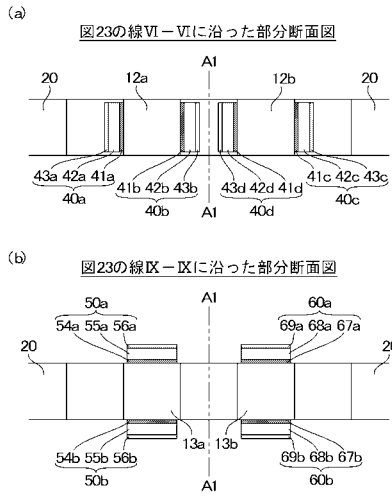


【図 23】

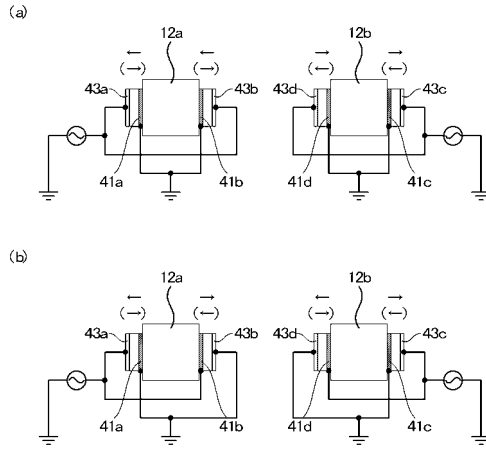
本発明の第3の実施形態に係る角速度センサ



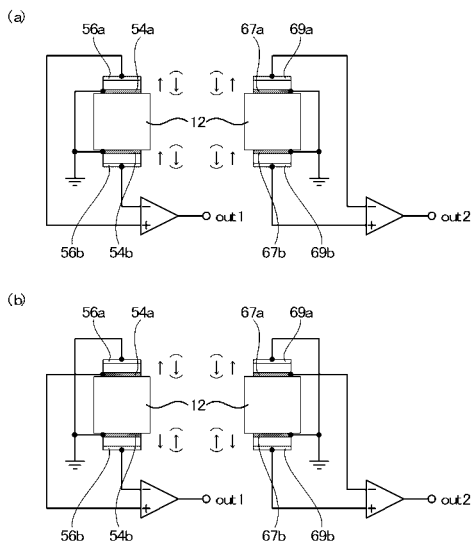
【図 2 4】



【図 2 5】

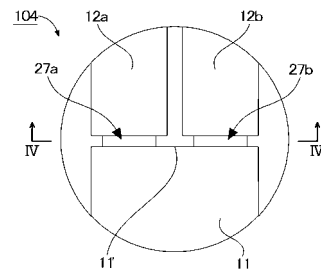


【図 2 6】

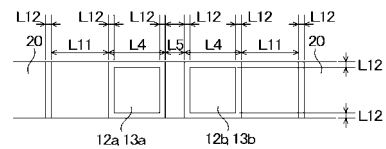


【図 2 7】

(a) 本発明の第4の実施形態に係る角速度センサの部分平面図

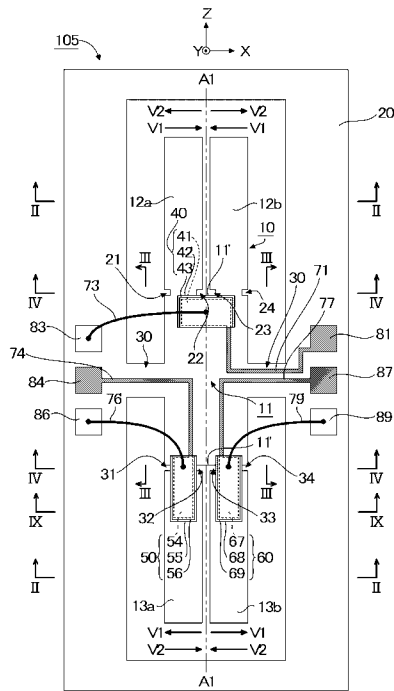


(b) (a)の線IV-IVに沿った部分断面図



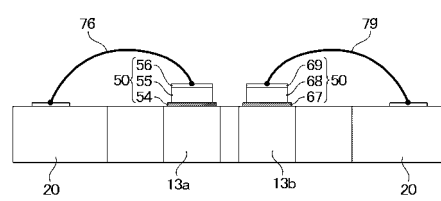
【図 28】

本発明の第5の実施形態に係る角速度センサ



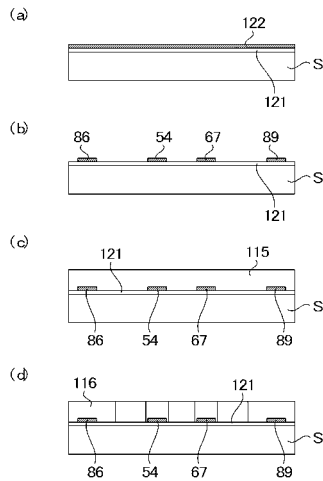
【図 29】

図28の線Ⅸ-Ⅸに沿った断面図



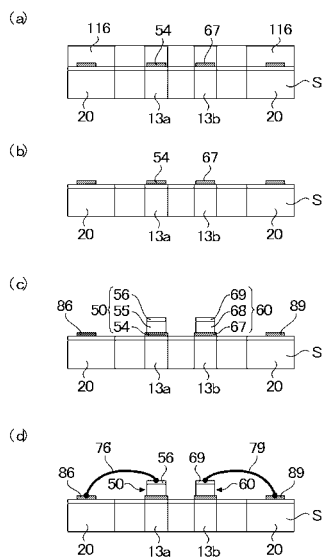
【図 30】

図28の角速度センサの製造工程



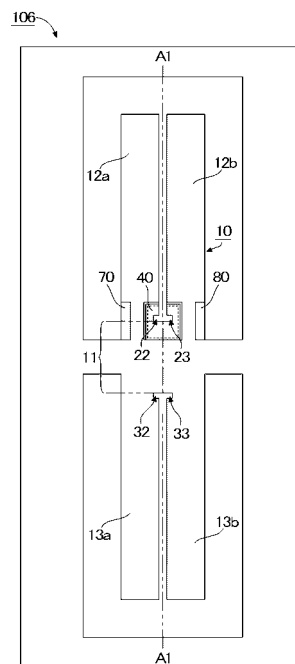
【図 31】

図30に続く工程



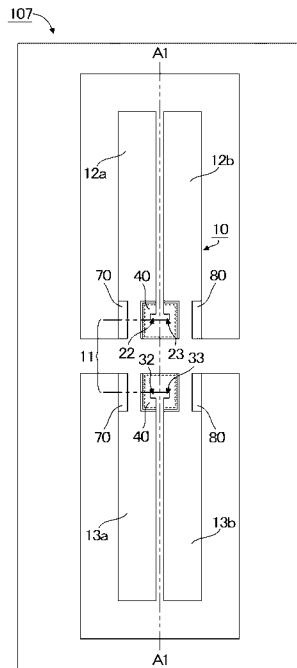
【図 32】

本発明の第6の実施形態に係る角速度センサ



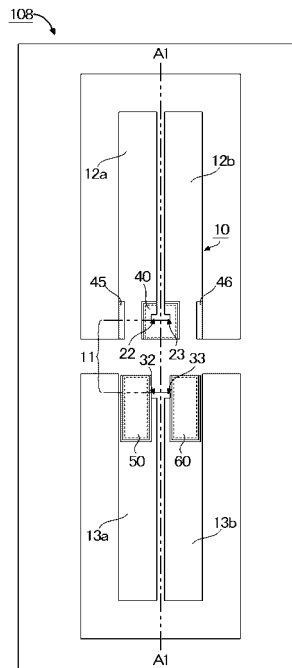
【 図 3 3 】

本発明の第7の実施形態に係る角度センサ



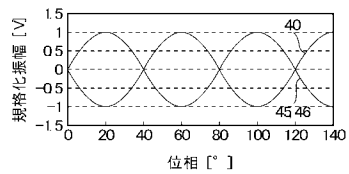
【 図 3 4 】

本発明の第8の実施形態に係る角度センサ



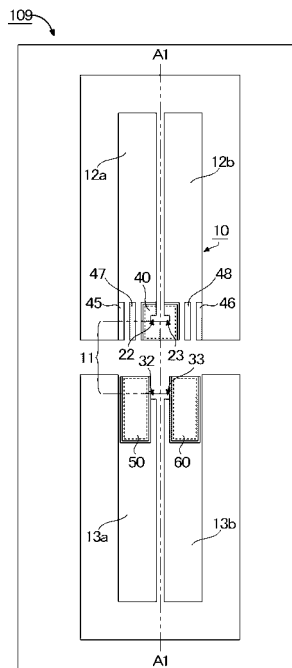
【 図 3 5 】

図34に示す駆動用圧電素子への印加電圧



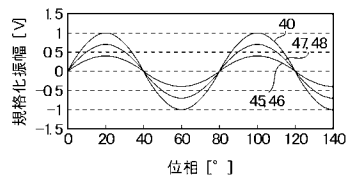
【 図 3 6 】

本発明の第9の実施形態に係る角速度センサ



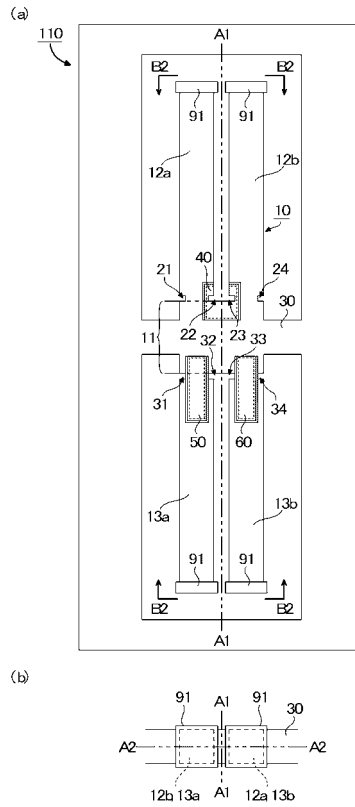
【図 37】

図36に示す駆動用圧電素子への印加電圧



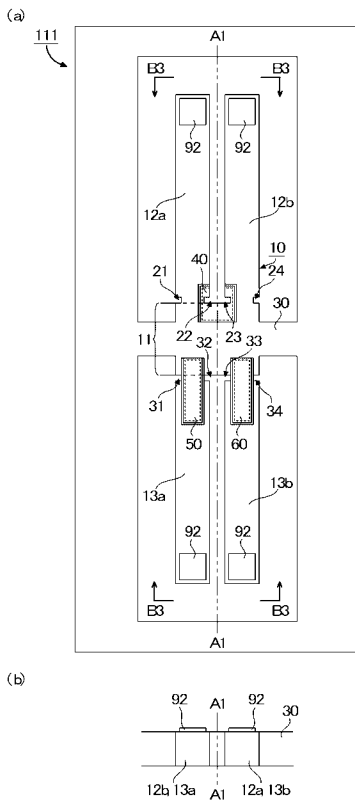
【図 38】

本発明の第10の実施形態に係る角速度センサ



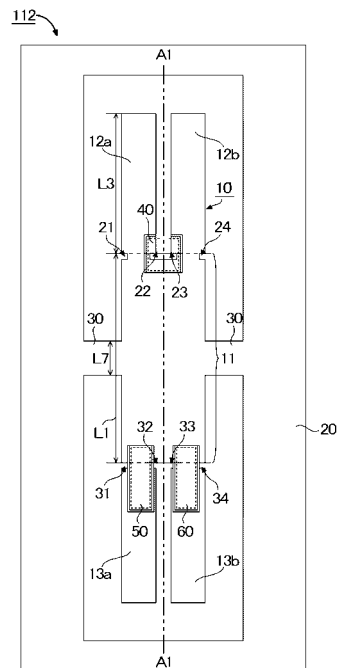
【図 39】

本発明の第11の実施形態に係る角速度センサ



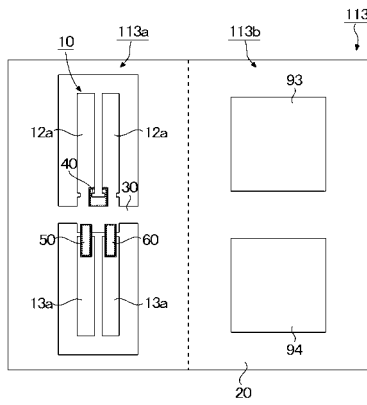
【図 40】

本発明の第12の実施形態に係る角速度センサ



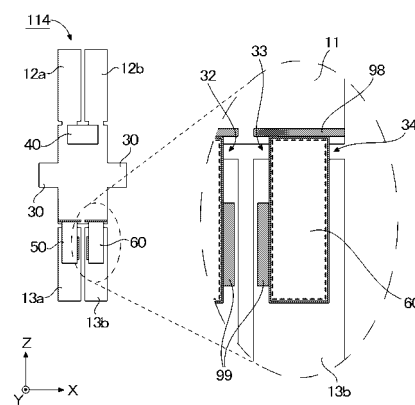
【 図 4 1 】

本発明の第13の実施形態に係る角速度センサ



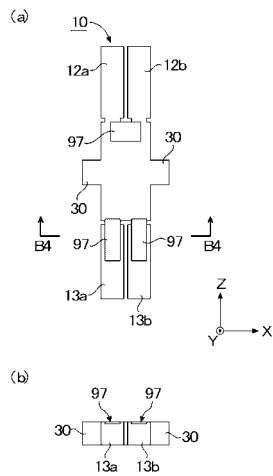
【 図 4 2 】

本発明の第14の実施形態に係る角速度センサ



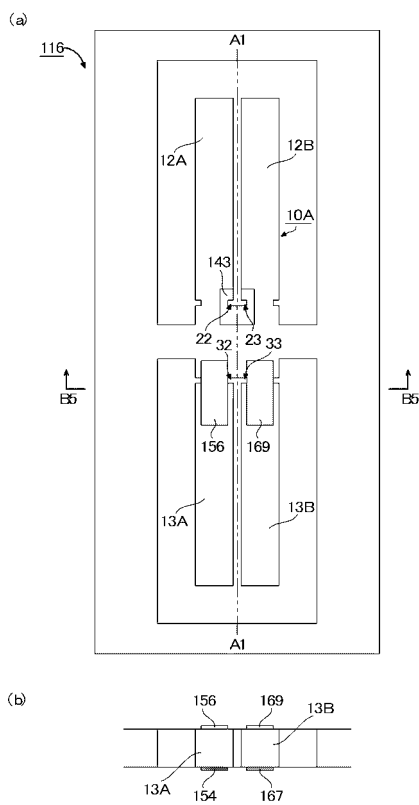
【 図 4 3 】

本発明の第14の実施形態に係る別の角速度センサ



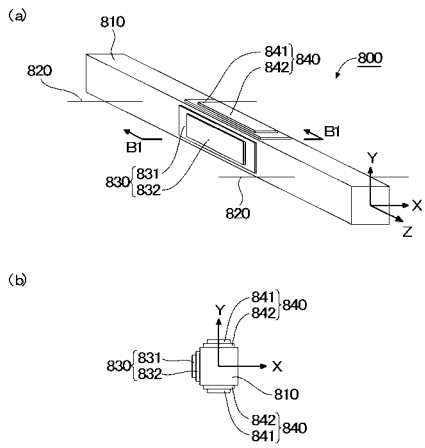
【 図 4 4 】

本発明の第16の実施形態に係る角度センサ



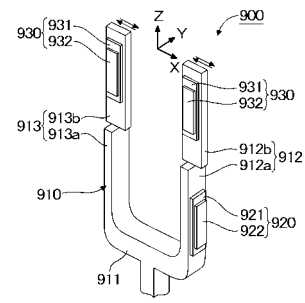
【図 4 5】

従来のビーム型角速度センサ



【図 4 6】

従来の音叉型角速度センサ



フロントページの続き

(72)発明者 町田 敦司
神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目3番12号 富士通メディアデバイス株式会社内

(72)発明者 藁科 卓
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(72)発明者 宮下 勉
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(72)発明者 佐藤 良夫
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

Fターム(参考) 2F105 AA02 AA06 AA08 BB02 BB13 CC01 CD02 CD06 CD13