

(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2004-251663

(P2004-251663A)

(43) 公開日 平成16年9月9日(2004.9.9)

(51) Int.CI.⁷

G O 1 C 19/56

G O 1 P 9/04

H O 1 L 41/08

F 1

G O 1 C 19/56

G O 1 P 9/04

H O 1 L 41/08

テーマコード(参考)

2 F 1 O 5

Z

審査請求 有 請求項の数 15 O L (全 41 頁)

(21) 出願番号

特願2003-40087 (P2003-40087)

(22) 出願日

平成15年2月18日 (2003.2.18)

(71) 出願人 398067270

富士通メディアバイス株式会社
神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目3番地
12

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(74) 代理人 100087480

弁理士 片山 修平

(72) 発明者 石川 寛

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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】角速度センサ

(57) 【要約】

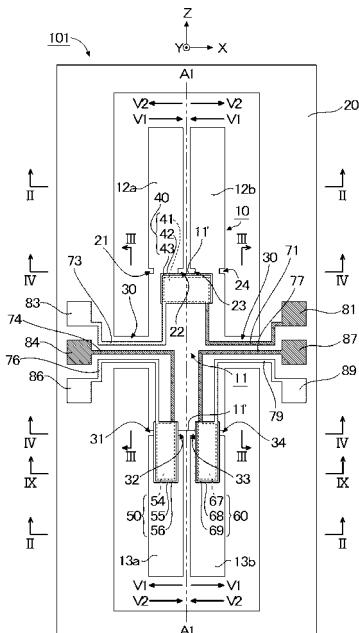
【課題】感度よく回転角速度を検知できる角速度センサを提供する。

【解決手段】支持部11と第1アーム12a, 12bと第2アーム13a, 13bとを有するH型振動子10を備えた角速度センサ101において、第1アーム12a, 12b及び第2アーム13a, 13bの根元を細くすることで、この部分の剛性を低下させる。具体的には、根元に溝21~24, 31~34を形成する。若しくは、第1及び第2アーム12a, 12b, 13a, 13bを支持する支持部11に、中心Cに対して点対称の穴25, 26を設け、支持部11の剛性を低下させる。このほか、各アーム若しくは支持部11を挟むように駆動用圧電素子40a, 40b、検出用圧電素子50a, 50b, 60a, 60bを形成することで、駆動効率の向上及び差動信号によるS/N比の向上を図る。

【選択図】

図8

本発明の第1の実施形態に係る角速度センサ



【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

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12】

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13】

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、

20

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14】

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対称を成していることを特徴とする請求項1から13の何れか1項に記載の角速度センサ。

【請求項15】

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14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45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45(a)は、角速度センサ800の斜視図であり、図45(b)は、図45(a)の線B1-B1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、一対の検出用圧電素子 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。一対の検出用圧電素子 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 ($F = -2 \text{ mV}$, 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、一対の検出用圧電素子 930 とを備える。振動子 910 は、エンリ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。一対の検出用圧電素子 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

10

20

30

40

50

【 0 0 0 9 】

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。

【 0 0 1 0 】

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目的とする。10

【 0 0 1 1 】**【 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っている。振動部分である腕と該腕から伝播した振動を検出する腕との根元部分を胴体部分よりも細くすることで、この根元部分の剛性が低下するため、実質的な腕の長さが長くなる。従って、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、この結果、アームの駆動速度を増加させることができが達成されるため、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、角速度センサの高感度化を図ることができる。尚、この効果は、例えば半導体技術を用いて小型化された角速度センサでも同様にことができる。20

【 0 0 1 2 】

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、上記した根元部分を細くすることを達成してもよい。30

【 0 0 1 3 】

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形成されていてもよい。

【 0 0 1 4 】

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できとなる。従って、発生した振動を効率よく検出することができる。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できが達成される。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4050

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關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d31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できるとなる。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できる。

【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できる。

【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

10

20

30

40

50

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。

【 0 0 2 3 】

10

また、本発明は、請求項 1 3 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。

【 0 0 2 4 】

20

また、請求項 1 4 記載のように、請求項 1 から 1 3 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対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できるとなる。更に、検出した信号に重畠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。

【 0 0 2 5 】

30

また、請求項 1 から 1 4 の何れか 1 項に記載の前記角度センサは、請求項 1 5 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。

【 0 0 2 6 】

40

【 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。

【 0 0 2 7 】

40

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 I I - I I 及び線 I I I - I I I に沿った断面図を示す。

【 0 0 2 8 】

50

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。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。

具体的には、例えば厚さ $500\text{ }\mu\text{m}$ のシリコン基板の片面にエッティ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、当該エッティ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、基板の両面にエッティ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、当該エッティングマスクを介して基板の両面から結晶異方性エッティ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、エッティ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、SF₆ガスによるエッティングを8秒間程度行い、C₄F₈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、ウェットエッティングである結晶異方性エッティングを採用する場合には、エッティング液として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L1を1000μm, 幅L2を1100μm, 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500μm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L3が2500μm, 幅L4が500μm, 厚さが材料基板と同じ500μmであって、互いの離隔距離L5が100μm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あり、例えば長さL3が2500μm, 幅L4が500μm, 厚さが500μmであって、互いの離隔距離L5が100μm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による片面エッティングを採用すると、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ます。一方、結晶異方性エッティングによる両面エッティングを採用すると、図2(b)に示すように、六角形とすることができます。アーム断面を六角形状とする場合には、上述のアーム幅L4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L4よりも太い最大幅L4'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ティングを行う場合、表面幅L4を500μmとすると、表面幅L4よりも約350μm程度太い最大幅L4'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L6を500μm, 幅L7を500μm, 厚さL8を500μm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による片面エッティ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ます。一方、結晶異方性エッティングによる両面エッティ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ます。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L7は表面幅を示し、トーションバー30は、表面幅L7よりも太い最大幅L7'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ティングを行う場合、表面幅L7を500μ

40

50

mとすると、表面幅L₇よりも約350μm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って直行する2軸A₃-A₃, A₄-A₄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L₇を小さくすると共に、厚さL₈を材料基板の厚さ500μm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、一対のトーションバー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。

【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L₉を7000~9000μmとし、幅L₁₀を3100~4100μm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L₁₁をトーションバー30の長さL₆に等しい500μmとし、第1アーム12a, 12b間の離隔距離L₅を100μm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500μmとした。

【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。

【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55

10

20

30

40

50

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、これに起因して一对の第 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 を定期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 ($F = -2mV^2$, 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 $1 + (R_2 + R_3) / R_1$ で表され、二点鎖線より右側の領域のゲインは R_5 / R_6 (但し、 $R_5 = R_4$, $R_6 = R_7$ 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 を有する。

【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 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 I-I - 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。

【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 I-I - II-II 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。

【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 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。

【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 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

10

20

30

40

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】

10

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できることが達成されるため、回転角速度 ω 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。

20

【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。

20

【0049】

30

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のように、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。

40

【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'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ティングを行う際には、図11及び図12に示すように、レジストパターン116に加えてエッティ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。エッティ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、エッティ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、エッティ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

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 μm であり、一対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、一対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 10 も形成することが可能となる。

【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 (SiO₂) 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 SiO₂ 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。

【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 μm 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 μm 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 μm として、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ます。

【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 I-I - 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 又はサンドプラス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。

【0055】

10

20

20

30

40

40

50

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IX-IX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(SiO₂)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0.2μm程度であり、金属膜122の膜厚は例えば0.1μm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·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·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1μm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1μm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、エッティングガスとしては、三塩化ホウ素(BCl₃)及び塩素(Cl₂)の混合ガス等を使用することができる。このエッティングによって、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、フォトレジスト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レジスト115をパターンングすることで、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 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 とが一体となって、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に、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 とが一体となって、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

【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4050

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 を形成しておくと良い。

【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。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、アームを開じた場合、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

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。

【0072】

また、参考として、貫通穴を点対称に2つ以上、例えば4つ(25a, 25b, 26a, 26b)設けた場合のH型振動子10の概略構成を図20の平面図に示す。

【0073】

また、本実施形態による角速度センサ102の製造方法では、例えば図21又は図22に示すような、貫通穴25, 26を形成するための穴25', 26'を有するレジストパターン116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。

【0074】

〔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40と検出用圧電素子50, 60とをH型振動子10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40及び/又は検出用圧電素子50, 60を第1アーム12a, 12b又は第2アーム13a, 13b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40を側面に形成した場合を例に挙げて説明する。

【0075】

図23は、本実施形態による角速度センサ103の構成を示す平面図である。図23に示すように、角速度センサ103における駆動用圧電素子40a, 40b, 40c, 40dは、各々の第1アーム12a, 12bの両側面に形成される。

【0076】

上述において例えば図4又は図19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12a, 12b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d31(pC/N)を有効に使うために、アームの側面にd31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23における線V1-V1に沿った断面構成を図24(a)に示す。

【0077】

図24(a)に示すように、第1アーム12aの外側の側面には、下部電極43aと圧電膜42aと上部電極41aとが積層された駆動用圧電素子40aが形成され、内側の側面には、同じく、下部電極43bと圧電膜42bと上部電極41bとが積層された駆動用圧電素子40bが形成されている。また、第1アーム12bも同様に、外側の側面に下部電極43aと圧電膜42aと上部電極41aとが積層された駆動用圧電素子40aが形成され、内側の側面に下部電極43bと圧電膜42bと上部電極41bとが積層された駆動用圧電素子40b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20上に設けられた電極パッド83a, 83c又は電極パッド81a, 81cに接続される。例えば図25(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25(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25中の矢印は分極方向を示す。尚、図23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23では、ボンディングされた金(Au)や銅(Cu)やアルミニウム(Al)等のワイヤ71a', 71b', 71c', 71d', 73a', 73b', 73c', 73d'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。

【0078】

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d31(pC/N)が大きな圧電素子を第2

10

20

30

40

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。

【 0 0 7 9 】

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

【 0 0 8 0 】

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极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

【 0 0 8 1 】

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 P Z T 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 を形成しておくと良い。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 を形成しておくと良い。30

【 0 0 8 2 】

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

【 0 0 8 3 】

以上のように構成することで、圧電体の圧電定数 d₃₁ 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。

【 0 0 8 4 】

〔 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IV-IV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XII-XIIに沿った断面図である。角度センサ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'を含む積層構造を有する。圧電体42'は、100μm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の上を通っ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'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の上を通っ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'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の上を通っ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、100μm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ても良い。また、本発明では、フレ

40

50

ーム 2 0 上に設けられた上部電極パッド 8 3 , 8 6 , 8 9 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 4 3 , 5 6 , 6 9 に接続するワイヤ 7 3 ' , 7 6 ' , 7 9 ' の一端は、角速度センサ 1 0 5 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。

【 0 0 9 0 】

このような構成の角速度センサ 1 0 5において、駆動用圧電素子 4 0 に対して所定の交流電圧を印加すると、圧電体 4 2 ' 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 1 0 における一対の第 1 アーム 1 2 a , 1 2 b 及び一対の第 2 アーム 1 3 a , 1 3 b は、図 2 8 における X 軸方向において面内振動 V 1 , V 2 する。このように H 型振動子 1 0 を定常的に振動させた状態において、H 型振動子 1 0 が Z 軸回りに角速度 ω で回転すると、H 型振動子 1 0 の振動モードは変わり、H 型振動子 1 0 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 1 0 における Y 軸に垂直な面の歪みは、検出用圧電素子 5 0 , 6 0 の圧電体 5 5 ' , 6 8 ' による圧電効果に基づいて検出され、検出用圧電素子 5 0 , 6 0 からは、角速度 ω に比例した出力が得られる。検出用圧電素子 5 0 , 6 0 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。

【 0 0 9 1 】

角速度センサ 1 0 5 の有する駆動用圧電素子 4 0 及び検出用圧電素子 5 0 , 6 0 の圧電体 4 2 ' , 5 5 ' , 6 8 ' は、角速度センサ 1 0 1 における圧電膜 4 2 , 5 5 , 6 8 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 4 0 及び検出用圧電素子 5 0 , 6 0 を備えているため、圧電定数の観点から、角速度センサ 1 0 5 は角速度センサ 1 0 1 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 1 2 a , 1 2 b 及び第 2 アーム 1 3 a , 1 3 b の根元に設けられた溝 2 1 ~ 2 4 , 3 1 ~ 3 4 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。

【 0 0 9 2 】

次に、図 3 0 及び図 3 1 を用いて角速度センサ 1 0 5 の製造方法の一例を示す。図 3 0 及び図 3 1 は、製造工程における、図 2 8 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 3 0 (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 1 2 1 を成膜し、更に、角速度センサ 1 0 5 において最終的に下部電極 4 1 , 5 4 , 6 7 等にパターン形成される金属膜 1 2 2 を成膜する。但し、シリコン基板 S として抵抗率がおよそ $1000 \Omega \cdot cm$ 以上の高抵抗基板を使用する場合には、酸化膜 1 2 1 は成膜しなくとも良い。次に、図 3 0 (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 1 2 2 をエッチングする。このエッチングによって、H 型振動子 1 0 に成形される領域に下部電極 4 1 , 5 4 , 6 7 がパターン形成され、フレーム 2 0 に成形される領域に下部電極パッド 8 1 , 8 4 , 8 7 がパターン形成され、且つ、これらを接続する配線 7 1 , 7 4 , 7 7 がパターン形成される。このとき、フレーム 2 0 に成形される領域には、上部電極パッド 8 3 , 8 6 , 8 9 が形成される。酸化膜 1 2 1 及び金属膜 1 2 2 について、構成材料、成膜手段及びエッチング手法は、図 1 4 (a) 及び図 1 4 (b) を参照して第 1 の実施形態に係る角速度センサ 1 0 1 に関する上述したのと同様である。

【 0 0 9 3 】

次に、図 3 0 (c) に示すように、フォトトレジスト 1 1 5 を、シリコン基板 S に対して積層する。次に、図 3 0 (d) に示すように、露光及び現像を経てフォトトレジスト 1 1 5 をパターニングしてレジストパターン 1 1 6 を形成する。レジストパターン 1 1 6 は、角速度センサ 1 0 5 における、H 型振動子 1 0 , フレーム 2 0 , 及びトーションバー 3 0 に対応する平面視形態を有し、下部電極 4 1 , 5 4 , 6 7 、下部電極パッド 8 1 , 8 4 , 8 7 、これらを連結する配線 7 1 , 7 4 , 7 7 、及び上部電極パッド 8 3 , 8 6 , 8 9 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 1 1 6 には溝 2 1 ~ 2 4 , 3 1 ~ 3 4 を形成するための窪み 2 1 ' ~ 2 4 ' , 3 1 ' ~ 3 4 ' も含まれている。

【 0 0 9 4 】

次に、図 3 1 (a) に示すように、レジストパターン 1 1 6 を介して、シリコン基板 S を

10

20

30

40

50

貫通するまで Deep - RIE を行う。これによって、角速度センサ 105 における、H 型振動子 10 と、フレーム 20 と、トーションバー 30 とが一体成形される。この後、図 31 (b) に示すように、レジストパターン 116 を除去する。

【0095】

次に、図 31 (c) に示すように、予め上部電極 43, 56, 69 が貼り合わされている圧電体 42', 55', 68' を、下部電極 41, 54, 67 上に形成する。例えば圧電体 42', 55', 68' を下部電極 41, 54, 67 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 43, 56, 69 が貼り合わされている圧電体 42', 55', 68' は、バ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 42', 55', 68' は、ZnO, AlN, PZT 等を含んで構成され、100 μm 程度の厚みを有する。上部電極 43, 56, 69 は、Al, Cu, Au 等のスパッタリングや蒸着により圧電体 42', 55', 68' 上に成膜されたものである。下部電極 41, 54, 67 上への形成の後、圧電体 42', 55', 68' と、H 型振動子 10 上に予め形成されていた下部電極 41, 54, 67 との間に圧電を印加することによって行う。

【0096】

圧電体 42', 55', 68' には、上部電極 43, 56, 69 の成膜と共に、上部電極 43, 56, 69 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 42', 55', 68' 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 42', 55', 68' を下部電極 41, 54, 67 上に設ける前に、圧電体 42', 55', 68' 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 43, 56, 69 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 42', 55', 68' を前述の金属膜を介して下部電極 41, 54, 67 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 42', 55', 68' を前述の金属膜を介して下部電極 41, 54, 67 上に形成することができる。

【0097】

次に、図 31 (d) に示すように、上部電極 43, 56, 69 と、これに対応する上部電極パッド 83, 86, 89 とを、例えば金を含むワイヤ 73', 76', 79' 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 10 と、フレーム 20 と、トーションバー 30 とが一体となって、H 型振動子 10 上に駆動用圧電素子 40 および検出用圧電素子 50, 60 が設けられた角速度センサ 105 が完成する。但し、本実施形態では、図 30 (d) に示す工程において、図 11 及び図 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 31 (a) 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。また、H 型振動子 10 とフレーム 20 とトーションバー 30 とを一体成形する際、第 1 の実施形態の角速度センサ 101 の製造方法における図 16 (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。

【0098】

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。

【0099】

〔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。

【0100】

図 32 は、本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。角速度センサ 106 は、検出用圧電素子の配設様式が角速度センサ 101 と異なる。具体的には、検

10

20

30

40

50

出用圧電素子 70 が、支持部 11 と第 1 アーム 12a 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 12b 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様によつても、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

20

30

40

50

【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 12a, 12b との接合部には、一対の検出用圧電素子 70, 80 が設けられており、支持部 11 と第 2 アーム 13a, 13b との接合部には、第 2 アーム 13a と支持部 11 と第 2 アーム 13b とにわたって駆動用圧電素子 40' が設けられると共に、一対の検出用圧電素子 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様によつても、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。

【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。

【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 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 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

方向の振動量を、单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挙げて説明する。

【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様式が角速度センサ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、单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。

【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挙げて説明する。

【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。

【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

10

20

30

40

50

を挙げて説明する。

【0110】

図39は、本発明の第11の実施形態に係る角速度センサ111を表す。図39(a)は角速度センサ111の平面図であり、図39(b)は図39(a)の線B3-B3から見た矢視図である。角速度センサ111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の各々の先端に重り部92が設けられていた構成をとる。重り部92は、H型振動子10の対称面A1-A1について対称に配設され、これによってH型振動子10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のアーム先端部に重り部92を設けると、H型振動子10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111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。

10

【0111】

〔第12の実施形態〕

次に、本発明の第12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。

20

【0112】

図40は、本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る。角速度センサ112は、角速度センサ101とは異なるH型振動子10'を備える。具体的には、H型振動子10'は、支持部11と、当該支持部11よりも短い第1アーム12a, 12b及び第2アーム13a, 13bとを備える。より具体的には、例えば本実施形態の支持部11の長さL1は3000μmであり、アームの長さL3は1500μmである。支持部11の長さをアーム長さL3以上にすることで、H型振動子10の支持部11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30の形成が容易となる。即ち、支持部11がアーム長に対して長いことから、トーションバー30を大きくすることができます、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ます。具体的には、本実施形態では、トーションバー30の幅L7は800μmである。尚、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、他の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よい。

30

【0113】

〔第13の実施形態〕

図41は、本発明の第13の実施形態に係る角速度センサ113を表す。角速度センサ113では、センサ部113aと回路部113bとが一体となっている。センサ部113aは角速度センサ101と同一の構成である。回路部113bは、センサ部113aの駆動用圧電素子40を駆動するための駆動回路93, 及び、センサ部113aの検出用圧電素子50, 60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94が形成されている。より具体的には、H型振動子10, フレーム20及びトーションバー30を形成する際のシリコン基板として、駆動回路93及び検出回路94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14～図16を参照して説明したようにH型振動子10, フレーム20及びトーションバー30を形成する。これとともに、駆動回路93及び検出回路94並びにこれらを駆動用圧電素子40及び検出用圧電素子50, 60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113aに対する駆動回路93及び検出回路94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 と一緒に下部電極 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できる。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。

【 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。

【 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。

【 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 】

10

20

30

40

50

このような構成において、第1アーム12A, 12Bの根元には上述した第1の実施形態と同様に溝21~24が形成されており、また、第2アーム13A, 13Bの根元には同様に溝31~34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できるのである。

【0121】

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。

【0122】

〔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

【0123】

【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100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Deep-RIE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116'を用いることなく作製した場合を示す。

【図3】図1の線II—II-II—I—Iに沿った断面図であり、(a)はDeep-RIE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)はトーションバー30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100の動作モードと検出モードとを説明するための図である。30

【図5】図1に示す角速度センサ100におけるH型振動子10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100a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101の構成を示す平面図である。

【図9】図8の線IV—IVに沿った部分断面図である。

【図10】図8に示す角速度センサ101におけるH型振動子10の部位毎の歪み量を示すグラフである。

【図11】本発明の第1の実施形態に係る角速度センサ101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。40

【図12】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13】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101を図8の線II—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14】本発明の第1の実施形態に係る角速度センサ101の製造方法を説明するためのプロセス図である。

【図15】図14に続く製造方法を示すプロセス図である。

【図16】図14に続く別の製造方法を示すプロセス図である。

【図17】図8に示す角速度センサ101をフレーム20とH型振動子10及びトーショ50

ンバー 3 0 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 1 0 2 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 1 0 2 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 1 0 2 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 1 0 2 の製造方法で用いられるエッティ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。10

【図 22】図 11 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 23】本発明の第 3 の実施形態に係る角速度センサ 1 0 3 の構成を示す平面図である。

【図 24】(a) は図 23 の線 VI - VI に沿った部分断面図であり、(b) は図 23 の線 IX - IX 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 1 0 3 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 1 0 3 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 1 0 4 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 IV - IV 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 1 0 5 の構成を示す平面図である。

【図 29】図 28 の線 IX - IX に沿った断面図である。

【図 30】本発明の第 5 の実施形態に係る角速度センサ 1 0 5 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 1 0 6 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 1 0 7 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 1 0 8 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 1 0 8 の駆動用圧電素子 4 0 , 4 5 , 4 6 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 1 0 9 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 1 0 9 の駆動用圧電素子 4 0 , 4 5 , 4 6 , 4 7 , 4 8 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 1 1 0 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 1 1 1 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 1 1 2 の構成を示す平面図であ

10

20

30

40

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。

【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

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
、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'、73d'
、76'、79' ワイヤ

81 駆動下部電極パッド

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 スペーサ

91 嵩高部

92 重り部

93 駆動回路

10

20

30

40

50

9 4 検出回路

9 7 凹部

9 8、9 9 位置決めマーク

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

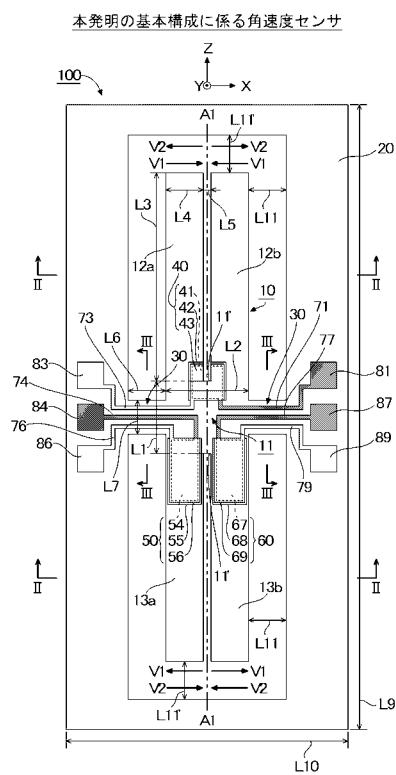
1 1 6' エッチング幅調整用レジストパターン

1 1 6' a 架橋部

S シリコン基板

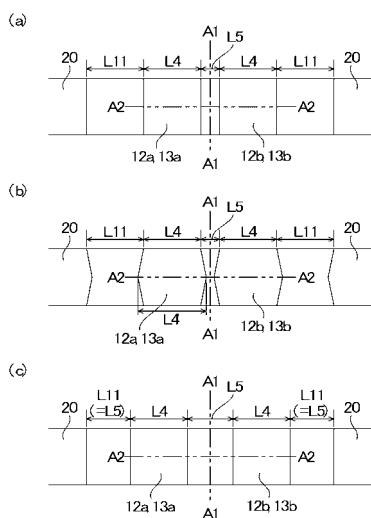
10

【図1】



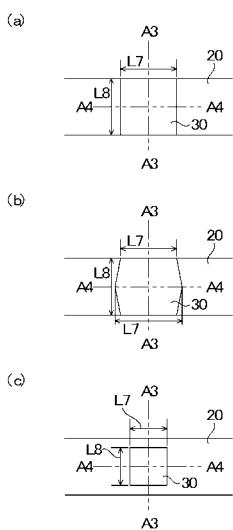
【図2】

図1の線II-IIに沿った部分断面図

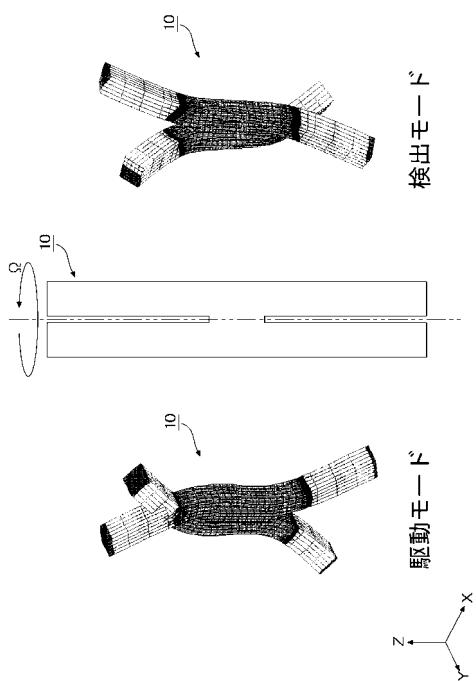


【図3】

図1の線III-IIIに沿った断面図

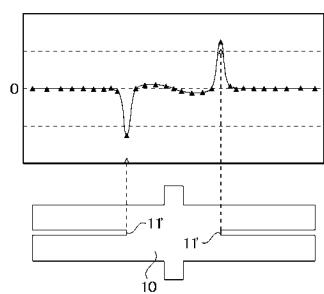


【図4】



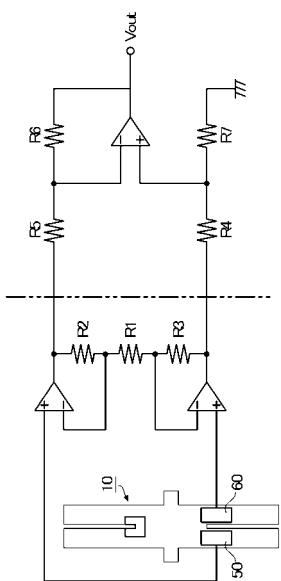
【図5】

H振動子の歪み量



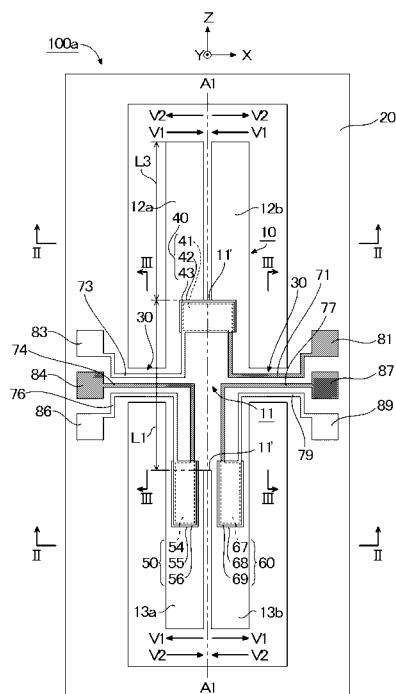
【図6】

本発明で用いる検出回路の一例



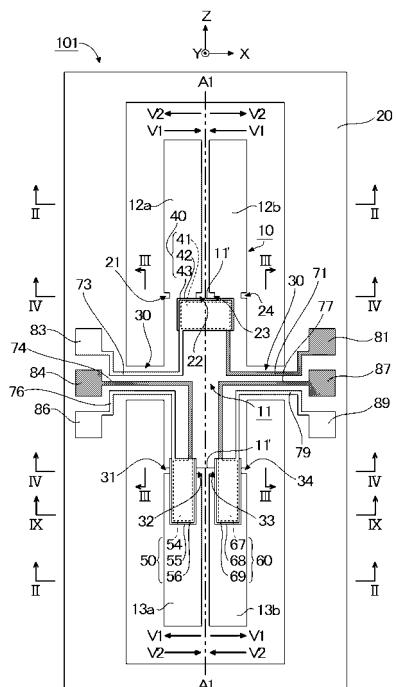
【 図 7 】

本発明の基本構成に係る別の角速度センサ



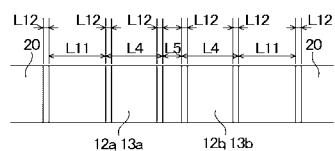
【 四 8 】

本発明の第1の実施形態に係る角速度センサ



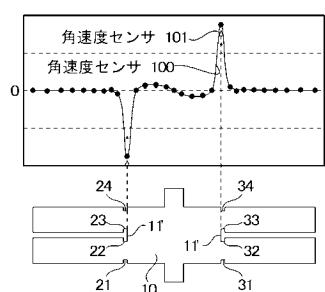
【 図 9 】

図8の線IV-IVに沿った部分断面図



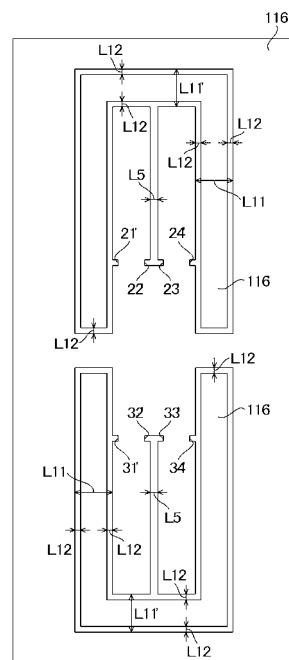
【 囮 1 0 】

H型振動子の歪み量



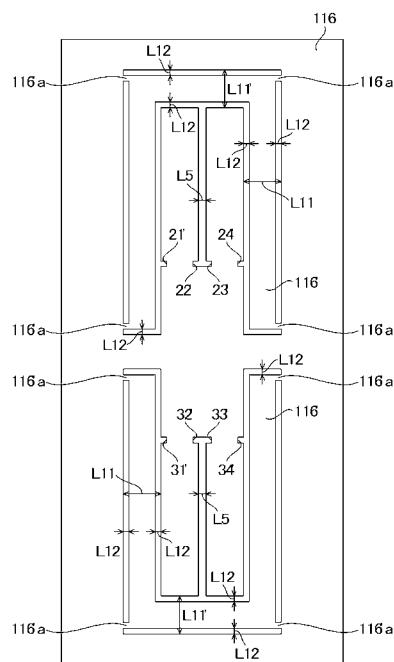
【 図 1 1 】

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



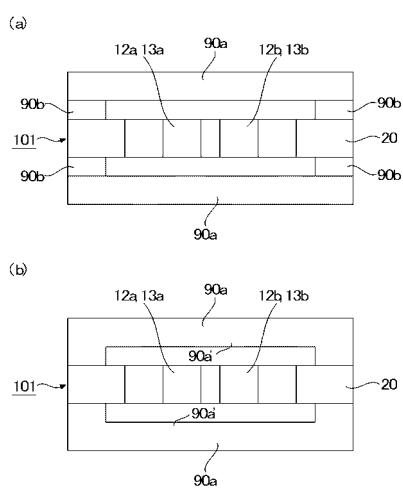
【図12】

エッジニ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



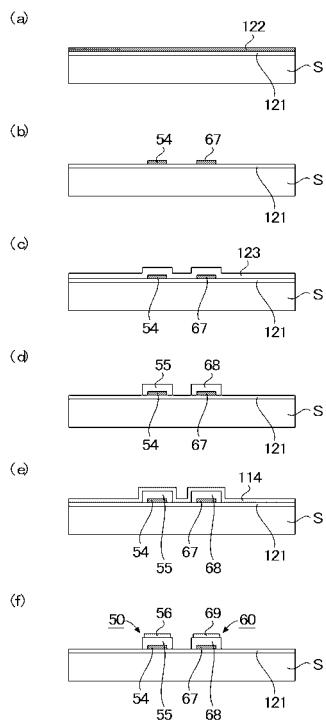
【図13】

パッケージングされた角速度センサの断面図



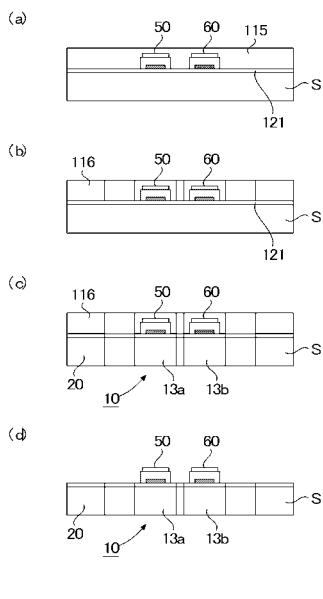
【図14】

図8の角速度センサの製造工程

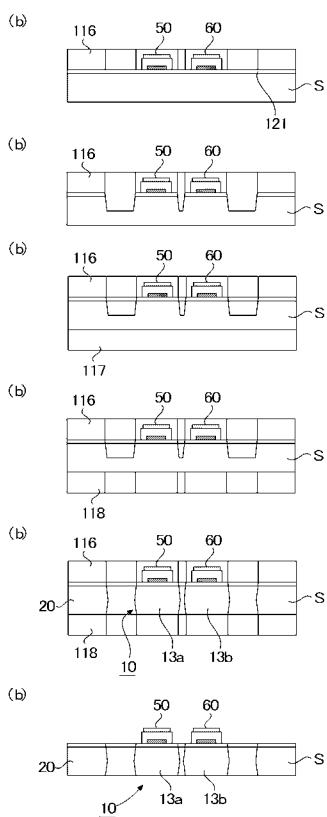


【図15】

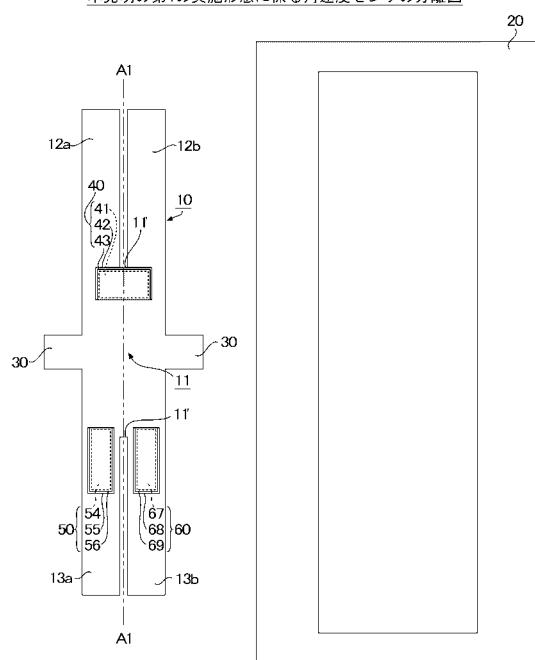
図14に続く工程



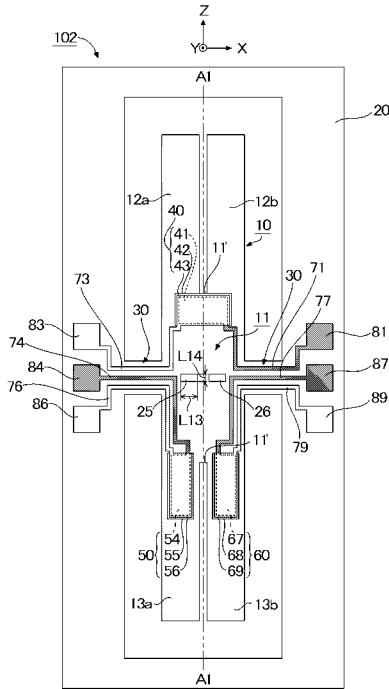
【図16】



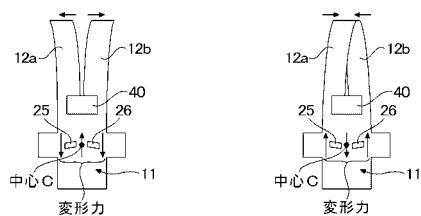
【図17】



【図18】

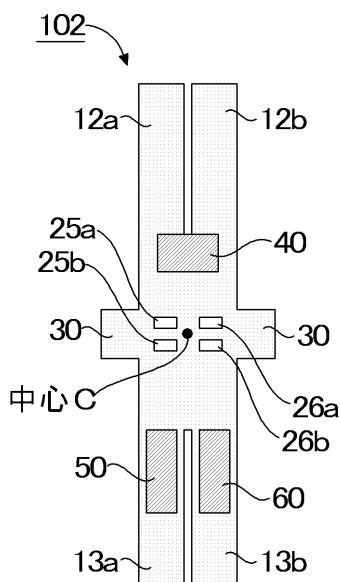


【図19】 (a) アームが開く場合の各部の変位 (b) アームが閉じる場合の各部の変位



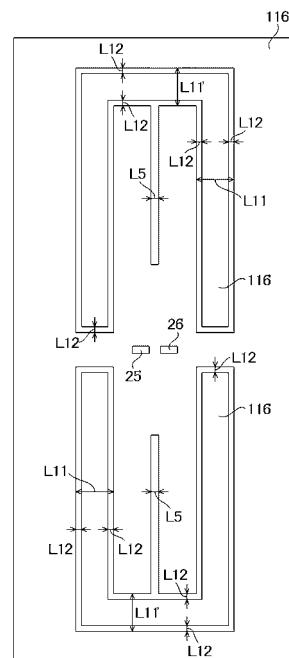
【図20】

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



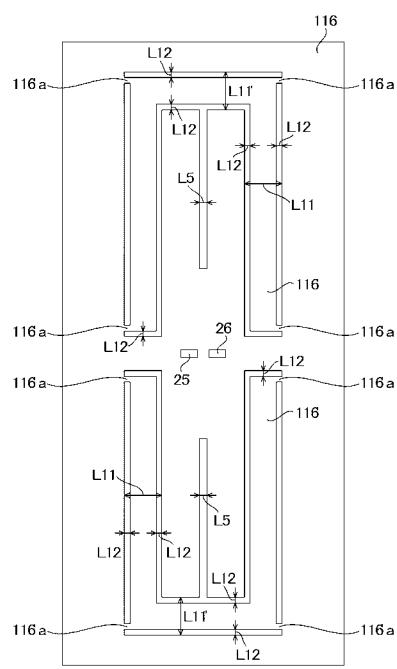
【図21】

エッティ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



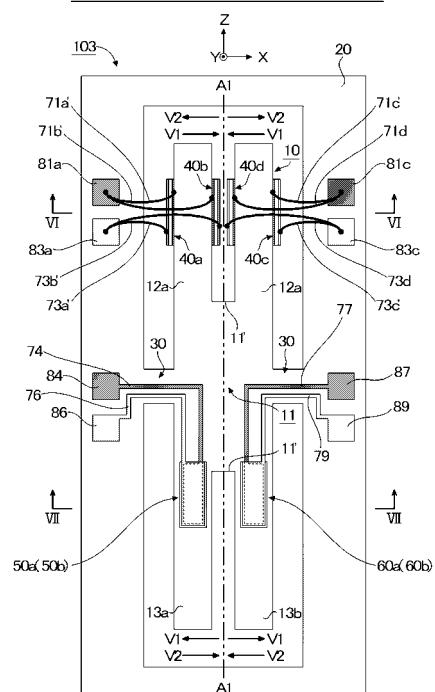
【図22】

エッティ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

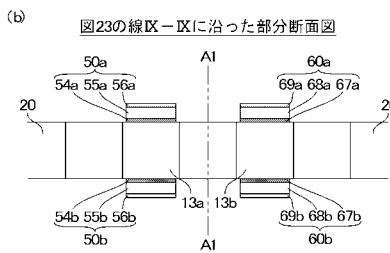
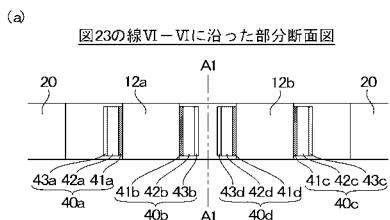


【図23】

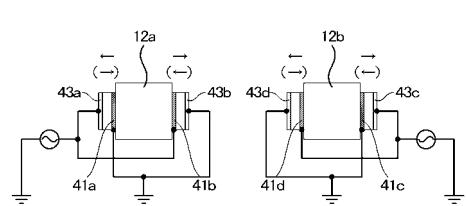
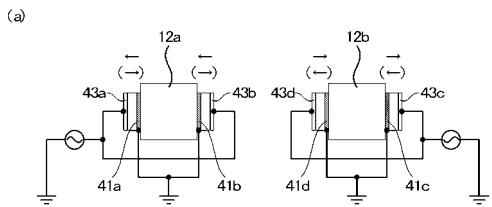
本発明の第3の実施形態に係る角速度センサ



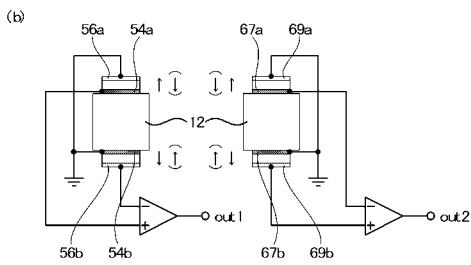
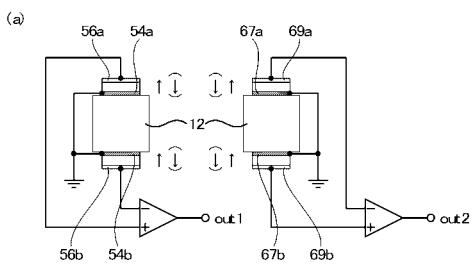
【図24】



【図25】

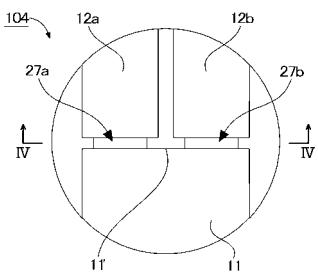


【図26】

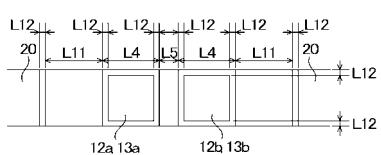


【図27】

(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

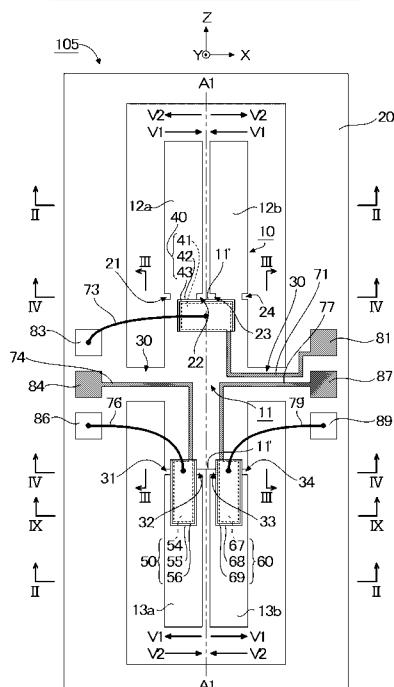


(b) (a)の線IV-IVに沿った部分断面図



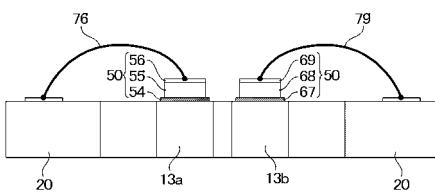
【 図 2 8 】

本発明の第5の実施形態に係る角速度センサ



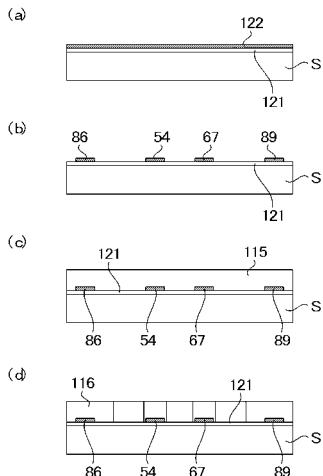
【 図 29 】

図28の線IX-IXに沿った断面図



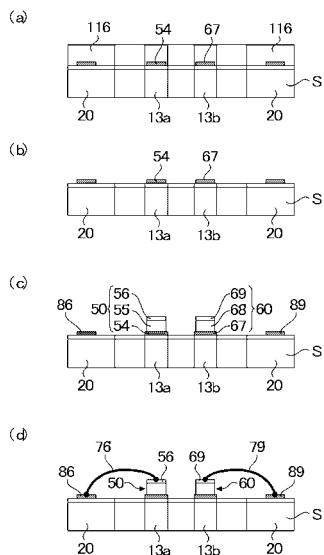
【 図 3 0 】

図28の角速度センサの製造工程



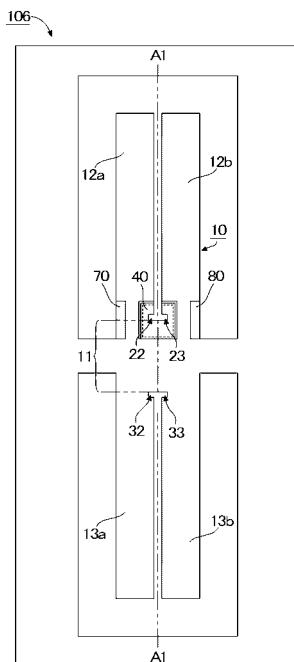
【図31】

図30に続く工程



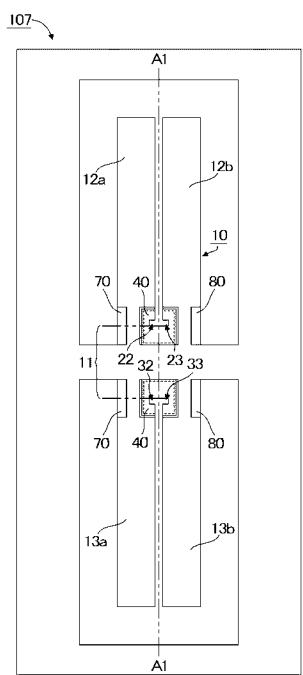
【図32】

本発明の第6の実施形態に係る角度センサ



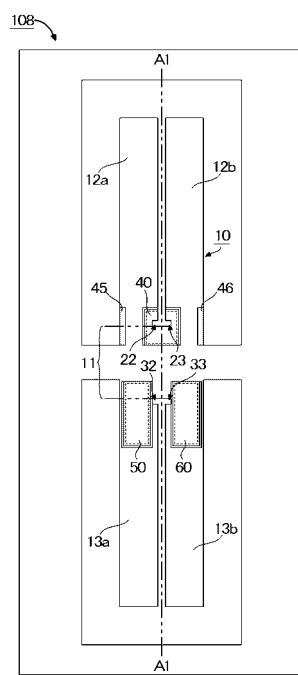
【図3-3】

本発明の第7の実施形態に係る角度センサ



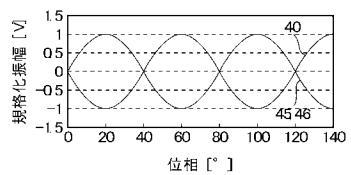
【図3-4】

本発明の第8の実施形態に係る角度センサ



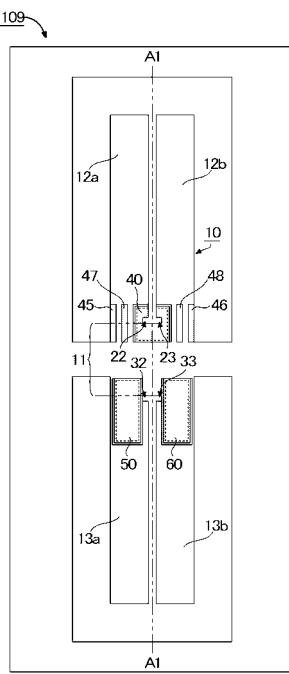
【図3-5】

図34に示す駆動用圧電素子への印加電圧



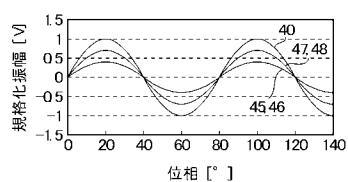
【図3-6】

本発明の第9の実施形態に係る角速度センサ



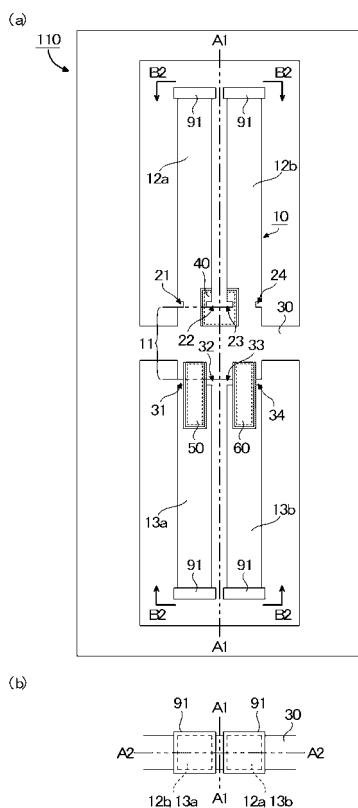
【図37】

図36に示す駆動用压電素子への印加電圧



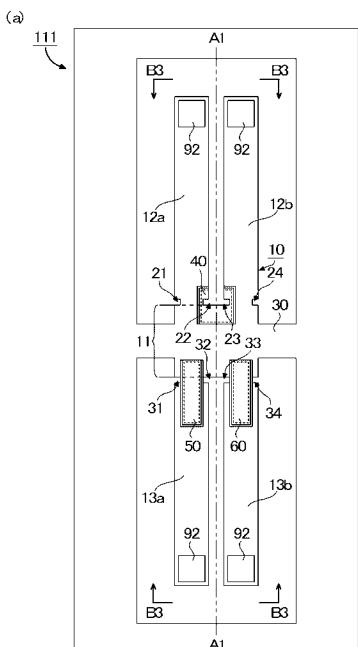
【図38】

本発明の第10の実施形態に係る角速度センサ



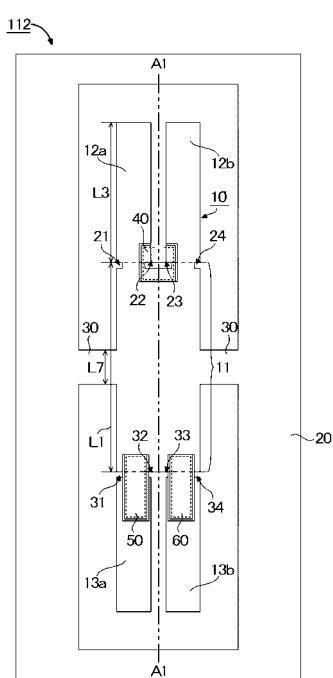
【図39】

本発明の第11の実施形態に係る角速度センサ

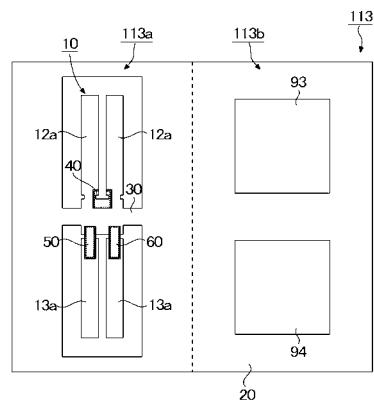


【図40】

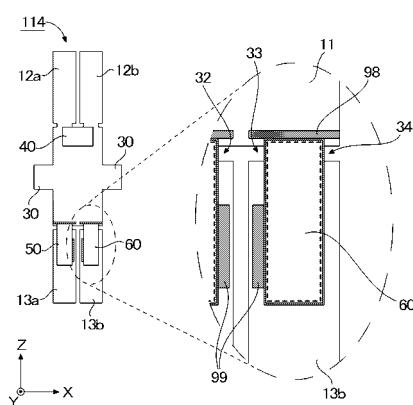
本発明の第12の実施形態に係る角速度センサ



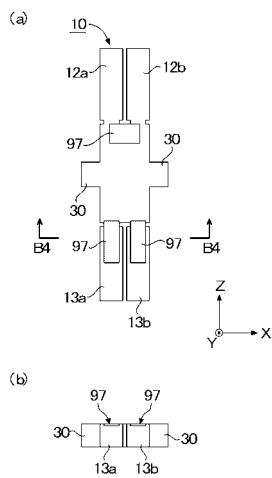
【図41】

本発明の第13の実施形態に係る角速度センサ

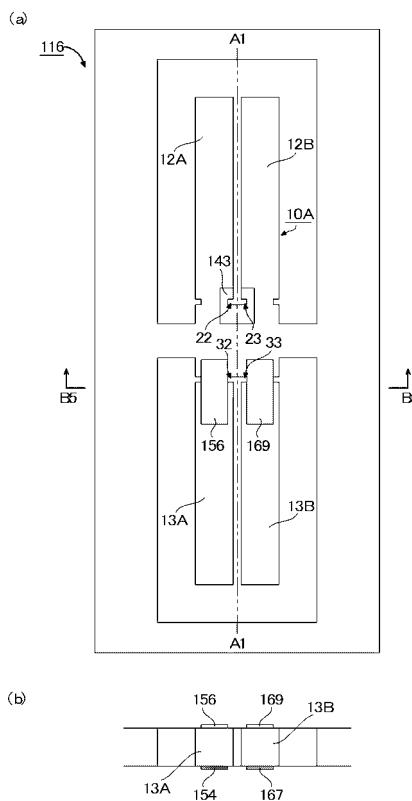
【図42】

本発明の第14の実施形態に係る角速度センサ

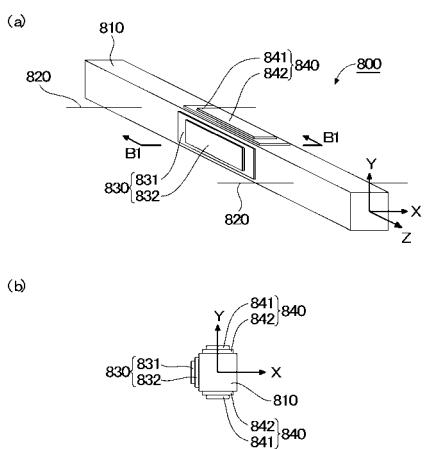
【図43】

本発明の第14の実施形態に係る別の角速度センサ

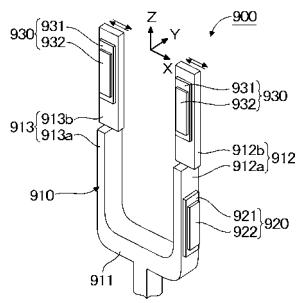
【図44】

本発明の第16の実施形態に係る角度センサ

【図45】

従来のビーム型角速度センサ

【図46】

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 薫科 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