

(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2007-307662
(P2007-307662A)

(43) 公開日 平成19年11月29日(2007.11.29)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
B 8 1 B 3/00 (2006.01)	B 8 1 B 3/00	2 H 0 4 1
G 0 2 B 26/08 (2006.01)	G 0 2 B 26/08 E	2 H 0 4 5
G 0 2 B 26/10 (2006.01)	G 0 2 B 26/10 1 O 4 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2006-139605 (P2006-139605)	(71) 出願人	000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(22) 出願日	平成18年5月18日 (2006.5.18)	(74) 代理人	100091292 弁理士 増田 達哉
		(74) 代理人	100091627 弁理士 朝比 一夫
		(72) 発明者	與田 光宏 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
		Fターム(参考)	2H041 AA12 AB14 AC06 AZ02 AZ06 AZ08 2H045 AB06 AB24 AB38 AB44 DA02

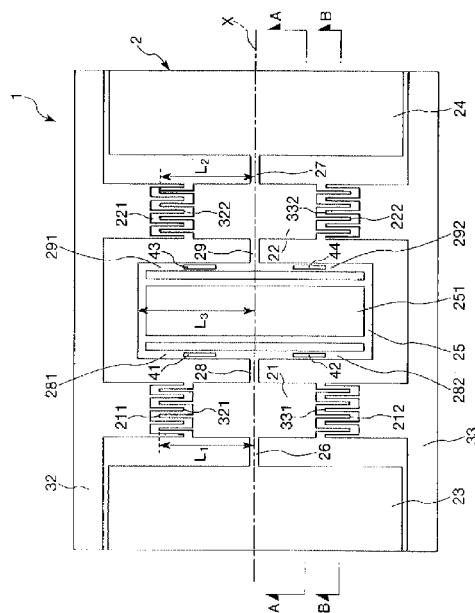
(54) 【発明の名称】 アクチュエータ

(57) 【要約】

【課題】、小型化を図りつつ、高精度に質量部の挙動を検知し、質量部の挙動を所望のものとすることができるアクチュエータを提供すること。

【解決手段】本発明のアクチュエータ1は、弾性部(第1の弾性部26、27、第2の弾性部28、29)を捩れ変形させながら、質量部(第1の質量部21、22、第2の質量部25)を回動させるように構成されたものであって、第2の弾性部28、29は、その少なくとも一部に、第2の質量部25の回動中心軸Xに対し直角な方向成分をもって延在し、第2の弾性部28、29全体の捩れ変形に伴って主として曲げ変形する曲げ変形部281、282、291、292を備え、曲げ変形部281、282、291、292上に設けられたピエゾ抵抗素子41、42、43、44の抵抗値の変化に基づいて、第2の質量部25の挙動を検知する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも 1 つの質量部と、
前記質量部を回動可能とするように支持する少なくとも 1 つの弾性部と、
前記質量部を回動駆動させるための駆動手段と、
前記質量部の挙動を検知する挙動検知手段とを有し、
前記挙動検知手段の検知結果に基づいて、前記駆動手段を作動させることにより、前記弾性部を捩れ変形させながら、前記質量部を回動させるように構成されたアクチュエータであって、

前記弾性部は、その少なくとも一部に、前記質量部の回動中心軸に対し直角な方向成分をもって延在し、前記弾性部全体の捩れ変形に伴って主として曲げ変形する曲げ変形部を備え、

前記挙動検知手段は、前記曲げ変形部上に設けられたピエゾ抵抗素子を備え、該ピエゾ抵抗素子の抵抗値の変化に基づいて、前記質量部の挙動を検知するように構成されていることを特徴とするアクチュエータ。

【請求項 2】

前記質量部として、1 対の第 1 の質量部と、該 1 対の質量部間に設けられた第 2 の質量部とを有するとともに、前記弾性部として、各前記第 1 の質量部を回動可能とするように支持する 1 対の第 1 の弾性部と、各前記第 1 の質量部と前記第 2 の質量部とを連結し、前記第 2 の質量部を回動可能とするように支持する 1 対の第 2 の弾性部とを有し、前記駆動手段の作動により、前記第 1 の弾性部を捩れ変形させながら前記第 1 の質量部を回動させ、これに伴い、前記第 2 の弾性部を捩れ変形させながら前記第 2 の質量部を回動させるように構成されている請求項 1 に記載のアクチュエータ。

【請求項 3】

各前記第 1 の質量部は、前記回動中心軸からの遠位側の両端部に、それぞれ、櫛歯状電極部が設けられ、前記駆動手段は、前記質量部の各前記櫛歯状電極部に間隙を隔てて噛み合うように、固定配置された櫛歯状電極部を備える電極を有し、前記電極の前記櫛歯状電極部と前記質量部の前記櫛歯状電極部との間に電圧を印加することにより、これらの間に静電引力を生じさせて、前記第 1 の質量部を回動させる請求項 2 に記載のアクチュエータ。

【請求項 4】

前記曲げ変形部は、各前記第 2 の弾性部に設けられている請求項 2 または 3 に記載のアクチュエータ。

【請求項 5】

前記弾性部は、その途中から分岐した 2 つの分岐部を有し、各前記分岐部は、前記質量部の回動中心軸を介して対向する位置で前記質量部に接続されるとともに、前記分岐部の少なくとも一部が前記曲げ変形部を構成する請求項 4 に記載のアクチュエータ。

【請求項 6】

前記分岐部は、その途中に、前記弾性部から前記質量部に伝達される捩りモーメントを緩衝させる緩衝部を有している請求項 5 に記載のアクチュエータ。

【請求項 7】

前記緩衝部は、前記弾性部の前記分岐部以外の部分のバネ定数よりも低いバネ定数の低バネ定数部で構成されている請求項 6 に記載のアクチュエータ。

【請求項 8】

前記緩衝部の横断面積は、前記弾性部の前記分岐部以外の部分の横断面積よりも小さい請求項 7 に記載のアクチュエータ。

【請求項 9】

前記緩衝部は、複数回折れ曲がるように形成された折曲部である請求項 7 または 8 に記載のアクチュエータ。

【請求項 10】

10

20

30

40

50

各前記分岐部は、前記質量部の前記回動中心軸と該回動中心軸からの遠位端との中間点より前記遠位端側の部分に接続されている請求項 5 ないし 9 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 1 1】

前記弾性部は、その途中に、複数回折れ曲がるように形成された折曲部を有し、該折曲部の少なくとも一部が前記曲げ変形部を構成する請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 1 2】

前記ピエゾ抵抗素子は、前記曲げ変形部の部分のうち、前記質量部の回動に伴う曲げ変形量の最も大きい部分上に設けられている請求項 1 ないし 1 1 のいずれかに記載のアクチュエータ。

10

【請求項 1 3】

前記質量部には、光反射性を有する光反射部が設けられている請求項 1 ないし 1 2 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、アクチュエータに関するものである。

【背景技術】

【0 0 0 2】

例えば、レーザープリンタ等にて光走査により描画を行うための光スキャナとして、振り振動子で構成されたアクチュエータを用いたものが知られている（例えば、特許文献 1 参照。）。

20

特許文献 1 には、1 自由度振動系の振り振動子を備えるアクチュエータが開示されている。このようなアクチュエータは、1 自由度振動系の振り振動子として、質量部をその両側で振りバネにより支持した構造を有している。そして、質量部上には光反射性を有する光反射部が設けられており、振りバネを捩れ変形させながら質量部を回動駆動させて、光反射部で光を反射し走査する。これにより、光走査により描画を行うことができる。

【0 0 0 3】

特に、特許文献 1 にかかるアクチュエータにあっては、直線状をなす振りバネ上にその長手方向に沿って、歪ゲージが形成されている。そして、振りバネを捩れ変形させながら質量部を回動させ、歪ゲージの抵抗値の変化量に基づき、質量部の回動角を検知する。このような検知結果に基づいて質量部を回動駆動することにより、質量部の挙動を所望のものとすることができる。このとき、歪ゲージの抵抗値の変化は振りバネの捩れ変形に伴うせん断応力によるものである。

30

【0 0 0 4】

しかしながら、特許文献 1 にかかるアクチュエータでは、前述したように直線状をなす振りバネ上に歪ゲージを設けているため、せん断応力を検出するタイプの歪ゲージを用いると、1 つの歪ゲージにつき電極端子が 4 つとなり、配線が複雑になってしまい、捩れバネの幅を細く形成するのが難しくなる。その結果、デバイス全体の形状が大きくなってしま

40

【0 0 0 5】

【特許文献 1】特開平 5 - 1 1 9 2 8 0 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 6】

本発明の目的は、小型化を図りつつ、高精度に質量部の挙動を検知し、質量部の挙動を所望のものとすることができるアクチュエータを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0 0 0 7】

50

このような目的は、下記の本発明により達成される。

本発明のアクチュエータは、少なくとも1つの質量部と、

前記質量部を回動可能とするように支持する少なくとも1つの弾性部と、

前記質量部を回動駆動させるための駆動手段と、

前記質量部の挙動を検知する挙動検知手段とを有し、

前記挙動検知手段の検知結果に基づいて、前記駆動手段を作動させることにより、前記弾性部を捩れ変形させながら、前記質量部を回動させるように構成されたアクチュエータであって、

前記弾性部は、その少なくとも一部に、前記質量部の回動中心軸に対し直角な方向成分をもって延在し、前記弾性部全体の捩れ変形に伴って主として曲げ変形する曲げ変形部を備え、

前記挙動検知手段は、前記曲げ変形部上に設けられたピエゾ抵抗素子を備え、該ピエゾ抵抗素子の抵抗値の変化に基づいて、前記質量部の挙動を検知するように構成されていることを特徴とする。

これにより、弾性部の捩れ変形量に対するピエゾ抵抗素子の抵抗値の変化量を大きくすることができる。そのため、質量部の回動角が小さくても、ピエゾ抵抗素子の抵抗値の変化量を大きくすることができる。その結果、挙動検知手段の検知精度や検知感度を向上させ、小型化を図りつつ、質量部の挙動を高精度に検知して、質量部の挙動を所望のものとすることができる。

【0008】

本発明のアクチュエータでは、前記質量部として、1対の第1の質量部と、該1対の質量部間に設けられた第2の質量部とを有するとともに、前記弾性部として、各前記第1の質量部を回動可能とするように支持する1対の第1の弾性部と、各前記第1の質量部と前記第2の質量部とを連結し、前記第2の質量部を回動可能とするように支持する1対の第2の弾性部とを有し、前記駆動手段の作動により、前記第1の弾性部を捩れ変形させながら前記第1の質量部を回動させ、これに伴い、前記第2の弾性部を捩れ変形させながら前記第2の質量部を回動させるように構成されていることが好ましい。

これにより、本発明を2自由度振動系のアクチュエータに適用することができる。

【0009】

本発明のアクチュエータでは、各前記第1の質量部は、前記回動中心軸からの遠位側の両端部に、それぞれ、櫛歯状電極部が設けられ、前記駆動手段は、前記質量部の各前記櫛歯状電極部に間隙を隔てて噛み合うように、固定配置された櫛歯状電極部を備える電極を有し、前記電極の前記櫛歯状電極部と前記質量部の前記櫛歯状電極部との間に電圧を印加することにより、これらの間に静電引力を生じさせて、前記第1の質量部を回動させることが好ましい。

これにより、平行平板型の電極を用いて第1の質量部を回動するものに比し、第1の質量部の回動角を大きくし、これに伴って、第2の質量部の回動角を大きくすることができる。

【0010】

本発明のアクチュエータでは、前記曲げ変形部は、各前記第2の弾性部に設けられていることが好ましい。

2自由度振動系のアクチュエータは、一般に、第2の質量部の回動角が第1の質量部の回動角よりも大きく、第2の弾性部の変形量は第1の弾性部の変形量よりも大きい。そのため、第2の弾性部に曲げ変形部を設けると、ピエゾ抵抗素子の抵抗値の変化量の幅を大きくすることができる。その結果、挙動検知手段の検知精度や検知感度をより優れたものとすることができる。

【0011】

本発明のアクチュエータでは、前記弾性部は、その途中から分岐した2つの分岐部を有し、各前記分岐部は、前記質量部の回動中心軸を介して対向する位置で前記質量部に接続されるとともに、前記分岐部の少なくとも一部が前記曲げ変形部を構成することが好まし

10

20

30

40

50

い。

これにより、弾性部から質量部へ振りモーメントが質量部の回動中心軸から離れた位置で伝達されるので、駆動時の弾性部の横断面形状の変化に伴う質量部の撓みを抑えるとともに、質量部の慣性力による撓みを抑えることができる。

【0012】

本発明のアクチュエータでは、前記分岐部は、その途中に、前記弾性部から前記質量部に伝達される振りモーメントを緩衝させる緩衝部を有していることが好ましい。

これにより、曲げ変形部の曲げ変形量を大きくするとともに、弾性部から質量部に伝達される振りトルクを緩衝部で低減して、駆動時の分岐部の撓みに伴う質量部の撓みも抑えることができる。

10

本発明のアクチュエータでは、前記緩衝部は、前記弾性部の前記分岐部以外の部分のバネ定数よりも低いバネ定数の低バネ定数部で構成されていることが好ましい。

これにより、弾性部の捩れ変形に対する質量部の追従性を良好なものとしつつ、駆動時における質量部の撓みを大幅に低減することができる。

【0013】

本発明のアクチュエータでは、前記緩衝部の横断面積は、前記弾性部の前記分岐部以外の部分の横断面積よりも小さいことが好ましい。

これにより、比較的簡単な構成で、駆動時における質量部の撓みを大幅に低減することができる。

本発明のアクチュエータでは、前記緩衝部は、複数回折れ曲がるように形成された折曲部であることが好ましい。

20

これにより、アクチュエータの製造時に、比較的簡単に、緩衝部を形成することができる。

【0014】

本発明のアクチュエータでは、各前記分岐部は、前記質量部の前記回動中心軸と該回動中心軸からの遠位端との中間点より前記遠位端側の部分に接続されていることが好ましい。

これにより、より確実に、駆動時における質量部の撓みを大幅に低減することができる。

【0015】

本発明のアクチュエータでは、前記弾性部は、その途中に、複数回折れ曲がるように形成された折曲部を有し、該折曲部の少なくとも一部が前記曲げ変形部を構成することが好ましい。

30

これにより、弾性部の長さを抑えつつ、弾性部のバネ定数を小さくすることができる。その結果、質量部の回動角を大きくして、質量部の挙動を所望のものとするすることができる。

【0016】

本発明のアクチュエータでは、前記 piezo 抵抗素子は、前記曲げ変形部の部分のうち、前記質量部の回動に伴う曲げ変形量の最も大きい部分上に設けられていることが好ましい。

40

これにより、弾性部の変形量や質量部の回動角に対する piezo 抵抗素子の抵抗値の変化量をより大きくして、挙動検知手段の検知精度や検知感度を向上させることができる。

本発明のアクチュエータでは、前記質量部には、光反射性を有する光反射部が設けられていることが好ましい。

これにより、本発明のアクチュエータを光スキャナ、光スイッチ、光アッテネータなどの光学デバイスに適用することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、本発明のアクチュエータの好適な実施形態について、添付図面を参照しつつ説明する。

50

< 第 1 実施形態 >

まず、本発明のアクチュエータの第 1 実施形態を説明する。

図 1 は、本発明のアクチュエータの第 1 実施形態を示す平面図、図 2 は、図 1 中の A - A 線断面図、図 3 は、図 1 中の B - B 線断面図、図 4 は、図 1 に示すアクチュエータの第 2 の質量部および第 2 の弾性部を示す部分拡大斜視図、図 5 は、図 1 に示すアクチュエータの制御系の概略構成を示す図、図 6 は、図 1 に示すアクチュエータにおける第 2 の質量部の挙動検出を説明するための図、図 7 は、図 1 に示すアクチュエータの駆動電圧の電圧波形の一例を示す図、図 8 は、図 1 に示すアクチュエータの駆動電圧として交流電圧を用いた場合における交流電圧の周波数と、第 1 の質量部および第 2 の質量部のそれぞれの振幅との関係を示すグラフである。なお、以下では、説明の便宜上、図 1 中の紙面手前側を「上」、紙面奥側を「下」、右側を「右」、左側を「左」と言い、図 2 中および図 3 中の上側を「上」、下側を「下」、右側を「右」、左側を「左」と言う。

10

【0018】

アクチュエータ 1 は、図 1 ないし図 3 に示すような 2 自由度振動系を有する基体 2 と、この基体 2 を支持する支持基板 3 とを有している。

基体 2 は、1 対の第 1 の質量部（駆動部）21、22 と、1 対の支持部 23、24 と、第 2 の質量部（可動部）25 と、1 対の第 1 の弾性部 26、27 と、1 対の第 2 の弾性部 28、29 と、1 対の電極 32、33 とを備えている。

【0019】

このようなアクチュエータ 1 においては、1 対の電極 32、33 に電圧を印加することにより、1 対の第 1 の弾性部 26、27 を捩れ変形させながら 1 対の第 1 の質量部 21、22 を回動させ、これに伴って、1 対の第 2 の弾性部 28、29 を捩れ変形させながら第 2 の質量部 25 を回動させる。このとき、1 対の第 1 の質量部 21、22 および第 2 の質量部 25 は、それぞれ、図 1 に示す回動中心軸 X を中心にして回動する。

20

【0020】

1 対の第 1 の質量部 21、22 は、それぞれ、板状をなし、互いにほぼ同一寸法でほぼ同一形状をなしている。

また、第 1 の質量部 21 の平面視にて回動中心軸 X に直角な方向での両端部（回動中心軸 X からの遠位側の両端部）には、櫛歯状をなす櫛歯状電極部 211、212 が設けられている。これと同様に、第 1 の質量部 22 の平面視にて回動中心軸 X に直角な方向での両端部（回動中心軸 X からの遠位側の両端部）には、櫛歯状をなす櫛歯状電極部 221、222 が設けられている。

30

また、1 対の質量部 21、22 の間には、第 2 の質量部 25 が設けられており、1 対の質量部 21、22 は、図 1 における平面視にて、第 2 の質量部 25 を中心として、ほぼ左右対称となるように設けられている。

【0021】

第 2 の質量部 25 は、板状をなし、その板面に光反射部 251 が設けられている。これにより、アクチュエータ 1 を光スキャナ、光アッテネータ、光スイッチなどの光デバイスに適用することができる。

このような第 1 の質量部 21、22 および第 2 の質量部 25 においては、第 1 の質量部 21、22 が第 1 の弾性部 26、27 を介して支持部 23、24 に接続され、第 2 の質量部 25 が第 2 の弾性部 28、29 を介して第 1 の質量部 21、22 に接続されている。

40

【0022】

第 1 の弾性部 26 は、第 1 の質量部 21 を支持部 23 に対して回動可能とするように、第 1 の質量部 21 と支持部 23 とを連結している。これと同様に、第 1 の弾性部 27 は、第 1 の質量部 22 を支持部 24 に対して回動可能とするように、第 1 の質量部 22 と支持部 24 とを連結している。

第 2 の弾性部 28 は、第 2 の質量部 25 を第 1 の質量部 21 に対して回動可能とするように、第 2 の質量部 25 と第 1 の質量部 21 とを連結している。これと同様に、第 2 の弾性部 29 は、第 2 の質量部 25 を第 1 の質量部 22 に対して回動可能とするように、第 2

50

の質量部 25 と第 1 の質量部 22 とを連結している。

【0023】

本発明にかかるアクチュエータ 1 では、第 2 の弾性部 28 は、その途中から分岐した 2 つの分岐部 281、282 を有している。これと同様に、第 2 の弾性部 29 は、その途中から分岐した 2 つの分岐部 291、292 を有している。

このような各分岐部 281、282 は、第 2 の質量部 25 の回動中心軸 X に対し直角な方向成分をもって延在し、第 2 の弾性部 28 全体の捩れ変形に伴って主として曲げ変形するもの（曲げ変形部）である。これと同様に、各分岐部 291、292 は、第 2 の質量部 25 の回動中心軸 X に対し直角な方向成分をもって延在し、第 2 の弾性部 29 全体の捩れ変形に伴って主として曲げ変形するもの（曲げ変形部）である。

10

【0024】

各分岐部 281、282、291、292 は、第 2 の質量部 25 の回動中心軸 X を介して対向する位置で第 2 の質量部 25 に接続されている。より具体的には、各分岐部 281、282、291、292 は、第 2 の質量部 25 の回動中心軸 X と該回動中心軸 X からの遠位端との中間点より前記遠位端側で、第 2 の質量部 25 に接続されている。

各分岐部 281、282、291、292 は、図 4 に示すように、その途中に弾性部 28 の他の部分よりも肉薄な肉薄部を有し、この肉薄部が、第 2 の弾性部 28、29 から第 2 の質量部 25 に伝達される捩りトルクを緩衝させる緩衝部を構成する。

すなわち、各分岐部 281、282、291、292 は、その途中に、第 2 の弾性部 28、29 から第 2 の質量部 25 に伝達される捩りトルクを緩衝させる緩衝部を有する。この緩衝部は、第 2 の弾性部 28、29 の分岐部 281、282、291、292 以外の部分のパネ定数よりも低いパネ定数の低パネ定数部で構成されている。

20

【0025】

本実施形態では、このように、緩衝部（肉薄部）の厚さは、第 2 の弾性部 28、29 の分岐部 281、282、291、292 以外の部分の厚さよりも小さくなっているが、緩衝部（肉薄部）の幅は第 2 の弾性部 28、29 の分岐部 281、282、291、292 以外の部分の幅とほぼ同じになっている。

これにより、緩衝部（肉薄部）の横断面積が、第 2 の弾性部 28、29 の分岐部 281、282、291、292 以外の部分の横断面積よりも小さくなっている。なお、前述したような機能を有する緩衝部を分岐部 281、282、291、292 の途中に設ける場合、緩衝部（肉薄部）の幅と、第 2 の弾性部 28、29 の分岐部 281、282、291、292 以外の部分の幅とは、異なってもよい。

30

【0026】

各第 1 の弾性部 26、27 および各第 2 の弾性部 28、29 は、同軸的に設けられており、これらを回動中心軸（回転軸）X として、第 1 の質量部 21、22 が支持部 23、24 に対して、また、第 2 の質量部 25 が第 1 の質量部 21、22 に対して回動可能となっている。

このように、基体 2 は、第 1 の質量部 21、22 と第 1 の弾性部 26、27 とで構成された第 1 の振動系と、第 2 の質量部 25 と第 2 の弾性部 28、29 とで構成された第 2 の振動系とを有する。すなわち、基体 2 は、第 1 の振動系および第 2 の振動系からなる 2 自由度振動系を有する。

40

【0027】

前述した第 2 の弾性部 28 において、分岐部 281 の上面には、その長手方向に沿ってピエゾ抵抗素子 41 が設けられている。これと同様に、分岐部 282 の上面には、その長手方向に沿ってピエゾ抵抗素子 42 が設けられ、分岐部 291 の上面には、その長手方向に沿ってピエゾ抵抗素子 43 が設けられ、分岐部 292 の上面には、その長手方向に沿ってピエゾ抵抗素子 44 が設けられている。

すなわち、各ピエゾ抵抗素子 41、42、43、44 は、前述した曲げ変形部上に設けられている。

【0028】

50

各ピエゾ抵抗素子 4 1、4 2、4 3、4 4 は、前記曲げ変形部の部分のうち、第 2 の質量部 2 5 の回動に伴う曲げ変形量の最も大きい部分上に設けられている。より具体的には、各ピエゾ抵抗素子 4 1、4 2、4 3、4 4 は、分岐部 2 8 1、2 8 2、2 9 1、2 9 2 の長手方向（回動中心軸 X に直角な方向）でのほぼ中央部の上面に設けられている。

ピエゾ抵抗素子 4 1、4 2 は、第 2 の弾性部 2 8 の捩れ変形により、引張応力または圧縮応力を受け、また、ピエゾ抵抗素子 4 3、4 4 は、第 2 の弾性部 2 9 の捩れ変形により、引張応力または圧縮応力を受ける。

【0029】

より具体的には、ピエゾ抵抗素子 4 1 は、第 2 の弾性部 2 8 の捩れ変形に伴う分岐部 2 8 1 の曲げ変形により、引張応力または圧縮応力を受ける。また、ピエゾ抵抗素子 4 2 は、第 2 の弾性部 2 8 の捩れ変形に伴う分岐部 2 8 2 の曲げ変形により、引張応力または圧縮応力を受ける。また、ピエゾ抵抗素子 4 3 は、第 2 の弾性部 2 9 の捩れ変形に伴う分岐部 2 9 1 の曲げ変形により、引張応力または圧縮応力を受ける。また、ピエゾ抵抗素子 4 4 は、第 2 の弾性部 2 9 の捩れ変形に伴う分岐部 2 9 2 の曲げ変形により、引張応力または圧縮応力を受ける。

10

【0030】

このようなピエゾ抵抗素子 4 1、4 2、4 3、4 4 は、後述するようにブリッジ回路（ホイーストンプリッジ回路）である検知回路 1 1 を構成している。このようなピエゾ抵抗素子 4 1、4 2、4 3、4 4 の抵抗値の変化に基づいて、第 2 の質量部 2 5 の挙動を検知するように構成されている。

20

このようなピエゾ抵抗素子 4 1、4 2、4 3、4 4 のそれぞれの構成材料としては、特に限定されないが、例えば、不純物をドーブしたシリコンを用いることができる。

なお、本実施形態では、ピエゾ抵抗素子 4 1、4 2、4 3、4 4 を分岐部 2 8 1、2 8 2、2 9 1、2 9 2 上に別体として形成しているが、分岐部 2 8 1、2 8 2、2 9 1、2 9 2 の一部として一体的に形成されていてもよい。

【0031】

このような 2 自由度振動系は、基体 2 の全体の厚さよりも薄く形成されているとともに、図 2 および図 3 にて上下方向で基体 2 の上部に位置している。換言すれば、基体 2 には、基体 2 の全体の厚さよりも薄い部分が形成されており、この薄い部分に異形孔が形成されることにより、第 1 の質量部 2 1、2 2 と第 2 の質量部 2 5 と第 1 の弾性部 2 6、2 7 と第 2 の弾性部 2 8、2 9 とが形成されている。

30

本実施形態では、前記薄肉部の上面が支持部 2 3、2 4 の上面と同一面上に位置することにより、前記薄い部分の下方には、各質量部 2 1、2 2、2 5 の回動のための空間（凹部）3 0 が形成されている。

【0032】

このような基体 2 は、例えば、シリコンを主材料として構成されていて、第 1 の質量部 2 1、2 2 と、第 2 の質量部 2 5 と、支持部 2 3、2 4 と、第 1 の弾性部 2 6、2 7 と、第 2 の弾性部 2 8、2 9 とが一体的に形成されている。

なお、基体 2 は、SOI 基板等の積層構造を有する基板から、第 1 の質量部 2 1、2 2 と、第 2 の質量部 2 5 と、支持部 2 3、2 4 と、第 1 の弾性部 2 6、2 7 と、第 2 の弾性部 2 8、2 9 と、電極 3 2、3 3 とを形成したものであってもよい。その際、第 1 の質量部 2 1、2 2 と、第 2 の質量部 2 5 と、支持部 2 3、2 4 の一部と、第 1 の弾性部 2 6、2 7 と、第 2 の弾性部 2 8、2 9 とが一体的となるように、これらを積層構造の基板の 1 つの層で構成するのが好ましい。

40

【0033】

また、電極 3 2、3 3 は、第 1 の質量部 2 1、2 2 と第 2 の質量部 2 5 と支持部 2 3、2 4 と第 1 の弾性部 2 6、2 7 と第 2 の弾性部 2 8、2 9 とに対し、離間している。これにより、電極 3 2、3 3 は、第 1 の質量部 2 1、2 2 と第 2 の質量部 2 5 と支持部 2 3、2 4 と第 1 の弾性部 2 6、2 7 と第 2 の弾性部 2 8、2 9 に対し電氣的に絶縁されている。

50

【0034】

また、電極32は、前述した第1の質量部21の櫛歯状電極部211に対し間隔を隔てつつ噛み合うように設けられた櫛歯状電極部321と、第1の質量部22の櫛歯状電極部221に対し間隔を隔てつつ噛み合うように設けられた櫛歯状電極部322とが形成されている。

これと同様に、電極33は、前述した第1の質量部21の櫛歯状電極部212に対し間隔を隔てつつ噛み合うように設けられた櫛歯状電極部331と、第1の質量部22の櫛歯状電極部222に対し間隔を隔てつつ噛み合うように設けられた櫛歯状電極部332とが形成されている。

【0035】

ここで、櫛歯状電極部211は、櫛歯状電極部321に対し、上下方向に初期変位しているのが好ましい。これと同様に、櫛歯状電極部212は櫛歯状電極部331に対し、櫛歯状電極部221は櫛歯状電極部322に対し、櫛歯状電極部222は櫛歯状電極部332に対し、上下方向に初期変位しているのが好ましい。これにより、第1の質量部21、22の回動駆動の開始を簡単にすることができる。

【0036】

電極32、33は、後述する電源回路12に接続されており、電極32、33に交流電圧（駆動電圧）を印加できるよう構成されている。

前述したような基体2に接合した支持基板3は、例えば、ガラスやシリコンを主材料として構成されている。

支持基板3の上面には、図2および図3に示すように、第2の質量部25に対応する部分に開口部31が形成されている。

この開口部31は、第2の質量部25が回動（振動）する際に、支持基板3に接触するのを防止する逃げ部を構成する。開口部（逃げ部）31を設けることにより、アクチュエータ1全体の大型化を防止しつつ、第2の質量部25の振れ角（振幅）をより大きく設定することができる。

【0037】

なお、前述したような逃げ部は、前記効果を十分に発揮し得る構成であれば、必ずしも支持基板3の下面（第2の質量部25と反対側の面）で開放（開口）していなくてもよい。すなわち、逃げ部は、支持基板3の上面に形成された凹部で構成することもできる。また、空間30の深さが第2の質量部25の振れ角（振幅）に対し大きい場合などには、逃げ部を設けなくともよい。

【0038】

ここで、アクチュエータ1の制御系を説明する。

本実施形態にかかるアクチュエータ1は、図5に示すように、前述したピエゾ抵抗素子41、42、43、44を含む検知回路11（挙動検知手段）と、電極32、33に電圧を印加する電源回路12と、検知回路11の出力信号に応じて電源回路12の駆動を制御する制御回路13（制御手段）とを有している。

【0039】

検知回路11（挙動検知手段）は、ピエゾ抵抗素子41、42、43、44で構成されたホイートストンブリッジ回路111と、ホイートストンブリッジ回路111の出力を増幅する作動アンプ112とを有している。このように構成された検知回路11は、ピエゾ抵抗素子41、42、43、44の歪み量（変形量）に応じた信号を出力するようになっている。すなわち、検知回路11は、前述した曲げ変形部（分岐部281、282、291、292）上に設けられたピエゾ抵抗素子41、42、43、44の抵抗値の変化に基づいて、第2の質量部25の挙動を検知するように構成されている。

【0040】

電源回路12は、駆動電圧として交流電圧を電極32、33に印加するように構成されている。ここで、電極32、33および電源回路12は、第1の質量部21、22を回動駆動させる駆動手段を構成する。

10

20

30

40

50

制御回路 13 は、検知回路 11 の出力信号に基づき、電源回路 12 の駆動を制御するように構成されている。

【0041】

以上のような構成のアクチュエータ 1 は、次のようにして駆動する。

すなわち、電極 32、33 に、例えば、正弦波（交流電圧）等を印加する。具体的には、例えば、第 1 の質量部 21、22 をアースしておき、電極 32 に、図 7（a）に示すような波形の電圧を印加し、電極 33 に、図 7（b）に示すような波形の電圧を印加する。すなわち、電極 32 と電極 33 とに交互に電圧を印加する。すると、電極 32 と第 1 の質量部 21、22 との間（より具体的には、櫛歯状電極部 321 と櫛歯状電極部 211 との間、および、櫛歯状電極部 322 と櫛歯状電極部 221 との間）と、電極 33 と第 1 の質量部 21、22 との間（より具体的には、櫛歯状電極部 331 と櫛歯状電極部 212 との間、および、櫛歯状電極部 332 と櫛歯状電極部 222 との間）とに交互に静電引力が生じる。

【0042】

この静電気力により、第 1 の弾性部 26、27 を軸に（すなわち、回動中心軸 X まわりに）、支持基板 3 の板面（図 1 における紙面）に対して傾斜するように振動（回動）する。

そして、この第 1 の質量部 21、22 の振動（駆動）に伴って、第 2 の弾性部 28、29 を介して連結されている第 2 の質量部 25 も、第 2 の弾性部 28、29 を軸に（すなわち、回動中心軸 X まわりに）、支持基板 3 の板面（図 1 における紙面）に対して傾斜するように振動（回動）する。

【0043】

このとき、分岐部 281、282 が第 2 の弾性部 28 の捩れ変形により主として曲げ変形し、これにより、 piezo 抵抗素子 41、42 が引張応力または圧縮応力を受け、また、分岐部 291、292 が第 2 の弾性部 29 の捩れ変形により主として曲げ変形し、これにより、piezo 抵抗素子 43、44 が引張応力または圧縮応力を受ける。以下、piezo 抵抗素子 41、42 に作用する圧縮応力および引張応力について、図 6 に基づき詳細に説明する。なお、piezo 抵抗素子 43、44 に作用する圧縮応力および引張応力については、piezo 抵抗素子 41、42 に作用する圧縮応力および引張応力と同様である。

【0044】

より具体的には、例えば、図 6（a）に示すように非駆動状態にある第 2 の質量部 25 を、第 2 の弾性部 28 を捩れ変形させながら、回動中心軸 X を中心として回動させると、第 2 の弾性部 28 の分岐部 281、282 は、図 6（b）または図 6（c）に示すように、回動中心軸 X を中心として略 S 字状に撓む。

したがって、図 6（b）に示すように第 2 の質量部 25 が回動しているとき、分岐部 281 の上面には圧縮応力が生じ、分岐部 282 の上面には引張応力が生じる。そのため、分岐部 281 上に設けられた piezo 抵抗素子 41 の抵抗値と、分岐部 282 上に設けられた piezo 抵抗素子 42 の抵抗値とのうち、一方が増加し、他方が減少する。

【0045】

また、図 6（c）に示すように第 2 の質量部 25 が回動しているとき、分岐部 281 の上面には引張応力が生じ、分岐部 282 の上面には圧縮応力が生じる。そのため、分岐部 281 上に設けられた piezo 抵抗素子 41 の抵抗値と、分岐部 282 上に設けられた piezo 抵抗素子 42 の抵抗値とのうち、前記一方が減少し、前記他方が増加する。

このような piezo 抵抗素子 41、42 の抵抗値の変化は、第 2 の弾性部 28 の捩れ変形量（より具体的には、分岐部 281、282 の曲げ変形量）に応じたものとなる。

これと同様に、piezo 抵抗素子 43、44 の抵抗値の変化は、第 2 の弾性部 29 の捩れ変形量（より具体的には、分岐部 291、292 の曲げ変形量）に応じたものとなる。

【0046】

このように第 2 の質量部 25 の回動に伴って piezo 抵抗素子 41、42、43、44 の抵抗値が変化すると、その変化量に応じて、図 5 に示す検知回路 11 の出力信号（電圧値

10

20

30

40

50

)も変化する。

すなわち、検知回路 1 1 からの出力信号は、第 2 の質量部 2 5 の挙動（例えば、回動角、振幅、振動数など）に対応したものとなる。

したがって、制御回路 1 3 は、検知回路 1 1 からの出力信号に基づき、電源回路 1 2 の駆動を制御して、第 2 の質量部 2 5 の挙動を所望のものとすることができる。

【0047】

以上説明したように、本実施形態のアクチュエータ 1 は、前述したような曲げ変形部（分岐部 2 8 1、2 8 2、2 9 1、2 9 2）上に設けられたピエゾ抵抗素子 4 1、4 2、4 3、4 4 の抵抗値の変化に基づいて、第 2 の質量部 2 5 の挙動を検知するように構成されているので、第 2 の弾性部 2 8、2 9 の捩れ変形量に対するピエゾ抵抗素子 4 1、4 2、4 3、4 4 の抵抗値の変化量を大きくすることができる。そのため、第 2 の質量部 2 5 の回動角が小さくても、ピエゾ抵抗素子 4 1、4 2、4 3、4 4 の抵抗値の変化量を大きくすることができる。その結果、小型化を図りつつ（配線の複雑なピエゾ抵抗素子を用いなくとも）、第 2 の質量部 2 5 の挙動検知の精度や感度を向上させ、第 2 の質量部 2 5 の挙動を高精度に検知して、第 2 の質量部 2 5 の挙動を所望のものとするすることができる。

10

【0048】

特に、各ピエゾ抵抗素子 4 1、4 2、4 3、4 4 は、前述した曲げ変形部の部分のうち、第 2 の質量部 2 5 の回動に伴う曲げ変形量の最も大きい部分上に設けられているので、第 2 の弾性部 2 8、2 9 の変形量や第 2 の質量部 2 5 の回動角に対するピエゾ抵抗素子 4 1、4 2、4 3、4 4 の抵抗値の変化量をより大きくして、第 2 の質量部 2 5 の挙動検知の精度や感度を向上させることができる。

20

【0049】

また、前述したような曲げ変形部は、各第 2 の弾性部 2 8、2 9 に設けられているので、ピエゾ抵抗素子 4 1、4 2、4 3、4 4 の抵抗値の変化量の幅を大きくすることができる。その結果、第 2 の質量部 2 5 の挙動検知の精度や感度をより優れたものとすることができる。これは、2 自由度振動系のアクチュエータが、一般に、第 2 の質量部 2 5 の回動角が第 1 の質量部 2 1、2 2 の回動角よりも大きく、また、第 2 の弾性部 2 8、2 9 の変形量が第 1 の弾性部 2 6、2 7 の変形量よりも大きいからである。

【0050】

また、本実施形態のアクチュエータ 1 は、前述したような櫛歯状電極部 2 1 1、2 1 2、2 2 1、2 2 2、3 2 1、3 2 2、3 3 1、3 3 2 を用いて第 1 の質量部 2 1、2 2 を回動させるように構成されているので、平行平板型の電極を用いて第 1 の質量部 2 1、2 2 を回動するものに比し、第 1 の質量部 2 1、2 2 の回動角を大きくし、これに伴って、第 2 の質量部 2 5 の回動角を大きくすることができる。

30

【0051】

ここで、本実施形態では、第 2 の弾性部 2 8、2 9 から第 2 の質量部 2 5 へ捩りトルクが第 2 の質量部 2 5 の回動中心軸 X から離れた位置で伝達されるので、駆動時の第 2 の弾性部 2 8、2 9 の横断面形状の変化に伴う第 2 の質量部 2 5 の撓みを抑えるとともに、第 2 の質量部 2 5 の慣性力による撓みを抑えることができる。その際、第 2 の弾性部 2 8、2 9 から第 2 の質量部 2 5 に伝達される捩りモーメントを分岐部 2 8 1、2 8 2、2 9 1、2 9 2 の緩衝部で低減して、駆動時の分岐部 2 8 1、2 8 2、2 9 1、2 9 2 の撓みに伴う第 2 の質量部 2 5 の撓みも抑えることができる。その結果、第 2 の質量部 2 5 の撓みを大幅に低減して、第 2 の質量部 2 5 の駆動時における平滑性を極めて高いものとするることができる。

40

【0052】

したがって、アクチュエータ 1 にあっては、第 2 の質量部 2 5 の振れ角を大きくしたり、第 2 の質量部 2 5 の厚さを小さくしたりしても、第 2 の質量部 2 5 の撓みを抑えて、高精度に駆動を行うことができる。

特に、本実施形態では、緩衝部（肉薄部）の厚さが、第 2 の弾性部 2 8、2 9 の分岐部 2 8 1、2 8 2、2 9 1、2 9 2 以外の部分の厚さよりも小さくなっているため、比較的

50

簡単な構成で、駆動時における第2の質量部25の撓みを大幅に低減することができる。

【0053】

また、緩衝部（肉薄部）の横断面積が、第2の弾性部28、29の分岐部281、282、291、292以外の部分の横断面積よりも小さくなっているため、この点でも、比較的簡単な構成で、駆動時における第2の質量部25の撓みを大幅に低減することができる。

その際、緩衝部の横断面積をAとし、第2の弾性部28、29の分岐部281、282、291、292以外の部分の横断面積をBとしたとき、 $1/4 < A/B < 1$ の関係を満たすのが好ましく、 $1/4 < A/B < 1/2$ の関係を満たすのがより好ましい。これにより、比較的簡単な構成で、かつ、より確実に、駆動時における第2の質量部25の撓みを低減することができる。

10

【0054】

また、前述した緩衝部は、第2の弾性部28、29の分岐部281、282、291、292以外の部分のバネ定数よりも低いバネ定数の低バネ定数部で構成されているため、第2の弾性部28、29の捩れ変形に対する第2の質量部25の追従性（応答性）を良好なものとしつつ、駆動時における第2の質量部25の撓みを大幅に低減することができる。

【0055】

また、各分岐部281、282、291、292は、第2の質量部25の回動中心軸Xと該回動中心軸Xからの遠位端との中間点より前記遠位端側で、第2の質量部25に接続されているため、より確実に、駆動時における第2の質量部25の撓みを大幅に低減することができる。

20

また、第2の弾性部28、29は、第2の質量部25を介して、その両側に1対設けられ、1対の第2の弾性部28、29がそれぞれ分岐部を有しているため、駆動時における第2の質量部25の撓みを大幅に低減するとともに、第2の質量部25をより高精度に駆動することができる。

【0056】

また、第1の質量部21の回動中心軸Xからこれにほぼ垂直な方向（長手方向）での長さを L_1 とし、第1の質量部22の回動中心軸Xからこれにほぼ垂直な方向（長手方向）での長さを L_2 とし、第2の質量部25の回動中心軸Xからこれにほぼ垂直な方向での長さを L_3 としたとき、本実施形態では、第1の質量部21、22が、それぞれ独立して設けられているため、第2の質量部25の大きさ（長さ L_3 ）にかかわらず、第1の質量部21、22と第2の質量部25とが干渉せず、 L_1 および L_2 を小さくすることができる。これにより、第1の質量部21、22の回転角度（振れ角）を大きくすることができ、その結果、第2の質量部25の回転角度を大きくすることができる。

30

また、第1の質量部21、22および第2の質量部25の寸法は、それぞれ、 $L_1 < L_3$ かつ $L_2 < L_3$ なる関係を満足するように設定されるのが好ましい。

【0057】

前記関係を満たすことにより、 L_1 および L_2 をより小さくすることができ、第1の質量部21、22の回転角度をより大きくすることができ、第2の質量部25の回転角度をさらに大きくすることができる。

40

この場合、第2の質量部25の最大回転角度が、 20° 以上となるように構成されるのが好ましい。

【0058】

これらによって、第1の質量部21、22の低電圧駆動と、第2の質量部25の大回転角度での振動（回動）とを実現することができる。

このため、このようなアクチュエータ1を、例えばレーザープリンタや、走査型共焦点レーザー顕微鏡等の装置に用いられる光スキャナに適用した場合には、より容易に装置を小型化することができる。

なお、前述したように、本実施形態では、 L_1 と L_2 とはほぼ等しく設定されているが

50

、 L_1 と L_2 とが異なっていてもよいことは言うまでもない。

【0059】

ところで、このような質量部 21、22、25 の振動系（2 自由度振動系）では、第 1 の質量部 21、22 および第 2 の質量部 25 の振幅（振れ角）と、印加する交流電圧の周波数との間に、図 8 に示すような周波数特性が存在している。

すなわち、かかる振動系は、第 1 の質量部 21、22 の振幅と、第 2 の質量部 25 の振幅とが大きくなる 2 つの共振周波数 f_{m_1} [kHz]、 f_{m_3} [kHz]（ただし、 $f_{m_1} < f_{m_3}$ ）と、第 1 の質量部 21、22 の振幅がほぼ 0 となる、1 つの反共振周波数 f_{m_2} [kHz] とを有している。

【0060】

この振動系では、電極 32、33 に印加する交流電圧の周波数 F が、2 つの共振周波数のうち低いもの、すなわち、 f_{m_1} とほぼ等しくなるように設定するのが好ましい。これにより、第 1 の質量部 21、22 の振幅を抑制しつつ、第 2 の質量部 25 の振れ角（回転角度）を大きくすることができる。

なお、本明細書中では、 F [kHz] と f_{m_1} [kHz] とがほぼ等しいとは、 $(f_{m_1} - 1) F > (f_{m_1} + 1)$ の条件を満足することを意味する。

【0061】

第 1 の質量部 21、22 の平均厚さは、それぞれ、1 ~ 1500 μm であるのが好ましく、10 ~ 300 μm であるのがより好ましい。

第 2 の質量部 25 の平均厚さは、1 ~ 1500 μm であるのが好ましく、10 ~ 300 μm であるのがより好ましい。

第 1 の弾性部 26、27 のばね定数 k_1 は、 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^4 \text{ Nm/rad}$ であるのが好ましく、 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^3 \text{ Nm/rad}$ であるのがより好ましく、 $1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^2 \text{ Nm/rad}$ であるのがさらに好ましい。これにより、第 2 の質量部 25 の回転角度（振れ角）をより大きくすることができる。

【0062】

一方、第 2 の弾性部 28、29 のばね定数 k_2 は、 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^4 \text{ Nm/rad}$ であるのが好ましく、 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^3 \text{ Nm/rad}$ であるのがより好ましく、 $1 \times 10^{-1} \sim 1 \times 10^2 \text{ Nm/rad}$ であるのがさらに好ましい。これにより、第 1 の質量部 21、22 の振れ角を抑制しつつ、第 2 の質量部 25 の振れ角をより大きくすることができる。

【0063】

また、第 1 の弾性部 26、27 のばね定数 k_1 と第 2 の弾性部 28、29 のばね定数を k_2 とは、 $k_1 > k_2$ なる関係を満足するのが好ましい。これにより、第 1 の質量部 21、22 の振れ角を抑制しつつ、第 2 の質量部 25 の回転角度（振れ角）をより大きくすることができる。

さらに、第 1 の質量部 21、22 の慣性モーメントを J_1 とし、第 2 の質量部 25 の慣性モーメントを J_2 としたとき、 J_1 と J_2 とは、 $J_1 > J_2$ なる関係を満足することが好ましく、 $J_1 < J_2$ なる関係を満足することがより好ましい。これにより、第 1 の質量部 21、22 の振れ角を抑制しつつ、第 2 の質量部 25 の回転角度（振れ角）をより大きくすることができる。

【0064】

ところで、第 1 の質量部 21、22 と第 1 の弾性部 26、27 とからなる第 1 の振動系の固有振動数 ω_1 は、第 1 の質量部 21、22 の慣性モーメント J_1 と、第 1 の弾性部 26、27 のばね定数 k_1 とにより、 $\omega_1 = (k_1 / J_1)^{1/2}$ によって与えられる。一方、第 2 の質量部 25 と第 2 の弾性部 28、29 とからなる第 2 の振動系の固有振動数 ω_2 は、第 2 の質量部 25 の慣性モーメント J_2 と、第 2 の弾性部 28、29 のばね定数 k_2 とにより、 $\omega_2 = (k_2 / J_2)^{1/2}$ によって与えられる。

このようにして求められる第 1 の振動系の固有振動数 ω_1 と第 2 の振動系の固有振動数 ω_2 とは、 $\omega_1 > \omega_2$ なる関係を満足するのが好ましい。これにより、第 1 の質量部 21

10

20

30

40

50

、 22 の振れ角を抑制しつつ、第 2 の質量部 25 の回転角度（振れ角）をより大きくすることができる。

【0065】

このようなアクチュエータ 1 は、例えば、次のようにして製造することができる。

図 9、図 10 は、それぞれ、第 1 実施形態のアクチュエータの製造方法を説明するための図（縦断面図）である。なお、以下では、説明の便宜上、図 9、図 10 中の上側を「上」、下側を「下」と言う。

[A1] まず、図 9（a）に示すように、例えばシリコン基板 5 を用意する。

次に、シリコン基板 5 の一方の面に、図 9（b）に示すように、支持部 23、24 と各質量部 21、22、25 と各弾性部 26、27、28、29 と電極 32、33 との形状（平面視形状）に対応するように、例えば、アルミニウム等により金属マスク 6 を形成する。なお、このとき、金属マスク 6 は、図示しないが、支持部 23、24 に対応する部分と電極 32、33 に対応する部分とは互いに連結した形状とする。

そして、図 9（c）に示すように、シリコン基板 5 の他方の面に、フォトリソを塗布し、露光、現像を行って、空間 30 の平面視形状と同様の形状をなす開口を有するレジストマスク 7 を形成する。なお、レジストマスク 7 の形成は、金属マスク 6 の形成よりも先に行ってもよい。

【0066】

次に、このレジストマスク 7 を介して、シリコン基板 5 の前記他方の面をエッチングした後、レジストマスク 7 を除去する。これにより、図 9（d）に示すように、空間 30 の平面視に対応する領域に凹部 51 が形成される。

エッチング方法としては、例えば、プラズマエッチング、リアクティブイオンエッチング、ビームエッチング、光アシストエッチング等の物理的エッチング法、ウェットエッチング等の化学的エッチング法等のうち 1 種または 2 種以上を組み合わせ用いることができる。なお、以下の各工程におけるエッチングにおいても、同様の方法を用いることができる。

【0067】

次に、金属マスク 6 を介して、シリコン基板 5 の前記一方の面側を、前記凹部 51 に対応する部分が貫通するまでエッチングする。

そして、シリコン基板 5 の分岐部 281、282、291、292 の肉薄部に対応する部分をシリコン基板 5 の前記他方の面側からエッチングやレーザー加工等により肉薄化する。

【0068】

そして、金属マスク 6 を除去した場合、この後、第 2 の質量部 25 上に金属膜を成膜し、光反射部 251 を形成する。

なお、ここで、シリコン基板 5 に対しエッチングを行った後、金属マスク 6 は除去してもよく、除去せずに残存させてもよい。金属マスク 6 を除去しない場合、第 2 の質量部 25 上に残存した金属マスク 6 は光反射部 251 として用いることができる。

【0069】

金属膜の成膜方法としては、真空蒸着、スパッタリング（低温スパッタリング）、イオンプレーティング等の乾式メッキ法、電解メッキ、無電解メッキ等の湿式メッキ法、溶射法、金属箔の接合等が挙げられる。なお、以下の各工程における金属膜の成膜においても、同様の方法を用いることができる。

以上の工程により、図 9（e）に示すように、支持部 23、24 と各質量部 21、22、25 と各弾性部 26、27、28、29 と電極 32、33 が一体的に形成された構造体を得られる。なお、支持部 23、24 と電極 32、33 との間の部分を、後述する工程にて除去する。

【0070】

[A2] 次に、図 10（a）に示すように、支持基板 3 を形成するための基板として、例えばシリコン基板 9 を用意する。

10

20

30

40

50

そして、シリコン基板 9 の一方の面に、開口部 3 1 を形成する領域を除いた部分に対応するように、例えば、アルミニウム等により金属マスクを形成する。

次に、この金属マスクを介して、シリコン基板 9 の一方の面側をエッチングした後、金属マスクを除去し、図 1 0 (b) に示すように、開口部 3 1 を形成する。すなわち、支持基板 3 が得られる。

【 0 0 7 1 】

[A 3] 次に、図 1 0 (c) に示すように、前記工程 [A 1] で得られた構造体と、前記工程 [A 2] で得られた支持基板 3 とを直接接合により接合した後に、前記構造体の支持部 2 3、2 4 と電極 3 2、3 3 との間の部分を除去して、アクチュエータ 1 を得る。なお、基体 2 と支持基板 3 との間に可動イオンを含む硼珪酸ガラスのようなガラスを介在させ、これらを陽極接合により接合してもよい。また、シリコン基板 9 に代えてガラス基板を用いて、基体 2 と支持基板 3 とを陽極接合により接合することもできる。

以上のようにして、第 1 実施形態のアクチュエータ 1 が製造される。

【 0 0 7 2 】

< 第 2 実施形態 >

次に、本発明のアクチュエータの第 2 実施形態について説明する。

図 1 1 は、本発明のアクチュエータの第 2 実施形態を示す平面図、図 1 2 は、図 9 に示すアクチュエータの第 2 の質量部および第 2 の弾性部を示す部分拡大斜視図である。なお、以下では、説明の便宜上、図 1 1 中の紙面に対し手前側を「上」、紙面に対し奥側を「下」、右側を「右」、左側を「左」、図 1 2 中の上側を「上」、下側を「下」、右側を「右」、左側を「左」と言う。

【 0 0 7 3 】

以下、第 2 実施形態のアクチュエータについて、前述した第 1 実施形態のアクチュエータとの相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

第 2 実施形態のアクチュエータ 1 A は、図 1 1 および図 1 2 に示すように、第 2 の弾性部 2 8、2 9 に代えて第 2 の弾性部 2 8 A、2 9 A を有していて、第 2 の弾性部の構成が異なるとともに、ピエゾ抵抗素子 4 1、4 2、4 3、4 4 の配置が異なる以外は、第 1 実施形態のアクチュエータ 1 とほぼ同様である。

【 0 0 7 4 】

第 2 実施形態のアクチュエータ 1 A は、図 1 1 に示すように、2 自由度振動系を有する基体 2 A を有しており、その基体 2 A において、第 2 の弾性部 2 8 A は、その途中から分岐した 2 つの分岐部 2 8 1 A、2 8 2 A を有している。これと同様に、第 2 の弾性部 2 9 A は、その途中から分岐した 2 つの分岐部 2 9 1 A、2 9 2 A を有している。

各分岐部 2 8 1 A、2 8 2 A、2 9 1 A、2 9 2 A は、その途中に、図 1 1 での平面視にて、矩形に複数回折れ曲がった折曲部を有している。

このような折曲部の一部は、第 2 の質量部 2 5 の回動中心軸 X に対し直角な方向成分をもって延在し、第 2 の弾性部 2 8、2 9 全体の捩れ変形に伴って主として曲げ変形する曲げ変形部を構成する。

【 0 0 7 5 】

また、この折曲部は、第 2 の弾性部 2 8 A、2 9 A から第 2 の質量部 2 5 に伝達される捩りトルクを緩衝させる緩衝部を構成する。このような緩衝部によっても、駆動時における第 2 の質量部 2 5 の撓みを大幅に低減することができる。また、このような折曲部（緩衝部）は、アクチュエータの製造時に、比較的簡単に形成することができる。

特に、このような緩衝部は、比較的簡単な構成で、駆動時における第 2 の質量部 2 5 の撓みを大幅に低減することができる。また、このような場合、アクチュエータの製造時において、前述した第 1 実施形態のような肉薄化を必要とせずに緩衝部を形成することができるので、アクチュエータの製造工程をより簡略化することができる。なお、分岐部 2 8 1 A、2 8 2 A、2 9 1 A、2 9 2 A の緩衝部を、前述した第 1 実施形態のように肉薄化してもよい。この場合、第 2 の弾性部 2 8 A、2 9 A から第 2 の質量部 2 5 に伝達される捩りトルクをより効果的に緩衝させることができる。

10

20

30

40

50

【0076】

なお、本実施形態では、分岐部を矩形に複数回折り曲げて緩衝部を構成した場合について説明したが、緩衝部を構成することができれば、これに限定されず、緩衝部を構成する分岐部の折り曲げ形状は任意である。また、本実施形態では、第2の質量部25の板面にほぼ平行な面上で分岐部が複数回折り曲げられているが、これに限定されず、例えば、第2の質量部25の板面に直角な面上で分岐部が複数回折り曲げられていてもよい。

【0077】

このような分岐部281A、282A、291A、292A上に、対応するピエゾ抵抗素子41、42、43、44が設けられている。

より具体的に説明すると、本実施形態では、分岐部281Aの回動中心軸Xに直角な方向成分をもって延びる部分のうち、最も回動中心軸Xに近い部分にピエゾ抵抗素子41が取り付けられている。

【0078】

これと同様に、分岐部282Aの回動中心軸Xに直角な方向成分をもって延びる部分のうち、最も回動中心軸Xに近い部分にピエゾ抵抗素子42が取り付けられている。また、分岐部291Aの回動中心軸Xに直角な方向成分をもって延びる部分のうち、最も回動中心軸Xに近い部分にピエゾ抵抗素子43が取り付けられている。また、分岐部292Aの回動中心軸Xに直角な方向成分をもって延びる部分のうち、最も回動中心軸Xに近い部分にピエゾ抵抗素子44が取り付けられている。

【0079】

このような分岐部281A、282A、291A、292Aは、第2の弾性部28、29が捩れ変形する際に、回動中心軸Xに近い側ほど変形量が大きいため、前記近い部分にピエゾ抵抗素子41、42、43、44を取り付けることにより、ピエゾ抵抗素子41、42、43、44の抵抗値の変化量の幅を大きくし、第2の質量部25の挙動の検知精度を向上させることができる。すなわち、第2の弾性部28、29の変形量や第2の質量部25の回動角に対するピエゾ抵抗素子41、42、43、44の抵抗値の変化量をより大きくして、第2の質量部25の挙動検知の精度や感度を向上させることができる。

以上説明したような第2実施形態のアクチュエータ1Aによっても、前述した第1実施形態のアクチュエータ1と同様の効果を得ることができる。

【0080】

< 第3実施形態 >

次に、本発明のアクチュエータの第3実施形態について説明する。

図13は、本発明のアクチュエータの第3実施形態を示す平面図、図14は、図13に示すアクチュエータの第2の質量部および第2の弾性部を示す部分拡大斜視図である。なお、以下では、説明の便宜上、図13中の紙面に対し手前側を「上」、紙面に対し奥側を「下」、右側を「右」、左側を「左」、図14中の上側を「上」、下側を「下」、右側を「右」、左側を「左」と言う。

【0081】

以下、第3実施形態のアクチュエータについて、前述した第1実施形態のアクチュエータとの相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

第3実施形態のアクチュエータ1Bは、1自由度振動系のアクチュエータである以外は、第1実施形態のアクチュエータ1とほぼ同様である。

【0082】

図13及び図14に示すアクチュエータ1Bは、第1の質量部21、22に対し第2の質量部25を回動可能とするように、第1の質量部21と第2の質量部25とを連結する第2の弾性部28B、および、第1の質量部22と第2の質量部25とを連結する第2の弾性部29Bを備えている。

第2の弾性部28Bは、その途中に、図13での平面視にて、矩形に複数回折れ曲がった折曲部281Bを有している。これと同様に、第2の弾性部29Bは、その途中に、図13での平面視にて、矩形に複数回折れ曲がった折曲部291Bを有している。このよう

10

20

30

40

50

な折曲部 281B、291Bの一部は、第2の質量部25の回動中心軸Xに対し直角な方向成分をもって延在し、第2の弾性部28、29全体の捩れ変形に伴って主として曲げ変形する曲げ変形部を構成する。

【0083】

このような折曲部281B、291Bを設けると、第2の弾性部28、29の長さを抑えつつ、第2の弾性部28、29のバネ定数を小さくすることができる。その結果、構造全体のサイズを小さくすることができる。

そして、第2の弾性部28Bの折曲部281Bの上面には、ピエゾ抵抗素子41が設けられ、折曲部281Bの下面には、ピエゾ抵抗素子42が設けられている。これと同様に、第2の弾性部29Bの折曲部291Bの上面には、ピエゾ抵抗素子43が設けられ、折曲部291Bの下面には、ピエゾ抵抗素子44が設けられている。

10

【0084】

特に、ピエゾ抵抗素子41、42、43、44は、前述した曲げ変形部の部分のうち、第2の質量部25の回動に伴う曲げ変形量の最も大きい部分上に設けられている。より具体的には、ピエゾ抵抗素子41、42は、折曲部281Bの回動中心軸X付近に設けられ、ピエゾ抵抗素子43、44は、折曲部291Bの回動中心軸X付近に設けられている。これにより、第2の弾性部28、29の変形量や第2の質量部25の回動角に対するピエゾ抵抗素子41、42、43、44の抵抗値の変化量をより大きくして、第2の質量部25の挙動検知の精度や感度を向上させることができる。

【0085】

以上説明したような第3実施形態のアクチュエータ1Bによっても、前述した第1実施形態のアクチュエータ1Bと同様の効果を得ることができる。

20

上述したようなアクチュエータ1~1Bは、各種の電子機器に適用することができ、得られる電子機器は、信頼性の高いものとなる。

以上説明したようなアクチュエータ1~1Bは、例えば、レーザープリンタ、バーコードリーダー、走査型共焦点レーザー顕微鏡等の光スキャナ、イメージング用ディスプレイ等に好適に適用することができる。

【0086】

以上、本発明のアクチュエータについて、図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、本発明のアクチュエータでは、各部の構成は、同様の機能を発揮する任意の構成のものに置換することができ、また、任意の構成を付加することもできる。

30

また、曲げ変形部は、弾性部全体の捩れ変形に伴って主として曲げ変形するものであれば、前述した実施形態に限定されず、形状、位置、大きさ等は任意である。例えば、前述した実施形態において、曲げ変形部を第1の弾性部26、27に設けてもよい。

【0087】

また、前述した第1~3実施形態では、第1の弾性部を1対有するものとして説明したが、これに限定されず、例えば、2対以上であってもよい。

また、前述した第1~3実施形態では、第2の弾性部を1対有するものとして説明したが、これに限定されず、例えば、2対以上であってもよい。

40

また、前述した実施形態では、2自由度振動系のアクチュエータ(すなわち、質量部として第1の質量部21、22および第2の質量部25を有し、弾性部として第1の弾性部26、27および第2の弾性部28、29を有するもの)について説明したが、1自由度または3自由度以上の振動系のアクチュエータにも本発明を適用することができる。

【0088】

また、前述した実施形態では、光反射部が第2の質量部の上面(支持基板とは逆側の面)に設けられている構成について説明したが、例えば、その逆の面に設けられている構成であってもよいし、両方の面に設けられている構成であってもよい。

また、前述した実施形態では静電駆動方式により駆動するものについて説明したが、これに限定されない。例えば、2自由度振動系を有するアクチュエータの駆動方式としては

50

、第1の質量部を回転させ、これに伴い、第2の弾性部を捩れ変形させながら、第2の質量部を回転させることができるものであれば、前述したものに限定されず、例えば、圧電素子を用いた駆動方式や、磁力を用いた駆動方式などであってもよい。

【図面の簡単な説明】

【0089】

【図1】本発明のアクチュエータの第1実施形態を示す平面図である。

【図2】図1中のA-A線断面図である。

【図3】図1中のB-B線断面図である。

【図4】図1に示すアクチュエータの第2の質量部および第2の弾性部を示す部分拡大斜視図である。

10

【図5】図1に示すアクチュエータの制御系の概略構成を示す図である。

【図6】図1に示すアクチュエータにおける第2の質量部の挙動検出を説明するための図である。

【0090】

【図7】図1に示すアクチュエータの駆動電圧の電圧波形の一例を示す図である。

【図8】図1に示すアクチュエータの駆動電圧として交流電圧を用いた場合における交流電圧の周波数と、第1の質量部および第2の質量部のそれぞれの振幅との関係を示すグラフである。

【図9】図1に示すアクチュエータの製造方法を説明するための図である。

【図10】図1に示すアクチュエータの製造方法を説明するための図である。

20

【図11】本発明のアクチュエータの第2実施形態を示す平面図である。

【図12】図11に示すアクチュエータの第2の質量部および第2の弾性部を示す部分拡大斜視図である。

【図13】本発明のアクチュエータの第3実施形態を示す平面図である。

【図14】図13に示すアクチュエータの第2の質量部および第2の弾性部を示す部分拡大斜視図である。

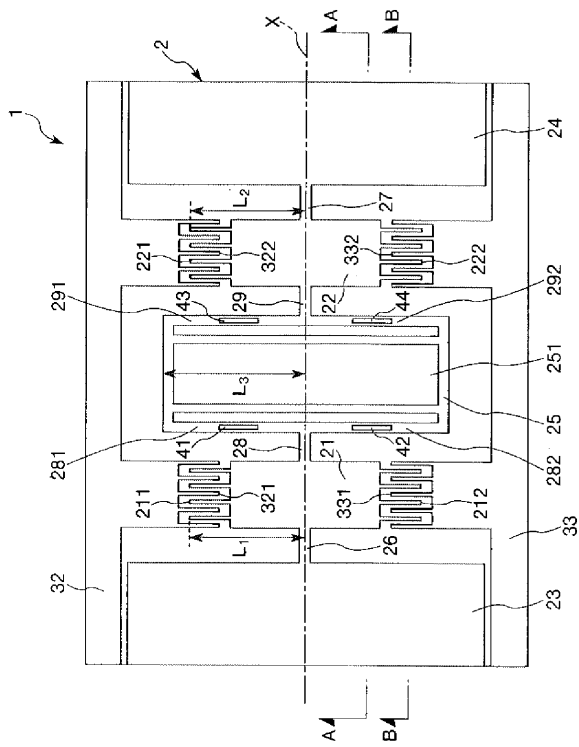
【符号の説明】

【0091】

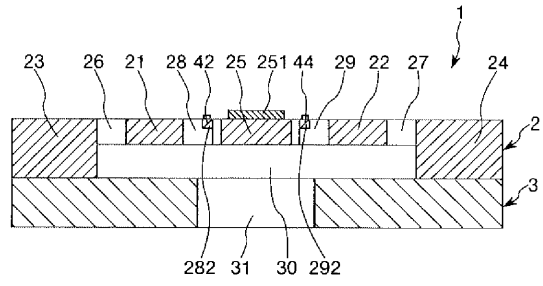
1、1A、1B ... アクチュエータ 11 ... 検知回路 111 ... ホイートストップ
リッジ回路 112 ... 作動アンプ 12 ... 電源回路 13 ... 制御回路 2、2A、
2B ... 基体 21、22 ... 第1の質量部 211、212、221、222 ... 櫛歯
状電極部 23、24 ... 支持部 25 ... 第2の質量部 251 ... 光反射部 26、
27 ... 第1の弾性部 28、28A、28B、29、29A、29B ... 第2の弾性部
281、281A、282、282A、291、291A、292、292A ... 分岐
部 281B、291B ... 折曲部 3 ... 支持基板 30 ... 空間 31 ... 開口部
32、33 ... 電極 321、322、331、332 ... 櫛歯状電極部 41、42、
43、44 ... ピエゾ抵抗素子 5 ... シリコン基板 51 ... 凹部 6 ... 金属マスク
7 ... レジストマスク 9 ... シリコン基板

30

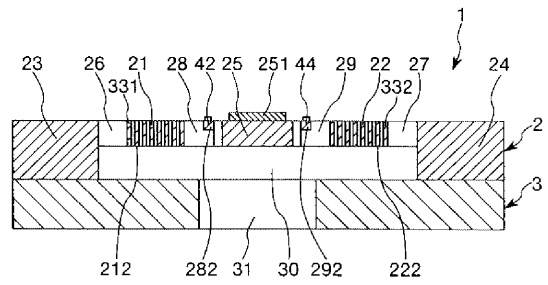
【図1】



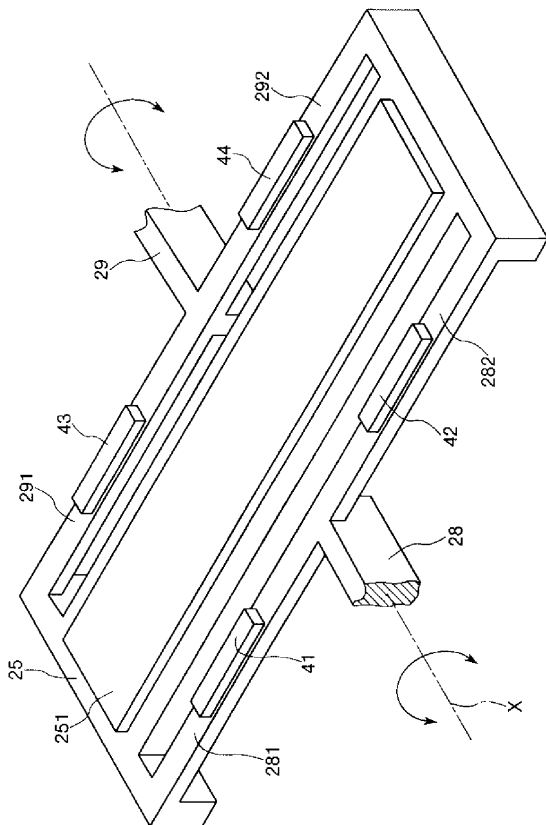
【図2】



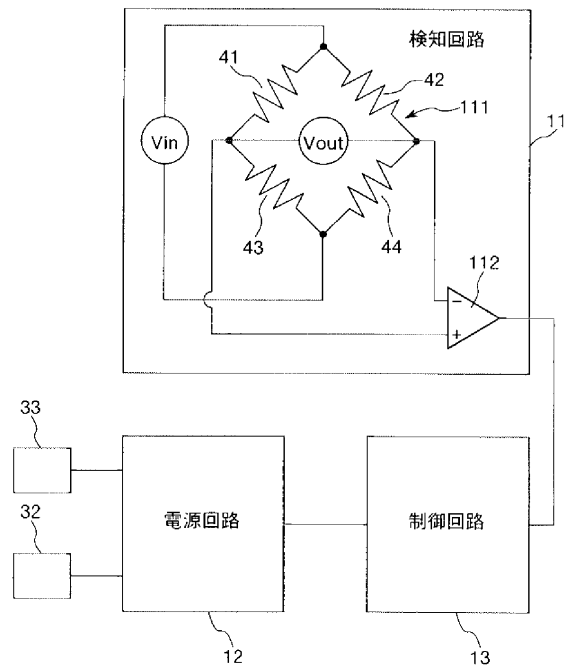
【図3】



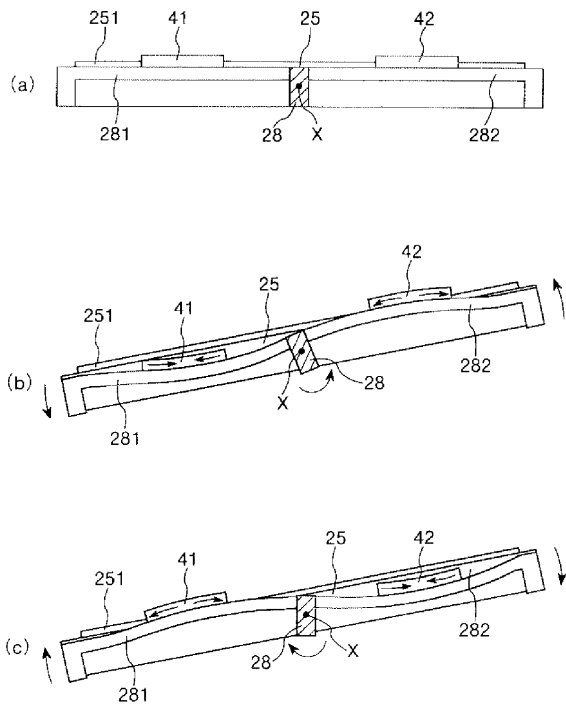
【図4】



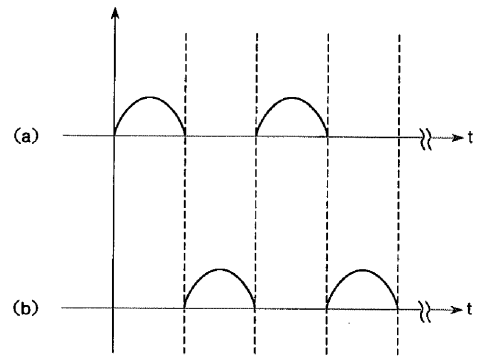
【図5】



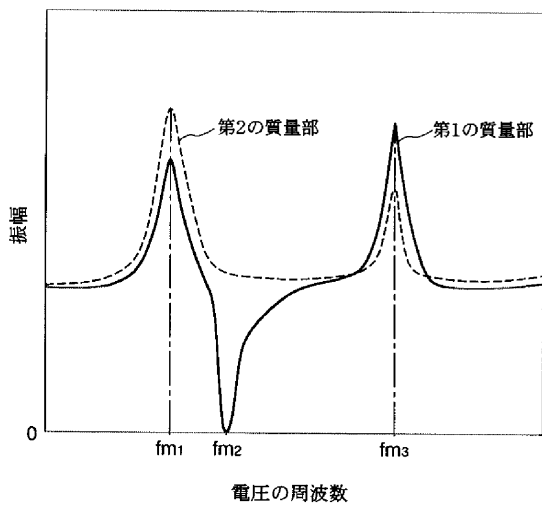
【 図 6 】



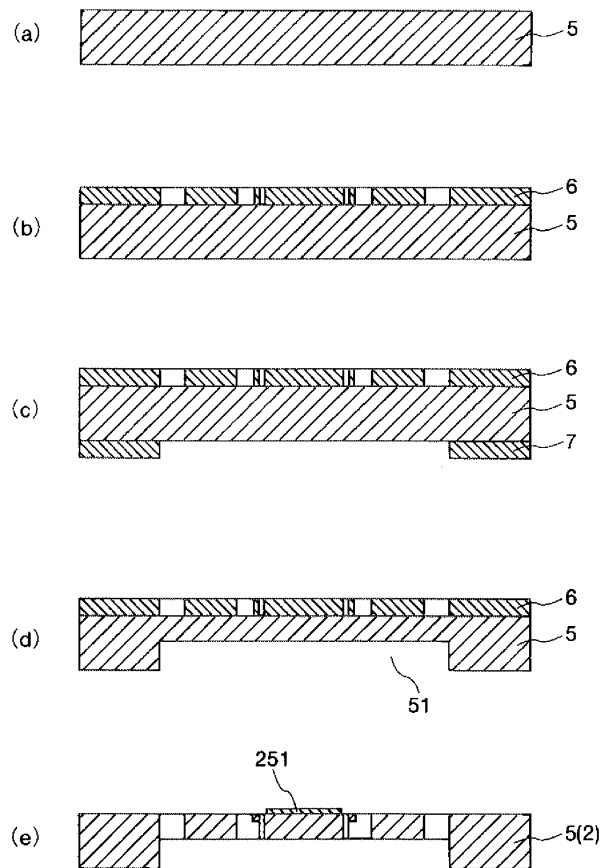
【 図 7 】



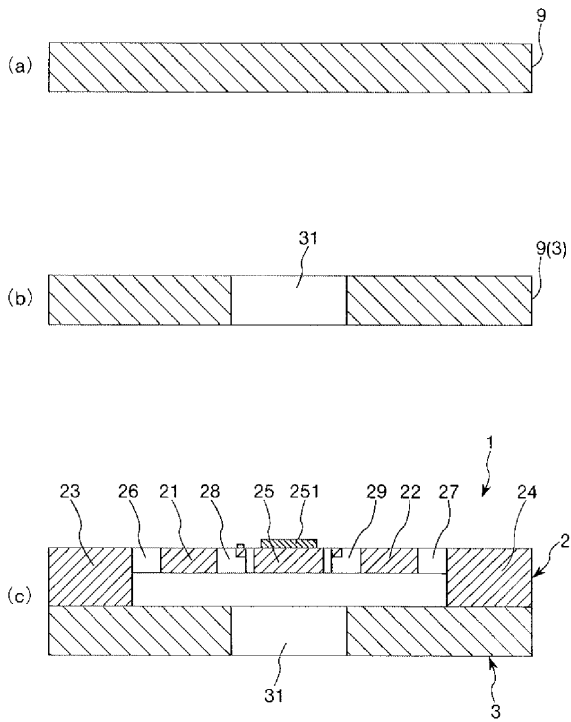
【 図 8 】



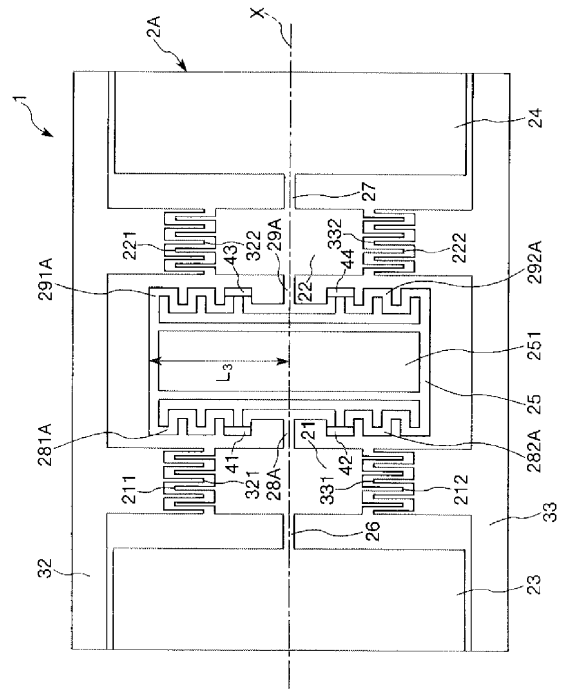
【 図 9 】



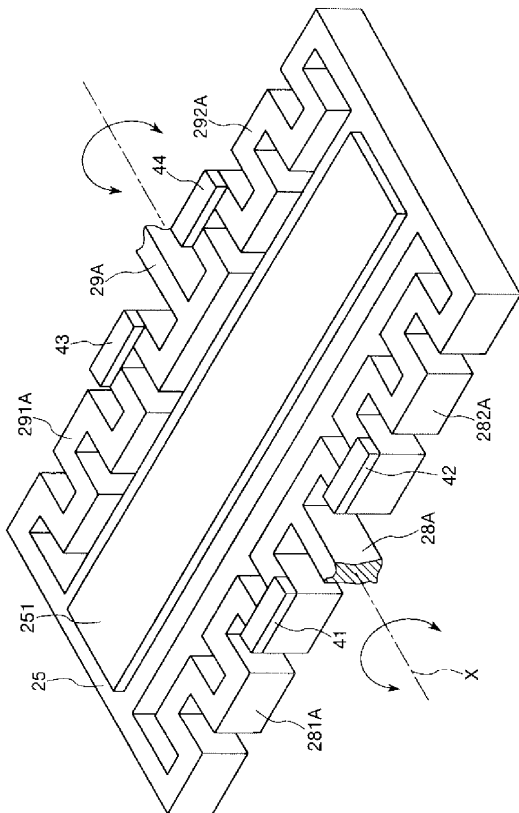
【図 10】



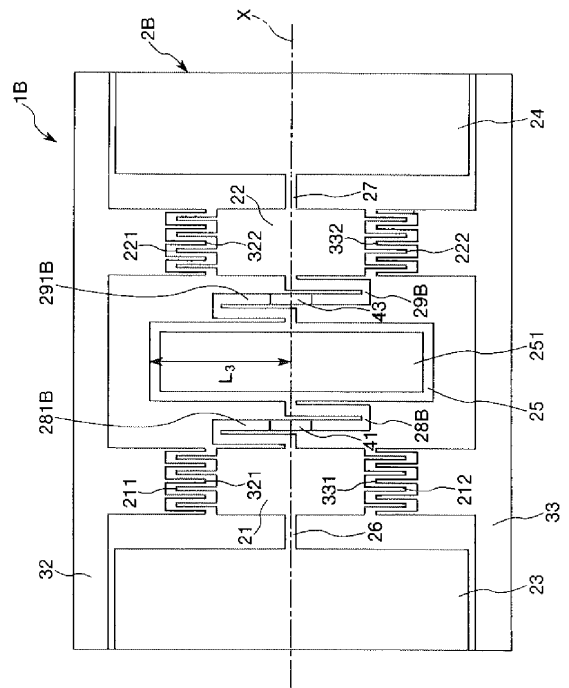
【図 11】



【図 12】



【図 13】



【 図 1 4 】

