

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4385937号
(P4385937)

(45) 発行日 平成21年12月16日(2009.12.16)

(24) 登録日 平成21年10月9日(2009.10.9)

(51) Int. Cl. F I
B 8 1 B 3/00 (2006.01) B 8 1 B 3/00
H O 2 N 13/00 (2006.01) H O 2 N 13/00 Z

請求項の数 17 (全 18 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2004-363607 (P2004-363607) (22) 出願日 平成16年12月15日(2004.12.15) (65) 公開番号 特開2006-167859 (P2006-167859A) (43) 公開日 平成18年6月29日(2006.6.29) 審査請求日 平成17年11月2日(2005.11.2)</p>	<p>(73) 特許権者 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 (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 審査官 岩瀬 昌治</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アクチュエータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

支持部と、

前記支持部に支持され、所定間隔で併設された複数の第1の電極指を備える可動櫛歯電極および可動部と、

前記可動櫛歯電極に対応する位置に設けられ、所定間隔で併設された複数の第2の電極指を備える固定櫛歯電極と、

前記可動櫛歯電極と前記支持部とを、前記可動櫛歯電極が前記支持部に対して回動可能となるように連結する一对の第1の弾性連結部と、

前記可動櫛歯電極と前記可動部とを、前記可動部が前記可動櫛歯電極に対して回動可能となるように連結する一对の第2の弾性連結部とを有し、

前記固定櫛歯電極と前記可動櫛歯電極との間に交流電圧を印加することにより生じるクーロン力によって、前記可動櫛歯電極が駆動し、それに伴い前記可動部が回動するアクチュエータであって、

回動中心軸の方向から見たとき、前記各第1の電極指の厚さが、前記各第2の電極指の厚さより大きく、

前記交流電圧の非印加時に、回動中心軸の方向から見たとき、前記各第1の電極指の先端部が、前記各第2の電極指の先端部を包含するように重なっており、かつ、前記各第1の電極指の厚さ方向の一方の端部の位置と、前記各第2の電極指の厚さ方向の一方の端部の位置とが略一致し、前記各第1の電極指の厚さ方向の長さの midpoint と前記各第2の電極指

10

20

の厚さ方向の長さの midpoint とがずれていることを特徴とするアクチュエータ。

【請求項 2】

回動中心軸の方向から見たときの前記各第 1 の電極指の厚さを A [μm] とし、前記各第 2 の電極指の厚さを B [μm] としたとき、 A / B が、 $1.0 \sim 3.0$ なる関係を満足する請求項 1 に記載のアクチュエータ。

【請求項 3】

前記固定櫛歯電極と前記可動櫛歯電極とは、共通の第 1 の基材に対して加工を施して形成された構造体である請求項 1 または 2 に記載のアクチュエータ。

【請求項 4】

前記支持部と前記可動部と前記第 1 の弾性連結部と前記第 2 の弾性連結部とは、前記第 1 の基材と共通の基材に対して加工を施して形成された構造体である請求項 3 に記載のアクチュエータ。

10

【請求項 5】

前記可動櫛歯電極と前記固定櫛歯電極とは、前記第 1 の基材にパターンニングを施して、前記第 1 の電極指と前記第 2 の電極指とを互いに非接触になるように分離して形成したものである請求項 3 または 4 に記載のアクチュエータ。

【請求項 6】

前記構造体は、シリコンで構成されている請求項 3 ないし 5 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 7】

前記支持部と前記固定櫛歯電極とを支持し、絶縁性を備える支持基板を有し、
前記構造体と前記支持基板とは、シリコンで構成された前記第 1 の基材と、シリコン酸化物で構成された中間層と、シリコンで構成された第 2 の基材とがこの順で積層されている積層体を加工して形成されたものである請求項 3 ないし 6 のいずれかに記載のアクチュエータ。

20

【請求項 8】

前記支持部と前記固定櫛歯電極とを支持し、絶縁性を備える支持基板を有する請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 9】

前記支持基板の前記可動部および / または前記可動櫛歯電極に対応する部位に開口部を有する請求項 7 または 8 に記載のアクチュエータ。

30

【請求項 10】

前記固定櫛歯電極と前記可動櫛歯電極とを 2 組備え、
前記固定櫛歯電極と前記可動櫛歯電極とは、それぞれ、前記可動部を介して該可動部の両側部に 1 組ずつ設けられている請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 11】

前記複数の第 1 の電極指は、前記可動櫛歯電極の前記回動中心軸に対して略垂直な方向の端部に設けられている請求項 1 ないし 10 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 12】

前記 1 組の固定櫛歯電極と前記可動櫛歯電極とは、前記可動櫛歯電極の前記回動中心軸に対して略垂直な方向の両端部に、それぞれ、前記固定櫛歯電極が 1 対設けられた構造をなす請求項 11 に記載のアクチュエータ。

40

【請求項 13】

前記可動櫛歯電極に、貫通孔が形成されている請求項 1 ないし 12 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 14】

前記可動部に、光反射部が設けられている請求項 1 ないし 13 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 15】

前記第 1 の弾性連結部のばね定数を k_1 、前記第 2 の弾性連結部のばね定数を k_2 とし

50

たとき、 k_1 と k_2 とが $k_1 > k_2$ の関係を満足する請求項 1 ないし 14 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 16】

前記交流電圧の周波数が、前記可動櫛歯電極と前記可動部とが共振する2自由度振動系の共振周波数のうち低いものと略等しくなるように設定されている請求項 1 ないし 15 のいずれかに記載のアクチュエータ。

【請求項 17】

前記一对の第1の弾性連結部と前記一对の第2の弾性連結部のうち少なくとも1つが、その内部にピエゾ抵抗素子を備えている請求項 1 ないし 16 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】

【0001】

本発明は、アクチュエータに関するものである。

【背景技術】

【0002】

例えば、レーザープリンタ等に用いられるアクチュエータとしてポリゴンミラー（回転多面体）が知られている。

しかし、このようなポリゴンミラーにおいて、より高解像度で品質のよい印字と高速印刷を達成するには、ポリゴンミラーの回転をさらに高速にしなければならない。現在のポリゴンミラーには高速安定回転を維持するためにエアベアリングが使用されているが、今以上の高速回転を得るのは困難となっている。また、高速にするためには、大型のモーターが必要であり、危機の小型化の面で不利であるという問題がある。このようなポリゴンミラーを用いると、構造が複雑となり、コストが高くなるといった問題も生じる。

また、図11に示すような、平行平板状に電極を配置した1自由度のねじり振動子は、その構造が簡単なことから、アクチュエータの研究初期から提案されている（例えば、非特許文献1参照）。また、前記ねじり振動子をカンチレバー方式とした1自由度静電駆動型振動子も提案されている（例えば、非特許文献2参照）。

【0003】

図11の1自由度静電駆動型ねじり振動子は、ガラス基板1000上の両端部にスペーサ200を介してシリコンの単結晶板からなる可動電極板300の両端固定部300aを固定し、この可動電極板300の両端固定部300a間に、細巾のトーションバー300bを介して可動電極部300cを支持させ、また、その可動電極部300cに電極間隔を置いて対向させる固定電極400を、ガラス基板1000上において前記可動電極部300cに対し平行配置している。可動電極板300と固定電極400の間にはスイッチ600を介して電源500が接続される。

【0004】

前記構成を有するねじり振動子は、可動電極部300cと固定電極400との間に電圧を印加すると、静電引力によりトーションバー300bを軸として可動電極部300cが回転するものである。しかるに、静電引力は電極間隔の二乗に反比例するため、この種の静電アクチュエータにおいては電極間隔を小さくすることが望まれる。しかし、上述した1自由度の構造では、可動電極部300cが電極と可動部を兼ねるため、電極間隔を狭くすると変位（回転角）に制約が生じ、また可動範囲を大きくとるためには電極間隔を大きくする必要がある。このため、低電圧駆動と大振幅（振れ角）の両立が困難であるという問題がある。

【0005】

【非特許文献1】K.E.Petersen: "Silicon Torsional Scanning Mirror", IBM J. Res. Develop., vol.24(1980)、P.631

【非特許文献2】河村他: "Siを用いたマイクロメカニクスの研究"、昭和61年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集、P.753

10

20

30

40

50

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明の目的は、低電圧での駆動が可能で、大きなトルクを作用させることができ、かつ、可動部の回転角度（振れ角）が大きい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】

【0007】

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、支持部と、

前記支持部に支持され、所定間隔で併設された複数の第1の電極指を備える可動櫛歯電極および可動部と、

前記可動櫛歯電極に対応する位置に設けられ、所定間隔で併設された複数の第2の電極指を備える固定櫛歯電極と、

前記可動櫛歯電極と前記支持部とを、前記可動櫛歯電極が前記支持部に対して回動可能となるように連結する一对の第1の弾性連結部と、

前記可動櫛歯電極と前記可動部とを、前記可動部が前記可動櫛歯電極に対して回動可能となるように連結する一对の第2の弾性連結部とを有し、

前記固定櫛歯電極と前記可動櫛歯電極との間に交流電圧を印加することにより生じるクーロン力によって、前記可動櫛歯電極が駆動し、それに伴い前記可動部が回動するアクチュエータであって、

回動中心軸の方向から見たとき、前記各第1の電極指の厚さが、前記各第2の電極指の厚さより大きく、

前記交流電圧の非印加時に、回動中心軸の方向から見たとき、前記各第1の電極指の先端部が、前記各第2の電極指の先端部を包含するように重なっており、かつ、前記各第1の電極指の厚さ方向の一方の端部の位置と、前記各第2の電極指の厚さ方向の一方の端部の位置とが略一致し、前記各第1の電極指の厚さ方向の長さの midpoint と前記各第2の電極指の厚さ方向の長さの midpoint とがずれていることを特徴とする。

これにより、固定櫛歯電極と可動櫛歯電極とが接近しているため、低電圧での駆動が可能で、可動櫛歯電極に大きなトルクを作用させることができ、かつ、可動部の回転角度（振れ角）が大きいアクチュエータを得ることができる。

また、可動櫛歯電極の強度を保ちつつ、可動櫛歯電極を振動（回動）させることができるため、アクチュエータの長寿命化を図ることができる。

【0010】

本発明のアクチュエータでは、回動中心軸の方向から見たときの前記各第1の電極指の厚さを A [μm] とし、前記各第2の電極指の厚さを B [μm] としたとき、 A/B が、 $1.0 \sim 3.0$ なる関係を満足することが好ましい。

これにより、駆動効率が、より向上し、低電圧での駆動が可能となる。

【0011】

本発明のアクチュエータでは、前記固定櫛歯電極と前記可動櫛歯電極とは、共通の第1の基材に対して加工を施して形成された構造体であることが好ましい。

これにより、固定櫛歯電極と可動櫛歯電極とが形成された構造体を容易に得ることができる。

【0012】

本発明のアクチュエータでは、前記支持部と前記可動部と前記第1の弾性連結部と前記第2の弾性連結部とは、前記第1の基材と共通の基材に対して加工を施して形成された構造体であることが好ましい。

これにより、支持部と可動部と第1の弾性連結部と第2の弾性連結部とが形成された構造体を容易に得ることができる。

【0013】

本発明のアクチュエータでは、前記可動櫛歯電極と前記固定櫛歯電極とは、前記第1の

10

20

30

40

50

基材にパターンングを施して、前記第1の電極指と前記第2の電極指とを互いに非接触になるように分離して形成したものであることが好ましい。

これにより、所望の形状、寸法の可動櫛歯電極と固定櫛歯電極とを精密に製造することができる。

本発明のアクチュエータでは、前記構造体は、シリコンで構成されていることが好ましい。

これにより、導電性を有する構造体を容易に形成することができる。また、安定して駆動が可能な可動部を容易に得ることができる。

【0014】

本発明のアクチュエータでは、前記支持部と前記固定櫛歯電極とを支持し、絶縁性を備える支持基板を有し、

前記構造体と前記支持基板とは、シリコンで構成された前記第1の基材と、シリコン酸化物で構成された中間層と、シリコンで構成された第2の基材とがこの順で積層されている積層体を加工して形成されたものであることが好ましい。

これにより、構造体と支持基板とを容易に形成することができる。

【0015】

本発明のアクチュエータでは、前記支持部と前記固定櫛歯電極とを支持し、絶縁性を備える支持基板を有することが好ましい。

これにより、アクチュエータの強度を補強することができる。

本発明のアクチュエータでは、前記支持基板の前記可動部および/または前記可動櫛歯電極に対応する部位に開口部を有することが好ましい。

これにより、可動部や可動櫛歯電極が変位したときに、可動部や可動櫛歯電極が支持基板に接触することを確実に防止することができる。

【0016】

本発明のアクチュエータでは、前記固定櫛歯電極と前記可動櫛歯電極とを2組備え、

前記固定櫛歯電極と前記可動櫛歯電極とは、それぞれ、前記可動部を介して該可動部の両側部に1組ずつ設けられていることが好ましい。

これにより、可動櫛歯電極に、より大きなトルクを作用させることができ、可動部の振れ角をより大きくすることができる。

【0017】

本発明のアクチュエータでは、前記複数の第1の電極指は、前記可動櫛歯電極の前記回動中心軸に対して略垂直な方向の端部に設けられていることが好ましい。

これにより、可動櫛歯電極を効率良く変位させることができる。

本発明のアクチュエータでは、前記1組の固定櫛歯電極と前記可動櫛歯電極とは、前記可動櫛歯電極の前記回動中心軸に対して略垂直な方向の両端部に、それぞれ、前記固定櫛歯電極が1対設けられた構造をなすことが好ましい。

これにより、可動櫛歯電極にさらに大きなトルクを作用させることができる。

【0018】

本発明のアクチュエータでは、前記可動櫛歯電極に、貫通孔が形成されていることが好ましい。

これにより、可動櫛歯電極の質量を低減することができるため、高速（高周波数）での駆動が可能となる。

本発明のアクチュエータでは、前記可動部に、光反射部が設けられていることが好ましい。

本発明のアクチュエータは、各種のものに適用可能であるが、例えば光スキャナへの適用が好適であり、この場合、光の光路を容易に変更することができる。

【0019】

本発明のアクチュエータでは、前記第1の弾性連結部のばね定数を k_1 、前記第2の弾性連結部のばね定数を k_2 としたとき、 k_1 と k_2 とが $k_1 > k_2$ の関係を満足することが好ましい。

10

20

30

40

50

これにより、可動櫛歯電極の振れ角を抑制しつつ、可動部の振れ角（回転角度）をより大きくすることができる。

【0020】

本発明のアクチュエータでは、前記交流電圧の周波数が、前記可動櫛歯電極と前記可動部とが共振する2自由度振動系の共振周波数のうち低いものと略等しくなるように設定されていることが好ましい。

これにより、低電圧で高速動作が可能で、かつ、振れ角（振幅）の大きいアクチュエータを提供することができる。また、このような構成とすることにより、可動櫛歯電極の振れ角を抑制しつつ、可動部の回転角度（振れ角）を大きくすることができる。

本発明のアクチュエータでは、前記一对の第1の弾性連結部と前記一对の第2の弾性連結部のうち少なくとも1つが、その内部にピエゾ抵抗素子を備えていることが好ましい。

これにより、例えば、回転角度および回転周波数を検出したりすることができ、また、その検出結果を、可動部の姿勢の制御に利用することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、本発明のアクチュエータを添付図面に示す好適実施形態に基づいて詳細に説明する。

まず、本発明のアクチュエータの第1実施形態について説明する。

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のA-A線での断面図、図3は、図1中のB-B線での断面図である。なお、以下では、説明の便宜上、図1中の右側を「右」、左側を「左」、上側を「上」、下側を「下」と言う。

【0022】

図1および図2に示すように、アクチュエータ100は、可動櫛歯電極（第1の質量部）1、11と、可動部（第2の質量部）2と、可動部2と可動櫛歯電極1、11とを支持する1対の支持部3、3と、可動櫛歯電極1、11に対応して設けられた4つの固定櫛歯電極73、74、75、76と、絶縁部（支持基板）8と下基板9とを有している。

図1に示すように、アクチュエータ100は、可動部2が中心に位置し、可動部2を介し、可動櫛歯電極1が一端側（右側）に設けられ、可動櫛歯電極11が他端側（左側）に設けられている。すなわち、可動部2の両側部に、それぞれ可動櫛歯電極1、11が設けられている。

可動櫛歯電極1、11は、略同一形状かつ略同一寸法で、可動部2を介して、略対称（線対称）に設けられている。

【0023】

また、図1に示すように、可動櫛歯電極1、11には、それぞれ、貫通孔14が、形成されている。図示の例では、可動櫛歯電極1、11に、それぞれ、2つつ貫通孔14が、形成されている。

なお、各貫通孔14の形状（平面形状）や平面視での大きさは、目的とする可動部2の駆動周波数に応じて適宜設定される。

【0024】

また、可動櫛歯電極1の図1中右側に一方の支持部3が配置され、可動櫛歯電極11の図1中左側に他方の支持部3が配置されている。

固定櫛歯電極73、74は、可動櫛歯電極1に対応する位置に設けられている。換言すると、固定櫛歯電極73は、可動櫛歯電極1の図1中上側に設けられ、固定櫛歯電極74は、可動櫛歯電極1の図1中下側に設けられている。

【0025】

同様に、固定櫛歯電極75、76は、可動櫛歯電極11に対応する位置に設けられている。換言すると、固定櫛歯電極75は、可動櫛歯電極11の図1中上側に設けられ、固定櫛歯電極76は、可動櫛歯電極11の図1中下側に設けられている。

ここで、可動櫛歯電極1と固定櫛歯電極73、74とが1組の櫛歯状電極6を構成し、可動櫛歯電極11と固定櫛歯電極75、76とが1組の櫛歯状電極7を構成している。す

10

20

30

40

50

なわち、アクチュエータ100は、2組の櫛歯状電極6、7を備えている。

可動部2の表面には、光を効率的に反射させる光反射部21が設けられている。

【0026】

また、アクチュエータ100は、図1に示すように、可動櫛歯電極1、11が対応する支持部3、3に対して回動可能となるように、可動櫛歯電極1、11と支持部3、3とを連結する1対の第1の弾性連結部4、4を有している。また、可動部2が、可動櫛歯電極1、11に対して回動可能となるように、可動櫛歯電極1、11と、可動部2とを連結する1対の第2の弾性連結部5、5を有している。すなわち、可動部2は第2の弾性連結部5、5を介して、可動櫛歯電極1、11にそれぞれ接続され、可動櫛歯電極1、11は、第1の弾性連結部4、4を介して支持部3、3にそれぞれ接続されている。また、第1の弾性連結部4と、第2の弾性連結部5とは同軸的に設けられており、これらが回動中心軸(回転軸)41となる。

10

【0027】

これらの可動櫛歯電極1、11、可動部2、支持部3、3、第1の弾性連結部4、4および第2の弾性連結部5、5は、好ましくは一体的に形成されている。

可動櫛歯電極1、11と可動部2と支持部3、3と第1の弾性連結部4、4と第2の弾性連結部5、5と固定櫛歯電極73、74、75、76とは、共通の基材(第1の基材)に対して加工を施して形成されており、これらが、構造体10を構成している。

【0028】

構造体10は、導電性を有し、例えば、シリコン等で構成されている。

20

図2および図3に示すように、各支持部3と、固定櫛歯電極73、74、75、76は、それぞれ、絶縁性を備える絶縁部(支持基板)8を介して、下基板9と接合(固着)している。これら各支持部3と固定櫛歯電極73、74、75、76とは、それぞれ、絶縁部8および下基板9によって支持される。

絶縁部8は、例えば、シリコン酸化物やシリコン窒化物やシリコン酸窒化物等で構成されている。下基板9は、例えば、シリコン等で構成されている。

【0029】

図2および図3に示すように、絶縁部8および下基板9は、開口部60を有している。

開口部60は、可動櫛歯電極1、11と可動部2との下部に対応する部位に設けられている。この開口部60は、可動部2が回動(振動)する際に、下基板9に接触するのを防止する逃げ部を構成する。開口部60を設けることにより、アクチュエータ100全体の大型化を防止しつつ、可動部2の振れ角(振幅)をより大きく設定することができる。

30

図4は、図3に示す櫛歯状電極の一部を拡大した断面図である。

【0030】

なお、以下では、説明の便宜上、図4中の右側を「右」、左側を「左」、上側を「上」、下側を「下」と言う。

以下、図1および図4を参照して、櫛歯状電極6、7について詳細に説明するが、櫛歯状電極6と櫛歯状電極7との構成(関係)は、それぞれ、同様であるので、代表的に櫛歯状電極6について説明する。

【0031】

また、固定櫛歯電極73と可動櫛歯電極1との構成(関係)と、固定櫛歯電極74と可動櫛歯電極1との構成(関係)とは、それぞれ、同様であるので、代表的に固定櫛歯電極73と可動櫛歯電極1との構成(関係)について説明する。

40

可動櫛歯電極1は、可動電極55と、可動電極55に連設され、図1中左右方向に所定間隔で併設された複数の電極指51を備えている。

【0032】

固定櫛歯電極73は、固定電極77と、固定電極77に連設され、図1中左右方向に所定間隔で併設された複数の電極指71とを備えている。

図1に示すように、各電極指51は、可動櫛歯電極1の回動中心軸41に対して略垂直な方向の両端部、すなわち、可動櫛歯電極1の、それぞれ、上部および下部に設けられて

50

いる。また、各電極指 7 1 は、平面視で、各電極指 5 1 と所定の距離だけ離間した状態で、交互に位置している。換言すれば、各電極指 7 1 と各電極指 5 1 とが、互いに噛み合うようにして配置されている。

【 0 0 3 3 】

図 4 に示すように、可動電極 5 5 と固定電極 7 7 との厚さ（図 4 中上下方向の長さ）は、略等しく形成されており、後述する交流電圧の非印加時に、可動電極 5 5 の上面の高さと、固定電極 7 7 の上面の高さと互いに略一致している。同様に、可動電極 5 5 の下面の高さと、固定電極 7 7 の下面の高さと互いに略一致している。

電極指 5 1 の厚さ（図 4 中上下方向の長さ）は、可動電極 5 5 の厚さと等しく形成されている。

10

【 0 0 3 4 】

また、電極指 7 1 の厚さ（図 4 中上下方向の長さ）は、固定電極 7 7 の厚さより小さく形成されている。すなわち、電極指 5 1 の厚さを L_4 、電極指 7 1 の厚さを L_5 としたとき、 L_4 より L_5 が小さく形成されている。

ここで、図 4 に示すように、交流電圧の非印加時に、回動中心軸 4 1 の方向（以下「軸方向」という）から見たとき、電極指 5 1 の先端部 5 1 1 は、電極指 7 1 の先端部 7 1 1 を包含するように重なっている。より詳しくは、電極指 5 1 の下端部 5 1 2（厚さ方向の一方の端部）の位置と、電極指 7 1 の下端部 7 1 2（厚さ方向の一方の端部）の位置とが略一致するように重なっている。これにより、各電極指 5 1 の厚さ方向の長さの midpoint h_4 と、各電極指 7 1 の厚さ方向の midpoint h_5 との距離 h_6 を大きくすることができるため、低電圧での駆動で、かつ、可動櫛歯電極 1 の回転角度（振れ角）を大きくすることができる。

20

【 0 0 3 5 】

ここで、電極指 5 1 の厚さ L_4 と各電極指 7 1 の厚さ L_5 とは、 L_4 / L_5 （ A / B ）が、 $1.0 \sim 3.0$ なる関係を満足するのが好ましく、 $1.2 \sim 2.0$ なる関係を満足するのがより好ましい。これにより、駆動効率が向上し、可動櫛歯電極 1 の低電圧駆動が可能となる。

アクチュエータ 1 0 0 では、これらの電極指 5 1 および 7 1 の幅、間隔、厚さ等を調整することにより、駆動特性を所望のものに設定することができる。

前述したような構成においては、可動櫛歯電極 1、1 1 と第 1 の弾性連結部 4、4 とで構成される第 1 の振動系と、可動部 2 と第 2 の弾性連結部 5、5 とで構成される第 2 の振動系とで、2 自由度振動系のアクチュエータ 1 0 0 が構成される。

30

【 0 0 3 6 】

次に、本実施形態のアクチュエータ 1 0 0 の動作を説明する。

図 5 は、アクチュエータに印加する交流電圧の一例を示す図である。

このようなアクチュエータ 1 0 0 は、次のようにして駆動する。

所定の固定櫛歯電極 7 3、7 4、7 5、7 6 と、所定の可動櫛歯電極 1、1 1 との間に例えば、正弦波の交流電圧等を印加する。より詳細には、例えば、可動櫛歯電極 1、1 1 をアースしておき、図 1 中上側の 2 つの固定櫛歯電極 7 3、7 5 に図 5（a）に示すような単相半波整流の波形の電圧を印加し、下側の 2 つの固定櫛歯電極 7 4、7 6 に図 5（b）に示すような図（a）の波形の電圧に対して位相が 180° ずれた波形の電圧を印加する。これにより、可動櫛歯電極 1 と固定櫛歯電極 7 3、7 4 および可動櫛歯電極 1 1 と固定櫛歯電極 7 5、7 6 との間にクーロン力（静電気力）が生じる。このクーロン力により、可動櫛歯電極 1 が、固定櫛歯電極 7 3、7 4 へ引きつけられる力の大きさおよび可動櫛歯電極 1 1 が、固定櫛歯電極 7 5、7 6 へ引きつけられる力の大きさが、正弦波の位相の変化に従って変化し、回動中心軸 4 1（第 1 の弾性連結部 4）を軸に振動（回動）する。この可動櫛歯電極 1、1 1 の振動に伴って、第 2 の弾性連結部 5 を介して連結されている可動部 2 は、回動中心軸 4 1（第 2 の弾性連結部 5）を軸に振動（回動）する。

40

【 0 0 3 7 】

以上説明したように、このアクチュエータ 1 0 0 によれば、固定櫛歯電極 7 3、7 4 と

50

可動櫛歯電極 1 とが接近しているため、可動櫛歯電極 1、11 の低電圧での駆動が可能で、可動櫛歯電極 1、11 に大きなトルクを作用させることができ、かつ、可動部 2 の回転角度（振れ角）が大きいアクチュエータ 100 を得ることができる。

また、固定櫛歯電極 73、75 に印加される電圧の位相と大きさと、固定櫛歯電極 74、76 に印加される電圧の位相と大きさとが、略等しいため、可動櫛歯電極 1、11 を同期的に振動させることができ、可動部 2 を安定して駆動することができる。

【0038】

また、櫛歯状電極 6、7 によって駆動を行うため、貫通孔 14 が設けられていても、可動櫛歯電極 1、11 に作用するクーロン力（駆動力）を低減させることができない。また、可動櫛歯電極 1、11 の質量を低減することができるため、高速（高周波数）での駆動が可能となる。また、可動櫛歯電極 1、11 の慣性モーメント J_1 を小さくすることができるため、可動部 2 の回転角度（振れ角）をより大きくすることができる。

【0039】

なお、慣性モーメント J_1 については後述する。

ここで、可動櫛歯電極 1 の回動中心軸 41 に対して略垂直な方向（長手方向）の端部 12 との間の距離（長さ）を L_1 、可動櫛歯電極 11 の回動中心軸 41 に対して略垂直な方向（長手方向）の端部 12 との間の距離（長さ）を L_2 、可動部の回動中心軸 41 に対して略垂直な方向の端部 13 との間の距離（長さ）を L_3 としたとき、可動櫛歯電極 1、11 が、それぞれ独立して設けられているため、可動櫛歯電極 1、11 と、可動部 2 とが干渉せず、可動部 2 の大きさにかかわらず、 L_1 および L_2 を小さくすることができる。これにより、可動櫛歯電極 1、11 の回転角度を大きくすることができ、可動部 2 の回転角度を大きくすることができる。

この場合、可動部 2 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。

【0040】

これらによって、可動櫛歯電極 1、11 の低電圧駆動と、可動部 2 の大回転角度とを実現することができる。

このため、アクチュエータ 100 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、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 とは略等しく設定されているが、 L_1 と L_2 とが異なってもよいことは言うまでもない。

図 6 は、印加した交流電圧の周波数と、可動櫛歯電極および可動部の共振曲線を示すグラフである。

【0041】

ところで、このような 2 自由度振動系のアクチュエータ 100 では、可動櫛歯電極 1 および可動部 2 の振れ角（振幅）と、印加する交流電圧の周波数との間に、図 6 に示すような周波数特性が存在している。

すなわち、可動櫛歯電極 1、11 と第 1 の弾性連結部 4、4 と、可動部 2 と第 2 の弾性連結部 5、5 とからなる 2 自由度振動系は、可動櫛歯電極（第 1 の質量部）1、11 と、可動部（第 2 の質量部）2 の振幅とが大きくなる 2 つの共振周波数 f_{m1} [kHz]、 f_{m3} [kHz]（ただし、 $f_{m1} < f_{m3}$ ）と、可動櫛歯電極 1 の振幅がほぼ 0 となる、1 つの反共振周波数 f_{m2} [kHz] とを有している。

【0042】

このアクチュエータ 100 では、可動櫛歯電極 1、11 と固定櫛歯電極 73、74、75、76 との間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_{m1} とほぼ等しくなるように設定するのが好ましい。

すなわち、印加する交流電圧の周波数 F [kHz] を f_{m1} [kHz] とほぼ等しいものに設定することにより、可動櫛歯電極 1、11 の振幅を抑制しつつ、可動部 2 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_{m1}

10

20

30

40

50

[kHz]とがほぼ等しいとは、 $(f_{m1} - 1) \leq F \leq (f_{m1} + 1)$ の条件を満足することを意味する。

【0043】

可動櫛歯電極1、11の平均厚さは、 $1 \sim 1500 \mu\text{m}$ であるのが好ましく、 $10 \sim 300 \mu\text{m}$ であるのがより好ましい。

可動部2の平均厚さは、 $1 \sim 1500 \mu\text{m}$ であるのが好ましく、 $10 \sim 300 \mu\text{m}$ であるのがより好ましい。

第1の弾性連結部4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、可動部2の回転角度(振れ角)をより大きくすることができる。

10

【0044】

また、第2の弾性連結部5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、可動櫛歯電極1、11の振れ角を抑制しつつ、可動部2の振れ角をより大きくすることができる。

第1の弾性連結部4のばね定数を k_1 、第2の弾性連結部5のばね定数を k_2 としたとき、 k_1 と k_2 とが、 $k_1 > k_2$ の関係を満足するのが好ましい。これにより、可動櫛歯電極1、11の振れ角を抑制しつつ、可動部2の回転角度(振れ角)をより大きくすることができる。

20

【0045】

また、可動櫛歯電極1の慣性モーメントを J_1 、可動部2の慣性モーメントを J_2 としたとき、 J_1 と J_2 とが、 $J_1 > J_2$ の関係を満足することが好ましく、 $J_1 < J_2$ の関係を満足することがより好ましい。これにより、可動櫛歯電極1、11の振れ角を抑制しつつ、可動部2の回転角度(振れ角)をより大きくすることができる。

ところで、第1の振動系の固有振動数 ω_1 は、可動櫛歯電極1の慣性モーメントを J_1 、第1の弾性連結部4のばね定数を k_1 としたとき、 $\omega_1 = (k_1 / J_1)^{1/2}$ によって与えられ、第2の振動系の固有振動数 ω_2 は、可動部2の慣性モーメントを J_2 、第2の弾性連結部5のばね定数を k_2 としたとき、 $\omega_2 = (k_2 / J_2)^{1/2}$ によって与えられる。

30

【0046】

前記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、 $\omega_1 > \omega_2$ の関係を満足するのが好ましい。これにより、可動櫛歯電極1、11の振れ角を抑制しつつ、可動部2の回転角度(振れ角)をより大きくすることができる。

なお、本実施形態のアクチュエータ100は、1対の第1の弾性連結部4および1対の第2の弾性連結部5のうち少なくとも1つが、その内部にピエゾ抵抗素子を備えたものであるのが好ましい。これにより、例えば、回転角度および回転周波数を検出したりすることができ、また、その検出結果を、可動部2の姿勢の制御に利用することができる。

【0047】

40

なお、本実施形態では、一例として、固定櫛歯電極73、75に対して図5(a)に示す波形の電圧を印加して、固定櫛歯電極74、76に対して図5(b)に示す波形の電圧を印加したが、これに限らず、例えば、固定櫛歯電極73、75に対して図5(c)に示す、交流電圧を印加して、固定櫛歯電極74、76に対して図5(d)に示す、交流電圧を印加してもよい。

【0048】

ここで、図5(c)に示す交流電圧は、オフセット電圧が与えられ、最小電位がグラウンド電位である正弦波の電圧である。

また、図5(d)に示す交流電圧は、図5(c)に対して位相が 180° ずれた正弦波の電圧である。

50

また、本実施形態では、可動櫛歯電極 1 と固定櫛歯電極 7 3、7 4 とが 1 組の櫛歯状電極 6 を構成しているが、これに限らず、可動櫛歯電極 1 と固定櫛歯電極 7 3 とで 1 組の櫛歯状電極を構成してもよいし、可動櫛歯電極 1 と固定櫛歯電極 7 4 とで 1 組の櫛歯状電極を構成してもよい（櫛歯状電極 7 の可動櫛歯電極 1 1 と固定櫛歯電極 7 5、7 6 との関係についても同様）。この場合、可動櫛歯電極 1 と固定櫛歯電極 7 3（7 4）との間に、例えば、オフセット電圧を与えた、最小電位がグランド電位である正弦波（交流電圧）等を印加するのが好ましい。

【0049】

次に、図 1～図 3 に示すようなアクチュエータ 100 の製造方法の一例について添付図面を参照しつつ説明する。

10

図 7 および図 8 は、アクチュエータの製造方法の一例を示す工程図である。

本実施形態では、一例として、以下に示す工程により、アクチュエータ 100 を製造する場合について説明する。

また、図 7 および図 8 では、説明を分かり易くするため、電極指 5 1 を 2 つ、電極指 7 1 を 1 つ形成する例を示す。

なお、以下では、説明の便宜上、図 7 中の右側を「右」、左側を「左」、上側を「上」、下側を「下」と言う。また、図 7 中の上下方向を「厚さ方向」という。

【0050】

[1]

まず、図 7 (a) に示すように、シリコンで構成された活性層（第 1 の基材）7 0 と、シリコン酸化物で構成された絶縁層（中間層）8 0 と、シリコンで構成されたベース層（第 2 の基材）9 0 とがこの順で積層されている SOI (Silicon on Insulator) 基板（積層体）5 0 を用意する。SOI 基板 5 0 としては、片面にシリコン酸化物膜が形成されたシリコン基板を互いに貼り合わせたものを用いてもよいし、市販品（汎用品）を用いてもよい。特に市販品を用いることにより、表面の平坦度の高い、厚みが均一で、所望の厚さを有する良質な積層体を容易かつ安価に準備することができる。また、他の装置の母材として用意されているものをこのアクチュエータ 100 の母材としても用いることができる。

20

【0051】

[2]

次に、図 7 (b) に示すように、SOI 基板 5 0 の上面および下面に、例えば、Al (アルミニウム) 等によりマスク層 6 1、6 2 を形成（マスクング）した後に、例えばフォトリソグラフィ法などにより、パターニングを施し、開口を形成する。SOI 基板 5 0 の上面の開口の形状（平面形状）は、形成する構造体 1 0 の形状（平面形状）に対応させる。また、SOI 基板 5 0 の下面の開口の形状は、形成する開口部 6 0 の形状（平面形状）に対応させる。

30

【0052】

[3]

次に、図 7 (c) に示すように、SOI 基板 5 0 の上面に、選択的にフォトレジストを塗布し、露光、現像を行う。これにより、ドライエッチングのマスクとなるフォトレジスト 6 3 のパターンが形成される。

40

[4]

次に、図 7 (d) に示すように、上面からフォトレジスト 6 3 をマスクとして、活性層 7 0 のドライエッチングを途中まで行う。その後、表面のフォトレジストを剥離する。

【0053】

なお、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のうちの 1 種または 2 種以上を組み合わせる用いることができる。

なお、以下の工程 [5]、[6] のエッチングにおいて、同様の方法を用いることができる。

50

【 0 0 5 4 】

[5]

次に、図 8 (e) に示すように、上面からマスク層 6 1 を介して活性層 7 0 を、絶縁層 8 0 に達するまでエッチングする。これにより、厚さ方向に段差を有し、互いに非接触になるように分離した各電極指 5 1 および各電極指 7 1 を含む構造体 1 0 が形成される。

[6]

次に、図 8 (f) に示すように、下面からマスク層 6 2 を介して絶縁層 8 0 に達するまでベース層 9 0 のエッチングを行う。

【 0 0 5 5 】

[7]

次に、図 8 (g) に示すように、マスク層 6 1、6 2 を剥離し、BHF (フッ酸) により絶縁層 8 0 のエッチングを行う。これにより、開口部 6 0 が形成される。

[8]

最後に、図 8 (h) に示すように、可動部 2 の表面にマスクを施して、Al、Au 等の光反射部 (金属反射膜) 2 1 を成膜する。

【 0 0 5 6 】

光反射部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、工程 [7] において、マスク層 6 1 の可動部 2 に対応する部位を除去せずに残存させた場合は、本工程はなくてもよい。

【 0 0 5 7 】

以上のようにして、アクチュエータ 1 0 0 が製造される。

以上説明したように、本実施形態のアクチュエータ 1 0 0 の製造方法によれば、可動歯電極 1、1 1 と可動部 2 と支持部 3、3 と第 1 の弾性連結部 4、4 と第 2 の弾性連結部 5、5 と固定歯電極 7 3、7 4、7 5、7 6 とが、共通の基材 (活性層) に対して加工を施して形成されるため、これらを容易に製造することができる。特に、可動歯電極 1、1 1 と、固定歯電極 7 3、7 4、7 5、7 6 とを容易に製造することができる。

【 0 0 5 8 】

また、可動歯電極 1、1 1 と固定歯電極 7 3、7 4、7 5、7 6 とが、図 7、8 中上方向 (一方向) からの加工により形成されるため、所望の形状、寸法の可動歯電極 1、1 1 と固定歯電極 7 3、7 4、7 5、7 6 とを精密に製造することができる。すなわち、可動歯電極 1、1 1 と固定歯電極 7 3、7 4、7 5、7 6 とのアライメント精度が向上する。

【 0 0 5 9 】

また、両方向からの加工を行う場合に比べて、工程数を削減することができるため、可動歯電極 1、1 1 と固定歯電極 7 3、7 4、7 5、7 6 とを容易に製造することができる。

さらに、所望の形状、寸法の可動歯電極 1 と固定歯電極 7 3、7 4、7 5、7 6 とが精密に製造されるため、可動歯電極 1 と固定歯電極 7 3、7 4、7 5、7 6 との軸方向の間隔 (間隙) を狭めることができる。これにより、さらなる低電圧での駆動および大きなトルクでの駆動が可能となるアクチュエータを製造することができる。

【 0 0 6 0 】

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 9 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である。以下、図 9 に示すアクチュエータ 1 0 0 について、前記第 1 実施形態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。

本実施形態のアクチュエータ 1 0 0 は、図 9 に示すように、可動歯電極 1、1 1 が支持部 3、3 に対して回動可能となるように、可動歯電極 1、1 1 と支持部 3、3 とを連結する 2 対の第 1 の弾性連結部 4 ' を有している。また、可動部 2 が可動歯電極 1、1

10

20

30

40

50

1 に対して回動可能となるように、可動櫛歯電極 1、1 1 と可動部 2 とを連結する 2 対の第 2 の弾性連結部 5 ' を有している。

このような構成とすることにより、より可動部 2 の軸と垂直方向への動作を抑制することができる。

なお、本実施形態のように 2 対の第 1 の弾性連結部 4 ' と 2 対の第 2 の弾性連結部 5 ' を有する場合、前記実施形態で説明したばね定数 k_1 、 k_2 は、ほぼ同じ位置で連結している 2 つの弾性連結部を一体的なものとみなして求められるものである。

【0061】

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 10 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である。以下、図 10 に示すアクチュエータ 100 について、前記第 1 実施形態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。

本実施形態のアクチュエータ 100 では、可動櫛歯電極 1 1 1 が可動部 2 の周りに、空隙部 1 1 2 を介して環状に形成されている。

【0062】

このような構成とすることにより、アクチュエータ 100 をより安定した構造とすることができる。

また、本実施形態では、図 10 中上側の固定櫛歯電極 7 3 と各電極指 5 1 とを省略した構成としてもよいし、図 10 中下側の固定櫛歯電極 7 4 と各電極指 5 1 とを省略した構成としてもよい。

【0063】

以上説明したようなアクチュエータは、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。

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。

【0064】

また、前述した各実施形態では、第 1 の弾性連結部 4 を 1 対または 2 対有するものとして説明したが、これに限らず、例えば、3 対以上であってもよい。

また、前述した各実施形態では、第 2 の弾性連結部 5 を 1 対または 2 対有するものとして説明したが、これに限らず、例えば、3 対以上であってもよい。

また、前述した各実施形態では、光反射部 2 1 が可動部 2 の下基板 9 と反対の面側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。

【0065】

また、前述した各実施形態では、第 1 の弾性連結部および第 2 の弾性連結部の形状として図示の構成のものについて説明したが、これに限らず、例えば、その形状が、クランク形状等であってもよいし、分岐した構造を有するものであってもよい。

また、支持部 3、3 が一体的に形成されていてもよい。

また、前述した 1 各実施形態では、可動櫛歯電極 1、1 1 に、それぞれ貫通孔 1 4 を形成したが、これに限らず、可動櫛歯電極 1、1 1 を軽量化するもの、例えば、可動櫛歯電極 1、1 1 に、それぞれ、有底の凹部を形成してもよい。

【0066】

また、前述した各実施形態では、アクチュエータ 100 を一体的に製造するものとして説明したが、一体的に製造しなくてもよい。例えば、構造体 10 と、下基板 9 とを、別個に作成して、ガラス等で構成されたスペーサを介して、接合するものであってもよい。

また、前述した各実施形態では、電極指 5 1、5 1 の先端部 5 1 1 が、電極指 7 1、7 1 の先端部 7 1 1 をそれぞれ包含するように重なっているが、これに限らず、電極指 7 1

10

20

30

40

50

、71の先端部711が、電極指51、51の先端部511を、それぞれ包含するように重なっていてもよい。

【0067】

この場合、電極指51の厚さL4と各電極指71の厚さL5とは、 $L4 / L5$ (A/B)が、0.3~1.0なる関係を満足するのが好ましく、0.5~0.8なる関係を満足するのがより好ましい。

また、可動櫛歯電極1、11と固定櫛歯電極73、74、75、76とのうちの、いずれか一方または両方の表面に、絶縁処理が施されていてもよい。これにより、各可動櫛歯電極と各固定櫛歯電極との短絡を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0068】

【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線での断面図である。

【図3】図1中のB-B線での断面図である。

【図4】図2に示す櫛歯状電極の一部を拡大した断面図である。

【図5】アクチュエータに印加する交流電圧の一例を示す図である。

【図6】印加した交流電圧の周波数と、可動櫛歯電極および可動部の共振曲線を示すグラフである。

【図7】アクチュエータの製造方法の一例を示す工程図である。

【図8】アクチュエータの製造方法の一例を示す工程図である。

20

【図9】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10】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11】従来のアクチュエータを説明するための図である。

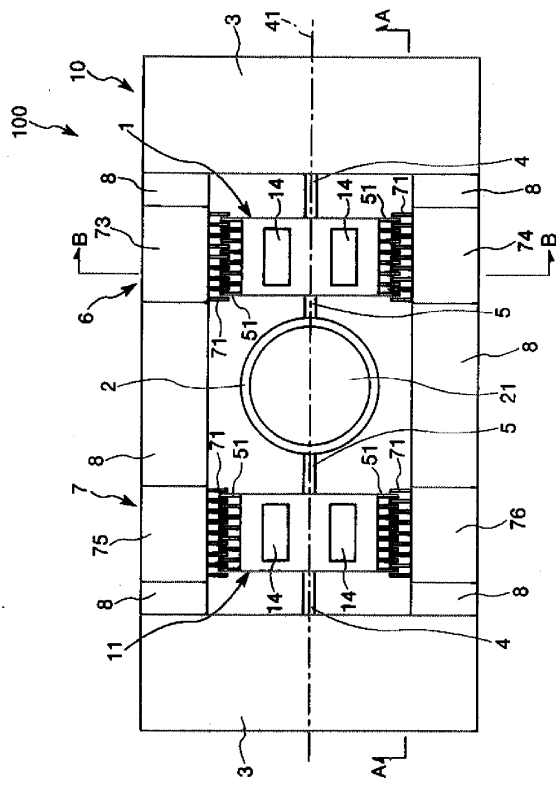
【符号の説明】

【0069】

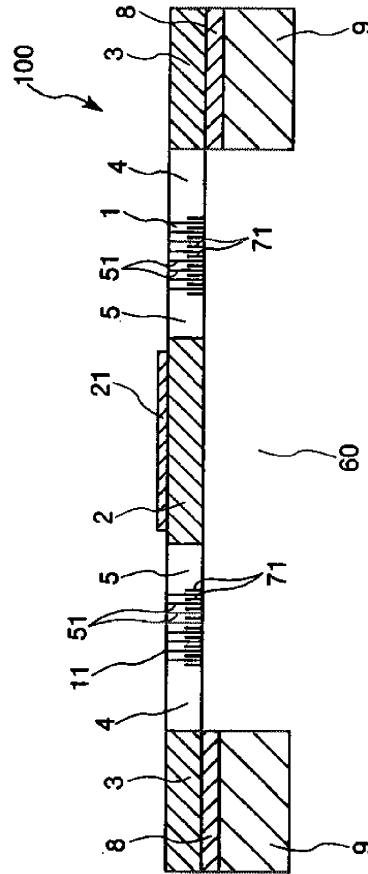
1、11、111...可動櫛歯電極 10...構造体 12、13...端部 14...貫通孔 2...可動部 21...光反射部 3...支持部 4、4'...第1の弾性連結部 41...回転中心軸 5、5'...第2の弾性連結部 6、7...櫛歯状電極 60...開口部 51、71...電極指 511、711...先端部 512、712...下端部 55...可動電極 77...固定電極 73、74、75、76...固定櫛歯電極 8...絶縁部 9...下基板 50...SOI基板 61、62...マスク層 63...フォトレジスト 70...活性層 80...絶縁層 90...ベース層 100...アクチュエータ 200...スペーサ 300...可動電極板 300a...両端固定部 300b...トーションバー 300c...可動電極部 400...固定電極 500...電源 600...スイッチ 1000...ガラス基板 112...空隙部 L1、L2、L3...距離 L4、L5...厚さ h4、h5...中点 h6...距離

30

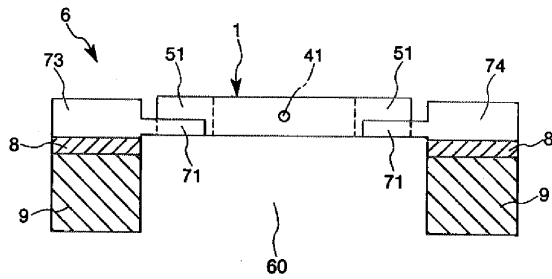
【図1】



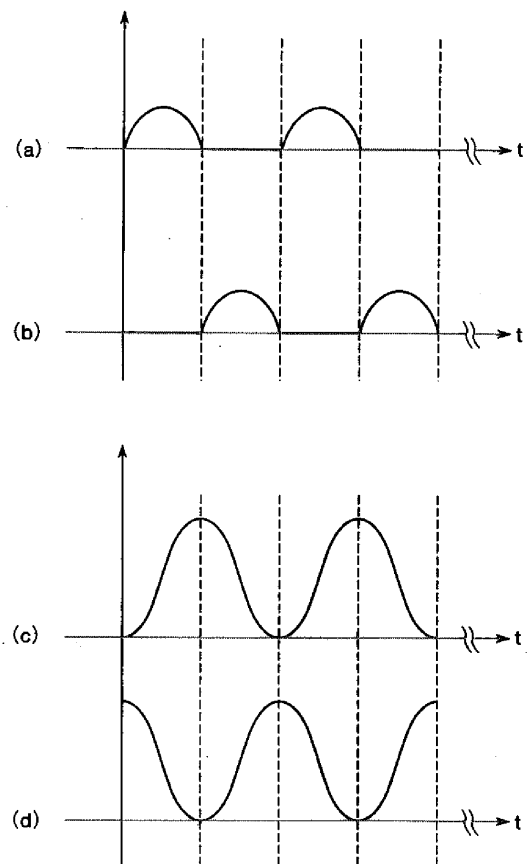
【図2】



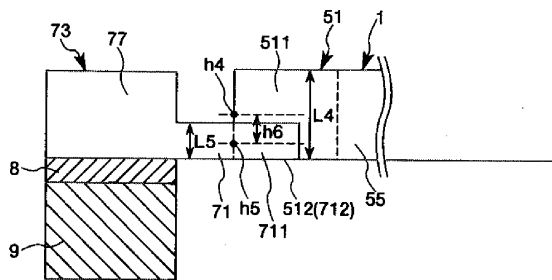
【図3】



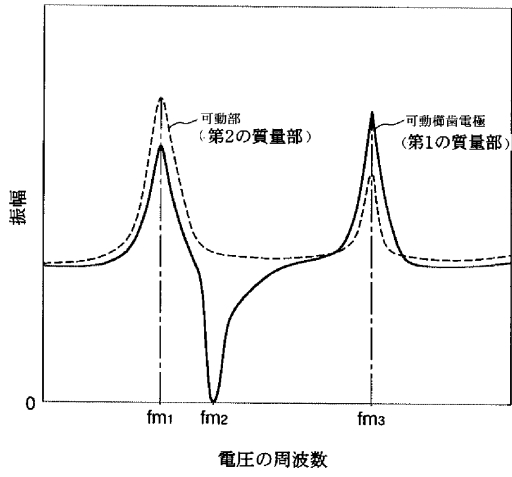
【図5】



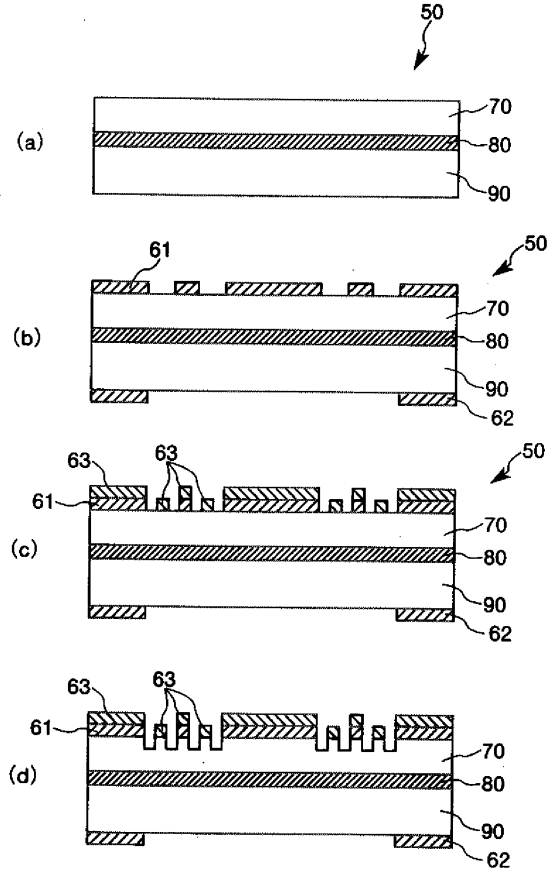
【図4】



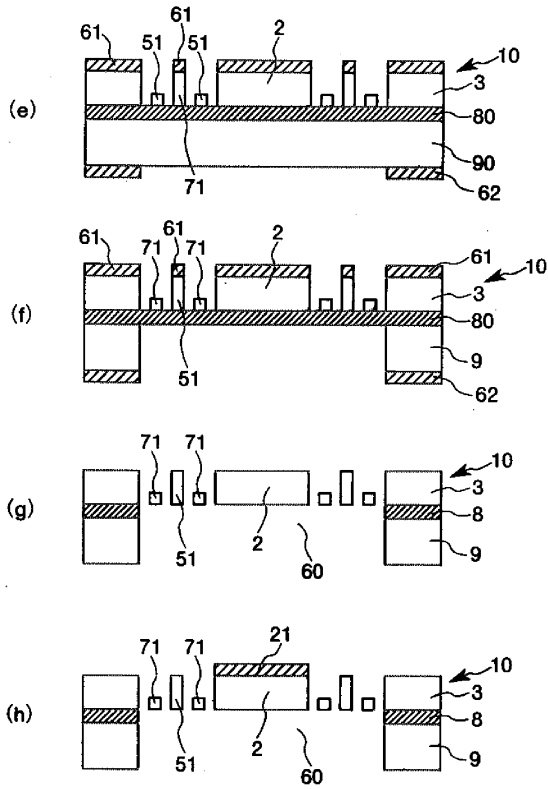
【図6】



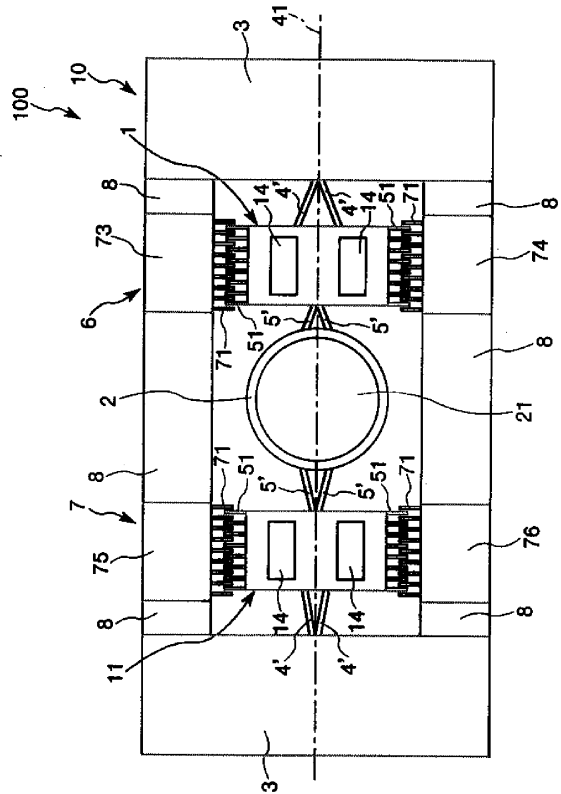
【図7】



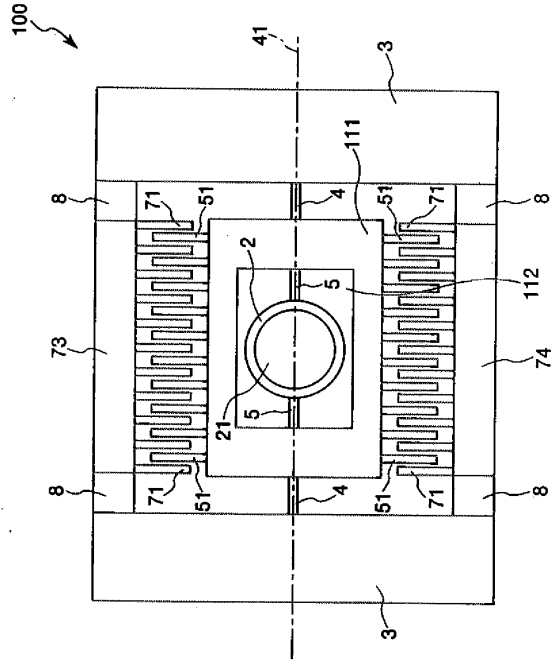
【図8】



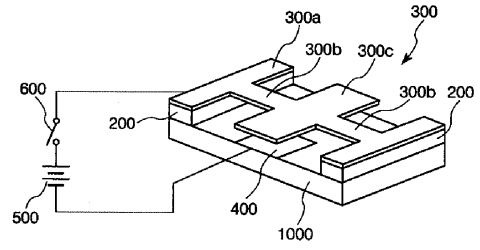
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2004-177957(JP,A)
特開2003-207737(JP,A)
特表2004-530926(JP,A)
特開2003-131161(JP,A)
特開平06-086570(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B81B 3/00

H02N 13/00