

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5444968号  
(P5444968)

(45) 発行日 平成26年3月19日 (2014. 3. 19)

(24) 登録日 平成26年1月10日 (2014. 1. 10)

(51) Int. Cl.

F I

**H02N 2/00 (2006.01)**  
**G02B 26/10 (2006.01)**  
**H04N 1/113 (2006.01)**  
**B81B 3/00 (2006.01)**

H02N 2/00 B  
 G02B 26/10 104Z  
 H04N 1/04 104Z  
 B81B 3/00

請求項の数 4 (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2009-205316 (P2009-205316)  
 (22) 出願日 平成21年9月4日 (2009. 9. 4)  
 (65) 公開番号 特開2010-288435 (P2010-288435A)  
 (43) 公開日 平成22年12月24日 (2010. 12. 24)  
 審査請求日 平成24年8月6日 (2012. 8. 6)  
 (31) 優先権主張番号 特願2009-114317 (P2009-114317)  
 (32) 優先日 平成21年5月11日 (2009. 5. 11)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000006220  
 ミツミ電機株式会社  
 東京都多摩市鶴牧2丁目11番地2  
 (74) 代理人 100070150  
 弁理士 伊東 忠彦  
 (72) 発明者 山田 司  
 東京都多摩市鶴牧2丁目11番地2 ミツ  
 ミ電機株式会社内  
 (72) 発明者 江原 正人  
 東京都多摩市鶴牧2丁目11番地2 ミツ  
 ミ電機株式会社内

審査官 仲村 靖

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アクチュエータ及びこれを用いた光走査装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

駆動対象物を回転軸周りに傾動駆動させるアクチュエータであって、  
 前記駆動対象物を前記回転軸に沿って両側から支持する1対の支持梁と、  
 前記駆動対象物及び前記1対の支持梁を、前記回転軸と直交する方向の両側から挟むよ  
 うに配置された1対の可動枠と、  
 該可動枠に、曲げ振動を付与する駆動源と、  
 前記1対の可動枠と前記支持梁の先端部を、複数の梁を含む梁構造で連結し、前記曲げ  
 振動をねじれ振動に変換して前記支持梁に伝達する1対の連結部と、を含み、  
 前記支持梁の前記先端部は、前記可動枠の前記回転軸方向の幅よりも外側まで延在し、  
 前記連結部は、前記先端部から前記回転軸と交差する方向に両側に延びて、前記可動枠  
 と連結する錨形の前記梁構造を有する  
 ことを特徴とするアクチュエータ。

【請求項 2】

前記駆動対象物と前記支持梁の連結箇所に生じる角と、前記支持梁と前記連結部の連結  
 箇所に生じる角と、前記連結部と前記可動枠の連結箇所に生じる角とが、丸められている  
 ことを特徴とする請求項1に記載のアクチュエータ。

【請求項 3】

前記駆動対象物は、ミラーであることを特徴とする請求項1又は2に記載のアクチュエ  
 ータ。

10

20

## 【請求項 4】

請求項 3 に記載のアクチュエータと、

光を該アクチュエータに向けて発射する光源とを備え、

該アクチュエータのミラーを傾動駆動させることにより、該ミラーにより反射された前記光を走査させることを特徴とする光走査装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、アクチュエータ及びこれを用いた光走査装置に関し、特に、駆動対象物を回転軸周りに傾動駆動するアクチュエータ及びこれを用いた光走査装置に関する。

10

## 【背景技術】

## 【0002】

従来から、シリコン板に形成された反射ミラー部を有する振動体の少なくとも一部を振動させることにより、反射ミラー部に入射した光の反射方向を変化させて光を走査する光走査装置であって、振動体は、反射ミラー部に連結されたねじり振動が発生させられる第 1 のばね部と、第 1 のばね部に連結されて曲げ振動とねじれ振動とが発生させられる複数の第 2 のばね部を備え、第 2 のばね部の他端を総て固定枠部に連結固定し、第 2 のばね部に自身を振動させる駆動源を装着した光走査装置が知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

## 【0003】

20

かかる特許文献 1 に記載の光走査装置においては、各第 2 のばね部が、第 1 のばね部と同じ弾性係数を有するが、第 1 のばね部よりも弾性変形し易い断面形状を有している。また、駆動源の変位が、第 2 のばね部を構成する板材の板厚方向に対しての曲げ振動となり、第 2 のばね部の第 1 のばね部に連結される部分で、その曲げ振動がねじり振動として第 1 のばね部に伝達されるようにし、反射ミラー部を振動させるために必要な負荷を、第 1 のばねと第 2 のばねに分散させるようにしている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0004】

【特許文献 1】特開 2004 - 191953 号公報

30

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

しかしながら、上述の特許文献 1 に記載の構成では、第 2 のばね部が固定枠部に連結されているため、反射ミラー部が傾くときには、第 1 のばね部と第 2 のばね部に総てのねじれや曲げの応力が集中してしまうという問題があった。例えば、小型アクチュエータを前提に、ミラーが 30 [kHz] で ±12 [deg] 傾くことを想定すると、第 1 のばね部及び第 2 のばね部に発生する内部応力は、1.3 ~ 1.5 [GPa] に及ぶと見積もられる。

## 【0006】

40

一方、シリコンのねじれモードによる動的な破断応力は 2 [GPa] 程度である。深掘り反応性イオンエッチング (D - RIE) による加工変質層の影響や繰り返し応力の印加を考慮すると、製品化されたときのシリコンの実質的な破断応力は 1.5 [GPa] 程度であると考えられる。よって、特許文献 1 に記載の構成では、加工条件や形状及びそれらのばらつき等の影響により、連続動作により破断する可能性が高いという問題があった。

## 【0007】

また、特許文献 1 に記載の構成において、破断を回避しようとする、第 1 のばね部及び第 2 のばね部を回転軸方向に延ばすことにより、単位長さ当たりのねじれ量を減らすしか対応策が無く、特に、応力集中の激しい第 1 のばね部を長く太く作製する必要があり、そうすると、小型化が困難になるという問題があった。

50

## 【 0 0 0 8 】

そこで、本発明は、小型化の要請に応えつつ、内部応力を十分に分散させて破断等のおそれ無く安定動作させることができるアクチュエータ及びこれを用いた光走査装置を提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 9 】

上記目的を達成するため、第1の発明に係るアクチュエータは、駆動対象物（30、31）を回転軸（X）周りに傾動駆動させるアクチュエータであって、

前記駆動対象物（30）を前記回転軸（X）に沿って両側から支持する1対の支持梁（40、40a、41、42）と、

前記駆動対象物（30）及び前記1対の支持梁（40、40a、41、42）を、前記回転軸（X）と直交する方向の両側から挟むように配置された1対の可動枠（60、61、62）と、

該可動枠（60、61、62）に、曲げ振動を付与する駆動源（20、20a、20b、25～28）と、

前記1対の可動枠（60）と前記支持梁（40、40a、41、42）の先端部を、梁構造で連結し、前記曲げ振動をねじれ振動に変換して前記支持梁（40、40a、41、42）に伝達する1対の連結部（50、50a、51、52）と、を含み、

前記支持梁（40、40a、41、42）の前記先端部は、前記可動枠（60、61、62）の前記回転軸方向の幅よりも外側まで延在し、

前記連結部（50、50a、51、52）は、前記先端部から前記回転軸と交差する方向に両側に延びて、前記可動枠（60、61、62）と連結する鉤形の前記梁構造を有することを特徴とする。

## 【 0 0 1 0 】

これにより、駆動力を付与する対象が可動枠であり、かつ可動枠から順次弾性を有する梁構造の連結部、支持梁を介してねじれ振動を伝達するため、固定枠に連結された応力の集中する箇所を無くすことができ、内部応力を複数箇所に分散することができるので、アクチュエータの耐性を高めることができる。

## 【 0 0 1 2 】

これにより、梁構造の連結部を、限られたスペース内で長さを確保できるように効率的に設けることができ、可動枠と支持梁との振動の変換及び伝達と応力の分散を省スペースで効果的に行うことができる。

## 【 0 0 2 3 】

第2の発明は、第1の発明に係るアクチュエータにおいて、

前記駆動対象物（30）と前記支持梁（40、40a、41、42）の連結箇所（45）に生じる角と、前記支持梁（40、40a、41、42）と前記連結部（50、50a、51、52）の連結箇所（55）に生じる角と、前記連結部（50、50a、51、52）と前記可動枠（60、61、62）の連結箇所（65）に生じる角とが、丸められていることを特徴とする。

## 【 0 0 2 4 】

これにより、特に内部応力の集中し易い支持梁と連結部の角の内部応力を効率的に分散させることができ、耐久性に優れた安定した駆動を行うことができる。

## 【 0 0 3 6 】

第3の発明は、第1～2のいずれかの発明に係るアクチュエータにおいて、

前記駆動対象物（30）は、ミラー（31）であることを特徴とする。

## 【 0 0 3 7 】

これにより、ミラー駆動用のアクチュエータとして本アクチュエータを利用することができ、マイクロプロジェクタやマイクロスキャナの反射光走査を安定動作させることができる。

## 【 0 0 3 8 】

第4の発明に係る光走査装置(200)は、第7の発明に係るアクチュエータと、光を該アクチュエータに向けて発射する光源(130)とを備え、  
該アクチュエータのミラー(31)を傾動駆動させることにより、該ミラー(31)により反射された前記光を走査させることを特徴とする光走査装置。

【0039】

これにより、アクチュエータを光走査装置に利用することができ、光走査を行う種々の用途に適用することができる。

【0042】

なお、上記括弧内の参照符号は、理解を容易にするために付したものであり、一例に過ぎず、図示の態様に限定されるものではない。

【発明の効果】

【0043】

本発明によれば、駆動時に発生する内部応力を適切に分散し、特定の部位に応力負担を与えることなく、駆動対象物を安定駆動させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0044】

【図1】本発明の実施例1に係るアクチュエータの断面構成の一例を示した図である。

【図2】圧電素子21によりアクチュエータを駆動する方法を説明する図である。図2(A)は、梁構造15と圧電素子21の部分を示した側面図の一例である。図2(B)は、圧電素子21が収縮変形した状態の一例を示した図である。図2(C)は、圧電素子21が伸長変形した状態の一例を示した図である。

【図3】実施例1に係るアクチュエータの表面斜視図の一例である。

【図4】実施例1に係るアクチュエータを駆動させた状態を示した斜視図の一例である。

【図5】実施例1に係るアクチュエータを2軸駆動させる場合の駆動源の一例を示した表面斜視図である。

【図6】非共振駆動状態の実施例1に係るアクチュエータの表面斜視図である。

【図7】実施例1に係るアクチュエータの共振駆動部80の斜視図の一例である。

【図8】実施例1に係るアクチュエータの連結部50を中心とする部分拡大図である。

【図9】実施例1に係るアクチュエータの共振振動時の変形状態例を示した斜視図である。

【図10】実施例1に係るアクチュエータの共振駆動時のミラー31の周辺拡大図である。

【図11】ミラー31と支持梁40と連結部50の部分を更に拡大して示した図である。

【図12】ミラー31と支持梁40の連結箇所45に生じる角を丸めたアクチュエータの説明図である。図12(A)は、連結箇所45に角Rを付与した場合のアクチュエータの斜視図の一例である。図12(B)は、角Rを付与したときの傾角感度と連結箇所45の最大応力変化を示した図である。

【図13】連結箇所55及び連結箇所65の角を丸めたアクチュエータの説明図である。図13(A)は、連結箇所45、55、65に角Rを付与したアクチュエータの斜視図の一例である。図13(B)は、角Rを付与したときの傾角感度と連結箇所45、55、65の最大応力変化を示した図である。

【図14】連結箇所45、55、65に加えて連結箇所75の角を丸めたアクチュエータの説明図である。図14(A)は、連結箇所45、55、65、75に角Rを付与したアクチュエータの斜視図の一例である。図14(B)は、角Rを付与したときの傾角感度と連結箇所45、55、65、75の最大応力変化を示した図である。

【図15】共振駆動部80の駆動源20の電極配置構成の態様を示した図である。図15(A)は、駆動梁70にのみ駆動源20を設けた構成例を示した図である。図15(B)は、駆動梁70及び可動枠60に駆動源20aを設けた構成例を示した図である。図15(C)は、駆動梁70及び可動枠60に駆動源20bを設けた構成例を示した図である。

10

20

30

40

50

【図 1 6】共振駆動部 8 0、8 0 a、8 0 b の傾角感度及び最大内部応力の比較図である。

【図 1 7】本発明の実施例 2 に係るアクチュエータの構成の一例を示した斜視図である。

【図 1 8】実施例 2 に係るアクチュエータの拡大斜視図である。

【図 1 9】実施例 2 に係るアクチュエータの共振駆動時の変形状態例を示した図である。

【図 2 0】実施例 2 に係るアクチュエータの共振駆動時の変形状態例の拡大斜視図である。

【図 2 1】実施例 2 に係るアクチュエータの電極構成例を示した図である。図 2 1 ( A ) は、駆動梁 7 0 にのみ駆動源 2 0 を設けた例を示した斜視図である。図 2 1 ( B ) は、駆動梁 7 0 及び可動枠 6 0 に同一方向に変位する駆動源 2 0 a を設けた例を示した斜視図である。図 2 1 ( C ) は、駆動梁 7 0 及び可動枠 6 0 に逆方向に変位する駆動源 2 0 a を設けた例を示した斜視図である。

10

【図 2 2】図 2 1 ( A )、( B )、( C ) の傾角感度及び最大内部応力を示した図である。

【図 2 3】実施例 1 と実施例 2 に係るアクチュエータの最適電極構成が異なる理由の説明図である。図 2 3 ( A ) は、実施例 1 に係るアクチュエータの共振駆動時の一例を示した側面図である。図 2 3 ( B ) は、実施例 2 に係るアクチュエータの共振駆動時の一例を示した側面図である。

【図 2 4】実施例 3 に係るアクチュエータの全体構成の一例を示す斜視図である。図 2 4 ( A ) は、実施例 3 に係るアクチュエータの表面側からの斜視図の一例である。図 2 4 ( B ) は、実施例 3 に係るアクチュエータの裏面側からの斜視図の一例である。

20

【図 2 5】実施例 3 に係るアクチュエータのパラメータ設定の一例を説明する図である。図 2 5 ( A ) は、実施例 3 に係るアクチュエータの可動部 1 0 0 の平面構成図例である。図 2 5 ( B ) は、傾角感度の変化特性を示した図である。図 2 5 ( C ) は、最大主応力の変化特性を示した図である。

【図 2 6】実施例 4 に係るアクチュエータの全体構成の一例を示した斜視図である。図 2 6 ( A ) は、実施例 4 に係るアクチュエータの表面側構成の一例を示した図である。図 2 6 ( B ) は、実施例 4 に係るアクチュエータの裏面側構成の一例を示した図である。

【図 2 7】実施例 4 に係るアクチュエータの最適設計を行う方法の一例を示した図である。図 2 7 ( A ) は、実施例 4 に係るアクチュエータの平面構成の一例を示した図である。図 2 7 ( B ) は、図 2 7 ( A ) の条件下での最大応力の変化特性を示した図である。図 2 7 ( C ) は、式 ( 1 ) ~ ( 4 ) が満たす領域を示した図である。

30

【図 2 8】支持梁側連結部 5 4 の長さ B が、極小値を持つ理由を説明するための図である。図 2 8 ( A ) は、 $B = 0.1 \text{ mm}$  の場合のアクチュエータの応力分布を示した図である。図 2 8 ( B ) は、 $B = 0.3 \text{ mm}$  の場合のアクチュエータの応力分布を示した図である。図 2 8 ( C ) は、 $B = 0.2 \text{ mm}$  の場合のアクチュエータの応力分布を示した図である。

【図 2 9】実施例 4 に係るアクチュエータの傾角感度の特性の一例を示した図である。

【図 3 0】実施例 5 に係るプロジェクタ 2 0 0 の全体構成の一例を示した図である。

【発明を実施するための形態】

40

【 0 0 4 5 】

以下、図面を参照して、本発明を実施するための形態の説明を行う。

【実施例 1】

【 0 0 4 6 】

図 1 は、本発明の実施例 1 に係るアクチュエータの断面構成の一例を示した図である。図 1 において、実施例 1 に係るアクチュエータは、半導体ウェハ 1 0 と、駆動源 2 0 とを有する。実施例 1 に係るアクチュエータは、例えば、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を利用して、半導体ウェハ 1 0 を加工することにより、作製することができる。図 1 においては、そのような半導体ウェハ 1 0 を用いてアクチュエータを構成した場合の例について説明する。

50

## 【0047】

半導体ウェハ10は、シリコン基板11と、 $\text{SiO}_2$ 12、14と、 $\text{Si}$ 活性層14とを備える。半導体ウェハ10は、例えば、SOI (Silicon On Insulator) 基板が用いられてよい。SOI基板は、シリコン基板11の間に、絶縁膜の $\text{SiO}_2$ 12が形成された基板であり、シリコン基板11を深掘り反応性イオンエッチング等で削った場合に、削り終点の底面に $\text{SiO}_2$ が形成されているので、深掘りエッチング加工を容易に行うことができる。

## 【0048】

$\text{SiO}_2$ 12、 $\text{Si}$ 活性層13及び $\text{SiO}_2$ 14で、梁15を形成する。梁15の部分で、駆動対象物を支持したり、駆動力を伝達したりする動作を行う。シリコン基板11の部分は、例えば、外側の固定枠として利用される。

10

## 【0049】

なお、半導体ウェハ10は、例えば、全体で300~500[ $\mu\text{m}$ ]の厚さの半導体ウェハ10が用いられてよい。例えば、半導体ウェハ10が350[ $\mu\text{m}$ ]のときに、 $\text{Si}$ 活性層13が30[ $\mu\text{m}$ ]、 $\text{SiO}_2$ 12、14が0.5[ $\mu\text{m}$ ]程度で、梁15が合計31[ $\mu\text{m}$ ]程度であってよく、半導体ウェハ10の1/10程度の厚さで構成されてもよい。

## 【0050】

駆動源20は、本実施例に係るアクチュエータにおいて、駆動力を発生させる動力源である。本実施例に係るアクチュエータにおいては、駆動源20として種々の手段を用いることができるが、実施例1においては、駆動源20として圧電素子21を用いた場合を例に挙げて説明する。圧電素子21は、圧電体22に印加された電圧を力に変換する受動素子である。本実施例に係るアクチュエータにおいては、圧電素子21は、電圧が印加されることにより、その長さが伸縮することにより、装着された梁15を駆動させる。圧電体22は、種々の圧電体22を適用してよいが、例えば、PZT薄膜(チタン酸ジルコン酸鉛)が用いられてもよい。圧電素子21は、例えば、梁15が約30[ $\mu\text{m}$ ]であったときに、2[ $\mu\text{m}$ ]程度の厚さで形成されてもよい。

20

## 【0051】

圧電素子21は、上部電極23と、下部電極24とを備える。上部電極23及び下部電極24は、圧電体22に電圧を印加するための電極であり、上部電極23及び下部電極24に電圧が印加されることにより、圧電体22が伸縮し、梁15を駆動させる。

30

## 【0052】

図2は、圧電素子21が、梁15に曲げ振動を発生させて実施例1に係るアクチュエータを駆動する方法について説明するための図である。図2(A)は、シリコンから構成される梁構造15と圧電素子21の部分を模式的に示した側面図の一例である。図2(A)に示すように、 $\text{Si}$ 活性層13等から構成される梁15の上に、圧電素子21が薄膜状に装着されている。

## 【0053】

図2(B)は、圧電素子21が収縮変形した状態の一例を示した図である。図2(B)に示すように、圧電素子21が収縮すると、梁構造15は、下に凸の上方に反るような形状となる。

40

## 【0054】

図2(C)は、圧電素子21が伸長変形した状態の一例を示した図である。図2(C)に示すように、圧電素子21が伸長すると、梁構造15は、上に凸の下方に反るような形状となる。

## 【0055】

図2(B)(C)に示すように、圧電素子21は、分極する方向や印加する電圧の極性又は位相により、上に反ったり下に沿ったりする。本実施例に係るアクチュエータでは、例えば、このような圧電素子21の性質を利用して、圧電素子21を駆動源20として、駆動対象を駆動してもよい。

50

## 【 0 0 5 6 】

図 3 は、実施例 1 に係るアクチュエータの表面斜視図の一例である。図 3 において、本実施例に係るアクチュエータは、外側の固定枠がシリコン基板 1 1 で構成され、シリコン基板 1 1 よりも内側の部分は、総て梁 1 5 と同じ厚さの薄い部分で構成される。アクチュエータの中央には、駆動対象物 3 0 が配置される。また、駆動対象物 3 0 を左右両側から挟むように、梁 1 5 の上に 1 対の駆動源 2 0 である圧電素子 2 1 が形成され、駆動梁 7 0 を構成している。このように、駆動対象物 3 0 を両側から支持する梁 1 5 の上に駆動源 2 0 が装着され、駆動梁 7 0 となって駆動対象物 3 0 を駆動する。なお、駆動対象物 3 0 の両側に配置された 1 対の駆動梁 7 0 の圧電素子 2 1 には、左右で逆方向に変位する電圧が印加される。このような逆方向に変位する電圧を印加することにより、図 2 ( B )、( C ) で説明した異なる方向への変位が生じ、振動が発生して駆動対象物 3 0 を駆動する。

10

## 【 0 0 5 7 】

なお、駆動源 2 0 である圧電素子 2 1 により発生する振動は、共振振動であってよい。共振を利用することにより、駆動梁 7 0 に大きな曲げ振動を発生させることができ、駆動対象物 3 0 を高速かつ大きく駆動することができる。

## 【 0 0 5 8 】

図 4 は、実施例 1 に係るアクチュエータを駆動させた状態を示した斜視図の一例である。図 4 において、駆動対象物 3 0 は、駆動梁 7 0 が発生させる振動により、回転軸 X の軸周りに傾くように振動している状態が示されている。図 4 においては、手前左側が下降し、奥右側が上昇するように傾動している。このように、本実施例に係るアクチュエータにおいては、駆動対象物 3 0 を、回転軸周りに傾動するように駆動する。

20

## 【 0 0 5 9 】

なお、駆動対象物 3 0 は、種々のものを駆動対象物 3 0 とすることができるが、例えば、マイクロプロジェクタやマイクロスキャナ等に用いられるミラーであってもよい。例えば、マイクロプロジェクタにおいては、ミラーにレーザー光を照射し、ミラーからの反射光を走査させることにより、描画を行う。その際、例えば、X G A ( 1 0 2 4 × 7 6 8 ピクセル ) の画面解像度が要求される場合には、水平方向には 3 0 [ k H z ] 程度の高速で ± 1 2 [ デ g ] の角度範囲で走査を行い、鉛直方向には 6 0 [ H z ] 程度の低速で ± 1 8 [ デ g ] の角度範囲で走査を行うことが要求される。図 4 に示す回転軸 X の軸周りでは、高速の 3 0 [ k H z ] 程度の傾動駆動を行う。上述のように、駆動対象物 3 0 の回転軸 X 周りの傾動においては、共振駆動を用いるので、そのような高速の傾動駆動を実現することができる。

30

## 【 0 0 6 0 】

図 5 は、実施例 1 に係るアクチュエータを 2 軸駆動させる場合の、回転軸 X とは異なる軸周りに傾動駆動させる駆動源の一例を示した表面斜視図である。2 軸駆動を行うアクチュエータは、上述のようなマイクロプロジェクタやマイクロスキャナに利用される場合が多いので、駆動対象物 3 0 が、ミラー 3 1 である例を挙げて説明する。

## 【 0 0 6 1 】

図 5 において、ミラー 3 1 の周囲には、6 0 [ H z ] 程度の低速駆動を行うための駆動源である非共振駆動源 9 0 が示されている。非共振駆動源 9 0 は、駆動梁 7 0 の延在方向と直交する方向に各梁 1 5 が延在し、梁 1 5 の表面に駆動源 2 0 である圧電素子 2 1 が形成されて構成される。非共振駆動源 9 0 では、図 4 において示した回転軸 X と直交する軸周りへの傾動駆動を行う。非共振駆動源 9 0 は、隣接する梁の端部が、両端で交互となるように連結され、全体として、ジグザグ状の蛇行型梁を構成する。このような構成で、隣接する梁の駆動源 2 0 に正負の方向に変位する電圧を印加することにより、梁の延在する方向に傾きを蓄積する動作を行い、非共振駆動源 9 0 の梁 1 5 の延在方向に、ミラー 3 1 を傾動駆動する。

40

## 【 0 0 6 2 】

図 6 は、非共振駆動源 9 0 による非共振駆動を行っている状態の一例を示した実施例 1 に係るアクチュエータの表面斜視図である。図 6 に示すように、非共振駆動源 9 0 の各梁

50

15について傾き角が蓄積してゆき、回転軸Yの軸周りにミラー31が傾動駆動される。図6においては、手前右側が下降し、奥左側が上昇した傾動動作の状態が示されている。

【0063】

このように、本実施例に係るアクチュエータは、共振駆動と非共振駆動を組み合わせることにより、2軸駆動用のアクチュエータとして利用することができる。

【0064】

図7は、実施例1に係るアクチュエータの共振駆動部80を抜き出して示した斜視図の一例である。図7において、共振駆動部80は、ミラー31と、支持梁40と、連結部50と、可動枠60と、駆動梁70と、駆動源20とを含み、これらは総て一体となって連結されている。

【0065】

ミラー31は、本実施例に係るアクチュエータにより傾動駆動される駆動対象物30である。駆動対象物30は、ミラー31以外のものも適用できるが、以後、説明の容易のため、ミラー31を駆動対象物30として適用した例を挙げて説明する。

【0066】

支持梁40は、ミラー31を両側から支持する1対の梁である。支持梁40は、ミラー31に連結され、ミラー31に関して対称に、回転軸Xに沿って、左右で1対となって設けられる。支持梁40は、図1において説明したように、例えば、約30[μm]程度の薄いシリコン活性層14として構成されるので、弾性を有する弾性部材として機能する。

【0067】

可動枠60は、曲げ振動を伝達する媒体であるとともに、支持梁40を介してミラー31を可動可能に支持する可動支持部材である。可動枠60は、ミラー31及び支持梁40を両側から挟むように、回転軸Xに関して線対称に1対となって設けられる。図7においては、ミラー31及び支持梁40を手前側と奥側の両側から挟むように囲んでいる。可動枠60は、図7においては、全体としては四角形の形状をしているが、曲げ振動を伝達でき、かつ支持梁40及びミラー31を挟んで囲むように支持できれば、外形の形状は問わない。

【0068】

可動枠60は、共振振動駆動源である1対の駆動梁70に両側から挟まれるように連結される。可動枠60には、駆動梁70から曲げ振動が伝達されるが、可動枠60は、その曲げ振動を伝達する媒体となる。駆動梁70は、図2乃至図4において説明したような曲げ振動を発生させるが、可動枠60は、支持梁40と同様に、薄いSi活性層14として構成されるので、弾性を有する弾性部材として機能し、駆動梁70で発生した曲げ振動を伝達することができる。

【0069】

可動枠60は、連結部50を介して、支持梁40に連結されている。これにより、可動枠60は、支持梁40を支持するとともに、支持梁40に振動を伝達することができる。また、可動枠60は、駆動梁70には連結されているが、固定枠のような固定体に固定はされておらず、可動状態にあるので、可動状態で振動を伝達する。

【0070】

連結部50は、支持梁40の先端部と可動枠60とを連結し、可動枠60の曲げ振動をねじれ振動に変換して支持梁40に伝達する部分である。連結部50は、支持梁40を回転軸X方向の両側から挟むように、1対となって構成されている。可動枠60は、支持梁40を回転軸Xに直交する方向の両側から挟むように対をなしているため、1つの連結部50は、支持梁40と、支持梁40の両側に存在する可動枠60の3つの部材を連結する。

【0071】

図8は、実施例1に係るアクチュエータの共振駆動部80の連結部50を中心とする部分拡大図である。図8において、連結部50を中心として、ミラー31と、支持梁40と、可動枠60と、駆動梁70との関係が示されている。



## 【0072】

連結部50は、支持梁40及び可動枠60と同じ部材により、一体的に構成されてよい。これにより、共振駆動部80の耐性を高めることができ、複数部材を接続するよりも、機械的強度を高めることができる。また、支持梁40及び可動枠60と一体的に構成することにより、振動の伝達の仕方の不自然なムラ等を無くすることができ、振動をスムーズに伝達することができる。よって、支持梁40及び可動枠60が、上述のように、図1で示した半導体ウェハ10のSiO<sub>2</sub>12、14及びSi活性層15から構成されている場合には、連結部50も、半導体ウェハ10のSiO<sub>2</sub>12、14及びSi活性層13から構成されてよい。

## 【0073】

連結部50は、水平に細長く延在する複数の梁を含む梁構造として構成されてよい。連結部50を梁構造とすることにより、連結部50が、幅の広い形状よりも弾性を有する形状となり、可動枠60から伝達された曲げ振動を、特定箇所に応力負担を集中させることなくねじれ振動に変換することができる。図8において、支持梁40のミラー31と反対側の先端部が連結部50と連結しており、この箇所が、ミラー31の傾動駆動の際のねじれ応力が加わる、最も応力負担の加わる箇所である。本実施例に係るアクチュエータにおいては、支持梁40の先端部が連結されている連結部50が梁構造であるため、支持梁40のみでなく、連結部50も支持梁40のねじれ応力に応じてねじれ変形を起こすことができ、支持梁40に加わるねじれ応力を分散させることができる。なお、この点の詳細については、後述する。

## 【0074】

連結部50は、外側に張り出した形状をしていてもよい。連結部50を梁構造とすることにより、弾性を向上させ、応力分散を促進することができるが、支持梁40を長くすることにより、支持梁40に加わるねじれ応力を低減させることができる。そして、支持梁40が可動枠60の回転軸X方向の幅よりも長く構成されたときに、連結部50も支持梁40に合わせて可動枠60の外側に張り出す梁構造の形状とすれば、連結部50を構成する梁の長さも長くとることができ、応力の吸収力を向上させることができる。図7においては、連結部50は、支持梁40の両側に回転軸Xと直交する方向に広がって延在してから、回転軸Xと平行に可動枠60の方向に延びる錨形の形状となっている。かかる構成により、連結部50の梁部分を長くし、応力分散効率を高めている。

## 【0075】

連結部50は、支持梁40との連結により生じる角55が、丸められる加工処理がなされていてよい。これにより、支持梁40と連結部50との連結箇所の応力を更に分散させることができる。同様に、ミラー31と支持梁40の連結部分に生じる角45、連結部50と可動枠60の連結部分に生じる角65及び可動枠60と駆動梁70の連結部分に生じる角75を丸める加工処理を行い、これらの応力も分散させるようにしてよい。なお、角45、55、65、75の丸め処理の詳細については、後述する。

## 【0076】

図7に戻る。駆動梁70は、可動枠60に曲げ応力を付与する駆動力発生源である。駆動梁70は、回転軸Xと直交する方向に延在し、可動枠60を両側から挟むように可動枠60に連結され、1対となって設けられる。駆動梁70は、表面に駆動源20が装着され、自身が駆動源20に変形されて、曲げ振動を発生させる。駆動源20は、例えば、圧電素子21が用いられてよいが、曲げ振動を発生することができる手段であれば、他の手段であってもよい。圧電素子21が用いられる場合、1対の駆動梁70の圧電素子21には、両側で互いに異なる方向に変位する電圧が印加される。電圧の印加は、図1において説明したように、圧電体22に設けられた上面電極23と下面電極24から行われてよい。

## 【0077】

駆動梁70も、可動枠60と一体的に形成されてよい。よって、可動枠60が、図1で示した半導体ウェハ10の梁15を構成する厚さの薄い部分で構成されている場合には、駆動梁70も、梁15として構成されてよい。

## 【 0 0 7 8 】

このように、共振駆動部 8 0 は、半導体ウェハ 1 0 の約 3 0 [  $\mu\text{m}$  ] 程度の厚さの薄い部分で構成されているため、弾性を有する部材で構成されている。かかる弾性は、共振駆動部 8 0 の厚さは一定であるから、幅、長さ、形状等で調整することができる。本実施例に係るアクチュエータにおいては、半導体ウェハ 1 0 の弾性を、形状で調整することにより、応力が分散され、応力による破断等のおそれの無いアクチュエータを提供する。

## 【 0 0 7 9 】

図 9 は、実施例 1 に係るアクチュエータの共振駆動部 8 0 の共振振動時における変形状態の一例を示した斜視図である。図 9 において、1 対の駆動源 2 0 は、奥側の圧電素子 2 5 と手前側の圧電素子 2 6 とを含み、各々異なる極性又は位相の電圧が印加される。これにより、1 対の駆動梁 7 0 は、奥側の駆動梁 7 1 が上方に反り、手前側の駆動梁 7 2 が下方に反る変形をし、可動枠 6 0 に曲げ振動を付与する。可動枠 6 0 の曲げ振動は、連結部 5 0 において支持梁 4 0 に伝達されるが、このとき、曲げ振動はねじれ振動に変換され、1 対の支持梁 4 0 は、左側と右側でねじれる振動をする。そして、このねじれ振動により、両側から支持梁 4 0 で支持されているミラー 3 1 は、奥側と手前側に傾動振動する運動を行い、回転軸 X 周りに傾動駆動させられることになる。このような動作により、ミラー 3 1 は回転軸 X の軸周りで傾動駆動させられる。

## 【 0 0 8 0 】

図 1 0 は、実施例 1 に係るアクチュエータの共振駆動部 8 0 の共振駆動時の変形状態の一例を示したミラー 3 1 の周辺拡大図である。図 1 0 において、ミラー 3 1 が、右側が上昇し、左側が下降するように傾動しているが、可動枠 6 0 も、ミラー 3 1 と同一方向に傾動し、ミラー 3 1 の方が、可動枠 6 0 よりも傾動の傾角が大きい状態となっている。図 1 0 における動作は、1 対の駆動梁 7 0 に備えられた 1 対の駆動源 2 0 に、極性又は位相の異なる電圧を印加することにより共振させると、駆動梁 7 0 と可動枠 6 0 の連結部付近が、大きく上下に振動する。この動作により、可動枠 6 0 が傾き、また可動枠 6 0 自身がたわむことで、連結部 5 0 付近を更に傾け、連結部 5 0 がねじれて更にミラー 3 1 を傾ける、という動作を行う。

## 【 0 0 8 1 】

共振モードには、複数のモードがあり、図 1 0 で示したような、ミラー 3 1 と可動枠 6 0 が同一方向に傾く共振モードの他、ミラー 3 1 と可動枠 6 0 が逆方向に傾動する振動モードも存在する。

## 【 0 0 8 2 】

しかしながら、本実施例に係るアクチュエータにおいては、図 1 0 に示すように、ミラー 3 1 と可動枠 6 0 が同一の方向に傾動する共振モードを選択することが好ましい。これにより、可動枠 6 0 の変位にミラー 3 1 の変位が加算され、印加電圧に対するミラー 3 1 の傾角感度を高くすることができる。また、連結部 5 0 はねじれるが、ミラー 3 1 の傾角量に対してねじれ量が少ないため、内部応力を小さくすることができ、破断を発生し難くすることができる。

## 【 0 0 8 3 】

図 1 1 は、図 1 0 の状態におけるミラー 3 1 と支持梁 4 0 と連結部 5 0 の部分を更に拡大して示した図である。図 1 1 において、連結部 5 0 との連結箇所付近の支持梁 4 0 が大きくねじれていなくても、連結部 5 0 がねじれることにより、ミラー 3 1 の傾角を確保できている。このように、本実施例に係るアクチュエータの共振駆動部 8 0 は、曲げ応力からねじれ応力への変換で大きく応力負担が加わる可動枠 6 0 と支持梁 4 0 の間に、梁構造の連結部 5 0 を設けることにより、連結部 5 0 と支持梁 4 0 とのねじれ角を小さくしつつ、十分なミラー 3 1 の傾角を確保できる構成となっている。

## 【 0 0 8 4 】

なお、図 8 において示した角 4 5、5 5、6 5、7 5 を丸める加工処理を行った場合において、本実施例に係るアクチュエータを、3 0 [  $\text{kHz}$  ] の周波数、 $\pm 1 2$  [  $\text{deg}$  ] の傾角幅で駆動させたときには、連結部 5 0 の最大内部応力は、0 . 4 [  $\text{GPa}$  ] 以下と

10

20

30

40

50

なる。これは、ミラー 31 の傾角時に発生する応力を、主に連結部 50、可動枠 60 及び駆動梁 70 に分散させていることを意味する。

【0085】

また、本実施例に係るアクチュエータは、連結部 50 の幅、厚さ、断面形状や長さ等を変更することにより共振周波数を変更できるため、30 [kHz] 以上の更なる高速化にも、構造を変更することなく対応可能である。但し、連結部 50 の形状変更を行うと、それに伴い、支持梁 40 及び駆動梁 70 の寸法が変更される場合はあり得る。

【0086】

次に、図 12 乃至図 14 を用いて、本実施例に係るアクチュエータの角を丸める加工処理の例について説明する。なお、以後、角を丸めることを、角 R を付与する、と表現してもよいこととする。

10

【0087】

図 12 は、ミラー 31 と支持梁 40 との連結箇所 45 に生じる角を丸めた場合について説明するための図である。図 12 (A) は、ミラー 31 と支持梁 40 との連結箇所 45 に生じる角に角 R を付与した場合のアクチュエータの斜視図の一例であり、図 12 (B) は、角 R を付与したときの傾角感度と、 $\pm 12$  [deg] 傾いたときの連結箇所 45 の最大応力変化を示した図である。

【0088】

図 12 (A) に示すように、ミラー 31 は円形であり、支持梁 40 は長方形の平面構成であるので、そのままの連結状態であると、ミラー 31 と支持梁 40 との連結箇所 45 の外側に角張った角が生じ、内部応力が角に集中し易い。しかし、角 R を付与することにより、内部応力を分散させることができる。角 R は、例えば、0.01 ~ 0.2 [mm] の範囲内で付与するようにしてもよい。

20

【0089】

図 12 (B) において、0 ~ 0.25 [mm] の範囲で付与する角 R を変化させたときに、傾角感度はあまり変化していないが、角 R が 0.01 [mm] 以上で若干劣化している。一方、図 12 (B) において、角 R 部 (連結箇所 45) の最大内部応力は 0.3 [GPa] 以下であり、破断応力に安全係数を掛けた値の 0.05 [GPa] 以下であり、角 R 部の耐久性は問題無いことが示されている。

【0090】

30

図 13 は、ミラー 31 と支持梁 40 との連結箇所 45 と、支持梁 40 と連結部 50 との連結箇所 55 と、連結部 50 と可動枠 60 との連結箇所 65 に生じる角を丸めた場合について説明するための図である。図 13 (A) は、連結箇所 45、55、65 に角 R を付与した場合のアクチュエータの斜視図の一例であり、図 13 (B) は、角 R を付与したときの傾角感度と、 $\pm 12$  [deg] 傾いたときの連結箇所 45、55、65 の最大応力変化を示した図である。

【0091】

図 13 (A) に示すように、ミラー 31 と支持梁 40 との連結箇所 45 のみならず、支持梁 40 と連結部 50 との連結箇所 55 及び連結部 50 と可動枠 60 との連結箇所 65 にも角 R が付与されている。連結箇所 55、65 の角 R は、例えば、0.005 ~ 0.04 [mm] の範囲で付与されてもよい。

40

【0092】

図 13 (B) は、図 13 (A) のような角 R を付与した構成において、傾角感度と最大応力の変化を示している。図 13 (B) において、傾角感度はあまり変化していないが、角 R が 0.02 [mm] 以上で若干劣化している。内部応力は、ねじれが発生する連結部 50 で最大となる。角 R = 0.005 ~ 0.02 [mm] では、最大内部応力は 0.5 [GPa] となり、深掘り反応性イオンエッチングによる加工変質層の影響や繰り返し応力の印加により、破断の可能性が出てしまう。R = 0.03 [mm] のときに、最大応力は 0.49 [GPa] となり、破断が生じない値まで応力が分散される。よって、R = 0.03 [mm] 以上であれば、破断発生のおそれ無く、特に問題無いことが分かる。

50

## 【0093】

図14は、ミラー31と支持梁40との連結箇所45と、支持梁40と連結部50との連結箇所55と、連結部50と可動枠60との連結箇所65に加えて、更に可動枠60と駆動梁70との連結箇所75に生じる角を丸めた場合について説明するための図である。図14(A)は、連結箇所45、55、65、75に角Rを付与した場合のアクチュエータの斜視図の一例であり、図14(B)は、角Rを付与したときの傾角感度と、 $\pm 12$  [deg] 傾いたときの連結箇所45、55、65、75の最大応力変化を示した図である。

## 【0094】

図14(A)に示すように、可動枠60と駆動梁70との連結箇所75にも角が生じるので、この角に角Rを付与して角を丸める加工処理を行うことにより、連結箇所75の内部応力も分散させることができる。連結箇所75の角Rは、例えば、 $0.005 \sim 0.06$  [mm] の範囲で付与するようにしてもよい。

10

## 【0095】

図14(B)において、図14(A)のように連結箇所45、55、65、75に角Rを付与した場合、角R =  $0.005 \sim 0.01$  [mm] での最大内部応力は  $0.5$  [GPa] 以上となる。つまり、この場合には、本実施例に係るアクチュエータは、深掘り反応性イオンエッチングによる加工変質層の影響や繰り返し応力の印加により破断のおそれを有する。一方、R =  $0.02$  [mm] のときには、連結箇所45、55、65、75の最大応力は  $0.49$  [GPa] となり、破断は発生しない値まで応力が分散される。角Rは、R =  $0.05$  [mm] 以上であれば、特に問題が無いことが分かる。

20

## 【0096】

次に、図15及び図16を用いて、実施例1に係るアクチュエータの共振駆動部80の駆動源20の電極配置構成の例について説明する。

## 【0097】

図15は、共振駆動部80における駆動源20の電極配置構成の種々の態様について示した図である。

## 【0098】

図15(A)は、駆動梁70にのみ駆動源20を設けた共振駆動部80の構成の一例を示した図である。図15(A)において、今まで説明したように、駆動梁70にのみ駆動源20が設けられた共振駆動部80が示されている。この場合は、図7乃至図11において説明したように、1対の駆動梁71、72からなる駆動梁70の上下動が、曲げ振動として1対の可動枠61、62からなる可動枠60に付与される。そして、可動枠60から1対の連結部50に曲げ振動が伝達される際に、曲げ振動がねじれ振動に変換され、ねじれ振動により1対の支持梁40及びミラー31が傾動駆動される。

30

## 【0099】

図15(B)は、駆動梁70及び可動枠60に駆動源20aを設けた共振振動部80aの構成の一例を示した図である。図15(B)において、駆動梁70のみでなく、可動枠60にも駆動源20aが備えられている。つまり、駆動源20aは、1対の駆動梁71、72に1対の駆動源25、26が設けられるとともに、1対の可動枠61、62にも各々駆動源27、28が設けられている。図15(B)においては、回転軸Xを中心として、互いに連結されている奥側の駆動梁71及び可動枠61には、同極性又は同位相の電圧が印加される駆動源25、27が設けられている、同様に、互いに連結されている手前側の駆動梁72及び可動枠62には、同極性又は同位相の電圧が印加される駆動源26、28が設けられており、それらの極性は、駆動源25、27とは異なっている。つまり、図15(B)においては、同じ側の駆動梁70と可動枠60には、同極性の電圧が印加されるように駆動源20aが配置構成されている。

40

## 【0100】

図15(C)は、図15(B)とは異なる駆動梁70及び可動枠60に駆動源20bを設けた共振振動部80bの構成の一例を示した図である。図15(C)において、駆動梁

50

70に設けられる駆動源20の配置は、図15(A)、(B)と同様であるが、可動枠60に設けられる駆動源27、28が、連結されている駆動梁70の駆動源26、25とは逆極性となるように構成されている。つまり、回転軸Xを中心として、奥側の駆動梁71の駆動源25とこれに連結されている可動枠61の駆動源28は、互いに逆極性である。同様に、手前側の駆動梁72の駆動源26と、これに連結されている可動枠62の駆動源27とは、逆極性である。そして、1対の駆動源71、72同士の駆動源25、26は互いに逆極性であり、1対の可動枠61、62同士の駆動源28、27も互いに逆極性である。

#### 【0101】

図16は、図15に示した3種類の電極配置構成の共振駆動部80、80a、80b同士の単位電圧当たりの傾角感度及び最大内部応力を比較した図である。図16において、単位電圧当たりの傾角感度を比較すると、基準となる図15(A)に示した駆動梁70にのみ駆動源20を設けた場合と比較して、同じ側の駆動梁70と可動枠60の駆動源20aが同極性となる図15(B)の場合は、傾角感度が減少し、同じ側の駆動梁70と可動枠60が逆極性となる図15(C)の場合は、傾角感度が増加している。つまり、図15(A)の構成では、傾角感度が0.535[deg/V]であるのに対し、図15(B)の構成では、0.131[deg/V]に低下し、図15(C)の構成では、0.975[deg/V]に上昇している。

#### 【0102】

一方、図16において、図15(A)、(B)、(C)同士の最大内部応力を比較すると、基準の図15(A)の0.39[GPa]に対し、図15(C)の場合はほぼ同様の0.40[GPa]となっており、破断のおそれの少ない、問題の無い値となっている。しかし、図15(B)の場合は、0.59[GPa]で増加しており、最大内部応力が0.5[GPa]を超えているので、破断のおそれがある。

#### 【0103】

この結果から、図15(C)の構成のアクチュエータの場合が、最も傾角感度が高く、かつ最大内部応力にも問題が無い値となっていることが分かる。よって、図15(C)に示したような、互いに連結される駆動梁70と可動枠60の駆動源20bに印加される電圧が逆極性となるように、駆動梁70及び可動枠70の双方に駆動源20bを設ける配置構成が最も効率が良く、破断のおそれも少ない構成となっている。

#### 【0104】

このように、図15(C)に示した電極配置とすることにより、外形寸法を変形することなく、傾角感度を向上させることができる。また、例えば、図16の例で考えれば、傾角感度が1.8倍に上昇したことで、印加電圧を1/1.8にすることができる。これにより、ミラー31を±12[deg]傾けるのに必要な駆動電圧は、図15(A)の構成の場合は、0~22.5[V]であるのに対し、図15(C)の構成の場合は、0~12.5[V]とすることができ、必要な駆動電圧を大きく低減させることができる。この場合、消費電力は、印加電圧の2乗に比例するので、図15(C)の場合の消費電力は、図15(A)の構成に比較して、 $(1/1.8)^2 * 100 = 30$ [%]に低減させることが可能となる。

#### 【0105】

なお、連結する駆動梁70と可動枠60を逆極性とする方が、傾角感度を大きくすることができるのは、連結している駆動梁70と可動枠60同士を逆極性とすることにより、互いに反る方向が逆となるので、より大きな曲げ振動を大きく発生させることができるからであると考えられる。

#### 【0106】

このように、実施例1に係るアクチュエータによれば、駆動源20を有する駆動梁70に連結された可動枠60と、ミラー31に連結された支持梁40とを連結する連結部50を設けることにより、内部応力を増加させることなく曲げ振動をねじれ振動に変換し、ミラー31を傾動駆動することができる。また、連結箇所45、55、65、75に角Rを

10

20

30

40

50

付与して角を丸める処理を行ったり、可動枠 60 にも駆動源 20b を設け、駆動梁 70 と可動枠 60 に設ける駆動源 20b の印加電圧が逆となるように構成したりすることにより、更に良好な傾角感度と、内部応力の分散効果を得ることができる。

#### 【実施例 2】

##### 【0107】

図 17 は、本発明の実施例 2 に係るアクチュエータの共振駆動部 81 の構成の一例を示した斜視図である。図 17 において、実施例 2 に係るアクチュエータの共振駆動部 81 は、ミラー 31 と、支持梁 40a と、連結部 50a と、可動枠 60 と、駆動梁 70 と、駆動源 20 とを備える。実施例 2 に係るアクチュエータは、断面構成や、非共振駆動部等の共振駆動部 81 の構成以外は、実施例 1 に係るアクチュエータの構成と同様であるので、他の構成要素については、その説明を省略する。また、実施例 1 と同様の構成要素については、同一の参照符号を付して、その説明を省略又は簡略化するものとする。

10

##### 【0108】

図 17 において、実施例 2 に係るアクチュエータは、ミラー 31 を 1 対の支持梁 40a が両側から支持し、可動枠 61、62 からなる 1 対の可動枠 60 と支持梁 40a とを連結部 50a が連結している。可動枠 60 の回転軸 X と直交する方向の両側には、駆動梁 71、72 からなる 1 対の駆動梁 70 が連結され、駆動梁 71、72 には、駆動源 25、26 からなる 1 対の駆動源 20 が備えられた基本構成は、実施例 1 に係るアクチュエータと同様である。また、実施例 2 に係るアクチュエータの動作も、駆動源 20 により駆動梁 70 から曲げ振動が発生し、連結部 50a でねじれ振動に変換され、支持梁 40a を介してミ

20

##### 【0109】

実施例 2 に係るアクチュエータは、回転軸 X の方向に対をなしている支持梁 40a が、片側で各々奥側と手前側で分かれて 2 本となり、更に対をなしている点で、実施例 1 に係るアクチュエータと異なっている。また、実施例 2 に係るアクチュエータは、支持梁 40a が、片側で各々 2 本となったのに伴い、連結部 50a は、各 1 本の支持梁 40a を近い方の可動枠 61、62 に連結している点で、実施例 1 に係るアクチュエータと異なっている。

##### 【0110】

図 18 は、実施例 2 に係るアクチュエータの支持梁 40a、連結部 50a 及び可動枠 60 の拡大斜視図である。図 18 において、実施例 1 に係るアクチュエータでは、支持梁 40 が片側で 1 本であったのに対し、実施例 2 に係るアクチュエータでは、支持梁 40a の中心部が、回転軸 X に沿ってくり抜かれた形状となっている。それに伴い、支持梁 40a の幅は細くなり、実施例 1 の支持梁 40 よりも細い 2 本の梁 15 で構成されている。

30

##### 【0111】

また、連結部 50a は、2 本の支持梁 40a を大きな 1 本の支持梁 40 と見なせば、回転軸 X と直交する方向に両側に開いて延在し、回転軸 X に沿って可動梁 60 に連結されており、錨形の形状となっているので、連結部 50a 自体の形状としては、本質的には変化していない。しかしながら、支持梁 40a が 2 本の支持梁 41、42 で構成されたことに伴い、支持梁 41 に対応して連結部 51 が設けられ、支持梁 42 に対応して連結部 52 が設けられ、1 本の支持梁 41、42 に各 1 本の連結部 51、52 が各々対応して設けられた構成となっている。

40

##### 【0112】

このような構成とすることにより、実施例 2 に係るアクチュエータは、連結部 50a の梁構造の部分を、実施例 1 に係るアクチュエータよりも更に長くとることができるとともに、連結部 51 と連結部 52 とで異なる動作をすることが可能となる。よって、連結部 50a の変形自由度を更に高め、可動枠 60 から伝達された曲げ振動を、更に効率的にねじれ振動に変換することができる。

##### 【0113】

図 19 は、実施例 2 に係るアクチュエータの共振駆動部 81 の、共振駆動時の変形状態

50

の一例を示した図である。図 19 において、駆動源 25 と駆動源 26 には、異なる極性の電圧が印加され、駆動梁 71 は上に反り、駆動梁 72 は下に反っており、1 対の可動棒 61、62 に曲げ振動を付与している。可動棒 61、62 に付与された曲げ振動は、連結部 50a に伝達され、ねじり振動に変換されて支持梁 40a に伝達される。このとき、可動棒 61 の曲げ振動は連結部 51 に伝達され、可動棒 62 の曲げ振動は連結部 52 に伝達される点が、実施例 1 に係るアクチュエータとは異なっている。連結部 51 からのねじれ振動は、支持梁 41 に伝達され、連結部 52 からのねじれ振動は、連結部 52 に伝達される。右側の支持梁 40a のみでなく、左側の支持梁 40a も同様の動作をし、ミラー 31 は傾動駆動される。

【0114】

10

図 20 は、実施例 2 に係るアクチュエータの共振駆動部 81 の共振駆動時の変形状態の一例を示す拡大斜視図である。図 20 において、駆動梁 71、72 から伝達された可動棒 61、62 の曲げ振動によるたわみが、連結部 50a に伝達されるが、連結部 50a においては、上側の連結部 51 と下側の連結部 52 で段差が生じている。そして、連結部 50a における段差に伴い、支持梁 40a においても、上側の支持梁 41 と下側の支持梁 42 でも段差が生じている。これにより、段差を大きくすることにより、ミラー 31 を大きく傾けることが可能となるので、より直接的にミラー 31 を傾動駆動することが可能となる。つまり、支持梁 40a を 2 本としたことにより、支持梁 41、42 がねじれる傾角時に、支持梁 41、42 間で段差を生じ、傾角を増大させることができる。

【0115】

20

また、図 20 において、可動棒 60 と、ミラー 31 とは、同一方向に傾いている。実施例 2 に係るアクチュエータにおいても、共振モードは、ミラー 31 と可動棒 60 とが同一方向に傾く共振モードを用いることにより、可動棒 60 とミラー 31 の変位を加算し、ミラー 31 の傾角感度を高めることができる。また、支持梁 40a と連結部 50a はともにねじれ、駆動梁 70 と可動棒 60 はともにたわんで駆動するが、傾角量に対しねじれ量が少ないため、内部応力が小さく、破断し難い構成である。

【0116】

例えば、本実施例に係るアクチュエータにおいては、30 [kHz] の周波数で、傾角幅 ±12 [deg] で駆動した場合に、角 R を付与すると、最大内部応力は 0.5 [GPa] となる。これは、ミラー 31 の傾動時に発生する応力を、主に支持梁 40a、連結部 50a、可動棒 60 及び駆動梁 70 に分散させていることを意味する。より詳細には、本実施例に係るアクチュエータは、ミラー傾角感度を 0.56 [deg/V]、最大内部応力を 0.48 [GPa] とすることができる。

30

【0117】

なお、実施例 2 に係るアクチュエータは、支持梁 40a 及び連結部 50a の両方又はどちらか一方の幅、厚さ、断面形状や長さ等を変更することにより、共振周波数を変更できるため、30 [kHz] 以上の更なる高速化にも、構造を変更することなく対応することができる。但し、支持梁 40a 及び / 又は連結部 50a の形状変更を行うと、それに伴って、可動棒 60 及び駆動梁 70 の寸法が変更される場合がある。

【0118】

40

次に、図 21 及び図 22 を用いて、実施例 2 に係るアクチュエータの共振駆動部 81 の、電極構成の例について説明する。

【0119】

図 21 は、実施例 2 に係るアクチュエータの共振駆動部 81 の電極構成の例を示した図である。図 21 (A) は、図 17 乃至図 20 において説明した、駆動梁 70 にのみ駆動源 20 を設けた共振駆動部 81 の一例を示した斜視図である。図 21 (B) は、駆動梁 70 及び可動棒 60 に同極性の駆動源 20a を設けた共振駆動部 81 の一例を示した斜視図である。図 21 (C) は、駆動梁 70 及び可動棒 60 に異極性の駆動源 20a を設けた共振駆動部 81 の一例を示した斜視図である。

【0120】

50

図 2 1 ( A ) における構成は、図 1 7 乃至図 2 0 において説明した構成及び動作と同様であるので、同一の構成要素に同一の参照符号を付して、その説明を省略する。

【 0 1 2 1 】

図 2 1 ( B ) は、駆動梁 7 0 のみでなく、可動枠 6 0 にも駆動源 2 7、2 8 が備えられている点で、図 2 1 ( A ) とは異なっている。また、駆動源 2 7、2 8 の印加電圧の極性は、駆動梁 7 1 と連結された可動枠 6 1 には、駆動枠 7 1 と同じ極性の電圧が印加され、駆動梁 7 2 と連結された可動枠 6 2 には、駆動枠 7 2 と同じ極性の電圧が印加されるように構成されている。つまり、駆動源 2 5 と駆動源 2 7 には同じ極性の電圧が印加され、駆動源 2 6 と駆動源 2 8 には同じ極性の電圧が印加される。そして、駆動源 2 5、2 7 に印加される電圧と、駆動源 2 6、2 8 に印加される電圧は、逆極性となっている。実施例 1

10

【 0 1 2 2 】

図 2 1 ( C ) は、駆動梁 7 0 のみでなく、可動枠 6 0 にも駆動源 2 7、2 8 を設けた点で、図 2 1 ( B ) と同様である。しかしながら、図 2 1 ( C ) は、駆動梁 7 1 と連結された可動枠 6 1 の駆動源 2 8 への印加電圧の極性が、駆動梁 7 1 の駆動源 2 5 への印加電圧極性と反対であり、駆動梁 7 2 と連結された可動枠 6 2 の駆動源 2 7 への印加電圧の極性が、駆動梁 7 2 の駆動源 2 6 への印加電圧極性と反対である点で、図 2 1 ( B ) の電極構成とは異なっている。これは、実施例 1 の図 1 5 ( C ) と同様の電圧の印加の仕方である。

【 0 1 2 3 】

20

図 2 2 は、図 2 1 ( A )、( B )、( C ) の電極構成における印加電圧に対する傾角感度及び最大内部応力を示した図である。

【 0 1 2 4 】

図 2 2 において、傾角感度の最も大きいのは、図 2 1 ( B ) の構成の共振駆動部 8 1 a を有するアクチュエータである。また、最大内部応力についても、図 2 1 ( A ) の構成の共振駆動部 8 1 と図 2 1 ( B ) の構成の共振駆動部 8 1 a とが等しく最も小さい値となっている。つまり、実施例 2 に係るアクチュエータにおいては、駆動梁 7 0 と連結する可動枠 6 0 に、同極性の電圧が印加されて共振駆動する図 2 1 ( B ) に示した電極構成が最適電極構成となる。これは、実施例 1 に係るアクチュエータとは異なる結果である。つまり、実施例 1 においては、連結する駆動梁 7 0 と可動枠 6 0 の駆動源 2 0 b に異極性の電圧が印加されて共振駆動させられる場合が最適な電極構成であったが、実施例 2 においては、連結する駆動梁 7 0 と可動枠 6 0 の駆動源 2 0 a に同極性の電圧が印加されて共振駆動させられる場合が最適構成となる。

30

【 0 1 2 5 】

図 2 3 は、実施例 1 に係るアクチュエータの最適電極構成と、実施例 2 に係るアクチュエータの最適電極構成が異なる理由について説明するための図である。図 2 3 ( A ) は、実施例 1 に係るアクチュエータの共振駆動時の変形状態の一例を示した側面図であり、図 2 3 ( B ) は、実施例 2 に係るアクチュエータの共振駆動時の変形状態の一例を示した側面図である。

【 0 1 2 6 】

40

図 2 3 ( A ) に示されるように、実施例 1 に係るアクチュエータにおいては、可動枠 6 0 が駆動梁 7 0 と逆方向に上下に変位すればする程、中心梁 4 0 及び連結部 5 0 が傾き、ミラー 3 1 の回転角度が大きくなる。つまり、可動枠 6 1 及び駆動梁 7 1 の反り具合と、可動枠 6 2 及び駆動梁 7 2 の反り具合が大きい程、中心梁 4 0 及び連結部 5 0 が傾き、ミラー 3 1 の傾角が大きくなる。

【 0 1 2 7 】

一方、図 2 3 ( B ) に示されるように、実施例 2 に係るアクチュエータにおいては、可動枠 6 0 及び駆動梁 7 0 が、1 つのばねのように変位し、中心梁 4 0 が上下に変位すればする程、ミラー 3 1 の回転角度は大きくなる。つまり、可動枠 6 1 及び駆動梁 7 1 の上昇変位と、可動枠 6 2 及び駆動梁 7 2 の下降変位の差が大きい程、支持梁 4 1 と支持梁 4 2

50



とが縦に開いて段差が大きくなり、ミラー 31 の傾角が大きくなる。

【0128】

このように、支持梁 40、40a が 1 本であるか 2 本であるかにより、同じ周波数、同じ共振モードでも、傾くメカニズムが全く異なることが分かる。

【0129】

ここで、実施例 2 においては、角 R を付与して角を丸くする加工処理については、特に説明していないが、実施例 2 においても適用することができる。また、そのような細部の構成については、実施例 1 と実施例 2 を組み合わせることができる。

【実施例 3】

【0130】

10

図 24 は、実施例 3 に係るアクチュエータの全体構成の一例を示す斜視図である。図 24 (A) は、実施例 3 に係るアクチュエータの表面側からの斜視図の一例であり、図 24 (B) は、実施例 3 に係るアクチュエータの裏面側からの斜視図の一例である。

【0131】

図 24 (A) において、実施例 3 に係るアクチュエータは、可動部 100 と、固定枠 110 とを備える。固定枠 110 は、駆動中も固定状態にある外側の枠であり、可動部 110 は、固定枠 110 に連結支持されている。また、可動部 100 は、駆動対象物 30 と、1 対の支持梁 40b と、1 対の連結部 50b と、1 対の駆動梁 73 とを備える。連結部 50b は、駆動梁 73 に連結される駆動梁側連結部 53 と、駆動梁側連結部 53 と支持梁 40b を連結する支持梁側連結部 54 とを有する。実施例 3 に係るアクチュエータの表面側は、総て Si 活性層 13 で構成されている。

20

【0132】

実施例 3 に係るアクチュエータにおいては、駆動対象物 30 に、回転軸方向に沿って延在する支持梁 40 が連結されている点は、実施例 1 に係るアクチュエータと同様である。しかしながら、実施例 3 に係るアクチュエータには、可動枠 60 が設けられていない点で、実施例 1 及び実施例 2 に係るアクチュエータと異なっている。

【0133】

実施例 3 に係るアクチュエータにおいては、連結部 50b の支持梁側連結部 54 が、回転軸 X と直交する方向に長く延在し、駆動対象物 30 の幅と同程度か、それよりも長く構成されている。そして、支持梁側連結部 54 から垂直に回転軸 X と平行に駆動梁 73 側に戻るように駆動梁側連結部 53 が延在し、駆動梁 73 に直接連結されている。よって、連結部 50b は、可動枠 60 の代わりに駆動梁 73 と直接連結される駆動源側連結部 53 と、駆動梁側連結部 53 と支持梁 40b とを連結する支持梁側連結部 54 を含んで構成される。ここで、支持梁側連結部 54 と駆動梁側連結部 53 とが連結される位置は、回転軸 X に垂直な方向において、駆動対象物 30 の端部と同じか、それよりも外側に構成されてよい。これにより、回転軸 X と平行に駆動対象物 30 側に延びる駆動梁側連結部 53 の長さを、十分に長く確保することができ、十分に応力の吸収低減を行うことが可能となる。

30

【0134】

このように、回転軸 X と垂直に延在する支持梁側連結部 54 の長さを大きくし、支持梁側連結部 54 と駆動梁 73 とを駆動梁側連結部 53 で連結し、可動枠 60 を省くような構成としてもよい。この場合、駆動梁 73 で発生させられる傾動力は、連結部 50b の駆動梁側連結部 53 に直接的に伝達される。駆動梁側連結部 53 は、駆動梁 73 の傾動力を支持梁側連結部 54 に伝達することができるとともに、応力を低減させる梁構造となっているので、応力分散を適切に行うことができる。また、可動枠 60 を省くことにより、より小型で省スペースのアクチュエータを構成することができる。

40

【0135】

また、駆動梁 73 は、実施例 1 及び実施例 2 に係るアクチュエータの駆動源 70 よりも、回転軸 X に平行な幅を大きくし、駆動源 20 である圧電素子 21 の成膜面積を大きくしている。これにより、傾角感度を更に向上させるとともに、更に高速に駆動することが可能となる。つまり、小型でありながら、十分な傾角感度を有するアクチュエータとするこ

50

とができる。なお、駆動梁 73 が、回転軸 X の両側で、異なる方向に変位する電圧が印加させる点は、実施例 1 及び実施例 2 に係るアクチュエータと同様である。

#### 【0136】

更に、実施例 3 に係るアクチュエータは、回転軸 X の軸周りに傾動運動を行う 1 軸型のアクチュエータが示されている。このように、実施例 3 に係るアクチュエータは、1 軸側アクチュエータとして構成することができる。一方、図 3 乃至図 6 において説明したように、固定枠 110 の領域に、回転軸 X と異なる軸周りに傾動駆動するアクチュエータを組み込んで 2 軸型のアクチュエータとしてもよい。実施例 3 に係るアクチュエータは、1 軸型のアクチュエータにも、2 軸型のアクチュエータにも適用することができる。

#### 【0137】

図 24 (B) において、実施例 3 に係るアクチュエータの裏面構成の一例が示されているが、図 24 (A) において説明した可動部 100 は、総て梁 15 として薄く構成され、固定枠 110 は、厚さの厚いシリコン基板 11 で構成される。

#### 【0138】

図 25 は、実施例 3 に係るアクチュエータの傾角感度の向上と最大応力を低減させるパラメータ設定の一例について説明するための図である。図 25 (A) は、実施例 3 に係るアクチュエータの可動部 100 の平面構成を示した図の一例である。図 25 (A) において、回転軸 X と垂直であって、駆動対象物 30 の中心を通る回転軸 Y が示されている。

#### 【0139】

図 25 (A) において、支持梁 40b の幅を A とし、駆動梁側連結部 53 の幅を、支持梁 40b の幅 A の  $1/2$  の  $A/2$  に設定する。また、支持梁側連結部 54 の長さを B、支持梁 40b 及び駆動梁側連結部 53 の外側の端部から回転軸 Y までの距離を C とする。そして、支持梁 40b 及び駆動梁側連結部 53 の外側端部から回転軸 Y までの距離 C を可変とすることで、共振周波数を一定の  $30\text{ kHz}$  に設定する。なお、駆動梁側連結部 53 は、4 箇所存在するが、総て共通の値に設定する。また、連結箇所 45a の R 半径を  $R1 = 0.15\text{ mm}$ 、連結箇所 55a の R 半径を  $R2 = B/2$  に設定する。そして、指示梁 40b の幅 A 及び支持梁側連結部 54 の長さ B をパラメータとして変化させ、傾角感度と最大応力の最適値を検討した。

#### 【0140】

図 25 (B) は、駆動対象物 30 を  $\pm 12\text{ deg}$  の傾角で傾動させる場合の、支持梁 40b の幅 A 及び支持梁側連結部 54 の長さ B の変化に対する傾角感度  $[\text{deg/V}]$  の変化特性を示した図である。図 25 (B) において、 $A = 0.12\text{ mm}$  の場合に最も傾角感度が高く、また、 $0.4\text{ mm} < B < 0.6\text{ mm}$  の  $B = 0.5\text{ mm}$  付近の値で傾角感度が最大となっている特性が示されている。

#### 【0141】

図 25 (C) は、支持梁 40b の幅 A 及び支持梁側連結部 54 の長さ B の変化に対する最大主応力の変化特性を示した図である。最大応力は、 $0.5\text{ GPa}$  以下であれば、アクチュエータの耐性としては問題の無い数値である。図 25 (C) において、 $A > 0.1\text{ mm}$  の場合に、最大応力は  $0.5\text{ GPa}$  以下となっている。また、 $A = 0.14\text{ mm}$  又は  $A = 0.12\text{ mm}$  の場合であって、 $0.4\text{ mm} < B < 0.6\text{ mm}$  の  $B = 0.5\text{ mm}$  付近で最大主応力が最小となっている特性が示されている。

#### 【0142】

よって、傾角感度が高く、最大応力が小さい形状で、比較的小型のものとして、例えば、 $A = 0.12\text{ mm}$ 、 $B = 0.5\text{ mm}$ 、 $C = 1.4\text{ mm}$ 、 $R1 = 0.15\text{ mm}$ 、 $R2 = 0.25\text{ mm}$  の形状を採用するとよい。この場合、傾角感度は  $4.50\text{ deg/V}$ 、 $\pm 12\text{ deg}$  の傾角で傾動させるための電圧は  $0 - 5.3\text{ V}$ 、最大応力は  $0.38\text{ GPa}$  とすることができ、最大応力が小さく、傾角感度が高い良好な特性とすることができる。

#### 【実施例 4】

#### 【0143】

図 26 は、実施例 4 に係るアクチュエータの全体構成の一例を示した斜視図である。図

10

20

30

40

50

図 26 (A) は、実施例 4 に係るアクチュエータの表面側の構成の一例を示した図であり、図 26 (B) は、実施例 4 に係るアクチュエータの裏面側の構成の一例を示した図である。

【0144】

図 26 (A) において、実施例 4 に係るアクチュエータは、可動部 101 と、固定枠 111 とを備える。固定枠 111 は駆動中も固定状態にある外側の枠で、可動部 111 が、固定枠 111 に連結支持されている点は、実施例 3 に係るアクチュエータと同様である。また、可動部 101 は、駆動対象物 30 と、1 対の支持梁 40c と、1 対の連結部 50c を備え、連結部 50c は、駆動梁側連結部 53 と、支持梁側連結部 54 を含む点も、実施例 3 に係るアクチュエータと同様である。

10

【0145】

実施例 4 に係るアクチュエータは、支持梁 40c が、回転軸 X に沿って分離しており、2 本となっている点で、実施例 3 に係るアクチュエータと異なっている。この支持梁 40c の構成は、実施例 2 に係るアクチュエータの支持梁 40a と類似した構成である。これに伴い、連結部 50c も、回転軸 X に沿って分離され、2 本の連結部 50c を含んでいる。2 本の連結部 50c は、各々が回転軸 X に対して垂直に外側の向きに延び、各々が支持梁 40c とともに U 字を形成した形状となっている。このような構成により、支持梁 40c 及び連結部 50c は、回転軸 X の両側で、独立した運動を行うことが可能となる。よって、実施例 4 に係るアクチュエータは、実施例 2 に係るアクチュエータと同様に、2 本の支持梁 40c の高低差を大きくして駆動することにより、大きな傾角を得ることが可能な構成となっている。

20

【0146】

なお、連結部 50c の、回転軸 X に垂直な方向に延在する支持梁側連結部 54 の長さが、駆動対象物 30 の幅と同程度かそれ以上であり、可動枠 60 を必要としない点は、実施例 3 に係るアクチュエータと同様である。これにより、可動枠 60 を必要とせず、小型で省スペースのアクチュエータを構成することができる。

【0147】

また、連結部 50c は、実施例 3 に係るアクチュエータと同様に、駆動梁側連結部 53 及び支持梁側連結部 54 とともに、弾性力のある梁構造を有しているの点で、加わる応力を吸収して低減させ、安定して駆動対象物 30 を傾動運動させることができる。

30

【0148】

また、駆動源 20 が成膜された駆動梁 73 の面積を大きくし、十分な傾角感度と高速駆動を実現できる点は、実施例 3 に係るアクチュエータと同様である。

【0149】

図 26 (B) においては、実施例 4 に係るアクチュエータの裏面側からの斜視図が示されているが、外側の固定枠 111 は厚いシリコン基板 11 で構成され、可動部 101 は、梁 15 として薄い弾性体で構成されている点は、実施例 3 に係るアクチュエータと同様である。

【0150】

図 27 は、実施例 4 に係るアクチュエータの可動部 101 の形状の最適設計を行う方法の一例を示した図である。図 27 (A) は、実施例 4 に係るアクチュエータの平面構成の一例を示した図である。図 27 (A) に示すように、実施例 4 に係るアクチュエータは、支持梁 40c が、回転軸 X に沿って分離し、2 本の支持梁 41a、42a を備えている。また、これに伴い、連結部 50c も、回転軸 X を境界として 2 つに分離され、2 つの連結部 51a、52a を備えている。支持梁 41a には、連結部 51a が連結され、支持梁 42a には、連結部 52a が連結されている。連結部 51a、52a の支持梁側連結部 54 は、回転軸 X に垂直な方向に、ともに回転軸 X から離れる向きに延びており、駆動源側連結部 53 で再び回転軸 X に沿って中心に戻るような形状となっている。

40

【0151】

ここで、図 27 (A) において、各パラメータを以下のように定める。支持梁 40c の

50

各 1 本 4 1 a、4 2 a の幅を 0 . 0 6 m m、同様に連結部 5 0 c の駆動梁側連結部 5 3 の幅を 0 . 0 6 m m とする。なお、駆動対象物 3 0 を弾性支持する支持梁 4 0 c、駆動梁側連結部 5 3 の幅を変更することにより、共振周波数を大きく変更することができる。本実施例においては、支持梁 4 0 c 及び駆動梁側連結部 5 3 の幅を一定とし、他のパラメータを動かすこととする。

#### 【 0 1 5 2 】

また、2 本の支持梁 4 1 a、4 2 a 間の距離を A とし、支持梁側連結部 5 4 の長さを B とする。更に、駆動梁側連結部 5 3 の外側端部から駆動梁 7 3 の部分も含めた回転軸 Y までの距離を C とする。この場合、C を可変とすることで、共振周波数を一定の 3 0 k H z に調整することができる。つまり、共振周波数の微調整が可能となる。

10

#### 【 0 1 5 3 】

また、駆動対象物 3 0 と支持梁 4 0 c との連結箇所 4 6 の R 半径を  $R 1 = A / 2$  に設定し、支持梁 4 0 c と連結部 5 5 b との連結箇所 5 5 b の R 半径を  $R 2 = B / 2$  に設定する。

#### 【 0 1 5 4 】

図 2 7 ( B ) は、図 2 7 ( A ) の条件下で、駆動対象物 3 0 を  $\pm 1 2 \text{ deg}$  傾動させる場合に、2 本の支持梁 4 1 a、4 2 a 間の距離 A と、支持梁 4 0 c と駆動梁側連結部 5 3 との間の距離 ( 支持梁側連結部 5 4 の長さ ) B とをパラメータとしたときの、最大応力の変化特性を示した図である。図 2 7 ( B ) において、横軸は支持梁側連結部 5 4 の長さ B [ m m ]、縦軸は最大応力 [ G P a ] を示している。

20

#### 【 0 1 5 5 】

図 2 7 ( B ) において、A の値が小さい程、最大応力が小さいことが示されている。また、応力が極小となる支持梁 4 0 c と駆動梁側連結部 5 3 との距離 B を  $B_{\min}$  とすると、( 1 ) 式の関係性を有する。

#### 【 0 1 5 6 】

#### 【 数 1 】

$$B_{\min} = -0.2 * A + 0.28 \quad \dots (1)$$

30

( 1 ) 式は、各特性曲線の極小値を結んで得られた関係式である。

#### 【 0 1 5 7 】

図 2 8 は、支持梁側連結部 5 4 の長さ B が、極小値を持つ理由を説明するための図である。( 1 ) 式より、 $A = 0 . 3 \text{ mm}$  の曲線における極小値は、 $B_{\min} = ( - 0 . 2 ) * 0 . 3 + 0 . 2 8 = 0 . 2 2 \text{ mm}$  である。図 2 8 においては、 $A = 0 . 3 \text{ mm}$  の場合に、B の値を変化させた応力分布図を示している。

40

#### 【 0 1 5 8 】

図 2 8 ( A ) は、 $B = 0 . 1 \text{ mm}$  の場合のアクチュエータの応力分布を示した図である。図 2 8 ( A ) は、 $B < B_{\min} = 0 . 2 \text{ mm}$  の場合の応力分布を示しており、この場合、駆動梁側連結部 5 3 に応力が集中している。

#### 【 0 1 5 9 】

図 2 8 ( B ) は、 $B = 0 . 3 \text{ mm}$  の場合のアクチュエータの応力分布を示した図である。図 2 8 ( B ) は、 $B > B_{\min} = 0 . 2 \text{ mm}$  の場合の応力分布を示しており、この場合、支持梁 4 0 c に応力が集中している。

#### 【 0 1 6 0 】

図 2 8 ( C ) は、 $B = 0 . 2 \text{ mm}$  の場合のアクチュエータの応力分布を示した図である

50

。図 28 (C) は、 $B = B_{min} = 0.2 \text{ mm}$  の場合の応力分布を示しており、この場合、支持梁 40c と駆動梁側連結部 53 の中間付近の連結部 50c の位置に応力が集中する。

【0161】

図 27 (A) に示した構成において、支持梁 40c 及び駆動梁側連結部 53 の幅は、 $0.06 \text{ mm}$  と、これらを連結している支持梁側連結部 50c の幅よりも狭く、ねじれ部を含むことになる。よって、支持梁側連結部 54 の長さを短くすると、駆動梁側連結部 53 のねじれ部に応力が集中し、支持梁側連結部 54 の長さを長くすると、支持梁 40c のねじれ部に応力が集中するが、支持梁側連結部 54 の長さを中間長さとするることにより、支持梁側連結部 54 に応力集中部を移動させることができる。幅が広く、大きなねじれ部を含まない支持梁連結部 54 に応力集中部を移動させることにより、駆動対象物 30 を  $\pm 12 \text{ deg}$  傾動させたときの応力を低減させ、極小値を持たせることができる。

10

【0162】

図 27 (B) に戻る。図 27 (B) の変化特性において、応力が限界値の  $5 \text{ GPa}$  以下を示すのは、 $A = 0.1 \text{ mm}$ 、 $A = 0.03 \text{ mm}$  及び  $A = 0.005 \text{ mm}$  の曲線の一部の範囲である。つまり、図 27 (B) で示す特性曲線においては、 $A < 0.2 \text{ mm}$  であって、 $B$  が所定範囲内の領域の場合である。一方、 $A = 0.2 \text{ mm}$  の特性曲線においては、 $B$  の値に関わらず、最大応力は  $0.5 \text{ GPa}$  を示している。

【0163】

ここで、 $A < 0.2 \text{ mm}$  の特性曲線において、応力が限界値の  $0.5 \text{ GPa}$  と交わる  $B$  の値が小さい方の関係式は、(2) 式のようになる。

20

【0164】

【数 2】

$$B = 0.4 * A + 0.16 \quad \dots (2)$$

30

また、各特性曲線が、応力が  $0.5 \text{ GPa}$  で交わる  $B$  の値が大きい方の関係式は、(3) 式のようになる。

【0165】

【数 3】

$$B = -0.9 * A + 0.4 \quad \dots (3)$$

40

よって、応力が限界値の  $0.5 \text{ GPa}$  以下を示すのは、(1) 式を満たす  $B_{min}$  だけでなく、(4) 式の範囲となる。

【0166】

【数 4】

$$0.4 \cdot A + 0.16 \leq B \leq -0.9 \cdot A + 0.4 \quad \cdots (4)$$

図 27 (C) は、上述の (1) ~ (4) の関係式が満たす領域を示した図である。図 27 (C) において、横軸は支持梁 41a、42a 間の距離 A [mm]、縦軸は支持梁側連結部 54 の長さ B [mm] を示している。図 27 (C) において、(4) 式を満たす範囲が斜線で示されており、領域の境界線である (2) 式と (3) 式の間に、(1) 式が示されている。応力の低減の観点から見れば、(1) 式を満たす A、B の組み合わせが最適であるが、(4) 式の範囲内に入っていれば、設計上問題無いと言える。よって、(4) 式を満たす斜線の範囲内で支持梁 41a、42a 間の距離 A 及び支持梁側連結部 54 の長さ B を定めればよいことが分かる。

10

【0167】

図 29 は、支持梁 41a、42a 間の距離 A 及び支持梁側連結部 54 の長さ B をパラメータとした場合の傾角感度の特性を示した図である。図 29 において、横軸は支持梁側連結部 54 の長さ B [mm]、縦軸は傾角感度 [deg/V] を示している。

20

【0168】

図 29 において、A、B の値がともに大きい程、傾角感度は大きくなることが示されている。よって、図 27 (C) において算出した、最大応力が 0.5 GPa 以下の範囲で、傾角感度が最大となるような A、B の値が、最適なパラメータ設定ということになる。

【0169】

この範囲で考えると、A = 0.03 mm、B = 0.35 mm が最適な値ということになる。このとき、他の値は、支持梁 41a、42a の各々と駆動梁側連結部 54 はともに 0.06 mm、C = 1.2 mm、R1 = 0.015 mm、R2 = 0.175 mm となる。この場合の特性は、傾角感度が 3.58 deg/V であり、±12 deg の傾角で傾動させるための電圧が 0 - 6.5 V、最大応力が 0.49 GPa となる。

30

【0170】

実施例 4 に係るアクチュエータは、実施例 3 に係るアクチュエータよりも、傾角感度は低く、最大応力が大きい数値となっているが、実施例 4 に係るアクチュエータは、実施例 3 に係るアクチュエータよりも小型に形成することができる。よって、より傾角感度の高いアクチュエータを使用したい場合には、実施例 3 に係るアクチュエータを用い、より小型のアクチュエータを使用したい場合には、実施例 4 に係るアクチュエータを用いるようにすればよい。このように、実施例 3 に係るアクチュエータと、実施例 4 に係るアクチュエータは、用途に応じて使い分けることが可能である。

40

【0171】

なお、実施例 3 及び実施例 4 の駆動対象物は、実施例 1 及び実施例 2 において説明したように、例えば、ミラー 31 であってもよい。また、実施例 3 及び 4 においては、1 軸のアクチュエータとして構成した例を説明したが、図 3 乃至図 6 において説明したように、2 軸のアクチュエータとして構成してもよい。

【実施例 5】

【0172】

図 30 は、本発明の実施例 5 に係るプロジェクタ 200 の全体構成の一例を示した図である。実施例 5 においては、実施例 1 ~ 4 に係るアクチュエータを光走査装置、例えばプロジェクタ 200 に適用した例について説明する。

【0173】

50

図30において、実施例5に係るプロジェクタ200は、第1の圧電ミラー120と、第2の圧電ミラー121と、レーザダイオード130と、コリメータレンズ140と、CPU(Central Processing Unit、中央処理装置)150と、レーザダイオードドライバIC(Integrated Circuit、集積回路)160と、第1の圧電ミラードライバIC170と、第2の圧電ミラードライバIC171とを有する。また、図30において、関連構成要素として、スクリーン210が示されている。

【0174】

プロジェクタ200は、スクリーン210上に映像を投影して映し出す装置である。第1の圧電ミラー120は、ミラー31を回転軸Xの軸周りに傾動駆動する1軸駆動のアクチュエータとして構成され、プロジェクタ300に適用される。同様に、第2の圧電ミラー120は、ミラー31を回転軸Yの軸周りに傾動駆動する1軸駆動のアクチュエータとして構成され、プロジェクタ300に適用される。

10

【0175】

レーザダイオード130は、レーザ光を発射する光源である。レーザダイオード130から発射されるレーザ光は、発散光であってよい。

【0176】

コリメータレンズ140は、発散光を平行光に変換する手段である。平行光には、例えば、光の入射面内で振動するP偏光や、光の入射面に垂直に振動するS偏光が含まれてよい。

【0177】

20

コリメータレンズ220からの平行光は、第1の圧電ミラー120に照射され、ミラー31により反射される。第1の圧電ミラー120は、ミラー31を回転軸Xの軸周りに傾動駆動させ、反射するレーザ光が回転軸Xに垂直に振動するような動きを与える。第1の圧電ミラー120は、実施例1～4において説明した総てのアクチュエータが適用され得る。第1の圧電ミラー120による反射光は、第2の圧電ミラー121に照射される。

【0178】

第2の圧電ミラー121は、ミラー31を回転軸Yの軸周りに傾動駆動させ、第1の圧電ミラー120からのレーザ光を反射する。これにより、反射光に、回転軸Yに垂直に振動する動きが与えられる。第2の圧電ミラー121も、第1の圧電ミラー120と同様に、実施例1～4に係る総てのアクチュエータが適用され得る。

30

【0179】

第2の圧電ミラー121で反射されたレーザ光は、スクリーン210に照射される。スクリーン210上のレーザ光は、1軸の第1の圧電ミラー120及び第2の圧電ミラー121を組み合わせることにより、垂直方向に2軸の走査を行うことができ、映像を形成することができる。

【0180】

CPU150は、レーザダイオードドライバIC160、第1の圧電ミラードライバIC170及び第2の圧電ミラードライバIC171を制御する手段である。レーザダイオードドライバIC160は、レーザダイオード130を駆動する手段である。第1の圧電ミラードライバIC170は、第1の圧電ミラー120を駆動する手段であり、第2の圧電ミラードライバIC171は、第2の圧電ミラー121を駆動する手段である。

40

【0181】

CPU150は、レーザドライバIC160を制御し、レーザダイオード130を駆動する。また、CPU150は、第1の圧電ミラードライバ170を制御し、第1の圧電ミラー120の回転軸Xの軸周りの傾動動作を制御するとともに、第2の圧電ミラードライバ171を制御し、第2の圧電ミラー121の回転軸Yの軸周りの傾動動作を制御する。第1の圧電ミラー120及び第2の圧電ミラー121が傾動動作することにより、回転軸X、Yの双方の軸周りの動きをレーザ光に与え、第2の圧電ミラー121のミラー31で反射した光をスクリーン210上に走査させ、スクリーン210上に映像を形成する。

【0182】

50

このように、本実施例に係るアクチュエータは、プロジェクタ 200 用の圧電ミラー 120、121 として好適に適用することができ、応力負担の少ない安定した状態でミラー 31 を駆動させ、映像を映し出すことができる。

#### 【0183】

なお、実施例 7 においては、第 1 の圧電ミラー 120 が回転軸 X の軸周りの傾動駆動を行い、第 2 の圧電ミラー 121 が回転軸 Y の軸周りの傾動駆動を行う例を挙げて説明したが、両者の順序は入れ替わっていてもよい。第 1 の圧電ミラー 120 を傾動駆動させる第 1 の回転軸と、第 2 の圧電ミラー 121 を傾動駆動させる第 2 の回転軸とは、両者の方向が異なっていればよく、用途に応じて種々の方向の回転軸の組み合わせとすることができる。

10

#### 【0184】

以上、本発明の好ましい実施例について詳説したが、本発明は、上述した実施例に制限されることなく、本発明の範囲を逸脱することなく、上述した実施例に種々の変形及び置換を加えることができる。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0185】

本発明は、駆動対象物を傾動又は揺動させて駆動するアクチュエータに利用することができ、例えば、ミラーやレンズを傾動駆動するプロジェクタ等の光学装置に利用することができる。

20

#### 【符号の説明】

#### 【0186】

10	半導体ウェハ	
11	シリコン基板	
12、14	SiO <sub>2</sub>	
13	Si 活性層	
15	梁	
20、20a、20b	駆動源	
21	圧電素子	
22	圧電体	
23、24	電極	
30	駆動対象物	
31	ミラー	
40、40a、40b、40c、41、41a、42、42a	支持梁	
45、45a、46、55、55a、65、75	連結箇所	
50、50a、50b、50c、51、51a、52、52a	連結部	
53	駆動梁側連結部	
54	支持梁側連結部	
60、61、62	可動枠	
70、71、72、73	駆動梁	
80、80a、80b、81、81a、81b	共振駆動部	
90	非共振駆動源	
100、101	可動部	
110、111	固定枠	
120、121	圧電ミラー	
130	レーザダイオード	
140	コリメータレンズ	
150	CPU	
160、170、171	ドライバ IC	
200	プロジェクタ	
210	スクリーン	

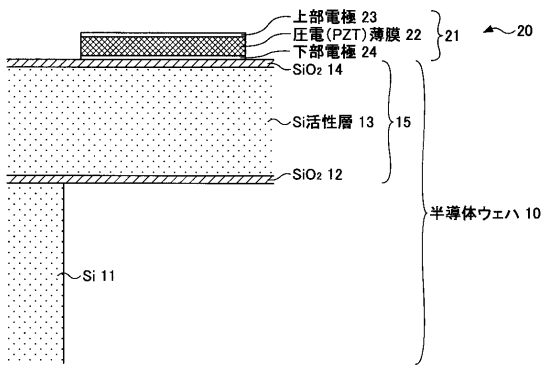
30

40

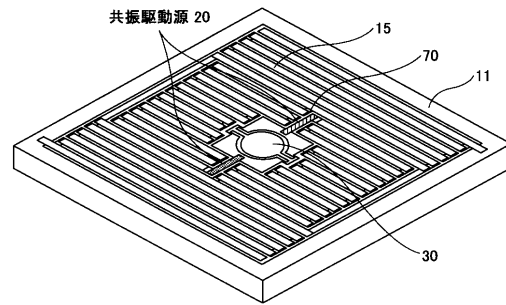
50



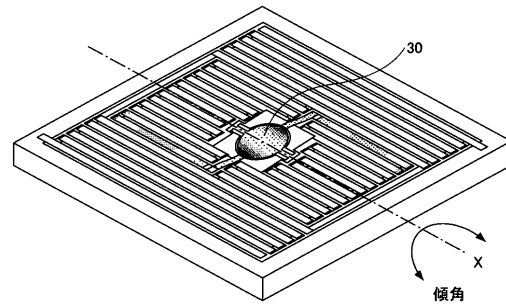
【図 1】



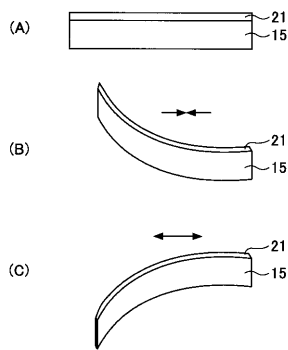
【図 3】



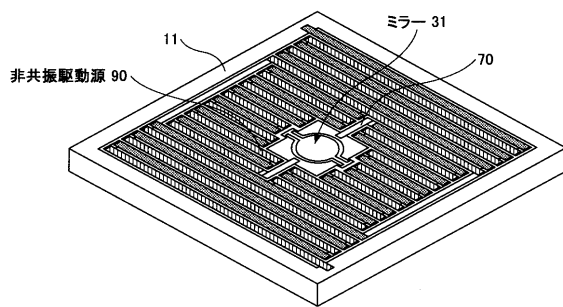
【図 4】



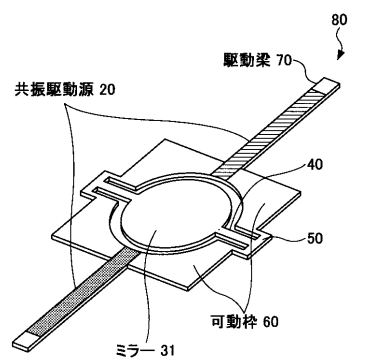
【図 2】



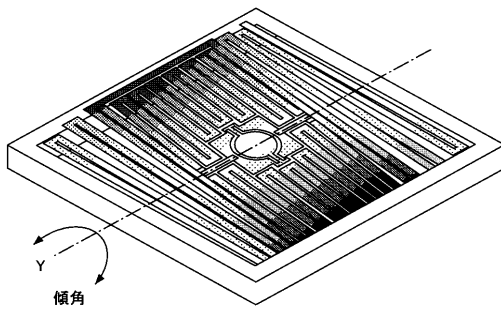
【図 5】



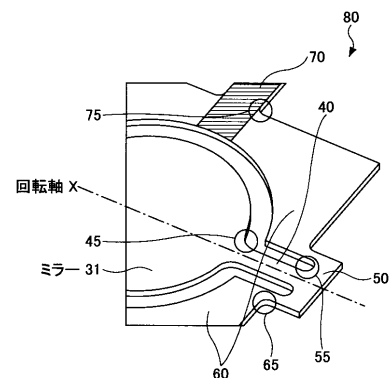
【図 7】



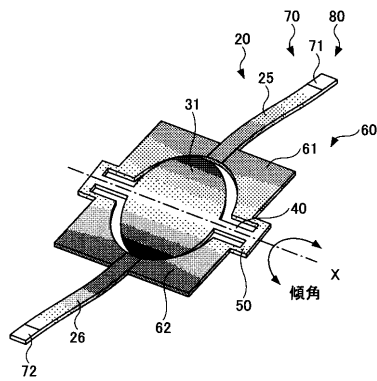
【図 6】



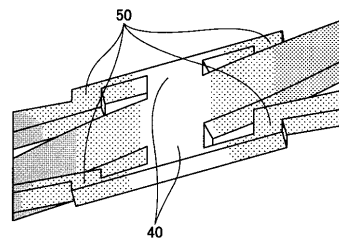
【図 8】



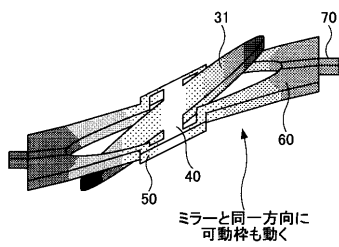
【図 9】



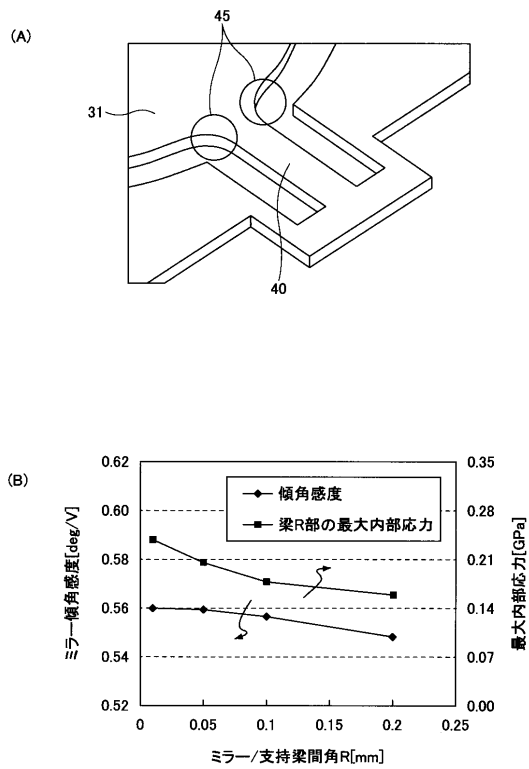
【図 11】



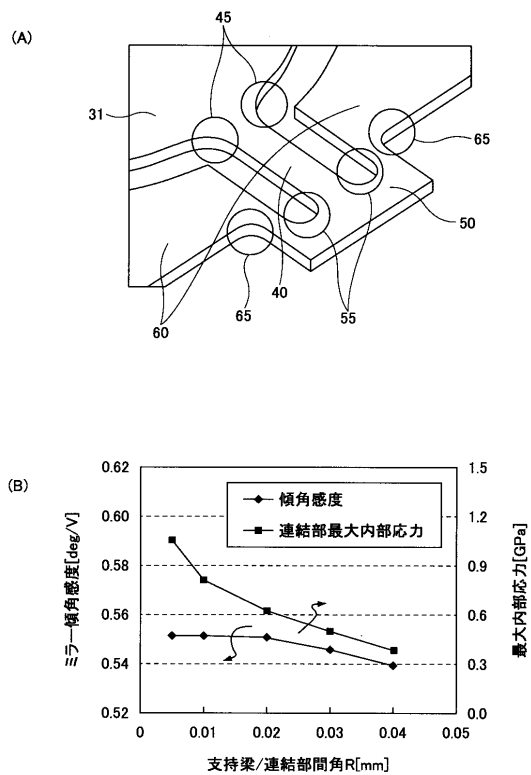
【図 10】



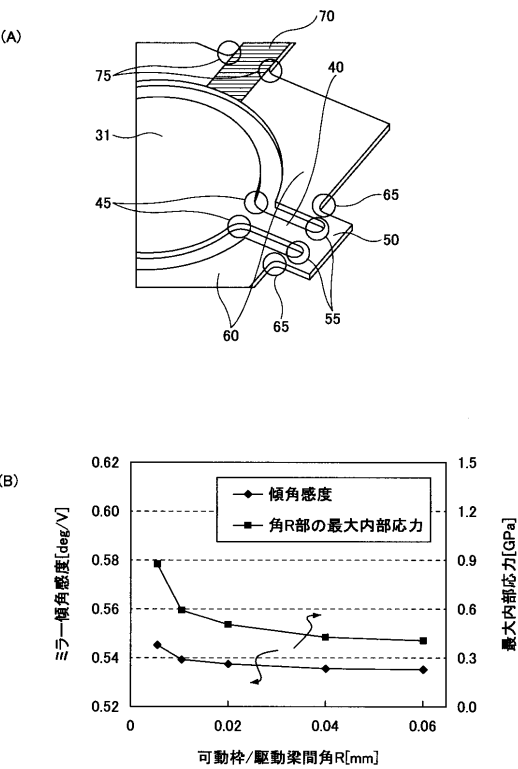
【図 12】



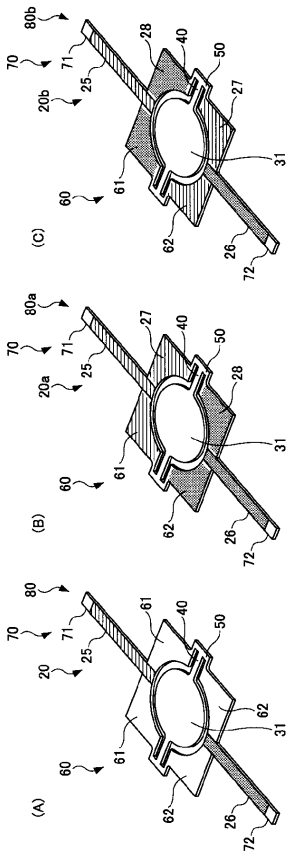
【図 13】



【図 14】



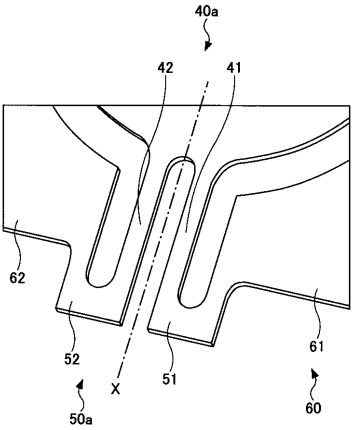
【図 15】



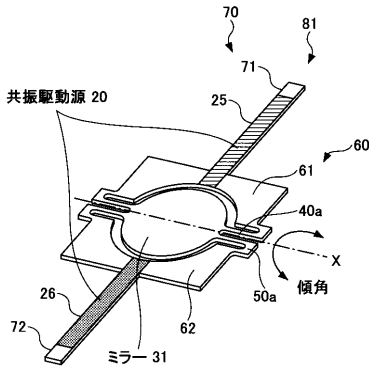
【図 16】

		A	B	C
傾角感度	deg/V	0.535	0.131	0.975
最大内部応力	GPa	0.39	0.59	0.40

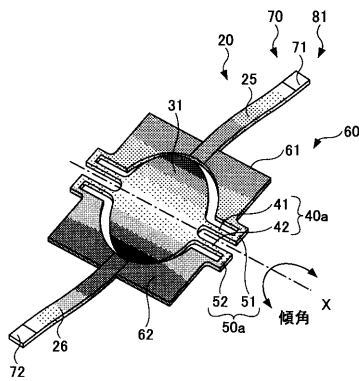
【図 18】



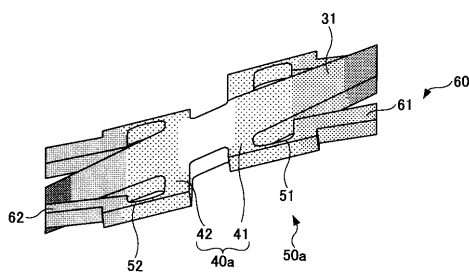
【図 17】



【図 19】



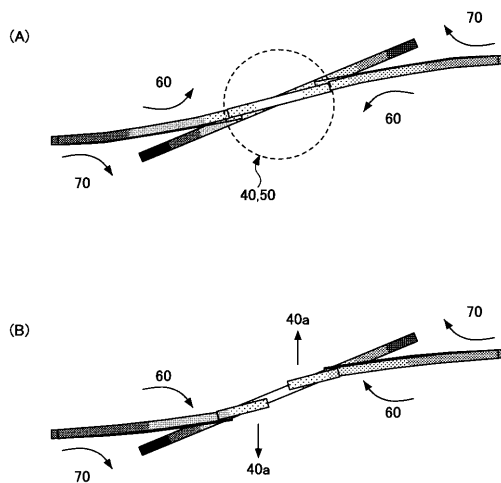
【図 20】



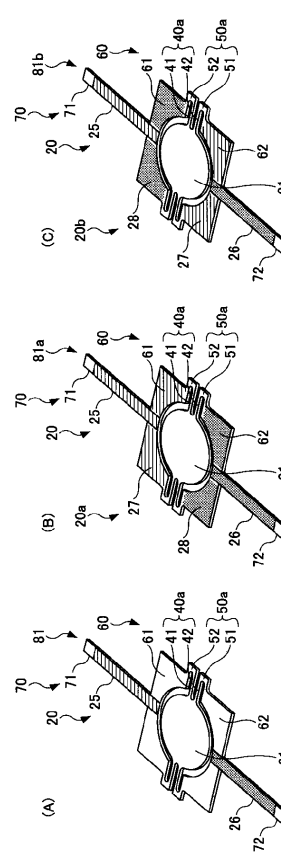
【図 22】

傾角感度	deg/V	A	B	C
最大内部応力	GPa	0.48	0.48	0.52

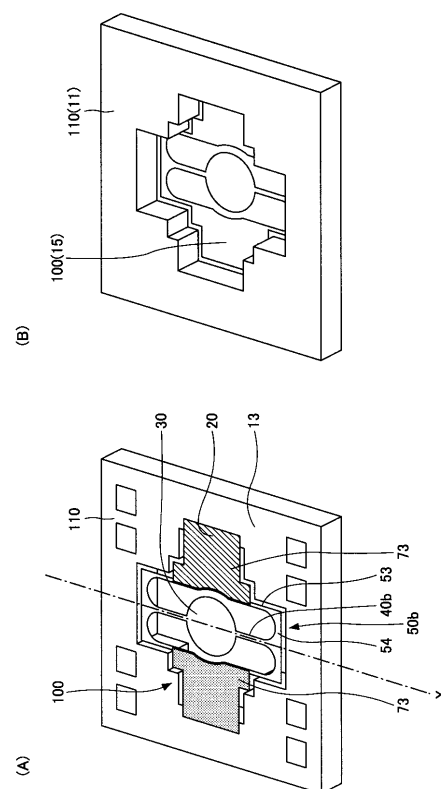
【図 23】



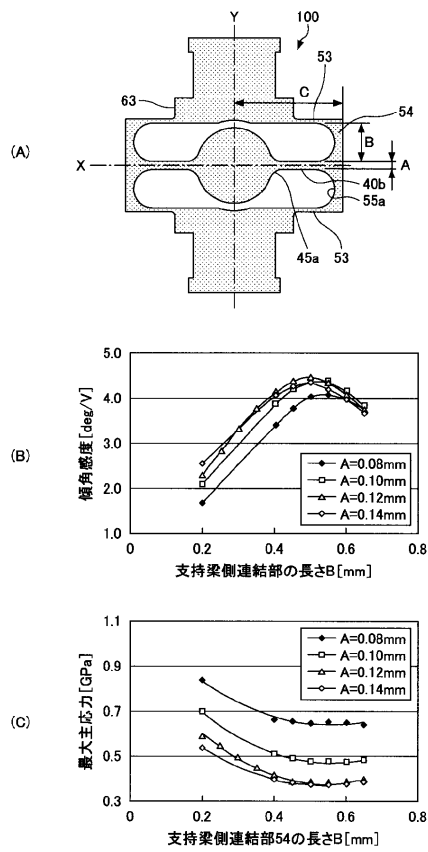
【図 21】



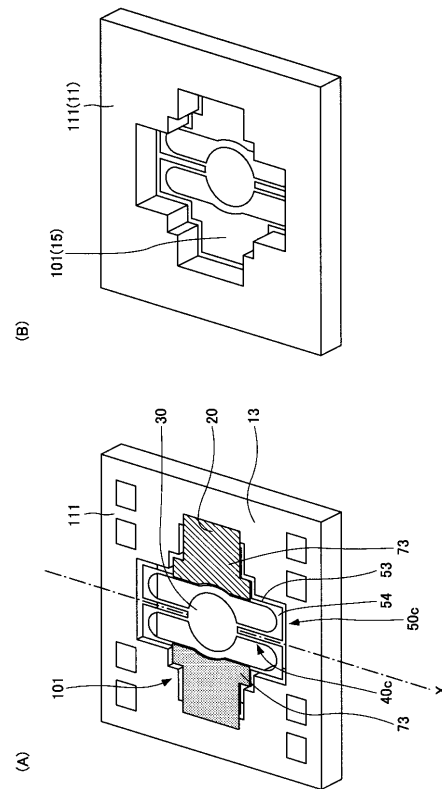
【図 24】



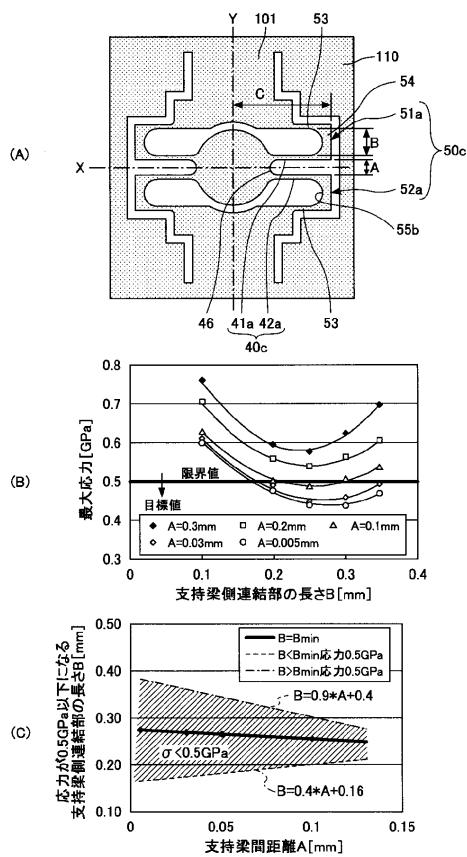
【図25】



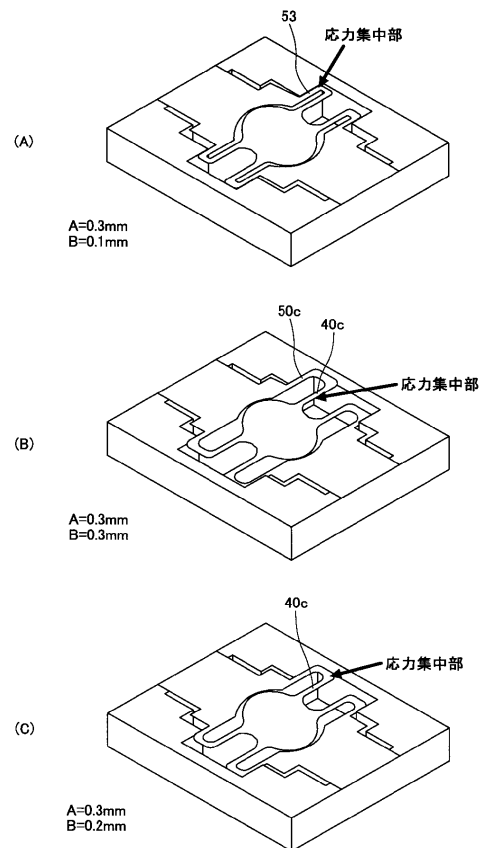
【図26】



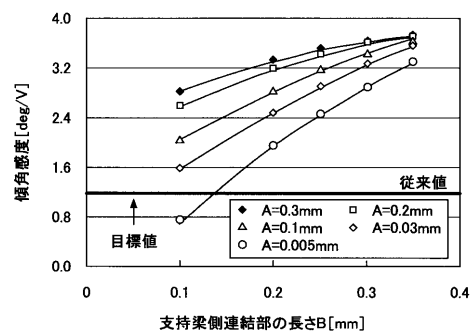
【図27】



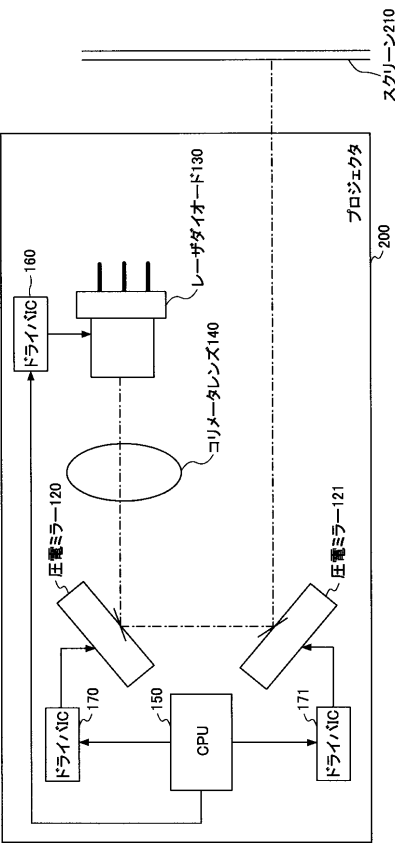
【図28】



【図 29】



【図 30】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2009/028152(WO,A1)  
特開2007-310196(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

H02N	2/00
G02B	26/10
H04N	1/113
B81B	3/00