

(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2015-184592

(P2015-184592A)

(43) 公開日 平成27年10月22日 (2015. 10. 22)

(51) Int. Cl.		F I	テーマコード (参考)
G02B 26/08	(2006.01)	G02B 26/08	E 2H045
G02B 26/10	(2006.01)	G02B 26/10	1O4Z 2H141
B81B 3/00	(2006.01)	B81B 3/00	3C081
H02N 2/00	(2006.01)	H02N 2/00	B

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2014-62708 (P2014-62708)
 (22) 出願日 平成26年3月25日 (2014. 3. 25)

(71) 出願人 000002303
 スタンレー電気株式会社
 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号
 (74) 代理人 110000800
 特許業務法人創成国際特許事務所
 (72) 発明者 小川 昭雄
 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号 ス
 タンレー電気株式会社内
 (72) 発明者 池上 景一
 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号 ス
 タンレー電気株式会社内
 Fターム(参考) 2H045 AB02 AB13 AB62 AB73 AB81
 2H141 MA12 MB24 MC09 MD13 MD20
 MD38 MG04 MG06 MZ18 MZ26
 3C081 AA13 BA28 BA44 BA46 BA47
 BA55 EA08

(54) 【発明の名称】 光偏向器

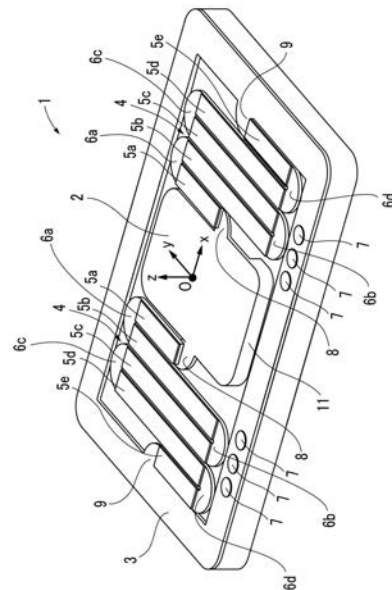
(57) 【要約】

【課題】ミアンダ構造の圧電アクチュエータにより反射部を、その回転軸線として設定した設定回転軸線の回りに往復回転させる光偏向器において、反射部の実際の回転軸線が設定回転軸線からずれることを防止する。

【解決手段】光偏向器1は、反射部2を支持する支持部3と、ミアンダパターン配列で直列に結合している複数の圧電カンチレバー5を有し、反射部2と支持部3との間に介在して、反射部2を反射部2の対称線(x軸)の回りに往復回転させる圧電アクチュエータ4とを備える。反射部2は、反射部2に近い方から1番及び2番の圧電カンチレバー5a, 5bを連結する折返し部6aがある側とは反対側の半部に錘11を有している。

【選択図】 図1

FIG.1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光を反射する反射部と、
前記反射部を支持する支持部と、
ミアンダパターン配列で直列に結合している複数の圧電カンチレバーを有し、前記反射部と前記支持部との間に介在して、前記反射部の回転軸線として設定した前記反射部の対称線の回りに前記反射部を往復回動させる圧電アクチュエータとを備え、

前記反射部は、前記対称線に対して、前記圧電アクチュエータの前記複数の圧電カンチレバーのうち前記反射部に近い方から 1 番の圧電カンチレバーと 2 番の圧電カンチレバーとを連結する折返し部とは反対側にある一方の半部の重量が他方の半部の重量より重くなるように形成されていることを特徴とする光偏向器。

10

【請求項 2】

請求項 1 記載の光偏向器において、
前記一方の半部に錘が付加されているか、又は前記他方の半部に切欠きが形成されていることを特徴とする光偏向器。

【請求項 3】

光を反射する反射部と、
前記反射部を包囲して支持する内枠部と、
前記内枠部を包囲して支持する外枠部と、
前記反射部と内枠部との間に介在して、前記反射部の第 1 回転軸線として設定した前記反射部の第 1 対称線の回りに前記反射部を往復回動させる内側圧電アクチュエータと、

20

ミアンダパターン配列で直列に結合している複数の圧電カンチレバーを有し、前記内枠部と前記外枠部との間に介在して、前記内枠部を所定の対称線の回りに往復回動させることにより、前記反射部を、前記第 1 回転軸線に直交する第 2 回転軸線として設定した前記反射部の第 2 対称線の回りに前記反射部を往復回動させる外側圧電アクチュエータとを備え、

前記内枠部は、前記所定の対称線に対して、前記外側圧電アクチュエータの前記複数の圧電カンチレバーのうち前記内枠部に近い方から 1 番の圧電カンチレバーと 2 番の圧電カンチレバーとを連結する折返し部とは反対側にある一方の半部の重量が他方の半部の重量より重くなるように形成されていることを特徴とする光偏向器。

30

【請求項 4】

請求項 3 記載の光偏向器において、
前記一方の半部に錘が付加されているか、又は前記他方の半部に切欠きが形成されていることを特徴とする光偏向器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) デバイスとして製造される光偏向器に関する。

【背景技術】

40

【0002】

近年、マイクロマシニング技術などを利用して製造される MEMS デバイスの一種として MEMS 光偏向器の開発が各研究機関で盛んに行われている。MEMS デバイスの光偏向器 (以下、「MEMS 光偏向器」という) は、入射光を反射する反射部と、反射部を回転軸線の回りに往復回動させるアクチュエータとを備え、回転軸線の回りの反射部の往復回動により反射光を出射するものである。MEMS 光偏向器は、例えばレーザープロジェクタ、レーザービームプリンタ、レーザーレーダー、バーコードリーダー、エリアセンサなど、種々の光学機器への応用が可能であり、これら光学機器の小型化に寄与するものである。

【0003】

MEMS 光偏向器のアクチュエータとしては、圧電膜の伸縮を利用する圧電アクチュエ

50

ータが一般的である。特に、複数の圧電カンチレバーをミアンダパターン配列で直列に結合した圧電アクチュエータ（以下、「ミアンダ構造アクチュエータ」という）は、大きな駆動力と変位量を得られるので、反射部を共振周波数以外の周波数で駆動する場合に適している（例：特許文献1）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2008-40240号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0005】

MEMS光偏向器では、反射部の円や矩形等の幾何学形状の対称線を回転軸線として設定し、この対称線の回りに反射部が往復回動するように、ミアンダ構造アクチュエータは作動端を変位させる。一方、ミアンダ構造アクチュエータでは、ミアンダパターンにおいて隣り合う圧電カンチレバーが、折返し部により連結されており、作動中は、該折返し部側を節にして、運動する。

【0006】

折返し部は、所定の剛性を有して、隣り合う圧電カンチレバーを連結しているため、隣り合う圧電カンチレバーが折返し部を節にして運動する際に、節側に引き込まれる傾向がある。このため、ミアンダ構造アクチュエータの作動端が設定した位置からずれて、反射部の実際の回転軸線が、回転軸線として設定された対称線からずれるという問題がある。

20

【0007】

図7～図9を参照して、光偏向器において、反射部101の実際の回転軸線が反射部101の対称線（設定された回転軸線）からずれたときの問題点を具体的に説明する。図7～図9において、反射部101は、レーザ光源からの入射光102を反射して、反射光を走査光103として出射する。

【0008】

対称線位置Moは、反射部101の回転軸線として設定される反射部101の対称線の位置を示す。回転軸線位置Roは、反射部101がミアンダ構造型圧電アクチュエータの作用により実際に往復回動する回転軸線の位置を示している。反射部101は、それと正対する方向視で円や矩形等の左右対称及び上下対称の幾何学形状に設定されており、少なくとも1本の対称線を有している。反射部101を往復回動させるに当たっては、反射部101を幾何学形状の対称線の回りに往復回動させることが望ましい。そのため、反射部101がその幾何学形状（例：円や矩形）の対称線の回りに往復回動するように、該対称線が回転軸線として設定される。

30

【0009】

図7～図9において、(a)は対称線位置Moと回転軸線位置Roとが一致した場合の走査光103の進路としての設定進路を示し、(b)は光偏向器において回転軸線位置Roが対称線位置Moに対してずれた場合の走査光103の進路としての、すなわち設定外進路を示している。(b)では、回転軸線位置Roが反射部101の一端になるので、反射部101の回動角範囲Aは、(a)の回動角範囲Aのほぼ2倍となっている。

40

【0010】

レーザ光源からの入射光102は、光偏向器の中心、すなわち対称線位置Moと回転軸線位置Roとが一致しているとき対称線位置Moに向かって入射する。スクリーン104は、設定進路を進んだ走査光103による予定の照射領域Bが生成される向きで配設されている。スクリーン104は、問題点の説明上、入射光102は通過させ、走査光103は通過させずに照射パターンを生成するようになっており、説明の便宜上、想定した仮想スクリーンである。また、光偏向器の中心としての反射部の中心に対して時計方向に角度を定義して、該中心から真っ直ぐ前方の角度を0°と定義する。

【0011】

50

図7は、光偏向器に対する入射光102の入射角度が0°であるときの問題点の説明図である。このとき、スクリーン104の面は、0°で出射する走査光に対して直角に設定される。(a)の設定の照射領域Bに対して、(b)の設定外の照射領域Bは、位置がスクリーン104の面方向にずれている。

【0012】

図8は、光偏向器への入射光102の入射方向が左45°であるときの問題点の説明図である。このとき、スクリーン104の面は、右45°で出射する走査光に対して直角に設定される。(a)の設定の照射領域Bに対して、(b)の設定外の照射領域Bは、拡大し、間延びした像が生成される。

【0013】

図9は、光偏向器への入射光102の入射方向が右45°であるときの問題点の説明図である。このとき、スクリーン104の面は、左45°で出射する走査光に対して直角に設定される。(a)の設定の照射領域Bに対して、(b)の設定外の照射領域Bは、縮小し、像が縮小してしまう。

【0014】

本発明の目的は、ミアンダ構造の圧電アクチュエータにより反射部を往復回動させる場合に、反射部の回転軸線として設定した対称線に対して実際の回転軸線がずれることを防止した光偏向器を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明の光偏向器は、光を反射する反射部と、前記反射部を支持する支持部と、ミアンダパターン配列で直列に結合している複数の圧電カンチレバーを有し、前記反射部と前記支持部との間に介在して、前記反射部の回転軸線として設定した前記反射部の対称線の回りに前記反射部を往復回動させる圧電アクチュエータとを備える。そして、前記反射部は、前記対称線に対して、前記圧電アクチュエータの前記複数の圧電カンチレバーのうち前記反射部に近い方から1番の圧電カンチレバーと2番の圧電カンチレバーとを連結する折返し部とは反対側にある一方の半部の重量が他方の半部の重量より重くなるように形成されている。

【0016】

本発明によれば、反射部は、対称線に対して一方の半部の重量が他方の半部の重量より重くなるように、形成される。ミアンダパターンにおいて隣り合う圧電カンチレバーは、それらを相互に連結する折返し部を節にして、湾曲運動するのに伴って、節の折返し部の方へ引きこまれる傾向がある。また、折返し部が複数存在する場合、圧電アクチュエータの作動端の位置への影響は、作動端に近い折返し部の方ほど強い。反射部に近い方から1番の圧電カンチレバーと2番の圧電カンチレバーとを連結する折返し部とは反対側の一方の半部を他方の半部より重くすることにより、一方の半部は重量増大のために他方の半部より回動し難くなる。この結果、反射部の実際の回転軸線を設定回転軸線からずれることを防止することができる。

【0017】

本発明の光偏向器において、前記一方の半部に錘が付加されているか、又は前記他方の半部に切欠きが形成されていることが好ましい。

【0018】

この構成によれば、反射部において対称線に対して一方の半部の重量を他方の半部の重量より重くする構造を、錘又は切欠きにより円滑に達成することができる。

【0019】

本発明の光偏向器は、光を反射する反射部と、前記反射部を包囲して支持する内枠部と、前記内枠部を包囲して支持する外枠部と、前記反射部と内枠部との間に介在して、前記反射部の第1回転軸線として設定した前記反射部の第1対称線の回りに前記反射部を往復回動させる内側圧電アクチュエータと、ミアンダパターン配列で直列に結合している複数の圧電カンチレバーを有し、前記内枠部と前記外枠部との間に介在して、前記内枠部を所

10

20

30

40

50

定の対称線の回りに往復回動させることにより、前記反射部を、前記第1回転軸線に直交する第2回転軸線として設定した前記反射部の第2対称線の回りに前記反射部を往復回動させる外側圧電アクチュエータとを備える。そして、前記内枠部は、前記所定の対称線に対して、前記外側圧電アクチュエータの前記複数の圧電カンチレバーのうち前記内枠部に近い方から1番の圧電カンチレバーと2番の圧電カンチレバーとを連結する折返し部とは反対側にある一方の半部の重量が他方の半部の重量より重くなるように形成されている。

【0020】

本発明によれば、反射部を、直交する第1及び第2対称線の回りに往復回動させる光偏向器において、内枠部は、所定の対称線に対して一方の半部の重量が他方の半部の重量より重くなるように、形成される。ミアンダパターンにおいて隣り合う圧電カンチレバーは、それらを相互に連結する折返し部を節にして、運動をするのに伴って、節の折返し部の方へ引きこまれる傾向がある。また、折返し部が複数存在する場合、圧電アクチュエータの作動端の位置への影響は、作動端に近い折返し部の方ほど強い。内枠部において、内枠部に近い方から1番の圧電カンチレバーと2番の圧電カンチレバーとを連結する折返し部とは反対側の一方の半部を他方の半部より重くすることにより、一方の半部は重量増大のために他方の半部より回動し難くなる。この結果、反射部の実際の回転軸線を反射部の第2対称線からずれることを防止することができる。

10

【0021】

本発明の光偏向器において、前記一方の半部に錘が付加されているか、又は前記他方の半部に切欠きが形成されていることが好ましい。

20

【0022】

この構成によれば、内枠部において内枠部の所定の回転軸線に対して一方の半部の重量を他方の半部の重量より重くする構造を、錘又は切欠きにより円滑に達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】第1実施形態の光偏向器を斜め前方から示す斜視図。

【図2】図1の光偏向器の中心を通る断面図。

【図3】シミュレーションに適用した光偏向器の構造図を示し、(a)は正面側の斜視図、(b)は背面側の斜視図。

30

【図4】シミュレーション結果を示した図であり、(a)は正面側の斜視図、(b)は背面側の斜視図。

【図5】第2実施形態の光偏向器を斜め前方から示す斜視図。

【図6】図5の光偏向器の中心を通る断面図。

【図7】入射光が0°の方向から入射する場合の説明図であり、(a)は走査光の設定進路を示す図、(b)は走査光の設定外進路を示す図。

【図8】入射光が左45°の方向から入射する場合の説明図であり、(a)は走査光の設定進路を示す図、(b)は走査光の設定外進路を示す図。

【図9】入射光が右45°の方向から入射する場合の説明図であり、(a)は走査光の設定進路を示す図、(b)は走査光の設定外進路を示す図。

40

【発明を実施するための形態】

【0024】

[第1実施形態]

図1は、1軸駆動方式の光偏向器1を斜め前方から示す斜視図である。なお、光偏向器1において、光偏向器1の厚み方向に前側と後ろ側とを定義し、前側とは走査光を出射する側をいい、後ろ側とは前側の反対側をいうものとする。

【0025】

光偏向器1は、矩形の反射部2と、反射部2を包囲する矩形枠3とを、中心点を同一に揃えて、備えている。反射部2は、矩形の中心を通り、長辺に沿って平行な直線が対称線(対称軸)となっている。反射部2は、前面にミラー面を有し、図示していないレーザ光

50

源からのレーザー光を前方から中心に入射され、入射光をミラー面において反射部 2 の法線の向きに応じた反射角で反射して、走査光として出射する。

【0026】

ここで、構造の説明の便宜上、 $x - y - z$ の 3 軸直交座標系を定義する。該 3 軸直交座標系において、原点 o を矩形の反射部 2 の前面のミラー面の中心に置く。 x 軸及び y 軸は静止部としての矩形枠 3 の長辺及び短辺に対してそれぞれ平行な方向にする。 z 軸は、光偏向器 1 の後ろ側から前側に向かう向きを正とする。この場合、 x 軸は、反射部 2 の前述の対称線に一致する。

【0027】

図 1 は、光偏向器 1 の作動停止中の状態を示しており、反射部 2 の前面のミラー面上の中心点の法線は z 軸に一致している。光偏向器 1 は、 $y - z$ 平面に対して、対称な構造となっている。

10

【0028】

この反射部 2 は、前面視 (z 軸方向視) で 2 つの対称線を有している。1 つは、 x 軸に沿って延在する対称線であり、もう 1 つは y 軸に沿って延在する対称線である。反射部 2 は、この例では、矩形であるが、前面視で x 軸に沿って延在する対称線を有すれば、円形や正方形等の他の形状とすることができる。 x 軸に沿って延在する対称線は、反射部 2 の回転軸線として設定される。以下、この設定された回転軸線を「回転軸用対称線」という。

【0029】

20

圧電アクチュエータ 4 は、反射部 2 及び矩形枠 3 との間に介在する。具体的には、矩形枠 3 の内周側でかつ x 軸方向に反射部 2 の両側に配設され、連結部 8, 9 により反射部 2 及び矩形枠 3 に結合している。圧電アクチュエータ 4 において連結部 8, 9 側の端はそれぞれアクチュエータの作動端 (先端) 及び支持端 (基端) として機能する。圧電アクチュエータ 4 は、ミアンダ構造とされる。ここで、ミアンダ構造の圧電アクチュエータとは、複数の圧電カンチレバーがミアンダパターンで配列されて直列に結合している構造を有する圧電アクチュエータをいうものとする。

【0030】

圧電アクチュエータ 4 は、ミアンダ構造の圧電アクチュエータとして、ミアンダパターンで配列されて折返し部 6 a ~ 6 d により直列に連結された 4 つの圧電カンチレバー 5 a ~ 5 e を備えている。圧電カンチレバー 5 a ~ 5 e 及び折返し部 6 a ~ 6 d は、符号末尾のアルファベット順に反射部 2 に近い方からの順番になっている。以下、圧電カンチレバー 5 a ~ 5 e 及び折返し部 6 a ~ 6 d を総称するときは、それぞれ単に「圧電カンチレバー 5」及び「折返し部 6」という。

30

【0031】

圧電カンチレバー 5 は、圧電膜層と、該圧電膜層を厚み方向の両側から挟む 2 つの電極層とを有する。電極パッド 7 は、矩形枠 3 の前面に配備され、折返し部 6 の電極層に図示しない配線を介して接続されている。

【0032】

反射部 2 は、後面 (裏面) 側において錘 11 を有している。錘 11 は、矩形の反射部 2 において y 軸方向の負側の短辺に沿って直線の突条として形成されている。

40

【0033】

図 2 は、図 1 の光偏向器 1 の $y - z$ 平面に沿った断面図である。光偏向器 1 は、MEMS デバイスとして、マイクロマシニング技術を利用して製造される。光偏向器 1 は、下側から順番に、Al (アルミニウム) 薄膜 15、珪素 (Si) 層 16、中間酸化膜層 17、珪素層 18 及び表面酸化膜層 19 の積層構造をもつ。なお、中間酸化膜層 17 及び表面酸化膜層 19 の酸化膜は SiO_2 となっている。珪素層 16、中間酸化膜層 17 及び珪素層 18 は SOI (Silicon on Insulator) ウエハを構成し、Al 薄膜 15 は、SOI ウエハの裏面側に蒸着により形成され、表面酸化膜層 19 は、珪素層 18 の表面を酸化することにより形成される。

50

【0034】

ミラー面23は、金属蒸着法等により例えばAl等の金属を珪素層18の表面に形成される。錘11は、反射部2の本体部分（裏側において錘11が形成されていない部分）の後面を形成するために、光偏向器1の裏側からAl薄膜15、珪素層16及び表面酸化膜層19をエッチングで除去した後、積層により作成する。又は、錘11の相当部位において、珪素層18を完全除去とすることなく、除去量を調整することにより、形成することができる。錘11の厚みは、例えば数ミクロン程度となっている。

【0035】

錘11の別の形成の仕方としては、反射部2の裏面側全体を珪素層18の面が露出するまで、エッチングし、次に、例えば、Al、Au、Mo、Ni、Ti又はPtの層を錘11の部位に積層するようにしてもよい。その場合、錘11は、1層でもよいし、複数材料から成る積層構造でもよく、例えばリフトオフ法により形成する。

10

【0036】

錘11の作用を除く光偏向器1の一般的作用について説明する。反射部2は、x軸方向に両側の圧電アクチュエータ4に回転軸用対称線（x軸）の回りに駆動周波数Faで往復回動させられる。なお、光偏向器1は、1軸駆動方式であるので、反射部2の回転軸用対称線は、反射部2の向きに関係なく、x軸上にある。

【0037】

一方、反射部2には、図示していないレーザ光源からレーザ光が反射部2の中心（原点oの位置）に入射する。入射光は、x軸の回りの反射部2の回動角に応じた反射角で反射部2において反射して、光偏向器1から出射する。こうして、反射部2の反射光は、y-z平面内において出射方向が変化する走査光として光偏向器1から出射される。

20

【0038】

圧電アクチュエータ4の作用について、詳細に説明する。説明の便宜上、圧電アクチュエータ4の圧電カンチレバー5及び折返し部6に、反射部2に近い方から順番に番号を付ける。圧電カンチレバー5a~5eはそれぞれ1番~5番の圧電カンチレバー5となり、折返し部6a~6dはそれぞれ1番~4番の折返し部6となる。

【0039】

各圧電カンチレバー5の圧電膜には、同一の駆動周波数Faで増減する駆動電圧が電極パッド7を介して供給される。ただし、該駆動電圧の位相は、奇数番の圧電カンチレバー5と偶数番の圧電カンチレバー5とでは、相互に逆位相となる。

30

【0040】

各圧電カンチレバー5の圧電膜は、それに印加された駆動電圧及び駆動周波数Faに応じて、圧電カンチレバー5の長手方向に伸縮し、これに伴い、各圧電カンチレバー5は、厚み方向に湾曲変形し、連結部8を作動端として反射部2に、x軸の回りの回転駆動力を駆動周波数Faで付与する。これにより、反射部2は、駆動周波数Faでx軸の回りに往復回動する。

【0041】

なお、ミアンダパターン配列の両端の圧電カンチレバー5a, 5eの長さは、中間の圧電カンチレバー5b~5dの長さの半分になっている。したがって、圧電膜への駆動電圧印加時では、圧電カンチレバー5a, 5eの変形量は、圧電カンチレバー5b~5dの変形量の約半分になる。

40

【0042】

光偏向器1における錘11の作用効果を調べるシミュレーションを行った。該シミュレーションについて図3及び図4を参照して説明する。

【0043】

図3において、x-y-zの3軸直交座標系は、図1のx-y-zの3軸直交座標系に対応している。

【0044】

光偏向器31は、z軸方向変位量の計算のシミュレーションのために、光偏向器1の構

50

造を単純化した構造で図示している。(a)は光偏向器31の斜め前方(表側)から光偏向器31を見た斜視図、(b)は斜め後方(裏側)から光偏向器31を見た斜視図である。

【0045】

光偏向器31において、反射部32及び錘39は、光偏向器1の反射部2及び錘11に相当する。反射部32は、剛性を強化するために、裏面側において裏当て40を有する。裏当て40は、裏面視でx軸及びy軸の両方に対して対称な形状であり、反射部32の裏面に一様な厚みで形成されている。

【0046】

圧電アクチュエータ33は、光偏向器1の圧電アクチュエータ4に相当する。なお、圧電アクチュエータ4では、圧電カンチレバー5は5つ存在するが、圧電アクチュエータ33では、圧電カンチレバー34は4つとなっている。反射部の必要とされる振れ角が大きいほど、圧電アクチュエータの作用力を増大する必要があるため、圧電カンチレバーの個数は、反射部の必要とされる振れ角に合わせて、調整される。ミアンダパターン配列の両端の圧電カンチレバー34a, 34dは、長さが中間の圧電カンチレバー34b, 34cの長さの半分となっている。取付け部35は、反射部32の支持部として光偏向器1の矩形枠3に相当する。

10

【0047】

図4は、光偏向器31のz軸方向変位量の計算のシミュレーション結果を示している。色の濃い部位ほどz軸方向の変位量が大きく、色の薄い部位ほどz軸方向の変位量が小さい。白色の領域は、シミュレーション結果においてz軸方向に変位しなかったこと、すなわち反射部32の回転軸線を示している。

20

【0048】

図4では、z軸方向の変位量が0になる部位は、x軸上になっており、錘39付きの反射部32の回転軸線がx軸(反射部32の回転軸用対称線)になったことを意味する。したがって、光偏向器1においても、反射部2への錘11の付加により、反射部2の実際の回転軸線が反射部2のx軸(反射部2の回転軸用対称線)に矯正される。

【0049】

z軸方向変位量の計算のシミュレーションの具体的内容について説明する。

【0050】

当該シミュレーションは、MEMS構造のモード解析をFEM(有限要素法)により行った。モード解析とは、各固有の共振点における動作(変移)を計算するものである。シミュレーションを行うにあたっての設定条件は、(a)錘の形状(幅、長さ及び厚み)、(b)錘の数、(c)錘の重さ(又は密度)、及び(d)錘の設置場所である。シミュレーションソフトとして、Open-Engineering社製の「Oofelie(登録商標)」を使用した。

30

【0051】

錘を付ける際の指針として次の(a)~(c)をシミュレーションソフトに設定した。(a)設置する錘39の重心は、y軸上において反射部32の最も負側に位置(仮定位置)に設定する。ここで、y軸は、回転軸線に対して直交しかつ光偏向器31の構造の対称線として選択されている。(b)錘39の形状、数及び重さは限定しない。また、錘39の重心はy軸上に設定するものの、錘39の具体的な設置場所は限定しない。例えば、錘39を複数部分に分割し、複数部分を集めた全体の重心がy軸上に設定されればよい。

40

【0052】

もし、上記(a)及び(b)の指針によるシミュレーションでx軸(反射部32の回転軸用対称線)が実際の回転軸線になったことが判明したら、仮定位置を錘39の重心の位置とする。もし、シミュレーションで判明した実際の回転軸線がx軸よりy軸方向に正側にあれば、錘39の重量を、所定量増大させる。もし、シミュレーションで判明した実際の回転軸線がx軸よりy軸方向に負側にあれば、錘39の重心位置をy軸方向に正側に所定量変位させる。この処理を、シミュレーションでx軸が実際の回転軸線になるまで、繰

50

り返す。

【 0 0 5 3 】

[第 2 実施形態]

図 5 は、2 軸駆動方式の光偏向器 5 1 を斜め前方から示す斜視図である。光偏向器 5 1 は、中心を一致させて反射部 5 2、内枠部 5 5 及び外枠部 6 0 を有している。外枠部 6 0 は内枠部 5 5 を包囲し、内枠部 5 5 は反射部 5 2 を包囲している。

【 0 0 5 4 】

光偏向器 5 1 についても、光偏向器 1 (図 1) のときと同様に、説明の便宜上、 $x - y - z$ 直交座標系を定義する。該直交座標系の原点 o は、反射部 5 2 の前面のミラー面の中心に置き、 x 軸及び y 軸は静止部としての外枠部 6 0 の長辺及び短辺に対してそれぞれ平行な方向とする。

10

【 0 0 5 5 】

反射部 5 2 は、前面にミラー面を有し、前方から光、例えばレーザ光を中心に入射され、入射光をミラー面の法線の向きに応じた反射角で反射して、走査光として出射する。

【 0 0 5 6 】

光偏向器 5 1 は、 $y - z$ 平面に対して、対称な構造となっている。この反射部 5 2 は、円形であり、原点 o を通る直線はすべて反射部 5 2 の対称線となる。以下、反射部 5 2 の法線が z 軸に一致したときに y 軸に一致する対称線を「第 1 対称線」と名付け、 x 軸に一致する対称線を「第 2 対称線」と名付ける。第 1 対称線及び第 2 対称線は、反射部 5 2 の直交する第 1 及び第 2 回転軸線として設定される。

20

【 0 0 5 7 】

なお、光偏向器 5 1 の作動時、反射部 5 2 の第 2 対称線は、 x 軸上に留まることなく、 $x - z$ 平面内において y 軸の回りに往復回動する。また、光偏向器 5 1 の作動時、反射部 5 2 の第 1 対称線は、 y 軸上に留まることなく、 y 軸の回りに往復回動する。反射部 5 2 は、この例では、円形であるが、直交する対称線が 2 本以上確保される形状であれば、正方形や正六角形等のその他の形状とすることができる。

【 0 0 5 8 】

トーションバー 5 4 は、 y 軸方向に反射部 5 2 の両側に配設され、 y 軸に沿って延在し、両端において反射部 5 2 と内枠部 5 5 と結合している。トーションバー 5 4 の軸線は、反射部 5 2 の対称線の 1 つに一致している。

30

【 0 0 5 9 】

内側圧電アクチュエータ 5 3 は、所定幅の半円環形状であり、反射部 5 2 を x 軸方向の両側でかつ内枠部 5 5 の内周側に配設され、半円環形状の両端において各トーションバー 5 4 の中間部に結合している。連結部 5 6 は、 x 軸に沿って延在し、内側圧電アクチュエータ 5 3 の半円環形状の中央部と内枠部 5 5 の内周とを連結している。

【 0 0 6 0 】

外側圧電アクチュエータ 6 1 は、外枠部 6 0 の内周側でかつ x 軸方向に内枠部 5 5 の両側に配設され、 x 軸上に配設された連結部 6 6、6 7 により内枠部 5 5 及び外枠部 6 0 に結合している。外側圧電アクチュエータ 6 1 は、ミアンダ構造とされ、ミアンダパターンで配列されて折返し部 6 3 a ~ 6 3 d により直列に連結された 5 つの圧電カンチレバー 6 2 a ~ 6 2 e を備えている。圧電カンチレバー 6 2 a ~ 6 2 e 及び折返し部 6 3 a ~ 6 3 d は、符号末尾のアルファベット順に反射部 2 に近い方からの順番になっている。以下、圧電カンチレバー 6 2 a ~ 6 2 e 及び折返し部 6 3 a ~ 6 3 d を総称するときは、それぞれ単に「圧電カンチレバー 6 2」及び「折返し部 6 3」という。

40

【 0 0 6 1 】

圧電カンチレバー 6 2 は、圧電膜層と、該圧電膜層を厚み方向両側から挟む 2 つの電極層とを有する。電極パッド 7 0 は、外枠部 6 0 の前面に配備され、内側圧電アクチュエータ 5 3 及び圧電カンチレバー 6 2 の電極層に図示しない配線を介して接続されている。

【 0 0 6 2 】

反射部 5 2 は、後面 (裏面) 側において錘 7 4 を有している。錘 7 4 は、円形の反射部

50

5 2 において y 軸方向の負側の端部において背面視が例えば弓形に形成されている。弓形の円弧は、背面視で反射部 5 2 の円弧に一致し、弓形の弦は、背面視で x 軸に平行となっている。

【 0 0 6 3 】

別の観点で内枠部 5 5 における錘 7 4 の位置を説明する。内枠部 5 5 は、x 軸に一致する対称線としての第 2 対称線を有し、第 2 対称線に対して y 軸方向の正側の半部と負側の半部に区分される。錘 7 4 は、内枠部 5 5 の負側の半部の裏面に形成されている。

【 0 0 6 4 】

外側圧電アクチュエータ 6 1 の圧電カンチレバー 6 2 及び折返し部 6 3 に、内枠部 5 5 に近い方から順番に番号を付ける。圧電カンチレバー 6 2 a ~ 6 2 e はそれぞれ 1 番 ~ 5 番の圧電カンチレバーとなり、折返し部 6 3 a ~ 6 3 d はそれぞれ 1 番 ~ 4 番の折返し部となる。錘 7 4 が形成される、内枠部 5 5 の y 軸方向の負側の半部は、内枠部 5 5 の回転軸線として設定された対称線 (x 軸一致する) に対して 1 番の折返し部 6 3 a が配設されている側とは反対側となる。

【 0 0 6 5 】

錘 7 4 の形状は、反射部 5 2 の形状に合わせて設定される。錘 7 4 の重量が同一であっても、錘 7 4 の重心位置が y 軸方向に原点 o から負側に遠い位置になるほど、反射部 5 2 の実際の回転軸線を y 軸方向に負側に移動させる効果は高まる。一方、反射部 5 2 の軽量化上は、錘 7 4 の重量が小さいほど、有利となる。したがって、錘 7 4 を許容厚みを超えない程度の一様厚みで、反射部 5 2 の y 軸方向の負側の端に寄せることが望まれる。内枠部 5 5 の外周縁が矩形であるときは、光偏向器 1 (図 1) の反射部 2 の錘 1 1 のときと同様に、錘 7 4 は、y 軸方向の負側の内枠部 5 5 の辺に沿って形成された直線の突条の形状にされることが好ましい。

【 0 0 6 6 】

なお、錘 7 4 の形状は、y - z 平面に対して対称であり、かつ許容値内の隆起量の形状であれば、その他の形状であってもよい。錘 7 4 の個数は、それらを合わせた重心位置が y 軸上にあれば、2 以上であってもよい。

【 0 0 6 7 】

図 6 は、光偏向器 5 1 を y - z 平面に沿って切ったときの断面図である。光偏向器 5 1 も、光偏向器 1 と同様に、MEMS デバイスとして、マイクロマシニング技術を利用して製造される。光偏向器 5 1 の積層構造は、光偏向器 1 の積層構造 (図 2) と同一であり、光偏向器 1 の層と同一の層は、光偏向器 1 の層に付けた符号を付けて、示す。

【 0 0 6 8 】

y - z 平面に沿った光偏向器 5 1 の断面図では、反射部 5 2、トーションバー 5 4 及び内枠部 5 5 の断面が連続する。ミラー面 7 7 は、光偏向器 1 のミラー面 2 3 (図 3) と同様の製法及び材料によって反射部 5 2 の前面 (表面) に形成される。

【 0 0 6 9 】

光偏向器 5 1 の作用について説明する。最初に光偏向器 5 1 の全体の作用を概略的に説明してから、内枠部 5 5、外側圧電アクチュエータ 6 1 及び錘 7 4 の個々の作用 (効果を含む) について説明する。

【 0 0 7 0 】

光偏向器 5 1 は、2 軸駆動方式の光偏向器であり、反射部 5 2 は、内側圧電アクチュエータ 5 3 及び外側圧電アクチュエータ 6 1 に駆動されてそれぞれ第 1 対称線及び第 2 対称線の回りに共振周波数 F_r (例 : 18 kHz) 及び非共振周波数 F_s (例 : 60 Hz) で往復回転する。

【 0 0 7 1 】

共振周波数 F_r は、反射部 5 2 の第 1 回転軸線として設定される反射部 5 2 の第 1 対称線の回りに共振振動で往復回転する時の周波数である。非共振周波数 F_s は、共振周波数 F_r とは別の周波数であるとともに、反射部 5 2 の第 2 回転軸線として設定される反射部 5 2 の第 2 対称線の回りに共振振動しないで往復回転する時の周波数である。第 1 対称線

10

20

30

40

50

及び第 1 対称線は、

非共振周波数 $F_s < 共振周波数 F_r$ の関係がある。

【 0 0 7 2 】

一方、反射部 5 2 には、図示していないレーザ光源からレーザ光が反射部 5 2 の中心（原点 o の位置）に入射する。反射部 5 2 は、その法線の向きに応じた方向にレーザ光を反射して、出射する。反射部 5 2 の法線の向きは、第 1 対称線の回りの反射部 5 2 の回動角と、第 2 対称線の回りの反射部 5 2 の回動角とに対応する。こうして、反射部 5 2 の反射光は、第 1 対称線の回りには共振周波数 F_r の走査周波数であり、また、第 2 対称線の回りには非共振周波数 F_s の走査周波数である走査光として、光偏向器 5 1 から出射される。

10

【 0 0 7 3 】

ミアンダ構造アクチュエータである外側圧電アクチュエータ 6 1 の作用は、同様にミアンダ構造アクチュエータである圧電アクチュエータ 4（図 1）の作用と概ね同一である。しかしながら、圧電アクチュエータ 4 は、1 軸駆動方式の光偏向器 1 に装備されているために、反射部 2 を直接、対称線の回りに往復回動させている。これに対し、外側圧電アクチュエータ 6 1 は、2 軸駆動方式の光偏向器 5 1 に装備されているために、内枠部 5 5 を内枠部 5 5 の所定の対称線（ x 軸）の回りに非共振周波数 F_s で往復回動させることにより、内枠部 5 5 を介して反射部 5 2 を第 2 対称線の回りに非共振周波数 F_s で往復回動させる。

20

【 0 0 7 4 】

錘 7 4 は、光偏向器 1 の錘 1 1 と同様に、シミュレーション計算により、ミアンダ構造の外側圧電アクチュエータ 6 1 の駆動力による反射部 5 2 の往復回動の実際の回転軸線が、第 2 対称線に矯正される位置及び重さで、内枠部 5 5 の裏面に形成される。すなわち、錘 7 4 によって、内枠部 5 5 は、 y 軸方向に負側の半部の重量が正側の半部の重量より重くなる重量不均衡が生じる。内枠部 5 5 の実際の回転軸線は、錘 7 4 による重量不均衡がなければ、内枠部 5 5 の回転軸線として設定した対称線（ x 軸）からずれるが、この重量不均衡により対称線（ x 軸）に戻される。この結果、反射部 5 2 の実際の第 2 回転軸線が第 2 対称線からずれることが防止される。

【 0 0 7 5 】

本発明の実施形態について説明した。実施形態の光偏向器 1, 5 1 は、例えば、レーザプロジェクタ、レーザビームプリンタ、レーザレーダー、バーコードリーダー、エリアセンサなどに使用される。

30

【 0 0 7 6 】

実施形態の光偏向器 1（図 1）では、反射部 2 の対称線（ x 軸）に対して一方の半部に錘 1 1 を形成して、反射部 2 の一方の半部を他方の半部の重量より重くしている。この変形例として、錘 1 1 に代えて、他方の半部に所定の切欠きを形成して、他方の半部を軽量化することにより、反射部 2 の一方の半部を他方の半部の重量より重くしてもよい。

【 0 0 7 7 】

同様に、実施形態の光偏向器 5 1（図 5）では、内枠部 5 5 の所定の対称線（ x 軸）に対して一方の半部に錘 7 4 を形成して、一方の半部を重量化することにより、内枠部 5 5 の一方の半部を他方の半部の重量より重くしている。この変形例として、錘 7 4 に代えて、他方の半部に所定の切欠きを形成して、他方の半部を軽量化することにより、内枠部 5 5 の一方の半部を他方の半部の重量より重くすることもできる。

40

【 0 0 7 8 】

実施形態の光偏向器 1 では、圧電アクチュエータ 4 の作動端としての連結部 8 が反射部 2 の対称線上（ x 軸上）に存在するが、圧電カンチレバー 5 a の長さを圧電カンチレバー 5 b と等しい長さにして、圧電アクチュエータ 4 の作動端を y 軸方向に反射部 2 の負側の端部にすることもできる。

【 0 0 7 9 】

50

同様に、実施形態の光偏向器 5 1 では、外側圧電アクチュエータ 6 1 の作動端としての連結部 6 6 が内枠部 5 5 の対称線上 (x 軸上) に存在するが、圧電カンチレバー 6 2 a の長さを圧電カンチレバー 6 2 b と等しい長さにして、外側圧電アクチュエータ 6 1 の作動端を y 軸方向に内枠部 5 5 の負側の端部にすることもできる。

【 0 0 8 0 】

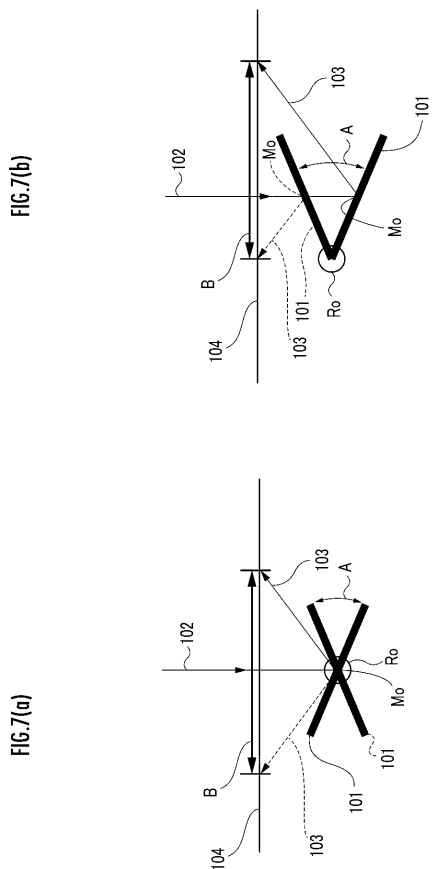
実施形態の光偏向器 1 では、支持部としての矩形棒 3 は、反射部 2 を包囲して、反射部 2 を支持しているが、本発明の支持部は、反射部 2 を包囲する構造ではなく、反射部 2 をその一方の側のみから支持する構造であってもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 1 】

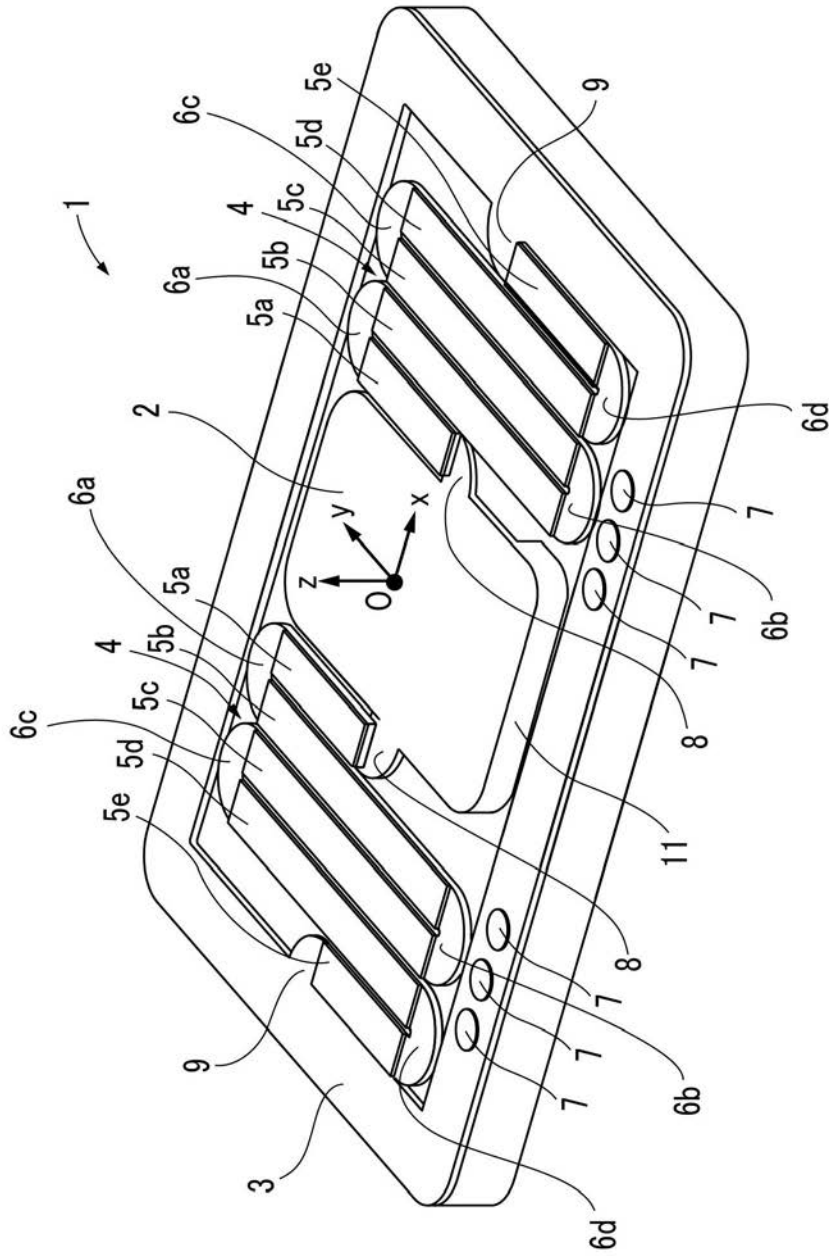
1 , 5 1 . . . 光偏向器、 2 , 5 2 . . . 反射部、 3 . . . 矩形棒 (支持部)、 4 . . . 圧電アクチュエータ、 5 , 6 2 . . . 圧電カンチレバー、 6 , 6 3 . . . 折返し部、 1 1 , 7 4 . . . 錘、 5 3 . . . 内側圧電アクチュエータ、 5 5 . . . 内枠部、 6 0 . . . 外枠部、 6 1 . . . 外側圧電アクチュエータ。

【 図 7 】



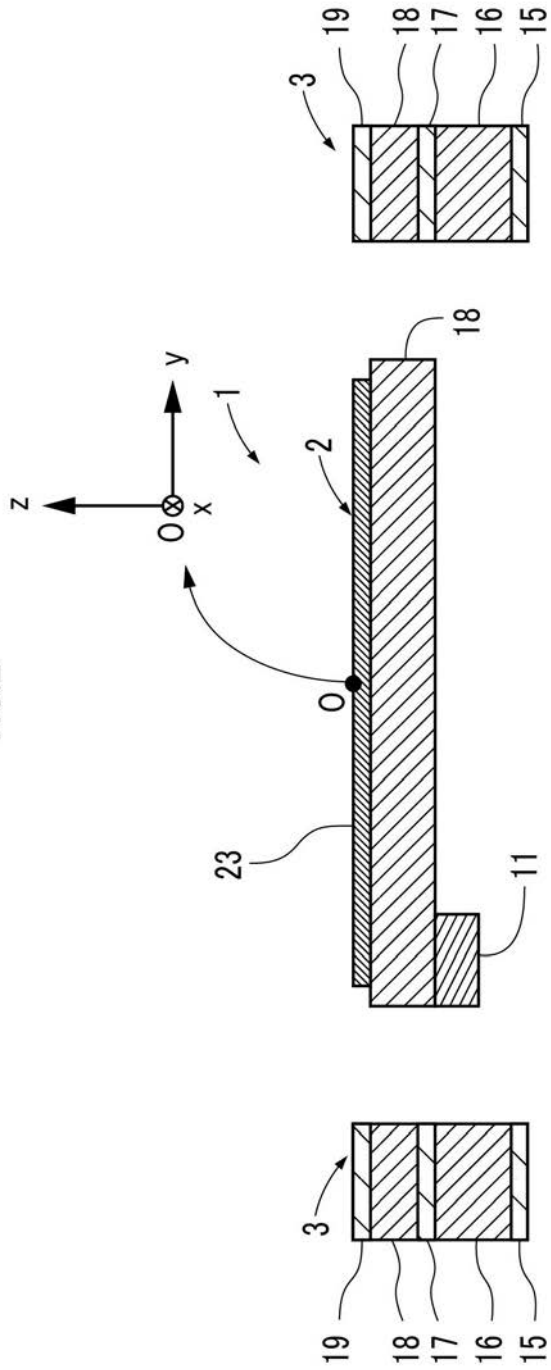
【 図 1 】

FIG.1



【 図 2 】

FIG.2



【 図 3 】

FIG.3(b)

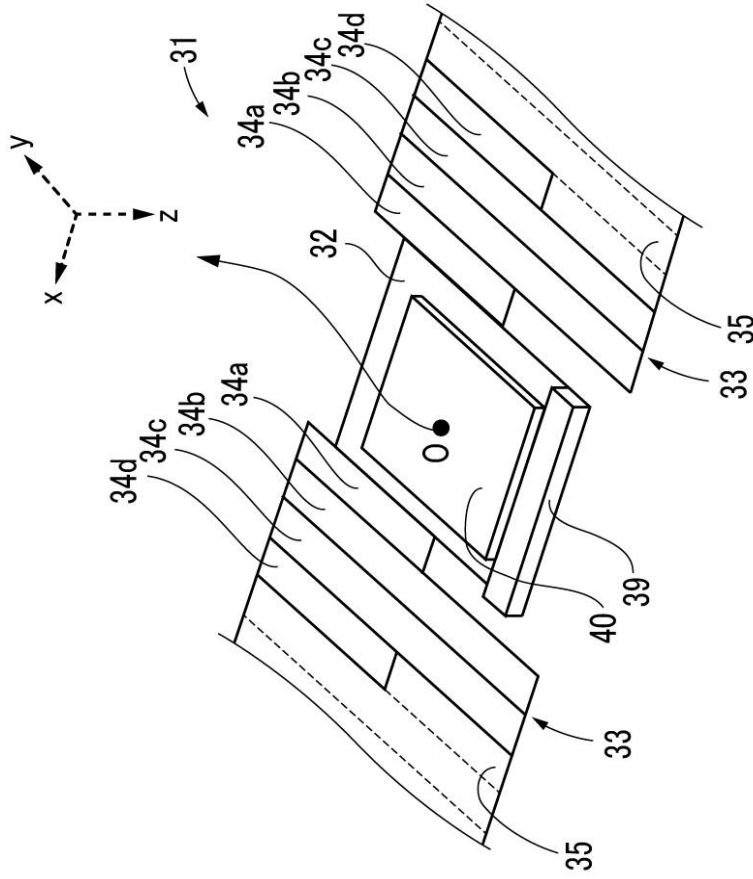
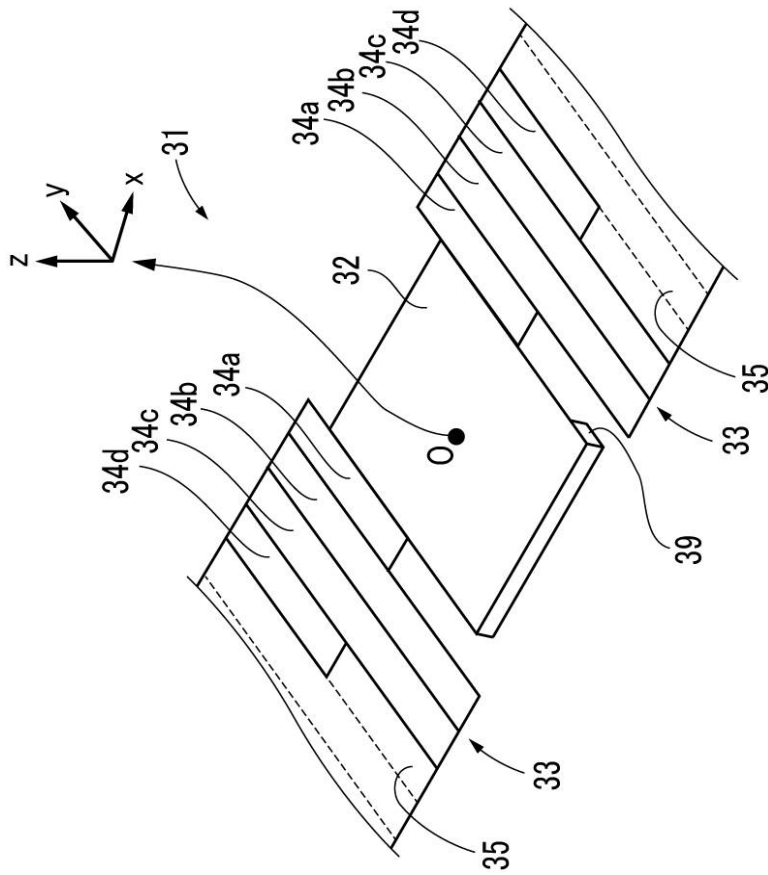


FIG.3(a)



【 図 4 】

FIG.4(b)

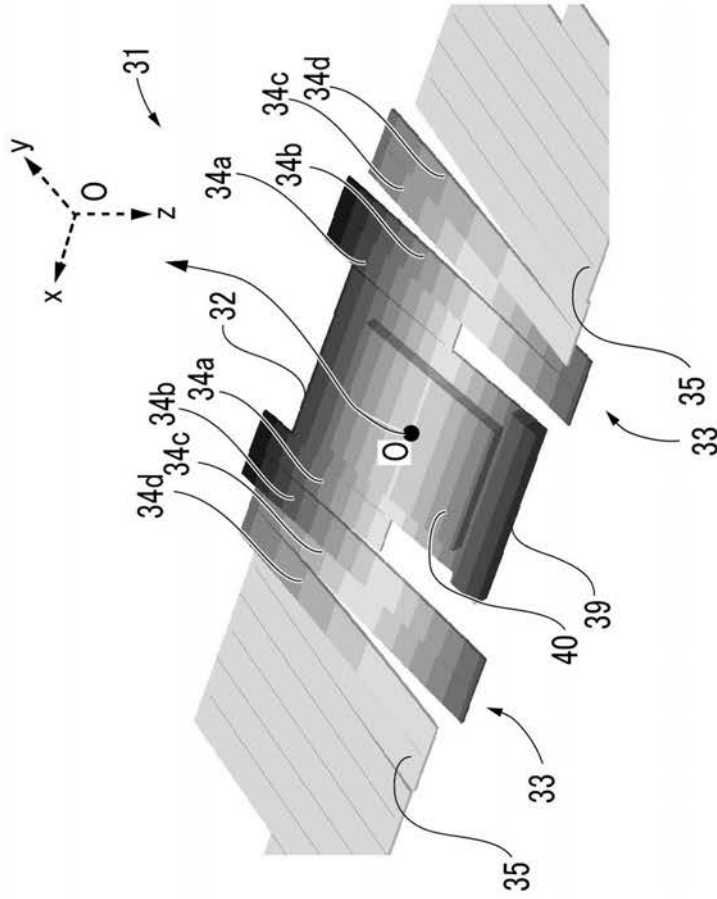
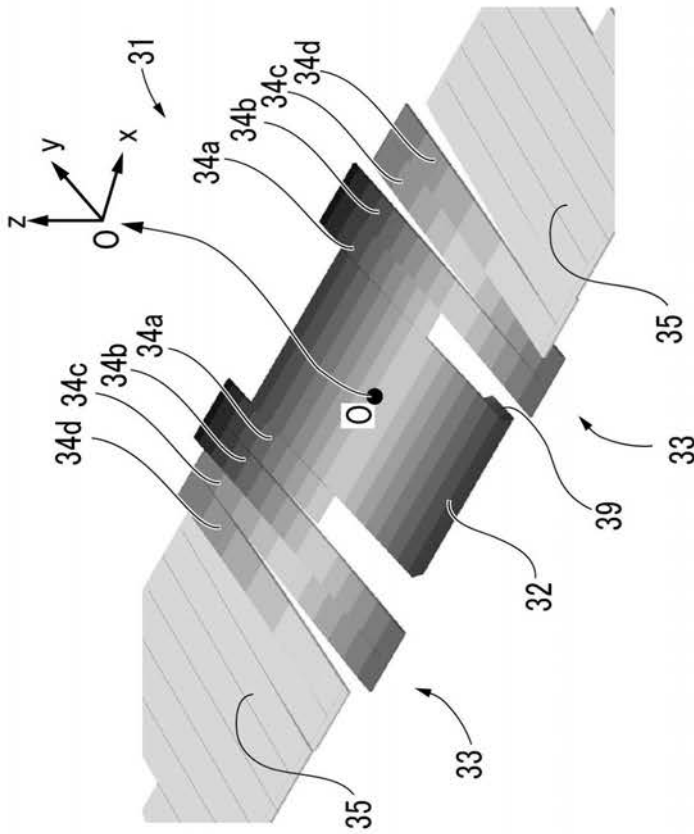
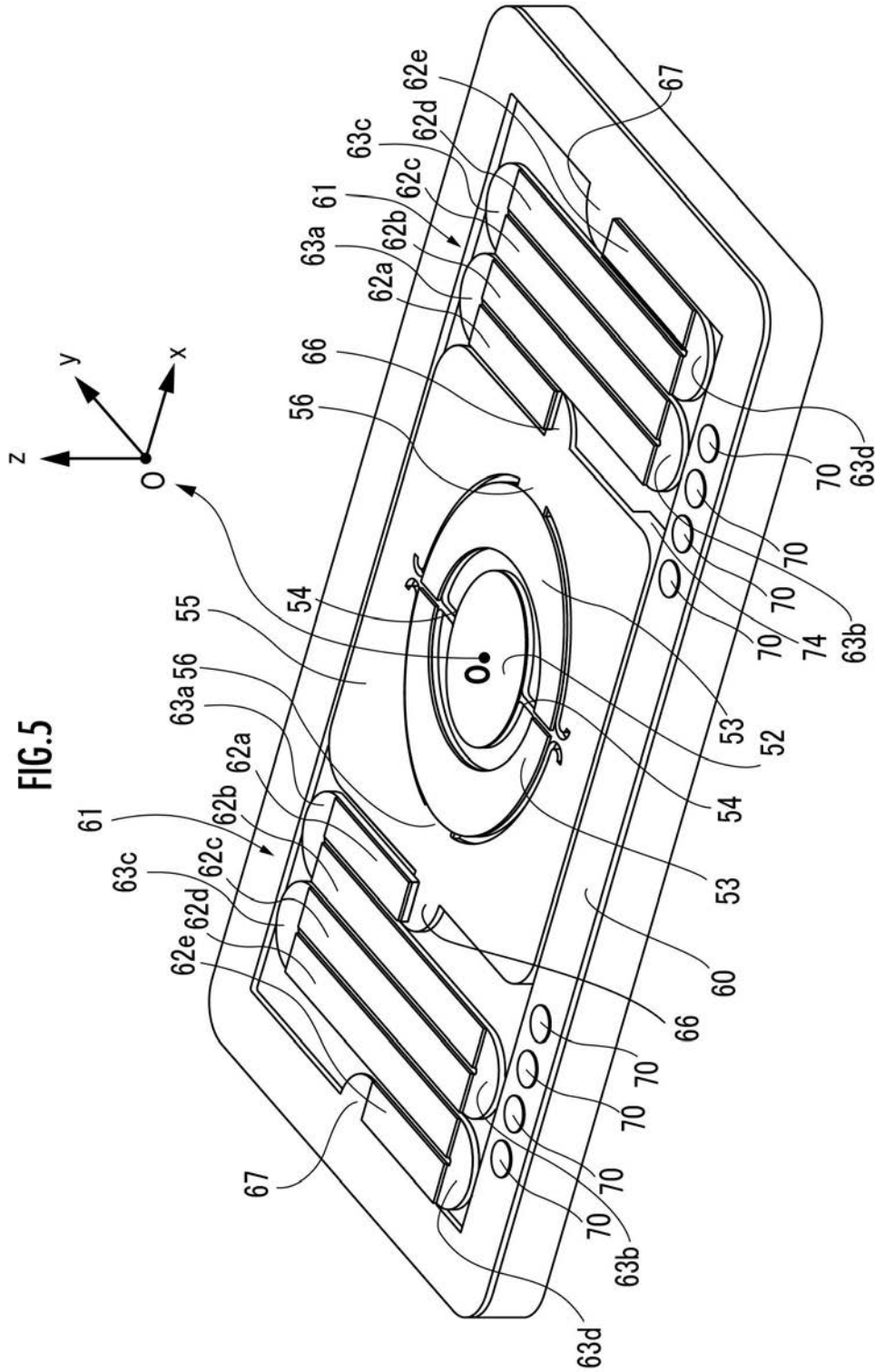


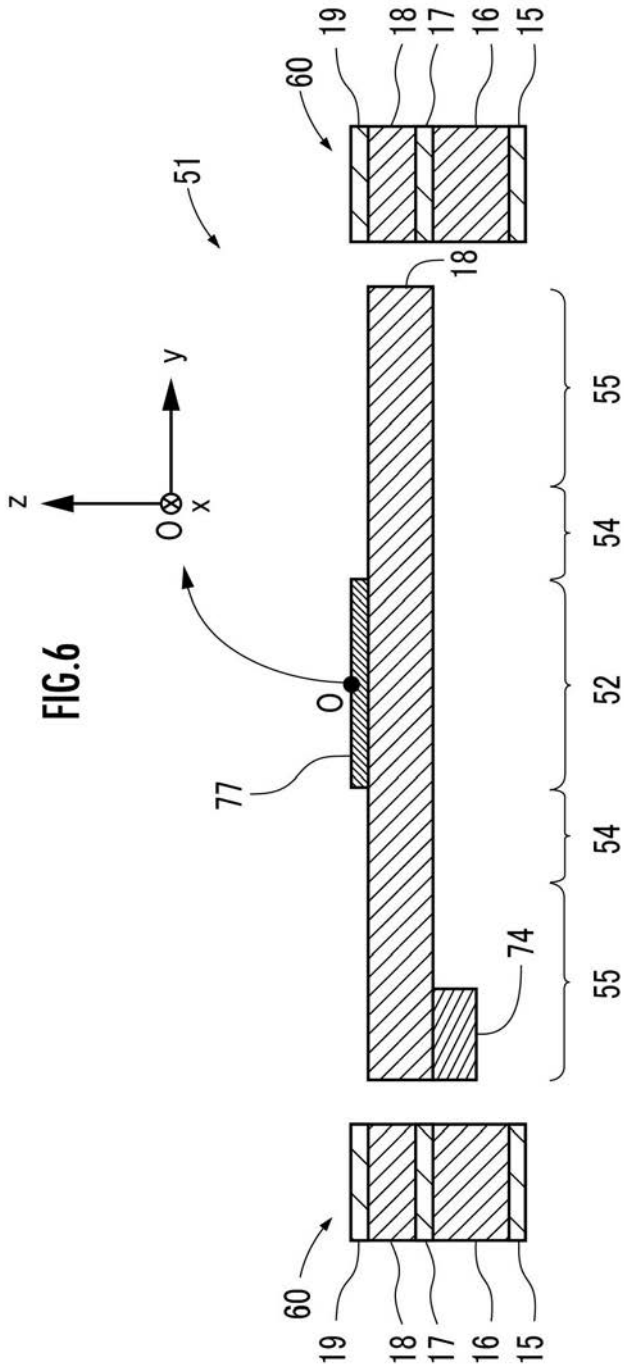
FIG.4(a)



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 8 】

FIG.8(b)

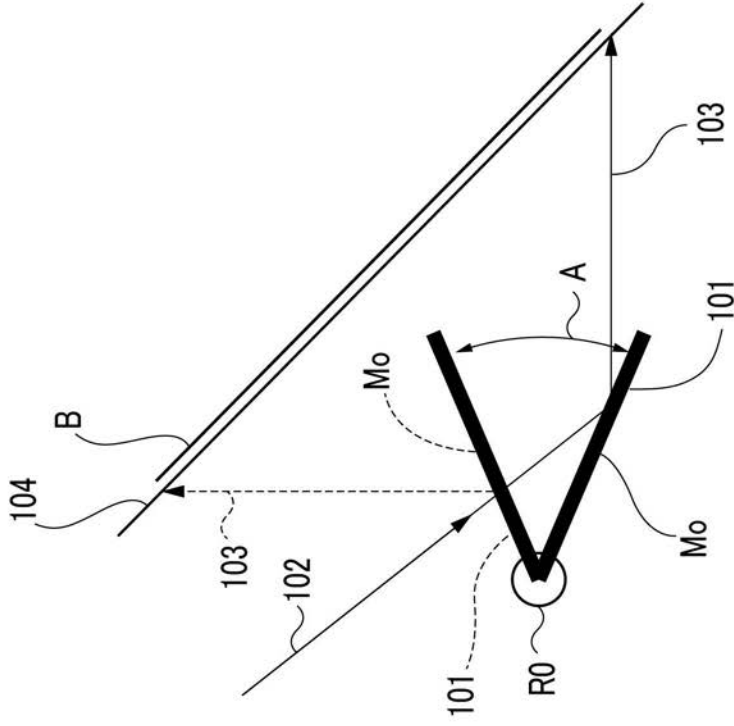
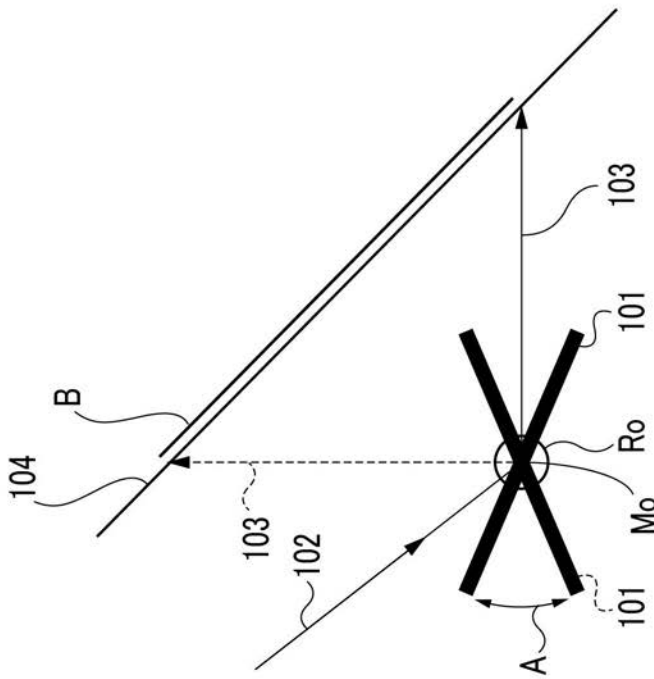


FIG.8(a)



【 図 9 】

FIG.9(a)

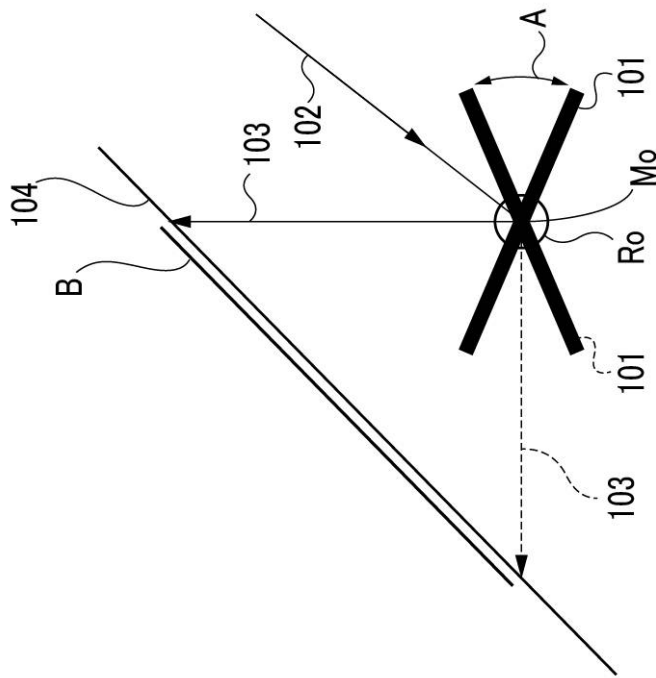


FIG.9(b)

