

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5842356号
(P5842356)

(45) 発行日 平成28年1月13日 (2016. 1. 13)

(24) 登録日 平成27年11月27日 (2015. 11. 27)

(51) Int. Cl.

F I

G O 2 B 26/10 (2006. 01)

G O 2 B 26/10 1 O 4 Z

G O 2 B 26/08 (2006. 01)

G O 2 B 26/08 E

B 8 1 B 3/00 (2006. 01)

B 8 1 B 3/00

請求項の数 10 (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2011-66803 (P2011-66803)
 (22) 出願日 平成23年3月24日 (2011. 3. 24)
 (65) 公開番号 特開2012-203149 (P2012-203149A)
 (43) 公開日 平成24年10月22日 (2012. 10. 22)
 審査請求日 平成26年3月20日 (2014. 3. 20)

(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 日野 真希子
 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
 (72) 発明者 溝口 安志
 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 右田 昌士

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アクチュエーター、光スキャナーおよび画像形成装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

所定の回動中心軸まわりに回動可能な板状の可動部と、
 前記可動部に連結し、かつ前記可動部の回動に伴って捩り変形する連結部と、
 前記連結部を支持する支持部と、を有し、
 前記可動部は光反射性を有する光反射部を備え、
 前記可動部および前記光反射部は、それぞれ、前記可動部の板厚方向からの平面視にて
 十字状をなすことを特徴とするアクチュエーター。

【請求項 2】

前記可動部の前記板厚方向からの平面視における外形は、前記回動中心軸に平行な線分
 と、前記回動中心軸に対して垂直な線分とを含む請求項 1 に記載のアクチュエーター。

【請求項 3】

前記可動部の板面は、シリコンの (1 0 0) 面で構成されている請求項 1 または 2 に記
 載のアクチュエーター。

【請求項 4】

前記可動部の側面は、シリコンの (1 1 1) 面を含む請求項 1 ないし 3 のいずれかに記
 載のアクチュエーター。

【請求項 5】

前記可動部の側面には、前記可動部の板面に直交する断面において V 字状をなす溝が形
 成されている請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載のアクチュエーター。

10

20

【請求項 6】

前記連結部の表面は、シリコンの(100)面および(111)面で構成されている請求項1ないし5のいずれかに記載のアクチュエーター。

【請求項 7】

前記可動部は、前記板厚方向からの平面視にて前記可動部の前記回動中心軸に対して対称な形状をなしている請求項1ないし6のいずれかに記載のアクチュエーター。

【請求項 8】

前記可動部は、前記板厚方向からの平面視にて前記可動部の中心を通りかつ前記可動部の前記回動中心軸に対して垂直な線分に対して対称な形状をなしている請求項1ないし7のいずれかに記載のアクチュエーター。

10

【請求項 9】

光反射性を有する光反射部と、
前記光反射部を備え、かつ所定の回動中心軸まわりに回動可能な板状の可動部と、
前記可動部に連結し、かつ前記可動部の回動に伴って捩り変形する連結部と、
前記連結部を支持する支持部と、を有し、
前記可動部および前記光反射部は、それぞれ、前記可動部の板厚方向からの平面視にて十字状をなすことを特徴とする光スキャナー。

【請求項 10】

光を出射する光源と、
前記光源からの光を走査する光スキャナーと、を備え、
前記光スキャナーは、
光反射性を有する光反射部と、
前記光反射部を備え、かつ所定の回動中心軸まわりに回動可能な板状の可動部と、
前記可動部に連結し、かつ前記可動部の回動に伴って捩り変形する連結部と、
前記連結部を支持する支持部と、を有し、
前記可動部および前記光反射部は、それぞれ、前記可動部の板厚方向からの平面視にて十字状をなすことを特徴とする画像形成装置。

20

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、アクチュエーター、光スキャナーおよび画像形成装置に関する。

30

【背景技術】**【0002】**

アクチュエーターとしては、捩り振動子を用いたものが知られている(例えば、特許文献1参照)。

例えば、特許文献1には、可動板(可動部)と、支持枠(支持部)と、可動板を支持枠に対して捩り回動可能に支持する1対の弾性支持部(連結部)とを有し、各弾性支持部が2本の棒(梁部材)で構成された光偏向器が開示されている。

このような可動板、支持枠および1対の弾性支持部は、主面がシリコンの(100)面で構成されたシリコン基板を異方性エッチングすることにより一体形成される。

40

【0003】

また、特許文献1に係る光偏向器では、可動板が平面視にて八角形をなしている。このような平面視形状をなす可動板は、回動軸から離れた位置での可動板の重量を小さくし、慣性モーメントを低減できるという利点がある。

しかし、平面視形状が八角形をなす可動板は、前述したような異方性エッチングを用いて製造した場合、結晶面との関係から、形状のばらつきが大きい。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0004】**

【特許文献1】特開2010-79243号公報

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明の目的は、製造における可動部の形状ばらつきを従来よりも小さくして、可動部の回転時の慣性モーメントを低減することができるアクチュエーター、光スキャナーおよび画像形成装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

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ーは、所定の回転中心軸まわりに回転可能な板状の可動部と、前記可動部に連結し、かつ前記可動部の回転に伴って捩り変形する連結部と、前記連結部を支持する支持部と、を有し、前記可動部は光反射性を有する光反射部を備え、前記可動部および前記光反射部は、それぞれ、前記可動部の板厚方向からの平面視にて十字状をなすことを特徴とする。

10

このような本発明のアクチュエーターによれば、製造における可動部の形状ばらつきを小さくして、可動部の回転時の慣性モーメントを低減することができる。

【0007】

本発明のアクチュエーターでは、前記可動部の前記板厚方向からの平面視における外形は、前記回転中心軸に平行な線分と、前記回転中心軸に対して垂直な線分とを含むことが好ましい。

20

これにより、製造における可動部の形状ばらつきを小さくすることができる。

【0008】

本発明のアクチュエーターでは、前記可動部の板面は、シリコンの(100)面で構成されていることが好ましい。

これにより、板面が(100)面で構成されたシリコン基板を異方性エッチングすることにより、形状ばらつき小さくして、可動部、支持部および1対の連結部を容易に形成することができる。

【0009】

本発明のアクチュエーターでは、前記可動部の側面は、シリコンの(111)面を含むことが好ましい。

30

これにより、板面が(100)面で構成されたシリコン基板を異方性エッチングすることにより、シリコンの(111)面をエッチングの停止層として利用し、形状ばらつきを小さくして、可動部、支持部および1対の連結部を容易に形成することができる。

【0010】

本発明のアクチュエーターでは、前記可動部の側面には、前記可動部の板面に直交する断面においてV字状をなす溝が形成されていることが好ましい。

これにより、可動部の慣性モーメントを低減することができる。また、このような溝は、板面が(100)面で構成されたシリコン基板を異方性エッチングすることにより、シリコンの(111)面をエッチングの停止層として利用し、形状ばらつきを小さくして可動部を容易に形成することができる。

40

本発明のアクチュエーターでは、前記連結部の表面は、シリコンの(100)面および(111)面で構成されていることが好ましい。

これにより、シリコンの(111)面をエッチングの停止層として利用し、形状ばらつきを小さくして連結部を容易に形成することができる。

【0011】

本発明のアクチュエーターでは、前記可動部は、前記板厚方向からの平面視にて前記可動部の前記回転中心軸に対して対称な形状をなしていることが好ましい。

これにより、可動部の重心を可動部の回転中心軸上に位置させ、可動部の回転を円滑なものとすることができる。

50

本発明のアクチュエーターでは、前記可動部は、前記板厚方向からの平面視にて前記可動部の中心を通りかつ前記可動部の前記回動中心軸に対して垂直な線分に対して対称な形状をなしていることが好ましい。

これにより、可動部の設計が容易となる。

【0013】

本発明の光スキャナーは、光反射性を有する光反射部と、
前記光反射部を備え、かつ所定の回動中心軸まわりに回動可能な板状の可動部と、
前記可動部に連結し、かつ前記可動部の回動に伴って捩り変形する連結部と、
前記連結部を支持する支持部と、を有し、

前記可動部および前記光反射部は、それぞれ、前記可動部の板厚方向からの平面視にて十字状をなすことを特徴とする。 10

このように構成された光スキャナーによれば、製造における可動部の形状ばらつきを小さくして、可動部の回動時の慣性モーメントを低減することができる。

【0015】

本発明の画像形成装置は、光を出射する光源と、
前記光源からの光を走査する光スキャナーと、を備え、
前記光スキャナーは、
光反射性を有する光反射部と、
前記光反射部を備え、かつ所定の回動中心軸まわりに回動可能な板状の可動部と、
前記可動部に連結し、かつ前記可動部の回動に伴って捩り変形する連結部と、
前記連結部を支持する支持部と、を有し、

前記可動部および前記光反射部は、それぞれ、前記可動部の板厚方向からの平面視にて十字状をなすことを特徴とする。 20

このように構成された画像形成装置によれば、製造における可動部の形状ばらつきを小さくして、可動部の回動時の慣性モーメントを低減することができる。そのため、安価に、高品位な画像を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の第1実施形態に係る光スキャナー（アクチュエーター）を示す平面図である。 30

【図2】図1中のA-A線断面図である。

【図3】図1に示す光スキャナーに備えられた可動板を説明するための平面図である。

【図4】図1中のB-B線断面図である。

【図5】図4の部分拡大断面図である。

【図6】図1に示す光スキャナーの製造方法を説明する断面図である。

【図7】図1に示す光スキャナーの製造方法を説明する断面図である。

【図8】図1に示す光スキャナーの製造方法を説明する断面図である。

【図9】図8(e)に示すエッチング工程における連結部の形成（マスクずれのない場合）を説明するための図である。

【図10】図8(e)に示すエッチング工程における連結部の形成（マスクずれのある場合）を説明するための図である。 40

【図11】本発明の第2実施形態に係る光スキャナーを示す平面図である。

【図12】図11中のB-B線部分拡大断面図である。

【図13】本発明の第3実施形態に係るスキャナーに備えられた可動板を説明するための平面図である。

【図14】本発明の第4実施形態に係るスキャナーに備えられた可動板を説明するための平面図である。

【図15】本発明の画像形成装置の構成の一例を示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明のアクチュエーター、光スキャナーおよび画像形成装置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。なお、本実施形態では、本発明のアクチュエーターを光スキャナーに適用した場合を例に説明する。

< 第 1 実施形態 >

まず、本発明の光スキャナーの第 1 実施形態について説明する。

【 0 0 1 9 】

図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係る光スキャナー（アクチュエーター）を示す平面図、図 2 は、図 1 中の A - A 線断面図、図 3 は、図 1 に示す光スキャナーに備えられた可動板を説明するための平面図、図 4 は、図 1 中の B - B 線断面図、図 5 は、図 4 の部分拡大断面図である。図 6 は、図 1 に示す光スキャナーの製造方法を説明する断面図、図 7 は、図 1 に示す光スキャナーの製造方法を説明する断面図である。図 8 は、図 1 に示す光スキャナーの製造方法を説明する断面図、図 9 は、図 8（e）に示すエッチング工程における連結部の形成（マスクずれのない場合）を説明するための図、図 10 は、図 8（e）に示すエッチング工程における連結部の形成（マスクずれのある場合）を説明するための図である。なお、以下では、説明の便宜上、図 2、4 ~ 10 中の上側を「上」、下側を「下」と言う。

10

【 0 0 2 0 】

図 1 に示すように、光スキャナー 1 は、振動系を有する基体 2 と、基体 2 を支持する支持体 3 と、基体 2 の振動系を振動させる駆動部 4 とを有する。

また、基体 2 は、光反射部 2 1 1 が設けられた可動板（可動部）2 1 と、可動板 2 1 に連結する 1 対の連結部 2 3、2 4 と、1 対の連結部 2 3、2 4 とを支持する支持部 2 2 とを有している。支持部 2 2 は連結部 2 3、2 4 を介して可動板 2 1 を支持しているとも言え、1 対の連結部 2 3、2 4 は可動板 2 1 と支持部 2 2 とを連結しているとも言える。

20

このような光スキャナー 1 では、駆動部 4 の駆動力により、各連結部 2 3、2 4 を捩り変形させながら、可動板 2 1 を連結部 2 3、2 4 に沿った所定の軸まわりに回転させる。これにより、光反射部 2 1 1 で反射した光を所定の一方向に走査することができる。

【 0 0 2 1 】

以下、光スキャナー 1 を構成する各部を順次詳細に説明する。

[基体]

基体 2 は、前述したように、光反射部 2 1 1 が設けられた可動板 2 1 と、可動板 2 1 を支持する支持部 2 2 と、可動板 2 1 と支持部 2 2 とを連結する 1 対の連結部 2 3、2 4 とを有する。

30

【 0 0 2 2 】

このような基体 2 は、シリコンを主材料として構成されており、可動板 2 1、支持部 2 2 および連結部 2 3、2 4 が一体的に形成されている。より具体的には、基体 2 は、後に詳述するように、板面がシリコンの（100）面で構成されたシリコン基板を異方性エッチングすることにより形成されたものである。このような異方性エッチングにより、シリコンの（111）面をエッチング停止層として利用して簡単かつ高精度に、可動板 2 1、支持部 2 2 および 1 対の連結部 2 3、2 4 を形成することができる。なお、シリコン基板としては、一般的に単結晶シリコン基板が用いられる。

40

また、このような基体 2 の上面および下面は、それぞれ、シリコンの（100）面で構成されている。また、支持部 2 2 の内周面、可動板 2 1 の側面、および、各連結部 2 3、2 4 の側面の軸線 X に平行な部分は、それぞれ、シリコンの（111）面で構成されている。

【 0 0 2 3 】

また、シリコンは軽量かつ S U S なみの剛性を有するため、基体 2 がシリコンを主材料として構成されていることにより、優れた振動特性を有する基体 2 が得られる。また、シリコンは後述するようにエッチングにより高精度な寸法精度で加工が可能であるので、シリコン基板を用いて基体 2 を形成することにより、所望の形状（所望の振動特性）を有する基体 2 を得ることができる。

50

【 0 0 2 4 】

以下、基体 2 についてさらに詳述する。

支持部 2 2 は、図 1 に示すように、枠状をなしている。より具体的には、支持部 2 2 は、四角環状をなしている。このような支持部 2 2 は、1 対の連結部 2 3、2 4 を介して可動板 2 1 を支持する。なお、支持部 2 2 の形状としては、1 対の連結部 2 3、2 4 を介して可動板 2 1 を支持することができれば、特に限定されず、例えば、各連結部 2 3、2 4 に対応して分割された形状をなしていてもよい。

このような支持部 2 2 の内側には、可動板 2 1 が設けられている。

【 0 0 2 5 】

可動板 2 1 は、板状をなしている。また、本実施形態では、可動板 2 1 は、可動板 2 1 の板厚方向からの平面視にて、四角形（本実施形態では正方形）の 4 つの角部をそれぞれ欠損した形状（十字状）をなしている。これにより、可動板 2 1 の上面の光反射部 2 1 1 の面積（光反射領域）を十分に確保しつつ、可動板 2 1 の回転時の慣性モーメントを低減することができる。また、このような可動板 2 1 は後に詳述するようにシリコン基板を異方性エッチングすることにより、簡単かつ高精度に形成することができる。

【 0 0 2 6 】

より具体的に説明すると、図 3 に示すように、可動板 2 1 は、本体部 2 1 2 と、この本体部 2 1 2 から軸線 X に平行な方向に両側へ突出する 1 対の突出部 2 1 3、2 1 4 と、本体部 2 1 2 から軸線 X に垂直な方向（線分 Y に平行な方向）に両側に突出する 1 対の突出部 2 1 5、2 1 6 とで構成されている。これにより、可動板 2 1 は、板厚方向からの平面視にて十字状をなす。

【 0 0 2 7 】

そして、可動板 2 1 の外周に沿った方向における突出部 2 1 3 と突出部 2 1 5 との間には、欠損部 2 5 1 が形成されている。また、可動板 2 1 の外周に沿った方向における突出部 2 1 3 と突出部 2 1 6 との間には、欠損部 2 5 2 が形成されている。また、可動板 2 1 の外周に沿った方向における突出部 2 1 4 と突出部 2 1 6 との間には、欠損部 2 5 4 が形成されている。また、可動板 2 1 の外周に沿った方向における突出部 2 1 4 と突出部 2 1 5 との間には、欠損部 2 5 3 が形成されている。

言い換えると、可動板 2 1 の板厚方向からの平面視において、可動板 2 1 の外周に沿って、欠損部 2 5 1、突出部 2 1 3、欠損部 2 5 2、突出部 2 1 6、欠損部 2 5 4、突出部 2 1 4、欠損部 2 5 2、突出部 2 1 5 がこの順で並んで設けられている。

【 0 0 2 8 】

また、欠損部 2 5 1 と欠損部 2 5 2 とは突出部 2 1 3 を介して対向している。また、欠損部 2 5 2 と欠損部 2 5 4 とは突出部 2 1 6 を介して対向している。また、欠損部 2 5 3 と欠損部 2 5 4 とは突出部 2 1 4 を介して対向している。また、欠損部 2 5 1 と欠損部 2 5 3 とは突出部 2 1 5 を介して対向している。

このような突出部 2 1 3 ~ 2 1 6 および欠損部 2 5 1 ~ 2 5 4 は、それぞれ、可動板 2 1 の板厚方向からの平面視にて四角形をなしている。なお、図 1、3 では、各欠損部 2 5 1 ~ 2 5 4 の平面視形状が正方形をなす状態を一例として図示している。可動板 2 1 の十字状の外形における角部には、所定の結晶面だけではなく複数の結晶面が現れるため角部は厳密には直角とならず、各欠損部 2 5 1 ~ 2 5 4 は厳密には四角形ではない。しかし、本実施形態においては、上記の状態を含めて各欠損部 2 5 1 ~ 2 5 4 は四角形であるとみなす。

【 0 0 2 9 】

このような可動板 2 1 の板厚方向からの平面視における外形は、主として、可動板 2 1 の回転中心軸（軸線 X）に平行な線分と、可動板 2 1 の回転中心軸（軸線 X）に対して垂直な線分（線分 Y）とで構成されている。これにより、後述するようにシリコン基板を異方性エッチングすることにより、可動板 2 1 を簡単かつ高精度に形成することができる。なお、可動板 2 1 の十字状の外形における角部には、所定の結晶面だけではなく複数の結晶面が現れる。従って、可動板 2 1 の板厚方向からの平面視における角部の外形は軸線 X

10

20

30

40

50

または線分 Y に必ずしも平行な線分とならない。すなわち、可動板 2 1 の板厚方向からの平面視における外形は、少なくとも上記の可動板 2 1 の角部を除いて、軸線 X に平行な線分と線分 Y に平行な線分とで構成されている。

また、可動板 2 1 は、平面視にて可動板 2 1 の回動中心軸（軸線 X）に対して対称な形状をなしている。これにより、簡単に、可動板 2 1 の重心を可動板 2 1 の回動中心軸上に位置させ、可動板 2 1 の回動を円滑なものとすることができる。

【0030】

また、可動板 2 1 は、平面視にて可動板 2 1 の中心 P を通りがつ可動板 2 1 の回動中心軸（軸線 X）に対して垂直な線分 Y に対して対称な形状をなしている。これにより、可動板の設計が容易となる。

10

また、可動板 2 1 の板面は、シリコンの（100）面で構成されている。これにより、後述するように板面が（100）面で構成されたシリコン基板を異方性エッチングすることにより、可動板 2 1、支持部 2 2 および 1 対の連結部 2 3、2 4 を簡単かつ高精度に形成することができる。

【0031】

また、可動板 2 1 の側面は、主として、シリコンの（111）面で構成されている。これにより、後述するように板面が（100）面で構成されたシリコン基板を異方性エッチングすることにより、シリコンの（111）面をエッチングの停止層として利用し、可動板 2 1、支持部 2 2 および 1 対の連結部 2 3、2 4 を簡単かつ高精度に形成することができる。なお、可動板 2 1 の板厚方向からの平面視における外形の角部においては、可動板 2 1 の側面は（111）面以外の結晶面を含んでいる。従って、可動板 2 1 の側面は、少なくとも当該角部における側面を除いて、シリコンの（111）面で構成されている。

20

【0032】

また、可動板 2 1 の側面には、横断面が V 字状をなす溝 2 1 7 が形成されている。これにより、可動板 2 1 の慣性モーメントを低減することができる。また、このような溝は、板面が（100）面で構成されたシリコン基板を異方性エッチングすることにより、シリコンの（111）面をエッチングの停止層として利用し、簡単かつ高精度に形成することができる。

【0033】

また、可動板 2 1 の板厚方向からの平面視における回動中心軸（軸線 X）に対して垂直な方向（以下、「線分 Y 方向」とも言う）での長さを A とし、可動板 2 1 の回動中心軸（軸線 X）に平行な方向（以下、「軸線 X 方向」とも言う）での長さを B とし、各欠損部 2 5 1 ~ 2 5 4 の線分 Y 方向に沿った長さを a とし、各欠損部 2 5 1 ~ 2 5 4 の軸線 X 方向に沿った長さを b としたとき、下記式（A）、（B）をそれぞれ満たす。

30

【0034】

【数 1】

$$0.8 \times \left\{ \frac{1}{2} \left(A - \sqrt{\frac{1}{\frac{3}{A^2} + \frac{1}{B^2}}} \right) \right\} \leq a \leq 2.0 \times \left\{ \frac{1}{2} \left(A - \sqrt{\frac{1}{\frac{3}{A^2} + \frac{1}{B^2}}} \right) \right\} \quad \dots (A)$$

40

$$0.8 \times \left\{ \frac{1}{2} \left(B - \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{3A^2} + \frac{1}{B^2}}} \right) \right\} \leq b \leq 2.0 \times \left\{ \frac{1}{2} \left(B - \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{3A^2} + \frac{1}{B^2}}} \right) \right\} \quad \dots (B)$$

【0035】

上記式（A）、（B）をそれぞれ満たすことにより、可動板 2 1 の光反射部 2 1 1 の光反射に必要な面積を確保しつつ、可動板 2 1 の回動時における慣性モーメントを効率的に低減することができる。

50

これに対し、長さ a 、 b が前記下限値未満であると、それぞれ、可動板 21 の回転時における慣性モーメントを低減する効果が小さい傾向となる。そのため、可動板 21 の厚さによっては、可動板 21 の動撓みが大きくなり、光スキャナー 1 の光学特性を低下させる場合がある。

【0036】

一方、長さ a 、 b が前記上限値を超えると、可動板 21 の光反射部 211 の面積を効率的に用いることができず、光反射部 211 での反射光の強度が小さくなる傾向を示す。

なお、図 3 では、上記式 (A)、(B) を満たし、 a 、 b をそれぞれ最大とした場合の可動板 21 A、 a 、 b をそれぞれ最小とした場合の可動板 21 B をそれぞれ鎖線で示している。

10

【0037】

以下、上記式 (A)、(B) について簡単に説明する。

図 3 に示すように平面視にて可動板 21 に光 L の円形または楕円形のスポットが内接する場合、各欠損部 251 ~ 254 が光 L のスポットの外側で面積が最大となるのは、 $a = (1 - 1/\sqrt{2})A$ 、 $b = (1 - 1/\sqrt{2})B$ である。

また、かかる場合、欠損部 251 ~ 254 を形成する効果が発揮される範囲において、 a が最大となり b が最小となるのは、軸線 X に対して 30° 傾斜した線分と光 L のスポットの外周縁との交点 P2 に各欠損部 251 ~ 254 の角 P3 が位置するときである。

【0038】

また、かかる場合、欠損部 251 ~ 254 を形成する効果が発揮される範囲において、 a が最小となり b が最大となるのは、軸線 X に対して 60° 傾斜した線分と光 L のスポットの外周縁との交点 P1 に各欠損部 251 ~ 254 の角 P3 が位置するときである。

20

【0039】

さらに、光 L として通常用いられるレーザーのスポット径の有効範囲は、一般的にピーク輝度の $1/e^2$ 以上の範囲とされる。したがって、その有効範囲が光反射部 211 内に収まっていれば、理想的な光反射を行うことができる。

ただし、実際のレーザーは、上記有効範囲の外側であっても、若干の光が存在し、 a 、 b が上記値に対して若干小さかったり大きかったりしても、実使用上問題なく許容できる。

具体的には、上述したように求めた a 、 b の許容値を -20% 以上 $+200\%$ 以下とすることができる。

30

【0040】

以上のようなことから、上記式 (A)、(B) が得られる。

このような可動板 21 の上面には、光反射性を有する光反射部 211 が設けられている。一方、可動板 21 の下面には、後述する駆動部 4 の永久磁石 41 が設けられている。なお、永久磁石 41 については、後述する駆動部 4 の説明において詳述する。

各連結部 23、24 は、長手形状をなしており、弾性変形可能に構成されている。また、連結部 23 および連結部 24 は可動板 21 を介して対向している。このような連結部 23、24 は、それぞれ、可動板 21 を支持部 22 に対して回転可能とするように、可動板 21 と支持部 22 とを連結している。1 対の連結部 23、24 は、軸線 X に沿って同軸的に設けられており、この軸線 X を回転中心軸として、可動板 21 が支持部 22 に対して回転する。

40

【0041】

本実施形態では、図 1 に示すように、連結部 23 は、1 対の梁部材 231、232 で構成されている。同様に、連結部 24 は、1 対の梁部材 241、242 で構成されている。以下、連結部 23 について代表的に説明し、連結部 24 については、連結部 23 と同様であるので、その説明を省略する。

各梁部材 231、232 は、軸線 X に沿って設けられているとともに、軸線 X を介して対向している。また、各梁部材 231、232 は、その横断面形状が平行四辺形をなしている。

50

【 0 0 4 2 】

より具体的には、各梁部材 2 3 1、2 3 2 の横断面の外形は、それぞれ、シリコンの (1 0 0) に沿った 1 対の辺と、シリコンの (1 1 1) 面に沿った 1 対の辺とで構成された平行四辺形をなしている。すなわち、梁部材 2 3 1 は、上面 2 3 1 1 および下面 2 3 1 2 がそれぞれシリコンの (1 0 0) 面で構成され、1 対の側面 2 3 1 3、2 3 1 4 がそれぞれシリコンの (1 1 1) 面で構成されている。同様に、梁部材 2 3 2 は、上面 2 3 2 1 および下面 2 3 2 2 がそれぞれシリコンの (1 0 0) 面で構成され、1 対の側面 2 3 2 3、2 3 2 4 がそれぞれシリコンの (1 1 1) 面で構成されている。ここで、側面 2 3 1 3、2 3 1 4、2 3 2 3、2 3 2 4 は、それぞれ、シリコンの (1 1 1) 面で構成されているので、基体 2 の上面または下面 (すなわちシリコンの (1 0 0) 面) に対する傾斜角 が 5 4 . 7 3 ° となっている。このような横断面形状をなす各梁部材 2 3 1、2 3 2 は、板面がシリコンの (1 0 0) 面で構成されたシリコン基板を異方性エッチングすることにより簡単かつ確実に形成することができる。

10

このように連結部 2 3 の外表面がシリコンの (1 0 0) 面および (1 1 1) 面で構成されていると、後述するようにシリコンの (1 1 1) 面をエッチングの停止層として利用し、簡単かつ高精度に連結部 2 3 を形成することができる。

【 0 0 4 3 】

また、梁部材 2 3 1、2 3 2 は、軸線 X に平行な方向からみたときに (言い換えると、図 5 に示す断面でみたとき)、上下に延び軸線 X を通る線分に対して対称な形状をなしている。

20

また、図 5 に示す断面において、連結部 2 3 全体の幅 (梁部材 2 3 1 の側面 2 3 1 3 と梁部材 2 3 2 の側面 2 3 2 3 との面間距離) は、下側から上側に向けて広がっている。また、図 5 に示す断面において、梁部材 2 3 1 と梁部材 2 3 2 との間の距離 (隙間の幅) は、下側から上側に向けて広がっている。

【 0 0 4 4 】

すなわち、1 対の梁部材 2 3 1、2 3 2 間の距離は、可動板 2 1 の回動中心軸に平行な方向からみたときに、可動板 2 1 の一方の面側から他方の面側に向けて (本実施形態では下側から上側に向けて) 漸増している。

そして、1 対の梁部材 2 3 1、2 3 2 の下側の端同士の間を距離を W_1 とし、1 対の梁部材 2 3 1、2 3 2 の可動板 2 1 の厚さ方向での厚さを t としたとき、下記式 (1) を満たす。

30

【 0 0 4 5 】

【 数 2 】

$$w_1 < \frac{t}{\tan 54.73^\circ} \quad \cdots (1)$$

【 0 0 4 6 】

後述に詳述するように、板面がシリコンの (1 0 0) 面で構成されたシリコン基板をその両面側から異方性エッチングするため、可動板 2 1、支持部 2 2 および 1 対の連結部 2 3、2 4 を形成する際に、シリコン基板の両面に形成したマスクの形成位置がずれることがある。このように、シリコン基板の両面のマスクの形成位置がずれると、各梁部材 2 3 1、2 3 2 のシリコンの (1 1 1) 面で構成されるべき 1 対の側面 2 3 1 3、2 3 1 4、2 3 2 3、2 3 2 4 に段差が生じてしまう。上記式 (1) を満たすことにより、シリコン基板の両面に形成したマスクの形成位置がずれた場合に、一方の側面に形成された段差と、他方の側面に形成された段差とをシリコン基板の厚さ方向にずらすことができる (図 1 0 参照)。そのため、可動板 2 1 の回動時における各梁部材 2 3 1、2 3 2 に生じる応力集中を緩和することができる。

40

このようにして、光スキャナー 1 は、駆動時の応力集中による破損を比較的簡単に防止することができる。

また、1 対の梁部材 2 3 1、2 3 2 の上側の端同士の間を距離を W_2 としたとき、下記

50

式(2)を満たす。

【0047】

【数3】

$$t < \frac{\tan 54.73^\circ}{2} (w_1 + w_2) \quad \cdots (2)$$

【0048】

これにより、板面がシリコンの(100)面で構成されたシリコン基板をその両面側から異方性エッチングすることにより、1対の梁部材231、232で構成された連結部23を簡単かつ確実に形成することができる。

10

【0049】

〔支持体〕

支持体3は、前述した基体2を支持する機能を有する。また、支持体3は、後述する駆動部4のコイル42を支持する機能をも有する。

この支持体3は、上方に開放する凹部31を有する箱状をなしている。言い換えると、支持体3は、板状をなす板状部32と、その板状部32の上面の外周部に沿って設けられた枠状をなす枠状部33とで構成されている。

【0050】

このような支持体3の上面のうち凹部31の外側の部分、すなわち、枠状部33の上面には、前述した基体2の支持部22の下面が接合されている。これにより、基体2の可動板21および1対の連結部23、24と支持体3との間には、可動板21の回動を許容する空間が形成されている。

20

このような支持体3の構成材料としては、特に限定されないが、例えば、石英ガラス、パイレックスガラス(「パイレックス」は登録商標)、テンパックスガラス等のガラス材料や、単結晶シリコン、ポリシリコン等のシリコン材料、LTCC(低温焼結セラミックス)等が挙げられる。

また、基体2と支持体3との接合方法としては、支持体3の構成材料、形状等に応じて適宜決められるものであり、特に限定されないが、接着剤を用いた方法、陽極接合法、直接接合法等が挙げられる。

【0051】

30

〔駆動部〕

駆動部4は、永久磁石41およびコイル42を有し、前述した基体2の可動板21を電磁駆動方式(より具体的にはムービングマグネット型の電磁駆動方式)により回動駆動させるものである。電磁駆動方式は、大きな駆動力を発生させることができる。そのため、電磁駆動方式を採用する駆動部4によれば、低駆動電圧化を図りつつ、可動板21の振れ角を大きくすることができる。

【0052】

永久磁石41は、可動板21の下面に例えば接着剤を介して固定されている。また、永久磁石41は、長手形状をなしており、平面視にて軸線Xに対して直交する方向に延在するように設けられている。このような永久磁石41は、長手方向に磁化しており、長手方向の一方側がS極、他方側がN極となっている。永久磁石41を軸線Xに対して直交する方向に延在するように設けることにより、永久磁石41の両端部を軸線Xから離れたところに位置させることができる。そのため、コイル42が発生する磁界の作用により、可動板21により大きなトルクを与えることができる。

40

【0053】

このような永久磁石41としては、特に限定されず、例えば、ネオジウム磁石、フェライト磁石、サマリウムコバルト磁石、アルニコ磁石、ボンド磁石などの、硬磁性体を着磁したものを好適に用いることができる。

コイル42は、支持体3の凹部31の底面311上に、可動板21と対向するように設けられている。これにより、コイル42が発生する磁界を永久磁石41に効果的に作用さ

50

せることができる。このコイル４２は、図示しない電源に電氣的に接続されており、電源から周期的に変化する電圧（交番電圧、間欠的な直流等）が印加されるようになっている。

【００５４】

このような駆動部４によって、次のように可動板２１が回転する。

まず、図示しない電源によりコイル４２に例えば交番電圧を印加する。これにより、コイル４２の上側（可動板２１側）がＮ極、下側がＳ極となる第１の磁界と、コイル４２の上側がＳ極、下側がＮ極となる第２の磁界とが、交互にかつ周期的に発生する。

第１の電界では、永久磁石４１のＮ極側がコイル４２に引きつけられ、反対にＳ極側がコイル４２から遠ざかるように、可動板２１が軸線Ｘを中心に図２にて反時計回りに回転する（第１の状態）。反対に、第２の電界では、永久磁石４１のＳ極側がコイル４２に引きつけられ、反対にＮ極側がコイル４２から遠ざかるように、可動板２１が軸線Ｘを中心に図２にて時計回りに回転する（第２の状態）。このような第１の状態と第２の状態とが交互に繰り返され、可動板２１が軸線Ｘを中心に回転する。

10

【００５５】

（アクチュエーターの製造方法）

以上のような光スキャナー１は、例えば、次のようにして製造することができる。以下、本発明のアクチュエーターの製造方法の一例として、図６ないし図１０に基づいて、光スキャナー１の製造方法を説明する。また、図６ないし図８は、それぞれ、図２に対応する断面で示されており、図９および図１０は、それぞれ、図５に対応する断面で示されている。

20

光スキャナー１の製造方法は、基体２を形成する工程を有する。

基体２を形成する工程は、〔Ａ〕凹部２１８を形成する工程と、〔Ｂ〕可動板２１、支持部２２および１対の連結部２３、２４を形成する工程とを有する。

【００５６】

以下、各工程を順次詳細に説明する。

〔Ａ〕凹部２１８を形成する工程

- Ａ１ -

まず、図６（ａ）に示すように、シリコン基板１０２を用意する。

このシリコン基板１０２は、後述するエッチングを経ることにより基体２となるものである。

30

具体的には、シリコン基板１０２は、その主面がシリコンの（１００）面で構成されたものである。

【００５７】

- Ａ２ -

次に、図６（ｂ）に示すように、シリコン基板１０２の上面上に窒化膜５１を形成するとともに、シリコン基板１０２の下面上に窒化膜５２を形成する。

この窒化膜５１、５２は、それぞれ、例えば、ＳｉＮで構成されている。

また、窒化膜５１、５２の形成方法は、それぞれ、特に限定されないが、例えば、プラズマＣＶＤ等の気相成膜法を用いることができる。

40

また、窒化膜５１、５２の厚さは、特に限定されないが、０．０１μｍ以上０．２μｍ以下程度である。

なお、窒化膜５１、５２に代えて、ＳｉＯで構成された酸化膜を例えば熱酸化法により形成してもよい。

【００５８】

- Ａ３ -

次に、図６（ｃ）に示すように、窒化膜５１上にレジスト膜６１を形成し、図６（ｄ）に示すように、窒化膜５２上にレジスト膜６２を形成する。

このレジスト膜６１、６２は、それぞれ、ポジ型またはネガ型のレジスト材料で構成されている。

50

- A 4 -

次に、レジスト膜 6 2 を露光および現像することにより、レジスト膜 6 2 の凹部 2 1 8 の形成領域に対応した部分を除去する。これにより、図 6 (e) に示すように、開口 6 2 1 を有するレジスト膜 6 2 A を得る。

【 0 0 5 9 】

- A 5 -

次に、レジスト膜 6 2 A をマスクとして用いて、窒化膜 5 2 の一部をエッチングにより除去する。これにより、図 6 (f) に示すように、開口 5 2 1 を有する窒化膜 5 2 A を得る。

上記エッチング（開口 5 2 1 の形成方法）としては、特に限定されないが、例えば、リアクティブイオンエッチング（R I E）、 CF_4 を用いたドライエッチング等が挙げられる。

【 0 0 6 0 】

- A 6 -

次に、レジスト膜 6 1、6 2 A を除去する。これにより、図 6 (g) に示すように、シリコン基板 1 0 2 は、その上面が窒化膜 5 1 で覆われ、下面が窒化膜 5 2 A で覆われた状態となる。

レジスト膜 6 1、6 2 の除去方法としては、特に限定されないが、例えば、硫酸による洗浄、 O_2 アッシング等が挙げられる。

【 0 0 6 1 】

次に、窒化膜 5 2 A をマスクとして用いて、シリコン基板 1 0 2 をエッチングする。これにより、図 7 (a) に示すように、凹部 2 1 8 を有するシリコン基板 1 0 2 A を得る。

上記エッチング（凹部 2 1 8 の形成方法）としては、特に限定されないが、後述する可動板 2 1、支持部 2 2 等の形成のためのエッチングと同様、異方性エッチングが好適に用いられる。

かかる異方性エッチングは、特に限定されないが、例えば、 KOH 水溶液等を用いたウェットエッチングにより行うことができる。

【 0 0 6 2 】

- A 8 -

次に、窒化膜 5 1、5 2 A を除去する。これにより、図 7 (b) に示すように、シリコン基板 1 0 2 A の上面および下面が露出した状態となる。

窒化膜 5 1、5 2 A の除去方法としては、特に限定されないが、上記工程 A 5 と同様、例えば、リアクティブイオンエッチング（R I E）、 CF_4 を用いたドライエッチング等が挙げられる。

【 0 0 6 3 】

[B] 可動板 2 1、支持部 2 2 等を形成する工程

- B 1 -

次に、図 7 (c) に示すように、シリコン基板 1 0 2 A の上面上に窒化膜 7 1 を形成するとともに、シリコン基板 1 0 2 A の下面上に窒化膜 7 2 を形成する。

この窒化膜 7 1、7 2 は、それぞれ、例えば、 SiN で構成されている。

【 0 0 6 4 】

また、窒化膜 7 1、7 2 の形成方法は、それぞれ、特に限定されないが、上記工程 A 2 と同様、例えば、プラズマ C V D 等の気相成膜法を用いることができる。

また、窒化膜 7 1、7 2 の厚さは、特に限定されないが、 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $0.3\text{ }\mu\text{m}$ 以下程度である。

なお、窒化膜 7 1、7 2 に代えて、 SiO で構成された酸化膜を例えば熱酸化法により形成してもよい。

【 0 0 6 5 】

- B 2 -

次に、図 7 (d) に示すように、窒化膜 7 1 上にレジスト膜 8 1 を形成する。

このレジスト膜 8 1 は、ポジ型またはネガ型のレジスト材料で構成されている。

- B 3 -

次に、レジスト膜 8 1 を露光および現像することにより、レジスト膜 8 1 の可動板 2 1、支持部 2 2 および 1 対の連結部 2 3、2 4 の形成領域に対応した部分が残存するように、レジスト膜 8 1 の一部を除去する。これにより、図 7 (e) に示すように、開口 8 1 1 を有するレジスト膜 8 1 A を得る。なお、図 7 (e) では図示しないが、レジスト膜 8 1 A には、1 対の梁部材 2 3 1、2 3 2 の上端同士の間隙に対応して形成された開口も形成されている。

【 0 0 6 6 】

- B 4 -

次に、レジスト膜 8 1 A をマスクとして用いて、窒化膜 7 1 の一部をエッチングにより除去する。これにより、図 7 (f) に示すように、開口 7 1 1 を有する窒化膜 7 1 A を得る。なお、図 7 (f) では図示しないが、窒化膜 7 1 A には、1 対の梁部材 2 3 1、2 3 2 の上端同士の間隙に対応して形成された開口も形成されている。

上記エッチング（開口 7 1 1 の形成方法）としては、特に限定されないが、上記工程 A 5 と同様、例えば、リアクティブイオンエッチング（R I E）、 CF_4 を用いたドライエッチング等が挙げられる。

【 0 0 6 7 】

- B 5 -

次に、レジスト膜 8 1 A を除去する。これにより、図 7 (g) に示すように、シリコン基板 1 0 2 A は、その上面が窒化膜 7 1 A で覆われ、下面が窒化膜 7 2 で覆われた状態となる。

レジスト膜 8 1 A の除去方法としては、特に限定されないが、例えば、硫酸による洗浄、 O_2 アッシング等が挙げられる。

- B 6 -

次に、図 8 (a) に示すように、窒化膜 7 2 上にレジスト膜 8 2 を形成する。

このレジスト膜 8 2 は、ポジ型またはネガ型のレジスト材料で構成されている。

【 0 0 6 8 】

- B 7 -

次に、レジスト膜 8 2 を露光および現像することにより、レジスト膜 8 2 の可動板 2 1、支持部 2 2 および 1 対の連結部 2 3、2 4 の形成領域に対応した部分が残存するように、レジスト膜 8 2 の一部を除去する。これにより、図 8 (b) に示すように、開口 8 2 1 を有するレジスト膜 8 2 A を得る。なお、図 8 (b) では図示しないが、レジスト膜 8 2 A には、1 対の梁部材 2 3 1、2 3 2 の下端同士の間隙に対応して形成された開口も形成されている。

【 0 0 6 9 】

- B 8 -

次に、レジスト膜 8 2 A をマスクとして用いて、窒化膜 7 2 の一部をエッチングにより除去する。これにより、図 8 (c) に示すように、開口 7 2 1 を有する窒化膜 7 2 A を得る。なお、図 8 (c) では図示しないが、窒化膜 7 2 A には、1 対の梁部材 2 3 1、2 3 2 の下端同士の間隙に対応して形成された開口も形成されている。

上記エッチング（開口 7 2 1 の形成方法）としては、特に限定されないが、上記工程 A 5 と同様、例えば、リアクティブイオンエッチング（R I E）、 CF_4 を用いたドライエッチング等が挙げられる。

【 0 0 7 0 】

- B 9 -

次に、レジスト膜 8 2 A を除去する。これにより、図 8 (d) に示すように、シリコン基板 1 0 2 A は、その上面が窒化膜 7 1 A で覆われ、下面が窒化膜 7 2 A で覆われた状態となる。

レジスト膜 8 2 A の除去方法としては、特に限定されないが、例えば、硫酸による洗浄

10

20

30

40

50

、 O_2 アッシング等が挙げられる。

【 0 0 7 1 】

- B 1 0 -

次に、窒化膜 7 1 A、7 2 A をマスクとして用いて、シリコン基板 1 0 2 A を異方性エッチングする。これにより、図 8 (e) に示すように、基体 2 を得る。すなわち、本工程の異方性エッチングでは、第 1 のマスクである窒化膜 7 2 A と第 2 のマスクである窒化膜 7 1 A とを介してシリコン基板 1 0 2 A をその両面側から異方性エッチングすることにより、可動板 2 1、支持部 2 2 および 1 対の連結部 2 3、2 4 を形成する。

上記異方性エッチング（基体 2 の形成方法）は、特に限定されないが、例えば、 KOH 水溶液等を用いたウェットエッチングにより行うことができる。

10

【 0 0 7 2 】

ここで、かかる異方性エッチングによる連結部 2 3 の形成について詳述する。なお、連結部 2 4 の形成については、連結部 2 3 の形成と同様であるので、その説明を省略する。

図 9 に示すように、マスク（第 2 のマスク）として用いる窒化膜 7 1 A は、連結部 2 3 の梁部材 2 3 1 の上面の形成領域に対応して形成された部分 7 1 2 と、連結部 2 3 の梁部材 2 3 2 の上面の形成領域に対応して形成された部分 7 1 3 とを有し、部分 7 1 2 と部分 7 1 3 との間には、開口（第 2 の開口）7 1 4 が形成されている。この開口 7 1 4 は、1 対の梁部材 2 3 1、2 3 2 の上端同士の間隙間に対応して形成されている。

【 0 0 7 3 】

また、マスク（第 1 のマスク）として用いる窒化膜 7 2 A は、連結部 2 3 の梁部材 2 3 1 の下面の形成領域に対応して形成された部分 7 2 2 と、連結部 2 3 の梁部材 2 3 2 の下面の形成領域に対応して形成された部分 7 2 3 とを有し、部分 7 2 2 と部分 7 2 3 との間には、開口 7 2 4（第 1 の開口）が形成されている。この開口 7 2 4 は、1 対の梁部材 2 3 1、2 3 2 の下端同士の間隙間に対応して形成されている。

20

ここで、開口 7 2 4 の幅を W_{m1} とし、シリコン基板 1 0 2 A の厚さを T としたときに、下記式（3）の関係を満たす。

【 0 0 7 4 】

【数 4】

$$w_{m1} < \frac{T}{\tan 54.73^\circ} \quad \dots (3)$$

30

【 0 0 7 5 】

このような関係式を満たすことにより、第 1 のマスクである窒化膜 7 2 A と第 2 のマスクである窒化膜 7 1 A との位置関係がずれ、それにより、各梁部材 2 3 1、2 3 2 のシリコンの（1 1 1）面で構成されるべき 1 対の側面に段差が生じても、一方の側面に形成された段差と、他方の側面に形成された段差とをシリコン基板の厚さ方向にずらすことができる。そのため、得られたアクチュエーターにおいて、可動板 2 1 の回転時における各梁部材 2 3 1、2 3 2 に生じる応力集中を緩和することができる。

開口 7 1 4 の幅を W_{m2} としたとき、下記式（4）を満たす。

【 0 0 7 6 】

【数 5】

$$T < \frac{\tan 54.73^\circ}{2} (w_{m1} + w_{m2}) \quad \dots (4)$$

40

【 0 0 7 7 】

これにより、板面がシリコンの（1 0 0）面で構成されたシリコン基板 1 0 2 A をその両面側から異方性エッチングすることにより、1 対の梁部材 2 3 1、2 3 2 で構成された連結部 2 3 を簡単かつ確実に形成することができる。

【 0 0 7 8 】

以下、本工程の異方性エッチングにおける段差の発生について詳述する。

50

本工程における異方性エッチングに際し、マスクとして用いる窒化膜 7 1 A、7 2 A の形成位置がずれていない場合、図 9 (a) ~ 図 9 (d) に示すように、開口 7 1 1、7 1 4 を介してシリコン基板 1 0 2 A の上面がエッチングされるとともに、開口 7 2 1、7 2 4 を介してシリコン基板 1 0 2 A の下面がエッチングされていき、1 対の梁部材 2 3 1、2 3 2 が形成される。

この場合、開口 7 1 4 および開口 7 2 4 の幅方向での中心位置が互いに幅方向で一致しているので、図 9 (d) に示すように、各梁部材 2 3 1、2 3 2 の各側面は、段差のない、シリコンの (1 1 1) 面で構成された一定の傾斜面となる。

【 0 0 7 9 】

一方、本工程における異方性エッチングに際し、マスクとして用いる窒化膜 7 1 A、7 2 A の形成位置がずれている場合、図 1 0 (a) ~ 図 1 0 (d) に示すように、開口 7 1 1、7 1 4 を介してシリコン基板 1 0 2 A の上面がエッチングされるとともに、開口 7 2 1、7 2 4 を介してシリコン基板 1 0 2 A の下面がエッチングされていき、1 対の梁部材 2 3 1、2 3 2 が形成される。

【 0 0 8 0 】

この場合、開口 7 1 4 および開口 7 2 4 の幅方向での中心位置が互いに幅方向で異なるので、図 1 0 (d) に示すように、梁部材 2 3 1 の一方の側面には段差 2 3 1 5 が形成され、梁部材 2 3 1 の他方の側面には段差 2 3 1 6 が形成される。また、これと同様に、梁部材 2 3 2 の一方の側面には段差 2 3 2 5 が形成され、梁部材 2 3 2 の他方の側面には段差 2 3 2 6 が形成される。

【 0 0 8 1 】

段差 2 3 1 6 は、前述したようにマスクとして用いる窒化膜 7 2 A の開口 7 2 4 の幅が前記式 (3) を満たすように形成されているため、シリコン基板 1 0 2 A の厚さ方向での中央よりも窒化膜 7 2 A 側 (下側) に形成される。

これに対し、段差 2 3 1 5 は、窒化膜 7 1 A の開口 7 1 1 および窒化膜 7 2 A の開口 7 2 1 の幅はシリコン基板 1 0 2 A の厚さに対して大きすぎるため、シリコン基板 1 0 2 A の厚さ方向での中央に形成される。

【 0 0 8 2 】

そのため、段差 2 3 1 5 と段差 2 3 1 6 とはシリコン基板 1 0 2 A の厚さ方向での位置が異なっている。同様に、段差 2 3 2 5 と段差 2 3 2 6 とはシリコン基板 1 0 2 A の厚さ方向での位置が異なっている。

このように、段差 2 3 1 5 と段差 2 3 1 6 とがシリコン基板 1 0 2 A の厚さ方向での位置が異なるため、可動板 2 1 の回動時に梁部材 2 3 1 の厚さ方向での中央部に応力が集中するのを防止または抑制することができる。同様に、可動板 2 1 の回動時に梁部材 2 3 2 の厚さ方向での中央部に応力が集中するのを防止または抑制することができる。その結果、駆動時の応力集中による連結部 2 3 の破損を防止することができる。同様に、駆動時の応力集中による連結部 2 4 の破損を防止することができる。

【 0 0 8 3 】

仮に、開口 7 2 4 の幅が前記式 (3) を満たしていないと、段差 2 3 1 5、2 3 1 6、2 3 2 5、2 3 2 6 はいずれもシリコン基板 1 0 2 A の厚さ方向での中央の位置に形成されることとなる。すなわち、段差 2 3 1 5、2 3 1 6、2 3 2 5、2 3 2 6 は互いにシリコン基板 1 0 2 A の厚さ方向での位置が同じになる。そのため、駆動時における応力集中による破損するおそれがある。

【 0 0 8 4 】

- B 1 1 -

次に、窒化膜 7 1 A、7 2 A を除去する。これにより、図 8 (f) に示すように、基体 2 の上面および下面が露出した状態となる。

窒化膜 7 1 A、7 2 A の除去方法としては、特に限定されないが、上記工程 A 5 と同様、例えば、リアクティブイオンエッチング (R I E)、 CF_4 を用いたドライエッチング、熱りん酸によるウェットプロセス等が挙げられる。

【 0 0 8 5 】

また、必要に応じて、基体 2 の角部を丸める処理を行う。

かかる処理（丸め処理）は、特に限定されないが、例えば、フッ酸と硝酸と酢酸（または水）とによる等方性エッチング、熱処理（減圧下、1 0 0 0 ～ 1 2 0 0 程度、 H_2 を導入した Ar 雰囲気下）等が挙げられる。

【 0 0 8 6 】

次に、図 8（g）に示すように、可動板 2 1 の下面に、接着剤を介して永久磁石 4 1 を固定する。なお、可動板 2 1 の下面に、接着剤を介して硬磁性体を固定し、その後、この硬磁性体を着磁することにより、永久磁石 4 1 としてもよい。

また、可動板 2 1 の上面に、金属膜を形成し、光反射部 2 1 1 を形成する。この金属膜の形成方法としては、特に限定されず、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。

また、図示しないが、支持体 3 上にコイル 4 2 を設け、支持体 3 と基体 2 とを接合する。

以上の工程により、光スキャナー 1 が得られる。

【 0 0 8 7 】

以上説明したような光スキャナー 1 の製造方法によれば、前記式（3）を満たすので、得られた光スキャナー 1（アクチュエーター）において、可動板 2 1 の回転時における各梁部材 2 3 1、2 3 2、2 4 1、2 4 2 に生じる応力集中を緩和することができる。

以上説明したような第 1 実施形態に係る光スキャナー 1（アクチュエーター）によれば、可動板 2 1 が平面視にて十字状をなしているので、可動板 2 1 の光反射領域を確保しながら、可動板 2 1 の回転時の慣性モーメントを低減することができる。

また、このような平面視形状をなす可動板 2 1 は、シリコン基板を異方性エッチングすることにより簡単かつ高精度に形成することができる。

【 0 0 8 8 】

< 第 2 実施形態 >

次に、本発明の第 2 実施形態について説明する。

図 1 1 は、本発明の第 2 実施形態に係る光スキャナーを示す平面図、図 1 2 は、図 1 1 中の B - B 線部分拡大断面図である。

以下、第 2 実施形態の光スキャナーについて、前述した実施形態の光スキャナー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。

【 0 0 8 9 】

第 2 実施形態の光スキャナーは、連結部の横断面形状が異なる以外は、第 1 実施形態の光スキャナー 1 とほぼ同様である。なお、前述した実施形態と同様の構成には、同一符号を付してある。

本実施形態の光スキャナー 1 A は、図 1 1 に示すように、振動系を有する基体 2 A を有している。基体 2 A は、可動板 2 1 と、支持部 2 2 と、可動板 2 1 を支持部 2 2 に対して回転可能に連結する 1 対の連結部 2 3 A、2 4 A とを有する。

【 0 0 9 0 】

以下、連結部 2 3 について代表的に説明し、連結部 2 4 については、連結部 2 3 と同様であるので、その説明を省略する。

連結部 2 3 A は、軸線 X に沿って設けられている。また、連結部 2 3 A は、その横断面形状が台形をなしている。

より具体的には、連結部 2 3 A は、軸線 X に平行な方向からみたときに（言い換えると、図 1 2 に示す断面でみたとき）、上下に延び軸線 X を通る線分に対して対称（図 1 2 にて左右対称）な形状をなしている。

【 0 0 9 1 】

また、図 1 2 に示す断面において、連結部 2 3 A 全体の幅は、下側から上側に向けて広がっている。

また、連結部 23A の横断面の外形は、シリコンの (100) に沿った 1 対の辺と、シリコンの (111) 面に沿った 1 対の辺とで構成された台形をなしている。すなわち、連結部 23A は、上面 233 および下面 234 がそれぞれシリコンの (100) 面で構成され、1 対の側面 235、236 がそれぞれシリコンの (111) 面で構成されている。ここで、側面 235、236 は、それぞれ、上面 233 または下面 234 に対する傾斜角が 54.73° となっている。このような横断面形状をなす連結部 23A は、前述した第 1 実施形態の連結部 23 と同様、板面がシリコンの (100) 面で構成されたシリコン基板を異方性エッチングすることにより簡単かつ高精度に形成することができる。

以上説明したような第 2 実施形態の光スキャナー 1A によっても、光反射領域を確保しながら可動板の回転時の慣性モーメントを低減するとともに、可動板の寸法精度を簡単に優れたものとして行うことができる。

10

【0092】

< 第 3 実施形態 >

次に、本発明の第 3 実施形態について説明する。

図 13 は、本発明の第 3 実施形態に係るスキャナーに備えられた可動板を説明するための平面図である。

以下、第 3 実施形態の光スキャナーについて、前述した実施形態の光スキャナー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。

【0093】

第 3 実施形態の光スキャナーは、可動板の平面視形状が異なる以外は、第 1 実施形態の光スキャナー 1 とほぼ同様である。なお、前述した実施形態と同様の構成には、同一符号を付してある。

20

本実施形態の光スキャナーに備えられた可動板 21C は、図 13 に示すように、本体部 212C と、この本体部 212C から軸線 X 方向に両側へ突出する 1 対の突出部 213C、214C と、本体部 212C から線分 Y 方向に両側に突出する 1 対の突出部 215C、216C とで構成されている。これにより、可動板 21C は、平面視にて十字状をなす。

【0094】

そして、可動板 21C の外周に沿った方向における突出部 213C と突出部 215C との間には、欠損部 251C が形成されている。また、可動板 21C の外周に沿った方向における突出部 213C と突出部 216C との間には、欠損部 252C が形成されている。また、可動板 21C の外周に沿った方向における突出部 214C と突出部 216C との間には、欠損部 254C が形成されている。また、可動板 21C の外周に沿った方向における突出部 214C と突出部 215C との間には、欠損部 253C が形成されている。

30

【0095】

本実施形態では、可動板 21C は、板厚方向からの平面視にて軸線 X に対して対称となるように形成されているが、当該平面視にて線分 Y に対して非対称となるように形成されている。なお、以下では、欠損部 251C、253C について代表的に説明するが、欠損部 252C、254C についても同様である。

より具体的に説明すると、欠損部 251 の線分 Y 方向に沿った長さを a_1 とし、欠損部 251C の軸線 X 方向に沿った長さを b_1 としたとき、 $a_1 < b_1$ の関係を満たす。すなわち、欠損部 251C は、軸線 X 方向に沿った長さが線分 Y 方向に沿った長さよりも長い長方形をなしている。これにより、可動板 21C の軸線 X から遠位の端部の質量を効率的に低減することができる。そのため、可動板 21C の回転時の慣性モーメントを効果的に抑えることができる。

40

【0096】

同様に、欠損部 253C の線分 Y 方向での長さを a_3 とし、欠損部 253C の軸線 X 方向での長さを b_3 としたとき、 $a_3 < b_3$ の関係を満たす。すなわち、欠損部 253C は、軸線 X 方向の長さが線分 Y 方向での長さよりも長い長方形をなしている。これにより、可動板 21C の軸線 X から遠位の端部の質量を効率的に低減することができる。そのため、可動板 21C の回転時の慣性モーメントを効果的に抑えることができる。

50

【 0 0 9 7 】

また、 $a_1 > a_3$ 、かつ、 $b_1 > b_3$ の関係を満たす。これにより、軸線X軸に対して傾斜させて光を光反射部211に入射させる場合に、光反射領域を効率的に確保することができる。

また、この可動板21Cにおいても、可動板21Cの平面視における線分Y方向での長さをAとし、可動板21Cの軸線X方向での長さをBとし、各欠損部251C～254Cの線分Y方向での長さをaとし、各欠損部251C～254Cの軸線X方向での長さをbとしたとき、前記式(A)、(B)をそれぞれ満たす。

以上説明したような第3実施形態の光スキャナーによっても、光反射領域を確保しながら可動板の回転時の慣性モーメントを低減するとともに、可動板の寸法精度を簡単に優れたものとして行うことができる。

10

【 0 0 9 8 】

< 第4実施形態 >

次に、本発明の第4実施形態について説明する。

図14は、本発明の第4実施形態に係るスキャナーに備えられた可動板を説明するための平面図である。

以下、第4実施形態の光スキャナーについて、前述した実施形態の光スキャナー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。

【 0 0 9 9 】

第4実施形態の光スキャナーは、可動板の平面視形状が異なる以外は、第1実施形態の光スキャナー1とほぼ同様である。なお、前述した実施形態と同様の構成には、同一符号を付してある。

20

本実施形態の光スキャナーに備えられた可動板21Dは、図14に示すように、本体部212Dと、この本体部212Dから軸線X方向に両側へ突出する1対の突出部213D、214Dと、本体部212Dから線分Y方向に両側に突出する1対の突出部215D、216Dとで構成されている。これにより、可動板21Dは、平面視にて十字状をなす。

【 0 1 0 0 】

そして、可動板21Dの外周に沿った方向における突出部213Dと突出部215Dとの間には、欠損部251Dが形成されている。また、可動板21Dの外周に沿った方向における突出部213Dと突出部216Dとの間には、欠損部252Dが形成されている。また、可動板21Dの外周に沿った方向における突出部214Dと突出部216Dとの間には、欠損部254Dが形成されている。また、可動板21Dの外周に沿った方向における突出部214Dと突出部215Dとの間には、欠損部253Dが形成されている。

30

【 0 1 0 1 】

本実施形態では、可動板21Dは、平面視にて軸線Xに対して非対称となるように形成され、平面視にて線分Yに対して対称となるように形成されている。なお、以下では、欠損部251D、252Dについて代表的に説明するが、欠損部253D、254Dについても同様である。

より具体的に説明すると、欠損部251Dの線分Y方向での長さを a_1 とし、欠損部251Dの軸線X方向での長さを b_1 としたとき、 $a_1 < b_1$ の関係を満たす。すなわち、欠損部251Dは、軸線X方向の長さが線分Y方向での長さよりも長い長方形をなしている。これにより、可動板21Dの軸線Xから遠位の端部の質量を効率的に低減することができる。そのため、可動板21Dの回転時の慣性モーメントを効果的に抑えることができる。

40

【 0 1 0 2 】

一方、欠損部252Dの線分Y方向での長さを a_2 とし、欠損部252Dの軸線X方向での長さを b_2 としたとき、 $a_2 > b_2$ の関係を満たす。これにより、欠損部252Dの平面視での面積が欠損部251Dの平面視での面積より大きくても、可動板21Dの重心が軸線Xからずれるのを防止または抑制することができる。そのため、可動板21Dの回転を円滑なものとして行うことができる。なお、本実施形態では、 $a_1 \times b_1 < a_2 \times b_2$ の

50

関係を満たす。

また、この可動板 2 1 D においても、可動板 2 1 D の平面視における線分 Y 方向での長さを A とし、可動板 2 1 D の軸線 X 方向での長さを B とし、各欠損部 2 5 1 D ~ 2 5 4 D の線分 Y 方向での長さを a とし、各欠損部 2 5 1 D ~ 2 5 4 D の軸線 X 方向での長さを b としたとき、前記式 (A)、(B) をそれぞれ満たす。

【 0 1 0 3 】

以上説明したような第 4 実施形態の光スキャナーによっても、光反射領域を確保しながら可動板の回転時の慣性モーメントを低減するとともに、可動板の寸法精度を簡単に優れたものとして行うことができる。

以上説明したような光スキャナーは、例えば、プロジェクター、レーザープリンター、イメージング用ディスプレイ、バーコードリーダー、走査型共焦点顕微鏡などの画像形成装置に好適に適用することができる。その結果、優れた描画特性を有する画像形成装置を提供することができる。

【 0 1 0 4 】

(画像形成装置)

ここで、図 1 5 に基づいて、本発明の画像形成装置の一例を説明する。

図 1 5 は、本発明の画像形成装置の構成の一例を示す概略図である。なお、以下では、説明の便宜上、スクリーン S C の長手方向を「横方向」といい、長手方向に直角な方向を「縦方向」という。

【 0 1 0 5 】

プロジェクター 9 は、レーザーなどの光を照出する光源装置 9 1 と、クロスダイクロイックプリズム 9 2 と、1 対の本発明の光スキャナー 9 3、9 4 (例えば、光スキャナー 1 と同様の構成の光スキャナー) と、固定ミラー 9 5 とを有している。

光源装置 9 1 は、赤色光を照出する赤色光源装置 9 1 1 と、青色光を照出する青色光源装置 9 1 2 と、緑色光を照出する緑色光源装置 9 1 3 とを備えている。

【 0 1 0 6 】

クロスダイクロイックプリズム 9 2 は、4 つの直角プリズムを貼り合わせて構成され、赤色光源装置 9 1 1、青色光源装置 9 1 2、緑色光源装置 9 1 3 のそれぞれから照出された光を合成する光学素子である。

このようなプロジェクター 9 は、赤色光源装置 9 1 1、青色光源装置 9 1 2、緑色光源装置 9 1 3 のそれぞれから、図示しないホストコンピューターからの画像情報に基づいて照出された光をクロスダイクロイックプリズム 9 2 で合成し、この合成された光が、光スキャナー 9 3、9 4 によって走査され、さらに固定ミラー 9 5 によって反射され、スクリーン S C 上でカラー画像を形成するように構成されている。

【 0 1 0 7 】

ここで、光スキャナー 9 3、9 4 の光走査について具体的に説明する。

まず、クロスダイクロイックプリズム 9 2 で合成された光は、光スキャナー 9 3 によって横方向に走査される (主走査)。そして、この横方向に走査された光は、光スキャナー 9 4 によってさらに縦方向に走査される (副走査)。これにより、2 次元カラー画像をスクリーン S C 上に形成することができる。このような光スキャナー 9 3、9 4 として本発明の光スキャナーを用いることで、極めて優れた描画特性を発揮することができる。

【 0 1 0 8 】

ただし、プロジェクター 9 としては、光スキャナーにより光を走査し、対象物に画像を形成するように構成されていれば、これに限定されず、例えば、固定ミラー 9 5 を省略してもよい。

このように構成されたプロジェクター 9 によれば、前述した光スキャナー 1 と同様の構成の光スキャナー 9 3、9 4 を備えるので、安価に、高品位な画像を得ることができる。

【 0 1 0 9 】

以上、本発明のアクチュエーター、光スキャナーおよび画像形成装置について、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

10

20

30

40

50

明のアクチュエーター、光スキャナーおよび画像形成装置では、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。

【 0 1 1 0 】

また、前述した実施形態では、可動板が平面視において回転中心軸およびそれに垂直な線分の少なくとも一方に対して対称な形状をなす場合を説明したが、これに限定されず、可動板が平面視において回転中心軸およびそれに垂直な線分のいずれに対しても非対称な形状をなしていてもよい。

また、前述した実施形態では、本発明のアクチュエーターを光スキャナーに適用した場合を例に説明したが、本発明のアクチュエーターは、これに限定されず、例えば、光スイッチ、光アッテネータ等の他の光学デバイスに適用することも可能である。

10

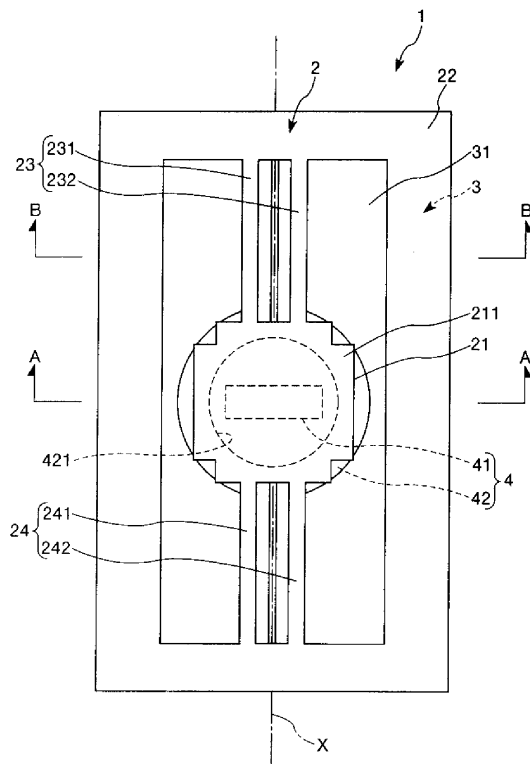
また、前述した実施形態では、可動板を回転させる駆動部がムービングマグネット型の電磁駆動方式を採用した構成を例に説明したが、かかる駆動部は、ムービングコイル型の電磁駆動方式であってもよいし、また、静電駆動方式、圧電駆動方式等の電磁駆動方式以外の駆動方式を採用するものであってもよい。

【 符号の説明 】

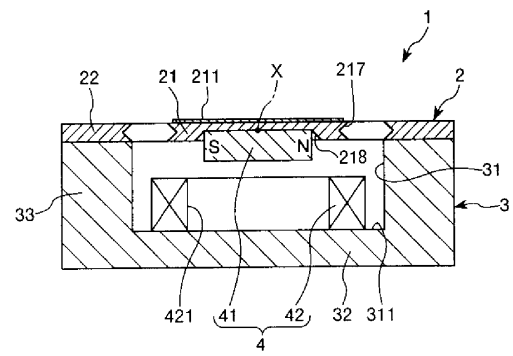
【 0 1 1 1 】

1、1 A 光スキャナー 2、2 A 基体 3 支持体 4 駆動部 9 プ
ロジェクター 2 1、2 1 A、2 1 B、2 1 C、2 1 D 可動板 2 2 支持部 2
3、2 3 A 連結部 2 4、2 4 A 連結部 3 1 凹部 3 2 板状部 3 3 20
棒状部 4 1 永久磁石 4 2 コイル 5 1 窒化膜 5 2 窒化膜 5
2 A 窒化膜 6 1 レジスト膜 6 2 レジスト膜 6 2 A レジスト膜 7
1 窒化膜 7 1 A 窒化膜 7 2 窒化膜 7 2 A 窒化膜 8 1 レジス
ト膜 8 1 A レジスト膜 8 2 レジスト膜 8 2 A レジスト膜 9 1 光
源装置 9 2 クロスダイクロイックプリズム 9 3 光スキャナー 9 4 光ス
キャナー 9 5 固定ミラー 1 0 2 シリコン基板 1 0 2 A シリコン基板
2 1 1 光反射部 2 1 2、2 1 2 C、2 1 2 D 本体部 2 1 3 ~ 2 1 6、2 1 3
C ~ 2 1 6 C、2 1 3 D ~ 2 1 6 D 突出部 2 1 7 溝 2 1 8 凹部 2 3 1
梁部材 2 3 2 梁部材 2 3 3 上面 2 3 4 下面 2 3 5、2 3 6
側面 2 4 1 梁部材 2 4 2 梁部材 2 5 1 ~ 2 5 4、2 5 1 C ~ 2 5 4 C、2 30
5 1 D ~ 2 5 4 D 欠損部 3 1 1 底面 5 2 1 開口 6 2 1 開口 7 1
1 開口 7 1 2 部分 7 1 3 部分 7 1 4 開口 7 2 1 開口 7 2
2 部分 7 2 3 部分 7 2 4 開口 8 1 1 開口 8 2 1 開口 9 1
1 赤色光源装置 9 1 2 青色光源装置 9 1 3 緑色光源装置 2 3 1 1
上面 2 3 1 2 下面 2 3 1 3、2 3 1 4 側面 2 3 1 5 段差 2 3 1 6
段差 2 3 2 1 上面 2 3 2 2 下面 2 3 2 3、2 3 2 4 側面 2 3 2 5
段差 2 3 2 6 段差

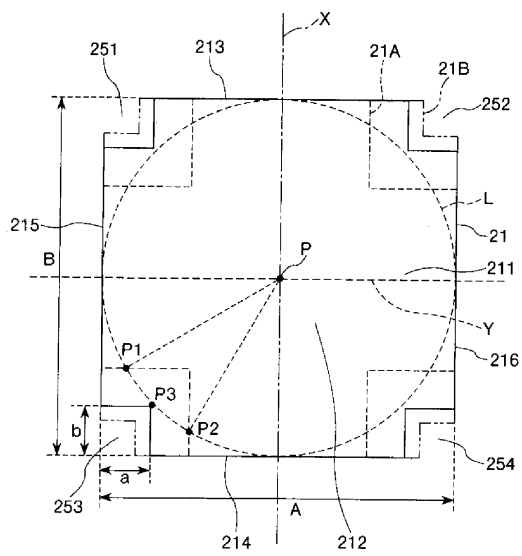
【図 1】



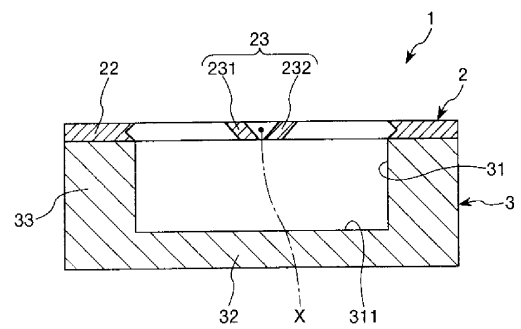
【図 2】



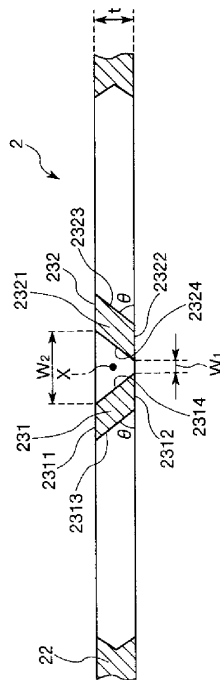
【図 3】



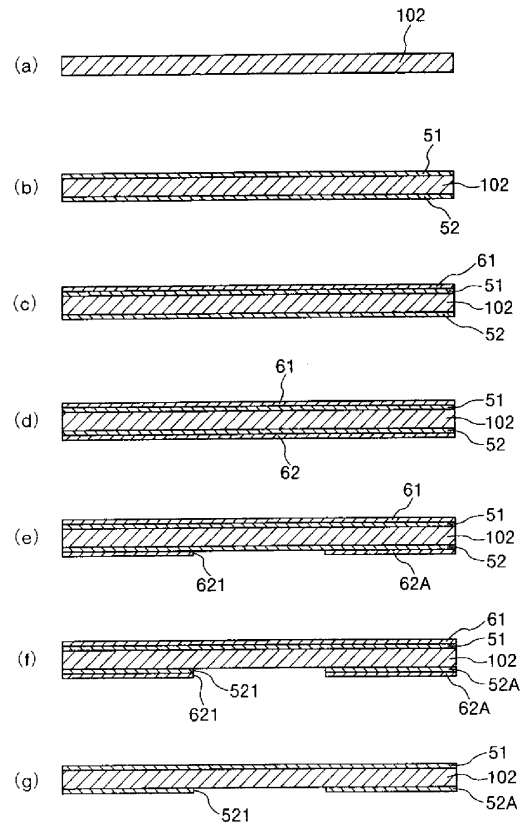
【図 4】



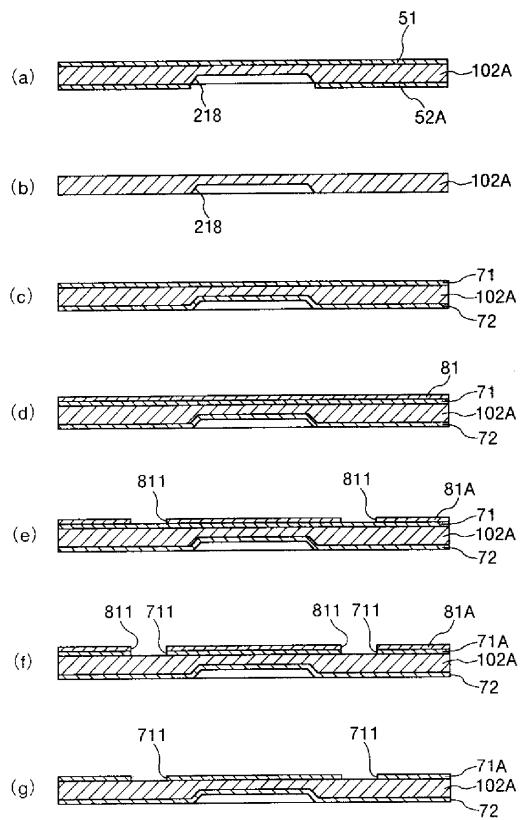
【図 5】



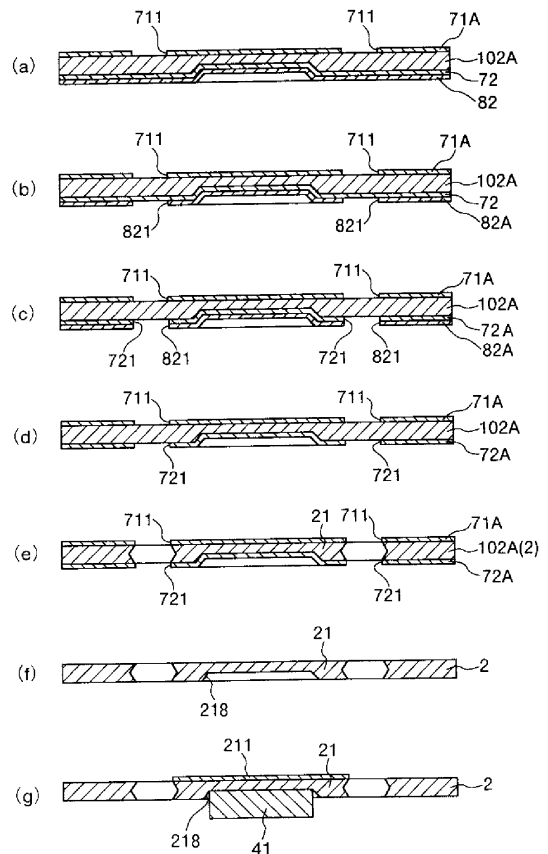
【図 6】



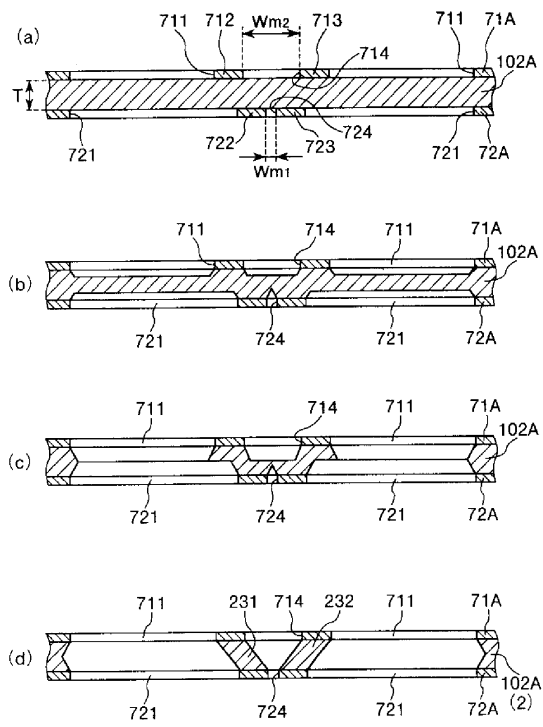
【図 7】



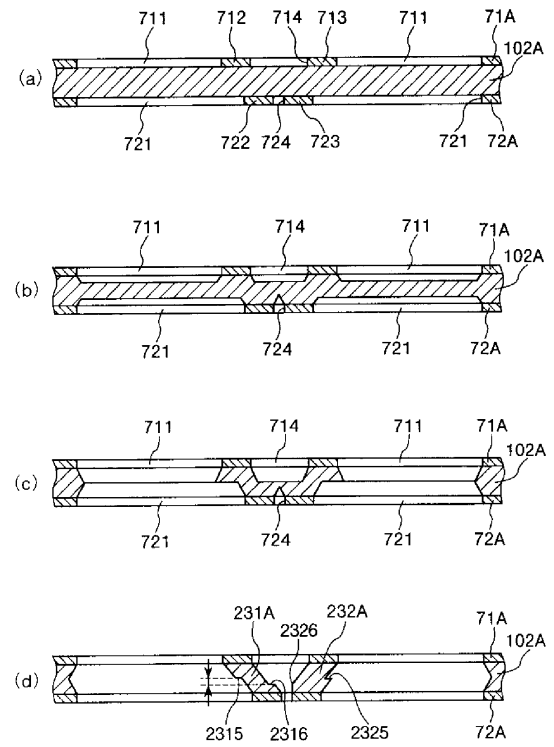
【図 8】



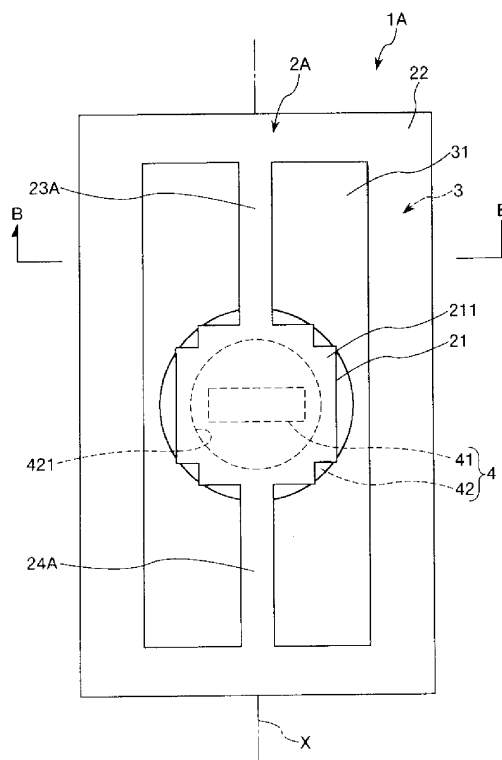
【図 9】



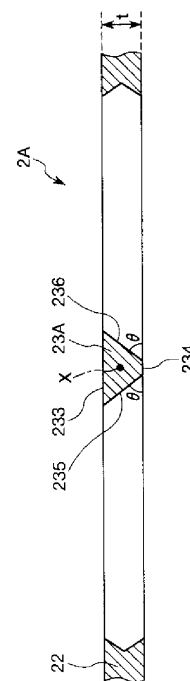
【図 10】



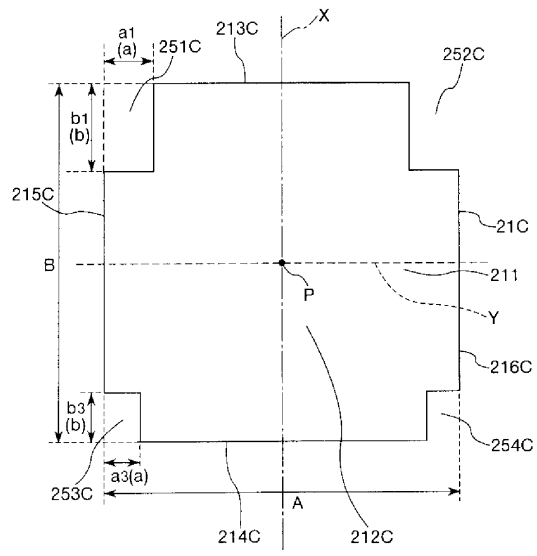
【図 11】



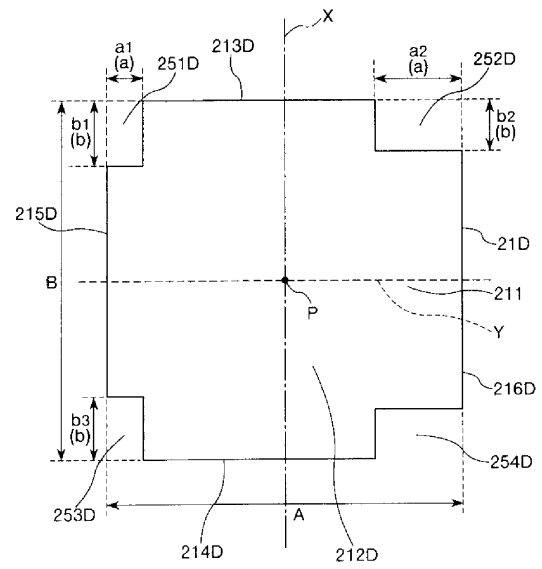
【図 12】



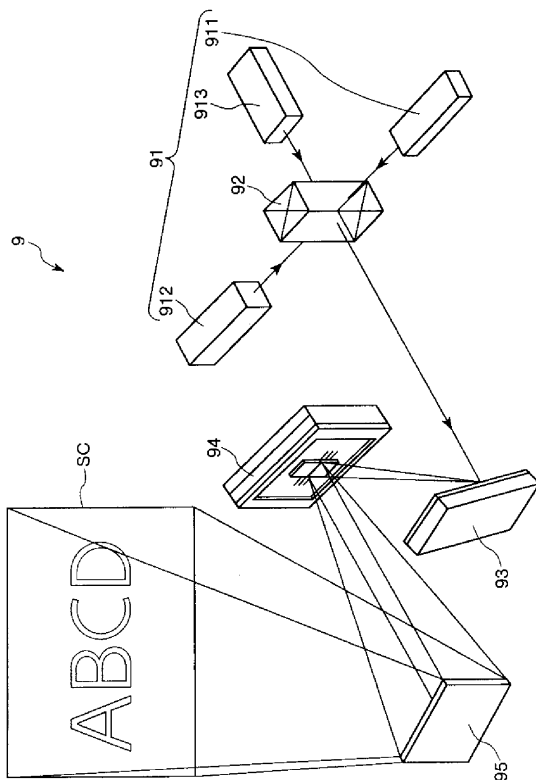
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2003-131161(JP,A)
特開2005-345837(JP,A)
特開2010-079243(JP,A)
特開2009-294458(JP,A)
特開2009-069675(JP,A)
特開2011-053646(JP,A)
特開2009-217193(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 2 B	2 6 / 1 0	-	2 6 / 1 2
G 0 2 B	2 6 / 0 0	-	2 6 / 0 8
B 8 1 B	3 / 0 0		
H 0 2 K	3 3 / 0 0		