

(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2019-109448

(P2019-109448A)

(43) 公開日 令和1年7月4日(2019.7.4)

(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	
B81C	1/00	(2006.01)	B81C	1/00			3C081	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2017-244287 (P2017-244287)	(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
(22) 出願日	平成29年12月20日 (2017.12.20)	(74) 代理人	110000800 特許業務法人創成国際特許事務所
		(72) 発明者	千葉 広文 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 AB06 AB10 AB13 AB38 AB72 AB81 2H141 MA12 MB24 MC09 MD13 MD16 MD20 MD23 MD24 ME25 MF10 MZ03 MZ06 MZ16 MZ26 3C081 AA01 AA17 BA28 BA44 BA47 BA55 CA13 CA15 CA27 CA28 DA04 DA30 EA08

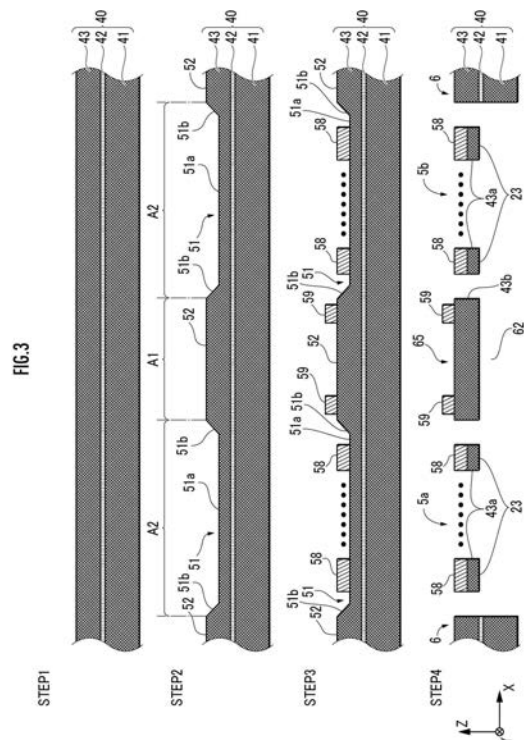
(54) 【発明の名称】 光偏向器の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 回動部の最大回動角の増大と、回動部の共振周波数の増大とを両立させつつ、均一な厚みの圧電膜を得ることができる光偏向器の製造方法を提供する。

【解決手段】 SOI板40に対し、表面Si層43の表面側より、少なくともミラー部2の形成領域は除外しつつ、表面Si層43の外側圧電アクチュエータ5の形成領域をエッチングして、底面51aが表面粗さでRa1.0nmである凹部51を形成する。次に、表面側の全面に圧電膜を成膜する。次に、表面側から圧電膜をエッチングすることにより凹部51の表面側に外側圧電アクチュエータ5の圧電構造58を形成する。次に、裏面側からのエッチングより回動ブロック65、外側圧電アクチュエータ5及び固定枠6の側面輪郭及び裏面輪郭を形成する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光を反射するミラー部と、

第 1 圧電構造を有し、該第 1 圧電構造に供給される第 1 駆動電圧により変形して、前記ミラー部を第 1 軸線の回りに往復回動させる第 1 駆動部と、

第 2 圧電構造を有し、該第 2 圧電構造に供給される第 2 駆動電圧により変形して、前記ミラー部を第 2 軸線の回りに往復回動させる第 2 駆動部とを備える光偏向器の製造方法において、

表面側から裏面側の方へ順番に表面 Si 層、SOI 層及び裏面 Si 層を有する SOI 板に対し、前記表面 Si 層の表面側の第 1 部位とは別の第 2 部位をエッチングすることにより、前記表面 Si 層の前記第 2 部位に底面が、表面粗さで Ra 1.0 nm 以下である凹部を形成する第 1 工程と、

次に、表面 Si 層の表面側を覆う圧電膜を成膜する第 2 工程と、

次に、表面側から前記圧電膜をエッチングすることにより前記第 1 部位及び前記第 2 部位にそれぞれ前記第 1 駆動部の前記第 1 圧電構造及び前記第 2 駆動部の前記第 2 圧電構造の輪郭を形成する第 3 工程と、

次に、裏面側からの前記裏面 Si 層及び前記 SOI 層のエッチングより前記第 1 駆動部及び前記第 2 駆動部の輪郭を完成させる第 4 工程とを備えることを特徴とする光偏向器の製造方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の光偏向器の製造方法において、

前記第 1 工程の前記エッチングは、ウェットエッチングとすることを特徴とする光偏向器の製造方法。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の光偏向器の製造方法において、

前記第 1 工程の前記 SOI 板は、劈開の結晶方位を [1 1 1] に設定されていることを特徴とする光偏向器の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ミラー部を往復回動させつつ、入射光をミラー部で反射して出射する光偏向器の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) の光偏向器が知られている。

【0003】

一般的な構造の MEMS の光偏向器は、光を反射するミラー部と、ミラー部を第 1 軸線の回りに往復回動させる第 1 駆動部と、及びミラー部を第 1 軸線とは別の第 2 軸線の回りに往復回動させる第 2 駆動部とを備えている。

【0004】

特許文献 1 の光偏向器は、ミラー部を軸線の回りに高速で往復回動するために、ミラー部の共振を利用する。該光偏向器は、SOI (Silicon on Insulator) 板から製造され、圧電式駆動部のカンチレバーの基板部としての Si (ケイ素) 層は、該 SOI 板の表面 Si 層の厚みをそのまま利用している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2005 - 128147 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【0006】

圧電構造でカンチレバーを変形させる駆動部では、カンチレバーは、薄い方が、電圧印加時の変形量が増大し、同一の駆動電圧に対するミラー部の回動角（振れ角）を大きくすることができる。一方、ミラー部を共振周波数で往復回動させる場合、厚いカンチレバーの方が剛性（ステイフネス）が高くなり、高い共振周波数でミラー部を回動させることができる。

【0007】

特許文献1の光偏向器を含む従来の光偏向器では、複数の駆動部の共通の基板部としてのSOI板の表面Si層の厚みは同一である。したがって、ミラー部を一方の軸線の回りで高い共振周波数で往復回動させることと、他方の軸線の回りで最大回動角を増大させることとを両立させることは、困難になっている。

10

【0008】

本発明の目的は、一方の軸線の回りのミラー部の共振周波数の増大と他方の軸線の回りの最大回動角の増大とを両立させつつ、均一な厚みの圧電膜を得ることができる光偏向器の製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の製造方法は、
光を反射するミラー部と、

第1圧電構造を有し、該第1圧電構造に供給される第1駆動電圧により変形して、前記ミラー部を第1軸線の回りに往復回動させる第1駆動部と、

20

第2圧電構造を有し、該第2圧電構造に供給される第2駆動電圧により変形して、前記ミラー部を第2軸線の回りに往復回動させる第2駆動部とを備える光偏向器の製造方法において、

表面側から裏面側の方へ順番に表面Si層、SOI層及び裏面Si層を有するSOI板に対し、前記表面Si層の表面側の第1部位とは別の第2部位をエッチングすることにより、前記表面Si層の前記第2部位に底面が、表面粗さでRa1.0nm以下である凹部を形成する第1工程と、

次に、表面Si層の表面側を覆う圧電膜を成膜する第2工程と、

次に、表面側から前記圧電膜をエッチングすることにより前記第1部位及び前記第2部位にそれぞれ前記第1駆動部の前記第1圧電構造及び前記第2駆動部の前記第2圧電構造の輪郭を形成する第3工程と、

30

次に、裏面側からの前記裏面Si層及び前記SOI層のエッチングより前記第1駆動部及び前記第2駆動部の輪郭を完成させる第4工程とを備えることを特徴とする。

【0010】

本発明によれば、第2部位における凹部の形成により、第2部位に形成する第2駆動部が、第1部位に形成する第1駆動部より薄くされる。これにより、第1駆動部の剛性を大きく、第2の駆動部の剛性は小さくなる。この結果、第1軸線の回りのミラー部の共振周波数の増大と第2軸線の回りの最大回動角の増大とを両立させることができる。

【0011】

一方、本発明者は、凹部に形成する圧電構造の圧電膜の厚みの均一化について知見を得た。該知見とは、該凹部の底面を、表面粗さでRa1.0nm以下にすれば、該底面の上に圧電膜を成膜するときに、圧電膜の厚みを安定的に均一化できるということである。

40

【0012】

本発明によれば、この知見に基づいて、第2駆動部を薄くするために表面Si層に形成した凹部は、底面が表面粗さでRa1.0nm以下とされる。こうして、凹部の形成にもかかわらず、該凹部に成膜する圧電膜の厚みを均一化することができる。

【0013】

本発明の製造方法において、前記第1工程の前記エッチングは、ウェットエッチングとすることが好ましい。

50

【 0 0 1 4 】

この構成によれば、ウェットエッチングで第 1 圧電アクチュエータがエッチングされるので、ドライエッチングに比して $R a 1 . 0 \text{ nm}$ 以下である底面を有する凹部を支障なく形成することができる。

【 0 0 1 5 】

本発明の製造方法において、前記第 1 工程の前記 S O I 板は、劈開の結晶方位を [1 1 1] に設定されていることが好ましい。

【 0 0 1 6 】

この構成によれば、エッチングにより形成した凹部の側壁を垂直壁でなく、傾斜面にすることができる。これにより、凹部の圧電構造に配線層を引き回すときに、断線し難い配線層を形成することができる。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 7 】

【 図 1 】 光偏向器の正面図。

【 図 2 】 光偏向器の圧電アクチュエータの S O I 板厚と各種特性との関係についての説明に関し、図 2 A は、共振周波数と振れ角とがトレードオフの関係にあることを示す表、図 2 B は共振周波数と S O I 板厚との関係のグラフ、図 2 C は光偏向器のミラーの角度と駆動電圧との関係のグラフ。

【 図 3 】 光偏向器の製造方法の工程図。

【 発明を実施するための形態 】

20

【 0 0 1 8 】

(光偏向器 / 構成)

図 1 は、光偏向器 1 の正面図である。なお、平板状の光偏向器 1 に対し、ミラー部 2 の反射面が視認できる側を「正面」、その反対側を「背面」ということにする。

【 0 0 1 9 】

以下、光偏向器 1 について上下左右というとき、光偏向器 1 の正面視での上下左右をいうものとする。光偏向器 1 の構成の把握の便宜のため、図 1 等に三軸直交座標を記載している。原点 O は、ミラー部 2 の中心に設定している。Z 軸は、光偏向器 1 の厚み方向に対応している。X 軸及び Y 軸は、左右方向及び上下方向に対応している。Z 軸は、背面から正面に向かう向きとされる。X 軸は、左から右に向かう向きとされる。Y 軸は、下から上に向かう向きとされる。以下、光偏向器 1 の構成は、ミラー部 2 の静止時、すなわちミラー部 2 の反射面の法線が Z 軸に一致している時を基準として説明する。

30

【 0 0 2 0 】

光偏向器 1 は、ミラー部 2、第 1 駆動部としての内側圧電アクチュエータ 3 a , 3 b、可動支持部としての可動枠 4、第 2 駆動部としての外側圧電アクチュエータ 5 a , 5 b、及び固定枠 6 を備える。固定枠 6 は、正面視で横長の矩形となっている。固定枠 6 の長辺及び短辺は、それぞれ X 軸及び Y 軸に平行である。

【 0 0 2 1 】

図 1 において、軸線 L x 及び軸線 L y は、ミラー部 2 が往復回動 (正逆転) する 2 つの軸線である。軸線 L y は本発明の第 1 軸線に相当し、軸線 L x は本発明の第 2 軸線に相当する。軸線 L x 及び軸線 L y は、ミラー部 2 の中心において直交する。外側圧電アクチュエータ 5 a , 5 b は、図示していない駆動部から第 2 駆動電圧を供給されて、ミラー部 2 を軸線 L x の回りに第 2 周波数で往復回動させる。内側圧電アクチュエータ 3 は、駆動部から第 1 駆動電圧を供給されて、ミラー部 2 を軸線 L y の回りに第 1 周波数で往復回動させる。

40

【 0 0 2 2 】

内側圧電アクチュエータ 3 a , 3 b は、圧電構造付きのカンチレバーから構成され、正面視において Y 軸に対して左右対称の構造になっている。内側圧電アクチュエータ 3 a , 3 b は、Y 軸方向の両端部において相互に結合し、全体では、ミラー部 2 を包囲する Y 軸方向に縦長の楕円環を構成する。可動枠 4 は、内外周が Y 軸方向に縦長の楕円輪郭の環状

50

棒として形成され、内周側において内側圧電アクチュエータ 3 a , 3 b から構成される楕円環を包囲する。

【 0 0 2 3 】

トーションバー 2 1 a , 2 1 b は、ミラー部 2 から y 軸に沿って上下に直線状に突出し、中間部において内側圧電アクチュエータ 3 a , 3 b の結合部に結合し、突出端において可動棒 4 の内周に結合する。軸線 L y は、トーションバー 2 1 a , 2 1 b の中心線に一致する。

【 0 0 2 4 】

外側圧電アクチュエータ 5 a , 5 b は、矩形の固定棒 6 の内周側でかつ X 軸方向に可動棒 4 に対して左右対称に配設される。外側圧電アクチュエータ 5 a , 5 b の各々は、ミア
10
ンダ配列の複数のカンチレバー 2 3 から構成される。カンチレバー 2 3 も、内側圧電アクチュエータ 3 a , 3 b のカンチレバーと同様に、圧電構造付きとなっている。

【 0 0 2 5 】

具体的には、各カンチレバー 2 3 は、長手方向を Y 軸方向に揃えて、X 軸方向に一列に配列される。複数のカンチレバー 2 3 は、全体として直列の結合となるように、Y 軸方向の端部において X 軸方向に左隣り又は右隣りのカンチレバー 2 3 に結合している。なお、配列における X 軸方向の両端のカンチレバー 2 3 は、長さが中間のカンチレバー 2 3 の半分となっており、Y 軸上で固定棒 6 及び可動棒 4 にそれぞれ結合している。固定棒 6 に結合しているカンチレバー 2 3 の端部は、外側圧電アクチュエータ 5 a , 5 b の基端部を構成し、可動棒 4 に結合しているカンチレバー 2 3 の端部は、外側圧電アクチュエータ 5 a
20
, 5 b の先端部を構成する。

【 0 0 2 6 】

電極パッド 1 6 a , 1 6 b は、固定棒 6 の短辺部の表面に複数ずつ配設されている。電極パッド 1 6 a は、光偏向器 1 の左半部の電気素子（例：内側圧電アクチュエータ 3 a 及び外側圧電アクチュエータ 5 a ）に積層方向下側（裏面側）の連続導電層や積層方向上側（表面側）の配線層（各圧電アクチュエータでは、上側電極層に接続される。図示せず。）を介して接続されている。なお、積層方向下側の連続導電層は、アース配線層を形成し、各圧電アクチュエータでは、アース電位の下側電極層を構成する。電極パッド 1 6 b は、光偏向器 1 の右半部の電気素子（例：内側圧電アクチュエータ 3 b 及び外側圧電アクチュエータ 5 b ）に積層方向下側の連続導電層や積層方向上側の配線層を介して接続されて
30
いる。

【 0 0 2 7 】

（光偏向器 / 作用）

光偏向器 1 の作用について説明する。なお、以下、内側圧電アクチュエータ 3 a , 3 b を特に区別しないときは、「内側圧電アクチュエータ 3」と総称する。外側圧電アクチュエータ 5 a , 5 b を特に区別しないときは、「外側圧電アクチュエータ 5」と総称する。電極パッド 1 6 a , 1 6 b を特に区別しないときは、「電極パッド 1 6」と総称する。

【 0 0 2 8 】

光偏向器 1 は、二次元スキャナとして、映像器や車両用前照灯等に装備される。光偏向器 1 は、パッケージ内に収納されて、光偏向器 1 の電極パッド 1 6 とパッケージの端子とは、ボンディングワイヤ（図示せず）により接続されている。内側圧電アクチュエータ 3 及び外側圧電アクチュエータ 5 には、それらの圧電膜層に電極パッド 1 6 から駆動電圧が供給される。
40

【 0 0 2 9 】

図示していない光源（例：レーザ光源）からの光（例：レーザ光）が、光偏向器 1 のミラー部 2 の中心（三軸座標系の原点 O）に入射する。

【 0 0 3 0 】

外側圧電アクチュエータ 5 は、電極パッド 1 6 からの駆動電圧により作動して、可動棒 4 を X 軸の回りに第 2 周波数で往復回動させる。この結果、ミラー部 2 は、軸線 L x の回りを第 2 周波数で往復回動する。なお、軸線 L x と X 軸とは、一致しない。ミラー部 2 は
50

、後述するように、軸線 L_y の回りに往復回動しているので、軸線 L_x も軸線 L_y の往復回動に伴い、回転する。これに対して、 X 軸は、固定されている。

【0031】

外側圧電アクチュエータ5の作動について詳説する。各外側圧電アクチュエータ5は、ミアンダ配列の複数のカンチレバー23から成る。外側圧電アクチュエータ5の基端側（固定枠6側）から先端側（可動枠4側）との結合端の方に順番にカンチレバー23に番号を付けると、奇数番のカンチレバー23と偶数番のカンチレバー23とは、駆動電圧を逆位相にして、湾曲変形の向きが逆になるように設定される。

【0032】

この結果、ミアンダ配列を構成する各カンチレバー23は、外側圧電アクチュエータ5の作動時に、湾曲変形に伴い、 X 軸方向に隣接するもの同士で逆向きに湾曲する。この時、各カンチレバー23における基端側（固定枠6の方に結合する側）の回転量に対する先端側（可動枠4の方に結合する側）の回転量の差が、外側圧電アクチュエータ5の全体で累積される。これにより、可動枠4は、外側圧電アクチュエータ5の圧電膜の印加電圧（外側圧電アクチュエータ5の駆動電圧）の第2周波数（例：60Hz）で X 軸の回りに往復回動する。

10

【0033】

軸線 L_x の回りの可動枠4の往復回動により、ミラー部2及び可動枠4は軸線 L_x の回りに一体的に往復回動する。

【0034】

一方、内側圧電アクチュエータ3は、電極パッド16からの外側圧電アクチュエータ5とは別の駆動電圧によりトーションバー21をその中心軸線としての軸線 L_y の回りに第1周波数（例：30kHz）で往復回動させる。第1周波数は、高い周波数を確保するためには、軸線 L_y の回りのミラー部2の共振周波数に設定される。軸線 L_y の回りのミラー部2の共振周波数は、主に、内側圧電アクチュエータ3のカンチレバーの剛性により決定される。

20

【0035】

こうして、ミラー部2は、軸線 L_y の回りに共振周波数で往復回動しつつ、軸線 L_x の回りに非共振周波数で往復回動する。この結果、ミラー部2は、正面視で、左右には共振周波数で、上下には非共振周波数で首振りする。

30

【0036】

なお、ミラー部2の反射面の法線が Z 軸に一致したときのみ、軸線 L_x は X 軸に一致し、軸線 L_y は Y 軸に一致する。図示しない光源からの光は、ミラー部2の中心で反射して、その時々軸線 L_x 及び軸線 L_y の回りの回動角に対応する方向に偏向された走査光として出射する。

【0037】

（SOI板厚と圧電アクチュエータの特性との関係）

図2は、光偏向器1の圧電アクチュエータのSOI板厚と各種特性との関係についての説明に関する。図2Aは、共振周波数と振れ角（ミラー部2の最大回動角）とがトレードオフの関係にあることを示す表、図2Bは共振周波数とSOI板厚との関係のグラフ、図2Cは光偏向器のミラーの角度と駆動電圧との関係のグラフである。なお、図2Aの振れ角は、ミラー部2が光偏向器1の左右対称面に対して振れるとき、該左右対称面に対する最大傾斜角（最大回動角）をレーザ光を反射させて測定した光学的な測定角を意味する。図2Cの機械半角は、固定枠6に対するミラー部2の角度を機械的に測定した角度を意味する。したがって、実質的には、図2Aの振れ角は、機械半角に相当する。

40

【0038】

図2において、SOI板厚とは、内側圧電アクチュエータ3及び外側圧電アクチュエータ5が基板部（後述の図3では、表面Si層43に相当する。）とその表面側に形成された圧電構造との上下の積層から成る場合の基板部の厚みをいうものとする。

【0039】

50

光偏向器 1 は、車両用前照灯等として車両に搭載される場合には、通常、X 軸方向のミラー部 2 の振れ（軸線 L y の回りのミラー部 2 の往復回動）を車両の水平方向に対応させ、Y 軸方向のミラー部 2 の振れ（軸線 L x の回りのミラー部 2 の往復回動）を車両の垂直方向に対応させて、配置される。

【 0 0 4 0 】

図 2 A の水平軸の振れは、内側圧電アクチュエータ 3 の作動による共振で行われる。また、垂直軸方向のミラー部 2 の振れは、外側圧電アクチュエータ 5 の作動による非共振で行われる。したがって、第 1 周波数及び第 2 周波数は、図 2 等の共振周波数及び非共振周波数を意味する。

【 0 0 4 1 】

図 2 A に示すように、例えば、内側圧電アクチュエータ 3 を 5 V p p の駆動電圧（内側圧電アクチュエータ 3 の圧電膜の印加電圧でもある。）で駆動したときは、共振周波数は、内側圧電アクチュエータ 3 の厚みとしての S O I 板厚の厚みが大きいときほど、増大する。

【 0 0 4 2 】

一方、外側圧電アクチュエータ 5 の駆動を 5 0 V p p の駆動電圧（外側圧電アクチュエータ 5 の圧電膜の印加電圧でもある。）で駆動したときは、垂直軸方向の振れ角は、外側圧電アクチュエータ 5 の厚みとしての S O I 板厚の厚みが小さいときほど、増大する。

【 0 0 4 3 】

光偏向器 1 では、軸線 L y の回りのミラー部 2 の共振周波数及び軸線 L x の回りのミラー部 2 の振れ角は共に大きいことが好ましい。しかしながら、両者の関係は、図 2 A の 2 つの矢印の向きに示されるように、相反する関係（トレードオフの関係）にある。

【 0 0 4 4 】

（製造方法）

光偏向器 1 は、図 2 の分析を踏まえた構造を有するように、MEMS の製造技術を使って、製造される。すなわち、次の図 3 において説明するように、内側圧電アクチュエータ 3 の形成部位としての表面 S i 層 4 3 の第 1 部位 A 1 は、エッチングを施すことなく、表面 S i 層 4 3 の元々の厚みを維持している（厚くする）。これに対し、外側圧電アクチュエータ 5 の形成部位としての表面 S i 層 4 3 の第 2 部位 A 2 は、エッチングを施して、表面 S i 層 4 3 を薄くしている。

【 0 0 4 5 】

図 3 は光偏向器 1 の製造方法の工程を示している。なお、図 3 の説明において、表面側及び裏面側は、図 1 においてそれぞれ正面側及び背面側に相当する。図 3 において、上側が表面側であり、下側が裏面側である。

【 0 0 4 6 】

S T E P 1 では、S O I 板 4 0 が用意される。S O I 板 4 0 は、半導体の製造で周知の S O I (Silicon on Insulator) 板である。裏面側から表面側に順番に裏面 S i (ケイ素) 層 4 1、B O X (Buried Oxide) 層 4 2 及び表面 S i (ケイ素) 層 4 3 が配設される 3 層の積層構造を有している。なお、B O X 層 4 2 は、S i O₂ (二酸化ケイ素) から成る。裏面 S i 層 4 1 は、ウェハーにおいて表面 S i 層 4 3 よりも厚く形成され「支持層」とも呼ばれる。表面 S i 層 4 3 は、ウェハーにおいて「活性層」とも呼ばれる。B O X 層は、「酸化膜層」又は「中間酸化膜層」とも呼ばれる。また、S O I 板 4 0 は、実際には、表面及び裏面に S i O₂ を形成してから次の S T E P 2 に移行するが、図 3 には、これらの S i O₂ の層は図示を省略している。

【 0 0 4 7 】

次の S T E P 2 では、内側圧電アクチュエータ 3 の形成領域としての表面 S i 層 4 3 の第 1 部位 A 1 は、除外して外側圧電アクチュエータ 5 の形成領域としての表面 S i 層 4 3 の第 2 部位 A 2 に対し、表面側から所定量のエッチングを行う。なお、ミラー部 2 及び可動棒 4 の形成領域は、第 1 部位 A 1 に含まれる。第 1 部位 A 1 がミラー部 2、内側圧電アクチュエータ 3 及び可動棒 4 の形成領域に相当し、第 2 部位 A 2 が外側圧電アクチュエー

10

20

30

40

50

タ 5 の形成領域に相当する。

【 0 0 4 8 】

STEP 2 における第 1 部位 A 1 の非エッチングと第 2 部位 A 2 のエッチングとにより、表面 Si 層 4 3 の表面において、第 1 部位 A 1 は非凹部 5 2 となり、第 2 部位 A 2 は凹部 5 1 となる。この結果、第 2 部位 A 2 の表面 Si 層 4 3 は、第 1 部位 A 1 の表面 Si 層 4 3 より薄くなる。

【 0 0 4 9 】

STEP 2 のエッチングは、ウェットエッチングが採用される。凹部 5 1 は、底面 5 1 a と側面 5 1 b とにより画成される。底面 5 1 a は、ウェットエッチングにより表面粗さとして Ra 1 . 0 nm 以下にされる。側面 5 1 b は傾斜面となるようにエッチングされる。

10

【 0 0 5 0 】

底面 5 1 a を Ra 1 . 0 nm 以下にした理由は、本発明者の知見に基づいている。すなわち、本発明者は、凹部 5 1 の底面 5 1 a を Ra 1 . 0 nm 以下にすれば、STEP 2 より後で、底面 5 1 a の上に圧電膜を成膜するときに、圧電膜の厚みを安定的に均一化できるということを見出した。

【 0 0 5 1 】

なお、底面 5 1 a が Ra 1 . 0 nm 以下にされれば、ドライエッチングにより凹部 5 1 を形成することもできる。ただし、ドライエッチングの場合には、追加工として、平滑化処理が必要になる。平滑化処理として、例えば、CMP (chemical mechanical polishing) や C G I B (Gas Cluster Ion Beam) がある。また、側面 5 1 b を傾斜面とするのは難しい。よって、ウェットエッチングにより凹部を形成することが好ましい。ウェットエッチングならばエッチング液の種類、濃度及び温度等を調整して容易にシリコン異方性エッチングを行うことで必要な形状を形成することができる。

20

【 0 0 5 2 】

次の STEP 3 では、前半に、SOI 板 4 0 の表面側を覆うように、表面側全体に所定の成膜を行い、後半に、所定のエッチングを行って、表面 Si 層 4 3 の表面上に圧電構造 5 8 , 5 9 の輪郭を形成する。

【 0 0 5 3 】

所定の成膜では、圧電構造 5 8 , 5 9 の下側電極層、P Z T (チタン酸ジルコン酸鉛) 層、及び上側電極層に相当する下側導電膜、P Z T 膜、及び上側導電膜の 3 層を順番に形成する。

30

【 0 0 5 4 】

なお、STEP 3 における圧電膜としての P Z T の成膜の処理は、STEP 2 の終了時の SOI 板 4 0 の表面に凹部 5 1 及び非凹部 5 2 が形成されているため、段差付きの SOI 板 4 0 に対する処理となる。この成膜処理を支障なく行うため、段差は 2 0 μ m よりも大きくしないことが好ましい。段差が 2 0 μ m を超えると段差の上に成膜する P Z T を良好な膜質で成膜できなくなる。また、段差が 1 0 μ m よりも小さいと、非共振駆動の駆動部である外側圧電アクチュエータ 5 を薄くして振れ角を大きくする効果が得られにくくなる。P Z T の成膜は、スパッタリングやイオンプレーティングで行うことが好ましい。ただし、ゾルゲルで P Z T の成膜を行っても、コーティング条件やスピン回転数を適切に調整することにより、膜厚の均一な P Z T を成膜することができる。

40

【 0 0 5 5 】

STEP 3 の前半の成膜処理は、段差付きの SOI 板 4 0 に対する成膜処理であるので、P Z T 等の成膜後も凹部 5 1 及び非凹部 5 2 の段差による段差が残る。このため、STEP 3 の後半における圧電構造 5 8 , 5 9 の輪郭形成も、段差付きの SOI 板 4 0 に対する輪郭形成になる。これに支障なく対処するため、圧電構造 5 8 , 5 9 の輪郭形成のパターニングに使用するレジストコートは、凹部 5 1 の段差を埋めることができるスプレーコートが望ましい。

【 0 0 5 6 】

50

しかしながら、シリコン加工をウエットエッチング処理した際にできる劈開面の結晶方位を [1 1 1] とし、その結果得られる凹部 5 1 の側面 5 1 b の傾斜 (傾斜角度 = 5 4 . 7 °) を利用することも可能である。傾斜面の側面 5 1 b の利用例としては、電極パッド 1 6 から圧電構造 5 8 , 5 9 の下側電極層及び上側電極層への配線部としての下側導電膜及び上側導電膜がある。すなわち、これらの配線部は、凹部 5 1 - 非凹部 5 2 間の側面 5 1 b を渡ることになる。その場合、側面 5 1 b は、垂直面であるよりも、傾斜面である方が、断線防止上、有利となる。

【 0 0 5 7 】

なお、下側導電膜は、圧電構造 5 8 , 5 9 の下側電極層を兼ねるので、電極パッド 1 6 から圧電構造 5 8 , 5 9 の下側電極層への配線部は、凹部 5 1 及び非凹部 5 2 の表面に形成されていることになる。これに対し、電極パッド 1 6 から圧電構造 5 8 , 5 9 の上側電極層への配線部は、上側導電膜を成膜後に成膜される層間膜 (図示せず。例：絶縁膜) の表面に形成される。層間膜の表面には、表面 S i 層 4 3 の表面の段差が転写された段差が残っているので、電極パッド 1 6 から圧電構造 5 8 , 5 9 の上側電極層への配線部は、側面 5 1 b の傾斜が残っている層間膜の表面を渡ることになる。

10

【 0 0 5 8 】

さらに、該層間膜の厚みを増やすことにより (例：10um以上の厚みの層間膜) 、電極パッド 1 6 から圧電構造 5 8 , 5 9 の上側電極層への配線部は、凹部 5 1 - 非凹部 5 2 間において、層間膜の平坦な表面に形成することができる。

20

【 0 0 5 9 】

圧電構造 5 8 , 5 9 は、それぞれ外側圧電アクチュエータ 5 及び内側圧電アクチュエータ 3 に対応する。圧電構造 5 8 , 5 9 は、共に、下側から順番に少なくとも下側電極層、P Z T 層、及び上側電極層の 3 層を含む積層構造から構成される。該 P Z T 層は、圧電膜層として、両面の印加電圧に応じて面方向に伸縮して表面 S i 層 4 3 を厚み方向 (Z 軸方向) に変形させる。

【 0 0 6 0 】

次の S T E P 4 では、S O I 板 4 0 の裏側から裏面 S i 層 4 1 及び B O X 層 4 2 に対してエッチングを行う。これにより、圧電構造 5 8 , 5 9 の裏側範囲に裏側空間 6 2 が形成されるとともに、光偏向器 1 のミラー部 2、内側圧電アクチュエータ 3、可動枠 4、外側圧電アクチュエータ 5 及び固定枠 6 の各素子の側面輪郭及び裏面輪郭が形成される。

30

【 0 0 6 1 】

こうして、S T E P 4 の終了に伴い、内側圧電アクチュエータ 3 及び外側圧電アクチュエータ 5 の輪郭が完成する。図 3 の S T E P 4 では、ミラー部 2、内側圧電アクチュエータ 3 及び可動枠 4 は、回動ブロック 6 5 として 1 つにまとめて図示している。

【 0 0 6 2 】

最終的に、内側圧電アクチュエータ 3 及び外側圧電アクチュエータ 5 は、上部構造としての圧電構造 5 9 , 5 8 と、基板部として機能する下部構造としての表面 S i 層 4 3 との上下 2 層構造となる。内側圧電アクチュエータ 3 及び外側圧電アクチュエータ 5 は、機能的には、上部構造の圧電構造 5 9 , 5 8 の圧電膜に所定の駆動電圧を供給して、面方向に伸縮させる。これにより、下部構造のカンチレバーが厚み方向に撓んで、各カンチレバーにおいて先端側が基端側に対して変位し、変位力がアクチュエータとしての作用力として被作用物体としてのトーションパー 2 1 及び可動枠 4 に作用する。

40

【 0 0 6 3 】

裏側空間 6 2 は、光偏向器 1 がパッケージに収納されたときに、ミラー部 2、内側圧電アクチュエータ 3、可動枠 4 及び外側圧電アクチュエータ 5 の運動を許容させる空間となる。

【 0 0 6 4 】

完成状態の光偏向器 1 では、外側圧電アクチュエータ 5 の基板部としての表面 S i 層 4 3 a の裏面と回動ブロック 6 5 に含まれる内側圧電アクチュエータ 3 の基板部としての表面 S i 層 4 3 b の裏面とは、Z 軸方向に同一位置にある。これに対し、外側圧電アクチュ

50

エータ5の表面Si層43aの表面は、内側圧電アクチュエータ3の表面Si層43bの表面よりZ軸方向に裏面側にある。すなわち、外側圧電アクチュエータ5の基板部は、内側圧電アクチュエータ3の基板部より薄い。これは、外側圧電アクチュエータ5のカンチレバーとしての剛性が、内側圧電アクチュエータ3のカンチレバーの剛性より十分に小さいことを意味する。

【0065】

この結果、図2の水平軸方向の共振周波数に対応する軸線Lyの回りのミラー部2の往復回動の周波数は、十分に高められる。一方、図2の垂直軸方向の振れ角に対応する軸線Lxの回りの振れ角は、十分に増大する。

【0066】

なお、外側圧電アクチュエータ5の基板部を内側圧電アクチュエータ3の基板部より薄くするために、図3では、表面Si層43aの表面側をエッチングして、表面Si層43aに凹部51を形成している。凹部51を表面Si層43aの表面側ではなく、表面Si層43aを裏面側からエッチングして、凹部51を表面Si層43aの裏面側に形成し、これにより、外側圧電アクチュエータ5の基板部を内側圧電アクチュエータ3の基板部より薄くすることもできる。この場合は、SOI板40の表面が平坦面であるので、圧電膜の成膜が簡単になるとともに、凹部51の底面51aをRa1.0nm以下にすることが不要になる。

【0067】

(補足及び変形例)

圧電構造58, 59は、それぞれ本発明の第2圧電構造及び第1圧電構造に相当する。圧電構造58, 59は、圧電膜の材料としてPZTが用いられている。しかしながら、本発明の圧電構造の圧電膜の材料は、PZTに限定されず、他の材料であってもよい。

【0068】

図3のSTEP1~4に図示しているSOI板40は、それぞれSTEP1~4の処理済み後の状態で示している。STEP2は、本発明の第1工程に相当する。

【0069】

STEP3における前半の成膜の工程は本発明の第2工程に相当する。STEP3における後半のエッチングの工程は本発明の第3工程に相当する。STEP4は、本発明の第4工程に相当する。本発明では、各工程間に所定の処理工程を追加することも可能である。

【0070】

内側圧電アクチュエータ3及び外側圧電アクチュエータ5は、それぞれ本発明の第1駆動部及び第2駆動部に相当する。本発明の第1駆動部及び第2駆動部の相対位置関係は、内側及び外側の関係に限定されない。本発明では、第1駆動部及び第2駆動部が、それぞれ外側及び内側の位置関係で配設されてもよい。

【0071】

内側圧電アクチュエータ3の作動による軸線Lyの回りのミラー部2の往復回動は、共振が利用されている。本発明では、第1軸線の回りのミラー部の往復回動は、共振でなくてもよい。本発明は、第1軸線の回りのミラー部の往復回動の周波数を第2軸線の回りのミラー部の往復回動の周波数に対して十分に高めたい光偏向器に適用することができる。

【0072】

可動枠4は、本発明において回動部を支持する固定支持部に相当する。本発明の固定支持部は、枠体でなくてもよい。

【0073】

可動枠4は、本発明の可動支持部に相当する。本発明の可動支持部は、可動枠4のように、楕円環状でなくてもよいし、枠体でなくてもよい。可動支持部は、第1駆動部と第2駆動部との間に介在していれば、形状は任意でよい。

【符号の説明】

【0074】

10

20

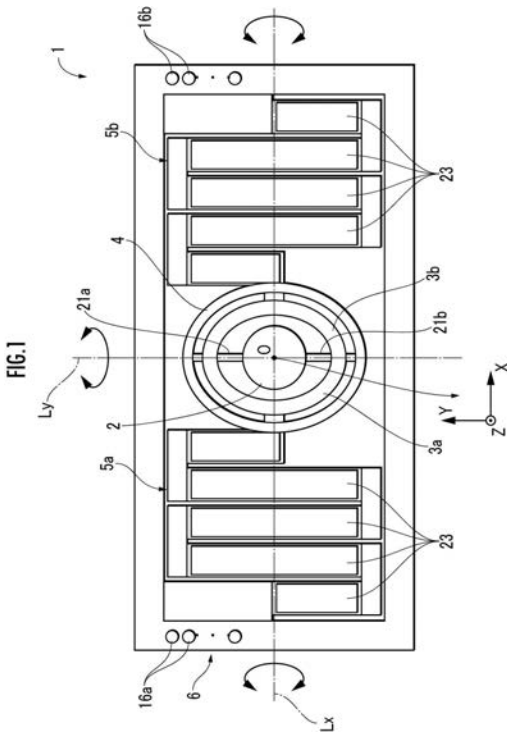
30

40

50

1・・・光偏向器、2・・・ミラー部（回動部）、3・・・内側圧電アクチュエータ（第1駆動部）、4・・・可動棒（可動支持部）、5・・・外側圧電アクチュエータ（第2駆動部）、40・・・SOI板、41・・・裏面Si層、42・・・SOI層、43・・・表面Si層、51・・・凹部、51a・・・底面、58, 59・・・圧電構造、Lx・・・第1軸線、Ly・・・第2軸線。

【図1】



【図2】

FIG.2A

SOI板厚	水平軸方向の共振		垂直軸方向の非共振	
	駆動電圧 [Vpp]	共振周波数 [Hz]	駆動電圧 [Vpp]	振れ角 [deg]
40.0 μm	5	29471	50	5.6
42.5 μm		31997		4.9
45.0 μm		33158		4.4

FIG.2B

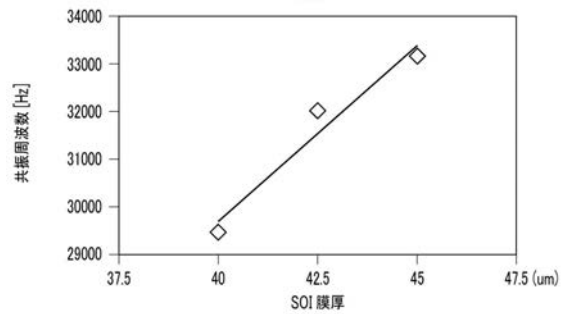


FIG.2C

