

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7297538号  
(P7297538)

(45)発行日 令和5年6月26日(2023.6.26)

(24)登録日 令和5年6月16日(2023.6.16)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 B 26/10 (2006.01)

G 0 2 B 26/10 1 0 4 Z

G 0 2 B 26/08 (2006.01)

G 0 2 B 26/08 E

請求項の数 8 (全15頁)

(21)出願番号	特願2019-106111(P2019-106111)	(73)特許権者	000002303
(22)出願日	令和1年6月6日(2019.6.6)		スタンレー電気株式会社
(65)公開番号	特開2020-201308(P2020-201308 A)	(74)代理人	東京都目黒区中目黒2丁目9番13号
			110000800
(43)公開日	令和2年12月17日(2020.12.17)		弁理士法人創成国際特許事務所
審査請求日	令和4年5月20日(2022.5.20)	(72)発明者	秋山 慶太
			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
		審査官	横井 亜矢子

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光偏向器及び製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

所定の回転軸線の回りに往復回転可能であるミラー部と、  
前記ミラー部の前記回転軸線に沿って前記ミラー部の両側から延在している1対のトー  
ションバーと、  
前記ミラー部及び前記1対のトーションバーを包囲する枠部と、  
各トーションバーと前記枠部との間に介在して、各トーションバーを前記回転軸線の回  
りにねじり振動させて、前記ミラー部を前記回転軸線の回りに往復回転させる複数の圧電  
式アクチュエータと、  
各トーションバーと前記ミラー部との結合縁部に、内側にへこむ円柱曲面で形成された  
第1R部と、  
前記ミラー部に臨む側の各圧電アクチュエータと各トーションバーとの間の結合縁部に  
、内側にへこむ円柱曲面で形成された第2R部と、  
を備え、  
前記ミラー部、前記トーションバー及び前記圧電式アクチュエータの基板層は、共通の  
シリコン単結晶層から成り、  
前記シリコン単結晶層の主面の面指数は、(100)及び(110)の一方であり、  
前記トーションバーの軸方向は、前記シリコン単結晶層の結晶方位の<100>であり、  
前記第1R部及び前記第2R部のうちの少なくとも一方の所定部分は、前記円柱曲面に  
対する凹凸が600nm以下となるように、形成され、

10

20

前記所定部分の両端は、前記円柱曲面を3等分割したときの中央の分割部分の両端の外側に設定されていることを特徴とする光偏向器。

【請求項2】

請求項1に記載の光偏向器において、

前記少なくとも一方を、前記主面に対して平行な平面で切ったときの輪郭線をうねり曲線とし、

前記うねり曲線に対して最小二乗法による平均線が設定され、

前記うねり曲線で隣接する山頂と山頂との間の区間が周期とされ、

前記うねり曲線上の各位置における前記平均線からの距離がうねり量とされ、

前記所定部分に含まれる全部の周期について、各周期の最大うねり量と最小うねり量との差分が600nm以下であることを特徴とする光偏向器。

10

【請求項3】

請求項2に記載の光偏向器において、

前記平面は、前記少なくとも一方の表面であることを特徴とする光偏向器。

【請求項4】

請求項1に記載の光偏向器において、

前記少なくとも一方は、前記第2R部であることを特徴とする光偏向器。

【請求項5】

光偏向器の製造方法であって

前記光偏向器が、

20

所定の回転軸線の回りに往復回転可能であるミラー部と、

前記ミラー部の前記回転軸線に沿って前記ミラー部の両側から延在している1対のトーションバーと、

前記ミラー部及び前記1対のトーションバーを包囲する枠部と、

各トーションバーと前記枠部との間に介在して、各トーションバーを前記回転軸線の回りにねじり振動させて、前記ミラー部を前記回転軸線の回りに往復回転させる複数の圧電式アクチュエータと、

各トーションバーと前記ミラー部との結合縁部に、内側にへこむ円柱曲面で形成された第1R部と、

前記ミラー部に臨む側の各圧電アクチュエータと各トーションバーとの間の結合縁部に、内側にへこむ円柱曲面で形成された第2R部と、

30

を備え、

前記ミラー部、前記トーションバー及び前記圧電式アクチュエータの基板層は、共通のシリコン単結晶層から成り、

前記シリコン単結晶層の主面の面指数は、(100)及び(110)の一方であり、

前記トーションバーの軸方向は、前記シリコン単結晶層の結晶方位の<100>であり、

前記第1R部及び前記第2R部のうちの少なくとも一方の所定部分は、前記円柱曲面に対する凹凸が600nm以下となるように、形成され、

前記所定部分の両端は、前記円柱曲面を3等分割したときの中央の分割部分の両端の外側に設定され、

40

前記製造方法が、

主面の面指数が(100)及び(110)の一方であるシリコン単結晶の活性層を含む基板の表面を、膜厚が5μm以上で10μm以下であるフォトレジスト膜で被覆する被覆工程と、

前記光偏向器の前記ミラー部、前記トーションバー、前記圧電アクチュエータ、前記第1R部及び前記第2R部の輪郭を含む輪郭パターンを含むフォトリソを介して前記被覆工程の後の前記基板の表面側を露光する露光工程と、

前記基板の表面側をエッチングして前記活性層に、前記光偏向器の前記ミラー部、前記トーションバー、前記圧電アクチュエータ、前記第1R部及び前記第2R部の輪郭を形成する輪郭形成工程と、

50

を有することを特徴とする製造方法。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の製造方法において、

前記光偏向器は、

前記少なくとも一方を、前記主面に対して平行な平面で切ったときの輪郭線をうねり曲線とし、

前記うねり曲線に対して最小二乗法による平均線が設定され、

前記うねり曲線で隣接する山頂と山頂との間の区間が周期とされ、

前記うねり曲線上の各位置における前記平均線からの距離がうねり量とされ、

前記所定部分に含まれる全部の周期について、各周期の最大うねり量と最小うねり量との差分が 600 nm 以下であることを特徴とする製造方法。

10

【請求項 7】

請求項 6 に記載の製造方法において、

前記光偏向器の前記平面は、前記少なくとも一方の表面であることを特徴とする製造方法。

【請求項 8】

請求項 5 に記載の製造方法において、

前記第 1 R 部及び前記第 2 R 部のうちの前記少なくとも一方は、前記第 2 R 部であることを特徴とする製造方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、MEMS の光偏向器及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

圧電方式の MEMS の光偏向器が知られている（例：特許文献 1）。

【0003】

特許文献 1 の光偏向器では、ミラー部とトーションバーとの結合部の破損を防止するために、ミラー部とトーションバーとの間の結合縁は、内側にへこむ R 部で形成されている。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0004】

【文献】特開 2017 - 151476 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

圧電方式の一般的な MEMS の光偏向器は、基板として SOI（Silicon on Insulator）ウェハが使用される。一般的な SOI ウェハは、主面の面指数が（100）又は（110）になっている。

【0006】

40

一方、トーションバーの軸線の回りのミラー部の往復回動の周波数を高くするとき、トーションバーのねじり方向の剛性を高くすることが好ましい。そのため、トーションバーの軸方向の結晶方位を <100> に合わせて、光偏向器が製造される。

【0007】

しかしながら、トーションバーの軸方向の結晶方位を <100> にしたとき、R 部の湾曲線上に、法線方向がシリコン単結晶の劈開方向である <110> になる箇所が生じる。劈開方向は、亀裂が発生及び拡大し易い方向であるので、該箇所が亀裂して、トーションバーが破損し易くなる。

【0008】

本発明の目的は、トーションバーの結合縁部に設けられた R 部の劈開を抑制することが

50

できる光偏向器及びそ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】

本発明の光偏向器は、  
所定の回転軸線の回りに往復回転可能であるミラー部と、  
前記ミラー部の前記回転軸線に沿って前記ミラー部の両側から延在している1対のトー  
ションバーと、

前記ミラー部及び前記1対のトーションバーを包囲する枠部と、  
各トーションバーと前記枠部との間に介在して、各トーションバーを前記回転軸線の回  
りにねじり振動させて、前記ミラー部を前記回転軸線の回りに往復回転させる複数の圧電  
式アクチュエータと、

各トーションバーと前記ミラー部との結合縁部に、内側にへこむ円柱曲面で形成された  
第1 R部と、

前記ミラー部に臨む側の各圧電アクチュエータと各トーションバーとの間の結合縁部に  
、内側にへこむ円柱曲面で形成された第2 R部と、

を備える光偏向器であって、

前記ミラー部、前記トーションバー及び前記圧電式アクチュエータの基板層は、共通の  
シリコン単結晶層から成り、

前記シリコン単結晶層の主面の面指数は、(100)及び(110)の一方であり、

前記トーションバーの軸方向は、前記シリコン単結晶層の結晶方位の<100>であり、

前記第1 R部及び前記第2 R部のうちの少なくとも一方の所定部分は、前記円柱曲面に  
対する凹凸が600 nm以下となるように、形成されている。

【0010】

本発明によれば、第1 R部及び第2 R部のうちの少なくとも一方の所定部分が、凹凸が  
円柱曲面に対して600 nm以内にされる。これにより、少なくとも一方の劈開を抑制す  
ることができる。

【0011】

好ましくは、本発明の光偏向器において、前記所定部分の両端は、前記円柱曲面を3等  
分割したときの中央の分割部分の両端の外側に設定されている。

【0012】

トーションバーの軸方向は、シリコン単結晶層の結晶方位の<100>であるので、第  
1 R部及び第2 R部における劈開方向は、円柱曲面を3等分割したときの中央の分割部分  
内に存在する。この構成によれば、第1 R部及び第2 R部の少なくとも一方において劈開  
方向を含む範囲の劈開の抑制を保證することができる。

【0013】

好ましくは、本発明の光偏向器において、  
前記少なくとも一方を、前記主面に対して平行な平面で切ったときの輪郭線をうねり曲線  
とし、

前記うねり曲線に対して最小二乗法による平均線が設定され、

前記うねり曲線で隣接する山頂と山頂との間の区間が周期とされ、

前記うねり曲線上の各位置における前記平均線からの距離がうねり量とされ、

前記所定部分に含まれる全部の周期について、各周期の最大うねり量と最小うねり量と  
の差分が600 nm以下である。

【0014】

この構成によれば、所定部分のうねり量を抑制して、第1 R部及び第2 R部の劈開を抑  
制することができる。

【0015】

好ましくは、本発明の光偏向器において、前記平面は、前記少なくとも一方の表面であ  
る。

【0016】

10

20

30

40

50

第 1 R 部及び第 2 R 部の表面は、光偏向器の表面から浅い場所に存在する。この構成よれば、第 1 R 部及び第 2 R 部の輪郭線を検出し易くすることができる。

【 0 0 1 7 】

好ましくは、本発明の光偏向器において、前記少なくとも一方は、前記第 2 R 部である。

【 0 0 1 8 】

トーションバーは、回転軸線の回りのねじり力を圧電アクチュエータから受けて、ミラー部に伝達する。したがって、光偏向器の作動中は、第 1 R 部より第 2 R 部の方が強いねじり力がかかる。

【 0 0 1 9 】

この構成によれば、第 2 R 部より第 1 R 部を優先して、凹凸を抑制することにより、トーションバーの寿命を伸ばすことができる。

10

【 0 0 2 0 】

本発明の製造方法は、

主面の面指数が ( 1 0 0 ) 及び ( 1 1 0 ) の一方であるシリコン単結晶の活性層を含む基板の表面を、膜厚が 5  $\mu\text{m}$  以上で 1 0  $\mu\text{m}$  以下であるフォトリソ膜で被覆する被覆工程と、

前記光偏向器の前記ミラー部、前記トーションバー、前記圧電アクチュエータ、前記第 1 R 部及び前記第 2 R 部の輪郭を含む輪郭パターンを含むフォトリソマスクを介して前記被覆工程の後の前記基板の表面側を露光する露光工程と、

前記基板の表面側をエッチングして前記活性層に、前記光偏向器の前記ミラー部、前記トーションバー、前記圧電アクチュエータ、前記第 1 R 部及び前記第 2 R 部の輪郭を形成する輪郭形成工程と、  
を有する。

20

【 0 0 2 1 】

本発明の製造方法によれば、第 1 R 部及び第 2 R 部の湾曲面のうねり量が 6 0 0 n m 以内に保証して、トーションバーの結合部の R 部の劈開を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 2 】

【図 1】MEMS の光偏向器の正面図である。

【図 2 A】光偏向器の製造に使用する S O I ウェハの正面図である。

30

【図 2 B】光偏向器の製造に使用する別の S O I ウェハの正面図である。

【図 3】トーションバーを含む範囲の拡大図である。

【図 4】シミュレーションによるトーションバーの表面応力の分布イメージである。

【図 5】シミュレーションによるトーションバーの断面応力の分布イメージである。

【図 6】R 部のうねり量に対する対策の施されていない光偏向器における破壊を観察した顕微鏡観察図である。

【図 7】図 6 の破断面を所定方向から観察したものである。

【図 8】R 部の湾曲面に表面粗さについての J I S 規格を適用したときのうねり量の説明図である。

【図 9】R 部のうねり量と H 限界振れ角との関係を示すグラフである。

40

【図 1 0】光偏向器の製造方法の工程図である。

【図 1 1】図 1 0 の製造方法で製造された光偏向器の横断面図である。

【図 1 2 A】膜厚が規定の 1 0  $\mu\text{m}$  より大きいレジスト膜層の断面と該レジスト膜層で R 部を形成したときのうねり量とを観察した S E M 観察像である。

【図 1 2 B】膜厚が規定の 1 0  $\mu\text{m}$  以内のレジスト膜層の断面と該レジスト膜層で R 部を形成したときのうねり量とを観察した S E M 観察像である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 3 】

以下に、本発明の好適な実施形態を詳細に説明する。以下の説明において、実質的に同一又は等価な要素及び部分については、共通の参照符号を使用している。また、構造が同

50

一で、配置位置のみが異なる要素又は部分については、数字が同一で、添字のアルファベットのみが異なる参照符号を使用している。さらに、数字が同一で、添字のアルファベットのみが異なる参照符号の要素又は部分について、個々に区別しないときは、添字のアルファベットを省略して、数字のみの符号で総称する。

【 0 0 2 4 】

[ M E M S 光偏向器 ]

図 1 は、M E M S の光偏向器 1 0 の正面図（表側から見た図）である。光偏向器 1 0 は、主要な要素として、ミラー部 1 1、トーションバー 1 2 a , 1 2 b、内側圧電アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b、可動枠部 1 4、外側圧電アクチュエータ 1 5 a , 1 5 b 及び固定枠部 1 6 を備えている。

10

【 0 0 2 5 】

以下、説明の便宜上、X 軸、Y 軸及び Z 軸から成る 3 軸座標系を定義する。X 軸及び Y 軸は、光偏向器 1 0 の正面視で横方向及び縦方向とする。Z 軸は、光偏向器 1 0 の厚み方向とする。O は、円形のミラー部 1 1 の中心である。

【 0 0 2 6 】

ミラー部 1 1 は、中心 O において直交する回転軸線 2 2 x , 2 2 y の回りに往復回転可能になっている。回転軸線 2 2 x , 2 2 y は、ミラー部 1 1 が真正面を向いたとき、それぞれ X 軸及び Y 軸に平行になる。

【 0 0 2 7 】

1 対のトーションバー 1 2 a , 1 2 b は、ミラー部 1 1 の両側から回転軸線 2 2 y に沿って伸び出ている。1 対の内側圧電アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b は、X 軸方向に相互に結合して、全体で縦長の楕円輪を形状を有している。該楕円輪は、ミラー部 1 1 及びトーションバー 1 2 を包囲している。

20

【 0 0 2 8 】

可動枠部 1 4 は、1 対の内側圧電アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b が形成する楕円輪より大きい楕円輪の形状を有している。該楕円輪は、1 対の内側圧電アクチュエータ 1 3 a , 1 3 b の楕円輪を包囲している。各内側圧電アクチュエータ 1 3 は、中心 O を通る X 軸方向の直線上において可動枠部 1 4 の内周に結合している。

【 0 0 2 9 】

各外側圧電アクチュエータ 1 5 は、可動枠部 1 4 と固定枠部 1 6 との間に介在する。各外側圧電アクチュエータ 1 5 は、縦方向を Y 軸に揃えた複数のカンチレバー 1 9 を備えている。X 軸方向に隣り同士のカンチレバー 1 9 は、Y 軸方向の一方及び他方のいずれかの端部において相互に結合している。X 軸方向のカンチレバー 1 9 の配列順で、結合箇所は、Y 軸方向の一方と他方とを交互に入れ替わる。こうして、各外側圧電アクチュエータ 1 5 における複数のカンチレバー 1 9 の全体は、ミランダパターンの結合体を構成する。

30

【 0 0 3 0 】

外側圧電アクチュエータ 1 5 は、不図示の駆動電圧供給部からの駆動電圧により駆動され、可動枠部 1 4 を、中心 O を通る X 軸方向の回転軸線（回転軸線 2 2 x）の回りに非共振周波数で往復回転させる。これにより、ミラー部 1 1 は、回転軸線 2 2 x の回りに非共振周波数で往復回転する。

40

【 0 0 3 1 】

内側圧電アクチュエータ 1 3 は、不図示の駆動電圧供給部からの別の駆動電圧により駆動され、トーションバー 1 2 を回転軸線 2 2 y の回りに共振周波数でねじれ振動させる。これにより、ミラー部 1 1 は、回転軸線 2 2 y の回りに共振周波数で往復回転する。

【 0 0 3 2 】

[ S O I ウェハ ]

図 2 A 及び図 2 B は、光偏向器 1 0 の製造に使用する S O I ウェハ 2 5 a , 2 5 b の正面図である。各 S O I ウェハ 2 5 の正面は、各 S O I ウェハ 2 5 の表面側の主面になっている。

【 0 0 3 3 】

50

図 2 A 及び図 2 B に図示してある座標軸は、S O I ウェハ 2 5 のシリコン単結晶から形成される活性層 2 8 d ( 図 1 1 ) 内の方位を示している。オリフラ 2 6 は、S O I ウェハ 2 5 の活性層 2 8 d ( シリコン単結晶層 ) の結晶方位を示す。

【 0 0 3 4 】

各 S O I ウェハ 2 5 からは、複数の光偏向器 1 0 が切り出される。図 2 A 及び図 2 B において、光偏向器 1 0 の外形が矩形の波線で示されている。該矩形の長辺及び短辺は、図 1 の光偏向器 1 0 の正面図の固定枠部 1 6 の横辺 ( 長辺 ) 及び縦辺 ( 短辺 ) に対応している。

【 0 0 3 5 】

オリフラ 2 6 a は、 $\langle 1 0 0 \rangle$  の方向にある。したがって、S O I ウェハ 2 5 a の主面の面指数は、 $( 1 0 0 )$  である。一方、オリフラ 2 6 b は、 $\langle 1 1 0 \rangle$  の方向にある。したがって、支持層 2 8 b の主面の面指数は、 $( 1 1 0 )$  である。

【 0 0 3 6 】

後述の図 1 1 で説明するように、光偏向器 1 0 の基板層は、S O I ウェハ 2 5 の活性層 2 8 d から構成される。図 2 の波線の矩形は、各光偏向器 1 0 の外形を示している。したがって、トーションバー 1 2 の軸方向 ( = 延在方向 ) は、S O I ウェハ 2 5 a , 2 5 b 共に、 $\langle 1 0 0 \rangle$  となる。これは、回転軸線 2 2 y の回りのミラー部 1 1 の共振周波数を高くするには、トーションバー 1 2 の軸方向を  $\langle 1 0 0 \rangle$  に合わせることが有利だからである。トーションバー 1 2 の軸方向を  $\langle 1 0 0 \rangle$  に合わせると、トーションバー 1 2 のねじり剛性が高くなる。

【 0 0 3 7 】

したがって、S O I ウェハ 2 5 a では、トーションバー 1 2 の軸方向は、オリフラ 2 6 a に対して直交する方向となる。また、S O I ウェハ 2 5 b では、トーションバー 1 2 の軸方向は、オリフラ 2 6 b に対して  $45^\circ$  の方向になる。

【 0 0 3 8 】

[ R 部 ]

図 3 は、図 2 においてトーションバー 1 2 を含む範囲の拡大図である。該中心部には、可動枠部 1 4 と、可動枠部 1 4 が内側に包囲するミラー部 1 1、トーションバー 1 2 及び内側圧電アクチュエータ 1 3 とが含まれる。図 3 には、X 軸 - Y 軸 - Z 軸の 3 軸座標系と、結晶方位の方向とが示されている。X 軸及び Y 軸は、 $\langle 1 0 0 \rangle$  に一致する。X 軸及び Y 軸に対して  $45^\circ$  の方向は、 $\langle 1 1 0 \rangle$  に一致する。

【 0 0 3 9 】

各トーションバー 1 2 は、中心 O 側においてミラー部 1 1 の周縁部に結合し、中心 O とは反対側において可動枠部 1 4 に結合している。各内側圧電アクチュエータ 1 3 は、半楕円輪の形状の両端部においてトーションバー 1 2 a , 1 2 b のそれぞれに結合し、該形状の外周の中央部において可動枠部 1 4 の内周に結合している。

【 0 0 4 0 】

各トーションバー 1 2 が、ミラー部 1 1、内側圧電アクチュエータ 1 3、及び可動枠部 1 4 に結合する結合縁部は、強度を高めるために、R 部 3 1 が形成される。R 部 3 1 は、内側にへこむ湾曲面で形成されている。

【 0 0 4 1 】

詳細には、R 部 3 1 a a , 3 1 b a は、各トーションバー 1 2 とミラー部 1 1 との結合縁部を構成する。R 部 3 1 a b , 3 1 b b は、各トーションバー 1 2 と内側圧電アクチュエータ 1 3 とのミラー部 1 1 側の結合縁部を構成する。R 部 3 1 a c , 3 1 b c は、各トーションバー 1 2 と内側圧電アクチュエータ 1 3 との可動枠部 1 4 側の結合縁部を構成する。R 部 3 1 a d , 3 1 b d は、各トーションバー 1 2 と可動枠部 1 4 の内周側との結合縁部を構成する。

【 0 0 4 2 】

R 部 3 1 は、角部 ( コーナ部 ) の補強のために、形成されているものの、この光偏向器 1 0 では、問題点が生じる。すなわち、図 2 A 及び図 2 B で前述したように、トーション

10

20

30

40

50

バー 1 2 の軸方向を活性層 2 8 d の  $\langle 1 0 0 \rangle$  に合わせるために、トーションバー 1 2 の各結合縁部に形成された R 部 3 1 の湾曲面は、 $\langle 1 1 0 \rangle$  の劈開方向を向く面素、換言すれば、法線が  $\langle 1 1 0 \rangle$  の方向になる面素を含むことになる。この結果、該湾曲面には、該面素の箇所から劈開が進み易くなる。

【 0 0 4 3 】

図 4 は、シミュレーションによるトーションバー 1 2 の表面応力の分布イメージである。図 5 は、シミュレーションによるトーションバー 1 2 の断面応力の分布イメージである。白っぽい領域ほど、応力が高いことを意味している。

【 0 0 4 4 】

図 4 及び図 5 から、R 部 3 1 a a , 3 1 b a , 3 1 a b , 3 1 b b ( 図 3 ) に対応する部分の応力が、他の部分に比してひととき高くなっていることが分かる。

10

【 0 0 4 5 】

図 6 は、R 部 3 1 の後述のうねり量に対する対策の施されていない光偏向器 1 0 におけるトーションバー 1 2 の破壊を観察した顕微鏡観察図である。図 7 は、図 6 の破断面 3 7 を所定方向から観察した S E M 観察像である。

【 0 0 4 6 】

図 6 では、R 部 3 1 の破壊のため、トーションバー 1 2 b がミラー部 1 1 と内側圧電アクチュエータ 1 3 との間で破損している。図 7 では、破断面 3 7 と共にその近傍の表面 3 5 ( 正面側の面 ) と湾曲面 3 6 ( 湾曲曲面 ) とが映し出されている。

【 0 0 4 7 】

20

[ うねり量 ]

図 8 は、R 部 3 1 に表面粗さについての J I S 規格を適用したときのうねり量についての説明図である。J I S 規格とは、具体的には、「 J I S B 0 6 0 1 - 1 9 9 4 」であるが、それに準ずる基準を含むものとする。

【 0 0 4 8 】

「 J I S B 0 6 0 1 - 1 9 9 4 」では、表面粗さについて、測定断面曲線、断面曲線、基準長さ、粗さ曲線、山、谷、山頂、谷底、及び平均線が定義されている。図 8 の各語句は、それらの定義に準拠している。

【 0 0 4 9 】

測定断面曲線は、R 部 3 1 の湾曲面を X - Y 平面に平行な所定の断面 ( 例 : Z 軸の厚みの中心を通る断面 ) で切ったときの輪郭線である。ここで輪郭線の両端は、R 部 3 1 の輪郭が  $\langle 1 0 0 \rangle$  に平行になった位置とした。該測定断面曲線は、基準長さの方向 ( 図 8 の横軸 ) に 3 等分割される。基準長さの方向への各分割区分の長さを L とする。

30

【 0 0 5 0 】

ここで、上述の J I S 規格とは、別途、「うねり曲線」、「周期」及び「うねり量」を定義する。

【 0 0 5 1 】

うねり曲線とは、R 部 3 1 を S O I ウェハ 2 5 の主面に対して平行な平面で切ったときの輪郭線を言うものとする。前述の J I S 規格では、測定断面曲線に対して最小二乗法による平均線が設定される。次のうねり量の計算では、うねり曲線に対して最小二乗法による平均線が設定される。そして、うねり曲線上の各位置における該平均線からの距離をうねり量と定義する。

40

【 0 0 5 2 】

周期とは、図 8 において、粗さ曲線をうねり曲線に置き換えたとき、山頂と山頂との間の区間を言うものとする。また、上記平面とは、R 部 3 1 の表面である。R 部 3 1 の表面は、光偏向器の 1 0 の表面から浅い位置にあり、R 部 3 1 の輪郭線を測定し易い。

【 0 0 5 3 】

図 8 において、T a , B a は、R 部 3 1 の全体の周期のうち、最大うねり量と最小うねり量との差分が最大となる周期における最大うねり量及び最小うねり量を示している。T b , B b は、3 等分割における中央の区分に含まれる周期のうち、最大うねり量と最小う

50



ねり量との差分が最大となる周期における最大うねり量及び最小うねり量を示している。  
 $Tb - Bb$ の差分  $Ta - Ba$ の差分の関係がある。

#### 【 0 0 5 4 】

図 9 は、R 部 3 1 のうねり量と H 限界振れ角との関係のグラフである。ここで、「H 限界振れ角」とは、トーションバー 1 2 が破断したときの回転軸線 2 2 y の回りのミラー部 1 1 の最大振れ角である。トーションバー 1 2 の破断を防止するためには、光偏向器 1 0 は、回転軸線 2 2 y の回りのミラー部 1 1 の振れ角を H 限界振れ角未満にして、使用されなければならない。

#### 【 0 0 5 5 】

なお、ミラー部 1 1 の振れ角には、回転軸線 2 2 y の回りの振れ角と、回転軸線 2 2 x の回りの振れ角との 2 種類がある。両者を区別するときは、回転軸線 2 2 y の回りの振れ角は、「H 振れ角」と言い、回転軸線 2 2 x の回りの振れ角は、「V 振れ角」と言うことにする。ミラー部 1 1 が真正面を向いたとき、H 振れ角及び V 振れ角は、共に  $0^\circ$  と定義する。またこの各々の振れ角は、機械的振れ角である。

#### 【 0 0 5 6 】

図 9 において、縦軸の各数値は、H 限界振れ角の相対値を意味する。H 限界振れ角 = 1 . 0 は、光偏向器 1 0 を車載製品として使用するとき H 限界振れ角についての最大許容値を意味する。光偏向器 1 0 を実際に製品として販売するときは、20 % 下の H 限界振れ角 = 0 . 8 以上を保証する必要がある。そのためには、R 部 3 1 の湾曲面のうねり量は、600 nm 以内に設定すればよいことが、図 9 から分かる。

#### 【 0 0 5 7 】

##### [ 劈開の抑制 ]

光偏向器 1 0 において、R 部 3 1 の劈開を抑制する構造について説明する。R 部 3 1 (特に、R 部 3 1 a a , 3 1 b a と R 部 3 1 a b , 3 1 b b との内の少なくとも一方) の所定部分に含まれる全部の周期について、各周期の最大うねり量と最小うねり量との差分が 600 nm 以下にされる。これにより、R 部 3 1 が、結晶方位の  $\langle 110 \rangle$  の方向に法線を向ける部位を有していても、該部位からの劈開を有効に防止することができる。なお、少なくとも一方は、典型的には、R 部 3 1 a b , 3 1 b b である。

#### 【 0 0 5 8 】

上記の対策を換言すると、各 R 部 3 1 は、各要素間の結合縁部として内側にへこむ円柱曲面で形成されている。R 部 3 1 の所定部分は、円柱曲面に対する凹凸が 600 nm 以下となるように、形成されている。

#### 【 0 0 5 9 】

所定部分の両端(例：図 8 の抽出長さの両端に相当)は、円柱曲面を 3 等分割したときの中央の分割部分の両端の外側に設定されている。中央の分割部分は、図 8 の粗さ曲線において、基準長さの方向(横軸方向)に 3 つある曲線部分のうち、中央の曲線部分に相当する。

#### 【 0 0 6 0 】

円柱曲面とは、円柱の理想の側面(凹凸 0 の側面)を含む。さらに、円柱の理想の側面に対し、所定の第 1 閾値以内の凹凸で収まる側面や、所定の第 1 閾値以内の凹凸で収まりかつ側面の任意方向の単位長さ当たりの隆起量又は沈降量が第 2 閾値以内となる曲面も包含するとする。

#### 【 0 0 6 1 】

所定部分の両端を中央の分割部分の両端の外側に設定した理由は、次のとおりである。すなわち、トーションバー 1 2 の軸方向は、シリコン単結晶層の結晶方位の  $\langle 100 \rangle$  であるので、R 部 3 1 における劈開方向は、円柱曲面を 3 等分割したときの中央の分割部分内に存在するからである。

#### 【 0 0 6 2 】

##### [ 製造方法 ]

図 10 は、R 部 3 1 のうねり量が 600 nm 以内にする光偏向器 1 0 の製造方法の工程

10

20

30

40

50

図であり、特にＳＯＩ加工工程に関しての一例である。

【００６３】

ＳＴＥＰ１では、ＳＯＩウェハ２５（図２ＡのＳＯＩウェハ２５ａ又は図２ＢのＳＯＩウェハ２５ｂ）が用意される。

【００６４】

次のＳＴＥＰ２では、ＳＯＩウェハ２５の表面４０に素子形成層４２が形成される。素子形成層４２は、具体的には、図１１の電極層４２ａ、圧電膜層４２ｂ及び電極層４２ｃである。

【００６５】

ＳＴＥＰ３は、被覆工程に相当する。ＳＴＥＰ３では、表面４０付きのＳＯＩウェハ２５に対し、ノズル４３から感光剤４４を滴下しつつ、スピンの回転４５の操作を行う。これにより、感光剤４４は、素子形成層４２の表面に均一に広がる。

10

【００６６】

従来の感光剤の塗布工程では、感光剤としてＡＺ４６２０（粘度：４００ｃＳｔ）が使用される。また、スピンの回転４５は、１０００ｒｐｍ～２０００ｒｐｍである。これより素子形成層４２の表面に形成されるレジスト膜層の膜厚は、１０μｍより大きくなっていた。スピンの回転４５の回転速度を上げて、レジスト膜層４８の膜厚を薄くしようとすると、今度は、膜厚ムラが増大する。

【００６７】

これに対し、ＳＴＥＰ３では、感光剤４４としてＡＺ６１３０使用（粘度：７０ｃＳｔ）が使用される。また、スピンの回転４５は、５００ｒｐｍ～１０００ｒｐｍである。これより、ＳＴＥＰ４では、膜厚が均一化されたレジスト膜層４８が、素子形成層４２の表面側に形成される。これにより、レジスト膜層４８の膜厚は、５μｍ以上でかつ１０μｍ以下になる。

20

【００６８】

なお、膜厚が５μｍ未満であると、ＭＥＭＳの凹凸の段差分構造をカバーできなくなる。また、膜厚が１０μｍを上回ると、素子形成層４２の表面に均一に感光剤４４を塗布することができず、Ｒ部３１の湾曲面のうねり量が、６００ｎｍ以内であることを満足できなくなる。

【００６９】

30

ＳＴＥＰ５では、フォトリソマスク５０がレジスト膜層４８付きのＳＯＩウェハ２５に被覆される。フォトリソマスク５０は、１つのＳＯＩウェハ２５から製造する光偏向器１０の個数及び配置に応じたパターン５２を有している。

【００７０】

ＳＴＥＰ５では、本発明の露光工程として、さらに、フォトリソマスク５０の表面側から紫外光５１が照射される。レジスト膜層４８のうち、フォトリソマスク５０のパターン５２の領域は、紫外光５１により露光される。

【００７１】

図１１は、ＳＴＥＰ５の後、さらに、エッチング工程を経て製造された光偏向器１０の横断面図である。ＳＯＩウェハ２５は、裏面側から表面側に、ＳｉＯ<sub>2</sub>層２８ａ、支持層２８ｂ、ＳｉＯ<sub>2</sub>層２８ｃ、活性層２８ｄ及びＳｉＯ<sub>2</sub>層２８ｅを積層して有している。素子形成層４２は、ＳＯＩウェハ２５側から順番に電極層４２ａ、圧電膜層４２ｂ及び電極層４２ｃを積層して有している。

40

【００７２】

ミラー部１１は、ＳｉＯ<sub>2</sub>層２８ｅの表面を被覆する金属層５４を有している。金属層５４の表面は、不図示の光源からミラー部１１に入射する光に対する反射面となる。活性層２８ｄは、ミラー部１１、内側圧電アクチュエータ１３及び外側圧電アクチュエータ１５の共通の基板層を形成している。

【００７３】

図１２Ａは、レジスト膜層４８の膜厚を規定の１０μｍを超えているレジスト膜層４８

50

の断面及び該膜厚で製造した R 部 3 1 の湾曲曲面のうねり量とを観察した S E M 観察像である。図 1 2 B は、レジスト膜層 4 8 の膜厚を規定の 1 0  $\mu$  m 以内になっているレジスト膜層 4 8 の断面及び該膜厚で製造した R 部 3 1 の湾曲曲面のうねり量を観察した S E M 観察像である。

【 0 0 7 4 】

図 1 2 A と図 1 2 B の T E M 観察像の対比から、レジスト膜層 4 8 の膜厚を規定の 1 0  $\mu$  m 未満にすると、該膜厚で製造した R 部 3 1 の湾曲曲面を所望の 6 0 0 n m 以内に抑えられることが理解できる。

【 0 0 7 5 】

[ 変形例及び補足 ]

実施形態の光偏向器 1 0 は、2 軸式、すなわちミラー部からの走査光が二次元で走査する光偏向器になっている。本発明の光偏向器は、1 軸式、すなわちミラー部からの走査光が一次元で走査する光偏向器であってもよい。

【 0 0 7 6 】

実施形態の光偏向器 1 0 は、Y 軸方向に圧電式アクチュエータとしての内側圧電アクチュエータ 1 3 との結合部を超えて、可動枠部 1 4 ( 可動枠 ) の内周に達して、該内周に結合している。本発明の光偏向器では、トーションバーは、支持部としての可動枠部 1 4 には、結合していなくてもよい。

【 0 0 7 7 】

実施形態では、フォトリソ膜としてのレジスト膜層 4 8 としての感光剤 4 4 は、A Z 6 1 3 0 使用 ( 粘度 : 7 0 c S t ) が採用されている。本発明のフォトリソ膜を形成する感光剤は、5  $\mu$  m 以上で 1 0  $\mu$  m 以下である均一な膜厚のフォトリソ膜で露光工程前の基板の表面側を被覆することができるのであれば、感光剤の種類は問わない。

【 0 0 7 8 】

実施形態の R 部 3 1 a a , 3 1 b a は、本発明の第 1 R 部に対応する。R 部 3 1 a b , 3 1 b b は、本発明の第 2 R 部に対応する。実施形態では、図 1 0 の S T E P 4 で説明したように、S O I 2 5 の表面 4 0 の全体が 5  $\mu$  m 以上でかつ 1 0  $\mu$  m 以下の膜厚のレジスト膜層 4 8 で被覆される。このため、R 部 3 1 a a , 3 1 b a , 3 1 a b , 3 1 b b だけでなく、その他の R 部 3 1 a c , 3 1 b c , 3 1 a d , 3 1 b d 、さらには、ミアンダパターンで結合しているカンチレバー 1 9 の連結部の R 部のうねり量も、6 0 0 n m 以内にされている。本発明では、うねり量を 6 0 0 n m 以内にされる R 部は、R 部 3 1 a b , 3 1 b b のみでも可とする。

【 0 0 7 9 】

実施形態では、図 1 0 の S T E P 4 で説明したように、S O I 2 5 の表面 4 0 の全体が 5  $\mu$  m 以上でかつ 1 0  $\mu$  m 以下の膜厚のレジスト膜層 4 8 で被覆される。このため、R 部の粗さ曲線の抽出長さの範囲に含まれる各周期に限定することなく、R 部の粗さ曲線の全長に含まれる各周期の最大うねり量と最小うねり量との差分を 6 0 0 n m 以下にすることもできる。

【 符号の説明 】

【 0 0 8 0 】

1 0 . . . 光偏向器、1 1 . . . ミラー部、1 2 . . . トーションバー、1 3 . . . 内側圧電アクチュエータ、1 4 . . . 可動枠部、2 2 x , 2 2 y . . . 回転軸線、2 5 . . . S O I ウェハ、2 8 d . . . 活性層、3 1 . . . R 部、3 6 . . . 湾曲面、4 0 . . . 表面、4 2 . . . 素子形成層、4 4 . . . 感光剤、4 5 . . . スピン回転、4 8 . . . レジスト膜層、5 2 . . . パターン。

10

20

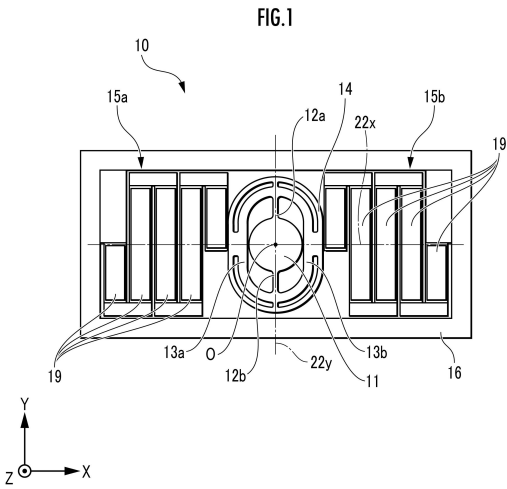
30

40

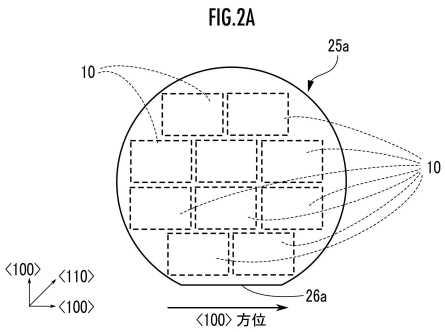
50

【図面】

【図 1】

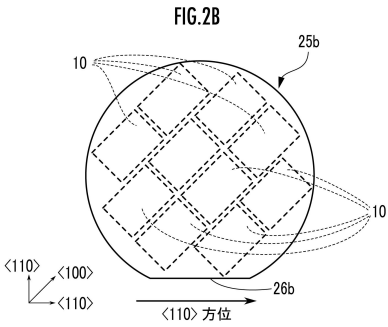


【図 2 A】

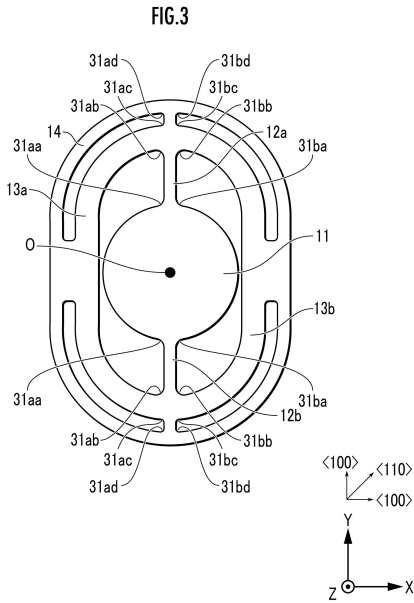


10

【図 2 B】



【図 3】



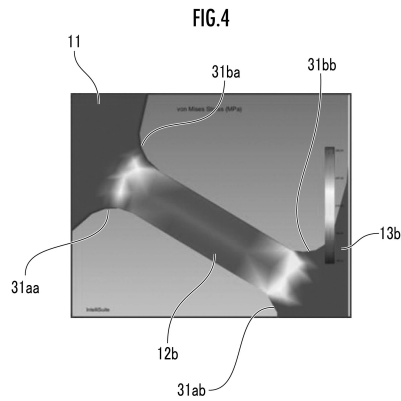
20

30

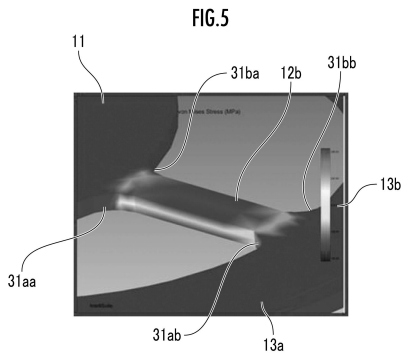
40

50

【 図 4 】



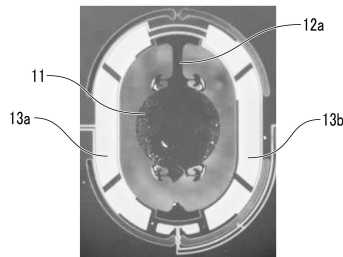
【 図 5 】



10

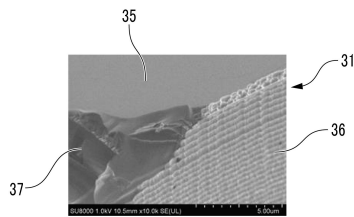
【 図 6 】

FIG.6



【 図 7 】

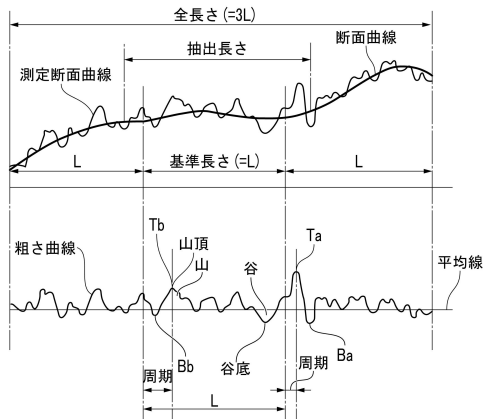
FIG.7



20

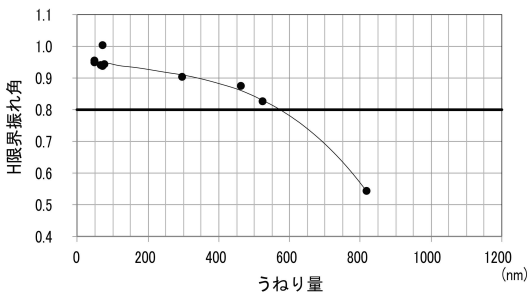
【 図 8 】

FIG.8



【 図 9 】

FIG.9

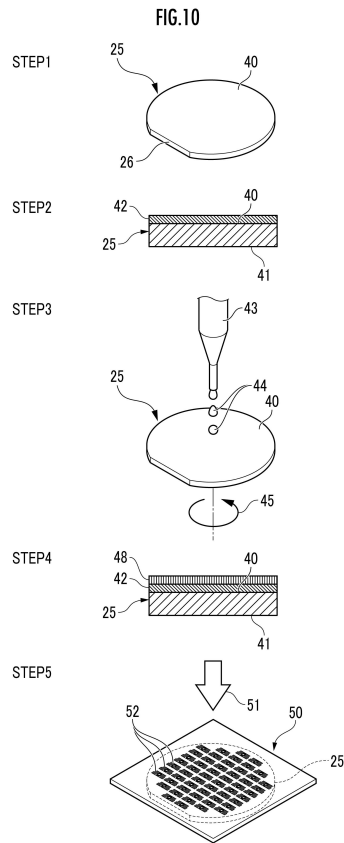


30

40

50

【 図 1 0 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献      国際公開第 2 0 1 0 / 1 3 1 5 5 7 ( W O , A 1 )  
                    特開 2 0 0 6 - 3 1 9 3 8 7 ( J P , A )  
                    特開 2 0 1 2 - 0 6 3 4 1 3 ( J P , A )  
                    特開 2 0 1 4 - 1 0 2 3 5 4 ( J P , A )  
                    米国特許出願公開第 2 0 0 7 / 0 0 0 8 4 0 1 ( U S , A 1 )
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- G 0 2 B   2 6 / 0 0 - 2 6 / 1 2  
                    B 8 1 B   3 / 0 0  
                    B 8 1 C   1 / 0 0  
                    J a p i o - G P G / F X  
                    J S T P l u s / J M E D P l u s / J S T 7 5 8 0 ( J D r e a m I I I )