

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年12月10日(10.12.2020)



(10) 国際公開番号

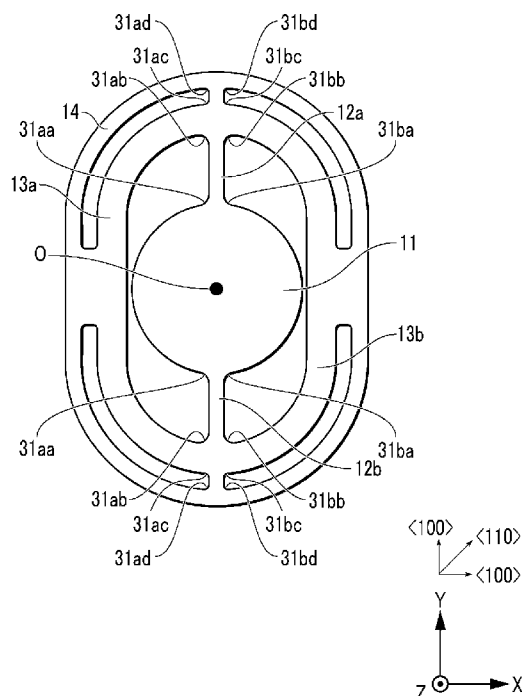
WO 2020/246245 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 26/10 (2006.01) *B81C 1/00* (2006.01)
B81B 3/00 (2006.01) *G02B 26/08* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/019976
- (22) 国際出願日: 2020年5月20日(20.05.2020)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2019-106111 2019年6月6日(06.06.2019) JP
- (71) 出願人: スタンレー電気株式会社 (STANLEY ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1538636 東京都目黒区中目黒2丁目9番13号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 秋山 慶太(AKIYAMA Keita); 〒1538636 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 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人創成国際特許事務所 (SATO & ASSOCIATES); 〒1600023 東京都新宿区西新宿6-24-1 西新宿三井ビルディング 18階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: LIGHT DEFLECTOR AND MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 光偏向器及び製造方法

FIG.3



(57) Abstract: Provided is a light deflector that can suppress cleavage of a radius provided at a joint of a torsion bar 12. The light deflector 10 includes a mirror section 11, a pair of torsion bars 12, an inside piezoelectric actuator 13, and a movable frame section 14. The crystal orientation in the axial direction of the torsion bar 12 is <100>. Radii 31ab, 31bb are formed at joint edges of the torsion bars 12 and the inside piezoelectric actuator 13, so as to each have a curved surface that is oriented in <110> and recessed inward. The waviness associated with a roughness curve derived from the curved

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

surfaces is set to be within 600 nm.

(57) 要約：トーションバー12の結合部に設けられたR部の劈開を抑制することができる光偏向器を提供する。光偏向器10は、ミラー部11、1対のトーションバー12、内側圧電アクチュエータ13及び可動枠部14を備える。トーションバー12の軸方向を結晶方位を<100>としている。トーションバー12と内側圧電アクチュエータ13との結合縁部には、R部31a b, 31b bが、<110>に向けられて、かつ内側にへこむ湾曲面で形成されている。該湾曲面から導出される粗さ曲線についてのうねり量は、600nm以内にされる

明 細 書

発明の名称：光偏向器及び製造方法

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

特許文献

[0004] 特許文献1：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] 一方、トーションバーの軸線の回りのミラー部の往復回転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 $\langle 100 \rangle$ 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 $\langle 100 \rangle$ 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証することができる。
- [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] 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。この構成によれば、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。
- [0017] 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。
- [0018] 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。
- [0019] 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。

[0020] 本発明の製造方法は、

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１Ｒ部及び前記第２Ｒ部の輪郭を形成する輪郭形成工程と、
を有する。

[0021] 本発明の製造方法によれば、第１Ｒ部及び第２Ｒ部の湾曲面のうねり量が６００nm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

[0022] [図１]ＭＥＭＳの光偏向器の正面図である。

[図２Ａ]光偏向器の製造に使用するＳＯＩウェハの正面図である。

[図２Ｂ]光偏向器の製造に使用する別のＳＯＩ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である。

[図８]Ｒ部の湾曲面に表面粗さについてのＪＩＳ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。

[図10] 光偏向器の製造方法の工程図である。

[図11] 図10の製造方法で製造された光偏向器の横断面図である。

[図12A] 膜厚が規定の $10\mu\text{m}$ 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SEM観察像である。

[図12B] 膜厚が規定の $10\mu\text{m}$ 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SEM観察像である。

発明を実施するための形態

[0023] 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。

[0024] [MEMS光偏向器]

図1は、MEMSの光偏向器10の正面図（表側から見た図）である。光偏向器10は、主要な要素として、ミラー部11、トーションバー12a、12b、内側圧電アクチュエータ13a、13b、可動枠部14、外側圧電アクチュエータ15a、15b及び固定枠部16を備えている。

[0025] 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10の正面視で横方向及び縦方向とする。Z軸は、光偏向器10の厚み方向とする。Oは、円形のミラー部11の中心である。

[0026] ミラー部11は、中心Oにおいて直交する回転軸線22x、22yの回りに往復回転可能になっている。回転軸線22x、22yは、ミラー部11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。

[0027] 1対のトーションバー12a, 12bは、ミラー部11の両側から回転軸線22yに沿って延び出ている。1対の内側圧電アクチュエータ13a, 13bは、X軸方向に相互に結合して、全体で縦長の橢円輪を形状を有している。該橢円輪は、ミラー部11及びトーションバー12を包囲している。

[0028] 可動枠部14は、1対の内側圧電アクチュエータ13a, 13bが形成する橢円輪より大きい橢円輪の形状を有している。該橢円輪は、1対の内側圧電アクチュエータ13a, 13bの橢円輪を包囲している。各内側圧電アクチュエータ13は、中心Oを通るX軸方向の直線上において可動枠部14の内周に結合している。

[0029] 各外側圧電アクチュエータ15は、可動枠部14と固定枠部16との間に介在する。各外側圧電アクチュエータ15は、縦方向をY軸に揃えた複数のカンチレバー19を備えている。X軸方向に隣り同士のカンチレバー19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19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15における複数のカンチレバー19の全体は、ミアンダパターンの結合体を構成する。

[0030] 外側圧電アクチュエータ15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14を、中心Oを通るX軸方向の回転軸線（≠回転軸線22x）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11は、回転軸線22xの回りに非共振周波数で往復回転する。

[0031] 内側圧電アクチュエータ13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12を回転軸線22y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11は、回転軸線22yの回りに共振周波数で往復回転する。

[0032] [S O I ウェハ]

図2A及び図2Bは、光偏向器10の製造に使用するS O I ウェハ25a, 25bの正面図である。各S O I ウェハ25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。

[0033] 図2A及び図2Bに図示してある座標軸は、SOIウェハ25のシリコン単結晶から形成される活性層28d(図11)内の方位を示している。オリフラ26は、SOIウェハ25の活性層28d(シリコン単結晶層)の結晶方位を示す。

[0034] 各SOIウェハ25からは、複数の光偏向器10が切り出される。図2A及び図2Bにおいて、光偏向器10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10の正面図の固定枠部16の横辺(長辺)及び縦辺(短辺)に対応している。

[0035] オリフラ26aは、 $\langle 100 \rangle$ の方向にある。したがって、SOIウェハ25aの主面の面指数は、 (100) である。一方、オリフラ26bは、 $\langle 110 \rangle$ の方向にある。したがって、支持層28bの主面の面指数は、 (110) である。

[0036] 後述の図11で説明するように、光偏向器10の基板層は、SOIウェハ25の活性層28dから構成される。図2の波線の矩形は、各光偏向器10の外形を示している。したがって、トーションバー12の軸方向(=延在方向)は、SOIウェハ25a、25b共に、 $\langle 100 \rangle$ となる。これは、回転軸線22yの回りのミラー部11の共振周波数を高くするには、トーションバー12の軸方向を $\langle 100 \rangle$ に合わせることが有利だからである。トーションバー12の軸方向を $\langle 100 \rangle$ に合わせると、トーションバー12のねじり剛性が高くなる。

[0037] したがって、SOIウェハ25aでは、トーションバー12の軸方向は、オリフラ26aに対して直交する方向となる。また、SOIウェハ25bでは、トーションバー12の軸方向は、オリフラ26bに対して 45° の方向になる。

[0038] [R部]

図3は、図2においてトーションバー12を含む範囲の拡大図である。該中心部には、可動枠部14と、可動枠部14が内側に包囲するミラー部11

、トーションバー 12 及び内側圧電アクチュエータ 13 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、 $\langle 100 \rangle$ に一致する。X 軸及び Y 軸に対して 45° の方向は、 $\langle 110 \rangle$ に一致する。

[0039] 各トーションバー 12 は、中心 O 側においてミラー部 11 の周縁部に結合し、中心 O とは反対側において可動枠部 14 に結合している。各内側圧電アクチュエータ 13 は、半楕円輪の形状の両端部においてトーションバー 12 a, 12 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 14 の内周に結合している。

[0040] 各トーションバー 12 が、ミラー部 11、内側圧電アクチュエータ 13、及び可動枠部 14 に結合する結合縁部は、強度を高めるために、R 部 31 が形成される。R 部 31 は、内側にへこむ湾曲面で形成されている。

[0041] 詳細には、R 部 31 a a, 31 b a は、各トーションバー 12 とミラー部 11 との結合縁部を構成する。R 部 31 a b, 31 b b は、各トーションバー 12 と内側圧電アクチュエータ 13 とのミラー部 11 側の結合縁部を構成する。R 部 31 a c, 31 b c は、各トーションバー 12 と内側圧電アクチュエータ 13 との可動枠部 14 側の結合縁部を構成する。R 部 31 a d, 31 b d は、各トーションバー 12 と可動枠部 14 の内周側との結合縁部を構成する。

[0042] R 部 31 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 10 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、トーションバー 12 の軸方向を活性層 28 d の $\langle 100 \rangle$ に合わせるために、トーションバー 12 の各結合縁部に形成された R 部 31 の湾曲面は、 $\langle 110 \rangle$ の劈開方向を向く面素、換言すれば、法線が $\langle 110 \rangle$ 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。

[0043] 図 4 は、シミュレーションによるトーションバー 12 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 12 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。

[0044] 図4及び図5から、R部31aa, 31ba, 31ab, 31bb(図3)に対応する部分の応力が、他の部分に比してひときわ高くなっていることが分かる。

[0045] 図6は、R部31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10におけるトーションバー12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37を所定方向から観察したSEM観察像である。

[0046] 図6では、R部31の破壊のため、トーションバー12bがミラー部11と内側圧電アクチュエータ13との間で破損している。図7では、破断面37と共にその近傍の表面35(正面側の面)と湾曲面36(湾曲曲面)とが映し出されている。

[0047] [うねり量]

図8は、R部31に表面粗さについてのJIS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。JIS規格とは、具体的には、「JIS B 0601-1994」であるが、それに準ずる基準を含むものとする。

[0048] 「JIS B 0601-1994」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。

[0049] 測定断面曲線は、R部31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31の輪郭が<100>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。

[0050] ここで、上述のJIS規格とは、別途、「うねり曲線」、「周期」及び「うねり量」を定義する。

[0051] うねり曲線とは、R部31をSOIウェハ25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JIS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。

[0052] 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31の表面である。R部31の表面は、光偏向器の10の表面から浅い位置にあり、R部31の輪郭線を測定し易い。

[0053] 図8において、 T_a 、 B_a は、R部31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。 $T_b - B_b$ の差分 $\leq T_a - B_a$ の差分の関係がある。

[0054] 図9は、R部31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12が破断したときの回転軸線22yの回りのミラー部11の最大振れ角である。トーションバー12の破断を防止するためには、光偏向器10は、回転軸線22yの回りのミラー部11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。

[0055] なお、ミラー部11の振れ角には、回転軸線22yの回りの振れ角と、回転軸線22x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22yの回りの振れ角は、「H振れ角」と言い、回転軸線22xの回りの振れ角は、「V振れ角」と言うことにする。ミラー部11が真正面を向いたとき、H振れ角及びV振れ角は、共に 0° 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。

[0056] 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10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10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。

る。そのためには、R部31の湾曲面のうねり量は、600nm以内に設定すればよいことが、図9から分かる。

[0057] [劈開の抑制]

光偏向器10において、R部31の劈開を抑制する構造について説明する。R部31（特に、R部31aa, 31baとR部31ab, 31bb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600nm以下にされる。これにより、R部31が、結晶方位の<110>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31ab, 31bbである。

[0058] 上記の対策を換言すると、各R部31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31の所定部分は、円柱曲面に対する凹凸が600nm以下となるように、形成されている。

[0059] 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。

[0060] 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。

[0061] 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12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、R部31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。

[0062] [製造方法]

図10は、R部31のうねり量が600nm以内にする光偏向器10の製造方法の工程図であり、特にSOI加工工程に関しての一例である。

- [0063] STEP 1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STEP 2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] STEP 3は、被覆工程に相当する。STEP 3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。
- [0066] 従来の感光剤の塗布工程では、感光剤としてAZ4620（粘度：400 cSt）が使用される。また、スピン回転45は、1000 rpm～2000 rpm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、10 μ mより大きくなっていた。スピン回転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、STEP 3では、感光剤44としてAZ6130使用（粘度：70 cSt）が使用される。また、スピン回転45は、500 rpm～1000 rpmである。これより、STEP 4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、5 μ m以上でかつ10 μ m以下になる。
- [0068] なお、膜厚が5 μ m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10 μ m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、600 nm以内であることを満足できなくなる。
- [0069] STEP 5では、フォトマスク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] STEP 5では、本発明の露光工程として、さらに、フォトマスク50の

表面側から紫外光 5 1 が照射される。レジスト膜層 4 8 のうち、フォトマスク 5 0 のパターン 5 2 の領域は、紫外光 5 1 により露光される。

[0071] 図 1 1 は、STEP 5 の後、さらに、エッチング工程を経て製造された光偏向器 1 0 の横断面図である。SOI ウェハ 2 5 は、裏面側から表面側に、SiO₂ 層 2 8 a、支持層 2 8 b、SiO₂ 層 2 8 c、活性層 2 8 d 及び SiO₂ 層 2 8 e を積層して有している。素子形成層 4 2 は、SOI ウェハ 2 5 側から順番に電極層 4 2 a、圧電膜層 4 2 b 及び電極層 4 2 c を積層して有している。

[0072] ミラー部 1 1 は、SiO₂ 層 2 8 e の表面を被覆する金属層 5 4 を有している。金属層 5 4 の表面は、不図示の光源からミラー部 1 1 に入射する光に対する反射面となる。活性層 2 8 d は、ミラー部 1 1、内側圧電アクチュエータ 1 3 及び外側圧電アクチュエータ 1 5 の共通の基板層を形成している。

[0073] 図 1 2 A は、レジスト膜層 4 8 の膜厚を規定の 1 0 μ m を超え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とを観察した SEM 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 μ 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 SEM 観察像である。

[0074] 図 1 2 A と図 1 2 B の TEM 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 μ 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 nm 以内に抑えられることが理解できる。

[0075] [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。

[0076] 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。

[0077] 実施形態では、フォトリソ膜としてのレジスト膜層48としての感光剤44は、AZ6130使用(粘度:70cSt)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 μ m以上で10 μ 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。

[0078] 実施形態のR部31aa, 31baは、本発明の第1R部に対応する。R部31ab, 31bbは、本発明の第2R部に対応する。実施形態では、図10のSTEP4で説明したように、SOI25の表面40の全体が5 μ m以上でかつ10 μ m以下の膜厚のレジスト膜層48で被覆される。このため、R部31aa, 31ba, 31ab, 31bbだけでなく、その他のR部31ac, 31bc, 31ad, 31bd、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19の連結部のR部のうねり量も、600nm以内にされている。本発明では、うねり量を600nm以内にされるR部は、R部31ab, 31bbのみでも可とする。

[0079] 実施形態では、図10のSTEP4で説明したように、SOI25の表面40の全体が5 μ m以上でかつ10 μ m以下の膜厚のレジスト膜層48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600nm以下にすることもできる。

符号の説明

[0080] 10・・・光偏向器、11・・・ミラー部、12・・・トーションバー、13・・・内側圧電アクチュエータ、14・・・可動枠部、22x, 22y・・・回転軸線、25・・・SOIウェハ、28d・・・活性層、31・・・R部、36・・・湾曲面、40・・・表面、42・・・素子形成層、44・・・感光剤、45・・・スピン回転、48・・・レジスト膜層、52・・・パターン。

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 $\langle 100 \rangle$ 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3]

請求項1又は2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。

[請求項4] 請求項3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5] 請求項1～4のいずれか1項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6] 請求項1～5のいずれか1項に記載の光偏向器の製造方法であって、

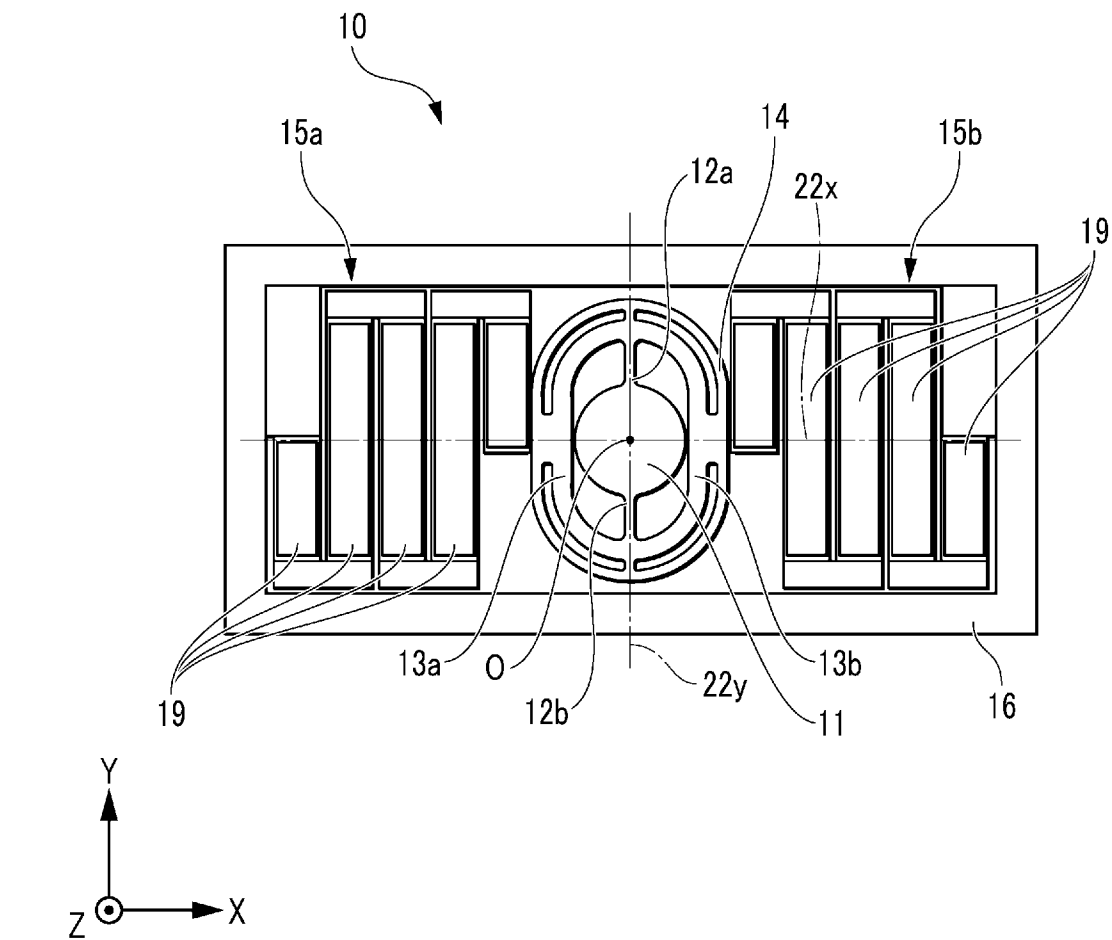
主面の面指数が(100)及び(110)の一方であるシリコン単結晶の活性層を含む基板の表面を、膜厚が5 μ m以上で10 μ m以下であるフォトリソ膜で被覆する被覆工程と、

前記光偏向器の前記ミラー部、前記トーシヨンバー、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、前記トーシヨンバー、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、を有することを特徴とする製造方法。

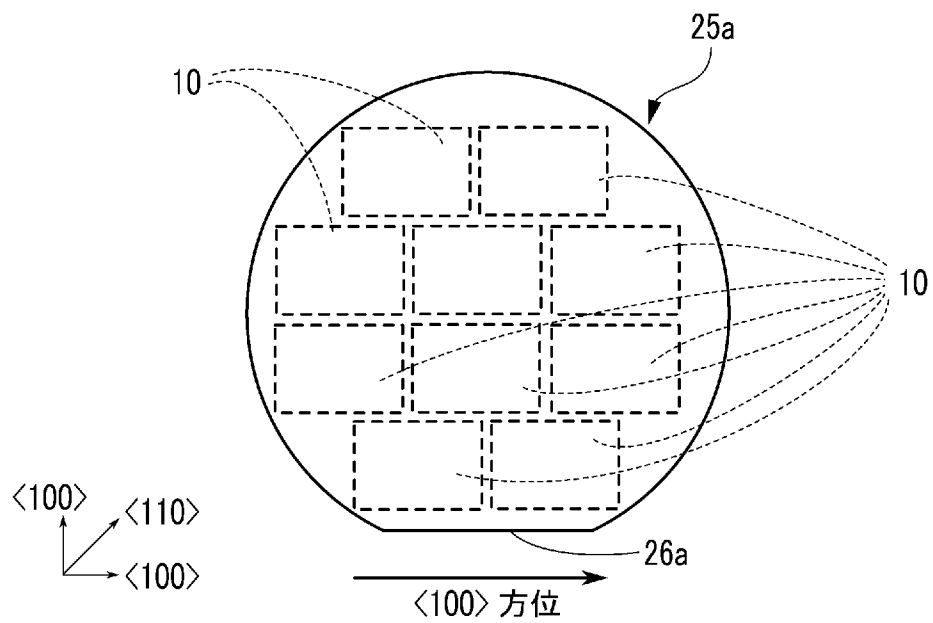
[図1]

FIG.1



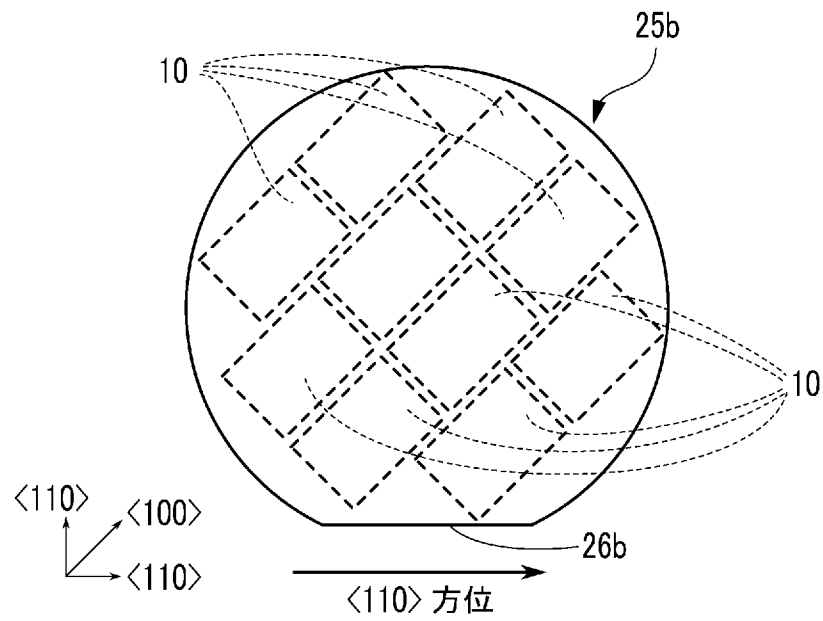
[図2A]

FIG.2A



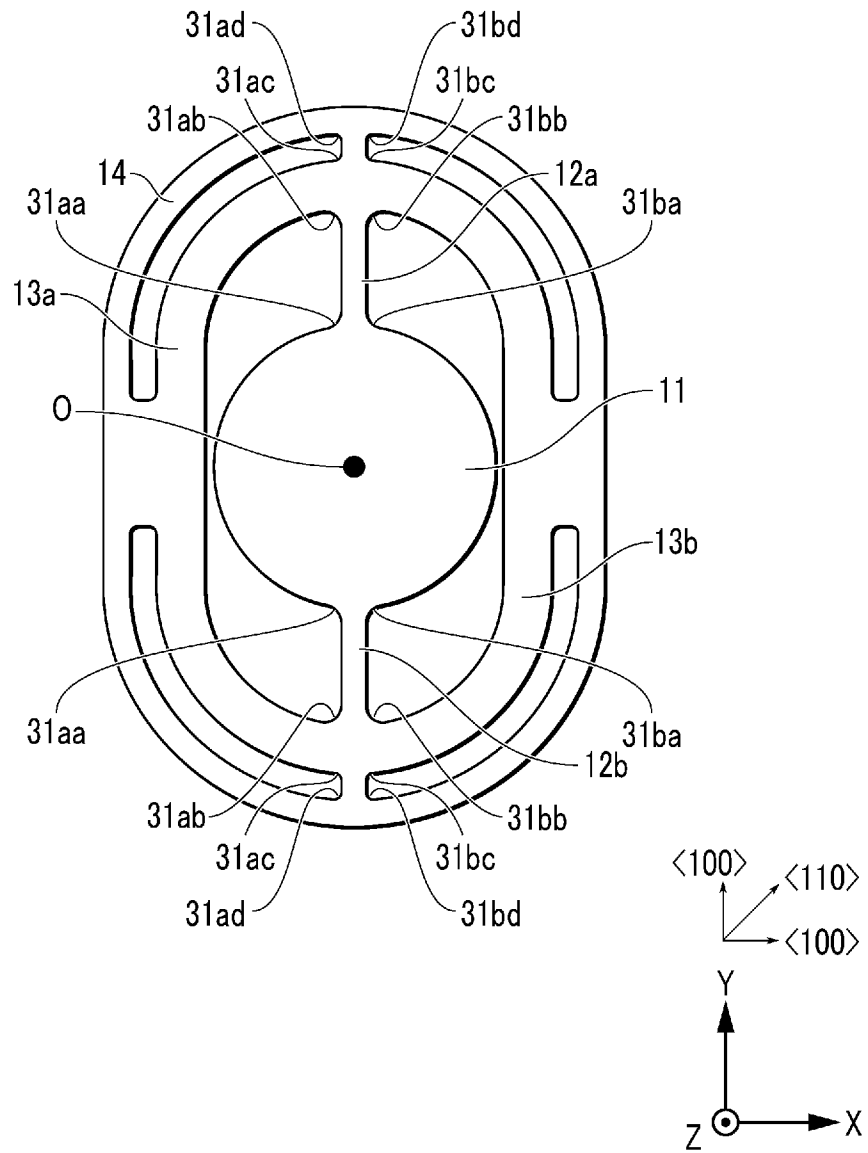
[図2B]

FIG.2B



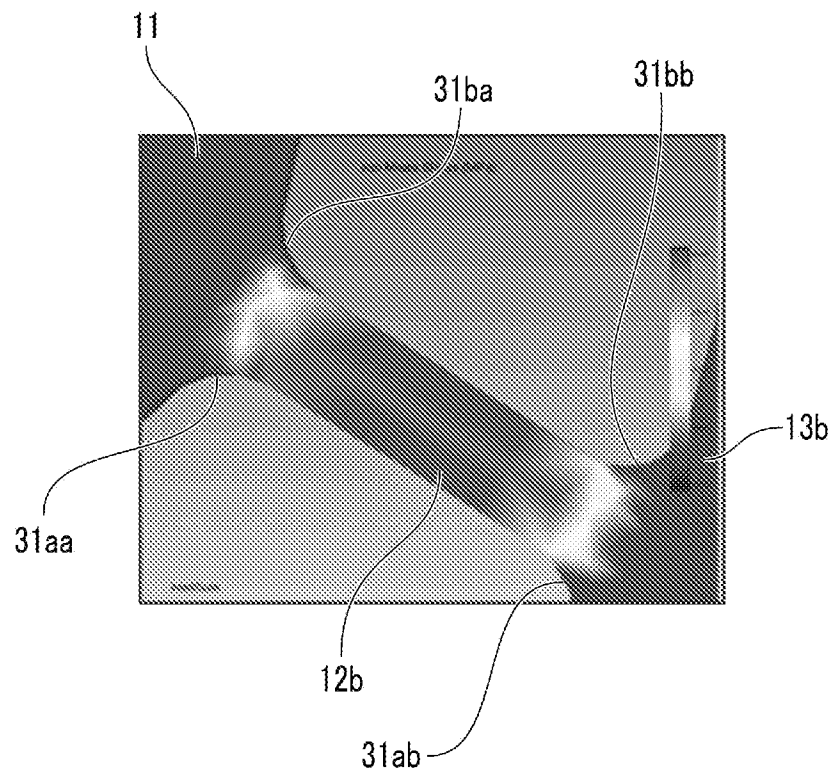
[図3]

FIG.3



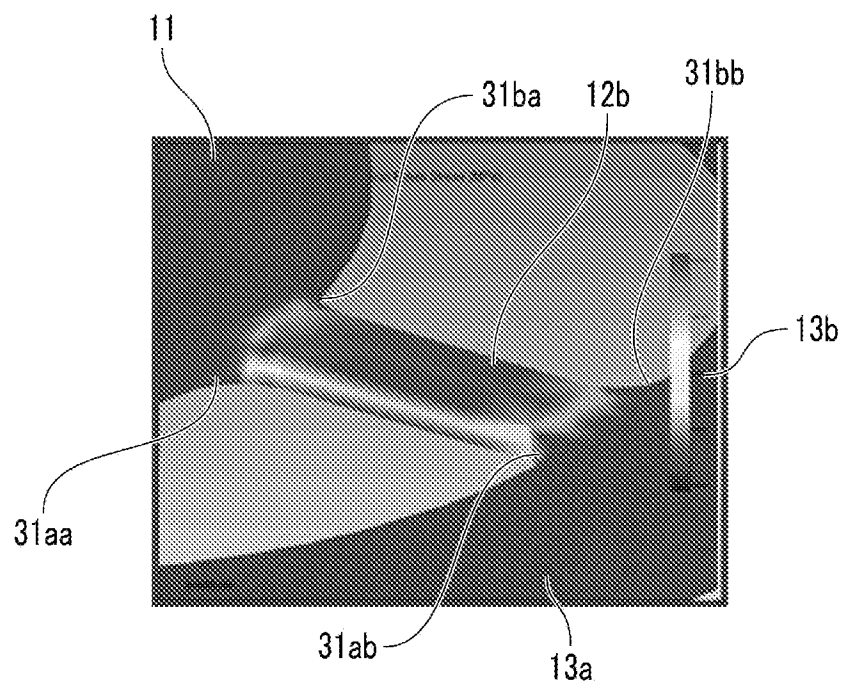
[図4]

FIG.4



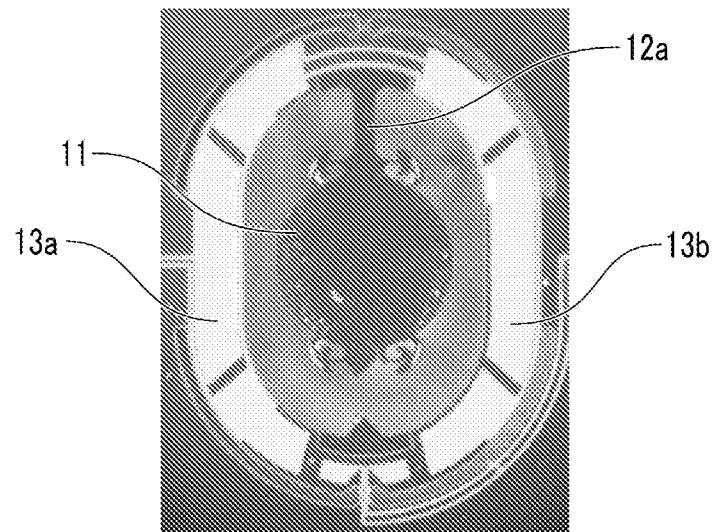
[図5]

FIG.5



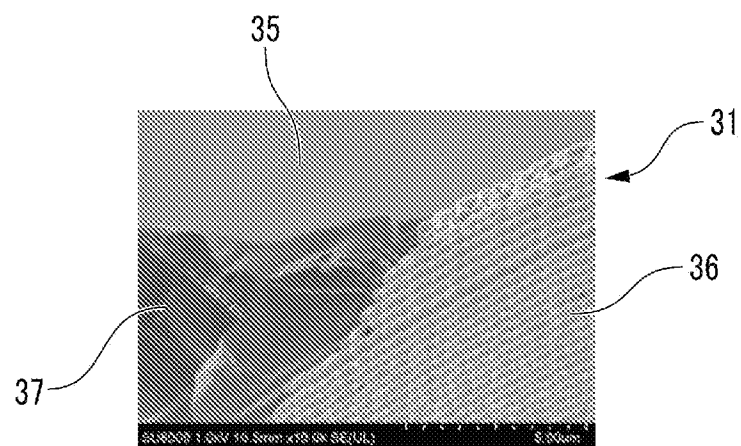
[図6]

FIG.6



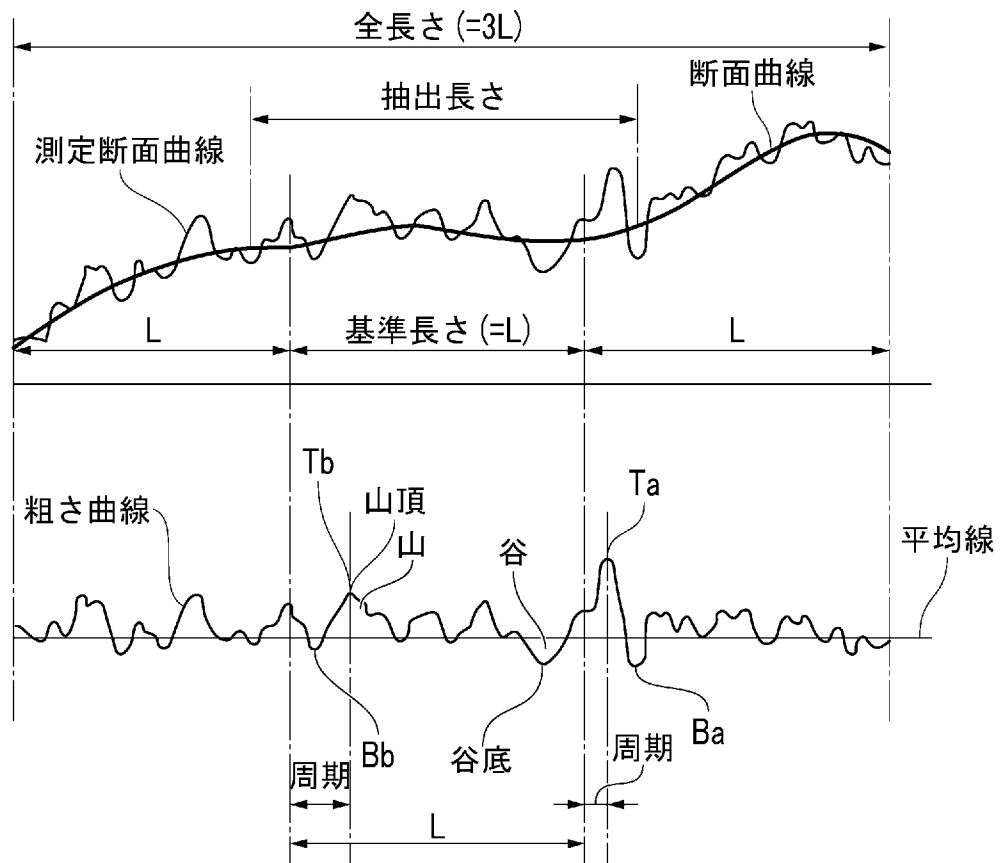
[図7]

FIG.7



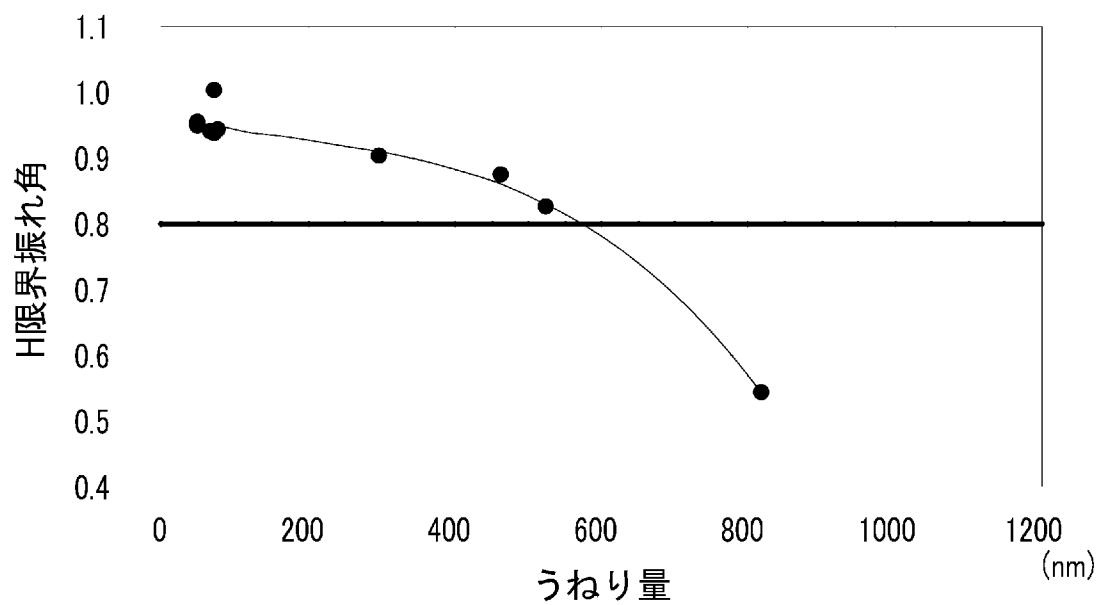
[図8]

FIG.8



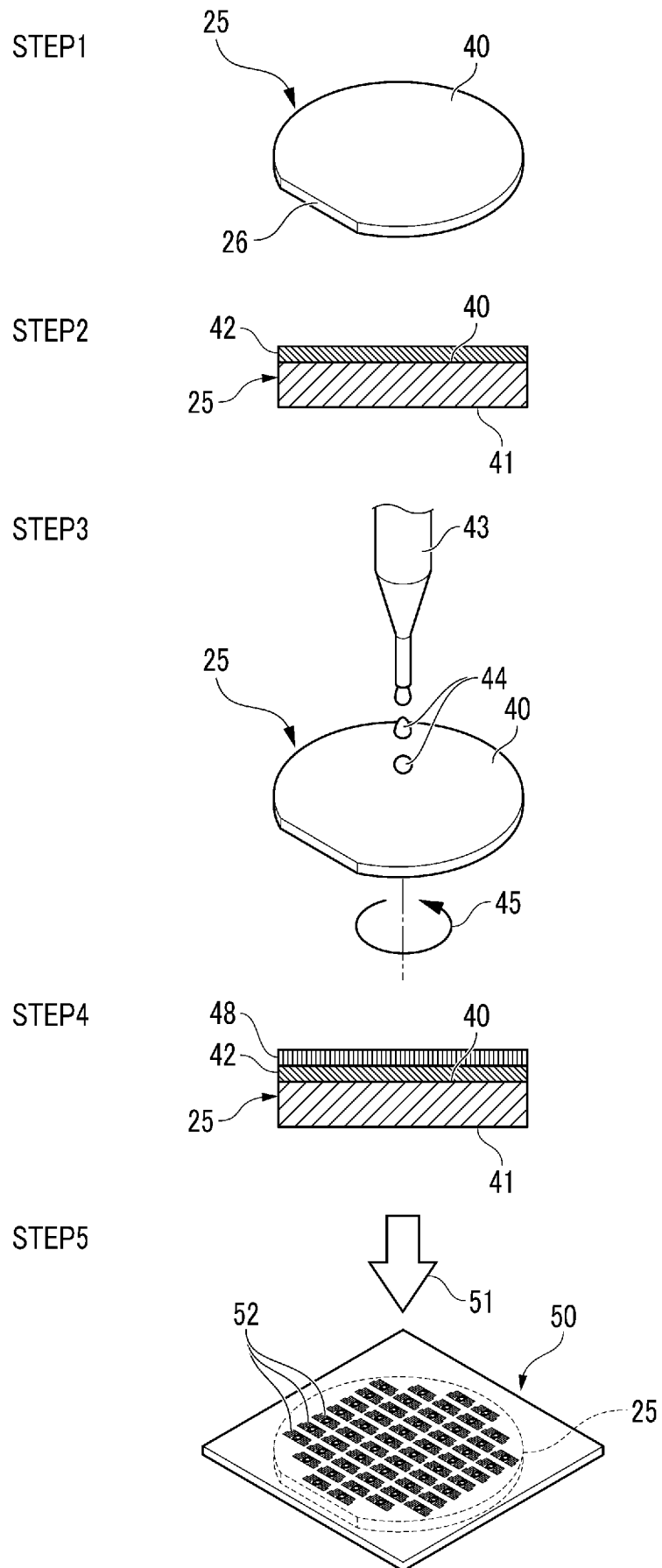
[図9]

FIG.9



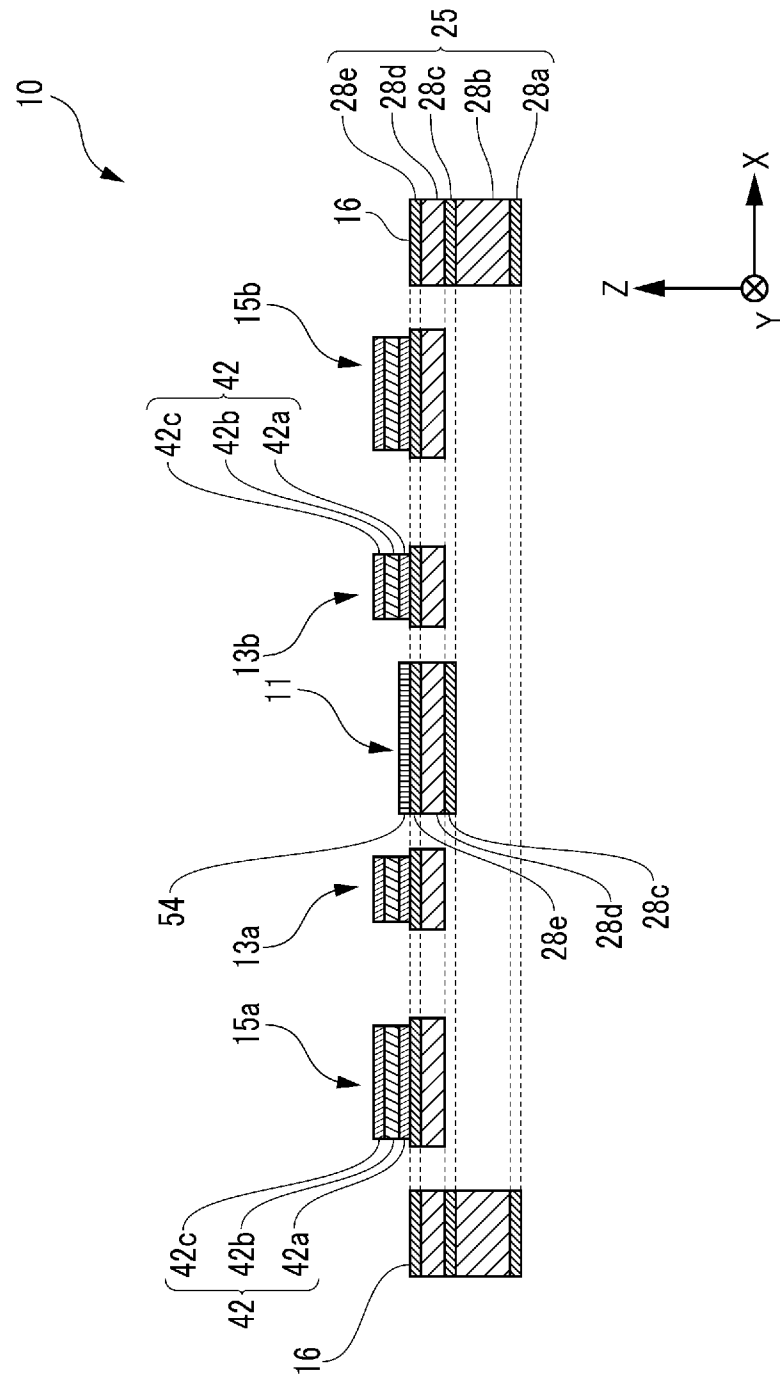
[図10]

FIG.10



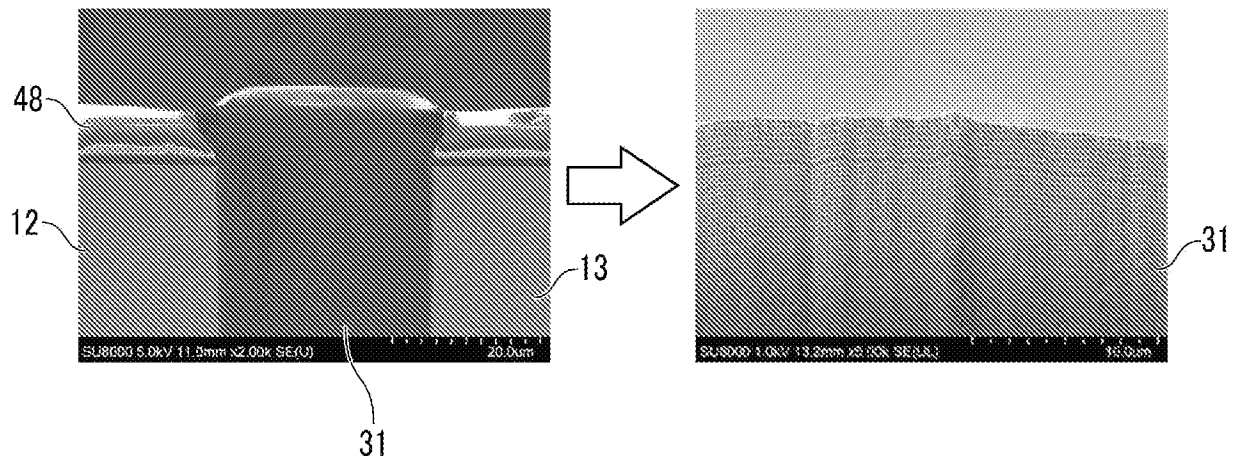
[図11]

FIG.11



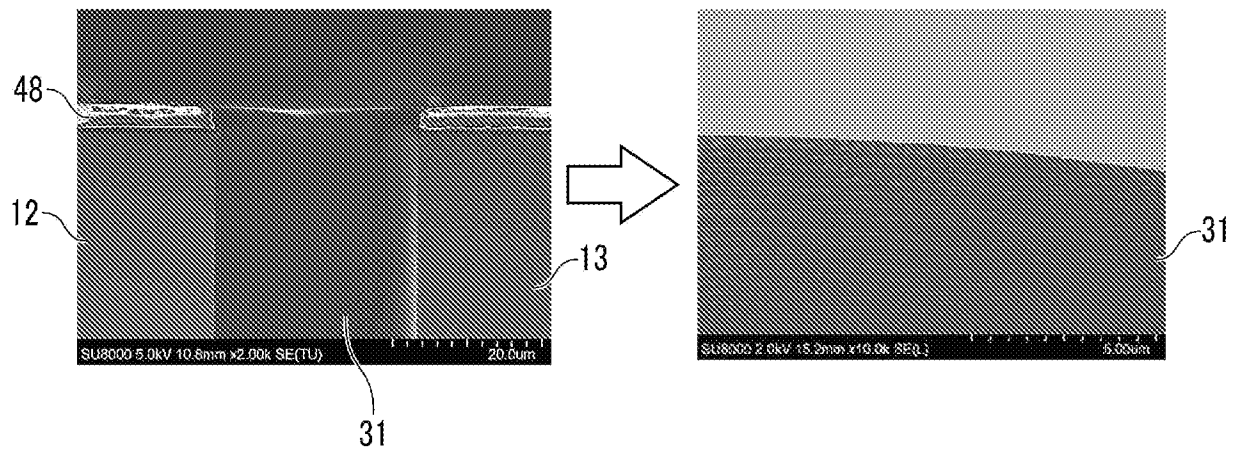
[図12A]

FIG.12A



[図12B]

FIG.12B



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/019976

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 26/10 (2006.01) i; B81B 3/00 (2006.01) i; B81C 1/00 (2006.01) i; G02B 26/08 (2006.01) i

FI: G02B26/10 104Z; G02B26/08 E; G02B26/10 C; B81B3/00; B81C1/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B26/00-26/12, B81B3/00, B81C1/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII), Japio-GPG/FX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2010/131557 A1 (MITSUMI ELECTRIC CO., LTD.) 18.11.2010 (2010-11-18) paragraphs [0014]-[0153], fig. 8, 12A-29	1, 5
Y	JP 2006-319387 A (SEIKO EPSON CORP.) 24.11.2006 (2006-11-24) paragraphs [0013]-[0074], fig. 1	1, 5
Y	JP 2012-63413 A (RICOH CO., LTD.) 29.03.2012 (2012-03-29) paragraphs [0019]-[0034], fig. 1, 3	1, 5
Y	JP 2014-102354 A (STANLEY ELECTRIC CO., LTD.) 05.06.2014 (2014-06-05) paragraphs [0006]-[0063], fig. 1-4	1, 5
Y	US 2007/0008401 A1 (LEMRK INTERNATIONAL, INC.) 11.01.2007 (2007-01-11) paragraphs [0029]-[0030], fig. 5A	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
08 June 2020 (08.06.2020)

Date of mailing of the international search report
16 June 2020 (16.06.2020)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/019976

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
WO 2010/131557 A1	18 Nov. 2010	US 2012/0062970 A1 paragraphs [0062]- [0211], fig. 8, 12A- 29 CN 102422521 A (Family: none)	
JP 2006-319387 A	24 Nov. 2006	(Family: none)	
JP 2012-63413 A	29 Mar. 2012	(Family: none)	
JP 2014-102354 A	05 Jun. 2104	(Family: none)	
US 2007/0008401 A1	11 Jan. 2007	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 26/10(2006.01)i; B81B 3/00(2006.01)i; B81C 1/00(2006.01)i; G02B 26/08(2006.01)i FI: G02B26/10 104Z; G02B26/08 E; G02B26/10 C; B81B3/00; B81C1/00														
B. 調査を行った分野														
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G02B26/00-26/12, B81B3/00, B81C1/00														
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2020年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2020年	日本国実用新案登録公報	1996-2020年	日本国登録実用新案公報	1994-2020年				
日本国実用新案公報	1922-1996年													
日本国公開実用新案公報	1971-2020年													
日本国実用新案登録公報	1996-2020年													
日本国登録実用新案公報	1994-2020年													
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語） JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII), Japio-GPG/FX														
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
Y	WO 2010/131557 A1 (ミツミ電機株式会社) 18.11.2010 (2010-11-18) 段落[0014]-[0153], 図8, 12A-29	1, 5												
Y	JP 2006-319387 A (セイコーエプソン株式会社) 24.11.2006 (2006-11-24) 段落[0013]-[0074], 図1	1, 5												
Y	JP 2012-63413 A (株式会社リコー) 29.03.2012 (2012-03-29) 段落[0019]-[0034], 図1, 3	1, 5												
Y	JP 2014-102354 A (スタンレー電気株式会社) 05.06.2014 (2014-06-05) 段落[0006]-[0063], 図1-4	1, 5												
A	US 2007/0008401 A1 (LEXMARK INTERNATIONAL, INC.) 11.01.2007 (2007-01-11) 段落[0029]-[0030], 図5A	1-6												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献	“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの													
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 08.06.2020	国際調査報告の発送日 16.06.2020													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 横井 亜矢子 2L 9706 電話番号 03-3581-1101 内線 3295													

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/019976

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2010/131557	A1	18.11.2010	US 2012/0062970 A1 段落[0062]-[0211], 図 8, 12A-29 CN 102422521 A	
JP	2006-319387	A	24.11.2006	(ファミリーなし)	
JP	2012-63413	A	29.03.2012	(ファミリーなし)	
JP	2014-102354	A	05.06.2014	(ファミリーなし)	
US	2007/0008401	A1	11.01.2007	(ファミリーなし)	