

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02003/023480

発行日 平成16年12月24日 (2004. 12. 24)

(43) 国際公開日 平成15年3月20日 (2003. 3. 20)

(51) Int. Cl.⁷

G02B 13/24
G02B 1/02
G03F 7/20
H01L 21/027

F I

G02B 13/24
G02B 1/02
G03F 7/20 5 2 1
H01L 21/30 5 1 5 D

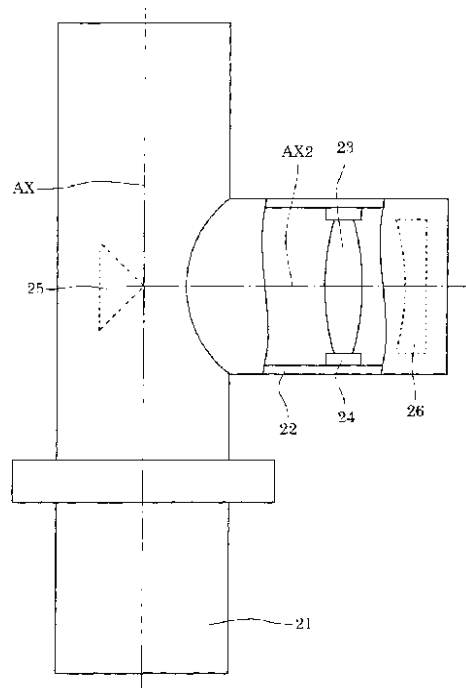
審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 14 頁)

出願番号	特願2003-527482 (P2003-527482)	(71) 出願人	000004112 株式会社ニコン
(21) 国際出願番号	PCT/JP2002/008543		東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(22) 国際出願日	平成14年8月23日 (2002. 8. 23)	(74) 代理人	100095256 弁理士 山口 孝雄
(31) 優先権主張番号	特願2001-271387 (P2001-271387)	(72) 発明者	西川 仁
(32) 優先日	平成13年9月7日 (2001. 9. 7)		東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		
(81) 指定国	AP (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), OA (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW		

(54) 【発明の名称】 光学系および該光学系を備えた露光装置、並びにデバイスの製造方法

(57) 【要約】

重力方向と所定の角度をなす光軸に沿って配置された蛍石光学部材の光学面の微小変形に起因する波面収差の悪化が抑えられ、良好な光学性能を有する光学系。立方晶系に属する結晶で形成され、重力方向と所定の角度をなす光軸 (AX2) に沿って配置された光学部材 (23) を備えている。光学部材は、結晶軸 [100] (または該結晶軸 [100] と等価な結晶軸) が光軸とほぼ一致するように配置されている。また、その結晶軸 [010] (または該結晶軸 [010] と等価な結晶軸) が、重力方向と光軸とを含む面に沿って配置されている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

立方晶系に属する結晶で形成され、重力方向と所定の角度をなす光軸に沿って配置された光学部材を備え、

前記光学部材は、前記結晶の結晶軸 $[100]$ (または該結晶軸 $[100]$ と等価な結晶軸) が前記光軸とほぼ一致するように配置されていることを特徴とする光学系。

【請求項 2】

請求の範囲第 1 項に記載の光学系において、

前記結晶の結晶軸 $[010]$ (または該結晶軸 $[010]$ と等価な結晶軸) が、前記重力方向と前記光軸とを含む面またはその近傍の面に沿って配置されていることを特徴とする光学系。 10

【請求項 3】

請求の範囲第 1 項に記載の光学系において、

前記結晶の結晶軸 $[010]$ (または該結晶軸 $[010]$ と等価な結晶軸) が、前記重力方向と前記光軸とを含む面に対して任意角度をなして配置されていることを特徴とする光学系。

【請求項 4】

立方晶系に属する結晶で形成され、重力方向と所定の角度をなす光軸に沿って配置された光学部材を備え、

前記光学部材は、前記結晶の結晶軸 $[110]$ (または該結晶軸 $[110]$ と等価な結晶軸) と前記光軸とがほぼ一致するように設定されていることを特徴とする光学系。 20

【請求項 5】

請求の範囲第 4 項に記載の光学系において、

前記結晶の結晶軸 $[1-10]$ (または該結晶軸 $[1-10]$ と等価な結晶軸) が、前記重力方向と前記光軸とを含む面に対して任意角度をなして配置されていることを特徴とする光学系。

【請求項 6】

請求の範囲第 5 項に記載の光学系において、

前記任意角度は、約 90 度であることを特徴とする光学系。

【請求項 7】

立方晶系に属する結晶で形成され、重力方向と所定の角度をなす光軸に沿って配置された光学部材を備え、

前記光学部材は、前記結晶の結晶軸 $[111]$ (または該結晶軸 $[111]$ と等価な結晶軸) が前記光軸とほぼ一致するように配置され、

前記結晶の結晶軸 $[100]$ (または該結晶軸 $[100]$ と等価な結晶軸) が、前記重力方向と前記光軸とを含む面に対して 0 度よりも実質的に大きい角度をなすように設定されていることを特徴とする光学系。

【請求項 8】

請求の範囲第 7 項に記載の光学系において、

前記結晶の結晶軸 $[100]$ (または該結晶軸 $[100]$ と等価な結晶軸) が、前記重力方向と前記光軸とを含む面に対して任意角度をなして配置されていることを特徴とする光学系。 40

【請求項 9】

請求の範囲第 8 項に記載の光学系において、

前記任意角度は、約 30 度または約 60 度であることを特徴とする光学系。

【請求項 10】

請求の範囲第 1 項乃至第 9 項のいずれか 1 項に記載の光学系において、

前記重力方向の光軸に沿って配置された光学部材をさらに備え、

前記所定の角度は、60 度から 90 度までの範囲にあることを特徴とする光学系。

【請求項 11】

10

20

30

40

50

請求の範囲第1項乃至第10項のいずれか1項に記載の光学系において、前記結晶はフッ化カルシウム結晶またはフッ化バリウム結晶であることを特徴とする光学系。

【請求項12】

マスクを照明するための照明光学系と、

前記マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に形成するための請求の範囲第1項乃至第11項のいずれか1項に記載の光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項13】

マスクを照明するための請求の範囲第1項乃至第11項のいずれか1項に記載の光学系と、

前記マスクに形成されたパターンを感光性基板上に形成するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項14】

請求の範囲第12項または第13項に記載の露光装置を用いて前記マスクのデバイスパターンを前記感光性基板上に露光する露光工程と、

前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

技術分野

本発明は、光学系および該光学系を備えた露光装置に関し、特に半導体素子や液晶表示素子などのマイクロデバイスをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に好適な投影光学系や照明光学系に関するものである。

背景技術

半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、フォトマスクまたはレチクル（以下、総称して「マスク」という）のパターン像を投影光学系を介して、フォトレジスト等が塗布されたウエハ（またはガラスプレート等）上に露光する露光装置が使用されている。そして、半導体素子等の集積度が向上するにつれて、露光装置の投影光学系に要求される解像力（解像度）が益々高まっている。その結果、投影光学系の解像力に対する要求を満足するために、照明光（露光光）の波長を短くするとともに投影光学系の開口数（NA）を大きくする必要がある。

しかしながら、照明光の波長が短くなると光の吸収が顕著となり、実用に耐え得る硝材（光学材料）の種類は限定される。特に、照明光の波長が180nm以下になると、実用的に使用可能な硝材はフッ化カルシウム結晶（蛍石）だけに限定される。その結果、屈折型の投影光学系では、色収差の補正が不可能となる。ここで、屈折型の光学系とは、パワーを有する反射鏡（凹面反射鏡または凸面反射鏡）を含むことなく、レンズ成分のような透過光学部材だけを含む光学系である。

上述のように、単一の硝材からなる屈折型の投影光学系では許容色収差に限界があり、レーザー光源の極狭帯化が必須となる。この場合、レーザー光源のコストの増大および出力の低下は免れない。また、屈折光学系では、像面湾曲量を決定するペッツパール和を0に近づけるために、多数の正レンズおよび負レンズを配置する必要がある。これに対して、凹面反射鏡は光を収束する光学素子として正レンズに対応するが、色収差が生じない点、およびペッツパール和が負の値をとる（ちなみに正レンズは正の値をとる）点において、正レンズとは異なる。

凹面反射鏡とレンズとを組み合わせる構成された、いわゆる反射屈折光学系では、凹面反射鏡の上述の特徴を光学設計上において最大限に活用し、単純な構成にもかかわらず色収差の良好な補正や像面湾曲をはじめとする諸収差の良好な補正が可能である。そこで、たとえば波長が180nm以下の露光光を用いる露光装置では、投影光学系を反射屈折型の光学系として構成することが提案されている。

しかしながら、従来の技術では、反射屈折型の投影光学系において、重力方向と一致しない光軸（典型的には水平方向に延びる光軸）に沿って配置される蛍石光学部材（典型的に

10

20

30

40

50

は蛍石レンズ)の結晶軸と重力方向との相対関係について特別の考慮をしていない。その結果、たとえば水平方向に延びる水平光軸に沿って配置される蛍石レンズの結晶軸 $[111]$ と水平光軸とを一致させ、その結晶軸 $[100]$ (または結晶軸 $[010]$ や結晶軸 $[001]$)を重力方向上向きに配置した場合が考えられているが、この配置では重力の影響により発生する蛍石レンズの光学面の微小変形に起因して波面収差、特に非点収差(アスティグマチズム)が発生し易く、ひいては波面収差が悪化し易いという不都合がある。

発明の開示

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、重力方向と所定の角度をなす光軸に沿って配置された蛍石光学部材の光学面の微小変形に起因する波面収差の悪化が抑えられ、良好な光学性能を有する光学系および該光学系を備えた露光装置を提供することを目的とする。

10

前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、立方晶系に属する結晶で形成され、重力方向と所定の角度をなす光軸に沿って配置された光学部材を備え、

前記光学部材は、前記結晶の結晶軸 $[100]$ (または該結晶軸 $[100]$ と等価な結晶軸)が前記光軸とほぼ一致するように配置されていることを特徴とする光学系を提供する。

第1発明の好ましい態様によれば、前記結晶の結晶軸 $[010]$ (または該結晶軸 $[010]$ と等価な結晶軸)が、前記重力方向と前記光軸とを含む面またはその近傍の面に沿って配置されている。

20

本発明の第2発明では、立方晶系に属する結晶で形成され、重力方向と所定の角度をなす光軸に沿って配置された光学部材を備え、

前記光学部材は、前記結晶の結晶軸 $[110]$ (または該結晶軸 $[110]$ と等価な結晶軸)と前記光軸とがほぼ一致するように設定されていることを特徴とする光学系を提供する。

第2発明の好ましい態様によれば、前記結晶の結晶軸 $[1-10]$ (または該結晶軸 $[1-10]$ と等価な結晶軸)が、前記重力方向と前記光軸とを含む面に対して約90度の角度をなすように配置されている。

本発明の第3発明では、立方晶系に属する結晶で形成され、重力方向と所定の角度をなす光軸に沿って配置された光学部材を備え、

30

前記光学部材は、前記結晶の結晶軸 $[111]$ (または該結晶軸 $[111]$ と等価な結晶軸)が前記光軸とほぼ一致するように配置され、

前記結晶の結晶軸 $[100]$ (または該結晶軸 $[100]$ と等価な結晶軸)が、前記重力方向と前記光軸とを含む面に対して0度よりも実質的に大きい角度をなすように設定されていることを特徴とする光学系を提供する。

第3発明の好ましい態様によれば、前記結晶の結晶軸 $[100]$ (または該結晶軸 $[100]$ と等価な結晶軸)が、前記重力方向と前記光軸とを含む面に対して約60度の角度をなすように設定されている。

第1発明~第3発明の好ましい態様によれば、前記重力方向の光軸に沿って配置された光学部材をさらに備え、前記所定の角度は、60度から90度までの範囲にある。また、前記結晶はフッ化カルシウム結晶またはフッ化バリウム結晶であることが好ましい。

40

本発明の第4発明では、マスクを照明するための照明光学系と、

前記マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に形成するための第1発明~第3発明の光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

本発明の第5発明では、マスクを照明するための第1発明~第3発明の光学系と、

前記マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に形成するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

発明を実施するための最良の形態

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

第1図は、本発明の実施形態にかかる光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図で

50

ある。本実施形態では、反射屈折型の投影光学系に本発明を適用している。なお、第1図において、反射屈折型の投影光学系PLの基準光軸AXに平行にZ軸を、光軸AXに垂直な面内において第1図の紙面に平行にY軸を、光軸AXに垂直な面内において第1図の紙面に垂直にX軸を設定している。

図示の露光装置は、紫外領域の照明光を供給するための光源100として、たとえばF₂レーザ(波長157.6nm)を備えている。光源100から射出された光は、照明光学系ILを介して、所定のパターンが形成されたレチクル(マスク)Rを均一に照明する。なお、光源100と照明光学系ILとの間の光路はケーシング(不図示)で密封されており、光源100から照明光学系IL中の最もレチクル側の光学部材までの空間は、露光光の吸収率が低い気体であるヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

10

レチクルRは、レチクルホルダRHを介して、レチクルステージRS上においてXY平面に平行に保持されている。レチクルRには転写すべきパターンが形成されており、パターン領域全体のうちX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形状(スリット状)のパターン領域が照明される。レチクルステージRSは、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面(すなわちXY平面)に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はレチクル移動鏡RMを用いた干渉計RIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

レチクルRに形成されたパターンからの光は、反射屈折型の投影光学系PLを介して、感光性基板であるウエハW上にレチクルパターン像を形成する。ウエハWは、ウエハテーブル(ウエハホルダ)WTを介して、ウエハステージWS上においてXY平面に平行に保持されている。そして、レチクルR上での矩形状の照明領域に光学的に対応するように、ウエハW上ではX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形状の露光領域にパターン像が形成される。ウエハステージWSは、図示を省略した駆動系の作用によりウエハ面(すなわちXY平面)に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウエハ移動鏡WMを用いた干渉計WIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

20

また、図示の露光装置では、投影光学系PLを構成する光学部材のうち最もレチクル側に配置された光学部材と最もウエハ側に配置された光学部材との間で投影光学系PLの内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系PLの内部の気体はヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

30

さらに、照明光学系ILと投影光学系PLとの間の狭い光路には、レチクルRおよびレチクルステージRSなどが配置されているが、レチクルRおよびレチクルステージRSなどを密封包囲するケーシング(不図示)の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

また、投影光学系PLとウエハWとの間の狭い光路には、ウエハWおよびウエハステージWSなどが配置されているが、ウエハWおよびウエハステージWSなどを密封包囲するケーシング(不図示)の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。あるいは、ケーシングを設けることなく、投影光学系PLとウエハWとの間の狭い光路を局所パーズ(光軸と交差する方向から不活性ガスを常に流すなど)している。このように、光源100からウエハWまでの光路の全体に亘って、露光光がほとんど吸収されることのない雰囲気形成されている。

40

上述したように、投影光学系PLによって規定されるレチクルR上の照明領域およびウエハW上の露光領域は、Y方向に沿って短辺を有する矩形状である。したがって、駆動系および干渉計(RIF、WIF)などを用いてレチクルRおよびウエハWの位置制御を行いながら、矩形状の露光領域および照明領域の短辺方向すなわちY方向に沿ってレチクルステージRSとウエハステージWSとを、ひいてはレチクルRとウエハWとを同じ方向へ(すなわち同じ向きへ)同期的に移動(走査)させることにより、ウエハW上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウエハWの走査量(移動量)に応じた長さを有する領域に対してレチクルパターンが走査露光される。

50

第2図は、本実施形態にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。第2図を参照すると、投影光学系PLは、重力方向に一致する鉛直方向の基準光軸AXに沿って配置される光学部材を保持するための縦向き鏡筒21と、基準光軸AXに対して垂直な水平方向の第2光軸AX2に沿って配置される光学部材を保持するための横向き鏡筒22とを備えている。

なお、F₂レーザー光のような短波長の紫外線が良好に透過し且つ良好な均一性を有する光学材料は、現状では蛍石に限定されている。したがって、縦向き鏡筒21の内部には、図中破線で示す光路偏向手段としての直角プリズム25を含む複数の蛍石レンズ（蛍石で形成されたレンズ：不図示）が配置されている。また、横向き鏡筒22の内部には、蛍石レンズ23と、図中破線で示す凹面反射鏡26とが配置されている。以下、横向き鏡筒22に保持金物24を介して取り付けられた蛍石レンズ23に着目して、本実施形態の作用を説明する。

第3図は、蛍石のような立方晶系の結晶における結晶軸の名称などを説明する図である。立方晶系とは、立方体の単位胞がその立方体の各辺の方向に周期的に配列した結晶構造である。第3図に示すように、立方体の各辺は相互に直交しており、これをXa軸、Ya軸、Za軸とする。このとき、Xa軸の+方向が結晶軸[100]の方向であり、Ya軸の+方向が結晶軸[010]の方向であり、Za軸の+方向が結晶軸[001]の方向である。

より一般的には、上記の(Xa, Ya, Za)座標系において方位ベクトル(x1, y1, z1)をとるとき、その向きが結晶軸[x1, y1, z1]の方向となる。たとえば、結晶軸[111]の向きは、方位ベクトル(1, 1, 1)の向きと一致する。また、結晶軸[11-1]の向きは、方位ベクトル(1, 1, -1)の向きと一致する。もちろん、立方晶系の結晶において、Xa軸とYa軸とZa軸とは、光学的にも機械的にも互いに全く等価であり、実際の結晶において何ら区別をつけることはできない。また、結晶軸[011], [0-11], [110]等のように3個の数字の並びおよびその符号を変えた各結晶軸も、光学的にも機械的にも全く等価(同等)である。

本実施形態では、蛍石レンズ23の結晶軸[100]が第2光軸AX2と一致するように配置するとともに、その結晶軸[010]が基準光軸AXと第2光軸AX2とを含む面に沿って配置されている。その結果、後述する作用に基づいて、重力の影響により発生する蛍石レンズ23の光学面の鞍型変形に起因して非点収差が発生し難く、ひいては波面収差が悪化し難い。すなわち、重力方向と90度をなす第2光軸AX2に沿って配置された蛍石レンズ23の光学面の微小変形に起因する波面収差の悪化が抑えられ、良好な光学性能を有する投影光学系PLを実現することができる。ここで、鞍型変形について説明する。鞍型変形とは、光学面が回転対称に変形しない状態で、変形の大きい方向と変形の小さい方向とがある変形をいう。

第4図および第5図は、光軸に対する蛍石レンズの結晶軸の配置と重力の影響による蛍石レンズの光学面の変形量との関係を示す図である。第4図および第5図において、横軸は第2光軸AX2に対する蛍石レンズ23の結晶軸の配置を示している。ここで、横軸のBは、蛍石レンズ23の結晶軸[111]が第2光軸AX2と一致するように配置され、且つその結晶軸[100]が基準光軸AXと第2光軸AX2とを含む面(以下、「基準面」という)に沿って配置された状態、すなわち従来技術の状態を示している。

また、横軸のCは、蛍石レンズ23の結晶軸[111]が第2光軸AX2と一致するように配置され、且つその結晶軸[100]が基準面に対して30度の角度をなすように配置された状態を示している。さらに、横軸のDは、蛍石レンズ23の結晶軸[111]が第2光軸AX2と一致するように配置され、且つその結晶軸[100]が基準面に対して60度の角度をなすように配置された状態を示している。なお、結晶軸[100]が基準面に対して90度の角度をなすように配置された状態はBの状態と等価であり、結晶軸[100]が基準面に対して120度の角度をなすように配置された状態はCの状態と等価であり、結晶軸[100]が基準面に対して150度の角度をなすように配置された状態はDの状態と等価である。また、基準面に対する結晶軸[100]のそれぞれの角度は、蛍

10

20

30

40

50

石レンズ23の結晶軸 $[111]$ を第2光軸AX2と一致するように配置し、かつその結晶軸 $[100]$ を基準面に沿って配置した状態から、その結晶軸 $[111]$ を中心に結晶軸 $[100]$ を回転させた角度である。

また、横軸のEは、蛍石レンズ23の結晶軸 $[110]$ が第2光軸AX2と一致するように配置され、且つその結晶軸 $[1-10]$ が基準面に沿って配置された状態を示している。さらに、横軸のFは、蛍石レンズ23の結晶軸 $[110]$ が第2光軸AX2と一致するように配置され、且つその結晶軸 $[1-10]$ が基準面に対して90度の角度をなすように配置された状態を示している。なお、結晶軸 $[1-10]$ が基準面に対して180度の角度をなすように配置された状態はEの状態と等価である。また、基準面に対する結晶軸 $[1-10]$ の角度は、蛍石レンズ23の結晶軸 $[110]$ を第2光軸AX2と一致する

10

ように配置し、かつその結晶軸 $[1-10]$ を基準面に沿って配置した状態から、その結晶軸 $[110]$ を中心に結晶軸 $[1-10]$ を回転させた角度である。

また、横軸のGは、蛍石レンズ23の結晶軸 $[100]$ が第2光軸AX2と一致するように配置され、且つその結晶軸 $[010]$ が基準面に沿って配置された状態を示している。さらに、横軸のHは、蛍石レンズ23の結晶軸 $[100]$ が第2光軸AX2と一致するように配置され、且つその結晶軸 $[010]$ が基準面に対して45度の角度をなすように配置された状態を示している。なお、結晶軸 $[010]$ が基準面に対して90度の角度をなすように配置された状態はGの状態と等価であり、結晶軸 $[010]$ が基準面に対して135度の角度をなすように配置された状態はHの状態と等価である。また、基準面に対する結晶軸 $[010]$ の角度は、蛍石レンズ23の結晶軸 $[100]$ を第2光軸AX2と一

20

致するように配置し、かつその結晶軸 $[010]$ を基準面に沿って配置した状態から、その結晶軸 $[100]$ を中心に結晶軸 $[010]$ を回転させた角度である。

ところで、横軸のAは、比較例として、あらゆる方向に沿って剛性の等しい等方性の材料でレンズが形成された状態を示している。一方、第4図において、縦軸は、計測光の波長(633nm)をとしたときの重力の影響による変形量のP-V値(peak to valley:最大最小の差)を示している。また、第5図において、縦軸は、計測光の波長(633nm)をとしたときの重力の影響による変形量のRMS値(root mean square:自乗平均平方根)を示している。変形量のP-V値は、鞍型変形において、変形の大きい方向の変形量から変形の小さい方向の変形量を差し引いた値である。

30

第4図を参照すると、折れ線L1は、回転対称成分とランダム成分との総計であるトータル成分、すなわちトータルP-V値を示している。また、折れ線L2は、トータル成分から回転対称成分を除いたランダム成分、すなわちランダムP-V値を示している。さらに、折れ線L3は、変形量をツェルニケ表示したときの2成分、すなわち非点収差の発生の原因となる鞍型変形成分を示している。また、第5図を参照すると、折れ線L4は、回転対称成分とランダム成分との総計であるトータル成分、すなわちトータルRMS値を示している。また、折れ線L5は、トータル成分から回転対称成分を除いたランダム成分、すなわちランダムRMS値を示している。

第4図および第5図を参照すると、蛍石レンズ23の結晶軸 $[100]$ が第2光軸AX2と一致するように配置され、且つその結晶軸 $[010]$ が基準面に沿って配置された本実施形態の状態(Gの状態)では、蛍石レンズ23の結晶軸 $[111]$ が第2光軸AX2と一致するように配置され、且つその結晶軸 $[100]$ が基準面に沿って配置された従来技術の状態(すなわちBの状態)よりも、重力の影響による変形量(特に非点収差の発生の原因となる鞍型変形成分)が実質的に小さいことがわかる。換言すると、本実施形態では、重力の影響により発生する蛍石レンズ23の光学面の鞍型変形に起因して非点収差が発生し難く、ひいては波面収差が悪化し難いことがわかる。

40

なお、上述の実施形態では、重力の影響により発生する蛍石レンズ23の光学面の鞍型変形に起因して発生する非点収差を最も小さく抑えるために、蛍石レンズ23の結晶軸 $[100]$ が第2光軸AX2と一致するように配置され、且つその結晶軸 $[010]$ が基準面に沿って配置されている。しかしながら、これに限定することなく、蛍石レンズ23の結

50

晶軸 [1 0 0] (またはこの結晶軸 [1 0 0] と等価な結晶軸) が第 2 光軸 A X 2 と一致するように配置するだけで、必ずしもその結晶軸 [0 1 0] (またはこの結晶軸 [0 1 0] と等価な結晶軸) が基準面に沿って配置されなくても、即ち、結晶軸 [0 1 0] (またはこの結晶軸 [0 1 0] と等価な結晶軸) の基準面に対する角度を規定しなくても、従来の技術の状態よりも重力の影響による変形量が実質的に小さくなる。このことは、第 4 図及び第 5 図に示された、蛍石レンズ 2 3 の結晶軸 [1 0 0] が第 2 光軸 A X 2 と一致するように配置され、且つその結晶軸 [0 1 0] が基準面に対して 1 3 5 度の角度をなすように配置された状態 (H の状態) を参照すれば明らかである。

また、蛍石レンズ 2 3 の結晶軸 [1 1 0] (またはこの結晶軸 [1 1 0] と等価な結晶軸) が第 2 光軸 A X 2 と一致するように配置するだけで、必ずしもその結晶軸 [1 - 1 0] (またはこの結晶軸 [1 - 1 0] と等価な結晶軸) が基準面に沿って配置されなくても、即ち、結晶軸 [1 - 1 0] (またはこの結晶軸 [1 - 1 0] と等価な結晶軸) の基準面に対する角度を規定しなくても、従来の技術の状態よりも重力の影響による変形量が実質的に小さくなる。ただし、重力の影響により発生する蛍石レンズ 2 3 の光学面の鞍型変形に起因して発生する非点収差を最も良好に抑えるには、結晶軸 [1 - 1 0] (またはこの結晶軸 [1 - 1 0] と等価な結晶軸) の基準面に対する角度を 9 0 度に設定することが好ましい。

さらに、蛍石レンズ 2 3 の結晶軸 [1 1 1] (またはこの結晶軸 [1 1 1] と等価な結晶軸) が第 2 光軸 A X 2 と一致するように配置するとともに、その結晶軸 [1 0 0] (またはこの結晶軸 [1 0 0] と等価な結晶軸) が基準面に対して 0 度よりも実質的に大きい角度をなすように設定することにより、本発明の効果が得られることも明らかである。この場合、重力の影響により発生する蛍石レンズ 2 3 の光学面の鞍型変形に起因して発生する非点収差を最も良好に抑えるには、結晶軸 [1 0 0] (またはこの結晶軸 [1 0 0] と等価な結晶軸) の基準面に対する角度を 6 0 度に設定することが好ましい。

また、上述の実施形態では、重力方向に垂直な光軸 A X 2 に沿って配置される蛍石レンズに本発明を適用しているが、これに限定されることなく、たとえば重力方向に対して 6 0 度以上の鋭角をなす光軸に沿って配置される蛍石レンズにも本発明を適用することができる。

さらに、上述の実施形態では、蛍石レンズに本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の一軸性結晶、たとえばフッ化バリウム結晶 (B a F ₂)、フッ化リチウム結晶 (L i F)、フッ化ナトリウム結晶 (N a F)、フッ化ストロンチウム結晶 (S r F ₂)、フッ化ベリリウム結晶 (B e F ₂) など、紫外線に対して透明な他の結晶材料で形成された光学部材に本発明を適用することもできる。

上述の実施形態の露光装置では、照明装置によってレチクル (マスク) を照明し (照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する (露光工程) ことにより、マイクロデバイス (半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等) を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウエハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき第 6 図のフローチャートを参照して説明する。

まず、第 6 図のステップ 3 0 1 において、1 ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ 3 0 2 において、その 1 ロットのウエハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ 3 0 3 において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その 1 ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ 3 0 4 において、その 1 ロットのウエハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ 3 0 5 において、その 1 ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。

その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パター

10

20

30

40

50

ンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。なお、ステップ301～ステップ305では、ウエハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウエハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

また、本実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、第7図のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。第7図において、パターン形成工程401では、本実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリクス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

また、上述の実施形態では、露光装置の投影光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、露光装置の照明光学系を含む一般的な光学系に本発明を適用することもできる。

産業上の利用の可能性

以上説明したように、本発明では、重力方向と所定の角度をなす光軸に沿って配置された蛍石光学部材の結晶軸の光軸に対する配置を考慮することにより、その光学面の微小変形に起因する波面収差の悪化を抑えて、良好な光学性能を有する光学系を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

第1図は、本発明の実施形態にかかる光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

第2図は、本実施形態にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第3図は、蛍石のような立方晶系の結晶における結晶軸の名称などを説明する図である。

第4図は、光軸に対する蛍石レンズの結晶軸の配置と重力の影響による蛍石レンズの光学面の変形量との関係を示す図である。

第5図は、光軸に対する蛍石レンズの結晶軸の配置と重力の影響による蛍石レンズの光学面の変形量との関係を示す図である。

第6図は、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

第7図は、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

10

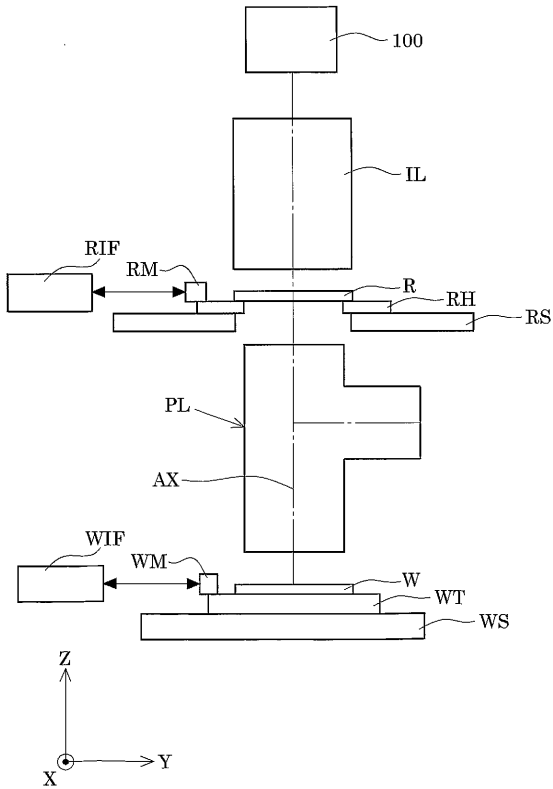
20

30

40

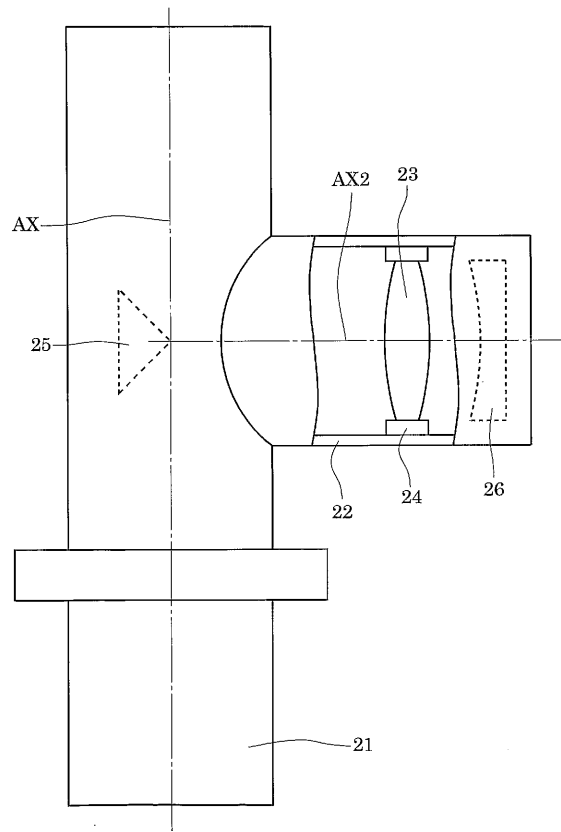
【 図 1 】

第 1 図



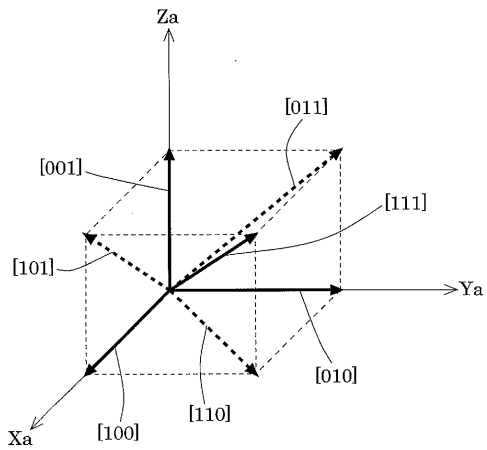
【 図 2 】

第 2 図



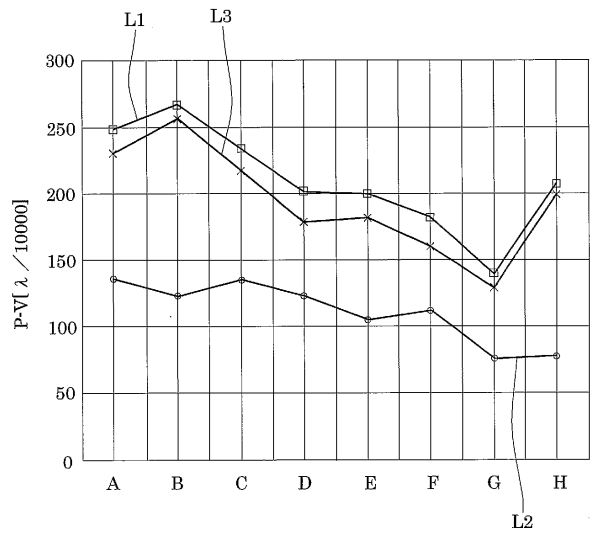
【 図 3 】

第 3 図



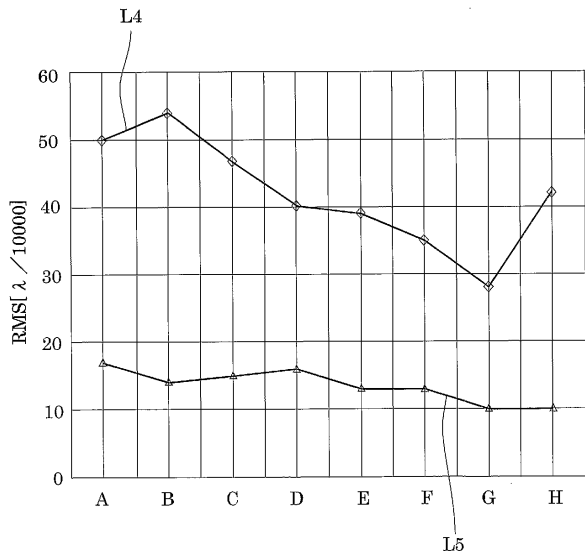
【 図 4 】

第 4 図



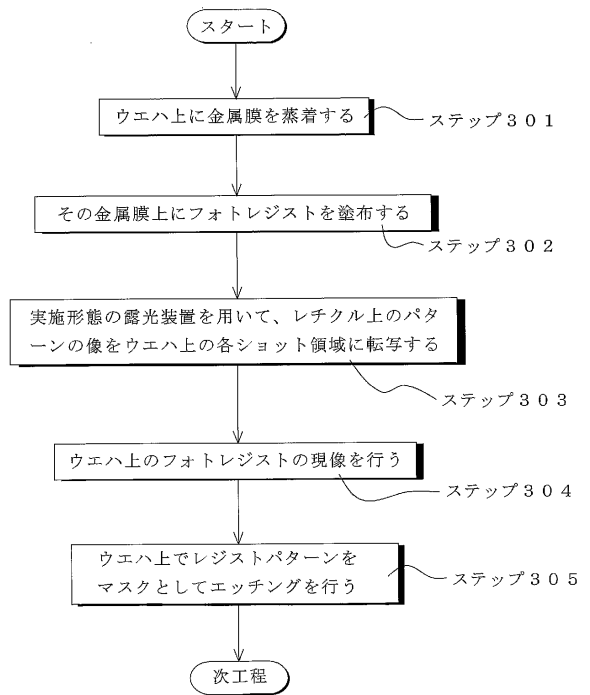
【 図 5 】

第 5 図



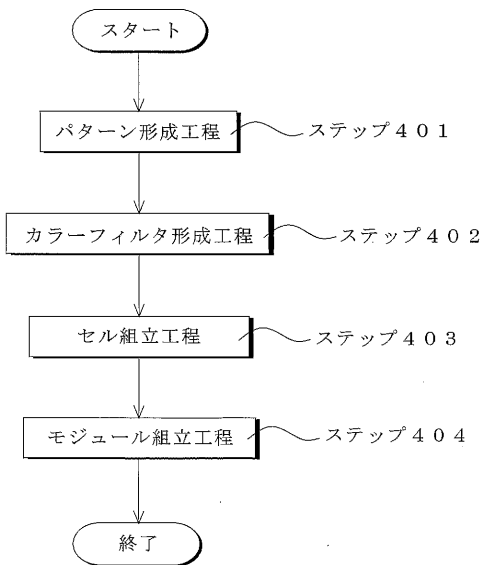
【 図 6 】

第 6 図



【 図 7 】

第 7 図



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP02/08543
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. ⁷ G02B13/24, G02B13/14, G02B1/02, H01L21/027, G03F7/20		
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) Int.Cl. ⁷ G02B13/24, G02B13/14, G02B1/02, H01L21/027, G03F7/20		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2002 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2002 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2002		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	EP 1063684 A (Nikon Corp.), 27 December, 2000 (27.12.00), Full text; all drawings & WO 00/41226 A1	1-4, 6-14 5
X A	JP 2000-331927 A (Canon Inc.), 30 November, 2000 (30.11.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-4, 6-14 5
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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 document 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		"T" 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 29 November, 2002 (29.11.02)		Date of mailing of the international search report 17 December, 2002 (17.12.02)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1998)

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JPO2/08543	
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl ⁷ G02B 13/24, G02B 13/14, G02B 1/02, H01L 21/027, G03F 7/20			
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)) Int. Cl ⁷ G02B 13/24, G02B 13/14, G02B 1/02, H01L 21/027, G03F 7/20			
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 日本国実用新案公報 1926-1996年 日本国公測実用新案公報 1971-2002年 日本国登録実用新案公報 1994-2002年 日本国実用新案登録公報 1996-2002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)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部箇所に関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の箇所の番号	
X A	EP 1063684 A (Nikon Corpration) 2000.12.27、全文、全図 & WO 00/41226 A1	1-4,6-14 5	
X A	JP 2000-331927 A (キヤノン株式会社) 2000.11.30、全文、全図 (ファミリーなし)	1-4,6-14 5	
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリ 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「B」 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 「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) 「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 「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「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 「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 「&」 同一パテントファミリー文献			
国際調査を完了した日 29. 11. 02		国際調査報告の発送日 1/12.02	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JJP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 森内正明	2V 9222
		電話番号 03-3581-1101	内線 3269

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。