

(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
2014年5月22日(22.05.2014)



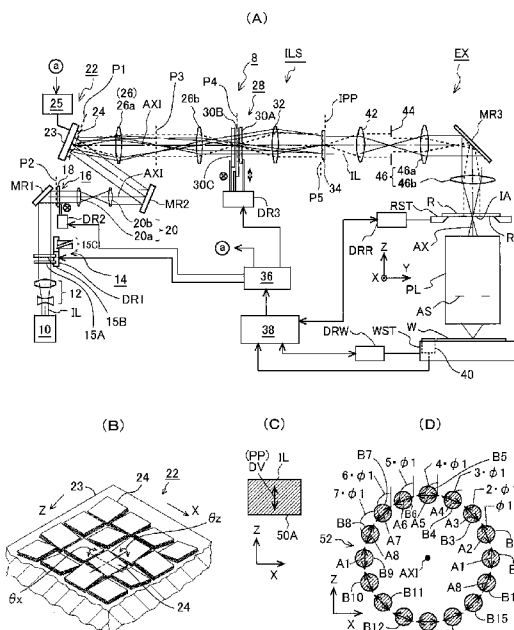
(10) 国際公開番号

WO 2014/077404 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/027 (2006.01) G02B 19/00 (2006.01)
G02B 5/30 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
G02B 17/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/081124
- (22) 国際出願日: 2013年11月19日(19.11.2013)
- (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 2012-253407 2012年11月19日(19.11.2012) JP
- (71) 出願人: 株式会社ニコン(NIKON CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目
12番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 重松 幸二(SHIGEMATSU Koji); 〒
1008331 東京都千代田区有楽町一丁目12番1
号 株式会社ニコン 知的財産本部内 Tokyo
(JP).
- (74) 代理人: 大森 聡(OMORI Satoshi); 〒2140014 神奈
川県川崎市多摩区登戸2075番2-501
大森特許事務所 Kanagawa (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LY, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, 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, 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:
— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: ILLUMINATING OPTICS, ILLUMINATION METHOD, AND EXPOSURE METHOD AND DEVICE

(54) 発明の名称: 照明光学系及び照明方法、並びに露光方法及び装置



(57) Abstract: These illuminating optics, which use light from a light source to illuminate a reticle surface, are provided with the following: a spatial light modulator that has a plurality of mirror elements arranged within a pre-scribed arrangement plane; a first polarization control system that is positioned upstream of said arrangement plane and controls the polarization-state distribution of light incident upon the mirror elements such that the ratio between vertical polarization (which is p polarization when the light is incident upon the arrangement plane) and horizontal polarization can be varied; and a second polarization control system that is positioned downstream of the arrangement plane and is capable of setting the polarization-state distribution of the light heading towards the reticle surface via the mirror elements to a distribution that includes a diagonal-polarization component. This allows a high degree of freedom with respect to polarization-state changes.

(57) 要約: 光源からの光によりレチクル面を照明する照明光学系であって、所定の配列面内に配列される複数のミラー要素を有する空間光変調器と、その配列面上流に配置されて、ミラー要素に入射する光の偏光状態の分布を、縦偏光(その配列面に入射するときにP偏光)及び横偏光の比が可変となるように制御する第1偏光制御系と、その配列面の下流に配置されて、複数のミラー要素を介してレチクル面に向かう光の偏光状態の分布を、斜め偏光成分を含む分布に設定可能な第2偏光制御系と、を備える。偏光状態の変更に關して高い自由度を持つことができる。

明 細 書

発明の名称：照明光学系及び照明方法、並びに露光方法及び装置 技術分野

[0001] 本発明は、被照射面を照明する照明技術、光束の偏光状態の分布を制御する偏光ユニット、照明技術を用いる露光技術、及び露光技術を用いるデバイス製造方法に関する。

背景技術

[0002] この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光が、オプティカルインテグレータとしての例えばフライアイレンズを介して、多数の小さい光源からなる実質的な面光源としての二次光源（照明瞳における光強度分布）を形成する。また、照明瞳が形成される面（照明瞳面）は、照明瞳面と被照射面（露光装置の場合にはレチクル（マスク）のパターン面）との間の光学系の作用によって、被照射面が照明瞳面のフーリエ変換面となるような位置として定義することもできる。その照明瞳からの光は、その光学系、レチクル、及び投影光学系を介してウェハ等の感光性基板の表面にレチクルパターンの像を形成する。以下、照明瞳面又はこれと共役な面における光強度分布を瞳強度分布ともいう。

[0003] 従来、レチクルのパターンに応じて照明条件の一つである照明瞳内での偏光状態の分布を制御するために、輪帯状又は複数極状の照明瞳を形成し、波長板付きの開口絞りをを用いて、その照明瞳を通過する光束の偏光状態を、光軸に対してほぼ周方向を偏光方向とする直線偏光状態（以下、周方向偏光状態ともいう）に設定する技術が提案されている（例えば、特許文献1を参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：米国特許出願公開第2011／205519号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 最近、様々な形態の微細パターンを忠実に転写するのに適した照明条件を実現するために、瞳強度分布の形状（大きさを含む広い概念）及び偏光状態の変更に関する自由度の向上が望まれている。しかしながら、特許文献１に記載された従来技術では、偏光変換ユニットを交換しない限り、瞳強度分布の形状や偏光状態を変化させることができなかった。

[0006] 本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、偏光状態の変更に関して高い自由度を有する照明技術を提供することを目的とする。また、本発明は、そのような照明技術を用いて、適切な照明条件のもとで微細パターンを感光性基板に正確に転写することのできる露光技術及び高精度にデバイスを製造できるデバイス製造技術を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の第１の態様によれば、光源からの光により被照射面を照明する照明光学系において、その光源からの光の一部を第１の偏光状態にして射出する第１偏光部と、個別に制御される複数の光学要素を有し、その第１偏光部からの光を射出する空間光変調器と、その空間光変調器を介したその第１偏光部からの光の一部を、その第１の偏光状態とは異なる第２の偏光状態にする第２偏光部とを備える照明光学系が提供される。

[0008] また、第２の態様によれば、光源からの光により被照射面を照明する照明光学系において、所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有する空間光変調器と、その照明光学系の光軸に垂直な面において互いに直交する第１方向及び第２方向の偏光方向の直線偏光光をその空間光変調器へ導く第１偏光部と、を備え、前記第１方向又は前記第２方向は、前記光源からの光が前記所定面に入射するときの入射面に平行な方向であり、その第１偏光部は、その所定面においてその第１方向及び第２方向のうちの一方に平行な方向に沿って配置された第１、第２、及び第３領域のそれぞれの偏光方向がその第１方向、その第２方向、及びその第１方向となるように制御する第１の偏光制御部を備える照明光学系が提供される。

[0009] また、第3の態様によれば、光源からの光により被照射面を照明する照明光学系において、所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有する空間光変調器と、この空間光変調器を介したその第1偏光部からの光の少なくとも一部を、その第1方向又はその第2方向に対応する方向に対して斜めに交差する第3方向の直線偏光にする第1偏光部と、を備え、前記第1方向又は前記第2方向は、前記光源からの光が前記所定面に入射するときの入射面に平行な方向である照明光学系が提供される。

[0010] また、第4の態様によれば、所定のパターンを照明するための本発明の態様の照明光学系を備え、その所定のパターンを感光性基板に露光する露光装置が提供される。

また、第5の態様によれば、光源からの光により被照射面を照明する照明方法であって、前記光源からの光の一部を第1の偏光状態にして、個別に制御される複数の光学要素を有する空間光変調器に導くことと、前記複数の光学要素からの光の一部を、前記第1の偏光状態とは異なる第2の偏光状態にすることと、を含む照明方法が提供される。

[0011] また、第6の態様によれば、光源からの光により被照射面を照明する照明方法において、所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有し、照明光学系の照明瞳に光強度分布を可変的に形成する空間光変調器のその所定面とその光源との間に配置された第1の偏光制御部を用いて、その複数の光学要素に入射する光の偏光状態の分布を、その照明光学系の光軸に垂直な面内の互いに直交する第1方向及び第2方向の直線偏光成分の通過領域の面積比が可変となるように制御することと、その所定面とその被照射面との間に配置された第2の偏光制御部を用いて、その複数の光学要素を介してその被照射面に向かう光の偏光状態の分布を、その第1方向又はその第2方向に対応する方向に対して斜めに交差する第3方向の直線偏光成分を含む分布に設定することと、を含み、その第1方向又はその第2方向は、その光源からの光がその所定面に入射するときの入射面に平行な方向である照明方法が提供される。

[0012] また、第7の態様によれば、光源からの光により被照射面を照明する照明方法において、前記光の進行方向を横切る所定面内において互いに直交する第1方向及び第2方向の偏光方向の直線偏光光を、前記所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素へ導くことを含み、その第1方向又はその第2方向は、その光源からの光がその所定面に入射するときの入射面に平行な方向であり、前記複数の光学要素に導くことは、前記所定面において前記第1方向又は前記第2方向に平行な方向に沿って配置された第1、第2、及び第3領域のそれぞれの偏光方向が前記第1方向、前記第2方向、及び前記第1方向とする照明方法が提供される。

[0013] また、第8の態様によれば、光源からの光により被照射面を照明する照明方法において、前記光の進行方向を横切る所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素へ前記光を導くことと、その複数の光学要素からの光の少なくとも一部を、その所定面内において互いに直交する第1方向及び第2方向に対して斜めに交差する第3方向の直線偏光にすることを含み、その第1方向又はその第2方向は、その光源からの光がその所定面に入射するときの入射面に平行な方向に対応する方向である照明方法が提供される。

[0014] また、第9の態様によれば、本発明の態様の照明方法を用いて所定のパターンを照明し、その所定のパターンを感光性基板に露光する露光方法が提供される。

また、第10の態様によれば、本発明の態様の露光装置又は露光方法を用いて、その所定のパターンをその感光性基板に露光することと、その所定のパターンが転写されたその感光性基板を現像し、その所定のパターンに対応する形状のマスク層をその感光性基板の表面に形成することと、そのマスク層を介してその感光性基板の表面を加工することと、を含むデバイス製造方法が提供される。

発明の効果

[0015] 本発明の態様によれば、少なくとも1つの偏光制御部を用いて複数の光学要素に入射する光及び／又は複数の光学要素からの光の偏光状態を制御し、

複数の光学要素に入射するときの光の偏光方向を所定の方向に設定しているため、光学部材の交換を行うことなく、その偏光制御部と空間光変調器との協働作用によって偏光状態の変更に関して高い自由度が得られる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1] (A) は第 1 の実施形態に係る露光装置の概略構成を示す図、(B) は空間光変調器の一部のミラー要素を示す拡大斜視図、(C) は第 1 偏光制御系に入射する光束の偏光状態を示す図、(D) は照明瞳面における偏光状態の分布の一例を示す図である。

[図2] (A) は第 1 偏光制御系を示す図、(B) は空間光変調器 (SLM) のミラー要素のアレイを示す図、(C) は第 2 偏光制御系を示す図、(D) は他の状態の第 2 偏光制御系を示す図、(E) は偏光状態の分布の他の例を示す図である。

[図3] (A) は照明光学系の要部を示す斜視図、(B) は図 3 (A) 中の他のミラー要素からの光の光路を示す斜視図である。

[図4] 照明方法及び露光方法の一例を示すフローチャートである。

[図5] 変形例の照明光学系の要部を示す斜視図である。

[図6] (A) は図 5 中の第 1 偏光制御系を示す図、(B) は図 5 中の第 2 偏光制御系を示す図である。

[図7] 他の変形例の照明光学系の要部を示す斜視図である。

[図8] (A) は図 7 中の第 1 偏光制御系を示す図、(B) は図 7 中の第 2 偏光制御系を示す図である。

[図9] 第 2 の実施形態の照明光学系の要部を示す斜視図である。

[図10] (A) は図 9 中の第 1 偏光制御系を示す図、(B) は図 9 中の第 2 偏光制御系を示す図である。

[図11] 半導体デバイスの製造工程を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、第 1 の実施形態につき図 1 (A) ~ 図 4 を参照して説明する。図 1 (A) は、本実施形態に係る露光装置 EX の概略構成を示す。露光装置 EX

は投影光学系 P L を備えており、以下では投影光学系 P L の光軸 A X に平行に Z 軸を取り、Z 軸に垂直な平面で図 1 (A) の紙面に垂直な方向に X 軸を、その紙面に平行な方向に Y 軸を取って説明する。

図 1 (A) において、露光装置 E X は、露光用の照明光（露光光）I L を発生する光源 1 0 と、光源 1 0 からの照明光 I L を用いてレチクル R のパターン面（ここでは下面）R a を照明する照明光学系 I L S と、レチクル R を保持して移動するレチクルステージ R S T と、を備えている。さらに、露光装置 E X は、レチクル R のパターンの像を感光性基板としての半導体ウェハ（以下、単にウェハという。）W の表面に形成する投影光学系 P L と、ウェハ W を保持して移動するウェハステージ W S T と、装置全体の動作を統括的に制御するコンピュータよりなる主制御装置 3 8 と、主制御装置 3 8 の制御のもとで照明光学系 I L S の照明条件を制御する照明制御部 3 6 とを備えている。本実施形態の照明光学系 I L S は、照明光の瞳強度分布を制御するための空間光変調器 (spatial light modulator: S L M) 2 2、及び空間光変調器 2 2 と協働して照明光の照明瞳における偏光状態の分布を制御する偏光ユニット 8 を備えている。

[0018] 光源 1 0 としては波長 1 9 3 n m のパルス光を供給する A r F エキシマレーザ光源が使用されている。ただし、光源 1 0 としては、波長 2 4 8 n m の光を供給する K r F エキシマレーザ光源、固体レーザ光源（Y A G レーザ、半導体レーザ等）、又はレーザ光源の高調波発生装置等も用いることができる。光源 1 0 から射出される照明光 I L は、光源 1 0 の構成に応じたある方向に沿った直線偏光を主成分とする偏光状態となっている。ここで、ある方向に沿った直線偏光を主成分とする偏光状態とは、その方向の直線偏光の強度（偏光度）が照明光（露光光）の全体の強度に対して 8 0 % 以上である状態とすることができる。本明細書では、ある方向に直線偏光の光は、その方向に沿った直線偏光を主成分とする偏光状態の光を含むものとする。

[0019] 光源 1 0 から + Z 方向に射出された直線偏光の照明光 I L は、ビーム送光系 1 2 を介して照明光学系 I L S に入射する。照明光学系 I L S に入射した

光は、まず偏光設定系 1 4 に入射して全体としての偏光状態が所望の状態に設定される。偏光設定系 1 4 は、一例として 1 / 2 波長板 1 5 A、1 / 4 波長板 1 5 B、及び非平行な状態で配置されたそれぞれ旋光性を有する 1 対の楔形の光学素子よりなり、入射する光を非偏光（ランダム偏光）にして射出する非偏光化素子 1 5 C、及び駆動部 D R 1 を有する。一例として、波長板 1 5 A、1 5 B は照明光 I L の光路（照明光路）に常時設置され、それらの回転角が駆動部 D R 1 によって制御される。一方、非偏光化素子 1 5 C は、照明光 I L を非偏光にする場合にのみ駆動部 D R 1 によって照明光路に設置される。本実施形態において、偏光ユニット 8 を用いて照明光 I L の偏光状態を制御する場合には、非偏光化素子 1 5 C は照明光路外に待避しており、波長板 1 5 A、1 5 B の回転角は、波長板 1 5 A、1 5 B を通過した後の光が X 方向又は Y 方向の直線偏光となるように設定される。一例として、偏光設定系 1 4 を通過した照明光 I L は Y 方向の直線偏光になっているものとする。

[0020] なお、ビーム送光系 1 2 としては、光源から射出された光の強度分布を平滑化して空間光変調器に導くことが可能である米国特許公開第 2 0 1 2 / 0 0 2 8 1 9 7 号公報に開示される伝送光学系を使用することができる。また、偏光設定系 1 4 としては、光束の偏光方向及び／又は偏光度を制御することが可能である米国特許第 7, 4 2 3, 7 3 1 号公報に開示される偏光状態切換部を使用することができる。

偏光設定系 1 4 を通過した平行光束よりなる照明光 I L は、ミラー M R 1 で + Y 方向に反射され Z 方向の直線偏光として第 1 偏光制御系 1 6 を通過し、さらに前側レンズ群 2 0 a 及び前側レンズ群 2 0 b よりなる第 1 のリレー光学系 2 0 を通過した後、ミラー M R 2 で斜め上方に反射されて空間光変調器（以下、S L M という）2 2 の複数のミラー要素 2 4 に入射する。複数のミラー要素 2 4 で + Y 方向を中心とする方向に反射された照明光 I L は、前側レンズ群 2 6 a 及び後側レンズ群 2 6 b よりなる第 2 のリレー光学系 2 6 を介して第 2 偏光制御系 2 8 に入射する。本実施形態では、照明光学系 I L

Sの光軸AX1の方向は、ミラーMR1、MR2間及びSLM22と第2偏光制御系28との間でそれぞれY軸に平行（Y方向）である。また、第1偏光制御系16及び第2偏光制御系28を含んで偏光ユニット8が構成されている。

[0021] ビーム送光系12は、光源10からの入射光束を適切な大きさ及び形状の断面を有する光束に変換しつつ第1偏光制御系16へ導くとともに、第1偏光制御系16に入射する光束の位置変動及び角度変動をアクティブに補正する機能を有する。なお、ビーム送光系12は、光源10からの入射光束を適切な大きさ及び形状の断面を有する光束に変換しない構成であってもよい。第1偏光制御系16に入射するときの照明光ILは、図1（C）に示すようにX方向を長手方向とする長方形の断面50Aを有し、断面50A内での偏光方向は一例としてZ軸に平行な方向（Z方向）DVである。なお、以下では説明の便宜上、ほぼY方向に進行する光の偏光方向がZ方向であるとき、その偏光状態を縦偏光DVとも呼び、その光の偏光方向がX方向であるとき、その偏光状態を横偏光DHとも呼ぶこととする。

[0022] 第1偏光制御系16は、一例として、旋光性を有する光学材料より形成された断面50Aよりも大きい長方形の平行平板状の旋光部材18、及び旋光部材18を照明光路を横切るようにX方向に移動可能な駆動部DR2を有する。旋光部材18の光学材料としては、旋光性を有する結晶材料、例えば一軸性結晶である水晶が使用できる。水晶としては、左旋光性の左水晶又は右旋光性の右水晶のいずれでも使用できる。旋光部材18の入射面（ひいては射出面）は光軸AX1とほぼ直交し、その結晶光学軸は光軸AX1の方向とほぼ一致（すなわち入射光の進行方向であるY方向とほぼ一致）している。旋光部材18の入射面（又は入射面から射出面までの間の面、若しくはこれらの面の近傍の面でもよい）を旋光部材18の設置面P2とすると、設置面P2は光軸AX1にほぼ垂直である。また、駆動部DR2は、旋光部材18を移動させるためのアクチュエータと、旋光部材18の移動量を検知するためのエンコーダとを備えており、照明制御部36からの制御信号に基づい

て旋光部材 18 を移動させる。

[0023] 図 2 (A) に示すように、照明光 I L の断面 50 A 内での旋光部材 18 の X 方向（移動方向）のエッジ部は、断面 50 A の輪郭の X 方向のエッジ部（Z 軸にほぼ平行な直線状）にほぼ平行であり、旋光部材 18 はこの状態で断面 50 A に対して X 方向に平行移動する。また、旋光部材 18 の厚さは、+ Y 方向に入射する直線偏光の光の偏光方向を例えば進行方向に対して左回り（反時計回り）に 90 度回転するように、すなわち旋光角（旋光度）(angle of rotation) が左回りに 90 度になるように設定されている。以下では、旋光角を数値のみで表す場合、符号が+（正）の旋光角は光の進行方向に対して左回りの角度を表し、符号が-（負）の旋光角は光の進行方向に対して右回り（時計回り）の角度を表すものとする。

[0024] なお、ある旋光部材における旋光角を例えば左回りに θa としても、左回りに「 $\theta a + n \cdot 180$ 度」（ n は 0 以上の任意の整数）としても、その旋光部材を通過した後の光の偏光方向は、入射時に対して左回りに θa 変化している点で同じである。そこで、旋光部材 18 における旋光角を +90 度の代わりに、「+90 度 + $n_1 \cdot 180$ 度」（ n_1 は 0 以上の整数）としてもよい。また、偏光方向を左回りに 90 度回転する代わりに、偏光方向を右回りに 90 度回転しても射出される光の偏光方向は同じである。このため、旋光部材 18 として、旋光角を右回りに「90 度 + $n_1 \cdot 180$ 度」とする部材を使用してもよい。

[0025] 旋光部材 18 は、旋光性を有する結晶材料を旋光角に応じた厚さに加工することで製造可能である。この際に、旋光角を規定する整数 n_1 が大きくなると、旋光部材 18 を厚くできるため、旋光部材 18 の製造及び支持が容易になることもある。

照明光 I L の断面 50 A に対して旋光部材 18 を X 方向に移動することによって、断面 50 A 内で照明光 I L が入射時と同じ縦偏光 D V の状態で通過する第 1 領域 50 A a と、照明光 I L が旋光部材 18 を通過して偏光方向が入射時と直交する X 軸に平行な横偏光 D H となって射出される第 2 領域 50

A b との面積比（ひいては、領域 50 A a, 50 A b を通過する光の断面積の比）を任意の値に設定できる。領域 50 A a 又は 50 A b の面積を 0 にすることも可能である。

[0026] 図 1 (A) において、S L M 2 2 は、Y 軸に垂直な面に対して X 軸に平行な軸を中心として右回りに、所定の小さい角度だけ回転した平面である配列面 P 1 に平行な支持面を有する本体部 2 3 と、本体部 2 3 のその支持面に支持されて配列面 P 1 に X 方向及び X 方向に直交する方向（ほぼ Z 方向）に所定間隔で配列されて個別に制御される複数のミラー要素 2 4 とを有する。さらに、S L M 2 2 は、照明制御部 3 6 からの制御信号に基づいて、複数のミラー要素 2 4 の姿勢としての配列面 P 1 内の直交する（斜めに交差していてもよい）2 つの軸の回りの傾斜角 θ_x , θ_z （図 1 (B) 参照）を個別に制御する駆動部 2 5 を有する。ミラー要素 2 4 の X 方向、及び X 方向に直交する方向の配列数はそれぞれ例えば数 10 ～ 数 100 であり、ミラー要素 2 4 は例えば正形状（又は矩形状）でできるだけ隙間が少なくなるように密に配列されている。なお、ミラー要素 2 4 は必ずしも正形状（又は矩形状）でなくともよい。各ミラー要素 2 4 の角度は変化するため、配列面 P 1 とは、一例として複数のミラー要素 2 4 の中心が配列される面であるとする。配列面 P 1 の法線方向は、S L M 2 2 に入射する光の光軸 A X 1 及び S L M 2 2 で反射して射出される光の光軸 A X 1（この部分では Y 軸に平行）に互いに同じ角度で交差する。

[0027] また、旋光部材 1 8 の設置面 P 2 の中心は、リレー光学系 2 0 の前側レンズ群 2 0 a の前側焦点位置又はこの近傍の位置にあり、前側レンズ群 2 0 a の後側焦点位置と後側レンズ群 2 0 b の前側焦点位置とはほぼ一致しており、後側レンズ群 2 0 b の後側焦点位置がほぼ S L M 2 2 の配列面 P 1 の中心に位置している。従って、第 1 偏光制御系 1 6 の設置面 P 2 を通過した平行光束よりなる照明光 I L は、リレー光学系 2 0 及びミラー M R 2 を介して平行光束として S L M 2 2 の配列面 P 1 の断面 50 A とほぼ共役な照射領域 50 C（図 2 (B) 参照）に入射する。なお、照射領域 50 C は、実際にはミ

ラー要素24のアレイ上に設定されている。また、設置面P2と配列面P1とはリレー光学系20に関してほぼ共役であるとも言うことができる。

[0028] なお、本実施形態では後述のように配列面P1は光軸に垂直な面に対して僅かに傾斜しているため、配列面P1に対して共役な面も光軸に垂直な面に対して僅かに傾斜している場合がある。このような場合には、設置面P2をその配列面P1に対して共役な面に沿って傾斜させて設定し、旋光部材18をその傾斜した面に沿って移動するようにしてもよい。

[0029] 本実施形態では、図3(A)に示すように、断面50Aに入射した照明光ILのうち、第1領域50Aaを通過した縦偏光DVの光は、リレー光学系20及びミラーMR2を介して、SLM22の配列面P1内の第1領域P1a（第1領域50Aaとほぼ共役な領域）に配列面P1に対してP偏光PPの状態に入射する。この場合のP偏光とは、配列面P1に斜めに入射する光束とこの光束の入射点を通る配列面P1の法線とを含む面を入射面と定義すると、その光束がその入射面に対して平行な方向に偏光方向を有する直線偏光（入射面に平行な方向に電気ベクトルが振動している偏光）となっていることを意味する。

[0030] 一方、断面50Aの第2領域50Abを通過した後の横偏光DHの光は、配列面P1内の第2領域P1b（第2領域50Abとほぼ共役な領域）に配列面P1に対してS偏光SPの状態に入射する。この場合のS偏光とは、配列面P1に斜めに入射する光束がその入射面に対して垂直な方向に偏光方向を有する直線偏光となっていることを意味する。従って、第1領域P1a内の各ミラー要素24で反射される光は縦偏光DV（配列面P1に関してP偏光）でリレー光学系26に入射し、第2領域P1b内の各ミラー要素24で反射される光は横偏光DH（配列面P1に関してS偏光）でリレー光学系26に入射する。

[0031] なお、各ミラー要素24の角度は配列面P1に平行な方向に対して変化するが、その変化量は配列面P1に対する照明光ILの入射角に比べて小さいため、配列面P1にP偏光又はS偏光で入射する光は、各ミラー要素2

4 に対してもほぼ P 偏光又は S 偏光で入射するとみなすことができる。

一般にミラー要素 24 のような反射部材では、斜めに入射する光束に対して P 偏光と S 偏光とで反射率及び位相が僅かに異なるとともに、その反射率等の相違は入射角に応じて変化する。このため、その反射部材に斜めに P 偏光及び S 偏光以外の直線偏光の光が入射すると、反射光の偏光方向が変化するか、又は偏光状態が楕円偏光に変化する恐れがある。これに対して、本実施形態では、SLM22 の配列面 P1 に入射する光は P 偏光又は S 偏光であり、反射光の偏光状態は入射時とほぼ同じであるため、照明瞳における偏光状態の分布を目標とする分布に高精度に制御できる。ここで、第 1 偏光制御系 16 を、光源からの光の一部を第 1 の偏光状態にして射出する第 1 偏光部、或いは SLM22 の配列面 P1 に P 偏光及び S 偏光の少なくとも一方の直線偏光を導く第 1 偏光部と見なしても良い。また、ミラー MR1, MR2 の少なくとも一方は、SLM22 の配列面 P1 に入射する光の入射面 (YZ 平面) において光を偏向する偏向部材と見なしても良い。

[0032] なお、SLM22 の各ミラー要素 24 の角度は連続的に変化させてもよいが、離散的に例えば複数の角度 (直交する 2 軸の回りのそれぞれにおいて、例えば 0.5 度単位で変化する角度等) で切り換え制御してもよい。

本実施形態の SLM22 (空間光変調器) としては、例えば欧州特許公開第 779530 号公報、米国特許第 5,867,302 号公報、米国特許第 6,600,591 号公報、米国特許第 6,900,915 号公報、米国特許第 7,295,726 号公報、米国特許第 7,567,375 号公報、米国特許公開第 2005/046921 号公報、米国特許公開第 2008/309901 号公報、米国特許公開第 2012/008121 号公報、国際特許公開第 2010/037476 号パンフレット、国際特許公開第 2013/027400 号パンフレット、又は国際特許公開第 2013/027405 号パンフレット等の開示される空間光変調器を用いることができる。また、このような空間光変調器は、例えばいわゆる MEMS (Microelectromechanical Systems: 微小電気機械システム) 技術を用いて製造することもできる。

[0033] 図1 (A) において、SLM22の複数のミラー要素24で反射された光は、リレー光学系26の前側レンズ群26aを介して、リレー光学系26の瞳面P3に入射する。前側レンズ群26aは、その前側焦点位置がSLM22の配列面P1の中心とほぼ一致し且つその後側焦点位置が瞳面P3の中心とほぼ一致するように設定されている。各ミラー要素24で反射された光は、各ミラー要素24の直交する2軸の回りの傾斜角（姿勢）に応じて定まる瞳面P3上のX方向及びZ方向の位置に入射する。このため、瞳面P3には、SLM22の複数のミラー要素24の個別の傾斜角の分布に応じた光強度分布が可變的に形成される。

[0034] 瞳面P3に光強度分布を形成した照明光ILは、リレー光学系26の後側レンズ群26bを介して、第2偏光制御系28にX方向を長手方向とする長方形の断面50B（図2 (C) 参照）で入射する。第2偏光制御系28は、一例として、それぞれ旋光性を有する光学材料より形成された断面50Bよりも大きい長方形の平行平板状の第1、第2、及び第3の旋光部材30A、30B、30C、及び旋光部材30A～30Cを個別に照明光路を横切るように移動させる駆動部DR3を有する。旋光部材30A～30Cは、一例として旋光部材30C、30B、30Aの順に+Y方向に配置されているが、この配置の順序は任意である。旋光部材30A～30Cの光学材料としては、旋光部材18と同様に旋光性を有する結晶材料、例えば水晶（左水晶又は右水晶）が使用できる。旋光部材30A～30Cも旋光部材18と同様に製造できる。

[0035] 旋光部材30A～30Cの入射面（ひいては射出面）はそれぞれ光軸AXIとほぼ直交し、その結晶光学軸はそれぞれ光軸AXIの方向とほぼ一致（すなわち入射光の進行方向であるY方向とほぼ一致）している。一例として、中央の旋光部材30Bの入射面と射出面と間の中央の面（又は旋光部材30Cの入射面から旋光部材30Aの射出面までの間の面、若しくはこれらの面の近傍の面でもよい）を旋光部材30A～30Cの設置面P4とすると、設置面P4は光軸AXIにほぼ垂直である。なお、旋光部材30A～30C

の厚さは実際には後側レンズ群 26 b 等の焦点距離に比べてかなり小さいため、旋光部材 30 A ~ 30 C は全部がほぼ設置面 P 4 の位置にあるとみなすことができる。

[0036] また、リレー光学系 26 の前側レンズ群 26 a の後側焦点位置と後側レンズ群 26 b の前側焦点位置とはほぼ一致しており、後側レンズ群 26 b の後側焦点位置がほぼ旋光部材 30 A ~ 30 C の設置面 P 4 の中心に位置している。従って、設置面 P 4 と S L M 22 の配列面 P 1 とはリレー光学系 26 に関してほぼ共役であり、図 2 (C) の照明光 I L の断面 50 B は、配列面 P 1 内の照明光 I L の長方形の照射領域 50 C、ひいては第 1 偏光制御系 16 の設置面 P 2 における照明光 I L の断面 50 A とほぼ共役である。

[0037] 第 2 偏光制御系 28 の駆動部 D R 3 は、図 2 (C) に示すように照明光 I L の断面 50 B に対して、一例として旋光部材 30 A を Z 方向（短辺方向）に平行移動し、他の 2 枚の旋光部材 30 B, 30 C を X 方向（長辺方向）に互いに独立に平行移動する。また、旋光部材 30 A の断面 50 B 内の Z 方向（移動方向）のエッジ部は、断面 50 B の輪郭の Z 方向のエッジ部（X 軸にほぼ平行な直線状）にほぼ平行であり、旋光部材 30 B, 30 C の断面 50 B 内の X 方向（移動方向）のエッジ部は、断面 50 B の輪郭の X 方向のエッジ部（Z 軸にほぼ平行な直線状）にほぼ平行である。駆動部 D R 3 は、旋光部材 30 A ~ 30 C を個別に移動させるための 3 つのアクチュエータと、旋光部材 30 A ~ 30 C の移動量を個別に検知するための 3 つのエンコーダとを備えており、照明制御部 36 からの制御信号に基づいて旋光部材 30 A ~ 30 C を移動させる。本実施形態では、旋光部材 30 A ~ 30 C はそれぞれ 1 次元方向に移動する構成であるため、旋光部材 30 A ~ 30 C の支持及び駆動機構を簡素化できる。

[0038] なお、本実施形態では S L M 22 の配列面 P 1 は光軸に垂直な面に対して僅かに傾斜しているため、配列面 P 1 に対して共役な面も光軸に垂直な面に対して僅かに傾斜している場合がある。このような場合には、第 2 偏光制御系 28 の設置面 P 4 をその配列面 P 1 に対して共役な面に沿って傾斜させて

設定し、旋光部材30A～30Cをその傾斜した面に沿って移動するようにしてもよい。

[0039] また、リレー光学系20、26に関して、断面50B内で第1偏光制御系16の旋光部材18と共役な領域（X方向のエッジ部がほぼZ軸に平行な領域）を旋光部材18の像18Pとする。このとき、断面50Bに入射する照明光ILの偏光状態は、像18Pの部分では横偏光DHであり、それ以外の部分では縦偏光DVである。また、駆動部DR2によって、像18PのX方向の位置は可変である。一例として、断面50B内で、旋光部材30A～30C及び像18Pとは重ならない部分（素通しの部分）を第1部分領域C1、旋光部材30Aだけがある部分を第2部分領域C2、旋光部材30B、30C及び像18Pだけが重なる部分を第3部分領域C3、旋光部材30A～30C及び像18Pの全部が重なる部分を第4部分領域C4、像18Pだけがある部分を第5部分領域C5、旋光部材30A及び像18Pだけが重なる部分を第6部分領域C6、旋光部材30B及び像18Pだけが重なる部分を第7部分領域C7、旋光部材30A、30B及び像18Pだけが重なる部分を第8部分領域C8と呼ぶ。

[0040] このとき、部分領域C1～C8に入射する光は、その部分領域に配置されている旋光部材30A～30Cによって連続して旋光作用を受けることになる。例えば第2部分領域C2は、縦偏光DVの入射光が旋光部材30Aによって1回だけ旋光作用を受ける領域であり、第4部分領域は、像18P内で横偏光DHの状態で入射する光が旋光部材30A～30Cによって3回の旋光作用を連続して受ける領域である。なお、断面50Bの全面に縦偏光DVの光が入射するものと仮定したとき、像18Pは、入射光に対して偏光方向を90度変化させる旋光部材とみなすこともできる。

[0041] また、第2偏光制御系28における照明光ILの断面50Bと図2（B）のSLM22に対する照明光ILの照射領域50Cとは共役である。そこで、断面50B内の8個の部分領域C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7、C8と共役な照射領域50C内の領域をそれぞれミラー要素24の部分

アレイ領域 D 1, D 2, D 3, D 4, D 5, D 6, D 7, D 8 と呼ぶ。第 1 偏光制御系 1 6 (旋光部材 1 8) 及び第 2 偏光制御系 2 8 (旋光部材 3 0 A ~ 3 0 C) の駆動によって、図 2 (D) に示すように、8 個の部分領域 C 1 ~ C 8 の面積比 (ひいては部分領域 C 1 ~ C 8 を通過する光の断面積の比) は広い範囲で変更可能である。部分領域 C 1 ~ C 8 の面積比が変更されるのに応じて S L M 2 2 における部分アレイ領域 D 1 ~ D 8 の面積比 (ひいてはこれらのアレイ領域内のミラー要素 2 4 の数の比) も同じ割合で変更される。

[0042] また、本実施形態の照明光学系 I L S は、一例として、照明瞳における偏光状態の分布を、光の偏光方向に関して例えば縦偏光 D V (又は横偏光 D H でもよい) を基準として 1 8 0 度 (π (rad)) の $1/N$ (N は 2 以上の整数) の角度 $\phi 1$ を単位として設定可能とするものとする。この場合、照明瞳の任意の光強度分布内で同時に設定可能な複数の偏光方向は N 個であり、その偏光方向は、ある基準となる方向に関して以下の N 個の角度のうちいずれかの角度だけずれている。

[0043] 偏光方向 = $i \cdot \phi 1$, ($i = 0, 1, 2, \dots, N-1$) ... (1)

$\phi 1 = 180 \text{度} / N$... (2)

一例として、 $N = 4$ とすると、偏光方向の設定単位の角度 $\phi 1$ は 4 5 度 ($= 180 \text{度} / 4$) となる。また、 $N = 8$ とすると、角度 $\phi 1$ は 2 2. 5 度 ($= 180 \text{度} / 8$) となる。

以下では、 $N = 8$ の場合について説明する。このとき、照明瞳が形成される面である照明瞳面 I P P (詳細後述) において、偏光方向が縦偏光 D V に対して左回りに $i \cdot 22. 5 \text{度}$ ($i = 0 \sim 7$)、すなわち 0 度、2 2. 5 度、4 5 度、6 7. 5 度、9 0 度、1 1 2. 5 度、1 3 5 度、及び 1 5 7. 5 度回転した方向をそれぞれ図 1 (D) の方向 A 1, A 2, A 3, A 4, A 5, A 6, A 7, A 8 とする。このとき、偏光方向が縦偏光 D V に対して右回りに $i \cdot 22. 5 \text{度}$ ($i = 0 \sim 7$) 回転した方向は方向 A 8 ~ A 1 となる。照明瞳内で局所的な複数の領域の偏光方向を方向 A 1 ~ A 8 の任意の組み合

わせとすることで、極めて自由度の高い偏光状態を設定できる。

[0044] $N = 8$ (角度 $\phi_1 = 22.5$ 度) の場合、図 2 (C) に示すように、一例として、旋光部材 30A、旋光部材 30B、及び旋光部材 30C の厚さは、それぞれ +Y 方向に入射する直線偏光の光に対する旋光角を左回りに「 22.5 度 + $n_2 \cdot 180$ 度」、「 45 度 + $n_3 \cdot 180$ 度」、及び「 90 度 + $n_4 \cdot 180$ 度」とするように設定されている。なお、 n_2 、 n_3 、 n_4 はそれぞれ 0 以上の整数であり、 n_2 、 n_3 、 n_4 は互いに異なってもよい。仮に $n_2 = n_3 = n_4 = 0$ とすると、旋光部材 30A、30B、及び 30C における旋光角は左回りにそれぞれ 22.5 度、 45 度、及び 90 度となり、 $n_2 = n_3 = n_4 = 1$ であるとする、旋光部材 30A、30B、及び 30C における旋光角は左回りにそれぞれ 202.5 度、 225 度、及び 270 度となる。

[0045] また、偏光方向を左回りにある角度 ϕ_a だけ回転しても、偏光方向を右回りに $(180 \text{ 度} - \phi_a)$ だけ回転しても、射出される光の偏光方向は同じであるため、旋光部材 30A、30B、30C の厚さを、それぞれ入射光に対する旋光角を右回りに「 -22.5 度 + $(n_2 + 1) \cdot 180$ 度」、「 -45 度 + $(n_3 + 1) \cdot 180$ 度」、及び「 -90 度 + $(n_4 + 1) \cdot 180$ 度」とするように設定してもよい (以下、同様)。さらに、例えば旋光部材 30A では旋光角を左回りに設定し、旋光部材 30B、30C では旋光角を右回りに設定するように、旋光部材 30A ~ 30C 間で偏光方向の回転方向 (左回り又は右回り) を異ならせてもよい。旋光角を規定する整数 n_2 、 n_3 、 n_4 が大きくなると、旋光部材 30A ~ 30C を厚くできるため、旋光部材 30A ~ 30C の製造及び支持が容易になることもある。

[0046] なお、以下では、説明の便宜上、旋光部材における旋光角が左回り又は右回りに ϕ_a であるときには、その角度は「 $\phi_a + n \cdot 180$ 度」 (n は 0 以上の整数) の場合を含むものとする。

本実施形態において、部分領域 C1 ~ C8 に入射する光の偏光方向は、当該部分領域内にある旋光部材 30A ~ 30C による旋光角の和の角度だけ変

化する。旋光部材 30A, 30B, 30C における旋光角を ϕA 、 ϕB 、 ϕC とすると、例えば 3 枚の旋光部材 30A, 30B, 30C を順次透過して射出される光の偏光方向は、入射時の方向に対して以下の角度 ϕt だけ回転することになる。また、像 18P では、縦偏光 DV に対して偏光方向が 90 度変化した光が入射している。

[0047] $\phi t = \phi A + \phi B + \phi C \quad \dots (3)$

また、ある角度 ϕa で回転した後の偏光方向と、角度「 $\phi a + n a \cdot 180$ 度」($n a$ は整数) で回転した後の偏光方向とは同じである。このため、図 2 (C) において、断面 50B 内の部分領域 C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, 及び C8 を通過した後の照明光 IL の偏光方向は、基準となる縦偏光 DV に対してそれぞれ左回りに 0 度、22.5 度 ($= \phi 1$)、45 度 ($= 2 \cdot \phi 1$)、67.5 度 ($= 3 \cdot \phi 1$)、90 度 ($= 4 \cdot \phi 1$)、112.5 度 ($= 5 \cdot \phi 1$)、135 度 ($= 6 \cdot \phi 1$)、及び 157.5 度 ($= 7 \cdot \phi 1$) だけ回転している。従って、第 2 偏光制御系 28 を通過した後の照明光 IL は、8 個の互いに偏光方向が異なる直線偏光の成分を有する。

[0048] ここで、縦偏光 DV に対して ± 45 度変化した偏光方向を持つ偏光状態を 45 度偏光 DSA 及び DS B、縦偏光 DV に対して ± 22.5 度変化した偏光方向を持つ偏光状態を 22.5 度の偏光 DV1 及び DV2、横偏光 DH に対して ± 22.5 度変化した偏光方向を持つ偏光状態を 22.5 度の偏光 DH1 及び DH2 と呼ぶこととする。このとき、断面 50B 内の部分領域 C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, 及び C8 を通過した後の照明光の偏光状態はそれぞれ DV, DV1, DSA, DH2, DH, DH1, DS B, 及び DV2 となる。これらの偏光状態 DV ~ DV2 の偏光方向が図 1 (D) の偏光方向 A1 ~ A8 に平行となって対応している。

[0049] また、断面 50B 内の部分領域 C1 ~ C8 は SLM22 の照射領域 50C 内の部分アレイ領域 D1 ~ D8 と共役であるため、部分領域 C1 ~ C8 を通過した後の光の偏光方向が互いに異なることは、実質的に SLM22 の照射

領域 50C 内の 8 個の面積比が可変の部分アレイ領域 D1～D8 で反射された光が互いに偏光方向の異なる直線偏光になっているのと等価である。このため、部分アレイ領域 D1～D8 内の一つ又は複数のミラー要素 24 の角度を個別に制御することによって、照明瞳内の光強度分布を任意の配置で 8 個の偏光方向を持つ分布に設定できる。

[0050] なお、要は断面 50B 内の 8 個の部分領域を通過した後の光の偏光方向が ϕ 1 単位で異なる 8 個の方向になればよいと、この条件を満たす範囲で旋光部材 30A～30C における旋光角は任意の組み合わせが可能である。例えば、旋光部材 30A、30B、30C における旋光角をそれぞれ左回りに 45 度、22.5 度、及び 90 度としても、これらを通過した後の光の偏光方向を 8 個の方向に設定できる。さらに、旋光部材 30A、30B、30C における旋光角をそれぞれ右回りに 22.5 度、45 度、及び 90 度としてもよい。

ここで、第 2 偏光制御系 28 を、SLM22 を介した第 1 偏光部からの光の一部を、第 1 偏光状態（縦偏光 DV 及び横偏光 DH）とは異なる第 2 偏光状態にする第 2 偏光部、或いは縦偏光 DV 及び横偏光 DH の偏光方向に対して斜めに交差する方向の直線偏光にする第 2 偏光部と見なしても良い。

[0051] 図 1（A）において、第 2 偏光制御系 28 を経た照明光 IL は、集光光学系 32 を介してマイクロレンズアレイ（又はフライアイレンズでもよい）34 に入射する。後側レンズ群 26b 及び集光光学系 32 は、瞳面 P3 とマイクロレンズアレイ 34 の入射面 P5 とを光学的に共役に設定している。従って、SLM22 のミラー要素 24 のアレイを経た照明光 IL は、マイクロレンズアレイ 34 の入射面 P5 に、瞳面 P3 に形成された光強度分布と相似の光強度分布を有し、かつ偏光ユニット 8 によって制御された偏光状態の分布を有する光強度分布を形成する。

[0052] マイクロレンズアレイ 34 は、例えば縦横に且つ稠密に配列された多数の正屈折力を有する断面が矩形状の微小レンズからなる光学素子であり、例えば平行平板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによ

て形成可能である。レンズ要素が縦横に配置されている点でマイクロレンズアレイはフライアイレンズと同じ波面分割型のオプティカルインテグレータである。マイクロレンズアレイ 34 の後側焦点面又はその近傍の面が照明瞳面 I P P となり、この面に照明瞳が形成される。なお、照明瞳面 I P P 又はその近傍に、後述の二次光源に対応した形状の開口部（光透過部）を有する照明開口絞りを配置してもよい。

[0053] マイクロレンズアレイ 34 における単位波面分割面としての矩形状の微小屈折面は、レチクル R 上において形成すべき照野（照明領域）の形状（ひいてはウェハ W 上において形成すべき露光領域の形状）と相似な矩形状である。なお、マイクロレンズアレイ 34 として、例えばシリンドリカルマイクロフライアイレンズを用いることもできる。シリンドリカルマイクロフライアイレンズの構成及び作用は、例えば米国特許第 6 9 1 3 3 7 3 号明細書に開示されている。

[0054] マイクロレンズアレイ 34 による波面分割数は比較的大きいため、マイクロレンズアレイ 34 の入射面 P 5 に形成される大局的な光強度分布と、照明瞳面 I P P における二次光源全体の大局的な光強度分布（瞳強度分布）とが高い相関を示す。このため、マイクロレンズアレイ 34 の入射面 P 5 及び当該入射面 P 5 と光学的に共役な面における光強度分布についても実質的に瞳強度分布と称することができる。リレー光学系 26、集光光学系 32、及びマイクロレンズアレイ 34 は、S L M 22 を経た光束に基づいてマイクロレンズアレイ 34 の直後の照明瞳 I P P に瞳強度分布を形成する分布形成系を構成している。なお、集光光学系 32 及びマイクロレンズアレイ 34、或いは集光光学系 32、マイクロレンズアレイ 34、コンデンサー光学系 42、結像光学系 46 の第 1 レンズ群 46 a を、第 2 偏光制御系を介した S L M 22 からの光を照明光学系の照明瞳に分布させる分布形成光学系と見なしても良い。

[0055] マイクロレンズアレイ 34 に入射した照明光 I L は多数の微小レンズにより二次元的に分割されて照明瞳面 I P P に入射し、照明瞳面 I P P には入射

面 P 5 に形成される光強度分布とほぼ同じ光強度分布でほぼ同じ偏光状態の分布を有する二次光源（多数の小さい光源からなる実質的な面光源としての瞳強度分布）が形成される。照明瞳面 I P P に形成された二次光源からの光束は、コンデンサー光学系 4 2 を介して、照明視野絞りとしてのレチクルブラインド 4 4 を重疊的に照明する。

[0056] レチクルブラインド 4 4 の矩形状の開口部（光透過部）を介した光束は、第 1 レンズ群 4 6 a を経てミラー MR 3 によりほぼ -Z 方向へ反射された後、第 2 レンズ群 4 6 b によって集光されて、転写用のパターンが形成されたレチクル R のパターン面 R a（ここでは下面）の照明領域を重疊的に照明する。このとき、レンズ群 4 6 a 及び 4 6 b よりなる結像光学系 4 6 は、レチクルブラインド 4 4 の矩形状開口部の像をレチクル R のパターン面 R a に形成する。上述のように、偏光設定系 1 4、ミラー MR 1 ~ MR 3、リレー光学系 2 0、2 6、S L M 2 2、偏光ユニット 8、集光光学系 3 2、マイクロレンズアレイ 3 4、コンデンサー光学系 4 2、レチクルブラインド 4 4、及び結像光学系 4 6 を含んで照明光学系 I L S が構成されている。また、レチクル R のパターン面 R a（被照射面）は、照明光学系 I L S のコンデンサー光学系 4 2 及び結像光学系 4 6 によって照明瞳面 I P P に対して光学的なフーリエ変換面となっている。なお、瞳強度分布とは、照明瞳面 I P P 又は照明瞳面 I P P と光学的に共役な面における光強度分布（輝度分布）である。

[0057] レチクルステージ R S T に保持されたレチクル R の照明領域を透過した照明光 I L は、投影光学系 P L を介して、ウェハステージ W S T に保持されたウェハ W の表面の露光領域（照明領域と共役な領域）にレチクルパターンの像を形成する。投影光学系 P L の瞳面（入射瞳と共役な面）は照明瞳面 I P P と共役であり、投影光学系 P L の瞳面又はその近傍の位置に開口絞り A S が設置されている。ウェハ W は、例えばシリコン等の半導体の円板状の基材の表面にフォトレジスト（感光剤）を数 1 0 ~ 2 0 0 n m 程度の厚さで塗布した基板を含む。

[0058] 本実施形態の露光装置 E X が液浸型である場合には、例えば米国特許出願

公開第2007/242247号明細書等に掲載されるように液体の供給及び回収を行う装置（不図示）によって、露光中に投影光学系PLの先端のレンズとウェハWとの間の局所的な領域に照明光ILを透過する液体が供給される。

また、レチクルステージRSTは、不図示のレチクルベースの上面に、少なくともXY平面内で移動可能に載置されている。レチクルステージRSTの少なくとも2次元的位置は不図示のレーザ干渉計によって計測され、この計測情報に基づいて、主制御装置38がリニアモータ等を含む駆動系DRRを介してレチクルステージRSTの位置及び速度を制御する。また、ウェハステージWSTは、不図示のベース部材の上面に少なくともXY平面内で移動可能に載置されている。ウェハステージWSTの少なくとも2次元的位置は不図示のレーザ干渉計又はエンコーダによって計測され、この計測情報に基づいて、主制御装置38がリニアモータ等を含む駆動系DRWを介してウェハステージWSTの位置及び速度を制御する。

[0059] また、本実施形態の露光装置EXは、照明光学系ILS及び投影光学系PLを介した照明光ILに基づいて、照明瞳面IPP又は投影光学系PLの瞳面における瞳強度分布及び偏光状態の分布を計測する計測装置40を備えている。なお、計測装置40は、瞳強度分布を計測する第1計測部と、偏光状態（例えばストークスパラメータ又はジョーンズ行列等で表される偏光状態）の分布を計測する第2計測部とを有する。計測装置40の計測結果は主制御装置38に供給される。なお、計測装置40と同様の計測装置をレチクルステージRSTに設け、照明光学系ILSのみの瞳強度分布及び偏光状態の分布を計測可能としてもよい。瞳強度分布の計測部として使用できる計測装置が、例えば米国特許公開第2010/0020302号明細書に記載されている。

[0060] ウェハWの露光時には、主制御装置38の制御のもとで、照明光学系ILSからの照明光ILでレチクルRを照明した状態で、投影光学系PLを介してウェハWを一括露光又は走査露光する動作と、ウェハステージWSTを介

してX方向、Y方向にウェハWを移動する動作とを繰り返すことで、ウェハWの全部のショット領域にレチクルRのパターンの像が露光される。走査露光を行う場合には、図1（A）におけるY方向をレチクルR及びウェハWの走査方向に設定することができる。

[0061] 次に、本実施形態の露光装置EXにおいて照明瞳面IPPにおける光強度分布及び偏光状態の分布を制御してレチクルRを照明する照明方法、及びこの照明方法を用いる露光方法の一例につき図4のフローチャートを参照して説明する。この方法の動作は主制御装置38によって制御される。まず、図4のステップ102で図1（A）のレチクルステージRSTにレチクルRがロードされる。主制御装置38は内部の記憶装置の露光データファイルからレチクルRの照明条件（瞳強度分布及び偏光状態の分布を含む）を読み出し、その照明条件の情報を照明制御部36に出力する。説明を簡単化するため、照明瞳面IPP（照明瞳）には図3（A）の4つの瞳領域53a, 53b, 53c, 53d及び図3（B）の4つの瞳領域53e, 53f, 53g, 53hで光強度が大きくなり、これらの光軸AXIを囲むように周方向にほぼ等角度間隔で配置された8個の瞳領域53a～53hにおける光の偏光方向がそれぞれ互いに異なる方向A1～A8（図1（D）参照）となる瞳強度分布53を設定するものとする。また照明瞳面IPPにおける光強度分布とリレー光学系26の瞳面P3における光強度分布とは実質的に共役（ここでは反転した相似）であるとなすことができるため、瞳領域53a～53hに対応する瞳面P3上の領域を図3（A）及び（B）の瞳領域55a, 55b, 55c, 55d及び53e, 53f, 53g, 53hとする。

[0062] このとき、照明瞳面IPPにおける8個の偏光方向A1～A8別の瞳領域53a～53h（照射領域）の面積及び光強度はほぼ同じであるとする。そこで、照明制御部36は、偏光方向A1～A8別の瞳領域53a～53hの目標とする面積比に応じて、ここでは瞳領域53a～53hが互いに同じになるように、第1偏光制御系16及び第2偏光制御系28を駆動する（ステップ104）。この場合には、図2（C）に示すように、第2偏光制御系2

8の設置面P4を通る照明光ILの断面50B内での8個の部分領域C1～C8の面積が互いに同じになるように、第1偏光制御系16の旋光部材18（像19P）のX方向の位置、並びに第2偏光制御系28の旋光部材30AのZ方向の位置、及び旋光部材30B、30CのX方向の位置が制御される。その部分領域C1～C8と共役なSLM22のミラー要素24のアレイの領域は図2（B）の8個の部分アレイ領域D1～D8である。

[0063] そして、照明制御部36は、SLM22の駆動部25を介して、8個の部分アレイ領域D1～D8毎に、それらに属する複数のミラー要素24の角度（直交する2軸の回りの傾斜角）を個別に設定する（ステップ106）。この場合、第2偏光制御系28の部分領域C1～C8を通過した後の照明光ILの偏光状態DV～DV2の照明瞳面IPPにおける偏光方向は方向A1～A8に対応しているため、部分アレイ領域D1～D8内の複数のミラー要素24で反射される光がそれぞれ図3（A）及び（B）の例えば小さい円形の瞳領域55a～55h（ひいては瞳領域53a～53h）内にほぼ均一に入射するように、各ミラー要素24の角度が設定される。

[0064] なお、より複雑な瞳強度分布を設定する場合には、例えば照明瞳面IPP（又は瞳面P3）を格子状に複数の区画に分割し、瞳強度分布をそれぞれの区画の光強度及び偏光状態を用いて数値として表現した形式（広義のビットマップ形式）で表現することができる。ここで、空間光変調器3のミラー要素数をM1個とし、瞳強度分布の分割された区画数をM2個とすると、個々のミラー要素24により反射されるM1本の光線を適当に組み合わせてM2個の区画に導くことで、換言すれば、M2個の区画により構成されるM2個の輝点上でM1本の光線を適当に重ね合わせることで、瞳強度分布（二次光源）が形成（設定）される。

[0065] その後、ウェハステージWSTにウェハWがロードされ（ステップ108）、光源10から照明光ILの照射が開始される（ステップ110）。照明光ILは、まず第1偏光制御系16を通過して縦偏光DVと横偏光DHとの面積比が所定の値（ここでは1：3）になるように偏光状態が変換されてリ

レー光学系20を介してSLM22に入射する（ステップ112）。そして、SLM22に入射した照明光ILは各ミラー要素24によってステップ106で設定された角度に応じた方向に反射される（ステップ114）。反射された照明光ILはリレー光学系26を介して第2偏光制御系28に入射し、部分領域C1～C8毎に設定される8個の偏光方向の成分を持つ光に変換される（ステップ116）。そして、第2偏光制御系28を通過した照明光ILは集光光学系32を介してマイクロレンズアレイ34の入射面P5、ひいては照明瞳面IPPの8個の瞳領域53a～53hにそれぞれ偏光方向A1～A8の直線偏光で入射する（ステップ118）。

[0066] 具体的に、図2（B）の部分アレイ領域D1，D2，D3，D4内の一つのミラー要素24を代表的に図3（A）の拡大したミラー要素24A，24B，24G，24Hで表し、部分アレイ領域D5，D6，D7，D8内の一つのミラー要素24を代表的に図3（B）の拡大したミラー要素24C，24D，24E，24Fで表するものとする。このとき、図3（A）において、ミラー要素24A，24Bの反射光は縦偏光DVとして瞳面P3の瞳領域55a，55bを通過して第2偏光制御系28の部分領域C1，C2に入射して偏光方向が方向A1，A2となって、照明瞳面IPPの瞳領域53a，53bに入射する。また、ミラー要素24G，24Hの反射光は横偏光DHとして瞳面P3の瞳領域55c，55dを通過して第2偏光制御系28の部分領域C3，C4に入射して偏光方向が方向A3，A4となって、照明瞳面IPPの瞳領域53c，53dに入射する。

[0067] 一方、図3（B）において、ミラー要素24C～24Fの反射光は横偏光DHとして瞳面P3の瞳領域55e～55hを通過して第2偏光制御系28の部分領域C5～C8に入射して、偏光方向が方向A5～A8となって照明瞳面IPPの瞳領域53e～53hに入射する。同様に、図2（B）のSLM22の部分アレイ領域D1～D8内の他のミラー要素24からの反射光もそれぞれ瞳領域53a～53h内に均一な分布で入射する。これによって、所望の光強度分布及び偏光状態の分布を有する瞳強度分布53（照明瞳）が

照明瞳面 I P P に形成される。その照明瞳からの照明光 I L で照明光学系 I L S によってレチクル R のレチクル面 R a が照明される。そして、その照明光 I L によってウェハ W が露光される（ステップ 120）。そして、照明光 I L の照射が停止され、露光済みのウェハ W がアンロードされる。その後、次のウェハに露光する場合には（ステップ 122）、動作はステップ 108 に移行して、照明瞳の形成及び露光が繰り返される。

[0068] このように、本実施形態の照明方法及び露光方法によれば、SLM22及び偏光ユニット8の協働作用によりレチクルRのパターンに対して高精度に最適化された偏光状態の分布を含む照明条件でレチクルRを照明できるため、レチクルRのパターンをウェハWに高精度に露光できる。

なお、例えば照明瞳面 I P P に図 1（D）のように光軸 A X I を囲むように周方向に 16 個の瞳領域 B j（j = 1 ~ 8）を持つ瞳強度分布 52 を設定し、瞳領域 B 1 ~ B 8 内の偏光方向が A 1 ~ A 8、瞳領域 B 9 ~ B 16 内の偏光方向が A 1 ~ A 8 となるように周方向偏光状態を設定する場合には、図 2（B）の SLM22 の部分アレイ領域 D 1 ~ D 8 からの反射光をそれぞれ瞳領域 B 1, B 9 ~ B 8, B 16 に振り分けられよい。

[0069] さらに、瞳領域 B 1 ~ B 16 内の偏光方向を、図 2（E）の瞳強度分布 52 A で示すように、光軸 A X I に対して半径方向（径方向偏光状態）に設定するためには、SLM22 の部分アレイ領域 D 5, D 6, D 7, D 8, D 1, D 2, D 3, D 4 からの反射光をそれぞれ瞳領域 B 1, B 9 ~ B 8, B 16 に振り分けられよい。図 2（E）の分布ではさらに、光軸上の瞳領域 B 17 で偏光方向が方向 A 1（縦偏光）となり、その周囲の 4 個の瞳領域 B 18 で偏光方向が方向 A 5 等の周方向偏光となっているが、これらの瞳領域 B 17, B 18 にはそれぞれ SLM22 の対応する部分アレイ領域 D 1, D 5 内のミラー要素 24 からの反射光を振り分けられよい。

[0070] そして、図 2（C）の部分領域 C 1 ~ C 8（ひいては SLM22 の部分アレイ領域 D 1 ~ D 8）の面積比を変化させて、部分アレイ領域 D 1 ~ D 8 からの反射光をそれぞれ偏光方向が A 1 ~ A 8 となる瞳領域に導くことによっ

て、照明瞳面 I P P に任意の光強度分布で任意の 8 個の偏光方向の分布の組み合わせを持つ照明瞳を容易に形成できる。

上述のように本実施形態の露光装置 E X は、光源 1 0 からの照明光 I L によりレチクル面 R a （被照射面）を照明する照明光学系 I L S を備えている。そして、照明光学系 I L S は、配列面 P 1 （所定面）内に配列されて個別に制御される複数のミラー要素 2 4 を有し、照明光学系 I L S の照明瞳に光強度分布を可變的に形成する S L M 2 2 （空間光変調器）と、配列面 P 1 と光源 1 0 との間（S L M 2 2 の上流）に配置されて、複数のミラー要素 2 4 に入射する光の偏光状態の分布を、照明光学系 I L S の光軸 A X I に垂直な面内の互いに直交する第 1 方向（Z 方向）及び第 2 方向（X 方向）の直線偏光成分の通過領域 5 0 A a, 5 0 A b の面積比が可變となるように制御する第 1 偏光制御系 1 6 と、配列面 P 1 とレチクル面 R a との間（S L M 2 2 の下流）に配置されて、複数のミラー要素 2 4 を介してレチクル面 R a に向かう光の偏光状態の分布を、その第 1 方向又はその第 2 方向に対応する方向に対して斜めに交差する第 3 方向の直線偏光成分（4 5 度偏光 D S A, D S B 等）を含む分布に設定可能な第 2 偏光制御系 2 8 と、を備えている。また、その第 1 方向（Z 方向）の直線偏光（縦偏光 D V）の光は、配列面 P 1 に入射するときに入射面に対して偏光方向が平行（P 偏光）である。

[0071] また、照明光学系 I L S を用いる照明方法は、S L M 2 2 の配列面 P 1 の上流に配置された第 1 偏光制御系 1 6 を用いて、複数のミラー要素 2 4 に入射する光の偏光状態の分布を、照明光学系 I L S の光軸 A X I に垂直な面内の互いに直交する Z 方向及び X 方向の直線偏光成分の通過領域の面積比が可變となるように制御するステップ 1 1 2 と、配列面 P 1 の下流に配置された第 2 偏光制御系 2 8 を用いて、複数のミラー要素 2 4 を介してレチクル面 R a に向かう光の偏光状態の分布を、Z 方向又は X 方向に対して斜めに交差する第 3 方向の直線偏光成分を含む分布に設定するステップ 1 1 6 と、を含み、その Z 方向の直線偏光（縦偏光 D V）の光は、配列面 P 1 に入射するときに入射面に対して P 偏光である。

[0072] このように照明光学系 I L S 又は照明方法は姿勢が個別に制御される多数のミラー要素 2 4 を有する S L M 2 2 を用いるため、まず、瞳強度分布の形状（大きさを含む広い概念）をほぼ任意の形状に容易に設定することができ、その瞳強度分布の形状の変更に関する自由度が高い。

さらに、照明光学系 I L S は、偏光ユニット 8 を備えており、偏光ユニット 8 は、S L M 2 2 を介して射出される光束の偏光状態の分布を制御している。そして、偏光ユニット 8 は、第 1 偏光制御系 1 6 及び第 2 偏光制御系 2 8 を備えている。また、照明方法は偏光ユニット 8 を用いている。

[0073] 本実施形態の照明光学系 I L S、偏光ユニット 8、又は照明方法によれば、S L M 2 2 の上流の第 1 偏光制御系 1 6 によって S L M 2 2 に入射する光の偏光状態を断面積の比が可変の縦偏光 D V と横偏光 D H との分布に設定し、S L M 2 2 の下流の第 2 偏光制御系 2 8 によって S L M 2 2 で反射された光の偏光状態をさらに断面積の比（対応する S L M 2 2 の部分アレイ領域 D 1 ～D 8 のミラー要素 2 4 の数の比）が可変の 8 個の偏光方向の分布に設定している。従って、S L M 2 2 と 2 つの偏光制御系 1 6、2 8（偏光ユニット 8）との協働作用によって、光学部材の交換を伴うことなく、照明瞳の光強度分布（瞳強度分布）をほぼ任意の分布に設定できるとともに、その照明瞳内の照明光 I L の偏光状態を 8 個の偏光方向のほぼ任意の組み合わせの分布に容易に設定できる。従って、光強度分布及び偏光状態の分布の変更に關して極めて高い自由度が得られる。

[0074] さらに、S L M 2 2 の配列面 P 1 に入射する光は P 偏光又は S 偏光であるため、S L M 2 2 で反射された光が楕円偏光等になることが抑制され、より高精度に偏光状態の分布を制御できる。

また、偏光方向の分布を設定する機構が第 1 偏光制御系 1 6 及び第 2 偏光制御系 2 8 に分かれており、個々の偏光制御系 1 6、2 8 内の旋光部材 1 8 及び旋光部材 3 0 A ～ 3 0 C をそれぞれ S L M 2 2 の配列面 P 1 と共役な位置に高精度に設置できるため、例えば 8 個の偏光方向の組み合わせよりなる偏光状態の分布を高精度に設定できる。

- [0075] また、本実施形態では、SLM22のミラー要素24の下流に、偏光方向を90度回転させる旋光部材とは別の旋光部材30A~30Cを配置しているため、ミラー要素24に照射される照明光をミラー要素24に対するP偏光又はS偏光のみとすることができる。従って、ミラー要素24にP偏光でもS偏光でもない光が入射した際に生じる偏光状態の変動（楕円偏光化）を防止できる。
- [0076] また、本実施形態では、SLM22のミラー要素24の上流に偏光方向を90度回転する旋光部材18を配置し、SLM22のミラー要素24の下流に、偏光方向を90度と異なる角度だけ回転する旋光部材30A~30Cを配置している。このため、SLM22のミラー要素24での反射で起こるP偏光成分とS偏光成分との間の位相差の変動（例えば楕円偏光化）を防止しつつ、照明瞳面で多くの偏光方向を設定できるとともに、旋光部材30A~30Cが一軸結晶（例えば水晶）である場合に、その一軸結晶にミラー要素24からの光が斜めに入射するときに生じる楕円偏光化を防止できる。
- [0077] また、本実施形態の露光装置EXによれば、瞳強度分布の形状及び偏光状態の変更に関して高い自由度を有する照明光学系ILSを備え、照明光学系ILSからの照明光ILでレチクルR及び投影光学系PLを介してウェハWを露光している。また、露光装置EXによる露光方法は上記の照明方法を用いている。このため、転写すべきレチクルRのパターンの特性に応じて実現された適切な照明条件のもとで、微細パターンをウェハWに高精度に転写することができる。
- [0078] また、本実施形態では、第1偏光制御系16の入射光の偏光方向を制御する部材として旋光部材18が使用されているため、SLM22に入射する光の偏光状態の分布を高精度に設定できる。なお、旋光部材18の作用は入射する縦偏光DV（又は横偏光DH）の光の偏光方向を90度変化させて射出することであるため、旋光部材18の代わりに、例えば進相軸（又は遅相軸）の方向がX方向又はZ方向に45度で交差する方向に設定された1/2波長板を使用することもできる。さらに、光量が低下してもよい場合には、第

1 偏光制御系 1 6 に Z 軸に対して例えば 4 5 度で交差する方向に偏光した直線偏光の光を入射させて、第 1 領域 5 0 A a には Z 方向の直線偏光を通過させる第 1 偏光板を設置し、第 2 領域 5 0 A b には X 方向の直線偏光を通過させる第 2 偏光板を設置し、それらの第 1、第 2 偏光板を X 方向に一体的に移動可能としてもよい。

[0079] また、本実施形態では第 2 偏光制御系 2 8 の入射光の偏光方向を制御する部材として旋光部材 3 0 A ~ 3 0 C が使用されており、断面 5 0 B 内の部分領域 C 1 ~ C 8 を通過した光の偏光方向の回転角は単に通過する光路上の旋光部材 3 0 A ~ 3 0 C の旋光角の和でよいため、射出される光の例えば 8 個の偏光方向の組み合わせを容易に設定できる。なお、旋光部材 3 0 A ~ 3 0 C としても、それぞれ 1 / 2 波長板等の波長板を使用することができる。

[0080] なお、本実施形態では、8 個の偏光方向を得るために、1 枚の旋光部材 1 8 を持つ第 1 偏光制御系 1 6 と 3 枚の旋光部材 3 0 A ~ 3 0 C を持つ第 2 偏光制御系 2 8 とを組み合わせている。しかしながら、例えば照明瞳で 4 つの偏光方向（例えば縦偏光 D V、横偏光 D H、及び 4 5 度偏光 D S A、D S B）を得るのみでよい場合には、第 2 偏光制御系 2 8 から例えば旋光角が 2 2 . 5 度の旋光部材 3 0 A を省略し、1 次元方向（X 方向）に移動する 2 枚の旋光部材 3 0 B、3 0 C のみを持つ第 2 偏光制御系と、第 1 偏光制御系 1 6 とから偏光ユニットを構成してもよい。

[0081] また、本実施形態では、第 1 偏光制御系 1 6 の旋光部材 1 8 の設置面 P 2 は S L M 2 2 の配列面 P 1 とリレー光学系 2 0 に関してほぼ共役であるが、その他の一例として、リレー光学系 2 0 を省略して、S L M 2 2 に入射する平行光よりなる照明光 I L の光路中に第 1 偏光制御系 1 6 の旋光部材 1 8 を移動可能に設置してもよい。

なお、上記の実施形態では次のような変形が可能である。

[0082] まず、上記の実施形態では、偏光ユニット 8 は第 1 偏光制御系 1 6 及び第 2 偏光制御系 2 8 を備えているが、第 1 偏光制御系 1 6 を省略して、第 2 偏光制御系 2 8 に対応する S L M 2 2 の下流に設置された偏光制御系のみを用

いてもよい。この場合には、一例として、図2（C）の像18Pの代わりに、旋光角が90度のX方向の位置が可変の旋光部材を配置してもよい。このとき、SLM22で反射された縦偏光DVの光の偏光方向の分布を、その偏光制御系を用いて、45度偏光DSA及びDSB又は45度偏光DSA、DSB及び22.5度の偏光DV1、DV2、DH1、DH2のようなZ方向又はX方向に対して斜めの方向に偏光した偏光成分を持つ偏光状態に偏光可能である。

[0083] また、上記の実施形態では第1偏光制御系16は1枚の可動の旋光部材18を有し、第2偏光制御系28は3枚の可動の旋光部材30A～30Cを有する。これに対して、実質的に例えば第2偏光制御系28の旋光部材30Aを第1偏光制御系16に移すことによって、図5の変形例の照明光学系の要部に示すように、偏光ユニット8Aを構成してもよい。図5において、偏光ユニット8Aは、2枚の可動の矩形の平行平板状の旋光部材18A、18Bを有する第1偏光制御系16A（SLM22の上流側の偏光制御系）と、2枚のX方向に可動の旋光部材30B、30Cを有する第2偏光制御系28A（SLM22の下流側の偏光制御系）とを有する。2枚の旋光部材18A、18Bはこの順序で+Y方向に近接して重なるように配置されているが、この順序は逆でもよい。なお、図5及び以下で参照する図6（A）、（B）において図3（A）及び図2（A）～（C）に対応する部分には同一の符号を付してその詳細な説明を省略する。

[0084] 図6（A）に示すように、第1偏光制御系16Aは、図1（A）の偏光設定系14から入射する縦偏光DVの照明光ILの断面50AをZ方向に横切るように移動する旋光部材18Aと、断面50AをX方向に横切るように移動する旋光部材18Bと、旋光部材18A、18Bを移動させる駆動部（不図示）とを有する。一例として、第1の旋光部材18Aの旋光角（入射する光に対する偏光方向の回転角）は左回りに22.5度（ $=180^\circ/8$ ）で、旋光部材18Bの旋光角は左回り（又は右回りに）に90度である。なお、旋光部材18Aの旋光角は右回りに157.5度（ $=180^\circ-22.5$

度)でもよい。

[0085] この場合、断面50A内で素通しの領域を第1領域50Aa、旋光部材18Bのみを通過する領域を第2領域50Ab、旋光部材18Aのみを通過する領域を第3領域50Ac、旋光部材18A及び18Bを通過する領域を第4領域50Adとする。旋光部材18AのZ方向の位置及び旋光部材18BのX方向の位置を制御することによって、これら4つの領域50Aa～50Adの面積比は制御可能である。また、断面50A内の領域50Aa, 50Ab, 50Ac, 及び50Abdを通過した照明光ILは、それぞれ偏光方向が縦偏光DV、横偏光DH、縦偏光DVに対して左回りに22.5度回転した偏光DV1、及び横偏光DHに対して左回りに22.5度回転した偏光DH1となって図5のSLM22に入射する。

[0086] この際に、縦偏光DV及び横偏光DHの照明光はそれぞれSLM22の配列面にP偏光及びS偏光として入射するため、SLM22の代表的に拡大して示すミラー要素24A, 24Gで反射された後も縦偏光DV及び横偏光DHを維持している。これに対して、22.5度の偏光DV1, DH1の照明光は、それぞれSLM22の配列面にP偏光及びS偏光の両方の成分を持つ状態で入射する。また、上述のように、一般にミラー要素24Aのような反射部材では、斜めにP偏光又はS偏光以外の直線偏光の光が入射すると、偏光状態が楕円偏光等に変化する恐れがある。

[0087] しかしながら、第1偏光制御系16Aを通過した後の偏光DV1, DH1の照明光は、それぞれP偏光又はS偏光からのずれが22.5度程度の小さい状態でSLM22の配列面に入射するため、SLM22で反射されるとき偏光状態の変化は比較的小さくなっている。このため、偏光DV1及びDH1の状態を図5のSLM22のミラー要素24B, 24H(拡大して示されている)に入射した照明光は、ほぼ入射時の偏光DV1, DH1の状態を維持してリレー光学系26に向けて反射される。

[0088] また、図6(B)に示すように、第2偏光制御系28Aは、図5のSLM22からリレー光学系26を介して入射する照明光ILの断面50BをX方

向に横切るように移動する旋光部材 30A, 30B と、旋光部材 30A, 30B を移動させる駆動部（不図示）とを有する。第 1 偏光制御系 16A の旋光部材 18A の旋光角が左回りに 22.5 度である場合、一例として旋光部材 30A 及び 30B の旋光角はそれぞれ左回りに 45 度（又は右回りに 135 度）及び 90 度（又は右回りに 90 度）である。

[0089] また、図 6（B）の照明光 IL の断面 50B は、図 5 のリレー光学系 20, 26 を介して第 1 偏光制御系 16A における断面 50A とほぼ共役であるため、図 6（B）の断面 50B 内で第 1 偏光制御系 16A の旋光部材 18A, 18B の共役像をそれぞれ像 18AP, 18BP とする。このとき、像 18AP（像 18BP と重なっていない領域の像）に入射する光の偏光方向は縦偏光 DV に対して左回りに 22.5 度であり、像 18BP（像 18AP と重なっていない領域の像）に入射する光の偏光方向は横偏光 DH であり、像 18AP の Z 方向の位置及び像 18BP の X 方向の位置は可変である。

[0090] 言い換えると、像 18AP は、実質的に上記の実施形態の図 2（C）の旋光角が 22.5 度の場合の旋光部材 30A と同じ機能を持ち、像 18BP は図 2（C）の像 18P と同じ機能を持つことになる。従って、図 5 の変形例の偏光ユニット 8A を用いた場合でも、図 3（A）の偏光ユニット 8 を用いた場合と同様に、照明光 IL の断面 50B 内の領域は入射する縦偏光 DV（又は横偏光 DH でもよい）の照明光から 22.5 度単位で変化する 8 個の偏光方向の光束を射出する部分領域 C1～C8 に分かれる。このため、この変形例においても上記の実施形態と同様に 8 個の偏光方向を持つ偏光状態の分布を容易に形成できる。

[0091] また、上記の実施形態では図 3（A）に示すように、第 2 偏光制御系 28 は、Z 方向に移動する旋光部材 30A と、互いに重なるように配置されて X 方向に移動する 2 枚の旋光部材 30B, 30C とを有する。これに対して、図 7 の別の変形例の照明光学系の要部で示すように、偏光ユニット 8B の第 2 偏光制御系 28B を、旋光部材 30A と、照明光 IL の断面 50B を横切るように同じ移動面に沿って可動の矩形の平行平板状の 2 枚の旋光部材 3

0 B, 3 0 Dと、これらの旋光部材3 0 A, 3 0 B, 3 0 Dの駆動部（不図示）とから構成してもよい。偏光ユニット8 Bの第1 偏光制御系1 6の構成は、図8（A）に示すように図3（A）の構成と同じである。なお、図7及び以下で参照する図8（A）,（B）において図3（A）及び図2（A）～（C）に対応する部分には同一の符号を付してその詳細な説明を省略する。

[0092] 図8（B）に示すように、第2 偏光制御系2 8 Bの駆動部（不図示）は、図7のS L M 2 2 からリレー光学系2 6 を介して供給される照明光 I L の断面5 0 B に対して、第1 の旋光部材3 0 A をZ 方向（短辺方向）に平行移動し、第2 の旋光部材3 0 B をX 方向（長辺方向）に平行移動し、旋光部材3 0 B の移動面に旋光部材3 0 B に対してX 方向に対向するように配置された第3 の旋光部材3 0 D を、その移動面に沿ってX 方向に移動する。そして、一例として、旋光部材3 0 A, 3 0 B, 3 0 D の旋光角をそれぞれ左回りに2 2. 5 度（= 1 8 0 度／8）、4 5 度、及び4 5 度に設定する。

[0093] また、図8（B）において、第1 偏光制御系1 6 の旋光部材1 8 の像を像1 8 P とする。このとき、第1 偏光制御系1 6 の断面5 0 A に入射する照明光 I L を縦偏光D V とすると、旋光部材1 8 の旋光角は9 0 度であるため、断面5 0 B の像1 8 P の部分に入射する照明光 I L は横偏光D H（縦偏光D V から偏光方向が9 0 度回転した偏光）となっている。また、断面5 0 B 内で、素通しの部分を第1 部分領域C 1、旋光部材3 0 A だけがある部分を第2 部分領域C 2、旋光部材3 0 D だけがある部分を第3 部分領域C 2、旋光部材3 0 A, 3 0 D だけが重なる部分を第4 部分領域C 2、像1 8 P だけがある部分を第5 部分領域C 5、旋光部材3 0 A 及び像1 8 P だけが重なる部分を第6 部分領域C 4、旋光部材3 0 B 及び像1 8 P だけが重なる部分を第7 部分領域C 2、旋光部材3 0 A, 3 0 B 及び像1 8 P が重なる部分を第8 部分領域C 8 と呼ぶ。なお、この変形例では、旋光部材3 0 B 及び3 0 D のZ 方向に平行なエッジ部が接触することはあっても、旋光部材3 0 B 及び3 0 D の一部が重なることはない。

[0094] このとき、断面5 0 B 内の8 個の部分領域C 1～C 8 の面積比は可変であ

る。そして、図8（B）において、断面50B内の部分領域C1に入射する照明光ILが縦偏光DVであるとする、部分領域C2，C3，C4，C5，C6，C7，及びC8を通過した後の照明光ILの偏光方向は、縦偏光DVに対してそれぞれ左回りに22.5度、45度、67.5度、90度、112.5度、135度、及び157.5度だけ回転している。従って、この変形例においても、第1偏光制御系16と第2偏光制御系28Bとを組み合わせた偏光ユニット8Bを用いることによって、照明瞳において8個の互いに異なる偏光方向の分布を容易に形成できる。

[0095] 次に、第2の実施形態につき図9～図10（B）を参照して説明する。上記の実施形態及びその変形例において、第1偏光制御系16～16Bでは、照明光ILの断面50A内の複数の部分領域を通過した光の偏光状態は互いに異なっている。これに対して、本実施形態では、断面50A内の複数の部分領域を通過した光の中に同じ偏光状態の光がある点が異なっている。

[0096] 図9は、本実施形態の照明光学系の要部を示す。なお、図9及び以下で参照する図10（A），（B）において図3（A）及び図2（A）～（C）に対応する部分には同一の符号を付してその詳細な説明を省略する。図9において、本実施形態の偏光ユニット8Cは、2枚の重なった状態で可動の矩形の平行平板状の旋光部材18B，18Cを有する第1偏光制御系16C（SLM22の上流側の偏光制御系）と、Z方向に可動の旋光部材30A及びX方向に可動の旋光部材30Bを有する第2偏光制御系28C（SLM22の下流側の偏光制御系）とを有する。2枚の旋光部材18B，18Cはこの順序で+Y方向に近接して重なるように配置されているが、この順序は逆でもよい。

[0097] 図10（A）に示すように、第1偏光制御系16Cは、図1（A）の偏光設定系14から入射する縦偏光DVの照明光ILの断面50AをX方向に横切るように移動する第1の旋光部材18Bと、旋光部材18Bに近接して断面50AをX方向に横切るように移動する第2の旋光部材18Cと、旋光部材18B，18Cを移動させる駆動部（不図示）とを有する。一例として、

旋光部材 18B 及び 18C の旋光角（入射する光に対する偏光方向の回転角）は、それぞれ左回りに（又は右回りに）90度である。

[0098] この場合、断面 50A を X 方向（長手方向）に、素通しの矩形の第 1 領域 50Aa、旋光部材 18B だけを通過する矩形の第 2 領域 50Ab、及び旋光部材 18B 及び 18C を通過する矩形の第 3 領域 50Ac に区画できる。旋光部材 18B、18C の X 方向の位置を制御することで、3 つの領域 50Aa、50Ab、50Ac の面積比は任意の比に設定できる。また、断面 50A に入射する照明光 IL が縦偏光 DV（Z 方向に偏光した光）であるとすると、断面 50A 内の領域 50Aa、50Ab、及び 50Ac を通過した光は、それぞれ偏光方向が縦偏光 DV、横偏光 DH、及び縦偏光 DV となって図 9 のリレー光学系 20 を介して SLM22 の第 1 領域 P1b、第 2 領域 P1b、及び第 3 領域 P1c に入射する。

[0099] P 偏光又は S 偏光の光は反射部材で反射されるときに偏光状態がほとんど変化しないため、領域 P1b、P1b、P1c 内の複数のミラー要素 24A 等（拡大して表されている）で反射された照明光 IL は、それぞれ縦偏光 DV、横偏光 DH、及び縦偏光 DV の状態を維持してリレー光学系 26 を介して第 2 偏光制御系 28C に入射する。

また、図 10（B）に示すように、第 2 偏光制御系 28B は、リレー光学系 26 を介して入射する照明光 IL の断面 50B をそれぞれ Z 方向及び X 方向に横切るように移動する旋光部材 30A 及び 30B と、旋光部材 30A、30B を移動させる駆動部（不図示）とを有する。一例として旋光部材 30A 及び 30B の旋光角はそれぞれ左回りに 22.5 度及び 45 度である。さらに、図 10（B）の照明光 IL の断面 50B は、図 9 のリレー光学系 20、26 を介して第 1 偏光制御系 16C における断面 50A とほぼ共役であるため、図 10（B）の断面 50B 内で第 1 偏光制御系 16C の旋光部材 18B、18C の共役像をそれぞれ像 18BP、18CP とする。このとき、像 18BP（像 18CP と重なっていない領域の像）に入射する光の偏光方向は横偏光 DH であり、像 18CP（必ず像 18BP と重なっている領域）に

入射する光の偏光方向は縦偏光DV（ここでは横偏光DHを90度回転した偏光）である。

[0100] 言い換えると、本実施形態において、第2偏光制御系28Cの断面50B内の像18BPは、実質的に上記の実施形態の図2（C）の像18Pと同じ機能を持ち、像18CPは図2（C）の旋光角が90度の場合の旋光部材30Cと同じ機能を持つことになる。従って、偏光ユニット8Cを用いた場合でも、図3（A）の偏光ユニット8を用いた場合と同様に、照明光ILの断面50B内の領域は入射する縦偏光DV（又は横偏光DHでもよい）の照明光から22.5度単位で変化する8個の偏光方向の光束を射出する部分領域C1～C8（図10（B）参照）に分かれる。このため、本実施形態においても上記の実施形態と同様に8個の偏光方向を持つ偏光状態の分布を容易に形成できる。

[0101] このように本実施形態の照明光学系は、SLM22と、SLM22の複数のミラー要素の配列面P1と光源10との間に配置されて、ミラー要素24に入射する光の偏光状態の分布を、その照明光学系の光軸AX1に垂直な面内の互いに直交するZ方向（第1方向）及びX方向（第2方向）のうちのX方向に平行な配置方向に沿って順に面積比が可変となるように配置された第1、第2、及び第3領域50Aa、50Ab、50Acを通過した後の光の偏光方向がそれぞれZ方向、X方向、及びZ方向となるように制御する第1偏光制御系16Cを備えている。この第1偏光制御系16Cを用いることによって、領域50Aa、50Ab、50Acを通過した光の偏光状態はSLM22で反射された後もほとんど変化しないため、SLM22の面積が可変の3つの領域P1a、P1b、P1cで反射された偏光方向がZ方向、X方向、及びZ方向の光を用いて照明瞳面IPPに様々な偏光状態の分布を高精度に容易に形成できる。

[0102] ところで、上述の各実施形態においては、偏光ユニット8～8CのSLM22の下流側の第2偏光制御系28～28Cの旋光部材30A～30Dには、光軸AX1に対して斜めに入射する（旋光部材30A～30Dに対して垂

直入射しない) 光が存在する。この場合、水晶により形成された旋光部材 30A 等に垂直入射した直線偏光の光は直線偏光状態を維持しつつ偏光方向だけが変化するが、旋光部材 30A 等に斜め入射した直線偏光の光は入射角に応じて楕円偏光化して射出される。これは、旋光部材 30A 等に斜め入射した光は水晶の結晶光学軸に対して斜めに進行するため、結晶光学軸に垂直な面内の直交する 2 つの偏光成分に位相差が付与されるからである。

[0103] そこで、そのように光軸 AX1 に対して斜めに旋光部材 30A 等に入射することによる楕円偏光化を抑制するために、旋光部材 30A に代えて、例えば右回り旋光性材料（右水晶）で形成された第 1 旋光部材と、第 1 旋光部材の射出側に隣接して配置された左回り旋光性材料（左水晶）から形成された第 2 旋光部材とを備えた旋光部材を用いるようにしてもよい。この場合、第 1 旋光部材に斜め入射した例えば縦偏光の光は楕円偏光に変換された後、第 2 旋光部材により直線偏光に戻されて射出されるため、斜め入射の影響を軽減できる。

[0104] なお、SLM22 の上流側の第 1 偏光制御系 16 ~ 16C の旋光部材 18 等には照明光 IL がほぼ垂直入射するため、旋光部材 18 等を通過した光の偏光方向は所望の方向に正確に設定される。

また、そのように右回り旋光性材料と左回り旋光性材料（左水晶）とを組み合わせる他に、SLM22 の配列面 P1 の光学的なフーリエ変換面であるリレー光学系 26 の瞳面 P3 の位置又はその近傍に、入射位置に応じて異なる位相差を入射光に与える位相差付与部材を配置する構成も可能である。

[0105] また、上述の実施形態では、偏光ユニット 8 ~ 8C の第 1 偏光制御系 16C の旋光部材 18B, 18C 等及び第 2 偏光制御系 28 の旋光部材 30A ~ 30C 等を互いに隣接するように配置している。しかしながら、これに限定されることなく、例えば旋光部材 18B と 18C との間、及び／又は旋光部材 30 と 30B, 30C との間等にリレー光学系を配置して、旋光部材 18B, 18C、及び／又は旋光部材 30A ~ 30C を互いに光学的に共役にする構成も可能である。

[0106] 上述の実施形態では、旋光部材 18、旋光部材 30A～30C等が水晶により形成されている。しかしながら、これに限定されることなく、旋光性を有する他の適当な光学材料を用いて旋光部材を形成することもできる。

上述の実施形態では、偏光ユニット 8～8Cの第1偏光制御系 16～16C及び第2偏光制御系 28～28Cを構成する光学素子（旋光部材等）の外形状、数、配置、光学的特性などについては様々な形態が可能である。例えば、入射光を所定の偏光状態の光に変化させる波長板を用いて偏光制御系 16、28等を構成したり、入射光から所定の偏光状態の光を選択して射出する偏光子を用いて偏光制御系 16、28等を構成したりすることが可能である。また、偏光制御系 16、28が有する光学素子（旋光部材等）を交換する構成と組み合わせても良い。

[0107] また、上述の実施形態では、二次元的に配列されて個別に制御される複数のミラー要素 24を有するSLM22として、二次元的に配列された複数の反射面の角度を個別に制御可能な空間光変調器を用いている。しかしながら、これに限定されることなく、たとえば二次元的に配列された複数の反射面の高さ（位置）を個別に制御可能な空間光変調器を用いることもできる。このような空間光変調器としては、たとえば米国特許第5,312,513号公報、並びに米国特許第6,885,493号公報の図1dに開示される空間光変調器を用いることができる。

[0108] 上述の実施形態では、SLM22が所定面内で二次元的に配列された複数のミラー要素 24を備えているが、これに限定されることなく、所定面内に配列されて個別に制御される複数の透過光学要素を備えた透過型の空間光変調器を用いることもできる。

上述の実施形態において、旋光部材 30A～30C等は入射する直線偏光の偏光方向を22.5度単位又は45度単位で回転させるものであったが、偏光方向の回転角は22.5度又は45度単位ではなく、さらに微細な角度単位で設定してもよい。

[0109] また、上記の実施形態の露光装置EX又は露光方法を用いて半導体デバイ

ス等の電子デバイス（又はマイクロデバイス）を製造する場合、電子デバイスは、図 11 に示すように、電子デバイスの機能・性能設計を行うステップ 221、この設計ステップに基づいたレチクル（マスク）を製作するステップ 222、デバイスの基材である基板（ウェハ）を製造してレジストを塗布するステップ 223、前述した実施形態の露光装置（露光方法）によりレチクルのパターンを基板（感光基板）に露光する工程、露光した基板を現像する工程、現像した基板の加熱（キュア）及びエッチング工程などを含む基板処理ステップ 224、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程などの加工プロセスを含む） 225、並びに検査ステップ 226 等を経て製造される。

[0110] 言い換えると、このデバイスの製造方法は、上記の実施形態の露光装置 E X（露光方法）を用いてレチクルのパターンの像を基板（ウェハ）に転写することと、そのパターンの像が転写されたその基板をそのパターンの像に基づいて加工すること（ステップ 224 の現像、エッチング等）とを含んでいる。この際に、上記の実施形態によれば、偏光状態を含むレチクルの照明条件を高精度に最適化でき、レチクルのパターンを高精度に基板に露光できるため、電子デバイスを高精度に製造できる。

[0111] また、本発明は、半導体デバイス製造用の露光装置への適用に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに形成される液晶表示素子、若しくはプラズマディスプレイ等のディスプレイ装置用の露光装置や、撮像素子（CCD 等）、マイクロマシーン、薄膜磁気ヘッド、及び DNA チップ等の各種デバイスを製造するための露光装置にも広く適用できる。更に、本発明は、各種デバイスのマスクパターンが形成されたマスク（フォトマスク、レチクル等）をフォトリソグラフィ工程を用いて製造する際の、露光工程（露光装置）にも適用することができる。

[0112] また、上述の実施形態では、露光装置においてマスク（ウェハ）を照明する照明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、マスク（ウェハ）以外の被照射面を照明する一般的な照明光学系に対して

本発明を適用することもできる。

また、上記の実施形態の露光装置は、偏光ユニット及び複数のレンズ等から構成される照明光学系、投影光学系を露光装置本体に組み込み光学調整をして、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより製造することができる。なお、その露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

[0113] また、本願では、以下に示す特許請求の範囲としても良い。

請求項 1

光源からの光により被照射面を照明する照明光学系において、
所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有し、前記照明光学系の照明瞳に光強度分布を可変的に形成する空間光変調器と、
前記所定面と前記光源との間に配置されて、前記複数の光学要素に入射する光の偏光状態の分布を、前記照明光学系の光軸に垂直な面内の互いに直交する第 1 方向及び第 2 方向の直線偏光成分の通過領域の面積比が可変となるように制御する第 1 の偏光制御部と、
前記所定面と前記被照射面との間に配置されて、前記複数の光学要素を介して前記被照射面に向かう光の偏光状態の分布を、前記第 1 方向又は前記第 2 方向に対応する方向に対して斜めに交差する第 3 方向の直線偏光成分を含む分布に設定可能な第 2 の偏光制御部と、を備え、
前記第 1 方向又は前記第 2 方向は、前記光源からの光が前記所定面に入射するときの入射面に平行な方向であることを特徴とする照明光学系。

請求項 2

前記第 2 の偏光制御部は、旋光性を有する光学材料により形成された旋光部材を有することを特徴とする請求項 1 に記載の照明光学系。

請求項 3

前記第 2 の偏光制御部は、前記照明光学系の光路中において前記所定面と

光学的に共役な位置に配置されることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の照明光学系。

請求項 4

前記第 1 の偏光制御部は、前記光源から前記複数の光学要素に入射する光の偏光状態の分布を、前記第 1 方向又は前記第 2 方向に平行な配置方向に沿って順に面積比が可変となるように配置された第 1、第 2、及び第 3 領域を通過した後の光の偏光方向がそれぞれ前記第 1 方向、前記第 2 方向、及び前記第 1 方向となるように制御することを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一項に記載の照明光学系。

請求項 5

前記第 2 の偏光制御部は、

その設置面において、前記第 1 方向又は前記第 2 方向に対応する第 1 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第 1 の角度だけ回転させる第 1 の旋光部材と、

前記設置面の近傍の面において、前記第 1 移動方向に直交する第 2 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第 2 の角度だけ回転させる第 2 の旋光部材と、を有することを特徴とする請求項 4 に記載の照明光学系。

請求項 6

前記第 2 の偏光制御部は、

その設置面において、前記第 1 方向又は前記第 2 方向に対応する第 1 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第 1 の角度だけ回転させる第 1 の旋光部材と、

前記設置面の近傍の面において、それぞれ前記第 1 移動方向に直交する第 2 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第 2 及び第 3 の角度だけ回転させる第 2 及び第 3 の旋光部材と、を有することを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一項に記載の照明光学系。

請求項 7

光源からの光により被照射面を照明する照明光学系において、

所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有し、前記照明光学系の照明瞳に光強度分布を可変的に形成する空間光変調器と、

前記所定面と前記光源との間に配置されて、前記複数の光学要素に入射する光の偏光状態の分布を、前記照明光学系の光軸に垂直な面内の互いに直交する第1方向及び第2方向のうちの一方に平行な配置方向に沿って順に面積比が可変となるように配置された第1、第2、及び第3領域を通過した後の光の偏光方向がそれぞれ前記第1方向、前記第2方向、及び前記第1方向となるように制御する第1の偏光制御部と、を備え、

前記第1方向又は前記第2方向は、前記光源からの光が前記所定面に入射するときの入射面に平行な方向であることを特徴とする照明光学系。

請求項 8

前記第1の偏光制御部は、前記配置方向に移動可能に配置されて、入射する光の偏光方向を90度変化させるための、旋光性を有する旋光部材又は波長板よりなる第1部材と、

前記第1部材に近接して前記配置方向に移動可能に配置されて、入射する光の偏光方向を90度変化させるための、旋光性を有する旋光部材又は波長板よりなる第2部材と、を有することを特徴とする請求項7に記載の照明光学系。

請求項 9

前記所定面と前記被照射面との間に配置されて、前記複数の光学要素を介して前記被照射面に向かう光の偏光状態の分布を、前記第1方向又は前記第2方向に対応する方向に対して斜めに交差する第3方向の直線偏光成分を含む分布に設定可能な第2の偏光制御部を備え、

前記第2の偏光制御部は、

その設置面において、前記第1方向又は前記第2方向に対応する第1移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の

光の偏光方向を第 1 の角度だけ回転させる第 1 の旋光部材と、

前記設置面の近傍の面において、前記第 1 移動方向に直交する第 2 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第 2 の角度だけ回転させる第 2 の旋光部材と、を有することを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の照明光学系。

[0114] 請求項 1 0

光源からの光により被照射面を照明する照明光学系において、

所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有し、前記照明光学系の照明瞳に光強度分布を可変的に形成する空間光変調器と、

前記所定面と前記被照射面との間に配置されて、前記複数の光学要素を介して前記被照射面に向かう光の偏光状態の分布を、前記照明光学系の光軸に垂直な面内の互いに直交する第 1 方向及び第 2 方向に対して斜めに交差する第 3 方向の直線偏光成分を含む分布に設定可能な第 1 の偏光制御部と、を備え、

前記第 1 方向又は前記第 2 方向は、前記光源からの光が前記所定面に入射するときの入射面に平行な方向に対応する方向であることを特徴とする照明光学系。

請求項 1 1

前記第 1 の偏光制御部は、旋光性を有する光学材料により形成された旋光部材を有することを特徴とする請求項 1 0 に記載の照明光学系。

請求項 1 2

前記所定面と前記光源との間に配置されて、前記複数の光学要素に入射する光の偏光状態の分布を、前記第 1 方向及び第 2 方向に対応する 2 つの方向の直線偏光成分の通過領域の面積比が可変となるように制御する第 2 の偏光制御部を備えることを特徴とする請求項 1 0 又は 1 1 に記載の照明光学系。

請求項 1 3

前記第 1 の偏光制御部は、

その設置面において、前記第 1 方向又は前記第 2 方向に平行な第 1 移動方

向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第1の角度だけ回転させる第1の旋光部材と、

前記設置面の近傍の面において、前記第1移動方向に直交する第2移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第2の角度だけ回転させる第2の旋光部材と、を有することを特徴とする請求項10～12のいずれか一項に記載の照明光学系。

請求項14

前記所定面と前記所定面と光学的に共役な位置との間に配置されたりレー光学系をさらに備えたことを特徴とする請求項1～13のいずれか一項に記載の照明光学系。

請求項15

オプティカルインテグレータを備え、

前記所定面と前記被照射面との間に配置された偏光制御部は、前記空間光変調器と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置されていることを特徴とする請求項1～14のいずれか一項に記載の照明光学系。

請求項16

前記照明瞳において、互いに異なる少なくとも8個の方向に直線偏光した光を組み合わせる光強度分布を設定可能であることを特徴とする請求項1～15のいずれか一項に記載の照明光学系。

請求項17

照明光路に対して挿脱自在な非偏光化素子を備えたことを特徴とする請求項1～16のいずれか一項に記載の照明光学系。

請求項18

前記空間光変調器は、前記所定面内で二次元的に配列された複数のミラー要素と、該複数のミラー要素の姿勢を個別に制御駆動する駆動部とを有することを特徴とする請求項1～17のいずれか一項に記載の照明光学系。

請求項19

前記複数のミラー要素のうちの前記所定面上の第1領域に位置するミラー

要素の群を第 1 ミラー要素群とし、前記複数のミラー要素のうちの前記第 1 領域とは異なる前記所定面上の第 2 領域に位置するミラー要素の群を第 2 ミラー要素群とするとき、前記駆動部は、前記第 1 ミラー要素群を経た光が前記所定面の光学的なフーリエ変換面上の第 1 瞳領域へ導かれるように前記第 1 ミラー要素群を制御駆動し、且つ前記第 2 ミラー要素群を経た光が前記所定面の光学的なフーリエ変換面上の第 2 瞳領域へ導かれるように前記第 2 ミラー要素群を制御駆動することを特徴とする請求項 18 に記載の照明光学系。

[0115] 請求項 20

前記所定面と前記被照射面との間に配置された偏光制御部は、前記第 1 ミラー要素群を経た第 1 部分光束に作用を及ぼすことなく、前記第 2 ミラー要素群を経た第 2 部分光束の偏光状態を変化させるために、旋光性を有する光学材料により形成された旋光部材を有することを特徴とする請求項 19 に記載の照明光学系。

請求項 21

所定のパターンを照明するための請求項 1～20 のいずれか一項に記載の照明光学系を備え、前記所定のパターンを感光性基板に露光することを特徴とする露光装置。

請求項 22

請求項 21 に記載の露光装置を用いて、前記所定のパターンを前記感光性基板に露光することと、

前記所定のパターンが転写された前記感光性基板を現像し、前記所定のパターンに対応する形状のマスク層を前記感光性基板の表面に形成することと、

前記マスク層を介して前記感光性基板の表面を加工することと、を含むデバイス製造方法。

請求項 23

所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有する空間光変

調器を介して射出される光束の偏光状態の分布を制御する偏光ユニットであって、

前記複数の光学要素に入射する光束の光路に配置されて、前記光束の偏光状態の分布を、前記光束の断面内の互いに直交する第1方向及び第2方向の直線偏光成分の通過領域の面積比が可変となるように制御する第1の偏光制御部と、

前記複数の光学要素からの光束の光路に配置されて、前記光束の偏光状態の分布を、前記第1方向又は前記第2方向に対応する方向に対して斜めに交差する第3方向の直線偏光成分を含む分布に設定可能な第2の偏光制御部と、を備え、

前記第1方向又は前記第2方向は、前記光束が前記所定面に入射するときの入射面に平行な方向であることを特徴とする偏光ユニット。

請求項 2 4

前記第2の偏光制御部は、旋光性を有する光学材料により形成された旋光部材を有することを特徴とする請求項 2 3に記載の偏光ユニット。

請求項 2 5

前記第1の偏光制御部は、前記光束の偏光状態の分布を、前記第1方向又は前記第2方向に平行な配置方向に沿って順に面積比が可変となるように配置された第1、第2、及び第3領域を通過した後の光の偏光方向がそれぞれ前記第1方向、前記第2方向、及び前記第1方向となるように制御することを特徴とする請求項 2 3又は2 4に記載の偏光ユニット。

請求項 2 6

前記第2の偏光制御部は、

その設置面において、前記第1方向又は前記第2方向に対応する第1移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第1の角度だけ回転させる第1の旋光部材と、

前記設置面の近傍の面において、前記第1移動方向に直交する第2移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光

の偏光方向を第2の角度だけ回転させる第2の旋光部材と、を有することを特徴とする請求項25に記載の偏光ユニット。

請求項27

前記第2の偏光制御部は、

その設置面において、前記第1方向又は前記第2方向に対応する第1移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第1の角度だけ回転させる第1の旋光部材と、

前記設置面の近傍の面において、それぞれ前記第1移動方向に直交する第2移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第2及び第3の角度だけ回転させる第2及び第3の旋光部材と、を有することを特徴とする請求項23～25のいずれか一項に記載の偏光ユニット。

請求項28

光源からの光により被照射面を照明する照明方法において、

所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有し、照明光学系の照明瞳に光強度分布を可変的に形成する空間光変調器の前記所定面と前記光源との間に配置された第1の偏光制御部を用いて、前記複数の光学要素に入射する光の偏光状態の分布を、前記照明光学系の光軸に垂直な面内の互いに直交する第1方向及び第2方向の直線偏光成分の通過領域の面積比が可変となるように制御することと、

前記所定面と前記被照射面との間に配置された第2の偏光制御部を用いて、前記複数の光学要素を介して前記被照射面に向かう光の偏光状態の分布を、前記第1方向又は前記第2方向に対応する方向に対して斜めに交差する第3方向の直線偏光成分を含む分布に設定することと、を含み、

前記第1方向又は前記第2方向は、前記光源からの光が前記所定面に入射するときの入射面に平行な方向であることを特徴とする照明方法。

請求項29

前記第2の偏光制御部は、旋光性を有する光学材料により形成された旋光

部材を有することを特徴とする請求項 28 に記載の照明方法。

[0116] 請求項 30

前記第 2 の偏光制御部は、前記照明光学系の光路中において前記所定面と光学的に共役な位置に配置されることを特徴とする請求項 28 又は 29 に記載の照明方法。

請求項 31

前記第 1 の偏光制御部は、前記光源から前記複数の光学要素に入射する光の偏光状態の分布を、前記第 1 方向又は前記第 2 方向に平行な配置方向に沿って順に面積比が可変となるように配置された第 1、第 2、及び第 3 領域を通過した後の光の偏光方向がそれぞれ前記第 1 方向、前記第 2 方向、及び前記第 1 方向となるように制御することを特徴とする請求項 28～30 のいずれか一項に記載の照明方法。

請求項 32

前記第 2 の偏光制御部は、

その設置面において、前記第 1 方向又は前記第 2 方向に対応する第 1 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第 1 の角度だけ回転させる第 1 の旋光部材と、

前記設置面の近傍の面において、前記第 1 移動方向に直交する第 2 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第 2 の角度だけ回転させる第 2 の旋光部材と、を有することを特徴とする請求項 31 に記載の照明方法。

請求項 33

前記第 2 の偏光制御部は、

その設置面において、前記第 1 方向又は前記第 2 方向に対応する第 1 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第 1 の角度だけ回転させる第 1 の旋光部材と、

前記設置面の近傍の面において、それぞれ前記第 1 移動方向に直交する第 2 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも

一部の光の偏光方向を第2及び第3の角度だけ回転させる第2及び第3の旋光部材と、を有することを特徴とする請求項28～31のいずれか一項に記載の照明方法。

請求項34

光源からの光により被照射面を照明する照明方法において、

所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有し、照明光学系の照明瞳に光強度分布を可変的に形成する空間光変調器の前記所定面と前記光源との間に配置された第1の偏光制御部を用いて、前記複数の光学要素に入射する光の偏光状態の分布を、前記照明光学系の光軸に垂直な面内の互いに直交する第1方向及び第2方向のうちの一方に平行な配置方向に沿って順に面積比が可変となるように配置された第1、第2、及び第3領域を通過した後の光の偏光方向がそれぞれ前記第1方向、前記第2方向、及び前記第1方向となるように制御することを含み、

前記第1方向又は前記第2方向は、前記光源からの光が前記所定面に入射するときの入射面に平行な方向であることを特徴とする照明方法。

請求項35

前記第1の偏光制御部は、前記配置方向に移動可能に配置されて、入射する光の偏光方向を90度変化させるための、旋光性を有する旋光部材又は波長板よりなる第1部材と、

前記第1部材に近接して前記配置方向に移動可能に配置されて、入射する光の偏光方向を90度変化させるための、旋光性を有する旋光部材又は波長板よりなる第2部材と、を有することを特徴とする請求項34に記載の照明方法。

請求項36

前記所定面と前記被照射面との間に配置された第2の偏光制御部を用いて、前記複数の光学要素を介して前記被照射面に向かう光の偏光状態の分布を、前記第1方向又は前記第2方向に対応する方向に対して斜めに交差する第3方向の直線偏光成分を含む分布に設定することを含み、

前記第 2 の偏光制御部は、

その設置面において、前記第 1 方向又は前記第 2 方向に対応する第 1 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第 1 の角度だけ回転させる第 1 の旋光部材と、

前記設置面の近傍の面において、前記第 1 移動方向に直交する第 2 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第 2 の角度だけ回転させる第 2 の旋光部材と、を有することを特徴とする請求項 3 4 又は 3 5 に記載の照明方法。

請求項 3 7

光源からの光により被照射面を照明する照明方法において、

所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有し、照明光学系の照明瞳に光強度分布を可変的に形成する空間光変調器の前記所定面と前記被照射面との間に配置された第 1 の偏光制御部を用いて、前記複数の光学要素を介して前記被照射面に向かう光の偏光状態の分布を、前記照明光学系の光軸に垂直な面内の互いに直交する第 1 方向及び第 2 方向に対して斜めに交差する第 3 方向の直線偏光成分を含む分布に設定することを含み、

前記第 1 方向又は前記第 2 方向は、前記光源からの光が前記所定面に入射するときの入射面に平行な方向に対応する方向であることを特徴とする照明方法。

請求項 3 8

前記第 1 の偏光制御部は、旋光性を有する光学材料により形成された旋光部材を有することを特徴とする請求項 3 7 に記載の照明方法。

請求項 3 9

請求項 2 8 ～ 3 8 のいずれか一項に記載の照明方法を用いて所定のパターンを照明し、

前記所定のパターンを感光性基板に露光することを特徴とする露光方法。

[0117] 請求項 4 0

請求項 3 9 に記載の露光方法を用いて、前記所定のパターンを前記感光性

基板に露光することと、

前記所定のパターンが転写された前記感光性基板を現像し、前記所定のパターンに対応する形状のマスク層を前記感光性基板の表面に形成することと

、

前記マスク層を介して前記感光性基板の表面を加工することと、を含むデバイス製造方法。

また、本願に記載した上記公報、各国際公開パンフレット、米国特許、又は米国特許出願公開明細書における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

なお、本発明は上述の実施形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

符号の説明

[0118] EX…露光装置、ILS…照明光学系、PL…投影光学系、R…レチクル、8…偏光ユニット、10…光源、16…第1偏光制御系、18…旋光部材、20, 26…リレー光学系、22…空間光変調器(SLM)、28…第2偏光制御系、30A～30C…旋光部材、34…マイクロレンズアレイ、36…照明制御部

請求の範囲

- [請求項1] 光源からの光により被照射面を照明する照明光学系において、
前記光源からの光の一部を第1の偏光状態にして射出する第1偏光部と、
個別に制御される複数の光学要素を有し、前記第1偏光部からの光を射出する空間光変調器と、
前記空間光変調器を介した前記第1偏光部からの光の一部を、前記第1の偏光状態とは異なる第2の偏光状態にする第2偏光部とを備えることを特徴とする照明光学系。
- [請求項2] 前記第1の偏光状態は、前記空間光変調器に入射する光の入射面に平行な方向および該入射面に垂直な方向のうち少なくとも一方向の偏光方向の直線偏光であることを特徴とする請求項1に記載の照明光学系。
- [請求項3] 前記第2の偏光状態は、前記平行な方向又は前記垂直な方向に対応する方向に対して斜めに交差する方向の直線偏光であることを特徴とする請求項2に記載の照明光学系。
- [請求項4] 前記第1偏光部は、前記第1方向の偏光方向の直線偏光光及び前記第2方向の偏光方向の直線偏光光とを前記所定面に導くことを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の照明光学系。
- [請求項5] 前記入射面または前記入射面と平行な面において光束を偏向する偏向部材を備えることを特徴とする請求項1～4のいずれか一項に記載の照明光学系。
- [請求項6] 前記偏向部材で偏向された光が前記空間光変調器に導かれることを特徴とする請求項5に記載の照明光学系。
- [請求項7] 前記第1偏光部は、前記複数の光学要素に入射する光の偏光状態の分布を、前記第1方向の直線偏光成分の通過領域の面積と前記第2方向の直線偏光成分の通過領域の面積との比が可変となるように制御する第1の偏光制御部を備えることを特徴とする請求項4に記載の照明

光学系。

[請求項8] 前記第2偏光部は、前記複数の光学要素を介して前記被照射面に向かう光の偏光状態の分布を、前記第3方向の直線偏光成分の通過領域の面積と、前記第3方向とは異なる偏光成分の通過領域との面積との比が可変となるように制御する第2の偏光制御部を備えることを特徴とする請求項1～7のいずれか一項に記載の照明光学系。

[請求項9] 前記第2の偏光制御部は、旋光性を有する光学材料により形成された旋光部材を有することを特徴とする請求項8に記載の照明光学系。

[請求項10] 前記第2の偏光制御部は、前記照明光学系の光路中において前記所定面と光学的に共役な位置に配置されることを特徴とする請求項8又は9に記載の照明光学系。

[請求項11] 前記第1の偏光制御部は、前記所定面において前記第1方向又は前記第2方向に平行な方向に沿って配置された第1、第2、及び第3領域のそれぞれの偏光方向が前記第1方向、前記第2方向、及び前記第1方向となるように制御することを特徴とする請求項6に記載の照明光学系。

[請求項12] 前記第2偏光部は、前記複数の光学要素を介して前記被照射面に向かう光の偏光状態の分布を、前記第3方向の直線偏光成分の通過領域の面積と、前記第3方向とは異なる偏光成分の通過領域との面積との比が可変となるように制御する第2の偏光制御部を備え、

前記第2の偏光制御部は、

その設置面において、前記第1方向又は前記第2方向に対応する第1移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第1の角度だけ回転させる第1の旋光部材と、

前記設置面の近傍の面において、前記第1移動方向に直交する第2移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第2の角度だけ回転させる第2の旋光部材

と、を有することを特徴とする請求項 11 に記載の照明光学系。

[請求項13]

前記第 2 の偏光制御部は、

その設置面において、前記第 1 方向又は前記第 2 方向に対応する第 1 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第 1 の角度だけ回転させる第 1 の旋光部材と、

前記設置面の近傍の面において、それぞれ前記第 1 移動方向に直交する第 2 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第 2 及び第 3 の角度だけ回転させる第 2 及び第 3 の旋光部材と、を有することを特徴とする請求項 7 ～ 10 のいずれか一項に記載の照明光学系。

[請求項14]

光源からの光により被照射面を照明する照明光学系において、

所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有する空間光変調器と、

前記照明光学系の光軸に垂直な面において互いに直交する第 1 方向及び第 2 方向の偏光方向の直線偏光光を前記空間光変調器へ導く第 1 偏光部と、

を備え、

前記第 1 方向又は前記第 2 方向は、前記光源からの光が前記所定面に入射するときの入射面に平行な方向であり、

前記第 1 偏光部は、前記所定面において前記第 1 方向及び第 2 方向のうちの一方に平行な方向に沿って配置された第 1、第 2、及び第 3 領域のそれぞれの偏光方向が前記第 1 方向、前記第 2 方向、及び前記第 1 方向となるように制御する第 1 の偏光制御部を備えることを特徴とする照明光学系。

[請求項15]

前記第 1 の偏光制御部は、前記配置方向に移動可能に配置されて、入射する光の偏光方向を 90 度変化させるための、旋光性を有する旋光部材又は波長板よりなる第 1 部材と、

前記第 1 部材に近接して前記配置方向に移動可能に配置されて、入射する光の偏光方向を 90 度変化させるための、旋光性を有する旋光部材又は波長板よりなる第 2 部材と、を有することを特徴とする請求項 14 に記載の照明光学系。

[請求項16]

前記所定面と前記被照射面との間に配置されて、前記複数の光学要素を介して前記被照射面に向かう光の偏光状態の分布を、前記第 1 方向又は前記第 2 方向に対応する方向に対して斜めに交差する第 3 方向の直線偏光成分を含む分布に設定可能な第 2 の偏光制御部を備え、

前記第 2 の偏光制御部は、

その設置面において、前記第 1 方向又は前記第 2 方向に対応する第 1 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第 1 の角度だけ回転させる第 1 の旋光部材と、

前記設置面の近傍の面において、前記第 1 移動方向に直交する第 2 移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第 2 の角度だけ回転させる第 2 の旋光部材と、を有することを特徴とする請求項 12 又は 13 に記載の照明光学系。

[請求項17]

光源からの光により被照射面を照明する照明光学系において、

所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素を有する空間光変調器と、

前記空間光変調器を介した前記第 1 偏光部からの光の少なくとも一部を、前記第 1 方向又は前記第 2 方向に対応する方向に対して斜めに交差する第 3 方向の直線偏光にする第 1 偏光部と、を備え、

前記第 1 方向又は前記第 2 方向は、前記光源からの光が前記所定面に入射するときの入射面に平行な方向に対応する方向であることを特徴とする照明光学系。

[請求項18] 前記第1偏光部は、旋光性を有する光学材料により形成された旋光部材を有することを特徴とする請求項17に記載の照明光学系。

[請求項19] 前記所定面と前記光源との間に配置されて、前記複数の光学要素に入射する光の偏光状態の分布を、前記第1方向及び第2方向に対応する2つの方向の直線偏光成分の通過領域の面積比が可変となるように制御する第2偏光部を備えることを特徴とする請求項17又は18に記載の照明光学系。

[請求項20] 前記第1偏光部は、
その設置面において、前記第1方向又は前記第2方向に平行な第1移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第1の角度だけ回転させる第1の旋光部材と、

前記設置面の近傍の面において、前記第1移動方向に直交する第2移動方向に移動可能に配置されて、前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光の偏光方向を第2の角度だけ回転させる第2の旋光部材と、を有することを特徴とする請求項17～19のいずれか一項に記載の照明光学系。

[請求項21] 前記入射面または前記入射面と平行な面において光束を偏向して前記空間光変調器へ導く偏向部材を備えることを特徴とする請求項14乃至20の何れか一項に記載の照明光学系。

[請求項22] 前記所定面と前記所定面と光学的に共役な位置との間に配置されたリレー光学系をさらに備えたことを特徴とする請求項1～21のいずれか一項に記載の照明光学系。

[請求項23] オプティカルインテグレータを備え、前記第2偏光部を介した前記複数の光学要素からの光を前記照明光学系の照明瞳に分布させる分布形成光学系を有し、

前記所定面と前記被照射面との間に配置された偏光制御部は、前記空間光変調器と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配

置されていることを特徴とする請求項 1 ～ 2 2 のいずれか一項に記載の照明光学系。

[請求項24] 前記第 2 偏光部を介した前記複数の光学要素からの光を前記照明光学系の照明瞳に分布させる分布形成光学系を有し、

前記照明瞳において、互いに異なる少なくとも 8 個の方向に直線偏光した光を組み合わせる光強度分布を設定可能であることを特徴とする請求項 1 ～ 2 3 のいずれか一項に記載の照明光学系。

[請求項25] 照明光路に対して挿脱自在な非偏光化素子を備えたことを特徴とする請求項 1 ～ 2 4 のいずれか一項に記載の照明光学系。

[請求項26] 前記空間光変調器は、前記所定面内で二次元的に配列された複数のミラー要素と、該複数のミラー要素の姿勢を個別に制御駆動する駆動部とを有することを特徴とする請求項 1 ～ 2 5 のいずれか一項に記載の照明光学系。

[請求項27] 前記複数のミラー要素のうちの前記所定面上の第 1 領域に位置するミラー要素の群を第 1 ミラー要素群とし、前記複数のミラー要素のうちの前記第 1 領域とは異なる前記所定面上の第 2 領域に位置するミラー要素の群を第 2 ミラー要素群とすると、前記駆動部は、前記第 1 ミラー要素群を経た光が前記所定面の光学的なフーリエ変換面上の第 1 瞳領域へ導かれるように前記第 1 ミラー要素群を制御駆動し、且つ前記第 2 ミラー要素群を経た光が前記所定面の光学的なフーリエ変換面上の第 2 瞳領域へ導かれるように前記第 2 ミラー要素群を制御駆動することを特徴とする請求項 2 6 に記載の照明光学系。

[請求項28] 前記所定面と前記被照射面との間に配置された偏光制御部は、前記第 1 ミラー要素群を経た第 1 部分光束に作用を及ぼすことなく、前記第 2 ミラー要素群を経た第 2 部分光束の偏光状態を変化させるために、旋光性を有する光学材料により形成された旋光部材を有することを特徴とする請求項 2 6 に記載の照明光学系。

[請求項29] 所定のパターンを照明するための請求項 1 ～ 2 8 のいずれか一項に

記載の照明光学系を備え、前記所定のパターンを感光性基板に露光することを特徴とする露光装置。

[請求項30] 請求項29に記載の露光装置を用いて、前記所定のパターンを前記感光性基板に露光することと、

前記所定のパターンが転写された前記感光性基板を現像し、前記所定のパターンに対応する形状のマスク層を前記感光性基板の表面に形成することと、

前記マスク層を介して前記感光性基板の表面を加工することと、を含むデバイス製造方法。

[請求項31] 光源からの光により被照射面を照明する照明方法において、

前記光源からの光の一部を第1の偏光状態にして、個別に制御される複数の光学要素を有する空間光変調器に導くことと、

前記複数の光学要素からの光の一部を、前記第1の偏光状態とは異なる第2の偏光状態にすることと、を含む照明方法。

[請求項32] 前記第1の偏光状態は、前記空間光変調器に入射する光の入射面に平行な方向および該入射面に垂直な方向のうち少なくとも一方向の偏光方向の直線偏光であることを特徴とする請求項31に記載の照明方法。

[請求項33] 前記複数の光学要素に導くことは、前記平行な方向の偏光方向の直線偏光光及び前記垂直な方向の偏光方向の直線偏光光とを前記所定面に導くことを特徴とする請求項32に記載の照明方法。

[請求項34] 前記複数の光学要素に導くことは、前記複数の光学要素に入射する光の偏光状態の分布を、前記平行な方向の直線偏光成分の通過領域の面積と前記垂直な方向の直線偏光成分の通過領域の面積との比が可変となるように制御することを備えることを特徴とする請求項33に記載の照明方法。

[請求項35] 前記平行な方向及び前記垂直な方向のうち一方の方向第1方向とし

、他方を第2の方向とすると、前記複数の光学要素に導くことは、前記所定面において前記第1方向又は前記第2方向に平行な方向に沿って配置された第1、第2、及び第3領域のそれぞれの偏光方向が前記第1方向、前記第2方向、及び前記第1方向とすることを特徴とする請求項32～34のいずれか一項に記載の照明方法。

[請求項36] 前記第2の偏光状態は、前記平行な方向又は前記垂直な方向に対応する方向に対して斜めに交差する方向の直線偏光であることを特徴とする請求項32～35のいずれか一項に記載の照明方法。

[請求項37] 前記交差する方向の直線偏光にすることは、
偏光方向を第1の角度だけ回転させる第1の旋光部材に前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光を通過させることと、

光の偏光方向を第2の角度だけ回転させる第2の旋光部材に前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光を通過させることと、を有し、

前記第1の旋光部材の設置面と前記第2の旋光部材の設置面とは互いに隣接することを特徴とする請求項36に記載の照明方法。

[請求項38] 前記第1の旋光部材を前記第1方向又は前記第2方向に対応する第1移動方向に移動させることと、

前記第2の旋光部材を前記第1移動方向に直交する第2移動方向に移動させることと、を有することを特徴とする請求項37に記載の照明方法。

[請求項39] 前記交差する方向の直線偏光にすることは、前記複数の光学要素を介して前記被照射面に向かう光の偏光状態の分布を、前記交差する方向の直線偏光成分の通過領域の面積と、前記交差する方向とは異なる偏光成分の通過領域との面積との比が可変となるように制御することを備えることを特徴とする請求項36～38のいずれか一項に記載の照明方法。

[請求項40] 前記交差する方向の直線偏光にすることは、旋光性を有する光学材

料により形成された旋光部材に前記被照射面に向かう光を通過させることを有することを特徴とする請求項 36～39 のいずれか一項に記載の照明方法。

[請求項41] 前記交差する方向の直線偏光にすることは、前記照明光学系の光路中における前記所定面と光学的に共役な位置で前記交差する方向の直線偏光にすることを特徴とする請求項 36～40 のいずれか一項に記載の照明方法。

[請求項42] 前記交差する方向の直線偏光にすることは、
偏光方向を第 1 の角度だけ回転させる第 1 の旋光部材に前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光を通過させることと、
偏光方向を第 2 及び第 3 の角度だけ回転させる第 2 及び第 3 の旋光部材に前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光を通過させることと、
前記第 1 の旋光部材を前記平行な方向又は前記垂直な方向に対応する第 1 移動方向に移動させることと、
前記第 2 の旋光部材を前記第 1 移動方向に直交する第 2 移動方向に移動させることと、を有することを特徴とする請求項 36～41 のいずれか一項に記載の照明方法。

[請求項43] 前記入射面または前記入射面と平行な面において光束を偏向することを備えることを特徴とする請求項 31～42 のいずれか一項に記載の照明方法。

[請求項44] 前記偏向された光を前記空間光変調器に導くことを含むこと特徴とする請求項 43 に記載の照明方法。

[請求項45] 光源からの光により被照射面を照明する照明方法において、
前記光の進行方向を横切る所定面内において互いに直交する第 1 方向及び第 2 方向の偏光方向の直線偏光光を、前記所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素へ導くことを含み、
前記第 1 方向又は前記第 2 方向は、前記光源からの光が前記所定面

に入射するときの入射面に平行な方向であり、

前記複数の光学要素に導くことは、前記所定面において前記第1方向又は前記第2方向に平行な方向に沿って配置された第1、第2、及び第3領域のそれぞれの偏光方向が前記第1方向、前記第2方向、及び前記第1方向とすることを特徴とする照明方法。

[請求項46] 前記複数の光学要素に導くことは、前記複数の光学要素に入射する光の偏光状態の分布を、前記第1方向の直線偏光成分の通過領域の面積と前記第2方向の直線偏光成分の通過領域の面積との比が可変となるように制御することを備えることを特徴とする請求項45に記載の照明方法。

[請求項47] 前記複数の光学要素に導くことは、旋光性を有する旋光部材又は波長板を有する第1部材を用いて該第1部材に入射する光の偏光方向を90度変化させることと、

旋光性を有する旋光部材又は波長板を有する第2部材を用いて該第2部材に入射する光の偏光方向を90度変化させることと、を有し、

前記第1部材の設置面と前記第2部材の設置面とは互いに隣接することを特徴とする請求項45又は46に記載の照明方法。

[請求項48] 前記複数の光学要素に導くことは、前記第1部材と前記第2部材との少なくとも一方を、前記第1方向又は前記第2方向に平行な方向に沿って移動させることを備えることを特徴とする請求項47に記載の照明方法。

[請求項49] 前記複数の光学要素からの光の少なくとも一部を、前記第1方向又は前記第2方向に対応する方向に対して斜めに交差する第3方向の直線偏光にすることを含み、

前記3方向の直線偏光にすることは、

偏光方向を第1の角度だけ回転させる第1の旋光部材に前記複数の光学要素からの少なくとも一部の光を通過させることと、

偏光方向を第2の角度だけ回転させる第2の旋光部材に前記複数の

光学要素からの少なくとも一部の光を通過させることと、

前記第 1 の旋光部材を前記第 1 方向又は前記第 2 方向に対応する第 1 移動方向に移動させることと、

前記第 2 の旋光部材を前記第 1 移動方向に直交する第 2 移動方向に移動させることと、を有することを特徴とする請求項 4 1 ～ 4 4 のいずれか一項に記載の照明方法。

[請求項50] 光源からの光により被照射面を照明する照明方法において、
前記光の進行方向を横切る所定面内に配列されて個別に制御される複数の光学要素へ前記光を導くことと、
前記複数の光学要素からの光の少なくとも一部を、前記所定面内において互いに直交する第 1 方向及び第 2 方向に対して斜めに交差する第 3 方向の直線偏光にすることと、
を含み、
前記第 1 方向又は前記第 2 方向は、前記光源からの光が前記所定面に入射するときの入射面に平行な方向に対応する方向であることを特徴とする照明方法。

[請求項51] 前記第 3 方向の直線偏光にすることは、旋光性を有する光学材料により形成された旋光部材に前記被照射面に向かう光を通過させることを有することを特徴とする請求項 5 0 に記載の照明方法。

[請求項52] 前記複数の光学要素からの光を照明光学系の照明瞳に分布させることを含むことを特徴とする請求項 3 1 ～ 5 1 のいずれか一項に記載の照明方法。

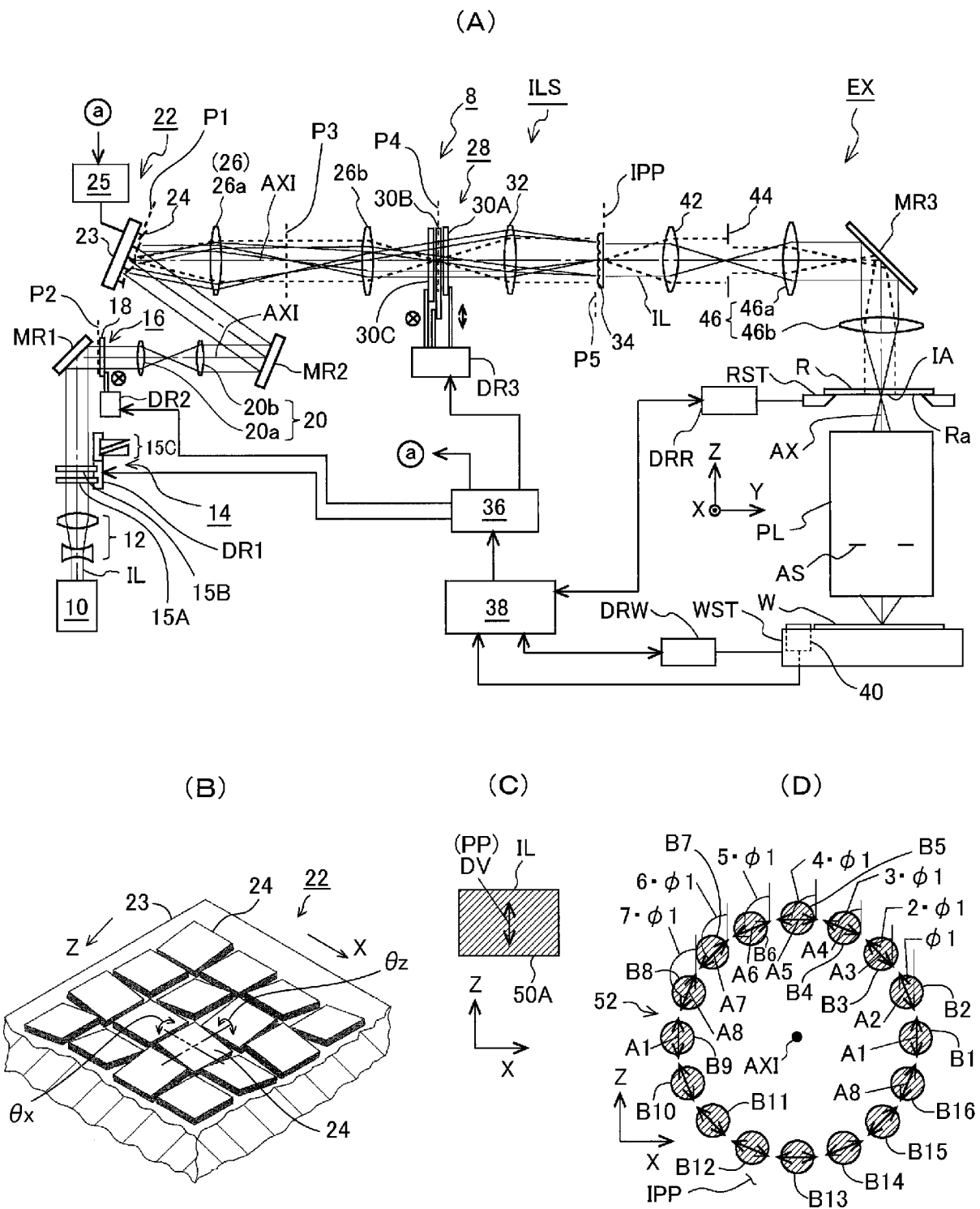
[請求項53] 請求項 3 1 ～ 5 3 のいずれか一項に記載の照明方法を用いて所定のパターンを照明し、
前記所定のパターンを感光性基板に露光することを特徴とする露光方法。

[請求項54] 請求項 5 3 に記載の露光方法を用いて、前記所定のパターンを前記感光性基板に露光することと、

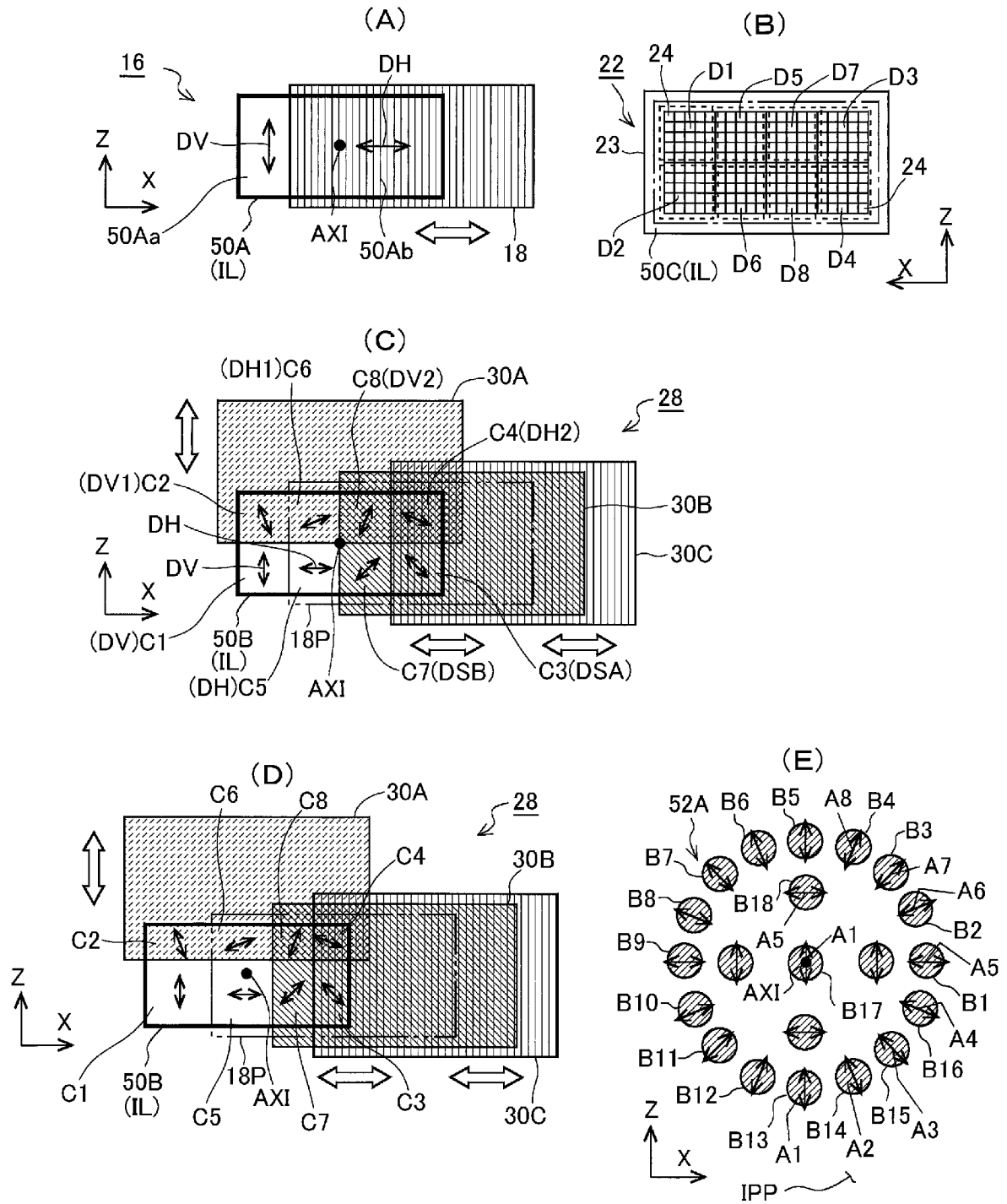
前記所定のパターンが転写された前記感光性基板を現像し、前記所定のパターンに対応する形状のマスク層を前記感光性基板の表面に形成することと、

前記マスク層を介して前記感光性基板の表面を加工することと、を含むデバイス製造方法。

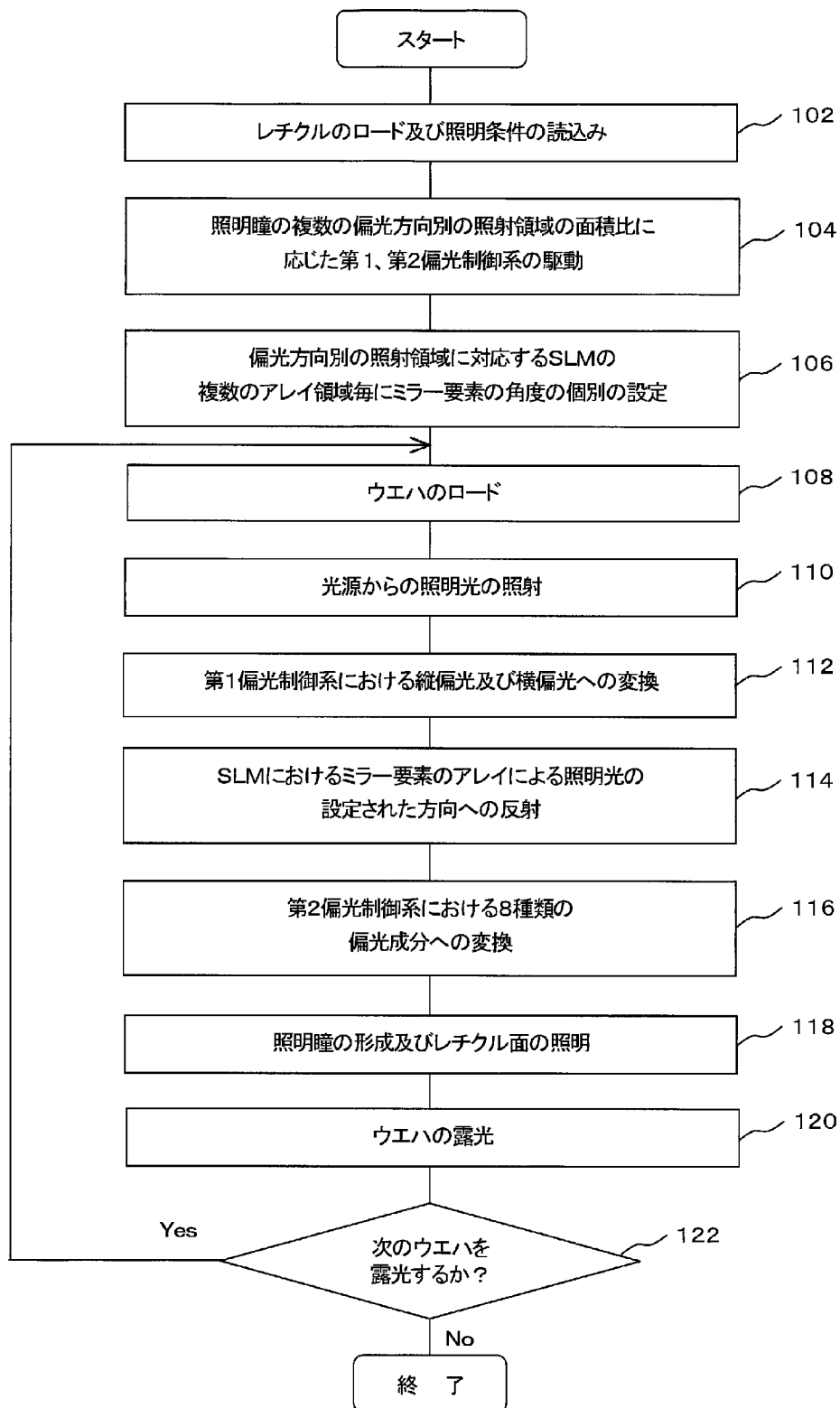
[図1]



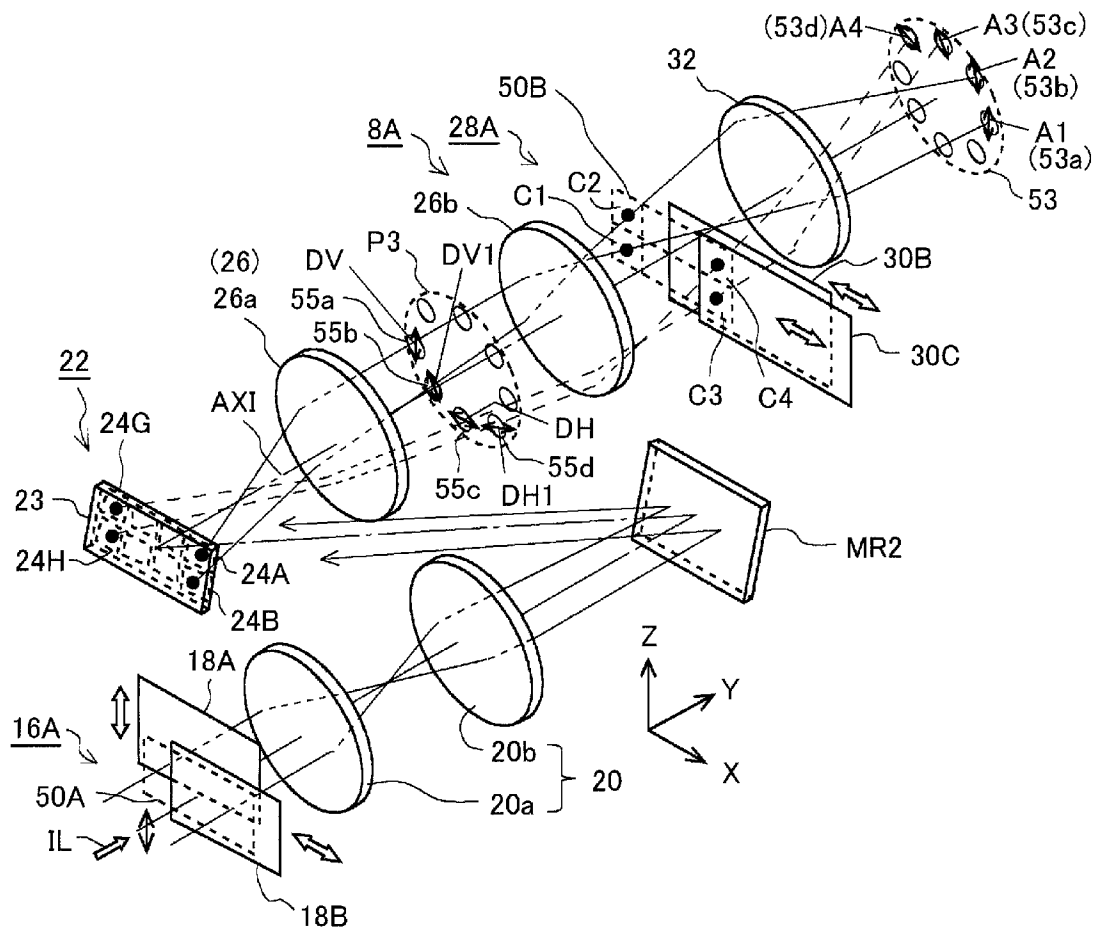
[図2]



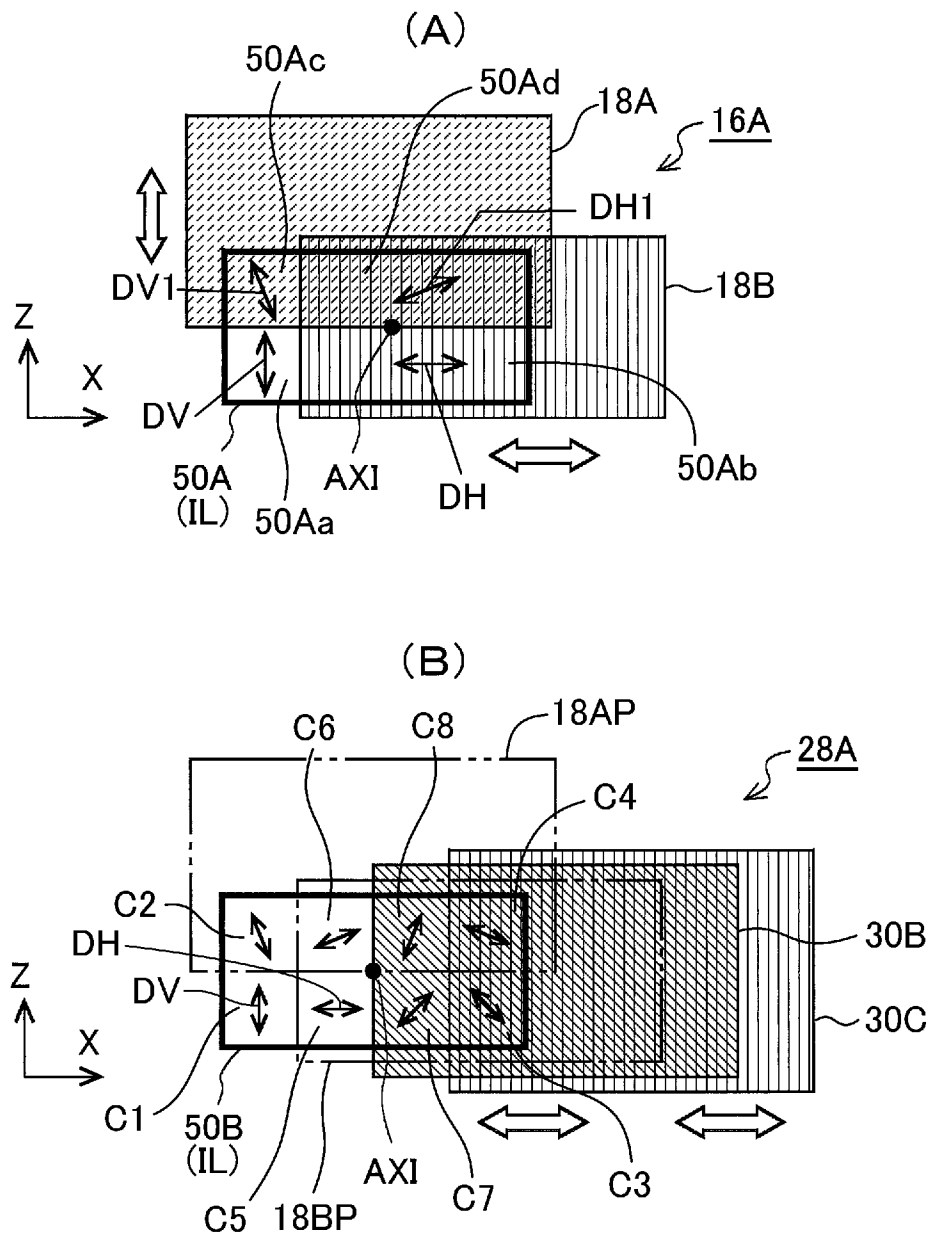
[図4]



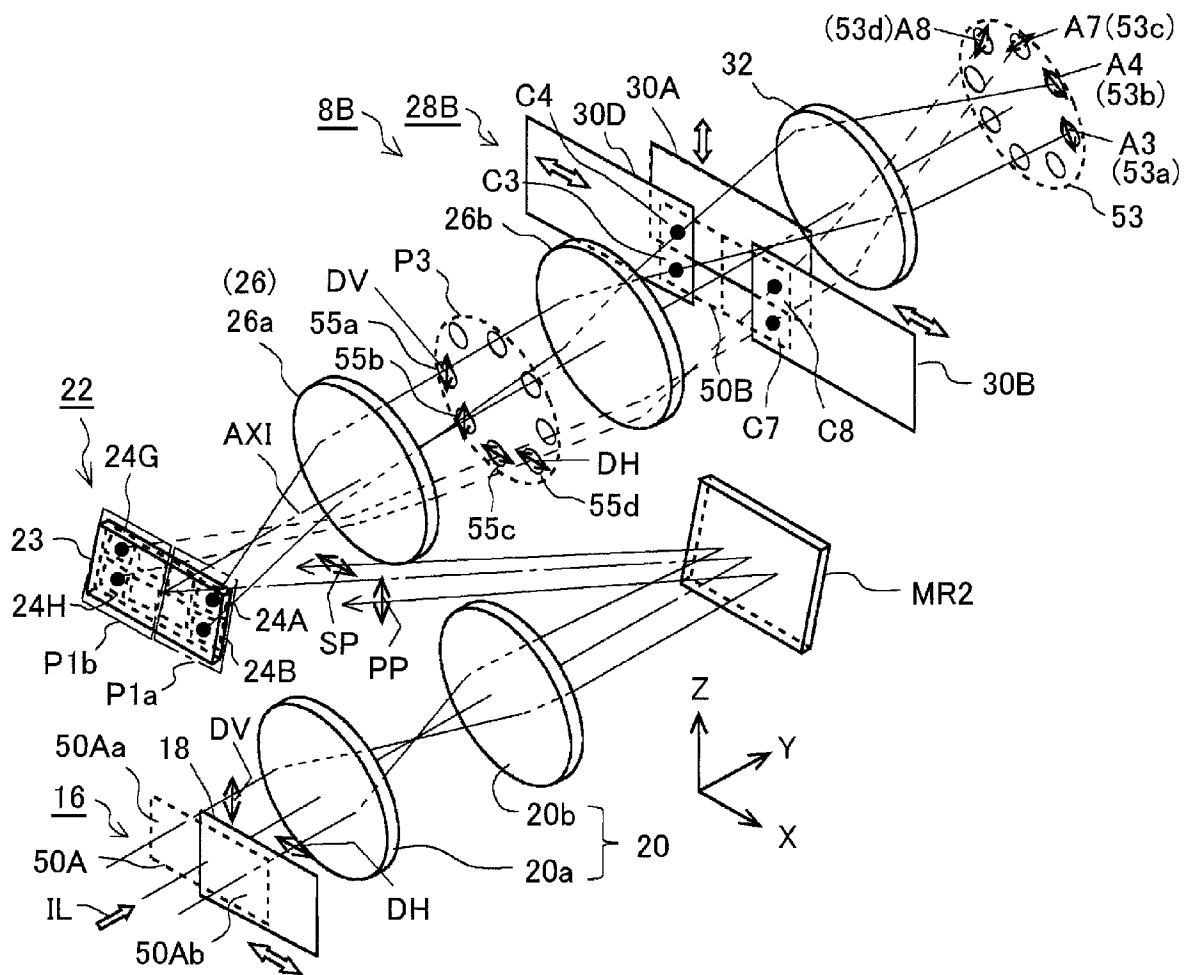
[図5]



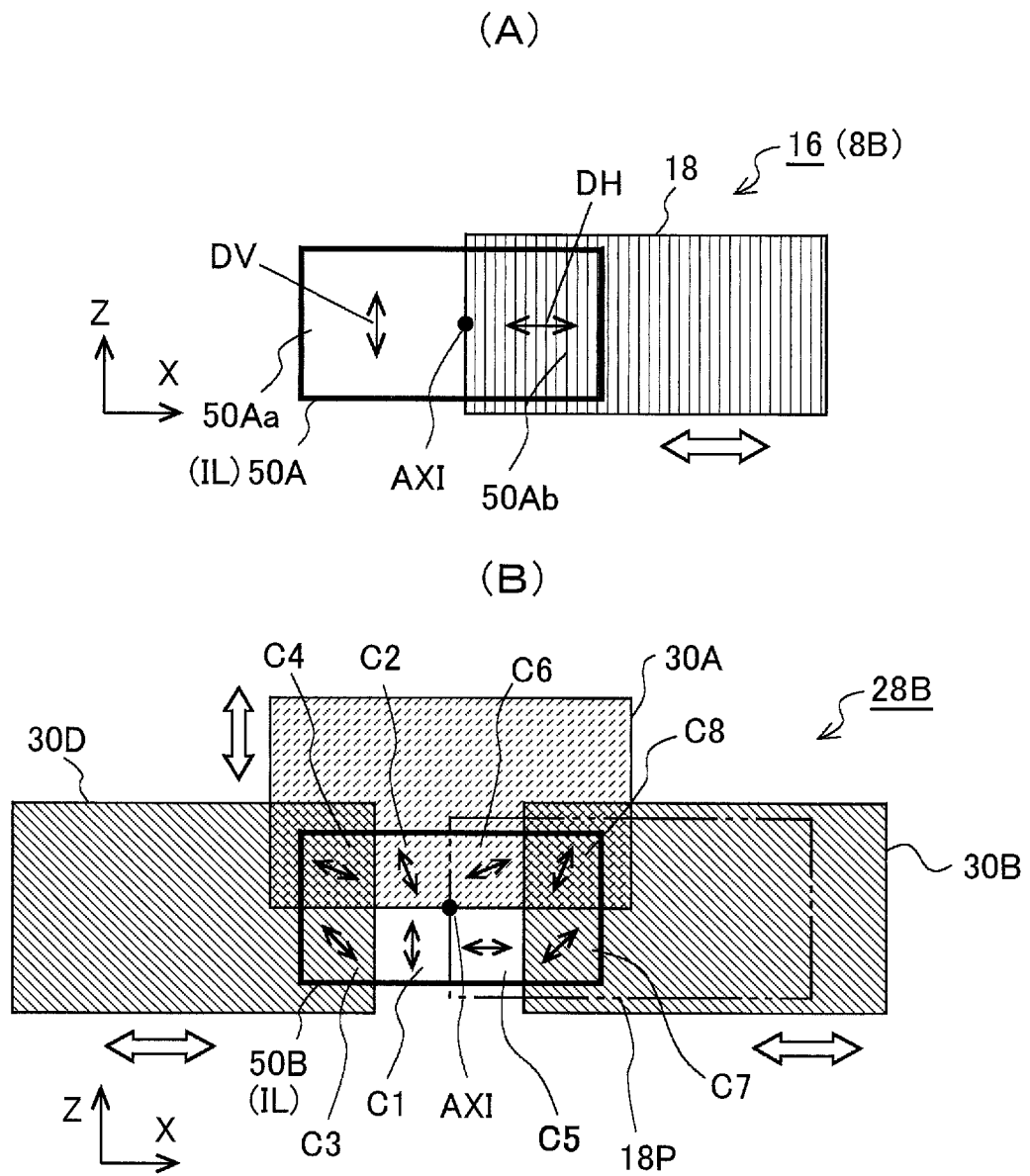
[図6]



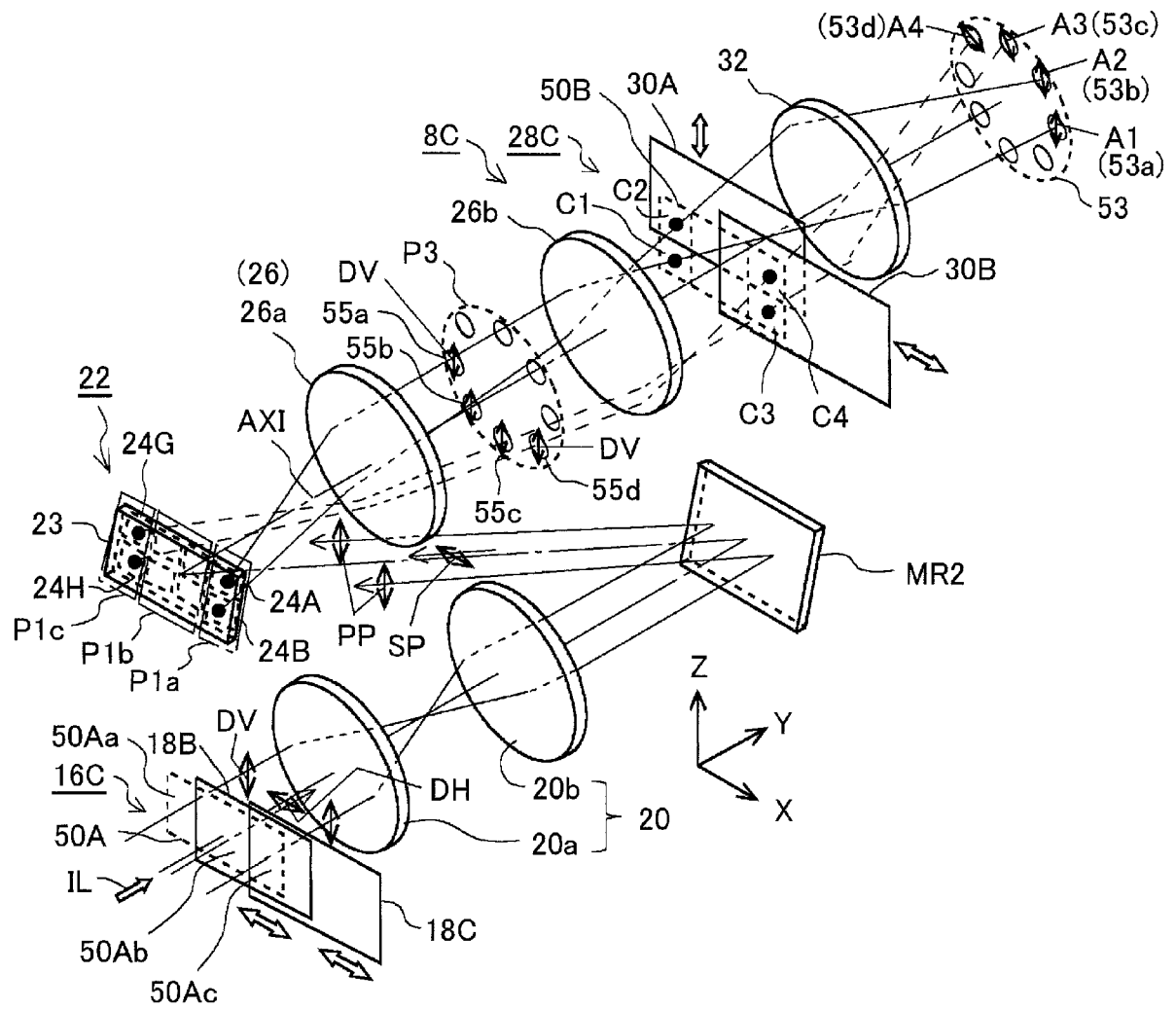
[図7]



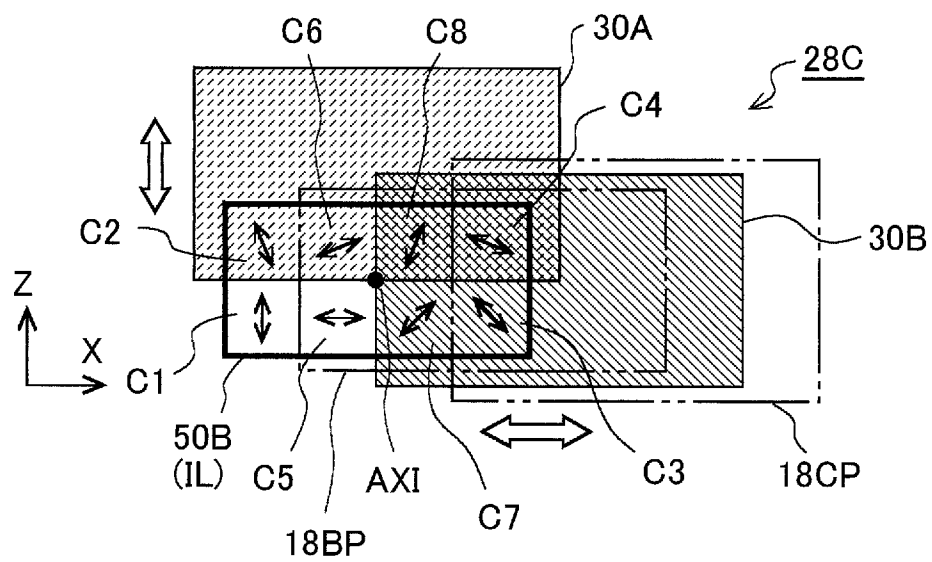
[図8]



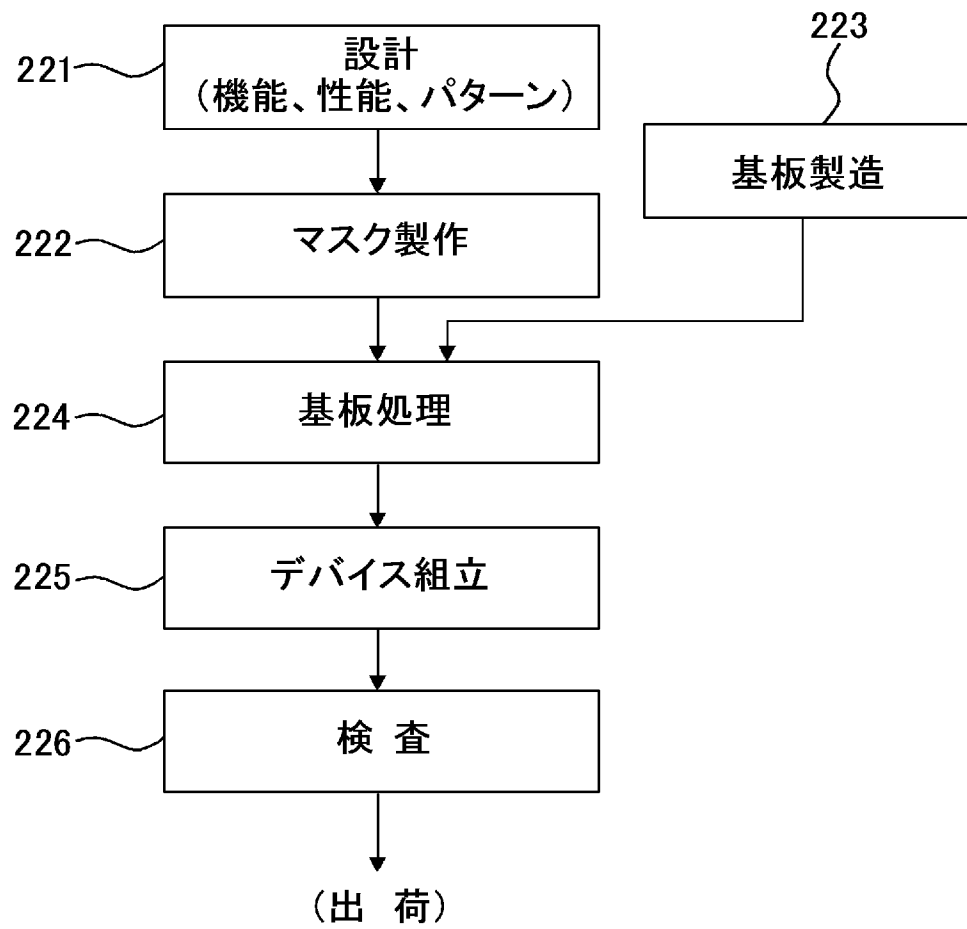
[図9]



(A)



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/081124

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/027(2006.01)i, G02B5/30(2006.01)i, G02B17/08(2006.01)i, G02B19/00(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i

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)

H01L21/027, G02B5/30, G02B17/08, G02B19/00, G03F7/20

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2014 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2014

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	JP 2011-040646 A (Nikon Corp.), 24 February 2011 (24.02.2011), entire text; all drawings; particularly, fig. 1 to 4, 6 to 7	1-6, 14-15, 21-33, 35, 43-45, 47, 52-54
Y	(Family: none)	7, 11, 17-20, 34, 46, 48-51
A		8-10, 12-13, 16, 36-42
Y	JP 2011-199285 A (ASML Netherlands B.V.), 06 October 2011 (06.10.2011), paragraphs [0036] to [0057]; fig. 2, 4 & US 2011/0228247 A1 & EP 2369413 A2 & CN 102200693 A & KR 10-2011-0106246 A & SG 174692 A & TW 201211700 A	7, 11, 17-20, 34, 46, 48-51

☒ 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

"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
18 February, 2014 (18.02.14)

Date of mailing of the international search report
04 March, 2014 (04.03.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/081124

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-111223 A (Nikon Corp.), 21 May 2009 (21.05.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-54
A	JP 2010-087389 A (Nikon Corp.), 15 April 2010 (15.04.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-54
P, A	WO 2012/169089 A1 (Nikon Corp.), 13 December 2012 (13.12.2012), entire text; all drawings (Family: none)	1-54

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C）） Int.Cl. H01L21/027(2006.01)i, G02B5/30(2006.01)i, G02B17/08(2006.01)i, G02B19/00(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i		
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（I P C）） Int.Cl. H01L21/027, G02B5/30, G02B17/08, G02B19/00, G03F7/20		
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 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 日本国公開実用新案公報 1 9 7 1 - 2 0 1 4 年 日本国実用新案登録公報 1 9 9 6 - 2 0 1 4 年 日本国登録実用新案公報 1 9 9 4 - 2 0 1 4 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
X	JP 2011-040646 A（株式会社ニコン）2011.02.24, 全文全図、特に【図1】－【図4】及び【図6】－【図7】（ファミリーなし）	1-6, 14-15, 21-33, 35, 43-45, 47, 52-54
Y		7, 11, 17-20, 34, 46, 48-51
A		8-10, 12-13, 16, 36-42
☒ 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。		
* 引用文献のカテゴリー 「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 「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 「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 1 8 . 0 2 . 2 0 1 4	国際調査報告の発送日 0 4 . 0 3 . 2 0 1 4	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（I S A / J P） 郵便番号1 0 0 - 8 9 1 5 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） 関口 英樹 電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 4	2 M 4 8 4 1

C (続き) . 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	JP 2011-199285 A (エーエスエムエル ネザーランズ ビー. ブイ.) 2011. 10. 06, 【0036】－【0057】、【図2】及び【図4】 & US 2011/0228247 A1 & EP 2369413 A2 & CN 102200693 A & KR 10-2011-0106246 A & SG 174692 A & TW 201211700 A	7, 11, 17-20, 34, 46, 48-51
A	JP 2009-111223 A (株式会社ニコン) 2009. 05. 21, 全文、全図 (フ ァミリーなし)	1-54
A	JP 2010-087389 A (株式会社ニコン) 2010. 04. 15, 全文、全図 (フ ァミリーなし)	1-54
P, A	WO 2012/169089 A1 (株式会社ニコン) 2012. 12. 13, 全文、全図 (フ ァミリーなし)	1-54