(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 1 月 16 日(16.01.2014)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2014/010552 A1

(51) 国際特許分類:
H01L 21/027 (2006.01) *G03F 7/20* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2013/068635

(22) 国際出願日: 2013 年 7 月 8 日(08.07.2013)

(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:
61/669948 2012 年 7 月 10 日(10.07.2012) US
61/719054 2012 年 10 月 26 日(26.10.2012) US

(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: 北 尚憲(KITA Naonori); 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目１２番１号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 山口 孝雄(YAMAGUCHI Takao); 〒1010048 東京都千代田区神田司町二丁目１０番地 第一ビル 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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, 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, 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**: ILLUMINATION OPTICAL SYSTEM, EXPOSURE DEVICE, AND DEVICE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称 : 照明光学系、露光装置、およびデバイス製造方法

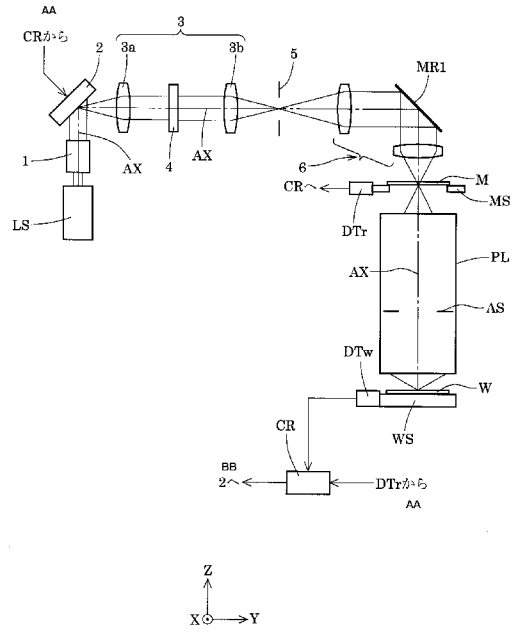


FIG. 1:
AA From
BB To

(57) **Abstract**: An illumination optical system in which the pupil intensity distribution at each point on an irradiated surface can be adjusted to the required distribution. The illumination optical system, which illuminates the irradiated surface using light from a light source, is provided with: a spatial light modulation element having a modulation action surface for setting the emission angle of emission light according to the incidence position of incident light, the spatial light modulation element being disposed on the light path between the light source and the irradiated surface; and a light collection optical system for guiding the emission light from the spatial light modulation element to a position on the irradiated surface corresponding to the emission position at which the emission light from the spatial light modulation element is emitted, and guiding the emission light from the spatial light modulation element to the abovementioned position on the irradiated surface at an angle corresponding to the set emission angle of the emission light from the emission position of the spatial light modulation element, the light collection optical system being disposed between the spatial light modulation element and the irradiated surface. A unit region of a scattering element emits, diagonally with respect to the optical axis of the unit region, a diagonally incident light beam, which is incident diagonally with respect to the optical axis of the unit region.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2014/010552 A1

被照射面上の各点での瞳強度分布をそれぞれ所要の分布に調整することのできる照明光学系。光源からの光により被照射面を照明する照明光学系は、光源と被照射面との間の光路中に配置されて、入射光の入射位置に応じて射出光の射出角度を設定する変調作用面を持つ空間光変調素子と、空間光変調素子と被照射面との間に配置されて、空間光変調素子からの射出光が射出される射出位置に応じた被照射面上の位置に空間光変調素子からの射出光を導くと共に、空間光変調素子の射出位置からの射出光の設定された射出角度に応じた角度で被照射面上の上記位置に空間光変調素子からの射出光を導く集光光学系とを備えている。拡散素子の単位領域は、単位領域の光軸に対して斜めに入射する斜入射光束を単位領域の光軸に対して斜めに射出する。

明　細　書

発明の名称 ： 照明光学系、露光装置、およびデバイス製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、照明光学系、露光装置、およびデバイス製造方法に関する。

背景技術

[0002] 半導体素子等のデバイスの製造に用いられる露光装置では、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フライアイレンズを介して、多数の光源からなる実質的な面光源としての二次光源（一般には照明瞳における所定の光強度分布）を形成する。以下、照明瞳での光強度分布を、「瞳強度分布」という。また、照明瞳とは、照明瞳と被照射面（露光装置の場合にはマスクまたはウェハ）との間の光学系の作用によって、被照射面が照明瞳のフーリエ変換面となるような位置として定義される。

[0003] 二次光源からの光は、コンデンサー光学系により集光された後、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクを透過した光は投影光学系を介してウェハ上に結像し、ウェハ上にはマスクパターンが投影露光（転写）される。マスクに形成されたパターンは微細化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

[0004] 従来、ズーム光学系を用いることなく瞳強度分布（ひいては照明条件）を連続的に変更することのできる照明光学系が提案されている（例えば特許文献１を参照）。従来の照明光学系では、アレイ状に配列され且つ傾斜角および傾斜方向が個別に駆動制御される多数の微小なミラー要素により構成された可動マルチミラーを用いて、入射光束を反射面毎の微小単位に分割して偏向させることにより、光束の断面を所望の形状または所望の大きさに変換し、ひいては所望の瞳強度分布を実現している。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：米国特許出願公開第２００９／０１１６０９３号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] マスクの微細パターンをウェハ上に正確に転写するには、瞳強度分布を所望の形状に調整するだけでなく、最終的な被照射面としてのウェハ上の各点に関する瞳強度分布をそれぞれほぼ均一に調整する必要がある。ウェハ上の各点での瞳強度分布の均一性にばらつきがあると、ウェハ上の位置毎にパターンの線幅がばらついて、マスクの微細パターンを露光領域の全体に亘って所望の線幅でウェハ上に正確に転写することができない。

[0007] 本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、被照射面上の各点での瞳強度分布をそれぞれ所要の分布に調整することのできる照明光学系を提供することを目的とする。また、本発明は、被照射面上の各点での瞳強度分布をそれぞれ所要の分布に調整する照明光学系を用いて、適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことのできる露光装置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

[0008] 前記課題を解決するために、第１形態では、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、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、入射光の入射位置に応じて射出光の射出角度を設定する変調作用面を持つ空間光変調素子と、

前記空間光変調素子と前記被照射面との間に配置されて、前記空間光変調素子からの射出光が射出される射出位置に応じた前記被照射面上の位置に前記空間光変調素子からの射出光を導くと共に、前記空間光変調素子の前記射出位置からの前記射出光の設定された射出角度に応じた角度で前記被照射面上の前記位置に前記空間光変調素子からの前記射出光を導く集光光学系とを備えることを特徴とする照明光学系を提供する。

[0009] 第２形態では、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、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記照明光学系の照明瞳に瞳強度分布を形成するために入射光を空間的に変調して射出する空間光変調素子と、

前記空間光変調素子と前記被照射面との間の光路中に配置されて、所定の射出側開口数を持つ複数の単位波面分割領域を有するオプティカルインテグレータと、

前記空間光変調素子と前記オプティカルインテグレータの入射側の面とを光学的にフーリエ変換の関係に配置する第１リレー光学系と、

前記オプティカルインテグレータとの組み合わせにより、前記オプティカルインテグレータの入射側の面と光学的に共役な共役面を、前記被照射面の位置を含む第１空間または前記被照射面と光学的に共役な位置を含む第２空間に形成する第２リレー光学系とを備え、

前記空間光変調素子の変調作用面の第１変調領域を経た光は、前記所定の射出側開口数に対応する角度以下の入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して、前記共役面に形成される照明領域内の第１照明領域を形成し、前記変調作用面において前記第１変調領域に隣接する第２変調領域を経た光は、前記所定の射出側開口数に対応する角度よりも大きい入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して、前記照明領域内の前記第１照明領域に隣接する第２照明領域を形成することを特徴とする照明光学系を提供する。

[0010] 第３形態では、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、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記照明光学系の照明瞳に瞳強度分布を形成するために入射光を空間的に変調して射出する空間光変調素子と、

前記空間光変調素子と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記空間光変調素子の変調作用面と光学的に共役な共役面を、前記被照射面の位置または前記被照射面と光学的に共役な位置に形成するリレー光学系と、

前記リレー光学系の瞳空間に配置されて、所定の射出側開口数を有する複数の単位領域を有する拡散素子とを備え、

前記空間光変調素子の前記変調作用面は、前記変調作用面での位置に応じて射出光の射出角度を設定し、

前記拡散素子の前記単位領域は、前記単位領域の光軸に対して斜めに入射する斜入射光束を前記単位領域の前記光軸に対して斜めに射出することを特徴とする照明光学系を提供する。

[0011] 第４形態では、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、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記照明光学系の照明瞳に瞳強度分布を形成するために入射光を空間的に変調して射出する空間光変調素子と、

前記空間光変調素子と前記被照射面との間の光路中に配置されて、第１方向に沿って所定のピッチで配列された複数の入射屈折面と、前記複数の入射屈折面に対して前記第１方向に位置ずれして配列された複数の射出屈折面とを有するオプティカルインテグレータと、

前記空間光変調素子と前記オプティカルインテグレータの入射側の面とを光学的にフーリエ変換の関係に配置する第１リレー光学系と、

前記オプティカルインテグレータとの組み合わせにより、前記オプティカルインテグレータの入射側の面と光学的に共役な共役面を、前記被照射面の位置または前記被照射面と光学的に共役な位置に形成する第２リレー光学系とを備え、

前記空間光変調素子の変調作用面の第１変調領域を経た光は、前記オプティカルインテグレータを介して、前記共役面に形成される照明領域内の第１照明領域を形成し、前記変調作用面において前記第１変調領域と前記第１方向に隣接する前記第２変調領域を経た光は、前記オプティカルインテグレータを介して、前記照明領域内の前記第１照明領域と前記第１方向に隣接する第２照明領域を形成することを特徴とする照明光学系を提供する。

[0012] 第５形態では、所定のパターンを照明するための第１形態、第２形態、第３形態または第４形態の照明光学系を備え、前記所定のパターンを基板に露光することを特徴とする露光装置を提供する。

[0013] 第６形態では、第５形態の露光装置を用いて、前記所定のパターンを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、を含むことを特徴とするデバイス製造方法を提供する。

[0014] 第７形態では、第１面上の離散的な複数の計測点にそれぞれ入射する光の角度分布を計測する装置において、

前記第１面上の前記複数の計測点に配置されて、前記複数の計測点に入射する光をそれぞれ通過させる光通過部と、前記第１面上の前記光通過部以外の領域に配置されて該領域を介した光を減光する減光部とを備える光選択部材と、

前記光選択部材を介した光の進行方向において前記第１面とは異なる第２面に配置された受光面を備え、前記第２面に二次元的に分布する光の強度分布を計測する計測部とを備える装置を提供する。

発明の効果

[0015] 本発明の照明光学系では、被照射面上の各点での瞳強度分布をそれぞれ所要の分布に調整することができる。また、本発明の露光装置では、被照射面上の各点での瞳強度分布をそれぞれ所要の分布に調整する照明光学系を用いて、適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができ、ひいては良好なデバイスを製造することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]実施形態の第１実施例にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。

[図2]空間光変調器の構成および作用を説明する図である。

[図3]空間光変調器の要部の部分斜視図である。

[図4]従来の構成における空間光変調器からマスクブラインドまでの光路を示す図である。

[図5]第１実施例において空間光変調器にどのような制御性を持たせたら良いかという点について考察する図である。

[図6]第１実施例の構成を示す図である。

[図7]第１実施例の変形例における空間光変調器からマスクブラインドまでの光路を示す図である。

[図8]マイクロレンズアレイを構成する各微小レンズの射出角度特性を示す図である。

[図9]マイクロフライアイレンズを構成する各微小レンズの射出角度特性を示す図である。

[図10]マイクロレンズアレイとマイクロフライアイレンズとの中間的な光学部材を構成する多数の微小レンズの射出角度特性を示す図である。

[図11]図７の構成において、マスクブラインド上の照野内の１点から上流を見ると一群のミラー要素が光って見えることを示す図である。

[図12]第１実施例の変形例におけるマスクブラインド上の照野の形成について説明する図である。

[図13]図４の構成におけるマスクブラインド上の照野の形成について説明する図である。

[図14]第１実施例の変形例において台形状の照度分布を有する照野がマスクブラインド上に形成される様子を示す図である。

[図15]図１０に示す中間的な光学部材を備えた構成におけるマスクブラインド上の照野の形成について説明する図である。

[図16]実施形態の第２実施例にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。

[図17]（ａ）は第２実施例における空間光変調器からマスクブラインドまで

の光路を示す斜視図であり、（ｂ）は第２実施例におけるマスクブラインド上に形成される照野の１次元方向での照度分布を示す図である。

[図18]実施形態の第３実施例にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。

[図19]第３実施例における空間光変調器からマスクブラインドまでの光路を示す図である。

[図20]第３実施例におけるマスクブラインド上の照野の形成について説明する図である。

[図21]実施形態の第４実施例にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。

[図22]第４実施例における空間光変調器からマスクブラインドまでの光路および第４実施例の作用を示す図である。

[図23]図４に示す従来構成においてオプティカルインテグレータを介して形成される小光源の充填率について説明する。

[図24]図１９に示す第３実施例においてオプティカルインテグレータを介して形成される小光源の充填率について説明する。

[図25]第４実施例の作用を示す第２の図である。

[図26]対物レンズを用いることなく複数点に関する瞳強度分布を同時に計測する瞳分布計測部の構成を概略的に示す図である。

[図27]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。

[図28]液晶表示素子等の液晶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、実施形態を添付図面に基づいて説明する。図１は、実施形態の第１実施例にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。図１において、感光性基板であるウェハＷの転写面（露光面）の法線方向に沿ってＺ軸を、ウェハＷの転写面内において図１の紙面に平行な方向にＹ軸を、ウェハＷの転写面内において図１の紙面に垂直な方向にＸ軸をそれぞれ設定している。

[0018] 図１を参照すると、本実施形態の露光装置では、光源ＬＳから露光光（照明光）が供給される。光源ＬＳとして、たとえば１９３ｎｍの波長の光を供給するＡｒＦエキシマレーザ光源や、２４８ｎｍの波長の光を供給するＫｒＦエキシマレーザ光源などを用いることができる。光源ＬＳから＋Ｚ方向に射出された光は、ビーム送光部１を介して、空間光変調器２に入射する。ビーム送光部１は、光源ＬＳからの入射光束を適切な大きさおよび形状の断面を有する光束に変換しつつ空間光変調器２へ導くとともに、空間光変調器２に入射する光の位置変動および角度変動をアクティブに補正する機能を有する。

[0019] 空間光変調器２は、後述するように、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と、制御系ＣＲからの制御信号に基づいて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。空間光変調器２から＋Ｙ方向へ射出された光は、前側レンズ群３ａと後側レンズ群３ｂとからなるリレー光学系３、およびリレー光学系３の瞳位置またはその近傍に配置されたマイクロレンズアレイ（またはレンズアレイ）４を介して、照明視野絞りとしてのマスクブラインド５を照明する。

[0020] すなわち、リレー光学系３において前側レンズ群３ａの後側焦点位置と後側レンズ群３ｂの前側焦点位置とがほぼ一致しており、マイクロレンズアレイ４は前側レンズ群３ａの後側焦点位置またはその近傍に配置されている。マスクブラインド５の位置には、例えばＺ方向に沿って長辺を有し且つＸ方向に沿って短辺を有する矩形状（スリット状）の照野が形成される。

[0021] 空間光変調器２の複数のミラー要素の配列面（以下、「空間光変調器の配列面」または「空間光変調器の変調作用面」という）は、前側レンズ群３ａの前側焦点位置またはその近傍に配置されている。マスクブラインド５は、後側レンズ群３ｂの後側焦点位置またはその近傍に配置されている。すなわち、リレー光学系３は、空間光変調器２の変調作用面と光学的に共役な共役面を、マスクブラインド５の位置またはその近傍に形成している。マイクロレンズアレイ４の構成および作用については後述する。

[0022] マスクブラインド５の矩形状の開口部（光透過部）を介した光束は、結像光学系６の集光作用を受け、且つ結像光学系６の光路中に配置された光路折曲げミラーＭＲ１により－Ｚ方向へ反射された後、所定のパターンが形成されたマスクＭを重畳的に照明する。すなわち、結像光学系６は、マスクブラインド５の矩形状開口部の像をマスクＭ上に形成することになる。

[0023] マスクステージＭＳ上に保持されたマスクＭ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Ｙ方向（マスクブラインド５の位置におけるＺ方向に対応）に沿って長辺を有し且つＸ方向に沿って短辺を有する矩形状のパターン領域が照明される。マスクＭのパターン領域を透過した光は、投影光学系ＰＬを介して、ウェハステージＷＳ上に保持されたウェハ（感光性基板）Ｗ上にマスクパターンの像を形成する。すなわち、マスクＭ上での矩形状の照明領域に光学的に対応するように、ウェハＷ上においてもＹ方向に沿って長辺を有し且つＸ方向に沿って短辺を有する矩形状の静止露光領域（実効露光領域）にパターン像が形成される。

[0024] こうして、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、投影光学系ＰＬの光軸ＡＸと直交する平面（ＸＹ平面）内において、Ｘ方向（走査方向）に沿ってマスクステージＭＳとウェハステージＷＳとを、ひいてはマスクＭとウェハＷとを同期的に移動（走査）させることにより、ウェハＷ上には静止露光領域のＹ方向寸法に等しい幅を有し且つウェハＷの走査量（移動量）に応じた長さを有するショット領域（露光領域）に対してマスクパターンが走査露光される。

[0025] 本実施形態の露光装置は、照明光学系（１～６）を介した光に基づいて照明光学系の射出瞳面における瞳強度分布を計測する第１瞳強度分布計測部ＤＴｒと、投影光学系ＰＬを介した光に基づいて投影光学系ＰＬの瞳面（投影光学系ＰＬの射出瞳面）における瞳強度分布を計測する第２瞳強度分布計測部ＤＴｗと、第１および第２瞳強度分布計測部ＤＴｒ，ＤＴｗのうちの少なくとも一方の計測結果に基づいて空間光変調器２を制御し且つ露光装置の動作を統括的に制御する制御系ＣＲとを備えている。

[0026] 第１瞳強度分布計測部ＤＴｒは、例えば照明光学系の射出瞳位置と光学的に共役な位置に配置された光電変換面を有する撮像部を備え、照明光学系による被照射面上の各点に関する瞳強度分布（各点に入射する光が照明光学系の射出瞳位置に形成する瞳強度分布）をモニターする。また、第２瞳強度分布計測部ＤＴｗは、例えば投影光学系ＰＬの射出瞳位置と光学的に共役な位置に配置された光電変換面を有する撮像部を備え、投影光学系ＰＬの像面の各点に関する瞳強度分布（各点に入射する光が投影光学系ＰＬの射出瞳位置に形成する瞳強度分布）を計測する。

[0027] 第１および第２瞳強度分布計測部ＤＴｒ，ＤＴｗの詳細な構成および作用については、例えば米国特許公開第２００８／００３０７０７号明細書を参照することができる。また、瞳強度分布計測部として、米国特許公開第２０１０／００２０３０２号公報の開示を参照することもできる。

[0028] 次に、空間光変調器２の構成および作用を具体的に説明する。空間光変調器２は、図２に示すように、所定面内に配列された複数のミラー要素２ａと、複数のミラー要素２ａを保持する基盤２ｂと、基盤２ｂに接続されたケーブル（不図示）を介して複数のミラー要素２ａの姿勢を個別に制御駆動する駆動部２ｃとを備えている。図２では、空間光変調器２からリレー光学系３の瞳面３ｃまでの光路を示している。

[0029] 空間光変調器２では、制御系ＣＲからの指令に基づいて作動する駆動部２ｃの作用により、複数のミラー要素２ａの姿勢がそれぞれ変化し、各ミラー要素２ａがそれぞれ所定の向きに設定される。空間光変調器２は、図３に示すように、二次元的に配列された複数の微小なミラー要素２ａを備え、入射した光に対して、その入射位置に応じた空間的な変調を可変的に付与して射出する。説明および図示を簡単にするために、図２および図３では空間光変調器２が４×４＝１６個のミラー要素２ａを備える構成例を示しているが、実際には１６個よりもはるかに多数のミラー要素２ａを備えている。たとえば、空間光変調器２は４０００個～１００００個程度のミラー要素２ａを備えていても良い。

[0030] 図２を参照すると、空間光変調器２に入射する光線群のうち、光線Ｌ１は複数のミラー要素２ａのうちのミラー要素ＳＥａに、光線Ｌ２はミラー要素ＳＥａとは異なるミラー要素ＳＥｂにそれぞれ入射する。同様に、光線Ｌ３はミラー要素ＳＥａ，ＳＥｂとは異なるミラー要素ＳＥｃに、光線Ｌ４はミラー要素ＳＥａ～ＳＥｃとは異なるミラー要素ＳＥｄにそれぞれ入射する。ミラー要素ＳＥａ～ＳＥｄは、その位置に応じて設定された空間的な変調を光Ｌ１～Ｌ４に与える。言い換えると、ミラー要素ＳＥａ～ＳＥｄは、その位置に応じて設定された射出角度を光Ｌ１～Ｌ４に与える。

[0031] 空間光変調器２では、すべてのミラー要素２ａの反射面が１つの平面に沿って設定された基準状態において、Ｚ方向に沿った光軸ＡＸと平行な方向に入射した光線が、空間光変調器２で反射された後に、リレー光学系３の光軸ＡＸと平行な方向に進むように構成されている。また、空間光変調器２の複数のミラー要素２ａの配列面とリレー光学系３の瞳面３ｃとは、前側レンズ群３ａを介して光学的にフーリエ変換の関係に位置決めされている。

[0032] したがって、空間光変調器２の複数のミラー要素ＳＥａ～ＳＥｄによって反射されて所定の角度分布が与えられた光は、リレー光学系３の瞳面３ｃに所定の光強度分布ＳＰ１～ＳＰ４を形成する。すなわち、前側レンズ群３ａは、空間光変調器２の複数のミラー要素ＳＥａ～ＳＥｄが射出光に与える角度を、空間光変調器２のファーフィールド（フラウンホーファー回折領域）である瞳面３ｃ上での位置に変換する。

[0033] 空間光変調器２は、図３に示すように、平面状の反射面を上面にした状態で１つの平面に沿って規則的に且つ二次元的に配列された多数の微小な反射素子であるミラー要素２ａを含む可動マルチミラーである。各ミラー要素２ａは可動であり、その反射面の傾き、すなわち反射面の傾斜角および傾斜方向は、制御系ＣＲからの制御信号に基づいて作動する駆動部２ｃの作用により独立に制御される。各ミラー要素２ａは、その反射面に平行な二方向であって互いに直交する二方向を回転軸として、所望の回転角度だけ連続的或いは離散的に回転することができる。すなわち、各ミラー要素２ａの反射面の

傾斜を二次元的に制御することが可能である。

[0034] 各ミラー要素２ａの反射面を離散的に回転させる場合、回転角を複数の状態（例えば、・・・、－２．５度、－２．０度、・・・０度、＋０．５度・・・＋２．５度、・・・）で切り換え制御するのが良い。図３には外形が正方形状のミラー要素２ａを示しているが、ミラー要素２ａの外形形状は正方形に限定されない。ただし、光利用効率の観点から、ミラー要素２ａの隙間が少なくなるように配列可能な形状（最密充填可能な形状）とすることができる。また、光利用効率の観点から、隣り合う２つのミラー要素２ａの間隔を必要最小限に抑えることができる。

[0035] 本実施形態では、空間光変調器２として、たとえば二次元的に配列された複数のミラー要素２ａの向きを連続的にそれぞれ変化させる空間光変調器を用いている。このような空間光変調器として、たと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６，４８０，３２０号公報、米国特許第６，６００，５９１号公報、米国特許第６，７３３，１４４号公報、米国特許第６，９００，９１５号公報、米国特許第７，０９５，５４６号公報、米国特許第７，２９５，７２６号公報、米国特許第７，４２４，３３０号公報、米国特許第７，５６７，３７５号公報、米国特許公開第２００８／０３０９９０１号公報、米国特許公開第２０１１／０１８１８５２号公報並びに米国特許公開第２０１１／１８８０１７号公報に開示される空間光変調器を用いることができる。なお、二次元的に配列された複数のミラー要素２ａの向きを離散的に複数の段階を持つように制御してもよい。

[0036] 空間光変調器２では、制御系ＣＲからの制御信号に応じて作動する駆動部２ｃの作用により、複数のミラー要素２ａの姿勢がそれぞれ変化し、各ミラー要素２ａがそれぞれ所定の向きに設定される。空間光変調器２の複数のミラー要素２ａによりそれぞれ所定の角度で反射された光は、リレー光学系３の瞳面３ｃに所望の光強度分布を可変的に形成する。すなわち、空間光変調器２は、瞳強度分布を形成するために入射光を空間的に変調して射出する空間光変調素子であって、その変調作用面の位置ごとに射出光の射出角度を独

立に設定する。

[0037] 以下、第１実施例の特徴的な構成の説明に先立って、従来の構成における不都合について説明する。図４は、従来の構成における空間光変調器からマスクブラインドまでの光路を示す図である。図４では、説明の理解を容易にするために、複数のミラー要素４２ａを備えた反射型の空間光変調器４２（第１実施例における空間光変調器２に対応）を透過型の空間光変調器として図示している。同様の理由により、以下の図５、図６、図７、図１１、図１７および図１９においても、反射型の空間光変調器を透過型の空間光変調器として図示している。

[0038] 図４に示す従来の構成では、空間光変調器４２から射出された光が、リレー光学系４３ａを介して、マイクロフライアイレンズ（またはフライアイレンズ）４４に入射する。リレー光学系４３ａは、その前側焦点位置が空間光変調器４２の配列面の近傍に位置し、且つその後側焦点位置がマイクロフライアイレンズ４４の入射側の面の近傍に位置しており、空間光変調器４２の配列面とマイクロフライアイレンズ４４の入射側の面とを光学的にフーリエ変換の関係に設定している。したがって、空間光変調器４２を経た光は、複数のミラー要素４２ａの姿勢に応じた光強度分布をマイクロフライアイレンズ４４の入射側の面に可変的に形成する。

[0039] マイクロフライアイレンズ４４は、たと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微小レンズ４４ａからなる光学素子であり、平行平面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って構成されている。マイクロフライアイレンズでは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズ（微小屈折面）が互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、レンズ要素が縦横に配置されている点でマイクロフライアイレンズ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。

[0040] マイクロフライアイレンズ４４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、マスクＭ上において形成すべき照野の形状（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。マイクロフライアイレンズ４４に入射した光束は多数の微小レンズ４４ａにより二次元的に分割され、その後側焦点面またはその近傍の照明瞳には、入射側の面に形成される光強度分布とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源（多数の小光源からなる実質的な面光源：瞳強度分布）が形成される。

[0041] マイクロフライアイレンズ４４の直後の照明瞳に形成された二次光源からの光は、コンデンサー光学系４３ｂを介して、マスクブラインド４５を重畳的に照明する。コンデンサー光学系４３ｂは、マイクロフライアイレンズ４４との組み合わせにより、マイクロフライアイレンズ４４の入射側の面とマスクブラインド４５とを光学的にほぼ共役に配置している。マスクブラインド４５には、マイクロフライアイレンズ４４の矩形状の微小屈折面の形状と焦点距離とに応じた矩形状の照野４６が形成される。

[0042] 前述したように、マスクＭの微細パターンをウェハW上に正確に転写するには、ウェハW上の露光領域における各点に関する瞳強度分布がそれぞれほぼ均一になる必要がある。しかしながら、照明光学系の透過率分布、収差などに起因して、ウェハW上の各点に関する瞳強度分布は無視できない程度に不均一になる傾向がある。多数のミラー要素４２ａにより構成された空間光変調器４２の瞳強度分布の変更に関する自由度は高く、瞳の充填率が比較的低い自由形状（フリーフォーム）の光強度分布を採用することもできる。ただし、図４の従来構成では、空間光変調器４２を利用してウェハW上の各点での瞳強度分布をそれぞれほぼ均一に調整すること、一般的にはそれぞれ所要の分布に調整することができない。

[0043] 図４を参照すると、空間光変調器４２の１つのミラー要素４２ａで反射された光が、マイクロフライアイレンズ４４の入射側の面において複数の微小レンズ４４ａに亘って延在する領域にスポット照野４７を形成する。マイクロフライアイレンズ４４の入射側の面は、コンデンサー光学系４３ｂを介して、マスクブラインド４５と光学的にほぼ共役な関係にある。したがって、スポット照野４７を形成した光束は、対応する複数の微小レンズ４４ａによ

り波面分割され、波面分割された複数の小光束はマスクブラインド４５上に重畳されて照野４６を形成する。

[0044] 換言すると、１つのミラー要素４２ａで反射された光がマイクロフライアイレンズ４４の複数の微小レンズ４４ａに入射し、これらの複数の微小レンズ４４ａを経た光がマスクブラインド４５上に照野４６を重畳的に形成する。したがって、被照射面であるウェハWおよびマスクMと光学的に共役に配置されたマスクブラインド４５の位置に形成される照野４６内の任意の点から上流（入射側）を見ると、マイクロフライアイレンズ４４の全体ではなく複数の微小レンズ４４ａが局所的に光っている分布として瞳強度分布が観察される。このように、図４の従来構成の場合、１つのミラー要素４２ａが必ず照野４６の全体を照らすような関係になっているため、空間光変調器４２を利用して照野４６内の特定の点に関する瞳強度分布だけを変化させるという自由度、ひいてはウェハW上の各点に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整するという自由度を元々持ち合わせていない。

[0045] 次に、第１実施例において空間光変調器２を利用してウェハW上の各点に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整するために、空間光変調器２にどのような制御性を持たせたら良いかという点について考察する。空間光変調器２を利用してウェハW上の各点に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整するには、図５に示すように、空間光変調器２において参照符号５１で示す有限領域に含まれる一群のミラー要素２ａで反射された光だけを用いて照明瞳面５２に所要形状の瞳強度分布（図５では４極状の分布を例示）５３を形成しつつ 、その瞳強度分布５３を形成した光がマスクブラインド５上の照野における特定の領域５４の照明にしか寄与しないという構成が求められる。

[0046] ただし、第１実施例では、上述したように、リレー光学系３（３ａ，３ｂ）が、空間光変調器２の変調作用面と光学的に共役な共役面を、被照射面であるマスクMと光学的に共役に配置されたマスクブラインド５の位置またはその近傍に形成している。そこで、図６に示すように、空間光変調器２の１

つのミラー要素２ａで反射された光は、リレー光学系３の瞳面３ｃに所要形状の瞳強度分布５５のうちの一部の分布を形成した後に、マスクブラインド５上の照野における特定の小領域（１つのミラー要素２ａの反射面に光学的に対応する領域）にしか到達しないという１対１対応の関係になる。

[0047] 言い換えると、図６に示した構成では、空間光変調素子２が入射光の入射位置に応じて射出光の射出角度を設定する変調作用面を有しており、空間光変調素子２と被照射面との間に配置されたリレー光学系３の後群３ｂが空間光変調素子２からの射出光が射出される射出位置に応じた被照射面上の位置に空間光変調素子２からの射出光を導くと共に、上記射出位置からの射出光における設定された射出角度に応じた角度で被照射面上の位置に空間光変調素子２からの射出光を導いている。

[0048] この場合、空間光変調器２のすべてのミラー要素２ａによって所要形状の瞳強度分布５５を形成していたとしても、マスクブラインド５上の照野における各点から上流を見ると、常に空間光変調器２のミラー要素２ａが１枚だけ光っているという点光源照明になる。その結果、マスクブラインド５上の照野における各点から見たときに光っている１枚のミラー要素２ａの位置は各点の位置毎に異なり、ひいては照野の各点に関する瞳強度分布が各点の位置毎に異なるものとなる。これは空間光変調器２を利用して各点に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整することができることを意味し、この観点によれば図６に示す第１実施例は図４に示す従来構成とは真逆の関係にあると言える。

[0049] 図４に示す従来構成では、マイクロフライアイレンズ４４からの光をマスクブラインド４５へ導くコンデンサー光学系４３ｂの光学特性が理想的であれば、照野４６内の各点に関する瞳強度分布が互いに同じになり、ひいては瞳強度分布の像高差が発生しない。しかしながら、上述したように、実際にはコンデンサー光学系４３ｂは理想的な光学系ではなく、光学系の透過率分布、収差などに起因して、各点に関する瞳強度分布は無視できない程度に不均一になる傾向がある。第１実施例の変形例では、図６に示す構成と図４に

示す従来構成との中間的な構成を採用することにより、各点に関する瞳強度分布を独立的に且つアクティブに変化させることのできる構成を実現している。

[0050] 図７は、第１実施例の変形例における空間光変調器からマスクブラインドまでの光路を示す図である。図６に示した第１実施例の構成では、照野の各点に関する瞳強度分布が各点の位置毎に異なるものとなり、瞳強度分布の形成そのものに問題が生じる恐れがある。しかしながら、図４に示す従来構成のように１つのミラー要素４２ａだけでマスクブラインド４５上の照野４６の全体を照明すると、空間光変調器４２を利用して照野４６内の各点に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整することはできない。

[0051] 第１実施例の変形例では、図７に示すように、空間光変調器２の変調作用面と光学的に共役な共役面をマスクブラインド５の位置またはその近傍に形成するリレー光学系３（３ａ，３ｂ）の瞳位置またはその近傍に、マイクロレンズアレイ４を配置している。別の表現をすると、マイクロレンズアレイ４が無ければ、図６の構成と同様に、空間光変調器２の変調作用面とマスクブラインド５とはリレー光学系３を介して光学的にほぼ共役である。

[0052] マイクロレンズアレイ４は、たとえば縦横に且つ稠密に配列された多数の微小レンズ４ａからなる拡散素子である。一例として、マイクロレンズアレイ４を構成する多数の微小レンズ４ａは、図８に示すように、光の入射側に凸面を向けた入射側の面４ａａと、光の射出側に平面を向けた射出面４ａｂとを有する。別の表現をすると、マイクロレンズアレイ４は、互いに直交する二方向にパワーを有する複数の屈折面を二次元的に配列することにより構成されている。

[0053] マイクロレンズアレイ４は、所定の射出側開口数を持つ複数の単位領域を有する拡散素子を構成している。マイクロレンズアレイ４において、例えば微小レンズ４ａの射出側開口数に対応する角度よりも小さな入射角で斜め入射した光の主光線６１は、その進行方向を変えることなく、そのまま入射角と同じ角度で射出される。すなわち、マイクロレンズアレイ４は、微小レン

ズ４ａの光軸に対して斜めに入射する斜入射光束を微小レンズ４ａの光軸に対して斜めに射出する。微小レンズ４ａから射出される光には、その射出角度を基準とした発散角度（射出ＮＡ）が付与される。

[0054] 一方、図４に示す構成では、空間光変調器４２からの光は、微小レンズ４４ａの射出側開口数に対応する角度よりも小さな入射角でマイクロフライアイレンズ４４に入射する。マイクロフライアイレンズ４４を構成する多数の微小レンズ４４ａは、例えば図９に示すように、光の入射側に凸面を向けた入射側の面４４ａａと、光の射出側に凸面を向けた射出面４４ａｂとを有する。マイクロフライアイレンズ４４において、微小レンズ４４ａの射出側開口数に対応する角度よりも小さな入射角で斜め入射した光の主光線６２は、微小レンズ４４ａの光軸と平行に射出される。微小レンズ４４ａから射出される光には、その光軸に沿った射出角度を基準とした発散角度（射出ＮＡ）が付与される。

[0055] ちなみに、図１０に示すように、マイクロレンズアレイ４とマイクロフライアイレンズ４４との中間的な射出角度特性を有する光学部材６４を想定することができる。この場合、光学部材６４において、例えば微小レンズ６４ａの射出側開口数に対応する角度よりも小さな入射角で斜め入射した光の主光線６３は、入射角度よりも若干小さい角度で射出される。微小レンズ６４ａから射出される光には、その射出角度を基準とした発散角度（射出ＮＡ）が付与される。

[0056] 第１実施例の変形例では、図７に示すように、空間光変調器２の１つのミラー要素２ａで反射されてマイクロレンズアレイ４に入射した光線は、その入射角度を維持したまま発散角度（射出ＮＡ）が付与され、マスクブラインド５上の照野内の有限領域５６に達する。ミラー要素２ａの向きが変わるとマイクロレンズアレイ４に入射する位置は変わるが、空間光変調器２の変調作用面と光学的にほぼ共役な位置にあるマスクブラインド５上の照野内の有限領域５６とほぼ同じ領域を相変わらず照らすという関係は保持される。有限領域５６の大きさは、マイクロレンズアレイ４を構成する微小レンズ４ａ

のパワーに依存する。

[0057] その結果、空間光変調器２の特定領域にある一群のミラー要素２ａからの光が、所要形状の瞳強度分布を形成しつつ、マスクブラインド５上の照野内の特定領域における照度分布の形成に寄与するという関係になる。すなわち、図７の構成では、図１１に示すように、マスクブラインド５上の照野内の１点から上流を見ると、空間光変調器２の特定領域５７にある一群のミラー要素２ａが光って見える。したがって、所要形状の瞳強度分布を形成するのに十分な数のミラー要素２ａが特定領域５７に含まれるように、マイクロレンズアレイ４を構成する微小レンズ４ａの射出側開口数を決定する必要がある。

[0058] 別の表現をすると、十分な数のミラー要素２ａが特定領域５７に含まれていれば、マスクブラインド５上の照野内の任意の１点から上流を見て観察される瞳強度分布は、その点の位置にかかわらず所要の形状を有することになる。なお、実際には、マスクブラインド５上の照野内の中心と端との間で独立に瞳強度分布を調整することができれば良いこともあり、この場合には特定領域５７の大きさは空間光変調器２の有効反射領域の数分の１程度で十分である。

[0059] また、マイクロレンズアレイ４を構成する微小レンズ４ａのサイズ（断面の大きさ）については、空間光変調器２の１つのミラー要素２ａで反射された光がマイクロレンズアレイ４の入射側の面に形成するスポット照野が少なくとも１つの微小レンズ４ａの入射側の面を包含するように決定される。これにより、図７の構成において、マスクブラインド５上の照野内の有限領域５６における任意の１点から上流を見ると、照明瞳面上で点像が必ず観察される関係が得られる。

[0060] 図７および図１１を参照して説明したように、第１実施例の変形例では、マスクブラインド５上の照野内（ひいてはマスクＭのパターン面に形成される照明領域内およびウェハＷの表面における露光領域内）における第１の点Ｐ１に入射する光は、空間光変調器２の変調作用面の第１領域Ｒ１を経て第

１の点Ｐ１に関する瞳強度分布を形成した後に第１の点Ｐ１に達する光である。また、マスクブラインド５上の照野内における第２の点Ｐ２に入射する光は、空間光変調器２の変調作用面の第２領域Ｒ２を経て第２の点Ｐ２に関する瞳強度分布を形成した後に第２の点Ｐ２に達する光である。

[0061] 換言すると、マスクブラインド５上の照野内における第１の点Ｐ１に入射する光は空間光変調器２の第１群Ｇ１のミラー要素２ａを経て第１の点Ｐ１に関する瞳強度分布を形成した後に第１の点Ｐ１に達する光であり、第２の点Ｐ２に入射する光は空間光変調器２の第２群Ｇ２のミラー要素２ａを経て第２の点Ｐ２に関する瞳強度分布を形成した後に第２の点Ｐ２に達する光である。すなわち、マスクブラインド５上の照野内における第１の点Ｐ１（例えば中心点）に関する瞳強度分布の形成に寄与する第１群Ｇ１のミラー要素２ａと、第２の点Ｐ２（例えば周辺の点）に関する瞳強度分布の形成に寄与する第２群Ｇ２のミラー要素２ａとは異なる。

[0062] 具体的に、第１の点Ｐ１と第２の点Ｐ２とが十分離れていれば、第１群Ｇ１のミラー要素２ａと第２群Ｇ２のミラー要素２ａとは重複することなく離間している。この場合、第１群Ｇ１のミラー要素２ａの向きをそれぞれ制御することにより第１の点Ｐ１に関する瞳強度分布を調整し、且つ第２群Ｇ２のミラー要素２ａの向きをそれぞれ制御することにより第２の点Ｐ２に関する瞳強度分布を調整することができる。すなわち、第１実施例の変形例では、空間光変調器２を利用して、マスクブラインド５上の照野内における各点（ひいてはウェハW上の各点）に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整することができる。

[0063] 言い換えると、第１実施例の変形例の構成においても、空間光変調素子２が入射光の入射位置に応じて射出光の射出角度を設定する変調作用面を有しており、空間光変調素子２と被照射面との間に配置されたリレー光学系３の後群３ｂが空間光変調素子２からの射出光が射出される射出位置に応じた被照射面上の位置に空間光変調素子２からの射出光を導くと共に、上記射出位置からの射出光における設定された射出角度に応じた角度で被照射面上の位

置に空間光変調素子２からの射出光を導いている。

[0064] 第１の点Ｐ１と第２の点Ｐ２とがある程度近い場合、第１群Ｇ１のミラー要素２ａと第２群Ｇ２のミラー要素２ａとは部分的に重複することになる。したがって、各点に関する瞳強度分布を安定的に所要の分布（例えばほぼ均一な分布）にするには、第１群Ｇ１を仮想分割して得られる複数の第１部分群の各群に属するミラー要素２ａを経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に第１の点Ｐ１に入射し、第２群Ｇ２を仮想分割して得られる複数の第２部分群の各群に属するミラー要素２ａを経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に第２の点Ｐ２に入射するように、制御部ＣＲにより空間光変調器２の多数のミラー要素２ａを個別に制御すれば良い。

[0065] 次に、第１実施例の変形例におけるマスクブラインド５上の照野の形成（ひいてはマスクＭ上の照明領域の形成）について説明する。第１実施例の場合、図１２に示すように、マスクブラインド５上の照野７１は、空間光変調器２に入射する光束の強度分布７２と、マイクロレンズアレイ４による単独のファーフィールド分布（射出角度分布）７３とをコンボリューションして得られる照度分布を有する。空間光変調器２への入射光束の強度分布７２は、例えばビーム送光部１と空間光変調器２との間の光路中に配置されたフライアイレンズおよびリレー光学系からなる平滑化光学系を用いることにより、トップハット状に近い分布になる。

[0066] ここで、平滑化光学系として、入射光の進行方向または照明光学系の光軸を横切る面内に二次元的に配列された複数のレンズ面を有するフライアイレンズと、当該フライアイレンズによる複数の光源像の形成位置に前側焦点が配置され且つ空間光変調器２の配列面に後側焦点が配置されたリレー光学系とを備える構成とすることができる。また、フライアイレンズの代わりに、上記横切る面内に二次元的に配列された複数の回折面を備えた回折光学素子や、上記横切る面内に二次元的に配列された複数の反射面を備えたミラーアレイなどを用いても良い。言い換えると、上記横切る面内に二次元的に配列された複数の波面分割面を備えた波面分割素子を用いても良い。

[0067] マイクロレンズアレイ４による単独のファーフィールド分布７３は、トップハット状の分布である。したがって、マイクロレンズアレイ４への光の入射角度が微小レンズ４ａの射出側開口数に対応する角度よりも小さくても大きくても、強度分布７２における位置７２ａ，７２ｂ，７２ｃに対応するミラー要素２ａからの光は、照野７１において互いに位置ずれしたトップハット状の強度分布７１ａ，７１ｂ，７１ｃをそれぞれ形成する。

[0068] これに対し、図４の従来構成では、マイクロフライアイレンズ４４への光の入射角度は、微小レンズ４４ａの射出側開口数に対応する角度よりも小さく設定されている。また、図１３に示すように、マイクロフライアイレンズ４４による単独のファーフィールド分布７４は、マイクロレンズアレイ４の場合と同様にトップハット状である。したがって、強度分布７２における位置７２ａ，７２ｂ，７２ｃに対応するミラー要素２ａからの光は、照野７５において互いに位置ずれすることなく重畳されたトップハット状の強度分布７５ａ，７５ｂ，７５ｃをそれぞれ形成する。

[0069] このように、マイクロフライアイレンズ４４を用いる図４の従来構成では、複数のミラー要素２ａからの光が照野７５において互いに位置ずれすることなく重畳されるので、全体としてトップハット状に近い所望の照度分布を有する照野７５が形成される。一方、第１実施例では、複数のミラー要素２ａからの光が照野７１において互いに位置ずれするため、図１４に示すように、全体として台形状の照度分布を有する照野７１が形成され易い。

[0070] すなわち、矩形状の照野７１の照度分布では、短辺方向および長辺方向に沿ってともに台形状になる。走査型の露光装置の場合、短辺方向（走査方向に対応）に沿った照度分布は台形状であっても影響は少ないが、長辺方向（走査方向と直交する走査直交方向に対応）に沿った照度分布は矩形状であることが求められる。したがって、第１実施例では、少なくとも照野７１の長辺方向に沿った両端部分（図１４中ハッチングを施した部分）７１ｄをマスクブラインド５により遮る必要があり、マスクブラインド５において光量損失が発生する。

[0071] ちなみに、図１５に示すように、図１０に示す光学部材６４、すなわちマイクロレンズアレイ４とマイクロフライアイレンズ４４との中間的な射出角度特性を有する光学部材６４による単独のファーフィールド分布７６も、マイクロレンズアレイ４の場合と同様にトップハット状である。したがって、光学部材６４への光の入射角度が微小レンズ６４ａの射出側開口数に対応する角度よりも小さくても大きくても、強度分布７２における位置７２ａ，７２ｂ，７２ｃに対応するミラー要素２ａからの光は、照野７７において互いに位置ずれしたトップハット状の強度分布７７ａ，７７ｂ，７７ｃをそれぞれ形成する。なお、トップハット状の強度分布７７ａ，７７ｂ，７７ｃの位置ずれの程度は、マイクロレンズアレイ４の場合よりも小さい。

[0072] 以上のように、第１実施例の変形例では、空間光変調器２の複数のミラー要素２ａによりそれぞれ所定の角度で反射された光は、リレー光学系３の光路中の照明瞳に、所望の瞳強度分布を可変的に形成する。さらに、リレー光学系３の光路中の照明瞳と光学的に共役な別の照明瞳の位置、すなわち結像光学系６の瞳位置および投影光学系ＰＬの瞳位置にも、所望の瞳強度分布が形成される。第１実施例の変形例にかかる照明光学系では、上述したように、空間光変調器２を利用してマスクブラインド５上の照野内における各点（ひいてはウェハW上の各点）に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整することができる。

[0073] すなわち、第１実施例の変形例にかかる照明光学系では、ウェハW上の静止露光領域ＥＲ内の各点での瞳強度分布をそれぞれほぼ均一に調整することができる。したがって、第１実施例の露光装置では、ウェハW上の静止露光領域ＥＲ内の各点での瞳強度分布をそれぞれほぼ均一に調整する照明光学系を用いて、マスクＭの微細パターンに応じた適切な照明条件のもとで良好な露光を行うことができ、ひいてはマスクＭの微細パターンを露光領域の全体に亘って所望の線幅でウェハW上に正確に転写することができる。

[0074] なお、第１実施例の変形例では、マイクロレンズアレイ４をリレー光学系３の瞳位置またはその近傍に配置している。しかしながら、これに限定され

ることなく、リレー光学系３の前側レンズ群３ａと後側レンズ群３ｂとの間の瞳空間に、拡散素子としてのマイクロレンズアレイ４を配置することもできる。ここで、瞳空間とは、瞳位置の直前に配置される光学素子と瞳位置の直後に配置される光学素子とによって光路に形成される空間を意味している。ただし、瞳空間には、パワーを持たない平行平面板や平面鏡が存在していても良い。

[0075] 図１６は、実施形態の第２実施例にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。図１７（ａ）は第２実施例における空間光変調器からマスクブラインドまでの光路を示す斜視図であり、図１７（ｂ）は第２実施例におけるマスクブラインド上に形成される照野の１次元方向での照度分布を示す図である。第２実施例は、図１の第１実施例と類似の構成を有する。しかしながら、第２実施例では、マイクロレンズアレイ４に代えて、マイクロレンズアレイの機能とマイクロフライアイレンズの機能とを併せ持つ光学ユニット１４を用いている点が、第１実施例と相違している。したがって、図１６では、図１に示す構成要素と同様の機能を有する要素に、図１と同じ参照符号を付している。以下、第１実施例との相違点に着目して第２実施例の構成および作用を説明する。

[0076] 第２実施例では、第１実施例の場合と同様に、マスクブラインド５の位置に、Ｚ方向に沿って長辺を有し且つＸ方向に沿って短辺を有する矩形状の照野８１が形成される。走査型の露光装置の場合、照野８１において短辺方向であるＸ方向（走査方向に対応）に関する瞳強度分布の像高差は比較的小さく、その不均一性は走査露光の平均化効果により線幅誤差の発生にあまり影響しない。一方、長辺方向であるＺ方向（走査直交方向に対応）に関する瞳強度分布の像高差は比較的大きく、その不均一性は線幅誤差の発生に影響し易い。換言すると、走査型の露光装置の場合、長辺方向であるＺ方向について照野８１内の各点での瞳強度分布をそれぞれほぼ均一に調整することが重要である。

[0077] 第２実施例では、Ｚ方向についてマイクロレンズアレイの機能を有し且つ

Ｘ方向についてマイクロフライアイレンズの機能を有する光学ユニット１４を導入している。光学ユニット１４は、リレー光学系３の瞳位置またはその近傍に配置されている。すなわち、リレー光学系３において前側レンズ群３ａの後側焦点位置と後側レンズ群３ｂの前側焦点位置とがほぼ一致しており、光学ユニット１４は前側レンズ群３ａの後側焦点位置またはその近傍に配置されている。

[0078] 具体的に、光学ユニット１４は、照明光学系の光軸に沿って配置された平行平面板状の第１光学部材１４ａと平行平面板状の第２光学部材１４ｂとを有する。第１光学部材１４ａの射出面１４ａｂ（または第２光学部材１４ｂの射出面１４ｂｂ）には、Ｚ方向に関してパワーを有する複数のシリンドリカル屈折面がＺ方向に配列されている。第１光学部材１４ａの入射側の面１４ａａおよび第２光学部材１４ｂの入射側の面１４ｂａには、Ｘ方向に関してパワーを有する複数のシリンドリカル屈折面がＸ方向に配列されている。したがって、光学ユニット１４は、Ｚ方向についてシリンドリカルレンズアレイの機能を有し、Ｘ方向についてシリンドリカルフライアイレンズの機能を有する。

[0079] こうして、光学ユニット１４は、所定の射出側開口数を持つ複数の単位領域を有する拡散素子を構成している。そして、光学ユニット１４の単位領域は、走査方向に対応する方向では、単位領域の光軸に対して斜めに入射する斜入射光束を斜入射光束の入射角によらずに一定の角度で射出し、走査直交方向（一般には走査方向を横切る方向である非走査方向）に対応するＺ方向では、単位領域の光軸に対して斜めに入射する斜入射光束を斜入射光束の入射角に応じた角度で射出する。

[0080] 第２実施例では、照野８１内の点８１ａに入射する光は、空間光変調器２の変調作用面２ｄの領域２ｄａに属する複数のミラー要素２ａを経て、点Ｐ８１ａに関する瞳強度分布を形成した後に点８１ａに達する。また、照野８１においてＺ方向に関して点８１ａと同じ位置にある点８１ｂに入射する光は、点８１ａの場合と同じ領域２ｄａに属する複数のミラー要素２ａを経て

、点Ｐ８１ｂに関する瞳強度分布を形成した後に点８１ｂに達する。一方、照野８１においてＺ方向に関して点８１ａおよび８１ｂと異なる位置にある点８１ｃ（不図示）に入射する光は、変調作用面２ｄにおいて領域２ｄａからＺ方向にシフトした領域２ｄｂ（不図示）に属する複数のミラー要素２ａを経て、点Ｐ８１ｃに関する瞳強度分布を形成した後に点８１ｃに達する。

[0081] したがって、第２実施例では、照野８１においてＺ方向に沿った各点に関する瞳強度分布を安定的に所要の分布（例えばほぼ均一な分布）にするために、変調作用面２ｄをＺ方向に仮想分割して得られる複数の部分領域の各領域に属するミラー要素２ａを経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に各点に入射するように、制御部ＣＲにより空間光変調器２の多数のミラー要素２ａを個別に制御すれば良い。

[0082] 以上のように、第２実施例では、Ｚ方向についてマイクロレンズアレイの機能を有する光学ユニット１４を用いているので、空間光変調器２を利用してマスクブラインド５上の照野８１内におけるＺ方向に沿った各点（ひいてはウェハW上の露光領域におけるＹ方向に沿った各点）に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整することができる。また、Ｘ方向についてマイクロフライアイレンズの機能を有する光学ユニット１４を用いているので、矩形状の照野８１におけるＸ方向（短辺方向）に沿った照度分布の断面は台形状よりも矩形状に近くなり、マスクブラインド５における光量損失を第１実施例よりも低減することができる。

[0083] なお、第２実施例では、第１光学部材１４ａの射出面１４ａｂにおいてＺ方向に関してパワーを有する複数のシリンドリカル屈折面がＺ方向に配列され、第１光学部材１４ａの入射側の面１４ａａおよび第２光学部材１４ｂの入射側の面１４ｂａにおいてＸ方向に関してパワーを有する複数のシリンドリカル屈折面がＸ方向に配列されている。しかしながら、光学ユニット１４の具体的な構成については、様々な形態が可能である。

[0084] 一般に、シリンドリカルフライアイレンズを構成する複数のシリンドリカル屈折面を第１光学部材１４ａの一方の面および第２光学部材１４ｂの一方

の面に形成し、シリンドリカルレンズアレイを構成する複数のシリンドリカル屈折面を第１光学部材１４ａの他方の面または第２光学部材１４ｂの他方の面に形成することができる。あるいは、シリンドリカルフライアイレンズを構成する複数のシリンドリカル屈折面を第１光学部材１４ａの一方の面および第１光学部材１４ａの他方の面に形成し、シリンドリカルレンズアレイを構成する複数のシリンドリカル屈折面を第２光学部材１４ｂの一方の面または第２光学部材１４ｂの他方の面に形成しても良い。

[0085] また、第２実施例では、光学ユニット１４をリレー光学系３の瞳位置またはその近傍に配置している。しかしながら、これに限定されることなく、リレー光学系３の前側レンズ群３ａと後側レンズ群３ｂとの間の瞳空間に、拡散素子としての光学ユニット１４を配置することもできる。

[0086] さて、第２実施例においては、マスクブラインド５の位置に形成される照野８１のＺ方向における照野８１の照度分布は、図１７（ｂ）に示すように台形状となる。ここで、第１実施例と同様に、照野８１の長辺方向に沿った両端部分（図１７（ｂ）中ハッチングを施した部分）８１ｄをマスクブラインド５により遮る必要があり、マスクブラインド５において光量損失が発生する。

[0087] ここで、変換光学系とみなすことのできるリレー光学系３の前側レンズ群３ａの焦点距離をｆ１とし、集光光学系とみなすことのできるリレー光学系３の後側レンズ群３ｂの焦点距離をｆ２とし、空間光変調器２に入射する光の照射領域（典型的には空間光変調器２の変調作用面２ｄ）の走査方向と直交する方向（長辺方向）に対応する方向での長さをＤとし、光学ユニット１４の射出側開口数をＮＡ１４とするとき、

Ｄ×ｆ２／ｆ１：２×ｆ２×ＮＡ１４＝Ｎ：１ …（１）

または

Ｄ×ｆ２／ｆ１：２×ｆ２×ＮＡ１４＝１：Ｎ …（２）

を満足しても良い。ただし、Ｎ≧５とする。

[0088] なお、上述の第１実施例においても、上記（１）式または（２）式を満足

しても良い。このとき、空間光変調器２の変調作用面において、走査方向と直交する方向（長辺方向）に対応する方向のみならず、走査方向に対応する方向においても上記（１）式または（２）式を満足しても良い。

[0089] ここで、空間光変調器２の変調作用面における走査方向と直交する方向（長辺方向）に対応する方向とは、空間光変調器と被照射面との間に介在する光学系に関して、被照射面上における走査方向と直交する方向（長辺方向）に沿った仮想的な軸と光学的に共役な軸に沿った方向、言い換えると被照射面上における走査方向と直交する方向の軸を、上記介在する光学系を介して空間光変調器２の変調作用面に逆投影した際の軸の方向とすることができる。上記（１）式または（２）式を満足する場合、光量損失を低減できるという利点がある。ここで、Ｎ≧１０としても良い。

[0090] 図１８は、実施形態の第３実施例にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。図１９は、第３実施例における空間光変調器からマスクブラインドまでの光路を示す図である。第３実施例は、図１の第１実施例と類似の構成を有する。しかしながら、第３実施例では、マイクロレンズアレイ４に代えて、マイクロフライアイレンズ（フライアイレンズ）２４を用いている点が、第１実施例と相違している。したがって、図１８では、図１に示す構成要素と同様の機能を有する要素に、図１と同じ参照符号を付している。以下、第１実施例との相違点に着目して第３実施例の構成および作用を説明する。

[0091] 第３実施例では、空間光変調器２とマスクブラインド５との間の構成として、図４に示す従来構成と類似の構成を採用している。すなわち、空間光変調器２から射出された光は、リレー光学系２３ａを介して、マイクロフライアイレンズ２４に入射する。マイクロフライアイレンズ２４は、たと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微小レンズ２４ａからなる光学素子であり、所定の射出側開口数を持つ複数の単位波面分割領域を有するオプティカルインテグレータを構成している。

[0092] リレー光学系２３ａは、その前側焦点位置が空間光変調器２２の配列面の

近傍に位置し、且つその後側焦点位置がマイクロフライアイレンズ２４の入射側の面の近傍に位置しており、空間光変調器２の配列面とマイクロフライアイレンズ２４の入射側の面とを光学的にフーリエ変換の関係に設定している。したがって、空間光変調器２を経た光は、複数のミラー要素２ａの姿勢に応じた光強度分布をマイクロフライアイレンズ２４の入射側の面に可変的に形成する。

[0093] マイクロフライアイレンズ２４を経た光は、リレー光学系２３ｂを介して、マスクブラインド５を照明する。リレー光学系２３ｂは、マイクロフライアイレンズ２４との組み合わせにより、マイクロフライアイレンズ２４の入射側の面とマスクブラインド５とを光学的にほぼ共役に配置している。マイクロフライアイレンズ２４は、Ｚ方向に沿って長辺を有し且つＸ方向に沿って短辺を有する複数の矩形状の単位波面分割領域を備えている。したがって、第３実施例においても、第１実施例の場合と同様に、マスクブラインド５の位置に、Ｚ方向に沿って長辺を有し且つＸ方向に沿って短辺を有する矩形状の照野８２が形成される。

[0094] 以下、図１９に示すように、空間光変調器２の変調作用面８３を仮想的にＺ方向に３分割して得られる３つの変調領域８３ａ，８３ｂ，８３ｃに着目して、第３実施例の作用を説明する。第３実施例では、変調作用面８３における中央の変調領域８３ａに属する複数のミラー要素２ａを経た光が、Ｚ方向に関して微小レンズ２４ａの射出側開口数に対応する角度以下の入射角でマイクロフライアイレンズ２４に入射し、変調作用面８３における＋Ｚ方向側の変調領域８３ｂおよびーＺ方向側の変調領域８３ｃに属する複数のミラー要素２ａを経た光が、Ｚ方向に関して微小レンズ２４ａの射出側開口数に対応する角度よりも大きい入射角でマイクロフライアイレンズ２４に入射するように構成されている。ただし、変調作用面８３に属するすべてのミラー要素２ａを経た光は、Ｘ方向に関して微小レンズ２４ａの射出側開口数に対応する角度以下の入射角でマイクロフライアイレンズ２４に入射する。

[0095] この場合、図２０に示すように、マスクブラインド５上の照野８２は、空

間光変調器２への入射光束の強度分布８４と、マイクロフライアイレンズ２４による単独のファーフィールド分布（射出角度分布）８５とをコンボリューションして得られる照度分布を有する。具体的に、変調領域８３ａにおいて強度分布８４の位置８４ａに対応するミラー要素２ａからの光は、入射した微小レンズ２４ａから射出され、照野８２においてトップハット状の強度分布８２ａを形成する。同様に、変調領域８３ａに属する他の複数のミラー要素２ａからの光も、入射した微小レンズ２４ａから射出され、強度分布８２ａの位置にトップハット状の強度分布を重畳的に形成する。

[0096] 変調領域８３ａと＋Ｚ方向側に隣接する変調領域８３ｂにおいて強度分布８４の位置８４ｂに対応するミラー要素２ａからの光は、入射した微小レンズ２４ａとーＺ方向側に隣接する微小レンズ２４ａから射出され、照野８２において強度分布８２ａとーＺ方向側に隣接するトップハット状の強度分布８２ｂを形成する。同様に、変調領域８３ｂに属する他の複数のミラー要素２ａからの光も、入射した微小レンズ２４ａとーＺ方向側に隣接する微小レンズ２４ａから射出され、強度分布８２ｂの位置にトップハット状の強度分布を重畳的に形成する。

[0097] 変調領域８３ａとーＺ方向側に隣接する変調領域８３ｃにおいて強度分布８４の位置８４ｃに対応するミラー要素２ａからの光は、入射した微小レンズ２４ａと＋Ｚ方向側に隣接する微小レンズ２４ａから射出され、照野８２において強度分布８２ａと＋Ｚ方向側に隣接するトップハット状の強度分布８２ｃを形成する。同様に、変調領域８３ｃに属する他の複数のミラー要素２ａからの光も、入射した微小レンズ２４ａと＋Ｚ方向側に隣接する微小レンズ２４ａから射出され、強度分布８２ｃの位置にトップハット状の強度分布を重畳的に形成する。ちなみに、第３実施例において、マイクロフライアイレンズ２４に代えて図１０に示す中間的な光学部材６４を用いると、トップハット状の強度分布８２ａと８２ｂと８２ｃとが互いに部分的に重複したような照明領域がマスクブラインド５上に形成される。

[0098] こうして、空間光変調器２の変調作用面８３のうち、変調領域８３ａに属

する複数のミラー要素２ａからの光は、マスクブラインド５上の照野８２における中央の照明領域８２Ａ（図２０の強度分布８２ａに対応）を形成する。変調領域８３ｂに属する複数のミラー要素２ａからの光は、照野８２において照明領域８２Ａと－Ｚ方向側に隣接する照明領域８２Ｂ（図２０の強度分布８２ｂに対応）を形成する。変調領域８３ｃに属する複数のミラー要素２ａからの光は、照野８２において照明領域８２Ａと＋Ｚ方向側に隣接する照明領域８２Ｃ（図２０の強度分布８２ｃに対応）を形成する。

[0099] 第３実施例では、照明領域８２Ａ内の任意の点Ｐａ（不図示）に達する光は、空間光変調器２の変調領域８３ａに属する複数のミラー要素２ａを経て、任意の点Ｐａに関する瞳強度分布を形成した後に任意の点Ｐａに入射する光である。同様に、照明領域８２Ｂ，８２Ｃ内の任意の点Ｐｂ，Ｐｃ（不図示）に達する光は、変調領域８３ｂ，８３ｃに属する複数のミラー要素２ａを経て、任意の点Ｐｂ，Ｐｃに関する瞳強度分布を形成した後に任意の点Ｐｂ，Ｐｃに入射する光である。

[0100] したがって、変調領域８３ａに属する複数のミラー要素２ａの向きをそれぞれ制御することにより照明領域８２Ａ内の各点に関する瞳強度分布を調整し、変調領域８３ｂに属する複数のミラー要素２ａの向きをそれぞれ制御することにより照明領域８２Ｂ内の各点に関する瞳強度分布を調整し、変調領域８３ｃに属する複数のミラー要素２ａの向きをそれぞれ制御することにより照明領域８２Ｃ内の各点に関する瞳強度分布を調整することができる。

[0101] すなわち、第３実施例では、空間光変調器２を利用して、マスクブラインド５上の照野８２のうち、照明領域８２Ａ内における各点に関する瞳強度分布、照明領域８２Ｂ内における各点に関する瞳強度分布、および照明領域８２Ｃ内における各点に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整することができる。換言すれば、照明領域８２Ａ，８２Ｂ，８２Ｃ毎に瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整することができるが、各照明領域８２Ａ，８２Ｂ，８２Ｃ内において各点に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整することはできない。

[0102] 照明領域８２Ａ，８２Ｂ，８２Ｃ毎に瞳強度分布を安定的に所要の分布（例えばほぼ均一な分布）にするには、変調領域８３ａを仮想分割して得られる複数の部分領域の各領域に属するミラー要素２ａを経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に照明領域８２Ａ内の任意の点に入射し、変調領域８３ｂを仮想分割して得られる複数の部分領域の各領域に属するミラー要素２ａを経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に照明領域８２Ｂ内の任意の点に入射し、変調領域８３ｃを仮想分割して得られる複数の部分領域の各領域に属するミラー要素２ａを経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に照明領域８２Ｃ内の任意の点に入射するように、制御部ＣＲにより空間光変調器２の多数のミラー要素２ａを個別に制御すれば良い。

[0103] なお、第３実施例では、リレー光学系２３ｂが、マイクロフライアイレンズ２４との組み合わせにより、マイクロフライアイレンズ２４の入射側の面とマスクブラインド５とを光学的にほぼ共役に配置している。しかしながら、これに限定されることなく、一般的には、所定の射出側開口数を持つ複数の単位波面分割領域を有するオプティカルインテグレータ（例えばマイクロフライアイレンズ）との組み合わせにより、オプティカルインテグレータの入射側の面と光学的に共役な共役面を、被照射面の位置を含む第１空間または被照射面と光学的に共役な位置を含む第２空間に形成するリレー光学系を用いることができる。

[0104] ここで、第１空間は、マスクＭのパターン面のような被照射面を含む空間であって被照射面の直前に配置される光学素子と被照射面の直後に配置される光学素子とによって光路に形成される空間を意味している。第２空間は、被照射面と共役な位置（例えばマスクブラインドの位置）を含む空間であって当該共役な位置の直前に配置される光学素子と直後に配置される光学素子とによって光路に形成される空間を意味している。

[0105] また、第３実施例では、マイクロフライアイレンズ２４を、リレー光学系２３ａと２３ｂとからなる合成光学系の瞳位置またはその近傍に配置してい

る。しかしながら、これに限定されることなく、リレー光学系２３ａと２３ｂとの間の瞳空間に、拡散素子としてのマイクロフライアイレンズ２４を配置することもできる。

[0106] 図２１は、実施形態の第４実施例にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。図２２は、第４実施例における空間光変調器からマスクブラインドまでの光路および第４実施例の作用を示す図である。第４実施例は、図１８の第３実施例と類似の構成を有する。しかしながら、第４実施例では、マイクロフライアイレンズ（フライアイレンズ）２４に代えて、新規な構成を有する波面分割型のオプティカルインテグレータ３４を用いている点が、第３実施例と相違している。したがって、図２１では、図１８に示す構成要素と同様の機能を有する要素に、図１８と同じ参照符号を付している。以下、第３実施例との相違点に着目して第４実施例の構成および作用を説明する。

[0107] 第４実施例では、空間光変調器２から射出された光が、リレー光学系２３ａを介して、オプティカルインテグレータ３４に入射する。オプティカルインテグレータ３４は、図２２に示すように、Ｚ方向に沿って所定のピッチで配列された複数の矩形状の入射屈折面３４ａと、複数の入射屈折面３４ａに対してＺ方向に半ピッチだけ位置ずれして配列された複数の矩形状の射出屈折面３４ｂとを有する。言い換えると、オプティカルインテグレータ３４が有する複数の矩形状の射出屈折面３４ｂのＺ方向の周期は、複数の矩形状の入射屈折面３４ａのＺ方向の周期に対して、半周期だけずれている。また、オプティカルインテグレータ３４において、複数の入射屈折面３４ａはＸ方向に沿って所定のピッチで配列され、複数の射出屈折面３４ｂは複数の入射屈折面３４ａに対してＸ方向に位置ずれすることなく配列されている。

[0108] リレー光学系２３ａは、その前側焦点位置が空間光変調器２２の配列面の近傍に位置し、且つその後側焦点位置がオプティカルインテグレータ３４の入射側の面の近傍に位置しており、空間光変調器２の配列面とオプティカルインテグレータ３４の入射側の面とを光学的にフーリエ変換の関係に設定している。したがって、空間光変調器２を経た光は、複数のミラー要素２ａの

姿勢に応じた光強度分布をオプティカルインテグレータ３４の入射側の面に可変的に形成する。オプティカルインテグレータ３４を経た光は、リレー光学系２３ｂを介して、マスクブラインド５を照明する。

[0109] リレー光学系２３ｂは、オプティカルインテグレータ３４との組み合わせにより、オプティカルインテグレータ３４の入射側の面とマスクブラインド５とを光学的にほぼ共役に配置している。オプティカルインテグレータ３４は、Ｚ方向に沿って長辺を有し且つＸ方向に沿って短辺を有する複数の矩形状の入射屈折面３４ａを、ひいてはＺ方向に沿って長辺を有し且つＸ方向に沿って短辺を有する複数の矩形状の単位波面分割領域を備えている。したがって、第４実施例においても、第１実施例および第３実施例の場合と同様に、マスクブラインド５の位置に、Ｚ方向に沿って長辺を有し且つＸ方向に沿って短辺を有する矩形状の照野８７が形成される。

[0110] 以下、第４実施例の具体的な作用の説明に先立ち、図４に示す従来構成および図１９に示す第３実施例においてオプティカルインテグレータを介して形成される小光源の充填率について説明する。なお、ここで説明する小光源の充填率とは、オプティカルインテグレータの複数の射出面（または射出側から見たオプティカルインテグレータの複数の波面分割面）のそれぞれの領域に占める小光源像の形成領域の割合のことである。図４に対応する図２３を参照すると、空間光変調器４２の複数のミラー要素４２ａを経た光が、リレー光学系４３ａを介して、マイクロフライアイレンズ４４の各微小レンズ４４ａの射出面近傍に複数の小光源４２ｓを形成する。各小光源４２ｓからの光は、コンデンサー光学系４３ｂを介して、マスクブラインド４５を重畳的に照明して矩形状の照野４６を形成する。

[0111] 図２３に示す従来構成では、空間光変調器４２からリレー光学系４３ａを介してマイクロフライアイレンズ４４に入射する光のＺ方向に関する入射角の最大値が微小レンズ４４ａのＺ方向に関する射出側開口数に対応する入射角度と等しい場合、複数の小光源４２ｓは各微小レンズ４４ａの射出面近傍においてＺ方向に沿って全体的に分布形成される。すなわち、オプティカル

インテグレータとしてのマイクロフライアイレンズ４４を介して形成される小光源４２ｓのＺ方向に関する充填率は１００％になる。

[0112] 一方、マイクロフライアイレンズ４４に入射する光のＺ方向に関する入射角の最大値が微小レンズ４４ａのＺ方向に関する射出側開口数に対応する入射角度よりも小さい場合、マイクロフライアイレンズ４４を介して形成される小光源４２ｓのＺ方向の充填率は１００％よりも小さくなる。ちなみに、図２３に示す従来構成では、マイクロフライアイレンズ４４における光量損失を回避するために、マイクロフライアイレンズ４４に入射する光の入射角の最大値を微小レンズ４４ａの射出側開口数に対応する入射角度よりも大きく設定することはない。

[0113] 図２４に示す第３実施例の構成では、空間光変調器２の変調作用面８３における中央の変調領域８３ａに属する複数のミラー要素２ａを経た光が、リレー光学系２３ａを介して、Ｚ方向に関して微小レンズ２４ａの射出側開口数に対応する角度以下の入射角でマイクロフライアイレンズ２４に入射する。変調作用面８３における＋Ｚ方向側の変調領域８３ｂおよびーＺ方向側の変調領域８３ｃに属する複数のミラー要素２ａを経た光は、リレー光学系２３ａを介して、Ｚ方向に関して微小レンズ２４ａの射出側開口数に対応する角度よりも大きい入射角でマイクロフライアイレンズ２４に入射する。

[0114] 変調領域８３ａに属する複数のミラー要素２ａからの光は、入射した微小レンズ２４ａから射出され、リレー光学系２３ｂを介して、マスクブラインド５上の照野８２における中央の照明領域８２Ａを形成する。変調領域８３ａと＋Ｚ方向側に隣接する変調領域８３ｂに属する複数のミラー要素２ａからの光は、入射した微小レンズ２４ａとーＺ方向側に隣接する微小レンズ２４ａから射出され、リレー光学系２３ｂを介して、照野８２において照明領域８２Ａとーｚ方向側に隣接する照明領域８２Ｂを形成する。

[0115] 変調領域８３ａとーＺ方向側に隣接する変調領域８３ｃに属する複数のミラー要素２ａからの光は、入射した微小レンズ２４ａと＋Ｚ方向側に隣接する微小レンズ２４ａから射出され、リレー光学系２３ｂを介して、照野８２

において照明領域８２Ａと＋Ｚ方向側に隣接する照明領域８２Ｃを形成する。こうして、図２４において光が入射した微小レンズ２４ａの射出面近傍には、複数の小光源８３ｓがＺ方向に沿って全体的に分布形成される。すなわち、光が入射した微小レンズ２４ａの射出面近傍における小光源８３ｓのＺ方向に関する充填率は必然的に１００％になる。

[0116] その結果、図２４に示す第３実施例の構成では、光が入射した微小レンズ２４ａとーＺ方向側に隣接する微小レンズ２４ａの射出面近傍においても、＋Ｚ方向側に隣接する微小レンズ２４ａの射出面近傍においても、複数の小光源８３ｓがＺ方向に沿って全体的に分布形成されることが求められる。別の表現をすれば、オプティカルインテグレータとしてのマイクロレンズアレイ２４を介して形成される小光源８３ｓのＺ方向の充填率は３００％であることが求められる。

[0117] 第４実施例では、図２２に示すように、空間光変調器２の変調作用面８６を仮想的にＺ方向に２等分割して得られる一方の変調領域（すなわちーＺ方向側の変調領域）８６ａに属する複数のミラー要素２ａを経た光が、リレー光学系２３ａを介して、オプティカルインテグレータ３４に入射する。変調作用面８６において変調領域８６ａとＺ方向に隣接する他方の変調領域（すなわち＋Ｚ方向側の変調領域）８６ｂも、リレー光学系２３ａを介して、オプティカルインテグレータ３４に入射する。

[0118] ーＺ方向側の変調領域８６ａに属する複数のミラー要素２ａを経た光は、図２５に明瞭に示すように、入射した入射屈折面３４ａから＋Ｚ方向に半ピッチだけ位置ずれした射出屈折面３４ｂから射出され、リレー光学系２３ｂを介して、マスクブラインド５上の照野８７における＋Ｚ方向側の照明領域８７Ａを形成する。＋Ｚ方向側の変調領域８６ｂに属する複数のミラー要素２ａを経た光は、図２２に示すように、入射した入射屈折面３４ａからーＺ方向に半ピッチだけ位置ずれした射出屈折面３４ｂから射出され、リレー光学系２３ｂを介して、照野８７におけるーＺ方向側の照明領域８７Ｂを形成する。

[0119] すなわち、第４実施例において、照明領域８７は、Ｚ方向に沿って長辺を有する矩形状である。そして、－Ｚ方向側の変調領域８６ａと＋Ｚ方向側の変調領域８６ｂとは、変調作用面８６においてＸ方向に延びる軸線（Ｚ方向と直交する所定の軸線）に関して対称である。同様に、＋Ｚ方向側の照明領域８７Ａと－Ｚ方向側の照明領域８７Ｂとは、被照射面であるマスクＭのパターン面と光学的に共役なマスクブラインド５の面においてＸ方向に延びる軸線に関して対称である。

[0120] 第４実施例では、空間光変調器２からリレー光学系２３ａを介してオプティカルインテグレータ３４に入射する光のＺ方向に関する入射角を適切な値に設定することにより、光が入射した入射屈折面３４ａから±Ｚ方向に半ピッチだけ位置ずれした一対の射出屈折面３４ｂの近傍において、複数の小光源８６ｓがＺ方向に沿って全体的に分布形成される。すなわち、オプティカルインテグレータ３４を介して形成される小光源８６ｓのＺ方向に関する充填率は２００％になる。

[0121] ただし、第４実施例では、第３実施例の場合とは異なり、光が入射した入射屈折面３４ａから±Ｚ方向に半ピッチだけ位置ずれした一対の射出屈折面３４ｂの近傍において、複数の小光源８６ｓがＺ方向に沿って全体的に分布形成されることは求められない。別の表現をすれば、オプティカルインテグレータ３４を介して形成される小光源８６ｓのＺ方向の充填率が２００％であることは必須ではない。

[0122] 第４実施例では、照明領域８７Ａ内の任意の点Ｐａ（不図示）に達する光は、空間光変調器２の変調領域８６ａに属する複数のミラー要素２ａを経て、任意の点Ｐａに関する瞳強度分布を形成した後に任意の点Ｐａに入射する光である。同様に、照明領域８７Ｂ内の任意の点Ｐｂ（不図示）に達する光は、変調領域８６ｂに属する複数のミラー要素２ａを経て、任意の点Ｐｂに関する瞳強度分布を形成した後に任意の点Ｐｂに入射する光である。

[0123] したがって、変調領域８６ａに属する複数のミラー要素２ａの向きをそれぞれ制御することにより照明領域８７Ａ内の各点に関する瞳強度分布を調整

し、変調領域８６ｂに属する複数のミラー要素２ａの向きをそれぞれ制御することにより照明領域８７Ｂ内の各点に関する瞳強度分布を調整することができる。

[0124] すなわち、第４実施例では、空間光変調器２を利用して、マスクブラインド５上の照野８７のうち、照明領域８７Ａ内における各点に関する瞳強度分布、および照明領域８７Ｂ内における各点に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整することができる。換言すれば、照明領域８７Ａ，８７Ｂ毎に瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整することができるが、各照明領域８７Ａ，８７Ｂ内において各点に関する瞳強度分布をそれぞれ独立的に調整することはできない。

[0125] 照明領域８７Ａ，８７Ｂ毎に瞳強度分布を安定的に所要の分布（例えばほぼ均一な分布）にするには、変調領域８６ａを仮想分割して得られる複数の部分領域の各領域に属するミラー要素２ａを経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に照明領域８７Ａ内の任意の点に入射し、変調領域８６ｂを仮想分割して得られる複数の部分領域の各領域に属するミラー要素２ａを経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に照明領域８７Ｂ内の任意の点に入射するように、制御部ＣＲにより空間光変調器２の多数のミラー要素２ａを個別に制御すれば良い。

[0126] 第４実施例では、－Ｚ方向側の変調領域８６ａに属する複数のミラー要素２ａを経た光が＋Ｚ方向側の照明領域８７Ａを形成し、Ｘ方向に延びる軸線に関して変調領域８６ａと対称である＋Ｚ方向側の変調領域８６ｂに属する複数のミラー要素２ａを経た光が、Ｘ方向に延びる軸線に関して照明領域８７Ａと対称である－Ｚ方向側の照明領域８７Ｂを形成する。したがって、空間光変調器２の変調作用面８６に入射する光束の光強度分布が必ずしもほぼ均一である必要はなく、－Ｚ方向側の変調領域８６ａへ入射する光束の光強度分布と＋Ｚ方向側の変調領域８６ｂへ入射する光束の光強度分布とがＸ方向に延びる軸線に関してほぼ対称であれば、＋Ｚ方向側の照明領域８７Ａにおける光量と－Ｚ方向側の照明領域８７Ｂにおける光量とがほぼ等しくなり

、ひいては照明領域８７の全体に亘ってほぼ均一な照度分布が得られる。

[0127] なお、第４実施例では、リレー光学系２３ｂが、オプティカルインテグレータ３４との組み合わせにより、オプティカルインテグレータ３４の入射側の面とマスクブラインド５とを光学的にほぼ共役に配置している。しかしながら、これに限定されることなく、一般的には、オプティカルインテグレータとの組み合わせにより、オプティカルインテグレータの入射側の面と光学的に共役な共役面を、被照射面の位置を含む第１空間または被照射面と光学的に共役な位置を含む第２空間に形成するリレー光学系を用いることができる。

[0128] また、第４実施例では、オプティカルインテグレータ３４を、リレー光学系２３ａと２３ｂとからなる合成光学系の瞳位置またはその近傍に配置している。しかしながら、これに限定されることなく、リレー光学系２３ａと２３ｂとの間の瞳空間に、オプティカルインテグレータ３４を配置することもできる。

[0129] 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を有する空間光変調器として、二次元的に配列された複数の反射面の向き（角度：傾き）を個別に制御可能な空間光変調器２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。これらの空間光変調器では、二次元的な高さ分布を形成することで回折面と同様の作用を入射光に与えることができる。なお、上述した二次元的に配列された複数の反射面を持つ空間光変調器を、たとえば米国特許第６，８９１，６５５号公報や、米国特許公開第２００５／００９５７４９号公報の開示に従って変形しても良い。

[0130] 上述の実施形態では、所定の射出側開口数を持つ複数の単位領域を有し、単位領域の光軸に対して斜めに入射する斜入射光束を光軸に対して斜めに射

出する拡散素子として、マイクロレンズアレイ（またはレンズアレイ）４、一対の光学部材１４ａと１４ｂとからなる光学ユニット１４、またはマイクロフライアイレンズ（フライアイレンズ）２４を用いている。しかしながら、これに限定されることなく、所定の射出側開口数を持つ複数の単位領域を有する拡散素子として、回折光学素子、拡散板などを用いることもできる。この場合、平行光束が入射したときに射出される射出光束の開き角の半角の正弦に拡散素子の射出側の媒質の屈折率を乗じたものを射出側開口数とする。

[0131] 上述の実施形態では、入射光の入射位置に応じて射出光の射出角度を設定する変調作用面を持つ空間光変調素子として、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２ａを備えた反射型の空間光変調器２を用いている。しかしながら、これに限定されることなく、入射光の入射位置に応じて射出光の射出角度を設定する変調作用面を持つ空間光変調素子として、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て瞳強度分布を可変的に形成する透過型の空間光変調器、瞳強度分布を固定的に形成する回折光学素子などを用いることもできる。

[0132] 一例として、第１実施例において、空間光変調器２に代えて回折光学素子を用いる場合、マスクブラインド５上の照野内における点Ｐ１に入射する光は回折光学素子の回折光学面の第１領域Ｒ１を経て点Ｐ１に関する瞳強度分布を形成した後に点Ｐ１に達する光であり、点Ｐ２に入射する光は回折光学面の第２領域Ｒ２を経て点Ｐ２に関する瞳強度分布を形成した後に点Ｐ２に達する光である。そして、回折光学面の第１領域Ｒ１を仮想分割して得られる複数の第１部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に点Ｐ１に入射し、第２領域Ｒ２を仮想分割して得られる複数の第２部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に点Ｐ２に入射するように、回折光学素子の回折光学面を形成すれば良い。

[0133] また、第３実施例において、空間光変調器２に代えて回折光学素子を用い

る場合、照明領域８２Ａ内の任意の点Ｐａに達する光は、回折光学面の第１領域Ｒａを経て、任意の点Ｐａに関する瞳強度分布を形成した後に任意の点Ｐａに入射する光である。同様に、照明領域８２Ｂ，８２Ｃ内の任意の点Ｐｂ，Ｐｃに達する光は、回折光学面において第１領域Ｒａに隣接する第２領域Ｒｂ，第３領域Ｒｃを経て、任意の点Ｐｂ，Ｐｃに関する瞳強度分布を形成した後に任意の点Ｐｂ，Ｐｃに入射する光である。

[0134] そして、回折光学面の第１領域Ｒａを仮想分割して得られる複数の第１部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に照明領域８２Ａ内の任意の点Ｐａに入射し、第２領域Ｒｂを仮想分割して得られる複数の第２部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に照明領域８２Ｂ内の任意の点Ｐｂに入射し、第３領域Ｒｃを仮想分割して得られる複数の第３部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に照明領域８２Ｃ内の任意の点Ｐｃに入射するように、回折光学素子の回折光学面を形成すれば良い。

[0135] また、第４実施例において、空間光変調器２に代えて回折光学素子を用いる場合、照明領域８７Ａ内の任意の点Ｐａに達する光は、回折光学面の第１領域Ｒａを経て、任意の点Ｐａに関する瞳強度分布を形成した後に任意の点Ｐａに入射する光である。同様に、照明領域８７Ｂ内の任意の点Ｐｂに達する光は、回折光学面において第１領域Ｒａに隣接する第２領域Ｒｂを経て、任意の点Ｐｂに関する瞳強度分布を形成した後に任意の点Ｐｂに入射する光である。

[0136] そして、回折光学面の第１領域Ｒａを仮想分割して得られる複数の第１部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に照明領域８７Ａ内の任意の点Ｐａに入射し、第２領域Ｒｂを仮想分割して得られる複数の第２部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を照明瞳に形成した後に照明領域８７Ｂ内の任意の点Ｐｂに入射するように、回折光学素子の回折光学面を形成すれば良い。

[0137] 上述の実施形態では、反射型の空間光変調器２のような空間光変調素子と

、マイクロレンズアレイ４、光学ユニット１４、またはマイクロフライアイレンズ２４のような拡散素子との間に、リレー光学系３の前側レンズ群３ａまたはリレー光学系２３ａのような変換光学系が介在している。この変換光学系は、空間光変調素子と拡散素子との間に配置されて、空間光変調素子からの射出光の変調作用面上での位置を拡散素子の配置面での角度に変換すると共に、空間光変調素子からの射出光の射出角度を拡散素子の配置面での位置に変換する光学系である。しかしながら、これに限定されることなく、例えば米国特許公開第２００７／０１６５２０２号公報に開示されているように、空間光変調素子と拡散素子との間に変換光学系が存在しない構成も可能である。この場合、空間光変調素子と被照射面とは光学的に共役にはならない。

[0138] したがって、本発明では、各実施例の構成に限定されることなく、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、前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、入射光の入射位置に応じて射出光の射出角度を設定する変調作用面を持つ空間光変調素子と、前記空間光変調素子と前記被照射面との間に配置されて、所定の射出側開口数を持つ複数の単位領域を有する拡散素子と、前記拡散素子と前記被照射面との間に配置されて、前記拡散素子からの射出光束の射出角度に応じた前記被照射面上の位置に前記拡散素子からの射出光束を導く集光光学系とを備え、前記拡散素子の前記単位領域は、前記単位領域の光軸に対して斜めに入射する斜入射光束を前記単位領域の前記光軸に対して斜めに射出することが重要である。

[0139] また、空間光変調素子と拡散素子との間に変換光学系が存在しない構成である場合、拡散素子と被照射面との間に配置された集光光学系が空間光変調素子からの射出光が射出される射出位置に応じた被照射面上の位置に空間光変調素子からの射出光を導くと共に、上記射出位置からの射出光における設定された射出角度に応じた角度で被照射面上の位置に空間光変調素子からの射出光を導いていると見なすことができる。

[0140] 上述の実施形態では、瞳強度分布計測部ＤＴｒを用いて照明光学系の射出

瞳面における瞳強度分布を計測し、瞳強度分布計測部ＤＴｗを用いて投影光学系ＰＬの瞳面（投影光学系ＰＬの射出瞳面）における瞳強度分布を計測している。具体的に、前述の公報に記載された従来の瞳強度分布計測部ＤＴｒ，ＤＴｗは、単一のピンホールを有するピンホール部材と、照明光学系または投影光学系の射出瞳面と光学的に共役な位置を形成する対物レンズとを備えている。その結果、複数点に関する瞳強度分布を同時に計測すること、および装置のコンパクト化を図ることができない。

[0141] 図２６は、対物レンズを用いることなく複数点に関する瞳強度分布を同時計測する瞳分布計測部の構成を概略的に示す図である。図２６に示す瞳分布計測部９０は、投影光学系とウェハ（感光性基板）との間を液体で満たした状態で露光を行う液浸型の露光装置に搭載された投影光学系の瞳面に形成される瞳強度分布を計測する装置である。瞳分布計測部９０は、例えば所定面上に二次元的に且つ離散的に配列された複数のピンホール９１ａと当該複数のピンホール９１ａの形成位置以外の所定面上の領域を遮光または減光する減光部（遮光部）とを有するピンホールアレイ部材９１と、ピンホール９１ａを通過した光が入射する平行平面板状のガラス基板９２とを備えている。複数のピンホール９１ａの配列については様々な形態が可能である。

[0142] また、瞳分布計測部９０は、ピンホール９１ａおよびガラス基板９２を通過した光の入射順に、蛍光膜９３、吸収膜９４、ファイバーオプティクス（ＦＯＰ）９５、および光電変換器９６を備えている。蛍光膜９３および吸収膜９４は、ガラス基板９２の下面とファイバーオプティクス９５の上面との間に挟まれている。光電変換器９６は、例えばＣＣＤ型またはＣＭＯＳ型の二次元撮像素子を用いることができ、その受光面がファイバーオプティクス９５の下面に接するように配置されている。ファイバーオプティクス９５は、上面に形成された光強度分布と同じ性状の分布を下面に形成する機能を有する。

[0143] 瞳分布計測部９０では、投影光学系の瞳面に形成される瞳強度分布の計測に際して、ピンホールアレイ部材９１が投影光学系の像面または像面と光学

的に共役な面に設定される。この場合、ピンホールアレイ部材９１の複数のピンホール９１ａは、投影光学系の瞳面における複数の計測点に対応する。複数のピンホール９１ａを通過した光は、ガラス基板９２を介して蛍光膜９３に入射する。入射光に励起された蛍光膜９３から発生した蛍光は、吸収膜９４およびファイバーオプティクス９５を介して光電変換器９６に入射する。ここで、蛍光膜９３は、入射する紫外光を可視光に変換する波長変換部と見なすことができる。

[0144] こうして、ファイバーオプティクス９５の上面には、投影光学系の瞳面に形成される瞳強度分布に対応した光強度分布が形成される。そして、ファイバーオプティクス９５の上面に形成された光強度分布と同じ性状の分布が、ファイバーオプティクス９５の下面に伝えられ、ひいては光電変換器９６の受光面に伝えられる。光電変換器９６の検出結果は、処理部９７に供給される。処理部９７は、光電変換器９６が検出した光強度分布をｆtanθの射影特性を考慮に入れて画像処理することにより、投影光学系の像面における複数の計測点に関する瞳強度分布を同時に計測する。

[0145] 言い換えると、瞳分布計測部９０は、所定面上の離散的な複数の計測点にそれぞれ入射する光の角度分布を計測する装置と見なすことができる。そして、瞳分布計測部９０は、所定面上の複数の計測点に配置されて、前記複数の計測点に入射する光をそれぞれ通過させる光通過部と、所定面上の光通過部以外の領域に配置されて該領域を介した光を減光する減光部とを備える光選択部材と、この光選択部材を介した光の進行方向において前記第１面とは異なる面に配置された受光面とを備え、この面に二次元的に分布する光の強度分布を計測する計測部とを備える装置とみなすことができる。

[0146] なお、投影光学系と感光性基板との間に気体を介在させた状態で露光を行う通常の乾燥型の露光装置に搭載された投影光学系の瞳面に形成される瞳強度分布を計測する装置に適用する場合、ガラス基板９２を気体層（空気層など）で置換してもよい。また、照明光学系の照明瞳に形成される瞳強度分布を計測する装置に適用する場合、ピンホールアレイ部材９１を被照射面（露

光装置に場合にはマスクのパターン面）、または被照射面と光学的に共役な面に設定すれば良い。この場合も、ガラス基板９２を気体層（空気層など）で置換してもよい。

[0147] また、図２６に示す瞳分布計測部９０またはガラス基板９２を気体層（空気層など）で置換した瞳分布計測部を、照明光学系中の被照射面と光学的に共役な面に設定する場合、たとえば照明視野絞りとしてのマスクブラインド５よりも被照射面側の光路に対して挿脱可能に設けても良い。また、光路折曲げミラーＭＲ１の透過側の光路（光路折曲げミラーＭＲ１の＋Ｙ方向側の光路）にマスクブラインド５の共役位置を形成する光学系を配置して、その共役位置に瞳分布計測部９０またはガラス基板９２を気体層（空気層など）で置換した瞳分布計測部を配置しても良い。この場合、光路折曲げミラーＭＲ１を一部透過する光を用いて瞳分布を計測する。

[0148] また、図２６に示す瞳分布計測部９０またはガラス基板９２を気体層（空気層など）で置換した瞳分布計測部を照明光学系中に配置する場合には、オプティカルインテグレータ４，１４，２４，３４よりも被照射面側の光路を進行する光（オプティカルインテグレータ４，１４，２４，３４を介した光）を用いて瞳強度分布を計測しても良い。この場合、オプティカルインテグレータ４，１４，２４，３４よりも被照射面側の光路に、オプティカルインテグレータ４，１４，２４，３４を介した光の一部を分岐する振幅分割面などを設けても良い。

[0149] なお、オプティカルインテグレータ４，１４，２４，３４の入射側の光路に、オプティカルインテグレータ４，１４，２４，３４へ向かう光の一部を分岐する振幅分割面を設け、当該振幅分割面を介した光で瞳強度分布を計測しても良い。ここで、瞳分布計測部９０またはガラス基板９２を気体層（空気層など）で置換した瞳分布計測部の複数のピンホール９１ａをオプティカルインテグレータ４，１４，２４，３４の入射側の面の近傍と光学的に共役な位置に設定した場合には、照明光学系の瞳面上の複数点に関する、瞳面に入射する光束の角度分布を同時に計測することができる。

[0150] また、所定面上に二次元的に且つ離散的に配列された複数の光透過領域としてのピンホール９１ａを持つピンホールアレイ部材９１の代わりに、所定面上に二次元的に且つ離散的に配列された複数の反射領域と当該複数の反射領域以外の所定面上の領域を非反射領域または低反射領域（使用波長において複数の反射領域の反射率よりも低い反射率を持つ領域）を持つピンホールミラーアレイ部材を用いても良い。この場合、所定面の法線を光の進行方向に対して非平行に設定してピンホールミラーアレイ部材に入射する光とピンホールミラーアレイ部材の複数の反射領域を介した光とを光路分離する構成であっても良い。

[0151] 上述の実施形態では、マスクの代わりに、所定の電子データに基づいて所定パターンを形成する可変パターン形成装置を用いることができる。なお、可変パターン形成装置としては、たとえば所定の電子データに基づいて駆動される複数の反射素子を含む空間光変調素子を用いることができる。空間光変調素子を用いた露光装置は、たとえば米国特許公開第２００７／０２９６９３６号公報に開示されている。また、上述のような非発光型の反射型空間光変調器以外に、透過型空間光変調器を用いても良く、自発光型の画像表示素子を用いても良い。

[0152] 上述の実施形態の露光装置は、本願特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各

種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行っても良い。

[0153] 次に、上述の実施形態にかかる露光装置を用いたデバイス製造方法について説明する。図２７は、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。図２７に示すように、半導体デバイスの製造工程では、半導体デバイスの基板となるウェハＷに金属膜を蒸着し（ステップＳ４０）、この蒸着した金属膜上に感光性材料であるフォトレジストを塗布する（ステップＳ４２）。つづいて、上述の実施形態の投影露光装置を用い、マスク（レチクル）Ｍに形成されたパターンをウェハＷ上の各ショット領域に転写し（ステップＳ４４：露光工程）、この転写が終了したウェハＷの現像、つまりパターンが転写されたフォトレジストの現像を行う（ステップＳ４６：現像工程）。

[0154] その後、ステップＳ４６によってウェハＷの表面に生成されたレジストパターンをマスクとし、ウェハＷの表面に対してエッチング等の加工を行う（ステップＳ４８：加工工程）。ここで、レジストパターンとは、上述の実施形態の投影露光装置によって転写されたパターンに対応する形状の凹凸が生成されたフォトレジスト層であって、その凹部がフォトレジスト層を貫通しているものである。ステップＳ４８では、このレジストパターンを介してウェハＷの表面の加工を行う。ステップＳ４８で行われる加工には、例えばウェハＷの表面のエッチングまたは金属膜等の成膜の少なくとも一方が含まれる。なお、ステップＳ４４では、上述の実施形態の投影露光装置は、フォトレジストが塗布されたウェハＷを感光性基板としてパターンの転写を行う。

[0155] また、１つのショット領域内に異なる種類の回路、典型的には論理回路と記憶回路とを形成するような場合において、論理回路を形成するために用いる転写パターンの性状と、記憶回路を形成するために用いる転写パターンの性状とが異なり、１つのショット領域内における論理回路形成領域と記憶回路形成領域とを異なる瞳輝度分布（照明光の角度分布）で露光する必要が生じる場合がある。このような場合においては、上記実施形態の投影露光装置を用いて、マスクＭ上の論理回路形成領域に対応するパターン領域と記憶回

路形成領域に対応するパターン領域との照明を、異なる角度分布（最適な角度分布）で照明すれば良い。

[0156] 図２８は、液晶表示素子等の液晶デバイスの製造工程を示すフローチャートである。図２８に示すように、液晶デバイスの製造工程では、パターン形成工程（ステップＳ５０）、カラーフィルタ形成工程（ステップＳ５２）、セル組立工程（ステップＳ５４）およびモジュール組立工程（ステップＳ５６）を順次行う。ステップＳ５０のパターン形成工程では、プレートＰとしてフォトレジストが塗布されたガラス基板上に、上述の実施形態の投影露光装置を用いて回路パターンおよび電極パターン等の所定のパターンを形成する。このパターン形成工程には、上述の実施形態の投影露光装置を用いてフォトレジスト層にパターンを転写する露光工程と、パターンが転写されたプレートＰの現像、つまりガラス基板上のフォトレジスト層の現像を行い、パターンに対応する形状のフォトレジスト層を生成する現像工程と、この現像されたフォトレジスト層を介してガラス基板の表面を加工する加工工程とが含まれている。

[0157] ステップＳ５２のカラーフィルタ形成工程では、Ｒ（Red）、Ｇ（Green）、Ｂ（Blue）に対応する３つのドットの組をマトリックス状に多数配列するか、またはＲ、Ｇ、Ｂの３本のストライプのフィルタの組を水平走査方向に複数配列したカラーフィルタを形成する。ステップＳ５４のセル組立工程では、ステップＳ５０によって所定パターンが形成されたガラス基板と、ステップＳ５２によって形成されたカラーフィルタとを用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。具体的には、例えばガラス基板とカラーフィルタとの間に液晶を注入することで液晶パネルを形成する。ステップＳ５６のモジュール組立工程では、ステップＳ５４によって組み立てられた液晶パネルに対し、この液晶パネルの表示動作を行わせる電気回路およびバックライト等の各種部品を取り付ける。

[0158] 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。

[0159] なお、上述の実施形態では、露光光としてＡｒＦエキシマレーザ光（波長：１９３ｎｍ）やＫｒＦエキシマレーザ光（波長：２４８ｎｍ）を用いているが、これに限定されることなく、他の適当なレーザ光源、たとえば波長１５７ｎｍのレーザ光を供給するF_2レーザ光源などに対して本発明を適用することもできる。

[0160] また、上述の実施形態において、投影光学系と感光性基板との間の光路中を１．１よりも大きな屈折率を有する媒体（典型的には液体）で満たす手法、所謂液浸法を適用しても良い。この場合、投影光学系と感光性基板との間の光路中に液体を満たす手法としては、国際公開第ＷＯ９９／４９５０４号パンプレットに開示されているような局所的に液体を満たす手法や、特開平６－１２４８７３号公報に開示されているような露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる手法や、特開平１０－３０３１１４号公報に開示されているようなステージ上に所定深さの液体槽を形成し、その中に基板を保持する手法などを採用することができる。ここでは、国際公開第ＷＯ９９／４９５０４号パンフレット、特開平６－１２４８７３号公報および特開平１０－３０３１１４号公報の教示を参照として援用する。

[0161] また、上述の実施形態では、ウェハＷのショット領域にマスクＭのパターンを走査露光するステップ・アンド・スキャン方式の露光装置に対して本発明を適用している。しかしながら、これに限定されることなく、ウェハＷの各露光領域にマスクＭのパターンを一括露光する動作を繰り返すステップ・アンド・リピート方式の露光装置に対して本発明を適用することもできる。

[0162] また、上述の実施形態では、露光装置においてマスク（またはウェハ）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（またはウェハ）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。

[0163] また、本発明は、以下の条項に従って記述することもできる。

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、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、入射光の入射位置に応じて射出光の射出角度を設定する変調作用面を持つ空間光変調素子と、

前記空間光変調素子と前記被照射面との間に配置されて、所定の射出側開口数を持つ複数の単位領域を有する拡散素子と、

前記拡散素子と前記被照射面との間に配置されて、前記拡散素子からの射出光束の射出角度に応じた前記被照射面上の位置に前記拡散素子からの射出光束を導く集光光学系とを備え、

前記拡散素子の前記単位領域は、前記単位領域の光軸に対して斜めに入射する斜入射光束を前記単位領域の前記光軸に対して斜めに射出することを特徴とする照明光学系。

２． 前記照明光学系は、投影光学系を備え且つ該投影光学系に対して基板を走査方向に移動させつつ該基板に露光を行う露光装置と組合せ可能であって、前記投影光学系の物体面に配置される所定のパターンを照明するものであって、

前記拡散素子の前記単位領域は、前記走査方向に対応する方向では、前記単位領域の光軸に対して斜めに入射する前記斜入射光束を前記斜入射光束の入射角によらずに一定の角度で射出し、前記走査方向を横切る方向である非走査方向に対応する方向では、前記単位領域の光軸に対して斜めに入射する前記斜入射光束を前記斜入射光束の入射角に応じた角度で射出することを特徴とする条項１に記載の照明光学系。

３． 前記拡散素子は、前記非走査方向に対応する方向に関してパワーを有する複数のシリンドリカル屈折面を前記非走査方向に対応する方向に配列することにより構成されたシリンドリカルレンズアレイと、前記走査方向に対

応する方向に関してパワーを有する複数のシリンドリカル屈折面を前記走査方向に対応する方向に配列することにより構成されたシリンドリカルフライアイレンズとを有することを特徴とする条項２に記載の照明光学系。

４．　前記空間光変調素子と前記拡散素子との間に配置されて、前記空間光変調素子からの前記射出光の前記変調作用面上での位置を前記拡散素子の配置面での角度に変換すると共に、前記空間光変調素子からの前記射出光の射出角度を前記配置面での位置に変換する変換光学系を備えていることを特徴とする条項１乃至３のいずれか１項に記載の照明光学系。

５．　前記変換光学系と前記集光光学系との合成光学系は、前記空間光変調素子の前記変調作用面と光学的に共役な共役面を、前記被照射面を含む第１空間または前記被照射面と光学的に共役な位置を含む第２空間に形成することを特徴とする条項４に記載の照明光学系。

６．　前記拡散光学素子は、前記変換光学系と前記集光光学系との前記合成光学系の瞳空間に配置されていることを特徴とする条項５に記載の照明光学系。

７．　前記変換光学系と前記集光光学系との前記合成光学系は、前記変調作用面と光学的に共役な共役面を、前記被照射面または前記被照射面と光学的に共役な位置に形成することを特徴とする条項５または６に記載の照明光学系。

８．　前記被照射面に形成される照明領域内の第１の点に入射する光は、前記変調作用面の第１領域を経て前記第１の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記第１の点に達する光であり、前記照明領域内の第２の点に入射する光は、前記変調作用面の第２領域を経て前記第２の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記第２の点に達する光であることを特徴とする条項１乃至７のいずれか１項に記載の照明光学系。

９．　前記拡散素子は、互いに直交する二方向にパワーを有する複数の屈折面を二次元的に配列することにより構成されたレンズアレイを有することを特徴とする条項１、２、４乃至８のいずれか１項に記載の照明光学系。

１０．　前記被照射面に形成される照明領域は、第１方向に沿って長辺を有し且つ第２方向に沿って短辺を有する矩形状であり、

前記拡散素子は、前記第１方向に関してパワーを有する複数のシリンドリカル屈折面を前記第１方向に配列することにより構成されたシリンドリカルレンズアレイと、前記第２方向に関してパワーを有する複数のシリンドリカル屈折面を前記第２方向に配列することにより構成されたシリンドリカルフライアイレンズとを有することを特徴とする条項１乃至８のいずれか１項に記載の照明光学系。

１１．　前記拡散素子は、前記照明光学系の光軸に沿って配置された平行平面板状の第１光学部材と平行平面板状の第２光学部材とを有し、

前記シリンドリカルフライアイレンズを構成する複数のシリンドリカル屈折面は、前記第１光学部材の一方の面および前記第２光学部材の一方の面に形成され、

前記シリンドリカルレンズアレイを構成する複数のシリンドリカル屈折面は、前記第１光学部材の他方の面または前記第２光学部材の他方の面に形成されていることを特徴とする条項１０に記載の照明光学系。

１２．　前記拡散素子は、前記照明光学系の光軸に沿って配置された平行平面板状の第１光学部材と平行平面板状の第２光学部材とを有し、

前記シリンドリカルフライアイレンズを構成する複数のシリンドリカル屈折面は、前記第１光学部材の一方の面および前記第１光学部材の他方の面に形成され、

前記シリンドリカルレンズアレイを構成する複数のシリンドリカル屈折面は、前記第２光学部材の一方の面または前記第２光学部材の他方の面に形成されていることを特徴とする条項１０に記載の照明光学系。

１３．　前記空間光変調素子は、前記変調作用面の位置ごとに前記射出光の前記射出角度を独立に設定することを特徴とする条項１乃至１２のいずれか１項に記載の照明光学系。

１４．　前記空間光変調素子は、前記変調作用面に配列されて個別に制御さ

れる複数の光学要素と、該複数の光学要素を個別に制御する制御部とを有し、前記瞳強度分布を可変的に形成する空間光変調器を備えていることを特徴とする条項１３に記載の照明光学系。

１５．　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を有し、前記制御部は前記複数のミラー要素の姿勢を個別に制御することを特徴とする条項１４に記載の照明光学系。

１６．　前記被照射面に形成される照明領域内の第１の点に入射する光は、前記複数の光学要素のうちの第１群の光学要素を経て前記第１の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記第１の点に達する光であり、前記照明領域内の第２の点に入射する光は、前記複数の光学要素のうちの第２群の光学要素を経て前記第２の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記第２の点に達する光であり、

前記制御部は、前記第１群の光学要素を仮想分割して得られる複数の第１部分群の各群に属する光学要素を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記第１の点に入射し、前記第２群の光学要素を仮想分割して得られる複数の第２部分群の各群に属する光学要素を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記第２の点に入射するように、前記複数の光学要素を個別に制御することを特徴とする条項１４または１５に記載の照明光学系。

１７．　前記空間光変調素子は、前記瞳強度分布を固定的に形成する回折光学素子を有することを特徴とする条項１乃至１２のいずれか１項に記載の照明光学系。

１８．　前記被照射面に形成される照明領域内の第１の点に入射する光は、前記回折光学素子の回折光学面の第１領域を経て前記第１の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記第１の点に達する光であり、前記照明領域内の第２の点に入射する光は、前記回折光学面の第２領域を経て前記第２の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記第２の点に達する光であり、

前記回折光学面は、前記第１領域を仮想分割して得られる複数の第１部分

領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記第１の点に入射し、前記第２領域を仮想分割して得られる複数の第２部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記第２の点に入射するように形成されていることを特徴とする条項１７に記載の照明光学系。

１９．　前記拡散素子に入射する空間光変調素子の変調作用面からの光は、前記拡散素子の前記射出側開口数に対応する角度よりも小さな入射角で前記拡散素子に入射することを特徴とする条項１乃至１８のいずれか１項に記載の照明光学系。

２０．　前記拡散素子は、前記所定の射出側開口数を持つ複数の単位波面分割領域を有するオプティカルインテグレータを備え、

前記集光光学系は、前記オプティカルインテグレータとの組み合わせにより、前記オプティカルインテグレータの入射面と光学的に共役な共役面を、前記被照射面の位置を含む第１空間または前記被照射面と光学的に共役な位置を含む第２空間に形成し、

前記空間光変調素子の変調作用面の第１変調領域を経た光は、前記所定の射出側開口数に対応する角度以下の入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して、前記共役面に形成される照明領域内の第１照明領域を形成し、前記変調作用面において前記第１変調領域に隣接する第２変調領域を経た光は、前記所定の射出側開口数に対応する角度よりも大きい入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して、前記照明領域内の前記第１照明領域に隣接する第２照明領域を形成することを特徴とする条項１乃至１８のいずれか１項に記載の照明光学系。

２１．　前記照明領域は、第１方向に沿って長辺を有し且つ第２方向に沿って短辺を有する矩形状であり、

前記第１変調領域を経た光は、前記第１方向に関して前記所定の射出側開口数に対応する角度以下の入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して前記第１照明領域を形成し、前記第１変調領域と前記第１方向に隣接す

る前記第２変調領域を経た光は、前記第１方向に関して前記所定の射出側開口数に対応する角度よりも大きい入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して、前記第１照明領域と前記第１方向に隣接する前記第２照明領域を形成することを特徴とする条項２０に記載の照明光学系。

２２．　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、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記照明光学系の照明瞳に瞳強度分布を形成するために入射光を空間的に変調して射出する空間光変調素子と、

前記空間光変調素子と前記被照射面との間の光路中に配置されて、所定の射出側開口数を持つ複数の単位波面分割領域を有するオプティカルインテグレータと、

前記空間光変調素子と前記オプティカルインテグレータの入射面とを光学的にフーリエ変換の関係に配置する第１リレー光学系と、

前記オプティカルインテグレータとの組み合わせにより、前記オプティカルインテグレータの入射面と光学的に共役な共役面を、前記被照射面の位置を含む第１空間または前記被照射面と光学的に共役な位置を含む第２空間に形成する第２リレー光学系とを備え、

前記空間光変調素子の変調作用面の第１変調領域を経た光は、前記所定の射出側開口数に対応する角度以下の入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して、前記共役面に形成される照明領域内の第１照明領域を形成し、前記変調作用面において前記第１変調領域に隣接する第２変調領域を経た光は、前記所定の射出側開口数に対応する角度よりも大きい入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して、前記照明領域内の前記第１照明領域に隣接する第２照明領域を形成することを特徴とする照明光学系。

２３．　前記照明領域は、第１方向に沿って長辺を有し且つ第２方向に沿って短辺を有する矩形状であり、

前記第１変調領域を経た光は、前記第１方向に関して前記所定の射出側開口数に対応する角度以下の入射角で前記オプティカルインテグレータに入射

して前記第１照明領域を形成し、前記第１変調領域と前記第１方向に隣接する前記第２変調領域を経た光は、前記第１方向に関して前記所定の射出側開口数に対応する角度よりも大きい入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して、前記第１照明領域と前記第１方向に隣接する前記第２照明領域を形成することを特徴とする条項２２に記載の照明光学系。

２４．　前記空間光変調素子は、所定面に配列されて個別に制御される複数の光学要素と、該複数の光学要素を個別に制御する制御部とを有し、前記瞳強度分布を可変的に形成する空間光変調器を備えていることを特徴とする条項２２または２３に記載の照明光学系。

２５．　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を有し、前記制御部は前記複数のミラー要素の姿勢を個別に制御することを特徴とする条項２４に記載の照明光学系。

２６．　前記第１照明領域内の任意の点に達する光は、前記複数の光学要素のうちの第１群の光学要素を経て前記任意の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記任意の点に入射する光であり、前記第２照明領域内の任意の点に達する光は、前記複数の光学要素において前記第１群に隣接する第２群の光学要素を経て前記任意の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記任意の点に入射する光であり、

前記制御部は、前記第１群の光学要素を仮想分割して得られる複数の第１部分群の各群に属する光学要素を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記任意の点に入射し、前記第２群の光学要素を仮想分割して得られる複数の第２部分群の各群に属する光学要素を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記任意の点に入射するように、前記複数の光学要素を個別に制御することを特徴とする条項２４または２５に記載の照明光学系。

２７．　前記空間光変調素子は、前記瞳強度分布を固定的に形成する回折光学素子を有することを特徴とする条項２２または２３に記載の照明光学系。

２８．　前記第１照明領域内の任意の点に達する光は、前記回折光学素子の

回折光学面の第１領域を経て前記任意の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記任意の点に入射する光であり、前記第２照明領域内の任意の点に達する光は、前記回折光学面において前記第１領域に隣接する第２領域を経て前記任意の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記任意の点に入射する光であり、

前記回折光学面は、前記第１領域を仮想分割して得られる複数の第１部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記第１照明領域内の前記任意の点に入射し、前記第２領域を仮想分割して得られる複数の第２部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記第２照明領域内の前記任意の点に入射するように形成されていることを特徴とする条項２７に記載の照明光学系。

２９．　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、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記照明光学系の照明瞳に瞳強度分布を形成するために入射光を空間的に変調して射出する空間光変調素子と、

前記空間光変調素子と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記空間光変調素子の変調作用面と光学的に共役な共役面を、前記被照射面の位置または前記被照射面と光学的に共役な位置に形成するリレー光学系と、

前記リレー光学系の瞳空間に配置されて、所定の射出側開口数を有する複数の単位領域を有する拡散素子とを備え、

前記空間光変調素子の前記変調作用面は、前記変調作用面での位置に応じて射出光の射出角度を設定し、

前記拡散素子の前記単位領域は、前記単位領域の光軸に対して斜めに入射する斜入射光束を前記単位領域の前記光軸に対して斜めに射出することを特徴とする照明光学系。

３０．　前記被照射面と光学的に共役な面を形成する投影光学系と組み合わせて用いられ、前記照明瞳は前記投影光学系の開口絞りと光学的に共役な位置であることを特徴とする条項１乃至２９のいずれか１項に記載の照明光学

系。

３１．　所定のパターンを照明するための条項１乃至３０のいずれか１項に記載の照明光学系を備え、前記所定のパターンを基板に露光することを特徴とする露光装置。

３２．　前記所定のパターンの像を前記基板上に形成する投影光学系を備え、前記照明瞳は前記投影光学系の開口絞りと光学的に共役な位置であることを特徴とする条項３１に記載の露光装置。

３３．　前記照明光学系は、第１方向に細長い矩形状の複数の単位波面分割面を有するオプティカルインテグレータを備え、

前記投影光学系に対して前記所定のパターンおよび前記基板を、前記第１方向と直交する第２方向に対応する走査方向に沿って相対移動させて、前記所定のパターンを前記基板へ投影露光することを特徴とする条項３１または３２に記載の露光装置。

３４．　条項３１乃至３３のいずれか１項に記載の露光装置を用いて、前記所定のパターンを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、を含むことを特徴とするデバイス製造方法。

３５．　第１面上の離散的な複数の計測点にそれぞれ入射する光の角度分布を計測する装置において、

前記第１面上の前記複数の計測点に配置されて、前記複数の計測点に入射する光をそれぞれ通過させる光通過部と、前記第１面上の前記光通過部以外の領域に配置されて該領域を介した光を減光する減光部とを備える光選択部材と、

前記光選択部材を介した光の進行方向において前記第１面とは異なる第２面に配置された受光面を備え、前記第２面に二次元的に分布する光の強度分

布を計測する計測部とを備える装置。

３６．　条項３５の装置において、

前記計測部が計測した前記光の強度分布から、前記光の角度分布を求める処理部をさらに備える。

３７．　条項３６の装置において、

前記処理部は、前記光通過部の射影特性を考慮して前記光の角度分布を求める。

３８．　条項３７の装置において、

前記射影特性はｆtanθの射影特性である。

３９．　条項３５～３８の何れかの装置において、

前記光通過部と前記受光面との間に配置されて、入射する光を可視光に変換する波長変換部を備える。

４０．　条項３５～３９の何れかの装置において、

前記光通過部と前記受光面との間に気体が介在しない。

符号の説明

[0164] １　ビーム送光部

２　空間光変調器

３　リレー光学系

４　マイクロレンズアレイ

５　マスクブラインド

６　結像光学系

１４　光学ユニット

２３ａ，２３ｂ　リレー光学系

２４　マイクロフライアイレンズ

３４　オプティカルインテグレータ

ＬＳ　光源

ＤＴｒ，ＤＴｗ　瞳強度分布計測部

ＣＲ　制御系

Ｍ　マスク

ＭＳ　マスクステージ

ＰＬ　投影光学系

Ｗ　ウェハ

ＷＳ　ウェハステージ

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、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、入射光の入射位置に応じて射出光の射出角度を設定する変調作用面を持つ空間光変調素子と、

前記空間光変調素子と前記被照射面との間に配置されて、前記空間光変調素子からの射出光が射出される射出位置に応じた前記被照射面上の位置に前記空間光変調素子からの射出光を導くと共に、前記空間光変調素子の前記射出位置からの前記射出光の設定された射出角度に応じた角度で前記被照射面上の前記位置に前記空間光変調素子からの前記射出光を導く集光光学系とを備えることを特徴とする照明光学系。

[請求項2] 前記空間光変調素子と前記集光光学系との間に配置されて、前記空間光変調素子からの前記射出光の前記変調作用面上での位置を射出側の所定面での角度に変換すると共に、前記空間光変調素子からの前記射出光の射出角度を前記所定面での位置に変換する変換光学系を備えてい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] 前記空間光変調素子と前記被照射面との間に配置されて、所定の射出側開口数を持つ複数の単位領域を有する拡散素子を備え、

前記拡散素子の前記単位領域は、前記単位領域の光軸に対して斜めに入射する斜入射光束を前記単位領域の前記光軸に対して斜めに射出することを特徴とする請求項１または２に記載の照明光学系。

[請求項4] 前記空間光変調素子と前記拡散素子との間に配置される変換光学系を備え、

Ｄ×ｆ２／ｆ１：２×ｆ２×ＮＡ１４＝Ｎ：１、または

Ｄ×ｆ２／ｆ１：２×ｆ２×ＮＡ１４＝１：Ｎ

の条件を満足することを特徴とする請求項３に記載の照明光学系。ただし、

Ｎ≧５、

Ｄ：前記空間光変調素子の前記変調作用面の所定方向における長さ、

ｆ１：前記変換光学系の焦点距離、

ｆ２：前記集光光学系の焦点距離、

ＮＡ１４：前記拡散素子の前記射出側開口数、

である。

［請求項5］ 前記照明光学系は、投影光学系を備え且つ該投影光学系に対して基板を走査方向に移動させつつ該基板に露光を行う露光装置と組合せ可能であって、前記投影光学系の物体面に配置される所定のパターンを照明するものであって、

前記拡散素子の前記単位領域は、前記走査方向に対応する方向では、前記単位領域の光軸に対して斜めに入射する前記斜入射光束を前記斜入射光束の入射角によらずに一定の角度で射出し、前記走査方向を横切る方向である非走査方向に対応する方向では、前記単位領域の光軸に対して斜めに入射する前記斜入射光束を前記斜入射光束の入射角に応じた角度で射出することを特徴とする請求項３または４に記載の照明光学系。

［請求項6］ 前記拡散素子は、前記非走査方向に対応する方向に関してパワーを有する複数のシリンドリカル屈折面を前記非走査方向に対応する方向に配列することにより構成されたシリンドリカルレンズアレイと、前記走査方向に対応する方向に関してパワーを有する複数のシリンドリカル屈折面を前記走査方向に対応する方向に配列することにより構成されたシリンドリカルフライアイレンズとを有す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］ 前記空間光変調素子と前記拡散素子との間に配置されて、前記空間光変調素子からの前記射出光の前記変調作用面上での位置を前記拡散素子の配置面での角度に変換すると共に、前記空間光変調素子からの前

記射出光の射出角度を前記配置面での位置に変換する変換光学系を備えていることを特徴とする請求項３乃至６のいずれか１項に記載の照明光学系。

[請求項8] 前記変換光学系と前記集光光学系との合成光学系は、前記空間光変調素子の前記変調作用面と光学的に共役な共役面を、前記被照射面を含む第１空間または前記被照射面と光学的に共役な位置を含む第２空間に形成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] 前記拡散素子は、前記変換光学系と前記集光光学系との前記合成光学系の瞳空間に配置されてい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] 前記変換光学系と前記集光光学系との前記合成光学系は、前記変調作用面と光学的に共役な共役面を、前記被照射面または前記被照射面と光学的に共役な位置に形成することを特徴とする請求項８または９に記載の照明光学系。

[請求項11] 前記被照射面に形成される照明領域内の第１の点に入射する光は、前記変調作用面の第１領域を経て前記第１の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記第１の点に達する光であり、前記照明領域内の第２の点に入射する光は、前記変調作用面の第２領域を経て前記第２の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記第２の点に達する光であることを特徴とする請求項１乃至１０のいずれか１項に記載の照明光学系。

[請求項12] 前記拡散素子は、互いに直交する二方向にパワーを有する複数の屈折面を二次元的に配列することにより構成されたレンズアレイを有することを特徴とする請求項３乃至５、および７乃至１１のいずれか１項に記載の照明光学系。

[請求項13] 前記被照射面に形成される照明領域は、第１方向に沿って長辺を有し且つ第２方向に沿って短辺を有する矩形状であり、

前記拡散素子は、前記第１方向に関してパワーを有する複数のシリンドリカル屈折面を前記第１方向に配列することにより構成されたシ

リンドリカルレンズアレイと、前記第２方向に関してパワーを有する複数のシリンドリカル屈折面を前記第２方向に配列することにより構成されたシリンドリカルフライアイレンズとを有することを特徴とする請求項３乃至１１のいずれか１項に記載の照明光学系。

［請求項14］ 前記拡散素子は、前記照明光学系の光軸に沿って配置された平行平面板状の第１光学部材と平行平面板状の第２光学部材とを有し、

前記シリンドリカルフライアイレンズを構成する複数のシリンドリカル屈折面は、前記第１光学部材の一方の面および前記第２光学部材の一方の面に形成され、

前記シリンドリカルレンズアレイを構成する複数のシリンドリカル屈折面は、前記第１光学部材の他方の面または前記第２光学部材の他方の面に形成されていることを特徴とする請求項１３に記載の照明光学系。

［請求項15］ 前記拡散素子は、前記照明光学系の光軸に沿って配置された平行平面板状の第１光学部材と平行平面板状の第２光学部材とを有し、

前記シリンドリカルフライアイレンズを構成する複数のシリンドリカル屈折面は、前記第１光学部材の一方の面および前記第１光学部材の他方の面に形成され、

前記シリンドリカルレンズアレイを構成する複数のシリンドリカル屈折面は、前記第２光学部材の一方の面または前記第２光学部材の他方の面に形成されていることを特徴とする請求項１３に記載の照明光学系。

［請求項16］ 前記空間光変調素子は、前記変調作用面の位置ごとに前記射出光の前記射出角度を独立に設定することを特徴とする請求項１乃至１５のいずれか１項に記載の照明光学系。

［請求項17］ 前記空間光変調素子は、前記変調作用面に配列されて個別に制御される複数の光学要素と、該複数の光学要素を個別に制御する制御部とを有し、前記瞳強度分布を可変的に形成する空間光変調器を備えている

ことを特徴とする請求項１６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を有し、前記制御部は前記複数のミラー要素の姿勢を個別に制御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] 前記被照射面に形成される照明領域内の第１の点に入射する光は、前記複数の光学要素のうちの第１群の光学要素を経て前記第１の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記第１の点に達する光であり、前記照明領域内の第２の点に入射する光は、前記複数の光学要素のうちの第２群の光学要素を経て前記第２の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記第２の点に達する光であり、

前記制御部は、前記第１群の光学要素を仮想分割して得られる複数の第１部分群の各群に属する光学要素を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記第１の点に入射し、前記第２群の光学要素を仮想分割して得られる複数の第２部分群の各群に属する光学要素を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記第２の点に入射するように、前記複数の光学要素を個別に制御することを特徴とする請求項１７または１８に記載の照明光学系。

[請求項20] 前記空間光変調素子は、前記瞳強度分布を固定的に形成する回折光学素子を有することを特徴とする請求項１乃至１５のいずれか１項に記載の照明光学系。

[請求項21] 前記被照射面に形成される照明領域内の第１の点に入射する光は、前記回折光学素子の回折光学面の第１領域を経て前記第１の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記第１の点に達する光であり、前記照明領域内の第２の点に入射する光は、前記回折光学面の第２領域を経て前記第２の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記第２の点に達する光であり、

前記回折光学面は、前記第１領域を仮想分割して得られる複数の第１部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に

形成した後に前記第１の点に入射し、前記第２領域を仮想分割して得られる複数の第２部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記第２の点に入射するように形成されていることを特徴とする請求項２０に記載の照明光学系。

［請求項22］ 前記拡散素子に入射する空間光変調素子の変調作用面からの光は、前記拡散素子の前記射出側開口数に対応する角度よりも小さな入射角で前記拡散素子に入射することを特徴とする請求項３乃至２１のいずれか１項に記載の照明光学系。

［請求項23］ 前記拡散素子は、前記所定の射出側開口数を持つ複数の単位波面分割領域を有するオプティカルインテグレータを備え、

前記集光光学系は、前記オプティカルインテグレータとの組み合わせにより、前記オプティカルインテグレータの入射側の面と光学的に共役な共役面を、前記被照射面の位置を含む第１空間または前記被照射面と光学的に共役な位置を含む第２空間に形成し、

前記空間光変調素子の変調作用面の第１変調領域を経た光は、前記所定の射出側開口数に対応する角度以下の入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して、前記共役面に形成される照明領域内の第１照明領域を形成し、前記変調作用面において前記第１変調領域に隣接する第２変調領域を経た光は、前記所定の射出側開口数に対応する角度よりも大きい入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して、前記照明領域内の前記第１照明領域に隣接する第２照明領域を形成することを特徴とする請求項３乃至２１のいずれか１項に記載の照明光学系。

［請求項24］ 前記照明領域は、第１方向に沿って長辺を有し且つ第２方向に沿って短辺を有する矩形状であり、

前記第１変調領域を経た光は、前記第１方向に関して前記所定の射出側開口数に対応する角度以下の入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して前記第１照明領域を形成し、前記第１変調領域と前

記第１方向に隣接する前記第２変調領域を経た光は、前記第１方向に関して前記所定の射出側開口数に対応する角度よりも大きい入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して、前記第１照明領域と前記第１方向に隣接する前記第２照明領域を形成することを特徴とする請求項２３に記載の照明光学系。

［請求項25］ 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、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記照明光学系の照明瞳に瞳強度分布を形成するために入射光を空間的に変調して射出する空間光変調素子と、

前記空間光変調素子と前記被照射面との間の光路中に配置されて、所定の射出側開口数を持つ複数の単位波面分割領域を有するオプティカルインテグレータと、

前記空間光変調素子と前記オプティカルインテグレータの入射側の面とを光学的にフーリエ変換の関係に配置する第１リレー光学系と、

前記オプティカルインテグレータとの組み合わせにより、前記オプティカルインテグレータの入射側の面と光学的に共役な共役面を、前記被照射面の位置を含む第１空間または前記被照射面と光学的に共役な位置を含む第２空間に形成する第２リレー光学系とを備え、

前記空間光変調素子の変調作用面の第１変調領域を経た光は、前記所定の射出側開口数に対応する角度以下の入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して、前記共役面に形成される照明領域内の第１照明領域を形成し、前記変調作用面において前記第１変調領域に隣接する第２変調領域を経た光は、前記所定の射出側開口数に対応する角度よりも大きい入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して、前記照明領域内の前記第１照明領域に隣接する第２照明領域を形成することを特徴とする照明光学系。

［請求項26］ 前記照明領域は、第１方向に沿って長辺を有し且つ第２方向に沿って短辺を有する矩形状であり、

前記第１変調領域を経た光は、前記第１方向に関して前記所定の射出側開口数に対応する角度以下の入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して前記第１照明領域を形成し、前記第１変調領域と前記第１方向に隣接する前記第２変調領域を経た光は、前記第１方向に関して前記所定の射出側開口数に対応する角度よりも大きい入射角で前記オプティカルインテグレータに入射して、前記第１照明領域と前記第１方向に隣接する前記第２照明領域を形成することを特徴とする請求項２５に記載の照明光学系。

［請求項27］ 前記空間光変調素子は、所定面に配列されて個別に制御される複数の光学要素と、該複数の光学要素を個別に制御する制御部とを有し、前記瞳強度分布を可変的に形成する空間光変調器を備えていることを特徴とする請求項２５または２６に記載の照明光学系。

［請求項28］ 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を有し、前記制御部は前記複数のミラー要素の姿勢を個別に制御することを特徴とする請求項２７に記載の照明光学系。

［請求項29］ 前記第１照明領域内の任意の点に達する光は、前記複数の光学要素のうちの第１群の光学要素を経て前記任意の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記任意の点に入射する光であり、前記第２照明領域内の任意の点に達する光は、前記複数の光学要素において前記第１群に隣接する第２群の光学要素を経て前記任意の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記任意の点に入射する光であり、

前記制御部は、前記第１群の光学要素を仮想分割して得られる複数の第１部分群の各群に属する光学要素を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記任意の点に入射し、前記第２群の光学要素を仮想分割して得られる複数の第２部分群の各群に属する光学要素を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記任意の点に入射するように、前記複数の光学要素を個別に制御することを特徴とする請求項２７または２８に記載の照明光学系。

［請求項30］ 前記空間光変調素子は、前記瞳強度分布を固定的に形成する回折光学素子を有することを特徴とする請求項２５または２６に記載の照明光学系。

［請求項31］ 前記第１照明領域内の任意の点に達する光は、前記回折光学素子の回折光学面の第１領域を経て前記任意の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記任意の点に入射する光であり、前記第２照明領域内の任意の点に達する光は、前記回折光学面において前記第１領域に隣接する第２領域を経て前記任意の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記任意の点に入射する光であり、

前記回折光学面は、前記第１領域を仮想分割して得られる複数の第１部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記第１照明領域内の前記任意の点に入射し、前記第２領域を仮想分割して得られる複数の第２部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記第２照明領域内の前記任意の点に入射するように形成されていることを特徴とする請求項３０に記載の照明光学系。

［請求項32］ 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、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記照明光学系の照明瞳に瞳強度分布を形成するために入射光を空間的に変調して射出する空間光変調素子と、

前記空間光変調素子と前記被照射面との間の光路中に配置されて、第１方向に沿って所定のピッチで配列された複数の入射屈折面と、前記複数の入射屈折面に対して前記第１方向に位置ずれして配列された複数の射出屈折面とを有するオプティカルインテグレータと、

前記空間光変調素子と前記オプティカルインテグレータの入射側の面とを光学的にフーリエ変換の関係に配置する第１リレー光学系と、

前記オプティカルインテグレータとの組み合わせにより、前記オプティカルインテグレータの入射側の面と光学的に共役な共役面を、前

記被照射面の位置または前記被照射面と光学的に共役な位置に形成する第２リレー光学系とを備え、

前記空間光変調素子の変調作用面の第１変調領域を経た光は、前記オプティカルインテグレータを介して、前記共役面に形成される照明領域内の第１照明領域を形成し、前記変調作用面において前記第１変調領域と前記第１方向に隣接する前記第２変調領域を経た光は、前記オプティカルインテグレータを介して、前記照明領域内の前記第１照明領域と前記第１方向に隣接する第２照明領域を形成することを特徴とする照明光学系。

［請求項33］ 前記照明領域は、前記第１方向に沿って長辺を有する矩形状であることを特徴とする請求項３２に記載の照明光学系。

［請求項34］ 前記第１変調領域と前記第２変調領域とは、前記変調作用面において前記第１方向と直交する所定の軸線に関して対称であり、

前記第１照明領域と前記第２照明領域とは、前記共役面において前記第１方向と直交する所定の軸線に関して対称であることを特徴とする請求項３２または３３に記載の照明光学系。

［請求項35］ 前記空間光変調素子は、所定面に配列されて個別に制御される複数の光学要素と、該複数の光学要素を個別に制御する制御部とを有し、前記瞳強度分布を可変的に形成する空間光変調器を備えていることを特徴とする請求項３２乃至３４のいずれか１項に記載の照明光学系。

［請求項36］ 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を有し、前記制御部は前記複数のミラー要素の姿勢を個別に制御することを特徴とする請求項３５に記載の照明光学系。

［請求項37］ 前記第１照明領域内の任意の点に達する光は、前記複数の光学要素のうちの第１群の光学要素を経て前記任意の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記任意の点に入射する光であり、前記第２照明領域内の任意の点に達する光は、前記複数の光学要素において前記第１群と前記第１方向に隣接する第２群の光学要素を経て前記任意の点に関する

瞳強度分布を形成した後に前記任意の点に入射する光であり、

前記制御部は、前記第１群の光学要素を仮想分割して得られる複数の第１部分群の各群に属する光学要素を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記任意の点に入射し、前記第２群の光学要素を仮想分割して得られる複数の第２部分群の各群に属する光学要素を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記任意の点に入射するように、前記複数の光学要素を個別に制御することを特徴とする請求項３５または３６に記載の照明光学系。

[請求項38] 前記空間光変調素子は、前記瞳強度分布を固定的に形成する回折光学素子を有することを特徴とする請求項３２乃至３４のいずれか１項に記載の照明光学系。

[請求項39] 前記第１照明領域内の任意の点に達する光は、前記回折光学素子の回折光学面の第１領域を経て前記任意の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記任意の点に入射する光であり、前記第２照明領域内の任意の点に達する光は、前記回折光学面において前記第１領域と前記第１方向に隣接する第２領域を経て前記任意の点に関する瞳強度分布を形成した後に前記任意の点に入射する光であり、

前記回折光学面は、前記第１領域を仮想分割して得られる複数の第１部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記第１照明領域内の前記任意の点に入射し、前記第２領域を仮想分割して得られる複数の第２部分領域の各領域を経た光が互いに同じ光強度分布を前記照明瞳に形成した後に前記第２照明領域内の前記任意の点に入射するように形成されていることを特徴とする請求項３８に記載の照明光学系。

[請求項40] 前記オプティカルインテグレータの前記複数の入射屈折面と前記複数の射出屈折面とは前記第１方向に半ピッチだけ位置ずれしていることを特徴とする請求項３２乃至３９のいずれか１項に記載の照明光学系。

［請求項41］ 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、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記照明光学系の照明瞳に瞳強度分布を形成するために入射光を空間的に変調して射出する空間光変調素子と、

前記空間光変調素子と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記空間光変調素子の変調作用面と光学的に共役な共役面を、前記被照射面の位置または前記被照射面と光学的に共役な位置に形成するリレー光学系と、

前記リレー光学系の瞳空間に配置されて、所定の射出側開口数を有する複数の単位領域を有する拡散素子とを備え、

前記空間光変調素子の前記変調作用面は、前記変調作用面での位置に応じて射出光の射出角度を設定し、

前記拡散素子の前記単位領域は、前記単位領域の光軸に対して斜めに入射する斜入射光束を前記単位領域の前記光軸に対して斜めに射出することを特徴とする照明光学系。

［請求項42］ 前記被照射面と光学的に共役な面を形成する投影光学系と組み合わせて用いられ、前記照明瞳は前記投影光学系の開口絞りと光学的に共役な位置であることを特徴とする請求項１乃至４１のいずれか１項に記載の照明光学系。

［請求項43］ 前記照明光学系の照明瞳に形成される瞳強度分布を計測する瞳分布計測部を備え、

前記瞳分布計測部は、複数のピンホールが設けられた部材であって前記複数のピンホールを前記被照射面または前記被照射面と共役な面に設定可能なピンホールアレイ部材と、各ピンホールを通過した光が所定面に形成する、前記瞳強度分布に対応する光強度分布をそれぞれ計測する計測部とを有することを特徴とする請求項１乃至４２のいずれか１項に記載の照明光学系。

［請求項44］ 前記計測部が計測した前記光強度分布から、前記複数のピンホールへ

それぞれ入射する光の角度分布を求める処理部をさらに備えることを特徴とする請求項４３に記載の照明光学系。

[請求項45] 前記処理部は、前記ピンホールの射影特性を考慮して前記光の角度分布を求めることを特徴とする請求項４４に記載の照明光学系。

[請求項46] 前記射影特性はｆtanθの射影特性であることを特徴とする請求項４５に記載の照明光学系。

[請求項47] 前記ピンホールと前記所定面との間に配置されて、入射する光を可視光に変換する波長変換部を備えることを特徴とする請求項４３乃至４６のいずれか１項に記載の照明光学系。

[請求項48] 前記ピンホールと前記所定面との間に気体が介在しないことを特徴とする請求項４０乃至４７のいずれか１項に記載の照明光学系。

[請求項49] 所定のパターンを照明するための請求項１乃至４８のいずれか１項に記載の照明光学系を備え、前記所定のパターンを基板に露光することを特徴とする露光装置。

[請求項50] 前記所定のパターンの像を前記基板上に形成する投影光学系を備え、前記照明瞳は前記投影光学系の開口絞りと光学的に共役な位置であることを特徴とする請求項４９に記載の露光装置。

[請求項51] 前記照明光学系は、第１方向に細長い矩形状の複数の単位波面分割面を有するオプティカルインテグレータを備え、

前記投影光学系に対して前記所定のパターンおよび前記基板を、前記第１方向と直交する第２方向に対応する走査方向に沿って相対移動させて、前記所定のパターンを前記基板へ投影露光することを特徴とする請求項４９または５０に記載の露光装置。

[請求項52] 前記投影光学系の瞳面に形成される瞳強度分布を計測する第２瞳分布計測部を備え、

前記第２瞳分布計測部は、複数のピンホールが設けられた部材であって前記複数のピンホールを前記投影光学系の像面に設定可能なピンホールアレイ部材と、各ピンホールを通過した光が所定面に形成する

、前記瞳強度分布に対応する光強度分布をそれぞれ計測する計測部とを有することを特徴とする請求項５０または５１に記載の露光装置。

[請求項53] 請求項４９乃至５２のいずれか１項に記載の露光装置を用いて、前記所定のパターンを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、を含むことを特徴とするデバイス製造方法。

[請求項54] 第１面上の離散的な複数の計測点にそれぞれ入射する光の角度分布を計測する装置において、

前記第１面上の前記複数の計測点に配置されて、前記複数の計測点に入射する光をそれぞれ通過させる光通過部と、前記第１面上の前記光通過部以外の領域に配置されて該領域を介した光を減光する減光部とを備える光選択部材と、

前記光選択部材を介した光の進行方向において前記第１面とは異なる第２面に配置された受光面を備え、前記第２面に二次元的に分布する光の強度分布を計測する計測部とを備える装置。

[請求項55] 前記計測部が計測した前記光の強度分布から、前記光の角度分布を求める処理部をさらに備えることを特徴とする請求項５４に記載の装置。

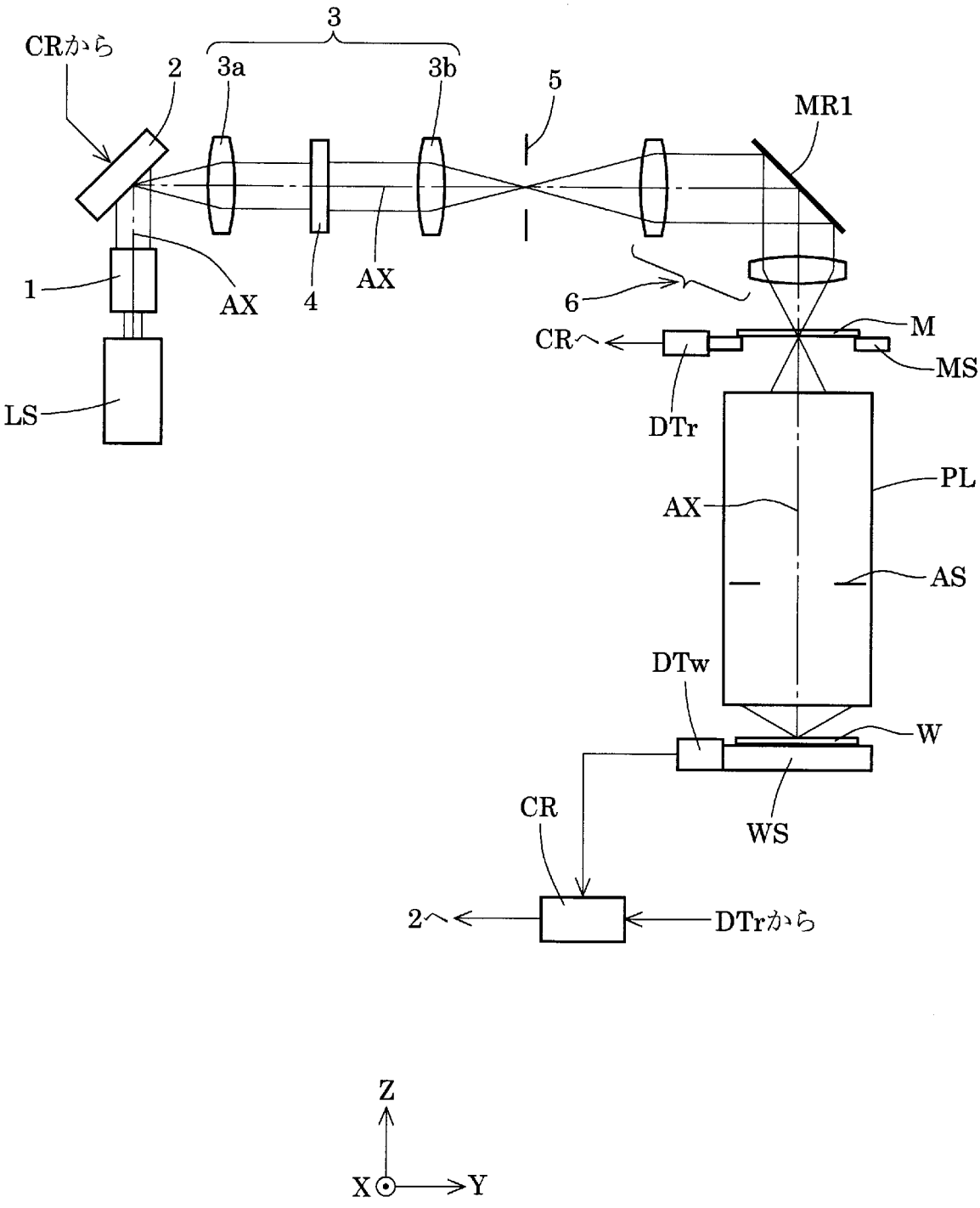
[請求項56] 前記処理部は、前記光通過部の射影特性を考慮して前記光の角度分布を求めることを特徴とする請求項５５に記載の装置。

[請求項57] 前記射影特性はｆ$\tan\theta$の射影特性であることを特徴とする請求項５６に記載の装置。

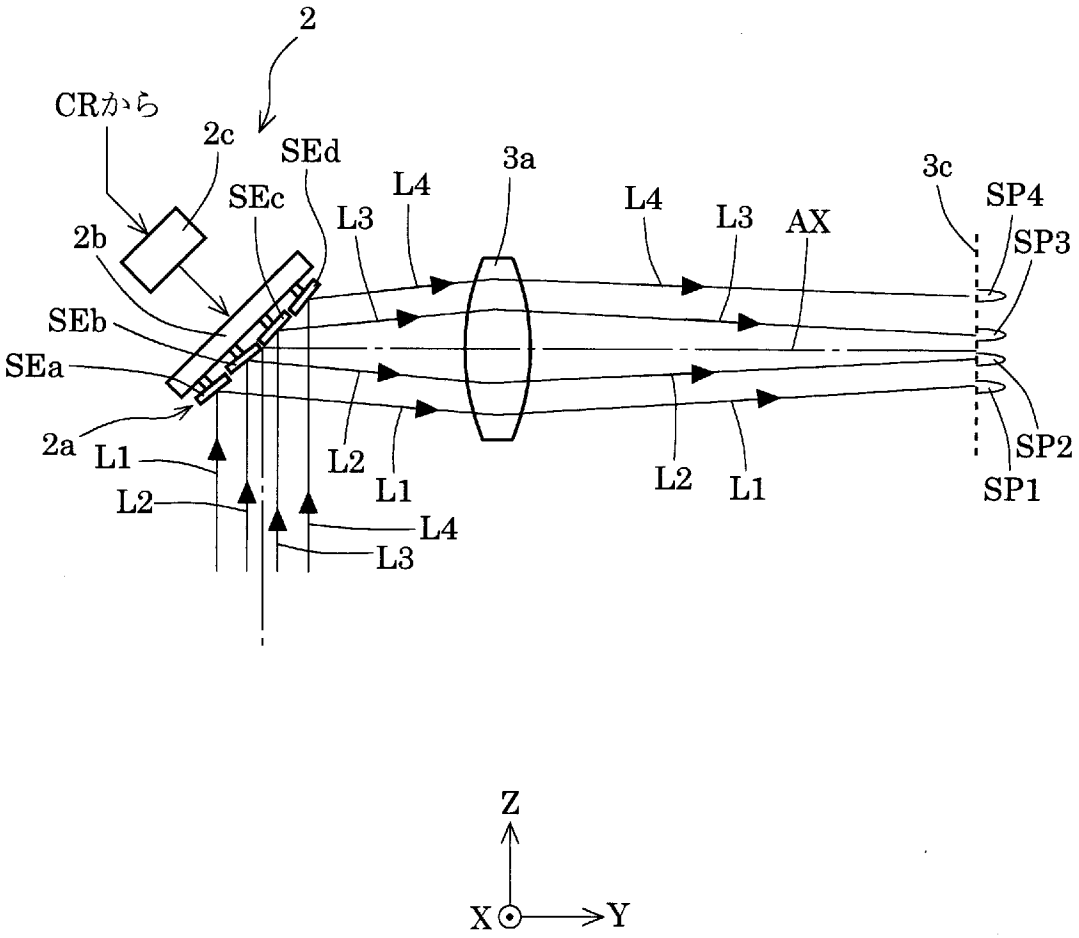
[請求項58] 前記光通過部と前記受光面との間に配置されて、入射する光を可視光に変換する波長変換部を備えることを特徴とする請求項５４乃至５７のいずれか１項に記載の装置。

［請求項59］ 前記光通過部と前記受光面との間に気体が介在しないことを特徴とする請求項５４乃至５８のいずれか１項に記載の装置。

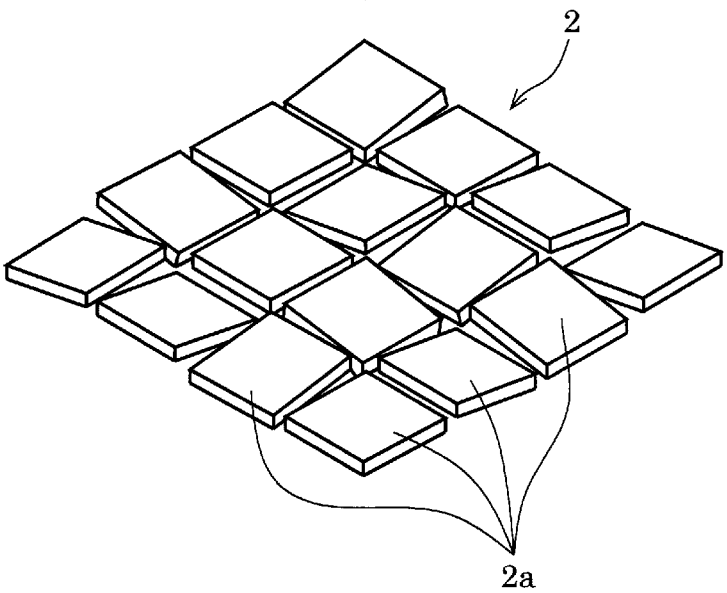
[図1]


CRから
2
3
3a
3b
5
MR1
1
AX
4
AX
6
CR
M
MS
LS
DTr
PL
AX
AS
DTw
W
CR
WS
2へ
DTrから
Z
X
Y

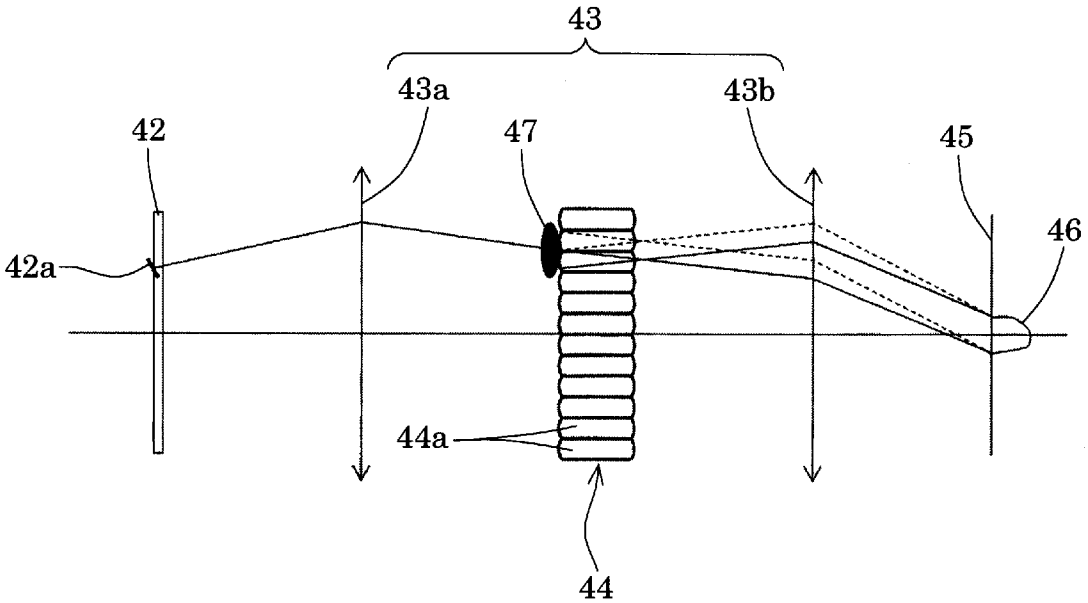
[図2]


2
CRから
2c
SEd
SEc
L3
L4
3a
L4
L3
AX
3c
SP4
SP3
2b
SEb
SEa
2a
L1
L2
L2
L1
L4
L3
L2
L1
SP2
SP1
Z
X
Y

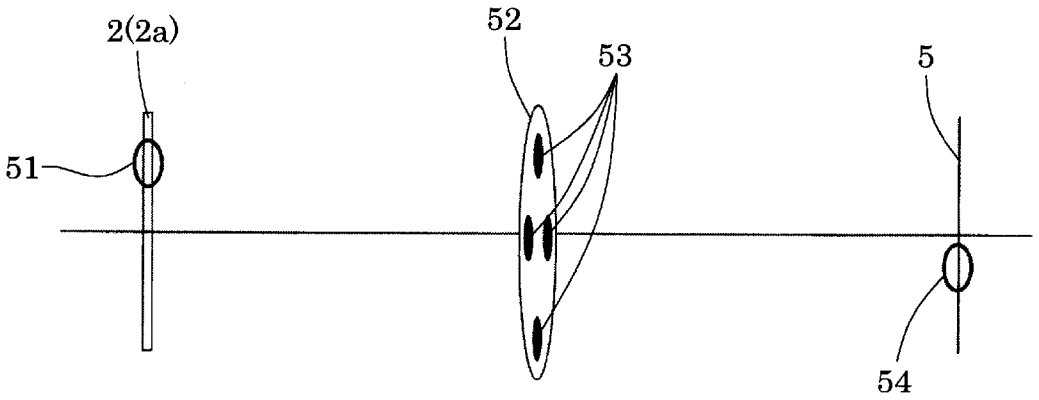
[図3]



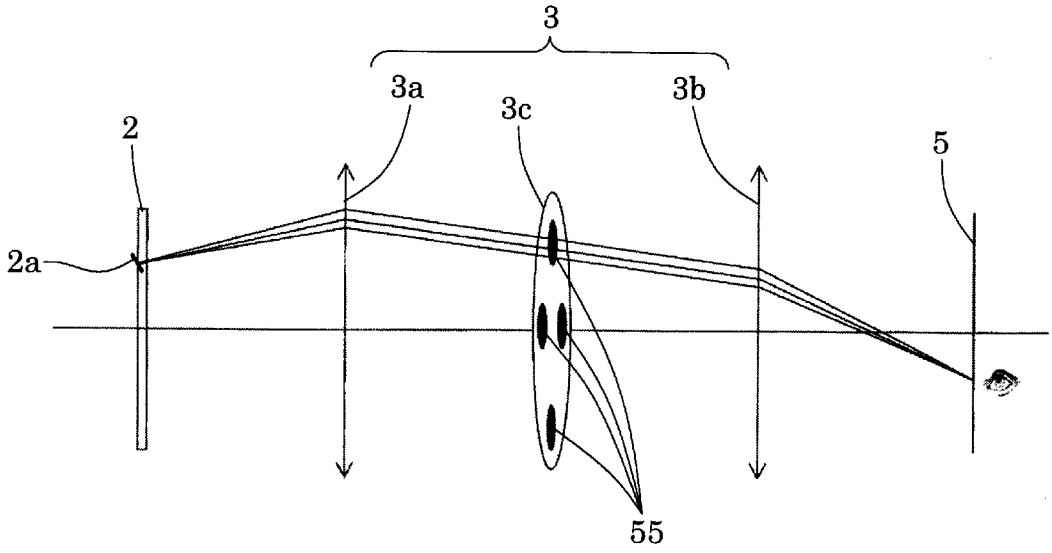
[図4]



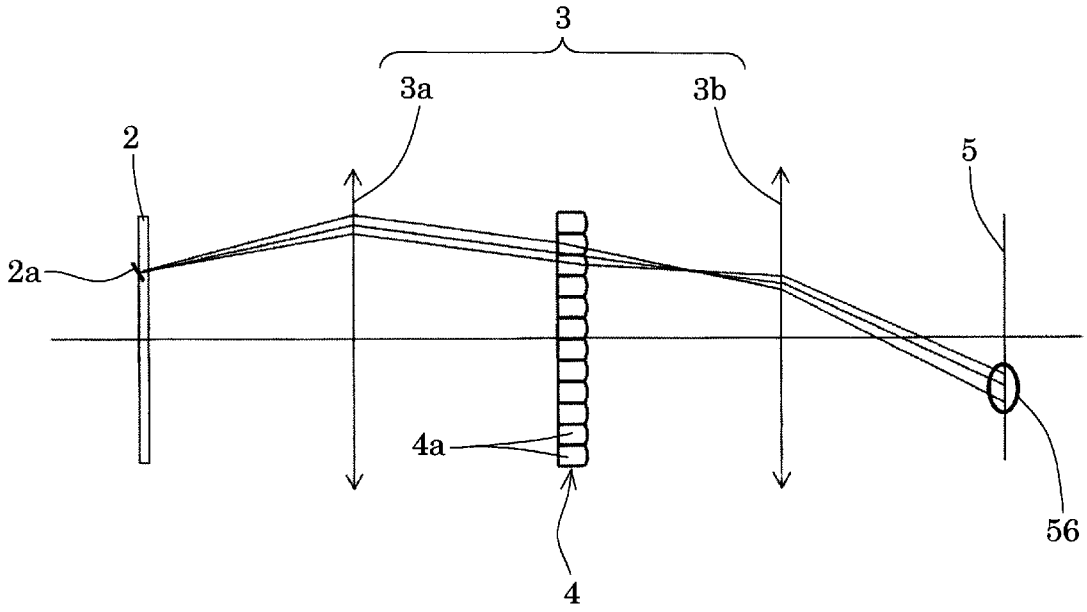
[図5]



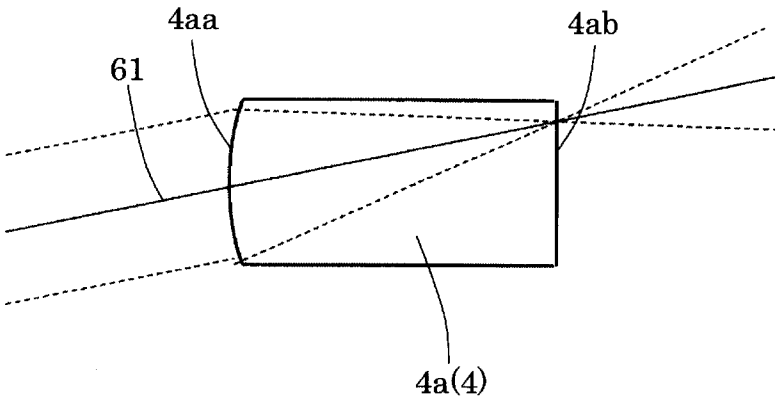
[図6]



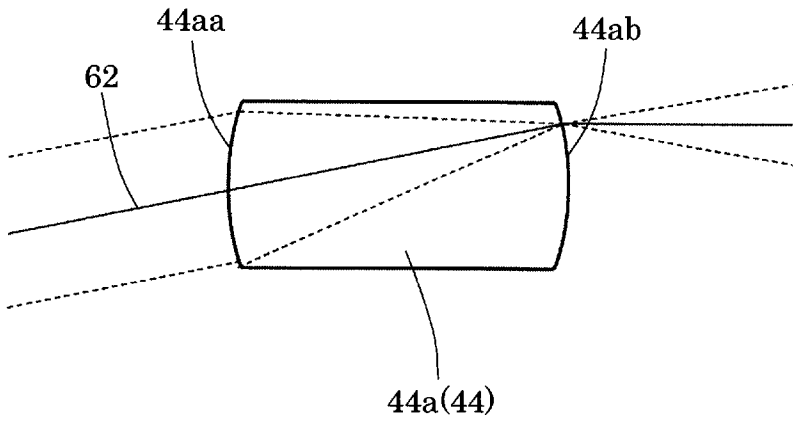
[図7]



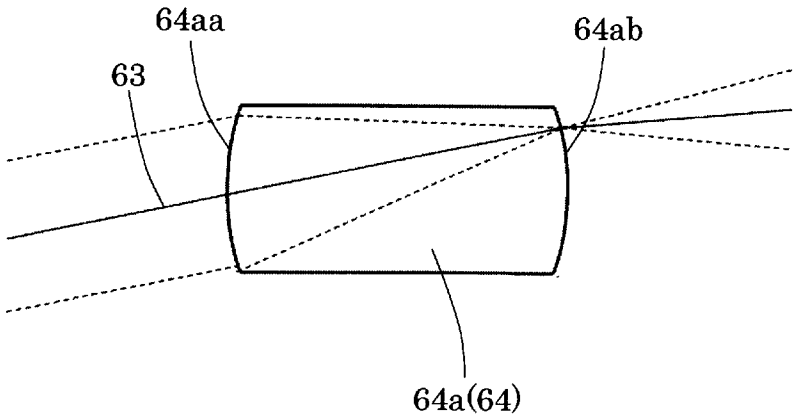
[図8]



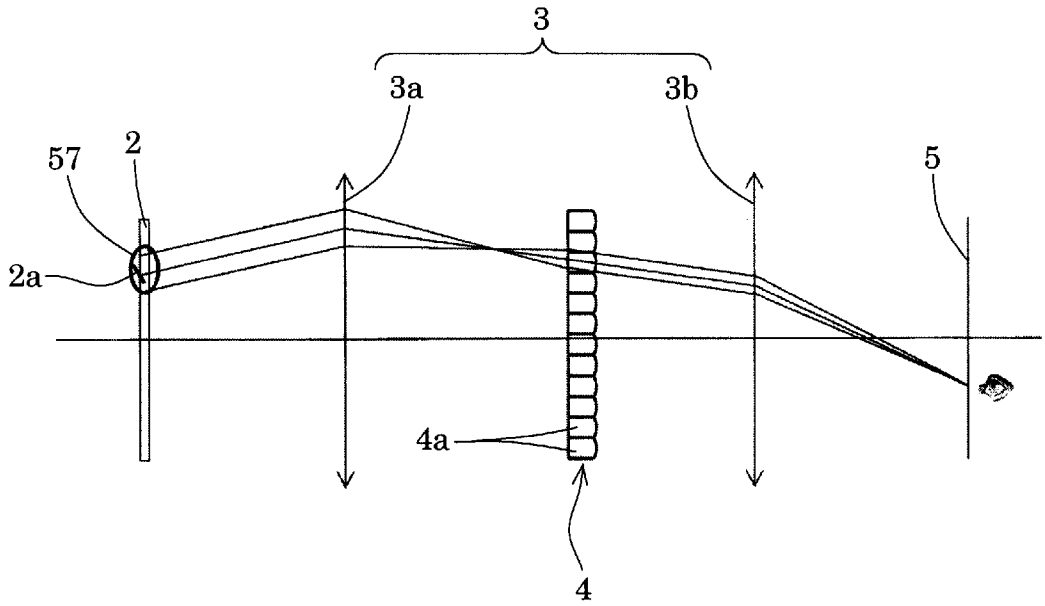
[図9]



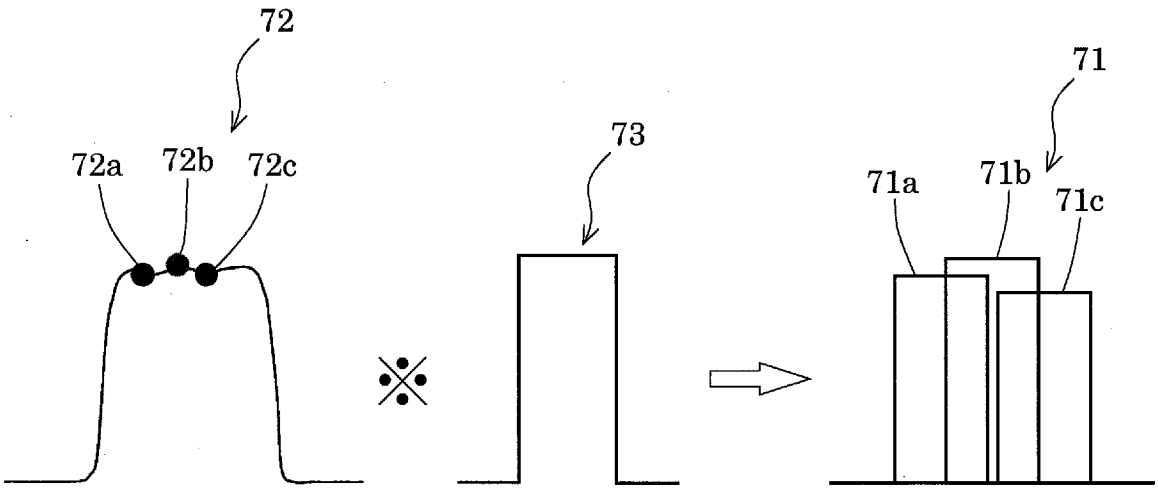
[図10]



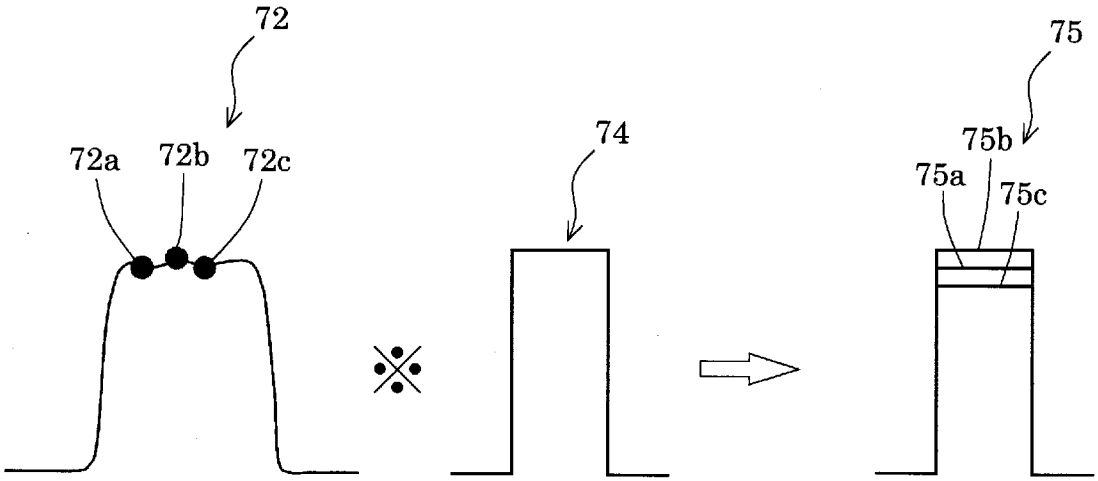
[図11]



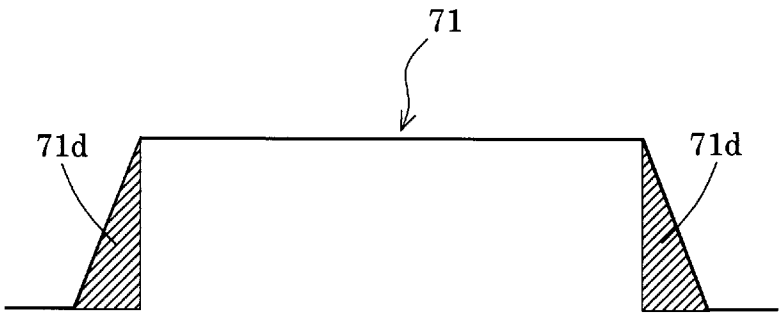
[図12]



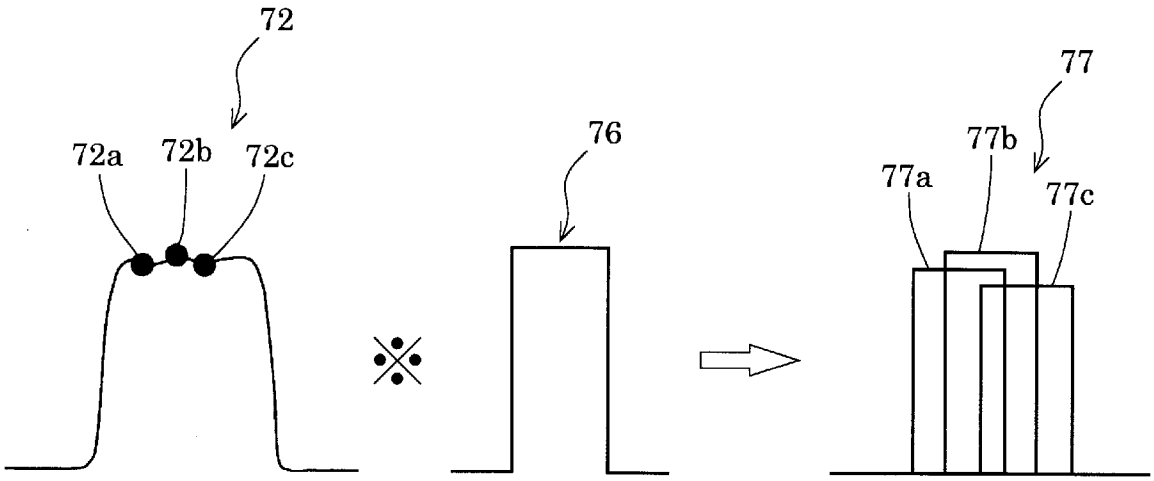
[図13]



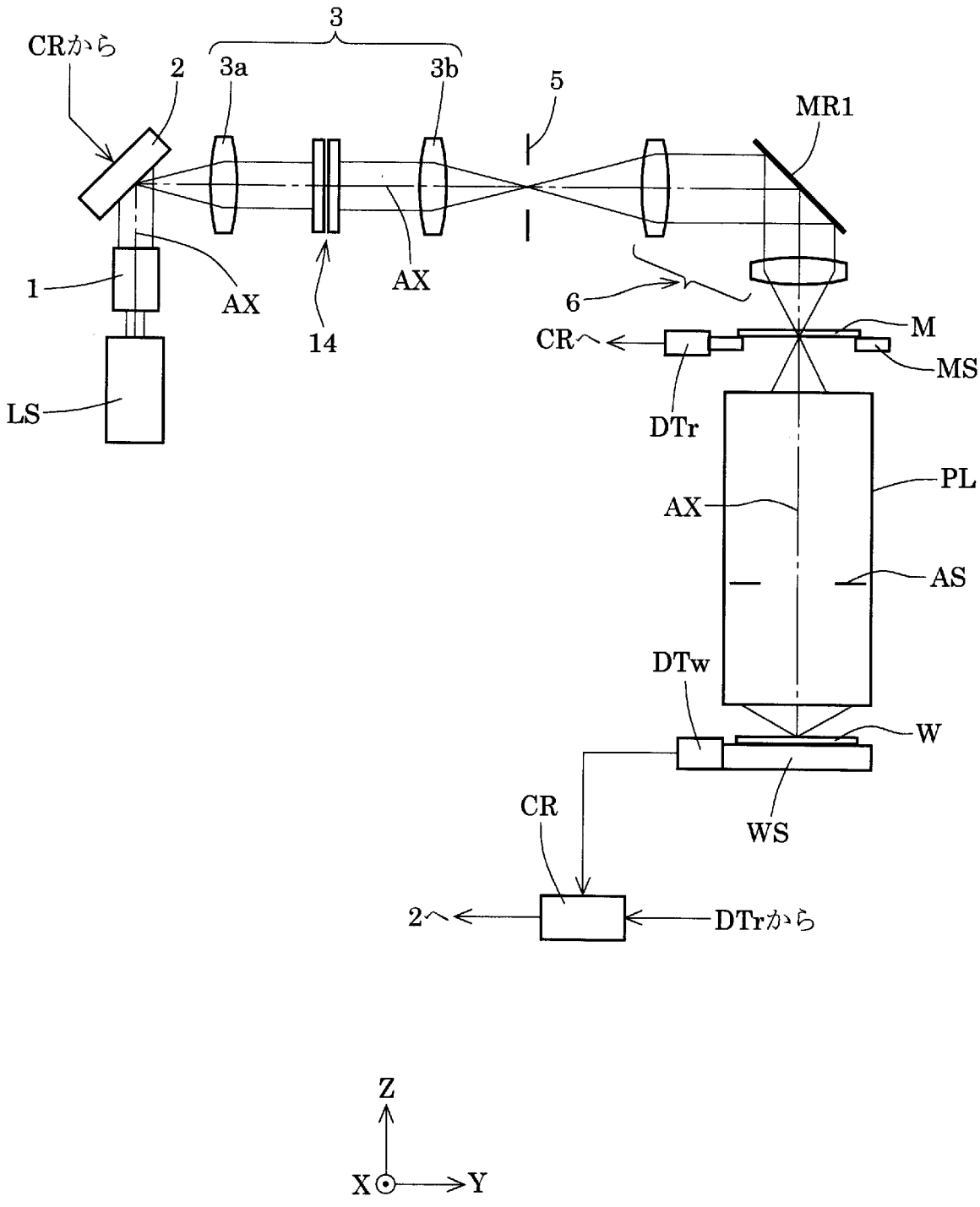
[図14]



[図15]

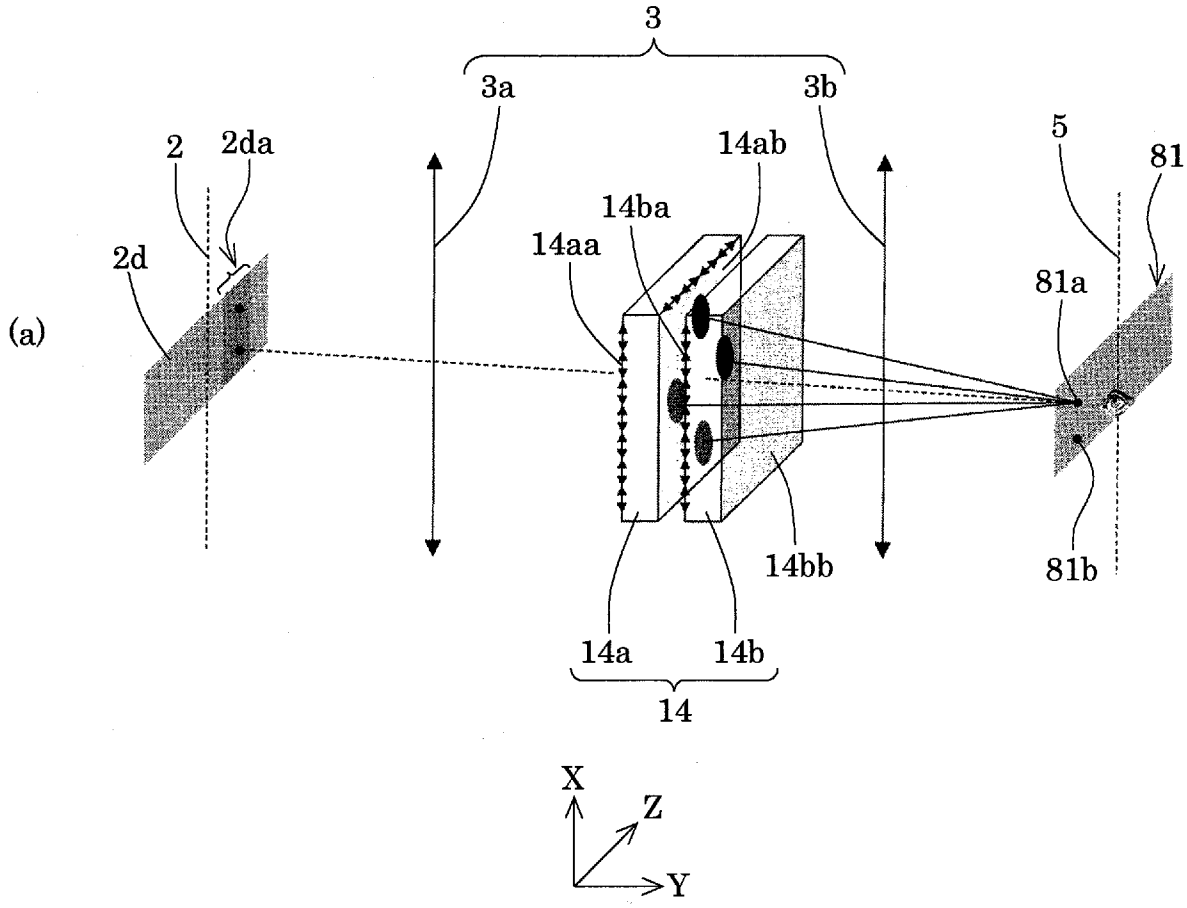


[図16]

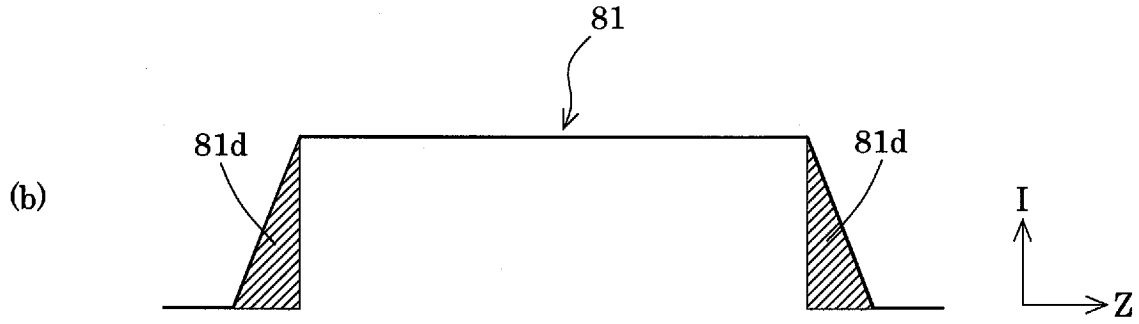

CRから
2
3
3a
3b
5
MR1
1
AX
14
AX
6
CR
M
MS
LS
DTr
PL
AX
AS
DTw
W
CR
WS
2へ
DTrから
Z
X
Y

[図17]

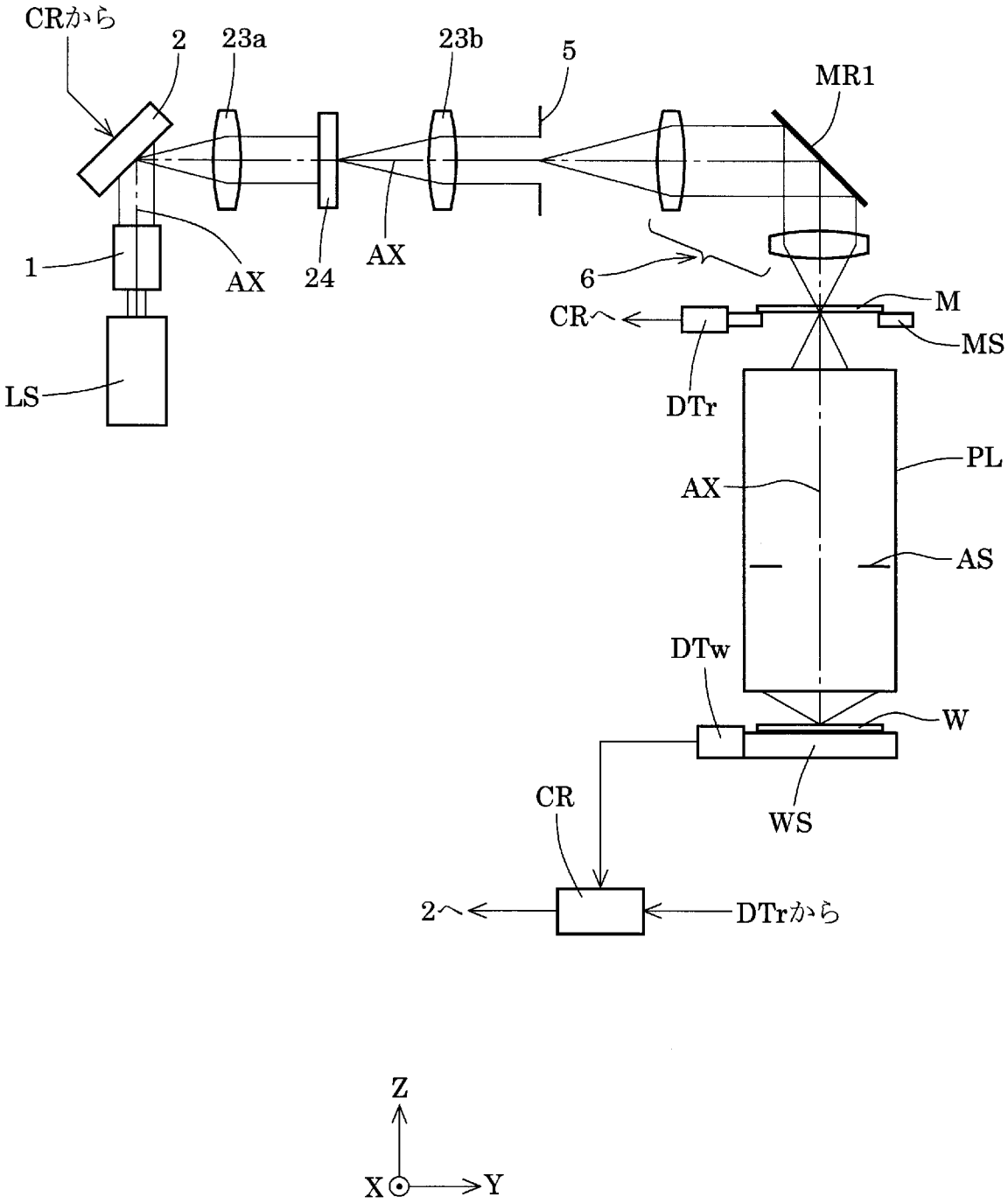
(a)


3
3a
3b
2
2da
2d
14ab
14ba
14aa
5
81
81a
81b
14bb
14a
14b
14
X
Z
Y

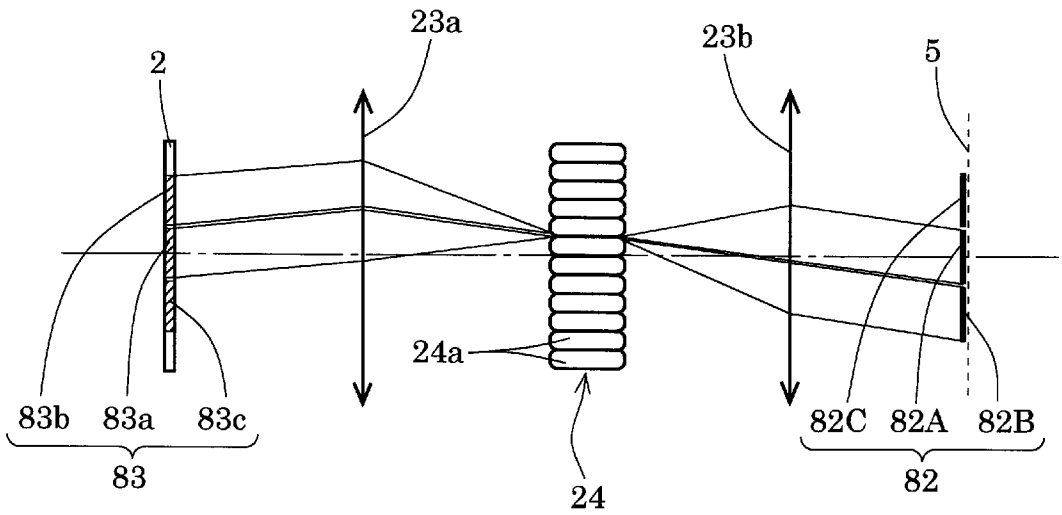
(b)

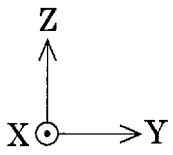

81
81d
81d
I
Z

[図18]

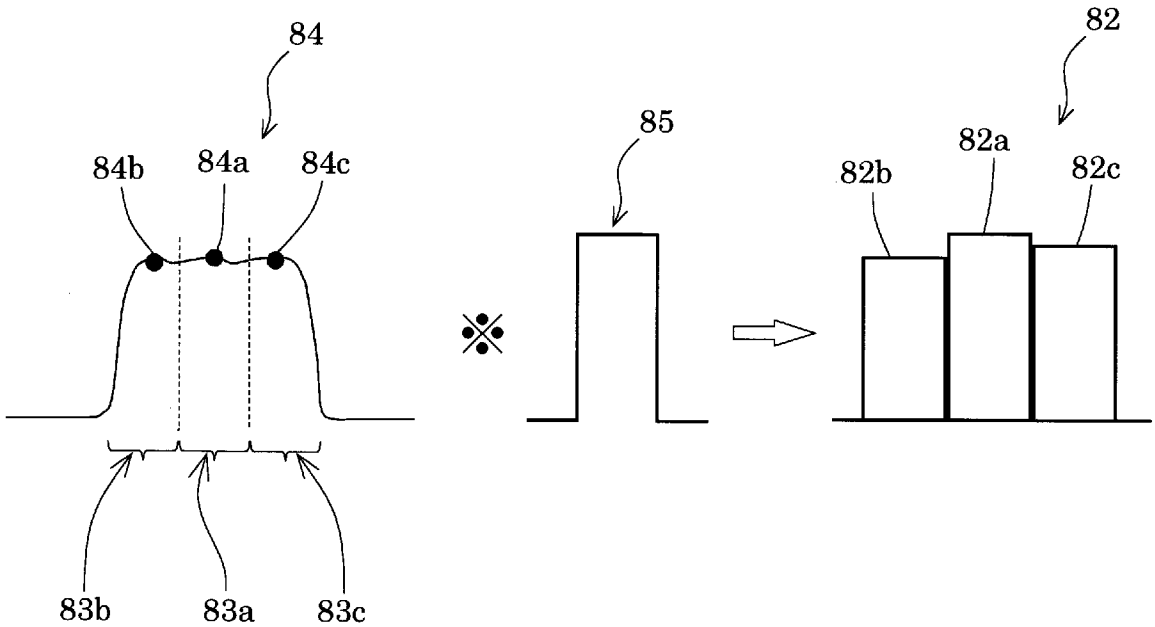

CRから
2
23a
23b
5
MR1
1
AX
24
AX
6
CR
M
MS
LS
DTr
PL
AX
AS
DTw
W
CR
WS
2へ
DTrから
Z
X
Y

[図19]

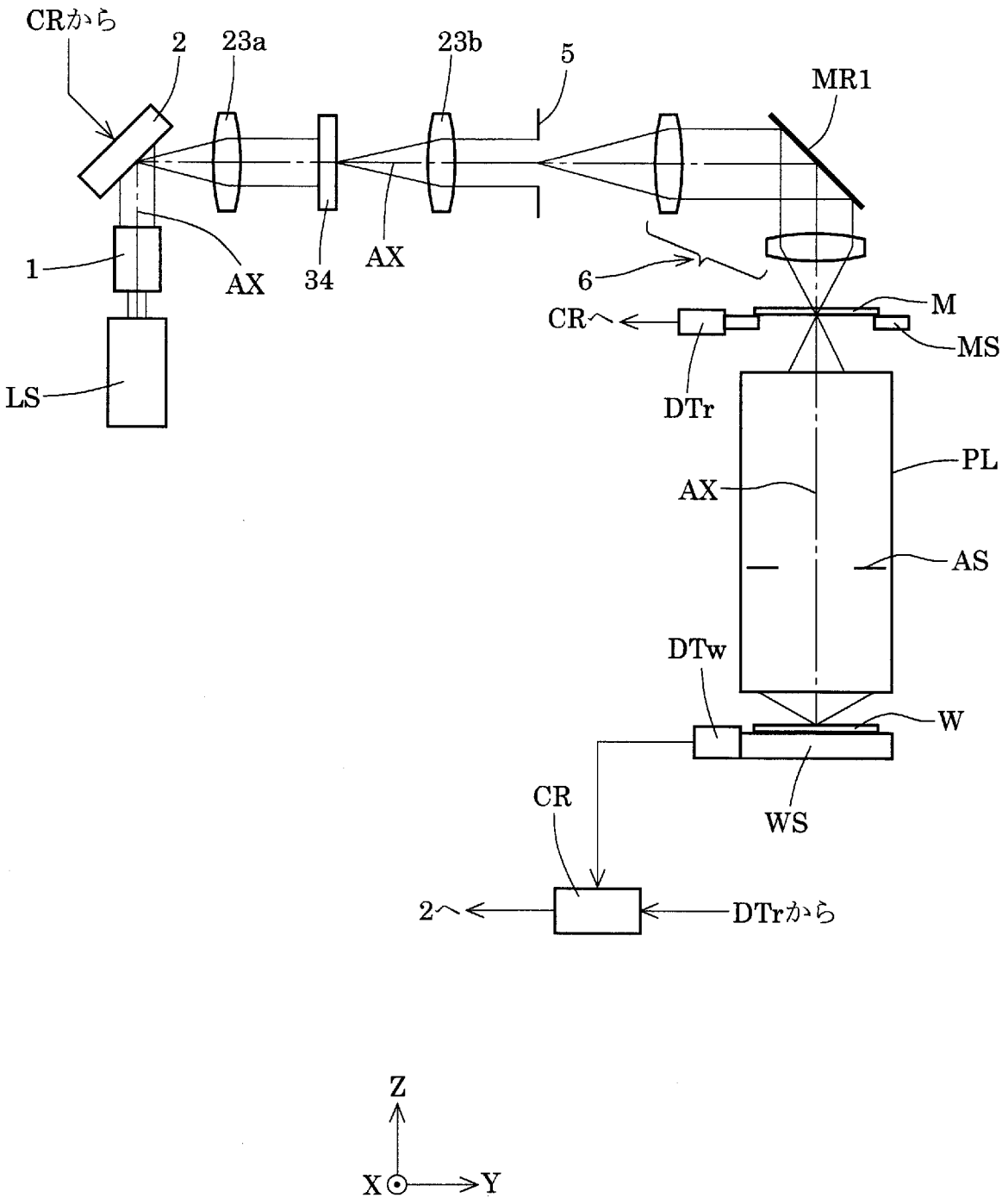

23a
2
23b
5
24a
83b
83a
83c
83
24
82C
82A
82B
82


Z
X
Y

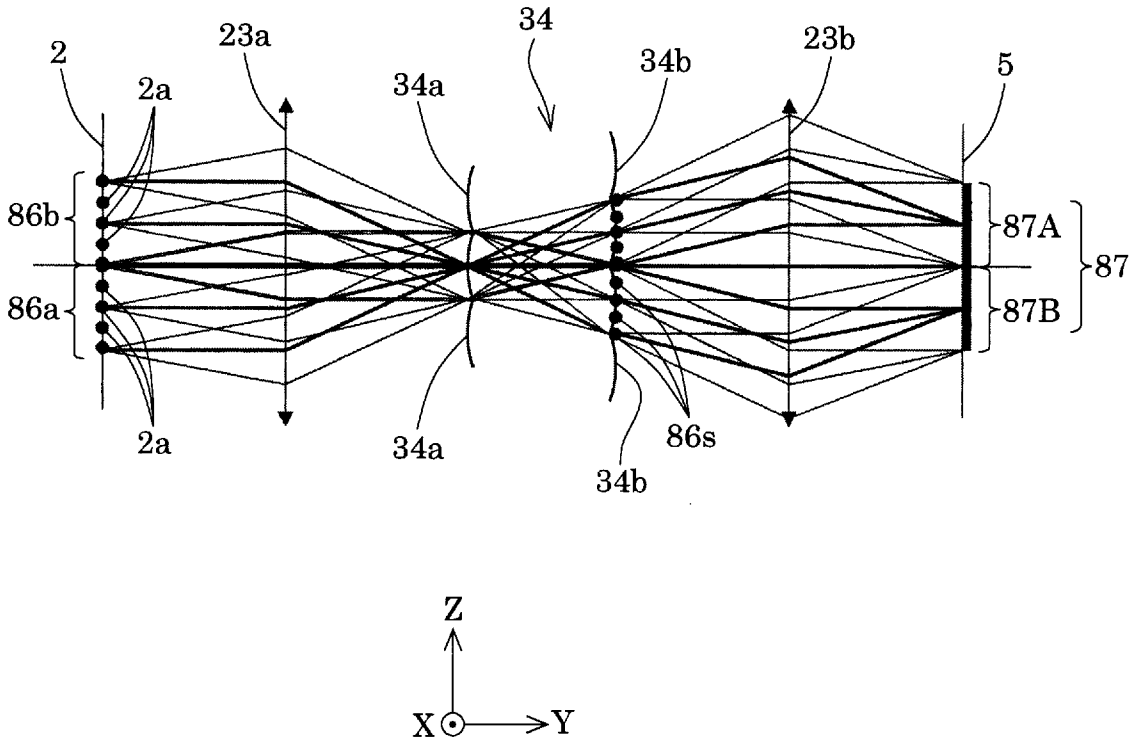
[図20]


84
84b
84a
84c
85
82
82a
82b
82c
83b
83a
83c

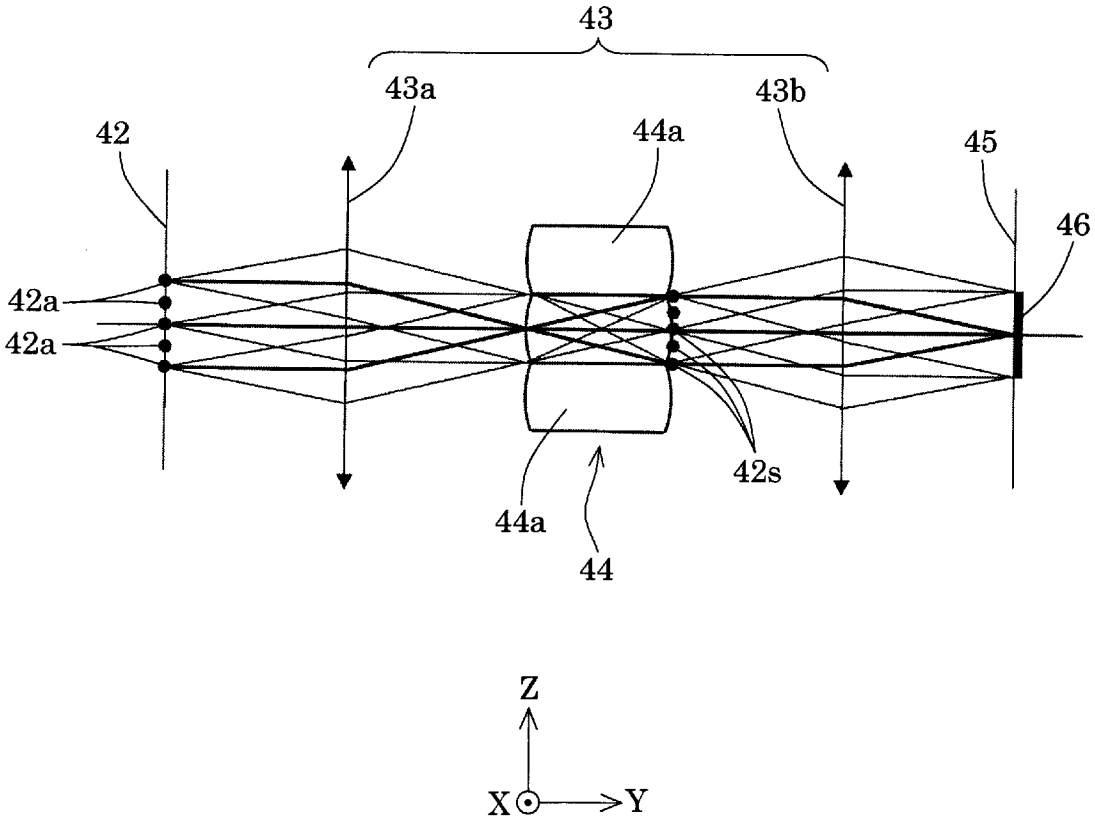
[図21]


CRから
2
23a
23b
5
MR1
1
AX
34
AX
6
M
CR
MS
LS
DTr
PL
AX
AS
DTw
W
CR
WS
2へ
DTrから
Z
X
Y

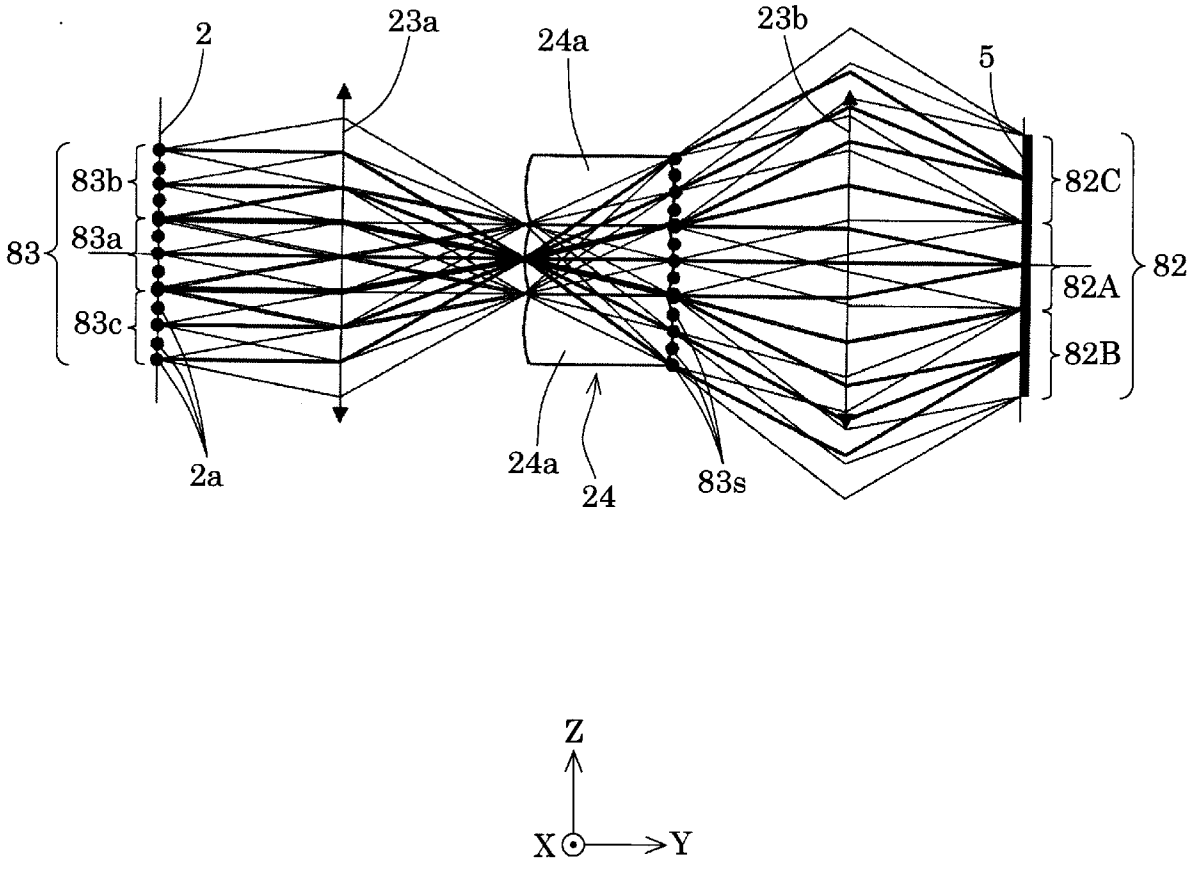
[図22]



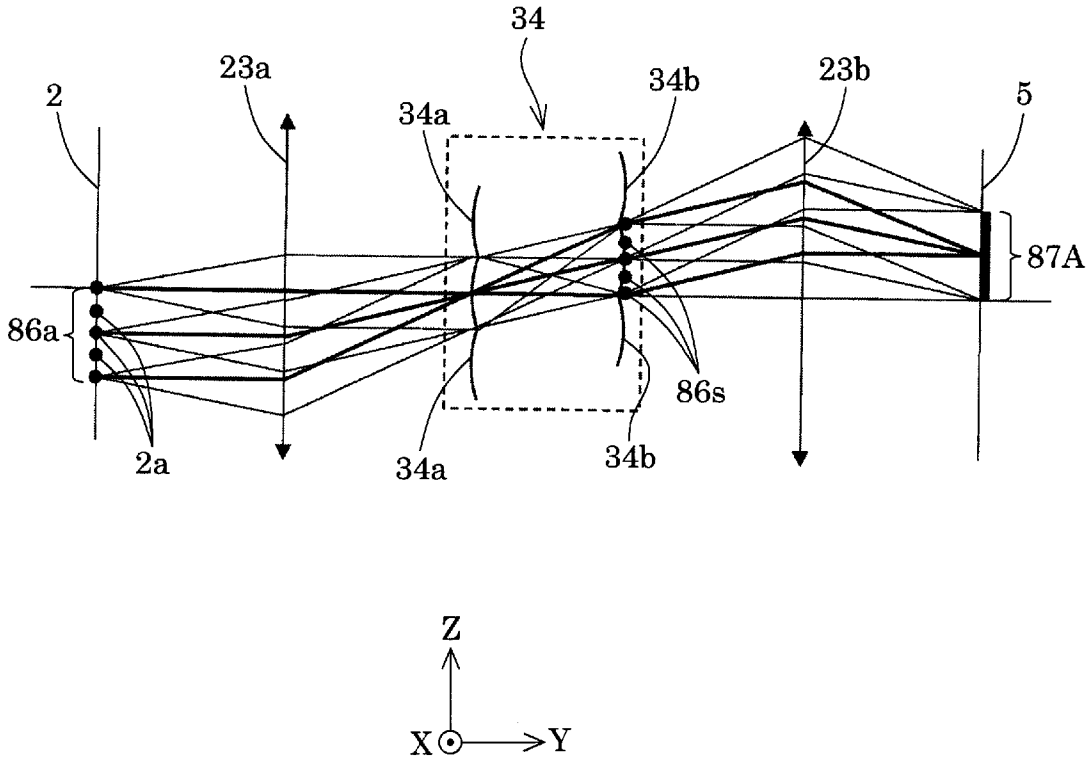
[図23]



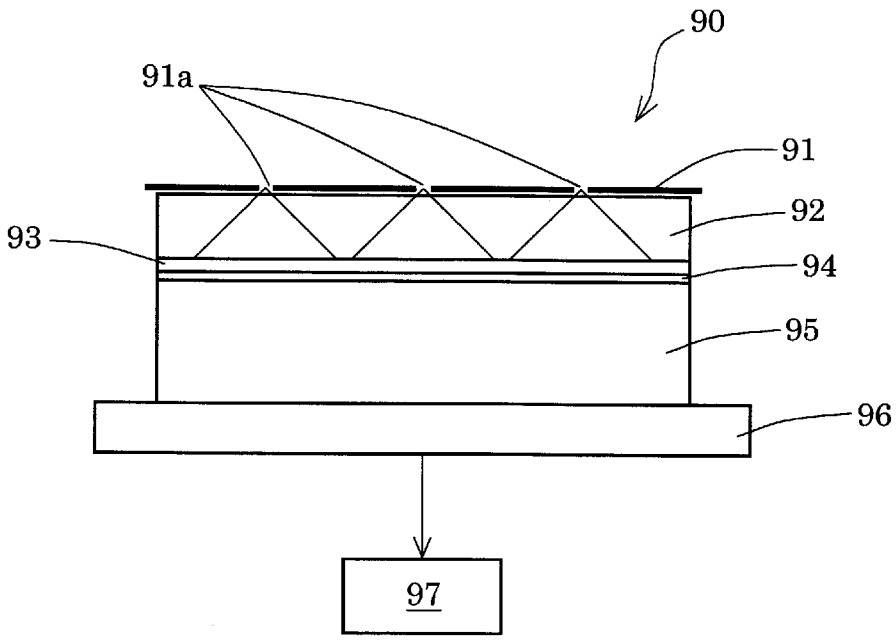
[図24]



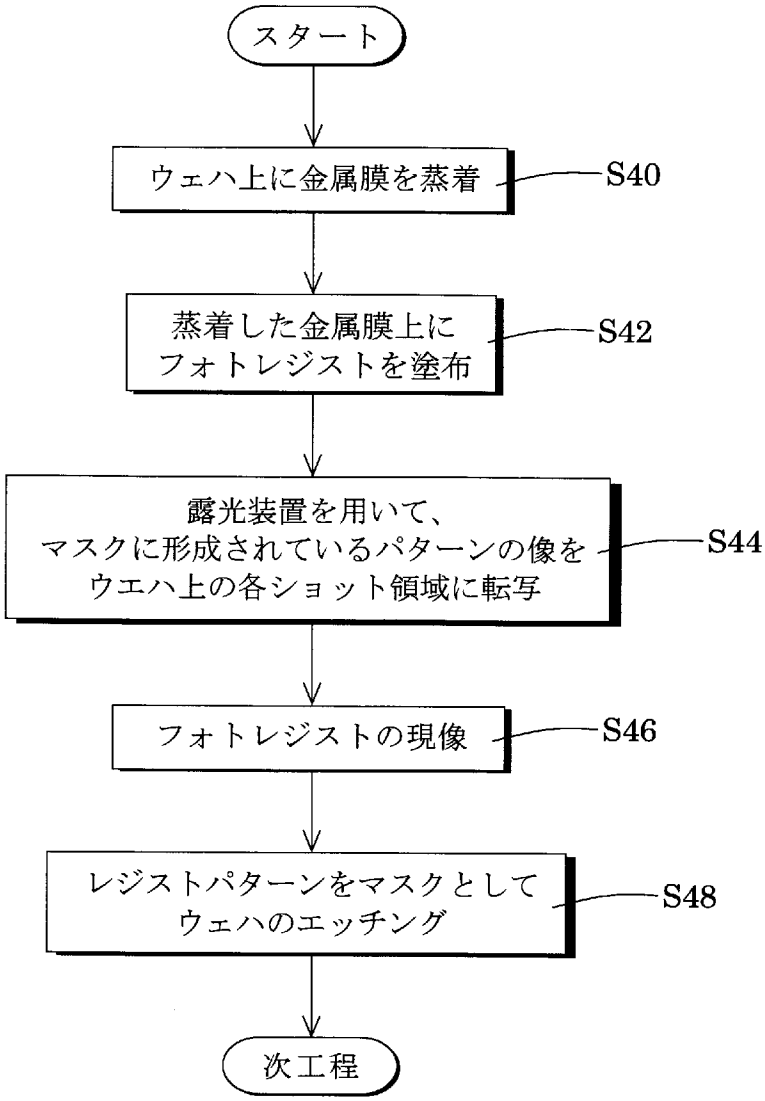
[図25]


34
23a
34b
23b
2
34a
5
87A
86a
86s
2a
34a
34b
Z
X
Y

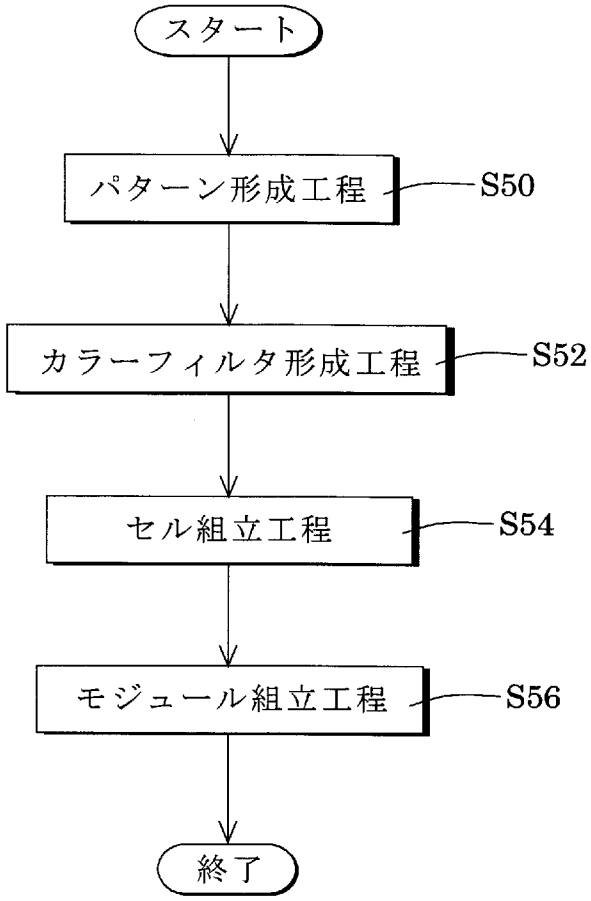
[図26]


90
91a
91
92
93
94
95
96
97

[図27]


スタート
ウェハ上に金属膜を蒸着
S40
蒸着した金属膜上に
フォトレジストを塗布
S42
露光装置を用いて、
マスクに形成されているパターンの像を
ウエハ上の各ショット領域に転写
S44
フォトレジストの現像
S46
レジストパターンをマスクとして
ウェハのエッチング
S48
次工程

[図28]


スタート
パターン形成工程
S50
カラーフィルタ形成工程
S52
セル組立工程
S54
モジュール組立工程
S56
終了

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/068635

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01L21/027(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, 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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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 Y A	WO 2011/157601 A2 (CARL ZEISS SMT GMBH), 22 December 2011 (22.12.2011), description, page 9, line 1 to page 23, line 17; fig. 1 to 5 & US 2013/0077076 A1 & EP 2583141 A & DE 102010030089 A & DE 102010030089 A1 & TW 201219987 A	1-3,7-12, 16-42,49-51, 53 13-15,43-48, 52 4-6
Y	JP 2002-217083 A (Canon Inc.), 02 August 2002 (02.08.2002), paragraph [0052] (Family: none)	13-15,43-48, 52
Y	JP 2010-153663 A (Nikon Corp.), 08 July 2010 (08.07.2010), paragraphs [0027] to [0030]; fig. 2 (Family: none)	13-15,43-48, 52

☒ 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	Date of mailing of the international search report
20 September, 2013 (20.09.13)	01 October, 2013 (01.10.13)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/068635

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2010-048802 A (Canon Inc.), 04 March 2010 (04.03.2010), claims 1, 2; paragraphs [0027], [0028] & US 2010/0020303 A1	43-48,52
Y	JP 2010-153413 A (Canon Inc.), 08 July 2010 (08.07.2010), paragraphs [0041], [0055] (Family: none)	44-48
Y	JP 2009-205952 A (Komatsu Ltd., Gigaphoton Inc.), 10 September 2009 (10.09.2009), paragraph [0043] (Family: none)	47,48
A	JP 2012-004558 A (Nikon Corp.), 05 January 2012 (05.01.2012), entire text; all drawings (Family: none)	1-53
A	WO 2009/060744 A1 (Nikon Corp.), 14 May 2009 (14.05.2009), entire text; all drawings & US 2009/0115990 A1 & EP 2209135 A1 & KR 10-2010-0099152 A & TW 200938959 A	1-53
A	JP 2011-103465 A (Nikon Corp.), 26 May 2011 (26.05.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-53

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2013/068635

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The inventions of claims 1 to 53 and the inventions of claims 54 to 59 have a common feature in an angle distribution of light in an optical system, however, this common feature cannot be said to be a special technical feature because this very technical concept of the angle distribution of light is well known.

Further, there is no other same or corresponding special technical feature between these inventions.

Consequently, the following two inventions (invention groups) are involved in claims.

(Continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-53

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

(Invention 1) the inventions of claims 1-53

An illumination optical system for adjusting the angle at which light is emitted from a spatial light modulator; an optical stepper including the illumination optical system; and a device manufacturing method employing the optical stepper.

(Invention 2) the inventions of claims 54-59

A measuring device for measuring the angle distribution of light.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１３／０６８６３５

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L21/027(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（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01L21/027, 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	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１３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	WO 2011/157601 A2 (CARL ZEISS SMT GMBH) 2011.12.22, 明細書第９頁第１行－第２３頁第１７行、Fig.1－Fig.5 & US 2013/0077076 A1 & EP 2583141 A & DE 102010030089 A & DE 102010030089 A1 & TW 201219987 A	1-3, 7-12, 16-42, 49-51, 53
Y		13-15, 43-48, 52
A		4-6
Y	JP 2002-217083 A (キヤノン株式会社) 2002.08.02, 段落［００５２］（ファミリーなし）	13-15, 43-48, 52

☑　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	国際調査報告の発送日
２０．０９．２０１３	０１．１０．２０１３

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　２Ｍ　４４５６
赤尾　隼人
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２７４

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 2010-153663 A (株式会社ニコン) 2010.07.08, 段落［００２７］－［００３０］、図２（ファミリーなし）	13-15, 43-48, 52
Y	JP 2010-048802 A (キヤノン株式会社) 2010.03.04, 請求項１，２、段落［００２７］,［００２８］ & US 2010/0020303 A1	43-48, 52
Y	JP 2010-153413 A (キヤノン株式会社) 2010.07.08, 段落［００４１］,［００５５］（ファミリーなし）	44-48
Y	JP 2009-205952 A (株式会社小松製作所、ギガフォトン株式会社) 2009.09.10, 段落［００４３］（ファミリーなし）	47, 48
A	JP 2012-004558 A (株式会社ニコン) 2012.01.05, 全文、全図（ファミリーなし）	1-53
A	WO 2009/060744 A1 (株式会社ニコン) 2009.05.14, 全文、全図 & US 2009/0115990 A1 & EP 2209135 A1 & KR 10-2010-0099152 A & TW 200938959 A	1-53
A	JP 2011-103465 A (株式会社ニコン) 2011.05.26, 全文、全図（ファミリーなし）	1-53

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１３／０６８６３５

第Ⅱ欄　請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第１ページの２の続き）

法第8条第3項（ＰＣＴ17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

１．☐ 請求項＿＿＿＿＿＿＿＿は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、

２．☐ 請求項＿＿＿＿＿＿＿＿は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

３．☐ 請求項＿＿＿＿＿＿＿＿は、従属請求の範囲であってＰＣＴ規則6.4(a)の第２文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄　発明の単一性が欠如しているときの意見（第１ページの３の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

請求項1-53 に係る発明と、請求項54-59 に係る発明とは、光学系の光の角度分布に関する点で共通するが、光の角度分布という技術思想自体は公知であるから、この共通点は、特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、ほかに同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。

よって、請求の範囲には、以下に示す2 の発明（群）が含まれる。

（発明１）請求項1-53 に係る発明

空間光変調素子からの射出光の角度を調節する照明光学系、当該照明光学系を備える露光装置、及び当該露光装置を用いたデバイス製造方法。

（発明２）請求項54-59 に係る発明

光の角度分布を計測する計測装置。

１．☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。

２．☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。

３．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。

４．☑ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

請求項 1-53

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。

☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。