

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5582287号
(P5582287)

(45) 発行日 平成26年9月3日 (2014.9.3)

(24) 登録日 平成26年7月25日 (2014.7.25)

(51) Int. Cl.	F I
H O 1 L 21/027 (2006.01)	H O 1 L 21/30 5 1 5 D
G O 3 F 7/20 (2006.01)	G O 3 F 7/20 5 2 1
G O 2 B 19/00 (2006.01)	G O 2 B 19/00
G O 2 B 5/30 (2006.01)	G O 2 B 5/30
G O 2 B 5/08 (2006.01)	G O 2 B 5/08 A

請求項の数 11 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2009-540018 (P2009-540018)	(73) 特許権者	000004112
(86) (22) 出願日	平成20年10月27日 (2008.10.27)		株式会社ニコン
(86) 国際出願番号	PCT/JP2008/069454		東京都千代田区有楽町1丁目12番1号
(87) 国際公開番号	W02009/060744	(74) 代理人	100098165
(87) 国際公開日	平成21年5月14日 (2009.5.14)		弁理士 大森 聡
審査請求日	平成23年10月5日 (2011.10.5)	(72) 発明者	大和 壮一
(31) 優先権主張番号	特願2007-289089 (P2007-289089)		東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
(32) 優先日	平成19年11月6日 (2007.11.6)		式会社ニコン内
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	谷津 修
前置審査			東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
			式会社ニコン内
		(72) 発明者	田中 裕久
			東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
			式会社ニコン内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明光学装置及び露光装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数のパルス光を用いて被照射面を照明する照明光学系を備える照明光学装置であって、

前記被照射面より上流に配置されて、それぞれが入射するパルス光を反射する傾斜角が可変の反射面を含む複数の反射光学素子を含む光学デバイスと；

少なくとも一つの前記パルス光が発光される毎に、前記複数の反射光学素子によって前記複数のパルス光に互いに異なる射出角度の分布を与えるように、前記複数の反射光学素子を制御する照明制御系と；

前記光学デバイスと、前記照明光学系の照明瞳面又は該照明瞳面と光学的に共役な面である所定面との間に配置されて、前記光デバイスからの光を、その角度分布が位置分布となるように変換して前記所定面に導くリレー光学系と、
を備え、

前記照明制御系は、前記複数のパルス光のそれぞれの強度分布が前記所定面において実質的にほぼ同じ強度分布になるように前記複数の反射光学素子を制御することを特徴とする照明光学装置。

【請求項 2】

前記反射面は少なくとも一軸の周りの傾斜角が可変範囲内のいずれかの角度に設定されることを特徴とする請求項 1 に記載の照明光学装置。

【請求項 3】

10

20

前記光学デバイスの近傍に配置されて、前記パルス光を前記複数の反射光学素子に入射させる方向に偏向する第1面と、前記複数の反射光学素子を介した前記パルス光を前記被照射面に入射させる方向に偏向する第2面とを含む光学部材を備えることを特徴とする請求項1又は2に記載の照明光学装置。

【請求項4】

前記複数の反射光学素子に入射する前記パルス光の強度分布を計測する光電検出器を備え、

前記照明制御系は、前記光電検出器で計測される強度分布に基づいて、前記所定面における前記パルス光の強度分布が所定の均一性を満たす条件のもとで、前記複数の反射光学素子を制御することを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の照明光学装置。

10

【請求項5】

前記複数の反射光学素子に対する入射側に配置されて、所定数の前記パルス光の発光毎に、前記パルス光の偏光状態を制御可能な偏光制御光学系を備えることを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記載の照明光学装置。

【請求項6】

前記偏光制御光学系に供給される前記パルス光はほぼ直線偏光であり、

前記偏光制御光学系は、光軸の周り又は該光軸と略平行な軸の周りの回転角が可変の1/2波長板を含むことを特徴とする請求項5に記載の照明光学装置。

【請求項7】

前記光学デバイスと前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記パルス光で前記被照射面を概ね均一に照明するためのオプティカルインテグレータをさらに備えることを特徴とする請求項1から6のいずれか一項に記載の照明光学装置。

20

【請求項8】

前記被照射面に対する前記パルス光の照射数をN（Nは2以上の整数）として、前記パルス光がm個（mは1以上の整数）発光される毎に前記複数の反射光学素子を制御するとともに、

前記照明制御系は、少なくともN又はN/m個の照明制御パターンを有することを特徴とする請求項1から7のいずれか一項に記載の照明光学装置。

【請求項9】

前記パルス光を供給する光源を備えることを特徴とする請求項1から8のいずれか一項に記載の照明光学装置。

30

【請求項10】

第1面のパターンの像を第2面に投影する露光装置であって、

前記第1面をパルス光で照明する請求項1から9のいずれか一項に記載の照明光学装置と、

前記照明光学装置によって前記第1面上に形成される照明領域からの光に基づいて、前記第1面のパターンの像を前記第2面上に形成する投影光学系と、を備えることを特徴とする露光装置。

【請求項11】

請求項10に記載の露光装置を用いて物体を露光する工程と、

40

前記露光された物体を処理する工程と、を含むデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、それぞれ光に空間的な変調を与えることが可能な複数の光学素子を用いて被照射面を照明する照明技術、この照明技術を用いる露光技術、及びこの露光技術を用いるデバイス製造技術に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば半導体素子又は液晶表示素子等のデバイス（電子デバイス、マイクロデバイス）

50

を製造するためのリソグラフィ工程中で、レチクル（又はフォトリソマスク等）のパターンを投影光学系を介してウエハ（又はガラスプレート等）上に転写するために、ステッパ等の一括露光型の投影露光装置、又はスキャニング・ステッパ等の走査露光型の投影露光装置等の露光装置が使用されている。これらの露光装置においては、解像度を高めるために露光波長が短波長化してきており、最近では露光光として、KrF（波長248nm）又はArF（波長193nm）等のエキシマレーザー光が使用されている。また、露光光としてF₂ レーザ（波長157nm）等の使用も検討されている。

【0003】

また、最近の露光装置の照明光学系においては、微細なパターンをウエハ上に正確に転写するために、レチクルパターン（又はマスクパターン等）を最適な光強度分布（強度分布）で照明することが不可欠である。例えば、照明光学系の照明瞳面において輪帯状や多極状（例えば、2極状や4極状）の光強度分布を形成するための変形照明を行い、投影光学系の焦点深度や解像力を向上させる技術が注目されている。その技術の一つとして、例えば、光源からの光束を照明光学系の照明瞳面において輪帯状や多極状の光強度分布を有する光束に変換するために、二次元のアレイ状に配列された多数の微小なミラー要素を有する空間光変調器（例えば、DMD）を備え、ミラー要素のそれぞれの傾斜角及び傾斜方向を変化させることにより照明光学系の照明瞳面又はその照明瞳面と共役な面において所定の光強度分布を形成する露光装置がある（例えば、特許文献1参照）。

【特許文献1】特開2002-353105号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ところで、上述の露光装置においては、光源として主にレーザー光源を用いているが、レーザー光源から射出されるレーザー光には、例えば、レーザー光の高い空間コヒーレンシから発生するスペックルパターンやレーザー光の光束断面内における光強度分布のばらつき、などが存在する。従って、レーザー光源から射出されるレーザー光に起因して、いわゆる照度むらが発生する問題がある。

【0005】

本発明は、このような事情に鑑み、上述のような照度むらの影響を軽減できる照明技術、並びにこの照明技術を用いる露光技術及び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】

【0006】

本発明による第1の照明光学装置は、複数のパルス光を用いて被照射面を照明する照明光学系を備える照明光学装置であって、その被照射面より上流に配置されて、入射するパルス光に空間的な変調を与えて射出する複数の光学素子を含む光学デバイスと；少なくとも一つのそのパルス光が発光される毎に、その複数の光学素子によってその複数のパルス光に互いに異なる射出角度の分布を与えるように、その複数の光学素子を制御する照明制御系と；その光学デバイスと、その照明光学系の照明瞳面又は該照明瞳面と光学的に共役な面である所定面との間に配置されて、その光デバイスからの光を、その角度分布が位置分布となるように変換してその所定面に導くリレー光学系と、を備え、その照明制御系は、その複数のパルス光のそれぞれの強度分布がその所定面において実質的にほぼ同じ強度分布になるようにその複数の光学素子を制御するものである。

また、一例として、その光学素子は、反射光学素子（反射要素）であって、その反射光学素子は、そのパルス光を反射する傾斜角が可変の反射面を含むものである。

本発明による第2の照明光学装置は、パルス光を用いて被照射面を照明する照明光学装置であって、その被照射面より上流（パルス光が供給される側）に配置されて、そのパルス光の入射する位置に応じて該パルス光に空間的な変調を与える、それぞれそのパルス光を反射する傾斜角が可変の反射面を含む複数の反射型の光学素子を含む光学デバイスと；少なくとも一つのそのパルス光が発光される毎に、その複数の光学素子によってそのパルス

10

20

30

40

50

ス光に互いに異なる空間的な変調を与え、且つその複数の光学素子によって空間的に変調されたそのパルス光のそれぞれの強度分布が所定面において実質的にほぼ同じ強度分布になるように、その複数の光学素子を制御する照明制御系と；を備えるものである。

【0007】

また、本発明による露光装置は、第1面のパターンの像を第2面に投影する露光装置であって、その第1面をパルス光で照明する本発明の照明光学装置と、その照明光学装置によってその第1面上に形成される照明領域からの光に基づいて、その1面のパターンの像をその第2面上に形成する投影光学系と、を備えるものである。

また、本発明によるデバイス製造方法は、本発明の露光装置を用いて物体を露光する工程と、その露光された物体を処理する工程と、を含むものである。

10

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、パルス光が少なくとも1つだけ発光される毎に、複数の光学素子によってパルス光に異なる空間的な変調を与えていくことによって（又は複数の光学素子をそれぞれ個別に制御することによって）、照度むらの影響を低減できる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の実施形態の一例の露光装置の概略構成を示す図である。

【図2】図2（A）は図1の空間光変調器13の一部を示す拡大斜視図、図2（B）は図1のミラー要素3の駆動機構を示す拡大斜視図、図2（C）は凹面のミラー要素を示す拡大斜視図である。

20

【図3】図3（A）は2極照明時の図1の空間光変調器13のミラー要素の傾斜角の状態を示す図、図3（B）は2極照明時の二次光源を示す図、図3（C）は図3（A）と異なる傾斜角分布のミラー要素からの光束で2極照明を行う状態を示す図、図3（D）は2極照明時の二次光源の強度分布を示す図、図3（E）は図3（A）及び図3（C）と異なる傾斜角分布のミラー要素からの光束で2極照明を行う状態を示す図である。

【図4】図4（A）は2極照明時の別の二次光源を示す図、図4（B）は通常照明時の二次光源を示す図、図4（C）は輪帯照明時の二次光源を示す図、図4（D）は4極照明時の二次光源を示す図である。

【図5】図5（A）は図1のレチクルRの照明領域26を示す要部の図、図5（B）は図5（A）のB部内の干渉縞を示す拡大図、図5（C）は図5（A）のB部内の別の干渉縞を示す拡大図である。

30

【図6】図6（A）は光電センサ23を照明光ILの光路に設置した状態を示す図、図6（B）は図1の空間光変調器13の多数のミラー要素3に入射する照明光ILの光量分布の一例を示す図である。

【図7】図7（A）はロッド型インテグレータ50を用いた照明光学系の構成例を示す図、図7（B）はプリズムを用いない照明光学系の構成例の要部を示す図である。

【図8】デバイスを製造する工程の一例を示すフローチャートである。

【符号の説明】

【0010】

40

ILS…照明光学系、R…レチクル、PL…投影光学系、W…ウエハ、3…ミラー要素、7…光源、9…1/2波長板、10…デポライザ、12…プリズム、13…空間光変調器、14…リレー光学系、15…フライアイレンズ、30…主制御系、31…変調制御部、50…ロッド型インテグレータ、100…露光装置

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下、本発明の好ましい実施形態の一例につき図1～図6を参照して説明する。

図1は、本実施形態のスキヤニング・ステッパよりなる走査露光型の露光装置（投影露光装置）100の概略構成を示す図である。図1において、露光装置100は、パルス発光を行う露光用の光源7と、光源7からの露光用の照明光（露光光）ILでレチクルR（

50

マスク)のパターン面(被照射面)を照明する照明光学系 I L S と、レチクル R の位置決め及び移動を行うレチクルステージ R S T と、レチクル R のパターンの像をウエハ W (感光性基板)上に投影する投影光学系 P L と、ウエハ W の位置決め及び移動を行うウエハステージ W S T と、装置全体の動作を統括制御するコンピュータよりなる主制御系 3 0 と、各種制御系等とを備えている。図 1 において、ウエハステージ W S T のガイド面(不図示)に垂直に Z 軸を設定し、Z 軸に垂直な平面内において図 1 の紙面に平行な方向に Y 軸を、図 1 の紙面に垂直な方向に X 軸をそれぞれ設定する。本実施形態では、露光時にレチクル R 及びウエハ W は Y 方向(走査方向)に走査される。

【0012】

図 1 の光源 7 としては、波長 193 nm でパルス幅 50 ns 程度のほぼ直線偏光のレーザ光を 4~6 kHz 程度の周波数でパルス発光する ArF エキシマレーザ光源が使用されている。なお、光源 7 として、波長 248 nm のパルス光を供給する KrF エキシマレーザ光源、波長 157 nm のパルス光を供給する F₂ レーザ光源、又はパルス点灯される発光ダイオード等も使用可能である。さらに、光源 7 としては、YAG レーザ又は半導体レーザ等から出力されるレーザ光の高調波を生成する固体パルスレーザ光源や半導体レーザ光をファイバアンプで増幅させた光の高調波を生成する固体パルスレーザ光源も使用できる。固体パルスレーザ光源は、例えば波長 193 nm (これ以外の種々の波長が可能)でパルス幅 1 ns 程度のレーザ光を 1~2 MHz 程度の周波数でパルス発光可能である。

【0013】

本実施形態においては、光源 7 には電源制御部 32 が連結されている。そして、露光装置 100 の主制御系 30 が、パルス発光のタイミング及び光量(パルスエネルギー)を指示する発光トリガパルス TP を電源制御部 32 に供給する。その発光トリガパルス TP に同期して電源制御部 32 は、指示されたタイミング及び光量で光源 7 にパルス発光を行わせる。

【0014】

光源 7 から射出された光束断面の強度分布が矩形でほぼ平行光束のパルスレーザ光よりなる直線偏光の照明光 I L は、1 対の凹レンズ及び凸レンズよりなるビームエキスパンダ 8 に入射して拡大される。ビームエキスパンダ 8 から射出された照明光 I L は、光軸 A X I を有する照明光学系 I L S において、照明光 I L の偏光方向を所定の複数の角度だけ回転するための 1/2 波長板 9 (偏光制御部材)及び照明光 I L をランダム偏光(非偏光)に変換するデポラライザ 10 よりなる偏光光学系を通過する。デポラライザ 10 は、複屈折性材料(例えば水晶)よりなる楔型の第 1 プリズム 10 a と、これと相補型の形状で複屈折性を有しない材料(例えば石英)よりなる第 2 プリズム 10 b とから構成されている。

【0015】

一例として、1/2 波長板 9 に入射する照明光 I L の偏光方向は X 方向であり、初期状態における 1/2 波長板 9 の結晶軸の方向は X 方向で、デポラライザ 10 の第 1 プリズム 10 a の直交する 2 つの結晶軸のうちの第 1 の結晶軸の方向は X 方向である。この場合、1/2 波長板 9 を初期状態に対して光軸 A X I の周りに 0°又は 45°(偏光方向は 90°回転する)回転することによって、デポラライザ 10 を通過した照明光 I L は X 方向又は Y 方向の直線偏光となる。また、1/2 波長板 9 を初期状態に対して光軸 A X I の周りに 22.5°(偏光方向は 45°回転する)回転することによって、デポラライザ 10 を通過した照明光 I L は非偏光となる。このような、1/2 波長板 9 及びデポラライザ 10 を含む偏光光学系の詳細な構成及びその動作については国際公開第 2004/051717 号パンフレットに開示されている。

【0016】

そこで、本実施形態では、照明光 I L の所定の k パルス(k は 1 以上の整数)の発光毎に、1/2 波長板 9 が初期状態に対して光軸 A X I の周りに 0°、22.5°、及び 45°だけ回転した状態になるように、1/2 波長板 9 を高速に回転する駆動部 33 が装着されている。駆動部 33 は、例えば 1/2 波長板 9 を保持する回転可能な保持部材と、この

10

20

30

40

50

保持部材を高速に 0° 、 $\pm 22.5^\circ$ 、又は $\pm 45^\circ$ だけ回転する可動コイル型のモータとを含んで構成できる。主制御系30が駆動部33を介して1/2波長板9の回転角を制御することによって、照明光ILのkパルスの発光毎に、デポライザ10から射出される照明光ILの偏光状態、ひいてはレチクルR（ウエハW）に照射される照明光ILの偏光状態を偏光方向がX方向若しくはY方向の直線偏光、又は非偏光に制御することができる。

【0017】

デポライザ10を通過した照明光ILは、光路折り曲げ用のミラー11によって+Y方向に反射された後、光軸AXIに沿って、光軸AXIに垂直な入射面12d及び射出面12eを有するプリズム12の入射面12dに入射する。プリズム12は、照明光ILを透過する蛍石（ CaF_2 ）又は石英等の光学材料から形成されている。また、プリズム12は、一例として、入射面12dに対してX軸に平行な軸を中心として時計周りにほぼ 60° で交差する第1反射面12aと、この第1反射面12aとXZ平面に平行な面に対してほぼ対称な第2反射面12bと、XY平面に平行で入射面12d（射出面12e）に対して直交する透過面12cとを有している。

【0018】

また、プリズム12の近傍に、二次元のアレイ状に配列されたそれぞれ傾斜角が可変の微小なミラーである多数のミラー要素3と、これらのミラー要素3を駆動する駆動部4とを有する空間光変調器13が設置されている。空間光変調器13の多数のミラー要素3は、全体として透過面12cにほぼ平行に、かつ近接して配置されている。また、各ミラー要素3は、それぞれX軸及びY軸に平行な軸（直交する2軸）の周りの反射面の傾斜角が所定の変調範囲内でほぼ連続的に制御可能である。一例として、その変調範囲内の中央においては、各ミラー要素3の反射面は透過面12cにほぼ平行である。主制御系30が変調制御部31に照明条件の情報及び照明光ILの発光タイミングの情報を供給する。変調制御部31では、照明光ILが少なくとも1パルス発光される毎に、その照明条件が維持されるという条件のもとで、多数のミラー要素3の2軸の周りの傾斜角の分布を周期的に複数の状態に順次切り替えるように駆動部4を制御する（詳細後述）。ここで、空間光変調器13は、その遠視野に所望の瞳輝度分布を形成する。

【0019】

この場合、光軸AXIに平行又は略平行にプリズム12の入射面12dに入射した照明光ILは、第1反射面12aで全反射された後、透過面12cを透過して空間光変調器13の多数のミラー要素3に入射する。そして、多数のミラー要素3で反射された照明光ILは、再び透過面12cに入射した後、第2反射面12bで全反射されて射出面12eから射出される。従って、第1反射面12aの入射面12dに対する角度は、入射面12dに垂直に入射した光束が第1反射面12aで全反射するとともに、第1反射面12aで全反射された光束が透過面12cを透過する範囲であればよい。この際には、任意のミラー要素3の反射面が透過面12cにほぼ平行であれば、そのミラー要素3で反射された照明光ILは、透過面12cを透過して第2反射面12bで全反射された後、射出面12eを経て光軸AXIにほぼ平行に射出される。従って、各ミラー要素3の2軸の周りの傾斜角を制御することによって、そのミラー要素3で反射されてプリズム12から射出される照明光ILの光軸AXIに対する直交する2方向の角度を制御できる。このように照明光ILの光軸AXIに対する角度を制御することが、本実施形態の各ミラー要素3による空間的な変調であり、各ミラー要素3からの照明光ILの光軸AXIに対する角度の分布が、一つの照明制御パターンに対応する。

【0020】

このようにプリズム12の反射面12a、12bは全反射を用いているが、その反射面12a、12bに反射膜を形成して、この反射膜で照明光ILを反射してもよい。

そして、プリズム12から射出された照明光ILは、リレー光学系14を介してフライアイレンズ15（オプティカルインテグレータ）に入射する。ここでは、リレー光学系14のほぼ前側焦点面に各ミラー要素3の反射面が配置され、リレー光学系14のほぼ後側

10

20

30

40

50

焦点面にフライアイレンズ 15 の入射面が配置されているが、必ずしもこの配置に限定されない。

【0021】

図 3 (A) は、図 1 のプリズム 12 からフライアイレンズ 15 までの光学系を示す。図 3 (A) において、リレー光学系 14 に入射する光束の光軸 AXI に対する傾斜角を θ 、リレー光学系 14 の後側焦点距離を f とすると、一例として、フライアイレンズ 15 の入射面においてその光束が集光される位置の光軸 AXI からの高さ h は次のようになる。

$$h = f \cdot \tan \theta \quad \cdots (1)$$

従って、図 1 において、リレー光学系 14 は、各ミラー要素 3 によって反射された照明光 IL を、その光軸 AXI に対する直交する 2 方向の角度に応じて定まる、フライアイレンズ 15 の入射面上の X 方向及び Z 方向の位置に集光する角度・位置変換機能を備えている。

10

【0022】

言い換えると、プリズム 12 を介して空間光変調器 13 に入射した照明光 IL は、ミラー要素 3 を単位として分割され、各ミラー要素 3 の傾斜方向及び傾斜角に従い、所定方向に所定角度をもって偏向（反射）される。そして、各ミラー要素 3 からの反射光は、プリズム 12 及びリレー光学系 14 によって、その方向と角度とに応じたフライアイレンズ 15 の入射面上の任意の位置に集光可能である。

【0023】

フライアイレンズ 15 に入射した照明光 IL は、多数のレンズエレメントにより二次元的に分割され、各レンズエレメントの後側焦点面にはそれぞれ光源が形成される。こうして、フライアイレンズ 15 の後側焦点面である照明光学系 ILS の瞳面（照明瞳面 22）には、フライアイレンズ 15 への入射光束によって形成される照明領域とほぼ同じ強度分布を有する二次光源、すなわち実質的な面光源からなる二次光源が形成される。本実施形態においては、空間光変調器 13 の各ミラー要素 3 の反射面の傾斜方向及び傾斜角を個別に制御することによって、フライアイレンズ 15 の入射面上の光強度分布、ひいては照明瞳面 22 における二次光源の強度分布をほぼ任意の分布に制御することが可能である。

20

【0024】

例えば図 1 のレチクル R のパターン面（レチクル面）において、Y 方向（又は X 方向）に解像限界に近いピッチで配列されたライン・アンド・スペースパターンを主に露光する場合には、照明瞳面 22 における二次光源は図 3 (B) の Z 方向（レチクル面の Y 方向に対応する）に 2 極の二次光源 24A、24B（又は図 4 (A) の X 方向に 2 極の二次光源 24C、24D）に設定される。同様に、空間光変調器 13 によって、照明瞳面 22 上の二次光源を、図 4 (B) の通常照明用の円形の二次光源 28A、図 4 (C) の輪帯照明用の二次光源 28B、及び図 4 (D) の 4 極照明用の 4 極の二次光源 24E～24H 等の任意の強度分布に設定可能である。さらに、空間光変調器 13 によって、例えば図 3 (B) において、二次光源 24A、24B の間隔、及び／又は二次光源 24A、24B の個々の大きさを任意の値に変更することも可能である。

30

【0025】

ここで、本実施形態では、被照射面に配置されるレチクル R（マスク）をケーラー照明しているため、上述の二次光源が形成される面は、投影光学系 PL の開口絞り（不図示）と共役な面となり、照明光学系 ILS の照明瞳面 22 ということができる。典型的には、照明瞳面 22 に対して被照射面（レチクル R が配置される面又はウエハ W が配置される面）が光学的なフーリエ変換面となる。なお、瞳輝度分布とは、照明光学系 ILS の照明瞳面 22 又はその照明瞳面 22 と共役な面における輝度分布であるが、フライアイレンズ 15 による波面分割数が高い場合には、フライアイレンズ 15 の入射面に形成される大局的な輝度分布と、二次光源全体の大局的な輝度分布（瞳輝度分布）とが高い相関を示すため、フライアイレンズ 15 の入射面及びその入射面と共役な面における輝度分布についても瞳輝度分布ということができる。

40

【0026】

50

なお、フライアイレンズ15の代わりに、マイクロレンズアレイ等も使用可能である。

図1において、照明瞳面22に形成された二次光源からの照明光ILは、第1リレーレンズ16、レチクルブラインド（視野絞り）17、第2リレーレンズ18、光路折り曲げ用のミラー19、及びコンデンサ光学系20を介して、レチクルRのパターン面（下面）のX方向に細長い矩形の照明領域26を均一な照度分布が得られるように重畳して照明する。例えば、この際に、照明光ILは空間コヒーレンシの高いレーザ光であるため、照明領域26内には照明光ILによるスペックルパターン等の微細ピッチのランダムな干渉縞が形成され、照度むらとなる。この照度むらの対策については後述する。ビームエキスパンダ8からコンデンサ光学系20までの光学部材を含んで照明光学系ILSが構成されている。照明光学系ILSの空間光変調器13を含む各光学部材は、不図示のフレームに支持されている。

10

【0027】

また、図1のミラー11とプリズム12との間の照明光ILの光路に挿脱可能に、照明光ILの断面を覆うことができる受光面を有する2次元のCCD型若しくはCMOS型の撮像素子、又は2次元のフォトダイオードアレイ等よりなる光電センサ23が配置されている。光電センサ23は、例えば上記のフレームに移動可能に支持されたスライダ（不図示）に固定されており、光電センサ23の検出信号は変調制御部31に供給されている。照明光ILの光路に光電センサ23を設置した状態で、照明光ILをパルス発光して、光電センサ23の各画素（各受光素子）の検出信号を取り込むことで、変調制御部31は、照明光ILの断面内の強度分布、ひいては空間光変調器13の各ミラー要素3に入射する照明光ILの強度比（例えば中央のミラー要素3の入射光の強度を1とした場合の強度）を計測できる。この強度比を用いて照明瞳面22の二次光源の強度分布の設定精度を向上できる（詳細後述）。

20

【0028】

レチクルRの照明領域26内のパターンは、両側（又はウエハ側に片側）テレセントリックの投影光学系PLを介して、レジスト（感光材料）が塗布されたウエハWの一つのショット領域上の露光領域27に所定の投影倍率（例えば1/4、1/5等）で投影される。

また、レチクルRはレチクルステージRST上に吸着保持され、レチクルステージRSTは、不図示のレチクルベースのガイド面上にY方向に一定速度で移動可能に、かつ少なくともX方向、Y方向、Z軸の周りの回転方向に移動可能に載置されている。レチクルステージRSTの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系30が、リニアモータ等の駆動系（不図示）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。

30

【0029】

一方、ウエハWはウエハホルダ（不図示）を介してウエハステージWST上に吸着保持され、ウエハステージWSTは、不図示のガイド面上でX方向、Y方向にステップ移動を行うとともに、Y方向に一定速度で移動可能である。ウエハステージWSTのガイド面上での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系30が、リニアモータ等の駆動系（不図示）を介してウエハステージWSTの位置及び速度を制御する。なお、ウエハWのアライメントを行うために、ウエハW上のアライメントマークの位置を検出するアライメント系（不図示）等も備えられている。

40

【0030】

露光装置100によるウエハWの露光時に、主制御系30は、レチクルRのパターンに応じて照明条件（例えば、照明瞳面22上の二次光源の強度分布）を選択し、選択した照明条件を変調制御部31に設定する。これに応じて変調制御部31は、空間光変調器13の各ミラー要素3の傾斜方向及び傾斜角を個別に制御して、照明瞳面22上の二次光源の強度分布を設定する。続いて、ウエハステージWSTのステップ移動によってウエハWが走査開始位置に移動する。その後、光源7のパルス発光を開始して、レチクルステージRSTを介してレチクルRを照明領域26に対してY方向に移動するのに同期して、ウエハ

50

ステージWSTを介してウエハWを露光領域27に対して対応する方向に投影倍率を速度比として移動することで、ウエハWの一つのショット領域が走査露光される。このようにウエハWのステップ移動と走査露光とを繰り返すステップ・アンド・スキャン動作によって、ウエハW上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。

【0031】

この露光に際して、上述のようにレチクルRの照明領域26、ひいては照明領域26と投影光学系PLに関して共役なウエハW上の露光領域27には、照明光ILによるスペクルパターン等の微細ピッチのランダムな干渉縞が形成される。この干渉縞は、レチクルRの照明領域26内の照度むらの一つの要因となる。さらには、ウエハWの露光量むら（各ショット領域の走査露光後の積算露光量のむら）の一つの要因となる。

10

【0032】

そこで、本実施形態では、照明光ILが少なくとも1パルス発光される毎に、即ちここでは照明光ILが所定のmパルス（mは1以上の整数）だけ発光される毎に、図1の照明光学系ILS中の空間光変調器13の多数のミラー要素3の傾斜方向及び傾斜角の分布を複数の互いに異なる分布に周期的に制御する。なお、その整数mは、1回の走査露光中に次第に変化してもよい。

【0033】

以下、図1の空間光変調器13の構成例及びその動作につき説明する。

図2（A）は、空間光変調器13の一部を示す拡大斜視図である。図2（A）において、空間光変調器13は、X方向、Y方向に一定ピッチでほぼ密着するように配列された多数のミラー要素3と、この多数のミラー要素3の反射面の角度を個別に制御する駆動部4とを含んでいる。X方向、Z方向のミラー要素3の配列数は例えば数1000である。

20

【0034】

図2（B）に示すように、一例として、ミラー要素3の駆動機構は、ミラー要素3を支持するヒンジ部材37と、ヒンジ部材37に突設された4つの電極35と、支持基板38と、支持基板38上にヒンジ部材37を支持する1対の支柱部材36と、4つの電極35に対向するように支持基板38上に形成された4つの電極39とを備えている。この構成例では、対応する4組の電極35と電極39との間の電位差を制御して、電極間に作用する静電力を制御することで、ヒンジ部材37を揺動及び傾斜させることができる。これによって、ヒンジ部材37に支持されたミラー要素3の反射面の直交する2軸の周りの傾斜角を所定の可変範囲内で連続的に制御することができる。空間光変調器13のより詳細な構成は、例えば特開2002-353105号公報に開示されている。

30

【0035】

なお、ミラー要素3の駆動機構は本実施形態の構成には限られず、他の任意の機構を使用できる。さらに、ミラー要素3はほぼ正方形の平面ミラーであるが、その形状は矩形等の任意の形状であってもよい。ただし、光の利用効率の観点からは、隙間無く配列可能な形状が好ましい。また、隣接するミラー要素3の間隔は必要最小限とすることが好ましい。また、現状では、ミラー要素3の形状は例えば10 μ m角～数10 μ m角程度であるが、照明条件の細かな変更を可能とするために、ミラー要素3は可能な限り小さいことが好ましい。

40

【0036】

さらに、ミラー要素3の代わりに、図2（C）に示すように、凹面のミラー要素3'又は凸面のミラー要素（不図示）を使用することも可能である。

なお、上記の空間光変調器13としては、例えば特表平10-503300号公報及びこれに対応する欧州特許公開第779530号公報、特開2004-78136号公報及びこれに対応する米国特許第6,900,915号公報、特表2006-524349号公報及びこれに対応する米国特許第7,095,546号公報、並びに特開2006-113437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。これらの空間光変調器を照明光学系ILSに用いた場合には、空間光変調器の個別の反射面を介したそれぞれの光が所定の角度で強度分布形成光学系（リレー光学系14）に入射し、複数のミラー要

50

素（反射要素）への制御信号に応じた所定の光強度分布を照明瞳面において形成することができる。

【0037】

また、空間光変調器13としては、例えば二次元的に配列されて反射面の高さ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、例えば特開平6-281869号公報及びこれに対応する米国特許第5,312,513号公報、並びに特表2004-520618号公報及びこれに対応する米国特許第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、複数の位相要素（光学素子）によって二次元的な高さ分布を形成することで位相型の回折格子と同様の作用を入射光に与えることができる。

10

【0038】

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、例えば特表2006-513442号公報及びこれに対応する米国特許第6,891,655号公報、又は特表2005-524112号公報及びこれに対応する米国特許公開第2005/0095749号公報の開示に従って変形しても良い。

次に、照明瞳面22上で図3（B）のZ方向に離れた2極の二次光源24A, 24Bを生成して、照明条件を2極照明に設定する場合を例に取って、空間光変調器13の動作の一例を説明する。図3（A）、（C）、（E）は、一例として、それぞれ図1の空間光変調器13のY方向に配列された一列の数1000個のミラー要素3から代表的に選択された複数のミラー要素3A～3Gからの反射光を示している。例えば、図3（B）の2極の二次光源24A, 24Bを形成するためには、図3（A）、（C）、（E）のフライアイレンズ15の入射面の対応する2箇所のほぼ円形の領域25A, 25Bに照明光ILを集光する必要がある。また、図3（D）は、図3（B）の照明瞳面22における二次光源24A, 24Bの光軸を通りZ軸に平行な直線上での光強度S（Z）の分布の一例を示している。

20

【0039】

先ず、図3（A）に示すように、空間光変調器13の各ミラー要素3A～3Gの傾斜角（実際には2軸の周りの傾斜角、以下同様）を設定して、それらからの反射光をプリズム12の第2反射面12b及びリレー光学系14を介して、フライアイレンズ15の入射面の2つの領域25A, 25Bに集光させる。これによって、図3（B）に示すZ方向に2極の二次光源24A, 24Bが生成される。図3（A）において、ミラー3A～3Cの傾斜角は同じであるため、これらのミラー3A～3Cからの反射光は共通に領域25Aに集光されている。一方、ミラー3D～3Gの傾斜角は同じで、かつミラー3A～3Cと対称であるため、ミラー3D～3Gからの反射光は共通に領域25Aと対称な領域25Bに集光される。空間光変調器13の同一列内の他のミラー要素3、及び他の列のミラー要素3の2軸の周りの傾斜角も、その反射光が領域25A, 25Bのいずれかに集光されるように設定される。

30

【0040】

本実施形態では、図3（A）の状態でmパルスの照明光ILを照射した後、図3（C）に示すように空間光変調器13のミラー要素3A～3Gの傾斜角の分布を変更して、ミラー要素3A～3Cからの照明光ILで領域25Bを照射し、ミラー要素3D～3Gからの照明光ILで領域25Aを照射する。この場合には、照明瞳面22上の二次光源24A, 24Bの強度分布はほぼ同じ、即ち所定の許容範囲内（例えば特定ピッチのX方向のライン・アンド・スペースパターンの投影像が解像できる範囲内）で同じ強度分布であり、領域25A, 25Bに集光される照明光ILを反射するミラー要素3A～3Gの組み合わせが異なっている。そして、この状態でmパルスの照明光ILを照射した後、図3（E）に示すように空間光変調器13のミラー要素3A～3Gの傾斜角の分布を変更して、両側のミラー要素3A, 3B, 3F, 3Gからの照明光ILで領域25Bを照射し、中央のミラー要素3C～3Eからの照明光ILで領域25Aを照射する。この場合にも、照明瞳面22上の二次光源24A, 24Bの強度分布はほぼ同じである。

40

50

【0041】

このようにして、 m パルスの照明光 I_L を照射する毎に、二次光源 24 A, 24 B の強度分布をほぼ同じに維持しながら、二次光源 24 A, 24 B に対応する領域 25 A, 25 B に集光される照明光 I_L を反射するミラー要素 3 A ~ 3 G の組み合わせ、ひいてはミラー要素 3 A ~ 3 G で反射された照明光 I_L の光軸 $A_X I$ に対する角度の分布（照明制御パターン）を次第に変えていく。そして、所定の組み合わせを全部使用した後、ミラー要素 3 A ~ 3 G の傾斜角の分布を、再び図 3（A）、図 3（C）、図 3（E）、…のように周期的に変化させる。

【0042】

図 5（A）は、図 1 のレチクル R を照明領域 26 に対して走査方向 S_D （ここでは $-Y$ 方向）に走査する状態を示す。図 5（A）において、照明領域 26 の Y 方向の幅を D_Y として、レチクル R のパターン面の任意の点 41 が、照明光 I_L のパルス発光の間に位置 41 A まで移動するときの移動量を δY とする。このとき、点 41 に対する照明光 I_L の照射パルス数（露光パルス数） N （ N は 2 以上の整数）は、ほぼ次のようになる。この照射パルス数 N は例えば数 10 である。

【0043】

$$N = D_Y / \delta Y \quad \cdots (2)$$

また、図 3（A）の空間光変調器 13 のミラー要素 3 A ~ 3 G の傾斜角の分布の組み合わせは、照明光 I_L が m パルス発光される毎に変化するため、ミラー要素 3 A ~ 3 G の傾斜角の分布の組み合わせに対応する照明制御パターンの個数 M は、次のように少なくとも N/m 以上の最小の整数であればよい。

【0044】

$$M = N / m \text{ 以上の最小の整数} \quad \cdots (3)$$

なお、照明光 I_L が 1 パルス発光される毎に照明制御パターンを切り替える場合には、その照明制御パターンの個数 M は少なくとも N になる。

図 1 の空間光変調器 13 の各列のミラー要素 3 の個数は実際には数 1000 であるため、仮にミラー要素 3 を X 方向及び Y 方向に 100 個ずつのブロックに分けて、 100×100 の各ブロック毎にミラー要素 3 の傾斜方向及び傾斜角をほぼ同じ状態で制御したとしても、ミラー要素 3 の傾斜方向及び傾斜角の異なる分布の個数（個数 M ）は、ほぼ 10000 の階乗という膨大な数が可能である。これに対して、 $m = 1$ であっても、 N/m は数 10 であるため、式（3）の条件は余裕を持って満たすことができる。

【0045】

この結果、図 5（A）のレチクル R 上の任意の点 41 に対しては、照明光 I_L を全部で N パルス照射する間に、照明光 I_L が m パルス照射される毎に、順次、空間光変調器 13 の互いに異なる組み合わせの傾斜角の分布のミラー要素 3 からの反射光を用いて、ほぼ同じ二次光源 24 A, 24 B によって 2 極照明を行うことができる。この結果、例えば、図 5（A）の B 部の拡大図である図 5（B）及び図 5（C）に示すように、レチクル R の照明領域 26 内の同じ部分（ひいては図 1 のウエハ W 上の露光領域 27 内の対応する部分）においては、照明光 I_L が m パルス照射される毎に、その部分に形成される照明光 I_L の微細な干渉縞のパターンがパターン 42 A, 42 B, …と順次異なるパターンになる。従って、レチクル R 上の任意の点 41 に対して照明光 I_L を N パルス照射した後では、平均化効果によって照明領域 26 内における干渉縞の影響（照度むら）は低減される。さらには、レチクル R に対応するウエハ W 上の点における露光量（積算露光量）は適正露光量となり、露光量むらが大幅に低減される。

【0046】

なお、実際には、図 3（B）の二次光源 24 A, 24 B を形成する際には、例えば、その光強度分布が図 3（D）の点線の曲線 29 A で示すように、目標とする領域で均一になり、その他の領域でほぼ 0 になるようにミラー要素 3 A ~ 3 G の傾斜角分布を制御することが好ましい。

しかしながら、光源 7 からの照明光 I_L の断面内の強度分布は一定ではなく、経時的に

10

20

30

40

50

次第に変化する恐れがある。このように照明光 I L の強度分布が変化すると、図 3 (B) の二次光源 2 4 A, 2 4 B の強度分布は、例えば、図 3 (D) の実線の曲線 2 9 B で示すように変化して、2 極照明のバランスが僅かに崩れる。これによって、照明瞳面 2 2 において（ひいては照明領域 2 6 において）照度むらとなる。そこで、本実施形態の露光装置 1 0 0 では、例えば、図 6 (A) に示すように、ミラー 1 1 とプリズム 1 2 との間の照明光 I L の光路上に光電センサ 2 3 を設置して、照明光 I L をパルス発光させて照明光 I L の断面内の強度分布を計測し、空間光変調器 1 3 のミラー要素 3 に入射する照明光 I L の強度比の情報を定期的に更新する。このとき、図 1 の空間光変調器 1 3 の X 方向に j 番目 ($j = 1, 2, \dots, J$) で、Y 方向に i 番目 ($i = 1, 2, \dots, I$) のミラー要素 3 に入射する照明光 I L の光量を $I(X_j, Y_i)$ とする。そして、光電センサ 2 3 からの検出信号を処理することで、図 1 の変調制御部 3 1 では、図 6 (B) に示すように、各ミラー要素 3 に入射する光量 $I(X_j, Y_i)$ の分布、ひいては各ミラー要素 3 に入射する照明光 I L の強度比を求め、この強度比の情報を内部の記憶部に記憶しておく。この後は、その更新された強度比を用いて、空間光変調器 1 3 のミラー要素 3 の傾斜角の分布の可能な組み合わせの中から、二次光源の強度分布が図 3 (D) の曲線 2 9 A に近くなる照明制御パターンを選択し、上述のように照明光 I L が m パルス発光される毎に空間光変調器 1 3 の各ミラー要素 3 をそれぞれ制御する。これによって、照度むらが低減された高精度な 2 極照明を行うことができる。

10

【0047】

同様に、図 4 (A) の X 方向の 2 極照明、図 4 (B) の通常照明、図 4 (C) の輪帯照明、図 4 (D) の 4 極照明等を行う場合にも、変調制御部 3 1 は、照明光 I L が m パルス発光される毎に、照明瞳面 2 2 上の二次光源の各部に集光される照明光 I L を反射する空間光変調器 1 3 のミラー要素 3 の組み合わせを次第に異なる組み合わせに変化させる。この結果、照明光 I L によって照明領域 2 6 (露光領域 2 7) に形成される微細な干渉縞のパターンが次第に変化するため、走査露光後のウェハ W 上の各点の露光量むらが低減される。

20

【0048】

本実施形態の作用効果は以下の通りである。

(1) 本実施形態の図 1 の露光装置 1 0 0 に備えられた照明光学系 I L S は、パルス発光される照明光 I L を用いてレチクル面 (被照射面) を照明する照明光学装置であって、レチクル面より上流 (照明光 I L が供給される側) に配置されて、照明光 I L の入射する位置に応じて照明光 I L の光軸 A X I に対する角度を制御する (空間的な変調を与える) 複数のミラー要素 3 (光学素子) を含む空間光変調器 1 3 (光学デバイス) と、照明光 I L が少なくとも一つパルス発光される毎に、複数のミラー要素 3 によって照明光 I L に互いに異なる角度を与え、且つ複数のミラー要素 3 によって角度が制御された照明光 I L のそれぞれの強度分布が照明瞳面 2 2 (所定面) において実質的にほぼ同じ強度分布になるように、複数のミラー要素 3 を制御する変調制御部 3 1 (照明制御系) とを備えている。

30

【0049】

本実施形態によれば、空間光変調器 1 3 の複数のミラー要素 3 によって照明光 I L の角度を個別に制御する (空間的に変調を与える) ことで、照明光 I L の利用効率を高く維持して、フライアイレンズ 1 5 の入射面における照明光 I L の強度分布、ひいてはフライアイレンズ 1 5 の射出面である照明瞳面 2 2 における光強度分布を制御して、照明条件を制御できる。また、1 回の走査露光中に、その照明光 I L が少なくとも 1 パルス発光される毎に、照明瞳面 2 2 における強度分布をほぼ同じ分布に維持しながら、複数のミラー要素 3 からの光の角度を異なる角度の組み合わせに切り替えていくことによって、平均化効果によって、レーザ光源から射出されるレーザ光 (照明光 I L) に起因する照度むらの影響を軽減できる。また、このように、空間光変調器 1 3 は、光強度分布形成部材と照度むらの軽減部材とを兼用しているため、照明光学系 I L S の構成が複雑化しない。

40

【0050】

(2) また、図 1 の実施形態では、照明瞳面 2 2 を所定面として、照明瞳面 2 2 での照

50

明光 I L の強度分布を制御しているため、照明条件を正確に制御できる。しかしながら、照明瞳面 2 2 と共役な面を所定面としてもよい。さらには、照明瞳面 2 2 の近傍の面、又は照明瞳面 2 2 との共役面の近傍の面をその所定面とみなして、これらの面での光強度分布を制御してもよい。

【0051】

また、フライアイレンズ 1 5 を用いる場合には、フライアイレンズ 1 5 の入射面の光強度分布がその射出面（照明瞳面 2 2）の光強度分布とほぼ同様の分布となる。従って、そのフライアイレンズ 1 5 の入射面又はこの近傍の面を所定面とみなすことも可能である。

（3）また、図 1 の実施形態においては、複数の光学要素を含む光学デバイスとして、照明光 I L を反射する傾斜角が可変の反射面を含む複数のミラー要素 3（反射要素）を備える空間光変調器 1 3 が使用されている。このように反射面を用いる場合には照明光 I L の利用効率が低い。

10

【0052】

（4）また、図 1 の空間光変調器 1 3 の各ミラー要素 3 の反射面は直交する 2 軸の周りの傾斜角が可変であるため、各ミラー要素 3 からの反射光をプリズム 1 2 及びリレー光学系 1 4 を介してフライアイレンズ 1 5 の入射面、ひいては照明瞳面 2 2 上の 2 次元的な任意の位置に導くことができる。従って、照明光 I L の利用効率をほぼ 1 0 0 % に維持して、任意の照明条件を高精度に設定できる。

【0053】

なお、各ミラー要素 3 の傾斜角は、少なくとも 1 軸（例えば図 1 の X 軸に平行な軸）の周りの傾斜角が制御できるだけでもよい。1 軸の周りの傾斜角のみが制御できる場合には、空間光変調器 1 3 の各列の複数のミラー要素 3 からの反射光を、フライアイレンズ 1 5 の入射面上の対応する 1 列の領域のいずれかに集光させればよい。また、対応する 1 列の領域で照明光 I L を集光する部分がない場合には、その列に対応するミラー要素 3 の傾斜角は、反射光がフライアイレンズ 1 5 の入射面から外れるように設定すればよい。この場合には、照明光 I L の利用効率は多少低下するが、空間光変調器 1 3 の制御が簡単になる。

20

【0054】

（5）なお、空間光変調器 1 3 の代わりに、それぞれ透過光の光量を制御する複数の画素（透過要素）を含む液晶セルを用いることも可能である。この場合には、各画素を通過する光に対する透過率を制御することが空間的な変調となる。

30

（6）また、空間光変調器 1 3 の代わりに、それぞれ通過光の位相を制御する複数の位相要素（可変段差要素等）を含む上記の空間光変調器を用いることも可能である。この位相要素を含む空間光変調器は、回折パターンが可変の回折光学素子として使用できる。

【0055】

（7）また、図 1 の照明光学系 I L S は、空間光変調器 1 3 の近傍に配置されて、照明光 I L を複数のミラー要素 3 に入射させる方向（又は複数のミラー要素 3 側）に偏向する第 1 反射面 1 2 a（第 1 面）と、複数のミラー要素 3 を介した反射光を被照射面（レチクル面）に入射させる方向に偏向する第 2 反射面 1 2 b（第 2 面）とを含むプリズム 1 2（光学部材）を備えている。

40

【0056】

従って、照明光学系 I L S を構成する各光学部材を同一の直線、又は途中で 9 0 ° 折れ曲がった折れ線に沿って配置できるため、照明光学系 I L S の設計、製造が容易である。

（8）また、図 1 の照明光学系 I L S は、複数のミラー要素 3 に入射する照明光 I L の強度分布を計測する光電センサ 2 3 を備え、変調制御部 3 1 は、光電センサ 2 3 で計測される強度分布に基づいて、上記の所定面における照明光 I L の強度分布が所定の均一性を満たす条件のもとで、複数のミラー要素 3 からの光の角度の状態を切り替えている。従って、照明光 I L の断面内の強度分布が変動しても、照明瞳面 2 2 における照度むら、ひいてはレチクル面での照度むらを低減できる。

【0057】

50

(9) また、照明光学系 I L S には、空間光変調器 1 3 に対する入射側に配置されて、所定数 k の照明光 I L のパルス発光毎に、照明光 I L の偏光状態を制御可能な回動可能な $1/2$ 波長板 9 及びデポライザ 1 0 (偏光制御光学系) を備えている。従って、例えば図 1 のレチクル R の代わりに空間光変調器 1 3 と同様の空間光変調器を用いて、転写対象のパターンを所定数の照明光 I L のパルス発光毎に高速に切り替えるような場合に、その切り替えられたパターンに応じて空間光変調器 1 3 によって二次光源の強度分布を切り替えると同時に、偏光照明の状態も順次高速に切り替えることができる。従って、1 回の露光によって種々のパターンをそれぞれ最適な照明条件 (ここでは二次光源の強度分布及び偏光照明) でウエハ上に露光できる。

【0058】

10

(10) また、その $1/2$ 波長板 9 に供給される照明光 I L がほぼ直線偏光であり、その $1/2$ 波長板 9 の光軸 A X I (光軸 A X I に平行な軸でもよい) の周りの回転角 (回動角) が可変であるため、その $1/2$ 波長板 9 の回転角を制御するのみで、レチクル面 (ウエハ W の上面) における照明光 I L の偏光状態を、X 方向若しくは Y 方向の直線偏光、又は斜め方向の直線偏光に設定できる。さらに、デポライザ 1 0 を用いているため、その照明光 I L の偏光状態を非偏光にも設定できる。

【0059】

(11) また、上記の実施形態では、例えば、レチクル面の各点に対する照明光 I L の照射パルス数を N (N は 2 以上の整数) として、照明光 I L が m パルス (m は 1 以上の整数) 発光される毎に、複数のミラー要素 3 の傾斜角の組み合わせ、ひいては複数のミラー要素 3 からの照明光 I L の角度の分布 (照明制御パターン) を式 (3) で規定される M 通りに切り替えている。この場合には、空間光変調器 1 3 の複数のミラー要素 3 の傾斜角の組み合わせを、その M 通りの照明制御パターンのいずれかに対応させて周期的に設定するのみで、レチクル面の任意の点において、1 回の走査露光中に照明光 I L が m パルス照射される毎に形成される微細な干渉縞のパターンが全部異なるパターンになる。従って、効率的にその干渉縞に起因する照度むら、ひいては露光量むらを低減できる。

20

【0060】

なお、複数のミラー要素 3 の傾斜角の組み合わせ (ひいては照明制御パターン) の個数を N 通りとしてもよい。この場合には、照明光 I L が 1 パルス発光される毎に、複数のミラー要素 3 の傾斜角の組み合わせをその N 通りの組み合わせのいずれかに周期的に切り替えることによって、レチクル面の任意の点において、1 回の走査露光中に照明光 I L が 1 パルス照射される毎に形成される微細な干渉縞のパターンが全部異なるパターンになる。従って、その干渉縞に起因する照度むら、ひいては露光量むらを最も大きく低減できる。

30

【0061】

(12) また、図 1 の照明光学系 I L S は、照明瞳面 2 2 からの照明光 I L でレチクル面を重畳して照明するフライアイレンズ 1 5 (オプティカルインテグレータ) を備えているため、レチクル面で照度分布の均一性が向上する。

(13) また、照明光学系 I L S に照明光 I L を供給する光源 7、電源制御部 3 2 及び主制御系 3 0 が備えられている。従って、光源 7 のパルス発光のタイミングを容易に高精度に制御可能である。

40

【0062】

(14) また、上記の実施形態の露光装置 1 0 0 は、レチクル面 (第 1 面) の像をウエハ W の上面 (第 2 面) に投影する露光装置であって、そのレチクル面をパルス発光される照明光 I L で照明する照明光学系 I L S と、照明光学系 I L S によってレチクル面上に形成される照明領域 2 6 からの光に基づいて、レチクル面の像をウエハ W 上に形成する投影光学系 P L とを備えている。この場合、照明光学系 I L S からレチクル面に照射される照明光 I L によって形成される微細な干渉縞のパターンは、例えば m パルスの照明光 I L の発光毎に次第に異なるパターンに変化する。従って、露光後のウエハ W 上の露光量むら (積算露光量のむら) が低減され、最終的なデバイスを高精度に製造できる。

【0063】

50

次に、上記の実施形態では次のような変形が可能である。

(1) 上記の実施形態の露光装置100は、走査露光型であるため、走査露光によっても照明光ILによって形成される干渉縞の照度むらの影響が軽減される。なお、上記の実施形態の照明光学系ILSをステップ等のステップ・アンド・リピート方式の露光装置に適用してもよい。この場合には、図1のウエハステージWSTは、X方向、Y方向にステップ移動する機能を備えていればよい。このようにステップ・アンド・リピート方式で露光を行う場合には、走査露光による照度むらの影響の低減効果が得られない。この場合でも、上記の照明光学系ILSによってmパルスの照明光ILの照射毎に、レチクル面に照射される照明光ILの微細な干渉縞のパターンを異なるパターンに次第に変化させることによって、レチクル上（被照射面）の照度むら、ひいてはウエハW上の露光量のむら（積算露光量のむら）を大幅に低減できるため、本発明の効果が特に大きい。

10

【0064】

(2) また、図1の波面分割型のインテグレータであるフライアイレンズ15に代えて、内面反射型のオプティカルインテグレータとしてのロッド型インテグレータを用いることもできる。

この場合、図7(A)の照明光学系ILSAで示すように、リレー光学系14よりもレチクルR側に集光光学系51を追加して空間光変調器13の反射面（ミラー要素3の反射面）の共役面を形成し、この共役面近傍に入射端が位置決めされるようにロッド型インテグレータ50を配置する。

【0065】

20

また、このロッド型インテグレータ50の射出端面又は射出端面近傍に配置されるレチクルブラインド17（視野絞り）の像をレチクルRのパターン面（レチクル面）上に形成するためのリレー光学系（リレーレンズ18、ミラー19、及びコンデンサ光学系20）を配置する。この他の照明光学系ILSAの構成は、図1の照明光学系ILSと同様である。図7(A)の構成の場合、二次光源はリレー光学系14及び集光光学系51の瞳面22に形成される（二次光源の虚像はロッド型インテグレータ50の入射端近傍に形成される）。

【0066】

(3) また、図1の照明光学系ILSでは、プリズム12が使用されているが、プリズム12の代わりに、反射面12a及び12bを有するミラーを照明光ILの光路上に設置してもよい。さらに、図7(B)に示すように、プリズム12を省略してもよい。図7(B)の構成では、空間光変調器13の多数のミラー要素3に対して斜め方向から照明光ILを照射し、多数のミラー要素3で反射された照明光ILを光軸AXIに沿ってリレー光学系14を介して不図示のフライアイレンズに供給している。

30

【0067】

また、上記の実施形態の露光装置を用いて半導体デバイス等のデバイス（電子デバイス、マイクロデバイス）を製造する場合、このデバイスは、図8に示すように、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マスク（レチクル）を製作するステップ222、デバイスの基材である基板（ウエハ）を製造するステップ223、前述した実施形態の露光装置100（投影露光装置）によりマスクのパターンを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。

40

【0068】

言い換えると、上記のデバイスの製造方法は、上記の実施形態の露光装置100を用いてウエハWを露光する工程と、露光されたウエハWを処理する工程（ステップ224）とを含んでいる。

さらに、そのデバイス製造方法は、リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、そのリソグラフィ工程において、上記の実施形態の露光装置100を用いている。これ

50

らのデバイス製造方法によれば、露光量むらが低減されているため、デバイスを高精度に製造できる。

【0069】

なお、本発明は、例えば国際公開第99/49504号パンフレット、国際公開第2004/019128号パンフレット等などに開示される液浸型の露光装置にも適用でき、本発明の照明光学装置は、投影光学系を用いないプロキシミティ方式の露光装置等にも適用することができる。

また、本発明は、半導体デバイスの製造プロセスへの適用に限定されることなく、例えば、液晶表示素子、プラズマディスプレイ等の製造プロセスや、撮像素子（CMOS型、CCD等）、マイクロマシン、MEMS (Microelectromechanical Systems：微小電気機械システム)、薄膜磁気ヘッド、及びDNAチップ等の各種デバイス（電子デバイス）の製造プロセスにも広く適用できる。

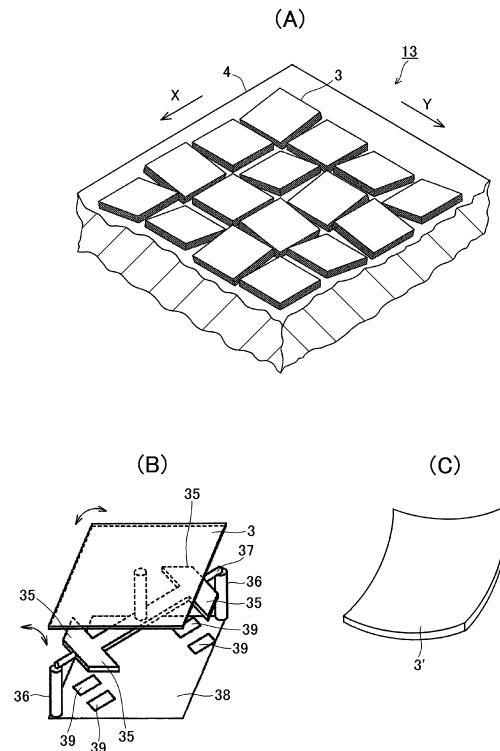
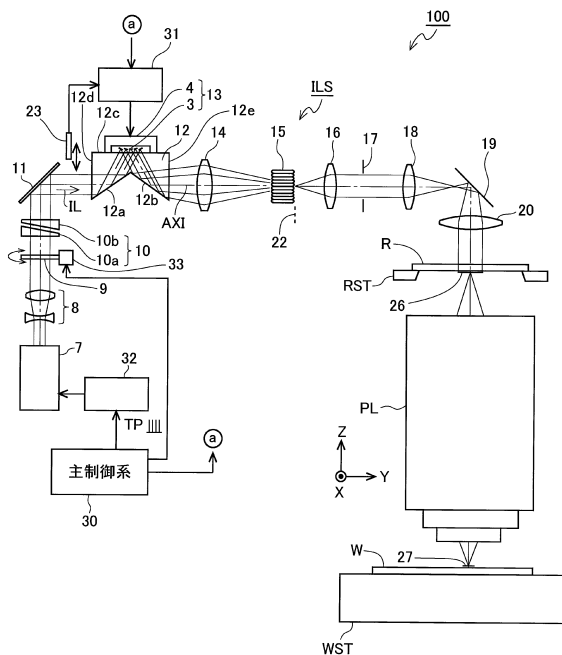
【0070】

また、上記の実施の形態の照明光学系（照明光学装置）は、本願の請求の範囲の記載に対応する構成要素を照明光学系の鏡筒又はフレームに組み込み光学調整をして、配線等を行い、更に電気調整等を行うことにより製造できる。また、上記の実施の形態の露光装置は、その照明光学系及び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）を行う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。

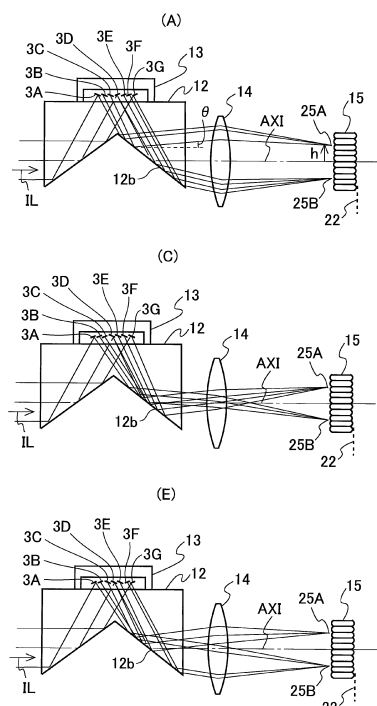
また、本発明は上述の実施形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。また、明細書、特許請求の範囲、図面、及び要約を含む2007年11月6日付け提出の日本国特許出願第2007-289089号の全ての開示内容は、そっくりそのまま引用して本願に組み込まれている。

【図1】

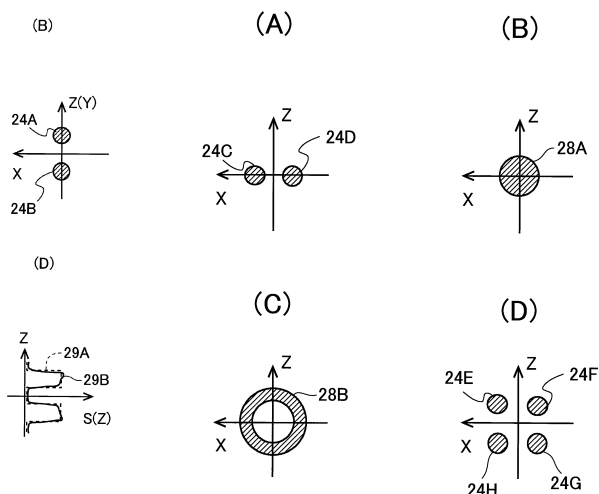
【図2】



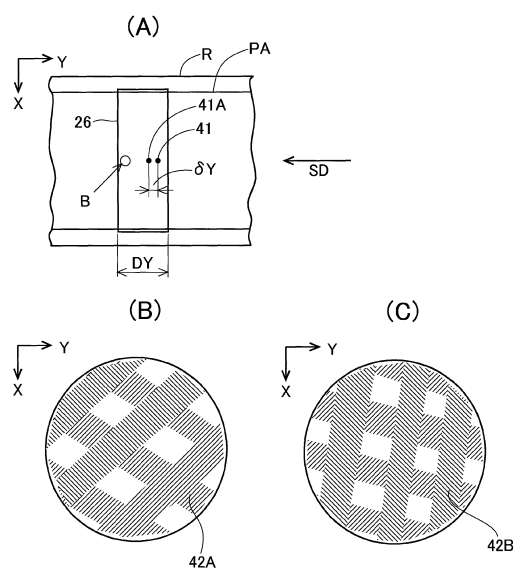
【図 3】



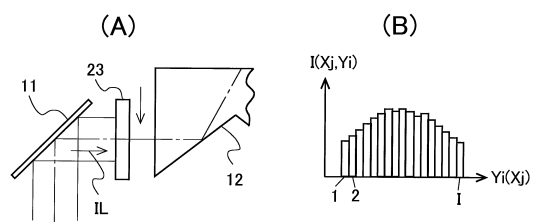
【図 4】



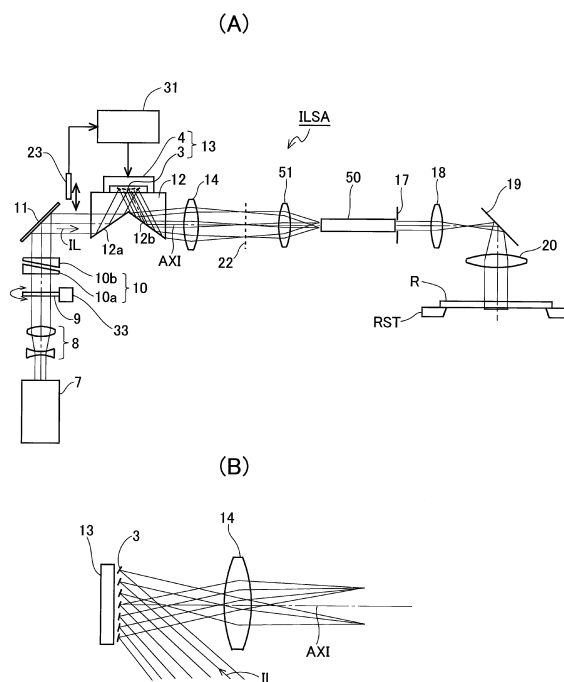
【図 5】



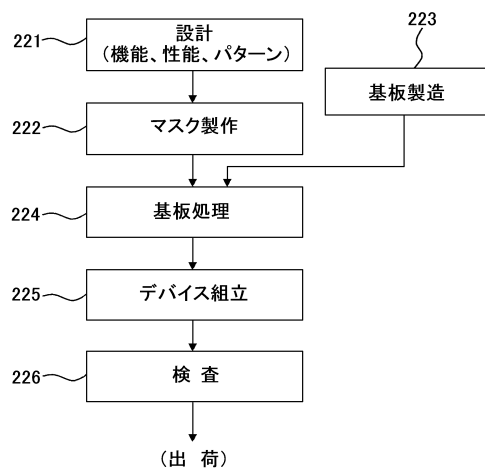
【図 6】



【图 7】



【図 8】



フロントページの続き

審査官 赤尾 隼人

- (56)参考文献 特開平10-175328 (JP, A)
特表2003-527641 (JP, A)
特開2006-179933 (JP, A)
特開2006-086529 (JP, A)
特開2002-353105 (JP, A)
特開2008-021989 (JP, A)
米国特許出願公開第2003/0210383 (US, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01L 21/027
G03F 7/20-7/24
G02B 19/00