

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-42073
(P2014-42073A)

(43) 公開日 平成26年3月6日(2014.3.6)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H01L 21/027 (2006.01)	H01L 21/30 529	2H097
G03F 7/20 (2006.01)	H01L 21/30 515D	5F146
	G03F 7/20 501	

審査請求 有 請求項の数 5 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2013-238858 (P2013-238858)
 (22) 出願日 平成25年11月19日 (2013.11.19)
 (62) 分割の表示 特願2009-540019 (P2009-540019)
 の分割
 原出願日 平成20年10月27日 (2008.10.27)
 (31) 優先権主張番号 特願2007-289090 (P2007-289090)
 (32) 優先日 平成19年11月6日 (2007.11.6)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(71) 出願人 000004112
 株式会社ニコン
 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号
 (74) 代理人 100098165
 弁理士 大森 聡
 (72) 発明者 大和 壮一
 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
 Fターム(参考) 2H097 AA03 GB04 LA10 LA11
 5F146 BA07 CB34 CB35 CB43 DA43

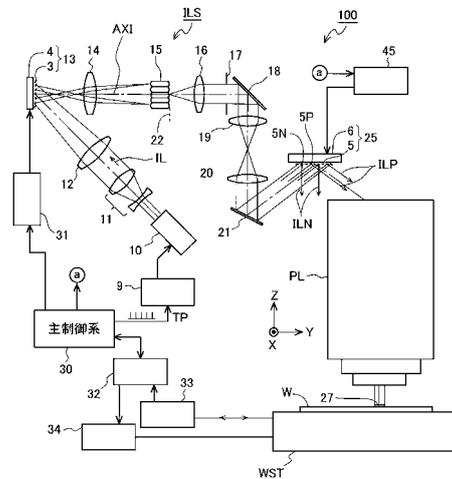
(54) 【発明の名称】 露光方法及び装置、並びにデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】複数種類のパターンが混在するマスクパターンを高いスループットで、かつそれぞれ照明条件を最適化して露光する。

【解決手段】パルス発光される照明光 I L でウエハ W を露光する露光方法であって、照明光 I L によって照明される第 1 の空間光変調器 1 3 からの光を第 2 の空間光変調器 2 5 へ導光し、第 2 の空間光変調器 2 5 からの光でウエハ W を露光するとともに、複数の第 2 のミラー要素 5 を含む第 2 の空間光変調器 2 5 の変換状態を制御する第 1 工程と、第 1 の空間光変調器 1 3 と第 2 の空間光変調器 2 5 との間の所定面上における照明光 I L の強度分布を制御するために、複数の第 1 のミラー要素 3 を含む第 1 の空間光変調器 1 3 の変換状態を制御する第 2 工程と、を有する。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

露光光で被照射面を照明し、前記被照射面を介した前記露光光で物体を露光する露光装置であって、

前記被照射面よりも上流に配置されて、複数の第 1 の光学要素を含む第 1 の光学デバイスを有する照明光学系と；

前記被照射面またはその近傍に配置されて、複数の第 2 の光学要素を含む第 2 の光学デバイスと；

前記第 1 の光学デバイスの変換状態または前記第 2 の光学デバイスの変換状態を制御する照明制御装置と；

を備えることを特徴とする露光装置。

10

【請求項 2】

前記第 2 の光学要素の大きさは前記第 1 の光学要素の大きさよりも小さいことを特徴とする請求項 2 に記載の露光装置。

【請求項 3】

露光光で物体を露光する露光方法であって、

前記露光光によって照明される第 1 の光学デバイスからの光を第 2 の光学デバイスへ導光し、前記第 2 の光学デバイスからの光で前記物体を露光するとともに；

複数の第 2 の光学要素を含む前記第 2 の光学デバイスの変換状態を制御する第 1 工程と；

20

前記第 1 の光学デバイスと前記第 2 の光学デバイスとの間の所定面上における前記パルス光の強度分布を制御するために、複数の第 1 の光学要素を含む前記第 1 の光学デバイスの変換状態を制御する第 2 工程と；

を含むことを特徴とする露光方法。

【請求項 4】

前記第 2 の光学要素の大きさは前記第 1 の光学要素の大きさよりも小さいことを特徴とする請求項 3 に記載の露光方法。

【請求項 5】

請求項 3 又は 4 に記載の露光方法を用いて物体を露光する工程と、

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。

30

【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の制御技術、その複数の光学素子を用いて物体を露光する露光技術、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）を製造するためのリソグラフィ工程中で、所定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）の各ショット領域に転写するために、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。

40

【0003】

従来の露光装置においては、製造対象のデバイスの複数のレイヤに対して異なる回路パターンを形成するために、各レイヤ毎に、マスクを交換して露光を行っていた。さらに、1つのレイヤの回路パターンに例えば微細度等が異なる2種類の回路パターンが混在している場合には、その2種類の回路パターン用のマスクパターンを異なる2枚のマスクに形成しておき、この2枚のマスクのパターンを順次、照明条件を最適化しながらウエハ上に重ねて露光する二重露光法も使用されていた。このように、デバイス毎、レイヤ毎、及び

50

パターンの種類毎にマスクの交換を行う場合には、露光工程のスループットが低下する。

【0004】

そこで、マスクの代わりに、それぞれアレイ状に配列された多数の可動の微小ミラーを備えた2つのミラーデバイスを用いて、2つのミラーデバイスの各微小ミラーの反射光の方向を制御することによって、転写用のパターンに対応する光強度分布を生成するようにした露光装置が提案されている（例えば、特許文献1参照）。この露光装置においては、2つのミラーデバイスを偏光方向が直交する直線偏光で照明し、2つのミラーデバイスからの光束を合成した照明光でウエハを露光することによって、2種類のパターンを同時に露光していた。

【特許文献1】特開2006-13518号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

従来のミラーデバイスを用いる露光装置においては、1回の露光で実質的に2種類のパターンを露光するために、2つのミラーデバイスを異なる偏光状態の照明光で同時に照明する必要があった。そのため、マスクパターンに対応する光強度分布を生成する部分の構成が複雑であり、かつ照明光学系の構成も複雑であるという問題があった。

さらに、2つのミラーデバイスからの光の偏光方向が常に直交している必要があるため、同時に露光できる2種類のパターンは、偏光状態が異なる照明光で照明されるパターンに限られるという制限があった。

【0006】

本発明は、このような事情に鑑み、複数種類のパターンが混在しているパターンを露光する際に、スループットを高めて、かつ複数種類のパターン毎に照明条件を容易に最適化できる露光技術、及びその露光技術を用いるデバイス製造技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明による露光方法は、露光光で物体を露光する露光方法であって、その露光光によって照明される第1の光学デバイスからの光を第2の光学デバイスへ導光し、その第2の光学デバイスからの光でその物体を露光するとともに、複数の第2の光学要素を含むその第2の光学デバイスの変換状態を制御する第1工程と、その第1の光学デバイスとその第2の光学デバイスとの間の所定面上におけるそのパルス光の強度分布を制御するために、複数の第1の光学要素を含むその第1の光学デバイスの変換状態を制御する第2工程とを含むものである。

その露光光としては複数のパルス光が使用できる。

【0008】

また、本発明による露光装置は、露光光で被照射面を照明し、その被照射面を介したその露光光で物体を露光する露光装置であって、その被照射面よりも上流に配置されて、複数の第1の光学要素を含む第1の光学デバイスを有する照明光学系と、その被照射面又はその近傍に配置されて、複数の第2の光学要素を含む第2の光学デバイスと、その第1の光学デバイスの変換状態またはその第2の光学デバイスの変換状態を制御する照明制御装置とを備えるものである。

その露光光としては複数のパルス光が使用できる。

【0009】

また、本発明によるデバイス製造方法は、本発明の露光方法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。

また、本発明による別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、本発明の露光装置を用いるものである。

【0010】

また、本発明による制御装置は、第1の光学デバイスの変換状態と第2の光学デバイス

10

20

30

40

50

の変換状態とを制御する制御装置であって、光源から射出される複数のパルス光ごとに、その第1の光学デバイスの変換状態又はその第2の光学デバイスの変換状態を制御する主制御部を備えるものである。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、複数種類のパターンが混在しているマスクパターンを露光する際に、例えば所定量の露光光毎に（露光光がパルス光であるときには、所定数のパルス光毎に）その第2の光学デバイスの変換状態を制御して、実質的にその複数種類のパターンに対応した可変の光強度分布を順次生成し、この光強度分布の光で物体を露光することによって、高いスループットでそのマスクパターンを露光できる。

10

【0012】

この露光に際して、その第2の光学デバイスの変換状態またはその物体上に形成すべきパターン（例えば、マスクパターン、マスク又は露光対象のパターンデータ、物体上に形成されるパターン及びパターンデータ、など）に応じて、その第1の光学デバイスの変換状態を制御して、その第2の光学デバイスに入射する光の傾斜角の分布などを制御することによって、複数種類のパターン毎に照明条件を容易に最適化できる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本発明の第1の実施形態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3の傾斜角を示す図、図3(B)は図3(A)の二次光源を示す図、図3(C)は通常照明時の空間光変調器13のミラー要素3の傾斜角を示す図、図3(D)は図3(C)の二次光源を示す図、図3(E)は別の2極の二次光源を示す図、図3(F)は輪帯照明の二次光源を示す図である。

【図4】図4(A)は図1の空間光変調器25の反射面のパターンの一例を示す図、図4(B)は図4(A)のB部の拡大図、図4(C)は空間光変調器25の反射面のパターンの別の例を示す図である。

30

【図5】図5(A)はマスクパターンMPの一例を示す図、図5(B)は図5(A)の状態よりも被転写領域26Mが移動した状態を示す図、図5(C)は図5(B)の状態よりも被転写領域26Mが移動した状態を示す図である。

【図6】図6(A)は走査露光時のウエハのショット領域を示す図、図6(B)はステップ・アンド・リピート方式で露光する際のウエハのショット領域を示す図である。

【図7】第1の実施形態の露光動作の一例を示すフローチャートである。

【図8】本発明の第2の実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。

【図9】本発明の第3の実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。

【符号の説明】

【0014】

I L S ... 照明光学系、P L , P L A ... 投影光学系、W ... ウエハ、3 , 5 ... ミラー要素、1 0 ... 光源、1 3 , 2 5 ... 空間光変調器、1 5 ... フライアイレンズ、3 0 ... 主制御系、3 1 , 4 5 ... 変調制御部、5 1 ... 偏光ビームスプリッタ (P B S)、5 2 ... 1 / 4 波長板、1 0 0 , 1 0 0 A , 1 0 0 B ... 露光装置

40

【発明を実施するための形態】

【0015】

[第1の実施形態]

以下、本発明の第1の実施形態につき図1～図7を参照して説明する。

図1は、本実施形態の露光装置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10と、光源10からの露光用の照明光（

50

露光光) I Lで被照射面を照明する照明光学系 I L Sと、その被照射面又はその近傍の面上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 5 を備えた第 2 の空間光変調器 2 5 とを備えている。さらに、露光装置 1 0 0 は、多数のミラー要素 5 によって生成すべき可変のパターンからの光束にほぼ相当する照明光 I Lを受光して、そ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、露光時にウエハ Wは Y 方向 (走査方向) に走査される。

10

【 0 0 1 6 】

図 1 の光源 1 0 としては、波長 1 9 3 n m でパルス幅 5 0 n s 程度のほぼ直線偏光のレーザ光を 4 ~ 6 k H z 程度の周波数でパルス発光する A r F エキシマレーザ光源が使用されている。なお、光源 1 0 として、波長 2 4 8 n m のパルス光を供給する K r F エキシマレーザ光源、波長 1 5 7 n m 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 1 0 としては、Y A G 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 1 9 3 n m (これ以外の種々の波長が可能) でパルス幅 1 n s 程度のレーザ光を 1 ~ 2 M H z 程度の周波数でパルス発光可能である。

20

【 0 0 1 7 】

本実施形態においては、光源 1 0 には電源制御部 9 が連結されている。そして、露光装置 1 0 0 の主制御系 3 0 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 T P を電源制御部 9 に供給する。その発光トリガパルス T P に同期して電源制御部 9 は、指示されたタイミング及び光量で光源 1 0 にパルス発光を行わせる。

光源 1 0 から射出された断面形状が矩形でほぼ平行光束のパルスレーザ光よりなる照明光 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 1 1 に入射して、その断面形状が所定形状に拡大される。ビームエキスパンダ 1 1 から射出された照明光 I L は、集光レンズ 1 2 によって、第 1 の空間光変調器 1 3 の上面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 の反射面を照明する。空間光変調器 1 3 は、各ミラー要素 3 の反射面の直交する 2 軸の周りの傾斜角を個別に制御する駆動部 4 を備えている。空間光変調器 1 3 は、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 (又は空間光変調器 1 3 の変換状態を制御すること) によって、照明光 I L をほぼ任意の複数の方向に反射することができる (詳細後述)。また、空間光変調器 1 3 は、その遠視野に所望の瞳輝度分布を形成する。主制御系 3 0 が照明光 I L の所定パルス数 (1 パルス又は複数パルス) の発光毎に、転写用のパターンの情報に基づいて、変調制御部 3 1 に照明条件の情報を供給し、これに応じて変調制御部 3 1 が駆動部 4 に各ミラー要素 3 の反射面の傾斜方向及び傾斜角の設定情報を供給する。また、主制御系 3 0 が転写用のパターンの情報に基づく照明条件の情報を変調制御部 3 1 に予め供給しておき、照明光 I L のパルス発光に合わせて変調制御部 3 1 が駆動部 4 に各ミラー要素 3 の反射面の傾斜方向及び傾斜角の設定情報を供給してもよい。この場合、主制御系 3 0 は、変調制御部 3 1 に発光トリガパルス T P を供給すればよい。

30

40

【 0 0 1 8 】

なお、例えばビームエキスパンダ 1 1 と集光レンズ 1 2 との間に、例えば照明光 I L の偏光方向を変えるための 1 / 2 波長板、その照明光 I L を円偏光に変換するための 1 / 4 波長板、及び所定の直線偏光の光をランダム偏光 (非偏光) に変換するための楔型の複屈折性のプリズム等を組み合わせた偏光光学系 (不図示) を配置してもよい。この偏光光学系を用いることによって、ウエハ W に照射される照明光 I L の偏光状態を偏光方向が X 方

50

向若しくはY方向の直線偏光、円偏光、又は非偏光等に制御して、いわゆる偏光照明を行うことができる。

【0019】

また、照明光学系 I L S の光軸 A X I に沿って空間光変調器 1 3 の反射面（多数のミラー要素 3 の反射面）、リレー光学系 1 4、及びフライアイレンズ 1 5（オプティカルインテグレータ）が配置されている。そして、空間光変調器 1 3 の各ミラー要素 3 によって反射された照明光 I L は、リレー光学系 1 4 を介してフライアイレンズ 1 5 に入射する。ここでは、リレー光学系 1 4 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 1 4 のほぼ後側焦点面にフライアイレンズ 1 5 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。リレー光学系 1 4 は、各ミラー要素 3 によって反射された照明光 I L を、その光軸 A X I に対する角度に応じて定まる、フライアイレンズ 1 5 の入射面上の X 方向、Z 方向の位置を中心とする所定領域に集光する機能を果たしている。

10

【0020】

言い換えると、空間光変調器 1 3 に入射した照明光 I L 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選択的に偏向（反射）される。そして、各ミラー要素 3 からの反射光は、リレー光学系 1 4 によって、その方向と角度とに応じたフライアイレンズ 1 5 の入射面上の位置に入射する。

フライアイレンズ 1 5 に入射した照明光 I L 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 1 5 の後側焦点面である照明光学系 I L S の瞳面（照明瞳面 2 2）には、フライアイレンズ 1 5 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 1 3 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 1 5 の入射面上の光強度分布、ひいては照明瞳面 2 2 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。なお、フライアイレンズ 1 5 の代わりに、マイクロレンズアレイ等も使用可能である。

20

【0021】

ここで、本実施形態では、被照射面又はその近傍面に配置される第 2 の空間光変調器 2 5 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 P L の開口絞り（不図示）と共役な面となり、照明光学系 I L S の照明瞳面 2 2 と言うことができる。典型的には、照明瞳面 2 2 に対して被照射面（第 2 の空間光変調器 2 5 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 I L S の照明瞳面 2 2 又は該照明瞳面 2 2 と共役な面における輝度分布（瞳輝度分布）であるが、フライアイレンズ 1 5 による波面分割数が大きい場合には、フライアイレンズ 1 5 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 1 5 の入射面及び該入射面と共役な面における輝度分布においても瞳輝度分布と言うことができる。

30

【0022】

ここで、一例として、空間光変調器とは、所定の光に対して空間的な変調を与えるものである。また、本実施形態における空間光変調器の変換状態とは、空間光変調器に光が入射又は射出することによって、その光の振幅、透過率、位相、及び面内分布、などを変えるものをいう。例えば反射型の空間光変調器の場合、各ミラー要素の傾斜方向及び傾斜角、あるいは各ミラー要素の傾斜方向及び傾斜角の分布をいうし、さらには、例えば、後述のような各ミラー要素の駆動電力のオンオフ、又はそのオンオフの分布も含まれる。また、後述するが、空間光変調器には、位相型の空間光変調器、透過型の空間光変調器などもある。

40

【0023】

図 1 において、照明瞳面 2 2 に形成された二次光源からの照明光 I L は、第 1 リレーレンズ 1 6、視野絞り 1 7、光路折り曲げ用のミラー 1 8、第 2 リレーレンズ 1 9、及びコ

50

ンデンサ光学系 20 を介して、光路を被照射面（設計上の転写用のパターンが配置される面）側に折り曲げるためのミラー 21 に向かう。ミラー 21 によって斜め上方に反射された照明光 IL は、被照射面又はその近傍に配置された第 2 の空間光変調器 25 の多数のミラー要素 5 の反射面上の照明領域 26（図 4（A）参照）を均一な照度分布で照明する。ビームエキスパンダ 11 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、ミラー 21、及び空間光変調器 25 は、不図示のフレームに支持されている。

【0024】

図 4（A）は、本実施形態の空間光変調器 25 の反射面を示す図であり、図 4（A）において、空間光変調器 25 の反射面は、X 方向に細長い矩形であり、その反射面には、X 方向、Y 方向に一定ピッチでほぼ密着するように、ほぼ正方形の多数のミラー要素 5 が配列されている。即ち、空間光変調器 25 の反射面において、X 方向の i 番目（ $i = 1, 2, \dots$ ）及び Y 方向の j 番目（ $j = 1, 2, \dots$ ）の位置 $P(i, j)$ にそれぞれミラー要素 5 が配置されている。一例として、空間光変調器 25 の反射面の X 方向の長さ W と Y 方向（ウエハ W の走査方向）の幅との比は 4 : 1 であり、X 方向のミラー要素 5 の配列数は数 1000 である。X 方向に細長い矩形の照明領域 26 は、空間光変調器 25 の反射面の輪郭の僅かに内側の領域に設定される。なお、空間光変調器 25 の反射面はほぼ正方形であってもよい。

10

【0025】

また、本実施形態の空間光変調器 25 のミラー要素 5 は、その反射面の傾斜角を XY 平面に平行な第 1 の角度（本実施形態では、駆動電力をオフにした状態）と、X 軸の周りに所定角度回転した第 2 の角度（本実施形態では、駆動電力をオンにした状態）との間で切り換えることが可能である。空間光変調器 25 は、各ミラー要素 5 の反射面の角度を個別に制御する駆動部 6 を備えている。後述のように、所定パルス数の発光毎に、主制御系 30 が図 1 の変調制御部 45 にウエハ W 上に露光すべきパターンの情報を供給し、これに応じて変調制御部 45 が駆動部 6 に、各ミラー要素 5 の反射面の設定情報を供給する。以下では、図 4（A）の B 部の拡大図である図 4（B）に示すように、その第 1 の角度に設定されたミラー要素 5 をミラー要素 5 P と呼び、その第 2 の角度に設定されたミラー要素 5 をミラー要素 5 N と呼ぶ。このように本実施形態のミラー要素 5 は、2 つの角度の間で切り換えが可能であればよい。空間光変調器 25 を大きくして、かつ各ミラー要素 5 を上記の第 1 の空間光変調器 13 のミラー要素 3 よりもかなり小さくすることが可能である。なお、空間光変調器 25 の構成例については後述する。

20

30

【0026】

図 1 に戻り、一例として、不図示のコラムに支持された投影光学系 PL は、空間光変調器 25（物体面）側に非テレセントリックであり、ウエハ W（像面）側にテレセントリックの縮小投影光学系である。即ち、投影光学系 PL は、空間光変調器 25 の各ミラー要素 5 から反射される照明光 IL のうちで、Z 軸に対して斜めに入射して来る照明光のみを用いて、レジスト（感光材料）が塗布されたウエハ W 上の露光領域 27（図 4（A）の照明領域 26 と共役な領域）に所定のパターンの像を形成する。

【0027】

この場合、空間光変調器 25 において、反射面が上記の第 1 の角度（駆動電力がオフの状態）に設定されたミラー要素 5 P からの反射光は、投影光学系 PL に斜めに入射して有効結像光束 ILP となる。一方、反射面が上記の第 2 の角度に設定されたミラー要素 5 N からの反射光 ILN は、ほぼ -Z 方向に反射されて投影光学系 PL には入射しないため、結像には寄与しない。なお、ミラー要素 5 N の反射面の角度（第 2 の角度）は、ミラー要素 5 N からの反射光がウエハ W に入射しない角度（ウエハ W 上における結像には寄与しない角度）であればよく、例えばその反射光が投影光学系 PL 内の開口絞り（不図示）によって遮光される角度であればよい。この結果、多数のミラー要素 5 は、ミラー要素 5 P が反射部に対応し、ミラー要素 5 N が非反射部に対応する反射型のマスクパターンとみなすことができる。本実施形態では、ミラー要素 5 P とミラー要素 5 N との間の切り換えは、

40

50

照明光 I L のパルス発光毎に行うことが可能であるため、その反射型のマスクパターンは 1 つのミラー要素 5 を単位として、パルス発光毎に任意のパターンに可変である。

【 0 0 2 8 】

本実施形態のように物体側に非テレセントリックの投影光学系 P L を用いることによって、空間光変調器 2 5 の多数のミラー要素 5 の設置面と、ウエハ W が配置される面、すなわちウエハ W の露光面（レジストの上面）とをほぼ平行に配置して、かつ空間光変調器 2 5 からの反射光を投影光学系 P L を介してウエハ W に照射できる。また、駆動電力がオフの状態のミラー要素 5 P からの反射光が有効結像光束となるため、空間光変調器 2 5 の制御が容易である。

【 0 0 2 9 】

そして、投影光学系 P L は、その空間光変調器 2 5 によって設定される可変のパターン（又はそのパターンにほぼ相当する光強度分布）の縮小像をウエハ W 上の露光領域 2 7 に形成する。例えば、ミラー要素 5 の大きさが $20 \mu\text{m}$ 角程度であれば、投影光学系 P L の倍率を $1/200$ 程度にすることによって、ウエハ W 上に線幅が 100nm の可変のパターンを投影できる。なお、上述のように、ミラー要素 5 は 2 つの角度の間で切り換えができればよく一層の小型化が可能であるため、例えばミラー要素 5 の大きさを数 μm 角程度、投影光学系 P L の倍率を $1/50$ 程度にすることによって、ウエハ W 上に線幅が $50 \sim 100 \text{nm}$ 程度の可変のパターンを投影することも可能である。

【 0 0 3 0 】

図 1 において、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 W S T 上に吸着保持され、ウエハステージ W S T 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する。ウエハステージ W S T の X 方向、Y 方向の位置、及び Z 軸の周りの回転角等はレーザ干渉計 3 3 によって形成され、この計測情報がステージ制御系 3 2 に供給されている。ステージ制御系 3 2 は、主制御系 3 0 からの制御情報及びレーザ干渉計 3 3 からの計測情報に基づいて、リニアモータ等の駆動系 3 4 を介してウエハステージ W S T 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。

【 0 0 3 1 】

次に、図 1 の空間光変調器 1 3 及び 2 5 の構成につき説明する。

図 2 (A) は、図 1 の照明光学系 I L S 中の空間光変調器 1 3 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 1 3 は、X 方向、Z 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。

【 0 0 3 2 】

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 3 7 と、ヒンジ部材 3 7 に突設された 4 つの電極 3 5 と、支持基板 3 8 と、支持基板 3 8 上にヒンジ部材 3 7 を支持する 1 対の支柱部材 3 6 と、4 つの電極 3 5 に対向するように支持基板 3 8 上に形成された 4 つの電極 3 9 とを備えている。この構成例では、対応する 4 組の電極 3 5 と 3 9 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 3 7 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 3 7 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 1 3 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。

【 0 0 3 3 】

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

10

20

30

40

50

。また、ミラー要素3の形状は例えば20 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。

【0034】

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。

また、図3(A)及び(C)はそれぞれ図1の空間光変調器13のZ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個のミラー要素3A~3Gからの反射光を示している。また、図3(B)及び(D)はそれぞれ図3(A)及び(C)の照明瞳面22における二次光源(斜線を施した部分)の形状を示している。

【0035】

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2軸の周りの傾斜角(即ち、傾斜方向及び傾斜角)を、その反射光がフライアイレンズ15の入射面において、光軸AXIから偏心した2つの領域に集光されるように設定することによって、図3(B)に示すように、Z方向に2極の二次光源23A, 23Bが生成される。この場合、空間光変調器13の他の列のミラー要素3の傾斜方向及び傾斜角も、その反射光が二次光源23A, 23Bのいずれかに対応する領域に集光され、かつ二次光源23A, 23Bの強度が概ね均等になるように設定される(以下、同様)。また、各ミラー要素3の傾斜方向及び傾斜角を制御するのみで、領域B4A, B4Bに示すように、二次光源23A, 23Bの間隔を制御することができる。なお、照明瞳面22におけるZ方向は、空間光変調器25の反射面(転写用のパターンにほぼ相当する光強度分布が生成される面)のY

10

20

【0036】

また、図3(C)に示すように、空間光変調器13の各ミラー要素3A~3Gの傾斜方向及び傾斜角を、その反射光がフライアイレンズ15の入射面において光軸AXIを含む領域に集光されるように設定することによって、図3(D)に示すように、通常照明用の円形の二次光源24Aが生成される。この場合にも、各ミラー要素3の傾斜方向及び傾斜角を制御するのみで、領域D4に示すように、二次光源24Aの大きさ(値)を制御することができる。

【0037】

同様に、各ミラー要素3の反射面の2軸の周りの傾斜角を個別に制御することによって、図3(E)に示すX方向に2極の二次光源23C, 23D、図3(F)に示す輪帯状の二次光源34B、及び4極の二次光源(不図示)等を生成することができる。

30

また、図1の投影光学系PLの物体面側(マスク用)の空間光変調器25は、空間光変調器13と同様に構成することができる。ただし、空間光変調器25の各ミラー要素5は、上記の第1の角度及び第2の角度に設定できればよいため、ミラー要素5の駆動機構は、空間光変調器13のミラー要素3の駆動機構よりも簡素化が可能である。

【0038】

なお、上記の空間光変調器13, 25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。

40

【0039】

また、空間光変調器13, 25としては、例えば複数のミラー素子が二次元的に配列されてその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

50

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 1 d 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。

【0040】

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、本実施形態の露光装置 100 による露光動作（主制御系 30 によって制御される）の一例につき図 7 のフローチャートを参照して説明する。この場合、一例として、図 5 (A) に示すマスクパターン MP の縮小像をウエハ W 上に露光するものとする。マスクパターン MP の情報は主制御系 30 の記憶部に記憶されている。マスクパターン MP 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（以下、L & S パターンという。）40A ~ 40C、Y 方向に解像限界に近いピッチで配列された L & S パターン 41A ~ 41D、及び比較的粗いピッチで配列された L & S パターン 42A, 42B, 43 を含んでいる。なお、L & S パターン 40A ~ 40C 等は拡大して表示されている。また、実際には、マスクパターン MP は、ウエハ W 上に投影されるパターンと形状が異なる場合がある。

【0041】

また、図 4 (A) の空間光変調器 25 上の照明領域 26 に対応する図 5 (A) のマスクパターン MP 上の領域を被転写領域 26M とする。本実施形態では、主制御系 30 内の画像メモリ内で仮想的に、被転写領域 26M をマスクパターン MP 上で Y 方向に一定速度で移動して、被転写領域 26M 内の時系列的に変化するパターンに対応する光強度分布を図 4 (A) の空間光変調器 25 のミラー要素 5 によって生成し、その被転写領域 26M の移動に同期して図 1 のウエハ W を対応する走査方向である Y 方向に移動する。また、図 5 (A) のマスクパターン MP の斜線を施した部分（L & S パターン 40A 等）は光強度が強い部分を示し、これに対応するように例えば図 4 (A)、図 4 (C) の空間光変調器 25 の斜線を施した部分のミラー要素 5 P は光強度が強い部分（その反射光が投影光学系 PL を通過する部分）を示している。

【0042】

さらに、一例として、図 5 (A) の L & S パターン 40A ~ 40C を露光する場合には、図 3 (E) の二次光源 23C, 23D を用いる X 方向の 2 極照明が望ましく、L & S パターン 41A ~ 41C を露光する場合には、図 3 (B) の二次光源 23A, 23B を用いる Z 方向（Y 方向）の 2 極照明が望ましく、L & S パターン 42A ~ 43 を露光する場合には、図 3 (D) の二次光源 24A を用いる通常照明が望ましいものとする。

【0043】

まず、図 7 のステップ 121 でウエハ W 上にレジストを塗布した後、ステップ 101 でそのウエハ W を図 1 のウエハステージ WST 上にロードする。図 6 (A) に示すように、ウエハ W の表面は、X 方向及び Y 方向に所定ピッチでそれぞれ図 5 (A) のマスクパターン MP の縮小像（説明の便宜上、正立像とする）が露光されるショット領域 SA に区分されている。次のステップ 102 において、ウエハ W のアライメントを行った後、図 6 (A) のウエハ W 上の Y 方向に一行に配列されたショット領域 SA21, SA22, ... に露光を行うために、ウエハ W を走査開始位置に位置決めした後、図 5 (A) のマスクパターン MP 上で仮想的に被転写領域 26M の + Y 方向への走査を開始し、これに同期してウエハ W の + Y 方向への一定速度での走査を開始する。なお、図 5 (A) のショット領域 SA21 等の中の矢印は、ウエハ W に対する露光領域 27 の相対的な移動方向を示している。

【0044】

次のステップ 103 において、主制御系 30 は、図 5 (A) の被転写領域 26M 内から転写用パターンとして L & S パターン 40A ~ 40C よりなるパターン 28A を選択する

。次のステップ104において、主制御系30は変調制御部45を介して、空間光変調器25のミラー要素5の傾斜角を制御して、図4(A)に示すように、そのパターン28Aに対応するミラー要素5P, 5Nの分布を設定する。次のステップ105において、主制御系30は、選択されたパターン28Aに応じた照明条件(ここではX方向の2極照明)を選択し、ステップ106において、その照明条件に対応させて、図1の変調制御部31を介して空間光変調器13の各ミラー要素3の傾斜方向及び傾斜角を設定して、図3(E)に示す2極の二次光源を設定する。

【0045】

次のステップ107において、主制御系30は、図1の電源制御部9に発光トリガパルスTPを供給することによって、所定パルス数だけ光源10に照明光ILを発光させて、ウエハW上の露光領域27に図4(A)のパターン28Aの像を露光する。その所定パルス数とは、1パルスでもよく、5パルス又は10パルス等の複数パルスでもよい。また、その所定パルス数とは可変であってもよい。なお、ステップ103~106及び以下のステップ108の動作は、例えば照明光ILのパルス発光の1周期内に高速に行われるため、ウエハWの走査露光中に、照明光ILは実質的に連続してパルス発光される。

10

【0046】

次のステップ108において、図5(A)のマスクパターンMP中で転写が完了していないパターンが残っている場合には、ステップ103に移行して、転写用のパターンの選択を行い、以下、空間光変調器25のミラー要素5の傾斜角の設定、照明条件の選択、選択された照明条件に応じた空間光変調器13のミラー要素3の傾斜方向及び傾斜角の設定、並びに所定パルス数の露光までの動作(ステップ104~107)を繰り返す。なお、ステップ103~107は同じパターン(例えば図5(A)のL&Sパターン40A)に対して複数回繰り返される場合もある。この際に、ウエハWが走査されているため、図1の空間光変調器25によって生成されるそのパターンもY方向にシフトすることになる。そして、最終的に、図5(A)のマスクパターンMP中の各パターン(例えばL&Sパターン40A)毎のウエハWに対する積算露光量が予め設定されているレジスト感度になるように、その所定パルス数が調整される。この際に、パルス光にはパルス毎のエネルギーのばらつきがあるため、平均化効果によって露光量むらを低減させるために、そのレジスト感度を得るための積算パルス数を所定値以上に設定してもよい。

20

【0047】

また、例えば、図5(B)に示すように、被転写領域26Mが移動した場合には、被転写領域26M内にはX方向のL&Sパターン40A~40Cの他にY方向のL&Sパターン41Aも含まれている。この場合には、一例として、転写用のパターン28BとしてL&Sパターン40A~40Cのみを選択し、これに応じて空間光変調器13によって設定する照明条件はX方向の2極照明とする。

30

【0048】

次に図5(C)に示すように、被転写領域26Mが移動したときに、一例として、転写用のパターン28Cとして、Y方向のL&Sパターン41A~41Cのみを選択し、これに応じて空間光変調器25によって図4(C)に示すようにパターン28Cに対応するミラー要素5P, 5Nの分布を設定する。さらに、照明条件をY方向の2極照明とするために、空間光変調器13によって図3(B)の二次光源23A, 23Bを設定する。

40

【0049】

その後、被転写領域26Mが図5(A)の2点鎖線で示す位置29Aに移動したときには、一例として、転写用のパターン28Dとしてその中のY方向のL&Sパターン41B~41Dのみを選択して、次に被転写領域26Mが図5(B)の位置29Bに移動したときには、一例として、転写用のパターン28Eとしてその中の粗いピッチのL&Sパターン42Aのみを選択し、照明条件は例えば通常照明を選択し、空間光変調器13によって図3(D)の円形の二次光源24Aを設定する。その後、被転写領域26Mが図5(C)の位置29Cを通過する際には、粗いピッチのL&Sパターン42A~43のみが転写用のパターンであるため、照明条件は通常照明のままよい。

50

【 0 0 5 0 】

そして、ステップ 1 0 8 において、図 5 (A) のマスクパターン M P 中で未転写のパターンがなくなったときには、図 6 (A) に示すように、ウエハ W 上の 1 つのショット領域 S A 2 1 への走査露光が完了したため、動作はステップ 1 0 9 に移行して、ウエハ W 上で未露光のショット領域が残っているかどうかを判定する。この時点では、図 6 (A) に示すように、ウエハ W 上のショット領域 S A 2 1 に隣接するショット領域 S A 2 2 が未露光であるため、動作はステップ 1 0 2 に戻る。この場合には、ウエハ W を同じ方向に走査したまま、図 5 (A) に示すように、マスクパターン M P の - Y 方向の端部に被転写領域 2 6 M を仮想的に移動して、ステップ 1 0 3 ~ 1 0 8 の動作を繰り返せばよい。なお、ウエハ W 上の走査方向に隣接するショット領域 S A 2 1 , S A 2 2 の境界部では、図 5 (C) の位置 2 9 D 1 , 2 9 D 2 で示すように、被転写領域 2 6 M をマスクパターン M P の両端部に設定し、その位置 2 9 D 1 , 2 9 D 2 内のパターンを合成したパターンを図 4 (A) の空間光変調器 2 5 で生成することによって、ショット領域 S A 2 1 から S A 2 2 にかけて連続的に露光を行うことができる。

10

【 0 0 5 1 】

また、ステップ 1 0 9 において、図 6 (A) のウエハ W 上の X 方向に隣接するショット領域 S A 3 1 , S A 3 2 を含む列の露光に移行する場合には、ステップ 1 0 2 に移行して、ウエハステージ W S T を駆動してウエハ W を X 方向にステップ移動する。そして、位置 2 7 R の露光領域に対するウエハ W の走査方向を - Y 方向に逆に設定し、図 5 (A) において、マスクパターン M P 上での被転写領域 2 6 M の仮想的な移動方向を - Y 方向にして、ステップ 1 0 3 ~ 1 0 8 を繰り返せばよい。

20

【 0 0 5 2 】

そして、ステップ 1 0 9 において、ウエハ W 上で未露光のショット領域がなくなったときに、ステップ 1 1 0 においてウエハ W のアンロードを行い、次のウエハの露光を行う (ステップ 1 1 1) 。また、露光済みのウエハには、ステップ 1 2 2 において、レジストの現像、現像したウエハの加熱 (キュア) 、及びエッチング等の回路パターン形成のための処理が施される。ウエハに対して、このような露光及び現像 (リソグラフィ工程) と、その処理とを繰り返した後、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) を経ることによって、半導体デバイス等が製造される。

30

【 0 0 5 3 】

このように、本実施形態の露光装置 1 0 0 においては、空間光変調器 2 5 を用いることによって、同一の被転写領域 2 6 M 内のパターンであっても、実際にウエハ W 上に転写するパターンを周期方向及び微細度等によって分類して選択することができ、選択されたパターンに応じて空間光変調器 1 3 を用いて照明条件を最適化することができる。従って、種々のパターンが混在する図 5 (A) のマスクパターン M P を、一回の走査露光によって、その種々のパターン毎に最適な照明条件で露光することができる。従って、空間光変調器 2 5 は、ウエハ W 上に転写 (又は形成) すべきパターン、又はそのピッチ及び方向、に応じて空間光変調器 2 5 の複数のミラー要素 5 の傾斜角及び傾斜方向を個別に制御される。さらに、空間光変調器 1 3 は、ウエハ W 上に転写 (又は形成) すべきパターン、又はそのピッチ及び方向、に応じて、又は空間光変調器 2 5 の変換状態に応じて、空間光変調器 1 3 の複数のミラー要素 3 の傾斜角及び傾斜方向を個別に制御される。この際に、本実施形態では、マスクパターン M P 中から転写用のパターンを時系列的に選択しているため、転写用のパターンを例えば照明光の偏光状態に応じて選択する必要はなく、マスクパターン M P に多様なパターンが混在していても対応することができる。

40

【 0 0 5 4 】

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 による露光方法は、複数のパルス発光される照明光 I L でウエハ W (物体) を露光する露光方法であって、空間光変調器 2 5 の複数のミラー要素 5 (第 2 の光学要素としての反射要素) の反射面の状態 (ひいては空間光変調

50

器 2 5 の変換状態)を個別に制御するステップ 1 0 4 と、所定面上における照明光 I L の強度分布を制御するために空間光変調器 1 3 の複数のミラー要素 3 (第 1 の光学要素としての反射要素)の反射面の状態(ひいては空間光変調器 1 3 の変換状態)を制御するステップ 1 0 6 と、照明光 I L によって照明される複数のミラー要素 3 からの光を複数のミラー要素 5 へ導光し、複数のミラー要素 5 からの光でウエハ W を露光するステップ 1 0 7 とを含んでいる。

【 0 0 5 5 】

また、図 1 の露光装置 1 0 0 は、複数のパルス発光される照明光 I L で被照射面を照明し、その被照射面又はその近傍の面を介した照明光 I L でウエハ W を露光する露光装置であって、被照射面よりも上流(照明光 I L が入射する方向)に配置されて複数のミラー要素 3 を含む空間光変調器 1 3 (第 1 の光学デバイス)を有する照明光学系 I L S と、その被照射面又はその近傍に配置されて、複数のミラー要素 5 を含む空間光変調器 2 5 (第 2 の光学デバイス)と、空間光変調器 2 5 の変換状態、または空間光変調器 1 3 の変換状態を制御する主制御系 3 0 及び変調制御部 3 1 , 4 5 (照明制御装置)とを備えている。なお、本実施形態における照明制御装置は、主制御系 3 0 と変調制御部 3 1 , 4 5 とを含む装置であるが、例えば、変調制御部 3 1 , 4 5 がそれぞれに主制御系 3 0 の機能を有するのであれば、照明制御装置は、変調制御部 3 1 , 4 5 を含む装置でもよい。

ここで、ウエハ W に入射する光とは、ウエハ W 上での結像に寄与する光(露光光)、つまり転写用のパターンにほぼ相当する光である。また、ウエハ W に入射しない光とは、ウエハ W 上での結像に寄与しない光(非露光光)であって、例えば、その光を投影光学系 P L 内に入射させないようにすればよいし、その光を投影光学系 P L 内の開口絞り(不図示)によって遮光してもよい。

【 0 0 5 6 】

本実施形態によれば、複数のミラー要素 5 の反射面の状態を個別に制御することで、時系列的に複数種類のパターンに対応する光強度分布を生成でき、さらに複数のミラー要素 3 の反射面の状態を個別に制御することで、ミラー要素 5 に対する照明光学系 I L S の照射角の分布(照明条件)を最適化できる。従って、複数種類のパターンが混在するマスクパターンを高いスループットで、かつそれぞれ照明条件を最適化して露光できる。

【 0 0 5 7 】

(2)また、そのステップ 1 0 4 において、主制御系 3 0 及び変調制御部 4 5 は、ウエハ W 上に形成すべきパターンに応じて複数のミラー要素 5 の反射面の状態(傾斜角)を個別に制御している。さらに、そのステップ 1 0 4 において、主制御系 3 0 及び変調制御部 4 5 は、ウエハ W 上に形成すべきパターンのピッチ及び方向に応じて複数のミラー要素 5 の反射面の状態(例えば、傾斜角)を個別に制御している。また、ステップ 1 0 6 において、主制御系 3 0 及び変調制御部 3 1 は、空間光変調器 2 5 の変換状態に応じて、又はウエハ W 上に形成すべきパターンに応じて、複数のミラー要素 3 の反射面の状態(傾斜方向及び傾斜角)を個別に制御している。さらに、ステップ 1 0 6 において、主制御系 3 0 及び変調制御部 3 1 は、ウエハ W 上に形成すべきパターンのピッチ及び方向に応じて複数のミラー要素 3 の反射面の状態(例えば、傾斜方向及び傾斜角)を個別に制御している。

【 0 0 5 8 】

これによって、マスクパターン(又は空間変調器 2 5 の変換状態)またはウエハ W 上に形成(露光)すべきパターンに応じて照明条件を容易に最適化できる。

また、マスクパターン(又は空間変調器 2 5 の変換状態)、又はウエハ W 上に形成すべきパターンに応じて照明条件を最適化して露光できるので、光量ロスを低減し、良好なパターンを露光することができる。

【 0 0 5 9 】

(3)また、その所定面は、照明光学系 I L S の瞳面(照明瞳面 2 2)であるが、その瞳面の近傍の面であってもよい。また、その所定面は、照明瞳面 2 2 と共役な面、又はその近傍の面であってもよい。

(4)また、上記の実施形態では、照明光 I L が所定パルス数発光される毎に、ステッ

10

20

30

40

50

ブ 104 及び 106 における複数のミラー要素 5 の反射面の状態の設定、及び複数のミラー要素 3 における反射面の状態の設定の切り換えを行っている。従って、ウエハ W 上に露光すべきパターンの切り換え、及び照明条件の最適化を高速に行うことができる。

【0060】

特にその所定パルス数が 1 パルスであれば、最も高速にパターンの切り換えを行うことができ、この結果、図 5 (A) のマスクパターン MP に含まれるパターンの種類が極めて多い場合でも、各パターンの照明条件を最適化して、1 回の走査露光でそのマスクパターン MP を露光できる。

この結果、複数パルスの照明光 IL で露光を行う場合、始めにステップ 107 において、第 1 パルス光によって照明される複数のミラー要素 3 からの光で複数のミラー要素 5 を照明し、このミラー要素 5 からの光でウエハ W を露光した後、ステップ 104、106 で複数のミラー要素 5 及びミラー要素 3 の少なくとも一方の反射面の状態を変えてから、次のステップ 107 において、第 2 パルス光によって照明される複数のミラー要素 3 からの光で複数のミラー要素 5 を照明し、このミラー要素 5 からの光でウエハ W を露光することができる。

【0061】

(5) 言い換えると、ステップ 104 は、照明光 IL が所定パルス数発光される毎に、図 1 の空間光変調器 25 の複数のミラー要素 5 からの光の個別の状態を第 1 状態 (例えば図 4 (A) の X 方向の L & S パターンの光強度分布の状態) 又は第 2 状態 (例えば図 4 (C) の Y 方向の L & S パターンの光強度分布の状態) に切り換える工程を含む。

これに対応して、ステップ 106 は、照明光 IL が所定パルス数発光される毎に、その第 1 状態に対応して空間光変調器 13 の複数のミラー要素 3 からの光の個別の状態を第 3 状態 (例えば図 3 (E) の X 方向の 2 極照明の状態) に切り換える工程、又はその第 2 状態に対応して複数のミラー要素 3 からの光の個別の状態を第 4 状態 (例えば図 3 (B) の Y 方向の 2 極照明の状態) に切り換える工程を含む。これによって、パターン毎に照明条件を最適化できる。

【0062】

(6) また、ステップ 107 は、空間光変調器 25 の複数のミラー要素 5 に対して、ウエハステージ WST によってウエハ W を所定方向 (走査方向である Y 方向) に走査しながらウエハ W を露光する工程であり、ステップ 104 は、ウエハ W の Y 方向への走査に応じて、変化する転写対象のパターンに対応させて、複数のミラー要素 5 からの光の状態を個別に制御する工程を含む。これによって、マスクパターン MP がその所定方向に長い場合であっても、1 回の走査露光でウエハ W にそのマスクパターン MP を露光できる。

【0063】

(7) なお、図 1 の露光装置 100 において、空間光変調器 25 によって設定される可変のパターン (光強度分布) を投影光学系 PL を介して、ステップ・アンド・リピート方式でウエハ W 上に露光してもよい。この場合には、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。また、図 6 (B) に示すように、ウエハ W 上の各ショット領域 SA は、ショット領域 SA21 のように、それぞれ図 1 の露光領域 27 の大きさに対応する複数の部分ショット領域 SB1 ~ SB5 に分割される。

【0064】

そして、露光領域 27 によってショット領域 SA21 中の部分ショット領域 SB1 に露光した後、ウエハステージ WST によってウエハ W を Y 方向にステップ移動する動作と、図 7 のステップ 103 ~ 107 の動作とを繰り返すことによって、他の部分ショット領域 SB2 ~ SB5 にも露光を行うことができる。さらに、1 つの部分ショット領域 SB1 ~ SB5 への露光中に、例えば図 5 (A) のマスクパターン MP 中の X 方向の L & S パターン 40C と、Y 方向の L & S パターン 41A ~ 41C とのように、種類の異なるパターンをそれぞれ照明条件を最適化して、かつ積算露光量がレジスト感度に達するように所定のパルス数で露光することができる。

【0065】

10

20

30

40

50

(8) また、図1の実施形態においては、図7のステップ104は、例えば、空間光変調器25の複数のミラー要素5の各反射面の状態を、この反射面からの反射光がウエハWに入射する状態(第1の角度)と、その反射光がウエハWに入射しない状態(第2の角度)とのいずれかに設定する工程を含み、ステップ106は、空間光変調器13の複数のミラー要素3の各反射面の状態を、2軸の周りの傾斜角が可変範囲内のいずれかの角度になるように設定する工程を含んでいる。

【0066】

従って、複数のミラー要素5の駆動機構が簡素化できる。また、複数のミラー要素3によって、照明光ILの利用効率を高く維持して、かつ種々の形状の二次光源を容易に生成できる。

なお、空間光変調器13のミラー要素3は、1軸の周りの反射面の傾斜角が可変範囲内のいずれかの角度になるように設定するのみでもよい。この場合には、照明光ILの利用効率は低下するが、二次光源の生成に使用されないミラー要素3からの光は、フライアイレンズ15に入射させないようにすればよい。

【0067】

(9) また、図1において、空間光変調器25が配置される面(又はミラー要素5の設置面)と、ウエハWにおける露光面(レジストの上面)とは互いに略平行に配置されている。従って、露光装置の設計、製造が容易である。

(10) なお、上記の実施形態では、照明光ILはエキシマレーザ光源から発光されるパルス光であるが、その代わりに固体レーザ光源から発光されるパルス光を用いてもよい。この固体レーザ光源は、パルス周波数を1~2MHz程度に高められるため、このパルス周波数に同期してミラー要素5及びミラー要素3の反射面の状態を高速に切り換えることによって、より多くの種類のパターンが混在するマスクパターンを1回の露光で短時間にウエハ上に露光できる。

【0068】

(11) また、露光装置100は、複数のパルス光(照明光IL)を供給するための光源10(光源部)を備えているため、そのパルス光の発光タイミング等を高精度に制御できる。

(12) また、上記の実施形態のデバイスの製造方法は、上記の実施形態の露光方法を用いてウエハ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122)とを含んでいる。

【0069】

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。これらのデバイス製造方法によれば、多種類の回路パターンが混在するデバイスを高いスループットで高精度に製造できる。

また、この第1の実施形態は以下のような変更も可能である。

【0070】

(13) 図1の実施形態においては、複数の第1及び第2の光学要素を含む第1及び第2の光学デバイスとして、複数のミラー要素5(反射要素)を含む空間光変調器25及び複数のミラー要素3(反射要素)を含む空間光変調器13が使用されている。しかしながら、空間光変調器25及び空間光変調器13の少なくとも一方の変調器の代わりに、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、又はそれぞれ透過光の位相を制御する複数の位相要素(可変段差要素等)を含む位相デバイス等を用いることも可能である。

【0071】

(14) 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1において、リレー光学系14よりも空間光変調器25側に集光光学系を追加して空間光変調器13の反射面の共役面を形成し、この共役面近傍に入

10

20

30

40

50

射端が位置決めされるようにロッド型インテグレータを配置する。

【 0 0 7 2 】

また、このロッド型インテグレータの射出端面又は射出端面近傍に配置される照明視野絞りの像を空間光変調器 2 5 の反射面上に形成するためのリレー光学系を配置する。この構成の場合、二次光源はリレー光学系 1 4 及び集光光学系の瞳面に形成される（二次光源の虚像はロッド型インテグレータの入射端近傍に形成される）。また、ロッド型インテグレータからの光束を空間光変調器 2 5 へ導くためのリレー光学系が導光光学系となる。

【 0 0 7 3 】

[第 2 の実施形態]

本発明の第 2 の実施形態につき図 8 を参照して説明する。

図 8 は、本実施形態の露光装置 1 0 0 A の概略構成を示す。図 1 に対応する部分に同一符号を付した図 8 において、空間光変調器 2 5 の多数のミラー要素 5 によって生成される可変のパターン（光強度分布）の縮小像をウエハ W 上に投影する投影光学系 P L A は、空間光変調器 2 5（物体面）側及びウエハ W（像面）側の両側にテレセントリックである。このため、空間光変調器 2 5 は、その中心が投影光学系 P L A の光軸 A X にほぼ合致するように、投影光学系 P L A の上方に配置されている。また、空間光変調器 2 5 の多数のミラー要素 5 の設置面とウエハ W の露光面とはほぼ平行である。

【 0 0 7 4 】

本実施形態においては、照明光学系 I L S からのパルス光としての照明光 I L は、ミラー 2 1 を介して斜め上方の空間光変調器 2 5 の多数のミラー要素 5 に入射する。そして、反射面が X Y 平面に平行な第 1 の角度（駆動電力がオフの状態）に設定されたミラー要素 5 P からの反射光 I L N は、ウエハ W 上での結像には寄与しない（例えば、投影光学系 P L A に入射しない）。一方、反射面が傾斜した第 2 の角度（駆動電力がオンの状態）に設定されたミラー要素 5 N からの反射光は投影光学系 P L A に入射する有効結像光束 I L P となって、ウエハ W を露光する。この他の構成は第 1 の実施形態と同様である。

【 0 0 7 5 】

本実施形態の露光装置 1 0 0 A によれば、両側テレセントリックな投影光学系 P L A を使用できるとともに、空間光変調器 2 5 の設置面（又はミラー要素 5 の設置面）とウエハ W の露光面とをほぼ平行に配置できるため、露光装置の設計、製造が容易である。

[第 3 の実施形態]

本発明の第 3 の実施形態につき図 9 を参照して説明する。

【 0 0 7 6 】

図 9 は、本実施形態の露光装置 1 0 0 B の概略構成を示す。図 1 に対応する部分に同一符号を付した図 9 において、両側テレセントリックの投影光学系 P L A の上方に光軸 A X に沿って、偏光ビームスプリッタ（以下、P B S と呼ぶ）5 1、1 / 4 波長板 5 2、及び多数のミラー要素 5 を含む空間光変調器 2 5 が設置されている。また、本実施形態の照明光学系 I L S は、図 1 の照明光学系 I L S に対してミラー 1 8 が省略されており、照明光 I L がそのまま + Y 方向に P B S 5 1 に向けて照射される点が異なっている。さらに、照明光 I L は、P B S 5 1 に対して S 偏光（偏光方向がビームスプリッタ面における入射面に垂直）の直線偏光である。

【 0 0 7 7 】

この場合、P B S 5 1 に入射した照明光 I L は上方に反射された後、1 / 4 波長板 5 2 を介して円偏光になって、空間光変調器 2 5 の多数のミラー要素 5 の駆動電力がオフ状態での反射面にほぼ垂直に入射する。そして、反射面が第 1 の角度（駆動電力がオフの状態）に設定されたミラー要素 5 P からの反射光は、有効結像光束 I L P として光軸 A X に沿って 1 / 4 波長板 5 2 に入射して P 偏光になって、P B S 5 1 を透過して投影光学系 P L A に入射して、ウエハ W を露光する。一方、反射面が傾斜した第 2 の角度（駆動電力がオンの状態）に設定されたミラー要素 5 N からの反射光 I L N は、ウエハ W 上での結像には寄与しない（例えば、投影光学系 P L には入射しない）。この他の構成は第 1 の実施形態と同様である。

10

20

30

40

50

【0078】

本実施形態によれば、第1の実施形態の作用効果に加えて次の作用効果がある。

(1) 図9の露光装置100Bによれば、両側テレセントリックな投影光学系PLAを使用できるとともに、空間光変調器25の設置面(又はミラー要素5の設置面)とウエハWの露光面とをほぼ平行に配置できるため、露光装置の設計、製造が容易である。

(2) また、図7のステップ107に対応する工程(ウエハWに照明光ILを照射する工程)において、図9の照明光学系ILS内の空間光変調器13の複数のミラー要素3(図1参照)からの照明光IL(パルス光)を、空間光変調器25の複数のミラー要素5に略垂直に(駆動電力がオフの状態での反射面に対して略垂直に)入射させている。従って、光学系の調整が容易である。

10

【0079】

(3) また、照明光学系ILS内の空間光変調器13と空間光変調器25との間に配置されて、その照明光ILを空間光変調器25に略垂直に入射させるためのPBS51(第1光学部材)をさらに備えている。従って、簡単な構成で空間光変調器25に略垂直に照明光ILを入射させることができ、光学系の調整が容易であるとともに、両側テレセントリックの投影光学系を使用できる。また、PBS51の他に1/4波長板52を設けているため、PBS51での光量損失がなく、照明光ILの利用効率が高い。

【0080】

なお、照明光ILの利用効率は低下するが、1/4波長板52を省略して、PBS51の代わりに通常のビームスプリッタを用いることも可能である。

20

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号パンフレットなどに開示される液浸型の露光装置、又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。

【0081】

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)、マイクロマシーン、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。

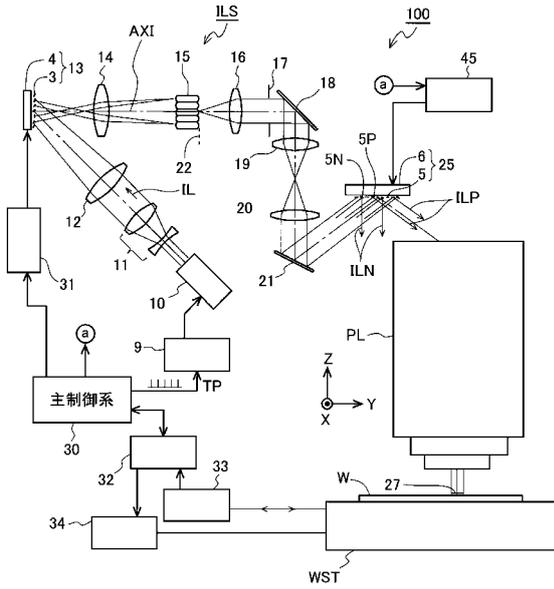
【0082】

30

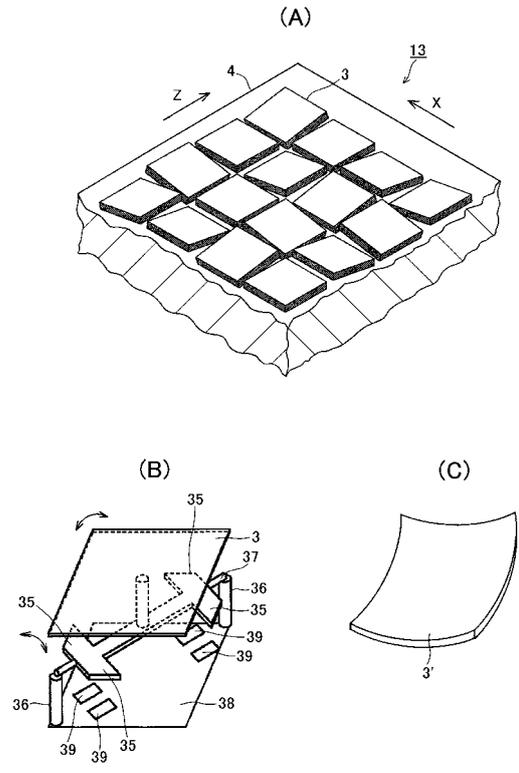
なお、上記の実施の形態の露光装置は、複数のレンズから構成される照明光学系、投影光学系を露光装置本体に組み込み光学調整をして、多数の機械部品からなるレチクルステージや基板ステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整(電気調整、動作確認等)をすることにより製造することができる。なお、その露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

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2007-289090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。

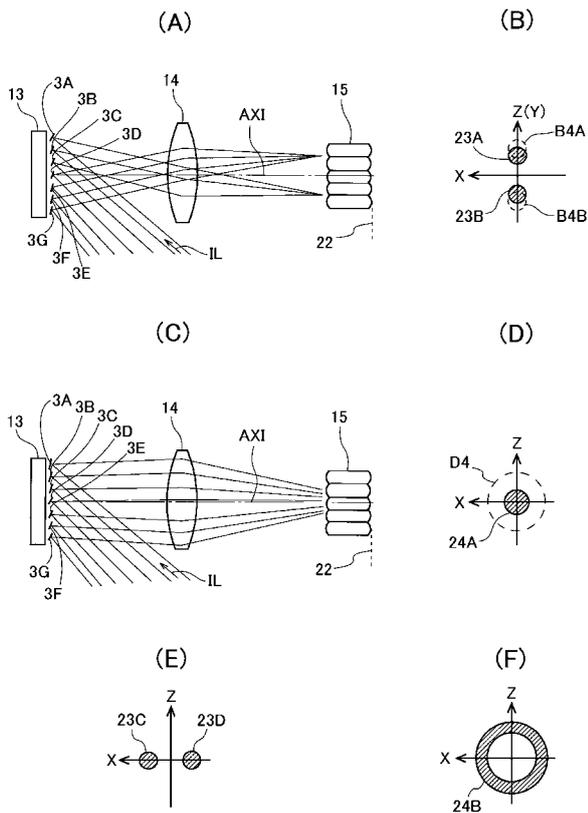
【 図 1 】



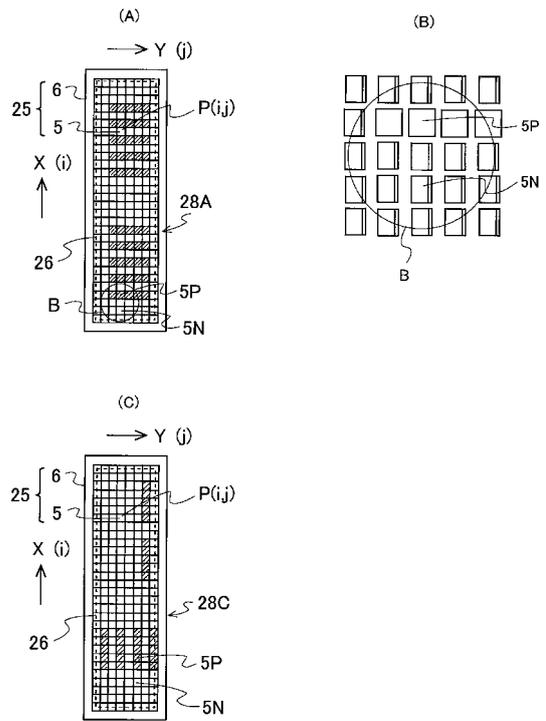
【 図 2 】



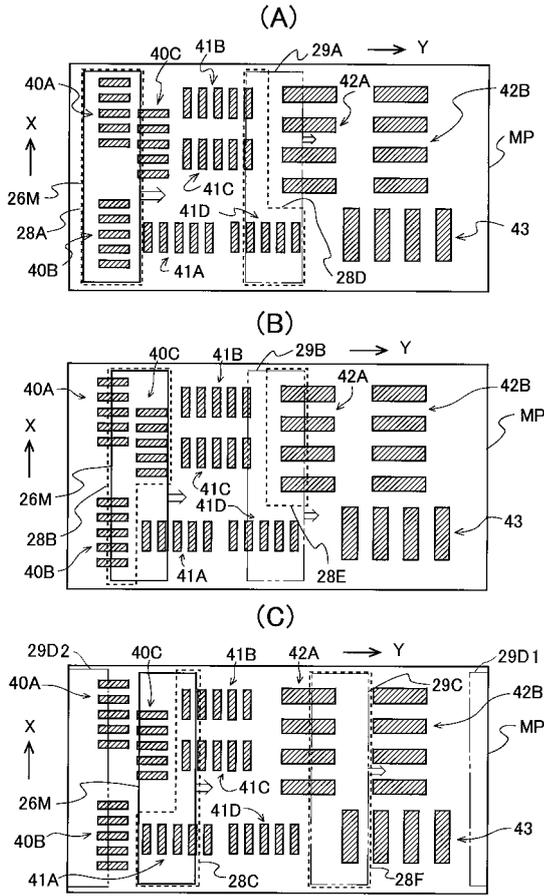
【 図 3 】



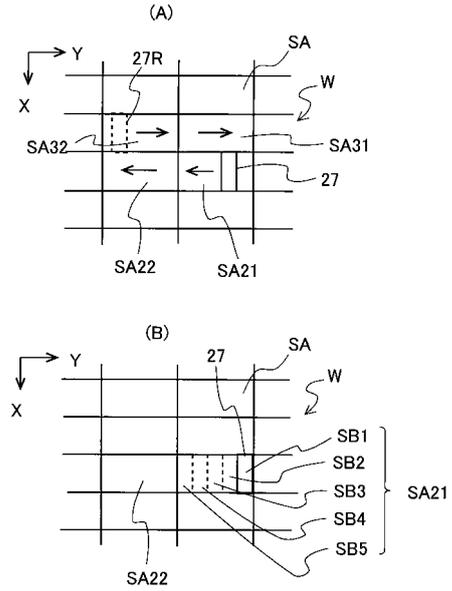
【 図 4 】



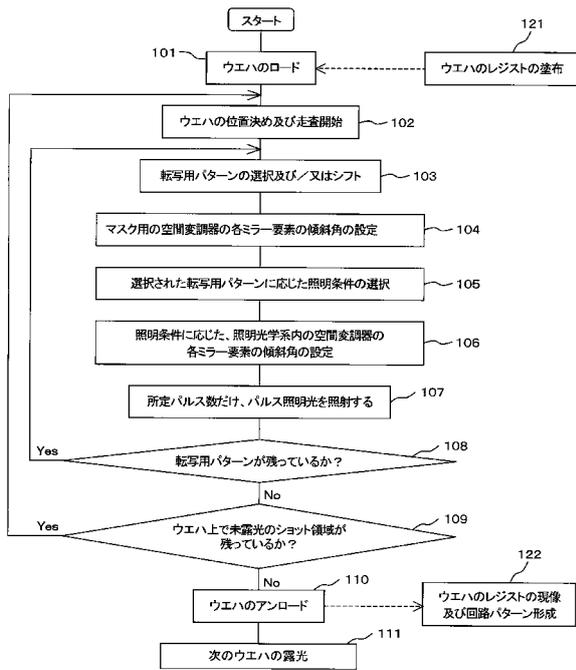
【図5】



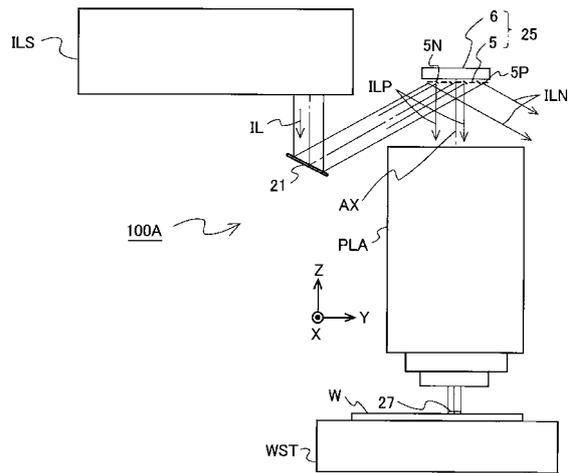
【図6】



【図7】



【図8】



【 図 9 】

