

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3646757号

(P3646757)

(45) 発行日 平成17年5月11日(2005.5.11)

(24) 登録日 平成17年2月18日(2005.2.18)

(51) Int.Cl.⁷

H 0 1 L 21/027

G 0 3 F 7/20

F I

H 0 1 L 21/30 5 1 5 D

G 0 3 F 7/20 5 2 1

H 0 1 L 21/30 5 1 5 A

請求項の数 21 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願平8-221261	(73) 特許権者	000004112
(22) 出願日	平成8年8月22日(1996.8.22)		株式会社ニコン
(65) 公開番号	特開平10-64790		東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(43) 公開日	平成10年3月6日(1998.3.6)	(74) 代理人	100098165
審査請求日	平成15年7月18日(2003.7.18)		弁理士 大森 聡
		(72) 発明者	橋本 純夫
			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
		審査官	岩本 勉
		(56) 参考文献	特開平08-045827 (JP, A)
			特開平06-300954 (JP, A)
			特開昭59-099722 (JP, A)
			特開平10-050585 (JP, A)
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影露光方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

露光用の照明光のもとでマスク上のパターンの像を感光基板上に投影する投影光学系と

、
前記投影光学系の瞳面と共役な面上で光軸から偏心した領域に分布する光源からの前記露光用の照明光を用いて前記マスクを照明する照明光学系と、を有する投影露光装置において、

前記感光基板に対して非感光性の波長域の照明光を前記投影光学系の瞳面上で前記露光用の照明光が通過しない領域に照射する補助照明系を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】

請求項1記載の投影露光装置であって、

前記照明光学系は、輪帯状の光源、又は光軸に対して偏心した位置にある複数の光源からの前記露光用の照明光で前記マスクを照明することを特徴とする投影露光装置。

【請求項3】

請求項1又は2記載の投影露光装置であって、

前記照明光学系は、前記露光用の照明光の照度分布を均一化するためのオブティカル・インテグレータを有し、

該オブティカル・インテグレータと前記マスクとの間に、前記補助照明系からの照明光を前記マスクに導く補助光導入部材を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 の何れか一項記載の投影露光装置であって、
前記マスクと前記像との間に、前記補助照明系からの照明光を導く補助光導入部材を設けたことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 の何れか一項記載の投影露光装置であって、
前記投影光学系はレンズを備えることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 6】

請求項 5 記載の投影露光装置であって、
前記補助照明系からの照明光は、前記レンズの硝材、又は前記レンズに設けられたコーティング膜での光吸収量に応じて強度が設定されることを特徴とする投影露光装置。 10

【請求項 7】

請求項 5 又は 6 記載の投影露光装置であって、
前記レンズは石英で形成されることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 8】

請求項 5 ~ 7 の何れか一項記載の投影露光装置であって、
前記補助照明系は、前記投影光学系の前記瞳面に近いレンズに対して照度分布が均一となるように前記非感光性の波長域の照明光を照射することを特徴とする投影露光装置。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 の何れか一項記載の投影露光装置であって、
前記照明光学系は、前記投影光学系の前記瞳面と共役な面上における前記光源の分布を変更することを特徴とする投影露光装置。 20

【請求項 10】

請求項 9 記載の投影露光装置であって、
前記照明光学系は、前記投影光学系の前記瞳面と共役な前記面上で前記光軸から偏心した前記領域に前記光源を分布させる状態と、前記投影光学系の前記瞳面と共役な前記面上で前記光軸を中心とする円形の領域に前記光源を分布させる状態とを切り換えることを特徴とする投影露光装置。

【請求項 11】

請求項 9 又は 10 記載の投影露光装置であって、
前記光源の分布の変更に応じて、前記補助照明系による前記非感光性の波長域の照明光を照射する領域を変更することを特徴とする投影露光装置。 30

【請求項 12】

露光用の照明光のもとでマスク上のパターンの像を投影光学系を介して感光基板上に投影する際に、前記投影光学系の瞳面上で光軸から偏心した領域を通過する結像光束を用いる投影露光装置において、

前記露光用の照明光及び前記感光基板に対して非感光性の照明光を前記投影光学系の瞳面に導く合成照明光学系と、

前記投影光学系の瞳面上に配置され、前記光軸から偏心した領域以外の領域では前記感光基板に対して非感光性の照明光のみを前記感光基板側に通過させる波長選択性を有する光学部材と、を有することを特徴とする投影露光装置。 40

【請求項 13】

露光用の照明光のもとでマスク上のパターンの像を感光基板上に投影する投影露光方法において、

前記パターンの像を形成する投影光学系の瞳面と共役な面上で光軸から偏心した領域に光源を形成する第 1 工程と；

前記光軸から偏心した領域に分布する光源からの前記露光用の照明光を用いて前記マスクを照明する第 2 工程と；

前記感光基板に対して非感光性の波長域の照明光を前記投影光学系の前記瞳面上で前記露光用の照明光が通過しない領域に照射する第 3 工程と； 50

を備えることを特徴とする投影露光方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 記載の投影露光方法であって、

前記第 1 工程では、輪帯状の光源、又は前記光軸に対して偏心した位置にある複数の光源を形成することを特徴とする投影露光方法。

【請求項 1 5】

請求項 1 3 又は 1 4 記載の投影露光方法であって、

オプティカル・インテグレータを用いて前記露光用の照明光の照度分布を均一化する第 4 工程をさらに備え、

前記第 3 工程では、前記オプティカル・インテグレータと前記マスクとの間から前記非感光性の波長域の照明光を照射することを特徴とする投影露光方法。

10

【請求項 1 6】

請求項 1 3 又は 1 4 記載の投影露光方法であって、

前記第 3 工程では、前記マスクと前記像との間から前記非感光性の波長域の照明光を照射することを特徴とする投影露光方法。

【請求項 1 7】

請求項 1 3 ~ 1 6 の何れか一項記載の投影露光方法であって、

前記投影光学系はレンズを備えていることを特徴とする投影露光方法。

【請求項 1 8】

請求項 1 7 記載の投影露光方法であって、

前記第 3 工程では、前記投影光学系の前記瞳面に近いレンズに対して照度分布が均一となるように前記非感光性の波長域の照明光を照射することを特徴とする投影露光方法。

20

【請求項 1 9】

請求項 1 3 ~ 1 8 の何れか一項記載の投影露光方法であって、

前記第 1 工程では、前記投影光学系の前記瞳面と共役な面上における前記光源の分布を変更することを特徴とする投影露光方法。

【請求項 2 0】

請求項 1 9 記載の投影露光方法であって、

前記第 1 工程では、前記投影光学系の前記瞳面と共役な前記面上で前記光軸から偏心した前記領域に前記光源を形成する状態と、前記投影光学系の前記瞳面と共役な前記面上で前記光軸を中心とする円形の領域に前記光源を形成する状態とを切り換えることを特徴とする投影露光方法。

30

【請求項 2 1】

請求項 1 9 又は 2 0 記載の投影露光方法であって、

前記光源の分布の変更に応じて、前記補助照明系による前記非感光性の波長域の照明光を照射する領域を変更する工程をさらに備えていることを特徴とする投影露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば半導体素子、液晶表示素子、撮像素子（CCD等）、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのフォトリソグラフィ工程でマスク上のパターンの像を感光基板上に露光するために使用される投影露光装置に関し、特に輪帯照明等を行うか、又は中心遮光型の瞳フィルターを使用する投影露光装置に適用して好適なものである。

40

【0002】

【従来の技術】

従来、例えば半導体素子を製造する際に、マスクとしてのレチクル（又はフォトマスク等）のパターンの像を投影光学系を介して、感光基板としてのフォトレジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上に転写するステッパ等の投影露光装置が使用されている。これらの投影露光装置では、ウエハにできるだけ高集積度のパターンを露光するため、露光光としてできるだけ短波長の照明光を使用すると共に、投影光学系の開口数（N

50

A) を大きくして、転写されるパターンの解像度を上げるという努力がなされてきた。

【0003】

但し、単に投影光学系の開口数を大きくすると、焦点深度が狭くなりすぎるため、開口数にあまり依存することなく、或る程度以上の焦点深度を確保して、且つ高い解像度を得る方法として、露光光をレチクルに対して傾斜させて照明するという照明法が開発されている。この照明法には、照明光学系の2次光源の形状を輪帯状とする輪帯照明及びその2次光源の形状を光軸から偏心した複数(例えば4個)の小光源とする所謂変形照明等がある。このような照明法によれば、同じ露光波長、及び同じ投影光学系の開口数でも、投影光学系の解像度が向上する。また、投影光学系の瞳面に輪帯状等の瞳フィルターを配置して、所謂「超解像」により解像度を向上させる方法も開発されている。

10

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

以上の従来技術において、輪帯照明等を使用せず、レチクルをレチクルに対して垂直に入射する光束を中心として一様に分布する露光光で照明する照明方法によれば、主にレチクルのパターンを通過した0次回折光、+1次回折光、及び-1次回折光の3光束によってウエハ上にそのパターンの像を形成するために、投影光学系の瞳面付近のレンズは中心部も周辺部もほぼ一様に照明される。また、通常の照明法のもとで投影光学系の瞳面に中心部を遮蔽する輪帯状の瞳フィルターを配置しない場合も、投影光学系の瞳面の近くのレンズは一様に照明される。このような照明状態であれば、レンズの中心部が主に温度上昇するために、位置に関して2次以下の関数となる熱変形や屈折率変化が主に起こり、ガウス(Gauss)像面の移動だけが光軸付近の主な収差変動として生じる。従って、投影光学系の高次の球面収差変動が発生する恐れは少なかった。

20

【0005】

しかし、輪帯照明や変形照明法により照明を行った場合には、レチクルのパターンを通過した露光用の照明光の内の主に0次回折光及び1次回折光によってウエハ上にそのパターンの像を形成するため、投影光学系の解像度の限界線幅に近いパターンが多い場合には、投影光学系の光軸付近を透過する光線の量が周辺部に比べて極めて少なくなる。また、投影光学系の瞳面に光軸付近を遮光した瞳フィルターを配置した場合でも、瞳面よりもウエハに近い側に配置されているレンズの光軸付近を透過する光線の量は周辺部に比べて極めて少なくなる。

30

【0006】

このように投影光学系のレンズに対する照射エネルギーの分布が不均一になると、レンズの周辺部が主に熱を吸収して温度上昇し、中心部が温度上昇しないという現象が起こる。このような温度上昇に比例して、部分的にレンズの屈折率が変動したり、レンズが熱変形したりするので、2次よりも高次の非球面やそれに相当する屈折率分布が新たに形成される。そのため、投影光学系の光軸に近い部分では、露光光の照射によりガウス像面の移動だけでなく、新たに高次の球面収差変動が生じるという不都合があった。

【0007】

本発明は斯かる点に鑑み、輪帯照明や変形照明等を用いるか、又は光軸付近を遮光する瞳フィルターを使用して露光を行う際に、投影光学系の高次の球面収差変動を抑えて高い解像度が得られる投影露光方法及び装置を提供することを目的とする。

40

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明による第1の投影露光装置は、例えば図1に示すように、露光用の照明光(IL1)のもとでマスク(10)上のパターンの像を感光基板(13)上に投影する投影光学系(12)と、その投影光学系の瞳面、即ちマスク(10)のパターン面に対する光学的フーリエ変換面(PS)と共役な面上で光軸(AX)から偏心した領域に分布する光源(2次光源を含む)からのその露光用の照明光(IL1)を用いてそのマスク(10)を照明する照明光学系(1, 3, 9)と、を有する投影露光装置において、その感光基板(13)に対して非感光性の波長域の照明光(IL2)をその投影光学系(12)の瞳面(PS

50

）上でその露光用の照明光（ I L 1 ）が通過しない領域に照射する補助照明系（ 2 ）を設けたものである。

【 0 0 0 9 】

斯かる本発明の第 1 の投影露光装置によれば、投影光学系（ 1 2 ）の瞳面（ P S ）と共役な面上で光軸（ A X ）から偏心した領域に分布する光源からの露光用の照明光（ I L 1 ）を用いるとは、輪帯照明法や変形照明法を用いることを意味する。この際に、投影光学系（ 1 2 ）の瞳面近傍のレンズは主に光軸から偏心した領域が露光用の照明光（ I L 1 ）により照明され、例えば所定の周期的パターンに対して高解像度が得られる。また、補助照明系により投影光学系（ 1 2 ）の瞳面（ P S ）上で露光用の照明光（ I L 1 ）が通過しない領域、即ち光軸近傍の領域も感光基板に対して非感光性の照明光（ I L 2 ）で照明されるため、投影光学系（ 1 2 ）の瞳面（ P S ）に近いレンズに対する照度分布が均一になり、レンズの熱変形や屈折率の変化における高次の変動成分が減少する。このためには、非感光性の照明光（ I L 2 ）は、露光用の照明光（ I L 1 ）と同程度の吸収率で投影光学系（ 1 2 ）のレンズ、又はこのレンズのコーティング膜で吸収される必要がある。レンズの球面収差変動は、レンズの熱変形や屈折率の変化に比例するため、投影光学系（ 1 2 ）の高次の球面収差変動が抑えられる。但し、補助照明系（ 2 ）からの照明光（ I L 2 ）は非感光性であるため、感光基板（ 1 3 ）上に転写される像には影響がない。

10

【 0 0 1 0 】

この場合、その照明光学系は、輪帯状の光源、又は光軸に対して偏心した位置にある複数の光源からのその露光用の照明光（ I L 1 ）でそのマスク（ 1 0 ）を照明することが好ましい。これは、所謂輪帯照明や変形照明による照明法を意味し、これにより高い解像度が得られる。

20

また、その照明光学系は、その露光用の照明光（ I L 1 ）の照度分布を均一化するためのオプティカル・インテグレータ（ 2 4 ）を有し、このオプティカル・インテグレータとそのマスク（ 1 0 ）との間に、その補助照明系（ 2 ）からの照明光（ I L 2 ）をそのマスク（ 1 0 ）に導く補助光導入部材（ 4 , 6 A ~ 6 D , 7 A , 7 B ）を設けることが好ましい。これにより、露光用の照明光（ I L 1 ）と照明光（ I L 2 ）とを容易に合成できる。

また、そのマスクとその像との間に、その補助照明系からの照明光を導く補助光導入部材（ 4 B , 5 B ）を設けてもよい。

また、一例として、その投影光学系はレンズを備えている。

30

また、その補助照明系からの照明光は、そのレンズの硝材、又はそのレンズに設けられたコーティング膜での光吸収量に応じて強度が設定されてもよい。

また、一例としてそのレンズは石英で形成される。

また、その補助照明系は、その投影光学系のその瞳面に近いレンズに対して照度分布が均一となるようにその非感光性の波長域の照明光を照射してもよい。

また、その照明光学系は、その投影光学系の瞳面と共役な面上におけるその光源の分布を変更してもよい。

また、その照明光学系は、その投影光学系のその瞳面と共役なその面上でその光軸から偏心したその領域にその光源を分布させる状態と、その投影光学系のその瞳面と共役なその面上でその光軸を中心とする円形の領域にその光源を分布させる状態とを切り換えるようにしてもよい。この場合、その光源の分布の変更に応じて、その補助照明系によるその非感光性の波長域の照明光を照射する領域を変更してもよい。

40

【 0 0 1 1 】

また、本発明による第 2 の投影露光装置は、例えば図 6 に示すように、露光用の照明光（ I L 1 B ）のもとでマスク（ 1 0 ）上のパターンの像を投影光学系（ 1 2 ）を介して感光基板（ 1 3 ）上に投影する際に、その投影光学系（ 1 2 ）の瞳面（ P S ）上で光軸（ A X ）から偏心した領域を通過する結像光束を用いる投影露光装置において、その露光用の照明光（ I L 1 B ）及びその感光基板（ 1 3 ）に対して非感光性の照明光（ I L 2 B ）をその投影光学系の瞳面（ P S ）に導く合成照明光学系（ 1 B , 4 2 , 2 B , 4 B , 7 A , 8 A ）と、その投影光学系（ 1 2 ）のその瞳面（ P S ）上に配置され、その光軸から偏心し

50

た領域以外の領域ではその感光基板（１３）に対して非感光性の照明光（ＩＬ２Ｂ）のみをその感光基板側に通過させる波長選択性を有する光学部材（５Ｂ）と、を有するものである。

【００１２】

斯かる本発明の第２の投影露光装置によれば、投影光学系（１２）の瞳面（ＰＳ）上で光軸（ＡＸ）から偏心した領域を通過する結像光束を用いるため、実質的に中心遮光型の瞳フィルターを用いるのと等価となって高い解像度が得られる。この場合、光学部材（５Ｂ）により、露光用の照明光（ＩＬ１Ｂ）は、輪帯状等の領域のみを通過し、感光基板（１３）に対して非感光性の照明光（ＩＬ２Ｂ）は、その光軸から偏心した領域以外の領域を通過する。従って、投影光学系（１２）の瞳面（ＰＳ）近傍のレンズは、２つの照明光（ＩＬ１Ｂ，ＩＬ２Ｂ）により均一な照度分布で照射されるため、レンズの熱変形や屈折率の変化における高次の変動成分が減少し、高次の球面収差変動も減少する。しかも、非感光性の照明光（ＩＬ２Ｂ）は感光基板（１３）上の投影像には影響を与えない。

次に、本発明による投影露光方法は、露光用の照明光のもとでマスク上のパターンの像を感光基板上に投影する投影露光方法において、そのパターンの像を形成する投影光学系の瞳面と共役な面上で光軸から偏心した領域に光源を形成する第１工程と；その光軸から偏心した領域に分布する光源からのその露光用の照明光を用いてそのマスクを照明する第２工程と；その感光基板に対して非感光性の波長域の照明光をその投影光学系のその瞳面上でその露光用の照明光が通過しない領域に照射する第３工程とを備えるものである。

本発明において、その第１工程では、輪帯状の光源、又はその光軸に対して偏心した位置にある複数の光源を形成してもよい。

また、オプティカル・インテグレータを用いてその露光用の照明光の照度分布を均一化する第４工程をさらに備え、その第３工程では、そのオプティカル・インテグレータとそのマスクとの間からその非感光性の波長域の照明光を照射してもよい。

また、その第３工程では、そのマスクとその像との間からその非感光性の波長域の照明光を照射してもよい。

また、一例として、その投影光学系はレンズを備えている。

また、その第３工程では、その投影光学系のその瞳面に近いレンズに対して照度分布が均一となるようにその非感光性の波長域の照明光を照射してもよい。

また、その第１工程では、その投影光学系のその瞳面と共役な面上におけるその光源の分布を変更してもよい。

また、その第１工程では、その投影光学系のその瞳面と共役なその面上でその光軸から偏心したその領域にその光源を形成する状態と、その投影光学系のその瞳面と共役なその面上でその光軸を中心とする円形の領域にその光源を形成する状態とを切り換えるようにしてもよい。この場合、その光源の分布の変更に応じて、その補助照明系によるその非感光性の波長域の照明光を照射する領域を変更する工程をさらに備えてもよい。

【００１３】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の投影露光装置の実施の形態の第１の例につき図１～図３を参照して説明する。本例は、レチクル上のパターンを投影光学系を介してウエハ上の各ショット領域に投影するステッパー型の投影露光装置に本発明を適用したものである。

【００１４】

図１は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図１に示すように本例の投影露光装置には３つの光源部（図１では２つの光源部１，２が現れている）が設けられている。露光時には、第１の光源部１からはウエハ１３上のフォトレジストに感光性の波長１の照明光ＩＬ１が射出され、第２の光源部２及び不図示の第３の光源部からはウエハ１３上のフォトレジストに非感光性の波長２の照明光ＩＬ２が射出される。光源部１の水銀ランプよりなる光源２１から射出された照明光は、楕円鏡２２によって第２焦点に集光した後、発散光となって、不図示の干渉フィルター等に入射し、干渉フィルターにより例えばｉ線（波長３６５ｎｍ）の照明光ＩＬ１が抽出される。次に、照明光ＩＬ１はインプットレ

10

20

30

40

50

レンズ 23 により平行光束となって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 24 に入射する。フライアイレンズ 24 の各レンズエレメントの夫々の射出面には 2 次光源が形成され、これらの 2 次光源により面光源が作られる。フライアイレンズ 24 の射出面には、面光源の大きさを調整するための切り換え自在の複数の開口絞り 26A ~ 26C (図 2(a) 参照) が配置されている。これらの開口絞り 26A ~ 26C は、ターレット状の円板 25 に固定され、円板 25 を駆動装置 25A で回転することで所望の開口絞りをフライアイレンズ 24 の射出面に設定できる。

【0015】

図 2(a) は、図 1 の円板 25 上の開口絞りの具体的な構成を説明するための平面図を示し、この図 2(a) において、3 個の開口絞り 26A ~ 26C はターレット状の円板 25 の周辺に等角度間隔で固定されている。第 1 の開口絞り 26A は通常の照明を行う場合に使用される円形開口を有し、第 2 の開口絞り 26B は小さいコヒーレンスファクタ (値) で照明を行う場合に使用される小さい円形開口を有する。第 3 の開口絞り 26C は、大きな円形開口を有し、本例では輪帯照明、又は変形照明を行う場合にその第 3 の開口絞り 26C をフライアイレンズ 24 の射出面に設定する。即ち、通常輪帯照明時には図 2(b) に示す輪帯状の開口絞り 26D が使用され、変形照明時には図 2(c) に示す光軸を中心として配置された 4 個の小さい開口を有する開口絞り 26E が使用される。しかし、本例では後述の変形ミラー 5 等によって、実質的に開口絞り 26D 等が兼用される。図 1 では第 3 の開口絞り 26C が照明光 IL1 の光路上に配置されている。

【0016】

開口絞り 26C を通過した照明光 IL1 は、第 1 リレーレンズ 27 を透過し、視野絞り (レチクルブラインド) 28 により照明範囲が規定される。照明範囲が規定された照明光 IL1 は、光源部 1 から射出されて第 2 リレーレンズ 3 を介して、照明光学系の光軸 AX を中心として第 2 リレーレンズ 3 側に凹の 4 角錐状に配置された 4 枚のミラー 6A ~ 6D (図 1 ではその内の 2 枚のミラー 6A, 6B を示す) からなる変形ミラー 5 の周囲を通過する。変形ミラー 5 の 4 枚のミラーの反射面は外側を向き、照明光学系の光軸 AX に対してほぼ 45° 傾斜している。更に、変形ミラー 5 の上面は、開口絞り 26C の配置面に共役な位置に配置されている。変形ミラー 5 の周囲を通過した照明光 IL1 は、コンデンサレンズ 9 を経てレチクル 10 に入射する。

【0017】

図 3(a) は、図 1 の変形ミラー 5 をレチクル 10 側からみた図を示し、この図 3(a) において、ミラー 6A ~ 6D は互いに等しい形状で、照明光学系の光軸 AX を頂点とする 4 角錐を形成するように密接して配置されている。また、ミラー 6A ~ 6D の底面の外形 17 は、全体として光軸 AX を中心とする 1 つの円周を形成している。そして、その外形 17 と図 1 の開口絞り 26C の開口の像の外周 16 との間の輪帯状の領域 15 を照明光 IL1 が通過するように構成されている。即ち、本例の変形ミラー 5 は、輪帯状の開口絞りを兼用している。

【0018】

図 1 に戻り、変形ミラー 5 は退避交換装置 8 によって照明光 IL1 の光路外に退避できると共に、別の変形ミラーと交換できるように構成されている。

次に、第 2 の光源部 2 は非露光用の光源、及びその光源からの光束を所定の拡がり角で放出するレンズ系等を含んで構成されている。そして、レチクル 10 の左上部に配置された光源部 2 から射出されたフォトレジストに非感光性の照明光 IL2 は、リレーレンズ 4 により平行光束にされ、一部が照明光学系の光軸 AX と直交する方向から変形ミラー 5 中のミラー 6A に入射する。照明光 IL2 の一部はミラー 6A により下方に向けて反射される。ミラー 6A の下方を通過した照明光 IL2 は、ミラー 7A, 7B により反射されて変形ミラー 5 中のミラー 6B に入射し、ミラー 6B により反射された光束は、ミラー 6A で反射された光束と共にコンデンサレンズ 9 に入射する。不図示であるが、光源部 2、リレーレンズ 4、及びミラー 7A, 7B よりなる光学系と同様の光学系は図 1 の紙面に垂直な方向にも配置されており、この図 1 の紙面に垂直な方向に配置された第 3 の光源部からのフ

10

20

30

40

50

フォトレジストに非感光性の照明光（これも照明光 I L 2 とする）は、変形ミラー 5 中のミラー 6 C, 6 D（図 3 参照）により下方に反射される。従って、照明光 I L 2 は、図 3（a）において照明光 I L 1 が通過する輪帯状の領域 1 5 の内側の円形の領域で反射される。

【0019】

図 1 において、変形ミラー 5 の周囲を通過した照明光 I L 1、及び変形ミラー 5 により反射された照明光 I L 2 は、共にコンデンサレンズ 9 によりレチクル 1 0 上に照射される。レチクル 1 0 上に照射された照明光 I L 1, I L 2 は、レチクル上のパターン領域を通過し、投影光学系 1 2 を介してウエハ 1 3 上に照射される。露光用の照明光 I L 1 のもとで、投影光学系 1 2 に関してレチクル 1 0 のパターン面とウエハ 1 3 の表面とは共役であり、照明光 I L 2 は、ウエハ 1 3 上のフォトレジストに非感光性であるため、その露光用の照明光 I L 1 により照明されたレチクル 1 0 上のパターン像だけがウエハ 1 3 上のフォトレジストを感光させる。この場合、投影光学系 1 2 内の瞳面 P S、即ちレチクル 1 0 のパターン面に対する光学的フーリエ変換面は開口絞り 2 6 C の配置面ひいては変形ミラー 5 の上面と共役であり、瞳面 P S には開口絞り A S が配置されている。

【0020】

照明光 I L 1 の波長 λ_1 及び照明 I L 2 の波長 λ_2 は、フォトレジストの種類及び投影光学系 1 2 のレンズを形成する硝材の種類等により異なるが、通常の場合、波長 λ_1 は 530 nm 未満、波長 λ_2 は 530 nm 以上の波長を選択する。露光用の照明光 I L 1 としては、本例では水銀ランプの i 線が使用されているが、それ以外に水銀ランプの g 線（波長 436 nm）等の輝線、ArF エキシマレーザ光（波長 193.2 nm）や KrF エキシマレーザ光（波長 248.5 nm）、あるいは銅蒸気レーザや YAG レーザの高調波等が使用できる。また、照明光 I L 2 としては、フォトレジストを感光させない波長で、レンズの硝材又はコーティング膜での単位面積当たりの光吸収量が全体として照明光 I L 1 に近いものが好ましい。その意味から、照明光 I L 2 としては、光吸収率が小さいときには光源の光強度が強く、一方光源の光強度が小さいときには、投影光学系 1 2 のレンズの硝材又はコーティング膜に対する光吸収率のできるだけ大きなものが好ましい。照明光 I L 2 の一例としては、例えば He - Ne レーザからのレーザビーム（波長 633 nm）等が挙げられる。

【0021】

なお、投影光学系のレンズ用の硝材として、石英や紫外域から近赤外域までの透過率が良好な所定のガラスが使用された場合、これらの硝材は、約 2 μ m 以上の長い波長からかなりの光吸収率を有するので、照明光 I L 2 として、フッ化水素（HF）ガスの化学反応を利用した HF 化学レーザ光（波長 2.4 ~ 3.4 μ m）等を使用してもよい。また、石英以外の光学ガラスは、不純物を含んでいるため、530 nm 以上の波長でも 1 % / cm に近い光吸収率を有するものもあり、このような 1 % / cm に近い光吸収率を有する照明光でも十分有効である。このような照明光の例としては、水素（H₂）放電管からの C 線（波長 656.3 nm）やヘリウム（He）放電管からの d 線（波長 587.6 nm）等が挙げられる。図 1 において、照明光学系の光軸 A X は投影光学系 1 2 の光軸と合致しており、以下では光軸 A X に平行に Z 軸を取り、Z 軸に垂直な 2 次元平面上で図 1 の紙面に平行に X 軸、図 1 の紙面に垂直に Y 軸を取って説明する。

【0022】

レチクル 1 0 は X 方向、Y 方向、及び回転方向に微動可能なレチクルステージ 1 1 上に載置されている。レチクルステージ 1 0 の位置は外部のレーザ干渉計（不図示）により精密に計測されており、そのレーザ干渉計の測定値に基づいてレチクルステージ 1 1 の位置が制御されている。一方、ウエハ 1 3 は不図示のウエハホルダを介して X 方向、Y 方向、及び Z 方向にウエハを位置決めするウエハステージ 1 4 上に載置され、ウエハステージ 1 4 の位置は、外部のレーザ干渉計により精密に計測されており、その計測値に基づいてウエハステージ 1 4 の位置が制御されている。ウエハステージ 1 4 によりウエハ 1 3 の各ショット領域の中心を投影光学系 1 2 の露光中心に移動する動作と、露光動作とがステップ・

10

20

30

40

50

アンド・リピート方式で繰り返されて、レチクル 10 上のパターンの像がウエハ 13 上の各ショット領域に転写される。

【0023】

次に、本例の投影露光装置の動作について説明する。

本例では、先ず図 1 に示すように、大きな開口を有する開口絞り 26 C と、変形ミラー 5 とを組み合わせる露光用の照明光 I L 1 で実質的に輪帯照明を行っているため、例えば所定の周期的なパターンに対して高い解像度が得られる。また、図 3 (a) に示すように、投影光学系 12 の瞳面 P S とほぼ共役な面上で、フォトレジストに感光性の照明光 I L 1 は輪帯状の領域 15 を通過し、変形ミラー 5 の反射面により反射されたフォトレジストに非感光性の照明光 I L 2 は、領域 15 の内側の領域を通過する。このような照明状態で、照明光 I L 1 , I L 2 を図 1 のレチクル 10 を経て投影光学系 12 に入射させると、投影光学系 12 の瞳面 P S 上で、照明光 I L 1 , I L 2 は全体として光軸 A X を中心とする円形領域内を通過する。従って、その瞳面 P S の付近の投影光学系 12 のレンズは周辺部ばかりでなく中心部も熱エネルギーを吸収して温度上昇する。そのため、瞳面 P S 付近のレンズでは熱変形や屈折率変化の 2 次の変動成分の割合が高次の変動成分に対して大きくなる。投影光学系 12 の球面収差変動は、瞳面 P S 付近のレンズの熱変形や屈折率の変化にほぼ比例するため、球面収差変動も 2 次の成分が多くなり、投影光学系 12 の高次の球面収差変動が抑えられる。

10

【0024】

なお、図 1 では輪帯照明用の変形ミラー 5 を使用したが、本例では図 2 (c) に示す変形照明用の開口絞り 26 E を兼用する 4 角錐状の変形ミラー 5 A (図 3 (b) 参照) も用意されている。即ち、変形照明を行うときには、図 1 の退避交換装置 8 を介して変形ミラー 5 の代わりに変形ミラー 5 A を照明光 I L 1 の光路上に設定する。

20

【0025】

図 3 (b) は、変形照明用の変形ミラー 5 A を図 1 のレチクル 10 側から見た図を示し、この図 3 (b) において、変形ミラー 5 A を構成する 4 個のミラー 19 A ~ 19 D は互いに等しい扇状で、光軸 A X を頂点とするレチクル 10 に凸面を向けた 4 角錐を形成するように密接して配置されている。また、ミラー 19 A ~ 19 D はレチクル 10 側の面が反射面となっており、ミラー 19 A ~ 19 D のレチクル 10 から見た外形は全体として光軸 A X を中心とする 1 つの円周 16 A となっている。この円周 16 A は、図 3 (a) の照明光 I L 1 が通過する円形の領域の外周 16 とほぼ等しい。また、各ミラー 19 A ~ 19 D の外形の円周 16 A の内側に等角度間隔で、レチクル 10 側から見て円形の透過部 18 A ~ 18 D が形成され、この透過部 18 A ~ 18 D を図 1 の露光用の照明光 I L 1 が透過するように構成されている。この変形ミラー 5 A が、図 2 (c) の変形照明用の開口絞り 26 E を兼用している。

30

【0026】

即ち、本例で変形照明を行うときには、図 1 の退避交換装置 8 を介して、図 1 の変形ミラー 5 の代わりに変形ミラー 5 A を角錐の頂点が光軸 A X に一致するように、且つその頂点をレチクル 10 側に向けて配置する。これによって、照明光 I L 1 は 4 個の透過部 18 A ~ 18 D を透過して図 1 のレチクル 10 上に照射される。一方、非露光用の照明光 I L 2 は、図 3 (b) の円周 16 A 内で透過部 18 A ~ 18 D を除く領域で反射されてレチクル 10 上に照射される。変形ミラー 5 A の上面は投影光学系 12 の瞳面 P S と共役であるため、投影光学系 12 の瞳面 P S 上では、光軸 A X を中心とする円形の領域が照明光 I L 1 及び I L 2 によって照明される。従って、変形照明法で高い解像度が得られると共に、高次の球面収差変動が抑えられる。しかも、非露光用の照明光 I L 2 は結像特性には悪影響を与えない。また、図 1 において、通常の照明法を用いるときには、退避交換装置 8 を介して変形ミラー 5 , 5 A を照明光 I L 1 の光路から退避させて、開口絞りとして図 2 (a) の開口絞り 26 A , 26 B を設定すればよい。

40

【0027】

なお、図 3 (a) 又は図 3 (b) の変形ミラー 5 , 5 A の反射面でフォトレジストに感光

50

性の照明光 I L 1 を反射し、フォトレジストに非感光性の照明光 I L 2 の一部を遮光するような構成にしてもよい。このような構成にする場合は、図 1 において、光源部 1, 2 及び関連する光学系の配置を入れ換えると共に、例えば図 3 (a) の変形ミラー 5 の代わりに、中央部に照明光 I L 2 が透過するように円形の透過部を設け、その透過部の周辺に照明光 I L 2 に対して直交する方向から入射する照明光 I L 1 を反射する輪帯状の反射面を有する変形ミラーを使用すればよい。

【 0 0 2 8 】

次に、本発明の実施の形態の第 1 の例の変形例について、図 4 を参照して説明する。本変形例は、露光用の照明光とフォトレジストに非感光性の照明光とを予め合成し、その合成光をレチクル 1 0 の手前に設けた波長選択性を有する開口絞りにより再び 2 つの照明光に分けて、レチクル 1 0 を照明するように構成したものである。図 4 において図 1 に対応する部分には同一符号を付し、その詳細説明を省略する。

10

【 0 0 2 9 】

図 4 は、本変形例の投影露光装置の概略構成を示し、この図 4 において、図 1 の光源部 1 と同様にフォトレジストに対して感光性の照明光 I L 1 A を射出する光源部 1 A と、図 1 の光源部 2 と同様にフォトレジストに対して非感光性の照明光 I L 2 A を射出する光源部 2 A とを互いに位置を代える形で配置している。そして、それらの照明光 I L 1 A と照明光 I L 2 A とが交差する位置に偏光ビームスプリッター 3 1 を配置している。本変形例の照明光 I L 1 A 及び I L 2 A はそれぞれ P 偏光の直線偏光であるとする。光源部 2 A の視野絞りから射出された波長 2 の P 偏光の照明光 I L 2 A は、リレーレンズ 4 A により平行光束にされて偏光ビームスプリッター 3 1 を透過し、1 / 4 波長板 3 4 により円偏光に変換される。一方、光源部 1 A の視野絞りから射出され、リレーレンズ 3 A により平行光束にされた P 偏光の照明光 I L 1 A は、照明光 I L 2 A の光路に直交する方向から偏光ビームスプリッター 3 1 を透過して、1 / 4 波長板 3 2 を経てミラー 3 3 により反射されて再び 1 / 4 波長板 3 2 に入射して S 偏光に変換される。S 偏光に変換された照明光 I L 1 A は、偏光ビームスプリッター 3 1 により反射されて、1 / 4 波長板 3 4 に入射し、円偏光に変換される。1 / 4 波長板 3 4 により円偏光に変換された照明光 I L 1 A, I L 2 A は、リレーレンズ 3 5 及び 3 6 を経て波長選択性を有する開口絞り 3 7 に入射する。

20

【 0 0 3 0 】

図 5 (a) は、開口絞り 3 7 の平面図を示し、この図 5 (a) において、開口絞り 3 7 は波長 1 の照明光 I L 1 A を透過し、波長 2 の照明光 I L 2 A を殆ど透過しない輪帯状の光学フィルター 3 9 と、波長 2 の照明光 I L 2 A を透過し、波長 1 の照明光 I L 1 A を殆ど透過しない円形の光学フィルター 3 8 とから構成されている。また、開口絞り 3 7 は中心が光軸 A X に合致するように投影光学系 1 2 の瞳面 P S と共役な面上に配置されている。そして、光源部 1 A からの照明光 I L 1 A は輪帯状の光学フィルター 3 9 を含む領域に照射され、光源部 2 A からの照明光 I L 2 A は円形の光学フィルター 3 8 を含む領域に照射されている。

30

【 0 0 3 1 】

偏光ビームスプリッター 3 1 により合成された 2 つの照明光 I L 1 A, I L 2 A は、開口絞り 3 7 を通過した後、コンデンサレンズ 9 を介してレチクル 1 0 上に照射される。レチクル 1 0 のパターン像は投影光学系 1 2 を介してウエハ 1 3 上に投影される。投影光学系 1 2 の瞳面 P S 上では、第 1 の例と同様の照明光 I L 1 A, I L 2 A がほぼ円形の領域を通過する。以下の照明光 I L 1 A, I L 2 A の光路は第 1 の例と同様につき説明を省略する。

40

【 0 0 3 2 】

本変形例によれば、第 1 の例と同様の高次の球面収差低減効果が得られると共に、波長選択性を有する開口絞り 3 7 により照明光 I L 1 A, I L 2 A の通過領域を規定するため、第 1 の例のように変形ミラー 5 を用いるという複雑な構成が不要である。また、波長 2 の光源部 2 A が 1 つで済むため、装置全体をコンパクトに構成できる。また、偏光ビームスプリッター 3 1 で合成された直線偏光の 2 光束は、1 / 4 波長板 3 4 によって円偏光に

50

変換されるので、ウエハ 13 上に結像する際に、レチクル 10 のパターンの方向が変わっても良好な転写が行われる。なお、偏光ビームスプリッター 31 に代えて図 4 の 2 点鎖線で示すように、ダイクロイックミラー 31 A を使用することもできる。このダイクロイックミラー 31 A は、照明光 I L 2 A を透過して、照明光 I L 1 A を反射する波長選択性を有し、これによって両照明光 I L 1 A , I L 2 A が無駄なく合成される。この際には 1 / 4 波長板 32 , 34 及びミラー 33 は不要となり、構成が簡単となる。また、図 4 の開口絞り 37 は、図 1 の退避交換装置 8 と同様の装置によって変形照明用の開口絞り 37 A と交換できるように構成されている。

【 0 0 3 3 】

図 5 (b) は、変形照明を行う際に図 4 の開口絞り 37 の代わりに用いられる波長選択性を有する開口絞り 37 A の平面図を示し、この図 5 (b) において、開口絞り 37 A は、波長 1 の照明光 I L 1 A を透過し、波長 2 の照明光 I L 2 A を殆ど透過しない 4 個の小さい円形の光学フィルター 40 A ~ 40 D、及びこれらの光学フィルター 40 A ~ 40 D を除く領域で波長 2 の照明光 I L 2 A を透過し、波長 1 の照明光 I L 1 A を殆ど透過しない外形が円形の光学フィルター 41 から構成されている。光学フィルター 41 は、図 5 (a) の光学フィルター 39 の外径とほぼ等しい外径をもち、その外周近くに等角度間隔で形成された 4 個の小さな円形の開口部を有し、それら 4 個の開口部にそれぞれ光学フィルター 40 A ~ 40 D が設けられている。露光用の照明光 I L 1 A は、4 個の光学フィルター 40 A ~ 40 D を通過し、フォトレジストに非感光性の照明光 I L 2 A は、その光学フィルター 40 A ~ 40 D の周囲の光学フィルター 41 を通過する。これによって変形照明が行われると共に、高次の球面収差変動が抑制される。

【 0 0 3 4 】

なお、図 5 (a) 及び図 5 (b) において、光源部 1 A からの照明光 I L 1 A が透過する光学フィルター 38 及び 40 A ~ 40 D としては、できるだけ光源部 2 A からの照明光 I L 2 A を透過しないものが、高次の球面収差変動を低減する効果が大きく、望ましい。次に、本発明の投影露光装置の実施の形態の第 2 の例について図 6 を参照して説明する。本例は、輪帯状の瞳フィルターを使用する場合に本発明を適用したものである。なお、図 6 において図 1 に対応する部分には同一符号を付し、その詳細説明を省略する。

【 0 0 3 5 】

図 6 は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図 6 において、簡単のため、投影光学系 12 を上部レンズ系 12 A 及び下部レンズ系 12 B に分けて説明する。本例では、それらの上部レンズ系 12 A 及び下部レンズ系 12 B の間の瞳面 P S の近傍に図 1 の変形ミラー 5 と同様の 4 角錐型の変形ミラー 5 B を配置している。図 1 の光源部 1 と同様の光源部 1 B の視野絞りから射出されたフォトレジストに感光性の波長 1 の照明光 I L 1 B は、コンデンサレンズ 42 を介してレチクル 10 上に照射される。光源部 1 B 内の開口絞りは図 2 (a) の開口絞り 26 C と同様の大きな円形である。レチクル 10 を透過した照明光 I L 1 B は、上部レンズ系 12 A により光学的にフーリエ変換されて、変形ミラー 5 B の周囲を通過する。この変形ミラー 5 B により、フォトレジストに感光性の照明光 I L 1 B が光軸 A X を中心とする円形領域で遮光される。即ち、変形ミラー 5 B は輪帯状の瞳フィルターを兼用している。一方、図 1 の光源部 2 と同様の光源部 2 B から射出された波長 2 のフォトレジストに非感光性の照明光 I L 2 B は、リレーレンズ 4 B で平行光束にされた後、一部が変形ミラー 5 B の第 1 の反射面でウエハ 13 側に向けて反射される。この場合、図 1 の第 1 の例と同様に変形ミラー 5 B の下方を通過した照明光 I L 2 B を反射して、変形ミラー 5 B の第 2 の反射面に入射させるためのミラー 7 A , 8 A が配置されている。

【 0 0 3 6 】

更に、本例でも図 6 の紙面に垂直な方向に、変形ミラー 5 B の第 3 及び第 4 の反射面に対して波長 2 の照明光を供給する光源部等が設けられている。変形ミラー 5 B で反射された照明光 I L 2 B は、下部レンズ系 12 B を介してウエハ 13 上に照射される。

本例では、投影光学系 12 の瞳面 P S に配置された変形ミラー 5 B により露光用の照明光

IL1Bの光軸AX近傍の領域が遮光されるため、所定のパターンに対して輪帯状の中心遮光型の瞳フィルターを設置した場合と同様の高い解像度が得られる。また、下部レンズ系12Bの硝材は、2波長の照明光IL1B, IL2Bにより均一な照度分布で照明されるため、高次の熱変形や屈折率の変化が抑えられ、投影光学系12の高次の球面収差変動が抑えられる。

【0037】

なお、本発明の実施の形態の第1の例において補足したように、変形ミラー5Bの反射面でフォトレジストに感光性の照明光IL1Bを反射し、それ以外の部分でフォトレジストに非感光性の照明光IL2Bを透過させるような構成にしてもよい。このような構成にする場合は、図6において、光源部1B, 2B、レチクル10、上部レンズ系12A、及び
10
関連する光学系の配置を入れ換えると共に、変形ミラーとして、中央部に照明光IL2Bが透過するように円形の開口を設け、その開口部の周辺に照明光IL2Bに対して直交する方向から入射する照明光IL1Bに対して輪帯状の反射面を有する変形ミラーを使用すればよい。

【0038】

次に、本発明の実施の形態の第2の例の変形例について、図7を参照して説明する。本変形例の投影露光装置の投影光学系までの構成は、図4の第1の例の変形例とほぼ同様であり（但し、開口絞り37が省かれている）、図7において図4及び図6に対応する部分には同一符号を付し、その詳細説明を省略する。

図7は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図7において、投影光学系12の上部レンズ系12A及び下部レンズ系12Bの間の瞳面PSの近傍に図5(a)の開口絞り37と同様の波長選択性を有する開口絞り43を配置している。光源部2Aから射出されたフォトレジストに非感光性の波長2の照明光IL2A、及び光源部1Aから射出されたフォトレジストに感光性の波長1の照明光IL1Aは、偏光ビームスプリッター31で合成され、レチクル10を透過して投影光学系12の上部レンズ系12Aで光学的にフーリエ変換されて、開口絞り43に入射する。開口絞り43には、図5(a)と同様にフォトレジストに感光性の照明光IL1Aのみを透過する輪帯状の光学フィルターと、その内側でフォトレジストに非感光性の照明光IL2Aのみを透過する円形の光学フィルターとが形成されており、開口絞り43は照明光IL1Aに対して中心遮光型の瞳フィルターとして作用する。もう一方の照明光IL2Aは照明光IL1Aが遮光された円形領域を通過した後、下部レンズ系12Bを介してウエハ13上に入射する。
20
30

【0039】

本変形例では、投影光学系12の瞳面PSに配置された開口絞り43により、図6の例と同様に高い解像度が得られる。また、下部レンズ系12Bの硝材は、2つの照明光IL1A, IL2Aにより均一な照度分布で照明されるため、高次の球面収差変動が抑えられる。なお、光源部1Aからの照明光IL1Aを透過する光学フィルターとしては、光源部2Aからの照明光IL2Aをできるだけ透過しない光学フィルターが、高次の収差を低減する効果が大きく望ましい。なお、図4の例と同様に、偏光ビームスプリッター31に代えてダイクロイックミラーを使用してもよい。

【0040】

次に、上述の実施の形態において、投影光学系12のレンズに対する照度分布が均一化され、高次の収差変動が抑えられることを計算例に基づいて説明する。まず、照明光の照射による上昇後の温度分布を計算する。レンズを円筒形に近似して、レンズの側面から周辺の空気を通して熱が流出せず、レンズの縁が金属と接することにより、その縁からのみ熱が流出し、レンズにおける吸収エネルギー密度分布が光軸AXの回りの角度に対して一定であるとする。そのレンズの半径方向の距離を表す変数をrとすれば、上昇後の温度分布は変数rの関数T(r)となり、レンズの単位体積当たりの熱吸収量及び熱伝導率をそれぞれ、 $\alpha(r)$ 及び κ とし、レンズの外半径をaとすると、熱平衡状態での円筒座標系での熱伝導方程式は、次式のように表せる。

【0041】

10

20

30

40

50

【数 1】

$$r^2 \frac{dT}{dr} + (1/r) \frac{dT}{dr} + (r) \frac{dT}{dr} = 0$$

この熱伝導方程式を解くと、次式のようになる。

【0042】

【数 2】

$$T(r) = \sum_{i=1}^{\infty} B_i J_0(p_i \cdot r)$$

【0043】

10

ここで、 $J_n(p_i \cdot r)$ は第 1 種第 n 次 ($n = 0, 1, 2, \dots$) のベッセル (Bessel) 関数で、 p_i は $J_1(p_i \cdot a) = 0$ を満たす数列である ($i = 1, 2, 3, \dots$)。また、係数 B_i は次式により求められる。

【0044】

【数 3】

$$B_i = 2 \int_0^a \omega(r) J_0(p_i \cdot r) r dr / \{ \lambda p_i^2 a^2 [J_1(p_i \cdot a)]^2 \}$$

20

【0045】

特に、熱吸収量 $\omega(r)$ が照射領域の半径 (照射半径) 内で階段状の関数で表されるとき、即ち或る j ($1 \leq j \leq N$) において、変数 r が、 $h_j \leq r < h_{j+1}$ を満たす区間において、熱吸収量 $\omega(r)$ が一定値 ω_j をとるとき、次の関係が成立する。

【0046】

【数 4】

$$\int_0^a \omega(r) J_0(p_i \cdot r) r dr = \sum_{j=1}^N \int_0^a \omega_j \cdot J_0(p_i \cdot r) r dr$$

30

$$= \sum_{j=1}^N \omega_j \{ h_{j+1} \cdot J_1(p_i \cdot h_{j+1}) - h_j \cdot J_1(p_i \cdot h_j) \} / p_i$$

【0047】

従って、(数 4) を (数 3) に代入することにより係数 B_i が求められ、この係数 B_i を (数 2) に代入することにより、上昇後の温度分布 $T(r)$ が求められる。

次に、上昇後の温度分布 $T(r)$ により、どの次数の収差変動が多く現れるかを調べるために、上昇後の温度分布 $T(r)$ を以下のように最小 2 乗法で r^{10} の項までベキ級数展開すると、次式のようになる。

40

【0048】

【数 5】

$$T(r) = T_0 + C_2 \cdot r^2 + C_4 \cdot r^4 + C_6 \cdot r^6 + C_8 \cdot r^8 + C_{10} \cdot r^{10}$$

この場合、上昇後の温度分布 $T(r)$ の単位は、変数 r の単位は mm である。また、 T_0 は、光軸 AX、即ち変数 r が 0 の位置における上昇後の温度分布 $T(0)$ である。

【0049】

以下、実際の数値に基づく計算例について説明する。投影光学系の入射側の開口数 (NA) に対する照明光学系の出射側の開口数の比の値 (コヒーレンスファクタ) を 値とし、この 値を 0.75 に設定する。そして、 値が 0.75 の照明系によって外半径 40 mm

50

mの円筒形の石英からなるレンズが照明され、レンズ上の照射領域の半径dが30mmであるような場合について、(数2)～(数4)の熱伝導方程式の解に基づいて計算する。石英の熱伝導率を $0.0138 \text{ W}/(\text{cm} \cdot \text{°C})$ とし、ウエハ上のフォトレジストに感光性の照明光に対するレンズの熱吸収率を $2\%/\text{cm}$ とする。

【0050】

第1の計算例では、先ず比較のため、照明光の全照射エネルギー量が1Wで、値が0.75の範囲内でレンズが一様に照射されている場合について計算する。

図8(a)は、第1の計算例による上昇後の温度分布 $T(r)$ を示し、横軸は変数 r 、縦軸は上昇後の温度分布 $T(r)$ を表す。実線の曲線46Aに示すように、上昇後の温度分布 $T(r)$ は原点、即ち光軸AXに最大値を有し、光軸AXに関して軸対称な山型の変化を示す。なお、参考として、照明光の照射エネルギー密度 $P(r)$ を点線47Aにより示す。照射エネルギー密度 $P(r)$ は、変数 r が $0 \sim d$ (照射半径)の間で一定の値 P_1 となる。また、光軸AXでの温度分布 T_0 、及び温度分布 $T(r)$ を(数5)によりベキ級数に展開したときの係数 $C_2 \sim C_{10}$ を表1に示す。

【0051】

【表1】

光軸における上昇後の温度分布 T_0		1.8182×10^{-1}
係数		
C_2		-1.3450×10^{-4}
C_4		4.4000×10^{-8}
C_6		-9.9006×10^{-11}
C_8		8.2983×10^{-14}
C_{10}		-2.0745×10^{-17}

【0052】

次に、第2の計算例について説明する。この計算例は輪帯照明だけ行われた場合の例であり、第1の計算例と同様に比較のための計算例である。値は最大で0.75で、輪帯の内側の値は0.5である。その値が $0.5 \sim 0.75$ の間でレンズが一様に照明され、全照射エネルギー量が1Wである場合について上昇後の温度分布 $T(r)$ を計算したものである。

【0053】

図4(b)は、第2の計算例による上昇後の温度分布 $T(r)$ を示し、この図4(b)において、実線の曲線46Bに示すように、上昇後の温度分布 $T(r)$ は変数 r がほぼ $0 \sim e$ の間で一定の上昇温度 T_B となる。点線47Bで示す照射エネルギー密度 $P(r)$ は、変数 r が $e \sim d$ の間で一定の値 P_2 となり、変数 r が $0 \sim e$ の間では0となっている。第1の計算例と同様に、光軸AXでの上昇後の温度分布 T_0 、及び上昇後の温度分布 $T(r)$ を(数5)によりベキ級数に展開したときの係数 $C_2 \sim C_{10}$ を表2に示す。

【0054】

【表2】

光軸における上昇後の温度分布 T_0	1.0744×10^{-1}
係数	
C_2	-3.4321×10^{-5}
C_4	2.7328×10^{-7}
C_6	-6.3961×10^{-10}
C_8	4.5319×10^{-13}
C_{10}	-1.0513×10^{-16}

10

【0055】

次に、第3の計算例について説明する。この計算例は、図1、図4、図6、図7に示す実施の形態のように、ウエハ13上のフォトレジストに感光性の照明光及びそのフォトレジストに非感光性の照明光の2つの照明光によりレンズが照明されている場合の上昇後の温度分布 $T(r)$ を求めるものである。この場合、値が0.75から0.5の範囲内では、フォトレジストに感光性の照明光により全照射エネルギー量が1Wでレンズが一様に照明され、値が0.5から0.0の範囲内においては、フォトレジストに非感光性の波長の照明光により、照射エネルギー密度 $P(r)$ が値が0.75から0.5の範囲での照射エネルギー密度の1/2になるようにレンズが照明されているものとする。

20

【0056】

図4(c)は、第3の計算例による上昇後の温度分布 $T(r)$ を示し、この図4(c)において、実線の曲線46Cに示すように、上昇後の温度分布 $T(r)$ は原点、即ち光軸AXに最大値 TC を有し、光軸AXに関して軸対称な山型の変化を示す。また、照射エネルギー密度 $P(r)$ は階段状に変化する点線47Cに示すように、変数 r が $e \sim d$ の間で一定の値 $P2$ となり、変数 r が $0 \sim e$ の間では一定の値 $P3 (= P2 / 2)$ となっている。また、光軸AXでの温度分布 T_0 、及び温度分布 $T(r)$ を(数5)によりべき級数に展開したときの係数 $C_2 \sim C_{10}$ を表3に示す。

30

【0057】

【表3】

光軸における上昇後の温度分布 T_0	2.1736×10^{-1}
係数	
C_2	-1.3821×10^{-4}
C_4	1.7624×10^{-7}
C_6	-4.0891×10^{-10}
C_8	3.0128×10^{-13}
C_{10}	-7.1235×10^{-17}

40

【0058】

なお、第1及び第2の計算例においては、全照射エネルギー量を1Wとし、第3の計算例においては、値が0.75から0.5の範囲内における照射エネルギー量を1Wとしている。この第3の計算例においては、値が0.5～0.0の範囲内における照射エネルギー量を加えると、全照射エネルギー量は1Wを超える。これは、第1～第3の計算例にお

50

けるウエハ 13 上のフォトレジストに感光性の照明光の照射エネルギー量を等しくして、露光時間（スループット）が等しくなるように設定したものである。

【0059】

第1の計算例に示す照明形態（一様照明）と、第2の計算例に示す照明形態（輪帯照明）とを比較した場合、表1及び表2で示すように、輪帯照明の方が一様照明に比較して、光軸AXにおける上昇温度が低い。それにもかかわらず、例えばベキ級数の係数 C_4 を比較すると、一様照明の場合の係数 C_4 の値が、 4.4000×10^{-8} に対して、輪帯照明の場合の係数 C_4 は、 2.7328×10^{-7} と、輪帯照明の方が大きくなっている。即ち、一様照明と輪帯照明とを比較すると、係数 C_2 以外のベキ級数の係数の絶対値は全て輪帯照明の方が大きくなっている。熱変形や屈折率変化は上昇後の温度分布 $T(r)$ に比例するので、収差変動も上昇後の温度分布 $T(r)$ に比例する。係数 C_2 より高次のベキ級数の係数が全て輪帯照明の方が大きいということは、輪帯照明の方が高次の収差変動が大きいことを意味する。

10

【0060】

ここで、図1、図4、図6、図7に示す実施の形態での照明形態を「合成照明」とすれば、合成照明により光軸近傍にも照明光を照射すると、第3の計算例に示すように、全照射量が一様照明や輪帯照明よりも多いのにもかかわらず、表1及び表2に示すように、係数 C_4 の値（ $=1.7624 \times 10^{-7}$ ）は、輪帯照明での係数 C_4 の値（ $=2.7328 \times 10^{-7}$ ）よりも小さくなっている。更に、係数 C_6, C_8, C_{10} の絶対値を比較すると、何れの係数においても合成照明の方が輪帯照明よりも小さくなっている。これは、合成照明により高次の収差変動が小さくなることを意味する。

20

【0061】

また、第3の計算例においては、値が0～0.5の間における照射エネルギー密度を、値が0.5～0.75の間における密度分布の1/2としたが、値が0～0.75の範囲において全て一様な照射エネルギー分布により照射されている場合の温度分布 $T(r)$ について計算し、図4(b)の輪帯照明の場合と比較してみる。

【0062】

図8(a)のエネルギー密度 P_1 と図8(b)の照射エネルギー密度 P_2 との間には、 $P_2 = 1.8 \cdot P_1$ の関係が成立する。従って、図8(b)のような輪帯照明において、値が0.5以内の範囲も輪帯照明領域と等しい照射エネルギー密度で照射する場合には、図8(a)において、照射エネルギー密度を1.8倍した状態と等価である。従って、ベキ級数の係数も全て1.8倍されるので、表1における係数 C_4, C_6, C_8, C_{10} はそれぞれ、 7.9200×10^{-8} 、 -1.7821×10^{-10} 、 1.4937×10^{-13} 、 -3.7341×10^{-17} となる。これらの係数の値を表2のそれぞれの係数と比較した場合、光軸AX近傍の上昇後の温度分布 T_0 が輪帯照明の場合よりもかなり大きいにもかかわらず、係数 $C_4 \sim C_{10}$ までの係数は輪帯照明の場合より全て小さくなっている。即ち、合成照明により値が0～0.75の範囲内において、輪帯照明と同じ照射エネルギー密度 P_2 で照射した場合でも、輪帯照明の場合より高次の収差変動が少ないことを意味している。

30

【0063】

なお、上述の実施の形態はステッパ型 of 投影露光装置に本発明を適用したものであるが、本発明はステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の投影露光装置にも適用できる。

40

なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、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ことは勿論である。

【0064】

【発明の効果】

本発明の第1の投影露光装置及び投影露光方法によれば、投影光学系の瞳面と共役な面上で光軸から偏心した領域に分布する光源からの露光用の照明光を用いるため、例えば輪帯照明又は変形照明を行う場合と同じような解像力向上の効果が得られる。また、輪帯照

50

明や変形照明を行う場合に露光用の照明光が通過しない領域に、非感光性の照明光を照射しているため、投影光学系のレンズの高次の熱変形や屈折率変化が減少し、投影光学系の高次の球面収差変動が抑えられる利点がある。

【 0 0 6 5 】

また、照明光学系が、輪帯状の光源、又は光軸に対して偏心した位置にある複数の光源からの露光用の照明光でマスクを照明する場合には、所謂輪帯照明や変形照明により高い解像度が得られる。

また、照明光学系が、露光用の照明光の照度分布を均一化するためのオプティカル・インテグレータを有し、オプティカル・インテグレータとマスクとの間に、補助照明系からの照明光をマスクに導く補助光導入部材を設ける場合には、露光用の照明光と非感光性の照明光とを瞳面と共役な面上で正確に分離した状態でマスクを照明でき、結像特性が劣化しない利点がある。

10

【 0 0 6 6 】

また、本発明の第2の投影露光装置によれば、波長選択性を有する光学部材によって投影光学系の瞳面上で光軸から偏心した領域を通過する結像光束を用いるため、輪帯状の中心遮光型の瞳フィルターを設置した場合と同様の解像度が得られる利点がある。更に、投影光学系の瞳面近傍のレンズは、露光用の照明光と感光基板に非感光性の照明光との2つの照明光により均一な照度分布で照射されるため、レンズの熱変形や屈折率の高次の変動成分が減少し、投影光学系の高次の球面収差変動が減少する利点がある。

【 図面の簡単な説明 】

20

【 図 1 】 本発明の投影露光装置の実施の形態の第1の例を示す概略構成図である。

【 図 2 】 図1の光源部に設けられた各種の開口絞りを示す拡大平面図である。

【 図 3 】 (a) は図1の変形ミラー5をレチクル側から見た図、(b) は別の変形ミラー5 Aをレチクル側から見た図である。

【 図 4 】 本発明の実施の形態の第1の例の変形例を示す概略構成図である。

【 図 5 】 (a) は図4中の開口絞り37を示す平面図、(b) は別の開口絞り37 Aを示す平面図である。

【 図 6 】 本発明の投影露光装置の実施の形態の第2の例を示す概略構成図である。

【 図 7 】 その実施の形態の第2の例の変形例を示す概略構成図である。

【 図 8 】 本発明の実施の形態において、照射エネルギーによる温度分布計算例を説明するための図である。

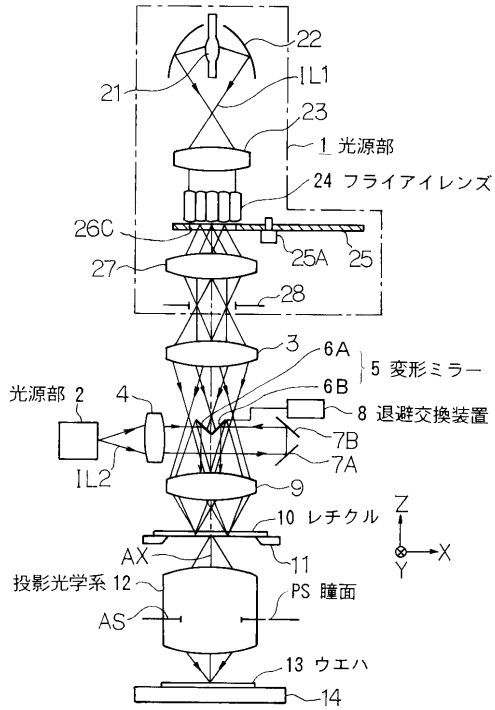
30

【 符号の説明 】

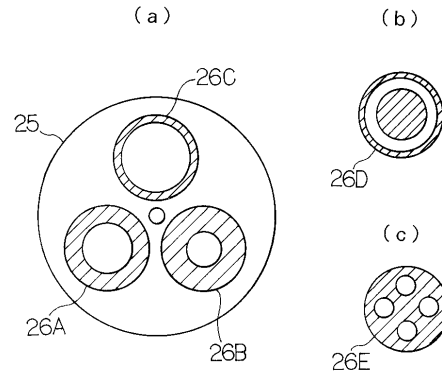
- 1 , 1 A , 1 B 光源部 (露光用)
- 2 , 2 A , 2 B 光源部 (非露光用)
- 5 , 5 A , 5 B 変形ミラー
- 6 A ~ 6 D , 1 9 A ~ 1 9 D ミラー
- 1 0 レチクル
- 1 2 投影光学系
- 1 2 A 上部レンズ系
- 1 2 B 下部レンズ系
- P S 瞳面
- 1 3 ウエハ
- 1 4 ウエハステージ
- 2 4 フライアイレンズ
- 2 6 A ~ 2 6 C 開口絞り
- 3 1 偏光ビームスプリッター
- 3 2 , 3 4 1 / 4 波長板
- 3 7 , 3 7 A , 4 3 波長選択性を有する開口絞り

40

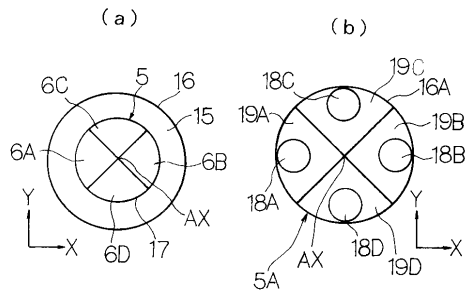
【図 1】



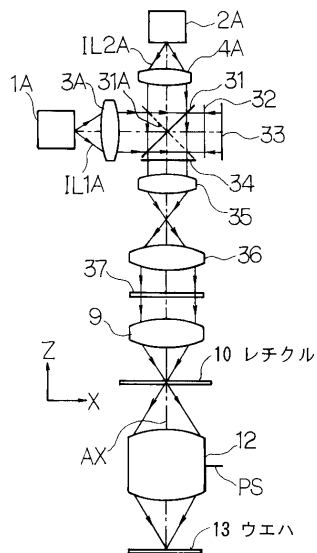
【図 2】



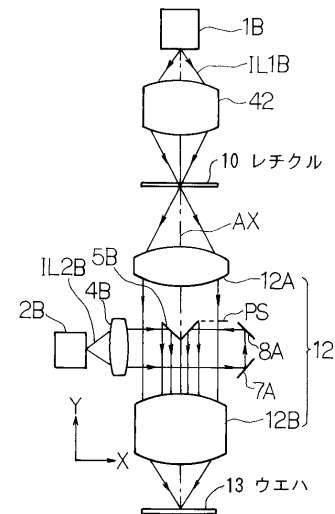
【図 3】



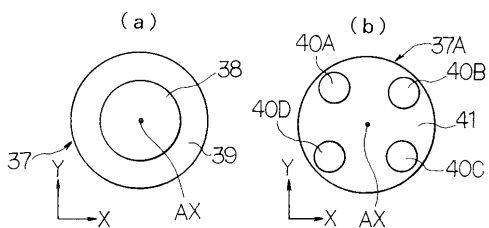
【図 4】



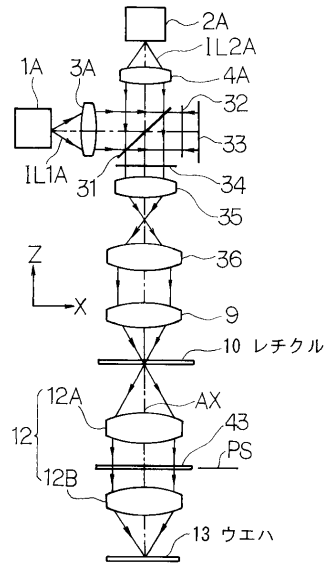
【図 6】



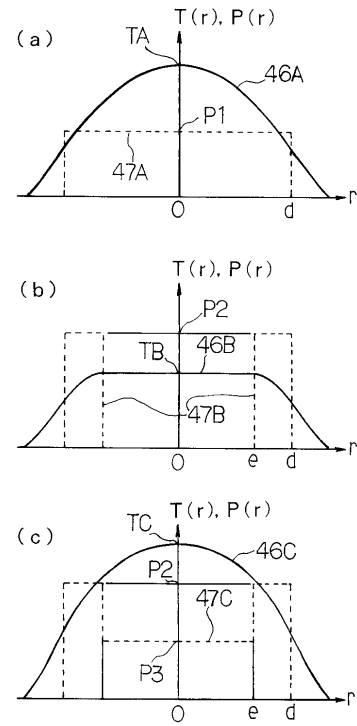
【図 5】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, D B 名)
H01L 21/027