

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3790833号
(P3790833)

(45) 発行日 平成18年6月28日(2006.6.28)

(24) 登録日 平成18年4月14日(2006.4.14)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 L 21/027 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 1 8

G O 3 F 7/20 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 1 5 D

H O 1 L 21/30 5 1 5 A

G O 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 6 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願平8-208260	(73) 特許権者	000004112
(22) 出願日	平成8年8月7日(1996.8.7)		株式会社ニコン
(65) 公開番号	特開平10-50585		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2月20日(1998.2.20)	(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
		(72) 発明者	森 孝司
			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

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】

マスクに形成された所定の転写用パターンを感光性基板上に投影する投影光学系と、
前記投影光学系の光軸と前記感光性基板の被露光面とが交わる第1の点に対して回転対称な所定の円形露光領域内において、前記第1の点に対し回転非対称な露光照明領域を形成して回転非対称なマスクパターン像を前記感光性基板上に転写するために、前記感光性基板を感光させる波長を持つ第1照明光を供給し、前記投影光学系の光軸と前記マスクのパターン面とが交わる第2の点に対して前記マスクのパターン面内で回転非対称な露光照明領域を形成する第1の照明系と、

前記投影光学系を介して前記感光性基板に向けて非感光性の波長を持つ第2照明光を供給し、前記第1照明光を伴って前記所定の円形露光領域内のほぼ全体を照明するように、前記感光性基板の被露光面内での前記回転非対称な露光照明領域を補完する非露光照明領域を前記所定の円形露光領域内に形成する第2照明系と、を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】

マスクに形成された所定の転写用パターンを感光性基板上に投影する投影光学系と、
前記感光性基板を感光させる波長を持つ第1照明光を供給する第1光源部と、
前記感光性基板に対して非感光性の波長を持つ第2照明光を供給する第2光源部と、
前記第1照明光と前記第2照明光とを合成して前記マスクへ導く合成系と、
該合成系と前記マスクとの間の光路上で、前記マスクのパターン面と実質的に共役とな

10

20

る位置に配置された視野絞りと、を設け、

前記視野絞りは、前記第 1 照明光を透過させる第 1 の透過部と前記第 2 照明光を透過させる第 2 の透過部とを有し、

前記第 1 の透過部は、前記投影光学系の光軸と前記マスクのパターン面とが交わる所定の点に対して回転対称な所定の円形領域内において、前記所定の点に対し回転非対称な露光照明領域としての第 1 の領域と共役であり、

前記第 2 の透過領域は、前記第 1 照明光を伴うことによって前記回転対称な所定の円形領域内のほぼ全体を照明するように、前記回転非対称な第 1 の領域を補完する被露光照明領域としての第 2 の領域と共役であ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、

前記第 2 照明光が照明する領域に位置する前記マスク上のマスクマークと前記第 2 照明光が照明する領域に位置する前記感光性基板上の基板マークとの少なくとも一方からの光を光電的に検出し、双方のマークの内の少なくとも一方のマークの位置を検出するマーク位置検出系を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項 4】

請求項 1、2、又は 3 記載の投影露光装置であって、

前記回転対称な所定の円形露光領域、又は前記回転対称な所定の円形領域と共役な前記感光性基板上の領域は、前記投影光学系の前記感光性基板側の視野と一致することを特徴とする投影露光装置。

【請求項 5】

マスクに形成された所定の転写用パターンを感光性基板上に投影する投影光学系と、

前記感光性基板を感光させる波長を持つ照明光で前記マスクを照明する照明光学系と、

前記投影光学系と前記感光性基板との間に配置され、所定の光透過部を持つ光制限部材と、を設け、

該光制限部材の光透過部を通過した前記照明光は、前記投影光学系の光軸と前記感光性基板の被露光面とが交わる所定の点に対して回転対称な所定の円形露光領域内において、前記所定の点に対し回転非対称な領域に入射することを特徴とする投影露光装置。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載の投影露光装置を用いて、前記マスクに形成された所定の転写用パターンを感光性基板上に投影す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を感光性の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、特にマスク上の転写用のパターン中のスリット状のような回転非対称な領域のパターンを基板上に投影した状態で、マスクと基板とを投影光学系に対して同期走査して露光を行うステップ・アンド・スキャン方式等の走査露光型の投影露光装置に適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】

従来、半導体素子等を製造するために、マスクとしてのレチクル（又はフォトマスク等）上のほぼ正形状の照明領域内のパターンを投影光学系を介して、感光性の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）上に露光するステッパー等の一括露光型の投影露光装置が多用されてきた。これに対して最近では、半導体素子等のチップパターンの大型化に対応するために、より大きな面積のレチクルのパターンをウエハ上の各ショット領域に転写することが求められている。ところが、広い有効露光フィールド（視野）の全面でディストーションや像面湾曲等の収差を所定の許容値以下に抑制した投影光学系の設計及び製造は困難である。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

そのため、最近ではレチクル上の長方形又は円弧状等のスリット状の照明領域内のパターンを投影光学系を介してウエハ上に投影した状態で、レチクルとウエハとを投影光学系に対して同期走査しながらレチクルのパターンをウエハ上の各ショット領域に逐次露光するステップ・アンド・スキャン方式等の走査露光型の投影露光装置が注目されている。この走査露光型の投影露光装置は、投影光学系の有効露光フィールドの直径を最大限に利用できるほか、走査方向への転写パターンの長さはその有効露光フィールドの直径よりも長くできるため、結果として大面積のレチクルのパターンを小さい収差でウエハ上に転写できる。

【 0 0 0 4 】

【 発明が解決しようとする課題 】

一般に投影露光装置においては、露光に際し、投影光学系のレンズに対して高いエネルギーを有する照明光が照射される。そのため、投影光学系のレンズを構成する硝材の照射エネルギーの吸収率が僅かに 0 . 2 % / c m 程度であっても、照明光がレンズ上に光軸に関して回転非対称性を有した状態で照射された場合、照射エネルギーの吸収熱によりレンズの温度分布が変化することによってレンズが回転非対称に熱変形したり、部分的な温度上昇により硝材の屈折率分布が回転非対称に変動する。これにより、投影光学系の収差が徐々に悪化するというような、回転非対称性を有する不均一な照度分布の照明光の照射による投影光学系の収差変動が生じる。このような収差変動は、今日のような高解像力、且つ高い露光精度が要求される条件下では容認できない状態となってきた。

【 0 0 0 5 】

従来は、このような投影光学系の収差の変動に対しては、投影光学系を例えば 3 つのブロックに分け、夫々のブロックを密閉して各ブロック内のレンズに接する気体の圧力を制御することで対処してきた。この方法では、ほぼ正方形の照明領域を使用する一括露光型の場合には、その照明領域の回転非対称性の程度が低いため、収差変動は十分に補正されてきた。しかし、走査露光型の投影露光装置のように、レチクル上の照明領域を長方形又は円弧状等のスリット状にするというような著しく光軸に関し回転非対称な照明領域を使用する場合には、そのような気圧制御を行っても、ディストーションや像面湾曲等の収差の変動が許容値以内に収まらない恐れがでてきた。特に回転非対称性が著しいときは、投影光学系の露光フィールドの中心でメリジナル方向のパターンの最良像面と、それと垂直な方向のパターンの最良像面とが光軸方向に離れるというような非点収差が生じるという不都合もある。

【 0 0 0 6 】

本発明は斯かる点に鑑み、レチクル上の回転非対称な領域のパターンを投影光学系を介してウエハ上に転写する場合に、投影光学系の収差変動の少ない投影露光方法及び装置を提供することを目的とする。

【 0 0 0 7 】

【 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、マスク (4) に形成された所定の転写用パターンを感光性基板 (7) 上に投影する投影光学系 (6) と、その投影光学系の光軸 (A X) とその感光性基板 (7) の被露光面とが交わる第 1 の点 (P 1) に対して回転対称な所定の円形露光領域 (2 0) 内において、その第 1 の点 (P 1) に対し回転非対称な露光照明領域 (2 1) を形成して回転非対称なマスクパターン像をその感光性基板 (7) 上に転写するために、その感光性基板 (7) を感光させる波長を持つ第 1 照明光 (I L 1) を供給し、その投影光学系 (6) の光軸とそのマスク (4) のパターン面とが交わる第 2 の点 (P 2) に対してそのマスク (4) のパターン面内で回転非対称な露光照明領域 (1 8) を形成する第 1 の照明系 (1 , 2) と、その投影光学系 (6) を介してその感光性基板 (7) に向けて非感光性の波長を持つ第 2 照明光 (I L 2 A , I L 2 B) を供給し、その第 1 照明光 (I L 1) を伴ってその所定の円形露光領域 (2 0) 内のほぼ全体を照明するように、その感光性基板 (7) の被露光面内でのその回転非対称な露光

照明領域(21)を補完する非露光照明領域(22, 23)をその所定の円形露光領域(20)内に形成する第2照明系(3A, 3B, 9A, 9B, 16A, 16B)と、を有するものである。

【0008】

この場合、その第2照明光(IL2A, IL2B)は投影光学系(6)を構成するレンズの硝材に或る程度は吸収される必要がある。但し、レンズの硝材で吸収される代わりに、レンズのコーティング膜で吸収されてもよい。

斯かる本発明の第1の投影露光装置によれば、第2照明光(IL2A, IL2B)も第1照明光(IL1)と同様に感光性基板(7)上に照射されるが、第2照明光(IL2A, IL2B)は感光性基板(7)に対して非感光性であるため、第1照明光(IL1)により照明されるマスク(4)上の回転非対称な露光照明領域(18)のパターンの像だけが感光性基板(7)上の回転非対称な露光照明領域(21)に転写される。また、感光性基板(7)上の回転非対称な露光照明領域(21)を補完して回転対称な円形露光領域(20)を形成する被露光領域(22, 23)を、第2照明光(IL2A, IL2B)により照明するため、投影光学系(6)のレンズへの照射エネルギー分布の回転対称性が増加する。従って、投影光学系(6)のレンズの回転非対称な熱変形が減少し、回転非対称な屈折率分布も減少するため、投影光学系(6)の収差の変動が少なくなる。

【0009】

また、本発明による第2の投影露光装置は、例えば図2に示すように、マスク(4)に形成された所定の転写用パターンを感光性基板(7)上に投影する投影光学系(6)と、その感光性基板(7)を感光させる波長を持つ第1照明光(IL1)を供給する第1光源部(1, 41)と、その感光性基板(7)に対して非感光性の波長を持つ第2照明光(IL2A)を供給する第2光源部(3A, 47)と、その第1照明光(IL1)とその第2照明光(IL2A)とを合成してそのマスク(4)へ導く合成系(42, 44, 46)と、この合成系とそのマスク(4)との間の光路上で、そのマスク(4)のパターン面と実質的に共役となる位置に配置された視野絞り(48)と、を設け、その視野絞り(48)は、その第1照明光(IL1)を透過させる第1の透過部(50)と第2照明光(IL2A)を透過させる第2の透過部(49, 51)とを有し、その第1の透過部(50)は、その投影光学系(6)の光軸(AX)とそのマスク(4)のパターン面とが交わる所定の点に対して回転対称な所定の円形領域(48)内において、その所定の点に対し回転非対称な露光照明領域としての第1の領域(50)と共役であり、その第2の透過領域(49, 51)は、その第1照明光(IL1)を伴うことによってその回転対称な所定の円形領域(48)内のほぼ全体を照明するように、その回転非対称な第1の領域(50)を補完する被露光照明領域としての第2の領域(49, 51)と共役であるものである。

【0010】

斯かる本発明の第2の投影露光装置によれば、合成系(42, 44, 46)により一旦合成された第1及び第2照明光(IL1, IL2A)は視野絞り(48)により、マスク(4)上の回転非対称な被露光照明領域(50)、及びその回転非対称な被露光照明領域を補完する被露光照明領域(49, 51)を領域を通過し、投影光学系(6)を経て感光性基板(7)上に照射される。この場合、第1照明光(IL1)は、視野絞り(48)によりマスク(4)の回転非対称な被露光照明領域としての第1の領域(50)と共役な第1の透過部(50)だけを通して、感光性基板(7)上には、そのマスク(4)上のその第1の領域(50)のパターンの像だけが転写される。

【0011】

一方、投影光学系(6)には、マスク(4)上の第1の領域(50)を透過する第1照明光(IL1)と、その第1の領域を補完して実質的に回転対称な円形領域(48)を形成するマスク(4)上の第2の領域(49, 51)を透過する第2照明光(IL2A)とが入射する。第1及び第2照明光(IL1, IL2A)の全体の照射領域は実質的に回転対称な円形領域となるため、本発明の第1の投影露光装置と同様に、投影光学系(6)のレンズへの照射エネルギー分布の回転対称性が増加する。従って、投影光学系(6)の収差

10

20

30

40

50

変動が少なくなる。また、本発明ではマスク(4)上の回転非対称な被露光照明領域に照射される第1照明光(IL1)の視野を規定するための光学系、及び第2照明光(IL2A)のマスク(4)上での視野を規定するための光学系が不要となる。

【0012】

また、本発明の第1及び第2の投影露光装置において、その第2照明光(IL2A)が照明する領域に位置するそのマスク(4)上のマスクマーク(11A, 11B)とその第2照明光(IL2A)が照明する領域に位置するその感光性基板(7)上の基板マーク(12A, 12B)との少なくとも一方からの光を光電的に検出し、双方のマークの内の少なくとも一方のマークの位置を検出するマーク位置検出系(13A, 13B)を有することが好ましい。これにより、第2照明光(IL2A)をマスク(4)又は感光性基板(7)の位置を検出するためのマーク位置検出系(13A, 13B)用の照明光として有効に利用できる。

10

【0013】

また、その回転対称な所定の円形露光領域(20)、又はその回転対称な所定の円形領域(48)と共役なその感光性基板(7)上の領域は、その投影光学系(6)の感光性基板(7)側の視野と一致することが好ましい。これにより、投影光学系(6)のレンズはほぼ回転対称でほぼ最大径の円形の照明領域により照明されるため、レンズへの照射エネルギーの分布が更に回転対称になる。

【0014】

また、本発明による第3の投影露光装置は、例えば図8に示すように、マスク(4)に形成された所定の転写用パターンを感光性基板(7)上に投影する投影光学系(6)と、その感光性基板(7)を感光させる波長を持つ照明光(IL1)でそのマスク(4)を照明する照明光学系(1A, 41)と、その投影光学系(6)とその感光性基板(7)との間に配置され、所定の光透過部(73)を持つ光制限部材(71)と、を設け、この光制限部材の光透過部(73)を通過したその照明光(IL1)は、その投影光学系(6)の光軸(AX)とその感光性基板(7)の被露光面とが交わる所定の点に対して回転対称な所定の円形露光領域(71)内において、その所定の点に対し回転非対称な領域(73)に入射するものである。

20

【0015】

斯かる本発明の第3の投影露光装置によれば、感光性基板(6)に対して感光性の照明光(IL1)は、マスク(4)及び投影光学系(6)の回転対称な領域を通過した後、光制限部材(71)によりマスク(4)上の回転非対称な領域に対応する領域だけを通して感光性基板(7)上に照射される。従って、マスク(4)上の回転非対称な領域のパターンの像だけが、感光性基板(7)上に転写される。また、照明光(IL1)によりマスク(4)上の回転対称な領域を照明するため、本発明の第1及び第2の投影露光装置と同様に、投影光学系(6)のレンズへの照射エネルギー分布の回転対称性が増加し、投影光学系(6)の収差変動が少なくなる。本発明では、特に1つの照明光(IL1)だけでマスク(4)を照明するため、投影光学系(6)のレンズ全体に一樣な波長の光エネルギーが照射される。従って、それらレンズにおける熱エネルギーの吸収量も一樣になり、レンズの回転非対称な熱変形が更に減少し、投影光学系(6)の収差の発生も更に抑えられる。また、1つの照明光(IL1)だけを使用するため、光源や照明光学系等の設備を節約できる。

30

40

次に、本発明による投影露光方法は、本発明の投影露光装置を用いて、そのマスクに形成された所定の転写用パターンを感光性基板に投影するものである。

【0016】

【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を参照して説明する。本例はステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明を適用したものである。

図1(a)は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図1(a)に示すように、本例にはレチクル4上のパターン領域を照明する3つの光源部1, 3A, 3Bが設けられて

50

いる。露光時には、光源部 1 からはウエハ 7 上に塗布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 が射出され、光源部 3 A , 3 B からはウエハ 7 のフォトレジストに非感光性の波長 2 の照明光 I L 2 A , I L 2 B が射出される。光源部 1 は、露光光源、レチクル 4 上の照度分布を均一にするためのフライアイレンズ、レチクル 4 上の照明領域を規定する視野絞り等を含んで構成され、光源部 1 から射出された照明光 I L 1 は、照明光学系 2 を介してレチクル 4 上の非走査方向に長い長方形の照明領域 1 8 (図 1 (b) 参照) に照射される。その照明光 I L 1 のもとで、レチクル 4 の長方形の照明領域 1 8 内のパターンの像が投影光学系 6 を介してフォトレジストが塗布されたウエハ 7 上に投影倍率 (は例えば 1 / 4 又は 1 / 5 等) で転写される。以下、投影光学系 6 の光軸 A X に平行に Z 軸を取り、Z 軸に垂直な 2 次元平面内で図 1 (a) の紙面に平行に X 軸、図 1 (a) の紙面に垂直に Y 軸を取って説明する。本例では走査露光時のレチクル 4 及びウエハ 7 の走査方向は X 方向である。

10

【 0 0 1 7 】

一方、非露光光の光源部 3 A , 3 B は、それぞれ光源、レチクル 4 上の照度分布を均一にするためのフライアイレンズ、及びレチクル 4 上での照明領域を規定する視野絞り等を含んで構成されている。そして、レチクル 4 の - X 方向の上部に配置された光源部 3 A から射出された波長 2 の照明光 I L 2 A は、コンデンサレンズ 9 A を透過し、照明光 I L 2 A の入射方向に対して斜設された僅かな透過率を有するミラー 1 6 A により下方に反射されてレチクル 4 上の照明領域 1 7 (図 1 (b) 参照) に集光される。また、レチクル 4 の + X 方向の上部に配置された光源部 3 B から射出された波長 2 の照明光 I L 2 B は、コンデンサレンズ 9 B を透過し、照明光 I L 2 B の入射方向に対して斜設された僅かな透過率を有するミラー 1 6 B により下方に反射されてレチクル 4 上の照明領域 1 9 に集光される。そして、レチクル 4 を透過した照明光 I L 2 A , I L 2 B は、投影光学系 6 を介してウエハ 7 上に照射される。

20

【 0 0 1 8 】

この場合、照明光 I L 2 A の照明領域 1 7 及び照明光 I L 2 B の照明領域 1 9 は、それぞれ照明光 I L 1 のレチクル 4 上の長方形の照明領域 1 8 に対して走査方向に外側の領域になるように設定されている。

照明光 I L 1 の波長 1 及び照明光 I L 2 A , I L 2 B の波長 2 は、フォトレジストの種類及び投影光学系 6 の硝材の種類により異なるが、通常の場合、波長 1 は 5 3 0 n m 未満、波長 2 は 5 3 0 n m 以上の波長を選択する。露光用の照明光 I L 1 としては、水銀ランプの i 線 (波長 3 6 5 n m) や g 線 (波長 4 3 6 n m) 等の輝線、A r F エキシマレーザ光 (波長 1 9 3 n m) や K r F エキシマレーザ光 (波長 2 4 8 n m) 等のエキシマレーザ光、あるいは銅蒸気レーザ光や Y A G レーザ光の高調波等が使用される。

30

【 0 0 1 9 】

また、照明光 I L 2 A , I L 2 B は投影光学系 6 の硝材に対する回転非対称な照射エネルギーの分布を抑える目的で使用されるため、硝材又はレンズの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 A , I L 2 B としては、フォトレジストを感光させない波長で、光の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 6 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波長を有するものが好ましい。好ましい例としては、例えば H e - N e レーザからのレーザビーム (波長 6 3 3 n m) 等が挙げられる。

40

【 0 0 2 0 】

なお、投影光学系の硝材として、石英やガラス等が使用された場合、これらの硝材は、約 2 μ m 以上の長い波長でもかなりの光吸収率を有するので、照明光 I L 2 A , I L 2 B として、フッ化水素 (H F) ガスの化学反応を利用した H F 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、5 3 0 n m 以上の長い波長でも 1 % / c m に近い光吸収率を有するものもあり、このような 1 % / c m に近い光吸収率を有する照明光でも照射エネルギーの回転非対称な分布

50

の対策としては十分有効である。このような照明光の例としては、水素 (H_2) 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。

【0021】

次に、レチクル 4 は走査方向 (X 方向) に一定速度で移動自在で且つ X 方向及び Y 方向に微動可能なレチクルステージ 5 上に載置されている。レチクルステージ 5 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 5 の位置が制御されている。また、レチクル 4 上にはウエハ 7 との位置合わせ用のレチクルマーク 11A, 11B が形成されている。

【0022】

一方、ウエハ 7 は不図示のウエハホルダを介して走査方向 (X 方向) に一定速度で移動自在なウエハステージ 8 上に載置されている。ウエハステージ 8 は X 方向及び Y 方向にステップ移動もできるように構成されており、ウエハ 7 上の各ショット領域を投影光学系 6 の露光領域への走査開始位置に移動する動作と、走査露光動作とを繰り返すステップ・アンド・スキャン方式によりウエハ 7 上の各ショット領域にレチクル 4 のパターンの像が逐次転写される。走査露光時には、レチクル 4 が + X 方向 (又は - X 方向) へ、例えば速度 V_R でスキャンされるのと同期して、ウエハ 7 が - X 方向 (又は + X 方向) に速度 V_R (は投影倍率) でスキャンされる。また、ウエハ 7 上の各ショット領域には位置合わせ用のウエハマーク 12A, 12B が形成されている。

【0023】

次に、本例の露光動作について説明する。本例では、走査露光時にはレチクル 4 上のスリット状の照明領域だけでなく、それ以外のパターン領域も照明する。即ち、走査露光が開始されると同時に、3 個の光源部 1, 3A, 3B からそれぞれ照明光 IL1, IL2A, IL2B が射出される。

図 1 (b) は、レチクル 4 上の照明光 IL1, IL2A, IL2B の照明領域を示し、この図 1 (b) において光源部 1 からの照明光 IL1 は、投影光学系 6 の有効露光フィールド (視野) と共役な円形の有効照明領域 14 の外形と接する点 L1, L2, N1, N2 を結んだ長方形の照明領域 18 に照射されている。この場合、円形の有効照明領域 14 の中心 P2 は光軸 AX に一致している。一方、光源部 3A からの照明光 IL2A は照明領域 18 の - X 方向の点 L1, N1 を結んだ境界線から左外側の台形状の照明領域 17 に照射されている。また、光源部 3B からの照明光 IL2B は照明領域 18 の + X 方向の点 L2, N2 を結んだ境界線から右外側の台形状の照明領域 19 に照射されている。即ち、照明領域 17, 19 は回転非対称な長方形の照明領域 18 を補完して円形の有効照明領域 14 に近い照明領域を形成するための補完照明領域といえる。照明領域 18 を透過した照明光 IL1、及び照明領域 17, 19 をそれぞれ透過した照明光 IL2A, IL2B は、共に投影光学系 6 を透過してウエハ 7 上に照射される。

【0024】

図 1 (c) は、ウエハ 7 上の照明領域を示し、この図 1 (c) において、投影光学系 6 の有効露光フィールド (視野) IR と一致する円形の有効露光領域 20 の外周に内接する非走査方向 (Y 方向) に長い長方形の露光領域 21 にウエハ 7 のフォトレジストに感光性の照明光 IL1 が照射されている。この場合、円形の有効露光領域 20 の中心 P1 は光軸 AX に一致している。そして、その長方形の露光領域 21 を補完して円形の有効露光領域 20 に近い照明領域を形成する照明領域 22, 23 にそれぞれウエハ 7 のフォトレジストに非感光性の照明光 IL2A, IL2B が照射されている。

【0025】

即ち、走査露光時にはレチクル 4 上で回転対称に近い領域が照明され、投影光学系 6 内のレンズもほぼ回転対称に照明されるため、レンズの硝材における照明光のエネルギーの吸収密度は回転対称に近い分布となる。従って、投影光学系 6 のレンズの回転非対称な熱変形等が抑えられ、投影光学系 6 の収差変動が抑えられる。この場合、その収差変動をできるだけ少なくするために、光源部 3A, 3B からのそれぞれの照明光 IL2A, IL2B

10

20

30

40

50

によるレチクル4上の照明領域17, 19の合計面積は、有効照明領域14内の照明光IL1による照明領域18以外の面積の1/2以上であることが望ましい。

【0026】

また、レチクル4上の照明領域17, 19を透過した照明光IL2A, IL2Bがそれぞれウエハ7上の照明領域22, 23にも照射されるが、照明光IL2A, IL2Bはウエハ7上のフォトレジストに非感光性であるため、ウエハ7上にはレチクル4上の照明領域18内のパターンの像だけが転写される。

また、本例では光源部3A, 3Bからの照明光IL2A, IL2Bをレチクル4とウエハ7との位置合わせのためのアライメントセンサの検出光としても使用する。そのため、レチクル4のX方向の両端部の上方に、TTR方式で画像処理方式のアライメントセンサ13A, 13Bを設置し、光源部3A, 3Bから射出された照明光IL2A, IL2Bを、それぞれレチクル4上のレチクルマーク11A, 11Bが形成された位置を含む領域に照射する。そして、アライメントセンサ13A, 13Bを用いてウエハマーク12A, 12Bとレチクルマーク11A, 11Bとの相対的な位置ずれを検出する。この場合には、アライメントセンサ用の光源を設ける必要がなく効率的である。なお、アライメントセンサ13A, 13Bはレチクルマーク11A, 11Bとウエハマーク12A, 12Bとをそれぞれ別々に検出するアライメントセンサでもよい。

【0027】

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7を参照して説明する。本変形例は、図1の光源部3A, 3Bからの照明光をレチクル4の下部側から直接投影光学系6に入射させるように構成したものである。その他の構成は第1の例と同様であり、図7において図1と対応する部分には同一符号を付し、その説明を省略する。

【0028】

図7(a)は、本変形例の投影露光装置の概略構成を示し、この図7(a)において、レチクル4の下部の左右に図1と同様に波長2の照明光IL2A, IL2Bを射出する光源部3A, 3Bが設置されている。光源部3Aからの照明光IL2Aは、コンデンサレンズ9Aを透過し、照明光IL2Aの入射方向に対して斜設されたミラー33Aにより下方に反射されて投影光学系6に入射する。もう1つの光源部3Bからの照明光IL2Bも同様にコンデンサレンズ9Bを透過し、照明光IL2Bの入射方向に対して斜設されたミラー33Bにより下方に反射されて投影光学系6に入射する。以下は第1の例と同様である。

【0029】

図7(b)は、レチクル4上における照明領域を示し、この図7(b)において、光源部1からの照明光IL1は、円形の有効照明領域14の外形に内接する長方形の照明領域18に照射されている。一方、光源部3A, 3Bからのそれぞれの照明光IL2A, IL2Bはレチクル4上には照射されないが、ミラー33A, 33Bで光路を折り返したレチクル4上の仮想的な照明領域は、それぞれ点線で示す台形状の照射領域17A, 17Bとなる。従って、第1の例と同様に、投影光学系6のレンズの照射エネルギーの分布はほぼ回転対称となり、投影光学系6の収差変動を低減することができる。

【0030】

本変形例は、スペース面や配置上の制約から第1の例のように、レチクル4の入射側に、ミラー16A, 16Bを配置できない場合に有効な方法である。但し、本変形例の場合はミラー33A, 33Bによる照明光IL1のケラレのために、レチクル4上における照明光IL1の照明領域18と、光源部3A, 3Bからの照明光IL2A, IL2Bによる仮想的な照明領域17A, 19Aとの境界を、明確に区別することが困難であることがある。

【0031】

次に、本発明による実施の形態の第2の例について、図2を参照して説明する。本例は、2つの光源部を設置し、合成光学系及び波長選択性を有する視野絞り等を利用して投影光学系内にほぼ回転対称なエネルギー分布を有する照明光を供給するものである。基本的な

10

20

30

40

50

構成は第 1 の例と同様であり、図 2 において図 1 と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。なお、図 2 ではウエハステージ等は省略している。

【 0 0 3 2 】

図 2 は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図 2 において、光源部 1 から射出されたウエハ 7 上のフォトレジストに感光性の波長 1 の照明光 I L 1 は、リレーレンズ 4 1 により平行光束となり、照明光 I L 1 の光路に対して斜設された偏光ビームスプリッタ 4 2 を透過してコンデンサレンズ 4 6 に入射する。なお、本例の照明光 I L 1 及び I L 2 A はそれぞれ P 偏光に直線偏光して偏光ビームスプリッタ 4 2 に入射するものとする。もう一方の光源部 3 A から射出されたウエハ 7 上のフォトレジストに非感光性の波長 2 の照明光 I L 2 A も、リレーレンズ 4 7 により平行光束となり、照明光 I L 1 と直交する方向から偏光ビームスプリッタ 4 2 に入射する。照明光 I L 2 A は偏光ビームスプリッタ 4 2 を透過し、1 / 4 波長板 4 3 を経てミラー 4 4 により反射され、再び 1 / 4 波長板 4 3 を経て S 偏光として偏光ビームスプリッタ 4 2 に入射する。S 偏光となった照明光 I L 2 A は偏光ビームスプリッタ 4 2 により反射され、先に説明した照明光 I L 1 と合成されて照明光 I L 3 としてコンデンサレンズ 4 6 に入射し、コンデンサレンズ 4 6 を介してレチクル 4 上に照射される。また、偏光ビームスプリッタ 4 2 とコンデンサレンズ 4 6 との間には 1 / 4 波長板 4 5 が設置され、照明光 I L 3 はほぼ円偏光の状態 でレチクル 4 に照射される。これによって、レチクル 4 のパターンの方向が変わっても良好な転写が行われる。

10

【 0 0 3 3 】

レチクル 4 の上面には、近接して波長選択性を有する視野絞り 4 8 が設置されており、この視野絞り 4 8 により、照明光 I L 3 を構成する照明光 I L 1 及び照明光 I L 2 A のレチクル 4 上におけるそれぞれの照明領域が決定される。視野絞り 4 8 は、波長選択性を有する 2 種類の光学フィルターから構成されている。

20

図 2 (b) は、視野絞り 4 8 の平面図を示し、この図 2 (b) において、視野絞り 4 8 の中央には、波長 1 の光束を選択的に透過する非走査方向に長い長方形の光学フィルター 5 0 が設けられている。本例では視野絞り 4 8 はレチクル 4 と近接しているため、この光学フィルター 5 0 の形状がそのままレチクル 4 上の照明光 I L 1 の照明領域とみなせる。また、視野絞り 4 8 上の光学フィルター 5 0 の左右に波長 2 の照明光 I L 2 A を選択的に透過する半円状の光学フィルター 4 9 , 5 1 が設けられている。そして、光学フィルター 5 0 及び光学フィルター 4 9 , 5 1 は全体として光軸 A X を中心とする円形領域を形成しており、この円形領域はレチクル 4 上の有効照明領域に収まる領域である。

30

【 0 0 3 4 】

これらの光学フィルター 4 9 ~ 5 1 が設けられた視野絞り 4 8 を通過した照明光 I L 1 , I L 2 A は、レチクル 4 を透過した後、更に投影光学系 6 を通過してウエハ 7 上に照射されるが、照明光 I L 2 A はウエハ 7 上のフォトレジストに非感光性であるため、ウエハ 7 上には光学フィルター 5 0 の形状で規定されるレチクル 4 上のパターンの像だけが転写される。

【 0 0 3 5 】

また、光源部 1 から射出された照明光 I L 1 と光源部 3 A から射出された照明光 I L 2 A とを同時に投影光学系 6 に入射させることによって、投影光学系 6 内の硝材の吸収エネルギーは、光軸 A X に対し回転対称に近い密度分布になって、収差変動が少なくなる。また、従来例のように、投影光学系 6 の硝材の熱変形が著しく回転非対称である場合は、投影光学系の露光フィールドの中心でメリジオナル方向のパターンの最良像面と、それと垂直な方向のパターンの最良像面とが光軸方向に離れるというような非点収差 (以下、「中心アス」という) が生じることがある。しかし、本例ではこのような中心アス等の回転非対称な収差変動の発生も抑えられる。また、本例の方法は以下のように円弧状の露光領域を用いる場合に特に有効である。

40

【 0 0 3 6 】

図 2 (c) は、露光領域として円弧状の露光領域を用いる場合に視野絞り 4 8 の代わりに

50

使用する視野絞りの状態を示し、この図 2 (c) において、視野絞り 4 8 A の中央には光源部 1 からの照明光 I L 1 を選択的に透過する円弧状の光学フィルター 5 0 A が配置され、視野絞り 4 8 A 上の光学フィルター 5 0 A の左右に波長 2 の照明光 I L 2 A を選択的に透過する半円状光学フィルター 4 9 A 及び三日月状の光学フィルター 5 1 A が設けられている。これらの光学フィルター 4 9 A , 5 1 A 及び 5 0 A の形状は、全体として光軸 A X を中心とする円形領域を形成するように設定されている。本例では、レチクル 4 上で円弧状の光学フィルター 5 0 A の内部のパターンが投影光学系 6 を介してウエハ 7 上に投影される。しかも、投影光学系 6 にはほぼ光軸 A X を中心として回転対称の照射エネルギーが供給され、収差変動が少なくなる。

【 0 0 3 7 】

このように円弧状の照明領域の場合、第 1 の例において投影光学系 6 内の硝材に対して回転対称な照射エネルギーを与えるためには、光源部 1 , 3 A , 3 B 内の視野絞りを極めて複雑な形状に設定する必要がある、製造コストが増大する。しかし本例によれば、そのレチクル 4 上の円弧状の照明領域に合わせて光学フィルター 5 0 A の形状を設定すればよく、しかもそれに合わせて容易に照明光 I L 2 A の光学フィルター 4 9 A , 5 1 A の形状も設定できる。

【 0 0 3 8 】

なお、図 2 (b) の光学フィルター 5 0 としては、光源部 3 A からの照明光 I L 2 A に対する透過率の出来るかぎり小さいものが、投影光学系 6 内の回転非対称な照射エネルギー分布による収差変動を低減する効果が大きく望ましい。また、投影光学系 6 の収差変動をできるだけ少なくするためには、光学フィルター 4 9 , 5 1 の面積は、光学フィルター 5 0 に外接する円内のうち、光学フィルター 5 0 以外の部分の面積の少なくとも 1 / 2 以上であることが望ましい。

【 0 0 3 9 】

また、図 2 (a) の例においては、視野絞り 4 8 はレチクル 4 のパターン面の近傍に設定されているが、視野絞り 4 8 をレチクル 4 のパターン面と共役な面に配置してもよい。

なお、図 2 (a) において、合成光学系として偏光ビームスプリッタ 4 2 の代わりに 2 点鎖線で示すようにダイクロイックミラー D M を用いてもよい。このダイクロイックミラー D M は照明光 I L 1 を透過して照明光 I L 2 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 , I L 2 A が無駄なく合成される。また、この際には 1 / 4 波長板 4 5 は不要である。

【 0 0 4 0 】

次に、本発明の投影露光装置の実施の形態の第 3 の例について、図 8 を参照して説明する。本例は、1 つの光源だけを使用し、投影光学系とウエハとの間に遮光板を設けたものであり、図 8 において図 1 又は図 2 と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 8 (a) は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図 8 (a) において、光源部 1 A から射出されたフォトレジストに対して感光性の照明光 I L 1 は、コンデンサレンズ 4 1 によりレチクル 4 上に照射される。この場合、照明光 I L 1 のレチクル 4 上での照明領域形状は、図 1 の照明領域 1 8 のように長方形には整形されておらず、投影光学系 6 の有効露光フィールドと共役な円形の有効照明領域となっている。レチクル 4 上の円形の有効照明領域を通過した照明光 I L 1 は、投影光学系 6 を透過し、ウエハ 7 に近接して配置された遮光板 7 1 に入射する。

【 0 0 4 1 】

図 8 (b) は、遮光板 7 1 の平面図を示し、この図 8 (b) において、遮光板 7 1 の中心は光軸 A X に一致している。遮光板 7 1 の中央部には、光軸 A X を中心とする Y 方向に長い長方形の透過領域 7 3 が設けられており、その透過領域 7 3 を囲むように遮光帯 7 2 が設けられている。遮光板 7 1 に入射した照明光 I L 1 の内で透過領域 7 3 を透過した照明光のみがウエハ 7 上に照射される。これにより、ウエハ 7 上には、遮光板 7 1 の透過領域 7 3 に対応するレチクル 4 上の Y 方向に長い長方形の領域のパターンの像が転写される。

【 0 0 4 2 】

本例によれば、投影光学系 6 とウエハ 7 との間に遮光板 7 1 を設けるだけで、レチクル 4 上の所望の回転非対称な領域のパターンの像だけを転写できる。そのため、照明光 I L 1 の照明領域を整形するための照明光学系の構成が簡単になる。また、1つの光源部 1 A だけを使用するため、図 1、図 2、図 7 の例に比較して光源部やコンデンサレンズ等の設備が節約できる。また、遮光板 7 1 を設けるだけでよいため、構成が極めて簡単で調整等の作業も容易に行える。特に、本例では 1 つの光源部 1 A からの照明光 I L 1 によりレチクル 4 及び投影光学系 6 の回転対称な領域を照明するため、投影光学系 6 の硝材の光エネルギーの吸収密度分布は更に光軸 A X の周りに回転対称となり、硝材の熱変形に伴う投影光学系 6 の収差の発生が更に抑えられる。

10

【 0 0 4 3 】

なお、遮光板 7 1 を入れ換えるための交換機構を設け、透過領域の形状を露光領域に合わせて形成した複数の遮光板をその交換機構を介して交換するように構成してもよい。また、透過領域 7 3 を任意な形状に変更可能な視野調整機構を遮光板 7 1 の代わりに設けてもよい。

なお、図 8 の例において、機構的な都合でウエハ 7 と遮光板 7 1 との間に有限の距離 d_1 が存在して、遮光板 7 1 によるケラレによってウエハ 7 上での照明むらが問題となる場合においては、図 9 (a) で示すようにウエハ 7 上での露光光の最大開口数 (N A) を \sin とすると、レチクル 4 の付近又はレチクル 4 よりも光源側のレチクル 4 の共役位置に、図 9 (b) で示すようなウエハ 7 の露光領域と共役な領域 8 1 の外側に、幅 $d_R = 2 \cdot d_1 \cdot \tan$ (θ は $1/4$, $1/5$ 等の投影倍率) の遮光帯 8 4 , 8 5 を設けた部材 8 0 を配置するとよい。この場合、図 8 (a) の照明光 I L 1 は遮光帯 8 4 , 8 5 を除く領域 8 1 , 8 2 , 8 3 を通過する。

20

【 0 0 4 4 】

それにより図 9 (a) において、幅 d_R の遮光帯 8 5 とウエハ 7 上で共役な位置 7 A から 7 B までの領域においては露光が全くされず、遮光板 7 1 の透過領域 7 3 と遮光帯 7 2 との境界を位置 7 A と 7 B との中間位置 7 C の上方に配置し、他方の遮光帯 8 4 についても同様にすれば、遮光板 7 1 によるケラレは起こらない。遮光帯 8 4 , 8 5 の幅 d_R が円形の部材 8 0 の直径よりも十分小さい場合、図 8 (a) の投影光学系 6 のレンズはほぼ回転対称に照明され、回転非対称な収差変動は十分に補正される。

30

【 0 0 4 5 】

次に、上述の実施の形態における投影光学系の収差変動の低減の効果を計算例に基づいて説明する。まず、照明エネルギーによる温度分布の上昇を計算する。そのため、図 1 の例において、投影光学系 6 のレンズを円筒形に近似して、レンズの側面から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、そのレンズの縁からのみ熱が流出するものと仮定する。そのレンズの半径方向の距離を r 、光軸 A X の回りの角度を ϕ 、上昇後の温度分布を $T(r, \phi)$ 、レンズの単位体積当たりの熱吸収量を $\omega(r, \phi)$ 、熱伝導率を λ 、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 (r, ϕ) での熱伝導方程式は、次式のようになる。

【 0 0 4 6 】

40

【 数 1 】

$$\partial^2 T / \partial r^2 + (1/r) \cdot \partial T / \partial r + (1/r^2) \cdot \partial^2 T / \partial \phi^2 + \omega(r, \phi) / \lambda = 0$$

【 0 0 4 7 】

そこで、(数 1) の熱伝導方程式を解くと、次式のようになる。

【 0 0 4 8 】

【 数 2 】

$$T(r, \phi) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} C_{in} \cdot J_0(p_{in} \cdot r) \cos(n\phi) \\ + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} S_{in} \cdot J_0(p_{in} \cdot r) \sin(n\phi)$$

【 0 0 4 9 】

10

ここで、 $J_n(p_{in} \cdot r)$ は、第 1 種第 n 次 ($n = 0, 1, 2, \dots$) のベッセル (Bessel) 関数で、 p_{in} ($i = 1, 2, \dots$) は、 $J_n(p_{in} \cdot a) = 0$ を満たす数列である。

また、係数 C_{in} は次式により表される。

【 0 0 5 0 】

【 数 3 】

$$C_{in} = \int_0^a \int_0^{2\pi} (\omega(r, \phi) / \lambda) \cdot J_0(p_{in} \cdot r) \cdot \cos(n\phi) \cdot r \, dr \, d\phi \\ / \{(\pi / 2) \cdot p_{in}^2 \cdot a^2 [J_{n+1}(p_{in} \cdot a)]^2\}$$

20

【 0 0 5 1 】

但し、 $n = 0$ のときのみ、係数 C_{in} は次式により求められる。

【 0 0 5 2 】

【 数 4 】

$$C_{in} = \int_0^a \int_0^{2\pi} (\omega(r, \phi) / \lambda) \cdot J_0(p_{i0} \cdot r) \cdot r \, dr \, d\phi \\ / \{\pi \cdot p_{i0}^2 \cdot a^2 [J_1(p_{i0} \cdot a)]^2\}$$

30

【 0 0 5 3 】

また、係数 S_{in} は次式により表される。

【 0 0 5 4 】

【 数 5 】

$$S_{in} = \int_0^a \int_0^{2\pi} (\omega(r, \phi) / \lambda) \cdot J_0(p_{in} \cdot r) \cdot \sin(n\phi) \cdot r \, dr \, d\phi \\ / \{(\pi / 2) \cdot p_{in}^2 \cdot a^2 [J_{n+1}(p_{in} \cdot a)]^2\}$$

40

【 0 0 5 5 】

次に、温度分布の上昇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 $T(r, \quad)$ を以下のように最小 2 乗法でフーリエ・ベキ級数展開する。ここで、上昇後の温度分布 $T(r, \quad)$ の単位は \quad で、距離 r の単位は mm である。

【 0 0 5 6 】

【 数 6 】

$$T(r, \phi) = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} B_{in} \cdot r^{i+n} \cdot \cos(n\phi)$$

【0057】

但し、 $i = 0, 2, 4, 6, \dots$ である。

ここで、 $i = 0, n = 0$ の場合の級数 B_{00} は、光軸AX、即ち $r = 0$ での上昇温度になる。

以下、実際の数値に基づいて第1の例における効果を第1及び第2の2つの計算例により説明する。第1の計算例ではレチクル上の露光光の照明領域として長方形の照明領域を使用し、第2の計算例では円弧状の照明領域を使用する。この場合、投影光学系6のレンズをレンズ61で代表し（図3～図6参照）、レンズ61を外半径 a が40mmの円筒形の石英であるとする。石英の場合、熱伝導率は、 $0.0138 \text{ W} / (\text{cm} \cdot \text{°C})$ である。また、ウエハ7のフォトレジストを感光する波長 λ の照明光IL1に対するレンズ61の熱吸収率を2%/cmとする。

10

【0058】

第1の計算例において、先ず比較のため、図1のレチクル4上の70mm×16.8mmの長方形の照明領域18だけに照明光IL1が照射される場合について計算する。この場合、上記（数3）、（数4）、及び（数5）の熱吸収量 Q_{in} に長方形の吸収エネルギー密度を代入して、その結果を（数2）に代入した場合の熱伝導方程式の解に基づいて計算する。

20

【0059】

図3(a)は、長方形の照明領域だけに照明光IL1が照射された場合のレンズ61上の照射状態を示し、この図3(a)において、図1(b)の照明領域18の点L1, L2, N1, N2に対応する点L1', L2', N1', N2'で囲まれた長方形の照明領域62の走査方向の幅DX及び非走査方向の幅DYをそれぞれ16.8mm、及び70mmとする。そして、その照明領域62は照明光IL1により一様に照射されているものとし、単位時間当たりの全照射量を1Wとする。

【0060】

図3(b)は、以上の計算結果を図に表したものであり、横軸及び縦軸はそれぞれ光軸AXから走査方向への距離 x 及び非走査方向への距離 y を表す。この図3(b)において、レンズ61上の温度分布を温度差 0.02 °C 毎の等温線63Aで示す。なお、温度は内側から外側に向けて低い値となっている。なお、以下説明する図4(b)～図6(b)においても、横軸及び縦軸はそれぞれ光軸AXから走査方向への距離 x 及び非走査方向への距離 y を表し、等温線63B～63Dは内側から外側に向かって低下する温度差 0.02 °C 毎の等温線を示している。

30

【0061】

この図3(b)の光軸AXを中心とする非走査方向に長い楕円状の等温線63Aに示すように、レンズ61上の長方形の照明領域62に照明光IL1が照射されているだけの場合は、レンズ61上の光軸AXから離れた位置では、回転対称に近い温度分布となっているが、光軸AX($x = 0, y = 0$)の近くでは回転非対称な温度分布となっている。

40

【0062】

表1は、上記（数6）によって、フーリエ・ベキ級数展開した級数 B_{in} を示し、横欄に n (0, 1, 2, ...)、縦欄に i (= 0, 2, 4, ...)を取り、それぞれの n, i の値に対応する級数 B_{in} の値が示されている。表1については後で説明する。なお、後述する表2～表4も表1と同様に級数 B_{in} の値が示されている。

【0063】

【表1】

	n=0	n=1	n=2	n=3	n=4
i=0	2.2045×10^{-1}	0.0000	-2.4550×10^{-4}	0.0000	1.4452×10^{-7}
i=2	-3.4345×10^{-4}	0.0000	6.3423×10^{-7}	0.0000	-3.3489×10^{-10}
i=4	3.9964×10^{-7}	0.0000	-8.4516×10^{-10}	0.0000	3.1901×10^{-13}
i=6	-3.6972×10^{-10}	0.0000	6.5133×10^{-13}	0.0000	-1.4221×10^{-16}
i=8	1.8007×10^{-13}	0.0000	-2.6076×10^{-16}	0.0000	2.1215×10^{-20}
i=10	-3.4325×10^{-17}	0.0000	4.1520×10^{-20}	0.0000	1.7302×10^{-24}

10

【 0 0 6 4 】

次に、図 1 の第 1 の例に基づき、光源部 1 からの照明光 I_{L1} に加えて、光源部 3 A , 3 B からの照明光 I_{L2A} , I_{L2B} により投影光学系 6 のレンズ 6 1 を照射した場合の計算結果を示す。なお、光源部 3 A , 3 B からの照明光 I_{L2A} , I_{L2B} の照射領域は第 1 の例と少し異なっているが、効果の面では同様と考えてよい。

20

【 0 0 6 5 】

図 4 (a) は、レンズ 6 1 上の照射状態を示し、この図 4 (a) において、照明領域 6 2 が内接する円内で照明領域 6 2 に接する左右のほぼ半円形の照明領域 6 4 A , 6 4 B にそれぞれ照明光 I_{L2A} , I_{L2B} が一様に照射されているとする。この場合、ウエハ 7 のフォトリジストを感光しない波長 λ_2 の照明光 I_{L2A} , I_{L2B} に対するレンズ 6 1 の吸収エネルギー密度を照明領域 6 2 における照明光 I_{L1} に対する吸収エネルギー密度と等しいものとする。

【 0 0 6 6 】

図 4 (b) は、以上の計算結果を図に表したものであり、この図 4 (b) において、レンズ 6 1 上の光軸 A X を中心とする同心円状の等温線 6 3 B に示すように、レンズ 6 1 上ではほぼ回転対称に近い温度分布となっている。また、以上の計算結果に基づいて、上記 (数 6) によって、フーリエ・ベキ級数展開した級数 B_{in} を計算した結果を表 2 に示す。

30

【 0 0 6 7 】

【 表 2 】

	n=0	n=1	n=2	n=3	n=4
i=0	4.8298×10^{-1}	0.0000	1.7294×10^{-7}	0.0000	1.4426×10^{-9}
i=2	-3.0498×10^{-4}	0.0000	5.4971×10^{-9}	0.0000	-1.4191×10^{-11}
i=4	-2.5533×10^{-8}	0.0000	-1.8367×10^{-11}	0.0000	3.8396×10^{-14}
i=6	6.3606×10^{-11}	0.0000	2.5913×10^{-14}	0.0000	-4.7191×10^{-17}
i=8	-6.1809×10^{-14}	0.0000	-1.5972×10^{-17}	0.0000	2.6709×10^{-20}
i=10	2.0495×10^{-17}	0.0000	3.4875×10^{-21}	0.0000	-5.6051×10^{-24}

10

【 0 0 6 8 】

図 3 (b) 及び図 4 (b) のそれぞれの上昇後の温度分布を比較すると、図 4 (b) の温度分布の方がかなり回転対称に近くなっている。更に、表 1 と表 2 とを比較した場合、 $i = 0$, $n = 0$ の場合の級数 B_{00} 、即ち光軸 $A X$ ($r = 0$) での温度は、表 2 の場合の方が大きいにもかかわらず、それ以外の級数の絶対値は大体において表 2 の方が小さい。級数 B_{in} の値のうち、 $n = 0$ で $i = 0$ 以外の級数の値が小さいことは、照明光の照射による球面収差変動が小さいことを示し、 $n = 0$ 以外の $n = 2$ や $n = 4$ の級数 B_{in} の値が小さいことは、照明光の照射による回転非対称な収差変動が小さいことを表す。即ち、図 1 の第 1 の例により、照明光の照射による中心アス等の回転非対称な収差変動が低減されることが分かる。

20

【 0 0 6 9 】

次に、第 2 の計算例について説明する。この第 2 の計算例は図 1 に示す第 1 の例において、円弧状の照明領域を用いる場合の効果を具体的に数値で示すものである。先ず、比較のため、レチクル上の円弧状の照明領域だけに図 1 の照明光 $I L 1$ が照射される場合について計算する。

30

図 5 (a) は、投影光学系 6 のレンズ 6 1 上の照明光 $I L 1$ の照射状態を示し、この図 5 (a) において、レンズ 6 1 は第 1 の計算例の長方形の照明領域 6 2 (図 3 (a) 参照) と同じ面積を有し、且つ同じ外接円を持つ円弧状の照明領域 6 5 により照明されている。この照明領域 6 5 は、投影光学系 6 の中心部のフレアを避けるために、光軸 $A X$ からの距離が 8 . 4 mm の円内の領域を含まないように形成されており、照明領域 6 5 の中心 6 6 は光軸 $A X$ から所定の距離 d の位置に設定されている。なお、照明光 $I L 1$ のレンズ 6 1 における照射エネルギー量は 1 W である。その結果、円弧状の照明領域 6 5 の 2 つの Y 方向の隅の点 $L 3$, $L 4$ (又は点 $N 3$, $N 4$) を直線的に結ぶ距離 $D R$ は 1 6 . 8 mm、照明領域 6 5 の 2 つの X 方向の隅の点 $L 4$, $N 4$ (又は点 $L 3$, $N 3$) を直線的に結ぶ距離 $D S$ は 7 0 mm である。そして、光軸 $A X$ から 8 . 4 mm の円内の領域を避けるために、図 5 (a) の点 $N 3$, $L 3$ を結ぶ直線から照明領域 6 5 の左側の円弧の接線との間の X 方向の距離 S は 2 5 . 2 mm になるように設定されている。

40

【 0 0 7 0 】

図 5 (b) は、レンズ 6 1 上の円弧状の照明領域 6 5 だけが照明光 $I L 1$ により照明されている場合のレンズ 6 1 上の上昇後の温度分布を計算した結果を示し、この図 5 (b) において、0 . 0 2 毎の等温線 6 3 C に示すように、温度分布は光軸 $A X$ に対して右側に偏した非走査方向に長い楕円状の温度分布となる。この場合のフーリエ・ベキ級数展開した級数 B_{in} を表 3 に示す。

【 0 0 7 1 】

50

【表 3】

	n=0	n=1	n=2	n=3	n=4
i=0	1.6014×10^{-1}	6.3301×10^{-3}	3.3891×10^{-5}	-3.3261×10^{-6}	-6.5666×10^{-8}
i=2	-2.4216×10^{-5}	-1.0578×10^{-5}	-3.7951×10^{-7}	5.5797×10^{-9}	3.0172×10^{-10}
i=4	-2.8996×10^{-7}	4.9472×10^{-9}	7.4108×10^{-10}	-2.8098×10^{-12}	-4.5946×10^{-13}
i=6	3.6629×10^{-10}	2.0428×10^{-12}	-6.3917×10^{-13}	3.1792×10^{-17}	3.3061×10^{-16}
i=8	-2.0179×10^{-13}	-2.6958×10^{-15}	2.7273×10^{-16}	2.8736×10^{-19}	-1.1903×10^{-19}
i=10	4.2277×10^{-17}	6.8976×10^{-19}	-4.7047×10^{-20}	-4.0149×10^{-23}	1.7651×10^{-23}

10

【0072】

次に、図1(a)において、光源部1からの照明光IL1に加えて、光源部3A、3Bからの照明光IL2A、IL2Bによりレンズ61を照射した場合の計算例を示す。

20

図6(a)は、レンズ61上の照射状態を示し、この図6(a)において、照明領域65に接する左右の半円形の照明領域67A、67Bにそれぞれ照明光IL2A、IL2Bが一樣に照射されているとする。この場合、上述のように、光源部3A、3Bからの照明光IL2A、IL2Bの照明領域を円弧状の照明領域に合わせるように、光源部3A、3B等を製作することは容易ではなく、本計算例においては、図6(a)に示すように、円弧状の照明領域65の-X方向の頂点を結ぶ直線を一辺とする照明領域67Aと、円弧状の照明領域65の右側の円弧の接線を一辺とする半円状の照明領域67Bとに、それぞれ照明光IL2A、IL2Bが照射されているものとする。そして、フォトレジストに感光しない波長2の照明光IL2A、IL2Bによる照明領域67A、67Bでのレンズ61の吸収エネルギー密度を円弧状の照明領域65における吸収エネルギー密度と等しいものとする。

30

【0073】

図6(b)は、以上の条件での計算結果を図に表したものであり、この図6(b)において、等温線63Dで示す温度分布は図5(b)の温度分布に比べて回転対称に近くなっている。また、以上の計算結果に基づいて、上記(数6)によって、フーリエ・ベキ級数展開した級数 B_{in} を計算した結果を表4に示す。

【0074】

【表4】

	n=0	n=1	n=2	n=3	n=4
i=0	3.2613×10^{-1}	1.9780×10^{-3}	1.8782×10^{-4}	-4.4163×10^{-6}	-1.4622×10^{-7}
i=2	-9.3395×10^{-6}	-9.7035×10^{-6}	-6.8352×10^{-7}	1.8846×10^{-8}	6.0409×10^{-10}
i=4	-4.7485×10^{-7}	1.9335×10^{-8}	1.1776×10^{-9}	-3.2278×10^{-11}	-9.7362×10^{-13}
i=6	5.3783×10^{-10}	-1.9862×10^{-11}	-1.0660×10^{-12}	2.8311×10^{-14}	7.7335×10^{-16}
i=8	-3.1285×10^{-13}	1.0210×10^{-14}	4.8154×10^{-16}	-1.2630×10^{-17}	-3.0439×10^{-19}
i=10	7.1741×10^{-17}	-2.0517×10^{-18}	-8.5698×10^{-20}	2.2606×10^{-21}	4.7624×10^{-23}

10

【0075】

表3及び表4を比較すると、光軸AXにおける温度上昇を示す級数 B_{00} 以外の大部分の級数 B_{in} の絶対値が、表4の値が表3の値より小さいとはいえず、図6(表4)の場合の方が大きな値の級数もかなりある。

20

即ち、円弧状の照射領域の場合、図1に示す第1の例による方法では、レンズ61上における温度分布の回転非対称性の改善の程度が小さく、回転非対称な収差変動の低減効果が小さい。従って、円弧状の露光領域の場合は、図2に示す実施の形態のように、光学フィルターによりウエハ上のフォトリジストを感光せず、且つ投影光学系6のレンズに吸収される波長の照明光による照明領域を円弧状の照明領域に隙間なく接するように設定すれば、投影光学系6のレンズ上の照射エネルギー分布の回転対称性が向上し、投影光学系の収差変動を低減できる。

【0076】

なお、本発明は走査露光型の投影露光装置に限らず、ステッパ方式等の一括露光型の投影露光装置で、レチクル上の回転非対称な領域のパターンをウエハ上に転写する場合にも

30

同様に適用できる。
このように、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。

【0077】

【発明の効果】

本発明の第1の投影露光装置及び本発明の投影露光方法によれば、第1及び第2照明光は共に感光性基板上に照射されるが、第2照明光は感光性基板に対して非感光性であるため、第1照明光により照明されるマスク上の回転非対称な露光照明領域のパターンの像だけが感光性基板上の回転非対称な露光照明領域に転写される。また、第2照明光により第1照明光による回転非対称な露光照明領域を補完して、ほぼ回転対称な露光照明領域を通

40

過した照明光により投影光学系を照明するため、投影光学系のレンズへの照射エネルギー分布の回転対称性が増加する。従って、回転非対称な熱エネルギーの分布によるレンズの熱変形や屈折率の回転非対称な分布が減少し、投影光学系の収差変動が少なくなる利点がある。

【0078】

また、本発明の第2の投影露光装置によれば、合成系により一旦合成された第1及び第2の照明光は視野絞りにより決定される領域をそれぞれ通過し、投影光学系を経て感光性基板上に照射される。第2照明光は感光性基板に対して非感光性であるため、第1照明光だけによる感光性基板上の被露光照明領域にマスク上のパターンの像が転写される。この場合、第1照明光は、視野絞りによりマスクの回転非対称な被露光照明領域としての第1の

50

領域と共役な第1の透過部だけを通して、感光性基板上には、マスク上の第1の領域のパターンの像だけが転写される。一方、投影光学系には、マスク上の第1の領域を透過する第1照明光と、第1の領域を補完して実質的に回転対称な円形領域を形成するマスク上の第2の領域を透過する第2照明光とが入射する。第1及び第2照明光の全体の照射領域は実質的にほぼ回転対称な円形領域となるため、本発明の第1の投影露光装置と同様に、投影光学系のレンズへの照射エネルギー分布の回転対称性が増加して、投影光学系の収差変動が少なくなる利点がある。また、本発明ではマスク上の回転非対称な被露光照明領域に照射される第1照明光を整形するための光学系、及び第2照明光の照明領域を整形するための光学系が不要となる利点もある。

【0079】

10

また、本発明の第1及び第2の投影露光装置において、第2照明光が照明する領域に位置するマスク上のマスクマークと第2照明光が照明する領域に位置する感光性基板上の基板マークとの少なくとも一方からの光を光電的に検出し、双方のマークの内の少なくとも一方のマークの位置を検出するマーク位置検出系を有する場合には、第2照明光をマスク又は感光性基板の位置を検出するためのアライメント用の照明光としても有効に利用できる利点がある。

【0080】

また、回転対称な所定の円形露光領域、又は回転対称な所定の円形領域と共役な感光性基板上の領域が、投影光学系の感光性基板側の視野と一致する場合には、投影光学系のレンズは回転対称で最大径のほぼ円形の照明領域により照明されるため、投影光学系のレンズへの照射エネルギーの分布の回転対称性が向上する利点がある。

20

【0081】

また、本発明の第3の投影露光装置によれば、感光性基板に対して感光性の照明光は、光制限部材によりマスク上の回転非対称な領域に対応する領域だけを通して感光性基板上に照射される。従って、マスク上の回転非対称な領域のパターンの像だけが、感光性基板上に転写される。また、照明光によりマスク上のほぼ回転対称な領域を照明できるため、本発明の第1及び第2の投影露光装置と同様に、投影光学系のレンズへの照射エネルギー分布の回転対称性が増加する。本発明では、特に1つの照明光だけでマスクを照明するため、投影光学系のレンズ全体に一樣な波長の光エネルギーが照射される。従って、投影光学系のレンズにおける熱エネルギーの吸収量もレンズ全体で一樣になり、レンズの熱変形が更に減少し、投影光学系の収差変動も更に抑えられる利点がある。また、1つの照明光だけを使用するため、光源や照明光学系等の設備を節約できる利点もある。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は本発明による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、(b)は図1(a)のレチクル上での照明領域を示す図、(c)は図1(a)のウエハ上での照明領域を示す図である。

【図2】(a)は本発明の実施の形態の第2の例を示す概略構成図、(b)は図2(a)の視野絞りを示す平面図、(c)は図2(b)の視野絞りの変形例を示す平面図である。

【図3】(a)は図1の実施の形態による収差改善効果を示すための第1の計算例において、比較計算に使用されるレンズ上の照明領域を示す平面図、(b)はそのレンズ上の上昇後の温度分布の計算結果を示す図である。

40

【図4】(a)はその第1の計算例において使用されるレンズ上の照明領域を示す平面図、(b)はそのレンズ上の上昇後の温度分布の計算結果を示す図である。

【図5】(a)は図1の実施の形態の収差改善効果を示すための第2の計算例において、比較計算に使用されるレンズ上の照明領域を示す平面図、(b)はそのレンズ上の上昇後の温度分布の計算結果を示す図である。

【図6】(a)はその第2の計算例において使用されるレンズ上の照明領域を示す平面図、(b)はそのレンズ上の上昇後の温度分布の計算結果を示す図である。

【図7】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8】(a)は本発明の実施の形態の第3の例を示す概略構成図、(b)は図8(a)

50

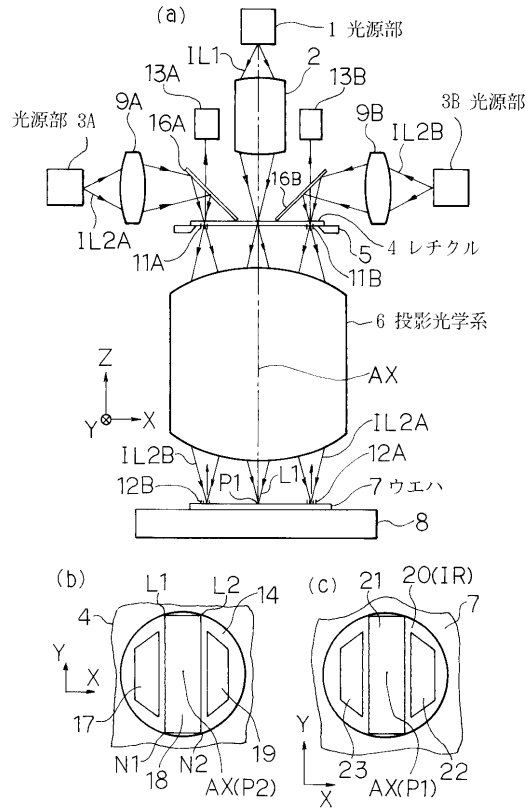
の遮光板を示す平面図である。

【図 9】(a) は図 8 の実施の形態の例において遮光板とウエハとの間に間隔がある場合の遮光板による照明光のケラレの状況を示す図、(b) はその場合にレチクル又はレチクルと共役位置に配置する部材の例を示す図である。

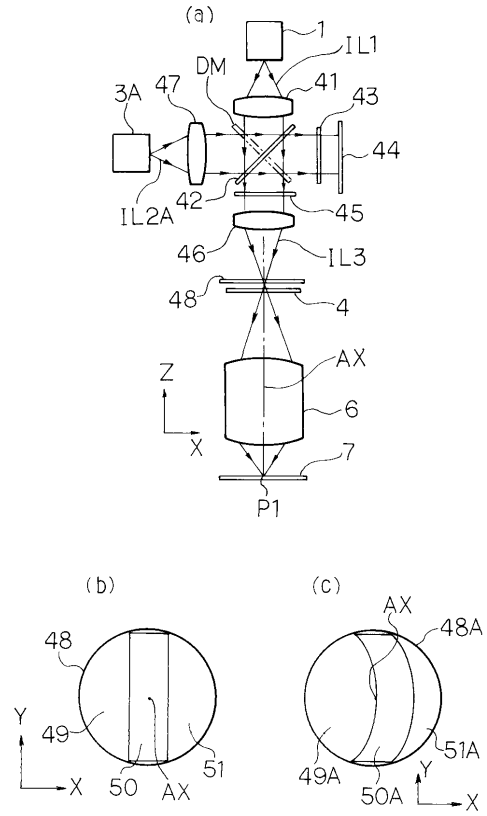
【符号の説明】

- 1 光源部 (露光用)
- 2 照明光学系
- 3 A , 3 B 光源部 (非露光用)
- I L 1 照明光 (露光用)
- I L 2 A , I L 2 B 照明光 (非露光用) 10
- 4 レチクル
- 6 投影光学系
- 7 ウエハ
- 8 ウエハステージ
- 1 1 A , 1 1 B レチクルマーク
- 1 2 A , 1 2 B ウエハマーク
- 1 3 A , 1 3 B アライメントセンサ
- 1 7 , 1 7 A , 1 9 , 1 9 A レチクル上の照明領域 (非露光領域)
- 1 8 レチクル上の照明領域 (露光領域)
- 2 0 ウエハ上の有効露光領域 20
- 2 1 ウエハ上の露光領域
- 2 2 , 2 3 ウエハ上の照明領域 (非露光領域)
- 4 2 偏光ビームスプリッタ
- 4 3 , 4 5 1 / 4 波長板
- 4 8 , 4 8 A 視野絞り
- 4 9 , 5 0 , 5 1 , 4 9 A , 5 0 A , 5 1 A 光学フィルター
- 7 1 遮光板
- 7 3 透過領域

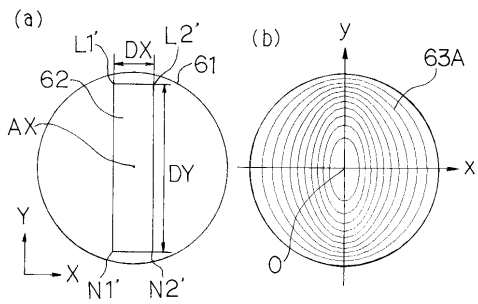
【図 1】



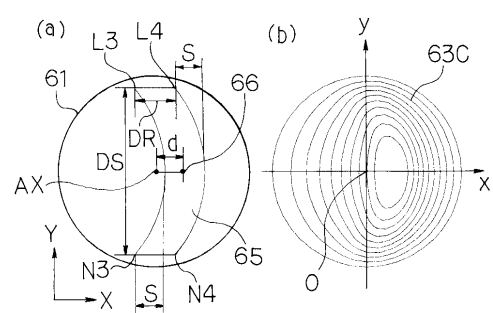
【図 2】



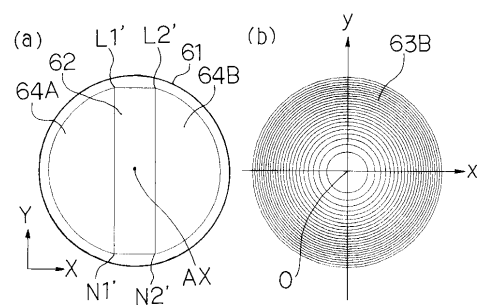
【図 3】



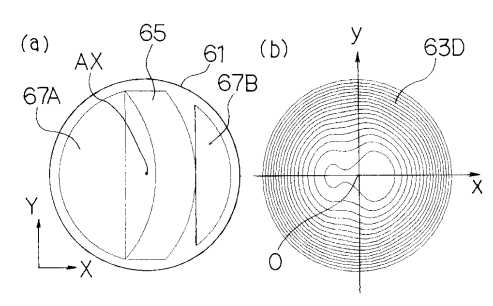
【図 5】



【図 4】



【図 6】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平05 - 347239 (JP, A)
特開平06 - 300954 (JP, A)
特開平07 - 335516 (JP, A)
特開平08 - 008178 (JP, A)
特開平08 - 045827 (JP, A)
特開昭59 - 099722 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027