

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5055141号
(P5055141)

(45) 発行日 平成24年10月24日(2012.10.24)

(24) 登録日 平成24年8月3日(2012.8.3)

(51) Int. Cl. F I
 H O 1 L 21/027 (2006.01) H O 1 L 21/30 5 1 6 A
 G O 3 F 7/20 (2006.01) G O 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 10 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2008-3641 (P2008-3641)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成20年1月10日 (2008.1.10)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2009-170466 (P2009-170466A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成21年7月30日 (2009.7.30)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	平成22年12月16日 (2010.12.16)		弁理士 大塚 康德
		(74) 代理人	100112508
			弁理士 高柳 司郎
		(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175
			弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 評価方法、調整方法、露光装置、およびプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

投影光学系の結像性能を評価する評価方法であって、前記投影光学系に入射する光の偏光状態と前記投影光学系から射出される光の偏光状態との関係を示す前記投影光学系の偏光状態変換特性を特定する特定ステップと、
 前記特定ステップで特定された前記投影光学系の偏光状態変換特性に相関を有するパラメータの値を計算する第1計算ステップと、
 前記パラメータの値を単位量だけ変化させたときの前記投影光学系の結像性能を示す指標値の変化量と、前記第1計算ステップで計算されたパラメータの値とに基づいて、前記特定ステップで特定された偏光状態変換特性を有する状態における前記投影光学系の結像性能を示す指標値を計算する第2計算ステップと、
 を含むことを特徴とする評価方法。

【請求項2】

前記パラメータの値が第1の値であるときにおける前記投影光学系の結像性能を示す第1の指標値と前記パラメータの値が前記第1の値に対して単位量だけ異なる第2の値であるときにおける前記投影光学系の結像性能を示す第2の指標値との差分を前記指標値の変化量として決定する決定ステップと、
 前記決定ステップで決定された前記指標値の変化量をメモリに登録する登録ステップとを更に含み、
 前記第2計算ステップにおいて、前記メモリに登録された前記指標値の変化量が参照され

る、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の評価方法。

【請求項 3】

前記決定ステップでは、前記第 1 の値として、前記投影光学系が無収差である場合における前記パラメータの値を使用して前記第 1 の指標値を計算する、ことを特徴とする請求項 2 に記載の評価方法。

【請求項 4】

前記決定ステップでは、前記第 1 の値として、計測に基づいて得られた値を使用して前記第 1 の指標値を計算する、ことを特徴とする請求項 2 に記載の評価方法。

【請求項 5】

前記投影光学系の偏光状態変換特性は、ジョーンズ・マトリクスで表現され、前記パラメータの値は、前記ジョーンズ・マトリクスから得られる、ことを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の評価方法。

【請求項 6】

前記投影光学系の偏光状態変換特性は、ジョーンズ・マトリクスで表現され、前記パラメータの値は、前記ジョーンズ・マトリクスをパウリ展開して得られる固有値に基づいて得られる、ことを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の評価方法。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 に記載の評価方法を用いて投影光学系の結像性能を示す指標値を計算する計算ステップと、

前記計算ステップで計算された指標値に基づいて前記投影光学系の結像性能を調整する調整ステップと、

を含むことを特徴とする調整方法。

【請求項 8】

原版を照明する照明光学系と、

前記照明光学系によって照明された前記原版のパターンを基板に投影する投影光学系と、前記投影光学系の結像性能を調整する制御部とを備え、

前記制御部は、

前記投影光学系に入射する光の偏光状態と前記投影光学系から射出される光の偏光状態との関係を示す前記投影光学系の偏光状態変換特性を特定する特定ステップと、

前記特定ステップで特定された前記投影光学系の偏光状態変換特性に相関を有するパラメータの値を計算する第 1 計算ステップと、

前記パラメータの値を単位量だけ変化させたときの前記投影光学系の結像性能を示す指標値の変化量と、前記第 1 計算ステップで計算されたパラメータの値とに基づいて、前記特定ステップで特定された偏光状態変換特性を有する状態における前記投影光学系の結像性能を示す指標値を計算する第 2 計算ステップと、

前記第 2 計算ステップで計算された指標値に基づいて前記投影光学系の結像性能を調整する調整ステップと、

を含む処理を実行する、

ことを特徴とする露光装置。

【請求項 9】

投影光学系の結像性能を評価するための処理をコンピュータに実行させるプログラムであって、前記コンピュータに、

前記投影光学系に入射する光の偏光状態と前記投影光学系から射出される光の偏光状態との関係を示す前記投影光学系の偏光状態変換特性を特定する特定ステップと、

前記特定ステップで特定された前記投影光学系の偏光状態変換特性に相関を有するパラメータの値を計算する第 1 計算ステップと、

前記パラメータの値を単位量だけ変化させたときの前記投影光学系の結像性能を示す指標値の変化量と、前記第 1 計算ステップで計算されたパラメータの値とに基づいて、前記特定ステップで特定された偏光状態変換特性を有する状態における前記投影光学系の結像性

10

20

30

40

50

能を示す指標値を計算する第2計算ステップと、
を実行させることを特徴とするプログラム。

【請求項10】

前記第2計算ステップで計算された指標値に基づいて前記投影光学系の結像性能を調整する調整ステップを前記コンピュータに更に実行させることを特徴とする請求項9に記載のプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、投影光学系の結像性能の評価方法および調整方法、そのような機能を備える露光装置、ならびに、それらのためのプログラムに関する。 10

【背景技術】

【0002】

半導体デバイス等のデバイスを製造するためのリソグラフィ工程において、原版のパターンを基板に投影して該基板を露光する露光装置が使用される。近年、デバイスパターンの一層の微細化に伴って、露光装置の解像力の向上に対する要求が高まっている。

【0003】

露光装置の解像力を向上させるために、投影光学系の高NA化が進んでいる。近年では、NAが0.90以上の露光装置や、投影光学系の最終面と基板との間を屈折率が1.0以上の媒質で満たして実効NAを1.0以上にする液浸露光技術が実用化されている。 20

【0004】

高NA化が進むことにより、投影光学系への入射光の偏光状態が解像力に大きな影響を及ぼすようになってくる。そのため、より高い解像力を得るために入射光の偏光状態（偏光状態とは、非偏光を含む広い概念）を制御する技術が提案されている。

【0005】

しかし、現実的には、偏光状態を変化させる光学素子（投影光学系の光学素子、照明光学系の光学素子、反射防止膜、反射膜、レチクル、ペリクル、レジストを含む）が光路中に存在する。そのため、目標とする偏光状態で基板上に像が形成されない可能性がある。

【0006】

光学素子が偏光状態を変化させる例として、結晶硝材が固有に持つ真性複屈折、光学系材料やレチクル基板が製造時にもつ残留応力や保持の際に起こる応力複屈折、ペリクルやレジスト、反射防止膜、反射膜が持つ反射・透過特性の偏光差などがある。 30

【0007】

一般的には、投影光学系の物体面に入射する光の偏光状態は、ジョーンズ・ベクトルやストークス・パラメータで表現される。また、入射した偏光状態が投影光学系を介してどのように射出されるかを示す偏光状態変換特性は、ジョーンズ・マトリクスやミューラー・マトリクスで表現される。

【0008】

偏光状態や偏光状態変換特性が結像性能に与える影響を評価する手法が特許文献1、2に開示されている。 40

【特許文献1】特開2006-237109号公報

【特許文献2】特開2006-173305号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

従来、投影光学系の結像性能を評価してその評価結果に基づいて投影光学系の結像性能を調整するためには、計測や光学像シミュレーションを何度も繰り返して実行する必要があり、非常に効率が悪かった。

【0010】

本発明は、このような背景に鑑みてなされたものであり、例えば、投影光学系の結像性 50

能の評価またはその評価結果に基づく投影光学系の調整を効率化することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の第1の側面は、投影光学系の結像性能を評価する評価方法に係り、前記評価方法は、前記投影光学系に入射する光の偏光状態と前記投影光学系から射出される光の偏光状態との関係を示す前記投影光学系の偏光状態変換特性を特定する特定ステップと、前記特定ステップで特定された前記投影光学系の偏光状態変換特性に相関を有するパラメータの値を計算する第1計算ステップと、前記パラメータの値を単位量だけ変化させたときの前記投影光学系の結像性能を示す指標値の変化量と、前記第1計算ステップで計算されたパラメータ値とに基づいて、前記特定ステップで特定された偏光状態変換特性を有する状態における前記投影光学系の結像性能を示す指標値を計算する第2計算ステップとを含む。

10

【0012】

本発明の第2の側面は、投影光学系の結像性能を調整する調整方法に係り、前記調整方法は、第1の側面に係る評価方法を用いて投影光学系の結像性能を示す指標値を計算する計算ステップと、前記計算ステップで計算された指標値に基づいて前記投影光学系の結像性能を調整する調整ステップとを含む。

【0013】

本発明の第3の側面は、露光装置に係り、前記露光装置は、原版を照明する照明光学系と、前記照明光学系によって照明された前記原版のパターンを基板に投影する投影光学系と、前記投影光学系の結像性能を調整する制御部とを備え、前記制御部は、前記投影光学系に入射する光の偏光状態と前記投影光学系から射出される光の偏光状態との関係を示す前記投影光学系の偏光状態変換特性を特定する特定ステップと、前記特定ステップで特定された前記投影光学系の偏光状態変換特性に相関を有するパラメータの値を計算する第1計算ステップと、前記パラメータの値を単位量だけ変化させたときの前記投影光学系の結像性能を示す指標値の変化量と、前記第1計算ステップで計算されたパラメータの値とに基づいて、前記特定ステップで特定された偏光状態変換特性を有する状態における前記投影光学系の結像性能を示す指標値を計算する第2計算ステップと、前記第2計算ステップで計算された指標値に基づいて前記投影光学系の結像性能を調整する調整ステップとを含む処理を実行する。

20

30

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、例えば、投影光学系の結像性能の評価またはその評価結果に基づく投影光学系の調整を効率化することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態を説明する。

【0016】

露光装置は、投影光学系によって原版のパターンを感光剤が塗布された基板に投影して該感光剤に潜像を形成する。投影光学系に入射する光の偏光状態と該投影光学系から射出される光の偏光状態との関係を示す該投影光学系の偏光状態変換特性は、例えば、ジョーンズ・マトリクスJを用いて表現されうる。ジョーンズ・マトリクスJは、2行2列の複素数行列であり、(1)式のように表現される。

40

【0017】

【数 1】

$$J = \begin{pmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{pmatrix}$$

10

・・・(1)

【0018】

ここで、ジョーンズ・マトリクスJの要素 J_{11} 、 J_{12} 、 J_{21} 、 J_{22} は、複素数である。ジョーンズ・マトリクスJのパウリ展開は、(2)式で表現される。

【0019】

【数 2】

$$J = a_0 \sigma_0 + a_1 \sigma_1 + a_2 \sigma_2 + a_3 \sigma_3$$

$$= \begin{pmatrix} a_0 + a_1 & a_2 - ia_3 \\ a_2 + ia_3 & a_0 - a_1 \end{pmatrix}$$

20

・・・(2)

【0020】

ここで、 i 虚数を示し、 a_0 、 a_1 、 a_2 、 a_3 は、(3)式で示すように、パウリの

30

スピントリクスである。

【0021】

【数 3】

$$\sigma_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

10

$$\sigma_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

20

$$\sigma_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_0 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$$

30

・・・(3)

【0022】

40

また、パウリの固有値 a_0, a_1, a_2, a_3 は、複素数であり、ジョーンズ・マトリクス J の要素を用いて (4) 式のように表現される。

【0023】

【数 4】

$$a_0 = (J_{11} + J_{22}) / 2$$

$$a_1 = (J_{11} - J_{22}) / 2$$

$$a_2 = (J_{21} + J_{12}) / 2$$

$$a_3 = (J_{21} - J_{12}) / 2i$$

10

20

・・・(4)

【0024】

ここまでは、一般的に用いられているパウリ展開の手法である。ここで、完全無偏光状態の光の位相は、波面収差で表される。そこで、ジョーンズ・マトリクス J を規格化することにより完全無偏光状態の位相を除去して偏光依存成分だけの式とした方が考えやすい。規格化されたジョーンズ・マトリクス J' は、実数成分 a_{0r} と虚数成分 a_{0i} を用いて(5)式で表現される。

【0025】

【数 5】

30

$$\phi_0 = \arctan(a_{0i} / a_{0r})$$

$$J' = \exp(-i\phi_0)J$$

40

・・・(5)

【0026】

ジョーンズ・マトリクス J' を(4)式に代入して得られたパウリの固有値 a'_0, a'_1, a'_2, a'_3 の a'_0 成分 a'_{0i} は、(6)式のように0になる。

【0027】

【数 6】

$$a'_{0i} = 0$$

・・・(6)

【0028】

露光装置の投影光学系においては、偏光間位相差、偏光間透過率差が小さく抑えられているため、(7)式のような近似が可能である。 10

【0029】

【数 7】

$$a'_{0r} \pm a'_{1r} \approx a'_{0r}$$

$$a'_{0r} \pm a'_{2r} \approx a'_{0r}$$

$$a'_{0r} \pm a'_{3r} \approx a'_{0r}$$

20

・・・(7)

【0030】

ここで、X偏光で投影光学系に入射した光がX偏光として投影光学系から射出する成分の位相 ϕ_{10} と、Y偏光で投影光学系に入射した光がY偏光として投影光学系から射出する成分の位相 ϕ_{01} は、(8)式で示される。

【0031】

【数 8】

$$\phi_{10} = \arctan[(a_{0i} + a_{1i}) / (a_{0r} + a_{1r})]$$

$$\phi_{01} = \arctan[(a_{0i} - a_{1i}) / (a_{0r} - a_{1r})]$$

40

・・・(8)

【0032】

(6)式、(7)式、(8)式より、(9)式が得られる。

【数 9】

$$\phi_{10} \approx \phi_1 = \arctan(a_{li} / a_{or}) \approx -\phi_{01}$$

・・・(9)

【0033】

ϕ_{10} と ϕ_{01} とは、符号が反対で、ひとつの位相パラメータ ϕ_1 で記述することができる。 ϕ_1 のほか、45°偏光と135°偏光のパラメータ ϕ_2 、右回り円偏光と左回り円偏光のパラメータ ϕ_3 は、(10)式のように記述することができる。

【0034】

【数10】

$$\phi_1 = \arctan(a_{li} / a_{or})$$

$$\phi_2 = \arctan(a_{2i} / a_{or})$$

$$\phi_3 = \arctan(a_{3i} / a_{or})$$

・・・(10)

【0035】

ここで、 ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 に $1000 / (2\pi)$ をかけて m 単位にする等、単位系を変更してもよい。

【0036】

この実施形態では、以上のようにして求められた ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 をツェルニケ級数で展開する。投影光学系のジョーンズ・マトリクス J は、瞳関数として表される。瞳座標を極座標系 (r , θ) で表すと、ジョーンズ・マトリクスは $J' [r] [\theta]$ で表され、同様に ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 も瞳座標を用いて $\phi_1 [r] [\theta]$ 、 $\phi_2 [r] [\theta]$ 、 $\phi_3 [r] [\theta]$ で表される。

【0037】

これをツェルニケ展開すると(11)式で表される。

【0038】

10

20

30

40

【数 1 1】

$$\phi_1[r][\theta] = \sum_i C_{1i} Z_i[r][\theta]$$

$$\phi_2[r][\theta] = \sum_i C_{2i} Z_i[r][\theta]$$

10

$$\phi_3[r][\theta] = \sum_i C_{3i} Z_i[r][\theta]$$

20

・・・(11)

【0039】

ここで、 C_{1i} 、 C_{2i} 、 C_{3i} は、ツエルニケ多項式における各項の係数であり、 $Z_i[r][\theta]$ はツエルニケ多項式である。(12)式は、ツエルニケ多項式の第1項～第9項までの例である。

【0040】

【数 1 2】

$$Z_1[r][\theta] = 1$$

$$Z_2[r][\theta] = r \cos \theta$$

10

$$Z_3[r][\theta] = r \sin \theta$$

$$Z_4[r][\theta] = 2r^2 - 1$$

20

$$Z_5[r][\theta] = r^2 \cos 2\theta$$

$$Z_6[r][\theta] = r^2 \sin 2\theta$$

$$Z_7[r][\theta] = (3r^3 - 2r) \cos \theta$$

30

$$Z_8[r][\theta] = (3r^3 - 2r) \sin \theta$$

$$Z_9[r][\theta] = 6r^4 - 6r^2 + 1$$

40

・・・(12)

【0041】

以上、ジョーンズ・マトリクスJの展開方法と、展開されたパラメータを直交関数で表す表現を述べてきた。以後、簡略化のために(11)式で求められた係数 C_{1i} 、 C_{2i} 、 C_{3i} をパウリ・ツェルニケ係数と呼ぶことにする。

【0042】

次に、結像性能の予測方法について紹介する。投影光学系のジョーンズ・マトリクスJのデータから、フォーカス、ディストーション、左右線幅差などの結像性能を求めるため

50

に、結像性能変化係数 S_{1i} 、 S_{2i} 、 S_{3i} をシミュレーション等であらかじめ算出しておく。結像性能変化係数 S_{1i} 、 S_{2i} 、 S_{3i} は、パウリ・ツェルニケ係数 C_{1i} 、 C_{2i} 、 C_{3i} がそれぞれ単位量変化したときの投影光学系の結像性能の変化を示す。

【0043】

以下に一例として左右線幅差を算出する方法を例示するが、フォーカス、ディストーション等の結像性能に関しても同様の方法で算出することができる。

【0044】

まず、(5)式のように規格化されたジョーンズ・マトリクス J' を基準として用意する。次に、ジョーンズ・マトリクス J' に対して結像性能変化係数を求めるべきパウリ・ツェルニケ項を単位量変化させたジョーンズ・マトリクスを J'' を作成する。

10

【0045】

そして、光学像シミュレータを用いて投影光学系が J' の状態で計算された左右線幅差 $LRCD_1$ と、 J'' の状態で計算された左右線幅差 $LRCD_2$ とを求める。求めるべきパウリ・ツェルニケ項 h 、 i に対する左右線幅差の結像性能変化係数 S_{hi} は、(13)式で表現される。

【0046】

【数13】

$$S_{hi} = LRCD_2 - LRCD_1$$

20

・・・(13)

【0047】

ここで、添字 h は偏光成分番号、 i はツェルニケ項番号である。同様に、求めるべきパウリ・ツェルニケ項の全てについて結像性能変化係数 S_{hi} を求め、これをテーブル化して結像性能変化表を生成する。投影光学系による偏光状態変換が左右線幅差に与える影響 $LRCD$ は、結像性能変化表に記された S_{hi} と、投影光学系による偏光状態変換から求められたパウリ・ツェルニケ係数 C_{hi} とを用いて、(14)式にしたがって求めることができる。

30

【0048】

【数14】

$$LRCD = \sum_h \sum_i S_{hi} C_{hi}$$

40

・・・(14)

【0049】

以上の評価方法による評価精度について説明する。評価には、光学像シミュレーションが用いられる。図2A~2Cは、評価条件および評価結果の一例を示している。図2Aは有効光源の一例、図2Bは投影光学系の像面に形成されるパターンの一例、図2Cは評価結果である。なお、有効光源は、原版(レチクル)を照明する照明光学系の瞳において所定値以上の光強度を有する部分をいう。

【0050】

50

この評価では、図 2 A に示すように、4 つの光強度の極 2 1 1 を持つ 4 重極照明が使用された。偏光状態は、矢印 2 1 2 に示すように、各極の中心で瞳の中心に対して接線方向の偏光方向を持つタンジェンシャル偏光である。更に具体的には、この照明は、0°、90°、180°、270° 方向に極を持つ輪帯から切り出した 4 重極で、外 は 0.95、内 は 0.75、切り出し角は 30° である。

【 0 0 5 1 】

投影光学系の像面に形成されるパターンは、図 2 B に例示するように、13 本の繰り返し線で、線幅 2 2 1、2 2 2 の平均値は 65 nm であり、繰り返しの 1 周期 2 2 3 は 130 nm である。着目した結像性能は、線幅 2 2 1 と線幅 2 2 2 との差分である左右線幅差である。

10

【 0 0 5 2 】

評価結果を示す図 2 C において、横軸は投影光学系の瞳内の複屈折量の 2 乗平均平方根であり、縦軸は誤差である。誤差は、ジョーンズ・マトリクスから直接に左右線幅差を求めた値を $LRC Dj m$ 、(1) ~ (14) 式によって導き出された左右線幅差の値を $LRC D p z$ とし、(15) 式で表現される。

【 0 0 5 3 】

$$\text{誤差} = | (LRC D p z - LRFCD j m) / LRC Dj m | * 100 [\%]$$

・・・ (15)

【 0 0 5 4 】

図 2 C 中の点は、様々な複屈折における誤差をプロットしたもので、グラフ中の直線は、各点を統計処理し、誤差の平均 + 2 の値を直線で結んだものである。

20

【 0 0 5 5 】

露光装置の一般的な複屈折量の 2 乗平均平方根は、およそ 30 m 程度であり、このときの誤差の平均 + 2 は 5% 以下であることから、(1) ~ (14) 式によって導き出されたものと実際の結像性能とが高い精度で一致することが分かる。

【 0 0 5 6 】

ここまで、投影光学系の偏光依存成分の収差予測方法を述べてきた。投影光学系の波面収差に関しても、これを偏光の一成分として考え、計測された波面収差のツェルニケ係数 C_{hi} と波面収差による結像性能変化係数 S_{hi} とを用いることにより、(14) 式と同様の式で評価することができる。

30

【 0 0 5 7 】

更に、(14) 式で表される $LRC D$ が所望の値になるように波面収差を収差補正機構で調整することができる。収差補正機構に関しては、特開 2004 - 347821 号において詳細が示されている。

【 0 0 5 8 】

基準となるジョーンズ・マトリクス J' としては、投影光学系による現実の偏光状態変換を示すものを使うことが望ましい。しかしながら、手間を省くために、投影光学径が無収差である場合のジョーンズ・マトリクス J' や設計データを使っても十分に高い精度で結像状態変化係数を決定することができる。

【 0 0 5 9 】

光学像シミュレーションで結像性能変化係数を求める際は、有効光源の偏光状態を指定する必要がある。その際、照明光の偏光状態を計測し、指定することが望ましいが、照明光の偏光状態が許容の範囲内であれば、手間を省くために設計値や、理想的な偏光状態を使っても十分に高い精度で結像状態変化係数を決定することができる。

40

【 0 0 6 0 】

(10) 式、(11) 式で示す結像性能変化係数は、線形近似の例であるが、3 次関数等、その他の関数を用いた敏感度表でもよい。

【 0 0 6 1 】

ここでは、好ましい評価の実施形態としてジョーンズ・マトリクス、パウリ展開、ツェルニケ多項式を用いた。しかし、偏光状態変換を偏光成分ごとに分解し、分解された偏光

50

状態変換を直交する関数系を用いて表現することで結像性能を評価する評価方法であれば、パウリ展開やツェルニケ多項式を用いなくてもよい。

【 0 0 6 2 】

図 3 は、本発明の好適な実施形態の露光システムの概略構成を示す図である。図 4 は、図 3 に示す露光システムにおける情報の流れを模式的に示す図である。露光システムは、露光装置 E X と外部情報機器 3 1 1 とを備えて構成される。

【 0 0 6 3 】

露光装置 E X は、光源 3 0 1 と、照明光学系 3 0 2 と、投影光学系 3 0 6 と、投影光学系 3 0 6 の物体面 3 0 4 に原版（レチクル）を配置する原版ステージ機構（不図示）と、投影光学系 3 0 6 の像面に基板を配置する基板ステージ機構（不図示）とを備えうる。光源 3 0 1 としては、例えば、A r F、K r F、F₂ 等のエキシマレーザ、または、E U V 光源、または、i 線ランプや g 線ランプ等のランプが使用される。光源 3 0 1 から射出された光を使って、照明光学系 3 0 2 において、目標とする有効光源（瞳面における光強度分布）が生成されるとともに偏光素子 3 0 3 によって偏光状態が制御される。そして、照明光学系 3 0 2 から射出された光によって投影光学系 3 0 6 の物体面 3 0 4 に配置された原版が照明される。

【 0 0 6 4 】

物体面 3 0 4 に配置された原版のパターンは、投影光学系 3 0 6 によりその像面 3 0 9 に配置された基板に投影される。これにより、基板に塗布されら感光剤が露光される。

【 0 0 6 5 】

露光装置は、原版が配置されるべき物体面 3 0 4 を照明する照明光の偏光状態を計測する計測器 3 0 5 を備えうる。計測器 3 0 5 は、計測結果として、照明光学系によって形成される照明光の偏光状態を示す情報 4 0 3 を情報機器 3 0 7 に送る。

【 0 0 6 6 】

露光装置は、基板が配置されるべき像面 3 0 9 に入射する光の偏光状態、および、投影光学系 3 0 6 の波面収差を計測する計測器 3 1 0 を備えうる。像面 3 0 9 に入射する光の偏光状態は、投影光学系 3 0 6 から射出される光の偏光状態であるものとして考えることができる。計測器 3 1 0 は、計測結果として、投影光学系 3 0 6 の波面収差を示す情報 4 0 4、および、投影光学系 3 0 6 の偏光状態変換特性を示す情報 4 0 5 を情報機器（制御部又はコンピュータとしても把握される）3 0 7 に送る。

【 0 0 6 7 】

情報機器 3 0 7 は、計測器 3 0 5 から送られている情報 4 0 4 に基づいて、照明光学系 3 0 2 が投影光学系 3 0 6 の物体面を照明する照明光の偏光状態 4 2 1 を特定する。また、情報機器 3 0 7 は、計測器 3 1 0 から送られている情報 4 0 5 に基づいて投影光学系 3 0 6 の偏光状態変換特性 4 2 3 を特定する。偏光状態変換特性 4 2 3 は、前述のようにジョーンズ・マトリクス J で表現されることが好ましいが、例えば、ミユラー・マトリクスで表現されてもよい。また、情報機器 3 0 7 は、計測器 3 1 0 から送られている情報 4 0 4 に基づいて投影光学系 3 0 6 の波面収差 4 2 2 を特定する。

【 0 0 6 8 】

情報機器 3 0 7 は、特定した偏光状態変換特性に相関を有するパラメータ値（例えば、前述のパウリ・ツェルニケ係数 C_{1i} 、 C_{2i} 、 C_{3i} の値である。）と、外部情報機器（コンピュータ）3 1 1 から提供される結像性能変化表 4 0 6 とに基づいて、該特定した偏光状態変換特性を有する状態における投影光学系 3 0 6 の結像性能を示す指標値（例えば、前述の L R C D である。）を計算する。

【 0 0 6 9 】

結像性能変化表 4 0 6 は、投影光学系 3 0 6 の偏光状態変換特性に相関を有するパラメータ値（例えば、前述のパウリ・ツェルニケ係数 C_{1i} 、 C_{2i} 、 C_{3i} の値である。）を単位量だけ変化させたときの投影光学系 3 0 6 の結像性能を示す指標値の変化量（例えば、前述の $S_{hi} = L R C D_2 - L R C D_1$ である。）を表として記述したものである。

【 0 0 7 0 】

10

20

30

40

50

情報機器 307 は、投影光学系 306 の結像状態を示す指標値（例えば、前述の L R C D）に基づいて収差補正量 407 を決定し、この収差補正量 407 に従って投影光学系 306 の収差補正機構を動作させることによって投影光学系 306 の結像性能を制御する。

【0071】

外部情報機器 311 は、投影光学系 306 の偏光状態変換特性に相関を有するパラメータの値が第 1 の値である場合（例えば、前述の J'）の投影光学系 306 の結像性能を示す第 1 の指標値（例えば、前述の L R C D₁）を光学像シミュレーションにより計算する。外部情報機器 311 はまた、前記パラメータの値が前記第 1 の値に対して単位量だけ異なる第 2 の値である場合（例えば、前述の J''）の投影光学系 306 の結像性能を示す第 2 の指標値（例えば、前述の L R C D₂）を光学像シミュレーションにより計算する。そして、外部情報機器 311 は、第 1 の指標値と第 2 の指標値との差分を計算し、この差分を指標値の変化量（ S_{hi} ）として決定する。外部情報機器 311 は、決定した指標値の変化量（ S_{hi} ）を結像性能変化表 406 としてテーブル化してメモリ 364 に登録する。この結像性能変化表 406 は、外部情報機器 311 から情報機器 307 に提供される。

10

【0072】

図 1 A は、図 3 に示す露光システムにおける結像状態変化表の生成および登録に関する処理の流れを示す図である。図 1 A に示す処理は、外部情報機器 311 の演算部 360 によって制御されうる。演算部 360 は、メモリ 364 にロードされるコンピュータプログラムに基づいて CPU 362 が動作することによって図 1 A に示す処理を実行しうる。

【0073】

ステップ S12 において、外部情報機器 311 は、情報機器 307 から、照明光学系 302 が投影光学系 306 の物体面を照明する照明光の偏光状態 421 を取得する。ステップ S14 において、外部情報機器 311 は、情報機器 307 から、投影光学系 306 の偏光状態変換特性 423 を取得する。

20

【0074】

ステップ S16 において、外部情報機器 311 は、偏光状態 421 および偏光状態変換特性 423 に基づいて光学像シミュレーションを実行する。より具体的には、外部情報機器 311 は、投影光学系 306 の偏光状態変換特性に相関を有するパラメータの値が第 1 の値である場合（例えば、前述の J' で表現される場合）に投影光学系 306 の像面に形成される光学像をシミュレーションする。また、外部情報機器 311 は、該パラメータの値が前記第 1 の値に対して単位量だけ異なる第 2 の値である場合（例えば、前述の J'' で表現される場合）に投影光学系 306 の像面に形成される光学像をシミュレーションする。

30

【0075】

ステップ S18（決定ステップ）において、外部情報機器 311 は、ステップ S16 における光学像シミュレーションの結果に基づいて、第 1 の指標値（例えば、前述の L R C D₁ である。）と第 2 の指標値（例えば、前述の L R C D₂ である。）の差分を計算し、この差分を指標値の変化量（例えば、前述の S_{hi} である。）として決定する。そして、外部情報機器 311 は、指標値の変化量（例えば、前述の S_{hi} である。）をテーブル化した結像状態変化表 406 を生成する。

40

【0076】

ステップ S20 において、外部情報機器 311 は、ステップ S18 において生成された結像状態変化表 406（指標値の変化量）をメモリ 364 に登録する。

【0077】

結像性能変化表 406 が生成された後は、照明光の偏光状態が許容範囲に収まっている間は、その結像性能変化表 406 を更新する必要がない。外部情報機器 311 から結像性能変化表 406 が露光装置 EX の情報機器 307 に提供された後は、外部情報機器 310 を露光装置 EX から切り離すことができる。

【0078】

図 1 B は、図 3 に示す露光システムにおける結像性能の計算および収差調整に関する処

50

理の流れを示す図である。図 1 B に示す処理は、情報機器 3 0 7 の演算部 3 5 0 によって制御されうる。演算部 3 5 0 は、メモリ 3 5 4 にロードされるコンピュータプログラムに基づいて CPU 3 5 2 が動作することによって図 1 B に示す処理を実行しうる。

【 0 0 7 9 】

メモリ 3 6 4 にロードされるコンピュータプログラムおよびメモリ 3 5 4 にロードされるコンピュータプログラムは、1つのコンピュータプログラムとして又は別個のコンピュータプログラムとして提供されうる。また、図 1 A に示す処理および図 1 B に示す処理は、1つの情報機器によって制御されてもよいし、複数の情報機器によって制御されてもよい。

【 0 0 8 0 】

ステップ S 3 2 (特定ステップ)において、情報機器 3 0 7 は、計測器 3 1 0 から送られている情報 4 0 5 に基づいて投影光学系 3 0 6 の偏光状態変換特性 4 2 3 を特定する。

【 0 0 8 1 】

ステップ S 3 4 (第 1 計算ステップ)において、情報機器 3 0 7 は、ステップ S 3 2 で特定された偏光状態変換特性 4 2 3 に相関を有するパラメータの値を計算する。

【 0 0 8 2 】

ステップ S 3 6 (第 2 計算ステップ)において、情報機器 3 0 7 は、ステップ S 3 4 で計算されたパラメータの値と結像性能変化表 4 0 6 とに基づいて、該特定された偏光状態変換特性を有する状態における投影光学系 3 0 6 の結像状態を示す指標値を計算する。

【 0 0 8 3 】

ステップ S 3 8 (調整ステップ)において、情報機器 3 0 7 は、投影光学系 3 0 6 の結像状態を示す指標値に基づいて収差補正量 4 0 7 を決定し、この収差補正量 4 0 7 に従って投影光学系 3 0 6 の収差補正機構を動作させる。これによって投影光学系 3 0 6 の結像性能が制御される。

【 0 0 8 4 】

ここで、計測誤差や計算誤差などの影響により、目標とする結像性能を得られない場合もありうる。そのような場合のために、オフセットデータ 4 0 8 を考慮する機能を有すると、投影光学系 3 0 6 の更なる微調整が可能になる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 8 5 】

【 図 1 A 】 図 3 に示す露光システムにおける結像状態変化表の生成および登録に関する処理の流れを示す図である。

【 図 1 B 】 図 3 に示す露光システムにおける結像性能の計算および収差調整に関する処理の流れを示す図である。

【 図 2 A 】 評価条件を例示的に示す図である。

【 図 2 B 】 評価条件を例示的に示す図である。

【 図 2 C 】 評価結果を例示的に示す図である。

【 図 3 】 本発明の好適な実施形態の露光システムの概略構成を示す図である。

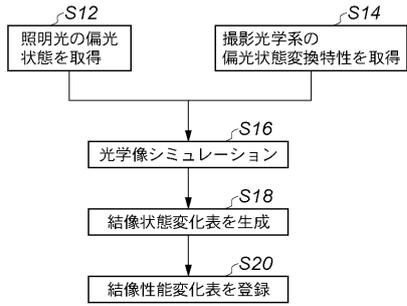
【 図 4 】 図 3 に示す露光システムにおける情報の流れを模式的に示す図である。

10

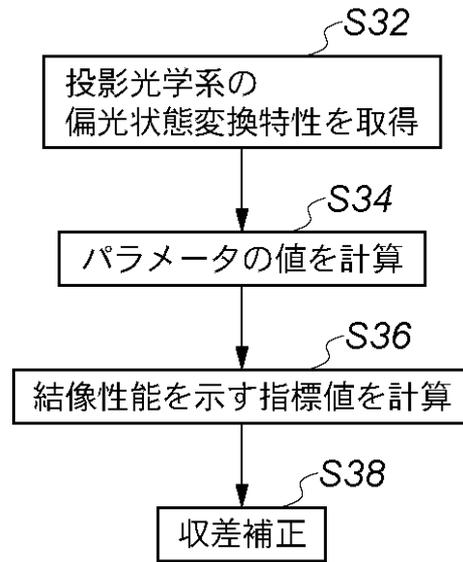
20

30

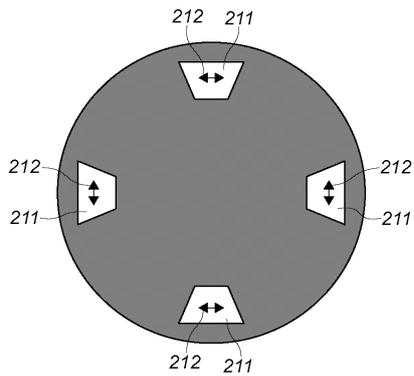
【図 1 A】



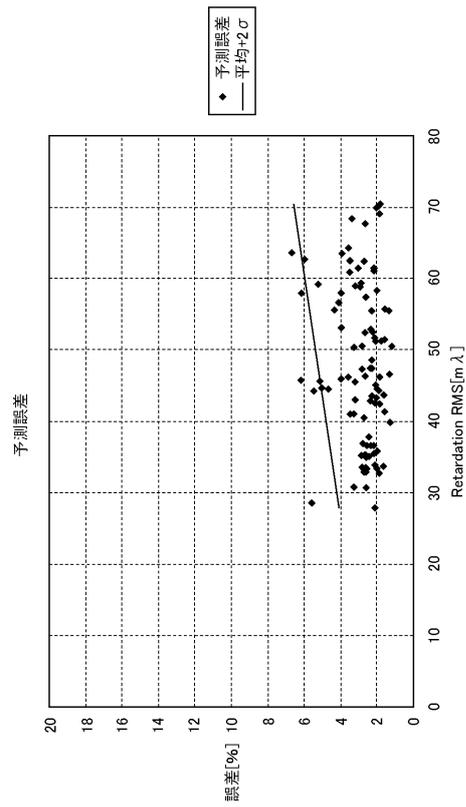
【図 1 B】



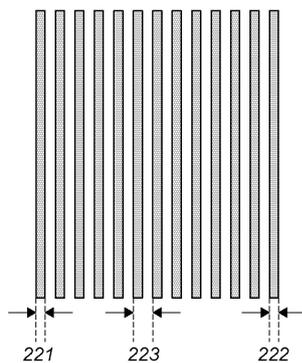
【図 2 A】



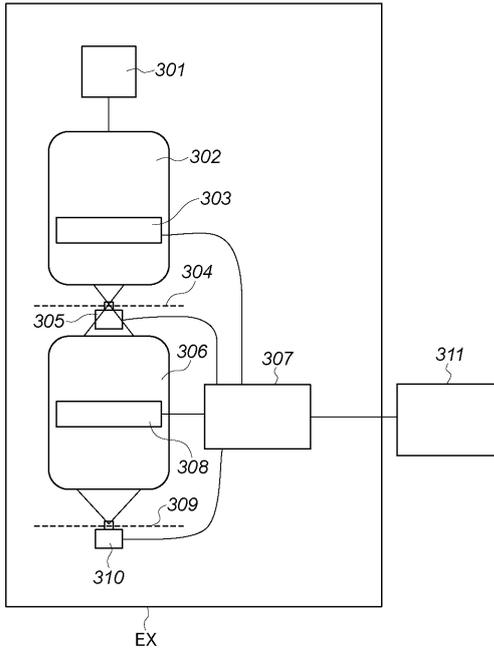
【図 2 C】



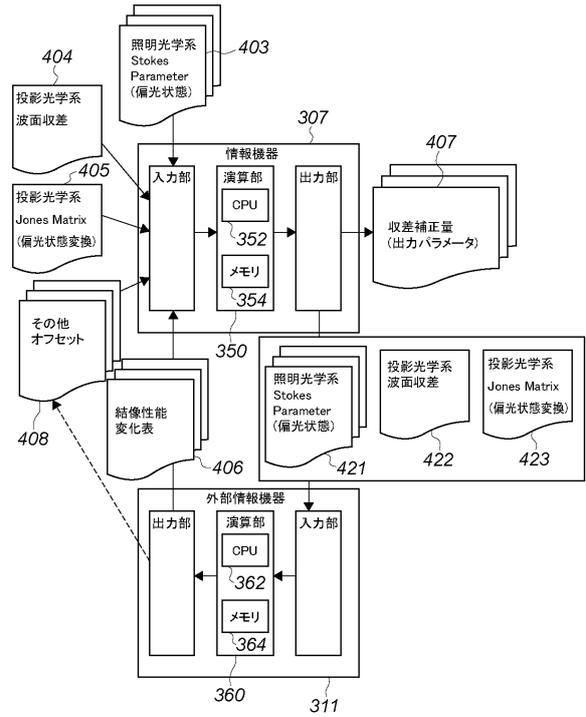
【図 2 B】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 荒井 禎
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 久保田 創

(56)参考文献 特開2006-237109(JP,A)
特開2007-198896(JP,A)
特開平11-176733(JP,A)
特開2002-324752(JP,A)
特開2006-173305(JP,A)
国際公開第2002/031570(WO,A1)

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