

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5209880号
(P5209880)

(45) 発行日 平成25年6月12日 (2013. 6. 12)

(24) 登録日 平成25年3月1日 (2013. 3. 1)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 N 21/19 (2006. 01)	GO 1 N 21/19
GO 1 J 4/04 (2006. 01)	GO 1 J 4/04 Z
GO 1 J 9/00 (2006. 01)	GO 1 J 9/00
HO 1 L 21/027 (2006. 01)	HO 1 L 21/30 5 1 6 C

請求項の数 14 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2007-20652 (P2007-20652)	(73) 特許権者	503263355
(22) 出願日	平成19年1月31日 (2007. 1. 31)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー
(65) 公開番号	特開2007-212455 (P2007-212455A)		エムペーハー
(43) 公開日	平成19年8月23日 (2007. 8. 23)		ドイツ連邦共和国、7 3 4 4 7 オーバー
審査請求日	平成22年1月22日 (2010. 1. 22)		コッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
(31) 優先権主張番号	60/771, 395		ーセ 2
(32) 優先日	平成18年2月8日 (2006. 2. 8)	(74) 代理人	100147485
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 杉村 憲司
(31) 優先権主張番号	06002586.3	(74) 代理人	100134005
(32) 優先日	平成18年2月8日 (2006. 2. 8)		弁理士 澤田 達也
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)	(74) 代理人	100119530
			弁理士 富田 和幸
		(74) 代理人	100147692
			弁理士 下地 健一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響を近似する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響を近似する方法であって、
 前記光学系への入射光学的放射を複数の入射偏光状態で供給するステップと、
 前記入射光学的放射を前記光学系に向けるステップと、
 前記入射偏光状態のそれぞれに関する、前記光学系からもたらされる出射光学的放射の
位相分布を含む少なくとも 1 つの特性を測定するステップと、
 前記出射光学的放射の前記測定された特性から前記光学系の回転および / または円偏光
 二色性を計算することによって、光学的放射の偏光状態に対する前記光学系の前記影響を
 近似するステップと、
 を含むことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記出射光学的放射の前記少なくとも 1 つの特性を測定する前記ステップが、前記入射
 偏光状態のそれぞれに関して前記出射光学的放射の位相分布および強度分布を測定するス
 テップを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記位相分布を測定するステップが、干渉計の使用を含むことを特徴とする請求項 1 ま
 たは 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記光学的放射の偏光状態に対する前記光学系の前記影響を近似するステップが、前記

測定された位相分布および／または前記測定された強度分布をモデル関数内で処理することを含むことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記光学的放射の偏光状態に対する前記光学系の前記影響を近似するステップが、前記光学系の近似ジョーンズ行列の再構成を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のうちのいずれか 1 つに記載の方法。

【請求項 6】

前記入射偏光状態が、任意の偏光状態を前記入射偏光状態の線形結合によって形成できるように選択されることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちのいずれか 1 つに記載の方法。

10

【請求項 7】

前記光学系が、所与の開口を有する光学結像系を含み、光学的放射の前記偏光状態に対する前記光学系の影響が、瞳分解を用いて判定されることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のうちのいずれか 1 つに記載の方法。

【請求項 8】

前記入射光学的放射が、主に直線偏光の放射成分を有する少なくとも 1 つの第 1 の入射状態と、主に円偏光の放射成分を有する少なくとも 1 つの第 2 の入射状態とで供給されることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のうちのいずれか 1 つに記載の方法。

【請求項 9】

前記少なくとも 1 つの第 1 の入射状態の前記直線偏光の放射成分の支配的な偏光方向が、 $0^\circ < 180^\circ$ の範囲内で等しいステップで前記支配的な偏光方向の方位角を回転することによって得られる少なくとも 3 つの偏光方向の間で変更されることを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

20

【請求項 10】

前記支配的な偏光方向の前記変更から生じる前記測定された出射光学的放射の位相分布および強度分布の変動が、測定され、前記光学系のリターデーションおよび直線偏光二色性が、それから判定されることを特徴とする請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

前記少なくとも 1 つの第 2 の入射状態が、主に左円偏光光の第 1 の入射円偏光状態と主に右円偏光光の第 2 の入射円偏光状態とを含むことを特徴とする請求項 8 乃至 10 のうちのいずれか 1 つに記載の方法。

30

【請求項 12】

前記光学系の前記回転および前記円偏光二色性が、前記第 1 のおよび前記第 2 の入射円偏光状態に関する前記出射光学的放射の前記測定された特性から判定されることを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記光学系の透過が、偏光の前記少なくとも 1 つの第 1 の入射状態および／または偏光の前記少なくとも 1 つの第 2 の入射状態に関する前記出射光学的放射の前記測定された特性から判定されることを特徴とする請求項 8 乃至 12 のうちのいずれか 1 つに記載の方法。

40

【請求項 14】

偏光の前記入射状態が、偏光子およびリターダの少なくとも 1 つの組合せによって前記入射光学的放射の偏光状態を変更することによって提供され、前記少なくとも 1 つの偏光子および前記少なくとも 1 つのリターダのそれぞれが、そのめいめいの空間的方位において独立に調整可能であることを特徴とする請求項 1 乃至 13 のうちのいずれか 1 つに記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響を近似する方法に関する。そ

50

のような方法は、たとえば、マイクロリソグラフィ・システムに適用することができる。用語「光学系」は、特にレンズおよびそれを用いて構成された対物レンズを含むものであり、入射する光学的放射を透過させ、かつ／または反射する１つまたは複数の光学構成要素の任意の配置として理解されなければならない。マイクロリソグラフィ・システムの場合に、光学系は、たとえば、そのようなシステムの投影対物レンズとすることができる。用語「光学的放射」は、たとえば可視光またはUV放射など、試験中の光学系に適用されるすべての所望の電磁放射として理解されなければならない。偏光の状態と、その状態が光学系によってどのように影響されまたは変更されるかを記述するために、一般に、ストークス・パラメータ、マラー行列 (Muller matrix)、偏光行列 (Polarisation matrix)、およびジョーンズ行列などの適当な変数が利用される。これに関する詳細については、関連文献を参照することができる。

10

【背景技術】

【0002】

光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響を判定する方法が、ドイツ国特許出願第103 04 822 A1号に記載されている。この方法では、光学系のジョーンズ行列が、2つの測定ステージで判定される。第1測定ステージでは、定義された偏光状態の入口側放射が、光学系に向けられる。次に、光学系から発する放射の偏光の結果の出口状態の強度が、偏光アナライザを使用して測定される。この測定データから、フェーズリデュースド (phase-reduced) ジョーンズ行列を計算する。第2測定ステージでは、大域瞳分解位相項 (global pupil resolved phase term) を、干渉計測定によって判定する。この測定では、1つの単一入口側偏光状態が、光学系から発する結果の放射の大域位相項の判定に使用される。第1測定ステージで判定されたフェーズリデュースド・ジョーンズ行列とこの大域位相項とが、光学系の完全なジョーンズ行列を得るために組み合わせられる。

20

【0003】

特許出願第US 2002/0024673 A1号には、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響に関する情報を得るための波面測定デバイスが記載されている。この波面測定デバイスには、少なくとも2つの異なる直線偏光状態を生成する入口側偏光子と、波面を測定するトワイマン・グリーン・タイプまたはフィゾー・タイプの干渉計が含まれる。さらに、波面測定デバイスには、検出器側偏光子が含まれ、この検出器側偏光子は、光学系から発する光の偏光状態を分析するために必要である。

30

【0004】

【特許文献1】ドイツ国特許出願第103 04 822 A1号

【特許文献2】特許出願第US 2002/0024673 A1号

【特許文献3】ドイツ国特許出願第101 09 929 A1号

【特許文献4】ドイツ国特許出願第102 17 242号

【非特許文献1】R. Barakat, 「Jones matrix equivalence theorems for polarisation theory」、Eur. J. Phys. 19 (1998年)、209~216ページ

【発明の開示】

40

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本発明の目的は、低いコストおよび改善された正確さを有する光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響の近似を可能にする方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上の目的を解決するために、本発明によれば、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響を近似する方法であって、円偏光放射成分を有する少なくとも1つの入ってくる状態を含む、偏光の複数の入ってくる状態で、光学系に関する入ってくる光学的放射を供給するステップと、入ってくる光学的放射を光学系に向けるステップと、偏光の入ってくる

50

状態のそれぞれに関する光学系から発する結果の出てゆく光学的放射の、位相分布を含む少なくとも1つの特性を測定するステップと、出てゆく光学的放射の測定された特性を評価することによって、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響を近似するステップとを含む方法が提供される。

【0007】

本発明によれば、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響は、出てゆく光学的放射を分析するのに偏光子を使用する必要なしに近似でき、これは、出力側に大きい開口数を有する光学系の場合に特に重要である。その代わりに、結果の出てゆく光学的放射の位相分布が、検出器側の偏光子の必要なしに適当な手段を使用して測定される。したがって、検出器側の偏光子は、一般に、大きい角度の十分な透過および消光をもたらす必要に起因して厳しい要件の対象となるが、この検出器側の偏光子を製造するコストを避けることができる。具体的には、 $\lambda = 193\text{ nm}$ および $\lambda = 248\text{ nm}$ のUV波長について、従来技術による装置で検出器側偏光子として使用するのに十分な品質の偏光子は、十分な品質で製造することができない。これは、高開口発散ビームがシアリング干渉計で生成される場合に特にあてはまる。検出器側偏光子を必要としない、本発明による方法を提供することによって、そのような偏光子によって導入される測定誤差を避けることができ、したがって、偏光の状態に対する光学系の影響を、改善された正確さで近似することができる。本発明による方法は、 193 nm または 248 nm の波長での光学的放射に特に適する。

【0008】

上の目的は、本発明に従って、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響を近似する方法であって、光学系に関する入ってくる光学的放射を偏光の複数の入ってくる状態で供給するステップと、入ってくる光学的放射を光学系に向けるステップと、偏光の入ってくる状態のそれぞれに関する光学系から発する結果の出てゆく光学的放射の少なくとも1つの特性を測定するステップと、出てゆく光学的放射の測定された特性から光学系の回転および/または円偏光二色性を計算することによって、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響を近似するステップとを含む方法を提供することによってさらに解決される。回転および/または円偏光二色性を計算することによって、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響を、出てゆく光学的放射を測定する検出器側偏光子の必要なしに、高い正確さまで近似することができる。

【0009】

上で述べた目的は、本発明に従って、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響を近似する方法であって、光学系に関する入ってくる光学的放射を偏光の複数の入ってくる状態で供給するステップと、入ってくる光学的放射を光学系に向けるステップと、共通光路干渉計内の共通の経路を進む少なくとも2つの部分的な光波の干渉を引き起こす干渉計を使用して、偏光の入ってくる状態のそれぞれに関する光学系から発する結果の出てゆく光学的放射の、位相分布を含む少なくとも1つの特性を測定するステップと、出てゆく光学的放射の測定された特性を評価することによって、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響を近似するステップとを含む方法を提供することによってさらに解決される。

【0010】

共通光路干渉計を使用して偏光の入ってくる状態のそれぞれについて位相分布を測定することによって、偏光の状態に対する光学系の影響を、結果の出てゆく光学的放射を測定するのに偏光子を使用する必要なしに、非常に高い正確さで近似することができる。用語「共通光路干渉計」は、この場合に、互いに干渉する少なくとも2つの部分的な光波が本質的に共通の経路を進む干渉計として理解されなければならない。2つの部分的な光波は、干渉計内の同一経路を進むことが好ましいが、2つの部分的な光波は、試験中の光学系の内部の、類似するが同一ではない経路を進む。これは、たとえば、トワイマン・グリーン干渉計またはフィゾー干渉計と対照的であり、これらの干渉計では、基準ビームが、それが干渉する、試験中の光学系を横切る測定ビームと異なる経路に送られる。共通光路干渉計の例に、シアリング干渉計および点回折干渉計が含まれる。共通光路干渉計を用いて位相分布を測定する時に、検出光学部品の収差は、位相測定に直接には影響せず、したがって、

偏光の状態に対する光学系の影響を、高い正確さで近似することができる。本発明によれば、共通光路干渉計の共通経路を進む2つの部分的な光波は、両方が光学系を通過した光学的放射を有利に含む。これは、入ってくる光学的放射の偏光の複数の入ってくる状態が、順々に光学系に供給される場合に、さらに実現可能であり、その結果、結果の出る光学的放射の測定される特性を、めいめいの入ってくる状態にたやすく帰することができるようになる。

【0011】

さらに、上の目的は、本発明に従って、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響を近似する方法であって、光学系に関する入ってくる光学的放射を偏光の少なくとも1つの入ってくる状態で供給するステップと、入ってくる光学的放射を光学系に向けるステップと、偏光子を使用せずに、偏光の少なくとも1つの入ってくる状態のそれぞれに関する光学系から発する結果の出る光学的放射の少なくとも1つの特性を測定するステップと、出る光学的放射の測定された少なくとも1つの特性から、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響を近似するステップとを含む方法を提供することによって解決される。

10

【0012】

本発明による方法の展開では、出る光学的放射の少なくとも1つの特性を測定することは、偏光の入ってくる状態のそれぞれに関して出る光学的放射の位相分布および/または強度分布を測定することを含む。用語「位相分布」および用語「強度分布」は、光学系の射出瞳の少なくとも一部でのめいめいの分布として理解されなければならない。偏光の入ってくる状態のそれぞれの位相分布および/または強度分布から、偏光の状態に対する光学系の影響を、特に高い正確さで近似することができる。

20

【0013】

これは、位相分布および/または強度分布の測定が干渉計の使用、特にシアリング干渉計および/または点回折干渉計などの共通光路干渉計の使用を含む場合に、さらに実現可能である。上で詳細を示したように、共通光路干渉計の使用は、測定に対する検出光学部品の収差の影響を最小にすることを可能にする。具体的には、本発明の方法で使用される干渉計が、光学系の実際のリソグラフィ動作で使用されるものと同じの放射の使用を可能にするならば、有利である。この測定テクノロジーは、オペレーショナル干渉計 (operational interferometer, OI) 測定テクノロジーとも示される。

30

【0014】

本発明による方法のもう1つの展開では、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響の近似は、位相分布および/または強度分布の測定をモデル関数内で処理することを含む。さらに、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響の近似は、光学系の近似ジョーンズ行列の再構成を有利に含む。それに加えて、偏光の状態に対する光学系の影響を、特に高い正確さで判定することができる。具体的には、それに加えて、ジョーンズ行列を、0.05未満の全行列要素の最大相対誤差で判定することができる。

【0015】

偏光の入ってくる状態が、偏光の任意の状態を偏光の入ってくる状態の線形組合せによって形成できるように選択されるならばさらに有利である。具体的には、すべての偏光状態およびすべての円偏光状態または楕円偏光状態を、偏光の入ってくる状態の線形組合せによって形成することができる。

40

【0016】

本発明のさらに有利な態様では、光学系は、所与の開口を有する光学結像系を含み、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響は、瞳分解を用いて判定される。これは、光学系の影響が、射出瞳のめいめいの角度にわたって判定されることを意味する。このために、上で詳細を示した測定される位相分布および/または測定される強度分布のそれぞれが、射出瞳全体にわたる分布であるならば、特に有利である。光学結像系が、少なくとも0.8の高開口数を有するならば、特に有利である。

【0017】

50

入ってくる放射が、主に直線偏光の放射成分を有する少なくとも1つの第1の入ってくる状態と、主に円偏光の放射成分を有する少なくとも1つの第2の入ってくる状態とで供給されるならば、さらに有利である。主に直線偏光の放射成分を有する少なくとも1つの第1の入ってくる状態は、リターデーション、透過、および直線偏光二色性など、光学系のいわゆる直線特性の判定を可能にする。主に円偏光の放射成分を有する少なくとも1つの第2の入ってくる状態を供給することによって、光学系の回転および円偏光二色性の判定が可能になる。これらのパラメータから、偏光の状態に対する光学系の影響を、非常に高い精度で近似することができる。

【0018】

本発明のもう1つの展開では、少なくとも1つの第1の入ってくる状態の直線偏光の放射成分の支配的な偏光方向は、 $0^\circ < 180^\circ$ の範囲内で等しいステップで支配的な偏光方向の方位角を回転することによって得られる少なくとも3つの偏光方向の間で変更される。 $0^\circ < 360^\circ$ の範囲の方位角の偏光方向を有する入ってくる状態は、必ず、伝播軸に関する電場の対称性に起因して、上で述べた $0^\circ < 180^\circ$ の範囲の方位角の偏光方向を有する同等の入ってくる状態を有する。これは、例えば 180° の方位角を有する入ってくる状態が、 0° の方位角を有する入ってくる状態と同等であり、したがって、 0° の方位角を有する入ってくる状態を参照することによって既にカバーされることを意味する。

【0019】

本発明の上記の展開では、少なくとも3つの最初の入ってくる状態が提供され、たとえば、支配的な偏光方向は、その後、 0° 、 60° および 120° の方位角、または 30° 、 60° 、および 90° の方位角などに調節される。偏光方向の間の角度ステップは、確かに、より小さくなるように選択することができる。これは、支配的な偏光方向の変更から生じる測定された出てゆく光学的放射の位相分布および強度分布の変動が測定され、光学系のリターデーションおよび直線偏光二色性が、それから判定される場合に、さらに実現可能である。さらに、リターデーションと直線偏光二色性の両方の主軸の方位は、それから有利に判定される。支配的な偏光方向を上で述べた形で回転することによって、光学系のリターデーションおよび直線偏光二色性を、高い度合の正確さで判定でき、したがって、光学系の影響を、特に正確に近似することができる。本発明の方法によれば、リターデーションを、 1.67 nm 未満の瞳平均誤差 (pupil averaged error) で判定することができる。さらに、直線偏光二色性の瞳平均誤差を、 0.005 未満に保つことができる。

【0020】

本発明による方法のもう1つの展開では、少なくとも1つの第2の入ってくる状態は、主に左円偏光光の第1の入ってくる円偏光状態と主に右円偏光光の第2の入ってくる円偏光状態とを含む。光学系の回転および円偏光二色性が、第1のおよび第2の入ってくる円偏光状態に関する出てゆく光学的放射から判定されるならば、さらに有利である。本発明の方法によれば、回転を、 0.14° 未満の瞳平均誤差で判定することができる。これは、近似されたジョーンズ行列を高い度合の正確さで再構成することを可能にする。

【0021】

有利な実施形態で、光学系の透過は、偏光の少なくとも1つの第1の入ってくる状態および/または偏光の少なくとも1つの第2の入ってくる状態に関する出てゆく光学的放射の測定された特性から判定される。これは、光学系のジョーンズ行列を高い正確さで再構成することを可能にする。

【0022】

本発明のもう1つの展開では、偏光の入ってくる状態は、偏光子およびリターダの少なくとも1つの組合せによって入ってくる光学的放射の偏光状態を変更することによって提供され、少なくとも1つの偏光子および少なくとも1つのリターダのそれぞれは、そのめいめいの空間的方位において独立に調整可能である。それに加えて、広い範囲の偏光の入ってくる状態、具体的には、異なる方位角を有する直線偏光の入ってくる状態および、さ

10

20

30

40

50

らに、さまざまな変形形態で円偏光および楕円偏光の入ってくる状態を生成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1は、マイクロリソグラフィ用の投影露光システム10を、光学的放射の偏光の状態に対する露光システム10の投影対物レンズ12の形式の光学系の影響を近似する指定された装置と共に示す概略図である。露光システム10には、光学的放射、例えば、約248nmまたは約193nmの波長範囲内のUV放射を供給する、このシステムの一部としての照明システム11と、この露光システムの結像サブシステムとして働く投影対物レンズ12とが含まれる。投影対物レンズ12は、比較的高い開口数(NA)を有する光学結像系とすることができる。ここまでは普通である設計は、指定された装置の構成要素によって拡張される。この装置は、投影対物レンズ12の瞳範囲にわたって空間的に分解された形で投影対物レンズ12のジョーンズ行列を近似するのに特に適する。

10

【0024】

この装置には、偏光の複数の入ってくる状態で投影対物レンズ12に入ってくる光学的放射を与える手段13が含まれる。この手段13は、照明システム11と投影対物レンズ12との間に、ビーム経路内に並んで配置され、拡散スクリーン14、回転可能な偏光子16、回転可能なリターダ18または補償板、および開口を形成するスポット・レンズ20を含む。さらに、穴の空いたマスクの形または1つもしくは複数の開口部を有するいわゆるピンホール・マスクの形のコヒーレンス・マスク22が、スポット・レンズ20と投影対物レンズ12との間に配置される。

20

【0025】

回転可能な偏光子16は、照明システム11から来る光学的放射を直線偏光させる。直線偏光の方向は、偏光子16を回転することによって、対応して任意の所望の方位に調整することができる。回転可能なリターダ18は、入る光波の常光線の部分と異常光線の部分との間に所望の位相シフト(位相差)を導入する。これは、左円偏光光と右円偏光光の両方をリターダ18によって生成できることを意味する。したがって、回転可能な偏光子16と回転可能なリターダ18の組合せは、すべてのストークス・ベクトルの光学的放射を投影対物レンズ12に供給できるようにされている。

30

【0026】

手段13は、主に直線偏光の放射成分を有する偏光の第1の入ってくる状態と、主に円偏光の放射成分を有する偏光の第2の入ってくる状態、具体的には反対に向けられた円偏光の少なくとも2つの入ってくる状態とを供給するように構成される。このために、回転可能なリターダ18を、回転可能な偏光子16に対して独立して回転可能な $\lambda/4$ リターダの形で設けることができる。リターダ18の主軸の方位は、円偏光の放射状態を生成するために、偏光子16の方位に関して $+45^\circ$ および -45° の方位角に調整される。直線偏光状態を生成するために、補償板18は、偏光子16と同一の形で向きを定められる。

【0027】

40

代替案では、固定された偏光子を、円偏光の放射状態をもたらすために偏光子の偏光方向に関して $+45^\circ$ および -45° の方位角に向けられた $\lambda/4$ 補償板と組み合わせて使用することができる。固定された偏光子および対応する向きにされた $\lambda/4$ 補償板のこの配置を、横変位によって光学経路内に移動することができる。

【0028】

拡散スクリーン14は、空間的に非コヒーレントな放射をもたらすのに十分に強く散乱性の設計である。コヒーレンス・マスク22は、スポット・レンズ20の焦点面内に配置され、非常に強い範囲まで均一に照らされ、同時に、投影対物レンズ12の対物面を形成する。これは、点光源をもたらし、この点光源は、対物面内で空間的にできる限り非コヒーレントである。それを用いて供給される入ってくる光学的放射24は、投影対物レンズ

50

12に向けられ、この投影対物レンズ12から、出てゆく光学的放射26として発する。その後、出てゆく光学的放射26は、シアリング干渉計28に入り、このシアリング干渉計28には、CCD検出器30が接続される。適当に設計された評価ユニット32が、CCD検出器30に結合される。

【0029】

シアリング干渉計28は、それ自体は普通の設計であり、例えば、ドイツ国特許出願第101 09 929 A1号および以前のドイツ国特許出願第102 17 242号に記載のものなどであり、詳細についてはこれらの参考文献を参照することができる。必要な制御プロセスおよび評価プロセスは、出てゆく光学的放射26を評価する関連する処理ステップの次の説明から当業者に明白になるように、評価ユニット32内で実施される。

10

【0030】

光学的放射の偏光の状態に対する投影対物レンズ12の影響を近似するために、投影対物レンズ12のリターデーションR、その主軸、透過t、直線偏光二色性d、および直線偏光二色性の主軸が、第1測定ステージで判定される。そのために、入ってくる光学的放射24が、手段13によって、上で述べた主に直線偏光の放射成分を有する複数の第1の入ってくる状態で供給される。第2測定ステージでは、やはり手段13によって供給される主に円偏光の放射成分を有する第2の入ってくる状態から、回転Rzおよび円偏光二色性dzが判定される。これらのパラメータから、評価ユニット32は、投影対物レンズ12の近似ジョーンズ行列を再構成する。

20

【0031】

主に直線偏光の放射を有する第1の入ってくる状態のそれぞれおよび主に円偏光の放射を有する第2の入ってくる状態のそれぞれのめいめいの偏光行列Pは、偏光状態を完全に記述する必要がない。むしろ、偏光行列Pは、直線偏光成分、円偏光成分、および非偏光成分の任意の混合物を記述することができる。めいめいの直線偏光の度合 γ_{lin} および円偏光の度合 γ_{circ} は、次のように偏光行列Pから得ることができる。

【0032】

【数1】

$$\gamma_{lin} = \frac{\sqrt{(P_{xx} - P_{yy})^2 + (P_{xy} + P_{yx})^2}}{P_{xx} + P_{yy}} \quad (1)$$

30

$$\gamma_{circ} = \frac{|P_{xy} - P_{yx}|}{P_{xx} + P_{yy}} \quad (2)$$

この計算では、偏光させる光学要素の非理想的な影響を、投影対物レンズ12から発する出てゆく光学的放射の評価に含めることが可能である。測定の正確さのためには、直線偏光特性の判定に使用される偏光の第1の入ってくる状態が、できる限り高い度合の直線偏光で供給されるならば望ましい。したがって、円偏光特性を判定するための第2の入ってくる状態は、できる限り高い度合の円線偏光で供給されなければならない。

40

【0033】

上で述べたように、第1測定ステージでは、投影対物レンズ12のリターデーションRおよび直線偏光二色性dを判定する。このために、主に直線偏光の放射の第1の入ってくる状態に関する投影対物レンズ12から発する出てゆく光学的放射の波面位相分布および強度分布を、シアリング干渉計28を使用して判定する。そのために、第1の入ってくる状態は、少なくとも3つの異なる方位に調整されるめいめいの偏光方向の方位角 θ を伴って供給される。具体的に言うと、第1の入ってくる偏光状態の直線偏光の放射成分の支配的な偏光方向は、そのめいめいの支配的な偏光方向の方位角 θ を $0^\circ < \theta < 180^\circ$ の範

50

圈内で少なくとも2つのステップで回転することによって変更される。これらのステップが、等しいことが好ましい。これは、支配的な偏光方向の方位角 θ を、たとえば、連続的に 0° 、 60° 、および 120° に調整できることを意味する。

【0034】

偏光行列 P によって表される、偏光のめいめいの入ってくる状態についてシアリング干渉計 28 によって作成されるめいめいのインターフェログラムの強度 I は、次の式によって記述される。

$$I = \text{trace} \{ (T + T^*) P (T + T^*)^+ \} = I_T + I_{T^*} + 2 \text{Re} \{ \text{trace} [T P T^*] \} \quad (3)$$

ここで、 T は、投影対物レンズの瞳分解されたジョーンズ行列であり、 T^* は、シアリング距離 (shearing distance) だけシフトされた瞳位置での対応するジョーンズ行列である。プラス記号は、それが参照するめいめいの行列の複素共役を示す上付き文字である。 I_T および I_{T^*} は、シアリング干渉計の2つの干渉する部分的な波のめいめいの強度項であり、項 $(2 \text{Re} \{ \text{trace} [T P T^*] \})$ は、2つの干渉する部分的な波の干渉項を示す。

【0035】

コヒーレンス行列とも呼ぶことができる偏光行列 P は、次式のように、対応する電場 $E = [E_x, E_y]$ のそれ自体とのダイアディック積の時間平均として定義される。

【0036】

【数2】

$$P = \langle E \circ E \rangle = \begin{Bmatrix} \langle E_x E_x^* \rangle & \langle E_x E_y^* \rangle \\ \langle E_y E_x^* \rangle & \langle E_y E_y^* \rangle \end{Bmatrix} \quad (4)$$

上付き文字の星記号は、それが参照する変数の複素共役を示し、山括弧 $\langle \rangle$ は、時間平均を示す。偏光の入ってくる状態のそれぞれについて、位相分布は、いわゆる位相シフト技法を適用することによって測定される。これは、偏光の所与の入ってくる状態についてシアリング干渉計で作成されるシアリングされる部分的な波の位相を変更することと、めいめいの結果のインターフェログラムを測定することとによって行われる。したがって、式 (3) の最後の項の複素数の引数 $(\text{trace} [T P T^*])$ を判定することができる。それから、めいめいの出てゆく放射の偏光依存差分位相項 p_{oi} を、次のように計算することができる。

$$p_{oi} = \arg(\text{trace} [T P T^*]) \quad (5)$$

さらに、偏光依存強度分布 $A_{p_{oi}}$ は、次式のように得られる。

$$A_{p_{oi}} = \text{abs}(\text{trace} [T P T^*]) \quad (6)$$

【0037】

シアリング干渉計を使用することによって、出てゆく光学的放射の差分位相項 p_{oi} を判定することができる。これは、差分次元なので、 x 方向と y 方向の両方でのシアリングについて両方で判定されなければならない。所望の偏光依存位相分布 p_{oi} は、その後、適当な2次元再構成アルゴリズムを使用する統合によって、2つの異なる区域から計算される。したがって、位相分布 p_{oi} は、オフセット値を除いて投影対物レンズ 12 の瞳にわたって判定され、このオフセット値は、瞳全体にわたって一定である。

【0038】

投影対物レンズ 12 の瞳にわたる強度分布 $A_{p_{oi}}$ は、シアリング干渉計原理の対象であるより高次の部分だけにあり、したがって、位相シフトされたインターフェログラムの一定の光の部分から直接に判定することができる。

【0039】

瞳にわたる位相分布 p_{oi} および瞳にわたる強度分布 $A_{p_{oi}}$ は、異なる方位角 θ_n の主に直線偏光の放射の第1の入ってくる状態のそれぞれについて上で説明したように測定され、ここで、 θ_n は、 $\theta_1 > 0$ から $\theta_N = 360^\circ$ まで等距離のステップで進行する N 個の値

10

20

30

40

50

である。実用的な手段は、偏光の直線状態が 180° の回転の下で不変なので、 $\theta_1 > 0$ から $\theta_{N/2} = 180^\circ$ まで等距離のステップでのみ上で説明した測定を実行し、角度 $\theta_{N/2+1} > 180^\circ$ から $\theta_N = 360^\circ$ までについて、同一の測定値を挿入することとすることができる。

【0040】

それから、方位角 θ の関数としての位相分布 $p_{\theta}(\theta)$ および強度分布 $A_{p_{\theta}}(\theta)$ が得られる。次に、これらの変数を、フーリエ変換を介して変換し、このフーリエ変換は、次式に示されているように、各瞳位置でのめいめいの複素高調波 $a(n)$ および $b(n)$ の係数をもたらす。

$$a(n) = FT[p_{\theta}(\theta)] \quad (7)$$

$$b(n) = FT[A_{p_{\theta}}(\theta)] \quad (8)$$

10

【0041】

実用的には、 $a(n)$ および $b(n)$ を判定するために、高速フーリエ変換アルゴリズム (FFT) を適用することができる。上の式では、 n は、それぞれ対応する複素高調波 $a(n)$ および $b(n)$ のめいめいの次数を表す。位相分布 $p_{\theta}(\theta)$ の第1高調波 $a(1)$ から、投影対物レンズ12のリターデーション R およびその主軸の方位 α を、次のように判定することができる。

【0042】

【数3】

$$R = \frac{4}{N \cdot \gamma_{lin}} \text{abs}[\alpha(1)] \quad (9)$$

20

$$\alpha = \frac{1}{2} \arg[\alpha(1)] \quad (10)$$

さらに、投影対物レンズ12の透過 t 、直線偏光二色性 d 、およびその主軸の方位 β は、強度分布 $A_{p_{\theta}}(\theta)$ の第0高調波 $b(0)$ および第1高調波 $b(1)$ から、次のように判定される。

$$t = \text{abs}[b(0)] \quad (11)$$

30

【0043】

【数4】

$$d = \frac{2}{t \gamma_{lin}} \text{abs}[b(1)] \quad (12)$$

$$\beta = \frac{1}{2} \arg[b(1)] \quad (13)$$

式(10)および(13)の係数 $1/2$ は、偏光回転全体の2回回転対称性を表す。式(11)に従って透過 t を判定するために、測定装置は、1の一定の強度値を得るために、投影対物レンズ12なしで較正されなければならない。

40

【0044】

上で述べたように、第2測定ステージでは、回転 R_z および円偏光二色性 d_z が、偏光の第2の入ってくる状態から判定される。第2の入ってくる状態は、主に左円偏光光の入ってくる状態と、主に右円偏光光の入ってくる状態とを含み、回転可能なリターダ18を含む手段13によって順々に供給される。光学系の回転 R_z を、左円偏光光波と右円偏光光波の間のリターデーションとして解釈することもできるので、反対向きの円偏光の2つの入ってくる状態の波面測定によって回転 R_z を判定することが可能である。

【0045】

50

瞳にわたる差分位相項 ϕ_{pol} は、左右の円偏光状態について上で説明した位相シフト技法を使用して、シアリング干渉計 28 によって測定される。それから、左偏光の入ってくる状態の位相分布 $\phi_{pol}(lz)$ および右偏光の入ってくる状態の位相分布 $\phi_{pol}(rz)$ が判定される。次のステップとして、投影対物レンズ 12 の回転 Rz が、次のように計算される。

【0046】

【数5】

$$Rz = \frac{1}{2\gamma_{circ}} [\Phi_{pol}(lz) - \Phi_{pol}(rz)] \quad (14)$$

10

【0047】

さらに、円偏光二色性 dz は、左円偏光の光の強度分布 $A_{pol}(lz)$ および右円偏光の入ってくる状態の強度分布 $A_{pol}(rz)$ から、次のように計算される。

【0048】

【数6】

$$dz = \frac{A_{pol}(lz) - A_{pol}(rz)}{\gamma_{circ} [A_{pol}(lz) + A_{pol}(rz)]} \quad (15)$$

【0049】

20

上で判定されたパラメータすなわち、リターデーション R 、その主軸の方位 θ 、透過 t 、直線偏光二色性 d 、その主軸の方位 ϕ 、回転 Rz 、および円偏光二色性 dz から、投影対物レンズ 12 の近似ジョーンズ行列が、次で説明するように計算される。

【0050】

一般に、近似ジョーンズ行列 T は、R. Barakat, 「Jones matrix equivalence theorems for polarisation theory」、Eur. J. Phys. 19 (1998 年)、209 ~ 216 ページに示されたジョーンズ行列等価性理論を使用することによって再構成することができ、この文献を、詳細について参照することができる。この理論によれば、すべてのジョーンズ行列 T は、次のように分解することができる。

30

$$T = T_R(\theta_1) T_{RP}(\theta_2, \theta_1) T_P(\theta_1, \theta_2) T_{RP}(\theta_3, \theta_2) T_R(\theta_4) \quad (16)$$

【0051】

ここで、 $T_R(\theta_1)$ は、回転行列であり、伝播軸の回りの角度 θ_1 の回転を記述する。 $T_{RP}(\theta_2, \theta_1)$ は、リターデーション θ_2 およびその高速主軸 (fast main axis) の方位 θ_1 を有する基本リターダのジョーンズ行列である。 $T_P(\theta_1, \theta_2)$ は、より大きい透過振幅 θ_1 およびより小さい透過振幅 θ_2 を有する主軸系内の部分的偏光子のジョーンズ行列である。たとえば、2つの基本リターダ $T_{RP}(\theta_2, \theta_1)$ および $T_{RP}(\theta_3, \theta_2)$ の総リターデーションの分布を含めて、上の式 (16) のすべての変数を、上で説明した方法によって判定できるわけではない。しかし、本発明の方法によって測定されるジョーンズ行列では、2つの基本リターダ $T_{RP}(\theta_2, \theta_1)$ および $T_{RP}(\theta_3, \theta_2)$ を有効リターダに組み合わせるために、固有の偏光子 $T_P(\theta_1, \theta_2)$ が、十分に弱い。

40

【0052】

本発明によれば、総有効ジョーンズ行列 T_{eff} は、次式から計算することができる。

$$T_{eff} = T_{lin} T_{circ} \quad (17)$$

但し、

$$T_{lin} = T_{RP}(\theta, R) T_R(\theta) T_P(\theta_1, \theta_2) T_R(Rz - \theta) \quad (18)$$

かつ

$$T_{circ} = T_{RP}(\theta/4, \theta/2) T_R(\theta/4) T_P(\theta_{1z}, \theta_{2z}) T_R(-\theta/4) \quad (19)$$

50

$T_{RP}(-\pi/4, \pi/2)$ (19)

であり、 T_{lin} は、リターデーションR、直線偏光二色性d、および回転Rzの寄与を含むジョーンズ行列の表現であり、 T_{circ} は、円偏光二色性dzを記述する、追加のジョーンズ行列の表現である。

【0053】

さらに、式(18)に含まれる σ_1 および σ_2 は、部分的偏光子のジョーンズ行列の主透過振幅であり、次のように、測定された透過tおよび直線偏光二色性dから判定される。

【0054】

【数7】

$$\sigma_1 = \sqrt{t(1+d)} \quad (20)$$

10

$$\sigma_2 = \sqrt{t(1-d)} \quad (21)$$

【0055】

類似する形で、式(19)に含まれる円主透過振幅 σ_{1z} および σ_{2z} は、次のように、測定された円偏光二色性dzから計算される。

【0056】

【数8】

$$\sigma_{1z} = \sqrt{1+dz} \quad (22)$$

20

$$\sigma_{2z} = \sqrt{1-dz} \quad (23)$$

【0057】

上のモデルは、光学的放射が、まず円偏光子を通過し、次に直線偏光子を通過し、その後有効リターダを通過するという前提に基づく。投影対物レンズ12の実際のジョーンズ行列がこの挙動から逸脱する場合には、実際のジョーンズ行列と再構成された有効ジョーンズ行列との間のモデリング誤差が生じる。しかし、このモデリング誤差は、合計されたリターダだけが測定可能なので、説明された方法については回避不能である。式(17)から(19)に示された行列乗算は、投影対物レンズ12の特定のジョーンズ行列のよりよい近似を表すことができる交番シーケンスで行うこともできる。

30

【0058】

式(17)によるジョーンズ行列 T_{eff} には、任意の位相標準化が含まれる。しかし、大域的位相は、式(7)による第0高調波a(0)によって与えられ、対応する位相標準化は、難なく行うことができる。

【0059】

図1に示された第1実施形態のシアリング干渉計28を使用する代わりに、図2に示された光学的放射の偏光の状態に対する投影対物レンズ12の影響を近似する装置の第2実施形態に含まれる点回折干渉計を使用することができる。図2に示された第2実施形態において、図1の対応する要素と同一の機能を有する要素は、同一の符号を用いて記されている。図1による第1実施形態と異なる部分は、図2による第2実施形態では、回折格子34が利用される。回折効果によって、回折格子34は、コヒーレンス・マスク22によって作られた球面波を、2つの部分的波38および40によって示されるさまざまな成分波に分割する。2つの部分的波38および40は、類似する軌跡で投影対物レンズ12を横切り、その後、検出器側のコヒーレンス・マスク42上の異なるサイズのピンホールに集光される。2つの部分的波38および40の干渉のゆえに、投影対物レンズ12全体のインターフェログラムが作られ、これが、ビーム整形手段44の助けによってCCD検出

40

50

器 30 に結像される。

【 0 0 6 0 】

図 2 による第 2 実施形態によって使用される点回折干渉計および図 1 による第 1 実施形態によって使用されるシアリング干渉計 28 は、両方とも共通光路干渉計であり、インターフェログラムを作成する 2 つの部分的な光波が、共通の経路に沿って投影対物レンズ 12 を横切る。そのような共通光路干渉計の使用は、検出光学部品内の収差が、それによって得られる同位相波面測定を歪曲しないので有利である。

【 0 0 6 1 】

図 2 による第 2 実施形態に含まれる点回折干渉計では、測定される波面は、一定の偏光状態で一定の位相を有し、投影対物レンズ 12 の焦平面内のコヒーレンス・マスク 42 のピンホールによって生成される球面波と干渉するようにされる。対応する位相分布 p_{ol} を、式 (5) との類比で次のように定式化することができる。

【 0 0 6 2 】

【 数 9 】

$$\Delta\Phi_{pol} = \arg(\text{trace}[TPT_{Sph}^+]) \quad (24)$$

【 0 0 6 3 】

T_{Sph} は、仮想ジョーンズ行列であり、コヒーレンス・マスク 22 のピンホールから発する球面波の偏光状態への入ってくる光の偏光状態の変換を定義する。位相分布 p_{ol} は、作動ユニット 36 の助けを得て回折格子 34 を移動することによって生成されるインターフェログラムの後続測定によって得られ、この移動は、シアリング干渉計 28 に使用される位相シフト技法によって得られる位相シフトに対応する位相シフトを生じさせる。

【 0 0 6 4 】

測定方法は、それ以外では、次の変更を除いてシアリング干渉計 28 に関して式 (1) から (23) によって記述される測定方法と同一である。仮想ジョーンズ行列 T_{Sph} を、ユニタリ行列 U 、対角行列 V 、およびもう 1 つのユニタリ行列 W の異なる積への特異値分解によって分解する。

$$T_{Sph} = UVW \quad (25)$$

その後、ユニタリ基準ジョーンズ行列 T_{ref} を、次のように作成する。

$$T_{ref} = UW \quad (26)$$

【 0 0 6 5 】

基準ジョーンズ行列 T_{ref} は、振幅分布を全く含まず、球面波の原理に起因して、すべての瞳位置にわたって一定である。 T_{Sph} は、1 つの瞳位置での偏光解析測定によって判定することができ、あるいは、1 つの瞳位置、たとえば主ビームの位置での、測定される投影対物レンズ 12 に関する仮定から演繹することができる。

【 0 0 6 6 】

最後に、式 (1) から (23) に従って判定された有効ジョーンズ行列 T_{eff} を、基準ジョーンズ行列 T_{ref} で割ることによって訂正する。図 2 による点回折干渉計を使用する測定方法によって得られる、結果のジョーンズ行列 T_{PDI} は、次のように判定される。

【 0 0 6 7 】

【 数 10 】

$$T_{PDI} = T_{eff} T_{ref}^{-1} \quad (27)$$

【 0 0 6 8 】

本発明は、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響を近似する方法であって、光学系に入ってくる光学的放射が、直線偏光状態および円偏光状態を含む偏光の複数の入ってくる状態で供給される方法を提供する。偏光の入ってくる状態のそれぞれに関する光学系から発する結果の出る光学的放射の位相分布および強度分布が、測定され、光学的放射の偏光の状態に対する光学系の影響が、試験中の光学系のリターデーション、直線偏

10

20

30

40

50

光二色性、回転、および／または円偏光二色性を計算することによって近似される。本発明による方法は、検出器側で出てゆく光学的放射を測定する偏光子の必要なしに、高い正確さで偏光の状態に対する光学系の影響を近似することを可能にする。したがって、広い角度での十分な透過および消光をもたらす必要に起因して一般に厳しい要件の対象になる検出器用の偏光子を製造するコストを、回避することができる。具体的には、 $\lambda = 193 \text{ nm}$ および $\lambda = 248 \text{ nm}$ の UV 波長について、偏光の状態に対する影響を判定する装置で検出器側偏光子として使用するのに十分な品質の偏光子は、十分な品質で製造することができない。

【0069】

限られた数の実施形態および応用例に関して本発明を説明したが、本発明の多数の変形形態、修正形態、および他の応用例を作ることができることを諒解されたい。

10

【図面の簡単な説明】

【0070】

【図1】投影光学部品を有するマイクロリソグラフィ用の露光システムと、光学的放射の偏光の状態に対する投影光学部品の影響を近似する装置の第1実施形態とを示す概略図である。

【図2】投影光学部品を有するマイクロリソグラフィ用の露光システムと、光学的放射の偏光の状態に対する投影光学部品の影響を近似する装置の第2実施形態とを示す概略図である。

【符号の説明】

20

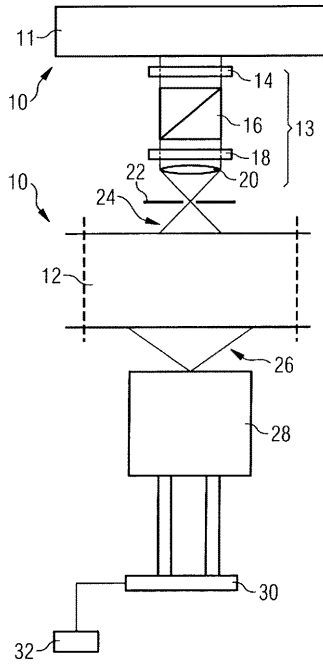
【0071】

- 10 投影露光システム
- 11 照明システム
- 12 投影対物レンズ
- 13 入ってくる光学的放射を与える手段
- 14 拡散スクリーン
- 16 偏光子
- 18 リターダ（補償板）
- 20 スポット・レンズ
- 22 コヒーレンス・マスク
- 24 入ってくる光学的放射
- 26 出てゆく光学的放射
- 28 シアリング干渉計
- 30 CCD検出器
- 32 評価ユニット
- 34 回折格子
- 36 作動ユニット
- 38 部分的波
- 40 部分的波
- 42 コヒーレンス・マスク
- 44 ビーム整形手段

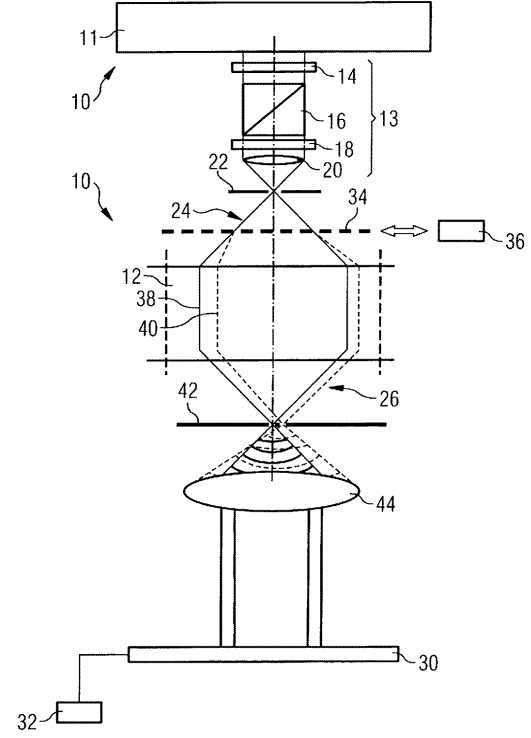
30

40

【図 1】



【図 2】



フロントページの続き

(72)発明者 マルクス メンゲル

ドイツ 89522 ハイデンハイム テーレ 27

(72)発明者 ミハエル トツェック

ドイツ 73525 シベピシ ゲームント シバイツェルベク 11

審査官 高 場 正光

(56)参考文献 米国特許出願公開第2004/0114150(US, A1)

特開2003-287717(JP, A)

特開平05-052657(JP, A)

特開2004-020343(JP, A)

特開2004-279380(JP, A)

米国特許出願公開第2005/0128481(US, A1)

RAAB, R.E., "A new method for determining the optical properties of a dielectric", OP
TICA ACTA, 1982年 9月, Vol.29, No.9, pp.1243-1253

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N21/00-21/61

JSTPlus(JDreamII)