

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5033015号
(P5033015)

(45) 発行日 平成24年9月26日 (2012. 9. 26)

(24) 登録日 平成24年7月6日 (2012. 7. 6)

(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)

H O 1 L 21/30 5 1 5 D

G O 1 N 21/23 (2006.01)

G O 3 F 7/20 5 2 1

G O 1 N 21/45 (2006.01)

G O 1 N 21/23

G O 1 N 21/45

A

請求項の数 10 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2008-35084 (P2008-35084)
 (22) 出願日 平成20年2月15日 (2008. 2. 15)
 (65) 公開番号 特開2009-194238 (P2009-194238A)
 (43) 公開日 平成21年8月27日 (2009. 8. 27)
 審査請求日 平成23年2月14日 (2011. 2. 14)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100076428
 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】 露光装置、露光方法及びデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マスクのパターンを基板に投影する投影光学系を備える露光装置であって、
撮像素子と、前記投影光学系を通過した光を前記撮像素子に入射させる結像光学系を含
み、前記結像光学系と前記投影光学系との全体の複屈折を測定する測定部と、
 前記測定部の校正時において、前記結像光学系の複屈折を測定するために前記投影光学
 系の物体面側に配置され、前記測定部からの光を反射して前記投影光学系を介さずに前記
 測定部に戻す校正部と、

前記測定部によって前記結像光学系と前記投影光学系との全体の複屈折を測定した結果
 から前記投影光学系の物体面側に前記校正部を配置して前記測定部によって測定した前記
 結像光学系の複屈折を分離して、前記投影光学系の複屈折を算出する算出部と、

を有し、

前記結像光学系は、光源からの光を前記投影光学系に入射させる往路光学系と、前記投
影光学系を通過した光を前記撮像素子に入射させる復路光学系とを含み、

前記校正部が入射光を反射して前記測定部に戻すことで前記結像光学系の複屈折が前記
測定部によって測定され、前記校正部が入射光のうち互いに異なる少なくとも3つの直線
偏光を反射して前記測定部に戻すことで前記復路光学系の複屈折が前記測定部によって測
定されることを特徴とする露光装置。

【請求項 2】

前記校正部は、前記マスクを保持するステージに載置されていることを特徴とする請求

10

20

項 1 に記載の露光装置。

【請求項 3】

前記校正部は、前記投影光学系に載置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

【請求項 4】

前記校正部は、前記結像光学系の光路に挿脱可能に構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

【請求項 5】

前記校正部は、
入射光を反射して前記測定部に戻すミラーと、
入射光のうち互いに異なる前記少なくとも 3 つの直線偏光をそれぞれ透過する複数のプリズムと、
前記複数のプリズムを透過した光をそれぞれ反射して前記測定部に戻す複数のミラーと、
を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置。

10

【請求項 6】

前記複数のプリズムのそれぞれは、ウォラストンプリズムを含むことを特徴とする請求項 5 に記載の露光装置。

【請求項 7】

前記校正部は、
入射光のうち所定の直線偏光のみを反射する偏光ビームスプリッタと、前記偏光ビームスプリッタで反射された光を反射して前記測定部に戻すミラーとを含む複数の光学ユニットを有し、
前記複数の光学ユニットは、それぞれの前記偏光ビームスプリッタが互いに異なる前記少なくとも 3 つの直線偏光を反射するように配置され、
前記複数の光学ユニットのうち 1 つの光学ユニットは、入射光を反射して前記測定部に戻すミラーを更に含むことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置。

20

【請求項 8】

前記算出部は、前記測定部によって測定された前記結像光学系の複屈折から前記測定部によって測定された前記復路光学系の複屈折を分離して、前記往路光学系の複屈折を算出することを特徴とする請求項 1 に記載の露光装置。

30

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のうちいずれか 1 項に記載の露光装置を用いて基板を露光するステップと、
露光された前記基板を現像するステップと、
を有することを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項 10】

投影光学系を用いて基板を露光する露光方法であって、
前記投影光学系を通過した光を撮像素子に入射させる結像光学系を含む測定部を用いて、
前記結像光学系と前記投影光学系との全体の複屈折を測定するステップと、
前記結像光学系の複屈折を測定するために前記投影光学系の物体面側に配置された校正部を用いて、前記測定部からの光を反射して前記投影光学系を介さずに前記測定部に戻すステップと、
前記測定部によって前記結像光学系と前記投影光学系との全体の複屈折を測定した結果から前記投影光学系の物体面側に前記校正部を配置して前記測定部によって測定した前記結像光学系の複屈折を分離して、前記投影光学系の複屈折を算出するステップと、
前記算出された複屈折に基づいて、前記投影光学系の複屈折を調整するステップと、
前記調整された投影光学系を用いて前記基板を露光するステップと、を有し、
前記結像光学系は、光源からの光を前記投影光学系に入射させる往路光学系と、前記投

40

50

影光学系を通過した光を前記撮像素子に入射させる復路光学系とを含み、

前記校正部が入射光を反射して前記測定部に戻すことで前記結像光学系の複屈折が前記測定部によって測定され、前記校正部が入射光のうち互いに異なる少なくとも3つの直線偏光を反射して前記測定部に戻すことで前記復路光学系の複屈折が前記測定部によって測定されることを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、露光装置、露光方法及びデバイス製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

フォトリソグラフィ（焼き付け）技術を用いて半導体メモリや論理回路などの微細な半導体デバイスを製造する際に、投影露光装置が従来から使用されている。投影露光装置は、レチクル（マスク）に形成された回路パターンを投影光学系によってウエハ等の基板に投影して回路パターンを転写する。

【0003】

投影露光装置においては、近年の半導体デバイスの微細化に伴って、更なる解像力（露光装置で転写できる最小の寸法）の向上が要求されており、露光光の短波長化及び投影光学系の高NA化（投影光学系の開口数（NA）の増大）が進んでいる。例えば、波長約193nmのArFエキシマレーザーを露光光とし、0.8を超えるNAを有する投影光学系を備えた投影露光装置では、0.1μmの解像力が実現されている。また、投影光学系の最終面（最終レンズ）とウエハとの間の少なくとも一部を1よりも大きな屈折率を有する液体で満たす、所謂、液浸によって投影光学系のNAの増大を図る液浸露光装置も提案されており、更なる解像力の向上が期待されている。

【0004】

一方、露光装置の解像力の向上を実現するためには、投影光学系の性能（例えば、結像性能など）を正確に評価することが不可欠である。従来、露光装置上での投影光学系の性能の評価、或いは、組み立て時の投影光学系の性能の評価では、主に、透過波面収差が用いられてきた。但し、投影光学系の性能が向上するにつれて、投影光学系内の複屈折の影響を無視することができなくなっているため、近年では、透過波面収差のみではなく、投影光学系の複屈折（腫面内複屈折）も評価する必要がある。

【0005】

そこで、投影光学系の組み立て時において透過波面収差を測定する干渉計に、投影光学系の複屈折を測定する機能を追加した測定装置が提案されている（特許文献1参照）。特許文献1に開示された測定装置には、投影光学系の複屈折（複屈折分布）を測定（評価）するために、結像光学系が組み込まれている。従って、投影光学系内の複屈折を高精度に測定（評価）するためには、測定装置に組み込まれた結像光学系の複屈折（以下、「システムエラー」と称する）と投影光学系の複屈折とを分離しなければならない。

【0006】

複屈折は、一般的に、ジョーンズ行列で表されるため、システムエラーと投影光学系の複屈折との分離（即ち、測定装置の校正）には、行列計算が必要となる。例えば、特許文献1では、光源から投影光学系までの往路（光源から投影光学系までの光路に配置された光学系）の複屈折と投影光学系から光検出部までの復路（投影光学系から光検出部までの光路に配置された光学系）の複屈折を別々に測定している。そして、システムエラーと投影光学系の複屈折とを含む測定値（即ち、測定装置の測定結果）を表すジョーンズ行列に、往路の複屈折及び復路の複屈折を表すジョーンズ行列の逆行列をかけることで、システムエラーと投影光学系の複屈折とを分離させている。

【特許文献1】特開2006-214856号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 7 】

しかしながら、特許文献 1 は投影光学系の組み立て時における技術であり、露光装置に組み込まれた状態で投影光学系の複屈折を測定して、かかる複屈折の測定に用いられた測定装置のシステムエラーを分離する技術は知られていない。換言すれば、露光装置上で投影光学系の複屈折（複屈折分布）を高精度に測定する技術は提案されていない。

【 0 0 0 8 】

また、特許文献 1 では、測定装置に組み込まれた結像光学系において、光の入射角度が 5 度以下となる位置にミラーやプリズムを配置し、測定装置内の光路を 4 つに分割して複屈折を測定することで、往路の複屈折及び復路の複屈折を得ている。従って、システムエラーと投影光学系の複屈折を分離するためには、数多く（少なくとも 4 回）の複屈折の測定が必要となり、測定に長時間を要してしまう。

10

【 0 0 0 9 】

本発明は、このような従来技術の課題に鑑みて、投影光学系の複屈折を、露光装置上で短時間、且つ、高精度に測定することができる露光装置を提供することを例示的目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての露光装置は、マスクのパターンを基板に投影する投影光学系を備える露光装置であって、撮像素子と、前記投影光学系を通過した光を前記撮像素子に入射させる結像光学系を含み、前記結像光学系と前記投影光学系との全体の複屈折を測定する測定部と、前記測定部の校正時において、前記結像光学系の複屈折を測定するために前記投影光学系の物体面側に配置され、前記測定部からの光を反射して前記投影光学系を介さずに前記測定部に戻す校正部と、前記測定部によって前記結像光学系と前記投影光学系との全体の複屈折を測定した結果から前記投影光学系の物体面側に前記校正部を配置して前記測定部によって測定した前記結像光学系の複屈折を分離して、前記投影光学系の複屈折を算出する算出部と、を有し、前記結像光学系は、光源からの光を前記投影光学系に入射させる往路光学系と、前記投影光学系を通過した光を前記撮像素子に入射させる復路光学系とを含み、前記校正部が入射光を反射して前記測定部に戻すことで前記結像光学系の複屈折が前記測定部によって測定され、前記校正部が入射光のうち互いに異なる少なくとも 3 つの直線偏光を反射して前記測定部に戻すことで前記復路光学系の複屈折が前記測定部によって測定されることを特徴とする。

20

30

【 0 0 1 1 】

本発明の別の側面としてのデバイス製造方法は、上述した露光装置を用いて基板を露光するステップと、露光された前記基板を現像するステップと、を有することを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

本発明の更なる目的又はその他の側面は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施形態によって明らかにされるであろう。

【発明の効果】

【 0 0 1 3 】

本発明によれば、例えば、投影光学系の複屈折を、露光装置上で短時間、且つ、高精度に測定する露光装置を提供することができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 4 】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施の形態について説明する。なお、各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【 0 0 1 5 】

図 1 は、本発明の一側面としての露光装置 1 の構成を示す概略図である。露光装置 1 は、本実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式でレチクル 30 のパターンをウエハ 50 に転写する投影露光装置である。但し、露光装置 1 は、ステップ・アンド・リピート

50

方式やその他の露光方式も適用することができる。

【0016】

露光装置1は、光源10と、照明光学系20と、レチクル30を保持するレチクルステージ(第1のステージ)35と、投影光学系40と、ウエハ50を保持するウエハステージ(第2のステージ)55と、制御部60と、測定部70と、校正部80とを備える。なお、露光装置1は、図示しないアライメント検出系やフォーカス検出系なども備えている。

【0017】

光源10は、例えば、波長約193nmのArFエキシマレーザーや波長約248nmのKrFエキシマレーザーなどのエキシマレーザーを使用する。但し、光源10は、エキシマレーザーに限定されず、波長約157nmのF₂レーザー、波長10nm乃至15nm程度のEUV(Extreme Ultra Violet)光、水銀ランプやキセノンランプなどのランプを使用してもよい。

【0018】

照明光学系20は、光源10からの光を用いてレチクル30を照明する光学系である。照明光学系20は、本実施形態では、光源10からの光を光軸に対して対称な形状に整形する整形光学系22と、可干渉距離を低下させるインコヒーレント化光学系24と、レチクル30を照明する照明系26とを含む。

【0019】

レチクル30は、回路パターンを有し、レチクルステージ35に保持及び駆動される。

【0020】

レチクルステージ35は、レチクル30を保持すると共に、x軸方向、y軸方向、x軸方向及び各軸の回転方向にレチクル30を駆動する。また、レチクルステージ35は、本実施形態では、後述する校正部80を載置し、レチクル30と同様に、x軸方向、y軸方向、x軸方向及び各軸の回転方向に校正部80を駆動する。なお、レチクル30又はウエハ50の面内で走査方向をy軸、それに垂直な方向をx軸、レチクル30又はウエハ50の面に垂直な方向をz軸とする。

【0021】

投影光学系40は、レチクル30のパターンをウエハ50に投影する光学系である。投影光学系40は、屈折系、反射屈折系、或いは、反射系を使用することができる。

【0022】

ウエハ50は、レチクル30のパターンが投影(転写)される基板である。但し、ウエハ50は、ガラスプレートやその他の基板に置換することもできる。

【0023】

ウエハステージ55は、ウエハ50を保持すると共に、x軸方向、y軸方向、x軸方向及び各軸の回転方向にウエハ50を駆動する。また、ウエハステージ55は、凹面ミラー713をx軸方向、y軸方向、x軸方向及び各軸の回転方向に駆動可能に保持する。

【0024】

制御部60は、CPUやメモリなどを有し、露光装置1の動作を制御する。制御部60は、レチクルステージ35及びウエハステージ55の周辺に配置されたレーザー干渉計の測定結果に基づいて、レチクルステージ35とウエハステージ55とをnmオーダーで同期制御する。なお、レーザー干渉計は、レチクルステージ35及びウエハステージ55の投影光学系40の光軸方向(即ち、z軸方向)及び投影光学系40の光軸に対して垂直な面内(即ち、xy平面)の位置を測定する。

【0025】

また、制御部60は、本実施形態においては、後述する測定部70の動作(即ち、測定部70の校正や測定部70による投影光学系40の複屈折の測定に関連する動作)も制御する。例えば、制御部60は、レチクルステージ35やウエハステージ55を介して、測定部70の校正時や投影光学系40の複屈折の測定時に必要となる校正部80の駆動や凹面ミラー713の駆動を制御する。また、制御部60は、測定部70の校正時や投影光学

10

20

30

40

50

系 40 の複屈折の測定時に必要となる算出処理を行う算出部として機能する。例えば、制御部 60 は、撮像素子 711 で撮像された画像に基づいて複屈折を表すジョーンズ行列を算出する。また、制御部 60 は、測定部 70 によって測定部 70 と投影光学系 40 の全体の複屈折を測定した結果から測定部 70 の複屈折を分離して、投影光学系 40 の複屈折を算出する。なお、制御部 60 による具体的な算出処理については後で詳細に説明する。

【0026】

測定部 70 は、光源 10 からの光を投影光学系 40 に入射させて、投影光学系 40 を通過した光を撮像素子 711 に入射させる結像光学系を含み、投影光学系 40 の複屈折を測定する。但し、測定部 70 は、上述したように、結像光学系を有しているため、測定部 70 の測定結果には、投影光学系 40 の複屈折と測定部 70 の複屈折（即ち、結像光学系の複屈折）とが含まれることになる。測定部 70 は、本実施形態では、ファイバ 701 と、ファイバポート 702 と、 $\lambda/2$ 板 703 と、偏光子 704 と、ビームエキスパンダ 705 と、ハーフミラー 706 と、対物レンズ 707 とを有する。更に、測定部 70 は、瞳結像レンズ 708 と、 $\lambda/4$ 板 709 と、検光子 710 と、撮像素子 711 と、空間フィルタ 712 と、凹面ミラー 713 とを有する。

【0027】

校正部 80 は、上述したように、レチクルステージ 35 に載置され、測定部 70 の結像光学系の光路に挿脱可能に構成されている。校正部 80 は、測定部 70 の校正時において、測定部 70 の結像光学系の複屈折を測定するために投影光学系 40 の物体面側に配置される光学ユニットである。校正部 80 は、例えば、複数のミラーや複数のプリズムを含み、測定部 70 からの光を反射して投影光学系 40 を介さずに測定部 70 に戻す。校正部 80 は、図 2 に示すように、凹面ミラー 82 と、凹面ミラー 84 と、プリズム 86 とを有する。凹面ミラー 82 は、測定部 70 の結像光学系全体の複屈折を測定する際に使用される。また、凹面ミラー 84 及びプリズム 86 は、測定部 70 の結像光学系のうち復路光学系の複屈折を測定する際に使用される。プリズム 86 は、本実施形態では、3つのプリズム 86a 乃至 86c を含み、プリズム 86a 乃至 86c は、z 軸に対してそれぞれ異なる角度（例えば、0 度、60 度、120 度）で配置され、所定の直線偏光のみを透過する。従って、プリズム 86a 乃至 86c のそれぞれは、互いに異なる 3つの直線偏光を透過する。また、3つのプリズム 86a 乃至 86c のそれぞれに対応して 3つの凹面ミラー 84a 乃至 84c が配置されている。凹面ミラー 84a 乃至 84c は、プリズム 86a 乃至 86c を透過した光をそれぞれ反射して測定部 70 に戻す。ここで、図 2 は、校正部 80 の構成を示す概略断面図である。

【0028】

以下、測定部 70 及び校正部 80 の詳細な構成や機能と共に、制御部 60 による算出処理を説明する。まず、測定部 70 の複屈折であるシステムエラーの測定方法について説明する。上述したように、複屈折はジョーンズ行列で表されるため、測定部 70 によって測定部 70 と投影光学系 40 の全体の複屈折を測定した結果からシステムエラーを分離（減算）するためには、行列計算が必要となる。従って、測定部 70 の結像光学系を、光源 10 からの光を投影光学系 40 に入射させる往路光学系と投影光学系 40 からの光を撮像素子 711 に入射させる復路光学系とに分離して、往路光学系の複屈折及び復路光学系の複屈折をそれぞれ得る必要がある。本実施形態では、測定部 70 の結像光学系全体の複屈折を表すジョーンズ行列を J_{m} 、復路光学系の複屈折を表すジョーンズ行列を J_{r} 、往路光学系の複屈折を表すジョーンズ行列を J_{g} とする。

【0029】

光源 10 からの光は、ファイバ 701 を介して、ファイバポート 702 から射出する。ファイバポート 702 から射出した光は、 $\lambda/2$ 板 703 及び偏光子 704 を透過する。 $\lambda/2$ 板 703 及び偏光子 704 は図示しないステージ上に配置され、 $\lambda/2$ 板 703 及び偏光子 704 をそれぞれ回転させることで、既知の直線偏光を得ることができる。 $\lambda/2$ 板 703 及び偏光子 704 を透過した光は、光束径を拡大するビームエキスパンダ 705 を介してハーフミラー 706 で反射され、対物レンズ 707 に入射する。

【 0 0 3 0 】

測定部 7 0 の結像光学系全体の複屈折を測定する際には、レチクルステージ 3 5 に載置された校正部 8 0 が投影光学系 4 0 の物体面側に配置される。具体的には、凹面ミラー 8 2 が対物レンズ 7 0 7 の直下に位置し、且つ、対物レンズ 7 0 7 の集光位置と凹面ミラー 8 2 の曲率中心とが一致するように、校正部 8 0 が配置される。

【 0 0 3 1 】

校正部 8 0 に入射した光は、凹面ミラー 8 2 で反射され、対物レンズ 7 0 7、ハーフミラー 7 0 6、瞳結像レンズ 7 0 8 を介して、ステージ上に配置された / 4 板 7 0 9 に入射する。 / 4 板 7 0 9 で変調された光は、検光子 7 1 0 を介して、撮像素子 7 1 1 に入射する。この際、撮像素子 7 1 1 は、検光子 7 1 0 の角度によって定まる直線偏光成分のみを撮像する。

10

【 0 0 3 2 】

このようにして、互いに異なる 3 つの角度（例えば、0 度、6 0 度、1 2 0 度）を偏光子 7 0 4 に設定して 3 つの偏光パラメータを測定し、ジョーンズ行列を算出する。偏光パラメータ及びジョーンズ行列は移相子法で求められる。なお、移相子法については特許文献 1 に開示されているため、ここでの詳細な説明は省略する。これにより、偏光子 7 0 4 から / 4 板 7 0 9 までの複屈折、即ち、測定部 7 0 の結像光学系全体の複屈折を表すジョーンズ行列 J_{m} を得ることができる。

【 0 0 3 3 】

また、測定部 7 0 の復路光学系の複屈折を測定する際には、凹面ミラー 8 4 及びプリズム 8 6 が対物レンズ 7 0 7 の直下に位置するように、校正部 8 0 が配置される。例えば、凹面ミラー 8 4 a 及びプリズム 8 6 a が対物レンズ 7 0 7 の直下に位置するように校正部 8 0 を配置した場合、凹面ミラー 8 4 a で反射される光は、プリズム 8 6 a の角度によって定まる既知の直線偏光である。従って、対物レンズ 7 0 7、ハーフミラー 7 0 6 及び瞳結像レンズ 7 0 8 の複屈折に、プリズム 8 6 a の角度によって定まる直線偏光を入射した際の偏光パラメータが測定される。同様に、凹面ミラー 8 4 b 及びプリズム 8 6 b、及び、凹面ミラー 8 4 c 及びプリズム 8 6 c のそれぞれが対物レンズ 7 0 7 の直下に位置するように校正部 8 0 を配置することで、互いに異なる 3 つの偏光パラメータを測定することができる。これにより、対物レンズ 7 0 7 から / 4 板 7 0 9 までの複屈折、即ち、測定部 7 0 の復路光学系の複屈折を表すジョーンズ行列 J_{r} を得ることができる。

20

30

【 0 0 3 4 】

ここで、校正部 8 0 におけるプリズム 8 6 について説明する。プリズム 8 6 は、本実施形態では、ウォラストンプリズムを使用する。ウォラストンプリズムは、入射光に対して等しい角度で常光と異常光を分離する。従って、プリズム 8 6 としてウォラストンプリズムを使用する場合には、異常光を空間フィルタ 7 1 2 で遮光して、撮像素子 7 1 1 に異常光が入射することを防止する必要がある。

【 0 0 3 5 】

空間フィルタ 7 1 2 の開口半径が r である場合、常光と異常光の分離角 θ_D は、以下の式 1 で表される。

$$\theta_D = r / f_0 \quad \cdots (\text{式 1})$$

40

但し、式 1 において、 f_0 は、瞳結像レンズ 7 0 8 の焦点距離、詳細には、瞳結像レンズ 7 0 8 を構成するレンズのうちハーフミラー 7 0 6 側に配置されたレンズの焦点距離を表している。

【 0 0 3 6 】

ウォラストンプリズムは、常光も入射光に対して傾いた方向に射出するため、常光が空間フィルタ 7 1 2 (の開口) を通過するように、凹面ミラー 8 4 の位置を調整する必要がある。

【 0 0 3 7 】

また、ウォラストンプリズムは、分離角 θ_D が小さければ、プリズムの接合角を小さくすることができるという特徴を有する。従って、ウォラストンプリズムは、薄型化が可能

50

であるため、本実施形態のように、プリズム 86 として対物レンズ 707 の集光位置の近傍に配置しても、収差の発生を抑えることができる。プリズムは、一般的には、複屈折硝材で構成されるため、集光位置に配置すると結晶軸方向に位相差を発生させてしまうが、かかる位相差を相殺する複屈折硝材を凹面ミラー 84 とプリズム 86 との間に配置すれば収差の発生を防止することができる。

【0038】

なお、本実施形態では、プリズム 86 としてウォラストンプリズムを使用しているが、対物レンズ 707 の開口角が小さい場合には、グラントムソンプリズムやサバル板などプリズムに置換することも可能である。

【0039】

偏光子 704 から対物レンズ 707 までの複屈折、即ち、測定部 70 の往路光学系の複屈折を表すジョーンズ行列 $J_{\text{—}g}$ は、ジョーンズ行列 $J_{\text{—}m}$ 及び $J_{\text{—}r}$ を用いて、以下の式 2 で算出することができる。

$$J_{\text{—}g} = J_{\text{—}r}^{-1} \times J_{\text{—}m} \quad \cdots (\text{式 } 2)$$

但し、式 2 において、 $J_{\text{—}r}^{-1}$ は、測定部 70 の復路光学系の複屈折を表すジョーンズ行列 $J_{\text{—}r}$ の逆行列を表している。

【0040】

次に、測定部 70 によって測定部 70 と投影光学系 40 の全体の複屈折を測定した結果からシステムエラーを分離（減算）する方法について説明する。測定部 70 の結像光学系の光路から校正部 80 を退避させ、対物レンズ 707 の焦点位置が投影光学系 40 の物点と一致するように、対物レンズ 707 を配置する。また、ウエハステージ 55 に保持された凹面ミラー 713 の曲率中心と投影光学系 40 の結像点とが一致するように、凹面ミラー 713 を配置する。

【0041】

対物レンズ 707 からの光は、投影光学系 40 を通過して凹面ミラー 713 で垂直反射する。凹面ミラー 713 で垂直反射した光は、投影光学系 40 を再び通過し、対物レンズ 707、ハーフミラー 706、瞳結像レンズ 708、 $\lambda/4$ 板 709 及び検光子 710 を介して、撮像素子 711 に入射する。この際、測定部 70 と投影光学系 40 との全体の複屈折が測定される。

【0042】

従って、測定部 70 と投影光学系 40 との全体の複屈折を表すジョーンズ行列を $J_{\text{—}a}$ とすると、投影光学系 40 の複屈折を表すジョーンズ行列 $J_{\text{—}p}$ は、以下の式 3 で算出することができる。但し、行列の累乗根計算は特許文献 1 と同様であるため、ここでの詳細な説明は省略する。

$$J_{\text{—}p} = (J_{\text{—}r}^{-1} \times J_{\text{—}a} \times J_{\text{—}g}^{-1})^{1/2} \quad \cdots (\text{式 } 3)$$

このように、本実施形態では、測定部 70 の往路光学系の複屈折及び復路光学径の複屈折を 2 回の測定で得ることが可能であり、測定部 70 と投影光学系 40 との全体の複屈折からシステムエラーを分離することができる。従って、露光装置 1 は、投影光学系 40 の複屈折を、露光装置上で短時間、且つ、高精度に測定することができる。

【0043】

本実施形態では、校正部 80 は、レチクルステージ 35 に載置されているが、図 3 に示すように、投影光学系 40（具体的には、投影光学系 40 を構成する鏡筒の入射面）に載置されていてもよい。この場合、対物レンズ 707 が校正部 80 の直上に位置することができるように、対物レンズ 707 を駆動可能に構成する必要がある。ここで、図 3 は、本発明の一側面としての露光装置 1 の構成を示す概略図である。

【0044】

また、校正部 80 は、図 4 に示すように、互いに異なる角度で配置された 3 つの光学ユニット 810 a 乃至 810 c で構成してもよい。この場合、光学ユニット 810 a 乃至 810 c のそれぞれを対物レンズ 707 の直下に配置して、互いに異なる 3 つの偏光パラメータを測定し、ジョーンズ行列を算出する。なお、光学ユニット 810 a 乃至 810 c は

10

20

30

40

50

、レチクルステージ 35 に載置されていてもよいし、投影光学系 40 に載置されていてもよい。ここで、図 4 は、校正部 80 の別の構成を示す概略断面図である。

【0045】

図 5 は、光学ユニット 810 a の構成を示す概略断面図である。光学ユニット 810 a は、図 5 に示すように、凹面ミラー 82 と、折り曲げミラー 811 a と、レンズ 812 a と、偏光ビームスプリッタ 813 a と、反射ミラー 814 a とを有する。凹面ミラー 82 は、上述したように、測定部 70 の結像光学系全体の複屈折を測定する際に使用される。折り曲げミラー 811 a、レンズ 812 a、偏光ビームスプリッタ 813 a 及び反射ミラー 814 a は、測定部 70 の結像光学系のうち復路光学系の複屈折を測定する際に使用される。なお、光学ユニット 810 b 及び 810 c は、凹面ミラー 82 を有していないだけで光学ユニット 810 a と同様な構成を有しているため、ここでの詳細な説明は省略する。

10

【0046】

測定部 70 の復路光学系の複屈折を測定する際には、折り曲げミラー 811 a が対物レンズ 707 の直下に位置するように、光学ユニット 810 a が配置される。対物レンズ 707 からの光は、折り曲げミラー 811 a で垂直な方向に偏向されてレンズ 812 a に入射する。レンズ 812 a に入射した光は平行光となって偏光ビームスプリッタ 813 a に入射し、偏光ビームスプリッタ 813 a の角度によって定まる直線偏光のみが反射ミラー 814 a に入射する。反射ミラー 814 a に入射した光は垂直反射され、偏光ビームスプリッタ 813 a、レンズ 812 a 及び折り曲げミラー 811 a を介して、対物レンズ 707 に戻る。なお、折り曲げミラー 811 a 及びレンズ 812 a は、測定部 70 の復路光学系の複屈折に対して十分に小さい複屈折を有する硝材で構成することが好ましい。これにより、偏光パラメータは、測定部 70 の復路光学系に偏光ビームスプリッタ 813 a で定まる直線偏光を入射した際のものとなすことが可能となる。光学ユニット 810 b 及び 810 c でも同様に測定することで、3つの偏光パラメータから測定部 70 の復路光学系のジョーンズ行列 J_{-r} を求めることができる。なお、測定部 70 の結像光学系全体の複屈折を表すジョーンズ行列 J_{-m} の測定（算出）方法や測定部 70 と投影光学系 40 との全体の複屈折からシステムエラーを分離する方法については、上述した通りである。

20

【0047】

また、光学ユニット 810 a は、本実施形態では、反射ミラー 814 a を有しているが、反射ミラー 814 a の代わりに偏光ビームスプリッタ 813 a の射出面（反射ミラー 814 a に対向している面）に反射膜を形成してもよい。また、偏光ビームスプリッタ 813 a で反射された光を垂直反射させるのではなく、偏光ビームスプリッタ 813 a を透過した光を垂直反射させてもよい。

30

【0048】

また、測定部 70 の復路光学系の複屈折に対して十分に小さい複屈折を有する硝材で折り曲げミラー 811 a 及びレンズ 812 a を構成することができない場合には、折り曲げミラー 811 a 及びレンズ 812 a の複屈折を予め測定しておく。そして、折り曲げミラー 811 a 及びレンズ 812 a の複屈折に基づいて、測定部 70 の復路光学系に入射する光の偏光状態を算出してもよい。

40

【0049】

露光装置 1 の動作において、まず、投影光学系 40 の複屈折を測定する。投影光学系 40 の複屈折は、上述したように、校正部 80 を用いて測定部 70 の複屈折（システムエラー）を測定し、測定部 70 によって測定部 70 と投影光学系 40 との全体の複屈折を測定した結果からシステムエラーを分離することで得られる。投影光学系 40 の複屈折が測定されると、かかる測定結果に基づいて、投影光学系 40 の複屈折が調整される。投影光学系 40 の複屈折は、例えば、投影光学系 40 を構成する光学素子を光軸周りに回転させたり、光軸方向に駆動したりすることで調整することができる。測定部 70 は、上述したように、投影光学系 40 の複屈折を短時間で高精度に測定することができるため、投影光学系 40 の複屈折も短時間で高精度に調整することができる。

50

【 0 0 5 0 】

次いで、レチクル 3 0 のパターンをウエハ 5 0 に露光する。光源 1 0 から発せられた光は、照明光学系 2 0 によってレチクル 3 0 を照明する。レチクル 3 0 のパターンを反映する光は、投影光学系 4 0 によってウエハ 5 0 上に結像する。露光装置 1 が使用する投影光学系 4 0 は、上述したように複屈折が高精度に調整されており、優れた結像能力を達成する。従って、露光装置 1 は、高いスループットで経済性よく高品位なデバイス（半導体素子、LCD 素子、撮像素子（CCD など）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。

【 0 0 5 1 】

次に、図 6 及び図 7 を参照して、露光装置 1 を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図 6 は、デバイス（半導体デバイスや液晶デバイス）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体デバイスの製造を例に説明する。ステップ 1（回路設計）では、デバイスの回路設計を行う。ステップ 2（レチクル製作）では、設計した回路パターンを形成したレチクルを製作する。ステップ 3（ウエハ製造）では、シリコンなどの材料を用いてウエハを製造する。ステップ 4（ウエハプロセス）は、前工程と呼ばれ、レチクルとウエハを用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。ステップ 5（組み立て）は、後工程と呼ばれ、ステップ 4 によって作成されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ 6（検査）では、ステップ 5 で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ 7）される。

【 0 0 5 2 】

図 7 は、ステップ 4 のウエハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ 1 1（酸化）では、ウエハの表面を酸化させる。ステップ 1 2（CVD）では、ウエハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ 1 3（電極形成）では、ウエハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ 1 4（イオン打ち込み）では、ウエハにイオンを打ち込む。ステップ 1 5（レジスト処理）では、ウエハに感光剤を塗布する。ステップ 1 6（露光）では、露光装置 1 によってレチクルの回路パターンをウエハに露光する。ステップ 1 7（現像）では、露光したウエハを現像する。ステップ 1 8（エッチング）では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ 1 9（レジスト剥離）では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウエハ上に多重の回路パターンが形成される。かかるデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。このように、露光装置 1 を使用するデバイス製造方法、並びに結果物としてのデバイスも本発明の一側面を構成する。

【 0 0 5 3 】

なお、本実施形態の校正部 8 0 は、図 8 に示すように、フィゾー型の干渉計 1 0 0 にも適用することができる。干渉計 1 0 0 は、後述するように、投影光学系 4 0 の透過波面収差を測定する機能及び投影光学系 4 0 複屈折を測定する機能を実現する構成を有する。図 8 は、校正部 8 0 を適用したフィゾー型の干渉計 1 0 0 の構成を示す概略図である。

【 0 0 5 4 】

干渉計 1 0 0 は、 $\lambda/2$ 板 7 0 3 と、偏光子 7 0 4 と、ビームエキスパンダ 7 0 5 と、ハーフミラー 7 0 6 と、瞳結像レンズ 7 0 8 と、 $\lambda/4$ 板 7 0 9 と、検光子 7 1 0 と、撮像素子 7 1 1 と、空間フィルタ 7 1 2 と、凹面ミラー 7 1 3 とを備える。また、干渉計 1 0 0 は、透過波面収差を測定するために、可干渉距離の長い干渉計用光源 7 2 0 と、波面整形用ピンホール 7 2 1 とを備えている。更に、干渉計 1 0 0 は、対物レンズ 7 0 7 の代わりに、最終面の曲率中心がレンズの焦点位置と一致し、且つ、最終面に入射する光の一部を透過して残りを反射する、所謂、TS レンズ 7 2 2 を備えている。なお、 $\lambda/4$ 板 7 0 9 及び検光子 7 1 0 は、干渉計 1 0 0 の光路に挿脱可能に構成されており、投影光学系 4 0 の透過波面収差を測定する際には測定部 7 0 の光路から退避される。

【 0 0 5 5 】

投影光学系 40 の透過波面収差を測定する際には、ウエハステージ 55 に保持された凹面ミラー 713 を z 軸方向に微小駆動させて位相を変調する、所謂、フリンジスキヤン法を用いる。凹面ミラー 713 は、ウエハステージ 55 で駆動させてもよいし、凹面ミラー 713 にピエゾアクチュエータを取り付けて駆動させてもよい。また、凹面ミラー 713 の代わりに、TS レンズ 722 を z 軸方向に微小駆動させても位相を変調することが可能である。

【0056】

投影光学系 40 の複屈折を測定する際には、 / 4 板 709 及び検光子 710 を干渉計 100 の光路に配置する。また、校正部 80 は投影光学系 40 に載置されているため、干渉計 100 を校正する際には、TS レンズ 722 を校正部 80 の直上に配置する。干渉計 100 において、投影光学系 40 の複屈折を測定するためには、透過波面収差を測定する際に発生する干渉パターンを空間フィルタ 712 の駆動や干渉パターンの平均強度などを用いて除去する必要がある。但し、干渉パターンの除去については、特許文献 1 に開示されているため、ここでの詳細な説明は省略する。また、干渉計 100 (の結像光学系) の複屈折及び投影光学系 40 の複屈折の測定方法は、上述した通りである。

【0057】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図 1】本発明の一側面としての露光装置の構成を示す概略図である。

【図 2】図 1 に示す露光装置の校正部の構成を示す概略断面図である。

【図 3】本発明の一側面としての露光装置の構成を示す概略図である。

【図 4】図 1 に示す露光装置の校正部の別の構成を示す概略図である。

【図 5】図 4 に示す校正部の光学ユニットの構成を示す概略断面図である。

【図 6】デバイスの製造を説明するためのフローチャートである。

【図 7】図 6 に示すステップ 4 のウエハプロセスの詳細なフローチャートである。

【図 8】本実施形態の校正部を適用したフィゾー型の干渉計の構成を示す概略図である。

【符号の説明】

【0059】

1	露光装置
10	光源
20	照明光学系
22	整形光学系
24	インコヒーレント化光学系
26	照明系
30	レチクル
35	レチクルステージ
40	投影光学系
50	ウエハ
55	ウエハステージ
60	制御部
70	測定部
701	ファイバ
702	ファイバポート
703	/ 2 板
704	偏光子
705	ビームエキスパンダ
706	ハーフミラー

10

20

30

40

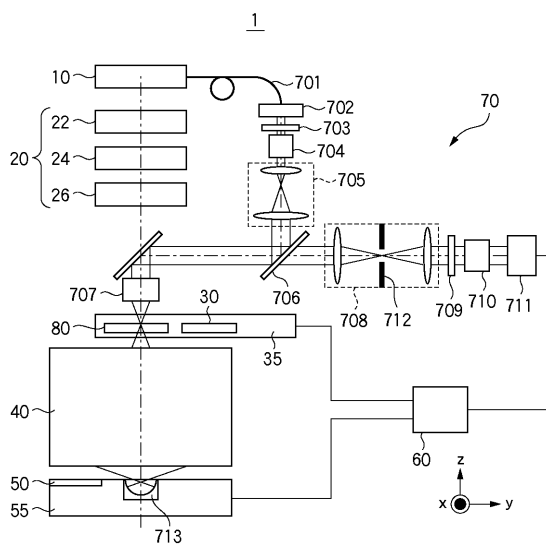
50

7 0 7	対物レンズ
7 0 8	瞳結像レンズ
7 0 9	/ 4 板
7 1 0	検光子
7 1 1	撮像素子
7 1 2	空間フィルタ
7 1 3	凹面ミラー
8 0	校正部
8 2	凹面ミラー
8 4、8 4 a 乃至 8 4 c	凹面ミラー
8 6、8 6 a 乃至 8 6 c	プリズム
8 1 0 a 乃至 8 1 0 c	光学ユニット
8 1 1 a	折り曲げミラー
8 1 2 a	レンズ
8 1 3 a	偏光ビームスプリッタ
8 1 4 a	反射ミラー
1 0 0	干渉計
7 2 0	干渉計用光源
7 2 1	波面整形用ピンホール
7 2 2	T S レンズ

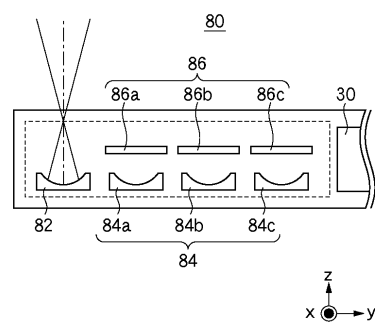
10

20

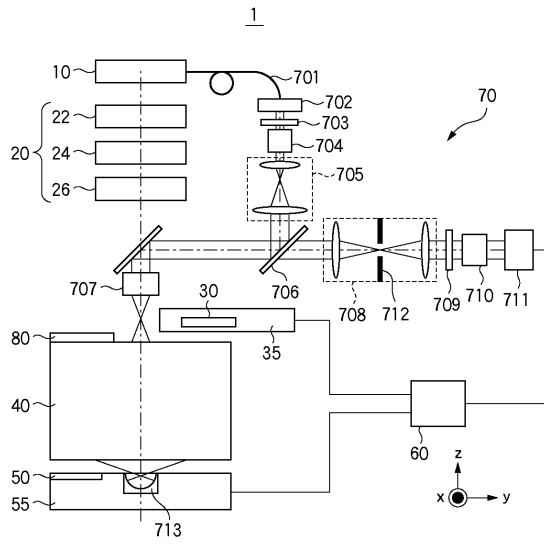
【図 1】



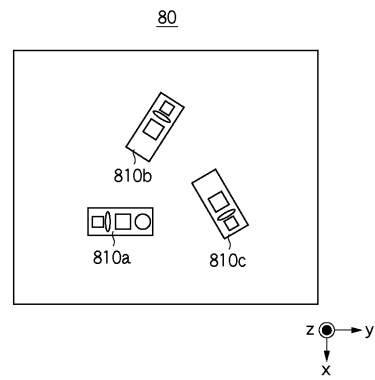
【図 2】



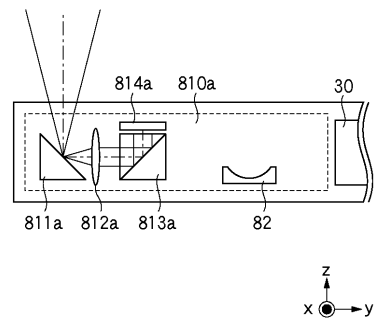
【図 3】



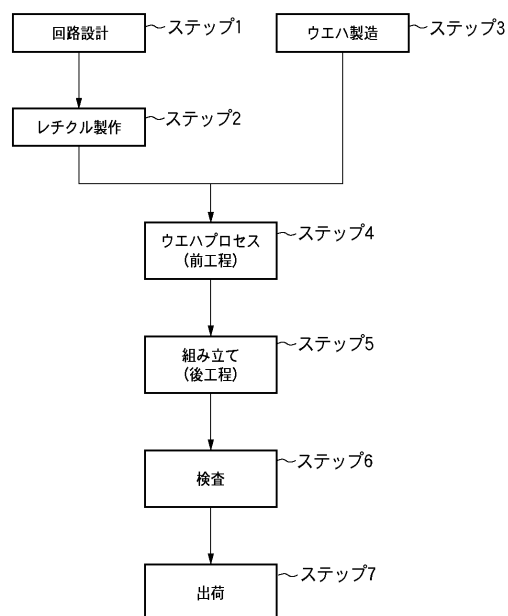
【図 4】



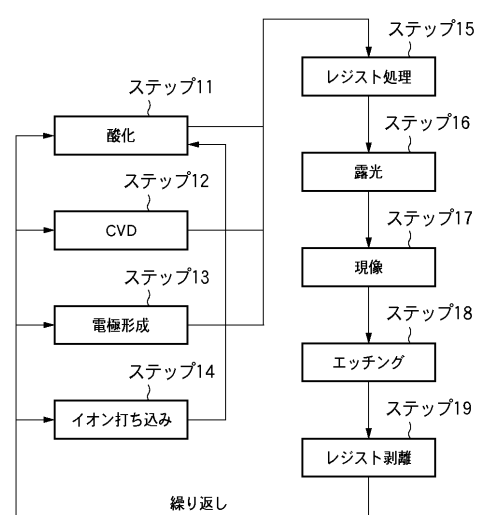
【図 5】



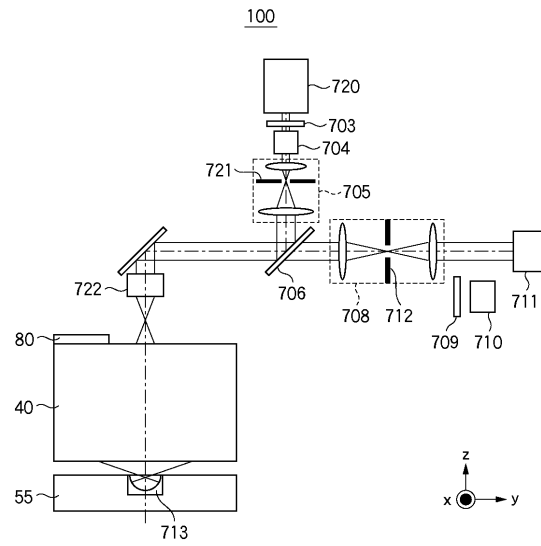
【図 6】



【図 7】



【図 8】



フロントページの続き

- (72)発明者 林 直人
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
- (72)発明者 平井 真一郎
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 赤尾 隼人

- (56)参考文献 特開2007-059566(JP,A)
特開2006-214856(JP,A)
特開2004-061515(JP,A)
特開2001-296206(JP,A)
特開2008-277632(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|---------------|
| H01L | 21/027 |
| G01N | 21/17 - 21/61 |
| G01M | 11/00 - 11/08 |