

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-245085

(P2006-245085A)

(43) 公開日 平成18年9月14日(2006.9.14)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 21/027 (2006.01)	H O 1 L 21/30 5 1 5 D	2 H O 8 7
G O 2 B 13/18 (2006.01)	G O 2 B 13/18	5 F O 4 6
G O 2 B 13/24 (2006.01)	G O 2 B 13/24	
	H O 1 L 21/30 5 1 6 A	

審査請求 未請求 請求項の数 17 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2005-55413 (P2005-55413)	(71) 出願人	000004112
(22) 出願日	平成17年3月1日(2005.3.1)		株式会社ニコン
			東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
		(74) 代理人	100095256
			弁理士 山口 孝雄
		(72) 発明者	三澤 純一
			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
		Fターム(参考)	2H087 KA21 LA01 NA01 NA04 NA09
			RA05 RA32 RA42
			5F046 CB12 CB25 DA13

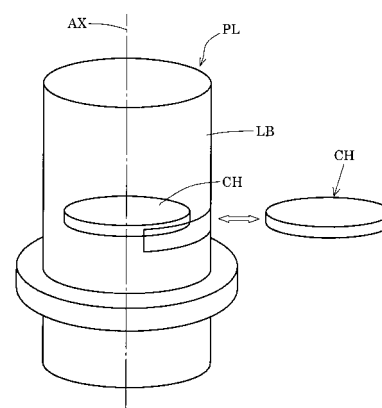
(54) 【発明の名称】 投影光学系、投影光学系の調整方法、露光装置、および露光方法

(57) 【要約】

【課題】 たとえばフィールドの全体に亘って残存する複数回回転対称成分の調整を鏡筒外部からのアクセスにより容易に行うことのできる投影光学系。

【解決手段】 第1面の像を第2面上に形成する投影光学系(PL)の瞳位置の近傍に配置された交換用光透過部材と、この交換用光透過部材を保持し且つ投影光学系の光軸(AX)とほぼ直交する方向に沿って鏡筒(LB)から引き出し可能なレンズ室(CH)とを備えている。交換用光透過部材は、たとえば投影光学系の瞳位置またはその近傍に配置された開口絞りの第2面側に隣接して配置されている。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 面の像を第 2 面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系の瞳位置の近傍に配置された交換用光透過部材と、該交換用光透過部材を保持し且つ前記投影光学系の光軸とほぼ直交する方向に沿って鏡筒から引き出し可能なレンズ室とを備えていることを特徴とする投影光学系。

【請求項 2】

前記交換用光透過部材は、前記瞳位置またはその近傍に配置された開口絞りの第 2 面側に隣接して配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の投影光学系。

【請求項 3】

前記交換用光透過部材の焦点距離 f は、

$$|1/f| < 0.0015 \text{ mm}^{-1}$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の投影光学系。

【請求項 4】

前記投影光学系中の前記交換用光透過部材以外の複数の光透過部材は、前記光軸に沿ってそれぞれ移動可能に構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の投影光学系。

【請求項 5】

前記複数の光透過部材の各々は、前記光軸に対する偏心移動および前記光軸に対する傾斜移動のうちの少なくとも一方の移動が可能に構成されていることを特徴とする請求項 4 に記載の投影光学系。

【請求項 6】

第 1 面の像を第 2 面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系の瞳位置またはその近傍に配置された開口絞りと、

前記開口絞りの第 2 面側に隣接して配置された光透過部材と、

前記光透過部材を保持し且つ前記投影光学系の光軸とほぼ直交する方向に沿って鏡筒から引き出し可能なレンズ室とを備えていることを特徴とする投影光学系。

【請求項 7】

第 1 面の像を第 2 面上に形成する投影光学系の調整方法において、

前記投影光学系の瞳位置の近傍に配置された交換用光透過部材を保持するレンズ室を前記投影光学系の光軸とほぼ直交する方向に沿って鏡筒から引き出す工程と、

前記レンズ室から前記交換用光透過部材を取り出して、前記投影光学系の波面収差を補正するための所要の曲面形状の光学面を有する補正用光透過部材と交換する交換工程と、

前記補正用光透過部材を保持する前記レンズ室を前記光軸とほぼ直交する方向に沿って押し入れて前記鏡筒内の元の位置に戻す工程とを含むことを特徴とする調整方法。

【請求項 8】

前記交換工程は、前記補正用光透過部材を得るために前記レンズ室から取り出した前記交換用光透過部材を加工する加工工程を含むことを特徴とする請求項 7 に記載の調整方法。

【請求項 9】

前記交換工程は、前記補正用光透過部材を得るために前記レンズ室から取り出した前記交換用光透過部材とは別の光透過部材を加工する加工工程を含むことを特徴とする請求項 7 に記載の調整方法。

【請求項 10】

前記加工工程では、前記補正用光透過部材の前記光学面を、ツェルニケ関数で表現される複数回回転対称成分を含む曲面形状に加工することを特徴とする請求項 8 または 9 に記載の調整方法。

【請求項 11】

前記加工工程では、前記補正用光透過部材の前記光学面を、ツェルニケ関数で表現される複数回回転対称成分以外の成分も含む曲面形状に加工することを特徴とする請求項 10 に記載の調整方法。

10

20

30

40

50

【請求項 1 2】

前記所要の曲面形状は、前記投影光学系の波面収差に関する情報に基づいて決められることを特徴とする請求項 7 乃至 1 1 のいずれか 1 項に記載の調整方法。

【請求項 1 3】

前記所要の曲面形状は、前記交換用光透過部材の透過波面データに基づいて決められることを特徴とする請求項 1 2 に記載の調整方法。

【請求項 1 4】

前記補正用光透過部材の前記光学面と前記交換用光透過部材の対応する光学面との間の変化量の P - V 値 (peak to valley: 最大最小の差) X は、

$$X > 10 \text{ nm}$$

10

の条件を満足することを特徴とする請求項 7 乃至 1 3 のいずれか 1 項に記載の調整方法

【請求項 1 5】

請求項 7 乃至 1 3 のいずれか 1 項に記載の調整方法により調整されたことを特徴とする投影光学系。

【請求項 1 6】

前記第 1 面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスク上のパターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板に投影するための請求項 1 乃至 6 および請求項 1 5 のいずれか 1 項に記載の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項 1 7】

20

前記第 1 面に設定されたマスクを照明する照明工程と、請求項 1 乃至 6 および請求項 1 5 のいずれか 1 項に記載の投影光学系を介して前記マスク上のパターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に投影露光する露光工程とを含む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、投影光学系、投影光学系の調整方法、露光装置、および露光方法に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィ工程で製造するための露光装置に用いられる投影光学系の調整方法に関するものである。

30

【背景技術】

【0002】

半導体素子などの製造に使用される露光装置では、マスク（レチクル）上に形成された回路パターンを、投影光学系を介して感光性基板（たとえばウェハ）上に投影転写する。感光性基板にはレジストが塗布されており、投影光学系を介した投影露光によりレジストが感光し、マスクパターンに対応したレジストパターンが得られる。この種の投影光学系には、収差を極限まで低減することが求められている。

【0003】

従来、露光装置用の投影光学系の製造に際して、レンズを光軸に沿って移動させてレンズ間の間隔を変化させる間隔調整や、レンズを光軸に対して垂直にシフト（移動）させたりチルト（傾斜）させたりする偏芯調整などのレンズ調整を行うことにより、投影光学系の低次収差を小さく抑えている。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、投影光学系の組み立てが終了した後は、鏡筒外部からアクセス可能なレンズ調整機構は限られている。特に、鏡筒外部からのアクセスにより補正困難な収差として、アス収差（2 回回転対称成分）や、それよりも高次の収差成分（3 回回転対称成分、4 回回転対称成分など）がある。ここで、アス収差とは、ツェルニケ（Zernike）関数を用いる波面収差の表示において $\sin 2$ や $\cos 2$ を含む収差成分、すなわち 2 成分であ

50

る。以下、アス収差、3回回転対称成分、4回回転対称成分などを、「複数回回転対称成分」と総称する。

【0005】

投影光学系のフィールド（瞳面）の全体に亘って残存する複数回回転対称成分を補正するには、鏡筒からレンズを一旦抜き出し、抜き出したレンズを非球面加工した後に鏡筒内の元の位置に戻すか、あるいは所要の非球面形状に加工されたレンズと交換することが必要である。しかしながら、この手法では、鏡筒にすべてのレンズが組み込まれた状態から例えば1枚のレンズだけを抜き出すために鏡筒を分解し、非球面加工後に再度組み立てを行うことになり、過大な調整作業が求められる。

【0006】

また、投影光学系の瞳位置またはその近傍には開口数を規定するための開口絞りが配置されているが、たとえば二重露光などのために、開口絞りには従来想定された絞り開閉の駆動回数よりも多くの駆動回数が求められている。また、開口絞りを構成する部材から微量の粉塵などが発生することが予想され、開口絞りの使用が長期に亘る場合には、開口絞りから直下のレンズ（一般には光透過部材）上に落下して光学面に付着する微細な粉塵などの影響により透過率の低下や露光量ムラの発生などが発生する可能性がある。

【0007】

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、たとえばフィールドの全体に亘って残存する複数回回転対称成分の調整を鏡筒外部からのアクセスにより容易に行うことのできる投影光学系およびその調整方法を提供することを目的とする。また、本発明は、複数回回転対称成分の調整を鏡筒外部からのアクセスにより容易に行うことのできる投影光学系を用いて、微細なパターンを感光性基板上に高精度に投影露光することのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

【0008】

また、本発明は、開口絞りから直下の光透過部材上に落下する微細な粉塵などの影響を実質的に抑えて透過率の低下などの発生を実質的に回避することのできる投影光学系およびその調整方法を提供することを目的とする。また、本発明は、開口絞りから直下の光透過部材上に落下する微細な粉塵などの影響を実質的に抑えて透過率の低下などの発生を実質的に回避することのできる投影光学系を用いて、微細なパターンを感光性基板上に高精度に投影露光することのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、第1面の像を第2面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系の瞳位置の近傍に配置された交換用光透過部材と、該交換用光透過部材を保持し且つ前記投影光学系の光軸とほぼ直交する方向に沿って鏡筒から引き出し可能なレンズ室とを備えていることを特徴とする投影光学系を提供する。

【0010】

本発明の第2形態では、第1面の像を第2面上に形成する投影光学系において、

前記投影光学系の瞳位置またはその近傍に配置された開口絞りと、

前記開口絞りの第2面側に隣接して配置された光透過部材と、

前記光透過部材を保持し且つ前記投影光学系の光軸とほぼ直交する方向に沿って鏡筒から引き出し可能なレンズ室とを備えていることを特徴とする投影光学系を提供する。

【0011】

本発明の第3形態では、第1面の像を第2面上に形成する投影光学系の調整方法において、

前記投影光学系の瞳位置の近傍に配置された交換用光透過部材を保持するレンズ室を前記投影光学系の光軸とほぼ直交する方向に沿って鏡筒から引き出す工程と、

前記レンズ室から前記交換用光透過部材を取り出して、前記投影光学系の波面収差を補正するための所要の曲面形状の光学面を有する補正用光透過部材と交換する交換工程と、

10

20

30

40

50

前記補正用光透過部材を保持する前記レンズ室を前記光軸とほぼ直交する方向に沿って押し入れて前記鏡筒内の元の位置に戻す工程とを含むことを特徴とする調整方法を提供する。

【0012】

本発明の第4形態では、第3形態の調整方法により調整されたことを特徴とする投影光学系を提供する。

【0013】

本発明の第5形態では、前記第1面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスク上のパターンの像を前記第2面に設定された感光性基板に投影するための第1形態、第2形態または第4形態の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

10

【0014】

本発明の第6形態では、前記第1面に設定されたマスクを照明する照明工程と、第1形態、第2形態または第4形態の投影光学系を介して前記マスク上のパターンの像を前記第2面に設定された感光性基板上に投影露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。

【発明の効果】

【0015】

本発明の投影光学系では、その瞳位置の近傍に配置された交換用光透過部材を保持するレンズ室が、光軸とほぼ直交する方向に沿って鏡筒から引き出し可能に構成されている。したがって、鏡筒を分解することなく、ひいては他の光学部材に影響を実質的に与えることなく、交換用光透過部材を内蔵するレンズ室を鏡筒から引き出すことができる。そして、レンズ室から交換用光透過部材を取り出し、投影光学系の波面収差を補正（調整）するための所要の曲面形状の光学面を有する補正用光透過部材と交換し、補正用光透過部材を保持するレンズ室を鏡筒内の元の位置に戻すことができる。

20

【0016】

こうして、本発明の投影光学系では、たとえばフィールドの全体に亘って残存する複数回回転対称成分の調整を鏡筒外部からのアクセスにより容易に行うことができる。また、本発明の露光装置および露光方法では、複数回回転対称成分の調整を鏡筒外部からのアクセスにより容易に行うことのできる投影光学系を用いているので、微細なパターンを感光性基板上に高精度に投影露光することができ、ひいては高精度で良好なマイクロデバイスを製造することができる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。なお、図1において、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を、光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に平行にY軸を、光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に垂直にX軸を設定している。

【0018】

図1を参照すると、本実施形態の露光装置は、照明光（露光光）を供給するための光源LSとして、たとえば193nmの波長を有する光を供給するArFエキシマレーザ光源を備えている。光源LSから射出された光は、照明系ILを介して、所定のパターンが形成された投影原版としてのレチクル（マスク）Rを照明する。

40

【0019】

照明系ILは、露光光の照度分布を均一化するためのフライアイレンズ、照明開口絞り、可変視野絞り（レチクルブラインド）、コンデンサレンズ系等から構成されている。レチクルRは、レチクルホルダRHを介して、レチクルステージRS上においてXY平面に平行に保持されている。レチクルステージRSは、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はレチクル移動鏡RMを用いた干渉計RIFによって計測され且つ位置制御されるように構成

50

されている。

【0020】

レチクルRに形成されたパターンからの光は、投影光学系PLを介して、フォトリジストの塗布されたウェハ（感光性基板）W上にレチクルパターン像を形成する。ウェハWは、ウェハテーブル（ウェハホルダ）WTを介して、ウェハステージWS上においてXY平面に平行に保持されている。ウェハステージWSは、図示を省略した駆動系の作用によりウェハ面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウェハ移動鏡WMを用いた干渉計WIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

【0021】

こうして、本実施形態では、レチクルR上のパターン領域の全体を照明し、レチクルRおよびウェハWを投影光学系PLに対して静止させた状態で、パターン領域内のパターン像をウェハW上の1つの露光領域に一括露光する。そして、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面内においてウェハWを二次元的に駆動制御しながら各露光領域に対してレチクルRのパターンを一括露光する動作を繰り返すことにより、ステップ・アンド・リピート方式にしたがってウェハWの各露光領域にはレチクルRのパターンが逐次露光される。

【0022】

あるいは、本実施形態では、レチクルR上のパターン領域の一部の領域を照明し、レチクルRおよびウェハWを投影光学系PLに対してX方向（またはY方向）に沿って相対移動させつつ、レチクルR上のパターン領域内のパターンをウェハW上の1つの露光領域に走査露光する。そして、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面内においてウェハWを二次元的に駆動制御しながら各露光領域に対してレチクルRのパターンを走査露光する動作を繰り返すことにより、ステップ・アンド・スキャン方式にしたがってウェハWの各露光領域にはレチクルRのパターンが逐次露光される。

【0023】

図2は、本実施形態にかかる投影光学系のレンズ構成を概略的に示す図である。図2を参照すると、本実施形態の投影光学系PLは、レチクル側から順に、レチクル側に平面を向けた平凹レンズL1と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL2と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL3と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL4と、両凸レンズL5と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL6と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL7と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL8と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL9と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL10と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL11と、両凹レンズL12と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズL13と、両凸レンズL14と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL15と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL16と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL17と、開口絞りASと、平行平板P1と、両凹レンズL18と、両凸レンズL19と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL20と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL21と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL22と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL23と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL24と、ウェハ側に平面を向けた平凸レンズL25とにより構成されている。

【0024】

本実施形態の投影光学系PLでは、露光光の波長が193nmであり、投影倍率の大きさが1/4倍であり、像側（ウェハ側）の開口数NAが0.85であり、最大像高Ymが27.7mmである。また、投影光学系PLを構成する光透過部材（レンズおよび平行平板）は石英（SiO₂）または蛍石（CaF₂）により形成され、石英および蛍石の2種類の光学材料を使い分けることにより色収差の補正が行われている。具体的に、レンズL24およびL25が蛍石により形成され、他の光透過部材は石英により形成されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 5 】

本実施形態において、組み立てた投影光学系 P L のフィールド（瞳面）の全体に亘って複数回回転対称成分が許容範囲を超えて残存している場合がある。ここで、「複数回回転対称成分」とは、ツェルニケ（Zernike）関数を用いる波面収差の表示において $\sin 2$ や $\cos 2$ を含む 2 成分（2 回回転対称成分：アス収差）、 $\sin 3$ や $\cos 3$ を含む 3 成分（3 回回転対称成分）、 $\sin 4$ や $\cos 4$ を含む 4 成分（4 回回転対称成分）などである。

【 0 0 2 6 】

以下、波面収差のツェルニケ関数表示、すなわち波面収差の瞳内の分布を表すツェルニケ多項式について基本的な事項を説明する。波面収差の瞳内の分布を表すツェルニケ多項式の表現では、座標系として瞳極座標（ ρ , θ ）を用い、直交関数系としてツェルニケの円筒関数を用いる。すなわち、波面収差 $W(\rho, \theta)$ は、ツェルニケの円筒関数 $Z_i(\rho, \theta)$ を用いて、次の式（a）に示すように展開される。

【 0 0 2 7 】

$$\begin{aligned} W(\rho, \theta) &= \sum C_i \cdot Z_i(\rho, \theta) \\ &= C_1 \cdot Z_1(\rho, \theta) + C_2 \cdot Z_2(\rho, \theta) \\ &\quad \dots + C_n \cdot Z_n(\rho, \theta) \quad (a) \end{aligned}$$

【 0 0 2 8 】

ここで、 C_i は、ツェルニケ多項式の各項の係数である。以下、ツェルニケ多項式の各項の関数系 $Z_i(\rho, \theta)$ のうち、第 1 項～第 36 項にかかる関数 $Z_1 \sim Z_{36}$ を、次の表（1）に示す。

【 0 0 2 9 】

表（1）

Z_1	: 1
Z_2	: $\cos 2\theta$
Z_3	: $\sin 2\theta$
Z_4	: $6\rho^2 - 6$
Z_5	: $6\rho^2 \cos 2\theta$
Z_6	: $6\rho^2 \sin 2\theta$
Z_7	: $(12\rho^2 - 6)\cos 4\theta$
Z_8	: $(12\rho^2 - 6)\sin 4\theta$
Z_9	: $36\rho^4 - 48\rho^2 + 6$
Z_{10}	: $36\rho^4 \cos 3\theta$
Z_{11}	: $36\rho^4 \sin 3\theta$
Z_{12}	: $(48\rho^4 - 36\rho^2)\cos 2\theta$
Z_{13}	: $(48\rho^4 - 36\rho^2)\sin 2\theta$
Z_{14}	: $(120\rho^4 - 120\rho^2 + 36)\cos 4\theta$
Z_{15}	: $(120\rho^4 - 120\rho^2 + 36)\sin 4\theta$
Z_{16}	: $240\rho^6 - 360\rho^4 + 120\rho^2 - 6$
Z_{17}	: $240\rho^6 \cos 4\theta$
Z_{18}	: $240\rho^6 \sin 4\theta$
Z_{19}	: $(120\rho^6 - 120\rho^4)\cos 3\theta$
Z_{20}	: $(120\rho^6 - 120\rho^4)\sin 3\theta$
Z_{21}	: $(120\rho^6 - 120\rho^4 + 36\rho^2)\cos 2\theta$
Z_{22}	: $(120\rho^6 - 120\rho^4 + 36\rho^2)\sin 2\theta$
Z_{23}	: $(360\rho^6 - 360\rho^4 + 120\rho^2 - 6)\cos 4\theta$
Z_{24}	: $(360\rho^6 - 360\rho^4 + 120\rho^2 - 6)\sin 4\theta$
Z_{25}	: $720\rho^8 - 1440\rho^6 + 960\rho^4 - 240\rho^2 + 6$
Z_{26}	: $720\rho^8 \cos 5\theta$
Z_{27}	: $720\rho^8 \sin 5\theta$

10

30

40

50

$$\begin{aligned}
Z_{28} &: (6^2 - 5)^4 \cos 4 \\
Z_{29} &: (6^2 - 5)^4 \sin 4 \\
Z_{30} &: (21^4 - 30^2 + 10)^3 \cos 3 \\
Z_{31} &: (21^4 - 30^2 + 10)^3 \sin 3 \\
Z_{32} &: (56^6 - 104^4 + 60^2 - 10)^2 \cos 2 \\
Z_{33} &: (56^6 - 104^4 + 60^2 - 10)^2 \sin 2 \\
Z_{34} &: (126^8 - 280^6 + 210^4 - 60^2 + 5) \cos \\
Z_{35} &: (126^8 - 280^6 + 210^4 - 60^2 + 5) \sin \\
Z_{36} &: 252^{10} - 630^8 + 560^6 - 210^4 + 30^2 - 1
\end{aligned}$$

【0030】

10

ちなみに、非球面形状（一般には曲面形状）の光学面も同様に、ツェルニケ多項式（ a ）を用いて表わすことができる。前述したように、従来技術では、投影光学系 PL のフィールドの全体に亘って残存する複数回回転対称成分を補正するには、鏡筒からレンズを一旦抜き出し、抜き出したレンズを非球面加工した後に鏡筒内の元の位置に戻すか、あるいは所要の非球面形状に加工されたレンズと交換することが必要である。しかしながら、この手法では、鏡筒にすべてのレンズが組み込まれた状態から例えば 1 枚のレンズだけを抜き出すために鏡筒を分解し、非球面加工後に再度組み立てを行うことになり、過大な調整作業が求められる。

【0031】

そこで、本実施形態では、図 3 に示すように、投影光学系 PL を構成する複数の光透過部材のうち、瞳位置の近傍に配置された平行平板 P1（図 3 では不図示）を保持するレンズ室 CH を光軸 AX とほぼ直交する方向に沿って鏡筒 LB から引き出し可能に構成している。平行平板 P1 は、投影光学系 PL の瞳位置またはその近傍に配置された開口絞り AS のウェハ側（像側）に隣接して配置された光透過部材であり、後述するように交換用光透過部材を構成している。

20

【0032】

また、本実施形態では、交換用光透過部材としての平行平板 P1 以外の複数（好ましくは 5 つ以上）のレンズが、光軸 AX に沿った移動、光軸 AX に対する偏心移動、および光軸 AX に対する傾斜移動が可能のようにそれぞれ構成されている。換言すると、本実施形態では、レンズを光軸に沿って移動させてレンズ間の間隔を変化させる間隔調整や、レンズを光軸に対して垂直にシフト（移動）させたりチルト（傾斜）させたりする偏芯調整などのレンズ調整が可能である。

30

【0033】

以下、図 4 のフローチャートを参照して、本実施形態にかかる投影光学系 PL の調整方法を説明する。図 4 を参照すると、本実施形態の調整方法では、組み立てた投影光学系 PL の波面収差を測定する（S11）。ここで、投影光学系 PL は、たとえば上述の間隔調整や偏芯調整などのレンズ調整を経て予め収差がある程度補正されているものとする。なお、投影光学系 PL の波面収差の測定に際しては、たとえば米国特許第 5,898,501 号（特開平 10-38757 号および特開平 10-38758 号に対応）に開示されたフィゾー型干渉計を用いることができる。

40

【0034】

また、特開 2000-97617 号に開示された PDI（ポイントデフレーション干渉計）や、特開平 10-284368 号および米国特許第 4,309,602 号に開示された位相回復法や、WO99/60361 号、WO00/55890 号、および特願 2000-258085 号に開示された S/H（シャック・ハルトマン）法や、米国特許第 5,828,455 号及び米国特許第 5,978,085 号に開示された Litel Instruments Inc. 社の手法などを用いることもできる。

【0035】

さらに、特開 2000-146757 号に開示されたハーフトーン位相シフトマスクを用いる手法や、特開平 10-170399 号、Jena Review 1991/1, pp8-12 "Wavefront

50

analysis of photolithographic lenses" Wolfgang Freitag et al., Applied Optics Vol. 31, No.13, May 1, 1992, pp2284 2290. "Aberration analysis in aerial images formed by lithographic lenses", Wolfgang Freitag et al., および特開 2002-22609 号に開示されているように、瞳内の一部を通過する光束を用いる手法などを用いることもできる。

【0036】

なお、上述の説明では、干渉計などを用いて投影光学系 PL の波面収差を測定しているが、たとえば光線追跡により投影光学系 PL の波面収差を算出することもできる。こうして、本実施形態の収差測定工程 S11 では、組み立てられ且つレンズ調整された後の投影光学系 PL の残収差として、図 5 に模式的に示すような形状の波面収差が測定される。図 5 に示す残存波面収差は、アス収差などの複数回回転対称成分を含んでいる。

【0037】

次いで、本実施形態では、投影光学系 PL の瞳位置の近傍に配置された交換用光透過部材としての平行平板 P1 を保持するレンズ室 CH を、投影光学系 PL の光軸 AX とほぼ直交する方向に沿って鏡筒 LB から引き出す (S12)。すなわち、引き出し工程 S12 では、鏡筒 LB を分解することなく、ひいては他の光学部材に影響を実質的に与えることなく、平行平板 P1 を内蔵するレンズ室 CH が鏡筒 LB から引き出される。ちなみに、レンズ室 CH は、投影光学系 PL の露光装置への搭載後においても同様に鏡筒 LB から引き出し可能である。

【0038】

次いで、レンズ室 CH から交換用光透過部材としての平行平板 P1 を取り出して、投影光学系 PL の波面収差を補正するための所要の曲面形状の光学面を有する補正用光透過部材と交換する (S13)。具体的に、交換工程 S13 では、補正用光透過部材を得るために、レンズ室 CH から取り出した交換用光透過部材としての平行平板 P1 を所要の非球面形状に加工する (S13a)。

【0039】

あるいは、交換工程 S13 では、補正用光透過部材を得るために、レンズ室 CH から取り出した交換用光透過部材としての平行平板 P1 とは別の光透過部材、たとえば平行平板 P1 とほぼ同じ形状の平行平板 P1a (不図示) を所要の非球面形状に加工する (S13b)。いずれにしても、加工工程 (S13a または S13b) では、補正用光透過部材 (レンズ室 CH から取り出した平行平板 P1 または平行平板 P1 とは別の平行平板 P1a に対応) の光学面を、ツェルニケ関数で表現される複数回回転対称成分を含む曲面形状に加工する。一般には、補正用光透過部材の光学面を、ツェルニケ関数で表現される複数回回転対称成分以外の成分も含む曲面形状に加工してもよい。

【0040】

具体的に、本実施形態の加工工程 (S13a または S13b) では、図 5 に示す残存波面収差、特にアス収差 (2 成分) を含む複数回回転対称成分を補正 (調整) するために、補正用光透過部材の光学面が図 6 に模式的に示すような非球面形状に加工される。図 6 に示す非球面形状は、ツェルニケ多項式 (a) の第 5 項にかかる関数 Z5 の係数 C5 を 5nm とし、第 5 項以外の他の項にかかる関数の係数を 0nm としたときに得られる面形状に対応している。

【0041】

このとき、補正用光透過部材の光学面と加工前の元の平面 (交換用光透過部材としての平行平板 P1 の対応する光学面) との間の変化量の P-V 値 (peak to valley: 最大最小の差) X は約 10nm になり、P-V 値 X が約 10nm の光学面の変化により 5m rms 程度の波面収差が補正される。波面収差量の単位 m rms において、m は光の波長 ($\lambda = 193\text{nm}$) の $1/1000$ を、rms (root mean square) は自乗平均平方根 (あるいは平方自乗平均) をそれぞれ示している。

【0042】

次いで、補正用光透過部材を保持するレンズ室 CH を、光軸 AX とほぼ直交する方向に

10

20

30

40

50

沿って押し入れて鏡筒 L B 内の元の位置に戻す (S 1 4)。こうして、補正用光透過部材の非球面形状に加工された光学面の作用により、図 7 に模式的に示すように投影光学系 P L の残存波面収差が良好に補正 (調整) される。このとき、平行平板 P 1 から補正用光透過部材への変更に起因して低次収差が副次的に発生することがある。この場合、必要に応じて、間隔調整や偏芯調整などのレンズ調整により副次的に発生した低次収差を補正する (S 1 5)。

【 0 0 4 3 】

以上のように、本実施形態の投影光学系 P L では、その瞳位置の近傍に配置された平行平板 P 1 を保持するレンズ室 C H が、光軸 A X とほぼ直交する方向に沿って鏡筒 L B から引き出し可能に構成されている。したがって、鏡筒 L B を分解することなく、ひいては他の光学部材に影響を実質的に与えることなく、平行平板 P 1 を内蔵するレンズ室 C H を鏡筒 L B から引き出すことができる。そして、レンズ室 C H から平行平板 P 1 を取り出し、投影光学系 P L の波面収差を補正 (調整) するための所要の非球面形状 (一般には曲面形状) の光学面を有する補正用光透過部材と交換し、補正用光透過部材を保持するレンズ室 C H を鏡筒 L B 内の元の位置に戻すことができる。

10

【 0 0 4 4 】

こうして、本実施形態の投影光学系 P L では、たとえばフィールドの全体に亘って残存する複数回回転対称成分の調整を鏡筒外部からのアクセスにより容易に行うことができる。また、本実施形態の露光装置では、複数回回転対称成分の調整を鏡筒外部からのアクセスにより容易に行うことのできる投影光学系 P L を用いているので、レチクル R の微細なパターンを感光性基板としてのウェハ W 上に高精度に投影露光することができる。

20

【 0 0 4 5 】

なお、上述の実施形態では、交換用光透過部材として平行平板 P 1 を用いているが、これに限定されることなく、たとえば実質的に屈折力を有するレンズを交換用光透過部材として用いることもできる。しかしながら、補正用光透過部材を鏡筒 L B 内の元の位置に戻す際に偏心収差が発生し難いように構成するには、できるだけ小さい屈折力を有する交換用光透過部材を用いることが好ましい。

【 0 0 4 6 】

具体的に、補正用光透過部材を鏡筒内の元の位置に戻す際に発生する偏心収差を小さく抑えるために、交換用光透過部材の焦点距離 f は次の条件式 (1) を満足することが好ましい。

30

$$| 1 / f | < 0 . 0 0 1 5 \text{ mm}^{-1} \quad (1)$$

【 0 0 4 7 】

また、上述の実施形態では、交換用光透過部材としての平行平板 P 1 が、投影光学系 P L の瞳位置またはその近傍に配置された開口絞り A S のウェハ側に隣接して配置されている。しかしながら、これに限定されることなく、交換用光透過部材としての平行平板 P 1 を投影光学系 P L の瞳位置の近傍に配置することにより、たとえばフィールドの全体に亘って残存する複数回回転対称成分を調整 (補正) することができる。

【 0 0 4 8 】

ただし、開口絞り A S のウェハ側に隣接して交換用光透過部材 (平行平板 P 1) を配置する構成では、開口絞り A S から直下の交換用光透過部材上に微細な粉塵などが落下しても、微細な粉塵などが光学面に付着した交換用光透過部材を上述の手法にしたがって新たな交換用光透過部材と適時置換することにより、透過率の低下や露光量ムラの発生などを回避することができる。あるいは、微細な粉塵などが光学面に付着した交換用光透過部材を上述の手法にしたがって鏡筒から適時取り出し、光学面から微細な粉塵などを除去して元の位置に戻すことにより、透過率の低下や露光量ムラの発生などを回避することができる。

40

【 0 0 4 9 】

また、上述の実施形態では、補正用光透過部材の光学面に付与すべき所要の曲面形状 (ひいては加工形状) が、主として投影光学系 P L の波面収差に関する情報 (波面収差の測

50

定結果)に基づいて決定される。しかしながら、これに限定されることなく、たとえば交換用光透過部材としての平行平板 P 1 の透過波面収差を予め測定し、交換用光透過部材 (P 1) の透過波面データと投影光学系 P L の波面収差情報とに基づいて最適な加工形状を決定することが好ましい。

【0050】

ところで、上述の実施形態では、補正用光透過部材の光学面と加工前の元の平面 (交換用光透過部材としての平行平板 P 1 の対応する光学面) との間の変化量の P - V 値 X が約 10 nm であり、P - V 値 X が約 10 nm の光学面の変化により 5 m r m s 程度の波面収差が補正される。一般に、補正用光透過部材が必要最小限の収差補正能力を持つには、光学面の変化量の P - V 値 X が次の条件式 (2) を満足することが好ましい。

$$X > 10 \text{ nm} \quad (2)$$

【0051】

上述の実施形態の露光装置では、照明装置によってレチクル (マスク) を照明し (照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する (露光工程) ことにより、マイクロデバイス (半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等) を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図 8 のフローチャートを参照して説明する。

【0052】

先ず、図 8 のステップ 301 において、1 ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ 302 において、その 1 ロットのウェハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ 303 において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その 1 ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ 304 において、その 1 ロットのウェハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ 305 において、その 1 ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。

【0053】

その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。なお、ステップ 301 ~ ステップ 305 では、ウェハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウェハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

【0054】

また、本実施形態の露光装置では、プレート (ガラス基板) 上に所定のパターン (回路パターン、電極パターン等) を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図 9 のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図 9 において、パターン形成工程 401 では、本実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板 (レジストが塗布されたガラス基板等) に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程 402 へ移行する。

【0055】

次に、カラーフィルター形成工程 402 では、R (Red)、G (Green)、B (Blue) に対応した 3 つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、または R、G、B の 3 本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィル

10

20

30

40

50

ターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程 402 の後に、セル組み立て工程 403 が実行される。セル組み立て工程 403 では、パターン形成工程 401 にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程 402 にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。

【0056】

セル組み立て工程 403 では、例えば、パターン形成工程 401 にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程 402 にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。その後、モジュール組み立て工程 404 にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

10

【0057】

なお、上述の実施形態では、ArFエキシマレーザ光源を用いているが、これに限定されることなく、たとえば248nmの波長を有する光を供給するKrFエキシマレーザ光源のような他の適当な光源を用いることもできる。また、上述の実施形態では、露光装置に搭載される投影光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の一般的な投影光学系に対して本発明を適用することもできる。

【図面の簡単な説明】

【0058】

20

【図1】本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】本実施形態にかかる投影光学系のレンズ構成を概略的に示す図である。

【図3】本実施形態の投影光学系の特徴的な要部構成を概略的に示す図である。

【図4】本実施形態にかかる投影光学系の調整方法の工程を示すフローチャートである。

【図5】レンズ調整後の投影光学系に残存する波面収差の形状を模式的に示す図である。

【図6】図5の残存波面収差を補正するための補正用光透過部材の非球面形状の光学面の形状を模式的に示す図である。

【図7】本実施形態の調整方法により補正された後の投影光学系の波面収差を模式的に示す図である。

【図8】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

30

【図9】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

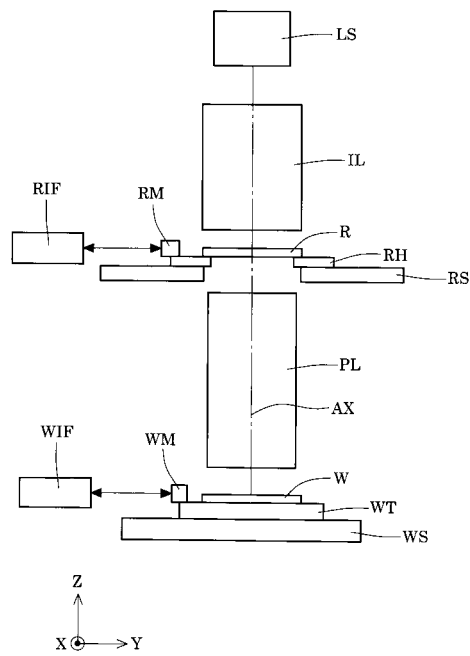
【符号の説明】

【0059】

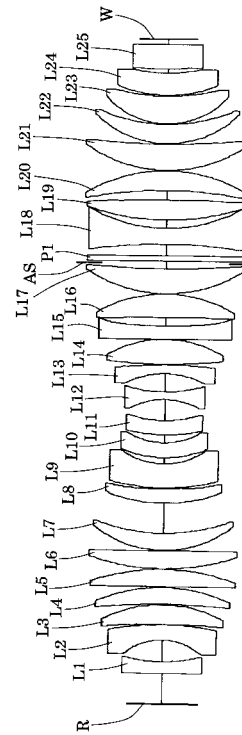
L S 光源
I L 照明光学系
R レチクル
R S レチクルステージ
P L 投影光学系
A S 開口絞り
L i レンズ成分
P 1 平行平板（交換用光透過部材）
C H 引き出し可能なレンズ室
L B 鏡筒
W ウェハ
W S ウェハステージ

40

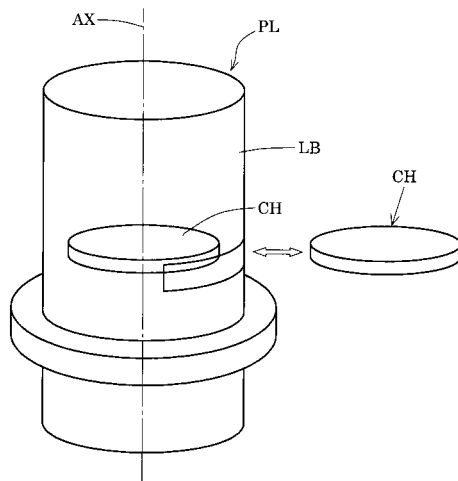
【図 1】



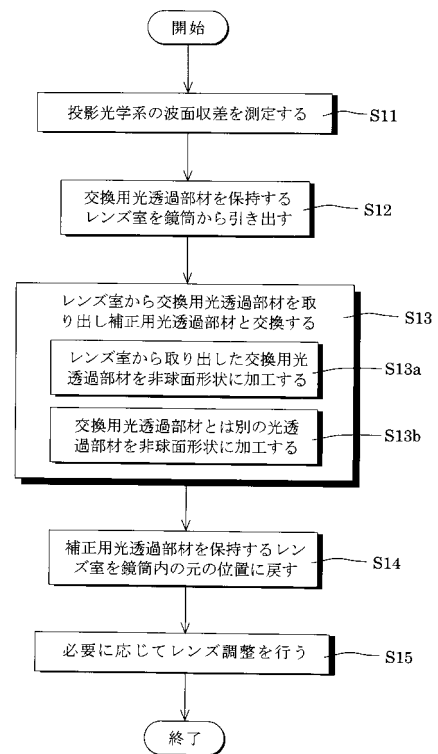
【図 2】



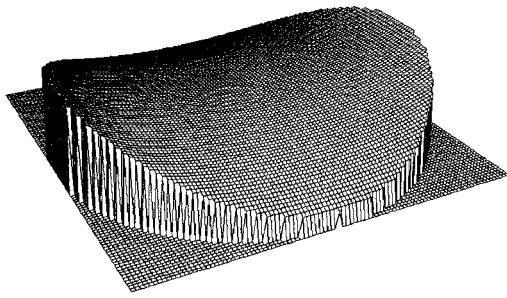
【図 3】



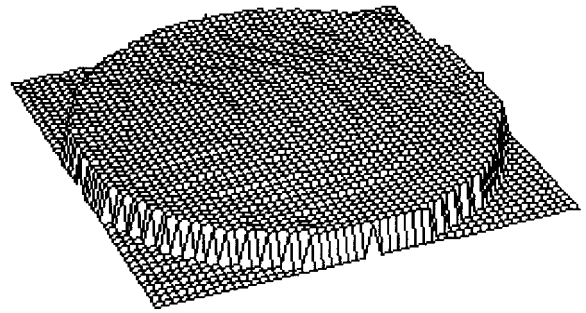
【図 4】



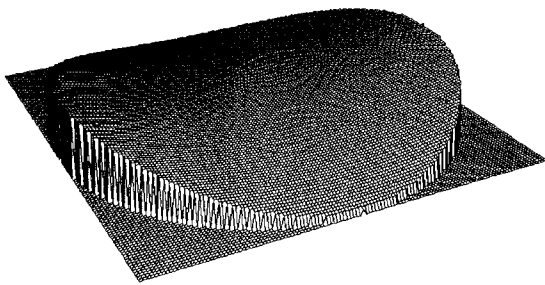
【図 5】



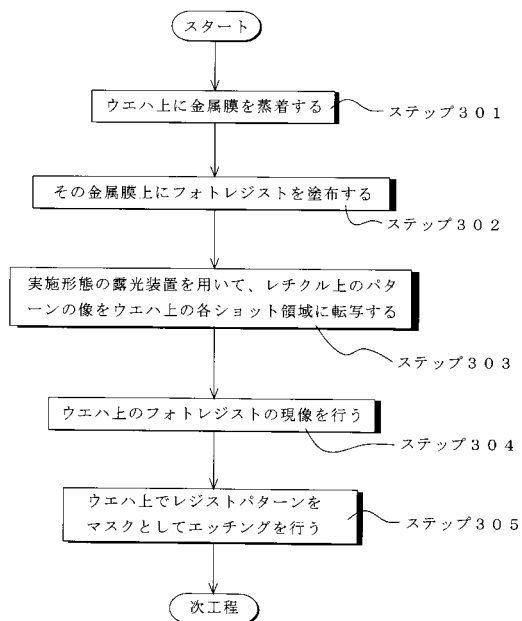
【図 7】



【図 6】



【図 8】



【図 9】

