

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5835968号
(P5835968)

(45) 発行日 平成27年12月24日 (2015. 12. 24)

(24) 登録日 平成27年11月13日 (2015. 11. 13)

(51) Int. Cl.

G 0 3 F 7 / 2 0 (2 0 0 6 . 0 1)

F 1

G 0 3 F 7 / 2 0 5 2 1

請求項の数 11 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2011-149496 (P2011-149496)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成23年7月5日 (2011. 7. 5)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2013-16710 (P2013-16710A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成25年1月24日 (2013. 1. 24)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	平成26年6月30日 (2014. 6. 30)		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】 決定方法、プログラム及び露光方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マスクを照明する照明光学系と、前記マスクのパターンを基板に投影する投影光学系とを備える露光装置における露光条件をコンピュータを用いて決定する決定方法であって、前記照明光学系の瞳面に形成する光強度分布に関する照明パラメータ及び前記投影光学系の収差に関する収差パラメータを設定する第1ステップと、

前記照明パラメータ及び前記収差パラメータを用いて、前記投影光学系の物体面に配置されるマスクのパターンに対応して前記投影光学系の像面に形成されるマスクのパターンの光学像の像性能を算出する第2ステップと、

前記照明パラメータ及び前記収差パラメータを変更しながら前記第2ステップを繰り返す第3ステップと、

前記第2ステップで算出された前記像性能に基づいて、前記投影光学系の像面に形成される前記マスクのパターンの光学像の像性能が前記投影光学系の像面に形成すべき目標パターンに対して設定された評価基準を満たすように前記照明パラメータの値及び前記収差パラメータの値を決定し、決定した前記照明パラメータの値及び前記収差パラメータの値のそれぞれで規定される前記照明光学系の瞳面に形成する光強度分布及び前記投影光学系の収差を前記露光条件として決定する第4ステップと、

を有することを特徴とする決定方法。

【請求項 2】

前記第1ステップにおいて、前記投影光学系の物体面に配置するマスクのパターンに関

10

20

するマスクパラメータを設定し、

前記第 2 ステップにおいて、前記マスクパラメータを用いて前記像性能を算出し、

前記第 3 ステップにおいて、前記マスクパラメータを変更しながら前記第 2 ステップを繰り返す、

前記第 4 ステップにおいて、前記投影光学系の像面に形成される前記マスクのパターンの光学像の像性能が前記投影光学系の像面に形成すべき目標パターンに対して設定された評価基準を満たすように前記マスクパラメータの値、前記照明パラメータの値及び前記収差パラメータの値を決定し、決定した前記マスクパラメータの値、前記照明パラメータの値及び前記収差パラメータの値のそれぞれで規定されるマスクのパターン、前記照明光学系の瞳面に形成する光強度分布及び前記投影光学系の収差を前記露光条件として決定する、ことを特徴とする請求項 1 に記載の決定方法。

10

【請求項 3】

前記第 1 ステップでは、前記投影光学系に設定すべき収差量を表すパラメータを前記収差パラメータとして設定することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の決定方法。

【請求項 4】

前記第 1 ステップでは、前記投影光学系に設定された初期収差量から調整すべき収差量を表すパラメータを前記収差パラメータとして設定することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の決定方法。

【請求項 5】

前記収差パラメータは、前記投影光学系を構成する光学素子の駆動量を表すパラメータを含むことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の決定方法。

20

【請求項 6】

前記像性能は、前記投影光学系の像面における焦点深度、前記投影光学系の像面に形成される前記マスクのパターンの光学像の寸法と前記目標パターンの寸法との差分及び前記投影光学系の像面に形成される前記マスクのパターンの光学像の露光余裕度の少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちいずれか 1 項に記載の決定方法。

【請求項 7】

前記投影光学系の像面に形成されるマスクのパターンの光学像を評価するための評価場所を前記投影光学系の像面に設定するステップを有し、

前記第 2 ステップにおいて、前記評価場所に形成される前記マスクのパターンの光学像を算出することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のうちいずれか 1 項に記載の決定方法。

30

【請求項 8】

前記収差パラメータは、前記投影光学系の光軸からの距離の関数で表されることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の決定方法。

【請求項 9】

マスクを照明する照明光学系と、前記マスクのパターンを基板に投影する投影光学系とを備える露光装置における露光条件を決定する決定方法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、

前記照明光学系の瞳面に形成する光強度分布に関する照明パラメータ及び前記投影光学系の収差に関する収差パラメータを設定する第 1 ステップと、

前記照明パラメータ及び前記収差パラメータを用いて、前記投影光学系の物体面に配置されるマスクのパターンに対応して前記投影光学系の像面に形成されるマスクのパターンの光学像の像性能を算出する第 2 ステップと、

前記照明パラメータ及び前記収差パラメータを変更しながら前記第 2 ステップを繰り返す第 3 ステップと、

40

前記第 2 ステップで算出された前記像性能に基づいて、前記投影光学系の像面に形成される前記マスクのパターンの光学像の像性能が前記投影光学系の像面に形成すべき目標パターンに対して設定された評価基準を満たすように前記照明パラメータの値及び前記収差

50

パラメータの値を決定し、決定した前記照明パラメータの値及び前記収差パラメータの値のそれぞれで規定される前記照明光学系の瞳面に形成する光強度分布及び前記投影光学系の収差を前記露光条件として決定する第4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1ステップにおいて、前記投影光学系の物体面に配置するマスクのパターンに関するマスクパラメータを設定し、

前記第2ステップにおいて、前記マスクパラメータを用いて前記像性能を算出し、

前記第3ステップにおいて、前記マスクパラメータを変更しながら前記第2ステップを繰り返し、

前記第4ステップにおいて、前記投影光学系の像面に形成される前記マスクのパターンの光学像の像性能が前記投影光学系の像面に形成すべき目標パターンに対して設定された評価基準を満たすように前記マスクパラメータの値、前記照明パラメータの値及び前記収差パラメータの値を決定し、決定した前記マスクパラメータの値、前記照明パラメータの値及び前記収差パラメータの値のそれぞれで規定されるマスクのパターン、前記照明光学系の瞳面に形成する光強度分布及び前記投影光学系の収差を前記露光条件として決定する、ことを特徴とする請求項9に記載のプログラム。

【請求項11】

請求項1に記載の決定方法で決定された露光条件に含まれる光強度分布を照明光学系の瞳面に形成するステップと、

前記照明光学系の瞳面に形成した光強度分布からの光でマスクのパターンを照明するステップと、

前記露光条件に含まれる収差を投影光学系に設定し、前記投影光学系を介して、前記マスクのパターンからの光を基板に投影するステップと、

を有す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、露光装置における露光条件を決定する決定方法、プログラム及び露光方法に関する。

【背景技術】

【0002】

フォトリソグラフィ技術を用いて半導体デバイスを製造する際に、マスク（レチクル）のパターンを投影光学系によって基板（ウエハなど）に投影してパターンを転写する露光装置が使用されている。近年では、半導体デバイスの微細化（即ち、回路線幅の微細化）が進み、露光装置においては、更なる高解像度を実現する技術が要求されている。

【0003】

露光装置では、マスクのパターン（の像）を基板上の所望の位置に所望の形状で転写することが求められる。但し、露光時には幾つかのエラー要因が存在し、マスクのパターンが所望の位置及び所望の形状から外れた状態で転写されることがある。エラー要因としては、例えば、基板を露光する際の露光量やフォーカス位置が挙げられる。なお、露光量が理想的な状態でなくなる要因としては、光源の不安定性や照明領域における照度分布の不均一性などがある。フォーカス位置が理想的な状態でなくなる要因としては、基板の保持位置の不安定性や基板の凹凸などがある。

【0004】

また、投影光学系の収差もエラー要因の1つと考えることができる。投影光学系には、収差を調整（補正）するための収差調整機構が備えられている（特許文献1参照）。特許文献1には、投影光学系を通過した光の波面収差に応じて、投影光学系を構成する光学素子を駆動することで収差を調整する収差調整機構が開示されている。このような収差調整機構は、主に、低次の収差を調整する機能を有し、低次の収差の発生を抑えたり、収差の

10

20

30

40

50

経時変化を補償したりするために用いられる。また、収差は投影光学系の像高ごとに異なる特性を示すことがあるため、各像高における像性能の差を抑えるために収差調整機構を用いることもある。但し、収差調整機構の能力には限界があるため、投影光学系には、一般的に、残存収差が存在している。また、露光装置ごとに、残像収差の量や露光中の収差変動量（即ち、露光熱などによる残存収差の変動量）は異なる。

【 0 0 0 5 】

一方、露光装置の更なる高解像度を実現するために、露光装置における露光条件を最適化（決定）する技術も提案されている（特許文献 2 参照）。かかる技術としては、例えば、マスクのパターン（寸法や形状）及び有効光源の形状（照明光学系の瞳面に形成される光強度分布）の両方を最適化する技術（「S M O 技術」と呼ばれる）がある。一般的な S M O 技術では、マスクのパターン及び有効光源の形状を、線幅などの像性能の基準値（目標値）を満たすように調整する。また、特許文献 2 には、投影光学系の収差に特定の値（ゼロではない値、例えば、残存収差に対応する値）を設定した上で有効光源の形状を最適化する技術が開示されている。このように、投影光学系の収差を考慮した上で有効光源の形状やマスクのパターンを最適化する S M O 技術は存在する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 6 】

【特許文献 1】国際公開第 0 2 / 0 5 4 0 3 6 号パンフレット

【特許文献 2】特許第 4 6 0 6 7 3 2 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 7 】

しかしながら、投影光学系の収差を考慮した従来の S M O 技術は、投影光学系の収差が像性能に与える影響を補うために有効光源の形状やマスクのパターンを最適化しているにすぎない。従って、有効光源の形状やマスクのパターンを調整するだけでは投影光学系の収差が像性能に与える影響を補えない場合には、像性能が基準値を満たすように有効光源の形状やマスクのパターンを決定することができなくなる。このような問題は、半導体デバイスの微細化が進につれて顕著になるため、露光条件を最適化する上で従来の S M O 技術では不十分になってきている。

【 0 0 0 8 】

本発明は、このような従来技術の課題に鑑みてなされ、露光装置における露光条件の決定に有利な技術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 0 9 】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての決定方法は、マスクを照明する照明光学系と、前記マスクのパターンを基板に投影する投影光学系とを備える露光装置における露光条件をコンピュータを用いて決定する決定方法であって、前記照明光学系の瞳面に形成する光強度分布に関する照明パラメータ及び前記投影光学系の収差に関する収差パラメータを設定する第 1 ステップと、前記照明パラメータ及び前記収差パラメータを用いて、前記投影光学系の物体面に配置されるマスクのパターンに対応して前記投影光学系の像面に形成されるマスクのパターンの光学像の像性能を算出する第 2 ステップと、前記照明パラメータ及び前記収差パラメータを変更しながら前記第 2 ステップを繰り返す第 3 ステップと、前記第 2 ステップで算出された前記像性能に基づいて、前記投影光学系の像面に形成される前記マスクのパターンの光学像の像性能が前記投影光学系の像面に形成すべき目標パターンに対して設定された評価基準を満たすように前記照明パラメータの値及び前記収差パラメータの値を決定し、決定した前記照明パラメータの値及び前記収差パラメータの値のそれぞれで規定される前記照明光学系の瞳面に形成する光強度分布及び前記投影光学系の収差を前記露光条件として決定する第 4 ステップと、を有することを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

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 1 】

本発明によれば、例えば、露光装置における露光条件の決定に有利な技術を提供することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 2 】

【 図 1 】 本発明の第 1 の実施形態における決定方法を説明するためのフローチャートである。 10

【 図 2 】 図 1 に示す S 1 0 2 で設定されるマスクパラメータの一例を示す図である。

【 図 3 】 図 1 に示す S 1 0 4 で設定される照明パラメータの一例を示す図である。

【 図 4 】 図 1 に示す S 1 0 8 で設定される評価場所の一例を示す図である。

【 図 5 】 第 1 の実施形態で最適化した各パラメータに対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所での像性能を示す図である。

【 図 6 】 比較例 1 で最適化した各パラメータに対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所での像性能を示す図である。

【 図 7 】 比較例 2 で最適化した各パラメータに対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所での像性能を示す図である。 20

【 図 8 】 本発明の第 2 の実施形態における決定方法を説明するためのフローチャートである。

【 図 9 】 第 2 の実施形態で最適化した各パラメータに対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所での像性能を示す図である。

【 図 1 0 】 本発明の第 3 の実施形態における決定方法を説明するためのフローチャートである。

【 図 1 1 】 図 1 0 に示す S 1 0 0 2 で設定されるマスクパラメータの一例を示す図である。

【 図 1 2 】 第 3 の実施形態で最適化する前の各パラメータに対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所での像性能を示す図である。 30

【 図 1 3 】 第 3 の実施形態で最適化した各パラメータに対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所での像性能を示す図である。

【 図 1 4 】 比較例 3 で最適化した各パラメータに対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所での像性能を示す図である。

【 図 1 5 】 比較例 4 で最適化した各パラメータに対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所での像性能を示す図である。

【 図 1 6 】 露光装置の構成を示す概略ブロック図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 3 】

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。 40

【 0 0 1 4 】

本発明者らは、露光装置における露光条件の最適化において、有効光源の形状（照明光学系の瞳面に形成される光強度分布）やマスクのパターンと同様に、投影光学系の収差も最適化のターゲットとする必要があることを見出した。例えば、特許文献 1 に開示された収差調整機構を用いれば、投影光学系の収差を制御することができる。従って、投影光学系の収差は、有効光源の形状やマスクのパターンと同様に、投影光学系の像面に形成されるマスクのパターンの光学像の像性能を向上させるための最適化のターゲットにすることができる。

【 0 0 1 5 】

一般に、有効光源の形状及びマスクのパターンが決定されれば、その有効光源の形状でそのマスクのパターンを照明した際に、投影光学系の瞳面のどの位置を光（露光光）が通過するのかがわかる。投影光学系の収差は、瞳面内の各位置での光線の位相の変化を表すものであり、光学像を形成する上で有効光源の形状やマスクのパターンと密接に関係する。従って、本実施形態では、有効光源の形状やマスクのパターンだけでなく、投影光学系の収差も最適化のターゲットとすることで、露光装置における露光条件の最適化に有利な技術を提供する。

【 0 0 1 6 】

< 第 1 の実施形態 >

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態における決定方法を説明するためのフローチャートである。本実施形態の決定方法は、コンピュータなどの情報処理装置によって実行され、マスク（レチクル）を照明する照明光学系と、マスクのパターンを基板に投影する投影光学系とを備える露光装置における露光条件を決定（最適化）する。ここで、露光条件とは、露光装置に設定可能な条件であって、マスクのパターン（マスクパターン）の形状、大きさ、位置などのパラメータ、有効光源の形状、投影光学系の収差などを含む。

【 0 0 1 7 】

S 1 0 2（第 1 ステップ）では、投影光学系の物体面に配置するマスクのパターンに関するパラメータ（マスクパラメータ）を設定する。

【 0 0 1 8 】

本実施形態では、図 2 に示すマスクパターンに対して、その形状を規定するマスクパラメータ（「マスクバイアス」とも呼ばれる）M 1、M 2 及び M 3 を設定する。図 2 に示すマスクパターンは、遮光部（透過率：0 %）と透過部（透過率：1 0 0 %）とで構成された 3 種類のライン・アンド・スペース・パターン L S P 1、L S P 2 及び L S P 3 を含む。マスクパラメータ M 1 は、ハーフピッチが 4 0 n m のライン・アンド・スペース・パターン L S P 1 のラインパターンの寸法（横幅）を規定する。マスクパラメータ M 2 は、ハーフピッチが 5 0 n m のライン・アンド・スペース・パターン L S P 2 のラインパターンの寸法（横幅）を規定する。マスクパラメータ M 3 は、ハーフピッチが 6 0 n m のライン・アンド・スペース・パターン L S P 3 のラインパターンの寸法（横幅）を規定する。また、本実施形態では、マスクパラメータ M 1、M 2 及び M 3 に対して、マスクの製造性から、以下に示す上限値及び下限値を与える。

3 5 M 1 4 5 (n m)

4 5 M 2 6 0 (n m)

5 5 M 3 7 5 (n m)

【 0 0 1 9 】

マスクパターンには、一般には、様々なパターンが含まれている。S 1 0 2 では、マスクパターンに含まれる全てのパターンに関するマスクパラメータを設定してもよいし、一部のパターンのみに関するマスクパラメータを設定してもよい。また、本実施形態では、マスクパターンをライン・アンド・スペース・パターンとしているが、マスクパターンは他のパターン（ホールパターンなど）であってもよい。更に、本実施形態では、マスクパターンをバイナリマスクとしているが、マスクパターンは位相シフトマスクや他の種類のマスクであってもよい。

【 0 0 2 0 】

また、本実施形態では、ライン・アンド・スペース・パターンのラインパターンの横幅をマスクパラメータとして設定している。但し、ライン・アンド・スペース・パターンのラインパターンの縦幅（長手方向の長さ）やマスクパターンの頂点位置に関する量をマスクパラメータとして設定してもよい。更に、マスクパターンの透過率や位相などをマスクパラメータとして設定することも可能である。

【 0 0 2 1 】

S 1 0 4（第 1 ステップ）では、照明光学系の瞳面に形成される光強度分布、即ち、有効光源の形状に関するパラメータ（照明パラメータ）を設定する。

【 0 0 2 2 】

本実施形態では、図 3 に示すダイポール（２重極）照明に対して、その形状を規定する照明パラメータ S_1 、 S_2 及び S_3 を設定する。図 3 に示すダイポール照明は、２つの発光部を含み、ライン・アンド・スペース・パターンに適した照明である。照明パラメータ S_1 は、ダイポール照明の外シグマ（Outer Sigma）を規定する。照明パラメータ S_2 は、ダイポール照明の内シグマ（Inner Sigma）を規定する。照明パラメータ S_3 は、ダイポール照明の発光部の開口角度（Angle）を規定する。また、本実施形態では、照明パラメータ S_1 、 S_2 及び S_3 に対して、以下に示す上限値及び下限値を与える。

0.80 S_1 0.95
0.50 S_2 0.90
10 S_3 50 （度）

10

【 0 0 2 3 】

本実施形態では、図 2 に示すマスクパターンに適したダイポール照明に対して照明パラメータを設定しているが、その他の形状の照明に対して照明パラメータを設定してもよい。例えば、輪帯照明に対して照明パラメータ（例えば、外シグマや内シグマ）を設定してもよいし、クロスボール照明に対して照明パラメータ（外シグマ、内シグマ、発光部の開口角度、発光部の回転角度）を設定してもよい。また、自由度が非常に高い照明パラメータを設定することも可能である。例えば、照明光学系の瞳面をマトリクス状に分割した複数の要素光源のそれぞれの発光強度を独立した照明パラメータとして設定してもよい。

20

【 0 0 2 4 】

なお、本実施形態では、投影光学系の開口数（NA）を 1.35、露光光の波長を 193 nm、露光光の偏光状態を Y 方向の直線偏光と設定（固定）するが、これらを照明パラメータとして設定してもよい。換言すれば、投影光学系の NA に関するパラメータ、露光光の波長に関するパラメータ、露光光の偏光度に関するパラメータなどを照明パラメータとして設定してもよい。

【 0 0 2 5 】

S_{106} （第 1 ステップ）では、投影光学系の収差に関するパラメータ（収差パラメータ）を設定する。投影光学系の収差は、一般的に、ゼルニケ多項式で表される波面収差として規定される。例えば、ゼルニケ多項式の第 1 項から第 36 項までを考慮する場合、第 1 項から第 36 項までの 36 個の係数を設定（入力）することで、1 つの波面収差（の形状）を規定することができる。また、ゼルニケ多項式の各項の係数は、一般的に、第 1 項から順に C_1 、 C_2 、 C_3 、・・・ C_n と呼ばれる。

30

【 0 0 2 6 】

C_1 は、一律成分であり、波面収差ではないため考慮しなくてよい。 C_2 及び C_3 は、一律のディストーションであり、本実施形態のようにライン・アンド・スペース・パターンの中央パターンの線幅に着目する（ S_{108} を説明する際に述べる）場合には考慮しなくてよい。また、 C_4 は、投影光学系のデフォーカスに相当する。本実施形態においては、 S_{110} や S_{112} で示すように、複数の焦点位置で光学像を算出してプロセスウィンドウを評価するため、波面収差として C_4 を考慮しなくてよい。従って、本実施形態では、ゼルニケ多項式の第 5 項から第 9 項までの係数である C_5 、 C_6 、 C_7 、 C_8 及び C_9 を収差パラメータとして設定する。ゼルニケ多項式の第 5 項から第 9 項（ $C_5 \sim C_9$ ）までは、「低次」の波面収差と呼ばれることが多く、第 10 項（ C_{10} ）以降の「高次」の波面収差に比べて、投影光学系に備えられた収差調整機構によって収差量を制御することが比較的容易である。本実施形態では、 C_5 、 C_6 、 C_7 、 C_8 及び C_9 に対して、以下の収差量の調整範囲を与える。収差量の単位は、露光光の波長をラムダ（ λ ）としてミリラムダ（m）である。

40

- 30 C_5 30 (m)
- 30 C_6 30 (m)
- 30 C_7 30 (m)

50

- 3 0 C 8 3 0 (m)
- 3 0 C 9 3 0 (m)

【 0 0 2 7 】

また、本実施形態では、ゼルニケ多項式の第 1 項から第 4 項までの係数である C 1 ~ C 4 には、0 を入力し、第 1 0 項から第 3 6 項までの係数である C 1 0 ~ C 3 6 には、以下の表 1 に示すように、投影光学系の実際の残収差に対応する値を入力した。これにより、調整が困難な高次の波面収差を、低次の波面収差を用いて調整することで、優れた像性能を有する光学像を形成することができるかどうかを確認することができる。

【 0 0 2 8 】

【表 1】

C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	C21	C22	C23
-4.4	-7.6	9.2	2.2	-14	-3	18.4	9.6	-3.2	-1.2	-3.4	7.4	-0.6	-7
C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	
2.6	-3.6	4.2	-2.4	0.4	0.2	-3.2	-0.4	1.4	-3	7.6	0.2	-3	

(単位 : m λ)

【 0 0 2 9 】

S 1 0 8 (第 2 ステップ) では、投影光学系の像面に形成されるマスクパターンの光学像を評価するための評価場所 (評価点又は評価線分 (カットライン)) を投影光学系の像面に設定する。本実施形態では、図 4 に示すように、ライン・アンド・スペース・パターン L S P 1、L S P 2 及び L S P 3 のそれぞれのラインパターンの中央に対応する投影光学系の像面に評価場所 B a r 1、B a r 2 及び B a r 3 を設定する。図 4 では、説明を簡単にするために、投影光学系の物体面における寸法と投影光学系の像面における寸法が等しい (即ち、投影光学系の倍率が 1 倍である) もとしている。但し、実際には、投影光学系の倍率に基づいて像面上の寸法に換算したマスクパターンを考慮して、投影光学系の像面に評価場所を設定する必要がある。

【 0 0 3 0 】

S 1 1 0 では、S 1 0 8 で設定した評価場所に形成されるマスクパターンの光学像 (の像性能) を基板 (投影光学系の像面) に形成すべき目標パターンと比較して評価するための評価基準を設定する。本実施形態で設定する評価基準を具体的に説明する。まず、評価場所 B a r 1、B a r 2 及び B a r 3 のそれぞれに形成される光学像の目標線幅 (目標値) を 4 0 n m、5 0 n m 及び 6 0 n m とする。光学像の目標線幅からの誤差が ± 1 0 % 以下になる焦点位置と露光量との組み合わせは、一般的に、プロセスウィンドウと呼ばれる。かかるプロセスウィンドウにおいて、全ての評価場所 B a r 1、B a r 2 及び B a r 3 で共通の露光量マージンとして 1 0 % を得ることができる焦点位置の範囲 (焦点深度、即ち、焦点に対する余裕度) を、本実施形態では、評価基準として設定する。

【 0 0 3 1 】

本実施形態では、ライン・アンド・スペース・パターンのラインパターンの中央に対応する投影光学系の像面に評価場所を設定し、かかる評価場所での焦点深度を評価基準として設定しているが、評価場所及び評価基準はこれに限定されるものではない。例えば、ライン・アンド・スペース・パターンの最端のラインパターンに対応する投影光学系の像面にも評価場所を設定し、中央のラインパターンと最端のラインパターンとの共通の焦点深度を評価基準としてもよい。なお、評価基準は、焦点深度に限定されるものではなく、マスクパターンの光学像の寸法と目標パターンの寸法との差分、マスクパターンの光学像の露光余裕度、マスクパターンの光学像のコントラストや I L S (イメージ・ログ・スロープ) であってもよい。また、投影光学系の像面の座標を評価場所 (評価点) として設定し、かかる座標からの光学像の位置ずれ (「エッジ・ブレースメント・エラー」とも呼ばれる) を評価基準として設定してもよい。

【 0 0 3 2 】

10

20

30

40

50

S 1 1 2 (第3ステップ)では、マスクパターンの値、照明パラメータの値及び収差パラメータを最適化して、露光条件、即ち、マスクパターン、有効光源の形状及び投影光学系の収差を決定する。まず、S 1 0 8で設定した評価場所に形成されるマスクパターンの光学像がS 1 1 0で設定した評価基準を満たすように、マスクパラメータの値、照明パラメータの値及び収差パラメータの値を決定する。そして、決定したマスクパラメータの値、照明パラメータの値及び収差パラメータの値のそれぞれで規定されるマスクパターン、有効光源の形状及び投影光学系の収差を露光条件として決定する。

【0033】

本実施形態では、上述したように、互いに独立した11個のパラメータ、即ち、マスクパラメータとしてM 1、M 2及びM 3、照明パラメータとしてS 1、S 2及びS 3、収差パラメータとしてC 5、C 6、C 7、C 8及びC 9が設定されている。これらのパラメータを全て含むパラメータ空間を構成し、かかるパラメータ空間において滑降シンプレックス法によってパラメータの値を最適化する。具体的には、各パラメータの値を変化させながらマスクパターンの光学像を算出して評価場所での焦点深度(評価基準)を求め、焦点深度がなるべく大きくなるように、各パラメータの値を最適化する。

【0034】

なお、本実施形態では、滑降シンプレックス法を用いて各パラメータの値を最適化しているが、シミュレイテッド・アニーリング法や線形計画法などの数理計画法に基づく最適化法を用いて各パラメータの値を最適化してもよい。また、本実施形態では、収差パラメータとしてのC 5、C 6、C 7、C 8及びC 9が独立して変化するように設定しているが、投影光学系に備えられた収差調整機構に応じて、収差の変化量を像高や各収差の従属関数にしてもよい。

【0035】

本実施形態で最適化された各パラメータ(M 1、M 2、M 3、S 1、S 2、S 3、C 5、C 6、C 7、C 8、C 9)の値を以下のパラメータ群1に示す。

(パラメータ群1)

M 1 = 40.2 (nm)

M 2 = 57.7 (nm)

M 3 = 72.8 (nm)

S 1 = 0.876

S 2 = 0.624

S 3 = 22.3 (度)

C 5 = +6.8 (m)

C 6 = -21.2 (m)

C 7 = -12.4 (m)

C 8 = +17.8 (m)

C 9 = -15.1 (m)

【0036】

図5は、本実施形態で最適化した各パラメータ(パラメータ群1)に対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所Bar 1、Bar 2及びBar 3での像性能を示す図である。図5では、横軸に基準焦点位置からのデフォーカス量を採用し、縦軸に基準露光量からの変化量(%)を採用している。また、図5では、評価場所Bar 1、Bar 2及びBar 3での線幅が目標線幅の+10%又は-10%となる焦点位置と露光量との組み合わせをプロットとし、各プロットを直線で結んでいる。従って、評価場所Bar 1、Bar 2及びBar 3のそれぞれに対応する2本のプロット線に挟まれた領域が、光学像の目標線幅からのずれが±10%以内に収まる露光条件の範囲となる。また、全ての評価場所Bar 1、Bar 2及びBar 3に対するこの領域の共通部分がプロセスウィンドウであり、かかるプロセスウィンドウにおいて、共通の露光量マージンとして10%を得ることができる焦点位置の範囲が焦点深度である。本実施形態におけるマスクパターンの光学像の像性能の評価基準である焦点深度は、図5に示す領域AR 1の焦点方向の幅(

領域 A R 1 の横幅) に相当する。図 5 に示すように、本実施形態で得られる焦点深度は、177.4 nm である。

【0037】

ここで、比較例 1 として、収差パラメータ (C 5、C 6、C 7、C 8、C 9) の値を変化させずに (即ち、投影光学系の収差を考慮せずに)、マスクパラメータ (M 1、M 2、M 3) 及び照明パラメータ (S 1、S 2、S 3) を最適化する場合を考える。具体的には、図 1 に示すフローチャートにおいて、S 106 では、収差パラメータを設定せず (収差の値を変数とせず)、以下の表 2 に示すように、投影光学系の実際の残収差に対応する値を C 5 ~ C 36 に入力した。なお、表 2 に示す C 10 ~ C 36 の値は、表 1 に示す C 10 ~ C 36 の値と同じである。比較例 1 で最適化された各パラメータ (M 1、M 2、M 3、S 1、S 2、S 3) の値を以下のパラメータ群 2 に示す。

【0038】

【表 2】

C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
20.6	-4.4	-10	1.6	8	-4.4	-7.6	9.2	2.2	-14	-3	18.4	9.6	-3.2	-1.2	-3.4
C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36
7.4	-0.6	-7	2.6	-3.6	4.2	-2.4	0.4	0.2	-3.2	-0.4	1.4	-3	7.6	0.2	-3

(単位: mλ)

【0039】

(パラメータ群 2)

M 1 = 41.8 (nm)

M 2 = 58.2 (nm)

M 3 = 73.4 (nm)

S 1 = 0.879

S 2 = 0.693

S 3 = 19.8 (度)

【0040】

図 6 は、比較例 1 で最適化した各パラメータ (パラメータ群 2) に対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所 Bar 1、Bar 2 及び Bar 3 での像性能を示す図である。図 6 では、横軸に基準焦点位置からのデフォーカス量を採用し、縦軸に基準露光量からの変化量 (%) を採用している。また、図 6 では、評価場所 Bar 1、Bar 2 及び Bar 3 での線幅が目標線幅の +10% 又は -10% となる焦点位置と露光量との組み合わせをプロットとし、各プロットを直線で結んでいる。図 6 を参照するに、比較例 1 で得られる焦点深度 (図 6 に示す領域 A R 2 の横幅) は、155.1 nm である。

【0041】

このように、本実施形態では、比較例 1 よりも 20 nm 以上も広い焦点深度が得られている。従って、露光条件の最適化において、有効光源の形状やマスクのパターンと同様に、投影光学系の収差も最適化のターゲットとすることが、マスクパターンの光学像の像性能を向上させる上で有効であることがわかる。

【0042】

また、比較例 2 として、収差パラメータ (C 5、C 6、C 7、C 8、C 9) の値を変化させずに (即ち、投影光学系の収差を考慮せずに)、マスクパラメータ (M 1、M 2、M 3) 及び照明パラメータ (S 1、S 2、S 3) を最適化する場合を考える。具体的には、図 1 に示すフローチャートにおいて、S 106 では、収差パラメータを設定せず、以下の表 3 に示す値を C 5 ~ C 36 に入力した。表 3 に示す C 10 ~ C 36 の値は、表 1 や表 2 に示す C 10 ~ C 36 の値と同じであるが、比較例 2 では、低次の収差である C 5 ~ C 9 に 0 を入力している。これは、投影光学系に備えられた収差調整機構によって低次の収差が完全に抑えられた理想的な状態を想定している。比較例 2 で最適化された各パラメータ (M 1、M 2、M 3、S 1、S 2、S 3) の値を以下のパラメータ群 3 に示す。

【 0 0 4 3 】

【表 3】

C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
0	0	0	0	0	-4.4	-7.6	9.2	2.2	-14	-3	18.4	9.6	-3.2	-1.2	-3.4
C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36
7.4	-0.6	-7	2.6	-3.6	4.2	-2.4	0.4	0.2	-3.2	-0.4	1.4	-3	7.6	0.2	-3

(単位：mλ)

【 0 0 4 4 】

(パラメータ群 3)

M 1 = 4 1 . 8 (n m)

M 2 = 5 8 . 2 (n m)

M 3 = 7 3 . 4 (n m)

S 1 = 0 . 8 9 1

S 2 = 0 . 6 2 8

S 3 = 2 1 . 7 (度)

【 0 0 4 5 】

図 7 は、比較例 2 で最適化した各パラメータ（パラメータ群 2）に対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所 Bar 1、Bar 2 及び Bar 3 での像性能を示す図である。図 7 では、横軸に基準焦点位置からのデフォーカス量を採用し、縦軸に基準露光量からの変化量（％）を採用している。また、図 6 では、評価場所 Bar 1、Bar 2 及び Bar 3 での線幅が目標線幅の + 1 0 % 又は - 1 0 % となる焦点位置と露光量との組み合わせをプロットとし、各プロットを直線で結んでいる。図 7 を参照するに、比較例 2 で得られる焦点深度（図 7 に示す領域 A R 3 の横幅）は、1 6 4 . 6 n m である。

【 0 0 4 6 】

本実施形態（図 5）、比較例 1（図 6）及び比較例 2（図 7）を比較するに、マスクパターンや有効光源の形状だけではなく、投影光学系の収差も最適化することで、最も優れた像性能を有する光学像を形成することができる。ことがわかる。

【 0 0 4 7 】

以下、マスクパターンの光学像の像性能を向上させる上で、投影光学系の収差を最適化のターゲットとすることが有効である理由について考察する。上述したように、有効光源の形状及びマスクのパターンが決定されれば、その有効光源の形状でそのマスクのパターンを照明した際に、投影光学系の瞳面のどの位置を光（露光光）が通過するのかがわかる。特に、投影光学系の瞳面における露光光の通過位置は、基板に形成すべき目標パターンの形状及びピッチに強く依存する。マスクパターン及び有効光源の形状の最適化は従来技術でも行われている。但し、従来技術では、目標パターンに対してマスクパターン及び有効光源の形状を最適化（調整）しているにすぎないため、投影光学系の瞳面における露光光の通過位置を劇的に変化させることはできない。

【 0 0 4 8 】

一方、投影光学系の収差は、上述したように、瞳面内の各位置での光線の位相の変化を表すものである。従来技術のように、既知の収差を入力する場合には、目標パターンの形状及びピッチに対応する投影光学系の瞳面内の位置に大きな収差が存在していると、マスクパターン及び有効光源の形状を最適化しても収差が像性能に与える影響を補うことができない。従って、マスクパターンや有効光源の形状だけではなく、投影光学系の収差も同時に最適化することが、マスクパターンの光学像の像性能を向上させるためには必須となると考えられる。

【 0 0 4 9 】

例えば、図 6（比較例 1）を参照するに、各評価場所（Bar 1、Bar 2、Bar 3）によって露光マージンを最も広くする焦点位置がずれていることがわかる。特に、評価位置 Bar 1 での焦点位置は、プラスの方向に大きくずれている。これは、投影光学系の

10

20

30

40

50

収差が像性能に与える影響を表しており、マスクパターンや有効光源の形状を最適化しても、投影光学系の収差が像性能に与える影響を補うことができないことを意味している。

【 0 0 5 0 】

一方、図 5（本実施形態）を参照するに、評価位置 Bar 1 での焦点位置が補正され、露光マージンのベストフォーカス位置が各評価場所（Bar 1、Bar 2、Bar 3）に対してもほぼ同じ位置にあることがわかる。このように、低次の収差（を発生させること）によって、高次の収差が像性能に与える影響（例えば、焦点位置のずれ）を補うことが可能となり、より広い焦点深度を得ることができる。

【 0 0 5 1 】

更に、図 7（比較例 2）を参照するに、低次の収差を発生させることの効果が明らかになる。比較例 2 では、低次の収差が完全に抑えられた理想的な状態においてマスクパターン及び有効光源の形状を最適化しているが、高次の収差の影響によって焦点深度が低い値になっている。上述したように、投影光学系に備えられた収差調整機構で高次の収差を抑えることは困難である。従って、投影光学系に高次の収差が残存している場合には、低次の収差を小さく抑えるよりも、高次の収差とバランスを取るように（即ち、高次の収差の影響を打ち消すように）、低次の収差を発生させることが効果的となる。

【 0 0 5 2 】

このように、投影光学系の収差に特定の値を入力して（収差自体を定数として）マスクパターン及び有効光源の形状を最適化する従来技術では、露光条件を最適化する上で不十分であることがわかる。そこで、本実施形態のように、有効光源の形状やマスクのパターンだけでなく、投影光学系の収差も最適化のターゲットとすることで、露光装置における露光条件の最適化に有利な技術を提供することができる。

【 0 0 5 3 】

< 第 2 の実施形態 >

第 1 の実施形態では、マスクパターン、有効光源の形状及び投影光学系の収差の 3 種類を最適化のターゲットとしたが、マスクパターンを最適化のターゲットから除外することも可能である。露光装置に用いられるマスクは非常に高価であるため、マスクを製造した後は、マスクを再製造する（製造しなおす）ことをできるだけ抑えたいという要求が存在する。そこで、本実施形態では、マスクパターンを変化させずに（即ち、マスクパターンを固定して）、有効光源の形状及び投影光学系の収差を最適化する。

【 0 0 5 4 】

図 8 は、本発明の第 2 の実施形態における決定方法を説明するためのフローチャートである。本実施形態の決定方法は、第 1 の実施形態の決定方法と同様であるが、S 1 0 2 の代わりに S 1 0 2 A を有し、S 1 1 2 の代わりに S 1 1 2 A を有する。

【 0 0 5 5 】

S 1 0 2 A では、投影光学系の物体面に配置するマスクのパターン（マスクパターン）を設定する。本実施形態では、図 2 に示したように、3 種類のライン・アンド・スペース・パターン L S P 1、L S P 2 及び L S P 3 を含むマスクパターンを設定する。但し、本実施形態では、マスクパターンは変化させないため、マスクパラメータ（M 1、M 2、M 3）を以下の値に固定する。

M 1 = 4 1 (n m)

M 2 = 5 8 (n m)

M 3 = 7 3 (n m)

【 0 0 5 6 】

S 1 0 4、S 1 0 6、S 1 0 8 及び S 1 1 0 のそれぞれでは、第 1 の実施形態で説明したように、照明パラメータ（S 1、S 2、S 3）、収差パラメータ（C 5、C 6、C 7、C 8、C 9）、評価場所及び評価基準を設定する。

【 0 0 5 7 】

本実施形態では、ゼルニケ多項式の第 5 項から第 9 項までの係数である C 5、C 6、C 7、C 8 及び C 9 を収差パラメータとして設定する。また、第 1 項から第 4 項までの係数

10

20

30

40

50

である C 1 ~ C 4 には、0 を入力し、第 1 0 項から第 3 6 項までの係数である C 1 0 ~ C 3 6 には、表 1 に示す値を入力した。

【 0 0 5 8 】

また、本実施形態では、図 4 に示したように、ライン・アンド・スペース・パターンのラインパターンの中央に対応する投影光学系の像面に評価場所 B a r 1、B a r 2 及び B a r 3 を設定し、かかる評価場所での焦点深度を評価基準として設定する。

【 0 0 5 9 】

S 1 1 2 A では、照明パラメータの値及び収差パラメータを最適化して、露光条件、即ち、有効光源の形状及び投影光学系の収差を決定する。本実施形態で最適化された各パラメータ (S 1、S 2、S 3、C 5、C 6、C 7、C 8、C 9) の値を以下のパラメータ群 4 に示す。

(パラメータ群 4)

S 1 = 0 . 8 7 2

S 2 = 0 . 6 1 9

S 3 = 1 3 . 4 (度)

C 5 = + 1 2 . 5 (m)

C 6 = - 6 . 3 (m)

C 7 = - 1 1 . 3 (m)

C 8 = + 1 8 . 2 (m)

C 9 = - 1 9 . 9 (m)

【 0 0 6 0 】

図 9 は、本実施形態で最適化した各パラメータ (パラメータ群 4) に対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所 B a r 1、B a r 2 及び B a r 3 での像性能を示す図である。図 9 では、横軸に基準焦点位置からのデフォーカス量を採用し、縦軸に基準露光量からの変化量 (%) を採用している。また、図 9 では、評価場所 B a r 1、B a r 2 及び B a r 3 での線幅が目標線幅の + 1 0 % 又は - 1 0 % となる焦点位置と露光量との組み合わせをプロットとし、各プロットを直線で結んでいる。図 9 を参照するに、本実施形態で得られる焦点深度 (図 9 に示す領域 A R 4 の横幅) は、1 7 1 . 6 n m である。

【 0 0 6 1 】

このように、本実施形態では、第 1 の実施形態の比較例 1 よりも 1 5 n m 以上も広い焦点深度が得られている。これは、マスクパターンを固定しても、有効光源の形状及び投影光学系の収差を最適化すれば、マスクパターンの光学像の像性能を向上させる上で有効であることを意味している。換言すれば、本実施形態のように、最適とは限らない寸法 (横幅) でマスクパターンを固定した場合であっても、有効光源の形状及び投影光学系の収差を最適化のターゲットとすることで、露光装置における露光条件の最適化に有利な技術を提供することができる。

【 0 0 6 2 】

< 第 3 の実施形態 >

図 1 0 は、本発明の第 3 の実施形態における決定方法を説明するためのフローチャートである。本実施形態の決定方法は、第 1 の実施形態や第 2 の実施形態と同様に、マスクを照明する照明光学系と、マスクのパターンを基板に投影する投影光学系とを備える露光装置における露光条件を決定 (最適化) する。

【 0 0 6 3 】

S 1 0 0 2 では、投影光学系の像面に形成されるマスクパターンの光学像を評価するための像高 (評価像高) を設定する。本実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置 (スキャナー) を想定し、(- 1 2 . 6 , 0)、(- 7 , 0)、(0 , 0)、(7 , 0) 及び (1 2 . 6 , 0) の 5 つの像高を評価像高として設定する。なお、スリット方向の座標を x とし、スキャン方向の座標を y とする。

【 0 0 6 4 】

S 1 0 0 4 では、投影光学系の物体面に配置するマスクのパターンに関するパラメータ

(マスクパラメータ)を設定する。

【0065】

本実施形態では、図11に示すマスクパターンに対して、その形状を規定するマスクパラメータM1、M2及びM3を設定する。図11に示すマスクパターンは、遮光部(透過率:6%)と透過部(透過率:100%)とで構成された3種類のライン・アンド・スペース・パターンLSP4、LSP5及びLSP6を含む。マスクパラメータM1は、ピッチが100nmのライン・アンド・スペース・パターンLSP4のラインパターンの寸法(横幅)を規定する。マスクパラメータM2は、ピッチが120nmのライン・アンド・スペース・パターンLSP5のラインパターンの寸法(横幅)を規定する。マスクパラメータM3は、ピッチが150nmのライン・アンド・スペース・パターンLSP6のラインパターンの寸法(横幅)を規定する。但し、本実施形態では、マスクパターンは変化させないため、マスクパラメータ(M1、M2、M3)を以下の値に固定する。

M1 = 50 (nm)

M2 = 53 (nm)

M3 = 58 (nm)

【0066】

S1004では、有効光源の形状に関するパラメータ(照明パラメータ)を設定する。本実施形態では、第1の実施形態や第2の実施形態と同様に、図3に示すダイポール(2重極)照明に対して、その形状を規定する照明パラメータS1、S2及びS3を設定する。また、本実施形態では、照明パラメータS1、S2及びS3に対して、以下に示す上限値及び下限値を与える。

0.70 S1 0.98

0.50 S2 0.85

20 S3 110 (度)

【0067】

S1008では、投影光学系に存在する収差(初期収差量)を設定する。本実施形態では、初期収差量をゼルニケ多項式の第1項から第36項までの係数であるC1~C36で表し、S1002で設定した評価像高のそれぞれについて、以下の表4に示すように、投影光学系の実際の残収差に対応する値を設定した。

【0068】

【表4】

	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
-12.6	18.2	24.2	4.2	-10	2.6	17.4	0.8	0.4	6.2	-0.8	-15	-0.8	17	4.4	-1.6	-3.4	-0.4
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	
	3	-2	-3	0.6	-1	-7.8	3.4	6.6	2	-3	-4.2	-1.2	-2.6	3	-2.8	-6.4	
-7	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	-12	11.4	-3.2	-9.4	-2.8	4.6	4	-1.8	9.6	0	-14	-0.6	16.6	6	0.4	-0.2	1.2
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	
	1.8	4	-5.6	1.6	-1.2	-3.4	3.2	2.6	5.8	-1.6	2	1.8	-2	1.4	-1.4	-8.6	
0	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	3	14	2.8	-4.6	0.6	18.4	3.4	-5.6	9	5.6	4.6	0.8	13	6.8	0	3.8	1.8
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	
	2.2	3.2	1.6	2.8	-1	-0.4	-0.4	2.4	2.2	1.8	1	4.8	-2.6	-6	-1.2	-6.4	
7	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	-13	9.2	6	-5.8	0	13	4.8	-3	18	12.4	-6.8	-0.6	14.2	6	3.4	1	0.8
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	
	2.6	4.4	-7.6	2	-1.4	-1.4	-0.6	0	1.8	1.6	0.6	1.6	-0.4	-0.6	0.8	-9.2	
12.6	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20
	18.2	8.4	-0.8	-2	-2.4	22.6	-4	-7.8	6.4	10.8	-3	-5	10.4	-7.4	-2.4	4.6	-3.4
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36	
	0.8	1.6	-4.8	1	1.6	2.4	-3	-1	0.2	-1.6	-6.6	2.6	-1.6	5.8	-2	-7.4	

(単位: mλ)

【0069】

S1010では、投影光学系の収差に関するパラメータ(収差パラメータ)として、初期収差量から調整すべき収差量を表すパラメータ(収差調整パラメータ)を設定する。本

実施形態では、像高コマ収差に関する像高コマ収差調整パラメータ P 1、球面収差に関する球面収差調整パラメータ P 2、像面収差に関する像面収差調整パラメータ P 3 を収差調整パラメータとして設定する。これらの収差調整パラメータの値に対応する収差量は、投影光学系を構成する光学素子を光軸方向に移動させることで発生させることができる。従って、収差調整パラメータは、投影光学系を構成する光学素子の光軸方向の移動量（駆動量）を表すパラメータでもある。

【 0 0 7 0 】

また、発生収差量 $C 7$ 及び $C 9$ 、及び、像面幅 $Z d e f$ は、以下の表 5 に示すように、投影光学系の光軸からの距離 h (mm)（像高）の関数で表され、各収差調整パラメータ（P 1、P 2、P 3）を設定すれば、各像高での収差調整量を求めることができる。

10

【 0 0 7 1 】

【表 5】

	P1(μm)	P2(μm)	P3(μm)
$\Delta C 7$ (mλ)	$1 \times (h/13)$	$-0.003 \times (h/13)$	$-0.018 \times (h/13)^3$ $+0.011 \times (h/13)$
$\Delta C 9$ (mλ)	$0.019 \times (h/13)^2$	1	$-0.005 \times (h/13)^2$
$\Delta Z d e f$ (nm)	0	0	$1 \times (h/13)^2$

20

【 0 0 7 2 】

本実施形態では、収差調整パラメータは、投影光学系を構成する光学素子の光軸方向の移動量を表すパラメータとしている。但し、収差調整パラメータは、投影光学系を構成する光学素子の偏芯量や傾け量、ステージの移動量、照明光学系を構成する光学素子の駆動量などを表すパラメータであってもよい。

30

【 0 0 7 3 】

また、収差調整パラメータは、露光装置ごとに異なる値となる。従って、パラメータ敏感度テーブルを露光装置ごとにデータベース化して選択可能にすることで、多種の露光装置に適用することができるようにするとよい。

【 0 0 7 4 】

なお、本実施形態では、各収差調整パラメータ（P 1、P 2、P 3）に対して、以下の収差量の調整範囲を与える。

- 5 0 P 1 5 0 (μ m)

- 5 0 P 2 5 0 (μ m)

- 5 0 P 3 5 0 (μ m)

40

【 0 0 7 5 】

S 1 0 1 2 では、投影光学系の像面に形成されるマスクパターンの光学像を評価するための評価場所を投影光学系の像面に設定する。本実施形態では、図 1 1 に示すように、ライン・アンド・スペース・パターン L S P 4、L S P 5 及び L S P 6 のそれぞれのラインパターンの中央に対応する投影光学系の像面に評価場所 B a r 1、B a r 2 及び B a r 3 を設定する。

【 0 0 7 6 】

S 1 0 1 4 では、S 1 0 1 2 で設定した評価場所に形成されるマスクパターンの光学像（の像性能）を基板（投影光学系の像面）に形成すべき目標パターンと比較して評価するための評価基準を設定する。本実施形態で設定する評価基準を具体的に説明する。まず、

50

評価場所 Bar 1、Bar 2 及び Bar 3 のそれぞれに形成される光学像の目標線幅（目標値）を 50 nm とする。そして、マスクパターンの光学像の寸法と目標パターンの寸法との差分（CD 差）の RMS を、本実施形態では、評価基準として設定する。但し、5 つの像高（-12.6, 0）、（-7, 0）、（0, 0）、（7, 0）及び（12.6, 0）のそれぞれについて、デフォーカス量を 0、±20 nm、±40 nm に変化させて CD 差を求めるものとする。

【0077】

本実施形態では、ライン・アンド・スペース・パターンのラインパターンの中央に対応する投影光学系の像面に評価場所を設定し、かかる評価場所での CD 差を評価基準として設定しているが、評価場所及び評価基準はこれに限定されるものではない。例えば、ライン・アンド・スペース・パターンの最端のラインパターンに対応する投影光学系の像面にも評価場所を設定し、中央のラインパターンと最端のラインパターンとの共通の CD 差を評価基準としてもよい。また、像高ごとに異なるパターンを設定し、かかるパターンの目標線幅からの CD 差を評価基準としてもよい。なお、評価基準は、CD 差に限定されるものではなく、焦点深度、マスクパターンの光学像の露光余裕度、マスクパターンの光学像のコントラストや ILS（イメージ・ログ・スロープ）であってもよい。また、投影光学系の像面の座標を評価場所（評価点）として設定し、かかる座標からの光学像の位置ずれ（「エッジ・プレースメント・エラー」とも呼ばれる）を評価基準として設定してもよい。

【0078】

S1016 では、照明パラメータの値及び収差調整パラメータを最適化して、露光条件、即ち、有効光源の形状及び投影光学系の収差を決定する。まず、S1012 で設定した評価場所に形成されるマスクパターンの光学像が S1014 で設定した評価基準を満たすように、照明パラメータの値及び収差調整パラメータの値を決定する。そして、決定した照明パラメータの値及び収差調整パラメータの値のそれぞれで規定される有効光源の形状及び投影光学系の収差（初期収差量から調整すべき収差量）を露光条件として決定する。

【0079】

本実施形態では、上述したように、互いに独立した 6 個のパラメータ、即ち、照明パラメータとして S1、S2 及び S3、収差調整パラメータとして P1、P2 及び P3 が設定されている。これらのパラメータを全て含むパラメータ空間を構成し、かかるパラメータ空間において滑降シンプレックス法によってパラメータの値を最適化する。具体的には、各パラメータの値を変化させながらマスクパターンの光学像を算出して評価場所での CD 差の RMS（評価基準）を求め、CD 差の RMS になるべく小さくなるように、各パラメータの値を最適化する。

【0080】

本実施形態で最適化する前の各パラメータ（S1、S2、S3、P1、P2 及び P3）の値を以下のパラメータ群 5 に示す。

（パラメータ群 5）

S1 = 0.950

S2 = 0.713

S3 = 45（度）

P1 = 0

P2 = 0

P3 = 0

【0081】

図 12（a）及び図 12（b）は、本実施形態で最適化する前の各パラメータ（パラメータ群 5）に対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所 Bar 1、Bar 2 及び Bar 3 での像性能を示す図である。図 12（a）では、横軸に基準焦点位置からのデフォーカス量を採用し、縦軸に光学像の線幅を採用している。図 12（a）では、評価場所 Bar 1、Bar 2 及び Bar 3 での線幅をプロットとし、各プロットを直線で

結んでいる。また、図 1 2 (b) では、横軸に基準焦点位置からのデフォーカス量を採用し、縦軸に C D 差を採用している。図 1 2 (b) では、評価場所 B a r 1、B a r 2 及び B a r 3 での C D 差をプロットとし、各プロットを直線で結んでいる。図 1 2 (a) 及び図 1 2 (b) を参照するに、デフォーカス量 0、 $\pm 20 \text{ nm}$ 及び $\pm 40 \text{ nm}$ における C D 差の R M S は、 7.1 nm である。

【 0 0 8 2 】

本実施形態で最適化された各パラメータ (S 1、S 2、S 3、P 1、P 2 及び P 3) の値を以下のパラメータ群 6 に示す。また、各像高に設定されている収差を、以下の表 6 に示す。

(パラメータ群 6)

S 1 = 0 . 9 1 0

S 2 = 0 . 6 6 3

S 3 = 4 5 (度)

P 1 = - 1 5 . 6

P 2 = - 1 6 . 6

P 3 = 9 . 3

【 0 0 8 3 】

【 表 6 】

	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
-12.6	18.2	24.2	4.2	4.9	2.6	0.8	0.8	0.4	6.2	-0.8	-15.2	-0.8	17.0	4.4	-1.6	-3.4	-0.4	8.7
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
	3.0	-2.0	-3.0	0.6	-1.0	-7.8	3.4	6.6	2.0	-3.0	-4.2	-1.2	-2.6	3.0	-2.8	-6.4		
-7	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
	-11.8	11.4	-3.2	-1.0	-2.8	-12.0	4.0	-1.8	9.6	0.0	-13.8	-0.6	16.6	6.0	0.4	-0.2	1.2	2.7
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
0	1.8	4.0	-5.6	1.6	-1.2	-3.4	3.2	2.6	5.8	-1.6	2.0	1.8	-2.0	1.4	-1.4	-8.6		
	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
	3.0	14.0	2.8	-4.6	0.6	1.8	3.4	-5.6	9.0	5.6	4.6	0.8	13.0	6.8	0.0	3.8	1.8	0.0
7	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
	2.2	3.2	1.6	2.8	-1.0	-0.4	-0.4	2.4	2.2	1.8	1.0	4.8	-2.6	-6.0	-1.2	-6.4		
12.6	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
	-13.4	9.2	6.0	-14.2	0.0	-3.6	4.8	-3.0	18.0	12.4	-6.8	-0.6	14.2	6.0	3.4	1.0	0.8	8.7
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
12.6	2.6	4.4	-7.6	2.0	-1.4	-1.4	-0.6	0.0	1.8	1.6	0.6	1.6	-0.4	-0.6	0.8	-9.2		
	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
	18.2	8.4	-0.8	-17.1	-2.4	6.0	-4.0	-7.8	6.4	10.8	-3.0	-5.0	10.4	-7.4	-2.4	4.6	-3.4	8.7
12.6	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
	0.8	1.6	-4.8	1.0	1.6	2.4	-3.0	-1.0	0.2	-1.6	-6.6	2.6	-1.6	5.8	-2.0	-7.4		

(単位 : $\text{m}\lambda$)

【 0 0 8 4 】

図 1 3 (a) 及び図 1 3 (b) は、本実施形態で最適化した各パラメータ (パラメータ群 6) に対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所 B a r 1、B a r 2 及び B a r 3 での像性能を示す図である。図 1 3 (a) では、横軸に基準焦点位置からのデフォーカス量を採用し、縦軸に光学像の線幅を採用している。図 1 3 (a) では、評価場所 B a r 1、B a r 2 及び B a r 3 での線幅をプロットとし、各プロットを直線で結んでいる。また、図 1 3 (b) では、横軸に基準焦点位置からのデフォーカス量を採用し、縦軸に C D 差を採用している。図 1 3 (b) では、評価場所 B a r 1、B a r 2 及び B a r 3 での C D 差をプロットとし、各プロットを直線で結んでいる。図 1 3 (a) 及び図 1 3 (b) を参照するに、デフォーカス量 0、 $\pm 20 \text{ nm}$ 及び $\pm 40 \text{ nm}$ における C D 差の R M S は、 1.5 nm である。従って、各パラメータ (S 1、S 2、S 3、P 1、P 2 及び P 3) の値を最適化する前と比較して、全ての像高及び全てのデフォーカス量においてマスクパターンの光学像の線幅が目標線幅に近づいていることがわかる。

【 0 0 8 5 】

ここで、比較例 3 として、収差調整パラメータ (P 1、P 2、P 3) の値を変化させずに (即ち、投影光学系の収差を考慮せずに)、照明パラメータ (S 1、S 2、S 3) を最適化する場合を考える。具体的には、図 1 0 に示すフローチャートにおいて、S 1 0 1 0

10

20

30

40

50

では、収差調整パラメータを設定しない（換言すれば、収差調整パラメータの値を0に固定する）。比較例3で最適化された照明パラメータ（S1、S2、S3）の値を以下のパラメータ群7に示す。

（パラメータ群7）

S1 = 0.958

S2 = 0.694

S3 = 73（度）

P1 = 0

P2 = 0

P3 = 0

10

【0086】

図14（a）及び図14（b）は、比較例3で最適化した各パラメータ（パラメータ群7）に対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所Bar1、Bar2及びBar3での像性能を示す図である。図14（a）では、横軸に基準焦点位置からのデフォーカス量を採用し、縦軸に光学像の線幅を採用している。図14（a）では、評価場所Bar1、Bar2及びBar3での線幅をプロットとし、各プロットを直線で結んでいる。また、図14（b）では、横軸に基準焦点位置からのデフォーカス量を採用し、縦軸にCD差を採用している。図14（b）では、評価場所Bar1、Bar2及びBar3でのCD差をプロットとし、各プロットを直線で結んでいる。図14（a）及び図14（b）を参照するに、デフォーカス量0、±20nm及び±40nmにおけるCD差のRMSは、1.66nmである。比較例3（図14（b））は、本実施形態（図13（b））と比較して、像高間のばらつきが多いことがわかる。

20

【0087】

このように、露光条件の最適化において、有効光源の形状やマスクのパターンと同様に、投影光学系の収差（初期収差量から調整すべき収差量）も最適化のターゲットとすることが、マスクパターンの光学像の像性能を向上させる上で有効であることがわかる。

【0088】

また、比較例4として、照明パラメータ（S1、S2、S3）の値を変化させずに（即ち、有効光源の形状を固定して）、収差調整パラメータ（P1、P2、P3）を最適化する場合を考える。具体的には、図10に示すフローチャートにおいて、S1006では、照明パラメータを設定しない（換言すれば、照明パラメータS1、S2及びS3のそれぞれの値を0.950、0.75及び73に固定する）。比較例4で最適化された収差調整パラメータ（P1、P2、P3）の値を以下のパラメータ群8に示す。また、各像高に設定されている収差を、以下の表7に示す。

30

（パラメータ群8）

S1 = 0.950

S2 = 0.713

S3 = 73（度）

P1 = 0

P2 = 0

P3 = 0

40

【0089】

【表 7】

	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
-12.6	18.2	24.2	4.2	-25.6	2.6	0.0	0.8	0.4	6.2	-0.8	-15.2	-0.8	17.0	4.4	-1.6	-3.4	-0.4	10.0
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
	3.0	-2.0	-3.0	0.6	-1.0	-7.8	3.4	6.6	2.0	-3.0	-4.2	-1.2	-2.6	3.0	-2.8	-6.4		
-7.0	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
	-11.8	11.4	-3.2	-17.9	-2.8	-12.8	4.0	-1.8	9.6	0.0	-13.8	-0.6	16.6	6.0	0.4	-0.2	1.2	3.1
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
1.8	4.0	-5.6	1.6	-1.2	-3.4	3.2	2.6	5.8	-1.6	2.0	1.8	-2.0	1.4	-1.4	-8.6			
0.0	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
	3.0	14.0	2.8	-4.6	0.6	1.0	3.4	-5.6	9.0	5.6	4.6	0.8	13.0	6.8	0.0	3.8	1.8	0.0
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
2.2	3.2	1.6	2.8	-1.0	-0.4	-0.4	2.4	2.2	1.8	1.0	4.8	-2.6	-6.0	-1.2	-6.4			
7.0	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
	-13.4	9.2	6.0	2.7	0.0	-4.4	4.8	-3.0	18.0	12.4	-6.8	-0.6	14.2	6.0	3.4	1.0	0.8	3.1
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
2.6	4.4	-7.6	2.0	-1.4	-1.4	-0.6	0.0	1.8	1.6	0.6	1.6	-0.4	-0.6	0.8	-9.2			
12.6	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C20	zdef
	18.2	8.4	-0.8	13.4	-2.4	5.2	-4.0	-7.8	6.4	10.8	-3.0	-5.0	10.4	-7.4	-2.4	4.6	-3.4	10.0
	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C28	C29	C30	C31	C32	C33	C34	C35	C36		
0.8	1.6	-4.8	1.0	1.6	2.4	-3.0	-1.0	0.2	-1.6	-6.6	2.6	-1.6	5.8	-2.0	-7.4			

(単位 : mλ)

【 0 0 9 0 】

図 1 5 (a) 及び図 1 5 (b) は、比較例 4 で最適化した各パラメータ (パラメータ群 8) に対応して、投影光学系の像面に形成される光学像の評価場所 Bar 1、Bar 2 及び Bar 3 での像性能を示す図である。図 1 5 (a) では、横軸に基準焦点位置からのデフォーカス量を採用し、縦軸に光学像の線幅を採用している。図 1 5 (a) では、評価場所 Bar 1、Bar 2 及び Bar 3 での線幅をプロットとし、各プロットを直線で結んでいる。また、図 1 5 (b) では、横軸に基準焦点位置からのデフォーカス量を採用し、縦軸に CD 差を採用している。図 1 5 (b) では、評価場所 Bar 1、Bar 2 及び Bar 3 での CD 差をプロットとし、各プロットを直線で結んでいる。図 1 5 (a) 及び図 1 5 (b) を参照するに、デフォーカス量 0、± 2 0 nm 及び ± 4 0 nm における CD 差の RMS は、3 . 2 nm である。比較例 4 (図 1 4 (b)) は、本実施形態で最適化する前 (図 1 2 (b)) と比較して、各像高での CD 差を小さく抑えていることがわかる。

【 0 0 9 1 】

このように、既知の収差を入力して有効光源の形状を最適化するような従来技術は、有効光源の形状及び投影光学系の収差を同時に最適化する本実施形態と比較して、マスクパターンの光学像の像性能を向上させることができない。但し、投影光学系の収差 (収差調整パラメータの値) を最適化するだけ (比較例 4) では、デフォーカス量の変化に対して CD 差が大きくなってしまう。本実施形態 (図 1 3)、比較例 3 (図 1 4) 及び比較例 4 (図 1 5) を比較するに、有効光源の形状及び投影光学系の収差を同時に最適化することで、最も優れた像性能を有する光学像を形成することができることがわかる。

【 0 0 9 2 】

また、本実施形態では、投影光学系に設定すべき収差量を表すパラメータではなく、投影光学系に設定された初期収差量から調整すべき収差量 (投影光学系を構成する光学素子の駆動量) を表す収差調整パラメータを収差パラメータとしている。これにより、最適化した収差調整パラメータ (P 1、P 2、P 3) を投影光学系に備えられた収差調整機構に入力する指令 (収差の調整の指令) として用いることができる。

【 0 0 9 3 】

また、本実施形態では、有効光源の形状及び投影光学系の収差を最適化のターゲットとしているが、マスクパターン (マスクパラメータ M 1、M 2、M 3) も最適化のターゲットとすることができる。

【 0 0 9 4 】

なお、第 1 の実施形態、第 2 の実施形態及び第 3 の実施形態は、以下の処理を実行することによっても実現される。即ち、上述した実施形態の機能を実現するソフトウェア (プログラム) を、ネットワーク又は各記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、その

10

20

30

40

50

システム或いは装置のコンピュータ（またはCPUやMPU等）がプログラムを読み出して実行する処理である。この場合、そのプログラム、及び、かかるプログラムを記憶した記憶媒体は本発明を構成することになる。

【0095】

<第4の実施形態>

図16を参照して、照明光学系からの光で照明されたマスクのパターンをウエハに転写する露光装置100について説明する。図16は、露光装置100の構成を示す概略ブロック図である。露光装置100は、本実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置であるが、ステップ・アンド・リピート方式やその他の露光方式も適用することができる。

10

【0096】

露光装置100は、照明装置110と、マスク120を支持するマスクステージ（不図示）と、投影光学系130と、ウエハ140を支持するウエハステージ（不図示）とを有する。

【0097】

照明装置110は、光源160と、照明光学系180とを含み、転写用の回路パターンが形成されたマスク120を照明する。光源160は、例えば、波長約193nmのArFエキシマレーザ、波長約248nmのKrFエキシマレーザなどのエキシマレーザを使用する。但し、光源160の種類及び個数は限定されず、例えば、波長約157nmのF₂レーザや狭帯域化した水銀ランプなどを光源160として使用することもできる。照明光学系180は、光源160からの光を用いてマスク120を照明する光学系であって、第1の実施形態、第2の実施形態又は第3の実施形態の決定方法によって決定された有効光源を形成する。照明光学系180は、引き回し光学系181と、ビーム整形光学系182と、偏光制御部183と、位相制御部184と、射出角度保存光学素子185と、リレー光学系186と、多光束発生部187とを含む。また、照明光学系180は、偏光状態調整部188と、計算機ホログラム189と、リレー光学系190と、アパーチャ191と、ズーム光学系192と、多光束発生部193と、開口絞り194と、照射部195とを含む。

20

【0098】

引き回し光学系181は、光源160からの光を偏向してビーム整形光学系182に導光する。ビーム整形光学系182は、光源160からの光の断面形状の縦横比率を所定の値に変換する（例えば、断面形状を長方形から正方形にする）。ビーム整形光学系182は、多光束発生部187を照明するために必要な大きさ及び発散角を有する光束を形成する。

30

【0099】

偏光制御部183は、例えば、直線偏光子などで構成され、不要な偏光成分を除去する機能を有する。偏光制御部183で除去（遮光）される偏光成分を最小限にすることで、光源160からの光を効率よく所定の直線偏光にすることができる。位相制御部184は、偏光制御部183によって直線偏光となった光に $\pi/4$ の位相差を与えて円偏光に変換する。射出角度保存光学素子185は、例えば、オプティカルインテグレータ（複数の微小レンズで構成されたハエの目レンズやファイバーなど）で構成され、一定の発散角度で光を射出する。リレー光学系186は、射出角度保存光学素子185から射出された光を多光束発生部187に集光する。射出角度保存光学素子185の射出面と多光束発生部187の入射面とは、リレー光学系186によって、互いにフーリエ変換の関係（物体面と瞳面の関係、又は、瞳面と像面の関係）になっている。多光束発生部187は、偏光状態調整部188及び計算機ホログラム189を均一に照明するためのオプティカルインテグレータで構成される。多光束発生部187の射出面には、複数の点光源からなる2次光源が形成される。多光束発生部187から射出された光は、円偏光として偏光状態調整部188に入射する。

40

【0100】

50

偏光状態調整部 188 は、位相制御部 184 によって円偏光となった光に $\pi/4$ の位相差を与えて所定の偏光方向を有する直線偏光に変換する。偏光状態調整部 188 から射出された光は、直線偏光として回折光学素子として機能する計算機ホログラム 189 に入射する。本実施形態では、偏光状態調整部 188 は、計算機ホログラム 189 よりも光源側に配置されているが、偏光状態調整部 188 と計算機ホログラム 189 との配置関係を入れ替えてもよい。また、偏光状態調整部 188 をサブ波長構造 (SWS: Sub Wavelength Structure) で構成した場合には、1つの素子で偏光状態調整部と回折光学素子の機能を有する (即ち、回折光学素子と一体的に構成する) ことができる。

【0101】

計算機ホログラム 189 は、リレー光学系 190 を介して、アパーチャ 191 の位置に、第 1 の実施形態、第 2 の実施形態又は第 3 の実施形態の決定方法で決定された有効光源 (光強度分布) を形成する。また、計算機ホログラム 189 は、輪帯照明や 4 重極照明などを形成することも可能であり、偏光状態調整部 188 と協同して、タンジェンシャル偏光やラディアル偏光などを実現することもできる。このような互いに異なる有効光源を形成する複数の計算機ホログラム 189 は、例えば、ターレットなどの切り替え部に配置される。そして、第 1 の実施形態、第 2 の実施形態又は第 3 の実施形態の決定方法によって決定された有効光源に対応する計算機ホログラム 189 を照明光学系 180 の光路に配置することで、様々な有効光源を形成することができる。

【0102】

アパーチャ 191 は、計算機ホログラム 189 によって形成された有効光源 (光強度分布) のみを通過させる機能を有する。計算機ホログラム 189 とアパーチャ 191 とは、互いにフーリエ変換の関係になるように配置されている。ズーム光学系 192 は、計算機ホログラム 189 によって形成された有効光源を所定の倍率で拡大して多光束発生部 193 に投影する。多光束発生部 193 は、照明光学系 180 の瞳面に配置され、アパーチャ 191 の位置に形成された光強度分布に対応した光源像 (有効光源) を射出面に形成する。多光束発生部 193 は、本実施形態では、ハエの目レンズやシリンドリカルレンズアレイなどのオプティカルインテグレータで構成される。なお、多光束発生部 193 の射出面の近傍には、開口絞り 194 が配置される。照射部 195 は、コンデンサー光学系などを含み、多光束発生部 193 の射出面に形成される有効光源でマスク 120 を照明する。

【0103】

マスク 120 は、ウエハ 140 に転写すべきパターンを有する。なお、露光条件を決定する決定方法として第 1 の実施形態の決定方法が用いられている場合には、マスク 120 は、第 1 の実施形態の決定方法によって決定されたマスクパターンに対応するパターンをウエハ 140 に転写すべきパターンとして有する。マスク 120 は、図示しないマスクステージに支持及び駆動される。マスク 120 からの回折光は、投影光学系 130 を介して、ウエハ 140 に投影される。露光装置 100 は、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置であるため、マスク 120 とウエハ 140 とを走査することによって、マスク 120 のパターンをウエハ 140 に転写する。

【0104】

投影光学系 130 は、マスク 120 のパターンをウエハ 140 に投影する光学系である。また、投影光学系 130 には、第 1 の実施形態、第 2 の実施形態又は第 3 の実施形態の決定方法によって決定された投影光学系の収差が設定される。投影光学系 130 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。

【0105】

ウエハ 140 は、マスク 120 のパターンが投影 (転写) される基板であり、図示しないウエハステージに支持及び駆動される。但し、ウエハ 140 は、ガラスプレートやその他の基板に置き換えることもできる。ウエハ 140 には、レジストが塗布されている。

【0106】

露光において、光源 160 からの光は、照明光学系 180 によってマスク 120 を照明

10

20

30

40

50

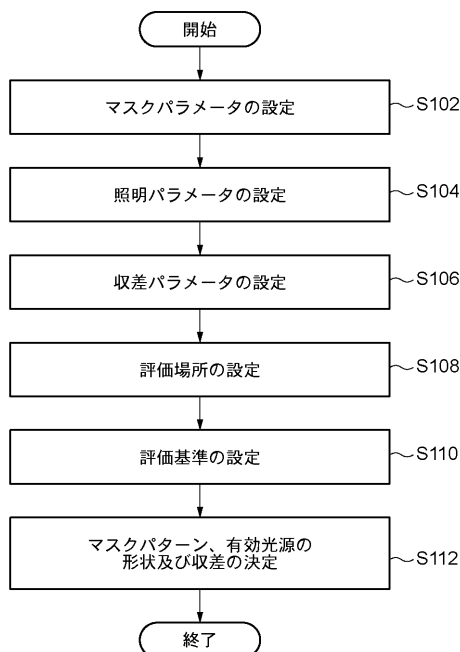
する。マスク 1 2 0 のパターンを反映する光は、投影光学系 1 3 0 によってウエハ 1 4 0 の上に結像する。この際、露光装置 1 0 0 には、上述したように、第 1 の実施形態、第 2 の実施形態又は第 3 の実施形態の決定方法によって決定された露光条件が設定されている。従って、露光装置 1 0 0 は、高いスループットで経済性よく高品位なデバイス（半導体素子、ＬＣＤ素子、撮像素子（ＣＣＤなど）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。かかるデバイスは、露光装置 1 0 0 を用いてフォトレジスト（感光剤）が塗布された基板（ウエハ、ガラスプレート等）を露光する工程と、露光された基板を現像する工程と、その他の周知の工程と、を経ることによって製造される。

【 0 1 0 7 】

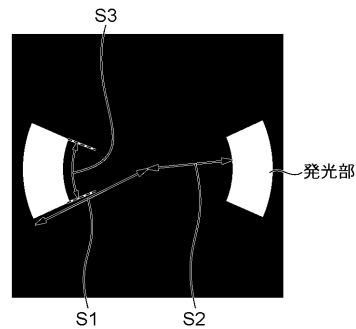
以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

10

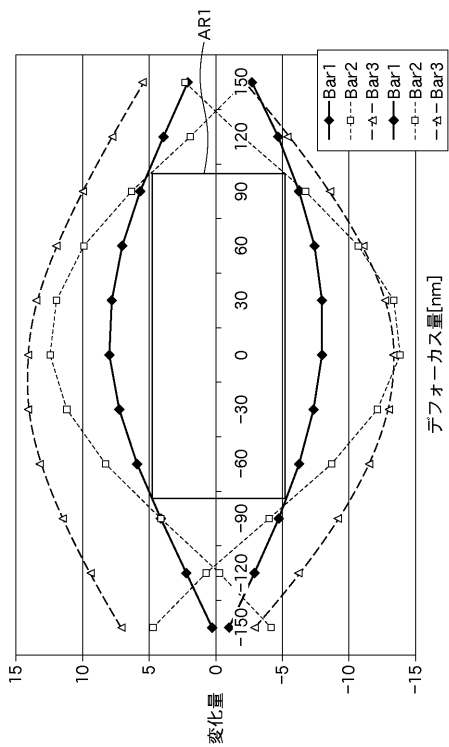
【 図 1 】



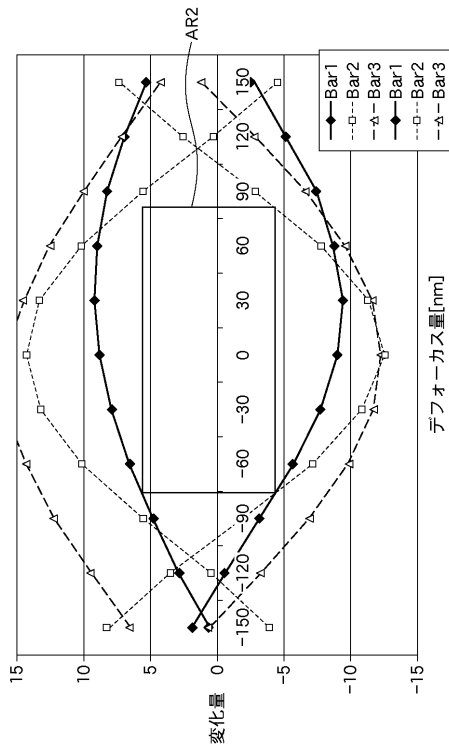
【 図 3 】



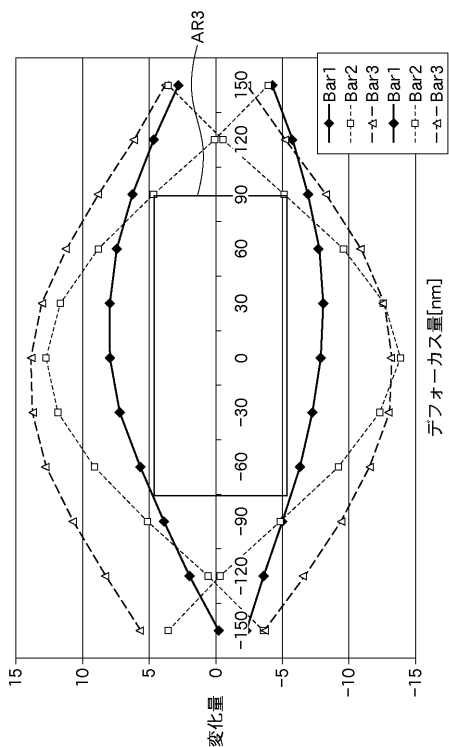
【図 5】



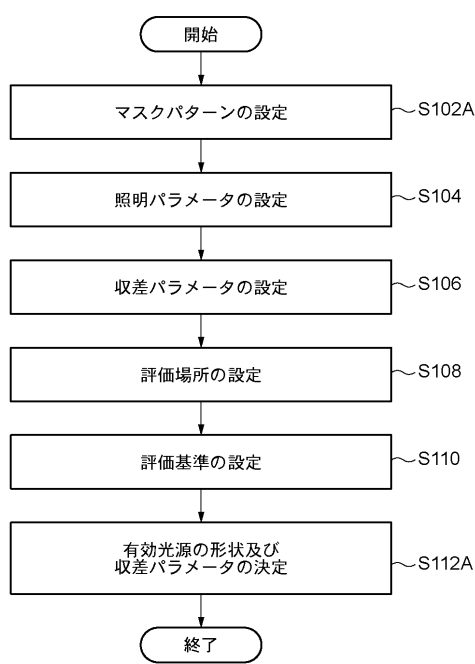
【図 6】



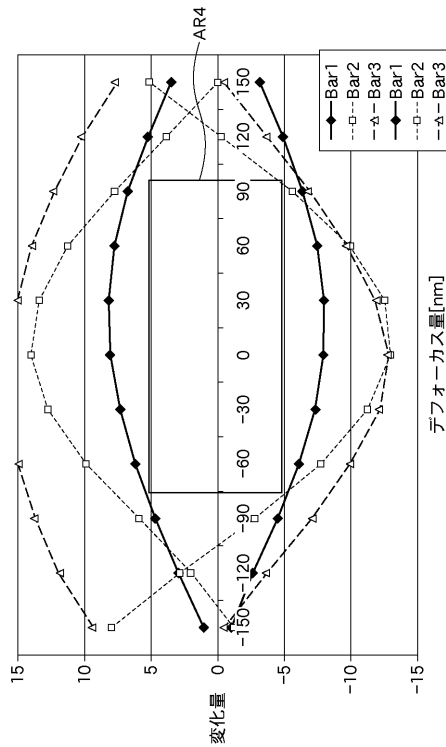
【図 7】



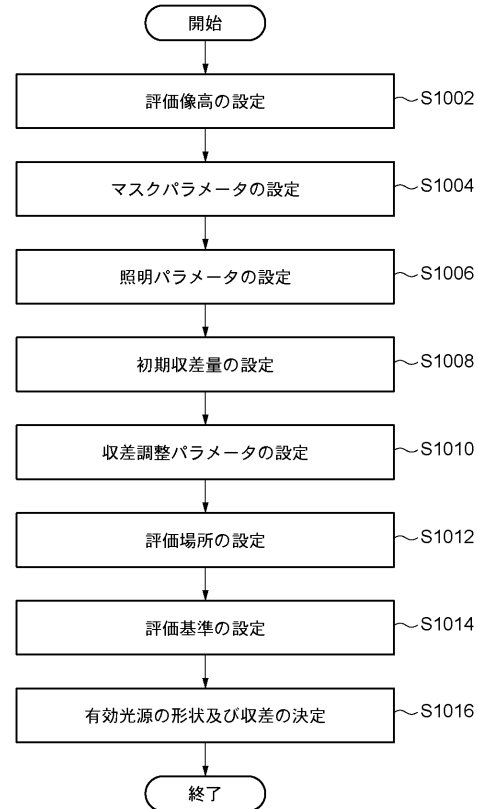
【図 8】



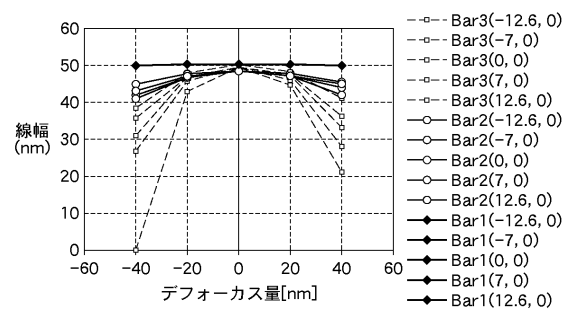
【図 9】



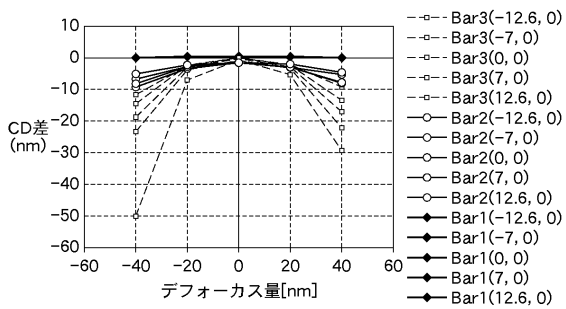
【図 10】



【図 12】

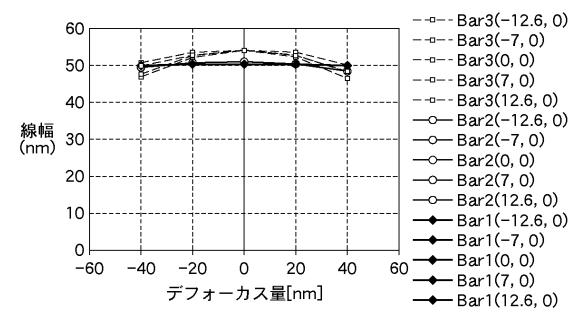


(a)

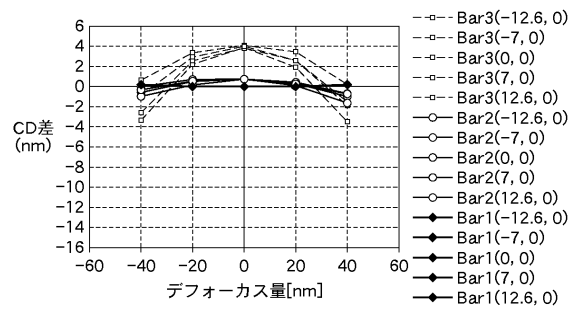


(b)

【図 13】

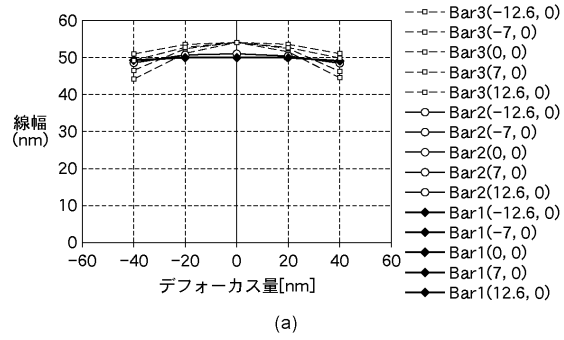


(a)



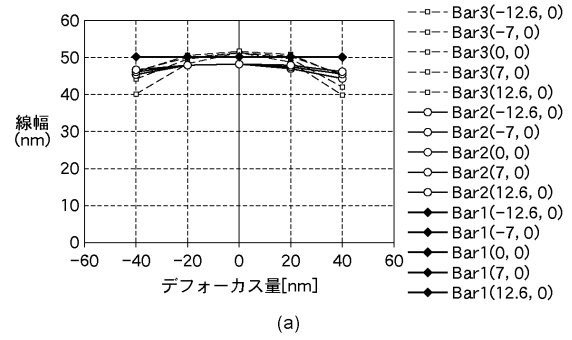
(b)

【図 14】

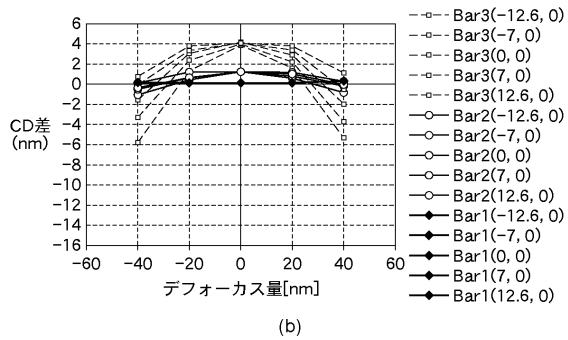


(a)

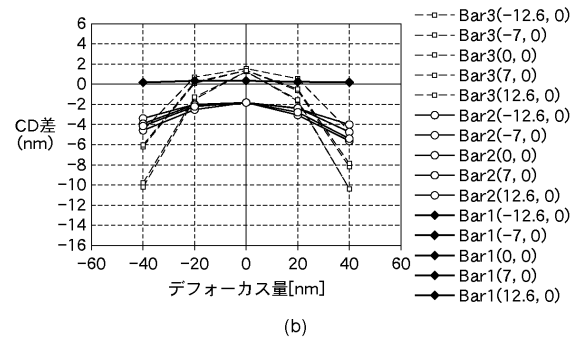
【図 15】



(a)

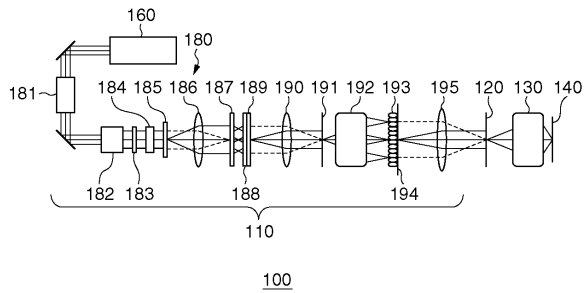


(b)

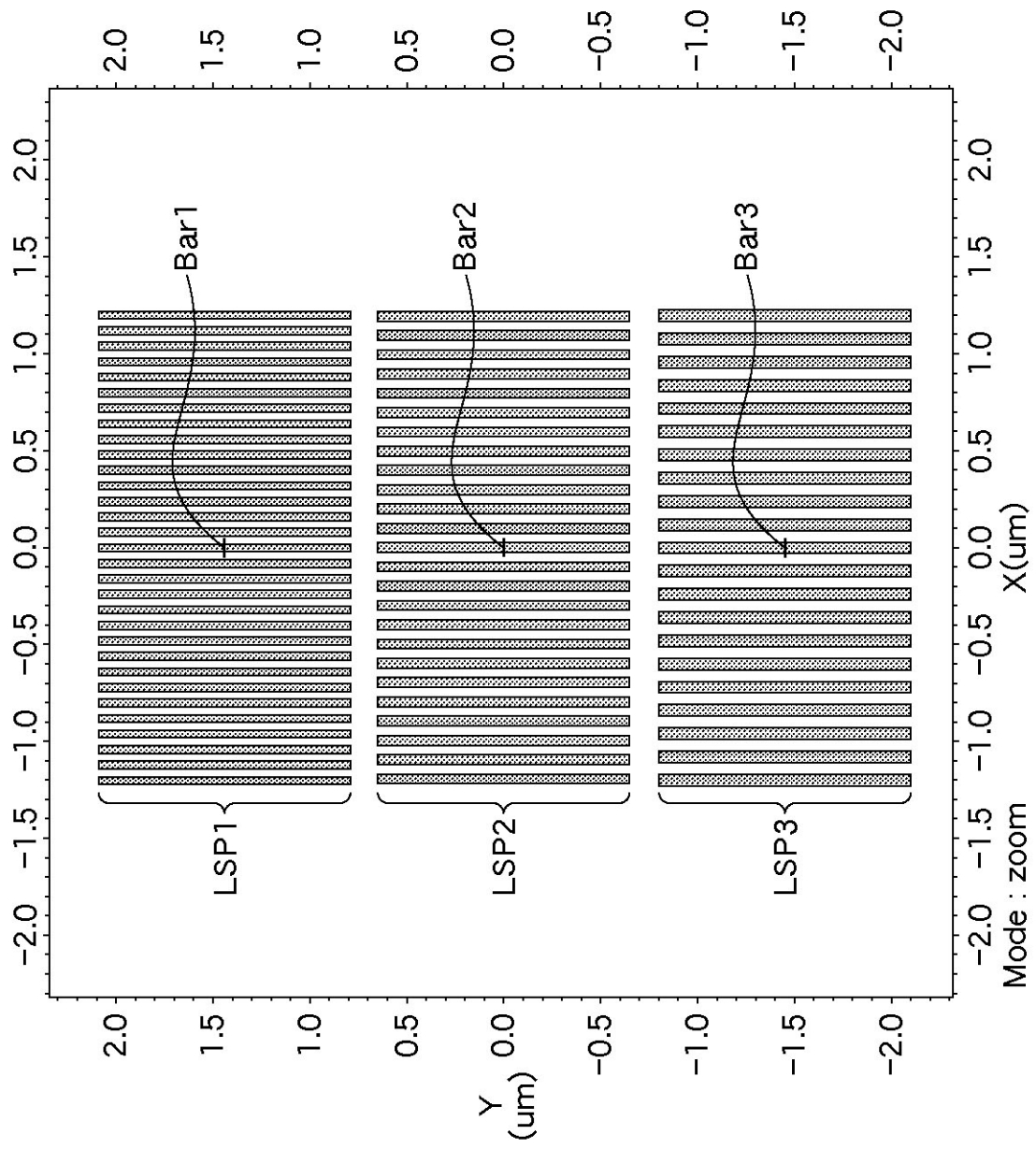


(b)

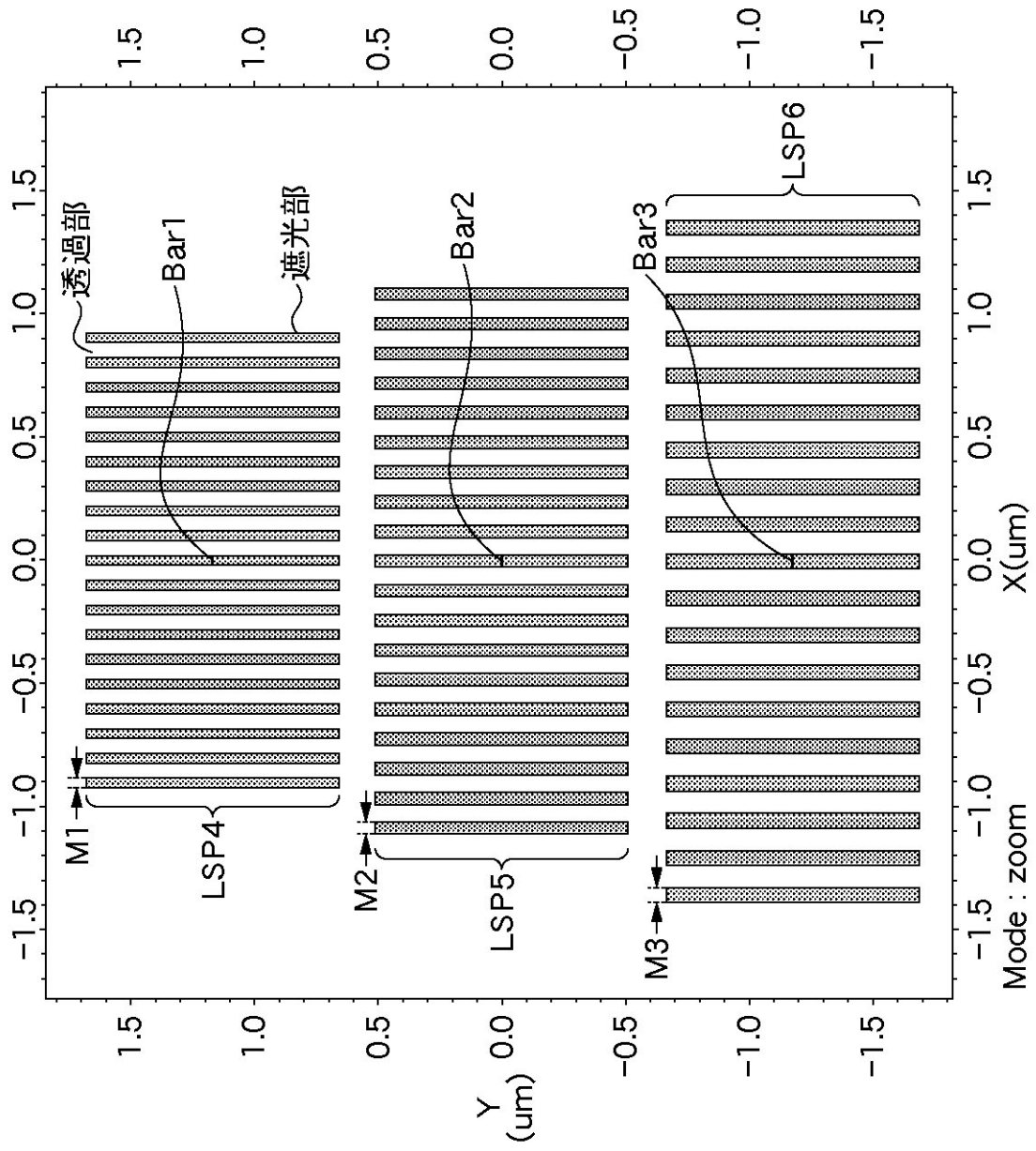
【図 16】



【図4】



【図 11】



フロントページの続き

- (72)発明者 行田 裕一
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 三上 晃司
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 辻田 好一郎
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 佐野 浩樹

- (56)参考文献 特開2007-027418(JP,A)
特許第4606732(JP,B2)
国際公開第02/054036(WO,A1)
特開2004-079911(JP,A)
特開2004-111579(JP,A)
特開2002-299205(JP,A)
特開平09-326343(JP,A)
特開2010-175733(JP,A)
特開2005-302777(JP,A)
特開平07-175204(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 7/20 - 7/24 、 9/00 - 9/02 、
H01L21/027、21/30