

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6661371号
(P6661371)

(45) 発行日 令和2年3月11日(2020.3.11)

(24) 登録日 令和2年2月14日(2020.2.14)

(51) Int.Cl.		F I			
G03F	7/20	(2006.01)	G03F	7/20	521
G02B	7/02	(2006.01)	G03F	7/20	501
			G02B	7/02	C

請求項の数 15 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2015-254866 (P2015-254866)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成27年12月25日 (2015.12.25)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2017-116867 (P2017-116867A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成29年6月29日 (2017.6.29)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	平成30年11月15日 (2018.11.15)		弁理士 大塚 康德
		(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100112508
			弁理士 高柳 司郎
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175
			弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 評価方法、露光方法、および物品の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

露光装置における投影光学系の収差を評価する評価方法であって、
マスクの複数のパターン要素を前記露光装置の前記投影光学系により基板に転写する転写工程と、

前記複数のパターン要素の各々について、前記転写工程での転写結果から得られる前記投影光学系の投影位置を第1値として求め、前記複数のパターン要素における前記第1値の平均値を第1情報として求める第1工程と、

前記投影光学系からの光を受光するセンサを用いて、前記投影光学系により投影された前記複数のパターン要素の像を検出する検出工程と、

前記複数のパターン要素の各々について、前記検出工程での検出結果から得られる前記投影光学系の投影位置を第2値として求め、前記複数のパターン要素における前記第2値の平均値と前記複数のパターン要素の各々についての前記第2値との差を第2情報として求める第2工程と、

前記第1情報と前記第2情報とから得られる評価用情報に基づいて、前記投影光学系の収差を評価する評価工程と、

を含むことを特徴とする評価方法。

【請求項 2】

前記評価工程では、前記第1情報としての前記第1値の平均値と前記第2情報としての前記差とを合わせるにより前記評価用情報を求める、ことを特徴とする請求項1に記

載の評価方法。

【請求項 3】

前記評価工程では、前記第 1 情報としての前記第 1 値の平均値と、重みを付けた前記第 2 情報としての前記差と、をパターン要素ごとに足し合わせるにより前記評価用情報を求める、ことを特徴とする請求項 2 に記載の評価方法。

【請求項 4】

前記複数のパターン要素は、ラインの伸びる方向が互いに異なる複数のライン要素を含む、ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のうちいずれか 1 項に記載の評価方法。

【請求項 5】

前記複数のライン要素は、ラインの伸びる方向が互いに 4 5 度ずつ異なる、ことを特徴とする請求項 4 に記載の評価方法。

10

【請求項 6】

前記第 1 工程では、ラインの伸びる方向に応じて各パターン要素の前記第 1 値に重み付けし、前記複数のパターン要素について重み付けされた前記第 1 値の平均値を前記第 1 情報として求める、ことを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の評価方法。

【請求項 7】

前記第 1 値および前記第 2 値としてそれぞれ求められる前記投影光学系の投影位置は、前記投影光学系のフォーカス値を含み、

前記評価工程では、前記投影光学系の像面湾曲および非点収差の少なくとも一方を評価する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のうちいずれか 1 項に記載の評価方法。

20

【請求項 8】

前記第 1 値および前記第 2 値としてそれぞれ求められる前記投影光学系の投影位置は、前記投影光学系の光軸と垂直な方向において前記投影光学系により前記複数のパターン要素が結像される位置と目標位置とのずれ量を含み、

前記評価工程では、前記投影光学系の歪曲収差を評価する、ことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のうちいずれか 1 項に記載の評価方法。

【請求項 9】

前記第 1 値および前記第 2 値としてそれぞれ求められる前記投影光学系の投影位置は、前記光軸に垂直な第 1 方向における前記ずれ量と、前記光軸に垂直かつ前記第 1 方向と異なる第 2 方向における前記ずれ量とを含む、ことを特徴とする請求項 8 に記載の評価方法。

30

【請求項 10】

前記転写工程は 1 回だけ行われる、ことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のうちいずれか 1 項に記載の評価方法。

【請求項 11】

前記検出工程は複数回行われ、

前記第 2 工程では、複数回の前記検出工程で得られた複数の検出結果を平均化した結果に基づいて前記第 2 情報を求める、ことを特徴とする請求項 10 に記載の評価方法。

【請求項 12】

前記露光装置の照明条件が変更された場合、

変更後の照明条件で前記検出工程および前記第 2 工程を新たに行うことにより変更後の照明条件での前記第 2 情報を新たに求める工程と、

変更前の照明条件で求められた前記第 2 情報と、変更後の照明条件で新たに求められた前記第 2 情報との差に基づいて、前記評価用情報を補正する工程と、

補正した前記評価用情報に基づいて、変更後の照明条件での前記投影光学系の収差を評価する工程と、

を行うことを特徴とする請求項 1 乃至 11 のうちいずれか 1 項に記載の評価方法。

40

【請求項 13】

露光装置における投影光学系の収差を評価する評価方法であって、

マスクの複数のパターン要素の各々について、前記複数のパターン要素を前記露光装置

50

の前記投影光学系により基板に転写した転写結果から得られる前記投影光学系の投影位置を第1値として求め、前記複数のパターン要素における前記第1値の平均値を前記投影光学系の収差を示す第1情報として求める第1工程と、

前記複数のパターン要素の各々について、前記投影光学系により投影された前記複数のパターン要素の像を検出した検出結果から得られる前記投影光学系の投影位置を第2値として求め、前記複数のパターン要素における前記第2値の平均値、および、前記複数のパターン要素の各々についての前記第2値と前記第2値の平均値との差、を第2情報として求める第2工程と、

前記第1情報と前記第2情報とから得られる評価用情報に基づいて、前記投影光学系の収差を評価する評価工程と、

を含むことを特徴とする評価方法。

【請求項14】

基板を露光する露光方法であって、

請求項1乃至13のうちいずれか1項に記載の評価方法を用いて投影光学系の収差を評価する工程と、

前記投影光学系の収差の評価結果に基づいて前記露光装置を校正する工程と、

校正された前記露光装置を用いて前記基板を露光する工程と、

を含むことを特徴とする露光方法。

【請求項15】

請求項14に記載の露光方法を用いて基板を露光する工程と、

前記工程で露光を行われた前記基板を現像する工程と、

を含み、現像された基板から物品を得ることを特徴とする物品の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、露光装置における投影光学系の収差を評価する評価方法、露光方法、および物品の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスなどの製造工程（リソグラフィ工程）で用いられる装置の1つとして、マスクのパターンを基板に転写する露光装置がある。露光装置では、近年における回路パターンの微細化に伴い、投影光学系の収差を精度よく評価することが求められている。特許文献1および2には、マスクのパターンを基板に実際に転写した転写結果、および撮像素子を用いて空中像計測を行った結果のいずれか一方のみに基づいて投影光学系の収差を評価することが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2003-215423号公報

【特許文献2】特開2001-166497号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

転写結果のみに基づいて投影光学系の収差を評価する場合、複数の基板にマスクのパターンをそれぞれ転写した結果を用いることが、投影光学系の収差を精度よく評価する上で好ましい。しかしながら、複数の基板にマスクのパターンをそれぞれ転写し、各基板に転写されたパターンを計測することは煩雑であり、相応の時間が掛かりうる。一方で、空中像計測の結果のみに基づいて投影光学系の収差を評価する場合、空中像計測の結果には転写結果に対して誤差が生じうるため、投影光学系の収差を精度よく評価することが困難となりうる。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 5 】

そこで、本発明は、露光装置における投影光学系の収差を容易に且つ精度よく評価するために有利な技術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】

【 0 0 0 6 】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての評価方法は、露光装置における投影光学系の収差を評価する評価方法であって、マスクの複数のパターン要素を前記露光装置の前記投影光学系により基板に転写する転写工程と、前記複数のパターン要素の各々について、前記転写工程での転写結果から得られる前記投影光学系の投影位置を第1値として求め、前記複数のパターン要素における前記第1値の平均値を第1情報として求める第1工程と、前記投影光学系からの光を受光するセンサを用いて、前記投影光学系により投影された前記複数のパターン要素の像を検出する検出工程と、前記複数のパターン要素の各々について、前記検出工程での検出結果から得られる前記投影光学系の投影位置を第2値として求め、前記複数のパターン要素における前記第2値の平均値と前記複数のパターン要素の各々についての前記第2値との差を第2情報として求める第2工程と、前記第1情報と前記第2情報とから得られる評価用情報に基づいて、前記投影光学系の収差を評価する評価工程と、を含むことを特徴とする。

10

【 0 0 0 7 】

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。

20

【発明の効果】

【 0 0 0 8 】

本発明によれば、例えば、露光装置における投影光学系の収差を容易に且つ精度よく評価するため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 0 9 】

【図1】露光装置を示す概略図である。

【図2】投影光学系の収差の評価方法および露光方法を示すフローチャートである。

【図3】評価用マスクを示す図である。

【図4】線幅と基板の高さとの関係を示す図である。

30

【図5】投影光学系の収差を評価するために得られた特性を示す図である。

【図6】投影光学系の収差を評価するために得られた特性を示す図である。

【図7】照明条件の変更を伴う投影光学系の収差の評価方法および露光方法を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

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、同一の部材ないし要素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 1 】

40

< 第1実施形態 >

本実施形態では、露光装置100における投影光学系の収差を評価する評価方法について説明する。まず、露光装置100について図1(a)を参照しながら説明する。図1(a)は、第1実施形態の露光装置100を示す概略図である。露光装置100は、例えば、マスク2を照明する照明光学系1と、マスク2を保持して移動可能なマスクステージ3と、マスク2のパターンを基板5に投影する投影光学系4と、基板5を保持して移動可能な基板ステージ6と、制御部7とを含みうる。制御部7は、例えばCPUやメモリなどを含み、露光装置100の各部を制御する(露光処理を制御する)。

【 0 0 1 2 】

照明光学系1は、それに含まれるマスキングブレードなどの遮光部材(スリット規定部

50

材)により、光源から射出された光を、例えばX方向に長い円弧状のスリット光に整形し、そのスリット光でマスク2の一部を照明する。照明光学系1から射出されるスリット光の断面1a(XY断面)は、図1(b)に示すように、軸11を中心とした曲率R、スリット長Lおよびスリット幅dによって規定される形状を有しうる。

【0013】

投影光学系4は、等倍結像光学系、拡大結像光学系および縮小結像光学系のいずれか1つの光学系として構成されうる。本実施形態では、投影光学系4を等倍結像光学系として構成した例について説明する。投影光学系4は、例えば、第1平面ミラー41、第2平面ミラー42、凹面ミラー43および凸面ミラー44を含みうる。照明光学系1から射出され、マスク2を透過した光は、第1平面ミラー41、および凹面ミラー43の上部でそれぞれ反射されて凸面ミラー44に入射する。そして、凸面ミラー44で反射された光は、凹面ミラー43の下部、および第2平面ミラー42でそれぞれ反射されて基板5に入射する。これにより、マスク2のパターンが基板5に投影される。即ち、マスク2のパターンの像が基板5に結像される。

10

【0014】

マスク2および基板5は、マスクステージ3および基板ステージ6によってそれぞれ保持されており、投影光学系4を介して光学的に共役な位置(投影光学系4の物体面および像面)のそれぞれに配置される。マスクステージ3および基板ステージ6は、少なくとも投影光学系4の光軸10と垂直な方向(例えばY方向)に、互いに同期しながら投影光学系4の投影倍率に応じた速度比で相対的に走査される。これにより、基板上でスリット光をY方向に走査しながら、マスク2のパターンを基板上に転写することができる。また、マスクステージ3および基板ステージ6は、マスク2および基板5をそれぞれ高さ方向(Z方向)にも移動可能に構成されうる。

20

【0015】

ここで、露光装置100は、基板5の高さを検出する第1検出部8と、投影光学系4によって投影されたマスク2のパターンの像を検出する(所謂、空中像計測を行う)第2検出部9とを含みうる。第1検出部8は、基板5に光を斜めから照射する斜入射型であり、基板5の表面に光を照射する照射系8aと、基板5で反射された光を受光する受光系8bとを含みうる。また、第2検出部9は、例えばCCDセンサやCMOSセンサなどの撮像素子(イメージセンサ)を含み、当該撮像素子の撮像面が基板5の面と同じ高さになるように基板ステージ6に設けられうる。そして、第2検出部9は、マスク2のパターンの像を検出する際には、投影光学系4から射出された光が第2検出部9に入射するように基板ステージ6によって移動される。

30

【0016】

このように構成された露光装置100では、近年における回路パターンの微細化に伴い、投影光学系4の収差を精度よく評価することが求められている。従来では、マスク2のパターンの基板5への転写結果および空中像計測の結果のいずれか一方のみに基づいて投影光学系4の収差の評価が行われていた。転写結果のみに基づいて投影光学系4の収差を評価する場合、複数の基板5にマスク2のパターンをそれぞれ転写した結果を用いることが、投影光学系4の収差を精度よく評価する上で好ましい。しかしながら、複数の基板5にマスク2のパターンをそれぞれ転写し、各基板5に転写されたパターンを計測することは煩雑であり、相応の時間が掛かりうる。特に、基板5に転写されたパターンの線幅等を計測する工程は他の工程と比べて評価時間が多く掛かりうるため、基板の枚数を増やすことは評価時間の点で好ましくない。一方で、空中像計測の結果のみに基づいて投影光学系4の収差を評価する場合、空中像計測の結果には転写結果に対する誤差が生じうるため、投影光学系4の収差を精度よく評価することが困難となりうる。

40

【0017】

そこで、本実施形態に係る投影光学系の収差の評価方法は、転写結果に基づいて投影光学系4の収差を示す情報を求めるとともに、空中像計測の結果の各々に基づいても投影光学系4の収差を示す情報を求める。そして、空中像計測の結果に基づいて求めた当該情報

50

を、転写結果に基づいて求めた当該情報によって補正し、補正した結果に基づいて投影光学系4の収差を評価する。これにより、マスク2のパターンを転写する基板5の枚数（即ち、マスク2のパターンを基板5に転写する回数）を減らすことができるとともに、投影光学系4の収差を容易に且つ精度よく評価することができる。以下に、転写結果および空中像計測の結果の双方に基づいて投影光学系4の収差を評価する方法について説明する。

【0018】

[実施例1]

実施例1では、露光装置100における投影光学系4の収差として像面湾曲および非点収差を評価する方法について、図2を参照しながら説明する。ここでは、投影光学系4の収差の評価方法と併せて、投影光学系4の収差の評価結果に基づいて露光装置100を校正し、校正した露光装置100を用いて基板を露光する露光方法についても説明する。図2は、投影光学系4の収差の評価方法および露光方法を示すフローチャートである。ここで、実施例1では、投影光学系4におけるマスク2のパターンの投影位置に関する特性値として、投影光学系4のフォーカス値（以下では、単に「フォーカス値」と称する）が用いられうる。

【0019】

まず、S11では、投影光学系4の特性値（フォーカス値）を、評価用マスク2'のパターンを基板上に転写した転写結果に基づいて第1特性値として求め、投影光学系4の収差を示す情報を第1特性値から第1情報として求める。S11の工程では、マスク2として評価用マスク2'が用いられ、基板5としてテスト基板5'（評価用基板、もしくはダミー基板とも言う）が用いられうる。また、S11の工程は、1回だけ行われれば十分であるが、複数回繰り返されてもよい。

【0020】

ここで、評価用マスク2'について説明する。例えば、本実施例で用いられる評価用マスク2'は、例えば、図3(a)に示すように、走査方向と異なる方向（例えばX方向）における複数の位置（X位置P1～P5）の各々において、2つ以上のパターン2aが走査方向に並ぶように配置されている。評価用マスク2'におけるX位置P1～P5は、投影光学系4から射出されるスリット光の断面1aにおけるX方向の位置P1～P5（図5(a)参照）に対応する。図5(a)は、スリット光の断面1aを示す図である。そして、複数のパターン2aの各々は、ラインの伸びる方向が互いに異なる複数のライン要素を複数のパターン要素2bとして含みうる。

【0021】

本実施例における各パターン2aは、図3(b)に示すように、ラインの伸びる方向が互いに45度ずつ異なる4種類のライン要素を複数のパターン要素2bとして含みうる。図3(b)に示すHライン要素2b_Hは、スリット光の走査方向と垂直な方向（X方向）に伸びるライン要素であり、Vライン要素2b_Vは、Hライン要素2b_Hに対して反時計回りに90度回転したライン要素である。また、Sライン要素2b_Sは、Hライン要素2b_Hに対して反時計回りに45度回転したライン要素であり、Tライン要素2b_Tは、Vパターンに対して反時計回りに45度回転したライン要素である。

【0022】

以下に、S11の工程の詳細について説明する。S11の工程は、例えば、S11a～S11dの工程を含みうる。S11aでは、評価用マスク2'を用いて露光装置100によりテスト基板5'を走査露光することにより、評価用マスク2'における複数のパターン2a（複数のパターン要素2b）を当該テスト基板上に転写する。例えば、S11aの工程では、評価用マスク2'を用いて、基板ステージ6によりテスト基板5'の高さ（Z方向の位置）を変えながら、テスト基板5'の走査露光が行われる。即ち、デフォーカス量を変えながらテスト基板5'の走査露光が行われる。これにより、テスト基板5'には、X位置P1～P5の各々について、デフォーカス量が互いに異なるように転写された複数のパターン2a（複数のパターン要素2b）が走査方向に並んで形成されうる。ここで、S11aの工程では、テスト基板5'を走査露光する露光工程に加えて、例えば、基板上

10

20

30

40

50

に感光材（レジスト）を塗布する塗布工程や、走査露光が行われたテスト基板 5' を現像する現像工程なども行われうる。

【0023】

S11bでは、テスト基板 5' に転写された各パターン要素 2b の線幅を、例えば露光装置 100 の外部の計測装置などによって計測する。S11cでは、S11bでの計測結果に基づいて、パターン要素 2b の線幅と露光時のテスト基板 5' の高さとの関係を、X 位置ごとに各パターン要素 2b について求める。そして、X 位置ごとに各パターン要素 2b について求められた当該関係に基づいて、X 位置ごとのフォーカス値を各パターン要素 2b について第 1 特性値として求める。例えば、X 位置 P1 における H ライン要素 2b_H に注目すると、それらの計測結果から、図 4 に示すように、H ライン要素 2b_H の線幅と各 H ライン要素 2b_H の露光時におけるテスト基板 5' の高さとの関係を求めることができる。そして、線幅が最大となるときにテスト基板 5' の高さがフォーカス値に対応することから、図 4 に示す線幅とテスト基板 5' の高さとの関係に基づいて、X 位置 P1 における H ライン要素 2b_H についてのフォーカス値を求めることができる。このようにフォーカス値を求める工程を、各 X 位置 P1 ~ P5 および各パターン要素 2b について行うことにより、図 5 (b) に示すように、X 位置とフォーカス値との関係を各パターン要素 2b について得ることができる。

【0024】

S11dでは、S11cで求めた複数のパターン要素 2b についてのフォーカス値（第 1 特性値）の平均値を、投影光学系 4 の収差を示す第 1 情報として、式 (1) により X 位置ごとに求める。これにより、図 5 (c) に示すように、X 位置とフォーカス値の平均値との関係を得ることができる。式 (1) では、X 位置 P_n (n = 1 ~ 5) における H ライン要素 2b_H、V ライン要素 2b_V、S ライン要素 2b_S、T ライン要素 2b_T のフォーカス値をそれぞれ F_{nH}、F_{nV}、F_{nS}、F_{nT} と表し、それらの平均値を F_n と表している。また、各パターン要素におけるベストフォーカス値に付加される重みをそれぞれ W_{nH}、W_{nV}、W_{nS}、W_{nT} と表している。ここで、本実施例では、フォーカス値の平均値として、各パターン要素 2b のフォーカス値の加重平均値を求める例について説明した。加重平均値は、例えば、パターン要素 2b の線幅を計測した計測装置における収差などに起因して、各パターン要素 2b のラインが伸びる方向に応じた誤差が計測結果に生じる場合に用いられることが好ましい。したがって、当該誤差が生じない場合には、フォーカス値の平均値として、例えば各パターン要素 2b のフォーカス値の単純平均値を求めてもよい。

【0025】

【数 1】

$$F_n = \frac{W_{nH}F_{nH} + W_{nV}F_{nV} + W_{nS}F_{nS} + W_{nT}F_{nT}}{W_{nH} + W_{nV} + W_{nS} + W_{nT}} \quad \dots (1)$$

【0026】

次に、S12では、投影光学系 4 により投影された評価用マスク 2' の各パターン 2a の像を第 2 検出部 9 によって検出した結果（空中像計測の結果）に基づいて、投影光学系 4 の特性値（フォーカス値）を第 2 特性値として求める。そして、投影光学系 4 の収差を示す情報を第 2 特性値から第 2 情報として求める。S12の工程は、例えば露光装置 100（制御部 7）により自動で行われるとよい。また、S12の工程は、複数回行われ、複数回の S12 の工程で得られた複数の検出結果を平均化した結果に基づいて第 2 特性値を求めてもよい。ここで、図 2 に示すフローチャートでは、S11の工程の後に S12 の工程が行われているが、S11の工程の前に S12 の工程が行われてもよい。

【0027】

以下に、S12の工程の詳細について説明する。S12の工程は、S12a ~ S12c

の工程を含みうる。S 1 2 aでは、投影光学系 4 によって投影された評価用マスクの各パターン要素 2 b の像を、基板ステージ 6 により基板 5 の高さを変えながら第 2 検出部 9 によって X 位置ごとに検出する。そして、S 1 2 bでは、評価用マスク 2 ' の各パターン要素 2 b についてのフォーカス値を X 位置ごとに第 2 特性値として求める。これにより、図 5 (d) に示すように、X 位置とフォーカス値との関係を各パターン要素 2 b について得ることができる。

【 0 0 2 8 】

S 1 2 c では、S 1 2 a の工程で得られた複数のパターン要素 2 b についてのフォーカス値 (第 2 特性値) の平均値を、投影光学系 4 の収差を示す第 2 情報として、例えば上記の式 (1) を用いて X 位置ごとに求める。これにより、図 5 (e) に示すように、X 位置とフォーカス値の平均値との関係を得ることができる。また、S 1 2 c では、各パターン要素 2 b のフォーカス値 (第 2 特性値) とフォーカス値 (第 2 特性値) の平均値との差 (即ち、図 5 (d) に示す特性と図 5 (e) に示す特性との差 (以下、ばらつき値と称する)) も、第 2 情報として X 位置ごとに求める。例えば、H ライン要素 2 b_H に注目すると、H ライン要素 2 b_H についてのばらつき値を式 (2) によって求めることができる。式 (2) では、X 位置 P_n (n = 1 ~ 5) における H ライン要素 2 b_H のフォーカス値を f_{nH}、複数のパターン要素 2 b についてのフォーカス値の平均値を f_n、H ライン要素 2 b_H についてのばらつき値を f b_{nH} とそれぞれ表している。これにより、図 5 (f) に示すように、X 位置とばらつき値との関係を各パターン要素 2 b について得ることができる。

【 0 0 2 9 】

【 数 2 】

$$fb_{nH} = f_{nH} - f_n \quad \dots (2)$$

【 0 0 3 0 】

図 2 のフローチャートに戻り、S 1 3 では、例えば第 2 情報における第 2 特性値の平均値が第 1 情報における第 1 特性値の平均値に近づくように、S 1 2 で得られた第 2 情報を S 1 1 で得られた第 1 情報によって補正する。これにより、投影光学系 4 の収差を評価するために用いられる情報 (評価用情報) を得る。

【 0 0 3 1 】

第 2 情報を補正する具体的な方法の 1 つとしては、第 2 情報における第 2 特性値の平均値として第 1 情報における第 1 特性値の平均値を適用することによって第 2 情報を補正する方法がある。即ち、この方法は、第 1 情報における平均値 (図 5 (c) に示す特性) と第 2 情報におけるばらつき値 (図 5 (f) に示す特性) とを足し合わせた結果を補正後の第 2 情報として得る方法である。例えば、H ライン要素 2 b_H に注目すると、第 1 情報における平均値と第 2 情報におけるばらつき値との足し合わせは、式 (3) によって行うことができる。式 (3) では、X 位置 P_n (n = 1 ~ 5) における H ライン要素 2 b_H についての第 1 情報における平均値と第 2 情報におけるばらつき値とを足し合わせた結果を F_{0nH}、H ライン要素 2 b_H における重みを W_{nH} とそれぞれ表している。このように第 1 情報における平均値と第 2 情報におけるばらつき値との足し合わせる処理を、各パターン要素 2 b および各 X 位置について行うことにより、評価用情報を図 5 (g) に示すように得ることができる。ここで、ばらつき値に付加される重みは、上述した加重平均を用いる理由と同様に、各パターン要素 2 b のラインが伸びる方向に応じて第 2 検出部 9 による検出結果に誤差が生じている場合に用いられることが好ましい。

【 0 0 3 2 】

【 数 3 】

$$F_{0nH} = F_n + W_{nH} \times fb_{nH} \quad \dots (3)$$

【0033】

S14では、S13で得られた評価用情報（図5（g））に基づいて、投影光学系4の収差（像面湾曲および非点収差）を評価する。例えば、像面湾曲は、図5（g）に示すように、フォーカス値の最大値と最小値との差から評価することができる。また、非点収差は、X位置ごとに、複数のパターン要素2bにおけるフォーカス値の差から評価することができる。S15では、S14での評価結果に基づいて、露光装置100を校正する。露光装置100の校正は、例えば、投影光学系4の光学素子の位置を調整したり、投影光学系4の光学素子を加工または交換したりすることによって行われうる。また、S16では、S15で校正された露光装置100により、回路を形成すべき基板5に転写される回路パターンを有するマスク2を用いて、当該基板5を露光する。

10

【0034】

〔実施例2〕

実施例2では、露光装置100における投影光学系4の収差として歪曲収差を評価する方法について説明する。実施例2においても、実施例1と同様に、図2に示すフローチャートに従って、投影光学系4の収差の評価、露光装置100の校正、および基板5の露光が行われうる。ここで、実施例2では、投影光学系4の特性値として、投影光学系4の光軸10と垂直な方向（XY方向）において投影光学系4によりマスク2のパターンが投影される位置と目標位置とのずれ量（以下では、単に「ずれ量」と称する）が用いられうる。また、実施例2では、例えば複数の十字マークが複数のパターン要素2bとしてスリット光の走査方向に並んだパターン2aを、走査方向と異なる方向における複数の位置（X

20

【0035】

まず、S11では、投影光学系4の特性値（ずれ量）を、評価用マスク2"のパターンを基板上に転写した転写結果に基づいて第1特性値として求め、投影光学系4の収差を示す情報を第1特性値から第1情報として求める。

【0036】

S11aでは、評価用マスク2"を用いて露光装置100によりテスト基板5"を走査露光することにより、評価用マスク2"の複数のパターン2a（複数のパターン要素2b）を当該テスト基板上に転写する。

【0037】

S11bでは、テスト基板5"に転写された各パターン要素2bの位置（XY方向）を、例えば露光装置100の外部の計測装置などによって計測する。これにより、例えば図6（a）に示すように、テスト基板5"に転写された各パターン要素2bの位置を表す格子状の分布61を得ることができる。そして、S11cでは、S11bでの計測結果（図6（a）に示す分布）に基づいて、投影光学系4により評価用マスク2"の各パターン要素2bが投影される位置と目標位置（目標位置の分布62）とのずれ量を求める。当該ずれ量は、投影光学系4の光軸10と垂直な第1方向（本実施例ではX方向）、および投影光学系4の光軸と垂直かつ第1方向と異なる第2方向（本実施例ではY方向）のそれぞれについて求められうる。以下では、第1方向（X方向）におけるずれ量をD_x、および第2方向（Y方向）におけるずれ量をD_yと表す。ここで、目標位置とは、投影光学系4によって評価用マスク2"の各パターン要素2bが投影されるべきXY方向の位置のことである。

30

40

【0038】

S11dでは、各パターン要素2bのずれ量D_xおよびD_yの各々（第2特性値）における平均値を、投影光学系4の収差を示す第1情報として、X位置ごとに求める。これにより、図6（b）に示すように、X位置とずれ量の平均値との関係を、ずれ量D_xおよびD_yの各々について得ることができる。

【0039】

次に、S12では、投影光学系4により投影された評価用マスク2"の各パターン2bの像を第2検出部9によって検出した結果（空中像計測の結果）に基づいて、投影光学系

50

4 の特性値（ずれ量）を第 2 特性値として求める。そして、投影光学系 4 の収差を示す情報を第 2 特性値から第 2 情報として求める。

【 0 0 4 0 】

S 1 2 a では、スリット光の断面 1 a における複数の検出点の各々について、各パターン要素 2 b の像を第 2 検出部 9 によって検出する。複数の検出点は、例えば図 6（e）に示すように、各 X 位置（P 0 ~ P 3 0）において 1 1 個の検出点（Y 0 ~ Y 1 0）が Y 方向に並ぶように配置される。図 6（e）は、スリット光の断面における複数の検出点を示す図である。このように複数の検出点が配置されている場合、例えば、Y 方向における検出点のピッチに相当する量だけ評価用マスク 2”を Y 方向に移動させてパターン要素 2 b の像を第 2 検出部 9 で検出する工程を繰り返す。これにより、複数の検出点の各々においてパターン要素 2 b の像を検出することができる。そして、S 1 2 b では、第 2 検出部 9 での検出結果に基づいてずれ量 D x および D y を第 2 特性値として X 位置ごとにそれぞれ求める。これにより、図 6（c）および（d）に示すように、X 位置とずれ量（D x、D y）との関係を Y 方向における各検出点について得ることができる。図 6（c）は、X 位置とずれ量 D x との関係を示す図であり、図 6（d）は、X 位置とずれ量 D y との関係を示す図である。

【 0 0 4 1 】

S 1 2 c では、Y 方向における複数の計測点（Y 0 ~ Y 1 0）におけるずれ量 D x の平均値を、投影光学系の収差を示す第 2 情報として X 位置ごとに求める。これにより、図 6（f）に示すように、X 位置とずれ量 D x の平均値との関係を得ることができる。そして、Y 方向における各検出点でのずれ量 D x（第 2 特性値）とずれ量 D x（第 2 特性値）の平均値との差（即ち、図 6（c）に示す特性と図 6（f）に示す特性との差（ばらつき値））も、第 2 情報として式（4）により X 位置ごとに求める。式（4）では、X 位置 P i（i = 0 ~ 3 0）および検出点 Y j（j = 0 ~ 1 0）におけるずれ量 D x を dX_{ij} 、X 位置 P i におけるずれ量 D x の平均値を dX_i 、ずれ量 D x のばらつき値を dXb_{ij} としている。これにより、図 6（g）に示すように、X 位置とずれ量 D x のばらつき値との関係を、Y 方向における各検出点について得ることができる。

【 0 0 4 2 】

【数 4】

$$dXb_{ij} = dX_{ij} - dX_i \quad \dots (4)$$

【 0 0 4 3 】

ずれ量 D x と同様に、S 1 2 c では、Y 方向における複数の検出点（Y 0 ~ Y 1 0）におけるずれ量 D y の平均値を、投影光学系の収差を示す第 2 情報として X 位置ごとに求める。これにより、図 6（f）に示すように、X 位置とずれ量 D y の平均値との関係を得ることができる。そして、Y 方向における各検出点でのずれ量 D y（第 2 特性値）とずれ量 D y（第 2 特性値）の平均値との差（即ち、図 6（d）に示す特性と図 6（f）に示す特性との差（ばらつき値））も、第 2 情報として式（5）により X 位置ごとに求める。式（5）では、X 位置 P i（i = 0 ~ 3 0）および検出点 Y j（j = 0 ~ 1 0）におけるずれ量 D y を dY_{ij} 、X 位置 P i におけるずれ量 D y の平均値を dY_i 、ずれ量 D y のばらつき値を dYb_{ij} としている。これにより、図 6（h）に示すように、X 位置とずれ量 D y のばらつき値との関係を、Y 方向における各検出点について得ることができる。

【 0 0 4 4 】

【数 5】

$$dYb_{ij} = dY_{ij} - dY_i \quad \dots (5)$$

【 0 0 4 5 】

図 2 のフローチャートに戻り、S 1 3 では、S 1 2 で得られた第 2 情報を S 1 1 で得ら

10

20

30

40

50

れた第1情報によって補正することにより評価用情報を得る。例えば、第1情報におけるずれ量 D_x の平均値(図6(b)に示す特性)と第2情報におけるずれ量 D_x のばらつき値(図6(g)に示す特性)とを足し合わせることで、 X 方向についての評価用情報を得ることができる。第1情報におけるずれ量 D_x の平均値と第2情報におけるずれ量 D_x のばらつき値との足し合わせは、式(6)によって行うことができる。式(6)では、 X 位置 P_i ($i = 0 \sim 30$)での第1情報におけるずれ量 D_x の平均値を DX_i 、第1情報におけるずれ量 D_x の平均値と第2情報におけるずれ量 D_y のばらつき値とを足し合わせた結果を DX_{0ij} としている。このように第1情報におけるずれ量 D_x の平均値と第2情報におけるずれ量 D_x のばらつき値とを足し合わせる処理を、各 X 位置について行うことにより、 X 方向についての評価用情報を図6(i)に示すように得ることができる。ここで、ばらつき値に付加される重み $W_{x_{ij}}$ は、 X 位置 P_i および検出点 Y_j の位置に応じて第2検出部9による検出結果に誤差が生じている場合に用いられるとよい。

【0046】

【数6】

$$DX_{0ij} = DX_i + W_{x_{ij}} \times dXb_{ij} \quad \dots (6)$$

【0047】

同様に、第1情報におけるずれ量 D_y の平均値(図6(b)に示す特性)と第2情報におけるずれ量 D_y のばらつき値(図6(h)に示す特性)とを足し合わせることで、 Y 方向についての評価用情報を得ることができる。第1情報におけるずれ量 D_y の平均値と第2情報におけるずれ量 D_y のばらつき値との足し合わせは、式(7)によって行うことができる。式(7)では、 X 位置 P_i ($i = 0 \sim 30$)での第1情報におけるずれ量 D_y の平均値を DY_i 、第1情報におけるずれ量 D_y の平均値と第2情報におけるずれ量 D_y のばらつき値とを足し合わせた結果を DY_{0ij} としている。このように第1情報におけるずれ量 D_y の平均値と第2情報におけるずれ量 D_y のばらつき値とを足し合わせる処理を、各 X 位置について行うことにより、 Y 方向についての評価用情報を図6(j)に示すように得ることができる。ここで、ばらつき値に付加される重み $W_{y_{ij}}$ は、 X 位置 P_i および検出点 Y_j の位置に応じて第2検出部による検出結果に誤差が生じている場合に用いられるとよい。

【0048】

【数7】

$$DY_{0ij} = DY_i + W_{y_{ij}} \times dYb_{ij} \quad \dots (7)$$

【0049】

S14では、S13で得られた評価用情報(図6(i)および(j))に基づいて、投影光学系4の収差(歪曲収差)を評価する。S15では、S14での評価結果に基づいて、露光装置100を校正する。また、S16では、S15で校正された露光装置100により、回路を形成すべき基板5に転写される回路パターンを有するマスク2を用いて、当該基板5を露光する。

【0050】

<第2実施形態>

露光装置100では、例えば、コンベンショナル、輪帯、ダイポールといった有効光源の形状や、照明光学系1のNA、輪帯比、透過率などの照明条件を変更する場合がある。しかしながら、照明条件を変更する度に、変更後の照明条件において評価用マスクのパターンをテスト基板に転写し、その転写結果に基づいて投影光学系4の特性値を得ることは相応の手間と時間が掛かりうる。したがって、照明条件を変更した後では、図2に示すフローチャートのS11の各工程を行わずに、変更後の照明条件における投影光学系4の収

10

20

30

40

50

差を評価することが好ましい。そのため、本実施形態では、変更後の照明条件において図2に示すフローチャートのS11の各工程を行わずに、S12の各工程を新たに行うだけで変更後の照明条件における投影光学系4の収差の評価が行われる。以下に、本実施形態における投影光学系4の収差の評価方法について、図7を参照しながら説明する。図7は、互いに異なる2種類の照明条件の各々における投影光学系4の収差の評価方法および露光方法を示すフローチャートである。

【0051】

S21では、露光装置100の照明条件を第1照明条件に設定する。第1照明条件とは、露光装置100の照明条件を変更する前の照明条件に対応する。S22では、図2に示すフローチャートのS11の各工程を行うことにより第1特性値の平均値（第1情報）を10
求める。以下では、S22で求めた第1特性値の平均値を「平均値A1」と称する。S23では、図2に示すフローチャートのS12の各工程を行うことにより第2特性値の平均値および第2特性値のばらつき値（第2情報）を求める。以下では、S23で求めた第2特性値の平均値を「平均値A2」、S23で求めた第2特性値のばらつき値を「ばらつき値A2」と称する。また、図7に示すフローチャートでは、S23の工程がS22の工程の後に行われているが、S22の工程の前に行われてもよい。

【0052】

S24では、S23で求めた第2情報をS22で求めた第1情報で補正した結果に基づいて投影光学系4の収差を評価し、評価結果に基づいて露光装置100を校正する。S24の工程は、図2に示すフローチャートのS13～S15の各工程に対応する。S25では、回路を形成すべき基板5に転写される回路パターンを有するマスク2を用いて、第1照明条件で当該基板5を露光する。S25の工程は、図2に示すフローチャートのS16の工程に対応し、回路を形成すべき基板5の枚数に応じて複数回繰り返されう。20

【0053】

S26では、露光装置100の照明条件を第1照明条件から第2照明条件に変更する。S27では、図2に示すフローチャートのS12の各工程を行うことにより第2特性値の平均値および第2特性値のばらつき値（第3情報）の第2特性値を新たに求める。以下では、S27で得られた第2特性の平均値を「平均値B」と称し、S27で得られた第2特性のばらつき値を「ばらつき値B」と称する。S28では、S23で得られた第2情報（平均値A2）とS27で得られた第3情報（平均値B）との差に基づいて、変更前の照明条件で求められた第1情報（平均値A1）を補正する。具体的には、第2情報（平均値A2）と第3情報（平均値B）との差を、第1情報（平均値A1）に加算することによって当該第1情報を補正する。30

【0054】

S29では、S28で補正した第1情報によってS27で求めた第3情報を補正した結果に基づいて、変更後の照明条件（第2照明条件）での投影光学系の収差を評価し、評価結果に基づいて露光装置100を校正する。S29の工程は、図2に示すフローチャートのS13～S15の各工程に対応する。S30では、回路を形成すべき基板5に転写される回路パターンを有するマスク2を用いて、第2照明条件で当該基板5を露光する。S30の工程は、図2に示すフローチャートのS16の工程に対応し、回路を形成すべき基板5の枚数に応じて複数回繰り返されう。このように第2実施形態では、変更後の照明条件で評価用マスクのパターンをテスト基板に転写する工程（図2のフローチャートにおけるS11）を行わずに、変更後の照明条件における投影光学系4の収差を容易に評価することができる。40

【0055】

< 物品の製造方法の実施形態 >

本発明の実施形態にかかる物品の製造方法は、例えば、半導体デバイス等のマイクロデバイスや微細構造を有する素子等の物品を製造するのに好適である。本実施形態の物品の製造方法は、基板に塗布された感光剤に上記の露光方法を用いて潜像パターンを形成する工程（基板を露光する工程）と、かかる工程で潜像パターンが形成された基板を現像する50

工程とを含む。更に、かかる製造方法は、他の周知の工程（酸化、成膜、蒸着、ドーピング、平坦化、エッチング、レジスト剥離、ダイシング、ボンディング、パッケージング等）を含む。本実施形態の物品の製造方法は、従来の方法に比べて、物品の性能・品質・生産性・生産コストの少なくとも1つにおいて有利である。

【0056】

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および変更が可能である。

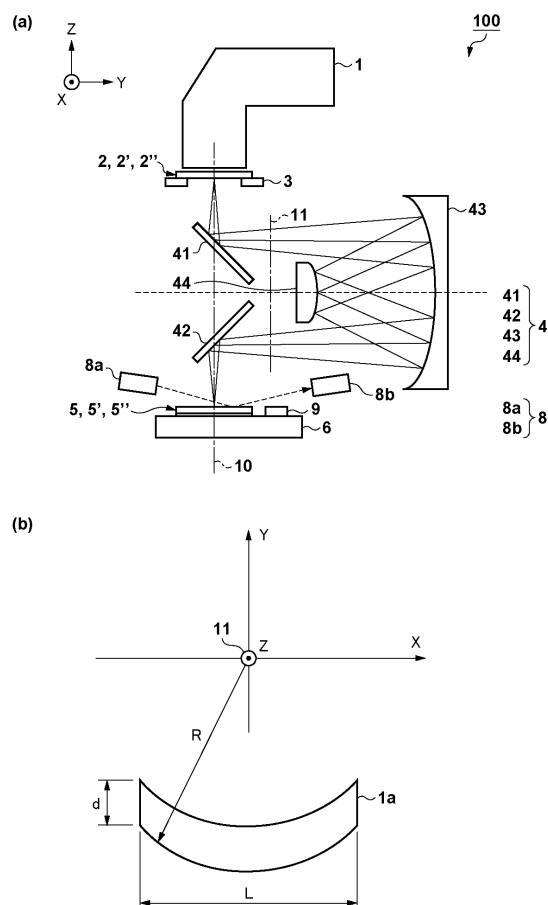
【符号の説明】

【0057】

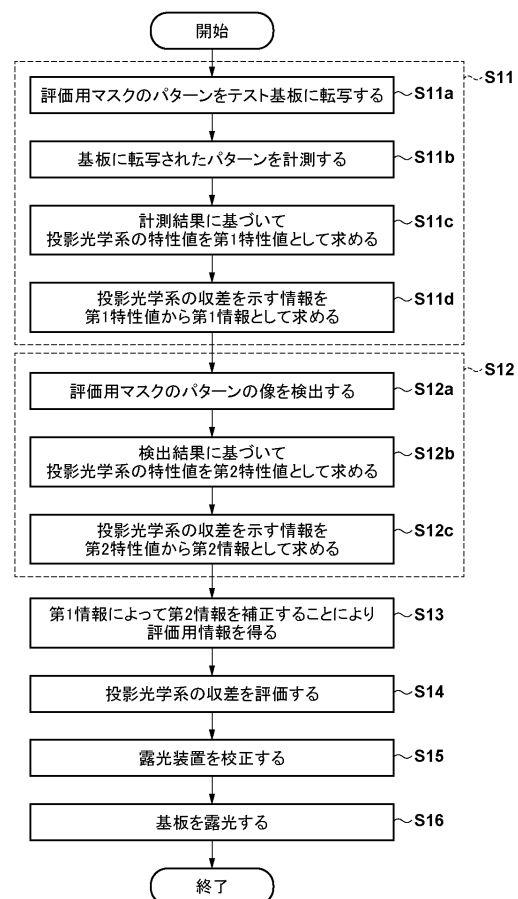
1：照明光学系、2：マスク、3：マスクステージ、4：投影光学系、5：基板、6：基板ステージ、7：制御部、8：第1検出部、9：第2検出部、100：露光装置。

10

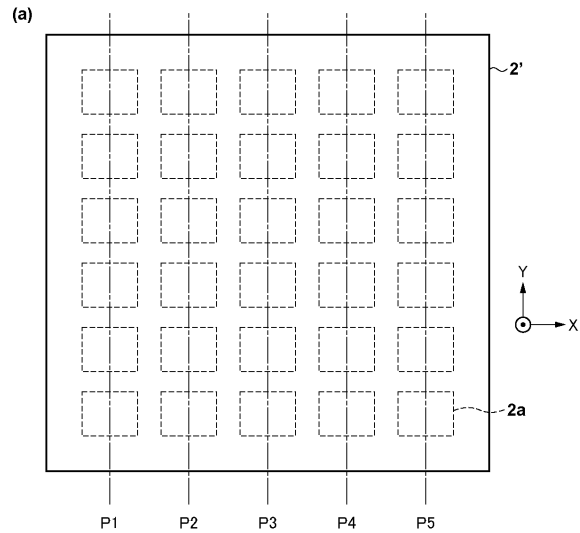
【図1】



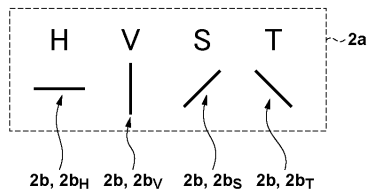
【図2】



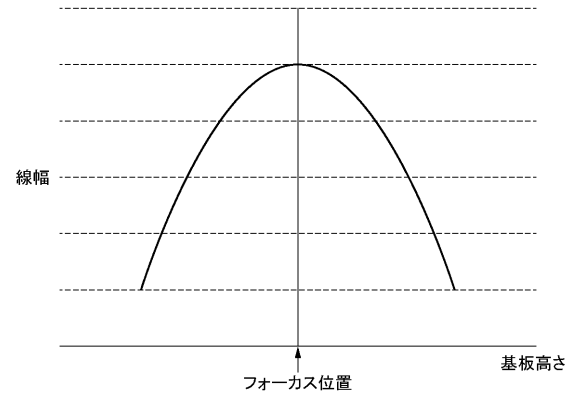
【図 3】



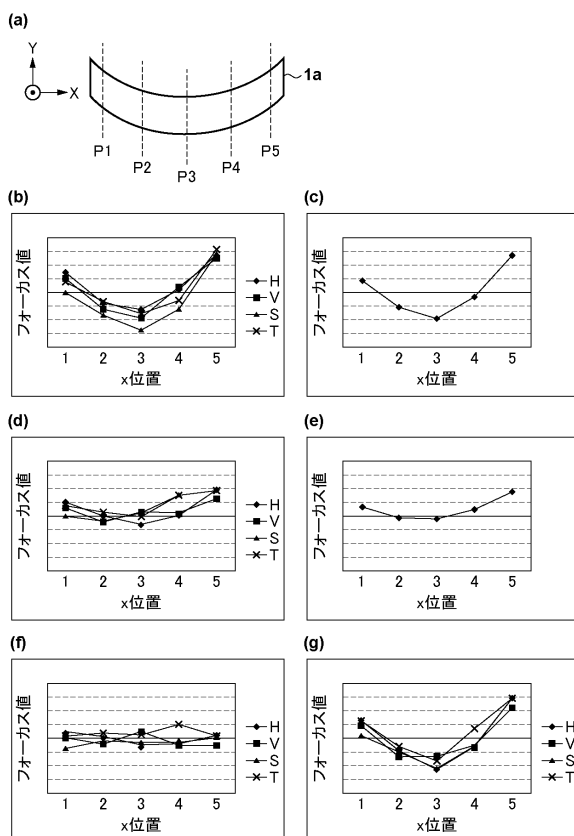
(b)



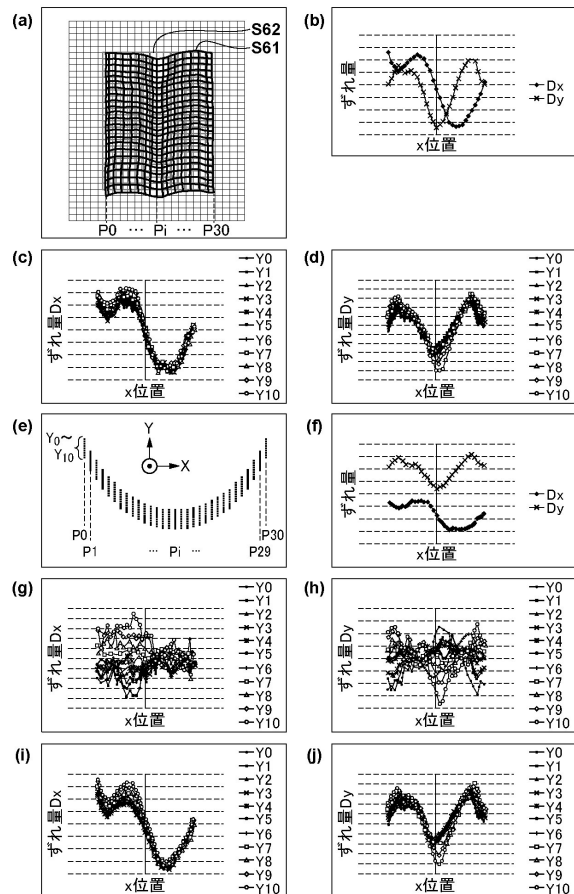
【図 4】



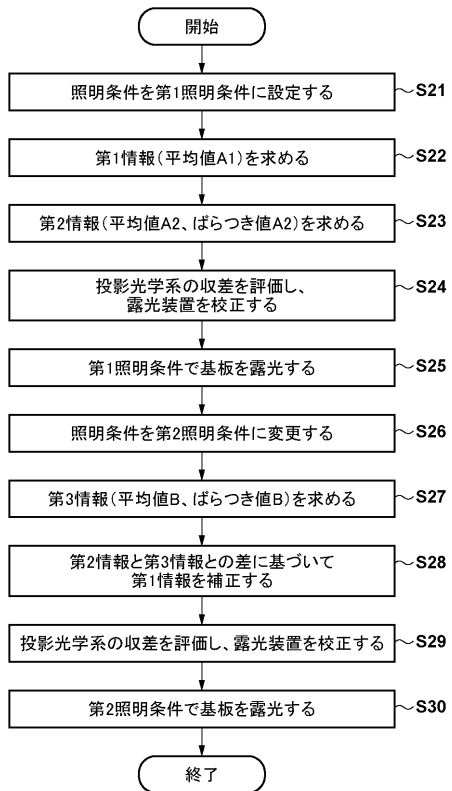
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 大久保 徹
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 特開平10-284414(JP,A)
国際公開第2002/050506(WO,A1)
特開2003-215423(JP,A)
特開2004-319937(JP,A)
特開平02-157844(JP,A)
特開平04-348019(JP,A)
特開2003-037052(JP,A)
特開2001-166497(JP,A)
米国特許出願公開第2012/0015460(US,A1)
特開平11-260703(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 7/02 - 7/16 、
G03F 7/20 - 7/24 、 9/00 - 9/02 、
H01L21/027、21/30 、21/46