

(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2010-109294
(P2010-109294A)

(43) 公開日 平成22年5月13日 (2010.5.13)

(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 4 E	5 F O 4 6
G O 3 F 7/20 (2006.01)	H O 1 L 21/30 5 1 6 A	
	G O 3 F 7/20 5 2 1	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2008-282435 (P2008-282435)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成20年10月31日 (2008.10.31)		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

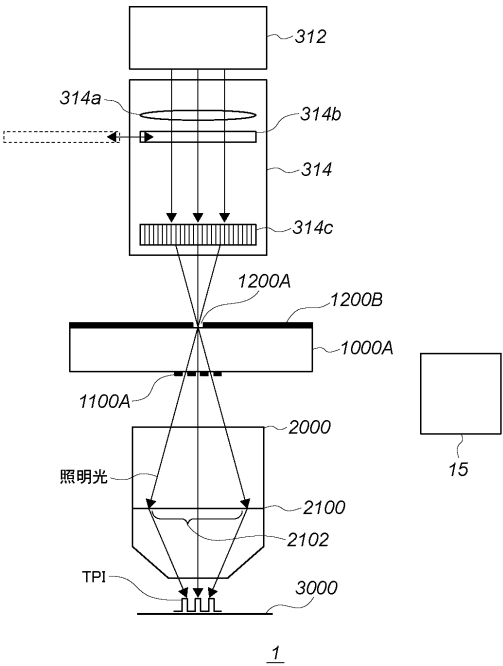
(54) 【発明の名称】 測定装置、露光装置およびデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】被検光学系の波面収差の測定において該被検光学系の瞳領域における周辺部分の照度を増加させる。

【解決手段】被検光学系2000の波面収差を測定するための測定装置は、ピンホール1200Aを有するピンホールマスク1200Bと、ピンホールマスク1200Bを照明する照明光学系314と、ピンホールマスク1200Bと被検光学系2000との間に配置されるテストパターン1100Aと、ピンホール1200A、テストパターン1100Aおよび被検光学系2000を通過した光によって被検光学系2000の像面に形成される像を検出する検出部と、照明光学系314に配置又は挿入され、被検光学系2000の瞳領域における周辺部分が該瞳領域における中央部分の照度よりも高い照度を有する部分を含むように該瞳領域における照度分布を制御する光学部材314bとを備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被検光学系の波面収差を測定するための測定装置であって、
ピンホールを有するピンホールマスクと、
前記ピンホールマスクを照明する照明光学系と、
前記ピンホールマスクと前記被検光学系との間に配置されるテストパターンと、
前記ピンホール、前記テストパターンおよび前記被検光学系を通過した光によって前記被検光学系の像面に形成される像を検出する検出部と、
前記照明光学系に配置又は挿入され、前記被検光学系の瞳領域における周辺部分が前記瞳領域における中央部分の照度よりも高い照度を有する部分を含むように前記瞳領域における照度分布を制御する光学部材と、
を備えることを特徴とする測定装置。

10

【請求項 2】

前記照明光学系に配置される光学部材は、バイナリーオプティクスである、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の測定装置。

【請求項 3】

前記照明光学系と前記ピンホールの出口との間に配置又は挿入される第 2 の光学部材を更に備え、
前記光学部材は、前記照明光学系に配置された光学素子の透過率分布の不均一性を低減するように構成されている、
ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の測定装置。

20

【請求項 4】

前記第 2 の光学部材は、バイナリーオプティクス又は拡散板である、
ことを特徴とする請求項 3 に記載の測定装置。

【請求項 5】

前記第 2 の光学部材が前記ピンホールの内部又は近傍に配置されている、
ことを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の測定装置。

【請求項 6】

前記照明光学系に配置又は挿入される光学部材は、前記被検光学系の瞳領域に形成される照度分布が前記周辺部分においてピークを有するように前記瞳領域における照度分布を制御する、
ことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の測定装置。

30

【請求項 7】

レチクルのパターンを投影光学系によって基板に投影して該基板を露光する露光装置であって、
前記投影光学系の波面収差を測定するように構成された請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の測定装置を備える、
ことを特徴とする露光装置。

【請求項 8】

デバイス製造方法であって、
請求項 7 に記載の露光装置によって基板を露光する工程と、
該基板を現像する工程と、
を含むことを特徴とするデバイス製造方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被検光学系の波面収差を測定するための測定装置、該測定装置が組み込まれた露光装置、および、該露光装置を用いてデバイスを製造するデバイス製造方法

【背景技術】

【0002】

50

半導体デバイス、表示デバイス、磁気ヘッドデバイス等のデバイスを製造するために、レチクルのパターンを投影光学系によって基板（例えば、ウエハ、ガラスプレート等）に投影して該基板を露光する露光装置が使用される。

【0003】

露光装置には、レチクルのパターンを所定の倍率で正確に基板に投影することが要求される。この要求に応えるためには、投影光学系の収差を極限まで抑えることが重要である。特に、近年におけるデバイスのパターンの微細化により、パターンの良否が投影光学系の収差に対して敏感になってきている。また、デバイスの微細化に伴って、投影光学系の高NA化も進んでいる。このため、高NAの投影光学系の光学特性（収差）を高精度に測定することが要望されている。

10

【0004】

現在のところ、投影光学系の評価のためにその波面収差が測定されることが多い。波面収差をZernike多項式で近似することによって、そのファクターである球面収差、像面湾曲、非点収差、コマ収差などの収差を計算することができる。また、多種多様なパターンのプロセスマージンをシミュレーションによって予測する上でも波面収差の測定が重要視されている。投影光学系の波面収差は、例えば、シャック・ハルトマン法の原理を応用して測定することができる（特許文献1）。

【0005】

図14は、露光装置の投影光学系の波面収差を測定する方法（SPIN法）を説明するための図である。テストレチクル1000Aは、一方の面に形成されたテストパターン（

20

パターン群）1100Aと、その反対の面に形成されたピンホール1200Aを有する。
> 1又は = 1 相当の照明角度を有する照明光でピンホール1200Aを照明し、ピンホール1200Aを通過し更にテストパターン1100Aから射出した光線は、互いに異なる角度の光線である。 は、照明光のNA / 投影光学系のNAで表される。これらの光線は、投影光学系2000の瞳面2100における互いに異なる位置を通過し、投影光学系2000の波面収差の影響を受けて像面3000に到達する。像面3000に形成されるパターン（像）TPIの各々は、互いに異なる波面収差（位相）の影響を受けている。即ち、光線は波面の法線方向に進むため、像面3000に形成されるパターンTPIの各々は、波面の傾き量に応じてシフトすることになる。このようにして像面3000に形成されるパターンTPIの位置の基準位置からのずれ量を像面3000上の複数点で測定し、これらの位置ずれ量に対応する波面の傾きに基づいて投影光学系2000の波面収差を計算することができる。

30

【0006】

以上のような波面収差の測定において、被検光学系（投影光学系）の瞳領域の全体における波面収差を測定するためには、瞳領域内の周辺（周縁）部分（ = 1 の位置近傍）にも光を入射させる必要がある。

【0007】

また、被検光学系の瞳領域に入射する光の強度が不均一であると、像面に形成される像における線幅の不均一性やコントラストの低下などが発生する。通常は、像面に形成される像のエッジを検出することによって像の位置を計算する。線幅の不均一性は、計測場所に

40

【0008】

特許文献2には、広範囲の入射光を得るために、照明光学系に光学部材を配置することが開示されている。この方法によれば、照明光学系に拡散板や絞りなどの光学部材を配置することによって広範囲の光を得ることができる。

【0009】

特許文献3には、テストレチクルにバイナリーオプティクスを配置し、このバイナリーオプティクスによってテストパターンを照明して、被検光学系の波面収差を測定することが開示されている。

【特許文献1】国際公開第03/021352号パンフレット

50

【特許文献2】米国特許第7283202号明細書

【特許文献3】特開2006-080444号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、特許文献2に開示された方法では、投影光学系の瞳領域内の周辺部分に入射する光の強度が低下する。これは、 \cos^4 の光は照明光学系の絞りにによって遮蔽されるためである。また、 \cos^4 乗則、瞳透過率分布、レジスト反射率などのように、光軸に対する光線の角度が大きくなると照度が減衰するパラメータが存在する。したがって、瞳領域内の周辺部分を通過して像面に到達する光によって像面に形成される像のコントラストは低下する。投影光学系の高NA化が進むにつれて、テストパターンへの入射角度が大きくなるため、今後、瞳領域内の周辺部分を通過して像面に到達する光線によって像面に形成される像のコントラストが更に低下しうる。

10

【0011】

特許文献3に記載された発明は、テストパターンを照明する光の角度をバイナリーオプティクスによって決定するものに過ぎず、特許文献3は、被検光学系の瞳領域内の周辺部分に入射する光の強度を増加させることとは無関係である。

【0012】

本発明は、上記の課題認識を契機としてなされたものであり、例えば、被検光学系の波面収差の測定において該被検光学系の瞳領域における周辺部分の照度を増加させることを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明の第1の側面は、被検光学系の波面収差を測定するための測定装置に係り、前記測定装置は、ピンホールを有するピンホールマスクと、前記ピンホールマスクを照明する照明光学系と、前記ピンホールマスクと前記被検光学系との間に配置されるテストパターンと、前記ピンホール、前記テストパターンおよび前記被検光学系を通過した光によって前記被検光学系の像面に形成される像を検出する検出部と、前記照明光学系に配置又は挿入され、前記被検光学系の瞳領域における周辺部分が前記瞳領域における中央部分の照度よりも高い照度を有する部分を含むように前記瞳領域における照度分布を制御する光学部材とを備える。

30

【0014】

本発明の第2の側面は、レチクルのパターンを投影光学系によって基板に投影して該基板を露光する露光装置に係り、前記露光装置は、前記投影光学系の波面収差を測定するように構成された上記の測定装置を備える。

【0015】

本発明の第3の側面は、デバイス製造方法に係り、前記デバイス製造方法は、上記の露光装置によって基板を露光する工程と、該基板を現像する工程とを含む。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、例えば、被検光学系の波面収差の測定において該被検光学系の瞳領域における周辺部分の照度を増加させることができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0017】

以下、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態を説明する。なお、添付図面において、同一の構成要素には同一の参照符号が付されている。

【0018】

[第1実施形態]

図1は、本発明の第1実施形態の露光装置又は測定装置の概略構成を示す図である。本発明の好適な実施形態の露光装置は、レチクルのパターンを投影光学系2000によって

50

、フォトリソ（感光材料）が塗布された基板（例えば、ウエハ、ガラスプレート）に投影し該フォトリソを露光するように構成されている。該フォトリソには、パターンの投影によって潜像が形成される。該フォトリソが現像されることによってレジストパターンが形成される。露光装置 1 には、投影光学系 2000 を被検光学系として該被検光学系の波面収差を測定する測定装置が組み込まれている。

【0019】

露光装置（測定装置）1 は、光源 312 と、光源 312 から提供される光を使ってデバイス製造用のレチクル又はテストレチクル 1000 A を照明する照明光学系 314 と、レチクルのパターンを基板に投影する投影光学系 2000 とを備えている。露光装置（測定装置）1 は、更に、デバイス製造用のレチクル又はテストレチクル 1000 A を保持するレチクルステージ、および、基板を保持する基板ステージを備える。テストレチクル 1000 A は、一般には、被検光学系である投影光学系 2000 の波面収差の測定時にレチクルステージに固定される。テストレチクル 1000 は、第 1 面および第 2 面を有し、該第 1 面に形成されたテストパターン 1100 A と、該第 2 面に形成されたピンホールマスク 1200 B とを有する。テストパターン 1100 A は、複数のパターン TPb を含む。ピンホールマスク 1200 B は、遮光膜に形成されたピンホール 1200 A を有する。なお、テストパターン 1100 A とピンホールマスク 1200 B とは別個の部材に形成されてもよい。

【0020】

図 10 は、図 1 に例示する本発明の好適な実施形態の露光装置又は測定装置における投影光学系（被検光学系）2000 の波面収差の測定方法を示すフローチャートである。ここでは、一例として、SPIN 法による波面収差の測定方法を説明する。この実施形態では、図 10 に示す測定方法の実行は、露光装置 1 に備えられた制御部 15 によって制御される。

【0021】

ステップ S111 では、照度分布の最適化がなされる。ステップ S111 の詳細については、図 8 を参照しながら後述する。ステップ S112 では、テストレチクル 1000 A がレチクルステージに固定される。

【0022】

ステップ S113 では、照明光学系 314 の光路に光学部材 314 b が配置又は挿入された状態（光学部材 314 b は、ステップ S111 において照明光学系 314 の光路に挿入される。）で、ピンホール 1200 A およびテストパターン 1100 A を通過した光により投影光学系 2000 の瞳面 2100 における瞳領域 2102 の全体が照明される。この光は、投影光学系 2000 に入射し投影光学系 2000 から射出するまでの間に瞳領域 2102 を通過する。また、この光線は、投影光学系 2000 に入射し投影光学系 2000 から射出するまでの間（投影光学系 2000 を通過する間）に、投影光学系 2000 の波面収差の法線方向に進む。よって、投影光学系 2000 の像面 3000 には、ピンホール 1200 A、テストパターン 1100 A および投影光学系 2000 を通過した光によって投影光学系 2000 の波面収差の情報を含む像（光強度分布）が形成される。光学部材 314 b は、被検光学系である投影光学系 2000 の瞳領域における周辺（周縁）部分（= 1 近傍）が該瞳領域における中央部分の照度よりも高い照度を有する部分を含むように該瞳領域における照度分布を制御する。

【0023】

ステップ S114 では、像面 3000 に形成された像に含まれる複数のパターン TPI のそれぞれの基準位置からのずれ量が測定される。この測定は、像面 3000 に形成される像を検出することによりなされる。或いは、この測定は、フォトリソが塗布された基板を像面 3000 に配置し感光させることで潜像を形成しこれを観察することにより、又は、該フォトリソを現像してレジストパターンを形成して該レジストパターンを観察することにより、なされる。この測定結果を W003 / 088329 号に記載されたような処理方法に従って処理することによって投影光学系 2000 の波面収差を得るこ

10

20

30

40

50

とができる。

【0024】

テストパターン1100Aを構成するパターンTPbは、図2(a)に例示されるように、開口部と、該開口部の両側に配置されたラインアンドスペースパターン部とを含みうる。或いは、テストパターン1100Aを構成するパターンTPbは、図2(b)に例示されるように、中央部分から周辺部分にライン又はスペースのピッチは一定でスペースの幅が徐々に減少するラインアンドスペースパターンを含みうる。或いは、テストパターン1100Aを構成するパターンTPbは、太いラインの両側に細いラインを配置したパターンを含みうる。このようなテストパターンについては、W003/088329号に記載されている。パターンTPbは、それを構成しているライン間のスペースが解像しない歪の少ない1つの大きなパターンと見なされうる。これらのパターンTPbが図3に例示するように格子状に配列されて、テストパターン1100Aが構成されうる。

10

【0025】

SPIIN法では、投影光学系2000の瞳領域2102内の周辺部分を通過した光によって投影光学系2000の像面3000に形成されるパターンTPIの位置ずれ敏感度(投影光学系2000の収差に対する敏感度)が高い。よって、投影光学系2000の瞳領域2102内の周辺部分を通過した光によって形成されるパターンTPIの位置ずれを精度よく測定することが、投影光学系2000の波面収差の測定精度の向上をもたらす。したがって、投影光学系2000の瞳領域2102内の周辺部分における照度を増加させることが好ましい。

20

【0026】

特にパターンTPbの像を基板上のフォトリソに潜像として転写し観察するためには、発明者の経験によれば、像面3000の測定範囲における照度分布 $h(x, y)$ の最大値と最小値との差が該最大値の30%以内であることが好ましい。このような条件を目標照明条件と呼ぶことにする。照明光学系314は、その光路に光学部材314bが配置された状態において、目標照明条件を満たす照度分布でテストパターン1100Aを照明する必要がある。

【0027】

図12は、参考例として、拡散板が取り付けられたテストレチクルを投影光学系2000の物体面に配置し、 $\gamma = 0.9$ の照明条件でテストレチクルを照明した場合における像面3000における照度分布 $h(x, y)$ を示す図である。なお、図12において、縦軸は、 $\gamma = 0$ における照度で規格化された照度を示している。

30

【0028】

太線で示される $h(x, y)$ は、瞳領域の周辺部に相当する部分であり、目標照明条件を満たすことができない部分である。この部分では、基板上にコントラストの低い像が形成されるか、もしくは像が形成されず、波面収差の測定精度が低下する。

【0029】

以下、投影光学系2000の波面収差の測定時に照明光学系314の光路に配置又は挿入される光学部材314bの設計方法を説明する。なお、ここでは、説明の簡単化のために、照明光学系314がコンデンサレンズ314aおよびフライアイレンズ314cを有し、投影光学系2000の波面収差の測定時には照明光学系314の光路に光学部材314cが挿入されるものとして説明する。しかし、実際の照明光学系314は、更に多くの光学素子を含んで構成されうる。

40

【0030】

まず、光源312を射出した光は、コンデンサレンズ314aを通過した後に光学部材314bに入射し、光学部材314bによって照度分布 $f(x, y)$ が形成される。照度分布 $f(x, y)$ を形成する光は、フライアイレンズ314cを通過し、その際にフライアイレンズ314cの透過率分に相当する照度の低下が発生する。

【0031】

照明光学系314を射出した光は、ピンホール1200Aを有するピンホールマスク1

50

200Bを照明し、ピンホール1200Aを通過した光がテストパターン1100Aを照明する。ピンホール1200Aとテストパターン1100Aとがなす角の \cos^4 乗則に従って照度が低下する。

【0032】

テストパターン1100Aを射出した光は、投影光学系（被検光学系）2000に入射し、投影光学系2000の瞳透過率分布 $p(x, y)$ に従って照度が低下する。投影光学系2000を射出した光は、像面3000に投影光学系2000の収差の情報を含んだ像を形成する。この像には、パターンTPIが含まれる。

【0033】

像面3000における照度分布 $h(x, y)$ は、(1)式で表される。

10

【0034】

$$h(x, y) = (f(x, y) \cdot f_y(x, y)) * p_h(x, y) \cdot p(x, y) \cdot r_s(x, y) \cdot \cos^4 \dots (1) \text{式}$$

ここで、 $f(x, y)$ は光学部材314bが形成する照度分布である。 $f_y(x, y)$ はフライアイレンズ314cの透過率分布である。 $p_h(x, y)$ はピンホール1200Aを表現する関数である。 $h(x, y)$ は像面3000における照度分布である。 $p(x, y)$ は投影光学系2000の瞳透過率分布である。 $r_s(x, y)$ はレジスト反射率である（ $r_s(x, y)$ はテストパターンをレジストに転写する場合にのみ考慮される）。 (x, y) は光軸を中心とする座標を値に換算した座標である。は光軸と光線とがなす角度である。 $*$ はコンボリューション（畳み込み計算）である。

20

【0035】

デバイスの製造のために基板を露光する際は、物体面のある一点には様々な角度の斜入射光が入射し、それらの和がその一点における照度となる。しかし、SPIN測定法では、物体面のある一点にはピンホール1200Aとその一点との位置関係で決定される角度の斜入射光のみが入射するので、その斜入射光によってその一点における照度が定まる。

【0036】

よって、SPIN測定法において、像面における均一な照度というのは、斜入射光の強度が均一であることと等価である。

【0037】

1つの方法によれば、(1)式の左辺に目標照明条件を満たす照度分布 $h_{ideal}(x, y)$ を代入するとともに右辺に $f_y(x, y)$ 、 $p_h(x, y)$ 、 $p(x, y)$ 、 $r_s(x, y)$ を代入し、デコンボリューション（復元計算）が行われる。これにより、理想的な $f(x, y)$ として $f_{ideal}(x, y)$ を求めることができる。ここで、 $f_{ideal}(x, y)$ は、投影光学系2000の瞳領域における周辺部分が該瞳領域における中央部分の照度よりも高い照度を有する部分を含みうる。或いは、 $f_{ideal}(x, y)$ は、投影光学系2000の瞳領域における周辺部分においてピークを有する照度分布でありうる。

30

【0038】

他の方法によれば、(1)式において実現可能な範囲で $f(x, y)$ を変化させながら照度分布 $h(x, y)$ を計算し、その照度分布 $h(x, y)$ が目標照明条件を満たす $f(x, y)$ が探し出される。

40

【0039】

光学部材314bは、決定された $f_{ideal}(x, y)$ を形成するように、例えばバイナリーオプティクス（例えば、CGH）によって構成されうる。このようにして製作された光学部材314bを使用することにより、 $h_{ideal}(x, y)$ を実現できることができる。

【0040】

また、光学部材314bを使用してSPIN法を実施することにより、広範囲に均一な照度分布で各点のパターンTPIを得ることができるため、高精度な収差測定を行うことができる。

50

【 0 0 4 1 】

ここで、S P I N法によって投影光学系等の被検光学系の波面収差を計算するために必要な測定領域について説明する。図 1 3 は、測定領域を概念的に示す図である。S P I N法では、あるサイズを有するピンホールを使用するので、各測定データは、投影光学系の瞳面においてピンホールの径分の広がりをもった領域の波面収差の平均値となる。

【 0 0 4 2 】

波面収差を計算するための測定を行う範囲を a とすると、 a 内における周辺部分の測定点 (x, y) では、ピンホールの径分の広がりにおける一部が a の範囲を超える。したがって、当該周辺部分の測定値については、波面収差の計算に使用すべきではない。

10

【 0 0 4 3 】

波面収差の計算に使用することができる瞳中心からの最大距離 r は、(2) 式に表される。

【 0 0 4 4 】

$$a - r = 1 - p h$$

ここで、 $p h$ は a 値に換算したピンホールの径である。

【 0 0 4 5 】

[第 2 実施形態]

以下、本発明の第 2 実施形態を説明する。なお、第 2 実施形態として言及しない事項は、第 1 実施形態に従いうる。

20

【 0 0 4 6 】

フライアイレンズ 3 1 4 c の透過率分布を完全に解消するように光学部材 3 1 4 b を製作することは難しく、照度に局所的な不均一性が生じうる。前述したとおり、照度の不均一性は、投影光学系等の被検光学系の像面に形成されるパターン T P I a の線幅に影響を与える。よって、パターン T P I の位置ずれの測定の際のエッジ検出精度が悪くなり、位置ずれの測定精度が悪くなる。これにより、結果的に、被検光学系の波面収差の測定精度が低下する。

【 0 0 4 7 】

そこで、第 2 実施形態では、光学部材 (第 1 の光学部材) 3 1 4 b のほかに、第 2 の光学部材 5 0 0 を使用することによって、照度の不均一性を低減する。第 2 の光学部材 5 0 0 は、照明光学系 3 1 4 とピンホールマスク 1 2 0 0 B の出口との間に配置されればよい。第 2 の光学部材 5 0 0 は、例えば、テストレチクル 1 0 0 0 A のピンホールマスク 1 2 0 0 B の近傍に配置されることが好ましい。より具体的には、第 2 の光学部材 5 0 0 は、テストレチクル 1 0 0 0 A のピンホールマスク 1 2 0 0 B に張り付けられること、又は、ピンホール 1 2 0 0 A の内部に配置されることが好ましい。

30

【 0 0 4 8 】

図 4 は、本発明の第 2 実施形態の露光装置又は測定装置の概略構成を示す図である。第 2 実施形態は、照明光学系 3 1 4 とピンホールマスク 1 2 0 0 B の出口との間に第 2 の光学部材 5 0 0 が存在する点で第 1 実施形態と異なる。

【 0 0 4 9 】

第 2 の光学部材 5 0 0 が形成する照度分布を $g(x, y)$ とすると、投影光学系 2 0 0 の像面 3 0 0 0 に形成される照度分布 $h(x, y)$ は、(3) 式で表される。

40

【 0 0 5 0 】

$$h(x, y) = (f(x, y) \cdot f_y(x, y)) * p h(x, y) * g(x, y) \cdot p(x, y) \cdot r s(x, y) \cdot \cos^4 \theta \cdots (3) \text{ 式}$$

(3) 式が (1) 式と異なる点は、第 2 の光学部材 5 0 0 によって形成される照度分布 $g(x, y)$ が畳み込み計算に加わった点である。照明光学系 3 1 4 からの射出光に対する第 2 の光学部材 5 0 0 によって畳み込み計算に相当する作用によって、フライアイレンズ 3 1 4 c の透過率 $f_y(x, y)$ が平均化され、その不均一性が低減される。これにより、波面収差の測定を高精度化することができる。第 2 の光学部材 5 0 0 は、バイナリー

50

オブティクス又は拡散板によって構成されうる。

【0051】

ここで、第2の光学部材500によって形成される照度分布 $g(x, y)$ について説明する。ピンホール1200Aの径は、例えば100～200 μm 程度とされることが一般的であり、小さいため、第2の光学部材500を構成するバイナリーオブティクスのサイズおよびセル数が限定される。セル数が少ないと、各セルの製造誤差が照度分布に与える影響が大きくなる。

【0052】

そこで、第2の光学部材500によって形成する照度分布 $g(x, y)$ は、複雑な分布や、広い拡散角の分布ではなく、照度の70%以上が <0.3 のような小であるように構成されうる。 $g(x, y)$ を小とすることでバイナリーオブティクスの製作上の難易度が下がるため、製造誤差を少なくすることができる。

10

【0053】

(3)式を解く際に、上記のように $g_{ideal}(x, y)$ として小を仮定することができる。第1実施形態と同様に、(3)式の左辺に $h_{ideal}(x, y)$ を代入するとともに右辺に設計値又は実測の照度分布、透過率分布等を代入し、デコンボリューションを行うことで理想的な $f(x, y)$ として $f_{ideal}(x, y)$ を求めることができる。

【0054】

第1の光学部材314bと第2の光学部材500を通過した光によって $h_{ideal}(x, y)$ を形成することができる。

20

【0055】

$h_{ideal}(x, y)$ を実現するように計算された $f_{ideal}(x, y)$ と $g_{ideal}(x, y)$ の一方又は双方を実現することが難しい場合には、次のような方法を採用してもよい。即ち、実現可能な範囲の $f(x, y)$ と $g(x, y)$ の組み合わせの中から $h_{ideal}(x, y)$ が目標照明条件を満たすものを探し出してもよい。

【0056】

図5(a)、(b)は、 $f(x, y)$ 、 $g(x, y)$ を例示する図である。図6(a)は、図5(a)に示す $f(x, y)$ 、 $g(x, y)$ を使用して像面に形成される $h(x, y)$ を示す図である。図6(b)は、図5(b)に示す $f(x, y)$ 、 $g(x, y)$ を使用して形成される $h(x, y)$ を示す図である。いずれの $h(x, y)$ も均一ではないが、目標照明条件を満たす。

30

【0057】

[照明条件の最適化]

次に、第1および第2実施形態の露光装置又は測定装置における照明条件の最適化(図10のステップS111)について説明する。

【0058】

図8は、図10のステップS111における照明条件の最適化の処理を具体的に示すフローチャートである。図8に示す処理は、制御部15によって制御される。

【0059】

40

図7は、本発明の好適な実施形態の露光装置又は測定装置の構成を示す図である。図7では、被検光学系としての投影光学系2000の波面収差測定に関連する構成要素として検出部10および駆動部20が示されている。なお、検出部10および駆動部20は、図1および図4では図示が省略されている。図9は、照度分布を例示する図である。

【0060】

ステップS120では、照明光学系314の光路に光学部材314bが挿入される。このとき、後の重心位置計算を考慮して、光学部材314bで形成される照度分布が照明光学系314の絞り等によって蹴られないように第1コンデンサレンズ314aおよび第2コンデンサレンズ314dの光軸方向位置(つまり倍率)を調節しておくといよい。

【0061】

50

ステップS 1 2 1では、光源3 1 2から照明光学系3 1 4に光が提供され、照明光学系3 1 4から射出される光によって投影光学系2 0 0 0を介して像面3 0 0 0に照度分布 $I(x, y)$ が形成される。そして、照度分布 $I(x, y)$ が検出部1 0によって検出される。なお、このとき、テストレチクル1 0 0 0 Aは、光路に配置されていない。

【0 0 6 2】

検出部1 0によって検出される照度分布 $I(x, y)$ は、(4)式で表される。

【0 0 6 3】

$$I(x, y) = (f(x, y) \cdot f_y(x, y)) * p_h(x, y) \cdot p(x, y) \cdot \cos^4 \dots (4) \text{式}$$

10

ここで、設計値に基づいて計算される理想的な照度分布 $I(x, y)$ を $I_{ideal}(x, y)$ とする。

【0 0 6 4】

ステップS 1 2 2では、制御部1 5は、照度分布 $I(x, y)$ の重心位置 (G_x, G_y) および倍率を計算する。重心位置 (G_x, G_y) は、(5)式で表される。

【0 0 6 5】

$$(G_x, G_y) = 1 / w * I(x, y) \cdot (x, y) \dots (5) \text{式}$$

前述のとおり、照明光学系の絞り等で照度分布 $I(x, y)$ が蹴られている場合、(5)式に従って正確に重心を求めることができなくなるので、照度分布 $I(x, y)$ の全体を計測することができるように倍率を調整しておくといよい。図9に示した例では、 $I_{ideal}(x, y)$ の重心は $ideal(G_x, G_y)$ であり、(5)式に従って計算された重心は $experiment(G_x, G_y)$ である。

20

【0 0 6 6】

倍率は、 $= 1$ の領域に対する $I(x, y)$ の領域の比、又は、 $I_{ideal}(x, y)$ の分布領域に対する $I(x, y)$ の分布領域に比として計算することができる。図9に示した例では、 $I_{ideal}(x, y)$ の特徴的な分布の広さが" $ideal \ span$ "とされている。また、 $I(x, y)$ において $I_{ideal}(x, y)$ の" $ideal \ span$ "を定める値における照度と同じ照度を有する値の間隔が" $experiment \ span$ "とされている。倍率は、例えば、" $experiment \ span$ " / " $ideal \ span$ "として計算することができる。

30

【0 0 6 7】

ステップS 1 2 3では、制御部1 5は、計算した重心位置および倍率が $I_{ideal}(x, y)$ に対して許容範囲内であるか否かを判定する。ここで、許容範囲として、事前に $h(x, y)$ が目標照明条件を満たす $I(x, y)$ の重心および倍率の範囲をシミュレーションしておくといよい。なお、 $I(x, y)$ と $h(x, y)$ との関係は、第1実施形態では(6)式で与えられ、第2実施形態では(7)式で与えられる。

【0 0 6 8】

$$h(x, y) = I(x, y) \dots (6) \text{式}$$

$$h(x, y) = I(x, y) * g(x, y) \dots (7) \text{式}$$

$I(x, y)$ が許容範囲内であると判定した場合は、制御部1 5は、照度分布の最適化を終了する。

40

【0 0 6 9】

$I(x, y)$ が許容範囲外であると判定した場合、制御部1 5は、ステップS 1 2 4において、計算した重心位置および倍率に基づいて、第1コンデンサレンズ3 1 4 aおよび第2コンデンサレンズ3 1 4 dの位置(つまり、倍率)の調整量を計算する。

【0 0 7 0】

ステップS 1 2 5では、制御部1 5は、ステップS 1 2 4で計算した調整量に従って駆動部2 0に第1コンデンサレンズ3 1 4 aおよび第2コンデンサレンズ3 1 4 bを駆動させ、処理をステップS 1 2 1に戻す。

【0 0 7 1】

50

ここで、種々のNAを有する被検光学系の波面収差を測定するように本発明の測定装置が構成される場合を考える。この場合には、基準NAに対する被検光学系のNAの比に基づいて基準倍率に対する倍率変化量を計算し、倍率調整機構(314a、314b)を利用して照明光学系の倍率を調整することによって照度分布を調整することができる。

【0072】

光学部材314bは照明光学系314に対して挿脱可能であるので、複数の露光装置又は測定装置において共通の光学部材314bを使用して同一の照度分布を形成することができる。露光装置間で被検光学系である投影光学系のNAが異なる場合においても、倍率調整機構を利用して倍率に調整することによって照度分布を調整することができる。

【0073】

上記の照度分布の最適化を図10で示した波面収差の測定におけるステップS111において実施することにより、好ましい照度分布で波面収差を測定することができ、波面収差の測定精度が向上する。照度分布の変動が許容レベル以内である場合には、波面収差の測定のたびにステップS111を実施する必要はない。

【0074】

[露光装置の制御方法]

図11は、本発明の好適な実施形態の露光装置の制御方法を示すフローチャートである。図11に示す処理は、制御部15によって制御される。ステップS101では、図10に示す波面収差の測定が実施される。ステップS102では、制御部15は、測定された波面収差が許容値以下であるか否かを判定し、許容値以下であれば、ステップS104に処理を進め、1又は複数の基板を露光する。一方、測定された波面収差が許容値を超える場合には、制御部15は、ステップS103において、投影光学系2000の光学素子を駆動することにより波面収差を調整する。

【0075】

[デバイス製造方法]

本発明の好適な実施形態のデバイス製造方法は、例えば、半導体デバイス、液晶デバイス等のデバイスの製造に好適である。前記方法は、感光剤が塗布された基板を、前記露光装置を用いて露光する工程と、前記露光された基板を現像する工程とを含みうる。さらに、前記デバイス製造方法は、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)を含みうる。

【図面の簡単な説明】

【0076】

【図1】図1は、本発明の第1実施形態の露光装置又は測定装置の概略構成を示す図である。

【図2】テストパターンを例示する図である。

【図3】テストパターンを例示する図である。

【図4】本発明の第2実施形態の露光装置又は測定装置の概略構成を示す図である。

【図5】第1および第2の光学部材によって形成される照度分布を例示する図である。

【図6】図5に示す $f(x, y)$ 、 $g(x, y)$ を使用して像面に形成される $h(x, y)$ を示す図である。

【図7】本発明の好適な実施形態の露光装置又は測定装置の構成を示す図である。

【図8】図10のステップS111における照明条件の最適化の処理を具体的に示すフローチャートである。

【図9】照度分布の最適化を説明するための図である。

【図10】波面収差の測定方法を示すフローチャートである。

【図11】本発明の好適な実施形態の露光装置の制御方法を示すフローチャートである。

【図12】被検光学系の像面における照度分布の参考例を示す図である。

【図13】測定領域を概念的に示す図である。

【図14】露光装置の投影光学系の波面収差を測定する方法を説明するための図である。

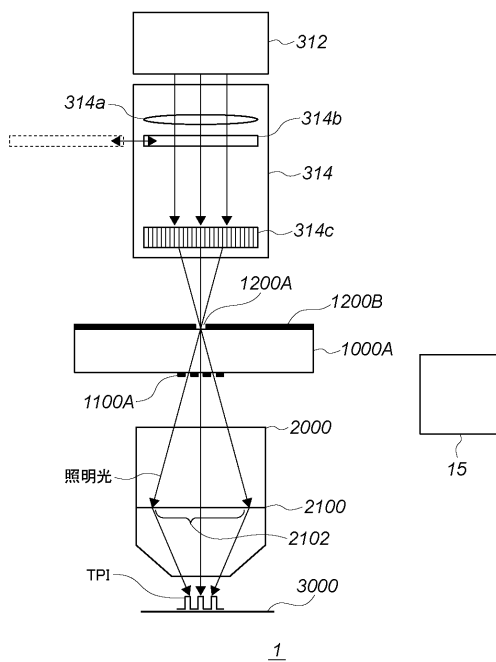
【符号の説明】

【 0 0 7 7 】

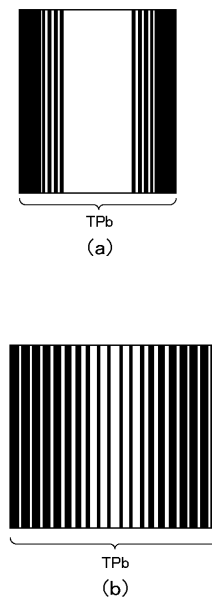
- 1 0 検出部
 1 5 制御部
 2 0 駆動部
 3 1 2 光源
 3 1 4 照明光学系
 3 1 4 a 第 1 コンデンサレンズ
 3 1 4 b 光学部材 (第 1 の光学部材)
 3 1 4 c フライアイレンズ
 3 1 4 d 第 2 コンデンサレンズ
 5 0 0 第 2 の光学部材
 1 0 0 0 A レチクル
 1 1 0 0 A テストパターン
 1 2 0 0 A ピンホール
 1 2 0 0 B ピンホールマスク
 2 0 0 0 投影光学系 (被検光学系)
 3 0 0 0 像面

10

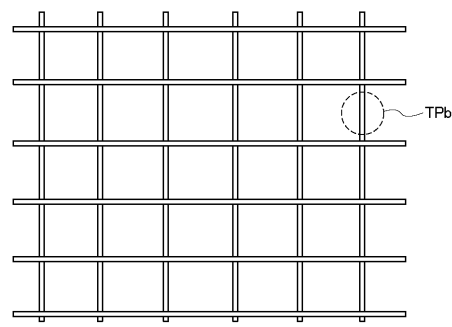
【 図 1 】



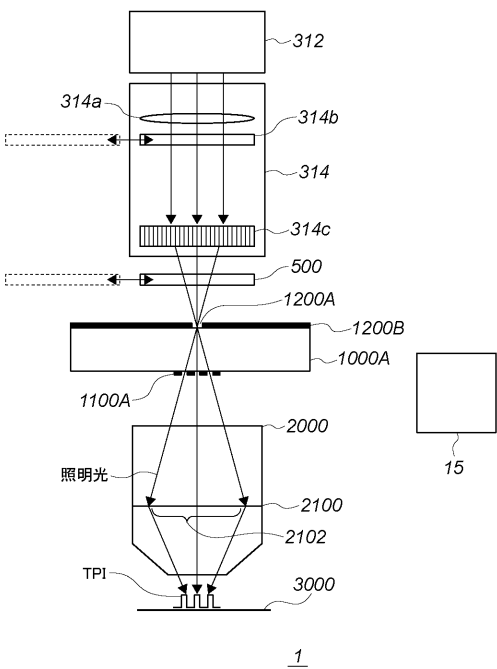
【 図 2 】



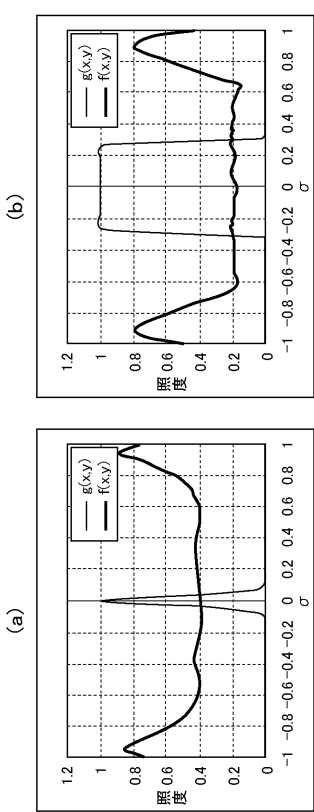
【 図 3 】



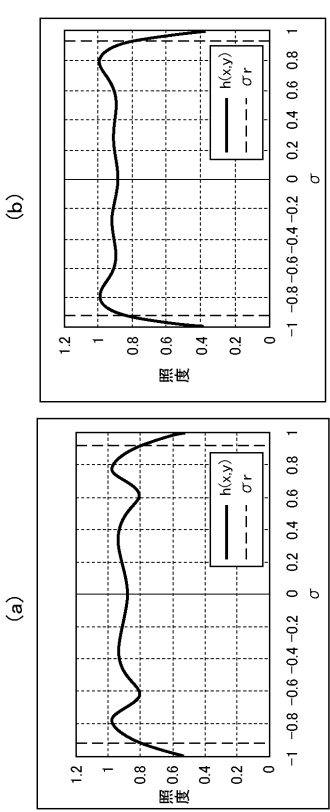
【 図 4 】



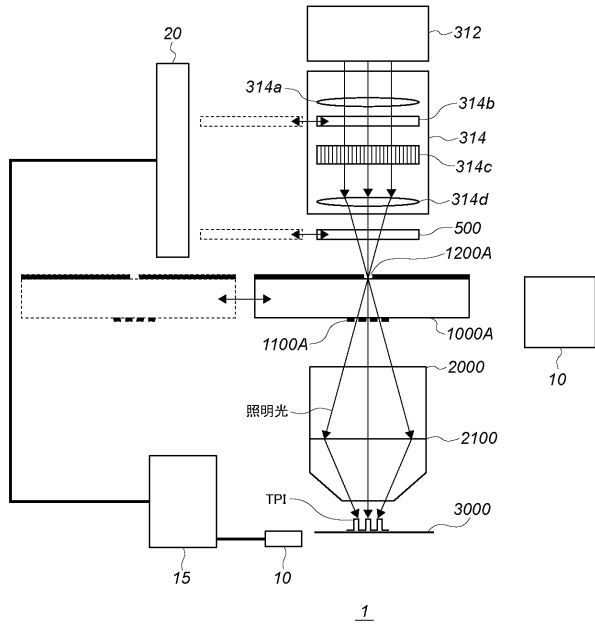
【 図 5 】



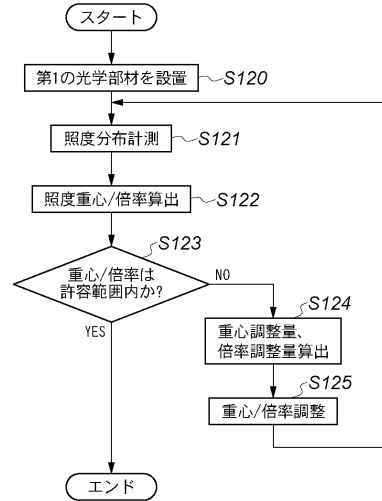
【 図 6 】



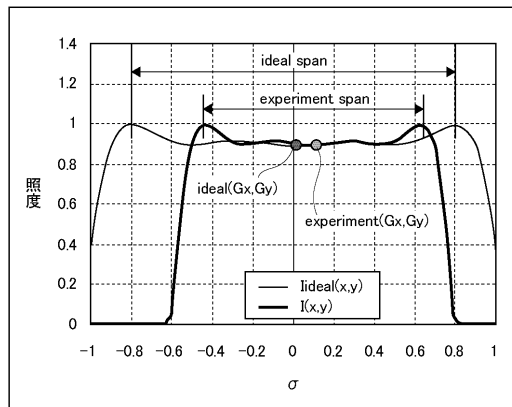
【図 7】



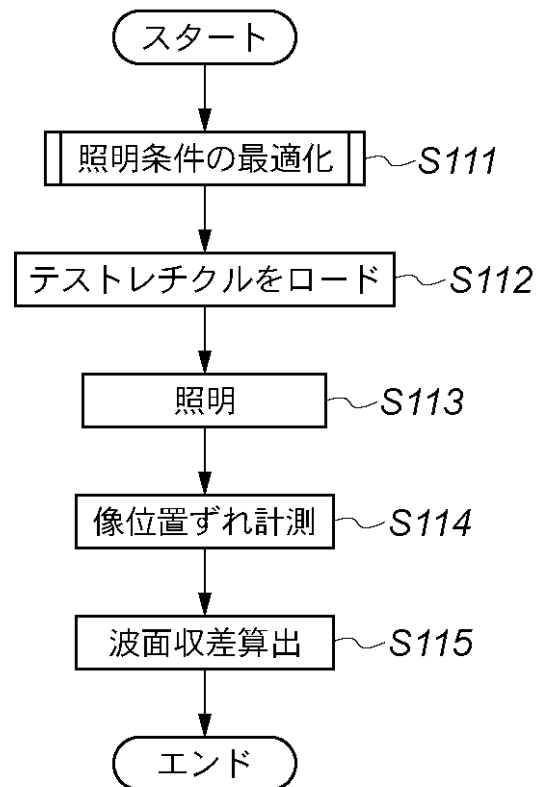
【図 8】



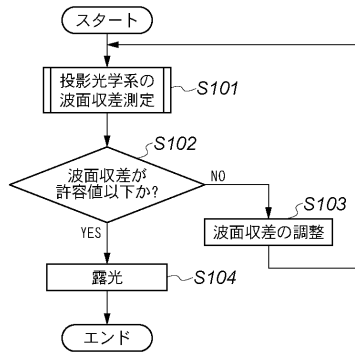
【図 9】



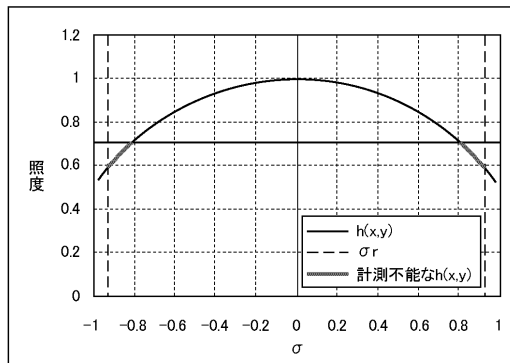
【図 10】



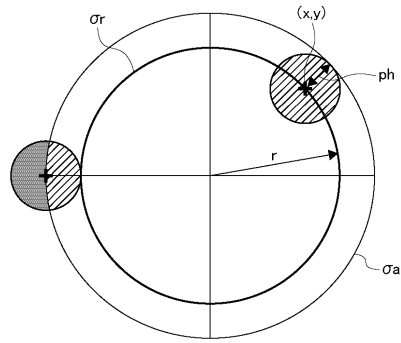
【図 1 1】



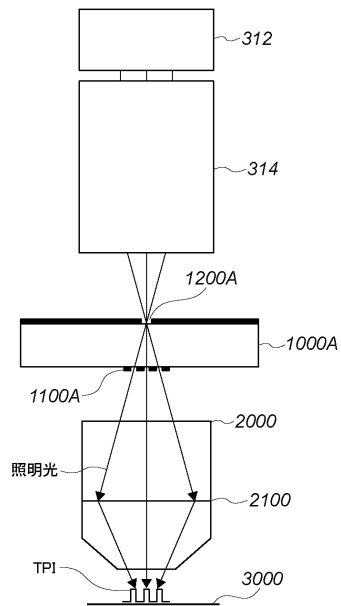
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



フロントページの続き

(72)発明者 小笠原 真貴子

東京都大田区下丸子 3 丁目 3 0 番 2 号 キヤノン株式会社内

F ターム(参考) 5F046 BA03 CB05 DA01 DA02 DA13 DB05