

(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2007-281003

(P2007-281003A)

(43) 公開日 平成19年10月25日(2007. 10. 25)

(51) Int. Cl.		F I			テーマコード (参考)
H01L 21/027	(2006.01)	H01L 21/30	516A		2G086
G03F 7/20	(2006.01)	G03F 7/20	521		5F046
G01M 11/02	(2006.01)	G01M 11/02	B		

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2006-101874 (P2006-101874)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成18年4月3日(2006. 4. 3)		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	100110412
			弁理士 藤元 亮輔
		(72) 発明者	山本 和樹
			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
		Fターム(参考)	2G086 HH06
			5F046 BA03 CB25 DA13 DA14

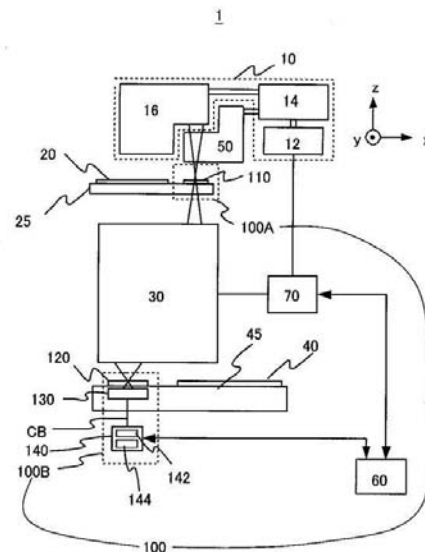
(54) 【発明の名称】 測定方法及び装置、並びに、露光装置

(57) 【要約】

【課題】光学系の光学性能（波面収差など）を高精度に測定することができる測定方法及び装置を提供する。

【解決手段】干渉縞を検出することで被検光学系の波面収差を測定する測定装置を用いて、被検光学系の波面収差を測定する測定方法であって、前記被検光学系及び前記測定装置の構成を規定する値の設計値からのずれをシステムパラメータとして測定するステップと、前記システムパラメータを用いて、前記被検光学系の波面収差を測定するステップとを有することを特徴とする測定方法を提供する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

干渉縞を検出することで被検光学系の波面収差を測定する測定装置を用いて、被検光学系の波面収差を測定する測定方法であって、

前記被検光学系及び前記測定装置の構成を規定する値の設計値からのずれをシステムパラメータとして測定するステップと、

前記システムパラメータを用いて、前記被検光学系の波面収差を測定するステップとを有することを特徴とする測定方法。

【請求項 2】

前記波面収差測定ステップは、

前記システムパラメータのうち、前記干渉縞から前記被検光学系の波面収差を算出するための処理パラメータを用いて、前記被検光学系の波面収差を算出するステップと、

前記システムパラメータのうち、前記算出ステップで算出された前記被検光学系の波面収差を調整するためのオフセットパラメータを、前記被検光学系の波面収差に反映させるステップとを有することを特徴とする請求項 1 記載の測定方法。

【請求項 3】

前記処理パラメータは、前記干渉縞を発生させる部材の厚さ、前記部材と前記干渉縞を撮像する撮像素子との間の距離、前記撮像素子上における前記干渉縞の中心座標及び前記撮像素子上における前記干渉縞の半径のうち少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 2 記載の測定方法。

【請求項 4】

前記オフセットパラメータは、前記被検光学系の波面収差の変化量を調整するリニアリティゲイン及び前記被検光学系の波面収差の絶対量を調整する絶対値のうち少なくとも 1 つを含むことを特徴とする請求項 2 記載の測定方法。

【請求項 5】

前記システムパラメータ測定ステップは、

前記干渉縞を発生させる部材の厚さ、前記部材と前記干渉縞を撮像する撮像素子との間の距離、前記撮像素子上における前記干渉縞の中心座標、前記撮像素子上における前記干渉縞の半径、前記被検光学系の波面収差の変化量を調整するリニアリティゲイン及び前記被検光学系の波面収差の絶対量を調整する絶対値の少なくとも 1 つを取得するステップと

、
前記取得ステップで取得した前記干渉縞を発生させる部材の厚さ、前記部材と前記干渉縞を撮像する撮像素子との間の距離、前記撮像素子上における前記干渉縞の中心座標、前記撮像素子上における前記干渉縞の半径、前記被検光学系の波面収差の変化量を調整するリニアリティゲイン及び前記被検光学系の波面収差の絶対量を調整する絶対値の少なくとも 1 つを前記システムパラメータを記憶するステップとを有することを特徴とする請求項 1 記載の測定方法。

【請求項 6】

前記撮像素子上における前記干渉縞の中心座標を取得するステップは、

前記被検光学系に球面成分の収差を発生させるステップと、

前記発生ステップで発生させた前記収差の量を変化させながら複数の干渉縞データを撮像するステップと、

前記撮像ステップで撮像した前記複数の干渉縞データの間の球面成分以外の収差の変化量が最も小さい中心位置を前記中心座標として決定するステップとを有することを特徴とする請求項 5 記載の測定方法。

【請求項 7】

前記撮像素子上における前記干渉縞の半径を取得するステップは、

前記被検光学系に既知量の球面成分の収差を発生させるステップと、

前記発生ステップで発生させた前記収差の量を変化させながら複数の干渉縞データを撮像するステップと、

10

20

30

40

50

前記撮像ステップで撮像した複数の干渉縞データの球面成分の収差の変化量と、前記既知量の球面成分の収差の変化量とが一致する値を半径として決定するステップとを有することを特徴とする請求項５記載の測定方法。

【請求項８】

前記被検光学系の波面収差の変化量を調整するリニアリティゲインを取得するステップは、

前記被検光学系に既知量の特定成分の収差を発生させるステップと、

前記発生ステップで発生させた前記収差の量を変化させながら複数の干渉縞データを撮像するステップと、

前記撮像ステップで撮像した複数の干渉縞データの前記特定成分の収差の変化量と、前記既知量の特定成分の収差の変化量との比を算出するステップとを有することを特徴とする請求項５記載の測定方法。 10

【請求項９】

干渉縞を検出することで被検光学系の波面収差を測定する測定装置であって、

前記被検光学系及び前記測定装置の構成を規定する値の設計値からのずれをシステムパラメータとして記憶する記憶手段と、

前記システムパラメータのうち、前記干渉縞から前記被検光学系の波面収差を算出するための処理パラメータを用いて、前記被検光学系の波面収差を算出すると共に、前記システムパラメータのうち、算出した前記被検光学系の波面収差を調整するためのオフセットパラメータを、前記被検光学系の波面収差に反映させる処理手段とを有することを特徴とする測定装置。 20

【請求項１０】

光源からの光を用いてレチクルのパターンを被処理体に露光する露光装置であって、

前記パターンを前記被処理体に投影する投影光学系と、

前記光源からの光を用いて前記投影光学系の波面収差を測定する請求項９記載の測定装置とを有することを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、一般には、測定方法及び装置に係り、特に、レチクル（マスク）上のパターンを被処理体に投影する投影光学系などの被検光学系の波面収差を測定する測定方法及び装置に関する。 30

【背景技術】

【０００２】

フォトリソグラフィ（焼き付け）技術を用いて半導体メモリや論理回路などの微細な半導体素子を製造する際に、投影露光装置が従来から使用されている。投影露光装置は、レチクルに描画された回路パターンを投影光学系によってウェハ等に投影して回路パターンを転写する。

【０００３】

投影露光装置は、レチクル上のパターンを所定の倍率（縮小率）で正確にウェハに転写することが要求されるため、収差を極限に抑えた（即ち、結像性能に優れた）投影光学系を用いることが重要である。特に、近年の半導体素子の急速な微細化に伴い、転写パターンは、光学系の収差に対して敏感になってきている。このため、投影光学系の光学性能（例えば、波面収差）を高精度に測定する需要が存在する。また、生産性や経済性を高める観点からは、測定の簡素化、迅速化、コスト削減なども重要である。 40

【０００４】

光学系の波面収差を測定する測定装置として、理想球面波を形成するためのピンホールを有する点回折干渉計（ＰＤＩ）やシアリング干渉を利用するシアリング干渉計が従来から知られている。また、近年では、理想円柱波又は理想楕円波を形成するためのスリットを有する線回折干渉計（ＬＤＩ）を利用した測定装置が提案されている（例えば、特許文 50

献 1 及び 2 参照)。

【0005】

L D I 方式の測定装置を露光装置に搭載する場合、投影光学系の像面側に、理想波面を形成するスリットと、投影光学系の収差情報を有する波面を透過する窓とを含む測定マークを有するプレートを、かかるプレートの直下に 2 次元受光素子を配置する。そして、プレートから発生する 2 つの波面の干渉を 2 次元受光素子で撮像し、撮像した干渉縞画像に画像処理を施すことによって投影光学系の波面収差を測定する。

【特許文献 1】特開 2000 - 97666 号公報

【特許文献 2】特開 2005 - 244126 号公報

【発明の開示】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、従来の測定装置は、投影光学系の波面収差を高精度に測定することができなかった。上述した画像処理は、干渉縞画像を受光面座標から投影光学系の瞳面座標に変換する画像変換処理と、画像変換した干渉縞データから波面収差の情報を算出する波面収差情報算出処理を含む。

【0007】

画像変換処理は、光線追跡によって、受光面内の各座標位置における干渉縞データ値が投影光学系の瞳面内のどの座標位置から到達した値であるかを算出する。従って、投影光学系の瞳面と受光面との間に存在する各部材の構成を知っておく必要がある。換言すれば、測定装置の構成を規定する値である「プレートの厚さ」、「プレートと受光面との間の距離」、「測定マークと受光面との位置関係（受光面上での干渉縞の中心及び半径）」を画像変換処理の入力パラメータとして使用する。以下、本出願では、入力パラメータを総称して、「処理パラメータ」とする。

20

【0008】

これまで、処理パラメータのうち、プレートの厚さ及びプレートと受光面との間の距離については、設計値を利用していた。また、干渉縞の中心及び半径については、設計値を利用するか、画像処理による領域検出を行うことによって決定する、或いは、干渉縞画像の縞領域を目視判断することによって決定していた。但し、設計値と実際の値との間には、装置の製造誤差（例えば、投影光学系の像高毎のテレセン差異、プレートの製造誤差、受光素子の配置誤差など）によって、ズレが生じている。従って、設計値を処理パラメータとして用いると、高精度な画像変換処理を施すことができず、算出される波面収差の情報に測定誤差が含まれてしまう。

30

【0009】

更に、実際の値との間にズレのない設計値を処理パラメータに用いて画像変換処理を施したとしても、除去しきれない装置の製造誤差（例えば、投影光学系の下面、プレート面、受光面間の傾きなど）が存在し、波面収差の情報に測定誤差が含まれてしまう。

【0010】

このような問題は、L D I 方式の測定装置に限らず、P D I 方式やシアリング干渉方式などの光学系の光学性能を 2 次元情報で測定する測定装置でも同様に生じてしまう。

40

【0011】

そこで、本発明は、光学系の光学性能（波面収差など）を高精度に測定することができる測定方法及び装置を提供することを例示的目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての測定方法は、干渉縞を検出することで被検光学系の波面収差を測定する測定装置を用いて、被検光学系の波面収差を測定する測定方法であって、前記被検光学系及び前記測定装置の構成を規定する値の設計値からのずれをシステムパラメータとして測定するステップと、前記システムパラメータを用いて、前記被検光学系の波面収差を測定するステップとを有することを特徴とする。

50

【 0 0 1 3 】

本発明の別の側面としての測定装置は、干渉縞を検出することで被検光学系の波面収差を測定する測定装置であって、前記被検光学系及び前記測定装置の構成を規定する値の設計値からのずれをシステムパラメータとして記憶する記憶手段と、前記システムパラメータのうち、前記干渉縞から前記被検光学系の波面収差を算出するための処理パラメータを用いて、前記被検光学系の波面収差を算出すると共に、前記システムパラメータのうち、算出した前記被検光学系の波面収差を調整するためのオフセットパラメータを、前記被検光学系の波面収差に反映させる処理手段とを有することを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

本発明の更に別の側面としての露光装置は、光源からの光を用いてレチクルのパターンを被処理体に露光する露光装置であって、前記パターンを前記被処理体に投影する投影光学系と、前記光源からの光を用いて前記投影光学系の波面収差を測定する上述の測定装置とを有することを特徴とする。 10

【 0 0 1 5 】

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

【 発明の効果 】

【 0 0 1 6 】

本発明によれば、光学系の光学性能（波面収差など）を高精度に測定することができる測定方法及び装置を提供することができる。 20

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 7 】

本発明者は、高精度な波面収差の測定を実現するためには、処理パラメータとして設計値ではなく実際の値を使用して波面収差を算出（測定）し、更に、かかる波面収差に対して補正する必要があることを見出した。かかる補正には、例えば、測定装置が測定する波面収差の収差変化量を補正するためのパラメータ（リニアゲイン）や、被検光学系以外の測定装置を構成する部材が有する収差を補正するためのパラメータ（絶対値）を用いる必要がある。以下、本出願では、測定装置が測定した波面収差に反映させるパラメータを「オフセットパラメータ」とする。また、「処理パラメータ」と「オフセットパラメータ」を総称して、「システムパラメータ」とする。 30

【 0 0 1 8 】

このように、本発明の測定装置及び測定方法の基本的な原理は、製造誤差を画像処理の入力パラメータである「処理パラメータ」に反映させる。更に、画像処理の出力として算出される波面収差（例えば、Zernike多項式の各項の収差量）に対して「オフセットパラメータ」を反映させる。

【 0 0 1 9 】

以下、添付図面を参照して、本発明の好ましい実施例について説明する。なお、各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【 0 0 2 0 】

図1は、本発明の一側面としての露光装置1の構成を示す概略ブロック図である。露光装置1は、レチクル20の回路パターンを被処理体40に露光する投影露光装置である。露光装置1は、本実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置であるが、ステップ・アンド・リピート方式の露光方式を適用することもできる。 40

【 0 0 2 1 】

露光装置1は、図1に示すように、照明装置10と、レチクル20を載置するレチクルステージ25と、投影光学系30と、被処理体40を載置するウェハステージ45と、アライメント光学系50と、主制御部60と、投影制御部70とを有する。更に、露光装置1は、本発明の一側面としての測定装置100も有する。

【 0 0 2 2 】

照明装置10は、転写用の回路パターンが形成されたレチクル20を照明し、光源部1 50

2 と、引き回し光学系 14 と、照明光学系 16 とを有する。

【0023】

光源部 12 は、例えば、光源として、波長約 193 nm の ArF エキシマレーザー、波長約 248 nm の KrF エキシマレーザーなどを使用する。但し、光源部 12 の種類は、エキシマレーザーに限定されず、例えば、波長約 157 nm の F₂ レーザーを使用してもよいし、そのレーザーの個数も限定されない。

【0024】

引き回し光学系 14 は、光源部 12 からの光束を照明光学系 16 と、後述するアライメント光学系 50 に導光する。

【0025】

照明光学系 16 は、レチクル 20 を照明する光学系であり、レンズ、ミラー、オプティカルインテグレーター、絞り等を含む。照明光学系 16 は、例えば、コンデンサーレンズ、ハエの目レンズ、開口絞り、オプティカルインテグレーター、スリット、結像光学系の順で光学素子が整列された構成を有する。

【0026】

レチクル 20 は、例えば、石英製で、その上には転写されるべき回路パターンが形成され、レチクルステージ 25 に支持及び駆動される。レチクル 20 のパターンは、投影光学系 30 を介して、被処理体 40 上に投影される。レチクル 20 と被処理体 40 とは、光学的に共役の関係にある。露光装置 1 は、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置であるため、レチクル 20 と被処理体 40 を縮小倍率比の速度比で走査することにより、レチクル 20 のパターンを被処理体 40 上に転写する。なお、ステップ・アンド・リピート方式の露光装置の場合、レチクル 20 と被処理体 40 とを静止させた状態で露光を行う。

【0027】

レチクルステージ 25 は、レチクル 20 を支持して図示しない移動機構に接続されている。また、レチクルステージ 25 は、後述する測定装置 100 の一部（レチクル側測定部 100A）を支持する。レチクルステージ 25 は、当業界周知のいかなる構成をも適用できる。図示しない移動機構はリニアモーターなどで構成され、XY 方向にレチクルステージ 25 を移動することでレチクル 20 及び測定装置 100 のレチクル側測定部 100A を移動することができる。

【0028】

投影光学系 30 は、レチクル 20 のパターンを被処理体 40 上に結像する。投影光学系 30 は、複数のレンズ素子のみからなる屈折光学系、複数のレンズ素子と少なくとも一枚の反射ミラーとを有する反射屈折光学系などを使用することができる。投影光学系 30 の光学性能（例えば、波面収差）は、測定装置 100 によって測定される。

【0029】

被処理体 40 は、本実施形態では、ウェハであるが、ガラスプレート、その他の被処理体を広く含む。被処理体 40 には、フォトレジストが塗布されている。

【0030】

ウェハステージ 45 は、図示しないウェハチャックを介して、被処理体 40 を支持する。また、ウェハステージは、後述する測定装置 100 の一部（ウェハ側測定部 100B）を支持する。ウェハステージ 45 は、当業界周知のいかなる構成をも適用することができる。ウェハステージ 45 は、例えば、リニアモーターを利用して、XY 方向に被処理体 40 及び測定装置 100 のウェハ側測定部 100B を移動することができる。レチクルステージ 25 とウェハステージ 45 との位置は、後述するアライメント光学系 50 でキャリブレーションされ、両者は一定の速度比率で駆動される。

【0031】

アライメント光学系 50 は、アライメントスコープで構成され、通常露光時は光路外に配置されている。なお、図 1 では、アライメント光学系 50 を駆動する駆動機構は省略している。アライメント光学系 50 は、レチクル 20 上の図示しないアライメントマークと被処理体 40 上のアライメントマークとを、投影光学系 30 を介して結像することによ

10

20

30

40

50

って、レチクル 20 と被処理体 40 との位置を合わせる。

【0032】

主制御部 60 は、CPU、メモリを有し、露光装置 1 の動作を制御する。主制御部 60 は、本実施形態では、後述する測定装置 100 から受信する投影光学系 30 の波面収差に基づいて、波面収差の補正に必要なレンズ駆動量及び波長駆動量を算出し、投影制御部 70 に出力する。

【0033】

投影制御部 70 は、投影光学系 30 を構成する複数のレンズを駆動するレンズ駆動系及び光源部 12 からの露光光の波長を制御する。換言すれば、投影制御部 70 は、投影光学系 30 を所望の収差量に調整する。投影制御部 70 は、主制御部 80 からのレンズ駆動量に基づいて、投影光学系 30 の複数のレンズを変位させる。更に、投影光学系 70 は、主制御部 80 からの波長駆動量に基づいて、光源部 12 からの露光光の波長を変更する。

【0034】

測定装置 100 は、本実施形態では、被検光学系としての投影光学系 30 の光学性能（波面収差）を干渉縞を検出することで測定する LDI 方式の干渉計を含む。測定装置 100 は、図 1 に示すように、レチクル側測定部 100A と、ウェハ側測定部 100B とを有する。

【0035】

レチクル側測定部 100A は、レチクルステージ 25 上に構成され、第 1 のマスク 110 を有する。ウェハ側測定部 100B は、ウェハステージ 45 上に構成され、第 2 のマスク 120 と、撮像手段 130 と、測定制御部 140 とを有する。

【0036】

第 1 のマスク 110 は、本実施形態では、レチクルステージ 25 に配置される。第 1 のマスク 110 は、例えば、石英や蛍石などの透明基板と、かかる透明基板上にマスクパターンを形成するクロムなどから構成される。照明光学系 16 からの光束は、レチクルステージ 25 上に配置された第 1 のマスク 110 に集光する。第 1 のマスク 110 に集光する光束は、投影光学系 30 のレチクル側、即ち、物体側の開口数 NA_o と同じ $= 1$ 照明である。

【0037】

図 2 は、第 1 のマスク 110 の構成を示す概略平面図である。第 1 のマスク 110 は、0 度方位（Y 方向）に配されたスリット 112a 及び窓 112b で構成されるマーク 112 と、90 度方位（X 方向）に配されたスリット 114a 及び窓 114b で構成されるマーク 114 とを含む。マーク 112 とマーク 114 とは、幅や間隔などは同一であり、配置方位のみが異なっている。スリット 112a 及び 114a の幅 r は、投影光学系 30 のレチクル側、即ち、物体側の開口数を NA_i 、第 1 のマスク 110 を照明する光束の波長を λ とすると、以下に示す数式 1 を満足する。

【0038】

【数 1】

$$\Delta r < 0.5 \times \lambda / NA_i$$

【0039】

スリット 112a 及び 114a の幅が、数式 1 を満足することで、スリット 112a 及び 114a から回折する光は、 NA_i の範囲において等位相とみなすことができる。

【0040】

一方、窓 112b 及び 114b の幅 r' は、 λ / NA_i 以下の大きさである。窓 112b 及び 114b の幅 r' は、数式 1 と同程度としてもよい。但し、窓 112b 及び 114b を通過した光は、後述するように、被処理体側で数式 1 を満足する幅のスリットを通過するため、レチクル側で等位相とする必要はない。従って、光量の観点から、窓 112b 及び 114b の幅 r' は、 λ / NA_i 以下の大きさにおいて、広めにすることが好ましい。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 1 】

また、第 1 のマスク 1 1 0 は、マーク 1 1 2 と同形状のマーク 1 1 6 や、マーク 1 1 4 と同形状のマーク 1 1 8 も含む。これにより、マーク 1 1 2 やマーク 1 1 4 が劣化した場合に、マーク 1 1 6 及び 1 1 8 を代用マークとして使用したり、レチクルステージ 2 5 を駆動することなく、異なる像高における波面収差を測定したりすることができる。

【 0 0 4 2 】

第 2 のマスク 1 2 0 は、図 3 に示すように、0 度方位 (Y 方向) に配されたスリット 1 2 1 a 及び窓 1 2 1 b で構成されるマーク 1 2 1 と、9 0 度方位 (X 方向) に配されたスリット 1 2 2 a 及び窓 1 2 2 b で構成されるマーク 1 2 2 とを含む。ここで、図 3 は、第 2 のマスク 1 2 0 の構成を示す概略平面図である。マーク 1 2 1 とマーク 1 2 2 とは、幅
10
や間隔などは同一であり、配置方位のみが異なっている。スリット 1 2 1 a 及び 1 2 2 a の幅 w は、投影光学系 3 0 の被処理体側、即ち、像側の開口数を NA_i として、以下に示す数式 2 を満足する。

【 0 0 4 3 】

【 数 2 】

$$\Delta w < 0.5 \times \lambda / NA_i$$

【 0 0 4 4 】

スリット 1 2 1 a 及び 1 2 2 a の幅が、数式 2 を満足することで、スリット 1 2 1 a 及び 1 2 2 a から回折する光は、 NA_i の範囲において等位相とみなすことができる。
20

【 0 0 4 5 】

窓 1 2 1 b 及び 1 2 2 b の幅 w' は、測定する投影光学系 3 0 の空間周波数によって設定する。例えば、高周波まで測定したい場合には広く、低周波だけの測定でよい場合には狭くする。投影光学系 3 0 の瞳の空間周波数を f とおくと、窓 1 2 1 b 及び 1 2 2 b の
 w' は、以下に示す数式 3 で与えられる。

【 0 0 4 6 】

【 数 3 】

$$\Delta w' = 2 \times f \times \lambda / NA_i$$

【 0 0 4 7 】

光量の観点から、スリットと窓の長さ L_w は長いほどよいが、投影光学系 3 0 の収差を同一と見なすことができる、所謂、アイソプラナティック領域内にあることが必要である。
30

【 0 0 4 8 】

また、第 2 のマスク 1 2 0 には、マーク 1 2 1 及びマーク 1 2 2 と同形状のマーク 1 2 3 乃至 1 2 5 及びマーク 1 2 6 乃至 1 2 8 も含む。マーク 1 2 3 乃至 1 2 5 及びマーク 1 2 6 乃至 1 2 8 は、マーク 1 2 1 及びマーク 1 2 2 の各々の予備マークであり、例えば、マーク 1 2 1 及びマーク 1 2 2 が劣化したりやゴミの付着などによって使用できなくなった場合に用いられる。なお、以下の説明では、マーク 1 1 2、1 1 6、1 2 1、1 2 3 乃至 1 2 5 を X マークと称し、マーク 1 1 4、1 1 8、1 2 2、1 2 6 乃至 1 2 8 を Y マークと称する。
40

【 0 0 4 9 】

撮像手段 1 3 0 は、CCD 等の光電変換素子で構成される。撮像手段 1 3 0 は、ケーブル CB を介して、測定制御部 1 4 0 と通信可能に接続される。

【 0 0 5 0 】

測定制御部 1 4 0 は、処理部 1 4 2 と、メモリ部 1 4 4 とを有する。処理部 1 4 2 は、撮像手段 1 3 0 から入力される干渉縞データに基づいて、投影光学系 3 0 の収差情報を取得するための処理を実施する。メモリ部 1 4 4 は、処理部 1 4 2 の処理に必要な情報 (例えば、オフセットパラメータ) や、処理結果 (例えば、波面収差データや Z e r n i k e 各項) などのデータ群を格納する。

【 0 0 5 1 】

処理部 1 4 2 は、位相情報を算出する際に、例えば、フーリエ変換法や電子モアレなどを用いる。フーリエ変換法は、1つの干渉縞画像を2次元フーリエ変換して分離された被検光学系の波面情報を含む空間周波数領域を抽出し、それを原点シフトした後、逆フーリエ変換することによって位相情報を取り出す方法である。また、電子モアレ法は、まず、1つの干渉縞画像と同じキャリア周波数を有し、且つ、位相シフトさせた少なくとも3つ以上の参照格子画像を作成する。

そして、干渉縞画像及び上述した参照格子画像から作成した少なくとも3つ以上のモアレ縞に、ローパスフィルター及び位相シフト法の処理を施すことによって位相情報を取り出す。電子モアレ法を用いる場合は、撮像した干渉縞に、又は、予めメモリ部 1 4 4 に格納した参照格子画像を乗じて処理することが可能である。測定制御部 1 4 0 のメモリ部 1 4 4 に格納された投影光学系 3 0 の波面収差情報は、主制御部 6 0 に送信される。

10

【 0 0 5 2 】

以下、図 4 を参照して、測定装置 1 0 0 の動作、即ち、投影光学系 3 0 の波面収差を測定する測定方法 1 0 0 0 について説明する。図 4 は、本発明の一側面としての測定方法 1 0 0 0 を説明するためのフローチャートである。

【 0 0 5 3 】

測定方法 1 0 0 0 は、まず、投影光学系 3 0 及び測定装置 1 0 0 の構成を規定する値の設計値からのずれを示すシステムパラメータを測定及び記憶する（ステップ 1 1 0 0）。なお、システムパラメータは、画像処理時に入力する（即ち、干渉縞から投影光学系 3 0 の波面収差を算出する）ための処理パラメータと、かかる処理パラメータを用いて算出された波面収差を補正（調整）するためのオフセットパラメータとを含む。

20

【 0 0 5 4 】

次いで、ステップ 1 1 0 0 で測定及び記憶したシステムパラメータのうち、処理パラメータを呼び出し（ステップ 1 2 0 0）、呼び出した処理パラメータを用いて投影光学系 3 0 の波面収差を算出する（ステップ 1 3 0 0）。最後に、ステップ 1 3 0 0 で算出した投影光学系 3 0 の波面に、オフセットパラメータを反映させる（ステップ 1 4 0 0）。

【 0 0 5 5 】

処理パラメータは、上述したように、投影光学系 3 0 の波面収差を算出するための画像処理を実行する際に必要となるパラメータである。処理パラメータは、例えば、第 2 のマスク 1 2 0 の厚さ（詳細には、第 2 のマスク 1 2 0 を構成する透明基板の厚み）、第 2 のマスク 1 2 0 と撮像手段 1 3 0 との距離、処理中心及び半径などである。ここで、処理中心及び半径とは、第 2 のマスク 1 2 0 の各マークから射出される光束が、撮像手段 1 3 0 上に形成する干渉縞の処理領域である。

30

【 0 0 5 6 】

また、オフセットパラメータは、上述したように、処理パラメータを用いて算出された波面収差を補正するためのパラメータである。オフセットパラメータは、例えば、絶対値補正量（投影光学系 3 0 以外の測定装置 1 0 0 又は露光装置 1 を構成する部材が有する収差量）、リニアリティゲイン（Z e r n i k e 多項式各項の収差変化量補正值）などである。

40

【 0 0 5 7 】

以下、図 4 に示す各ステップの詳細な内容について説明する。

【 0 0 5 8 】

図 5 は、ステップ 1 1 0 0 のシステムパラメータの測定及び記憶の詳細なフローチャートである。

【 0 0 5 9 】

まず、測定位置移動工程（ステップ 1 1 1 0）において、後述するように、照明光学系 1 4 と、第 1 のマスク 1 1 0 と、第 2 のマスク 1 2 0 との位置を合わせる。

【 0 0 6 0 】

光源部 1 2 から射出した光束は、引き回し光学系 1 4 を介して、照明光学系 1 6 に入射

50

し、照明光学系 16 の 絞りによって、第 1 のマスク 110 のマーク 112 のみを照射するように調整される。スリット 112 a は数式 1 を満足する幅であるため、スリット 112 a から射出した光は、X 方向に等位相の波面を有する回折光となる。これにより、投影光学系 30 の瞳全面に光が照射される。一方、第 1 のマスク 110 の窓 112 b を通過した光束は、照明光学系 16 の収差を含む光束となる。

【0061】

第 2 のマスク 120 は、第 1 のマスク 110 のマーク 112 から射出した光が、投影光学系 30 によって第 2 のマスク 120 のマーク 121 に結像するように、ウェハステージ 45 を介して調整される。これにより、第 1 のマスク 110 のスリット 112 a は第 2 のマスク 120 の窓 121 b に結像し、第 1 のマスク 110 の窓 112 b は第 2 のマスク 120 のスリット 121 a に結像する。

10

【0062】

第 2 のマスク 120 のスリット 121 a で回折された光束は、X 方向に等位相な波面を有する。一方、第 2 のマスク 120 の窓 121 b を通過する光束は、スリット 112 a で X 方向に等位相な波面に整形された後、投影光学系 30 を通過しているため、投影光学系 30 の波面収差情報を有している。

【0063】

第 2 のマスク 120 のスリット 121 a 及び窓 121 b から射出した光束を図 6 に示す。図 6 を参照するに、スリット 121 a を経た光は、X 方向の理想波面 W S a であり、窓 121 b を経た光は、被検波面 W S b であることが理解できる。

20

【0064】

撮像手段 130 が検出するスリット 121 a から射出した光と窓 121 b から射出した光との干渉縞の一例を図 7 に示す。図 7 を参照するに、スリット 121 a と窓 121 b との間隔の分だけ中心のずれた投影光学系 30 の瞳の像が 2 つ撮像され、これらの重複領域に干渉縞が発生している。

【0065】

図 5 に戻って、処理パラメータ算出工程（ステップ 1120）では、撮像手段 130 で検出される干渉縞の発生領域の中心座標及び半径を算出する。具体的には、投影制御部 70 が発生させる既知量の球面成分の収差を正しく測定する中心及び半径位置を求めることによって、干渉縞の中心座標及び半径を算出する。なお、本実施形態では、処理パラメータのうち、第 2 のマスク 120 の厚さ及び第 2 のマスク 120 と撮像手段 130 との間の距離は、露光装置 1 以外の公知の測定装置で予め測定され、測定制御部 140 のメモリ部 144 に記憶されている。

30

【0066】

なお、処理パラメータ算出工程（ステップ 1120）は、X Y 間位置移動工程（ステップ 1122）と、収差量設定工程（ステップ 1124）と、処理パラメータ決定工程（ステップ 1128）とを有する。

【0067】

X Y 間位置移動工程（ステップ 1122）では、X マークから Y マークへ位置を移動するが、本実施形態では、測定位置移動工程（ステップ 1110）において X マーク位置への移動が終了している。従って、X マークの処理パラメータを算出する際には、何も行わずに次のステップに移行する。

40

【0068】

収差量設定工程（ステップ 1124）では、予め、投影光学系 30 の収差量とレンズ駆動量及び波長変化量との関係が調整されている投影制御部 70 を介して、投影光学系 30 のレンズ群を駆動する。これによって、投影光学系 30 に球面収差を発生させ、その収差量を変えながら、撮像手段 130 で干渉縞データを撮像する。撮像手段 130 は、例えば、球面収差に 100 m、200 m、300 m の収差が発生している 3 つの干渉縞データを撮像する。撮像した複数の干渉縞データは、測定制御部 140 に出力される。

【0069】

50

ステップ 1 1 2 6 では、X マーク及び Y マークの両方の干渉縞データが、測定制御部 1 4 0 に出力されたかどうか判断する。本実施形態では、Y マークの干渉縞データが測定制御部 1 4 0 に出力されていないため、ステップ 1 1 2 2 に戻り、X マーク位置から Y マーク位置へ移動する。具体的には、照明光学系 1 4 からの光束が、第 1 のマスク 1 1 0 のマーク 1 1 4 を照明するように、レチクルステージ 2 5 (第 1 のマスク 1 1 0) を移動する。更に、マーク 1 1 4 から射出する光が、投影光学系 3 0 を介して、第 2 のマスク 1 2 0 のマーク 1 2 2 に結像するように、ウェハステージ 4 5 (第 2 のマスク 1 2 0) を調整する。これによって、第 1 のマスク 1 1 0 のスリット 1 1 0 a は第 2 のマスク 1 2 0 の窓 1 2 0 b に、第 1 のマスク 1 1 0 の窓 1 1 0 b は第 2 のマスク 1 2 0 のスリット 1 2 0 a に結像する。そして、X マークの場合と同様に、投影光学系 3 0 に球面収差を発生させ、その収差量を変えながら、撮像手段 1 3 0 によって干渉縞データを撮像する。 10

【 0 0 7 0 】

X マーク及び Y マークの干渉縞データが測定制御部 1 4 0 に出力されたら、処理パラメータ決定工程 (ステップ 1 1 2 8) において、測定制御部 1 4 0 に入力された複数の干渉縞データに基づいて、処理パラメータ (干渉縞の中心座標及び半径) を決定する。

【 0 0 7 1 】

詳細には、まず、干渉縞の中心座標を算出する。撮像した X マークの干渉縞データから得られる波面収差において、ステップ 1 1 2 4 から、投影光学系 3 0 については X 方向のみに球面収差が発生していることが分かっている。従って、干渉縞の中心近傍において、中心座標を X Y 方向に振りながら収差量の異なる複数の干渉縞の処理を行い、波面収差を Z e r n i k e 多項式に展開した際のコマ成分の収差変化量が最も小さくなる中心位置を、干渉縞の中心座標として決定すればよい。 20

【 0 0 7 2 】

また、X マークと同様に、Y マークの干渉縞データから得られる波面収差において、投影光学系 3 0 については Y 方向のみに球面収差が発生していることが分かっている。従って、干渉縞の中心近傍において、中心座標を X Y 方向に振りながら複数の干渉縞の処理を行い、波面収差を Z e r n i k e 多項式に展開した際のコマ成分の収差変化量が最も小さくなる中心位置を、干渉縞の中心座標として決定する。

【 0 0 7 3 】

上述した干渉縞の中心座標の決定方法は、干渉縞の半径の大きさに依存しないため、半径には仮固定値 (例えば、設計値) を用いればよい。干渉縞の中心座標を決定するためには、撮像した複数の干渉縞データのうち少なくとも 2 つの収差量のデータに対して行えばよいが、3 つ以上の収差量のデータに対して行って、それらの変化量の平均値を用いてもよい。 30

【 0 0 7 4 】

次いで、決定した干渉縞の中心座標を用いて干渉縞の半径を決定する。撮像した複数の干渉縞データを同じ半径でもって処理し、球面収差量 (例えば、Z e r n i k e 多項式の 9 項の収差量) を算出する。かかる球面収差量は、X Y 波面を合成した後の波面収差を用いて算出する。X Y 波面の合成については、後で詳細に説明する。このような処理を、半径を変えながら行い、ステップ 1 1 2 4 により予め分かっている複数の干渉縞データの間の収差変化量と一致する変化量が算出される半径位置を、干渉縞の半径として決定する。 40

【 0 0 7 5 】

以上のステップにより、X マーク及び Y マークの 1 セットの測定位置における処理パラメータ (第 2 のマスク 1 2 0 の厚さ、第 2 のマスク 1 2 0 と撮像手段 1 3 0 との距離、干渉縞の中心座標及び半径) が全て決定される。

【 0 0 7 6 】

オフセットパラメータ算出工程 (ステップ 1 1 3 0) では、オフセットパラメータを算出する。ここでは、リニアリティゲイン (Z e r n i k e 多項式の各項の収差変化量の補正值) を例として、オフセットパラメータ算出工程を説明する。例えば、投影制御部 7 0 によって発生させた既知量の球面収差の変化量に対して、測定した投影光学系 3 0 の収差 50

の変化量が一致するようにリニアリティゲインを決定する。

【0077】

なお、オフセットパラメータ算出工程（ステップ1130）は、収差量設定工程（ステップ1132）と、波面収差測定工程（ステップ1134）と、オフセットパラメータ決定工程（ステップ1138）とを有する。

【0078】

収差量設定工程（ステップ1132）では、投影制御部70によって投影光学系30のレンズを駆動し、投影光学系30に所望の収差量を発生させる。例えば、Zernike多項式の第5項のリニアリティゲインを算出する場合には、Zernike多項式の第5項に10mを発生させる。

10

【0079】

波面収差測定工程（ステップ1134）では、投影光学系30に上述した収差量が発生している状態で、投影光学系30の波面収差を測定する。図8は、ステップ1134の波面収差測定工程の詳細なフローチャートである。波面収差測定工程（ステップ1134）は、図8に示すように、X方向波面収差算出工程（ステップ1134A）と、Y方向波面収差算出工程（ステップ1134B）と、XY波面合成工程（ステップ1134C）とを有する。

【0080】

X方向波面収差算出工程（ステップ1134A）では、XY間位置移動工程（ステップ1122）と同様に、まず、照明光学系14と、第1のマスク110（マーク112）と、第2のマスク120（マーク121）との位置を合わせる。次に、撮像手段130によって、マーク121から発生する干渉縞データを撮像する。撮像した干渉縞データは、測定制御部140で処理し、X方向に投影光学系30の収差情報を有するX方向波面収差を算出する。

20

【0081】

Y方向波面収差算出工程（ステップ1134B）では、照明光学系14と、第1のマスク110（マーク114）と、第2のマスク120（マーク122）との位置を合わせた後、撮像手段130によって、マーク122から発生する干渉縞データを撮像する。撮像した干渉縞データは、測定制御部140で処理し、Y方向に投影光学系30の収差情報を有するY方向波面収差を算出する。

30

【0082】

XY波面合成工程（ステップ1134C）では、ステップ1134Aで算出したX方向波面収差と、ステップ1134Bで算出したY方向波面収差とを合成し、2次元方向に投影光学系30の収差情報を有する投影光学系30の波面収差を求める。そして、かかる波面収差からZernike多項式の各項（例えば、Zernike多項式の第5項乃至第36項）を算出し、測定制御部140のメモリ部144に記憶する。但し、メモリ部144に記憶したZernike多項式の各項には、投影光学系30の収差情報の他に、測定装置100や露光装置1の製造及び設置誤差が含まれている。

【0083】

波面収差測定工程（ステップ1134）の後、ステップ1136において、全ての収差量に対して、投影光学系30の波面収差の測定が終了したかどうかを判断する。全ての収差量に対して、投影光学系30の波面収差の測定が終了していなければ、ステップ1132に戻って収差量を変化させ、投影光学系30の波面収差を測定する（ステップ1134）。

40

【0084】

Zernike多項式の第5項のリニアリティゲインを算出する場合には、例えば、ステップ1132とステップ1134との繰り返しを、Zernike多項式の第5項に10m刻み（10m、20m、・・・）の収差量変化を発生させ、10回実施する。

【0085】

オフセットパラメータ決定工程（ステップ1138）では、オフセットパラメータ（本

50

実施形態では、Z e r n i k e 多項式の第 5 項のリニアリティゲイン)を決定する。具体的には、上述した 10 個の Z e r n i k e 多項式の第 5 項の間の相対変化量は、測定装置 100 や露光装置 1 の製造及び設置誤差のために、投影制御部 70 を介して投影光学系 30 に発生させた収差変化量 (10m 刻み)とは異なっている。従って、測定装置 100 が測定した波面収差の変化量と投影制御部 70 で発生させた投影光学系 30 の収差変化量の比を、変化量の補正值 (リニアリティゲイン)として決定する。

【0086】

このようにして、Z e r n i k e 多項式の第 5 項のリニアリティゲインは決定される。Z e r n i k e 多項式の第 6 項以上の各項のリニアリティゲインを決定する際には、ステップ 1132 において、収差を発生させる項数を変えて、第 5 項のリニアリティゲインを決定する場合と同様の動作を繰り返せばよい。

10

【0087】

システムパラメータ記憶工程 (ステップ 1140) では、ステップ 1120 とステップ 1130 で算出したシステムパラメータ (処理パラメータ及びオフセットパラメータ)を、測定制御部 140 のメモリ部 144 に記憶させる。詳細には、第 1 のマスク 110 のマーク 112 及び 114 と第 2 のマスク 120 のマーク 121 及び 122 とを投影光学系 30 の波面収差の測定に用いた場合の処理パラメータ及びオフセットパラメータを、測定制御部 140 のメモリ部 144 に記憶させる。ここで、処理パラメータは、例えば、第 2 のマスク 120 の厚さ、第 2 のマスク 120 と撮像手段 130 との間の距離、干渉縞の中心座標及び半径)である。また、オフセットパラメータは、例えば、Z e r n i k e 多項式の第 5 項乃至第 36 項の各項のリニアリティゲインである。

20

【0088】

また、絶対値をシステムパラメータに含める場合には、露光結果が最良となる投影光学系 30 の波面状態を、予め専用測定装置によって測定し、測定制御部 140 のメモリ部 144 に記憶しておけばよい。

【0089】

ステップ 1142 では、全ての測定位置について、システムパラメータの記憶が終了したかどうか判断する。測定位置とは、例えば、予備マークを用いる際の測定位置や、異なる像高を測定する際の測定位置を示す。全ての測定位置について、システムパラメータの記憶が終了していない場合は、ステップ 1110 に戻り、測定位置を移動する (例えば、第 1 のマスク 110 のマーク 116 及び 118 と第 2 のマスク 120 のマーク 121 及び 122)。その後、同様にして、ステップ 1120 からステップ 1140 を実施する。全ての測定位置について、システムパラメータの記憶が終了している場合は、図 4 に示すステップ 102 のシステムパラメータの測定及び記憶を終了する。

30

【0090】

ステップ 1100 は、測定装置 100 の製造後に一度だけ実施すればよい。また、投影光学系 30 の波面収差を測定する際には、ステップ 1100 で記憶したシステムパラメータを用いて、以下に説明するステップ 1200 からステップ 1400 の動作を実施すればよい。

【0091】

処理パラメータの呼び出し (ステップ 1200) では、投影光学系 30 の波面収差の測定に使用する第 1 のマスク 110 のマーク及び第 2 のマスク 120 のマークに対応する処理パラメータを測定制御部 140 のメモリ部 144 から呼び出す。

40

【0092】

投影光学系 30 の波面収差の算出 (ステップ 1300) では、ステップ 1200 で呼び出した処理パラメータを用いて、上述した波面収差測定工程 (ステップ 1134) と同様に、投影光学系 30 の波面収差の Z e r n i k e 多項式の各項を算出する。ここで、Z e r n i k e 多項式の各項とは、例えば、Z e r n i k e 多項式の第 5 項乃至第 36 項である。

【0093】

50

オフセットパラメータの反映（ステップ 1400）では、投影光学系 30 の波面収差の測定に使用する第 1 のマスク 110 のマーク及び第 2 のマスク 120 のマークに対応するオフセットパラメータを測定制御部 140 のメモリ部 144 から呼び出す。呼び出したオフセットパラメータは、ステップ 1300 で算出した投影光学系 30 の波面収差に反映させる。例えば、Zernike 多項式の第 5 項乃至第 36 項の各項のリニアリティゲインをステップ 1300 で算出した投影光学系 30 の波面収差に掛算することによって、Zernike 多項式の第 5 項乃至第 36 項の各項の収差変化量を補正する。更に、測定制御部 140 のメモリ部 144 に記憶しておいた絶対値補正量によって、ステップ 1300 で算出した投影光学系 30 の波面収差の絶対値を補正する。

【0094】

10

以上、測定装置 1 及び測定方法 1000（ステップ 1100 乃至ステップ 1400）によれば、測定位置（他のマーク位置や像高位置）において、測定装置 100 や露光装置 1 の製造及び設置誤差に起因して発生する収差成分を除去することができる。従って、測定装置 1 及び測定方法 1000 は、投影光学系 30 のみの波面収差を高精度、且つ、迅速に測定することができる。

【0095】

なお、測定装置 1 は、LDI 方式の干渉計だけではなく、PDI 方式の干渉計を利用してもよい。測定装置 1 が PDI 方式の干渉計を利用する場合も、上述した LDI 方式の干渉計を利用する場合とほぼ同じであるが、図 1 における第 1 のマスク 110 の構成及び第 2 のマスク 120 の構成が異なる。具体的には、第 1 のマスク 110 を図 9 に示す第 1 のマスク 110' に置換し、第 2 のマスク 120 を図 10 に示す第 2 のマスク 120' に置換する。ここで、図 9 は、第 1 のマスク 110' の構成を示す概略平面図であり、図 10 は、第 2 のマスク 120' の構成を示す概略平面図である。

20

【0096】

第 1 のマスク 110' は、図 9 に示すように、ピンホール 112' a 及び窓 112' b で構成されるマーク 112' を含む。また、第 1 のマスク 110' は、マーク 112' と同形状のマーク 114' を含む。ピンホール 112' a の径 r は、投影光学系 30 のレチクル側、即ち、物体側の開口数を NA_i とすると、上述した数式 1 を満足する。

【0097】

ピンホール 112' a の径が、数式 1 を満足することで、ピンホール 112' a で回折される光は、 NA_i の範囲において等位相とみなすことができる。

30

【0098】

一方、窓 112' b の幅 r' は、 r/NA_i 以下の大きさである。窓 112' b の幅 r' は、数式 1 と同程度としてもよい。但し、窓 112' b を通過した光は、後述するように、被処理体側で数式 1 を満足する幅のピンホールを通過するため、レチクル側で等位相とする必要はない。従って、光量の観点から、窓 112' b の幅 r' は、 r/NA_i 以下の大きさにおいて、広めにすることが好ましい。

【0099】

第 2 のマスク 120' は、図 10 に示すように、ピンホール 121' a 及び窓 121' b で構成されるマーク 121' を含む。また、第 2 のマスク 120' は、マーク 121' と同形状のマーク 122' 乃至 124' も含む。ピンホール 121' a の径 w は、投影光学系 30 のウェハ側、即ち、像側の開口数を NA_i として、上述した数式 2 を満足する。

40

【0100】

ピンホール 121' a の径 w が、数式 2 を満足することで、ピンホール 121' a で回折する光は、 NA_i の範囲において球面状に等位相な波面を有するとみなすことができる。

【0101】

窓 121' b の幅 w' は、測定する投影光学系 30 の空間周波数によって設定する。例えば、高周波まで測定したい場合には広く、低周波だけの測定でよい場合には狭くする

50

。投影光学系 30 の瞳の空間周波数を f とおくと、窓 121' b の幅 w' は、上述した数式 3 で与えられる。ここで、瞳半径で一周期となる波面収差の周波数 f を 1 とする。

【0102】

以下、PDI 方式の干渉計を利用する測定装置 100 の動作、即ち、投影光学系 30 の波面収差を測定する測定方法について説明する。かかる測定方法は、図 4 に示すフローチャートと同様である。但し、図 5 に示したシステムパラメータの測定及び記憶（ステップ 1100）のフローが、図 11 に示すシステムパラメータの測定及び記憶（ステップ 1100'）のフローに置換される。ここで、図 11 は、ステップ 1100' のシステムパラメータの測定及び記憶の詳細なフローチャートである。

【0103】

図 11 を参照するに、まず、測定位置移動工程（ステップ 1110'）において、後述するように、照明光学系 14 と、第 1 のマスク 110' と、第 2 のマスク 120' との位置を合わせる。

【0104】

光源部 12 から出射した光束は、引き回し光学系 14 を介して、照明光学系 16 に入射し、照明光学系 16 の絞りによって、第 1 のマスク 110' のマーク 112' のみを照射するように調整される。ピンホール 112' a は数式 1 を満足する幅であるため、ピンホール 112' a から射出した光は、球面状に等位相の波面を有する回折光となる。これにより、投影光学系 30 の瞳全面に光が照射される。一方、第 1 のマスク 110' の窓 112' b を通過した光束は、照明光学系 16 の収差を含む光束となる。

【0105】

第 2 のマスク 120' は、第 1 のマスク 110' のマーク 112' から射出した光が、投影光学系 30 によって第 2 のマスク 120' のマーク 121' に結像するように、ウェハステージ 45 を介して調整される。これにより、第 1 のマスク 110' のピンホール 112' a は第 2 のマスク 120' の窓 121' b に、第 1 のマスク 110' の窓 112' b は第 2 のマスク 120' のピンホール 121' a に結像する。

【0106】

第 2 のマスク 120' のピンホール 121' a で回折された光束は、球面状に等位相な波面を有する。一方、第 2 のマスク 120' の窓 121' b を通過する光束は、ピンホール 112' a で x 方向に等位相な波面に整形された後、投影光学系 30 を通過しているため、投影光学系 30 の波面収差情報を有している。

【0107】

図 11 に戻って、処理パラメータ算出工程（ステップ 1120'）では、撮像手段 130 で検出される干渉縞の発生領域の中心座標及び半径を算出する。なお、処理パラメータ算出工程（ステップ 1120'）は、収差量設定工程（ステップ 1124'）と処理パラメータ決定工程（ステップ 1128'）とを有する。

【0108】

収差量設定工程（ステップ 1124'）では、ステップ 1124 と同様に、予め、投影光学系 30 の収差量とレンズ駆動量及び波長変化量との関係が調整されている投影制御部 70 を介して、投影光学系 30 のレンズ群を駆動する。これによって、投影光学系 30 に球面収差を発生させ、その収差量を変えながら、撮像手段 130 で干渉縞データを撮像する。撮像した複数の干渉縞データは、測定制御部 140 に出力される。

【0109】

処理パラメータ決定工程（ステップ 1128'）では、測定制御部 140 に入力された複数の干渉縞データに基づいて、処理パラメータ（干渉縞の中心座標及び半径）を決定する。

【0110】

詳細には、まず、干渉縞の中心座標を算出する。撮像した干渉縞データから得られる波面収差において、ステップ 1124' から、球面収差のみが発生していることが分かっている。従って、干渉縞の中心近傍において、中心座標を X Y 方向に振りながら複数の干渉

10

20

30

40

50

縞の処理を行い、波面収差を Z e r n i k e 多項式に展開した際のコマ成分の収差変化量が最も小さくなる中心位置を、干渉縞の中心座標として決定すればよい。

【 0 1 1 1 】

ステップ 1 1 2 8 と同様に、干渉縞の中心座標の決定する際には、干渉縞の半径は仮固定値（例えば、設計値）でよい。

【 0 1 1 2 】

次に、決定した干渉縞の中心座標を用いて干渉縞の半径を決定する。撮像した複数枚の干渉縞データを同じ半径でもって処理し、球面収差量を算出する。ステップ 1 1 2 8 では、X Y 波面合成後の波面収差を用いたが、ステップ 1 1 2 8 ' における測定装置 1 は P D I 方式の干渉計を利用するため、波面合成の処理を行う必要はない。このような処理を、半径を変えながら行い、ステップ 1 1 2 4 ' により予め分かっている複数の干渉縞データの間の収差変化量と一致する変化量が算出される半径位置を、干渉縞の半径として決定する。

10

【 0 1 1 3 】

オフセットパラメータ算出工程（ステップ 1 1 3 0 ' ）では、オフセットパラメータを算出する。ここでは、オフセットパラメータは、リニアリティゲイン（Z e r n i k e 多項式の各項の収差変化量補正值）である。オフセットパラメータ算出工程（ステップ 1 1 3 0 ' ）は、収差量設定工程（ステップ 1 1 3 2 ' ）と、波面収差測定工程（ステップ 1 1 3 4 ' ）と、オフセットパラメータ決定工程（ステップ 1 1 3 8 ' ）とを有する。

【 0 1 1 4 】

20

ステップ 1 1 3 2 ' 、ステップ 1 1 3 6 ' 及びステップ 1 1 3 8 ' の動作は、ステップ 1 1 3 2 、ステップ 1 1 3 6 及びステップ 1 1 3 8 の動作とほぼ同じである。従って、ここでは、ステップ 1 1 3 4 とステップ 1 1 3 4 ' との相違についてのみ説明する。

【 0 1 1 5 】

波面収差測定工程（ステップ 1 1 3 4 ' ）では、ステップ 1 1 3 4 で実施した 3 つのステップを実行する必要はない。ステップ 1 1 3 4 で用いた第 1 のマスク 1 1 0 のマーク 1 1 2 乃至 1 1 8 及び第 2 のマスク 1 2 0 のマーク 1 2 1 乃至 1 2 8 によって発生する干渉縞データから得られる波面は、投影光学系 3 0 の単一方向のみの収差情報を有している。従って、異なる 2 つの単一方向の波面収差を合成して、2 次元方向の波面収差を算出する必要があった。

30

【 0 1 1 6 】

一方、ステップ 1 1 3 4 ' で用いる第 1 のマスク 1 1 0 ' のマーク 1 1 2 ' 乃至 1 1 4 ' 及び第 2 のマスク 1 2 0 ' のマーク 1 2 1 ' 乃至 1 2 4 ' によって発生する干渉縞データから得られる波面は、投影光学系 3 0 の 2 次元方向の収差情報を有している。従って、ステップ 1 1 3 4 における X 方向波面収差算出工程（ステップ 1 1 3 4 A ）のみを行えばよい。

【 0 1 1 7 】

システムパラメータ記憶工程（ステップ 1 1 4 0 ' ）では、ステップ 1 1 2 0 ' とステップ 1 1 3 0 ' で算出したシステムパラメータ（処理パラメータ及びオフセットパラメータ）を、測定制御部 1 4 0 のメモリ部 1 4 4 に記憶させる。

40

【 0 1 1 8 】

ステップ 1 1 4 2 ' では、全ての測定位置について、システムパラメータの記憶が終了したかどうか判断する。全ての測定位置について、システムパラメータの記憶が終了していない場合は、ステップ 1 1 1 0 ' に戻り、測定位置を移動する。その後、同様にして、ステップ 1 1 2 0 ' からステップ 1 1 4 0 ' を実施する。

【 0 1 1 9 】

全ての計測位置について、システムパラメータの記憶が終了した場合は、システムパラメータの測定及び記憶（ステップ 1 1 0 0 ' ）を終了する。ステップ 1 1 0 0 ' は、ステップ 1 1 0 0 と同様に、測定装置 1 0 0 の製造後に一度だけ実施すればよい。

【 0 1 2 0 】

50

処理パラメータの呼び出し（ステップ１２００'）では、ステップ１２００と同様に、投影光学系３０の波面収差の測定に使用する第１のマスク１１０'のマーク及び第２のマスク１２０'のマークに対応する処理パラメータをメモリ部１４４から呼び出す。

【０１２１】

投影光学系３０の波面収差の算出（ステップ１３００'）では、ステップ１２００'で呼び出した処理パラメータを用いて、上述した波面収差測定工程（ステップ１１３４'）と同様に、投影光学系３０の波面収差の Z e r n i k e 多項式の各項を算出する。ここで、Z e r n i k e 多項式の各項とは、例えば、Z e r n i k e 多項式の第５項乃至第３６項である。

【０１２２】

オフセットパラメータの反映（ステップ１４００'）では、ステップ１４００と同様に、投影光学系３０の波面収差の測定に使用する第１のマスク１１０'のマーク及び第２のマスク１２０'のマークに対応するオフセットパラメータを呼び出す。呼び出したオフセットパラメータは、ステップ１３００'で算出した投影光学系３０の波面収差に反映させる。

【０１２３】

以上、測定装置１及び測定方法１０００（ステップ１１００'乃至ステップ１４００'）によれば、測定位置（他のマーク位置や像高位置）において、測定装置１００や露光装置１の製造及び設置誤差に起因して発生する収差成分を除去することができる。従って、測定装置１及び測定方法１０００は、投影光学系３０のみの波面収差を高精度、且つ、迅速に測定することができる。

【０１２４】

なお、図４に示したシステムパラメータの測定及び記憶（ステップ１１００又はステップ１１００'）は、測定装置１００を露光装置１に搭載した状態で実施したが、必ずしも測定装置１００を露光装置１に搭載した状態で実施しなくてもよい。例えば、第１のマスク１１０又は１１０'及び第２のマスク１２０又は１２０'の駆動制御や投影制御部７０と同様な機能を備えた波面収差を測定する専用の測定装置で行ってもよい。

【０１２５】

また、図５に示したフローチャートの各ステップは、その順序通りに実行する必要はない。例えば、上述の説明では、ステップ１１３２とステップ１１３４とを繰り返し実行することによって複数の収差量における測定を行っている。但し、先に複数の収差量における干渉縞データを取得し、かかる干渉縞データの処理をまとめて実行してもよい。

【０１２６】

更に、測定装置１は、ＬＤＩ方式又はＰＤＩ方式の干渉計を利用しているが、シアリング干渉方式などの被検光学系の光学性能を２次元情報によって測定する方式の干渉計を利用してもよい。

【０１２７】

露光において、光源部１２から発せられた光束は、照明光学系１６によりレチクル２０を照明する。レチクル２０を通過してレチクルパターンを反映する光束は、投影光学系３０を介して、被処理体４０に結像される。

露光装置１が使用する投影光学系３０は、測定装置１及び測定方法１０００によって、高精度に波面収差が測定され、かかる測定結果に基づいて、波面収差が高精度に補正されている。これにより、露光装置１は、優れた露光性能（高解像度）を実現することができ、高いスループットで経済性よく、従来よりも高品位なデバイス（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。

【０１２８】

次に、図１２及び図１３を参照して、上述の露光装置１を利用したデバイス製造方法の実施例を説明する。図１２は、デバイス（ＩＣやＬＳＩなどの半導体チップ、ＬＣＤ、ＣＣＤ等）の製造を説明するためのフローチャートである。ここでは、半導体チップの製造を例に説明する。ステップ１（回路設計）では、デバイスの回路設計を行う。ステップ２

10

20

30

40

50

(レチクル製作)では、設計した回路パターンを形成したレチクルを製作する。ステップ3(ウェハ製造)では、シリコンなどの材料を用いてウェハを製造する。ステップ4(ウェハプロセス)は、前工程と呼ばれ、レチクルとウェハを用いてリソグラフィ技術によってウェハ上に実際の回路を形成する。ステップ5(組み立て)は、後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウェハを用いて半導体チップ化する行程であり、アッセンブリ工程(ダイシング、ボンディング)、パッケージング工程(チップ封入)等の工程を含む。ステップ6(検査)では、ステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テストなどの検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷(ステップ7)される。

【0129】

10

図13は、ステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。ステップ11(酸化)では、ウェハの表面を酸化させる。ステップ12(CVD)では、ウェハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13(電極形成)では、ウェハ上に電極を蒸着などによって形成する。ステップ14(イオン打ち込み)では、ウェハにイオンを打ち込む。ステップ15(レジスト処理)では、ウェハに感光剤を塗布する。ステップ16(露光)では、露光装置1によってレチクルの回路パターンをウェハに露光する。ステップ17(現像)では、露光したウェハを現像する。ステップ18(エッチング)では、現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19(レジスト剥離)では、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによってウェハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施形態のデバイス製造方法によれば、従来よりも高品位のデバイスを製造することができる。このように、露光装置1を使用するデバイス製造方法、並びに結果物としてのデバイスも本発明の一側面を構成する。

20

【0130】

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

【図面の簡単な説明】

【0131】

【図1】本発明の一側面としての露光装置の構成を示す概略ブロック図である。

【図2】図1に示す測定装置の第1のマスクの構成を示す概略平面図である。

【図3】図1に示す測定装置の第2のマスクの構成を示す概略平面図である。

30

【図4】本発明の一側面としての測定方法を説明するためのフローチャートである。

【図5】図4に示すステップ1100のシステムパラメータの測定及び記憶の詳細なフローチャートである。

【図6】図3に示す第2のマスクのスリット及び窓から射出した光束を示す概略斜視図である。

【図7】図1に示す測定装置の撮像手段が検出する第2のマスクのスリットから射出した光と窓から射出した光との干渉縞の一例を示す概略平面図である。

【図8】図5に示すステップ1134の波面収差測定工程の詳細なフローチャートである。

【図9】図2に示す第1のマスクの別の構成を示す概略平面図である。

40

【図10】図3に示す第2のマスクの別の構成を示す概略平面図である。

【図11】図5に示すステップ1100が置換されるステップ1100'のシステムパラメータの測定及び記憶の詳細なフローチャートである。

【図12】デバイス(ICやLSIなどの半導体チップ、LCD、CCD等)の製造を説明するためのフローチャートである。

【図13】図12に示すステップ4のウェハプロセスの詳細なフローチャートである。

【符号の説明】

【0132】

1

露光装置

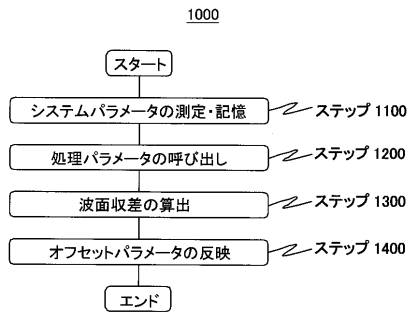
10

照明装置

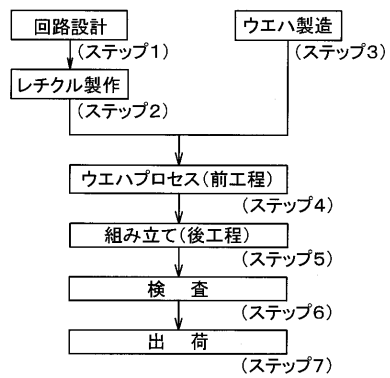
50

1 6	照明光学系	
2 0	レチクル	
2 5	レチクルステージ	
3 0	投影光学系	
4 0	被処理体	
4 5	ウェハステージ	
5 0	アライメント光学系	
6 0	主制御部	
7 0	投影制御部	
1 0 0	測定装置	10
1 0 0 A	レチクル側測定部	
1 1 0 及び 1 1 0 '	第 1 のマスク	
1 1 2 及び 1 1 2 '	マーク	
1 1 2 a	スリット	
1 1 2 ' a	ピンホール	
1 1 2 b 及び 1 1 2 ' b	窓	
1 1 4 及び 1 1 4 '	マーク	
1 1 4 a	スリット	
1 1 4 b	窓	
1 1 6 及び 1 1 8	マーク	20
1 0 0 B	ウェハ側測定部	
1 2 0 及び 1 2 0 '	第 2 のマスク	
1 2 1 及び 1 2 1 '	マーク	
1 2 1 a	スリット	
1 2 1 ' a	ピンホール	
1 2 1 b 及び 1 2 1 ' b	窓	
1 2 2	マーク	
1 2 2 a	スリット	
1 2 2 b	窓	
1 2 3 乃至 1 2 8	マーク	30
1 2 2 ' 乃至 1 2 4 '	マーク	

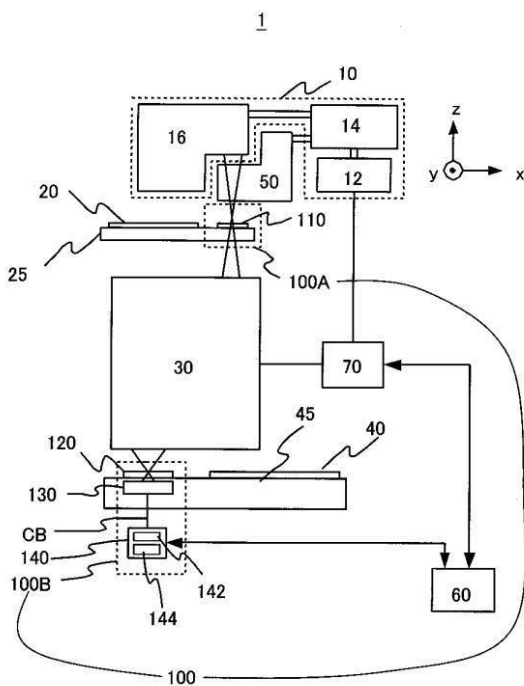
【 図 4 】



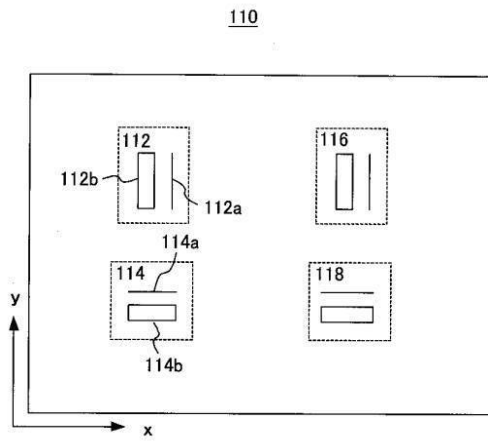
【 図 1 2 】



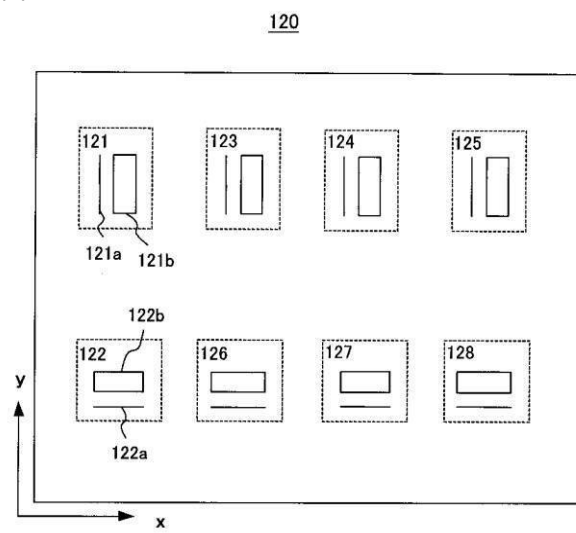
【 図 1 】



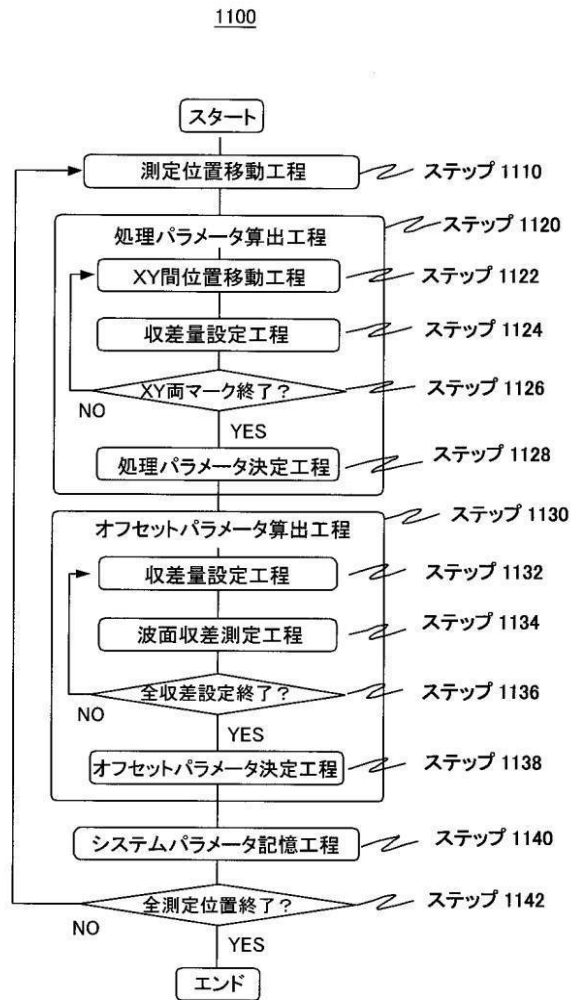
【 図 2 】



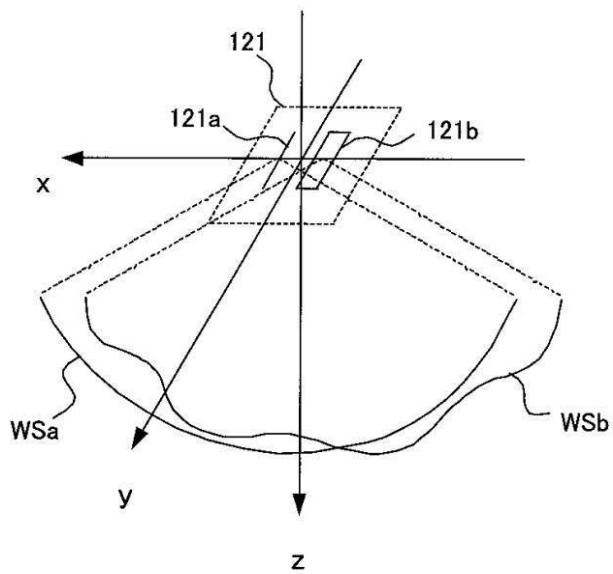
【 図 3 】



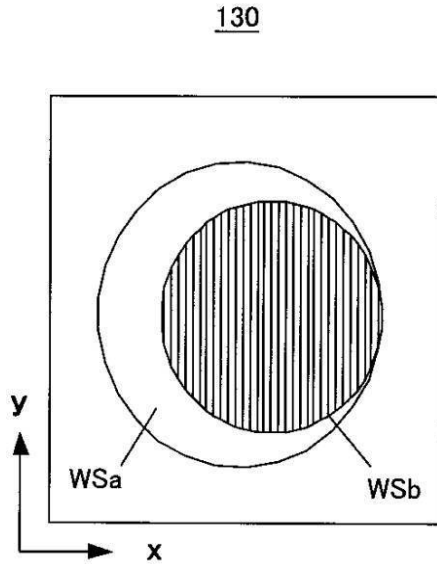
【図 5】



【図 6】

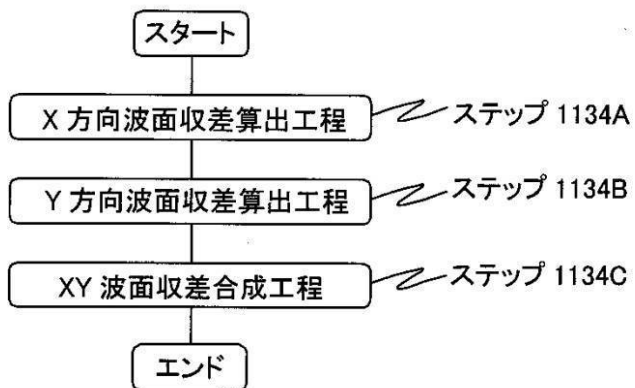


【 図 7 】

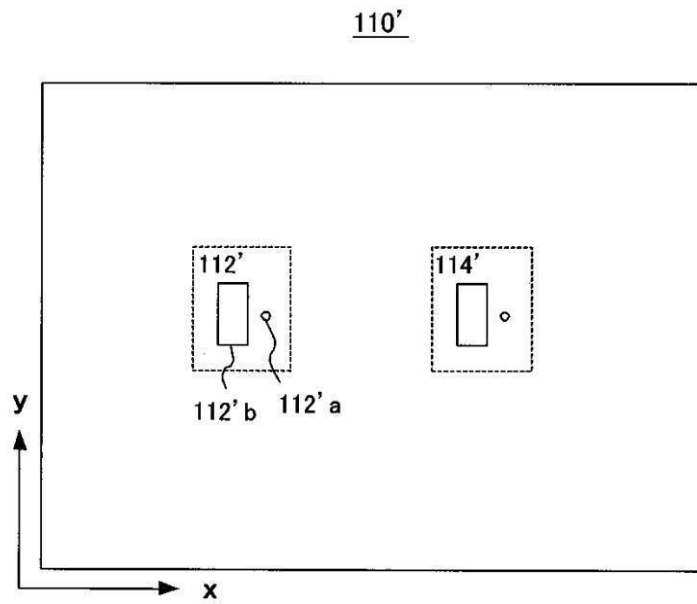


【 図 8 】

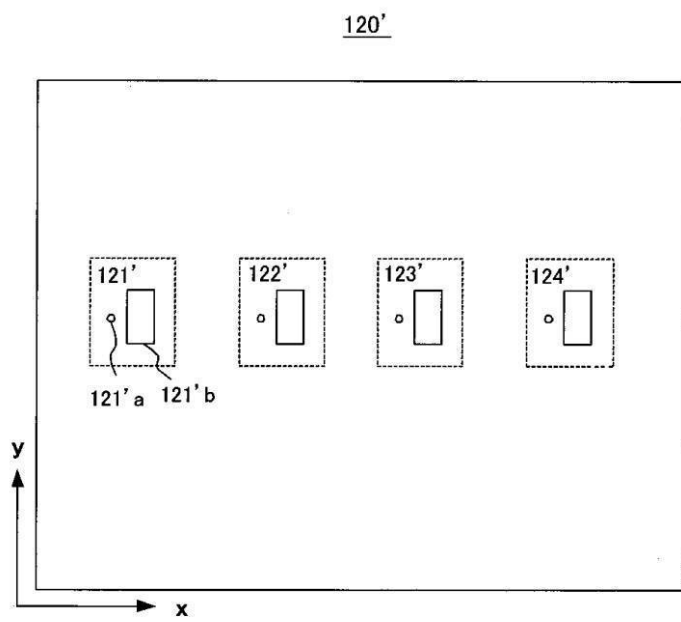
1134 (1300)



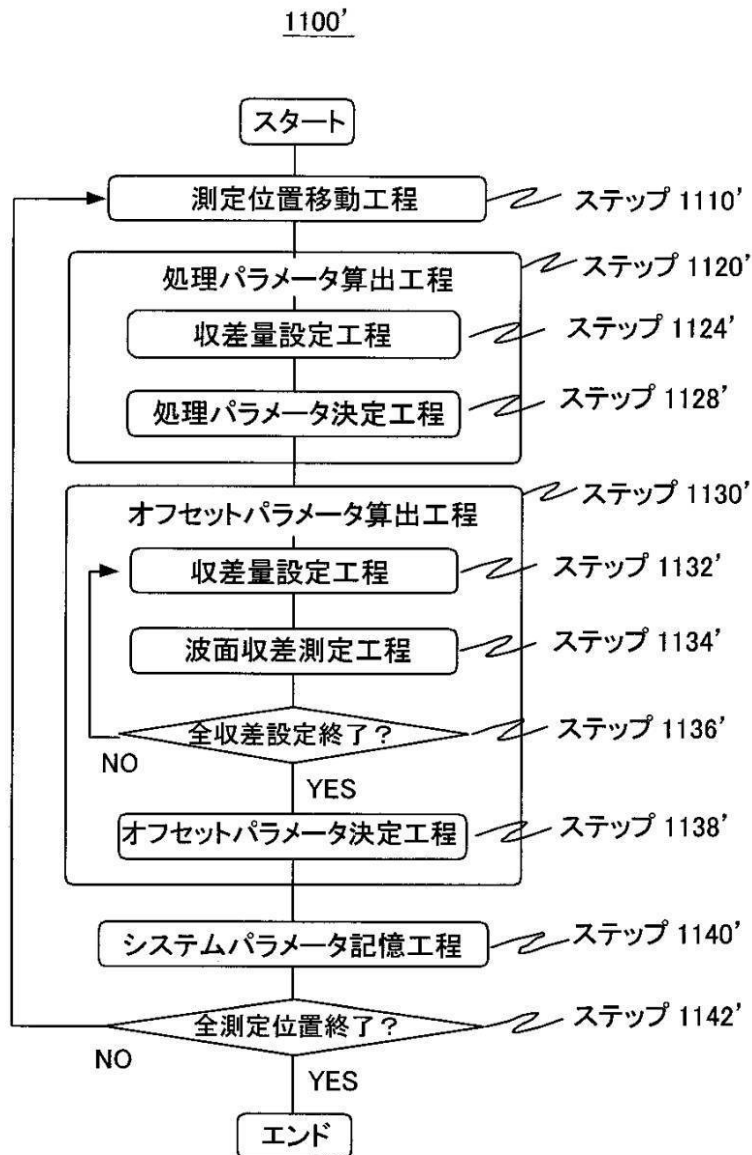
【 図 9 】



【 図 10 】



【図 11】



【 図 1 3 】

