

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6945316号
(P6945316)

(45) 発行日 令和3年10月6日 (2021. 10. 6)

(24) 登録日 令和3年9月16日 (2021. 9. 16)

(51) Int. Cl.

F I

G O 3 F 7/20 (2006. 01)

G O 3 F 7/20 5 O 1

G O 1 B 11/00 (2006. 01)

G O 3 F 7/20 5 2 1

G O 3 F 9/00 (2006. 01)

G O 1 B 11/00 H

G O 3 F 9/00 H

請求項の数 20 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2017-59923 (P2017-59923)
 (22) 出願日 平成29年3月24日 (2017. 3. 24)
 (65) 公開番号 特開2018-163247 (P2018-163247A)
 (43) 公開日 平成30年10月18日 (2018. 10. 18)
 審査請求日 令和2年3月23日 (2020. 3. 23)

(73) 特許権者 000001007
 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 110003281
 特許業務法人大塚国際特許事務所
 (72) 発明者 藤嶋 浩史
 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 富士 健太

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 検出装置、パターン形成装置、取得方法、検出方法、および物品製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板に形成されているマークを検出する検出装置であって、
 前記基板を保持する基板保持部と、
 前記基板保持部の内部に収容された光学系と、
 前記光学系を介して前記基板の裏面側から前記マークを撮像する撮像素子と、
 前記撮像素子によって撮像された前記マークの像に基づいて前記マークの検出処理を行
 う処理部と、
 を有し、

前記処理部は、前記マークの前記基板における高さ方向の位置と、前記光学系のテレセ
 ントリシティに関する情報とに基づいて、前記マークの検出値を補正し、

前記処理部は、前記位置が第1位置であるときに検出された前記マークの検出値と、前
 記位置が前記第1位置とは異なる第2位置であるときに検出された前記マークの検出値と
 に基づいて、前記テレセントリシティに関する情報を取得する、

ことを特徴とする検出装置。

【請求項 2】

前記テレセントリシティは、前記光学系の各像高における主光線の傾きに関する情報を
 含むことを特徴とする請求項 1 に記載の検出装置。

【請求項 3】

前記処理部は、前記マークの位置の座標の値を変数とする補正関数を用いて前記検出値

10

20

を補正することを特徴とする請求項 1 に記載の検出装置。

【請求項 4】

前記補正関数は、前記マークの前記高さ方向の位置に依存した係数を含むことを特徴とする請求項 3 に記載の検出装置。

【請求項 5】

前記処理部は、キャリブレーションモードにおいて、

前記撮像素子により前記光学系を介さずに調整用基板の表面側から該調整用基板の第 1 マークを撮像して該第 1 マークの位置の第 1 検出値を取得し、

前記撮像素子により前記光学系を介して前記調整用基板の裏面側から前記第 1 マークを撮像して該第 1 マークの位置の第 2 検出値を取得することを、

前記基板保持部によって保持された前記調整用基板の前記第 1 マークが第 1 高さ位置にある状態と、該第 1 高さ位置とは異なる第 2 高さ位置にある状態のそれぞれで行うことにより、前記テレセントリシティに関する情報を取得する

ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の検出装置。

【請求項 6】

前記第 1 マークの前記第 1 高さ位置と前記第 2 高さ位置との変更は、前記調整用基板の表裏を反転することにより行われることを特徴とする請求項 5 に記載の検出装置。

【請求項 7】

前記処理部は、前記基板保持部の推定変形量に更に基づいて前記検出値を補正することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の検出装置。

【請求項 8】

前記処理部は、前記基板保持部の熱膨張 / 収縮に関する熱膨張率に基づいて前記推定変形量を推定することを特徴とする請求項 7 に記載の検出装置。

【請求項 9】

前記マークの前記高さ方向の位置を計測する計測部を更に有することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の検出装置。

【請求項 10】

前記処理部は、前記推定変形量に基づき前記マークの検出値を補正することを特徴とする請求項 8 に記載の検出装置。

【請求項 11】

前記マークの前記基板における高さ方向の位置は、前記基板保持部の基板保持面と前記マークとの間の距離によって特定されることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の検出装置。

【請求項 12】

前記処理部は、前記距離が第 1 距離の時の前記マークの検出値と、前記距離が前記第 1 距離とは異なる第 2 距離の時の前記マークの検出値とに基づいて、前記光学系のテレセントリシティに関する情報を取得することを特徴とする請求項 11 に記載の検出装置。

【請求項 13】

基板に形成されているマークを検出する検出装置であって、

前記基板を保持する基板保持部と、

前記基板保持部の内部に収容された第 1 光学素子であって該第 1 光学素子を照明する光の光路を変える第 1 光学素子と、前記基板保持部の内部に収容された第 2 光学素子であって該第 2 光学素子を照明する光の光路を変える第 2 光学素子とを含む光学系と、

前記光学系を介して前記基板の裏面側から前記マークを撮像する撮像素子と、

前記撮像素子によって撮像された前記マークの像に基づいて前記マークの検出処理を行う処理部と、

を有し、

前記処理部は、前記マークの前記基板における高さ方向の位置と、前記第 1 光学素子と前記第 2 光学素子とを含む前記光学系のテレセントリシティに関する情報とに基づいて、前記マークの検出値を補正し、

10

20

30

40

50

前記処理部は、前記位置が第 1 位置であるときに検出された前記マークの検出値と、前記位置が前記第 1 位置とは異なる第 2 位置であるときに検出された前記マークの検出値とに基づいて、前記テレセントリシティに関する情報を取得する、

ことを特徴とする検出装置。

【請求項 14】

前記テレセントリシティに関する情報は、前記基板保持部における前記第 1 光学素子と前記第 2 光学素子との間の光路を通過する光の主光線の傾きに関する情報を含むことを特徴とする請求項 13 に記載の検出装置。

【請求項 15】

前記撮像素子と前記基板保持部との間の距離を調整することにより、前記撮像素子の前記マークに対する合焦動作を行うことを特徴とする請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の検出装置。

【請求項 16】

基板に形成されているマークを検出する検出装置であって、
前記基板を保持する基板保持部と、
前記基板保持部の内部に収容された光学系と、
前記光学系を介して前記基板の裏面側から前記マークを撮像する撮像素子と、
前記撮像素子によって撮像された前記マークの像に基づいて前記マークの検出処理を行う処理部と、

を有し、

前記処理部は、前記マークの前記基板における高さ方向の位置と、前記光学系のテレセントリシティに関する情報とに基づいて、前記マークの検出値を補正し、

前記処理部は、前記マークの位置の座標の値を変数とする補正関数を用いて前記検出値を補正する、

ことを特徴とする検出装置。

【請求項 17】

請求項 1 乃至 16 のいずれか 1 項に記載の検出装置を含み、基板にパターンを形成するパターン形成装置。

【請求項 18】

基板を保持する基板保持部の内部に収容された光学系の特性情報を取得するための取得方法であって、

撮像素子により、前記光学系を介さずに前記基板保持部によって保持された調整用基板の表面側から該調整用基板の第 1 マークを撮像して該第 1 マークの位置の第 1 検出値を取得し、

前記撮像素子により、前記光学系を介して前記調整用基板の裏面側から前記第 1 マークを撮像して該第 1 マークの位置の第 2 検出値を取得することを、

前記基板保持部によって保持された前記調整用基板の前記第 1 マークが第 1 高さ位置にある状態と、該第 1 高さ位置とは異なる第 2 高さ位置にある状態のそれぞれで行うことにより、前記光学系のテレセントリシティに関する情報を取得する

ことを特徴とする取得方法。

【請求項 19】

基板に形成されているマークを検出する検出方法であって、

前記基板を保持する基板保持部の内部に収容された光学系を用いて、前記基板の裏面側から前記マークを検出する工程と、

請求項 17 に記載の取得方法により、前記光学系のテレセントリシティに関する情報を取得する工程と、

前記マークの前記基板における高さ方向の位置と、取得した前記光学系のテレセントリシティに関する情報とに基づいて、前記マークの検出値を補正する工程と、
を有することを特徴とする検出方法。

【請求項 20】

請求項 1 7 に記載のパターン形成装置を用いて基板にパターンを形成する工程と、
前記パターンが形成された基板を加工する工程と、
を有し、

前記加工された基板から物品を製造することを特徴とする物品製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、検出装置、パターン形成装置、取得方法、検出方法、および物品製造方法に関する。

【背景技術】

10

【0002】

リソグラフィ装置（パターン形成装置）の一例である露光装置においては、初期露光時に基板上に転写したアライメントマークを顕微鏡で観察し、その位置情報を用いて位置決めを行い、重ね合わせ露光をすることが一般的である。重ね合わせ露光の合間には、化学機械的研磨（CMP）や熱アニールといった種々の中間プロセスが介在しており、それが原因で基板上のマークを健全な状態に維持できない場合がありうる。

【0003】

その対策として、基板の材質がシリコンであれば、基板の裏側にマークを設け、シリコンを透過する赤外波長の光を用いて基板の表側から基板の裏側にあるマークを観察することによりアライメントを行うことが考えられる。

20

【0004】

しかし、デバイスによってはマークの上部に金属などからなる不透明層が形成され、それによって覆い隠されたマークを用いて位置合わせを行うプロセスが生ずることもありうる。このような場合には、基板を透過する波長を顕微鏡に用いてもマークを観察することはできない。

【0005】

このような場合に対応可能なアライメントシステムを備えた露光装置が特許文献 1 に開示されている。特許文献 1 における基板保持部には、基板の裏面に設けられているマークの像を基板外に引き出すためのリレー光学系が埋設されており、顕微鏡はこのリレー光学系によって形成されるマークの中間像を観察することによりアライメントを行うことができる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特許第 3 6 3 7 0 2 4 号公報（図 2）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかし、顕微鏡とマークとの間にリレー光学系が介在する場合には、リレー光学系が持つ収差がアライメント精度に多大な影響を与えという問題が発生する。リレー光学系は基板保持部に埋設されるものであるため微小なものにならざるを得ず、かつ、埋設後の調整は容易ではない。したがって、高精度なアライメントシステムの実現のためにはリレー光学系の収差による誤差の補正が必須となる。

40

【0008】

通常、アライメントシステムにおいては収差の中でも歪曲収差（ディストーション）の補正が重要とされる。一方で、多様なデバイス製造プロセスへの対応を目的とする露光装置においては、リレー光学系の各像高における主光線の傾きに対する補正の方が第一義的な重要性を持っている。端的には、各像高における主光線の傾きに対する補正がなされていない場合、歪曲収差の補正も困難となる。

【0009】

50

光学系の光軸に対して瞳中心を通る主光線が平行であることを「光学系がテレセントリックである」といい、物体がデフォーカスしてもその像がボケるだけで横ずれしないことを保証する概念であることは広く知られている。顕微鏡やリレー光学系は可能な限りテレセントリックであるように設計されるが、製造上の誤差などから各像高における主光線の傾きの発生を防止することはきわめて難しい。

【0010】

デバイス製造プロセスによっては、基板の裏面に設けられたマークが常に基板保持部との境界面付近の一定の高さに位置するとは限らない。例えば、基板の裏面に設けられたマークを挟んでさらなるプロセスによる1または2以上のレイヤが積層され、基板保持部の基板保持面とマークとの間の距離（マークの高さ位置）が変化しうる。

10

【0011】

このような状況でリレー光学系に各像高における主光線の傾きが残存しているとマークの高さ位置に応じてリレー光学系の出口で観察するマーク像の像高が変化することになる。目的とする物体の像が光学系視野内のどの像高に位置しているかを把握することによって、歪曲収差の影響を演算によって除去することはよく行われる。しかし、各像高における主光線の傾きの影響を補正する手段が講じられていない場合、マークのデフォーカス量に依存してマークの像高自体が変化してしまうため、このような歪曲収差の補正自体が不十分となる。

【0012】

なお、基板保持部によって保持されている基板のマークがリレー光学系のちょうど視野中心に位置することは一般的には期待できない。しかも、リレー光学系が基板保持部の内部にいったん埋設されてしまえば、リレー光学系を動かすことは困難となる。そのため、マークを歪曲収差の少ないリレー光学系の視野中心に追い込むことは困難である。

20

【0013】

本発明は、基板保持部に収容された光学系を用いた位置合わせの高精度化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】

【0014】

本発明の一側面によれば、基板に形成されているマークを検出する検出装置であって、前記基板を保持する基板保持部と、前記基板保持部の内部に収容された光学系と、前記光学系を介して前記基板の裏面側から前記マークを撮像する撮像素子と、前記撮像素子によって撮像された前記マークの像に基づいて前記マークの検出処理を行う処理部とを有し、前記処理部は、前記マークの前記基板における高さ方向の位置と、前記光学系のテレセントリシティに関する情報とに基づいて、前記マークの検出値を補正し、前記処理部は、前記位置が第1位置であるときに検出された前記マークの検出値と、前記位置が前記第1位置とは異なる第2位置であるときに検出された前記マークの検出値とに基づいて、前記テレセントリシティに関する情報を取得する、ことを特徴とする検出装置が提供される。

30

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、基板保持部に収容された光学系を用いた位置合わせの高精度化に有利な技術が提供される。

40

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】実施形態における検出装置が適用される露光装置の構成を示す図。

【図2】実施形態における検出装置の要部構成図。

【図3】調整用基板の模式図。

【図4】リレー光学系の像側視野座標と物側視野座標との関係を得るための調整処理を説明する図。

【図5】リレー光学系の像側視野座標と物側視野座標との関係を得るための調整処理のフローチャート。

50

【図 6】基板保持部の膨張 / 収縮に関する情報を加味した補正処理を説明する図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 7 】

以下、図面を参照して本発明の実施形態について詳細に説明する。なお、以下の実施形態は本発明の実施の具体例を示すにすぎないものであり、本発明は以下の実施形態に限定されるものではない。また、以下の実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせの全てが本発明の課題解決のために必須のものであるとは限らない。

【 0 0 1 8 】

本発明に係る検出装置は、基板に形成されているマークを検出する検出装置であり、例えば露光装置やインプリント装置等のリソグラフィ装置（パターン形成装置）における基板の位置合わせ用途に適用されうる。またこの検出装置は、加工装置、検査装置、顕微鏡等の他の装置にも適用可能である。以下では、本発明に係る検出装置が露光装置に適用される例を示す。

【 0 0 1 9 】

< 第 1 実施形態 >

図 1 は、本発明の検出装置が適用されるリソグラフィ装置の一例である露光装置 1 の構成を示す図である。露光装置 1 において、原版保持部 2 は、原版 3（マスク、レチクル）を保持する。原版保持部 2 によって保持された原版 3 は、照明光学系 4 によって光源 5 からの光を照射される。投影光学系 6 は、原版 3 を透過した光を基板 102（ウエハ）に投影する。基板 102 は、真空吸着など、基板保持部 101（チャック）によって保持されている。基板保持部 101 は、移動可能に構成された基板ステージ 7 によって支持される。基板保持部 101 は、基板ステージ 7 に着脱可能に設けられるが、基板ステージ 7 と一体に形成されていてもよい。基板ステージ 7 は例えば X, Y, Z, X, Y, Z の 6 軸駆動機構を有し、制御部 8 からの指示値に基づいて駆動する。基板ステージ 7 の現在位置はレーザヘッド 10, 11 から基板ステージ上のミラー 12 へ照射した光の反射光をレーザ測長器 13 で計測し姿勢量に変換することにより求められる。制御部 8 は、基板ステージ 7 の現在位置をレーザ測長器 13 から取得し、新たな駆動指示値を生成してフィードバックをかけることで基板ステージ 7 の姿勢を維持する。

【 0 0 2 0 】

撮像光学系 110 は、アライメント計測部として機能し、原版 3 と基板 102 との相対的な位置ずれを計測する。撮像光学系 110 は、複数のショット領域の各々について、所定位置の座標を計測することができる。

【 0 0 2 1 】

制御部 8 は、露光装置 1 の各部を統括的に制御する。制御部 8 は、例えば CPU 81、制御プログラムや固定的なデータを保持する ROM 82、CPU 81 のワークエリア及び一時的なデータを保持する RAM 83 を含む。したがって制御部 8 は、専用あるいは汎用のコンピュータ装置によって構成されうる。本実施形態における制御部 8 は、例えば、RAM 83 に記憶されている露光に係る制御情報（例えば、ショットレイアウト情報、投影倍率、走査方向等）に従い露光処理を実行する。また、制御部 8 は、後述する撮像光学系 110 で得られたマークの像に基づいてマークの検出処理を行う処理部としても機能する。

【 0 0 2 2 】

本実施形態における露光装置 1 は、例えば原版と基板とを相対的に駆動させながら露光する走査型露光装置でありうる。半導体デバイスの製造においては一般に、基板の上に、パターンを形成する複数の層がアライメントしながら重ね合わされる。例えば、第 1 露光によって基板にパターンを形成された第 1 層の上に、第 2 露光によってパターンを形成された第 2 層を重ね合わせるよう露光工程が実施される。

【 0 0 2 3 】

図 2 は、上記した露光装置 1 における検出装置の要部構成図である。本実施形態における検出装置は、基板保持部 101 の内部に収容されたりレー光学系 100（結像光学系）

10

20

30

40

50

と、撮像光学系 110 を含みうる。基板 102 には、位置合わせ用のマーク 103 が形成されている。マーク 103 は、図 2 の右側に例示されているように、基板 102 の上面に位置する場合もあるし、図 2 の左側に例示されているように基板 102 の下面に位置する場合もある。そればかりか、マーク 103 は、実際のデバイス製造工程において、基板 102 の上面と下面の間のあらゆる高さに位置しうる。

【0024】

本実施形態において使用される光の波長は基板 102 を透過できるような帯域にあることが仮定されている。例えば、シリコン基板やガラス基板を透過しかつ通常のガラス素材で光学系を構成できるという制約から、800nm 以上 1400nm 以下に属する近赤外光が想定されうる。基板 102 に形成されているマーク 103 からの反射回折光は、レンズ 104 を介して折り曲げミラー 105 に達し 90 度光路を曲げられて折り曲げミラー 106 に至る。ここで折り曲げミラー 105 と折り曲げミラー 106 という呼称は単に便宜的なものに過ぎず、実際には各種プリズムなど光路を 90 度変更する目的に適うものであればよい。折り曲げミラー 106 を通過後、マーク 103 からの反射回折光はレンズ 107 で結像されて基板 102 の外に引き出された位置に空中像（中間像）を形成する。レンズ 104 から折り曲げミラー 105 と折り曲げミラー 106 を経てレンズ 107 へ至るまでの光学系がリレー光学系 100 を構成する。なお、このリレー光学系 100 の光学的な構成は例示的なものに過ぎず、これとは別の光学素子や、これとは数の異なる光学素子を含んでいてもよい。

【0025】

撮像光学系 110 は、リレー光学系 100 を介して基板の裏面側からマーク 103 に光を照射し、マーク 103 で反射されリレー光学系 100 を通過した光によりマーク 103 の像を撮像素子で構成されるセンサ 109 の受光面に形成する。リレー光学系 100 により形成されたマーク 103 の空中像は、撮像光学系 110 において、レンズ 108 によりセンサ 109 に導かれる。レンズ 108 とセンサ 109 が撮像光学系 110 を構成するが、この構成は例示的なものであって、レンズ 108 は複数の光学素子を一枚のレンズで代表させているに過ぎず、撮像光学系 110 は撮像装置として機能し、更に言えば実質的に顕微鏡の機能をもつ。したがって、基板 102 を透過する光も撮像光学系 110 から基板 102 に供給される。なお、撮像素子を基板保持部 101 の内部に収容し、結像光学系を介してマークからの光を撮像素子面上に結像させてもよい。

【0026】

図 2 では、それぞれ 2 つのリレー光学系 100 と撮像光学系 110 が示されている。ただし、撮像光学系 110 は少なくとも 1 つあればよい。基板 102 のローテーション補正のためにリレー光学系 100 は 2 つあることが望ましく、その理想倍率は 1 であるとしておく。

【0027】

図 2 の右側と左側を比較すると、マーク 103 の基板における高さ方向の位置 z （以下、単に「高さ位置」ともいう。）に応じてその空中像が形成される高さが異なる様子が見える。しかし、撮像光学系 110 でピントが合う面は x 軸に平行に描かれた点線 A に固定されているので、基板ステージ 7 を z 方向に移動することによってマーク 103 の空中像にピントを合わせることになる。

【0028】

図 2 において、一点鎖線で示されるリレー光学系 100 の主光線 B は、リレー光学系 100 の設計上の光軸と平行になるように描かれた図中の x 軸と z 軸のいずれにも平行ではない。このような各像高における主光線の傾きが残存している場合、各像高における主光線の傾きがない場合と比較して、センサ 109 上に結像する高さ位置 z にあるマーク 103 の像は、高さ位置 z に比例して x 軸方向に横ずれすることになるであろう。

【0029】

実際のデバイス製造プロセスにおいては、プロセスの進行とともに基板 102 に多様なレイヤが付加され、マーク 103 の基板における高さ位置 z が変化していく。そのため、

10

20

30

40

50

マーク 103 の高さ位置 z が常に撮像光学系 110 のピント面と共役な高さ位置にあると仮定し、マーク 103 のリレー光学系 100 の視野内における像高情報だけからディストーションの補正を行う従来の補正方法では不十分である。

【0030】

これに対し本実施形態では、露光装置 1 はリレー光学系 100 の各像高における主光線の傾き（テレセントリシティ）に関する情報をその収差に関する情報と合わせて取得する。このため、従来よりもはるかに正確で、しかも多様なプロセスに対応可能なアライメントシステムを提供できる。

【0031】

以下、具体的なリレー光学系の収差に関する情報および各像高における主光線の傾きに関する情報を取得する方法を説明する。もっとも、下記の取得方法を一例であり、他の取得方法が種々考えられる。

10

【0032】

リレー光学系 100 の物側視野において、高さ位置 $z = 0$ にあるマーク 103 の座標を (x, y) とし、リレー光学系 100 を通した結果、リレー光学系 100 の像側視野におけるマーク 103 の座標を (x', y') とする。本実施形態で実現したいことは、リレー光学系 100 を通じて観察されるマーク 103 の座標 (x', y') から、基板保持部 101 上の基板 102 のマーク 103 の座標 (x, y) を推定することである。

【0033】

リレー光学系 100 の物側視野座標 (x, y) と像側視野座標 (x', y') との間には次式で表されるような一対一の対応があることが期待される。

20

【0034】

$$\begin{aligned} x' &= f(x, y), \\ y' &= g(x, y) \end{aligned} \quad (\text{式 1})$$

【0035】

式 1 において、関数 f, g によって規定される対応は一対一であるから、物側視野座標 (x, y) は、次式のように、新たな関数 f' と g' を用いて表される。

【0036】

$$\begin{aligned} x &= f'(x', y'), \\ y &= g'(x', y') \end{aligned} \quad (\text{式 2})$$

30

【0037】

式 2 の関数 f', g' を、次式のように、座標 x' と y' との多項式に展開する。

【0038】

$$\begin{aligned} x &= f'(x', y') = x' + c_{x_mn}(x')^m(y')^n, \\ y &= g'(x', y') = y' + c_{y_mn}(x')^m(y')^n \end{aligned} \quad (\text{式 3})$$

【0039】

上記の展開は、像側視野座標 (x', y') が大きいところほど歪曲の影響が大きくなることに鑑みれば自然なものと言え、和記号 (\sum) は、 $m = 0$ から m_{\max} まで、 $n = 0$ から n_{\max} までをとる。理論上は m_{\max} や n_{\max} の値は任意の自然数であるが、3 ~ 4 程度が現実的であろう。

40

【0040】

式 3 は、展開係数 c_{x_mn} および c_{y_mn} の値が全て知れたならば、リレー光学系 100 の像側で観察された座標 (x', y') をもとに実物の基板 102 が位置するリレー光学系 100 の物側視野座標 (x, y) を復元できることを示している。

【0041】

これらの展開係数 c_{x_mn} および c_{y_mn} は、例えば $m_{\max} = n_{\max} = 3$ とした場合、計 16 個存在する。従って、独立な 16 個の方程式があれば、これらを全て決定できることになる。

【0042】

図 5 に、制御部 8 によって実行される、リレー光学系 100 の像側視野座標 (x', y)

50

’) と物側視野座標 (x, y) との関係を得るための調整処理のフローチャートを示す。上記の方程式の組を構成するために、図 3 で示されるような、片側表面にマーク 103 が正方格子状に配置されている箇所を少なくとも部分的にもつ、厚さ h の調整用基板 200 に対して以下で説明するような 2 段階の計測を行う。もちろん実際に露光対象となる基板 102 が調整用基板 200 の役割を果たしうるときは両者の区別はなくてもよい。なお、複数のマーク 103 は調整用基板 200 のどちらの表面にあってもかまわないが、ここでは調整用基板 200 の上表面にあるものとし、それと反対側の面が基板保持部 101 に接するように置かれている状況を考える。

【0043】

(段階 1)

制御部 8 は、調整用基板 200 からマーク 103 (第 1 マーク) を 1 つ選び、それを図 4 において破線で示される位置にある撮像光学系 110 の視野中心に直接捉え、そのときのステージ座標でリレー光学系 100 の物側視野原点 (0 , 0) を定義する。段階 1 の計測においては、リレー光学系 100 を介さずに調整用基板 200 の表面側からマークを撮像する。複数存在するマーク 103 を自然数 i でラベルすることになると、リレー光学系 100 の物側視野座標 (x_i, y_i) (第 1 検出値) は、 i 番目のマーク 103 を同様に撮像光学系 110 の視野中心に追い込んだときの相対ステージ座標として取得できる ($S1$)。このようなステージ相対座標の読み値からリレー光学系の視野における被検物の位置に関する情報が構成される。なお、撮像光学系 110 の視野中心を使用しているため、撮像光学系 110 に関してのディストーションの影響は無視できる。

【0044】

次に、制御部 8 は、調整用基板 200 からマーク 103 を 1 つ選び、そのリレー光学系 100 を経由してできる空中像を図 4 における実線で示される位置にある撮像光学系 110 で捉える ($S2$)。段階 1 では点線で示される位置にあった撮像光学系 110 はリレー光学系 100 の設計値上の理想像点に向けて水平方向に L だけ移動されて、実線で示される位置にあるものとする。この際、制御部 8 は、基板ステージ 7 を z 方向に駆動して、撮像光学系 110 をマーク 103 の空中像に合焦させる (すなわちピントを調整する) ($S3$)。また、リレー光学系 100 に像の反転が起こるプリズムなどが含まれている場合は、理想像点への移動にはこういった反転も含めるものとする。

【0045】

(段階 2)

リレー光学系 100 が理想的なものであれば、理想像点への移動を行った先で撮像光学系 110 の視野中心に選択したマーク 103 の像が捉えられるはずである。しかし実際には、リレー光学系 100 がもつ収差の影響を受けて視野中心からずれた場所に像が見出される。視野中心に像を捉えるためには、そこからさらに (dx, dy) だけステージ移動が必要となり、この追加ステージ移動量 (dx, dy) でもって、リレー光学系 100 の像側視野座標 (x', y') が、 $x' = x - dx$ 、 $y' = y - dy$ のように定義される。上述の操作を i 番目の全てのマーク 103 に対して行えば、リレー光学系 100 の像側視野座標の組 (x'_i, y'_i) (第 2 検出値) が得られる ($S4$)。

【0046】

ここで、上記した式 3 に立ち戻ると、次式のような連立一次方程式の組が得られる。

【0047】

$$\begin{aligned} x_i &= f' (x'_i, y'_i) = x'_i + c_{x_mn} (x'_i)^m (y'_i)^n, \\ y_i &= g' (x'_i, y'_i) = y'_i + c_{y_mn} (x'_i)^m (y'_i)^n \end{aligned}$$

(式 4)

【0048】

段階 1 と段階 2 の測定を通じて、式 4 に現れる x_i, y_i, x'_i, y'_i は全て既知のものとなっている。 i を一つ定めると x 方向分と y 方向分の合計 2 本の方程式が得られるから、独立な 16 個の方程式が必要な場合、最低 8 点のマーク 103 について段階 1 と段階 2 の測定を行えばよい。

【 0 0 4 9 】

もちろんこれより多くの点数について測定を行ってもよく、その場合は式 4 で定義される連立一次方程式の解の一意性は失われるが、最小二乗法などの適用により計測誤差に対する耐性を向上できることは広く知られている。

【 0 0 5 0 】

次に、リレー光学系 1 0 0 の各像高における主光線の傾きの影響の評価を行う。そのための方策の一つの例として、これまで使用してきた調整用基板 2 0 0 の表裏を反転させて基板保持部 1 0 1 に置く (S 6)。そうすると、調整用基板 2 0 0 の上表面 (第 1 高さ位置) に位置していた複数のマーク 1 0 3 は基板保持部 1 0 1 側の位置 (第 2 高さ位置) に来る。つまり、ここでは、調整用基板のマークの第 1 高さ位置と第 2 高さ位置との変更は、調整用基板の表裏を反転することにより行われる。この状態で、既述の段階 1 と段階 2 (S 1 ~ S 4) を同様に繰り返して、物側視野座標 (X_i, Y_i) と像側視野座標 (X'_i, Y'_i) を取得する (S 7)。そうすると、次式で表される展開係数 C_{x_mn} および C_{y_mn} に関する連立一次方程式の組も解けることになり、展開係数 C_{x_mn} および C_{y_mn} が得られる (S 8)。

【 0 0 5 1 】

$$\begin{aligned} X_i &= X'_i + C_{x_mn} (X'_i)^m (Y'_i)^n, \\ Y_i &= Y'_i + C_{y_mn} (X'_i)^m (Y'_i)^n \end{aligned} \quad (式 5)$$

【 0 0 5 2 】

これまで述べてきたことから、マーク 1 0 3 の高さ位置 z が調整用基板 2 0 0 の厚み h 分だけ隔たった 2 つの平面においてリレー光学系 1 0 0 による像ずれつまり歪曲収差の影響を評価できたことになる。調整用基板 2 0 0 の厚み h が実際のデバイス製造プロセスにおいて用いられる基板のそれと大きく異ならない限り、マーク 1 0 3 の高さ位置 z に依存した線形補間法を用いることは合理的であると考えられる。そのため、任意の高さ位置 z での平面における展開係数 z_{x_mn} および z_{y_mn} を次式で定義する。

【 0 0 5 3 】

$$\begin{aligned} z_{x_mn} &= C_{x_mn} - (z \cdot n_0 / h n) (C_{x_mn} - c_{x_mn}), \\ z_{y_mn} &= C_{y_mn} - (z \cdot n_0 / h n) (C_{y_mn} - c_{y_mn}) \end{aligned} \quad (式 6)$$

【 0 0 5 4 】

式 6 において、 n は実際に運用する基板 1 0 2 の屈折率であり、 n_0 は調整用基板 2 0 0 の屈折率である。制御部 8 は、式 6 により算出された展開係数 z_{x_mn} および z_{y_mn} を例えば R A M 8 3 に記憶する (S 9)。

【 0 0 5 5 】

展開係数 z_{x_mn} および z_{y_mn} は、式 6 から、高さ位置 z に依存した係数である。式 6 から、マーク 1 0 3 の高さ位置 z が 0、すなわち基板保持部 1 0 1 に接している場合、展開係数 z_{x_mn} および z_{y_mn} は展開係数 C_{x_mn} および C_{y_mn} に一致することがわかる。また、調整用基板 2 0 0 に関しては、マーク 1 0 3 の高さ位置 z が上限位置、すなわち基板の厚さ h に等しい値であるとき、展開係数 z_{x_mn} および z_{y_mn} は展開係数 c_{x_mn} および c_{y_mn} に当然一致する。

【 0 0 5 6 】

以上の処理から、次式で示される、検出されたマークの位置の検出値 (x'_i, y'_i) を変数とする補正関数が得られる。

【 0 0 5 7 】

$$\begin{aligned} x_i &= x'_i + z_{x_mn} (x'_i)^m (y'_i)^n, \\ y_i &= y'_i + z_{y_mn} (x'_i)^m (y'_i)^n \end{aligned} \quad (式 7)$$

【 0 0 5 8 】

式 7 において、物側視野座標 (x_i, y_i) と像側視野座標 (x'_i, y'_i) は、それぞれマーク 1 0 3 の高さ位置が z であるときのものとして再定義されている。

【 0 0 5 9 】

以上、リレー光学系の特性情報として収差およびテレセントリシティに関する情報を取得する取得方法について説明した。この処理は、適時に、例えば運用初期に、キャリブレーションモードにおいて実行されうる。

なお、リレー光学系の収差およびテレセントリシティに関する情報は、上記のようにして実測により取得してもよいし、リレー光学系および撮像光学系の設計値に基づくシミュレーションの結果に基づいて推定してもよい。

【0060】

実際の運用時（露光時）には、制御部8は、例えばショットごとに、マークの結像位置の撮像光学系110の視野中心からのずれ量を求める。そして制御部8は、上記処理によってRAM83に記憶された展開係数 z_{x_mn} および z_{y_mn} を読み出して、求めたずれ量と共に上記の式7に適用することで、ずれ量を補正することができる（第4実施形態参照）。

10

【0061】

以上により、任意のマーク103の高さ位置 z に対する補正後のマーク103の座標を算出することができ、リレー光学系100によるマーク103の像ずれ量を各像高における主光線の傾きの影響を含んだ形で、簡単かつ高精度に補正することができる。

【0062】

<第2実施形態>

次に、第2実施形態の露光装置について説明する。第1実施形態では基板保持部101が基板ステージ7上にセットされた後で、実測によってリレー光学系100の収差および各像高における主光線の傾きに関する情報を求めた。これをリレー光学系100に関する初期情報と呼ぶことにする。だが露光シーケンスを多数回実行すると、下記の事由により初期情報の経時的補正が必要となる。本実施形態ではそのことについて説明する。

20

【0063】

露光装置においては、光源5からのエネルギーが露光装置内の至るところに放散される。この影響は基板保持部101にも及ぶ。基板102を介して基板保持部101も露光光のエネルギーにより加熱膨張しうる。露光装置の露光が休止状態に入ると、基板保持部101は冷却し収縮する。したがって、露光装置の稼働時間が長くなり処理された基板の枚数が多くなる場合、初期情報に基板保持部101の膨張/収縮に関する情報を加味した補正を行う必要が生じる。

30

【0064】

与えられた露光レシピおよび露光モードに従う条件下において、基板保持部101の膨張/収縮による推定変形量は、以下のようにシミュレーションにより求めることができる。このシミュレーションは制御部8で行ってもよいし、外部の演算装置に行わせてもよい。

【0065】

まず、基板保持部101の膨張/収縮に関する特性を把握することから始める。露光装置において、図6に示されるように、基板保持部101は基板ステージ7上に置かれている。基板ステージ7の移動量を測定するための基準として、基板ステージ7の上には基準マーク502が設置されている。また、基板ステージ7と基板保持部101との相対位置を把握するため、基板保持部101の上には基準マーク503が複数配置されている。複数個配置する理由は、基板保持部101が基板ステージ7に対して中心がずれているのみならず、回転していることもあるので、それらの両方を把握したいからである。

40

【0066】

このような通常のセットアップを利用して、露光シーケンスを多数回実行する前後で基板ステージ7上の基準マーク502と基板保持部101上の基準マーク503との位置関係の変化を測定しておくことができる。基板保持部101の熱膨張/収縮に関する熱膨張率を取得しておけば、露光開始からの任意の時点における基板保持部101の熱膨張/収縮の量に関する予測シミュレーションを行うことは容易である。また、露光シーケンスが与えられているときに、露光開始を起点にしたある時刻における基板保持部101の熱膨

50

張／収縮の量をテーブルとして記憶しておいてもよい。さらに、露光装置内部に備えられた温度計を用いて、基板保持部 101 の変形量を推定してもよい。

【0067】

このシミュレーションによって i 番目のマーク 103 の位置における基板保持部 101 の変位量が $(x' i, y' i)$ とすると、式 7 は次式のように修正される。

【0068】

$$x i = x' i - x' i + z x_{mn} (x' i - x' i)^m (y' i - y' i)^n$$

$$y i = y' i - y' i + z y_{mn} (x' i - x' i)^m (y' i - y' i)^n$$

【0069】

制御部 8 は、基板保持部 101 の熱膨張／収縮の量に関する情報を例えば RAM 83 に格納しておく。そして制御部 8 は、実際にリレー光学系 100 を通じたアライメントマークの計測を実行する場合に、この情報を読み出して計測結果を補正した上で位置合わせを行ってもよい。

【0070】

なお、RAM 83 に記憶されたリレー光学系 100 に発生する各像高における主光線の傾きもしくは収差に関する情報が露光熱以外の要因で経時的に変化するような場合も想定しうる。その場合、定期的に第 1 実施形態で示したような実測を都度実施し、その結果得られたリレー光学系 100 に発生する各像高における主光線の傾きもしくは収差に関する情報で記憶装置に記憶された旧情報を置換することを行ってもよい。

【0071】

< 第 3 実施形態 >

次に、第 3 実施形態の露光装置について説明する。第 1 実施形態ではマーク 103 の基板のける高さ方向の位置 z が既知であるものとして説明を行った。しかし、上述したように、実際にデバイスの製造に使われるプロセスにおいては、マーク 103 の高さ方向の位置 z の不定性が大きく、事実上、高さ方向の位置 z が既知パラメタとして扱えないような場合も想定しうる。

【0072】

本実施形態ではそのような場合に適用可能な方法について説明する。まず基板 102 の厚み h (図 3 参照) はプロセスが進行するに伴ってさまざまに加工され変化していく。マーク 103 の高さ位置 z は $0 \leq z \leq h$ の範囲にあるので、まず厚み h を確定することを考える。

【0073】

通常露光装置においては、反射光を利用した高さセンサが搭載されていることが普通である。したがって、反射光計測によってステージ上の基準マーク 502 の高さとの差分 h_1 を計測しておくことができる。次に、加工が進んで厚みが変化した基板 102 を基板保持部 101 上に置き、同様にステージ上の基準マーク 502 の上面の高さとの差分 h_2 を計測する。これにより、 $h_0 - h_1 + h_2$ によって、加工が進んで厚みが変化した基板 102 の厚み h を算出できる。上記の操作においては、ステージ上の基準マーク 502 の高さの代わりに基板保持部 101 の基準マーク 503 の高さを計測してもよい。

【0074】

加工中の基板 102 の高さ h が確定したら、制御部 8 は、リレー光学系 100 の視野内にマーク 103 を捉え、 $0 \leq z \leq h$ の範囲で基板ステージ 7 を z 方向に変化させながらマーク 103 のコントラストが最良になる点を探す。これにより、正確なマーク 103 の基板における高さ方向の位置 z を知ることができる。

【0075】

このようにして得られた z の値を式 6 に代入し、その結果得られた展開係数を式 7 または式 8 に代入することにより、多様なプロセスに対応した裏面アライメントが可能になる。

図5のS9では、式6により算出された展開係数 z_{x_mn} および z_{y_mn} をRAM83に記憶するとした。しかし、本実施形態のように高さ位置 z を別途求める場合には、S9では、式5により算出された展開係数 z_{x_mn} および z_{y_mn} をRAM83に記憶すればよい。本実施形態に従い求めたマークの高さ位置 z と、RAM83に記憶された展開係数 z_{x_mn} および z_{y_mn} とを式6に当てはめることにより、高さ位置 z に依存した展開係数 z_{x_mn} および z_{y_mn} を算出することができる。

【0076】

<第4実施形態>

次に、本発明の一実施形態の露光方法について説明する。本露光方法を実行するには、第1実施形態に係る図4のフローチャートに従う処理または第2実施形態で述べた方法で、リレー光学系100の収差およびテレセントリシティに関する情報を予め取得しておく。それから実際に露光対象となる基板を露光装置に送り込み、基板を保持するための機構に置く。そして、撮像光学系110はリレー光学系100を経由して得られる基板に設けられたマーク103を撮像する。次に、制御部8は、RAM83から読み出されたリレー光学系100の収差およびテレセントリシティに関する情報に基づいて、観察されるマーク103の像ずれ量を式7に従い補正する。最後に、露光装置は補正後に得られたマーク103の位置に関する情報に基づいて位置合わせを実行し、露光を行う。

【0077】

<物品製造方法の実施形態>

本発明の実施形態における物品製造方法は、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。本実施形態の物品製造方法は、上記のリソグラフィ装置（露光装置やインプリント装置、描画装置など）を用いて基板に原版のパターンを転写する工程と、かかる工程でパターンが転写された基板を加工する工程とを含む。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。

【符号の説明】

【0078】

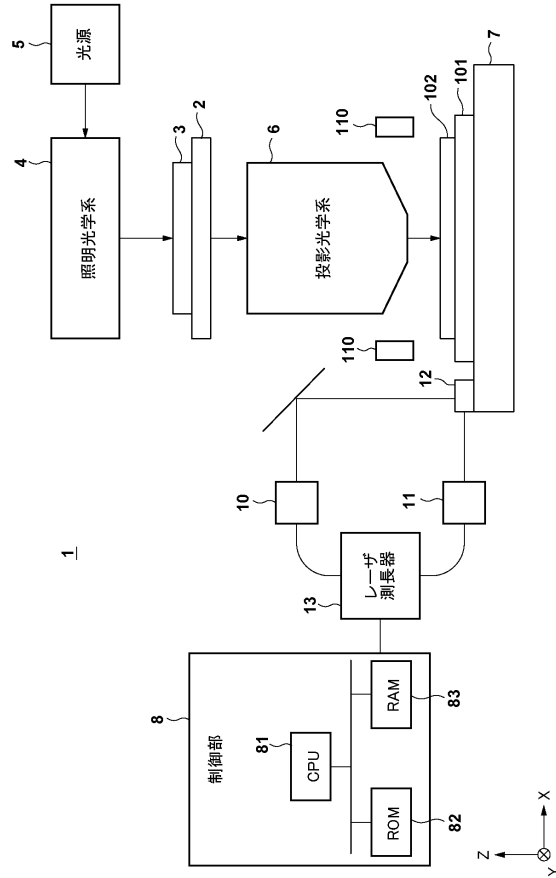
100：リレー光学系、101：基板保持部、102：基板、103：マーク、110：撮像光学系

10

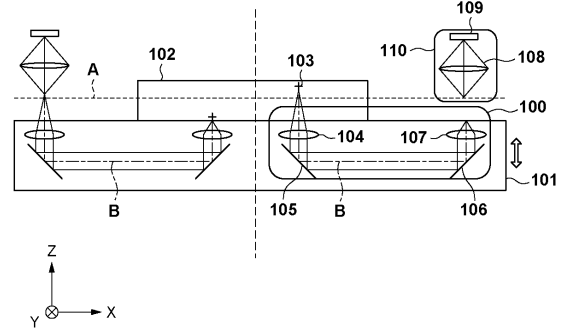
20

30

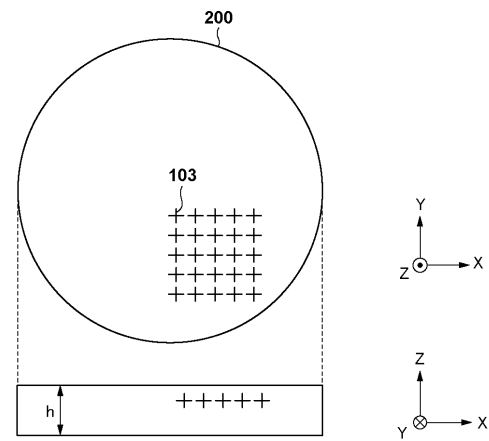
【図1】



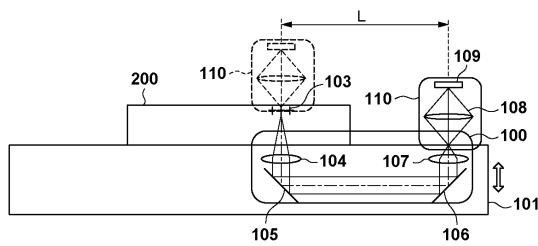
【図2】



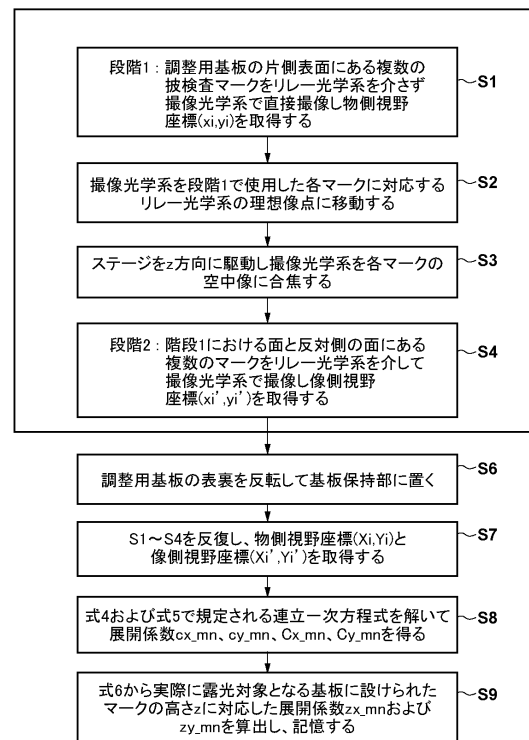
【図3】



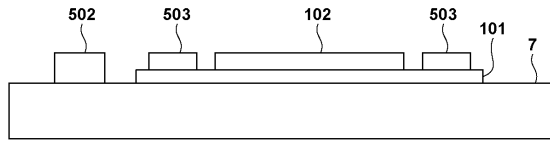
【図4】



【図5】



【図 6】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2007-013192(JP,A)
特開2012-084713(JP,A)
特開2003-059807(JP,A)
特開2010-034331(JP,A)
特開2002-280299(JP,A)
特開2004-343124(JP,A)
特開2003-297743(JP,A)
特開2006-041531(JP,A)
米国特許出願公開第2006/0085161(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03F 7/20 - 7/24
9/00 - 9/02
G01B 11/00 - 11/30