

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7320986号
(P7320986)

(45)発行日 令和5年8月4日(2023.8.4)

(24)登録日 令和5年7月27日(2023.7.27)

(51)国際特許分類

G 0 3 F 7/20 (2006.01)

F I

G 0 3 F

7/20

5 0 1

G 0 3 F

7/20

5 2 1

請求項の数 14 (全21頁)

(21)出願番号 特願2019-96252(P2019-96252)
 (22)出願日 令和1年5月22日(2019.5.22)
 (65)公開番号 特開2020-190654(P2020-190654)
 A)
 (43)公開日 令和2年11月26日(2020.11.26)
 審査請求日 令和4年5月11日(2022.5.11)

(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
 弁理士法人大塚国際特許事務所
 橋本 明人
 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
 赤松 昭郎
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 キヤノン株式会社内
 審査官 植木 隆和

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 露光装置及び物品の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

マスクのパターンを基板に転写する露光処理を行う露光装置であって、
 前記マスクのパターンを前記基板に投影する投影光学系と、
 前記投影光学系の物体面に配置され、前記投影光学系の光軸方向における位置が互いに
 異なる複数のパターン要素を含む計測パターンと、
 前記計測パターンからの光を前記投影光学系を介して検出する第1検出部と、
 前記露光処理を行う際に、前記光軸方向における前記マスクと前記基板との相対位置を
 制御する制御部と、を有し、

前記制御部は、第1タイミングで前記投影光学系の基準フォーカス位置に配置された前
 記第1検出部の検出結果から得られる前記複数のパターン要素のそれぞれを通過した光の
 光量を表す第1光量分布と、前記第1タイミングの後に前記露光処理を行った後の第2タ
 イミングで前記基準フォーカス位置に配置された前記第1検出部の検出結果から得られる
 前記複数のパターン要素のそれぞれを通過した光の光量を表す第2光量分布とに基づいて
 、前記相対位置を制御することを特徴とする露光装置。

【請求項2】

前記基準フォーカス位置は、前記第1タイミングにおける前記投影光学系のベストフォ
 ーカス位置を含むことを特徴とする請求項1に記載の露光装置。

【請求項3】

前記制御部は、前記第1光量分布と前記第2光量分布との差から前記第2タイミングに

おける前記投影光学系のベストフォーカス位置に前記基板を位置決めするために必要となる前記基板を保持するステージの前記光軸方向の移動量を求め、前記移動量で前記ステージを移動させることで前記相対位置を制御することを特徴とする請求項1又は2に記載の露光装置。

【請求項4】

前記計測パターンは、

前記複数のパターン要素が形成された平板で構成され、

前記複数のパターン要素のそれぞれの前記光軸方向における位置が互いに異なるよう¹⁰に、前記平板の法線が前記投影光学系の光軸に対して傾いて配置されていることを特徴とする請求項1乃至3のうちいずれか1項に記載の露光装置。

【請求項5】

前記投影光学系の物体面に配置される物体面側パターンと、

前記投影光学系の像面に配置される像面側パターンと、

前記物体面側パターンからの光を、前記投影光学系及び前記像面側パターンを介して検出する第2検出部と、

を更に有し、

前記制御部は、前記像面側パターンを前記光軸方向に移動させながら前記第2検出部で検出される光の光量の分布に基づいて前記基準フォーカス位置を決定することを特徴とする請求項1乃至4のうちいずれか1項に記載の露光装置。

【請求項6】

前記投影光学系の物体面に配置される物体面側パターンを更に有し、

前記第1検出部は、前記物体面側パターンからの光を前記投影光学系を介して検出し、

前記制御部は、前記第1検出部を前記光軸方向に移動させながら前記第1検出部で検出される光の光量の変化に基づいて前記基準フォーカス位置を決定することを特徴とする請求項1乃至4のうちいずれか1項に記載の露光装置。

【請求項7】

前記計測パターンを前記投影光学系の光軸に直交する軸周りに回転させる回転部を更に有し、

前記計測パターンは、前記複数のパターン要素が形成された平板で構成され、

前記回転部は、前記第2タイミングにおいて、前記複数のパターン要素のそれぞれの前記光軸方向における位置が互いに異なるよう³⁰に、前記計測パターンを回転させることを特徴とする請求項1乃至3のうちいずれか1項に記載の露光装置。

【請求項8】

前記投影光学系の像面に配置される像面側パターンと、

前記計測パターンからの光を前記投影光学系及び前記像面側パターンを介して検出する第2検出部と、

を更に有し、

前記制御部は、前記平板の法線が前記投影光学系の光軸と平行になるように、前記回転部が前記計測パターンを回転させた状態において、前記像面側パターンを前記光軸方向に移動させながら前記第2検出部で検出される光の光量の変化に基づいて前記基準フォーカス位置を決定することを特徴とする請求項7に記載の露光装置。

【請求項9】

前記第1検出部は、前記計測パターンの像を検出する撮像素子を含むことを特徴とする請求項1乃至8のうちいずれか1項に記載の露光装置。

【請求項10】

前記投影光学系と前記撮像素子との間に配置され、前記撮像素子上に前記計測パターンの像を形成する結像系を更に有することを特徴とする請求項9に記載の露光装置。

【請求項11】

マスクのパターンを基板に転写する露光処理を行う露光装置であつて、

前記マスクのパターンを前記基板に投影する投影光学系と、

10

20

30

40

50

前記投影光学系の物体面に配置された複数のパターン要素を含む計測パターンと、前記計測パターンからの光を前記投影光学系を介して検出する第1検出部と、
第1光量分布と第2光量分布とに基づいて、前記投影光学系の光軸方向における前記マスクと前記基板との相対位置を制御する制御部と、を有し、

前記第1光量分布は、第1タイミングで前記投影光学系の基準フォーカス位置に配置された前記第1検出部の検出結果から得られる前記複数のパターン要素のそれぞれを通過した光の光量を表す分布であり、

前記第2光量分布は、前記第1タイミングの後に前記露光処理を行った後の第2タイミングで前記第1検出部の検出結果から得られる前記複数のパターン要素のそれぞれを通過した光の光量を表す分布であり、

前記制御部は、前記第1光量分布における複数のピークの包絡線と、前記第2光量分布における複数のピークの包絡線と、に基づいて前記相対位置を制御することを特徴とする露光装置。

【請求項12】

前記第1光量分布及び前記第2光量分布は、前記第1検出部の受光面を傾けた状態で取得される分布であることを特徴とする請求項11に記載の露光装置。

【請求項13】

前記第1光量分布及び前記第2光量分布は、高さの異なる複数のピークを含む分布であることを特徴とする請求項11に記載の露光装置。

【請求項14】

請求項1乃至13のうちいずれか1項に記載の露光装置を用いて基板を露光する工程と、露光した前記基板を現像する工程と、

現像された前記基板から物品を製造する工程と、
を有す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、露光装置及び物品の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

半導体デバイスや液晶表示素子などのデバイスをフォトリソグラフィ工程で製造する際に、マスクのパターンの像を基板に投影して、かかるパターンを基板に転写する露光装置が用いられている。露光装置には、マスクのパターンを基板に正確に転写するために、マスクと基板との位置合わせ（アライメント）及び焦点位置合わせ（フォーカスキャリブレーション）を高精度に行うことが要求される。

【0003】

アライメントやフォーカスキャリブレーションの方式の1つとして、マスクに対する基板の相対位置やマスクのパターンの焦点位置を、投影光学系を介して計測するTTL（Through The Lens）方式が提案されている（特許文献1参照）。フォーカスキャリブレーションでは、一般的に、マスク側マークを通過した光を、基板側マーク（が設けられたステージ）を投影光学系の光軸方向（Z方向）に移動させながら、投影光学系及び基板側マークを介して検出し、その光量変化から焦点位置を求めている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開平4-348019号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、従来技術では、フォーカスキャリブレーションを行うたびに、基板側マ

10

20

30

40

50

ーク（ステージ）をZ方向に移動させる必要があるが、かかる動作には時間をするため、生産性の低下を招いてしまう。また、基板側マークをZ方向に移動させる動作と、実際の露光動作とは並行して行うことができないため、実際の露光動作における焦点位置（フォーカス状態）を求めることができない。従って、フォーカスキャリブレーションを行ったとしても、実際の露光動作において、基板を最適な焦点位置（ベストフォーカス位置）に維持することができず、露光精度が低下する可能性がある。

【0006】

本発明は、このような従来技術の課題に鑑みてなされ、フォーカスキャリブレーションの点で有利な露光装置を提供することを例示的的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての露光装置は、マスクのパターンを基板に転写する露光処理を行う露光装置であって、前記マスクのパターンを前記基板に投影する投影光学系と、前記投影光学系の物体面に配置され、前記投影光学系の光軸方向における位置が互いに異なる複数のパターン要素を含む計測パターンと、前記計測パターンからの光を前記投影光学系を介して検出する第1検出部と、前記露光処理を行う際に、前記光軸方向における前記マスクと前記基板との相対位置を制御する制御部と、を有し、前記制御部は、第1タイミングで前記投影光学系の基準フォーカス位置に配置された前記第1検出部の検出結果から得られる前記複数のパターン要素のそれぞれを通過した光の光量を表す第1光量分布と、前記第1タイミングの後に前記露光処理を行った後の第2タイミングで前記基準フォーカス位置に配置された前記第1検出部の検出結果から得られる前記複数のパターン要素のそれぞれを通過した光の光量を表す第2光量分布とに基づいて、前記相対位置を制御することを特徴とする。

【0008】

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実施形態によって明らかにされるであろう。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、例えば、フォーカスキャリブレーションの点で有利な露光装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【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図である。

【図2】フォーカス計測処理における露光装置を示す概略図である。

【図3】変化量計測処理における露光装置を示す概略図である。

【図4】第3計測パターンの構成の一例を示す図である。

【図5】フォーカス変化量を求める変化量計測処理を説明するための図である。

【図6】フォーカス変化量を求める変化量計測処理を説明するための図である。

【図7】ベストフォーカス位置と、基板ステージのZ方向の位置との関係とを示す図である。

【図8】第3計測パターンをXY平面に対して傾かせる角度の設定を説明するための図である。

【図9】第3計測パターンをXY平面に対して傾かせる角度の設定を説明するための図である。

【図10】図1に示す露光装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【図11】変化量計測処理の詳細なフローチャートである。

【図12】フォーカス計測処理を説明するための図である。

【図13】撮像素子の検出結果の一例を示す図である。

【図14】本発明の一側面としての露光装置の構成を示す概略図である。

【図15】従来技術における露光装置の構成を示す概略図である。

10

20

30

40

50

【図16】図15に示す露光装置の動作を説明するためのフローチャートである。

【図17】第1計測パターンの構成の一例を示す図である。

【図18】検出器で検出される光の光量と基板ステージのZ方向の座標位置との関係の一例を示す図である。

【図19】フォーカス計測処理の詳細なフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、添付図面を参照して実施形態を詳しく説明する。なお、以下の実施形態は特許請求の範囲に係る発明を限定するものではない。実施形態には複数の特徴が記載されているが、これらの複数の特徴の全てが発明に必須のものとは限らず、また、複数の特徴は任意に組み合わせられてもよい。更に、添付図面においては、同一もしくは同様の構成に同一の参照番号を付し、重複した説明は省略する。

10

【0012】

まず、図15乃至図19を参照して、従来技術におけるTTL方式のフォーカスキャリブレーションについて説明する。図15は、従来技術における露光装置の構成を示す概略図である。ここでは、水平面をXY平面とし、鉛直方向をZ軸方向とするようにXYZ座標系が定義されている。

【0013】

図15を参照するに、照明光学系1からの光(露光光)は、マスクステージ3に保持されたマスク2を通過し、投影光学系4を介して、基板ステージ6に保持された基板5に到達する。マスク2(のパターン面)と基板5とは、投影光学系4によって、共役な位置関係になっている。従って、マスク2のパターン(実デバイスピターン)は、投影光学系4を介して基板上に投影されて、基板5に転写される。

20

【0014】

図16は、図15に示す露光装置の動作を説明するためのフローチャートである。S101では、マスク2のパターンの結像位置(ベストフォーカス位置)を求めるためのフォーカス計測処理を行う。S102では、S101のフォーカス計測処理の結果から、露光に適した基板5の最適位置(ベストフォーカス位置に基板5を位置決めするために必要となる基板ステージ6の移動量)や投影光学系4の補正部材の駆動量を求める演算処理を行う。S103では、S102の演算処理で求めた基板5の最適位置や補正部材の駆動量に基づいて、基板ステージ6や補正部材を駆動する補正処理を行う。S104では、マスク2のパターンを基板5に転写する露光処理を行う。S105では、露光処理が行われた基板5の数が所定数に到達したかどうかを判定する。露光処理が行われた基板5の数が所定数に到達していなければ、S101に移行する。一方、露光処理が行われた基板5の数が所定数に到達していれば、動作を終了する。

30

【0015】

ここで、フォーカス計測処理(S101)及び補正処理(S103)について具体的に説明する。フォーカス計測処理では、まず、マスク2又はマスクステージ3に設けられている第1計測パターン15が照明光学系1の下に位置するように、マスクステージ制御部8の制御下において、干渉計等(不図示)を用いてマスクステージ3を移動させる。図17は、第1計測パターン15の構成の一例を示す図である。第1計測パターン15は、照明光学系1からの光を通過(透過)させる所定の線幅及びピッチを有する複数のパターン要素15Aと、照明光学系1からの光を遮蔽する遮光部15Bとを含み、複数のパターン要素15Aが形成された平板で構成されている。

40

【0016】

次いで、基板ステージ6に設けられた第2計測パターン9が第1計測パターン15に対応した配置になるように、基板ステージ制御部11の制御下において、干渉計等(不図示)を用いて基板ステージ6を移動させる。第2計測パターン9は、第1計測パターン15に対応して、複数のパターン要素と、遮光部とを含む。また、第2計測パターン9の下には、第2計測パターン9を通過した光(の光量)を検出する検出器10が設けられている。

50

【0017】

上述した状態において、基板ステージ6を投影光学系4の光軸方向(Z方向)に微小移動させながら、検出器10で検出される光の光量が最大となる座標位置 Z_0 を主制御部7で求める。図18は、検出器10で検出される光の光量(検出光量)と基板ステージ6のZ方向の座標位置との関係の一例を示す図であって、縦軸は検出光量を示し、横軸は基板ステージ6のZ方向の座標位置を示している。検出光量が最大となる基板ステージ6のZ方向の座標位置は、第1計測パターン15と第2計測パターン9とが共役な位置関係であるときの座標位置である。従って、検出光量が最大となる基板ステージ6のZ方向の位置座標を探索することで、第1計測パターン15からの光の結像位置、即ち、マスク2のパターンの焦点位置(ベストフォーカス位置)を求めることができる。そして、主制御部7は、求めた焦点位置に基づいて、基板ステージ6を焦点位置のずれ分だけZ方向に移動させることで、マスク2のパターンの焦点位置を基板5にあわせることが可能となる。

【0018】

図19は、S101のフォーカス計測処理の詳細なフローチャートである。S201では、第1計測パターン15が照明光学系1の下に位置するように、マスクステージ3をフォーカス計測位置まで移動させる。S202では、第2計測パターン9が第1計測パターン15に対応した配置になるように、基板ステージ6をフォーカス計測位置まで移動させる。S201の工程及びS202の工程に関しては、どちらを先に行ってもよいし、それらを並行して行ってもよい。S203では、照明光学系1からの光で第1計測パターン15を照明する。S204では、基板ステージ6をZ方向に移動させる。S205では、第2計測パターン9を通過した光を検出器10で検出して検出光量を取得する。なお、S204の工程とS205の工程とは並行して(同時に)行う。S206では、S204における基板ステージ6のZ方向の位置、及び、S205で取得した検出光量に基づいて、検出光量が最大となる基板ステージ6のZ方向の位置を求める。

【0019】

このように、従来技術では、フォーカスキャリブレーションを行うたびに、第2計測マーク9が設けられた基板ステージ6をZ方向に移動させなければならないため、露光装置の生産性が低下してしまう。また、従来技術では、実際の露光処理における焦点位置を求めていたのではないため、実際の露光処理において、基板5を最適な焦点位置(ベストフォーカス位置)に維持することができず、露光精度が低下してしまう。

【0020】

そこで、本実施形態では、フォーカスキャリブレーションの点で有利な露光装置、即ち、フォーカスキャリブレーションに起因する露光装置の生産性の低下や露光精度の低下を抑制する技術を提供する。

【0021】

図1(a)及び図1(b)は、本発明の一側面としての露光装置100の構成を示す概略図である。図1(a)は、露光装置100の全体の正面図であり、図1(b)は、マスクステージ3の周辺の構成を示す平面図である。本実施形態では、水平面をXY平面とし、鉛直方向をZ軸方向とするようにXYZ座標系が定義されている。

【0022】

露光装置100は、半導体デバイスや液晶表示素子などのデバイスの製造工程であるフォトリソグラフィ工程に用いられるリソグラフィ装置である。露光装置100は、本実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式を採用し、マスクを介して基板を露光して、マスクのパターンを基板に転写する露光処理を行う。但し、露光装置100は、ステップ・アンド・リピート方式やその他の露光方式を採用してもよい。

【0023】

露光装置100は、マスク2を照明する照明光学系1と、マスク2を保持して移動するマスクステージ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を保持して移動する基板ステージ6とを有する。また、露光装置100は、主制御部7と、マスクステージ制御部8と、基板ステージ制御部11と、入力部13と、決定部14とを

10

20

30

40

50

有する。更に、露光装置 100 は、第 1 計測パターン 15 (物体面側パターン) と、第 2 計測パターン 9 (像面側パターン) と、検出器 10 (第 2 検出部) と、第 3 計測パターン 21 (計測パターン) と、結像系 22 と、撮像素子 23 (第 1 検出部) とを有する。主制御部 7 は、CPU やメモリなどを含むコンピュータで構成され、記憶部に記憶されたプログラムに従って露光装置 100 の各部を統括的に制御して露光装置 100 を動作させる。例えば、主制御部 7 は、露光処理を行う際に、投影光学系 4 の光軸方向におけるマスク 2 と基板 5 との相対位置を制御する。

【 0 0 2 4 】

照明光学系 1 からの光 (露光光) は、マスクステージ 3 に保持されたマスク 2 を通過し、投影光学系 4 を介して、基板ステージ 6 に保持された基板 5 に到達する。マスク 2 (のパターン面) と基板 5 とは、投影光学系 4 によって、共役な位置関係になっている。従って、マスク 2 のパターン (実デバイスピターン) は、投影光学系 4 を介して基板上に投影されて、基板 5 に転写される。本実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式を採用しているため、マスクステージ 3 と基板ステージ 6 とを Y 方向に同期走査することで、マスク 2 のパターンが基板 5 に転写される。

10

【 0 0 2 5 】

露光装置 100 において、フォーカスキャリブレーションに関する構成について説明する。入力部 13 には、ユーザの操作によって、露光処理、即ち、マスク 2 のパターンを基板 5 に転写する際の露光条件 (露光領域、照明モード、マスク 2 のパターンなど) が入力される。決定部 14 は、入力部 13 に入力された露光条件に基づいて、フォーカスキャリブレーションに必要となる計測条件 (計測位置 (像高位置)、計測パターンなど) を決定する。

20

【 0 0 2 6 】

第 1 計測パターン 15 は、図 17 に示したように、所定の線幅及びピッチを有する複数のパターン要素 15A を含む。複数のパターン要素 15A は、本実施形態では、X 方向に沿って配列され、ラインアンドスペースパターンを形成する。第 1 計測パターン 15 は、マスクステージ 3 (投影光学系 4 の物体面) に設けられ、マスクステージ 3 によって目標とする計測位置に位置決めされる。但し、第 1 計測パターン 15 は、線幅、ピッチ、方向などが異なるラインアンドスペースパターンを構成する種々のパターン要素を含んでいてもよい。換言すれば、第 1 計測パターン 15 を構成する複数のパターン要素の数、種類及び方向は限定されない。

30

【 0 0 2 7 】

図 1 (b) に示すように、第 1 計測パターン 15 は、マスクステージ 3 において、X 方向に間隔を有して複数設けられている。マスクステージ 3 に設けられる第 1 計測パターン 15 は 1 つでもよいが、投影光学系 4 の特性を計測するためには、複数の第 1 計測パターン 15 を設けることが好ましい。投影光学系 4 の特性は、例えば、焦点位置やディストーションなどを含む。

【 0 0 2 8 】

主制御部 7 は、フォーカス計測処理を行う際に、マスクステージ制御部 8 を介して、第 1 計測パターン 15 が決定部 14 で決定した計測位置に位置決めされるように、マスクステージ 3 を移動させる。同様に、主制御部 7 は、フォーカス計測処理を行う際に、基板ステージ制御部 11 を介して、第 2 計測パターン 9 が決定部 14 で決定した計測位置に位置決めされるように、基板ステージ 6 を移動させる。

40

【 0 0 2 9 】

検出器 10 は、第 2 計測パターン 9 の下に位置するように、基板ステージ 6 に設けられ、第 2 計測パターン 9 を通過 (透過) した光、即ち、第 1 計測パターン 15 からの光を投影光学系 4 及び第 2 計測パターン 9 を介して検出する。なお、検出器 10 は、第 1 計測パターン 15 や第 2 計測パターン 9 を透過した光ではなく、第 1 計測パターン 15 や第 2 計測パターン 9 で反射した光を検出してもよい。

【 0 0 3 0 】

50

図2は、第1計測パターン15及び第2計測パターン9を計測位置に位置決めした状態、即ち、フォーカス計測処理における露光装置100を示す概略図である。フォーカス計測処理では、照明光学系1からの光で第1計測パターン15を照明し、第1計測パターン15を通過した光を、投影光学系4及び第2計測パターン9を介して検出器10で検出する。この際、基板ステージ6を投影光学系4の光軸方向(Z方向)に微小移動させながら、検出器10で検出される光の光量(検出光量)が最大となる位置Z₀を主制御部7で求める。検出光量が最大となる基板ステージ6のZ方向の座標位置は、第1計測パターン15と第2計測パターン9とが共役な位置関係であるときの座標位置であるため、かかる座標位置が最適な焦点位置(ベストフォーカス位置)となる。なお、検出光量と基板ステージ6のZ方向の座標位置との関係については、図18に示した通りである。

10

【0031】

本実施形態では、フォーカスキャリブレーションにおいて、基板ステージ6をZ方向に移動させずに、フォーカス計測処理の後のフォーカス変化量(ベストフォーカス位置の変化量)を求める変化量計測処理を行う。のために、マスクステージ3(投影光学系4の物体面)には、第3計測パターン21(計測パターン)が設けられ、基板ステージ6(投影光学系4の像面)には、結像系22及び撮像素子23(第1検出部)が設けられている。

【0032】

第3計測パターン21は、後述するように、投影光学系4の光軸に対して斜めに傾いて配置されている。結像系22は、投影光学系4と撮像素子23との間に配置され、撮像素子上に第3計測パターン21の像を形成する光学系である。結像系22は、本実施形態では、第3計測パターン21の像に対して倍率をかけて撮像素子上に導光する光学系であり、かかる倍率は、撮像素子23の分解能に応じて設定することが可能である。撮像素子23は、複数の画素を含み、結像系22によって形成された第3計測パターン21の像を検出(撮像)する。

20

【0033】

主制御部7は、変化量計測処理を行う際に、マスクステージ制御部8を介して、第3計測パターン21が決定部14で決定した計測位置に位置決めされるように、マスクステージ3を移動させる。同様に、主制御部7は、変化量計測処理を行う際に、基板ステージ制御部11を介して、結像系22及び撮像素子23が決定部14で決定した計測位置に位置決めされるように、基板ステージ6を移動させる。

30

【0034】

図3は、第3計測パターン21、結像系22及び撮像素子23を計測位置に位置決めした状態、即ち、変化量計測処理における露光装置100を示す概略図である。図3に示すように、第3計測パターン21は、照明光学系1の下に位置決めされ、照明光学系1からの光で照明される。第3計測パターン21からの光は、投影光学系4及び結像系22を介して、第3計測パターン21の像として、撮像素子23で検出される。主制御部7は、撮像素子23で検出された計測パターン21の像に基づいて、撮像素子23における現在の焦点位置(ベストフォーカス位置)を決定する。

【0035】

図4(a)及び図4(b)は、第3計測パターン21の構成の一例を示す図である。図4(a)は、第3計測パターン21の平面図であり、図4(b)は、第3計測パターン21の側面図である。第3計測パターン21は、図4(a)に示すように、照明光学系1からの光を通過(透過)させる所定の線幅及びピッチを有する複数のパターン要素21Aと、照明光学系1からの光を遮光する遮光部21Bとを含む。また、第3計測パターン21は、複数のパターン要素21Aが形成された平板21Cで構成される。複数のパターン要素21Aは、本実施形態では、X方向に沿って配列され、ラインアンドスペースパターンを形成する。また、第3計測パターン21は、図4(b)に示すように、X方向を軸として所定の角度だけ傾いて配置されている。詳細には、複数のパターン要素21Aのそれぞれの光軸方向(Z方向)における位置が互いに異なるように、平板21Cの法線が投影光学系4の光軸に対して傾いて配置されている。また、第3計測パターン21を傾ける方

40

50

向は、複数のパターン要素 21A（ラインアンドスペース）が連続している方向と同じ方向である。

【0036】

なお、本実施形態では、第3計測パターン21を傾けることで複数のパターン要素21Aのそれぞれの光軸方向における位置が互いに異なるようにしているが、これに限定されるものではない。第3計測パターン21は、投影光学系4の光軸方向における位置が互いに異なる複数のパターン要素21Aを含んでいればよく、例えば、第3計測パターン21を階段状の部材で構成し、かかる部材の各段にパターン要素21Aを形成してもよい。

【0037】

図1(b)に示すように、第3計測パターン21は、マスクステージ3において、X方向に間隔を有して複数設けられている。マスクステージ3に設けられる第3計測パターン21は1つでもよいが、投影光学系4の特性を計測するためには、複数の第3計測パターン21を設けることが好ましい。また、第3計測パターン21は、第1計測パターン15に対して+Y方向に配置しているが、第1計測パターン15に対して-Y方向に配置してもよく、第1計測パターン15に対して±X方向にずれてもよい。但し、フォーカス計測処理における投影光学系4の影響を低減するためには、第1計測パターン15と第3計測パターン21とを近接して配置することが好ましい。これは、投影光学系4の像高によって、焦点位置(ベストフォーカス位置)が変化するからである。

【0038】

図5(a)、図5(b)、図6(a)及び図6(b)を参照して、フォーカス変化量を求める変化量計測処理について説明する。図5(a)及び図6(a)には、変化量計測処理における第3計測パターン21、投影光学系4、基板5、結像系22及び撮像素子23を示している。また、図5(a)には、第3計測パターン21が投影光学系4によって基板上に結像した状態を像24として示している。像24は、結像系22を介して、撮像素子23で検出される。図5(b)は、撮像素子23の検出結果の一例を示す図であって、横軸に撮像素子23の画素を採用し、縦軸に各画素で得られる光量を採用すると、光量分布25(第1光量分布)が得られる。

【0039】

図5(b)を参照するに、光量分布25では、第2計測パターン21の各パターン要素21Aに対応する部分が光量の大きい部分PE1乃至PE7として現れ、遮光部21Bに対応する部分が光量の小さい部分VA1乃至VA8として現れている。また、像24が撮像素子23に対して傾いているため、その傾きの高さ内にベストフォーカス位置が存在する場合、ベストフォーカス位置に近いパターン要素21Aに対応する部分で最も光量が大きくなる。また、ベストフォーカス位置から離れているパターン要素21Aに対応する部分では光量が小さくなる。図5(b)では、ベストフォーカス位置が部分PE4に存在する場合を示している。

部分PE3、PE2及びPE1は、ベストフォーカス位置から-Z方向に像面がずれることを示し、部分PE5、PE6及びPE7は、ベストフォーカス位置から+Z方向に像面がずれていることを示している。従って、部分PE4に対応する撮像素子23の画素(位置)を求めることができれば、以下の式(1)から、ベストフォーカス位置BFを求めることが可能である。

【0040】

【数1】

$$BF = P \times \text{Pixel Size} \times \frac{\tan\theta}{Mag} \quad \dots (1)$$

【0041】

ここで、Pは、光最も光量が大きくなる部分に対応する撮像素子23の画素位置を示し

10

20

30

40

50

、 Pixel Size は、撮像素子 23 の画素の大きさを示している。また、 は、第 3 計測パターン 21 と投影光学系 4 の光軸に直交する面 (XY 平面) とがなす角度を示し、 Mag は、結像系 22 の倍率を示している。

【 0042 】

また、ベストフォーカス位置となる Z 方向の位置 Z1 に関しては、上述したように、最も光量が大きくなる部分 PE4 から求めることが可能である。但し、最も光量が大きくなる部分 PE4 と、ベストフォーカス位置から離れた部分 (ピーク) PE1、PE2、PE3、PE5、PE6 及び PE7 とから包絡線 26 を求め、包絡線 26 からベストフォーカス位置を近似的に求めることも可能である。図 5 (b) では、部分 PE1 乃至 PE7 から得られる包絡線 26 の極大値 27 に対応する撮像素子 23 の画素位置を PI1 として示している。

10

【 0043 】

図 6 (a) は、図 5 (a) に示す状態からベストフォーカス位置がずれた状態を示している。投影光学系 4 の内部の空気揺らぎや投影光学系 4 を構成する部材の位置ずれなどに起因して、図 6 (b) に示すように、像 24 が像 28 にずれる場合がある。このような場合、図 6 (b) に示すように、撮像素子 23 の検出結果から得られる光量分布も光量分布 25 から光量分布 29 (第 2 光量分布) に変化する。従って、光量分布 29 から得られる包絡線 30 の極大値 31 に対応する撮像素子 23 の画素位置は PI2 となり、ベストフォーカス位置が変化する。

20

【 0044 】

画素位置 PI1 及び PI2 のそれぞれからベストフォーカス位置を求ることで、あるタイミングにおけるベストフォーカス位置と、次のタイミングにおけるベストフォーカス位置との差、即ち、ベストフォーカス位置の変化量を求めることができる。図 7 は、ベストフォーカス位置と、基板ステージ 6 の Z 方向の位置との関係とを示す図である。図 7 を参照するに、包絡線の極大値に対応する画素位置が PI1 から PI2 に変化すると、式 (1) からもわかるように、基板ステージ 6 の Z 方向の位置は、1 次の関係から導くことができ、 Z1 から Z2 に変化する。

20

【 0045 】

最初の基準となる基準フォーカス位置は、第 1 計測パターン 15、第 2 計測パターン 9 及び検出器 10 を用いて求めた基板ステージ 6 の Z 方向の位置を用いるとよい。これは、かかる位置が投影光学系 4 の結像位置 (ベストフォーカス位置) を示しているからである。

30

【 0046 】

このように、本実施形態における変化量計測処理では、フォーカス変化量 (ベストフォーカス位置) を求める際に、基板ステージ 6 (第 2 計測パターン 9) を Z 方向に移動させる動作が必要ない。従って、本実施形態では、基板ステージ 6 を Z 方向に移動させる動作に要する時間が削減され、露光装置 100 の生産性 (スループット) を向上させることができる。

【 0047 】

なお、本実施形態では、第 3 計測パターン 21 は、上述したように、XY 平面に対して角度 だけ傾いて配置されているが、角度 は、フォーカス位置に対する敏感度と、フォーカス位置の計測精度 (決定精度) とを考慮して設定すべきである。図 8 (a)、図 8 (b)、図 9 (a) 及び図 9 (b) を参照して、第 3 計測パターン 21 を XY 平面に対して傾かせる角度 の設定について説明する。図 8 (a) 及び図 9 (b) には、変化量計測処理における第 3 計測パターン 21、投影光学系 4、基板 5、結像系 22 及び撮像素子 23 を示している。

40

【 0048 】

図 8 (a) を参照するに、第 3 計測パターン 21 は、XY 平面に対して角度 1 だけ傾いて配置されている。また、あるタイミングにおけるベストフォーカス位置を位置 F11 とし、この際、第 3 計測パターン 21 が投影光学系 4 によって基板上に結像した状態を像 40 として示している。各種要因によってベストフォーカス位置が位置 F11 から位置 F

50

12に変化した場合、第3計測パターン21の像は、像40から像41に変化する。

【0049】

図8(b)は、図8(a)に示す状態において、結像系22を介して撮像素子23で検出された像(光量分布)を示す図であって、横軸は、撮像素子23の画素を示し、縦軸は、各画素で得られる光量を示している。図8(b)を参照するに、像40は、光量分布42に対応し、光量分布42から包絡線44が得られる。また、包絡線44から、極大値46と、極大値46に対応する撮像素子23の画素位置PI11が得られる。このように、ベストフォーカス位置が位置F11である場合、撮像素子23では、画素位置PI11が位置F11に対応している。

【0050】

同様に、像41は、光量分布43に対応し、光量分布43から包絡線45が得られる。包絡線45から、極大値47と、極大値47に対応する撮像素子23の画素位置PI12が得られる。このように、ベストフォーカス位置が位置F12である場合、撮像素子23では、画素位置PI12が位置F12に対応している。

【0051】

一方、図9(a)を参照するに、第3計測パターン21は、XY平面に対して角度2だけ傾いて配置されている。ここで、角度2は、角度1よりも大きいものとする($2 > 1$)。また、あるタイミングにおけるベストフォーカス位置を位置F21とし、この際、第3計測パターン21が投影光学系4によって基板上に結像した状態を像48として示している。各種要因によってベストフォーカス位置が位置F21から位置F22に変化した場合、第3計測パターン21の像は、像48から像49に変化する。なお、位置F21から位置F22へのフォーカス変化量は、位置F11から位置F12へのフォーカス変化量と等しい。

【0052】

図9(b)は、図9(a)に示す状態において、結像系22を介して撮像素子23で検出された像(光量分布)を示す図であって、横軸は、撮像素子23の画素を示し、縦軸は、各画素で得られる光量を示している。図9(b)を参照するに、像48は、光量分布50に対応し、光量分布50から包絡線52が得られる。また、包絡線52から、極大値54と、極大値54に対応する撮像素子23の画素位置PI21が得られる。このように、ベストフォーカス位置が位置F21である場合、撮像素子23では、画素位置PI21が位置F21に対応している。

【0053】

同様に、像49は、光量分布51に対応し、光量分布51から包絡線53が得られる。包絡線53から、極大値55と、極大値55に対応する撮像素子23の画素位置PI22が得られる。このように、ベストフォーカス位置が位置F22である場合、撮像素子23では、画素位置PI22が位置F22に対応している。

【0054】

まず、フォーカス敏感度について説明する。図8(a)、図8(b)、図9(a)及び図9(b)では、上述したように、フォーカス変化量(ベストフォーカス位置の変化量)を等しくしている。但し、撮像素子23で得られる結果、即ち、画素位置PI11から画素位置PI12への変化量と、画素位置PI21から画素位置PI22への変化量とは異なっている。このように、フォーカス変化量が同じであっても、角度が大きい方が撮像素子上での画素位置の変化量が小さくなる。これは、式(1)を、以下の式(2)に変形することで理解されるであろう。

【0055】

【数2】

10

20

30

40

50

$$\frac{Mag}{Pixel\ Size} \times \frac{1}{\tan\theta} = \frac{P}{BF} \quad \dots \dots (2)$$

【0056】

式(2)を参照するに、倍率 Mag 及び画素の大きさ Pixel Size は定数であるため、角度 θ を大きくすると、式(2)の左辺の値が小さくなる。従って、フォーカス変化量が等しい場合、角度 θ が大きい場合には、撮像素子 23 の画素位置 P の変化量が小さくなる。このように、フォーカス変化量に対する撮像素子 23 の画素位置 P の変化量の割合は、角度 θ に反比例する。撮像素子 23 の画素位置 P の変化をフォーカス変化量とする本実施形態では、画素の大きさ Pixel Size がフォーカス変化量の計測の分解能となる。従って、角度 θ が小さいほど、即ち、撮像素子 23 の画素位置 P の変化量が大きいほど、フォーカス変化量をより精細に計測することができるため、フォーカス敏感度が高いといえる。

【0057】

次に、フォーカス位置の計測精度について説明する。図 8(a)、図 8(b)、図 9(a) 及び図 9(b) に示すように、第 3 計測パターン 21 の角度 θ に応じて、包絡線の尖鋭度が変化する。これは、角度 θ が大きいほど、第 3 計測パターン 21 の像の端部が結像面から離れ、撮像素子 23 で検出される光量が小さくなるからである。従って、角度 θ が大きいほど、包絡線は尖鋭となる。

【0058】

包絡線の尖鋭度は、包絡線の極大値の決定精度に影響する。包絡線の極大値は、一般的に、第 3 計測パターン 21 の像を検出して得られる光量分布のピークから、補完曲線や多項式への近似によって求める。但し、撮像素子 23 の検出結果から得られる光量分布は、実際には、撮像素子 23 で発生する読み出しノイズや暗ノイズの影響を受ける。従って、包絡線の尖鋭度が低い場合には、包絡線の極大値の決定精度が低下しやすくなる。一方、包絡線の尖鋭度が高い場合には、包絡線の極大値がノイズの影響を受けにくく、包絡線の決定精度の低下を抑制することができる。このように、角度 θ が大きいほど、フォーカス位置の計測精度がよくなる。

【0059】

上述したように、第 3 計測パターン 21 の角度 θ は、フォーカス敏感度とフォーカス位置の計測精度に対してトレードオフの関係にある。具体的には、角度 θ を大きくすると、フォーカス敏感度は低くなるが、フォーカス位置の計測精度がよくなる。一方、角度 θ を小さくすると、フォーカス敏感度は高くなるが、フォーカス位置の計測精度が低下する。従って、フォーカス敏感度とフォーカス位置の計測精度のどちらを優先するかに応じて、第 3 計測パターン 21 の角度 θ を設定する必要がある。

【0060】

図 10 を参照して、本実施形態における露光装置 100 の動作について説明する。S401、S403、S404、S405 及び S407 の工程は、図 16 に示す S101、S102、S103、S104 及び S105 の工程と同様であるため、ここでの詳細な説明は省略する。

【0061】

S402(第 1 タイミング)では、基準計測処理を行う。基準計測処理は、フォーカス変化量を求める際の基準となる基準フォーカス位置を計測する処理である。具体的には、まず、第 3 計測パターン 21、結像系 22 及び撮像素子 23 を計測位置に位置決めする。そして、図 5(a) 及び図 5(b) を参照して説明したように、計測パターン 21 の像から得られる光量分布において最も光量が大きくなる部分に対応する撮像素子 23 の画素位置を求める。

10

20

30

40

50

【0062】

S406（第1タイミングの後の第2タイミング）では、変化量計測処理を行うかどうかを判定する。変化量計測処理を行うかどうかの基準は、ユーザが任意に設定することができる。例えば、ロットの先頭の基板であるかどうか、或いは、所定数の基板に対して露光処理を行ったかどうかを基準として設定することができる。変化量計測処理を行わない場合には、S407に移行する。一方、変化量計測処理を行う場合には、S408に移行する。

【0063】

S408では、変化量計測処理を行う。変化量計測処理は、図6(a)及び図6(b)を参照して説明した通りであるが、図11を参照して、その流れを説明する。S501では、第3計測パターン21が照明光学系1の下に位置するように、マスクステージ3を変化量計測位置まで移動させる。S502では、結像系22及び撮像素子23が投影光学系4の下に位置するように、基板ステージ6を変化量計測位置まで移動させる。S501の工程及びS502の工程に関しては、どちらを先に行ってもよいし、それらを並行して行ってもよい。S503では、照明光学系1からの光で第3計測パターン21を照明する。これにより、投影光学系4及び結像系22を介して、第3計測パターン21の像が撮像素子上に形成される。S504では、第3計測パターン21の像を撮像素子23で検出する。S505では、S504で検出した第3計測パターン21の像から光量分布を求め、かかる光量分布において最も光量が大きくなる部分に対応する撮像素子23の画素位置を求める。これにより、上述したように、S505で求めた撮像素子23の画素位置とS402で求めた撮像素子23の画素位置とから、フォーカス変動量、即ち、ベストフォーカス位置の変化量を求めることができる。換言すれば、S505で得られる光量分布とS402で得られる光量分布との差から、ベストフォーカス位置に基板5を位置決めするために必要となる基板ステージ6の光軸方向の移動量を求めることができる。

10

20

30

【0064】

本実施形態では、従来技術(図19)と比較して、基板ステージ6をZ方向に移動させる動作(S204)が必要ない。このように、本実施形態では、フォーカスキャリレーションにおいて、基板ステージ6をZ方向に移動させることなく、フォーカス変化量を求めることができる。従って、本実施形態では、複数の基板に対して露光処理を連続して行う場合に、ある露光処理と次の露光処理との間にフォーカスキャリレーションを行うことが可能となる。これにより、各露光処理において、基板5をベストフォーカス位置に維持することができるため、露光精度の低下を抑制することができる。

【0065】

本実施形態では、第1計測パターン15、第2計測パターン9及び検出器10を用いてフォーカス計測処理(S401)を行う場合について説明した。但し、図12に示すように、第1計測パターン15、結像系22及び撮像素子23を用いてフォーカス計測処理を行ってもよい。具体的には、照明光学系1からの光で第1計測パターン15を照明し、第1計測パターン15からの光を、投影光学系4及び結像系22を介して、撮像素子23で検出する。図13(a)は、撮像素子23の検出結果の一例を示す図であって、横軸に撮像素子23の画素を採用し、縦軸に各画素で得られる光量を採用すると、光量分布131が得られる。図12(図13(a))に示す状態から、基板ステージ6をZ方向に微小移動させると、図13(b)に示すような光量分布132が得られる。従って、撮像素子23で検出される光量(光量分布)が最大となる基板ステージ6のZ方向の位置を求めることで、かかる位置をベストフォーカス位置とすることができます。

40

【0066】

また、図14に示すように、露光装置100は、第3計測パターン21を投影光学系4の光軸に直交する軸周り(X軸周り)に回転させる回転部532を更に有していてよい。この場合、露光装置100は、第1計測パターン15を有していないなくてもよい。具体的には、フォーカス計測処理を行う場合には、第3計測パターン21がXY平面と平行になるように(平板21Cの法線が投影光学系4の光軸と平行になるように)、回転部532

50

によって第3計測パターン21を回転させる。かかる状態において、照明光学系1からの光で第3計測パターン21を照明し、第3計測パターン21からの光を、投影光学系4及び第2計測パターン9を介して、検出器10で検出する。この際、基板ステージ6をZ方向に微小移動させながら、検出器10で検出される光の光量が最大となる位置を求めることで、かかる位置をベストフォーカス位置とすることができる。

【0067】

また、変動量計測処理を行う場合には、第3計測パターン21の複数のパターン要素21Aのそれぞれの投影光学系4の光軸方向における位置が互いに異なるように、回転部532によって第3計測パターン21を回転させる。かかる状態において、照明光学系1からの光で第3計測パターン21を照明し、第3計測パターン21からの光を、投影光学系4及び結像系22を介して、撮像素子23で検出する。そして、計測パターン21の像から得られる光量分布において最も光量が大きくなる部分に対応する撮像素子23の画素位置を求める。

【0068】

ここで、第3計測パターン21を投影光学系4の光軸に直交する軸周りに回転させる代わりに、撮像素子23を投影光学系4の光軸に直交する軸周りに回転させることも考えられる。但し、この場合には、結像系22の倍率を考慮して、撮像素子23を傾ける角度を設定しなければならない。本実施形態では、撮像素子23の画素位置の変化をフォーカス変化としてとらえている。この際、式(1)から明らかなように、撮像素子23の画素位置の変化の分解能は、撮像素子23の画素の大きさ(Pixel Size)と結像系22の倍率(Mag)によって決まる。一般的には、撮像素子23の画素位置の変化の分解能を高くしたいため、結像系22の倍率が正の値となるように設定される。

【0069】

一方、投影光学系4の開口数NAは、露光装置100に要求される解像力によって決定されている。このときの開口数NAをNA1とすると、撮像素子23における開口数NA2は、結像系22の倍率Magを用いて、NA1/Magとして表すことができる。上述したように、結像系22の倍率Magは、正の値となるため、開口数NA2は、開口数NA1よりも小さい。

【0070】

ここで、投影光学系4の焦点深度DOFは、以下の式(3)で表される。

【0071】

【数3】

$$DOF = k \times \frac{\lambda}{NA^2} \quad \cdots (3)$$

【0072】

式(3)において、kは、比例定数であり、λは、投影光学系4に入射する光の波長である。式(3)に示すように、開口数NAが小さくなると、焦点深度DOFは、開口数NAの二乗に反比例して大きくなる。上述したように、撮像素子23における開口数NA2は開口数NA1よりも小さくなるが、焦点深度DOFは大きくなる。焦点深度DOFが大きくなると、第3計測パターン21の像がぼけにくくなる。従って、第3計測パターン21の像の両端における光量が中心に比べて低くなりにくくなり、包絡線の尖鋭度が小さくなってしまう。

【0073】

包絡線の尖鋭度を大きくするためには、撮像素子23を傾けなければならないが、開口数NA2がNA1/Magであるため、第3計測パターン21を傾ける場合の角度よりも

10

20

30

40

50

結像系 2 2 の倍率の二乗分大きく傾けなければならない。結像系 2 2 の倍率が数倍程度であれば、撮像素子 2 3 を傾けることも可能であるが、結像系 2 2 の倍率がある程度を越えると、撮像素子 2 3 を傾ける角度が大きくなり、第 3 計測パターン 2 1 の像を撮像素子上に形成することが不可能となる。例えば、本実施形態において、第 3 計測パターン 2 1 の角度 を 5 度、結像系 2 2 の倍率を 5 倍とする。この場合、撮像素子 2 3 を傾けることと、本実施形態と同等な包絡線を得ようすると、撮像素子 2 3 を傾ける角度は 75 度となる。このように、撮像素子 2 3 を傾ける角度が投影光学系 4 の光線と略平行となるため、第 3 計測パターン 2 1 の像を撮像素子上に形成することが困難となる。

【 0 0 7 4 】

本発明の実施形態における物品の製造方法は、例えば、半導体デバイス、液晶表示素子、フラットパネルディスプレイ、MEMS などの物品を製造するのに好適である。かかる製造方法は、上述した露光装置 100 を用いて感光剤が塗布された基板を露光する工程と、露光された感光剤を現像する工程とを含む。また、現像された感光剤のパターンをマスクとして基板に対してエッチング工程やイオン注入工程などを行い、基板上に回路パターンが形成される。これらの露光、現像、エッチングなどの工程を繰り返して、基板上に複数の層からなる回路パターンを形成する。後工程で、回路パターンが形成された基板に対してダイシング（加工）を行い、チップのマウンティング、ボンディング、検査工程を行う。また、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、レジスト剥離など）を含みうる。本実施形態における物品の製造方法は、従来に比べて、物品の性能、品質、生産性及び生産コストの少なくとも 1 つにおいて有利である。

10

【 0 0 7 5 】

発明は上記実施形態に制限されるものではなく、発明の精神及び範囲から離脱することなく、様々な変更及び変形が可能である。従って、発明の範囲を公にするために請求項を添付する。

20

【 符号の説明 】

【 0 0 7 6 】

100：露光装置 2：マスク 4：投影光学系 5：基板 7：主制御部 21
：第 3 計測パターン 23：撮像素子

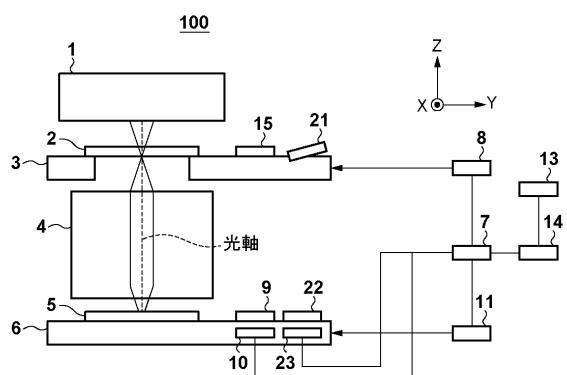
30

40

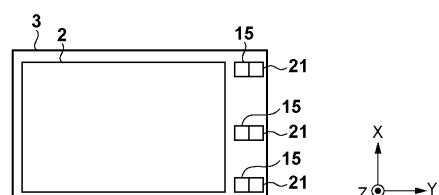
50

【図面】

【図 1】

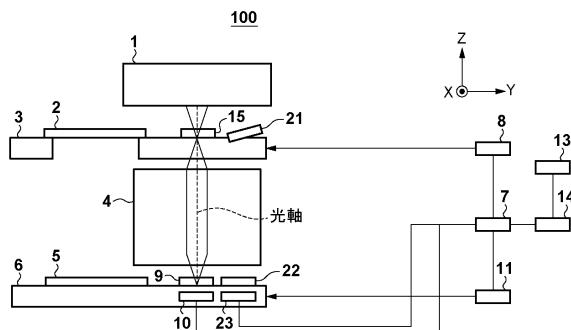


(a)



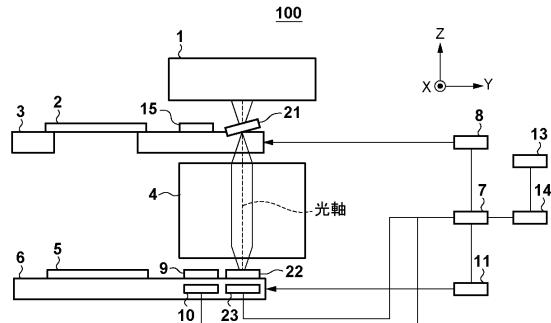
(b)

【図 2】

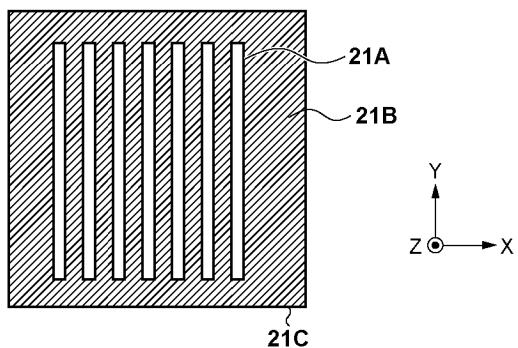


10

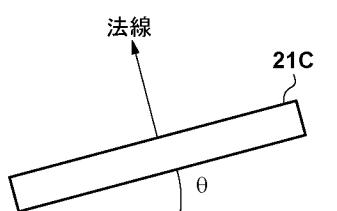
【図 3】



【図 4】



30

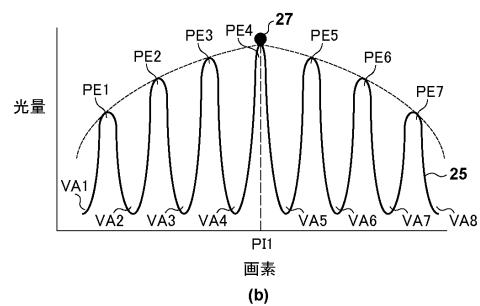
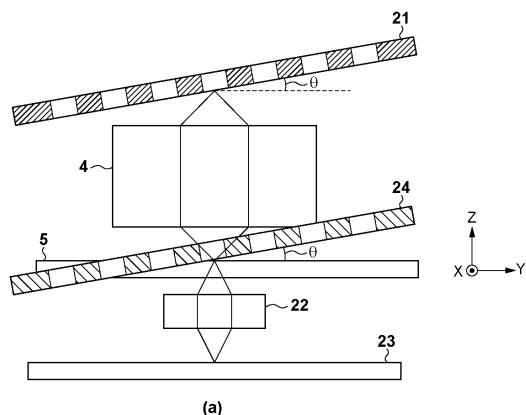


40

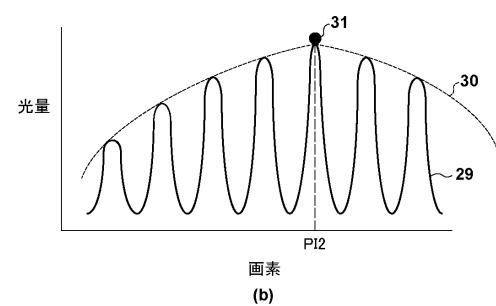
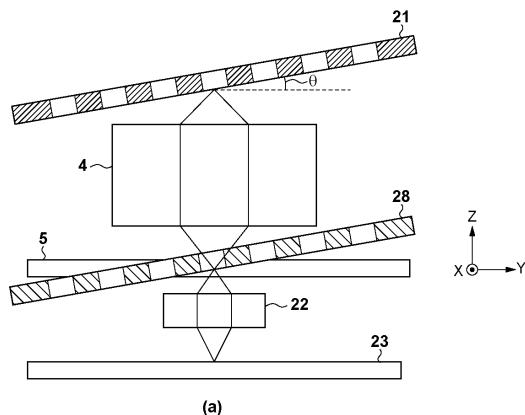
(b)

50

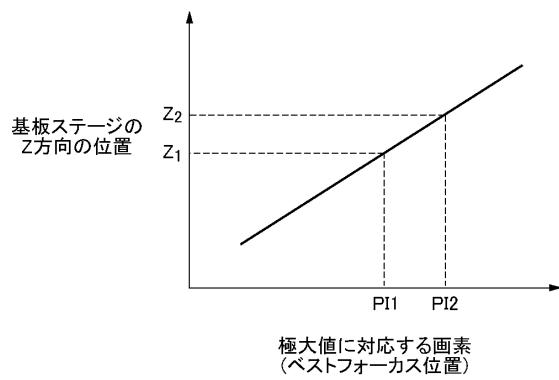
【図 5】



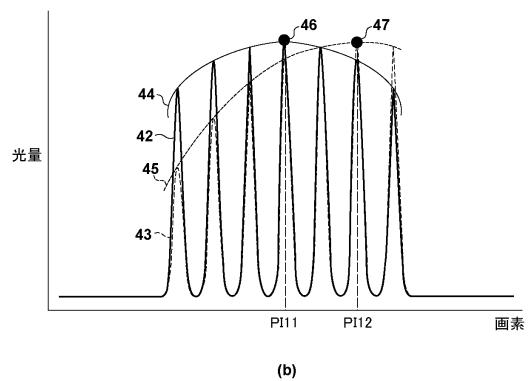
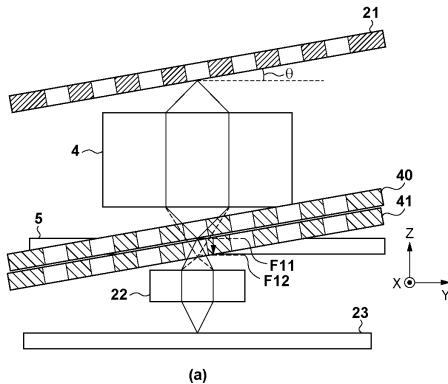
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

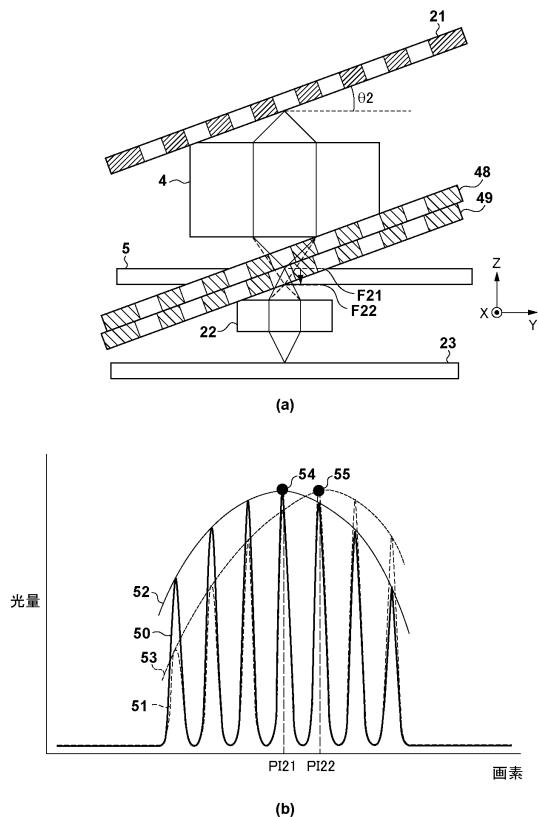
20

30

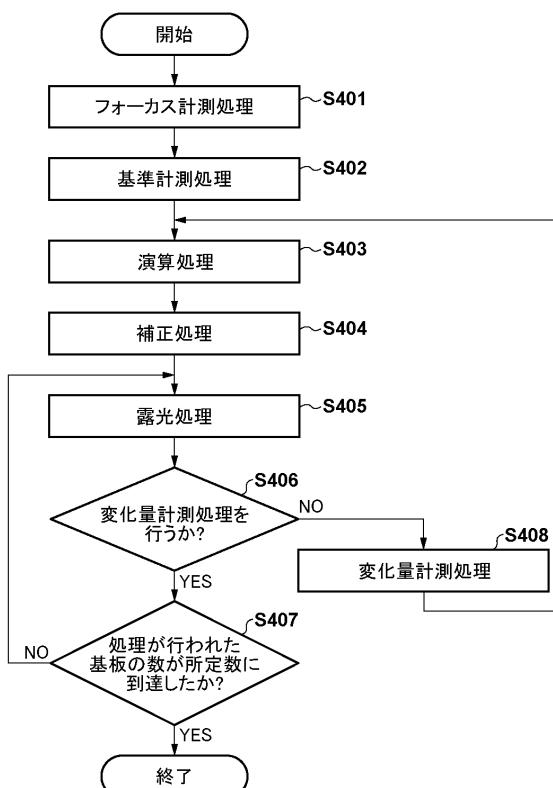
40

50

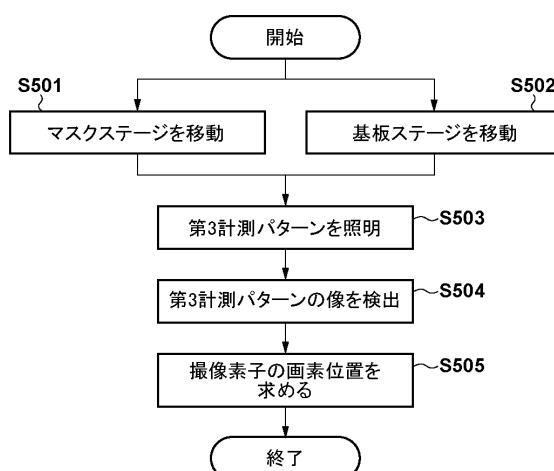
【図 9】



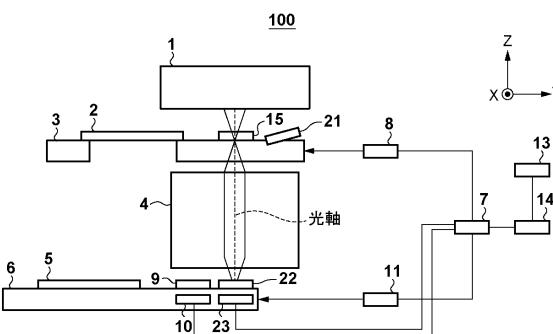
【図 10】



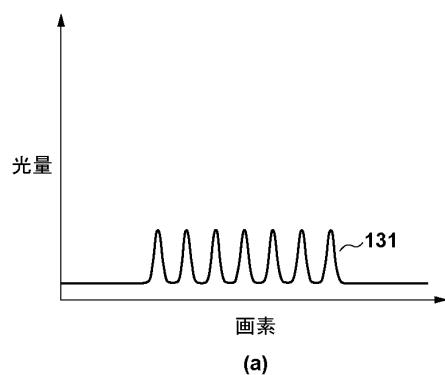
【図 11】



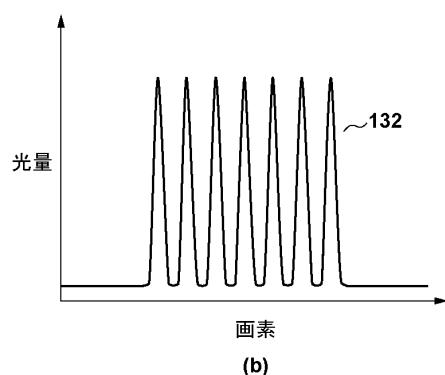
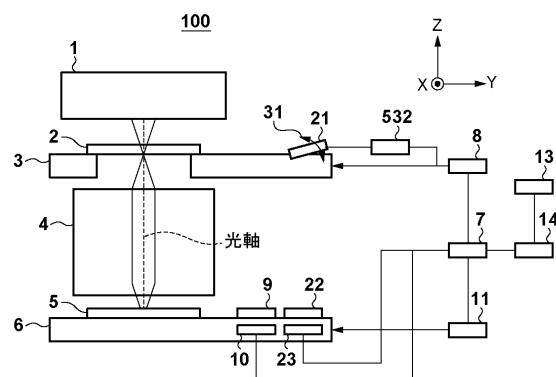
【図 12】



【図 1 3】



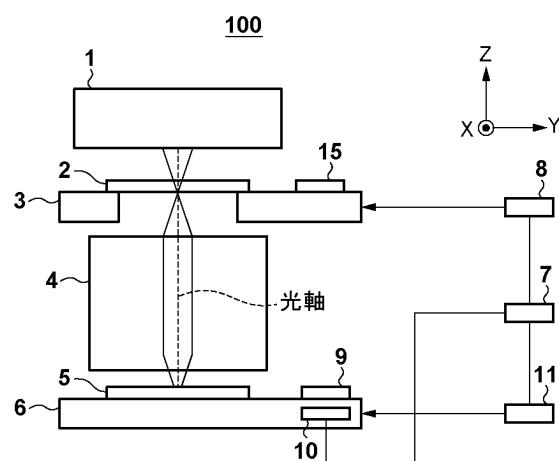
【図 1 4】



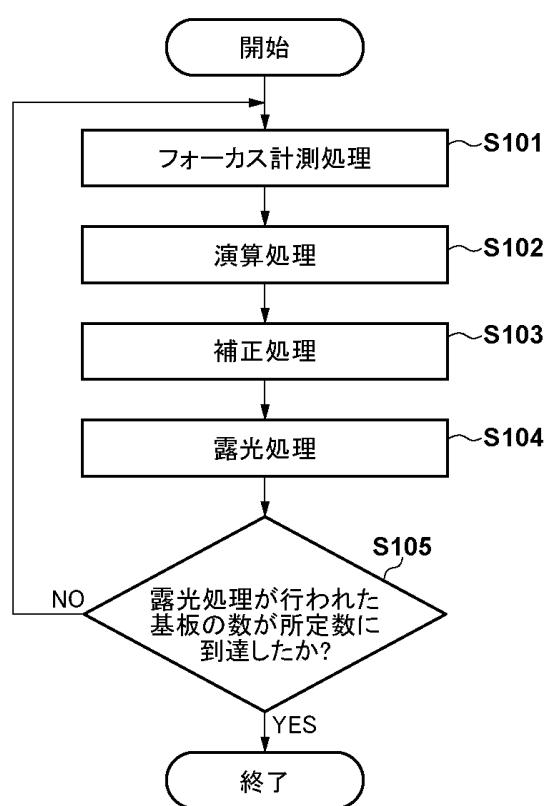
10

20

【図 1 5】



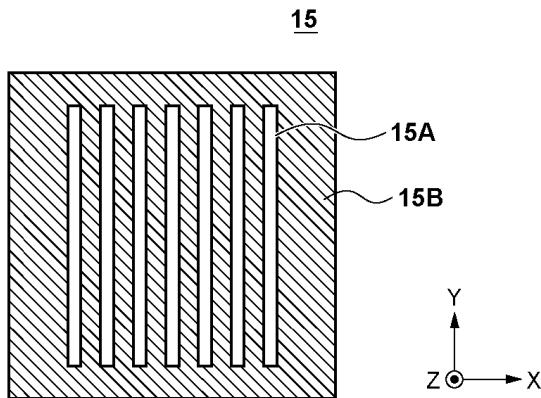
【図 1 6】



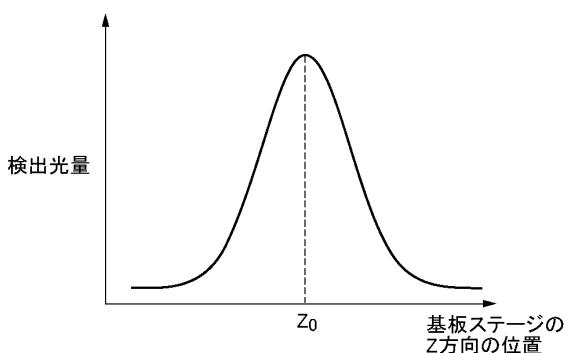
40

50

【図17】

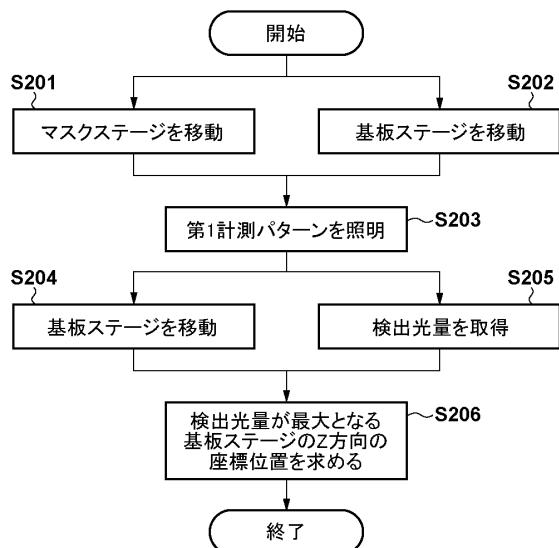


【図18】



10

【図19】



20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献

特開2001-035785 (JP, A)
特開2008-140911 (JP, A)
特開2008-199034 (JP, A)
特開2013-186425 (JP, A)
特開2014-003088 (JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 21/027
G03F 7/20
G03F 9/00