

(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2007-266511
(P2007-266511A)

(43) 公開日 平成19年10月11日(2007.10.11)

| | | | | |
|--------------------------------|--|--------|---------------|-------------|
| (51) Int. Cl. | | F I | | テーマコード (参考) |
| HO 1 L 21/027 (2006.01) | | HO 1 L | 21/30 5 1 6 A | 5 F 0 4 6 |
| GO 3 F 7/20 (2006.01) | | GO 3 F | 7/20 5 2 1 | |
| | | HO 1 L | 21/30 5 1 5 D | |

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 17 頁)

| | | | |
|-----------|----------------------------|----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2006-92588 (P2006-92588) | (71) 出願人 | 000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 |
| (22) 出願日 | 平成18年3月29日 (2006.3.29) | (74) 代理人 | 100098165 弁理士 大森 聡 |
| | | (72) 発明者 | 遠藤 電彦 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内 |
| | | Fターム(参考) | 5F046 BA03 CB03 CB25 CB27 DA13 DB14 |

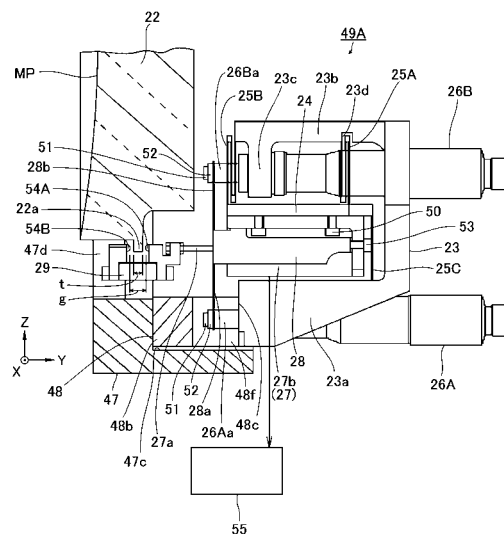
(54) 【発明の名称】 光学系、露光装置、及び光学特性の調整方法

(57) 【要約】

【課題】 光学部材の損傷の恐れがなく、かつ再現性のある状態で、非回転対称な収差の補正を行う。

【解決手段】 凹面鏡22を有する投影光学系において、凹面鏡22に当接可能な状態で配置されたプローブ27aと、粗動マイクロメータ26Aによって板ばね部28aを駆動することによってプローブ27aを凹面鏡22の凸部22aに当接させる方向に駆動する粗動機構と、プローブ27aが凸部22aに当接した後、微動マイクロメータ26Bによって板ばね部28bを駆動することによって、プローブ27aが凸部22aに加える力を制御する微動機構とを備える。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光学部材を有する光学系において、
前記光学部材から離れて配置され、前記光学部材に当接可能な当接部材と、
前記当接部材を前記光学部材に当接させる方向に駆動する第 1 駆動機構と、
前記当接部材が前記光学部材に当接した後、前記当接部材が前記光学部材に加える力を制御する第 2 駆動機構とを備えたことを特徴とする光学系。

【請求項 2】

前記当接部材に対する前記光学部材からの反力を計測するセンサを備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の光学系。

10

【請求項 3】

前記センサは、歪ゲージを用いるセンサであることを特徴とする請求項 2 に記載の光学系。

【請求項 4】

前記当接部材が当接する前記光学部材の部位は前記光学部材の周縁部にあり、
前記当接部材は、前記周縁部を挟んで一方側に配置される第 1 当接部と、前記周縁部を挟んで他方側に配置される第 2 当接部とを備え、

前記第 1 駆動機構は、前記第 1 当接部と前記第 2 当接部とを相対移動させて、前記周縁部の一方側に前記第 1 当接部を当接させるとともに、前記周縁部の他方側に前記第 2 当接部を当接し、

20

前記第 2 駆動機構は、前記第 1 駆動機構によって前記第 1 当接部と前記第 2 当接部とが前記周縁部に当接した後、さらに前記第 1 当接部と前記第 2 当接部とを相対移動させて、前記光学部材に加える力を制御することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 5】

前記第 1 駆動機構は、前記当接部材に一端が連結された第 1 の板ばねと、この第 1 の板ばねの他端を変位させる第 1 変位機構とを有し、

前記第 2 駆動機構は、前記当接部材に一端が連結されて前記第 1 の板ばねに比べて剛性の小さい第 2 の板ばねと、この第 2 の板ばねの他端を変位させる第 2 変位機構とを有することを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載の光学系。

30

【請求項 6】

前記当接部材を前記光学部材の光軸に平行に移動させるリンク機構を備えたことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 7】

前記光学部材の形状は回転対称であり、前記第 1 及び第 2 駆動機構は前記光学部材の中心から半径方向に沿って配置されたことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 8】

前記光学部材の形状は回転対称であり、

前記当接部材と前記第 1 及び第 2 駆動機構とを含む前記光学部材の変形機構が、前記光学部材の周縁部の複数箇所に配置されたことを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の光学系。

40

【請求項 9】

露光ビームでパターンを照明する照明光学系と、前記パターンの像を物体上に投影する投影光学系とを有する露光装置において、

前記照明光学系及び前記投影光学系の少なくとも一方が請求項 1 から 8 のいずれか一項に記載の光学系を含むことを特徴とする露光装置。

【請求項 10】

前記投影光学系は、鉛直方向に実質的に平行な光軸を持つ第 1 の部分鏡筒と、前記第 1 の部分鏡筒に交差する光軸を持つ第 2 の部分鏡筒とを持ち、

50

前記光学系の前記光学部材は前記第2の部分鏡筒内に配置された凹面鏡であ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】

投影光学系の結像特性の調整方法であって、

請求項1から8のいずれか一項に記載の光学系を含む投影光学系の回転非対称の光学特性を計測する第1工程と、

前記第1工程で計測された光学特性を補正するために、前記第1駆動機構によって前記当接部材が前記光学部材に当接した後、前記第2駆動機構によって前記当接部材が前記光学部材に加える力を制御する第2工程とを有することを特徴とする結像特性の調整方法。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学部材を有する光学系に関し、例えば露光装置の投影光学系に適用可能である。さらに本発明は、その光学系を用いる露光技術及び光学特性の調整技術に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば半導体デバイスの製造工程の一つであるリソグラフィ工程においては、レチクル（又はフォトマスク等）に形成されているパターンを、投影光学系を介してレジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上に転写するために、ステッパやスキニングステッパ等の露光装置が使用されている。

20

これらの露光装置に搭載される投影光学系は、諸収差が所定の許容範囲内に収まるように組立調整が行われる。この際に、例えば歪曲収差や倍率誤差等の回転対称で、かつ低次数の収差成分が残存していても、これらの収差は投影光学系に装着されている通常の結像特性補正機構（例えば所定のレンズの光軸方向の位置や傾斜角を制御する機構）によって補正することができる。これに対して、光軸上での非点収差（以下、センターアスと言う。）のような非回転対称な収差成分が残存している場合には、従来の通常の結像特性補正機構ではその補正は困難である。

【0003】

そこで、そのような非回転対称な収差成分を補正するために、投影光学系中の所定のレンズに対して側面から非回転対称な応力を加えるようにした機構が提案されている（例えば、特許文献1参照）。また、非回転対称な収差成分を補正するために、所定のレンズを変形可能なリング内に収納し、外部からの力によってそのリングを介してそのレンズを変形させるようにした機構も提案されている（例えば、特許文献2参照）。

30

【特許文献1】特表2002-519843号公報

【特許文献1】特開2000-195788号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来のセンターアスのような非回転対称な収差成分の補正機構は、実質的に側面からの非回転対称な応力によって所定のレンズを変形させていた。そのため、応力を大きくすると、そのレンズが損傷する恐れがあった。また、側面からの応力によるレンズの変形状態の正確な予測は困難であるため、収差補正を再現性のある状態で行うことが困難であった。

40

【0005】

また、最近では、投影光学系として凹面鏡等のミラーを含む反射屈折系や反射系も開発されているが、従来の補正機構による補正対象はレンズであり、ミラーは補正対象とはされていなかった。

本発明はこのような課題に鑑み、レンズやミラー等の光学部材の損傷の恐れがなく、かつ再現性のある状態で、非回転対称な収差の補正を行うことができる光学系を提供することを目的とする。

50

【0006】

また、本発明は、その光学系を用いて非回転対称な収差の補正を再現性のある状態で行うことができる露光技術を提供することをも目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明による光学系は、光学部材(22)を有する光学系において、その光学部材から離れて配置され、その光学部材に当接可能な当接部材(27a)と、その当接部材をその光学部材に当接させる方向に駆動する第1駆動機構(28a, 26A)と、その当接部材がその光学部材に当接した後、その当接部材がその光学部材に加える力を制御する第2駆動機構(28b, 26B)とを備えたものである。

10

【0008】

本発明によれば、その当接部材によるその光学部材への力を制御することによって、その光学部材の損傷の恐れがなく、かつ再現性のある状態で、その光学部材に非回転対称で微量の弾性変形(歪)を与えることができ、これによって非回転対称な収差の補正を行うことができる。

また、本発明による露光装置は、露光ビームでパターンを照明する照明光学系と、そのパターンの像を物体上に投影する投影光学系(PL)とを有する露光装置において、その照明光学系及びその投影光学系の少なくとも一方が本発明の光学系を含むものである。

【0009】

また、本発明による結像特性の調整方法は、投影光学系の結像特性の調整方法であって、本発明の光学系を含む投影光学系(PL)の回転非対称の光学特性を計測する第1工程と、その第1工程で計測された光学特性を補正するために、その第1駆動機構によってその当接部材がその光学部材に当接した後、その第2駆動機構によってその当接部材がその光学部材に加える力を制御する第2工程とを有するものである。

20

【0010】

なお、以上の本発明の所定要素に付した括弧付き符号は、本発明の一実施形態を示す図面中の部材に対応しているが、各符号は本発明を分かり易くするために本発明の要素を例示したに過ぎず、本発明をその実施形態の構成に限定するものではない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

以下、本発明の実施形態の一例につき図面を参照して説明する。本例は、反射屈折型の投影光学系を用いて露光を行う場合に本発明を適用したものである。

30

図1は、本例の露光装置の露光本体部を示す一部を切り欠いた図であり、この図1において、本例の露光装置は、露光光源(不図示)、照明光学系ILS、投影光学系PL、レチクルステージ系、及びウエハステージ系を備えており、投影光学系PL、レチクルステージ系、及びウエハステージ系を含む露光本体部がフレーム機構によって支持されている。

【0012】

本例のフレーム機構は、床面に設置されたフレームキャストよりなるベース部材1と、ベース部材1上に設置された例えば3本(4本等でも可)の第1コラム2と、これらの第1コラム2上に防振装置3A, 3B(実際には3個又は4個配置されている)を介して設置された第2コラム4とを備えている。防振装置3A, 3Bは、エアダンパ等の機械式ダンパと、ボイスコイルモータ等の電磁式ダンパとを組み合わせた能動型の防振装置である。第2コラム4の底部には平板状の支持板部4aが設けられ、支持板部4aの中央のU字型の開口部に後述の投影光学系PLが搭載されている。

40

【0013】

そのフレーム機構の近傍に本例の露光光源(不図示)が設置されている。その露光光源は、ArFエキシマレーザ光源(発振波長193nm)であるが、その他にKrFエキシマレーザ光源(波長248nm)、F₂レーザ光源(発振波長157nm)、又は固体レーザ(YAGレーザや半導体レーザ等)の高調波発生装置等も使用できる。不図示の露光

50

光源から射出された露光用の照明光 I L は、ビームマッチングユニット（不図示）、及び照明光学系 I L S を介して、転写用のパターンが形成されたレチクル R（マスク）を均一に照明する。照明光学系 I L S は、それぞれ不図示のビーム整形光学系、オプティカル・インテグレータ（ユニフォマイザ、又はホモジナイザ）、照明系の開口絞り、リレーレンズ系、及び視野絞りの他に、第 1 コンデンサレンズ 1 1、光路折り曲げ用のミラー 1 2、及び第 2 コンデンサレンズ 1 3 を備えており、照明光学系 I L S は気密室としてのサブチャンバ 1 4 内に収納されている。

【 0 0 1 4 】

レチクル R を通過した照明光 I L は、反射屈折光学系よりなる投影光学系 P L を介して、レジストが塗布されたウエハ W（感光体）上に、レチクル R のパターンを例えば 1 / 4、1 / 5 等の倍率で縮小した像を形成する。照明光学系 I L S 内の照明光 I L 及び投影光学系 P L 内の照明光 I L の光路には、ほぼ真空紫外域の光に対して高透過率の気体（以下、「透過性ガス」と呼ぶ）であるドライエアー、窒素、又は希ガス（ヘリウム等）等が供給されている。

10

【 0 0 1 5 】

以下、本例の投影光学系 P L のレチクル R 側の光学系の光軸 A X 1 に平行に Z 軸を取り、Z 軸に垂直な平面内で図 1 の紙面に平行に Y 軸を取り、図 1 の紙面に垂直に X 軸を取って説明する。投影光学系 P L は、フランジ部 4 4 a によって支持板部 4 a に載置されており、一例としてその内部は気密化されている。また、レチクル R の載置面（X Y 平面）、及びウエハ W の載置面（X Y 平面）はほぼ水平面に合致しており、Z 軸は鉛直方向にほぼ平行である。また、本例の露光装置は走査露光型であり、走査露光時のレチクル R 及びウエハ W の走査方向は Y 方向である。

20

【 0 0 1 6 】

レチクル R は、レチクルホルダ（不図示）を介してレチクルステージ 1 5 上に保持され、レチクルステージ 1 5 はレチクルベース 1 6 上に Y 方向に一定速度で移動可能に、かつ X 方向、Y 方向、回転方向に微量変位可能な状態で載置されており、レチクルベース 1 6 は、第 2 コラム 4 上に固定されている。露光時にレチクル R のパターン領域は、X 方向に細長い矩形状（スリット状）の照明領域で照明される。レチクルステージ 1 5 の X 方向、Y 方向の位置、及び回転角はレーザ干渉計 1 7 によって計測され、この計測値及び装置全体の動作を統括制御する主制御系（不図示）からの制御情報に基いて、リニアモータ等を含む駆動装置（不図示）がレチクルステージ 1 5 を駆動する。レチクルステージ 1 5、レチクルベース 1 6、レーザ干渉計 1 7、及びその駆動装置よりレチクルステージ系が構成されている。

30

【 0 0 1 7 】

一方、ウエハ W は、ウエハホルダ 3 1 を介して、ウエハステージ 3 2 上に保持され、ウエハステージ 3 2 は、ウエハベース 3 3 上に Y 方向に一定速度で移動可能に、かつ X 方向、Y 方向にステップ移動可能に載置されており、ウエハベース 3 3 は、防振装置 3 A、3 B と同様の能動型の防振装置 3 8 A、3 8 B（実際には 3 個又は 4 個配置されている）を介してベース部材 1 上に載置されている。そして、レチクル R 上での矩形状の照明領域に光学的に対応するように、ウエハ W 上では X 方向に細長い矩形状の露光領域にレチクル R のパターン像が形成される。ウエハステージ 3 2 の X 方向、Y 方向の位置、及び回転角はレーザ干渉計 3 4 によって計測され、この計測値及び主制御系（不図示）からの制御情報に基いて、リニアモータ等を含む駆動装置（不図示）がウエハステージ 3 2 を駆動する。ウエハステージ 3 2、ウエハベース 3 3、レーザ干渉計 3 4、及びその駆動装置よりウエハステージ系が構成されている。

40

【 0 0 1 8 】

また、ウエハステージ 3 2 の内部には、ウエハ W の Z 方向の位置（フォーカス位置）と、X 軸及び Y 軸の回りの傾斜角とを調整するためのフォーカス・レベリング機構が組み込まれている。投影光学系 P L の下部側面には、ウエハ W の表面に斜めに複数のスリット像を投影する投射光学系 3 5 A と、ウエハ W からの反射光を受光してそれらのスリット像を

50

再結像して、再結像された像の横ずれ量を検出する受光光学系 35 B とから構成される斜入射方式の多点の焦点位置検出系（オートフォーカスセンサ）が設置されている。この焦点位置検出系（35 A, 35 B）で計測されるウエハ W 上の複数（3 点以上）の計測点でのフォーカス位置の情報に基いて、そのフォーカス・レベリング機構は露光中に継続してウエハ W の表面を投影光学系 P L の像面に合焦させる。投射光学系 35 A 及び受光光学系 35 B は、投影光学系 P L のフランジ部 44 a の底面に取り付けられたセンサーコラム 36 に取り付けられている。

【0019】

また、サブチャンバ 14、及び投影光学系 P L には、それぞれ不図示の給気管、及び給気管 20 A を介して不図示の気体供給装置より上記の透過性ガスが供給され、サブチャンバ 14、及び投影光学系 P L 内の気体がそれぞれ排気管 21 D、及び排気管 21 A を介して不図示の気体供給装置に回収されている。なお回収された気体の一部は不純物除去後に再びそれらの気密室に供給してもよい。これによって、ウエハ W 上での照明光 I L の照度が高く維持されるため、高いスループットが得られる。

10

【0020】

露光時には、不図示のアライメントセンサを用いてアライメントを行った後、レチクル R のパターンの一部の像を投影光学系 P L を介してウエハ W 上の一つのショット領域に投影した状態で、レチクル R とウエハ W とを Y 方向に同期走査する動作と、ウエハ W を X 方向、Y 方向にステップ移動する動作とがステップ・アンド・スキャン方式で繰り返される。これによって、ウエハ W の全部のショット領域にレチクル R のパターン像が露光される。

20

【0021】

次に、本例の投影光学系 P L の構成及びその支持方法につき詳細に説明する。

図 1 において、本例の反射屈折光学系からなる投影光学系 P L は、第 1 面に配置されたレチクル R のパターンの第 1 中間像を形成するための屈折型の第 1 結像光学系 G 1 と、凹面鏡 22 と 2 つの負屈折力のレンズ L 8, L 9 とから構成されて第 1 中間像とほぼ等倍の第 2 中間像（第 1 中間像のほぼ等倍像であってレチクルパターンの 2 次像）を形成するための第 2 結像光学系 G 2 と、第 2 中間像からの光を用いて第 2 面に配置されたウエハ W 上にレチクルパターンの最終像（レチクルパターンの縮小像）を形成するための屈折型の第 3 結像光学系 G 3 とを備えている。

30

【0022】

更に、第 1 結像光学系 G 1 と第 2 結像光学系 G 2 との間の光路中において第 1 中間像の形成位置の近傍には、第 1 結像光学系 G 1 からの光を第 2 結像光学系 G 2 に向かって偏向するための反射面 A（第 1 光路折り曲げ鏡）が配置されている。また、第 2 結像光学系 G 2 と第 3 結像光学系 G 3 との間の光路中において第 2 中間像の形成位置の近傍には、第 2 結像光学系 G 2 からの光を第 3 結像光学系 G 3 に向かって偏向するための反射面 B（第 2 光路折り曲げ鏡）が配置されている。なお、本実施形態では、反射面 A, B としては、1 つの光路折り曲げ鏡 F M に形成された 2 つの反射面が使用されている。また、第 1 中間像及び第 2 中間像は、それぞれ反射面 A と第 2 結像光学系 G 2 との間の光路中、及び第 2 結像光学系 G 2 と反射面 B との間の光路中に形成される。

40

【0023】

また、第 1 結像光学系 G 1 は Z 軸に平行な光軸 A X 1 を有し、第 3 結像光学系 G 3 の光軸は、光軸 A X 1 を延長した光軸（基準光軸）と一致するように設定されている。本例では、光軸 A X 1 は、重力方向（即ち、鉛直方向）に沿って位置決めされている。その結果、レチクル R 及びウエハ W は、重力方向と直交する面、即ち水平面に沿って互いに平行に配置されている。加えて、第 1 結像光学系 G 1 を構成する全てのレンズ及び第 3 結像光学系 G 3 を構成する全てのレンズも、基準光軸に沿って水平面に平行に配置されている。

【0024】

一方、第 2 結像光学系 G 2 の光軸 A X 2 は、光軸 A X 1（基準光軸）と直交するように設定されている。更に、光路折り曲げ鏡 F M の 2 つの反射面 A, B の交線（厳密にはその

50

仮想延長面の交線) Cにおいて、第1結像光学系G1の光軸AX1と第3結像光学系G3の光軸とが交わるように設定されている。

図1において、第1結像光学系G1は、レチクルR側から順に、レンズL2、レンズL3、レンズL4、レンズL5、レンズL6、及びレンズL7を配置して構成されている。また、レンズL2とレチクルRとの間には、投影光学系PLの内部空間の蓋の役割を果たす平行平板L1(第1結像光学系G1に含まれる)が配置されている。また、第2結像光学系G2は、光の進行往路に沿ってレチクル側(即ち入射側)から順に、負のレンズL8と、負のレンズL9と、凹面鏡22とを配置して構成されている。そして、第3結像光学系G3は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レンズL10と、レンズL11と、開口絞りASと、レンズL12と、レンズL13とを配置して構成されている。なお、投影光学系PLとしては、図1の構成の他に、例えば特開2000-47114号公報に開示されているような、互いに交差する光軸を持つ複数の光学系を持つ反射屈折系も使用できる。

10

【0025】

本例において、投影光学系PLを構成する全ての屈折光学部材(レンズ成分)の光学材料には合成石英又は螢石(CaF₂結晶)を使用している。また、光路折り曲げ鏡FMは、三角柱状の部材における2つの直交する側面(反射面)にアルミニウム等の金属膜、又は誘電体多層膜を被着することにより形成される。なお、第1及び第2光路折り曲げ鏡(反射面A、B)を1つの部材上に形成する代わりに、2つの平面鏡を互いに直交するように保持しても良い。また、凹面鏡22は、一例として炭化ケイ素(SiC)或いはSiCとケイ素(Si)とのコンジット材の反射面にアルミニウム等の金属膜、又は誘電体多層膜を被着することにより形成される。このとき、脱ガス防止のために凹面鏡22全体を炭化ケイ素等でコーティングすることが好ましい。また、凹面鏡22の材料としては、コーニング社のULE(Ultra Low Expansion:商品名)などの低膨張材料、又はベリリウム(Be)を用いても良い。ベリリウムを用いる場合には、凹面鏡22全体を炭化ケイ素等でコーティングすることが好ましい。

20

【0026】

上記のように、本例では、反射面A及びBの交線C上で、第1結像光学系G1の光軸AX1と、第2結像光学系G2の光軸AX2と、第3結像光学系G3の光軸とが一点(基準点)で交わるように設定されている。そして、反射面Aと反射面Bとは、断面が直角二等辺三角形状である三角柱状の一つの光路折り曲げ鏡FMの互いに直角となる2つの面(稜線を挟む)を構成している。その結果、3つの結像光学系G1~G3の光軸及び光路折り曲げ鏡FMの稜線を1つの基準点に関して位置決めすることが可能となるので、光学系の安定性が増し、機械設計及び光学調整が容易である。加えて、第2結像光学系G2の光軸AX2が第1結像光学系G1及び第3結像光学系G3の共通光軸(光軸AX1)と直交するように設定されているので、容易に更に高精度の光学調整が可能であり、光学系が更に高い安定性を有する。

30

【0027】

また、投影光学系PLを構成する第1結像光学系G1の平行平板L1、レンズL2~L7は、それぞれ輪帯状のレンズ枠42A、42B、42C、42D、42E、42F、42Gを介して円筒状の分割鏡筒41A、41B、41C、41D、41E、41F、41G内に保持され、分割鏡筒41A~41Gは光軸AX1に沿って気密性を保持する状態で連結されている。分割鏡筒41A~41Gの隣接する2つの分割鏡筒(以下の分割鏡筒も同様である。)は、例えば特開平7-86152号公報に開示されているように、それぞれ不図示の対向するフランジ部を3箇所以上でボルトで固定することによって連結されている。レンズ枠42A~42Gは、それぞれ平行平板L1の外周部、及びレンズL2~L7の外周部の鍔の部分複数箇所(3箇所以上)で上面と下面とを挟み込むようにして、対応する保持対象物を保持する。この場合、レンズ枠42A及び平行平板L1は、分割鏡筒41Aの上端部を気密性を保持した状態で閉じているが、その他のレンズ枠42B~42Gには上記の透過性ガスを流通させるための複数の開口が形成されている。また

40

50

、上部の分割鏡筒 4 1 B に透過性ガスを供給するための給気管 2 0 A が連結されている。

【 0 0 2 8 】

同様に、第 3 結像光学系 G 3 のレンズ L 1 0 ~ L 1 3 は、それぞれ輪帯状のレンズ枠 4 2 H , 4 2 K , 4 2 I , 4 2 J を介して円筒状の分割鏡筒 4 1 H , 4 4 , 4 1 I , 4 1 J 内に保持されている。また、開口絞り A S は、分割鏡筒 4 4 及び 4 1 I に挟まれた分割鏡筒 4 1 K 内に保持され、分割鏡筒 4 1 H , 4 4 , 4 1 K , 4 1 I , 4 1 J は気密性を保持する状態で連結されている。そして、レンズ L 1 1 を保持する分割鏡筒 4 4 にフランジ部 4 4 a が設けられ、このフランジ部 4 4 a によって投影光学系 P L が支持板部 4 a 上に載置されている。この場合、レンズ枠 4 2 J 及びレンズ L 1 3 は、分割鏡筒 4 1 J の下端部を気密性を保持した状態で閉じているが、その他のレンズ枠 4 2 H , 4 2 K , 4 2 I には透過性ガスを流通させるための複数の開口が形成されている。また、最下端の分割鏡筒 4 1 J に、投影光学系 P L の内部の気体を排気するための排気管 2 1 A が連結されている。

10

【 0 0 2 9 】

また、2つの分割鏡筒 4 1 G 及び 4 1 H の間に + Y 方向に開口が設けられた円筒状の分割鏡筒 4 3 が連結され、分割鏡筒 4 3 内の突部に保持枠 4 3 a を介して光路折り曲げ鏡 F M が固定されている。本例では、13個の分割鏡筒 4 1 A ~ 4 1 K , 4 3 , 4 4 より第 1 の部分鏡筒 7 が構成されている。

また、第 2 結像光学系 G 2 のレンズ L 8 , L 9 は、それぞれ保持枠 4 6 A , 4 6 B を介して、円筒型の分割鏡筒 4 5 , 4 1 L 内に保持され、凹面鏡 2 2 は、その裏面側が保持部材 4 8 によって保持される。凹面鏡 2 2 の裏面には、凹面鏡 2 2 の光軸を中心として、等間隔に設けられた 3 つの突出部が形成されている。分割鏡筒 4 7 は、この突出部をそれぞれ挟み込む不図示の 3 つのクランプ機構を有する。このクランプ機構は、凹面鏡 2 2 と分割鏡筒 4 7 との間に生じる応力（例えば、露光光の吸収による凹面鏡 2 2 の熱変形）を吸収するフレクシャ部材を備えている。このクランプ機構により、凹面鏡 2 2 の光学性能を良好に維持することができる。分割鏡筒 4 5 , 4 1 L , 4 7 は、光軸 A X 2 に沿って気密性を保持する状態で連結されている。この場合、分割鏡筒 4 5 の - Y 方向の先端部は、第 1 の部分鏡筒 7 の分割鏡筒 4 3 に設けられた開口を密閉するように連結されている。また、凹面鏡 2 2 を保持する保持部材 4 8 の裏面は不図示のフィルム状カバーで密閉されているとともに、保持枠 4 6 A , 4 6 B には透過性ガスを流通させるための複数の開口が形成されており、第 2 結像光学系 G 2 の光路は実質的に密閉された状態で透過性ガスが供給されている。3個の分割鏡筒 4 5 , 4 1 L , 4 7 より第 2 の部分鏡筒 8 が構成され、この部分鏡筒 8 は、第 1 の部分鏡筒 7 に対して + Y 方向に直交するように連結されている。

20

30

【 0 0 3 0 】

次に、本例の投影光学系 P L の結像特性としてのセンターアス等の非回転対称な収差を補正するための補正機構について説明する。本例の補正機構は、投影光学系 P L 中の光学部材である凹面鏡 2 2 の周縁部の複数箇所（例えば 9 箇所）で独立にそれぞれ光軸方向への微小量（例えば $\pm 100 \text{ nm}$ 程度）の歪又は非回転対称な局所的な変形を与える機構である。なお、本例の補正機構が凹面鏡 2 2 に与える歪は、あくまでも弾性変形の範囲内での加えられた力にほぼ比例する歪であり、再現性のある変形である。また、本例の投影光学系 P L の光軸 A X 1（Z 軸に平行）は鉛直線に平行であるが、その歪が与えられる凹面鏡 2 2 は横置きとされ、凹面鏡 2 2 の光軸はほぼ水平面に平行である。このように横置きの凹面鏡 2 2 に対しては、僅かの力を加えることによって容易に所望の歪を与えることができる。

40

【 0 0 3 1 】

図 1 に示すように、回転対称な凹面鏡 2 2 の側面の全周には所定幅の凸部 2 2 a が設けられる。また、凸部 2 2 a よりも反射面側の凹面鏡 2 2 の側面が分割鏡筒 4 7 の前部 4 7 a 内に収納され、保持部材 4 8 は分割鏡筒 4 7 の後部 4 7 b 内に収納されるように分割鏡筒 4 7 に固定されており、分割鏡筒 4 7 の前端部のフランジ部（不図示）が分割鏡筒 4 1 L の後端部のフランジ部（不図示）に連結されている。

【 0 0 3 2 】

50

図2は、図1中の凹面鏡22を保持する分割鏡筒47を示す斜視図であり、この図2において、凹面鏡22の裏面の9箇所に凹面鏡22の側面にそれぞれ歪を与えるための同一構成の微小量変形機構49A, 49B, 49C, 49D, 49E, 49F, 49G, 49H, 49Iが固定されている。微小量変形機構49A~49Iは、図1に示すように、保持部材48の平板部48aの外周部に設けられた取り付け面48cにそれぞれ複数のボルト(不図示)によって固定されている。

【0033】

なお、図2の例では、それぞれ3個ずつが小さい角度間隔で配置されている3組の微小量変形機構49A~49C, 49D~49F, 49G~49Iが等角度間隔で配置されている。その他に、9個の微小量変形機構49A~49Iを凹面鏡22の光軸の周りに等角度間隔で配置してもよい。また、微小量変形機構49A~49Iの個数は複数であれば何個でもよい。ただし、微小量変形機構49A~49Iが9個程度以上であると、凹面鏡22にほぼ目標とする非回転対称な歪を付与できるため、非回転対称な収差を高精度に補正できる。

10

【0034】

図3は、代表的に図2中の一つの微小量変形機構49Aを示す一部を切り欠いた図であり、この図3において、分割鏡筒47の後部内面に設けられた切り欠き部47c内に保持部材48の支持部48bが不図示のボルトによって固定され、保持部材48の取り付け面48cに微小量変形機構49Aが不図示のボルトによって固定されている。微小量変形機構49Aは、2つの支持部23a及び23bを連結した形のほぼU字型のフレーム23と、支持部23aに固定された粗動用の直動型マイクロメータ(以下、粗動マイクロメータと言う。)26Aと、支持部23bの内面の凸部23cに固定された微動用の直動型マイクロメータ(以下、微動マイクロメータと言う。)26Bと、フレーム23の内側に3個の板ばね25A, 25B, 25Cを介して凹面鏡22の光軸方向(Y方向)に移動可能に支持された可動板24と、可動板24にボルト50によって固定された荷重センサ27と、マイクロメータ26A及び26Bのそれぞれのスピンドル部26Aa及び26Baと荷重センサ27(又は可動板24でもよい)とを連結するために荷重センサ27にボルト53によって固定された連結部材28とを備えている。

20

【0035】

本例の荷重センサ27は、凹面鏡22の光軸に平行に伸びたプローブ27aと、プローブ27aに対して±Y方向に加えられる力(荷重)を検出する歪ゲージ方式のセンサ部27bとを備えたロードセルである。即ち、荷重センサ27は、±Y方向の力を検出可能な引っ張り圧縮タイプである。そして、センサ部27bで検出される信号を信号処理系55で処理することによって、プローブ27aに±Y方向に加えられる力が、一例として±150g重程度のストロークで、かつ1g重程度以下の分解能で検出される。なお、荷重センサ27によって検出される力は、プローブ27aが当接(接触)する凹面鏡22の凸部22aからの反力である。

30

【0036】

さらに、プローブ27aの先端部には、凹面鏡22の凸部22aをY方向に挟む配置でほぼU字型の先端部材29が連結されている。先端部材29の凸部22aに対向する±Y方向の部分にはそれぞれ半球型の当接部54A及び54Bが固定されている。なお、図3(以下の図5、図6も同様)では、分かり易くするために、凸部22aの厚さtに対して当接部54A及び54Bの間隔(ギャップ)gはかなり大きく表現されているが、実際には一例として厚さtに対して間隔gは0.1~0.3mm程度大きいだけである。この構成では、プローブ27aを-Y方向又は+Y方向に変位させるとそれぞれ当接部54A又は54Bが凸部22aに当接する。本例ではプローブ27a及び先端部材29から凸部22aに加えられる±Y方向への力によって凸部22aに±Y方向への歪を与え、その際の凸部22aからの反力を荷重センサ27によって検出し、信号処理系55では予め求められている係数をその反力に乗ずることによって凸部22aの変形量を求める。

40

【0037】

50

そのようにして求められた変形量（又は反力自体でもよい）は、例えば信号処理系 5 5 に備えられた表示部（不図示）に表示されるとともに、必要に応じて検出データとして不図示のデータ処理用のコンピュータに供給される。一例として、凸部 2 2 a の厚さ t は、プローブ 2 7 a からの力が 1 g 重のときに Y 方向に 1 nm 程度変形するように設定されている。この場合、プローブ 2 7 a からの力のストロークを ± 100 g 重程度とすると、凸部 2 2 a に ± 100 nm 程度の歪を与えることができる。

【0038】

また、連結部材 2 8 は、剛性の大きい板ばね部 2 8 a と剛性の小さい板ばね部 2 8 b とを含み、ボルト 5 1 及びナット 5 2 によって、前者の板ばね部 2 8 a の開放端が粗動マイクロメータ 2 6 A のスピンドル部 2 6 A a の先端に固定され、後者の板ばね部 2 8 b の開放端が微動マイクロメータ 2 6 B のスピンドル部 2 6 B a の先端に固定されている。一例として、図 4 に示すように、板ばね部 2 8 a はほぼ正方形の平板状の板ばねからなり、板ばね部 2 8 b は、板ばね部 2 8 a に比べて面積が数分の 1 程度のほぼ長方形の平板状の板ばねからなる。この結果、マイクロメータ 2 6 A 及び 2 6 B の駆動量が同じであっても、粗動マイクロメータ 2 6 A のスピンドル部 2 6 A a の Y 方向への駆動量に連動する可動板 2 4 及びプローブ 2 7 a の Y 方向への変位は、微動マイクロメータ 2 6 B のスピンドル部 2 6 B a の Y 方向への駆動量に連動する変位よりも大きくなる。

【0039】

即ち、粗動マイクロメータ 2 6 A 及び板ばね部 2 8 a から、プローブ 2 7 a を例えば Y 方向に大まかに変位させる粗動機構が構成され、微動マイクロメータ 2 6 B 及び板ばね部 2 8 b から、プローブ 2 7 a を Y 方向に狭いストローク内で高精度に変位させる微動機構が構成されている。この場合、仮に当接部 5 4 A（又は 5 4 B）が凸部 2 2 a に当接している状態では、粗動マイクロメータ 2 6 A 又は微動マイクロメータ 2 6 B の操作によって、プローブ 2 7 a から凸部 2 2 a に対する力をそれぞれ 10 g 重又は 1 g 重程度の単位で制御することができる。本例では、一例として、先端部材 2 9 の当接部 5 4 A（又は 5 4 B）が凸部 2 2 a に当接するまではその粗動機構を用いてプローブ 2 7 a を凸部 2 2 a に向けて駆動し、当接部 5 4 A（又は 5 4 B）が凸部 2 2 a に当接した後は、その微動機構を用いてプローブ 2 7 a から凸部 2 2 a に対して付与される力を制御する。これによって、凸部 2 2 a に付与する力又は歪を高精度に制御できる。

【0040】

この場合、図 2 に示すように、微小量変形機構 4 9 A ~ 4 9 I において、粗動マイクロメータ 2 6 A を含む粗動機構と、微動マイクロメータ 2 6 B を含む微動機構とは凹面鏡 2 2 の中心から半径方向に沿って配置されている。

また、本例のマイクロメータ 2 6 A 及び 2 6 B はマニュアルで操作される。ただし、マイクロメータ 2 6 A 及び 2 6 B を電動タイプとして、荷重センサ 2 7 及び信号処理系 5 5 によって検出される凸部 2 2 a の変形量（又は凸部 2 2 a からの反力）に基づいて、その検出される変形量（反力）が所定の目標値になるように閉ループ方式でマイクロメータ 2 6 A 及び 2 6 B の動作を制御してもよい。

【0041】

さらに、図 3 において、3 個の板ばね 2 5 A ~ 2 5 C のうちの 2 個の板ばね 2 5 A 及び 2 5 B は、3 重に折り畳まれた形状で可撓性が高いとともに、可動板 2 4 と支持部 2 3 b とを Y 方向に離れた 2 箇所を連結するリンク機構を構成し、他の板ばね 2 5 C は可動板 2 4 の + Y 方向の上端部と支持部 2 3 a とを連結している。支持部 2 3 b には板ばね 2 5 A との機械的な干渉を避けるための切り欠き部 2 3 d が形成されている。そのリンク機構によって、可動板 2 4 及びプローブ 2 7 a は支持部 2 3 b に平行に、すなわち Y 軸に平行に移動する。なお、図 4 に示すように、板ばね 2 5 A 及び 2 5 B にはそれぞれ微動マイクロメータ 2 6 b を通すための開口 2 5 A a 及び 2 5 B a が形成されている。さらに、分割鏡筒 4 7 には、先端部材 2 9 を通すための開口 4 7 d が形成され、保持部材 4 8 には、マイクロメータ 2 6 A 及び 2 6 B のスピンドル部 2 6 A a 及び 2 6 B a を通すための切り欠き部 4 8 f が形成されている。

10

20

30

40

50

【0042】

次に、図3の微小量変形機構49Aの組み立て方法の一例を図4の分解斜視図を参照して説明する。

図4において、フレーム23に対して板ばね25A~25Cを介して可動板24を連結した後、フレーム23の支持部23a及び23bにそれぞれ粗動マイクロメータ26A及び微動マイクロメータ26Bを装着する。また、荷重センサ27のセンサ部27bにはボルト50及び53用の4箇所(1箇所は不図示)の長穴部27c及び2箇所(1箇所は不図示)の長穴部27dが設けられている。そして、連結部材28には、板ばね部28a及び28bに対して直交するように、センサ部27bと同じ幅でアーム部28c及び28dが設けてあるとともに、板ばね部28a及び28bにはそれぞれボルト51用の開口28f及び28gが設けてあり、両者の中間位置にはプローブ27aを通すための開口28eが設けてある。また、アーム部28c、28dの先端部にはボルト53と螺合するねじ穴が設けてある。

10

【0043】

そこで、プローブ27aを連結部材28の開口28eに通した状態で、アーム部28c及び28dをセンサ部27bの側面に装着して、ボルト53を用いてアーム部28c及び28d(アーム部28d用のボルトは不図示)をセンサ部27bに固定する。そして、プローブ27aの先端部に先端部材29の連結部29aを固定する。次に、4箇所のボルト50を介してセンサ部27b(この段階では荷重センサ27及び連結部材28が一体化されている。)を可動板24に固定する。その後、ナット52を通したボルト51をそれぞれ板ばね部28a、28bの開口28f、28gに通した状態で、ボルト51をスピンドル部26Aa及び26Baのねじ穴に締め付けることによって、板ばね部28a及び28bをマイクロメータ26A及び26Bに連結する。これによって、図3の微小量変形機構49Aの組立が完了する。

20

【0044】

次に、図3の微小量変形機構49Aの使用方法の一例につき図5及び図6を参照して説明する。この場合、予め不図示の主制御系において、図1の投影光学系PLの所定の非回転対称な収差を補正するために必要な凹面鏡22の凸部22aの、微小量変形機構49Aの位置における変形量(歪量)の目標値が求められているものとする。

まず、図3において、その変形量の目標値が反射面MPの方向(-Y方向)への値(このときの符号を+とする。)である場合には、例えばオペレータは、荷重センサ27及び信号処理系55を介して凸部22aの変形量(又は凸部22aからの反力でもよい)を検出しながら、粗動マイクロメータ26Aを操作してプローブ27aを-Y方向に駆動する。そして、その検出される変形量が所定の最小検出量を超えた時点で粗動マイクロメータ26Aの操作を停止する。この状態では、図5に示すように、先端部材29において+Y方向側の当接部54Aが凸部22aに当接している。これ以降は、その検出される凸部22aの変形量が上記の目標値になるまで、オペレータは微動マイクロメータ26Bを操作してプローブ27aを-Y方向に駆動する。

30

【0045】

一方、図3において、その変形量の目標値が凹面鏡22の裏面方向(+Y方向)への値である場合には、オペレータは、荷重センサ27及び信号処理系55を介して凸部22aの変形量を検出しながら、粗動マイクロメータ26Aを操作してプローブ27aを+Y方向に駆動する。そして、その検出される変形量の絶対値が所定の最小検出量を超えた時点で粗動マイクロメータ26Aの操作を停止する。この状態では、図6に示すように、先端部材29において-Y方向側の当接部54Bが凸部22aに当接している。これ以降は、その検出される凸部22aの変形量が上記の目標値になるまで、オペレータは微動マイクロメータ26Bを操作してプローブ27aを+Y方向に駆動する。この動作によって、凸部22aに対して±Y方向への所望の変形量(歪量)を高精度に、かつ再現性のある状態で与えることができる。

40

【0046】

次に、図2の収差の補正機構を用いてセンターアスを補正する動作の一例につき説明す

50

る。その前提として、図 1 において、投影光学系 P L のセンターアスを計測するには、図 8 (A) の拡大図に示すように、X 方向及び Y 方向に所定ピッチで配列されたライン・アンド・スペースパターン（以下、「L / S パターン」と言う。）6 0 X 及び 6 0 Y が形成されたテストレチクルを、図 1 のレチクル R の代わりにレチクルステージ 1 5 上にロードする。そして、ウエハステージ 3 2 上にはレジストの塗布された未露光のウエハ W をロードする。次に、図 8 (A) の L / S パターン 6 0 X 及び 6 0 Y の中心をほぼ図 1 の投影光学系 P L の露光中心に移動して、ウエハステージ W S T によってウエハ W の Z 方向の位置を次第に変えて、かつ X 方向及び Y 方向へのステップ移動を行いながら、ウエハ W 上の一連のショット領域に投影光学系 P L を介して L / S パターン 6 0 X 及び 6 0 Y の像を露光する。次に、そのウエハ W の現像を行って、L / S パターン 6 0 X の像が最も高い解像度で転写されるときウエハ W のフォーカス位置 F 1 と、L / S パターン 6 0 Y の像が最も高い解像度で転写されるときウエハ W のフォーカス位置 F 2 とを求めると、その差分（ $= F 1 - F 2$ ）がセンターアスとなる。

10

【 0 0 4 7 】

そのセンターアスが所定の許容範囲を超えている場合には、図 1 の投影光学系 P L の瞳面 P L P 付近の光学部材（例えば凹面鏡 2 2）上では、図 8 (B) の波面 6 1 で示すように、本来は同心円状となる波面（例えば物体面上の 1 点から出た光の波面）が、例えば X 方向に細長い楕円状となる。なお、図 8 (B) の Y 方向は図 1 の Z 方向に対応している。そこで、その波面をほぼ同心円状に戻すために、本例では凹面鏡 2 2 を変形させる。

【 0 0 4 8 】

図 7 は、その凹面鏡 2 2 を示し、収差補正を行わない状態では、凹面鏡 2 2 は回転対称な形状を維持している。これに対して、図 8 (B) のような収差を補正するためには、一例として図 7 において、3 箇所微小量変形機構 4 9 A , 4 9 E , 4 9 I によって凸部 2 2 a を - Y 方向に変形させて、凹面鏡 2 2 を非回転対称に僅かに変形させる。これによって、図 8 (B) に示すセンターアスのような非回転対称な収差を補正できる。

20

【 0 0 4 9 】

また、例えば予め微小量変形機構 4 9 A ~ 4 9 I による凹面鏡 2 2 の凸部 2 2 a の Y 方向への変位を種々に変えた状態で、例えば図 8 (A) の計測用パターンを用いてセンターアス等の収差の発生量の計測を行っておくことで、実際の収差補正時には、その収差の発生量から微小量変形機構 4 9 A ~ 4 9 I による凸部 2 2 a の Z 方向への必要な変形量を求めることもできる。従って、投影光学系 P L の非回転対称な収差を微小量変形機構 4 9 A ~ 4 9 I によって迅速に補正することができる。このように投影光学系 P L の非回転対称な収差の補正を行うことによって、その後の露光工程では、レチクルのパターンを高精度にウエハ上に転写することができる。

30

【 0 0 5 0 】

また、投影光学系 P L の非回転対称な収差は、例えばレチクル R の照明領域が非回転対称であることや、2 極照明等の瞳面での光量分布が非回転対称となる照明条件でも発生することがある。このような場合に、微小量変形機構 4 9 A ~ 4 9 I （マイクロメータ 2 6 A 及び 2 6 B）を駆動モータで駆動することによって、露光中に発生する非回転対称な収差を補正することも可能となる。

40

【 0 0 5 1 】

次に、上記の実施形態の構成及びその作用の一部をまとめると以下の通りである。

1) 図 1 の投影光学系 P L 中の凹面鏡 2 2 には、図 3 に示すように、凹面鏡 2 2 に当接できるように離れて配置されたプローブ 2 7 a と、プローブ 2 7 a を凹面鏡 2 2 に当接させる方向に駆動する粗動マイクロメータ 2 6 A を含む粗動機構と、プローブ 2 7 a の先端の当接部 5 4 A 又は 5 4 B が凹面鏡 2 2 の凸部 2 2 a に当接した後、プローブ 2 7 a が凸部 2 2 a に加える力を制御する微動マイクロメータ 2 6 B を含む微動機構とが設けられている。従って、凸部 2 2 a に加える力を高精度に制御できるとともに、凸部 2 2 a は弾性変形するだけであり、その変形は再現性があるとともに、凸部 2 2 a については凹面鏡 2 2 が損傷する恐れは実質的にない。従って、再現性のある状態で、非回転対称な収差の補正

50

を行うことができる。

【0052】

2) プローブ27aには凹面鏡22からの反力を計測するセンサ部27bが設けられている。従って、凸部22aに加える力をモニタしながらその力を制御することによって、凸部22aの変形量を高精度に制御できる。

なお、センサ部27bを設けることなく、例えば粗動マイクロメータ26A及び26Bの駆動量から凸部22aからの反力、ひいては凸部22aの変形量を概算で求めることも可能である。

【0053】

3) センサ部27bは歪ゲージ方式のセンサであるため、荷重センサ27をコンパクトにまとめることができ、凹面鏡22の周囲に多数の微小量変形機構49A等を容易に配置できる。 10

なお、荷重センサ27の検出方式としては、歪ゲージ方式の他に、シリコン基板の歪を検出する方式や、圧電素子を用いる方式等も用いることができる。

【0054】

4) 凹面鏡22上のプローブ27aが当接する部位は凹面鏡22の周縁部の凸部22aにあり、プローブ27aの先端部にはその凸部22aを挟むように配置される当接部54A及び54Bを設けた先端部材29が固定されている。従って、凸部22aに対して±Y方向の力を与えることが可能であり、収差補正を高精度に行うことができる。

なお、先端部材29を省略してプローブ27aの先端を直接凸部22a又は凹面鏡の周縁部の裏面に当接させるようにしてもよい。この場合には、荷重センサ27としては、+Y方向への反力のみを検出できる圧縮タイプを使用できる。 20

【0055】

5) 上記の実施形態の粗動機構は、プローブ27a(荷重センサ27)に一端が固定された板ばね部28aの他端を変位させる粗動マイクロメータ26Aを有し、微動機構は、プローブ27a(荷重センサ27)に一端が固定されてその板ばね部28aに比べて剛性の小さい板ばね部28bの他端を変位させる微動マイクロメータ26Bを有しており、板ばね部28a及び28bを介してプローブ27aを容易に駆動できる。

【0056】

なお、マイクロメータ26A及び26Bの代わりに、カム機構やラック・ピニオン機構等の他の変位機構を用いることができる。また、板ばね28a及び28bの剛性を異ならしめるために、大きさとともに、又は大きさは同じで厚さを変えてもよい。 30

6) 図3において、プローブ27a(荷重センサ27)は支持部23bに対して板ばね25A、25Bよりなるリンク機構で連結されているため、プローブ27aを支持部23b、ひいては凹面鏡22の光軸に平行に移動させることができる。従って、凹面鏡22の凸部22aに常に光軸に平行な力を再現性のある状態で付与できる。

【0057】

7) 図1の凹面鏡22は回転対称であり、図2に示すように、微小量変形機構49A~49Iにおいて、粗動マイクロメータ26Aを含む粗動機構と、微動マイクロメータ26Bを含む微動機構とは凹面鏡22の中心から半径方向に沿って配置されている。この配置によって、多数の微小量変形機構49A~49Iを凹面鏡22に対してコンパクトに配置することができる。この構成において、粗動マイクロメータ26Aを内側に配置し、微動マイクロメータ26Bを外側に配置してもよいことは言うまでもない。 40

【0058】

ただし、補正対象の光学部材の形状は非回転対称でもよい。

8) 凹面鏡22の周縁部の複数箇所に微小量変形機構49A~49Iを配置することによって、種々の非回転対称な収差を補正できる。

9) 図1の露光装置では、投影光学系PL内の凹面鏡22に微小量変形機構49A~49Iからの力が与えられている。従って、投影光学系PLの非回転対称な収差を補正できる。

【0059】

なお、例えば投影光学系 PL の瞳面の近傍の複数枚のレンズ（又はこれらとともに凹面鏡 22 を含めてもよい）の少なくとも 1 つの周縁部の変位分布を上記の実施形態の補正機構で独立に制御することで、より高精度に非回転対称な収差を補正することも可能である。また、投影光学系 PL の物体面又は像面の近傍の光学部材の周縁部の変位分布を制御することも可能であり、これによって、種々の非回転対称な収差の補正を行うことが可能である。

【0060】

また、本発明は、照明光学系（又は照明光学系及び投影光学系）中のレンズ又はミラーの変位分布を制御する場合にも適用可能である。

10) 図 1 の投影光学系 PL は、鉛直方向に実質的に平行な光軸を持つ第 1 の部分鏡筒 7 と、部分鏡筒 7 に交差する光軸を持つ第 2 の部分鏡筒 8 とを持ち、補正機構によって力が付与される光学部材は第 2 の部分鏡筒 8 内に配置された凹面鏡 22 である。即ち、凹面鏡 22 は横置きであるため、微小量変形機構 49A ~ 49I から加える小さい力で所望の僅かな変形を与えることができる。

【0061】

なお、変形対象の光学部材は、縦置き（光軸が鉛直方向）でもよい。

11) 上記の実施形態の結像特性の調整方法は、投影光学系 PL の回転非対称の結像特性を計測する工程と、その工程で計測された結像特性を補正するために、粗動機構によってプローブ 27a（先端部材 29）が凹面鏡 22 に当接した後、微動機構によってプローブ 27a（先端部材 29）が凹面鏡 22 に加える力を制御する工程とを有している。従って、その結像特性を高精度に補正できる。

【0062】

なお、上述の実施形態の露光装置は、複数のレンズ及びミラーから構成される照明光学系、投影光学系を露光装置本体に組み込み光学調整をして、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより製造することができる。なお、その露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0063】

また、上記の実施形態の露光装置を用いて半導体デバイスを製造する場合、この半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、このステップに基づいてレチクルを製造するステップ、シリコン材料からウエハを形成するステップ、上記の実施形態の投影露光装置によりアライメントを行ってレチクルのパターンをウエハに露光するステップ、エッチング等の回路パターンを形成するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、及び検査ステップ等を経て製造される。

【0064】

なお、本発明は、ステッパーのような一括露光型の露光装置や、例えば国際公開（WO）第 99/49504 号などに開示される液浸型露光装置の投影光学系の収差補正を行う場合にも適用することができる。また、本発明は、波長数 nm ~ 100 nm 程度の極端紫外光（EUV 光）を露光ビームとして用いる露光装置の投影光学系の収差補正を行う場合にも適用できる。

【0065】

また、本発明は、半導体デバイス製造用の露光装置への適用に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに形成される液晶表示素子、若しくはプラズマディスプレイ等のディスプレイ装置用の露光装置や、撮像素子（CCD 等）、マイクロマシーン、薄膜磁気ヘッド、及び DNA チップ等の各種デバイスを製造するための露光装置にも広く適用できる。更に、本発明は、各種デバイスのマスクパターンが形成されたマスク（フォトマスク、レチクル等）をフォトリソグラフィ工程を用いて製造する際の、露光工程（露光装置）にも適用することができる。なお、本発明は上述の実施形態に限定されず、本発明の

10

20

30

40

50

要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

【産業上の利用可能性】

【0066】

本発明を露光装置に適用した場合には、非回転対称な収差の補正を迅速に行うことができ、各種パターンを高精度に基板上に転写することができ、微細パターンを持つデバイスを高精度に製造できる。

【図面の簡単な説明】

【0067】

【図1】本発明の実施形態の一例の露光装置の本体部を示す一部を切り欠いた図である。

【図2】図1中の凹面鏡22に装着された微量変形機構49A~49Iを示す斜視図である。 10

【図3】図2中の微量変形機構49Aを示す一部を切り欠いた図である。

【図4】図3の微量変形機構49Aを示す分解斜視図である。

【図5】図3において、+Y方向の当接部54Aを凹面鏡22に当接させた状態を示す要部の図である。

【図6】図3において、-Y方向の当接部54Bを凹面鏡22に当接させた状態を示す要部の図である。

【図7】非回転対称な収差補正を行う際の凹面鏡22の変形状態の一例を示す斜視図である。

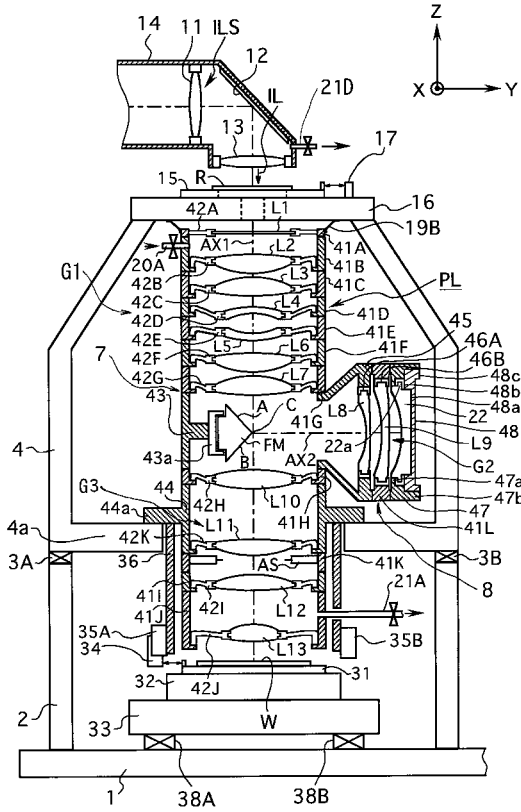
【図8】(A)はセンターアス計測用のパターンの一例を示す拡大平面図、(B)は投影光学系の瞳面上での波面収差の一例を示す図である。 20

【符号の説明】

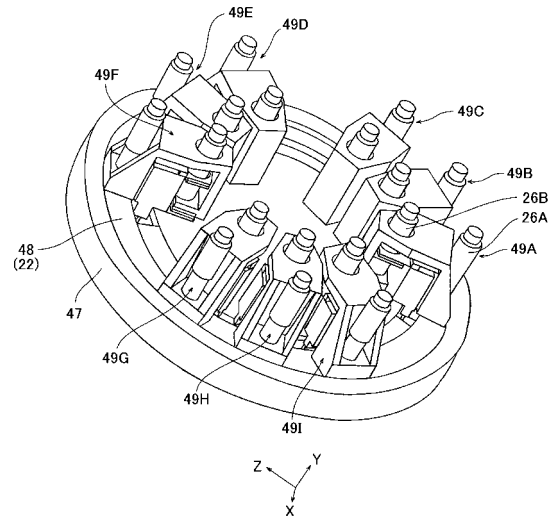
【0068】

R... レチクル、W... ウエハ、I L S... 照明光学系、P L... 投影光学系、7... 第1の部分鏡筒、8... 第2の部分鏡筒、22... 凹面鏡、23... フレーム、24... 可動板、25A, 25B... 板ばね、26A, 26B... マイクロメータ、27... 荷重センサ、27a... プロープ、28... 連結部材、28a, 28b... 板ばね部、29... 先端部材、47... 分割鏡筒、48... 保持部材、49A~49I... 微量変形機構、54A, 54B... 当接部

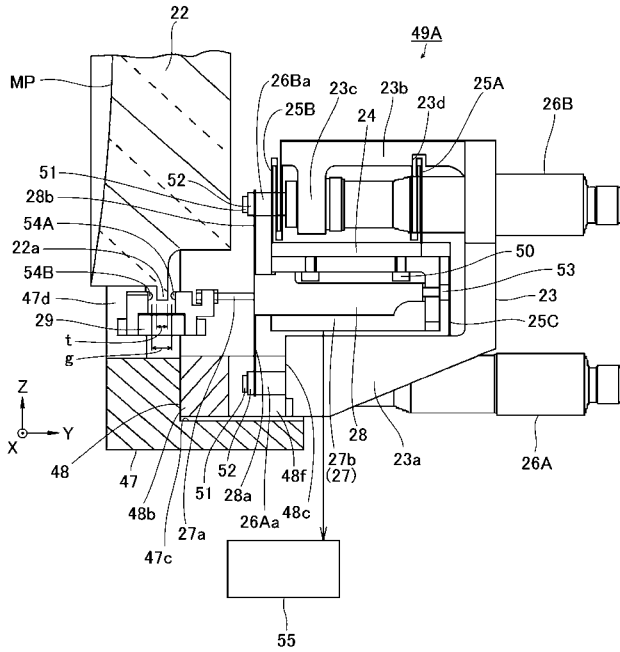
【 図 1 】



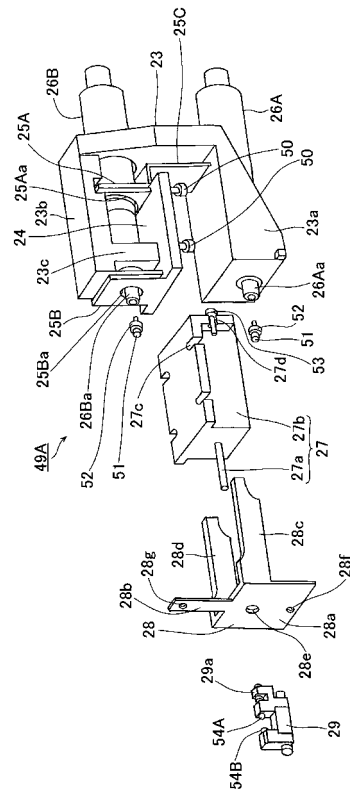
【 図 2 】



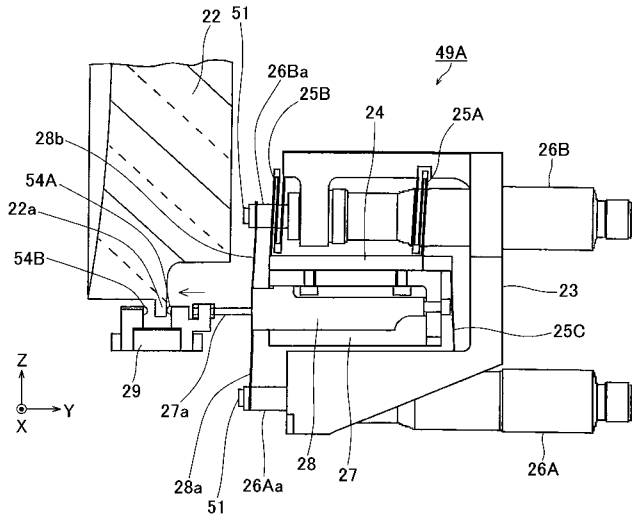
【 図 3 】



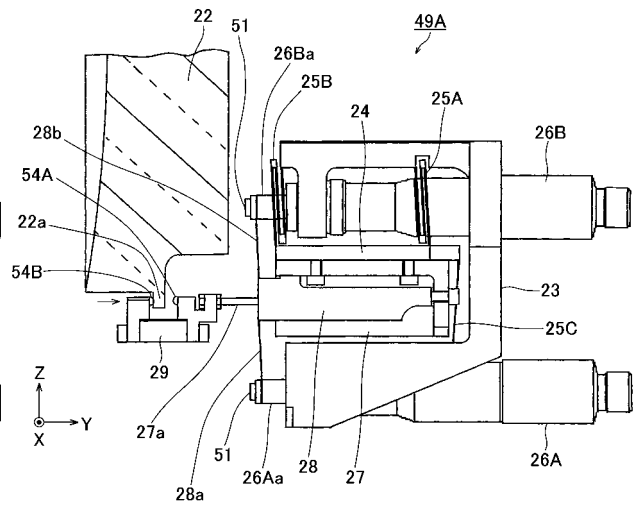
【 図 4 】



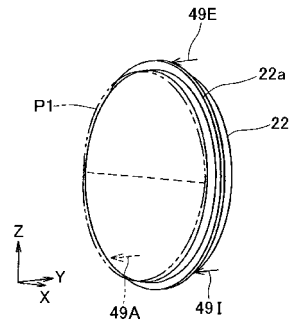
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

