

(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2013-161992

(P2013-161992A)

(43) 公開日 平成25年8月19日(2013.8.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 L 21/027 (2006.01)	H O 1 L 21/30 5 1 6 A	2 H O 4 2
G O 3 F 7/20 (2006.01)	H O 1 L 21/30 5 1 5 D	5 F 1 4 6
G O 2 B 5/10 (2006.01)	G O 3 F 7/20 5 2 1	
	G O 2 B 5/10 B	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2012-23554 (P2012-23554)
(22) 出願日 平成24年2月6日 (2012.2.6)

(71) 出願人 000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区有楽町1丁目12番1号
(74) 代理人 100098165
弁理士 大森 聡
(72) 発明者 川原 英隆
東京都千代田区有楽町一丁目12番1号
株式会社ニコン内
Fターム(参考) 2H042 DD09 DD10 DD13 DE04
5F146 BA03 CB03 CB12 CB45 DA13
DB01 DB05 DB06 DC08 DC12

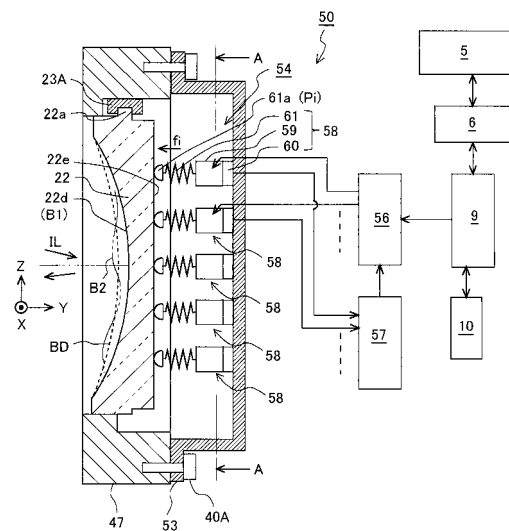
(54) 【発明の名称】 変形可能な反射光学素子、光学系、及び露光装置

(57) 【要約】

【課題】 簡単な機構を用いて反射部材の反射面を種々の形状に容易に変形可能とする。

【解決手段】 照明光 I L を反射するデフォーマブルミラー 5 0 であって、照明光 I L を反射する反射面 2 2 d を有するミラー要素 2 2 と、ミラー要素 2 2 の周辺部の保持部 2 2 a を保持するホールドブロック 2 3 A と、ミラー要素 2 2 の反射面 2 2 d の裏面 2 2 e に対して裏面 2 2 e に向かう方向の力を与えて、その裏面 2 2 e に向かう方向に関する第 1 位置と第 2 位置との間で反射面 2 2 d を変形させる複数の駆動ユニット 5 8 と、を備え、駆動ユニット 5 8 から裏面 2 2 e に対して裏面 2 2 e に向かう方向の力が付与されていないときに、反射面 2 2 d はその第 2 位置にある。

【選択図】 図 2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光を反射する変形可能な反射光学素子であって、
光を反射する反射面を有する反射部材と、
前記反射部材の周辺部を保持する保持部と、
前記反射部材の前記反射面の裏面に対して所定方向の力を与えて、前記所定方向に関する第 1 位置と第 2 位置との間で、前記反射面を変形させる少なくとも一つの駆動部と、を
備え、
前記駆動部から前記裏面に対して前記所定方向の力が付与されていないとき、前記反射面は前記第 2 位置にあることを特徴とする変形可能な反射光学素子。

10

【請求項 2】

前記反射部材は、弾性変形可能な材料で形成され、
前記所定方向の力は、前記裏面に向かう方向の力であり、
前記第 2 位置は、前記反射面の変形可能範囲のうち、前記所定方向に関する前記第 1 位置よりも前記裏面側にあることを特徴とする請求項 1 に記載の変形可能な反射光学素子。

【請求項 3】

前記駆動部から前記裏面に対して前記所定方向の力が付与されていないときに、前記反射部材の前記反射面は非球面形状を有することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の変形可能な反射光学素子。

【請求項 4】

前記駆動部から前記裏面に対して前記所定方向の力が付与されていないときに、前記反射部材の前記反射面は、前記裏面側に凹となるように形成されていることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の変形可能な反射光学素子。

20

【請求項 5】

前記駆動部は、前記反射部材の前記裏面に接触可能に配置された凸状部材と、前記凸状部材を前記裏面側に付勢するアクチュエータとを有することを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の変形可能な反射光学素子。

【請求項 6】

前記駆動部は、前記反射部材の前記裏面側に格子状に複数個配置されていることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載の変形可能な反射光学素子。

30

【請求項 7】

前記所定方向の力は、前記裏面に向かう方向の力であり、
前記反射部材の周辺部に、前記裏面に向かう方向の力とは反対方向の力を付与する少なくとも一つの予圧部を備えることを特徴とする請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載の変形可能な反射光学素子。

【請求項 8】

前記予圧部は、前記反射部材の側面に設けられた凸部に前記反対方向の力を付与することを特徴とする請求項 7 に記載の変形可能な反射光学素子。

【請求項 9】

複数の光学素子を含む光学系において、
請求項 1 から請求項 8 のいずれか一項に記載の変形可能な反射光学素子を備え、
前記光学系の収差に応じて前記駆動部を介して前記反射光学素子の前記反射部材の前記反射面の変形量が制御されることを特徴とする光学系。

40

【請求項 10】

露光光でパターンを照明し、前記露光光で前記パターン及び投影光学系を介して基板を露光する露光装置において、

請求項 9 に記載の光学系を備えることを特徴とする露光装置。

【請求項 11】

前記光学系は前記投影光学系であることを特徴とする請求項 10 に記載の露光装置。

【請求項 12】

50

請求項 10 又は請求項 11 に記載の露光装置を用いて基板上に感光層のパターンを形成することと、

前記パターンが形成された前記基板を処理することと、を含むデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、変形可能な反射光学素子、この反射光学素子を有する光学系、及びこの光学系を備える露光装置に関する。さらに本発明は、露光装置を用いるデバイス製造方法に関する。

【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、又は空間光変調器等で生成されるパターンを、投影光学系を介してフォトレジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）の表面に転写するために、ステッパ等の一括露光型の露光装置、又はスキャニングステッパ等の走査露光型等の露光装置等が使用されている。

【0003】

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及び／又はミラー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。

【0004】

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、投影光学系が備えるミラーの側面の凸部をアクチュエータで微小量変形させることによって、そのミラーの反射面の形状を変形させるようにした補正機構が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。この補正機構によれば、比較的小さい力でその反射面を変形させることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2007-266511 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従来の非回転対称な収差成分の補正機構は、ミラー側面の凸部を機械的に変形させていたため、その凸部の変形量とミラーの反射面の変形量との関係が複雑で、その反射面を目標とする形状に高精度に変形させるのが困難であるとともに、その反射面を種々の複雑な形状に変形させるのが困難であった。

また、従来の補正機構は、ミラー側面の凸部に反射面側に向かう正の最大荷重と反射面の裏面側に向かう負の最大荷重との間で、可変の荷重を付与する機構であったため、補正機構が複雑であった。

【0007】

本発明の態様は、このような事情に鑑み、簡単な機構を用いて反射部材の反射面を種々の形状に容易に変形可能とすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の第 1 の態様によれば、光を反射する変形可能な反射光学素子が提供される。この反射光学素子は、光を反射する反射面を有する反射部材と、その反射部材の周辺部を保

10

20

30

40

50

持する保持部と、その反射部材のその反射面の裏面に対して所定方向の力を与えて、前記所定方向に関する第1位置と第2位置との間で、前記反射面を変形させる少なくとも一つの駆動部と、を備え、その駆動部からその裏面に対してその所定方向の力が付与されていないとき、その反射面は、その第2位置にあるものである。

【0009】

また、第2の態様によれば、複数の光学素子を含む光学系が提供される。この光学系は、第1の態様の変形可能な反射光学素子を備え、その光学系の非回転対称な収差に応じてその駆動部を介してその反射光学素子のその反射部材のその反射面の変形量が制御されるものである。

また、第3の態様によれば、露光光でパターンを照明し、その露光光でそのパターン及び投影光学系を介して基板を露光する露光装置において、第2の態様の光学系を備える露光装置が提供される。

【0010】

また、第4の態様によれば、第3の態様の露光装置を用いて基板上に感光層のパターンを形成することと、そのパターンが形成されたその基板を処理することと、を含むデバイス製造方法が提供される。

【発明の効果】

【0011】

本発明の態様によれば、駆動部から反射部材の反射面の裏面に対して与える所定方向の力を変化させることで、その反射面をその第1位置と第2位置との間で変形させることができる。従って、簡単な機構を用いてその反射面を種々の形状に容易に変形可能である。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】実施形態の一例の露光装置の本体部を示す断面図である。

【図2】図1中のデフォーミブルミラーを示す断面図である。

【図3】図2のA-A線に沿う断面図である。

【図4】(A)は図2のミラーの反射面を理想面に設定した状態を示す断面図、(B)は反射面を変形可能な最も外側に設定した状態を示す断面図、(B)は反射面を変形可能な最も内側に設定した状態を示す断面図である。

【図5】ミラー裏面の入力荷重と圧縮コイルばねの変位との関係を示す図である。

【図6】(A)は、圧縮コイルばねの端部の変位とミラー反射面の変形量との関係を示すブロック図、(B)は図6(A)と等価なブロック図、(C)は図6(B)中の入力荷重とミラー反射面の変形量との関係を示すブロック図、(D)は図6(C)と等価なブロック図である。

【図7】変形例のデフォーミブルミラーを示す断面図である。

【図8】図7のA-A線に沿う断面図である。

【図9】(A)は予圧ばねがあるときのミラー反射面の変形量の分布を示す図、(B)は予圧ばねがないときのミラー反射面の変形量の分布を示す図である。

【図10】半導体デバイスの製造工程の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の実施形態の一例につき図1～図6を参照して説明する。

図1は、本実施形態の露光装置EXの露光本体部を示す。露光装置EXは、一例としてスキニングステッパー（スキナー）よりなる走査露光型の投影露光装置である。図1において、露光装置EXは、露光用の照明光IL（露光光）を発生する露光光源（不図示）と、照明光ILでレチクルR（マスク）を照明する照明光学系ILS（図1ではこの一部のみが表れている）と、レチクルRのパターンの像をウエハW（基板）の表面に形成する投影光学系PLとを備えている。さらに、露光装置EXは、レチクルRを保持して移動するレチクルステージ15と、ウエハWを保持して移動するウエハステージ32と、装置全体の動作を統括的に制御するコンピュータよりなる主制御系5（図2参照）とを備えて

いる。

【0014】

以下、投影光学系 P L のレチクル R 側の部分光学系（後述の第 1 結像光学系 G 1）の光軸 A X 1 に平行に Z 軸を取り、Z 軸に垂直な平面（本実施形態ではほぼ水平面）内で図 1 の紙面に平行に Y 軸を、図 1 の紙面に垂直に X 軸を取って説明する。走査露光時のレチクル R 及びウエハ W の走査方向は Y 軸に平行な方向（Y 方向）であり、レチクル R のパターン面及びウエハ W の表面は X Y 面にほぼ平行である。また、X 軸、Y 軸、及び Z 軸に平行な軸の回りの回転方向（傾斜方向）を θ_x 方向、 θ_y 方向、及び θ_z 方向とも呼ぶ。

【0015】

まず、投影光学系 P L、レチクルステージ 1 5、及びウエハステージ 3 2 を含む露光本体部は、フレーム機構によって支持されている。そのフレーム機構は、床面に設置されたフレームキャスタよりなるベース部材 1 と、ベース部材 1 の上面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 の上面に例えば能動型の防振装置 3 A、3 B（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。第 2 コラム 4 の底部に設けられた平板状の支持板部 4 a の中央の U 字型の開口部に投影光学系 P L が搭載されている。

【0016】

そのフレーム機構の近傍に設置された露光光源（不図示）は、A r F エキシマレーザ光源（発振波長 1 9 3 n m）であるが、その他に K r F エキシマレーザ光源（波長 2 4 8 n m）、又は固体レーザ（Y A G レーザ若しくは半導体レーザ等）の高調波発生装置等も使用できる。その露光光源から射出された照明光 I L は、照明光学系 I L S に入射する。照明光学系 I L S は、レチクル R のパターン面（下面）の X 方向（非走査方向）に細長いスリット状の照明領域を照明光 I L によりほぼ均一な照度分布で照明する。

【0017】

サブチャンバ 1 4 内に配置された照明光学系 I L S は、例えば米国特許出願公開第 2 0 0 3 / 0 2 5 8 9 0 号明細書などに開示されるように、空間光変調器又は回折光学素子等を含む光量分布設定機構（不図示）、オプティカルインテグレータ（フライアイレンズ又はロッドインテグレータなど）等を含む照度均一化光学系（不図示）、レチクルブラインド等の可変視野絞り（不図示）、並びにレンズ 1 1、1 3 及びミラー 1 2 を含むコンデンサ光学系等を含んでいる。また、通常照明、2 極照明、4 極照明、又は輪帯照明等の照明条件に応じて、その光量分布設定機構が、照明光学系 I L S 内の瞳面（不図示）における照明光 I L の光量分布を、光軸を中心とする円形領域、光軸を挟む 2 つの領域、光軸を挟む 4 つの領域、又は輪帯状の領域等でそれぞれ大きい光量となる分布に切り換える。

【0018】

レチクル R を通過した照明光 I L は、投影光学系 P L を介して、フォトリジスト（感光剤）が塗布された円板状の基板であるウエハ（半導体ウエハ）W の表面の一つのショット領域の X 方向に細長い露光領域に、レチクル R の照明領域内のパターンを投影倍率 β （例えば 1 / 4、1 / 5 等）で縮小した像を形成する。本実施形態の投影光学系 P L は反射屈折光学系である。投影光学系 P L は、フランジ部 4 4 a によって架台 4 a に載置されている。照明光学系 I L S 及び投影光学系 P L の照明光 I L の光路はほぼ気密化され、これらの光路には、ほぼ真空紫外域の光に対して高透過率の気体（以下、「ページガス」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、供給用の配管 2 0 A 等及び排気用の配管 2 1 A、2 1 D 等を介して供給されている。

【0019】

また、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 の上面に保持され、レチクルステージ 1 5 はレチクルベース 1 6 の X Y 面に平行な上面に、Y 方向に一定速度で移動可能に、かつ X 方向、Y 方向、 θ_z 方向に変位可能な状態で載置されている。レチクルベース 1 6 は、第 2 コラム 4 の上端に固定されている。レチクルステージ 1 5 の少なくとも X 方向、Y 方向の位置、及び θ_z 方向の回転角はレーザ干渉計 1 7 によって計測され、この計測値及び主制御系 5 からの制御情報に基づいて、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 15 を駆動する。

【0020】

一方、ウェハ W は、ウェハホルダ（不図示）を介してウェハテーブル 31 の上面に保持され、ウェハテーブル 31 はウェハステージ 32 の上面に固定されている。ウェハステージ 32 は、ウェハベース 33 の X Y 面に平行な上面に 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いる。ウェハベース 33 は、能動型の防振装置 38 A、38 B 等を介してベース部材 1 上に載置されている。ウェハステージ 32 の少なくとも X 方向、Y 方向の位置、及び θ_z 方向の回転角はレーザ干渉計 34（又はエンコーダ装置等）によって計測され、この計測値及び主制御系 5 からの制御情報に基づいて、リニアモータ等を含む駆動装置（不図示）がウェハステージ 32 を駆動する。

10

【0021】

また、ウェハステージ 32 の内部には、ウェハテーブル 31（ウェハ W）の Z 方向の位置（フォーカス位置）と、 θ_x 方向及び θ_y 方向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 の下部側面に配置された投射光学系 35 A と受光光学系 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）によって計測されるウェハ W の複数の計測点でのフォーカス位置の情報に基づいて、そのフォーカス・レベリング機構は、露光中に継続してウェハ 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。

20

【0022】

また、ウェハテーブル 31 の上部に、例えば米国特許第 6,573,997 号明細書等で開示されているシアリング干渉方式又はポイント・ディフラクション・干渉方式（PDI 方式）の波面収差計測装置 39 が設けられている。波面収差計測装置 39 によって計測される投影光学系 P L の波面収差の情報は図 2 の結像特性制御系 6 に供給される。結像特性制御系 6 では、通常の露光時には、例えば照明光 I L の積算エネルギー等に基づいて、投影光学系 P L の波面収差の変動量を逐次予測している。

【0023】

露光時には、不図示のアライメント系を用いてレチクル R 及びウェハ W のアライメントを行った後、ウェハステージ 32 を X 方向、Y 方向にステップ移動することで、ウェハ W の露光対象のショット領域が露光領域の手前に移動する。その後、レチクル R の照明領域内のパターンの投影光学系 P L による像でウェハ W の当該ショット領域を露光しつつ、レチクルステージ 15 及びウェハステージ 32 を介してレチクル R とウェハ W とを Y 方向に投影光学系 P L の投影倍率を速度比として同期移動する走査露光が行われる。そのステップ移動と走査露光とをステップ・アンド・スキャン方式で繰り返すことによって、ウェハ W の全部のショット領域にレチクル R のパターンの像が露光される。

30

【0024】

次に、本実施形態の投影光学系 P L の構成等につき詳細に説明する。図 1 において、反射屈折光学系からなる投影光学系 P L は、レチクル R のパターンの第 1 中間像を形成する屈折型の第 1 結像光学系 G 1 と、凹面鏡よりなるミラー要素 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 中間像を形成する第 2 結像光学系 G 2 と、第 2 中間像からの光を用いてウェハ W 上にレチクル R のパターンの最終像を形成する屈折型の第 3 結像光学系 G 3 と、デフォーダブルミラー 50 と、を備えている。デフォーダブルミラー 50 は、ミラー要素 22 を含み、ミラー要素 22 の反射面の形状を制御可能である。さらに、投影光学系 P L 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反射面 A と、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反射面 B とが形成された光路折り曲げ鏡 F M を備えている。第 1 中間像及び第 2 中間像は、それぞれほぼ反射面 A と第 1 結像光学系 G 1 との間、及び反射面 B と第 3 結像光学系 G 3 との間に形成される。

40

【0025】

50

また、第1結像光学系G1及び第3結像光学系G3はZ軸に平行な光軸AX1を有し、第2結像光学系G2の光軸AX2は、光軸AX1と直交するように、かつY軸に平行に設定されている。更に、光路折り曲げ鏡FMの2つの反射面A、Bの交線（厳密にはその仮想延長面の交線）Cで光軸AX1と光軸AX2とが交差している。

第1結像光学系G1は、レチクルR側から順に、平行平板L1、レンズL2、L3、L4、L5、L6、L7を配置して構成されている。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及びL9と、ミラー要素22とを配置して構成されている。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、L11と、開口絞りASと、レンズL12、L13とを配置して構成されている。開口絞りASの配置面は投影光学系PLの瞳面又はその近傍の面であり、ミラー要素22の反射面22dは、投影光学系PLの瞳面とほぼ共役である。なお、投影光学系PLの構成は任意である。

【0026】

本実施形態において、投影光学系PLを構成する全ての屈折光学素子（レンズ成分）の光学材料には合成石英又は蛍石（ CaF_2 結晶）を使用している。また、光路折り曲げ鏡FM及びミラー要素22は、一例としてコーニング社のULE（Ultra Low Expansion:商品名）などの超低膨張率のガラス材料、又はショット社のゼロデュア（Zerodur:商品名）などの低膨張率のガラスセラミックス材料から形成できる。例えばULEを用いる場合のミラー要素22のヤング率（ほぼ67.6GPa）は鉄鋼の1/3程度であり、ポアソン比（ほぼ0.17）は鉄鋼の1/2程度であり、ミラー要素22では同じ荷重（応力）に対して鉄鋼の3倍程度の弾性変形がある。これらの材料の反射面は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。また、ミラー要素22の材料としてベリリウム（Be）等の金属を用いても良い。ベリリウムを用いる場合には、ミラー要素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。

【0027】

また、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例えば対向するフランジ部（不図示）をボルト（不図示）で固定して連結されている。レンズ枠42B～42G等には上記のパージガスを流通させるための複数の開口が形成されている（以下同様）。

【0028】

同様に、第3結像光学系G3のレンズL10、L11、L12、L13は、それぞれ輪帯状のレンズ枠42H、42K、42I、42Jを介して円筒状の分割鏡筒41H、44、41I、41J内に保持されている。開口絞りASは、分割鏡筒44、41Iに挟まれた分割鏡筒41K内に保持され、分割鏡筒41H、44、41K、41I、41Jは気密性を保持する状態で連結されている。そして、分割鏡筒44にフランジ部44aが設けられている。分割鏡筒41G、41H間に+Y方向に開口が設けられた円筒状の分割鏡筒43が連結され、分割鏡筒43内の突部に保持枠43aを介して光路折り曲げ鏡FMが固定されている。分割鏡筒41A～41K、43、44より第1の部分鏡筒7が構成されている。

【0029】

また、図2の結像特性制御系6の制御のもとで、例えばレンズ枠42A～42Eを駆動して、平行平板L1、レンズL2～L5をZ方向、 θ_x 方向、 θ_y 方向に微動することによって、投影光学系PLのディストーション及びコマ収差等の回転対称で比較的低次の収差を補正する回転対称な結像特性補正機構（不図示）が設けられている。このような回転対称な結像特性補正機構としては、例えば米国特許出願公開第2006/244940号明細書に開示されている機構を使用可能である。

【0030】

また、第2結像光学系G2のレンズL8、L9は、それぞれ保持枠46A、46Bを介

10

20

30

40

50

して、円筒型の分割鏡筒 4 5, 4 1 L 内に保持され、ミラー要素 2 2 を含むデフォーマブルミラー 5 0 は、分割鏡筒 4 1 L に連結されて保持されている。デフォーマブルミラー 5 0 は、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及び高次の収差を含む波面収差を補正するための補正機構でもある。本実施形態では、その波面収差をツェルニケ(Zernike)多項式の係数(以下、ツェルニケ係数 z_i という)で表すものとする。図 2 の結像特性制御系 6 は、通常の露光時には、予測される投影光学系 P L の結像特性の変動量のうち、回転対称で比較的低次の収差を除く波面収差(例えば 5 次～8 1 次のツェルニケ係数 z_i で表される収差)の情報を図 2 の収差制御系 9 に供給する。収差制御系 9 では、その波面収差を補正するようにデフォーマブルミラー 5 0 のミラー要素 2 2 の反射面 2 2 d を変形させる。収差制御系 9 には、デフォーマブルミラー 5 0 を駆動するための情報が記憶された記憶装置 1 0 が連結されている。

10

【0031】

デフォーマブルミラー 5 0 は、ミラー要素 2 2 がホールドブロック 2 3 を介して収納された円筒状の分割鏡筒 4 7 と、分割鏡筒 4 7 の +Y 方向の開口を覆うように分割鏡筒 4 7 の端面 4 7 b に固定されたハウジング 5 3 と、ハウジング 5 3 の内面に設けられてミラー要素 2 2 の反射面 2 2 d を変形させる荷重付与系 5 4 と、を備えている。なお、分割鏡筒 4 7 は、分割鏡筒 4 1 L に連結される。

【0032】

図 2 に示すように、荷重付与系 5 4 は、ミラー要素 2 2 の裏面 2 2 e の複数の作用点 P_i ($i = 1 \sim n$; n は 2 以上の整数)に裏面 2 2 e から反射面 2 2 d の方向(-Y 方向)に向かう可変の荷重 f_i ($f_i \geq 0$)を付与する複数の駆動ユニット 5 8 を有する。複数の駆動ユニット 5 8 は、互いに同じ構成である。複数の駆動ユニット 5 8 の +Y 方向の端部はハウジング 5 3 の内面に固定され、ハウジング 5 3 は複数のボルト 4 0 A を介して分割鏡筒 4 7 に固定されている。複数の駆動ユニット 5 8 の -Y 方向の端部はミラー要素 2 2 の裏面 2 2 e に離脱可能な状態で接触している。また、図 2 の A A 線に沿う断面図である図 3 に示すように、外形がほぼ円柱状のミラー要素 2 2 の側面に、等角度間隔で 3 箇所の凸形状の保持部 2 2 a, 2 2 b, 2 2 c が形成されている。保持部 2 2 a, 2 2 b, 2 2 c のそれぞれは、ホールドブロック 2 3 A, 2 3 B, 2 3 C に保持されており、ホールドブロック 2 3 A, 2 3 B, 2 3 C は、分割鏡筒 4 7 の内面に固定されている。ミラー要素 2 2 は、3 つのホールドブロック 2 3 A ~ 2 3 C によってキネマティックに安定に支持されている。なお、ホールドブロック 2 3 A ~ 2 3 C は、図 1 では代表的に一つのホールドブロック 2 3 で表されている。

20

30

【0033】

また、一例として、荷重付与系 5 4 の複数の駆動ユニット 5 8 は、ミラー要素 2 2 の裏面 2 2 e にほぼ均等に格子状に配置された複数の作用点 P_i (図 3 では 19 個の作用点 $P_1 \sim P_{19}$)に荷重を付与するように配置されている。一例として、中央の作用点 P_{10} は、光軸 A X 2 上に位置している。なお、例えば中央の作用点 P_{10} の代わりに、Z 方向に離れて配置された 2 つの作用点を用いることによって、作用点 P_i (駆動ユニット 5 8)を偶数(例えば 20 個)とすることもできる。なお、作用点 P_i (駆動ユニット 5 8)の個数及び配置は任意である。

40

【0034】

図 2 において、作用点 P_i に荷重を与える駆動ユニット 5 8 は、ハウジング 5 3 の内面に一端が固定されたロードセル等の荷重センサ 6 0 と、荷重センサ 6 0 の他端に固定されて Y 方向に伸縮可能な駆動素子 5 9 と、駆動素子 5 9 の先端部に一端が固定された圧縮ばね 6 1 とを有する。例えば、この圧縮ばね 6 1 は、剛性の高い、例えば鉄鋼又はステンレス等の金属製の圧縮コイルばねで形成してもよい。圧縮ばね 6 1 の他端には、ミラー要素 2 2 の裏面 2 2 e の作用点 P_i に接触する半球状の金属製の接触部 6 1 a が設けられている。なお、接触部 6 1 a としては、平面部で裏面 2 2 e に接触する部材を使用してもよい。また、駆動素子 5 9 としては、ピエゾ素子又は超音波モータ等が使用できる。

【0035】

50

荷重センサ 60 は、駆動ユニット 58 によってハウジング 53 からミラー要素 22 の裏面 22 e に向けて -Y 方向に付与される荷重の情報を含む検出信号を検出信号処理系 57 に供給する。検出信号処理系 57 では、荷重センサ 60 の検出信号から各作用点 P_i の荷重を求め、このようにして求めた荷重の情報を駆動素子制御系 56 に供給する。駆動素子制御系 56 では、各作用点 P_i の荷重が収差制御系 9 に設定される目標値になるように対応する駆動ユニット 58 の駆動素子 59 の伸縮量を制御する。

【0036】

収差制御系 9 は、結像特性制御系 6 から供給される補正対象の波面収差（ミラー要素 22 の反射面 22 d の n 個の位置での目標変形量の情報）及び記憶装置 10 に記憶されているミラー要素 22 のヤング率及びポアソン比（弾性係数）の情報から、反射面 22 d に対応する裏面 22 e の作用点 P_i における -Y 方向への荷重の目標値を計算する。収差制御系 9 は、計算した荷重の目標値の情報を駆動素子制御系 56 に供給する。これによって、反射面 22 d の形状は例えば理想面 BD を含む変形可能範囲内の任意の面 B2 の近傍に設定可能である。この場合、全体としてのミラー要素 22 の反射面の変形の自由度は n であり、各自由度で変形可能範囲の任意の変形量を設定できる。

【0037】

なお、本実施形態の理想面 BD とは、図 1 の第 1 及び第 3 結像光学系 G_1 、 G_3 及び第 2 結像光学系 G_2 （ここではミラー要素 22 を除く部分）が実質的に無収差である場合に、投影光学系 PL を実質的に無収差とするために必要なミラー要素 22 の反射面 22 d の面形状を表している。また、本実施形態では、反射面 22 d の変形可能範囲はその理想面 BD を中心としているため、理想面 BD は中立面でもある。本実施形態においてその変形可能範囲とは、例えば照明光 IL の照射エネルギーの積算値によって投影光学系 PL の結像特性が変化するとき、経験的又は計算上でその結像特性の変化を補正（相殺）するために必要なミラー要素 22 の反射面 22 d の形状の弾性変形による可変範囲を含むものである。

【0038】

本実施形態では、図 4（C）に示すように、全部の駆動ユニット 58 からミラー要素 22 の裏面 22 e に対して -Y 方向への荷重 f_i が付与されていない状態（全部の $f_i = 0$ の状態）では、ミラー要素 22 の反射面 22 d が、変形可能範囲で最も裏面 22 e に近い方向の位置にある下限面 B1 に合致するように、予めミラー要素 22 の反射面 22 d は理想面 BD に対応して凹面に形成されている。本実施形態では、下限面 B1 の形状は非球面である。すなわち、ミラー要素 22 は、反射面 22 d が理想面 BD に対して、凹んだ状態の非球面加工が施されている。

【0039】

そして、例えば露光を開始した直後で、投影光学系 PL の結像特性が目標とする状態からほとんど変化していない状態では、図 4（A）に示すように、荷重付与系 54 の全部の駆動ユニット 58 においてミラー要素 22 の裏面 22 e に対して -Y 方向に向かう荷重 f_i をそれぞれ可変範囲内の中央の値 $S_i / 2$ に設定する。これによって、ミラー要素 22 の反射面 22 d はほぼ理想面 BD に合致するように弾性変形するため、投影光学系 PL の結像特性は目標とする状態に維持される。

【0040】

その後、露光継続中に、照明光 IL の照射エネルギーの積算によって投影光学系 PL の結像特性が大きく変化して、例えば波面収差が光軸付近で正の最大値になるように均一に増大した状態では、図 4（B）に示すように、荷重付与系 54 の全部の駆動ユニット 58 において裏面 22 e に対して -Y 方向に向かう荷重 f_i をそれぞれ可変範囲内の最大値 S_i に設定する。これに対応して、ミラー要素 22 の反射面 22 d は弾性変形によって変形可能範囲内で最も裏面 22 e から離れた方向の位置にある上限面 B3 の近傍に変形し、ミラー要素 22 における波面収差が負になるため、投影光学系 PL の結像特性は目標とする状態に維持される。

【0041】

一方、例えば波面収差が光軸付近で負の最大値になるように均一に減少した状態では、図4 (C) に示すように、荷重付与系54の全部の駆動ユニット58において裏面22eに対して-Y方向に向かう荷重 f_i をそれぞれ可変範囲内の最小値(=0)付近に設定する。これに対応して、ミラー要素22の反射面22dは、弾性変形の復元力によって変形可能範囲内で最も裏面22eに近い下限面B1の近傍の形状に戻り、ミラー要素22における波面収差が正になるため、投影光学系PLの結像特性は目標とする状態に維持される。そして、荷重付与系54の全部の駆動ユニット58から裏面22eに付与する-Y方向の荷重を独立に制御することによって、ミラー要素22の反射面22dの形状を下限面B1と上限面B3との間の任意の面B2の近傍に設定することができ、これによって常に投影光学系PLの結像特性を目標とする状態に維持できる。

10

【0042】

ここで、予めミラー要素22の反射面22dの形状を変形可能範囲内の下限面B1に形成しておくことにより、複数の駆動ユニット58から裏面22eに-Y方向に可変の荷重を与えることで、反射面22dを下限面B1以上の任意の形状に弾性変形できることにつき、図5～図6 (D) を参照して説明する。まず、図2のミラー要素22及び複数の駆動ユニット58を図5に示すように簡略化して示す。図5において、ミラー要素22の*i*番目($i=1\sim n$)の作用点に関して、駆動ユニット58の圧縮コイルばね61のばね定数を k_i 、圧縮コイルばね61の入力変位を x_i 、圧縮コイルばね61による裏面22e(作用点)の変位を y_i 、駆動ユニット58による裏面22eに対する荷重を f_i とする。また、このときに各作用点に対応するミラー要素22の反射面22dの各点における-Y方向への変形量の分布をツェルニケ係数 z_i を用いて表すものとする、反射面22dの面変形量は次の*m*個のツェルニケ係数 z_i ($i=1\sim m$) のベクトル $\langle z \rangle$ で表すことができる。なお、例えばツェルニケ係数 $z_1\sim z_{81}$ を使用する場合には、 $m=81$ である。

20

【0043】

$$\langle z \rangle = \begin{pmatrix} z_1 \\ \vdots \\ z_m \end{pmatrix} \quad \cdots(10)$$

30

また、入力変位のベクトル $\langle x \rangle$ 、作用点の変位のベクトル $\langle y \rangle$ 、作用点に対する荷重のベクトル $\langle f \rangle$ 、及びばね定数の*n*行×*n*列の行列*K*を次のように定義する。

【0044】

$$\langle x \rangle = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \quad \cdots(11A), \quad \langle y \rangle = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} \quad \cdots(11B)$$

40

$$\langle f \rangle = \begin{pmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{pmatrix} \quad \cdots(11C), \quad K = \begin{pmatrix} k_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & k_n \end{pmatrix} \quad \cdots(11D)$$

このとき、荷重 $f_i = k_i (x_i - y_i)$ であるため、荷重のベクトル $\langle f \rangle$ は次のように

50

表される。

$$\langle f \rangle = K (\langle x \rangle - \langle y \rangle) \quad \cdots (12)$$

また、裏面 22e の荷重のベクトル $\langle f \rangle$ と、作用点の変位のベクトル $\langle y \rangle$ 及び反射面 22d の変形量の分布を表すツェルニケ係数のベクトル $\langle z \rangle$ との関係を、 n 行 $\times$ n 列の行列 Rfy 及び m 行 $\times$ n 列の行列 Rfz を用いて次のように表す。行列 Rfz において行数を表す m は使用するツェルニケ係数の項数を表しており、例えば $m = 81$ である。

【0045】

$$\langle y \rangle = Rfy \langle f \rangle \quad \cdots (13A), \quad \langle z \rangle = Rfz \langle f \rangle \quad \cdots (13B)$$

式 (12)、式 (13A)、及び式 (13B) の関係は、図 5 に対応する図 6 (A) のブロック図で表すことができる。図 6 (A) において、減算部 70 からの差分 ($\langle x \rangle - \langle y \rangle$) に乗算部 72A で行列 K が乗算されて荷重のベクトル $\langle f \rangle$ が求められ、ベクトル $\langle f \rangle$ には乗算部 72B 及び 72C でそれぞれ行列 Rfy 及び Rfz が乗算される。

【0046】

図 6 (A) から次の関係が得られる。

$$\langle f \rangle = K \langle x \rangle - K \cdot Rfy \langle f \rangle \quad \cdots (14A)$$

この式を変形すると次のようになる。

$$K \langle x \rangle = (En + K \cdot Rfy) \langle f \rangle \quad \cdots (14B)$$

なお、式 (14B) 中の n 行 $\times$ n 列の行列 En は単位行列である。そして、式 (14B) を変形すると次式が得られる。

【0047】

$$\langle f \rangle = (En - K \cdot Rfy)^{-1} K \langle x \rangle = Rxf \langle x \rangle \quad \cdots (15A)$$

$$\text{ただし、} Rxf = (En - K \cdot Rfy)^{-1} \quad \cdots (15B)$$

式 (15A) を用いると、図 6 (A) は図 6 (B) のように書き直すことができる。図 6 (B) において、乗算部 72D はベクトル $\langle x \rangle$ に行列 Rxf を乗算する。

図 6 (B) において、必要とされる面変形量のベクトル $\langle z \rangle$ を得るために、荷重のベクトル $\langle f \rangle$ を 0 以上の成分 Δf_i (0 又は裏面 22d を押す力) のみを持つ押し込み成分のベクトル $\langle \Delta f \rangle$ と、予め反射面の形状を下限面にしておくための負の成分 (裏面 22d をハウジング 53 側に引き込む成分) を持つオフセット成分のベクトル $\langle f_{\text{offset}} \rangle$ とに分けると、図 6 (B) のベクトル $\langle f \rangle$ からベクトル $\langle z \rangle$ を求める部分は図 6 (C) のように書き直すことができる。図 6 (C) において、加算部 74 では仮想的に次の演算が行われる。

【0048】

$$\langle f \rangle = \langle f_{\text{offset}} \rangle + \langle \Delta f \rangle \quad \cdots (16A)$$

$$\text{ただし、} \Delta f_i \geq 0, \quad i = 1 \sim n \quad \cdots (16B)$$

さらに、図 6 (C) の乗算部 72C を図 6 (D) のそれぞれ行列 Rfz を乗算する 2 つの乗算部 72C1, 72C2 に分けると、図 6 (C) は図 6 (D) のように変形できる。図 6 (D) において、ベクトル $\langle f_{\text{offset}} \rangle$ による反射面 22d のオフセットの変形量を示すベクトルは $\langle z_{\text{offset}} \rangle$ であり、ベクトル $\langle \Delta f \rangle$ による反射面 22d の変形量のベクトルは $\langle \Delta z \rangle$ である。本実施形態では、ミラー要素 22 の反射面 22d には、予めオフセットの変形量を示すベクトル $\langle z_{\text{offset}} \rangle$ に対応する変形が施されている。このため、荷重付与系 54 によってミラー要素 22 の裏面 22e に裏面 22e を押す方向の荷重分布を与えるだけで、反射面 22d に任意の変形を与えることができる。

【0049】

本実施形態の効果等は以下の通りである。

本実施形態のデフォーマブルミラー 50 は、照明光 IL を反射する反射面 22d を有する凹面鏡よりなるミラー要素 22 と、ミラー要素 22 の周辺部である側面の凸の保持部 22a ~ 22c を保持するホールドブロック 23A ~ 23C と、ミラー要素 22 の反射面 22d の裏面 22e に、裏面 22e に向かう方向 ($-Y$ 方向) の荷重 (力) を与えて、その裏面 22e に向かう方向に関する上限面 B3 (第 1 位置) と下限面 B1 (第 2 位置) との間で、反射面 22d を変形させる複数の駆動ユニット 58 と、を備えている。そし、駆動

10

20

30

40

50

ユニット 58 から裏面 22e に裏面 22e に向かう方向の力が付与されていないときに、反射面 22d は下限面 B1 にある。

【0050】

本実施形態によれば、駆動ユニット 58 からミラー要素 22 の裏面 22e に裏面 22e に向かう方向に付与される荷重を変化させることで、反射面 22d を下限面 B1 と上限面 B3 との間（変形可能範囲内）の種々の位置に変形させることができる。従って、簡単な構成の駆動ユニット 58 を用いて反射面 22d を種々の形状に容易に変形可能である。さらに、駆動ユニット 58 の個数を多くすることで、ミラー要素 22 の反射面 22d をより多くの様々な形状に容易に変形可能である。

【0051】

また、ミラー要素 22 は、弾性変形可能な材料で形成され、駆動ユニット 58 は -Y 方向の力を付与し、下限面 B1 は、変形可能範囲のうち、-Y 方向に関して上限面 B3 よりも裏面 22e 側にある。従って、駆動ユニット 58 から -Y 方向に向かう荷重（一方向の力）を制御するだけで、反射面 22d を変形可能範囲の任意の位置に変形できる。

なお、本実施形態では、反射面 22d を変形させるために、駆動ユニット 58 から裏面 22e に裏面 22e に向かう荷重を付与している。これとは逆に、反射面 22d を変形させるために、駆動ユニット 58 と同様の駆動ユニットから裏面 22e に反射面 22d から裏面 22e に向かう方向（+Y 方向）の可変の荷重を付与してもよい。この場合には、その駆動ユニットからの荷重が裏面 22e に加わっていない状態で、反射面 22d が変形可能範囲内の最も -Y 方向側の上限面 B3 に一致するように、反射面 22d を加工しておけばよい。この場合にも、一方向の荷重を付与すればよいので、駆動ユニットの構成が簡素化できる。

【0052】

また、駆動ユニット 58 はそれぞれ荷重センサ 60 を備え、荷重センサ 60 によって荷重を直接計測しているため、この計測結果に基づいてミラー要素 22 の裏面 22e の作用点に目標とする荷重を正確に加えることができる。本実施形態では、各駆動ユニット 58 から裏面 22e に向かう荷重（一方向に向かう荷重）だけを計測すればよいので、ロードセルのような荷重センサ 60 によって容易に荷重を計測できる。

【0053】

なお、荷重センサ 60 の代わりに、ハウジング 53 に対する駆動素子 59 の先端部の Y 方向の変位を計測する変位センサ（例えば光学式、静電容量式、又は渦電流方式等のセンサ）を設け、この変位センサの計測値と圧縮ばね 61 の既知のばね定数とから荷重を計算してもよい。

さらに、例えば予め駆動ユニット 58 の駆動素子 59 の伸縮量と荷重との関係をおくことによって、荷重センサ 60 等を省略することも可能である。また、ミラー要素 22 の裏面 22e には駆動素子 59 の先端を直接接触させることも可能である。

【0054】

また、ミラー要素 22 の裏面 22e には例えば 20 個程度の駆動ユニット 58 が設けられているため、ミラー要素 22 の反射面 22d の変形の自由度が高い。なお、ミラー要素 22 の裏面 22e には一つの駆動ユニット 58 を設けるだけでもよい。

また、本実施形態の投影光学系 PL は、レンズ L8、L9 及びミラー要素 22（複数の光学素子）を含む反射屈折光学系において、それらの光学素子のうちのミラー要素 22 の反射面を変形可能なデフォーマブルミラー 50 を備えている。従って、投影光学系 PL の結像特性の変動量（例えば非回転対称な収差及び高次の収差等）を補正するように、デフォーマブルミラー 50 によってミラー要素 22 の反射面を変形させることによって、投影光学系 PL の結像特性を常に目標とする状態に維持できる。

【0055】

また、本実施形態の露光装置 EX は、照明光 IL（露光光）でレチクル R のパターンを照明し、照明光 IL でそのパターン及び投影光学系 PL を介してウエハ W（基板）を露光する露光装置において、投影光学系 PL はデフォーマブルミラー 50 を備えている。従っ

10

20

30

40

50

て、投影光学系 P L の結像特性を常に目標とする状態に高精度に維持できるため、レチクル R のパターンの像を高精度にウエハ W の各ショット領域に露光できる。

【0056】

なお、上述の実施形態では、ミラー要素 22 の周辺部は 3 箇所ではールドブロック 23 A ~ 23 C によって保持されている。この他の構成として、図 7 及び図 7 の A A 線に沿う断面図である図 8 に示す変形例のデフォーマブルミラー 50 A のように、ミラーの周辺部で所定の予圧を付与してもよい。なお、図 7 及び図 8 において、図 2 及び図 3 に対応する部分には同一の符号を付してその詳細な説明を省略する。

【0057】

図 7 において、デフォーマブルミラー 50 A は、反射面 22 A d を有し、厚さがほぼ均一な凹面鏡よりなるミラー要素 22 A と、ミラー要素 22 A の側面に等角度間隔で 3 箇所に設けられた凸形状の保持部 22 A a, 22 A b, 22 A c (図 8 参照) を分割鏡筒 47 内で保持するホルドブロック 23 A, 23 B, 23 C と、ミラー要素 22 A の裏面 22 A e に -Y 方向の荷重を付与する複数の駆動ユニット 58 よりなる荷重付与系 54 と、を有する。この変形例のミラー要素 22 A の裏面 22 A e は反射面 22 A d に沿って湾曲しているため、複数の駆動ユニット 58 の接触部 61 a と接触する裏面 22 A e にはほぼ X Z 面に平行な切り欠き部 22 A f が形成されている。これによって、接触部 61 a は裏面 22 A e に安定に接触できる。

【0058】

また、図 8 において、ミラー要素 22 A の側面の保持部 22 A a, 22 A b 間に凸部 63 A が形成され、保持部 22 A b, 22 A c 間に 2 箇所の凸部 63 B, 63 C が形成され、保持部 22 A c, 22 A a 間に 2 箇所の凸部 63 D, 63 E が形成されている。そして、図 7 に示すように、ミラー要素 22 A の凸部 63 A と分割鏡筒 47 との間に、凸部 63 A に対して反射面 22 A d から裏面 22 A e に向かう (+Y 方向の) 一定の荷重を付与するための圧縮コイルばね (以下、予圧ばねという。) 64 A が配置されている。なお、説明の便宜上、図 7 における凸部 63 A と保持部 22 A a との位置関係は図 8 の正しい位置関係とは異なっている。

【0059】

また、図 8 に示すように、ミラー要素 22 A の側面の他の凸部 63 B ~ 63 E と分割鏡筒 47 との間にも、それぞれ凸部 63 B ~ 63 E に対して反射面 22 A d から裏面 22 A e に向かう一定の荷重を付与するための圧縮コイルばね (以下、予圧ばねという。) 64 B ~ 64 E が配置されている。5 個の予圧ばね 64 A ~ 64 E から対応する凸部 63 A ~ 63 E に +Y 方向に付与される荷重を $p f_j$ ($j = 1 \sim 5$) とすると、5 個の荷重 $p f_j$ は個別に最適化された値である。一例として、予圧ばね 64 A ~ 64 E から対応する凸部 63 A ~ 63 E に付与される荷重は、荷重付与系 54 の複数の駆動ユニット 58 からミラー要素 22 A の裏面 22 A e に付与される荷重と方向が逆である。

【0060】

このようにこの変形例のデフォーマブルミラー 50 A はミラー要素 22 A の側面の凸部 63 A ~ 63 E に +Y 方向への荷重を与える予圧ばね 64 A ~ 64 E を有する。この他の構成は図 2 のデフォーマブルミラー 50 と同様である。図 7 の変形例によれば、荷重付与系 54 からミラー要素 22 A の裏面 22 A e に -Y 方向への荷重 f_i が付与されていない場合の、ミラー要素 22 A の反射面 22 A d の理想面 B D に対する変形量を小さくできる。言い換えると、反射面 22 A d の理想面 B D に対する非球面加工量を低減させることができ、ミラー要素 22 A の製造が容易になる。

【0061】

具体的に、図 8 の駆動ユニット 58 の個数が 20 個である場合に、ミラー要素 22 A の 5 個の凸部 63 A ~ 63 E に予圧ばね 64 A ~ 64 E によって与える荷重をほぼ $4 k g f$ 、 $0.6 k g f$ 、 $5 k g f$ 、 $5 k g f$ 、 $0.6 k g f$ としたときの、ミラー要素 22 A の反射面の非球面加工量を図 9 (A) に示す。図 9 (A) において、照明光 I L の波長 λ を用いて、等厚線の間隔はほぼ 0.001λ の高さの差に相当しており、非球面加工量の RM

10

20

30

40

50

S(root mean square)はほぼ 0.15λ であり、非球面加工量の高低差はほぼ 0.76λ である。

【0062】

これに対して、駆動ユニット58の個数が20個である場合の、図2のミラー要素22の反射面の非球面加工量を図9(B)に示す。図9(B)において、等厚線の間隔はほぼ 0.001λ の高さの差に相当しており、非球面加工量のRMSはほぼ 1.4λ であり、非球面加工量の高低差はほぼ 7.17λ である。従って、予圧ばね64A~64Eを設けることによって、ミラー要素22Aの反射面に対する非球面加工量をミラー要素22の場合に対して例えば $1/10$ 程度に大幅に低減させることができる。

【0063】

なお、この変形例では5個の予圧ばね64A~64Eを設けているが、予圧ばねの個数は任意であり、例えば1個の予圧ばね64Aを設けるだけでもよい。さらに、予圧ばね64A~64Eは圧縮コイルばねであるが、予圧ばね64A~64Eとしては板ばね等を使用することもできる。

また、予圧ばね64A~64Eによって荷重を与える位置は、例えばミラー要素22Aの側面に近い(周辺部の)反射面22Ad又は裏面22Aeであってもよい。

【0064】

次に、上記の実施形態の露光装置EXを用いて半導体デバイス(電子デバイス)を製造する場合、この半導体デバイスは、図10に示すように、デバイスの機能・性能設計を行うステップ221、この設計ステップに基づいてマスク(レチクル)を製作するステップ222、デバイスの基材である基板(ウエハ)を製造するステップ223、露光装置EXによりレチクルのパターンをレジストが塗布された基板(感光基板)に露光する工程、露光した基板を現像してレジストパターンを形成する工程、現像した基板の加熱(キュア)及びエッチング工程などを含む基板処理ステップ224、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、パッケージ工程などの加工プロセスを含む)225、並びに検査ステップ226等を経て製造される。

【0065】

言い換えると、このデバイスの製造方法は、上記の実施形態の露光装置を用いて基板(ウエハ)上に感光層のパターンを形成することと、そのパターンが形成された基板を処理すること(ステップ224)とを含んでいる。この製造方法によれば、その露光装置では非回転対称な収差を含む諸収差を低減できるため、微細パターンを有するデバイスを高精度に製造できる。

【0066】

なお、本発明は、例えば米国特許出願公開第2007/242247号明細書、又は欧州特許出願公開第1420298号明細書等に開示されてい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、走査型の露光装置のみならず、一括露光型の露光装置(ステッパー等)等にも適用することができる。

また、本発明は、波長数 $nm\sim 100nm$ 程度の極端紫外光(EUV光)を露光光として用いる投影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。露光光としてEUV光を用いる場合には、投影光学系は特定のフィルタ等を除いて複数のミラー(凹面鏡、凸面鏡、平面鏡等)から構成されるため、上記の実施形態のデフォーダブルミラー50、50Aと同様のデフォーダブルミラーは、その複数のミラーのうちの少なくとも1枚のミラーを保持するために使用可能である。

【0067】

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(フォトリソグラフィ工程)を用いて製造する際の、露光装置にも適用す

10

20

30

40

50

ることができる。

【0068】

なお、本発明は上述の実施形態に限定されず、本発明の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。

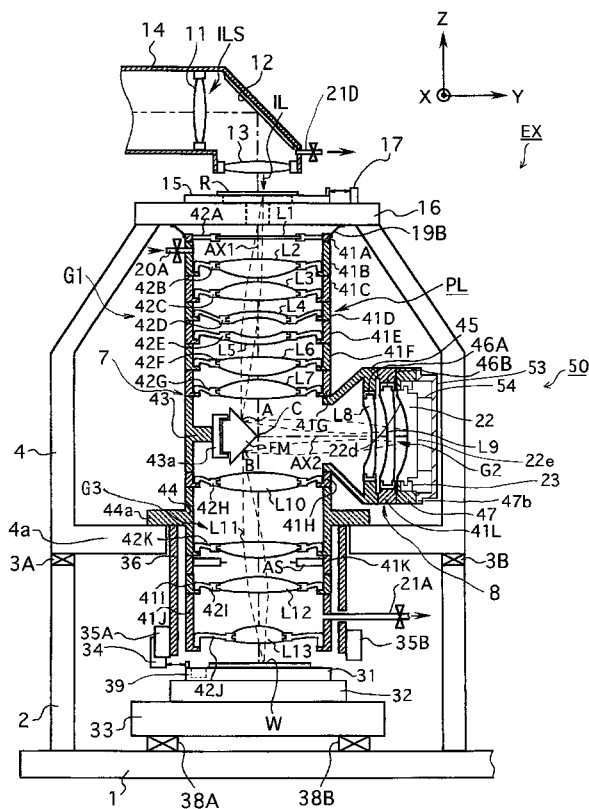
【符号の説明】

【0069】

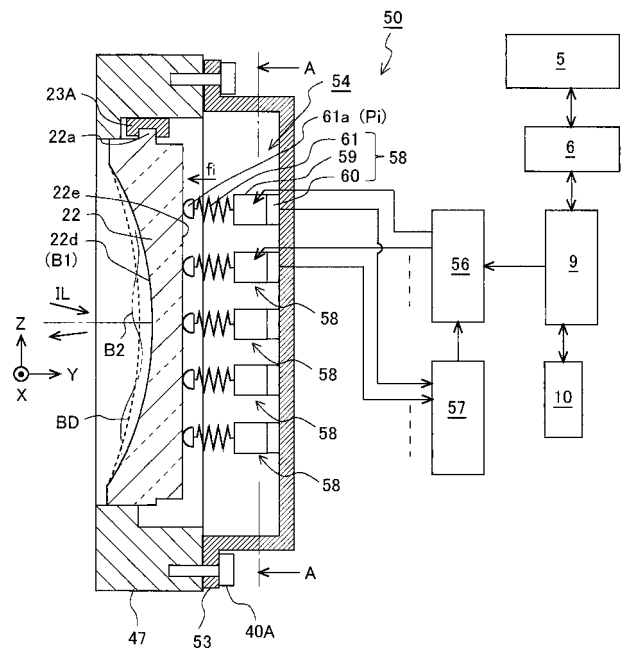
EX…露光装置、R…レチクル、W…ウェハ、ILS…照明光学系、PL…投影光学系、6…結像特性制御系、9…収差制御系、22, 22A…ミラー（凹面鏡）、23A～23C…ホルドブロック、39…波面収差計測装置、47…分割鏡筒、50, 50A…デフォーダブルミラー、54…荷重付与系、58…駆動ユニット、59…駆動素子、60…荷重センサ、61…圧縮ばね、64A～64E…予圧ばね

10

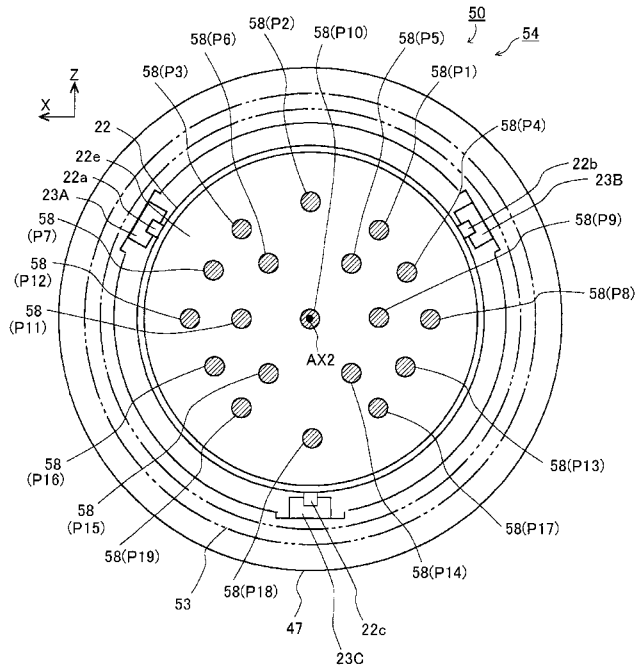
【図1】



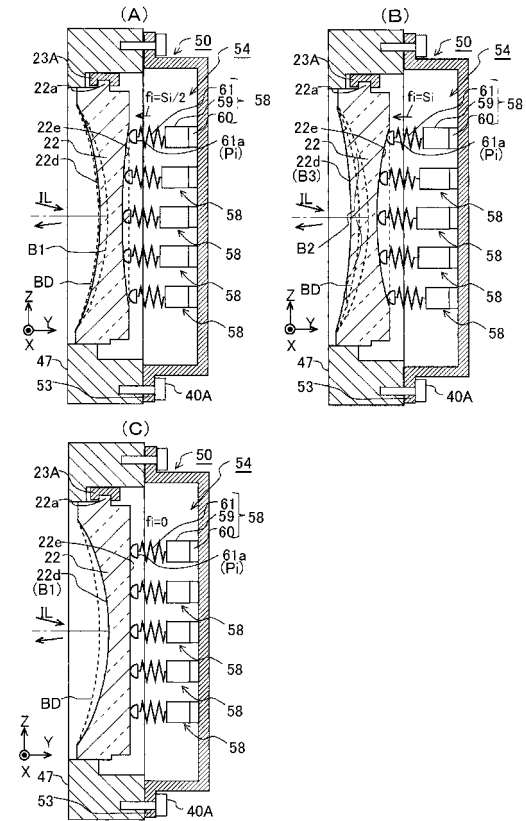
【図2】



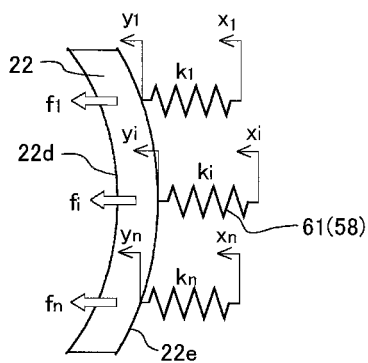
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【図 6】

