

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第5193227号  
(P5193227)

(45) 発行日 平成25年5月8日 (2013.5.8)

(24) 登録日 平成25年2月8日 (2013.2.8)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 L 21/027 (2006.01)

GO 3 F 7/20 (2006.01)

HO 1 L 21/30 5 1 6 A

HO 1 L 21/30 5 1 5 D

GO 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 28 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2009-546682 (P2009-546682)	(73) 特許権者	503263355
(86) (22) 出願日	平成20年1月22日 (2008.1.22)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー
(65) 公表番号	特表2010-517279 (P2010-517279A)		エムペーハー
(43) 公表日	平成22年5月20日 (2010.5.20)		ドイツ連邦共和国、7 3 4 4 7 オーバー
(86) 国際出願番号	PCT/EP2008/000459		コッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
(87) 国際公開番号	W02008/089953		ーセ 2
(87) 国際公開日	平成20年7月31日 (2008.7.31)	(74) 代理人	100082005
審査請求日	平成23年1月24日 (2011.1.24)		弁理士 熊倉 禎男
(31) 優先権主張番号	102007004723.3	(74) 代理人	100067013
(32) 優先日	平成19年1月22日 (2007.1.22)		弁理士 大塚 文昭
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)	(74) 代理人	100086771
			弁理士 西島 孝喜
		(74) 代理人	100109070
			弁理士 須田 洋之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体リソグラフィシステム及びその使用方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光学要素、機械的マニピュレータ、及び熱的マニピュレータを含む半導体リソグラフィシステムの使用方法であって、

ウェーハの複数のダイを順次露光する前記システムを使用する間に、前記システムの少なくとも1つの結像収差を少なくとも部分的に補正し、前記システムの少なくとも1つの結像収差の少なくとも部分的な補正の間、

a) 前記光学要素を、変形するか、又は位置決め及び変形する、機械的力作用を生成するように構成された前記機械的マニピュレータが、前記システムが前記ウェーハのダイを露光していない時にのみ、トリガされ、

b) 前記光学要素を変形するように構成された熱的作用を生成する前記熱的マニピュレータが、常にトリガされる、

ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記光学要素は、時間的に一定の機械的力作用によって、変形されるか、又は位置決め及び変形されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記光学要素は、時間的に可変の熱的作用によって、例えば、時間的に線形に立ち上がる熱的作用によって変形されることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】



前記光学要素を、変形させるか、又は位置決め及び変形させるための前記機械的力作用は、1秒よりも短く、好ましくは、500ミリ秒よりも短く、更に好ましくは、100ミリ秒よりも短い継続時間で調節及び/又は変更されることを特徴とする請求項1から請求項3のいずれか1項に記載の方法。

【請求項5】

前記第1の光学要素を、変形させるか、又は位置決め及び変形させるための前記機械的力作用は、時間間隔  $t_{\text{mech}}$  で適応されることを特徴とする請求項1から請求項4のいずれか1項に記載の方法。

【請求項6】

前記熱的作用は、それが前記光学要素に回転対称の温度分布を生成するような方法で実施されることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の方法。

10

【請求項7】

前記熱的作用は、それが前記光学要素に非回転対称の温度分布を生成するような方法で実施されることを特徴とする請求項1から請求項5のいずれか1項に記載の方法。

【請求項8】

前記熱的作用は、それが前記光学要素の縁部領域に温度変化を生成するような方法で実施されることを特徴とする請求項1から請求項7のいずれか1項に記載の方法。

【請求項9】

前記機械的力作用及び前記熱的作用は、それらが前記少なくとも1つの結像収差の実際と望ましい補正の間の期間を最小にするような方法で実施されることを特徴とする請求項1から請求項8のいずれか1項に記載の方法。

20

【請求項10】

前記少なくとも1つの結像収差は、該少なくとも1つの結像収差の前記少なくとも部分的な補正の前に求められることを特徴とする請求項1から請求項9のいずれか1項に記載の方法。

【請求項11】

前記少なくとも1つの結像収差は、波面プロファイルの直接測定によって求められることを特徴とする請求項10に記載の方法。

【請求項12】

前記少なくとも1つの結像収差は、前記システムにおける視野及び回折角に依存する光分布の推定によって求められることを特徴とする請求項10又は請求項11に記載の方法。

30

【請求項13】

前記少なくとも1つの結像収差は、前記システムにおける前記視野及び回折角依存の光分布と基準測定値の該視野及び回折角依存の光分布との比較によって求められることを特徴とする請求項10から請求項12のいずれか1項に記載の方法。

【請求項14】

前記少なくとも1つの結像収差は、検出器による前記システムの少なくとも1つの平面における前記視野及び回折角依存の光分布の測定によって求められることを特徴とする請求項10から請求項13のいずれか1項に記載の方法。

40

【請求項15】

前記少なくとも1つの結像収差の時間的進展が、該少なくとも1つの結像収差が求められた後で、かつ該少なくとも1つの結像収差の前記少なくとも部分的な補正が実施される前に求められることを特徴とする請求項1から請求項14のいずれか1項に記載の方法。

【請求項16】

前記少なくとも1つの結像収差に関する情報が、該少なくとも1つの結像収差の前記時間的進展を求めるために用いられることを特徴とする請求項15に記載の方法。

【請求項17】

達成することができる可能な最良の補正が、前記少なくとも1つの結像収差を少なくとも部分的に補正するために求められることを特徴とする請求項1から請求項16のいずれ

50



か 1 項に記載の方法。

【請求項 18】

前記光学要素の前記位置決めは、該光学要素を変位させる段階、該光学要素を前記システムの光軸 O に関して回転させる段階、及び / 又は該光学要素を該光軸 O に対して傾斜させる段階を含むことを特徴とする請求項 1 から請求項 17 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 19】

半導体リソグラフィシステムであって、

ウェーハの複数のダイを順次露光する前記システムを使用する間に、前記システムの少なくとも 1 つの結像収差を少なくとも部分的に補正する方法に用いられるように構成され、

光学要素と、

前記光学要素を、変形するか、又は位置決め及び変形する、機械的力作用を生成するように構成された前記機械的マニピュレータと、

前記光学要素を変形する熱的作用を生成するように構成された熱的マニピュレータと、

前記光学要素を、変形するか、又は位置決め及び変形する機械的力作用を生成するために前記機械的マニピュレータをトリガし、前記方法の間、前記システムが前記ウェーハのダイを露光していない時にのみ、前記機械的マニピュレータをトリガするように構成された第 1 のコントローラと、

前記光学要素を変形する熱的力作用を生成するために前記熱的マニピュレータをトリガし、前記方法の間、常に、前記熱的マニピュレータをトリガするように構成された第 2 のコントローラと、

を含む、

ことを特徴とするシステム。

【請求項 20】

前記機械的マニピュレータは、前記光学要素に時間に無関係の一定の力作用をもたらすことを特徴とする請求項 19 に記載のシステム。

【請求項 21】

前記熱的マニピュレータは、前記光学要素に対して時間的に可変の熱的作用、例えば、時間的に線形に立ち上がる熱的作用を有することを特徴とする請求項 19 又は請求項 20 に記載のシステム。

【請求項 22】

前記第 1 のコントローラは、前記機械的力作用を調節及び / 又は変更するために、1 秒よりも短く、好ましくは、500 ミリ秒よりも短く、更に好ましくは、100 ミリ秒よりも短い継続時間で該機械的マニピュレータを作動させることを特徴とする請求項 19 から請求項 21 のいずれか 1 項に記載のシステム。

【請求項 23】

前記第 1 のコントローラは、前記機械的マニピュレータを時間間隔  $t_{\text{mech}}$  で作動させることを特徴とする請求項 19 から請求項 22 のいずれか 1 項に記載のシステム。

【請求項 24】

前記熱的マニピュレータにより、前記光学要素に回転対称の温度分布を生成することができることを特徴とする請求項 19 から請求項 23 のいずれか 1 項に記載のシステム。

【請求項 25】

前記熱的マニピュレータにより、前記光学要素に非回転対称の温度分布を生成することができることを特徴とする請求項 19 から請求項 23 のいずれか 1 項に記載のシステム。

【請求項 26】

前記光学要素の縁部領域における温度分布は、前記熱的マニピュレータによって変化させることができることを特徴とする請求項 19 から請求項 25 のいずれか 1 項に記載のシステム。

【請求項 27】

前記熱的マニピュレータは、熱源及び / 又は熱シンクを用いて形成されることを特徴と

10

20

30

40

50



する請求項 1 9 から請求項 2 6 のいずれか 1 項に記載のシステム。

【請求項 2 8】

前記熱的マニピュレータは、熱ポンプとして形成されることを特徴とする請求項 1 9 から請求項 2 7 のいずれか 1 項に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学系の結像特性を改善する方法に関する。

更に、本発明は、改善された結像特性を有する光学系に関する。

【背景技術】

10

【0002】

光学系は、例えば、微細にパターン化された構成要素を加工するための半導体リソグラフィにおける投影対物系の形態で用いられる。本明細書では、特にこの種類の投影対物系に対して言及する。

この種類の光学系は、例えば、様々な反射/屈折特性を有するレンズ、ミラー、又は平行平板として形成することができる複数の光学要素を有する。

投影対物系は、マスク構造又はパターン（レチクル）を感光基板上に結像するのに用いられる。この場合には、光学系の対物面に配列された構造は、光源及びそれに関連付けられた照明光学アセンブリによって照らされる。この構造を通じて透過される光は、光学系を通じて誘導され、光学系の像平面に配列された感光基板を露光する。

20

【0003】

今日では、絶えず小型化する構成要素内の構造の集積密度を高めるために、基板上に結像される構造は、益々小さく作られている。従って、光学系の結像品質が高まるように、光学系の結像特性及びその分解機能を改善するという光学系に課せられる高い要件が存在する。

光学系の結像品質は、光学系内で発生する結像収差、例えば、収差から生じる区域に依存する。そのような結像収差は、光学系の少なくとも 1 つの光学要素が加熱されて光学系の結像特性を変化させることにより、光学系の作動中に熱的に誘起される場合がある。

【0004】

少なくとも 1 つの光学要素の加熱により、この少なくとも 1 つの光学要素の材料の不可逆的で放射線に影響される変化が発生する場合がある。一例として、材料の密度変化（圧密化）は、光学要素の屈折率の局所変化を招く。更に、屈折率変化又はそれ以外に幾何学的変形という形態での光学要素材料の時間的な可逆変化が発生する可能性があり、光学系の結像特性に影響を及ぼすことも起こり得る。

30

【0005】

光学系の照明モードに依存して、少なくとも 1 つの光学要素の加熱は、光学系の光軸に対して回転対称又は非回転対称のものとすることができる。非回転対称加熱は、例えば、照明光学アセンブリ内のマスク又は格子によって達成される二重極照明によって引き起こされる。

熱的に誘起される結像収差は、光学要素の変形によって少なくとも部分的に補正することができることは公知である。一般的に、そのような変形は、光学要素の波面プロファイルにおいて特定の波形（方位角方向の周期性）を発生させ、この波形を用いて、波面収差プロファイルの対応する波形が少なくとも部分的に補正される。波面の波形（方位角方向の周期性）は、2 までの角度の整数倍を意味し、それによって波面は、瞳の中心点回りの方位角方向の回転の後にそれ自体へと重なりと理解すべきである。

40

【0006】

WO 99 / 6 7 6 8 3 から、光学系内のマウントに配列されたレンズは、マニピュレータを用いて機械的に変形することができることは公知である。この場合には、マニピュレータは、レンズに対して光軸とほぼ垂直に作用して半径方向から外れる非回転対称の力をレンズ上に発生させる 1 つ又はそれよりも多くのアクチュエータを有する。設定されたレ

50



レンズ歪曲により、光学系の結像収差がターゲット方式で最小にされるように系全体の結像収差を補償する結像収差を引き起こすことができる。

【0007】

しかし、機械的マニピュレータを用いる日々の運用では、光学要素の変形では、単純な、すなわち、低次の波面収差プロファイルしか補正することができないことが判明している。光学要素が複雑な波面収差プロファイルを有する場合には、光学要素をより高次の方式で変形することが必要である。そのような変形は、機械的には、非常に複雑な方式でしか達成することができない。更に、光学要素内及び光学要素とそのマウントの間の両方において、光学要素及びそのマウントに損傷を与える場合がある機械的応力が発生する。それによって結像収差を補正するのに機械的マニピュレータの使用範囲が大幅に制限される。

10

【0008】

EP0、678、768B1は、複数の光学要素を含む投影露光装置を開示している。これらの光学要素には、光学要素の周辺に分散するように配列された熱的マニピュレータが割り当てられる。熱的マニピュレータは、非回転対称温度分布を相殺し、この相殺は、光学要素の部分領域を冷却又は加熱することによって投影露光装置の結像機能を低下させる。光学要素の温度変化に起因して、例えば、熱膨張係数、屈折率、及び幾何学形状のようなこれらの光学要素の材料特性が変化する。

更に、光学要素を位置決めし、すなわち、変位、傾斜、及び/又は回転させることによって結像収差を低減することができる。

20

【0009】

更に、US6、198、579B1は、少なくとも1つのレンズに複数の熱的マニピュレータが割り当てられた光学系を開示している。これらのマニピュレータは、レンズの周辺に分散して配列され、このレンズを冷却又は加熱することによってレンズの温度分布及び幾何学形状を変更するように設計される。光学要素の結像収差は、この手段によって少なくとも部分的に補正することができる。マニピュレータは、ペルチェ素子として形成される。

【0010】

熱的マニピュレータの1つの欠点は、光学要素の最適な熱依存の変形が遅延方式でしか発生しないことである。これは、最初に光学要素を加熱/冷却することによって光学要素内に望ましい温度分布を設定すべきであることに基づくものである。熱的に変形される光学要素を取り扱う日々の経験から、熱的マニピュレータの始動と光学要素の望ましい変形の間時間は、数分、例えば、10分にまで達する場合があることが公知である。その結果として、光学系の使用においてかなりの遅延が発生する場合がある。

30

【0011】

結像収差を補正するための熱的マニピュレータの更に別の欠点は、複雑な方式で計算されることになる誘起される温度変化に起因する光学要素の結像特性変化から生じる。光学要素が、温度に依存する方式で変形される場合には、光学要素の結像特性、例えば、屈折率も同様に温度と共に変化する。従って、可能な最良の結像収差補正を達成するためには、温度に依存する光学要素変形を非常に正確に考慮して制御すべきである。

40

【0012】

US2006/0244940A1は、熱的マニピュレータに加えて機械的マニピュレータを含むマイクロリソグラフィのための投影対物系を開示している。熱的マニピュレータは、非回転対称温度分布が回転対称温度分布へと移行するように、光学要素のうちの1つを加熱する赤外線発光器の配列から成る。機械的力作用を用いて1つ又はいくつかの光学要素を位置決めする機械的マニピュレータは、熱補正の後に残留する回転対称結像収差を補正するのに用いられる。

更に、US2006/014662A1は、収差を補正するのに光学要素が機械的かつ熱的に変形される光学液浸系を開示している。

【先行技術文献】

50



## 【特許文献】

## 【0013】

【特許文献1】WO 99 / 6 7 6 8 3

【特許文献2】EP 0、6 7 8、7 6 8 B 1

【特許文献3】US 6、1 9 8、5 7 9 B 1

【特許文献4】US 2 0 0 6 / 0 2 4 4 9 4 0 A 1

【特許文献5】US 2 0 0 6 / 0 1 4 6 6 2 A 1

【特許文献6】EP 1、2 3 1、5 1 7 A 1

【特許文献7】US 5、9 7 8、0 8 5 A 1

【特許文献8】US 5、3 9 2、1 1 9 A 1

【特許文献9】US 5、8 2 8、4 5 5 A 1

10

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0014】

光学系の結像収差を短時間で実質的に低減することができる光学系の結像特性を改善する方法に対する必要性が依然として存在する。

従って、本発明の目的は、そのような方法を提供することである。

更に、本発明の目的は、結像特性に関して改善された光学系を提供することである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0015】

20

本発明によると、この目的は、少なくとも1つの結像収差を少なくとも部分的に補正するために、複数の光学要素からの少なくとも第1の光学要素が、機械的力作用及び熱的作用を用いて位置決めされ及び／又は変形されるか、又は少なくとも第1の光学要素が、機械的力作用を用いて位置決めされ及び／又は変形され、複数の光学要素からの少なくとも第2の光学要素が、熱的作用を用いて変形される、複数の光学要素を有する光学系の結像特性を改善する方法によって達成される。

## 【0016】

更に、本発明によると、この目的は、改善された結像特性を有する光学系を用いて達成され、光学系は、複数の光学要素を有し、複数の光学要素には、これら複数の光学要素を能動的に位置決めし及び／又は変形させるための複数のマニピュレータが割り当てられ、複数のマニピュレータからの少なくとも1つの第1のマニピュレータが、機械的マニピュレータとして形成され、複数のマニピュレータからの少なくとも1つの第2のマニピュレータが、熱的マニピュレータとして形成される。

30

## 【0017】

本発明による方法及び本発明による光学系は、光学系内に収容された少なくとも第1の光学要素を機械的力作用及び熱的作用を用いて位置決めし及び／又は変形させることにより、光学系の結像特性を改善する。代替形態として、少なくとも第1の光学要素が、機械的力作用を用いて位置決めされ及び／又は変形され、光学系内に収容された少なくとも第2の光学要素が、熱的作用を用いて変形されることがもたらされる。機械的力作用及び熱的作用は、それぞれ機械的マニピュレータ及び熱的マニピュレータを用いて達成される。

40

少なくとも第1及び／又は少なくとも第2の光学要素の機械的位置決め及び／又は変形、並びに熱的変形は、光学系の波面プロファイル変化を誘導し、この手段により、少なくとも1つの結像収差を少なくとも部分的に補正することができる。

## 【0018】

本発明によると、光学要素の機械的／熱的変形は、その特性、特にその幾何学形状の及び／又は例えば屈折率又は熱膨張係数などのようなその材料特性の光学的変化を意味すると理解すべきである。

光学要素の機械的位置決めは、光軸に沿った又はそれを横断する変位、光軸回りの回転、及び／又は傾斜と理解されるものとする。

光学要素は、例えば、様々な屈折及び反射特性を有するレンズ、ミラー、又は平行平面

50



板として形成することができる。

【0019】

機械的力作用を用いた光学要素の位置決め及び／又は変形、並びに熱的作用を用いた変形は、有利な態様においては、光学要素の基本的な次数の結像収差とより高次の結像収差とを補正する2つの異なる可能性を生じる。光学要素を変形又は位置決めする両方の手法は、十分に公知であり、光学系の波面収差プロファイルを補正するのに十分に制御可能なターゲット方式で用いることができる。

更に別の利点は、機械的変形が光学要素又はそのマウントに対する損傷を招くことになる時に、光学要素の熱的変形を用いることができるということに基づいている。従って、光学要素の熱的変形は、単純な機械的変形では可能にはならない結像収差の補正を可能にする。

10

更に、同時に実施される光学要素の機械的位置決め及び／又は変形、並びに熱的変形により、結像収差の補正に必要とされる時間が短縮される。

【0020】

1つの好ましい構成では、少なくとも第1の光学要素は、時間的に重畳して、機械的力作用によって位置決めされ及び／又は変形され、熱的作用を用いて変形されるか、又は少なくとも第1の光学要素は、機械的力作用を用いて位置決めされ及び／又は変形され、且つ時間的に重畳して、少なくとも第2の光学要素が、熱的作用を用いて変形される。

この対処法は、光学要素の複雑な波面収差プロファイルを光学要素の機械的に引き起こされる操作と熱的に引き起こされる操作との相互作用において最適に補正することができるという利点を有する。

20

【0021】

更に好ましい構成では、少なくとも第1の光学要素は、時間的に一定の機械的力作用を用いて位置決めされ及び／又は変形される。

この対処法は、機械的力作用を単純で容易に制御可能な方式でもたらしることができるという利点を有する。光学要素に対する時間的に一定の機械的力作用補正効果は十分に公知であり、従って、十分に予測することができる。更に、時間的に一定の機械的力作用を発生させる機械的マニピュレータに課せられる技術要件は、時間的に可変の機械的力作用を発生させるマニピュレータの場合におけるものよりも厳しくない。

【0022】

30

更に好ましい構成では、少なくとも第1の光学要素及び／又は少なくとも第2の光学要素は、時間的に可変の熱的作用、例えば、時間的に線形に立ち上がる熱的作用を用いて変形される。

この対処法は、熱的作用を光学系の時間的に可変の波面収差プロファイルに最適に適応させることができるという利点を有する。光学系の結像収差は、この手段によって特に良好に補正することができる。

【0023】

更に好ましい構成では、第1の光学要素を位置決めし及び／又は変形させるための機械的力作用は、1秒よりも短く、好ましくは、500ミリ秒よりも短く、より好ましくは、100ミリ秒よりも短い継続時間内に調節及び／又は変更される。

40

この光学系では、少なくとも1つの機械的マニピュレータには、1秒よりも短く、好ましくは、500ミリ秒よりも短く、より好ましくは、100ミリ秒よりも短い継続時間内に機械的マニピュレータを作動させるコントローラが割り当てられる。そのような継続時間の各々の後には、マニピュレータは休止状態にある。

【0024】

従って、少なくとも1つの機械的マニピュレータは、望ましい力作用を調節するために、例えば、第1の光学要素を位置決めし及び／又は変形させるために最小継続時間にわたってのみトリガされ、その直後に、機械的マニピュレータの作動は、調節された機械的力作用に達するように中断される。この調節された機械的力作用は一定であり、ゼロよりも大きい値又はゼロにほぼ等しい値を有することができる。機械的マニピュレータのこれら

50



の短時間作動は、特に基板を露光するのにマイクロリソグラフィのための投影対物系が用いられる場合に、機械的マニピュレータの作動によって発生する振動(oscillations)又は振動(vibrations)を光学系の前に減衰させることができるという利点を有する。ウェーハとも呼ばれる基板は、「ダイ」とも呼ばれる複数の単一区域に分割される。各ダイは、通常は順次別々に露光される。上述の対処法は、機械的マニピュレータの作動によって発生する振動(oscillations)が、ダイの露光が始まる前に減衰されることを保証する。

#### 【 0 0 2 5 】

更に好ましい構成では、第 1 の光学要素を位置決めし及び / 又は変形させるための機械的力作用は、時間間隔  $t_{\text{mech}}$  内に適応される。

この構成は、第 1 の光学要素に対する機械的力作用時間間隔内での調節及び / 又は変更の場合を表している。好ましくは、時間間隔  $t_{\text{mech}}$  は、単一のダイの露光の時間間隔に適応される。

言い換えれば、機械的マニピュレータは、第 1 の光学要素の位置決め及び / 又は変形を系の光学要素の加熱に起因して必要とされる結像補正に適応させるためにダイ毎にトリガされる。

この光学系では、上述のコントローラは、少なくとも 1 つの機械的マニピュレータを上記に応じて時間間隔  $t_{\text{mech}}$  で作動させる。従って、機械的マニピュレータのトリガ又は作動の時間間隔  $t_{\text{mech}}$  は、作動自体の継続時間よりも長く、各単一のダイの 1 回の露光の時間間隔に応じて平均で 1 秒から 5 秒の範囲にある。

#### 【 0 0 2 6 】

別の好ましい構成では、第 1 及び / 又は第 2 の光学要素に対する熱的作用は、連続的に実施される。

機械的マニピュレータとは異なり、熱的マニピュレータは、振動(oscillations)及び振動(vibration)の問題の対象とはならない。従って、熱的マニピュレータは、熱時定数を短くするために連続的に作動させることができる。

しかし、熱的マニピュレータの場合であっても、第 1 及び / 又は第 2 の光学要素に対する熱的作用を時間間隔  $t_{\text{therm}}$  で実施することができれば好ましいものとすることができる。

#### 【 0 0 2 7 】

この光学系では、上記に応じて、少なくとも 1 つの熱的マニピュレータにも連続的に又は時間間隔  $t_{\text{therm}}$  で熱的マニピュレータを作動させるコントローラが割り当てられる。

好ましくは、機械的力作用及び熱的作用作動の時間間隔  $t_{\text{therm}}$  及び  $t_{\text{mech}}$  は、比  $t_{\text{therm}} / t_{\text{mech}}$  が 0 から約 10 の範囲にくるように選択される。値 0 は、熱的マニピュレータの連続作動を意味し、約 1 の値は、例えば、ダイ毎に機械的マニピュレータ及び熱的マニピュレータの等しい時間間隔での作動を意味し、1 よりも大きい値、例えば、7 から 10 は、熱的マニピュレータが、ウェーハの完全露光の継続時間にわたって作動され、すなわち、熱的マニピュレータの作動が、単一のダイの各 1 回の露光の後に中断されず、機械的マニピュレータにおいても同様であることを意味する。

#### 【 0 0 2 8 】

更に好ましい構成では、熱的作用は、この熱的作用が少なくとも第 1 の光学要素及び / 又は少なくとも第 2 の光学要素内に回転対称の温度分布を生成するように実施される。

この対処法は、光学要素の回転対称の加熱に基づく光学系の結像収差が、光学要素内に確立される回転対称の温度分布によって補正されるという利点を有する。

#### 【 0 0 2 9 】

更に好ましい構成では、熱的作用は、この熱的作用が少なくとも第 1 の光学要素及び / 又は少なくとも第 2 の光学要素内に非回転対称の温度分布を生成するように実施される。

この対処法は、例えば、照明極によって達成されるもののような光学要素の非回転対称の加熱に基づく結像収差を光学要素内に引き起こされる非回転対称の温度分布によって補正することができるという利点を有する。



## 【 0 0 3 0 】

更に好ましい構成では、熱的作用は、この熱的作用が少なくとも第 1 の光学要素及び / 又は少なくとも第 2 の光学要素の縁部領域内に温度変化を生成するように実施される。

この対処法は、光学要素の光学的未使用領域内に温度変化が生じるという利点を有する。縁部領域から発し、引き起こされた温度変化を光学要素全体に拡大することができる。

## 【 0 0 3 1 】

更に好ましい構成では、機械的力作用は、この機械的力作用が熱的作用効果の範囲を拡張するように実施される。

この対処法は、光学要素の機械的にのみ引き起こされた変形、又は熱的にのみ引き起こされた変形に比較して大きい変形が達成されるという利点を有する。

更に好ましい構成では、機械的力作用及び熱的作用は、これらの作用が少なくとも 1 つの結像収差の実際の補正と望ましい補正との間の時間間隔を最小にするように実施される。

この対処法は、少なくとも 1 つの結像収差の少なくとも部分的な補正が迅速に実施されるという利点を有する。それによって光学系の作動中の保守回数は有利に低減する。

## 【 0 0 3 2 】

更に好ましい構成では、少なくとも 1 つの結像収差は、この少なくとも 1 つの結像収差の少なくとも部分的な補正の前に求められる。

## 【 0 0 3 3 】

この対処法は、結像収差をこの結像収差の情報に基づいて最適に改善することができるという利点を有する。

## 【 0 0 3 4 】

更に好ましい構成では、少なくとも 1 つの結像収差は、波面プロファイルの直接測定によって求められる。

## 【 0 0 3 5 】

この対処法は、結像収差を更に別の技術的コストなしに単純な方式で求めることができるという利点を有する。

## 【 0 0 3 6 】

更に好ましい構成では、少なくとも 1 つの結像収差は、光学系内の視野及び回折角依存の光分布の推定によって求められる。

## 【 0 0 3 7 】

この対処法は、それによって単純な方式で実施することができる少なくとも 1 つの結像収差を求めるための更に別の方法がもたらされるという利点を有する。光学系内の光分布の推定は、光学要素の層及び体積吸収係数の情報を用いる。光学要素内に吸収される強度、及び光学要素の温度分布は、光源及び照明光学アセンブリによる構造の照明のモードに基づいて求められる。これらから、光学系の波面収差プロファイルを推定するために、光学要素の熱膨張係数及び屈折率を計算することができる。

## 【 0 0 3 8 】

更に好ましい構成では、少なくとも 1 つの結像収差は、光学系内の視野及び回折角依存の光分布と、基準測定値の視野及び回折角依存の光分布との比較によって求められる。

この対処法は、単純な方式で実施することができる結像収差を求めるための更に別の可能性がもたらされるという利点を有する。基準光分布の結像収差は既知であるから、光学系の少なくとも 1 つの結像収差を直接推定することができる。

## 【 0 0 3 9 】

更に好ましい構成では、少なくとも 1 つの結像収差は、光学系の少なくとも 1 つの平面内の視野及び回折角依存の光分布の検出器を用いた測定によって求める。

この対処法は、単純な方式で実施することができる光学系の結像収差を求めるための更に別の可能性をもたす。好ましくは、光分布の測定は、基板の露光の前に実施され、例えば、CCDカメラのような検出器が用いられる。光分布は、例えば、瞳に近い平面、視野に近い平面、及び / 又は中間平面である光学系の平面において測定することができる。

10

20

30

40

50



## 【 0 0 4 0 】

更に好ましい構成では、少なくとも1つの結像収差が求められた後、少なくとも1つの結像収差の少なくとも部分的な補正が実施される前に、少なくとも1つの結像収差の時間的進展が検出される。

この対処法は、将来発生する結像収差の情報に基づいて結像収差を最適に補正することを可能にする。

更に好ましい構成では、少なくとも1つの結像収差の時間的進展を求めるために、少なくとも1つの結像収差の情報が用いられる。

この対処法は、結像収差の将来の時間的進展を現在の結像収差に基づいて非常に正確に予測することができるという利点を有する。更に、上記に加えて、時間的進展をより一層正確に予測できるように、少なくとも1つの結像収差の時間的進展の予測において過去の時点で既に発生した結像収差を考慮に入れることが可能である。

10

## 【 0 0 4 1 】

更に好ましい構成では、少なくとも1つの結像収差を少なくとも部分的に補正するために、達成することができる可能な最良の補正が求められる。

この対処法は、実施することができる全ての可能な補正を含めて、結像収差を最適に補正することを可能にする。

本発明による光学系の場合に、特許請求の範囲で特定される光学系の好ましい構成に従って、光学系の結像特性を改善する上述の方法を適用することが可能である。

## 【 0 0 4 2 】

20

更に別の利点及び特徴は、以下の説明及び添付図面から明らかになるであろう。

その都度説明しないが、上記に示した特徴及び下記に説明する特徴は、指定する組合せだけではなく、本発明の範囲から逸脱することなく他の組合せに又はそれら自体によって用いることができる。

添付図面に関連する一部の選択された例示的な実施形態に基づいて、下記に本発明をより詳細に説明かつ記述する。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 4 3 】

【 図 1 】 基板の露光中の光学系の概略図である。

【 図 2 】 少なくとも1つの結像収差の少なくとも部分的な補正の概略図である。

30

【 図 3 】 光学系の結像特性を改善するための本発明による方法の流れ図である。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 4 4 】

図 1 は、一般的な参照記号 10 を与えた光学系を示しており、この光学系は、構造 20 又はマスクパターン（レチクル）の感光基板 22 上への結像を可能にする。

この種類の光学系 10 は、マイクロリソグラフィにおいて微細にパターン化された構成要素を加工するための投影対物系として用いることができる。

照明光学アセンブリ 25 が割り当てられた光源 24 は、光学系 10 の対物面 26 に配列された構造 20 を照明する。光ビーム 28 は、構造 20 の部分領域を通じて透過され、光学系 10 上に当たる。光学系 10 は、構造 20 を光学系 10 の像平面 30 に配列された感光基板 22 上に縮小方式で結像する。

40

## 【 0 0 4 5 】

光学系 10 は、様々な屈折及び反射特性を有するレンズ、ミラー、又は平行平板として形成することができる複数の光学要素を有し、概略図内では4つの光学要素 42 ~ 48 を有する。各光学要素 42 ~ 48 は、光学系 10 内のそれぞれのマウント 50 ~ 56 内に収容される。

光学系 10 の作動中に、1つ又はそれよりも多くの光学要素 42 ~ 48 の加熱の結果として、少なくとも1つの結像収差が発生する可能性がある。この加熱に起因して、光学要素 42 ~ 48 の材料特性は、放射線に影響される方式で不可逆に変化する可能性がある。一例として、光学要素 42 ~ 48 の密度が変化する可能性があり（圧密化、希薄化）、そ

50



の結果、光学要素 4 2 ~ 4 8 の屈折率又は熱膨張係数が変化する。更に、光学要素 4 2 ~ 4 8 の加熱は、幾何学形状及び材料特性の時間的な変化を招く可能性がある。

光学要素 4 2 ~ 4 8 の加熱は、光学系 1 0 の光軸 O に対して回転対称又は非回転対称で発生する可能性がある。非回転対称加熱の事例は、例えば、光学系に対する照明極を発生させることができる照明光学アセンブリ 2 5 内のマスク又は格子によってもたらされる。

#### 【 0 0 4 6 】

本発明による方法は、光学系 1 0 の少なくとも 1 つの結像収差を補正することによって光学系 1 0 の結像特性を改善するという役割を達成する。

この目的のために、光学系 1 0 は、複数の光学要素に割り当てられた複数のマニピュレータを有し、概略図では 4 つのマニピュレータ 6 2 ~ 6 8 を有する。マニピュレータ 6 2 ~ 6 8 は、機械的マニピュレータ 6 2 ~ 6 4 又は熱的マニピュレータ 6 6 ~ 6 8 として形成することができる。

#### 【 0 0 4 7 】

一例として、光学要素 4 2 には、少なくとも 1 つの機械的マニピュレータ 6 2 及び少なくとも 1 つの熱的マニピュレータ 6 6 を割り当てることができる。更に、各場合に、少なくとも 1 つの機械的マニピュレータ 6 4 又は少なくとも 1 つの熱的マニピュレータ 6 8 をそれぞれの光学要素 4 4、4 6 に割り当て、光学要素 4 4、4 6 に対して作用させることができる。

マニピュレータ 6 2 ~ 6 8 は、光学系 1 0 の少なくとも 1 つの結像収差を少なくとも部分的に補正するという役割を達成する。各機械的マニピュレータ 6 2、6 4 は、光学要素 4 2、4 4 に対して作用して光学要素 4 2、4 4 に対して機械的力を発生させる 1 つ又はそれよりも多くのアクチュエータを有することができる。これらのアクチュエータによって光学要素 4 2、4 4 は位置決めされ、又は機械的に変形され、変形の場合には、その特性、特に幾何学形状、及び / 又は例えば屈折率などのような材料特性に関して光学的に変更される。光学要素 4 2、4 4 の位置決めは、光学要素 4 2、4 4 の幾何学形状又は材料特性の変更をもたらさず、ここでの位置決めは、光軸 O の方向又はその方向を横断する方向の光学要素 4 2、4 4 の変位、光軸 O 回りの光学要素 4 2、4 4 の回転、及び / 又は光軸 O に対する垂直軸回りの光学要素 4 2、4 4 の傾斜を意味する。

#### 【 0 0 4 8 】

機械的力作用 7 2、7 4 は、光学要素 4 2、4 4 のあらゆる望ましい領域において作用させることができる。更に、機械的力作用 7 2、7 4 は、機械的マニピュレータ 6 2、6 4 の始動直後に始まり、作動後に時間的に一定の方式で作用し、その後機械的力作用は、ゼロよりも大きい値又はゼロにほぼ等しい値を有することができる。

機械的マニピュレータ 6 2、6 4 は、2 次の波形を有する結像収差を補正するための変形可能レンズ要素に対するアクチュエータ、又は光学要素 4 2、4 4 を位置決めするためのアクチュエータを含むことができる。

#### 【 0 0 4 9 】

機械的マニピュレータ 6 2、6 4 は、望ましい機械的力作用を調節及び / 又は変更するために短い継続時間にわたってのみ作動される。この継続時間は、約 1 秒よりも短く、好ましくは、500 ミリ秒よりも短く、より好ましくは、100 ミリ秒よりも短い範囲にある。機械的マニピュレータ 6 2、6 4 は、瞬時に作用し、すなわち、望ましい機械的力作用を調節及び / 又は変更するためのその時定数は最小であるから、この継続時間は十分である。

#### 【 0 0 5 0 】

好ましくは、機械的マニピュレータ 6 2、6 4 は、毎回基板 2 2 の露光が中断した瞬間に作動又はトリガされる。ウェーハとも呼ばれる基板 2 2 は、露光されるその表面上で、順次露光されることになる複数のダイに分割され、好ましくは、機械的マニピュレータ 6 2、6 4 は、1 つのダイの露光が完了し、次のダイの露光が始まる前の時点でトリガされる。従って、機械的マニピュレータ 6 2、6 4 は、光学要素 4 2、4 4 に対するそれぞれの望ましい機械的力作用を調節及び / 又は変更するために時間間隔  $t_{mech}$  でトリガされ

10

20

30

40

50



、好ましくは、これらの時間間隔は、その後のダイの間の露光時間間隔に対応する。時間間隔  $t_{mech}$  は、1秒から5秒の範囲内とすることができ、例えば、約2秒とすることができる。

#### 【0051】

例においては、機械的マニピュレータ62、64には、機械的マニピュレータ62、64の時限方式での作動を制御するコントローラ63、65が割り当てられる。コントローラ63、65は、上述のように短い継続時間のみに対して時間間隔  $t_{mech}$  でマニピュレータ62、654を作動させる。

熱的マニピュレータ66、68は、光学要素42、46に対して熱的作用76、78を発生させる。光学要素42、46は、これらの熱的作用76、78によるその部分領域の加熱/冷却によって熱的に変形される。本発明によると、熱的に引き起こされる光学要素42、46の変形は、温度に依存するその特性の変化、特に、幾何学形状及び/又は例えば熱膨張係数及び屈折率のような材料特性変化を意味すると理解すべきである。

10

#### 【0052】

1つの好ましい構成では、熱的マニピュレータ66、68は、加熱線、ペルチェ素子、又は熱ポンプの原理によるものとして形成することができる。熱的マニピュレータ66、68は、熱源と熱シンクとで供給することができる生成されることになる光学要素42、46の温度分布を引き起こすように設計することができる。

熱的マニピュレータ66、68にも同様にコントローラ67、69が割り当てられる。

更に各マニピュレータ62～68は、各場合に個々に駆動することができる。同様に、全てのマニピュレータ62～68を共同で又は互いに異なる組合せで駆動することができる。

20

#### 【0053】

1つの好ましい構成では、機械的マニピュレータ62及び熱的マニピュレータ66は、時間的に重畳して用いられ、機械的力作用72及び熱的作用76が、時間的に重畳して、光学要素42に対して作用する。同様に、異なる光学要素44、46に割り当てられた機械的マニピュレータ64及び熱的マニピュレータ68を時間的に重畳して用い、光学要素44、46に対して機械的力作用74と熱的作用78とが同時に作用するようにすることができる。その結果、それぞれの光学要素42～46の機械的位置決め及び/又は変形と熱的に引き起こされる変形とが同時に発生し、これらの光学要素の結像特性を変更する。機械的マニピュレータ62、64の効果の領域が、熱的マニピュレータ66、68の効果の領域に追加されるので、それによって熱的マニピュレータ66、68の効果の領域が拡張される。

30

#### 【0054】

熱的マニピュレータ66、68は、コントローラ67、69によって連続方式でトリガすることができ、又は時間間隔  $t_{mech}$  にほぼ対応するか又は  $t_{mech}$  よりも約係数10だけ大きいものとする時間間隔  $t_{therm}$  でトリガすることができる。一般的に、熱的マニピュレータ66、68及び機械的マニピュレータ62、64は、比  $t_{therm} / t_{mech}$  が0から約10の範囲にあるような時間間隔  $t_{mech}$  及び  $t_{therm}$  でトリガされ、値0は、熱的マニピュレータ66、68の連続トリガを意味する。  $t_{therm} / t_{mech}$  1という値は、次から次に実施される単一のダイの露光の時間間隔での熱的マニピュレータ66、68のトリガを意味し、1よりも大きく約10までのこの比の値は、基板22の完全露光の継続時間にわたる熱的マニピュレータ66、68の作動、すなわち、ウェーハ毎の熱的マニピュレータ66、68の作動を意味する。

40

#### 【0055】

機械的マニピュレータ62、64と熱的マニピュレータ66、68が光学要素42～48に対して同時に作用する場合には、少なくとも1つの結像収差の実際と望ましい補正84の間の期間が低減する。光学要素42、44の機械的に引き起こされる位置決め及び/又は変形は、光学要素42、46の取得可能な必要な変形をより小さいものとすることができ、熱的マニピュレータ66、68の単独の効果と比較してより迅速に達成されるよう

50



に光学要素 4 2、4 6 の熱的に引き起こされる変形に追加される。

【0056】

図 2 は、光学系 1 0 の少なくとも 1 つの結像収差の少なくとも部分的な補正の時間分布の例を示しており、機械的マニピュレータ 6 2、6 4 又は熱的マニピュレータ 6 6、6 8 によって引き起こされる結像収差を時間に対してプロットしている。引き起こされる結像収差は、光学系 1 0 の少なくとも 1 つの結像収差を少なくとも部分的に補償する。

光学系 1 0 の少なくとも 1 つの結像収差の意図する望ましい補正 8 4 は、補正 8 6 及び補正 8 8 によって得られる。補正 8 6 は、機械的マニピュレータ 6 2、6 4 を用いた光学要素 4 2、4 4 の位置決め及び / 又は変形から生じる。補正 8 8 は、熱的マニピュレータ 6 6、6 8 を用いた光学要素 4 2、4 6 の変形から生じる。

10

【0057】

補正 8 6 は、機械的マニピュレータ 6 2、6 4 の始動直後に始まり、機械的マニピュレータが再度トリガされるまで時間的に一定である。少なくとも 1 つの結像収差の補正 8 8 は、時間と共に線形に増大する。望ましい補正 8 4 は、補正 8 6、8 8 を互いに組み合わせることから生じ、この組合せを矢印 9 0 で示している。

少なくとも 1 つの結像収差の少なくとも部分的な補正は、光学系 1 0 の結像特性を改善する方法 1 0 0 中に実施される（図 3 を参照されたい）。方法 1 0 0 は、方法段階 1 0 2 ~ 1 0 8、すなわち、少なくとも 1 つの結像収差の求める段階、少なくとも 1 つの結像収差の時間的進展を求める段階、可能な最良の補正を求める段階、及び少なくとも 1 つの結像収差の少なくとも部分的に補正する段階を有する。

20

【0058】

方法 1 0 0 の個々の方法段階 1 0 2 ~ 1 0 8 は、各場合に個々に又は互いに異なる組合せで実施することができる。

少なくとも 1 つの結像収差を求める方法段階 1 0 2 は、組合せでも用いることができる小段階 1 1 0 ~ 1 1 6 によって実施することができる。小段階 1 1 0 は、少なくとも 1 つの結像収差の直接測定に基づいている。この目的のために、例えば、EP 1、231、517A1、US 5、978、085A1、US 5、392、119A1、又は US 5、828、455A1 に例示されているもののような波面検出器を用いることができる。

【0059】

更に、小段階 1 1 2 により、光学系 1 0 内の視野及び回折角依存の光分布を光源 2 4 及び照明光学アセンブリ 2 5 による構造 2 0 の照明のモードに基づいて推定することができる。この場合には、光学要素 4 2 ~ 4 8 内に吸収される強度、すなわち、これらの光学要素の温度分布が、光学要素 4 2 ~ 4 8 の層及び体積吸収係数の情報を用いて求められる。従って、光学要素 4 2 ~ 4 8 の得られる熱膨張係数、又は得られる温度依存の屈折率変化、並びに光学系 1 0 の波面全体に対するこれらの効果を計算することができる。

30

結像収差を求めるための小段階 1 1 4 は、光学系内の視野及び回折角依存の光分布と基準測定値の視野及び回折角依存の光分布との比較によって実施される。

【0060】

更に、結像収差を求める方法段階 1 0 2 は、例えば、基板の露光の前に光学系 1 0 の 1 つ又はそれよりも多くの平面内の光分布の測定である小段階 1 1 6 によって実施することができる。1 つの好ましい構成では、光分布の測定は、検出器、例えば、CCD カメラを用いて実施される。小段階 1 1 2 によると、光学系 1 0 の結像収差は、測定された光分布を用いて推定することができる。光分布の測定は、光学系 1 0 の瞳の近く、及び / 又は視野の近く、及び / 又は中間位置で実施することができる。

40

少なくとも 1 つの結像収差を求める方法段階 1 0 2 の後に、少なくとも 1 つの結像収差の時間的進展を計算する方法段階 1 0 4 が実施される。この方法段階 1 0 4 は、少なくとも 1 つの結像収差の以前の時点での情報を含むことができる。好ましくは、少なくとも 1 つの結像収差の時間的進展は、予め数時間先まで計算することができる。

【0061】

光学系 1 0 の少なくとも 1 つの結像収差の可能な最良の補正を計算する方法段階 1 0 6

50



は、光学系 10 の少なくとも 1 つの結像収差を少なくとも部分的に補正することを意図する継続時間を考慮に入れる。この場合には、達成することができる最適な補正は、異なる時点の異なる結像収差の平方ノルムの最適化、例えば波面の rms 値のような異なる時点の積分値の最適化、又は対応する最大ノルムの最適化を用いて実施することができる。

少なくとも 1 つの結像収差を少なくとも部分的に補正する方法段階 108 は、上述のように、機械的力作用 72、74 及び熱的作用 76 ~ 78 を用いて実施することができる。

以上の記載に関して、以下の各項を開示する。

1. 光学系 (10) の結像特性を改善する方法であって、  
光学系 (10) が、複数の光学要素を有し、

少なくとも 1 つの結像収差を少なくとも部分的に補正するために、前記複数の光学要素からの少なくとも第 1 の光学要素 (42) が、機械的力作用 (72) によって及び熱的作用 (76) によって位置決めされ及び / 又は変形され、又は該少なくとも第 1 の光学要素 (42) が、機械的力作用 (72) によって位置決めされ及び / 又は変形され、該複数の光学要素からの少なくとも第 2 の光学要素 (46) が、熱的作用 (78) によって変形される、

ことを特徴とする方法。

2. 前記少なくとも第 1 の光学要素 (42) は、時間的に重畳して、機械的力作用 (72) によって及び熱的作用 (76) によって位置決めされ及び / 又は変形され、又は該少なくとも第 1 の光学要素 (42) は、機械的力作用 (72) によって位置決めされ及び / 又は変形され、かつ時間的に重畳して、前記少なくとも第 2 の光学要素 (46) が、熱的作用 (74) によって変形されることを特徴とする第 1 項に記載の方法。

3. 前記少なくとも第 1 の光学要素 (42) は、時間的に一定の機械的力作用 (72、74) によって位置決めされ及び / 又は変形されることを特徴とする第 1 項又は第 2 項に記載の方法。

4. 前記少なくとも第 1 の光学要素 (42) 及び / 又は前記少なくとも第 2 の光学要素 (46) は、時間的に可変の熱的作用 (76、78) によって、例えば、時間的に線形に立ち上がる熱的作用 (76、78) によって変形されることを特徴とする第 1 項から第 3 項のいずれか 1 項に記載の方法。

5. 前記少なくとも第 1 の光学要素 (42) を位置決めし及び / 又は変形させるための前記機械的力作用は、1 秒よりも短く、好ましくは、500 ミリ秒よりも短く、更に好ましくは、100 ミリ秒よりも短い継続時間内で調節及び / 又は変更されることを特徴とする第 1 項から第 4 項のいずれか 1 項に記載の方法。

6. 前記第 1 の光学要素 (42) を位置決めし及び / 又は変形させるための前記機械的力作用は、時間間隔  $t_{\text{mech}}$  内に適応されることを特徴とする第 1 項から第 5 項のいずれか 1 項に記載の方法。

7. 前記第 1 及び / 又は第 2 の光学要素 (42、46) に対する前記熱的作用は、連続的に実施されることを特徴とする第 1 項から第 6 項のいずれか 1 項に記載の方法。

8. 前記第 1 及び / 又は前記第 2 の光学要素 (42、46) に対する前記熱的作用は、時間間隔  $t_{\text{therm}}$  内に作動されることを特徴とする第 1 項から第 7 項のいずれか 1 項に記載の方法。

9.  $t_{\text{therm}} / t_{\text{mech}}$  が、0 から約 10 の範囲にあることを特徴とする第 6 項、及び第 8 項又は第 9 項のいずれか 1 項に記載の方法。

10. 前記熱的作用 (76、78) は、それが前記少なくとも第 1 の光学要素 (42) 及び / 又は前記少なくとも第 2 の光学要素 (46) に回転対称の温度分布を生成するような方法で実施されることを特徴とする第 1 項から第 9 項のいずれか 1 項に記載の方法。

11. 前記熱的作用 (76、78) は、それが前記少なくとも第 1 の光学要素 (42) 及び / 又は前記少なくとも第 2 の光学要素 (46) に非回転対称の温度分布を生成するような方法で実施されることを特徴とする第 1 項から第 9 項のいずれか 1 項に記載の方法。

12. 前記熱的作用 (76、78) は、それが前記少なくとも第 1 の光学要素 (42) 及び / 又は前記少なくとも第 2 の光学要素 (46) の縁部領域に温度変化を生成するような

10

20

30

40

50



方法で実施されることを特徴とする第 1 項から第 1 1 項のいずれか 1 項に記載の方法。

13. 前記機械的力作用 (72、74) は、それが前記熱的作用 (76、78) の効果の範囲を拡張するような方法で実施されることを特徴とする第 1 項から第 1 2 項のいずれか 1 項に記載の方法。

14. 前記機械的力作用 (72、74) 及び前記熱的作用 (76、78) は、それらが前記少なくとも 1 つの結像収差の実際と望ましい補正 (84) の間の期間を最小にするような方法で実施されることを特徴とする第 1 項から第 1 3 項のいずれか 1 項に記載の方法。

15. 前記少なくとも 1 つの結像収差は、該少なくとも 1 つの結像収差の前記少なくとも部分的な補正の前に求められることを特徴とする第 1 項から第 1 4 項のいずれか 1 項に記載の方法。

16. 前記少なくとも 1 つの結像収差は、波面プロファイルの直接測定によって求められることを特徴とする第 1 5 項に記載の方法。

17. 前記少なくとも 1 つの結像収差は、前記光学系 (10) における視野及び回折角に依存する光分布の推定によって求められることを特徴とする第 1 5 項又は第 1 6 項に記載の方法。

18. 前記少なくとも 1 つの結像収差は、前記光学系 (10) における前記視野及び回折角依存の光分布と基準測定値の該視野及び回折角依存の光分布との比較によって求められることを特徴とする第 1 5 項から第 1 7 項のいずれか 1 項に記載の方法。

19. 前記少なくとも 1 つの結像収差は、検出器による前記光学系 (10) の少なくとも 1 つの平面における前記視野及び回折角依存の光分布の測定によって求められることを特徴とする第 1 5 項から第 1 8 項のいずれか 1 項に記載の方法。

20. 前記少なくとも 1 つの結像収差の時間的進展が、該少なくとも 1 つの結像収差が求められた後で、かつ該少なくとも 1 つの結像収差の前記少なくとも部分的な補正が実施される前に求められることを特徴とする第 1 項から第 1 9 項のいずれか 1 項に記載の方法。

21. 前記少なくとも 1 つの結像収差に関する情報が、該少なくとも 1 つの結像収差の前記時間的進展を求めるために用いられることを特徴とする第 20 項に記載の方法。

22. 達成することができる可能な最良の補正が、前記少なくとも 1 つの結像収差を少なくとも部分的に補正するために求められることを特徴とする第 1 項から第 21 項のいずれか 1 項に記載の方法。

23. 前記少なくとも 1 つの光学要素の前記位置決めは、該光学要素を変位させる段階、該光学要素を前記光学系 10 の光軸 O に関して回転させる段階、及び / 又は該光学要素を該光軸 O に対して傾斜させる段階を含むことを特徴とする第 1 項から第 22 項のいずれか 1 項に記載の方法。

24. 改善された結像特性を有する光学系であって、

光学系 (10) が、複数の光学要素を有し、

前記複数の光学要素には、該複数の光学要素を能動的に位置決めし及び / 又は変形させるための複数のマニピュレータが割り当てられ、

前記複数のマニピュレータからの少なくとも 1 つの第 1 のマニピュレータ (62、64) が、機械的マニピュレータとして形成され、該複数のマニピュレータからの少なくとも 1 つの第 2 のマニピュレータ (66、68) が、熱的マニピュレータとして形成される、ことを特徴とするシステム。

25. 前記機械的マニピュレータ (62、64) 及び前記熱的マニピュレータ (66、68) は、それらを時間的に重畳して、少なくとも 1 つの結像収差を少なくとも部分的に補正するのに用いることができるような方法で設計されることを特徴とする第 24 項に記載の光学系。

26. 前記機械的マニピュレータ (62、64) は、光学要素に時間に無関係の一定の力作用 (72、74) をもたらすことを特徴とする第 24 項又は第 25 項に記載の光学系。

27. 前記熱的マニピュレータ (66、68) は、前記複数の光学要素に対して時間的に可変の熱的作用 (76、78)、例えば、時間的に線形に立ち上がる熱的作用 (76、78) を有することを特徴とする第 24 項から第 26 項のいずれか 1 項に記載の光学系。

10

20

30

40

50



28. 前記少なくとも1つの機械的マニピュレータ(62、64)には、前記機械的力作用を調節及び/又は変更するために、1秒よりも短く、好ましくは、500ミリ秒よりも短く、更に好ましくは、100ミリ秒よりも短い継続時間内に該機械的マニピュレータ(62、64)を作動させるコントローラ(63、65)が割り当てられることを特徴とする第24項から第27項のいずれか1項に記載の光学系。

29. 前記コントローラ(63、65)は、前記機械的マニピュレータ(62、64)を時間間隔  $t_{\text{mech}}$  内に作動させることを特徴とする第24項から第28項のいずれか1項に記載の光学系。

30. 前記少なくとも1つの熱的マニピュレータ(66、68)には、該熱的マニピュレータ(66、68)を連続的に又は時間間隔  $t_{\text{therm}}$  内に作動させるコントローラ(67、69)が割り当てられることを特徴とする第24項から第29項のいずれか1項に記載の光学系。

10

31. 前記機械的マニピュレータ(62、64)及び前記熱的マニピュレータ(66、68)の前記時限作動は、 $t_{\text{therm}} / t_{\text{mech}}$  が0から約10の範囲にあるようなものであることを特徴とする第29項及び第30項のいずれか1項に記載の光学系。

32. 前記熱的マニピュレータ(66、68)により、前記複数の光学要素に回転対称の温度分布を生成することができることを特徴とする第24項から第31項のいずれか1項に記載の光学系。

33. 前記熱的マニピュレータ(66、68)により、前記複数の光学要素に非回転対称の温度分布を生成することができることを特徴とする第24項から第31項のいずれか1項に記載の光学系。

20

34. 前記複数の光学要素の縁部領域における温度分布は、前記熱的マニピュレータ(66、68)によって変化させることができることを特徴とする第24項から第33項のいずれか1項に記載の光学系。

35. 前記熱的マニピュレータ(66、68)は、熱源及び/又は熱シンクを用いて形成されることを特徴とする第24項から第34項のいずれか1項に記載の光学系。

36. 前記熱的マニピュレータ(66、68)は、熱ポンプとして形成されることを特徴とする第24項から第35項のいずれか1項に記載の光学系。

37. 前記熱的マニピュレータ(66、68)の効果の範囲は、前記機械的マニピュレータ(62、64)によって拡張することができることを特徴とする第24項から第36項のいずれか1項に記載の光学系。

30

38. 前記少なくとも1つの結像収差の実際と望ましい補正(84)の間の期間は、前記機械的マニピュレータ(62、64)及び熱的マニピュレータ(66、68)の前記時間的に重畳した使用によって最小にすることができることを特徴とする第24項から第37項のいずれか1項に記載の光学系。

39. マイクロリソグラフィのための投影対物系であることを特徴とする第24項から第38項のいずれか1項に記載の光学系。

【符号の説明】

【0062】

10 光学系

42 第1の光学要素

46 第2の光学要素

72 機械的力作用

76、78 熱的作用

40



【図1】

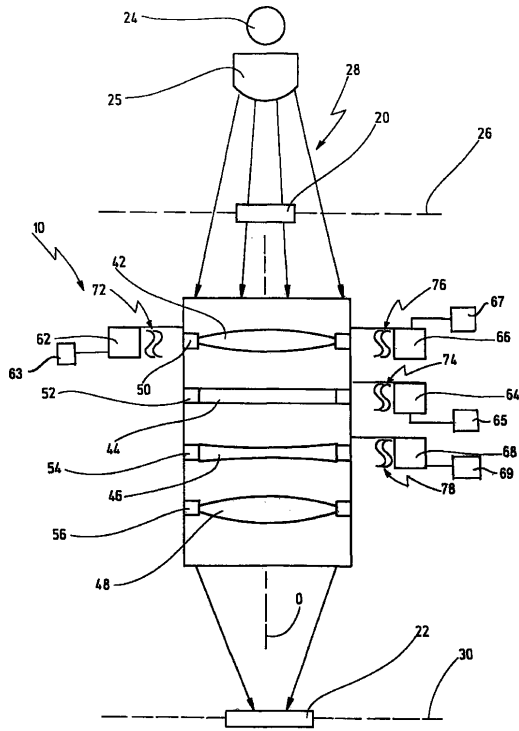


Fig.1

【図2】

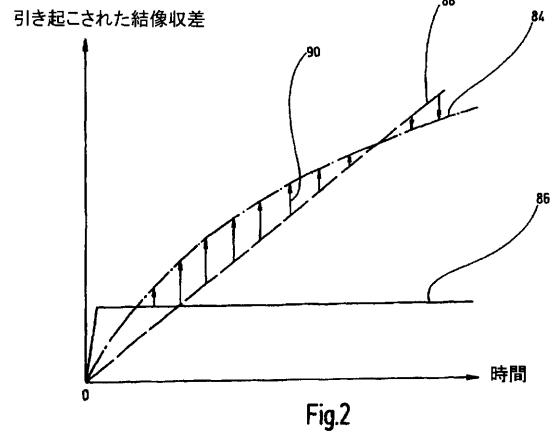


Fig.2

【図3】

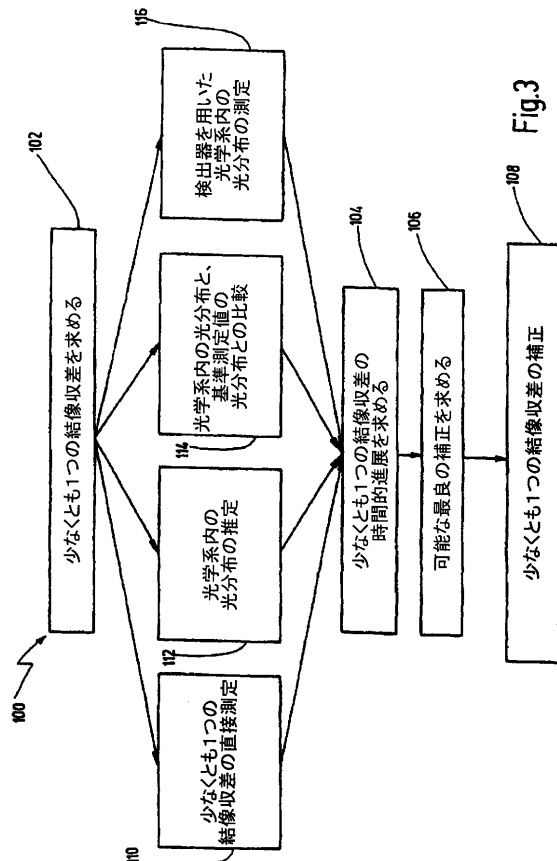


Fig.3



---

フロントページの続き

(74)代理人 100109335

弁理士 上杉 浩

(72)発明者 コンラディ オラフ

ドイツ連邦共和国 7 3 4 6 3 ヴェシュトハウゼン / ヴェシュテルホーフェン ヴァイデンシュ  
トラーセ 3 2

審査官 佐野 浩樹

(56)参考文献 国際公開第2005/022614(WO, A1)

特開平08-241861(JP, A)

特開2005-353968(JP, A)

特開2004-031958(JP, A)

特開平08-008178(JP, A)

国際公開第2007/000984(WO, A1)

特開2006-157020(JP, A)

特表2001-505366(JP, A)

特開平05-291117(JP, A)

特開平06-267825(JP, A)

特開2006-189570(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/027、21/30