

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7245173号

(P7245173)

(45)発行日 令和5年3月23日(2023.3.23)

(24)登録日 令和5年3月14日(2023.3.14)

(51)国際特許分類

F I

G 0 3 F 7/20 (2006.01)

G 0 3 F 7/20 5 0 2

G 0 2 B 5/18 (2006.01)

G 0 3 F 7/20 5 0 3

G 0 2 B 5/18

請求項の数 12 (全24頁)

(21)出願番号	特願2019-563374(P2019-563374)	(73)特許権者	503263355
(86)(22)出願日	平成30年5月11日(2018.5.11)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲ
(65)公表番号	特表2020-520477(P2020-520477		ーエムペーハー
	A)		ドイツ連邦共和国、7 3 4 4 7 オーバ
(43)公表日	令和2年7月9日(2020.7.9)		ーコッヘン、ルドルフ・エーバー・シュ
(86)国際出願番号	PCT/EP2018/062201		トラーセ 2
(87)国際公開番号	WO2018/210691	(74)代理人	100094569
(87)国際公開日	平成30年11月22日(2018.11.22)		弁理士 田中 伸一郎
審査請求日	令和3年5月11日(2021.5.11)	(74)代理人	100109070
(31)優先権主張番号	102017208340.9		弁理士 須田 洋之
(32)優先日	平成29年5月17日(2017.5.17)	(74)代理人	100067013
(33)優先権主張国・地域又は機関	ドイツ(DE)		弁理士 大塚 文昭
		(74)代理人	100086771
			弁理士 西島 孝喜
		(74)代理人	100120525

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 瞳透過率の設定による投影露光方法および投影レンズ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光学結像系の結像ビーム経路中の位置で、投影露光装置(WSC)の投影レンズ(PO)の光学要素(PP)との交換用の光学要素(PP')として使用するための、局所的に変化する透過率を有する補正面をもつ光学要素を生成するための方法であって、前記方法が、

a) 回折構造を備えるべき少なくとも1つの補正面の前記結像ビーム経路中の位置を選ぶステップと、

b) 前記結像ビーム経路中の前記補正面の前記位置と視野依存瞳場所との間の割り当てを決定するステップと、

c) 像視野の異なる視野点に関して(前記像視野の視野場所に依じて)射出瞳内の局所強度分布を測定システムにおいて測定するステップと、

d) 前記射出瞳内の前記局所強度分布の意図したプロファイルを得るために、回折による放射線強度のマスキングについての求められている局所分布を表す意図した偏向プロファイルを決定するステップと

e) 前記補正面の区域場所に入射する光線の入射角をもつ第1のスペクトルと、前記像視野の方向に前記区域場所から発する光線の反射角をもつ第2のスペクトルと、非重大領域の方向に前記区域場所から進む光線の反射角をもつ第3のスペクトルとを決定するステップと、

f) 動作波長の光線の前記第3のスペクトルの領域の角度への回折を生成する回折構造の構造周期および構造方位を決定するステップと、

10

20

g) 前記意図した偏向プロファイルが得られることになる前記回折構造の空間依存回折強度を決定するステップと、

h) ステップ f) およびステップ g) の結果に応じて前記補正面に前記回折構造を生成するステップとを含む、方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法により生成される前記交換用の光学要素 (P P ') を用いるステップと、

マスク (M) のパターン (P A T) が前記投影レンズ (P O) の物体平面 (O S) の領域に配置されるように前記投影露光装置 (W S C) の照明系 (I L L) と前記投影レンズ (P O) との間に前記マスク (M) を保持するステップと、

放射線感受性基板 (W) の放射線感受性面が前記物体平面と光学的に共役な前記投影レンズの像平面 (I S) の領域に配置されるように前記基板 (W) を保持するステップと、

前記投影露光装置 (W S C) の投影レンズ (P O) の光学要素 (P P) を前記交換用の光学要素 (P P ') へと交換するステップと、

前記マスクの照明視野 (O F) を動作波長 を有する前記照明系によって供給された照明放射線で照明するステップと、

前記照明視野にある前記パターンの一部を前記基板の像視野 (I F) に前記投影レンズを用いて投影するステップであり、前記像視野における像生成に寄与するすべて光線が前記投影レンズの結像ビーム経路を形成する、投影するステップと

を含み、

動作中に、前記回折構造が、前記回折構造に入射した前記光線の前記強度の成分を前記結像ビーム経路の外の非重大領域に回折によって誘導する、投影露光方法。

【請求項 3】

前記回折構造 (D S) は、前記回折された放射線の 4 0 % 超が前記像視野 (I F) まで達しないように設計される、請求項 2 に記載の投影露光方法。

【請求項 4】

前記回折構造 (D S) は、以下の条件：

- ・最も高い回折強度が 0 次の回折に存在し、前記 0 次の回折と異なる最も高い回折強度をもつ回折次数が、前記結像ビーム経路の外の非重大領域に回折される、

- ・前記射出瞳内の前記強度分布は、回折構造のない構成と比較して、前記射出瞳内の前記強度分布が、0 . 2 % 超だけ、好ましくは、2 % 超だけ、特に、1 0 % 超だけ変化するように変更され、好ましくは、これらの限度が、前記強度分布の非回転対称寄与に当てはまる、

- ・前記補正面の前記光学的使用領域の 5 % 超、好ましくは 1 0 % 超、特に、1 5 % 超の面積をもつ部分が、いかなる回折構造も保持しない、

- ・前記回折構造の非回転対称成分の R M S 値が、回転対称成分の R M S 値を超える、の少なくとも 1 つ、好ましくは、これらの条件のいくつかまたはすべてが満たされるように生成される、請求項 2 または 3 に記載の投影露光方法。

【請求項 5】

前記回折構造 (D S) によって回折された前記成分のうちの実質的成分が、前記非重大領域において少なくとも 1 つの低反射放射線捕捉デバイス (S I 1 、 S I 2) によって捕捉され、好ましくは、前記低反射放射線捕捉デバイスが、前記補正面をもつ前記光学要素から少なくとも 5 m m 離して配置される、請求項 2 から 4 までのいずれか 1 項に記載の投影露光方法。

【請求項 6】

前記回折構造が、高密度ラインをもつパターンを有し、前記高密度ラインが、前記動作波長の 1 0 倍未満のライン間隔を有する、請求項 2 から 5 までのいずれか 1 項に記載の投影露光方法。

【請求項 7】

前記回折構造が、部分的にまたは完全に、位相格子として設計される、請求項 2 から 6 までのいずれか 1 項に記載の投影露光方法。

【請求項 8】

単位面積当たり異なる密度をもつ回折構造 (DS) が前記補正面に生成され、および / または前記回折構造は、回折構造をもつ領域が前記補正面において回折構造のない領域の隣に位置するように生成される、請求項 2 から 7 までのいずれか 1 項に記載の投影露光方法。

【請求項 9】

前記投影レンズは、少なくとも 1 つの実中間像が前記物体平面 (OS) と前記像平面 (IS) との間の中間像平面の領域に生成されるように構成され、前記補正面を備えた前記光学要素が、前記物体平面と前記中間像との間の瞳平面に、またはその近傍に配置される、請求項 2 から 8 までのいずれか 1 項に記載の投影露光方法。

10

【請求項 10】

前記照明視野および前記像視野が、第 1 の方向の視野幅と前記第 1 の方向に垂直な第 2 の方向の視野高さとの間の 1 よりも大きいアスペクト比を用いてスロット形状にされ、前記回折構造の構造要素の構造方位は、前記回折構造が、主として (predominantly) または排他的に (exclusively) 前記第 2 の方向に回折するように設計される、請求項 2 から 9 までのいずれか 1 項に記載の投影露光方法。

【請求項 11】

補正面のない前記投影レンズの瞳透過率が測定によって決定され、前記回折構造は、空間依存回折プロファイルが生成されるように具現され、前記回折プロファイルは、前記補正面が前記結像ビーム経路に配置される場合、補正面のない構成に対して前記瞳透過率の変動を低減する、請求項 2 から 10 までのいずれか 1 項に記載の投影露光方法。

20

【請求項 12】

深紫外線 (DUV) 範囲からの動作波長または極紫外線範囲 (EUV) からの動作波長をもつ電磁放射線が利用される、請求項 2 から 11 までのいずれか 1 項に記載の投影露光方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

30

以下の開示は、2017 年 5 月 17 日に出願されたドイツ特許出願第 10 2017 208 340 . 9 号に基づき、これは参照により本願に組み込まれる。

【0002】

本発明は、請求項 1 の前文に記載のマスクのパターンの少なくとも 1 つの像により放射線感受性基板を露光するための投影露光方法、この方法を実行するのに適する請求項 13 の前文に記載の投影レンズ、および局所的に変化する透過率を有する補正面 (correction surface) をもつ補正要素を生成するための方法に関する。

【背景技術】

【0003】

マイクロリソグラフィック投影露光法は、主に、今日、半導体構成要素および他の微細構造構成要素、例えばフォトリソグラフィ用マスクなどを生成するために使用される。この場合、結像されるべき構造のパターン、例えば、半導体構成要素の層のラインパターンを担持または形成するマスク (レチクル) または他のパターン発生デバイスが使用される。パターンは、投影露光装置の照明系と投影レンズとの間の投影レンズの物体平面 (object plane) の領域に位置づけられ、照明系によって供給される照明放射線によって照明される。パターンによって変更された放射線は、投影放射線の形態で投影レンズを通過し、投影レンズは、縮尺されたパターンを露光されるべきウェーハ (wafer) または露光されるべき基板上に結像する (image)。ウェーハの表面は、物体平面と光学的に共役 (optically conjugate) である投影レンズの像平面 (image plane) に配置される。ウェーハは、通常、放射線感応性層 (レジス

40

50

ト、フォトレジスト)で被覆される。

【0004】

投影露光装置の開発の目的の1つは、寸法がますます小さくなっている構造をウェーハにリソグラフィで生成することである。半導体構成要素の場合には、例えば、構造が小さいほど集積密度が高くなり、それは、通常、生成される微細構造化構成要素の性能に好ましい効果を有する。良好な結像性能を示す投影レンズが、この目的のために必要とされる。

【0005】

例えばマイクロリソグラフィック投影レンズなどの光学結像系は、動作中に達成される像視野 (image field) の複素振幅が、仕様に応じて望まれる像視野の複素振幅と、所与の許容範囲内で、一致する場合、良好な結像性能を提供することができる。複素振幅は、位相および大きさ (または絶対値) を使用して記述することができる。複素振幅の位相は、しばしば、波面とも呼ばれる。複素振幅の大きさの中で、とりわけ、瞳に関するそのプロファイルが重要である。瞳に関するこのプロファイルは、光学結像系の射出瞳 (exit pupil) 内の強度分布を記述する。この強度分布は、瞳透過関数によって定量的に記述することができ、瞳透過関数は、全体透過率 (total transmission) を瞳座標の関数として記述する。

10

【0006】

光学結像系の射出瞳内の瞳透過関数または対応する強度分布は、例えば、瞳平面 (pupil plane) または瞳平面の近傍の結像ビーム経路に導入され、フィルタの有効断面にわたり局所透過率プロファイルまたは透過率変化を有するフィルタによる光学フィルタリングによって、目標の様式に変更されてもよい。そのようなフィルタリングは、時々、瞳フィルタリングまたはアポダイゼーション (apodization) と呼ばれる。

20

【0007】

特に、例えばマイクロリソグラフィック投影レンズなどの比較的高開口の光学結像系では、物体視野 (object field) から発する異なる光線は、(実質的に同一の光路長で) 異なる幾何学的経路を進み、結像系のレンズ要素および他の光学要素の光学面に強く変化する入射角で入射する。光軸に沿って、または比較的光軸に近く全長にわたって進む光線は、一般に、主としてレンズ要素の周辺を進む光線よりも光学高密度レンズ要素材料 (optical dense lens element material) 内の大きい吸収を受ける。逆に、特に周縁光線の場合には、特に高い入射角が光学面で生じる可能性があり、その結果として、これらの光線では、通常、光学面を少なくとも近似的に垂直に通過する光線よりも大きい反射損が発生する。その結果、とりわけ、同じ物点から発する異なる光線は、光学結像系を通る経路で異なる全体透過率を「感じる」ことは明らかである。この結果は、「瞳透過率 (pupil transmission)」または関連する瞳透過関数で表すことができる。

30

【0008】

特に、1次の回折が生じない位相シフトマスク (「レビンソン (Levinson)」タイプ) を使用する場合、結像品質への瞳透過関数の影響が顕著になることがある。光学設計による光学面での光線の表面入射角 (入射角) の変動、光学コーティングの層生成における変動、レンズ要素材料の変動、および光学面の汚染は、瞳透過関数の変化をもたらすことがある典型的な影響要因である。それゆえに、そのような望ましくない影響を補償するためのオプションが必要である。

40

【0009】

米国特許出願公開第2008/0094599号は、とりわけ、投影レンズの物体平面に配置されたパターンを投影レンズの像平面に結像するための投影レンズを記載しており、多数の光学構成要素が物体平面と像平面との間に配置され、光学構成要素のうちの少なくとも1つは基板を有し、少なくとも1つの基板表面は、光学構成要素の使用可能な断面にわたって反射度および/または透過度の強い空間変調を有する干涉層系で被覆され、変調は、瞳平面に存在する放射線の強度分布が干涉層系のない投影レンズと比較して実質的に減少した空間変調を有するように、投影レンズの残りの構成要素の空間透過率分布に適

50

合される。

【 0 0 1 0 】

WO 2 0 1 3 / 0 5 0 1 9 8 A 1 は、とりわけ、マイクロリソグラフィック投影露光装置の光学系の強度分布を設定するための方法を記載している。この方法では、例えば炭化水素化合物による汚染層の形態の透過率影響層が、光学系に配置されている光学要素のうちの少なくとも 1 つの表面に生成される。それに関して、層の一部を照射することによるこの層の部分的除去があり、その結果、光学要素は、層の残りの構成要素の結果として所定の透過率分布を有する。

【 0 0 1 1 】

WO 0 3 / 0 9 2 2 5 6 A 2 は、光学フィルタリングによる投影方法および投影系を記載している。ここでは、多数の光学要素および少なくとも 1 つの瞳平面が、物体平面と像平面との間に配置され、前記瞳平面は、結像系の視野平面 (f i e l d p l a n e) に関してフーリエ変換される結像系が使用される。角度選択光学フィルタリングが、光学フィルタ要素を用いて視野平面の領域で実行され、光学フィルタ要素の角度依存フィルタ機能は、瞳の領域の所望の空間依存フィルタ機能の関数として計算される。したがって、瞳透過関数、または射出瞳内の強度分布に影響を及ぼすことが可能である。

10

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 2 】

本発明の目的は、波面などの結像にとって重要な他の特性を損なうことなしに、光学結像系の射出瞳内の強度分布に目標とした影響を及ぼすための選択肢を提供することである。

20

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 3 】

この目的は、請求項 1 の特徴を有する投影露光方法、請求項 1 3 の特徴を有する投影レンズおよび局所的に変化する透過率を有する補正要素を生成するための請求項 1 2 の特徴を有する方法によって達成される。

【 0 0 1 4 】

とりわけ、光学結像系の射出瞳内の強度分布に影響を及ぼす目的で、結像ビーム経路中に補正面として設けられた光学面に好適な空間的分布をもつ回折構造、すなわち、動作波長の光に対して回折効果を有する (回折) 構造を取り付けることが有利であることを発明者は認識した。これらの回折させる構造は、それらが設けられているゾーンでの回折によって、結像ビーム経路から余分の光を取り除く。しかしながら、グレーフィルタの場合と異なり、この光は、回折構造の場所で、すなわち、光学要素の補正面で吸収されるのではなくて、回折構造の好適な設計の場合には、この光は、結像ビーム経路中の光学的に有効な要素から熱的に分離される 1 つまたは複数の非重大領域 (u n c r i t i c a l r e g i o n) に導くことができる。回折によって実現される放射線成分の出力結合を用いて、実質的に要素加熱の損傷なしに、射出瞳内の強度分布の変更またはその補正を得ることが可能である。

30

【 0 0 1 5 】

そのような回折構造をもつ少なくとも 1 つの補正面を有する光学要素は、本願では、「補正要素」とも呼ぶ。

40

【 0 0 1 6 】

回折構造は、投影レンズの射出瞳内の強度分布の十分な変化またはその補正を実現するように設計される。その結果、それらは、他の目的のために設計されている回折構造と構造的および機能的の両方で異なる。

【 0 0 1 7 】

例として、色補正、すなわち、色収差 (色誤差) の補正のためのマイクロリソグラフィック投影レンズの回折光学要素 (D O E) の使用が知られている。"Use of Diffractive Lenses in Lithographic Projection Lenses" by H-J Rostalski, A. Epple and H. Feldmann in: International Optical Design, Technical Digest (CD) (Optical Soci

50

ety of America, 2006), paper WD4という専門家の論文は、回折レンズ要素を色補正に使用することが可能であること、およびこれらは、像視野湾曲へのそれ自体の寄与なしに、さらに、P e t z v a l補正を簡単化できることを述べている。

【 0 0 1 8 】

G B 2 4 2 8 4 9 1 Aは、効率的な色補正のために、凹面ミラーの近傍で放射線が2回通過する領域に反対方向に通過する放射線を有する回折光学要素が配置される折り畳みビーム経路および凹面ミラーをもつ反射屈折投影レンズを記載している。

【 0 0 1 9 】

E P 1 2 5 6 8 2 1 A 2 (米国特許出願公開第2005/0073746号に対応する)は、各々が回折光学要素の平面で測定された幅とそれと垂直に測定された高さとを有する複数の回折構造を有する回折光学要素を記載しており、回折構造の幅および高さは、回折構造の幅が広いほど回折構造の幅が狭いものよりも高さが低くなるように回折光学要素の表面上で反対方向に変化する。その結果、広い幅の構造の領域の比較的低い回折損失が増加し、したがって、構造の幅の狭い領域の比較的高い回折損失と一致し、その結果、局所回折効率が表面にわたって変化しないままである回折光学要素が現われる。様々な幅の回折構造をもつ回折光学要素に加えて、中性フィルタ (n e u t r a l f i l t e r) (グレーフィルタ) が提供される光学配置も記載されている。

【 0 0 2 0 】

D E 1 0 2 0 0 6 0 2 8 2 4 2 A 1は、回折光学要素が物体平面に最も近い第1の瞳平面の近傍に配置される、2つの中間像をもつ反射屈折および屈折投影レンズを記載している。このようにして、正屈折力が導入され、その結果として、他のところで屈折力を節約することが可能である。したがって、屈折レンズ要素の最大直径の縮小を得ることが可能である。同様に存在する軸方向色収差への影響が論じられている。

【 0 0 2 1 】

色補正のための回折光学要素は、理想的には、結像ビーム経路 (使用されているビーム経路) 中に完全に回折するが、瞳強度分布を補正するための回折光学要素は、光の一部を制御された方法で結像ビーム経路の外に回折する。

【 0 0 2 2 】

色補正のための回折要素は単一の次数の回折に向けられ、瞳強度補正のための回折要素は、0次の回折の第1の成分を通過させ、少なくとも第2の成分 (しかしさらに多くの場合より多くの) を1次および/または高次に回折し、両方の成分は、1000分の1を超える、好ましくは1パーセントを超える (オブションとして、成分の場所にわたる最大値)。

【 0 0 2 3 】

射出瞳内の強度分布に関して目標とする再現可能な関与を確実にするために、回折構造は、好ましくは、回折放射線の40%超が像視野まで達しないように設計される。特に、回折光 (0次の回折を除いて) の60%超またはさらに80%超を像視野に達することができないようにすることができる。

【 0 0 2 4 】

特に、補正面の光学的使用領域 (o p t i c a l l y u s e d r e g i o n) の回折構造は、以下の条件の少なくとも1つ、好ましくは以下の条件のいくつかまたはすべてが満たされるように設計することができる。

- ・最も高い回折強度は0次の回折に存在し、0次の回折と異なる最も高い回折強度をもつ回折次数 (o r d e r o f d i f f r a c t i o n) は、結像ビーム経路 (使用されるビーム経路) を出ていく、すなわち、結像ビーム経路の外の非重大領域に回折される。

- ・射出瞳内の強度分布は、回折構造のない構成と比較して、射出瞳内の前記強度分布が、0.2%超だけ、好ましくは、2%超だけ、特に、10%超だけ変化する (山から谷までの値に関して) ように変更される。特に、これらの限度は、強度分布の非回転対称寄与に当てはまることことができる。

- ・補正面の光学的使用領域の5%超、好ましくは10%超、特に、15%超の面積をも

10

20

30

40

50

つ部分は、いかなる回折構造も保持しない。

・回折構造の非回転対称成分の R M S 値（例えば回折構造の高さ変化および／または屈折率変化などの非回転対称成分の R M S 値によって与えられる）は、回転対称成分の R M S 値を超える。

【 0 0 2 5 】

回折構造は、回折構造によって回折された成分の実質的成分（例えば、これらの成分の 5 0 % 超、6 0 % 超、または 7 0 % 超）が少なくとも 1 つの低反射放射線捕捉デバイス（low - reflection radiation capture device）によって非重大領域において捕捉されるように設計し配置することができる。補正面における回折によって局所的に分離された放射線成分は、例えば、開口紋り、視野紋り、迷光紋り、光学要素のための実装構成要素、貫通孔の縁部、および／またはこの目的のみのための専用の方法で設けられる可能性のある他の低反射ビーム捕捉デバイスにおいて捕捉され得る。回折放射線成分の反射を低反射放射線捕捉デバイスにおいて大きく抑制するために、低反射放射線捕捉デバイスは、少なくとも回折放射線にさらされる領域において、動作波長で吸収効果がある別個のコーティング、または他の吸収構造を有することができる。

10

【 0 0 2 6 】

好ましくは、低反射放射線捕捉デバイスは、補正面をもつ光学要素から少なくとも 5 m m 離して配置される。距離は、さらに、大きくてもよく、例えば少なくとも 1 0 m m または少なくとも 2 0 m m であってもよい。その結果、回折放射線成分のあり得る吸収、およびそれに関連する影響点の温度の上昇は、補正面、または補正面を備えた光学要素の光学的使用領域への影響がないかまたは影響が無視してよいほど小さいことを保証するが可能である。その結果、放射線成分の回折減結合のために、間接的な熱原因の系収差を大きく回避することが可能である。

20

【 0 0 2 7 】

十分に大きい回折角をもつ回折によって放射線成分の有効な減結合を得るために、いくつかの実施形態では、回折構造が高密度ライン（dense lines）をもつパターンを有することができ、前記高密度ラインは、動作波長の 1 0 倍未満のライン間隔を有する。特に、高密度ラインをもつ領域内のライン間隔または周期は、動作波長の 5 倍未満、動作波長の 2 倍未満、または動作波長未満、例えば、当てはまる場合には動作波長の 1 0 分の 1 までとすることができる。通常、これによって得られる回折角は、放射線成分を導いて、隣り合う光学要素を通り過ぎて結像ビーム経路の外の非重大領域に分離させるのに十分である。

30

【 0 0 2 8 】

例として、ライン間隔は、例えば、深紫外線（D U V : deep ultraviolet）範囲の動作波長が使用される場合、4 0 0 n m 未満または 2 0 0 n m 未満とすることができる。他方、極紫外線（E U V : extreme ultraviolet）範囲からの動作波長が使用される場合、回折（diffractive）structure n d は、さらに細かく、例えば、数十ナノメートルの程度から 1 0 ナノメートルの下（ten nanometers of less）、例えば、1、2、3、または 5 ナノメートルなどまでのライン間隔とすることができる。

40

【 0 0 2 9 】

例として、高密度ラインは互いに平行に直線で延びることができ、その結果として、ラインの範囲に垂直な平面における回折方向を予め決めることが可能である。円形に湾曲したラインを用いて、回折構造を部分的にまたは完全に、例えば、同心円の形態に形成することも可能であり、そのとき、ライン間隔は半径方向に測定される。

【 0 0 3 0 】

要素の加熱の回避を考慮して、いくつかの実施形態では、回折構造は、部分的にまたは完全に、位相格子（phase grating）として設計することができる。例として、位相格子は、局所的に合焦されたレーザパルスによる石英材料の局所圧縮（local compacting）によって生成することができ、その結果として、隣り合う非

50

照射領域に対して照射領域の材料屈折率に変化があり、位相格子が実現される。オプションとして、光学要素の材料における位相格子のこのタイプの生成は、反射防止コーティングによってまたは反射コーティングによってさえも可能である。

【 0 0 3 1 】

位相格子により設計された回折構造の代替として、または位相格子として、またはそれに加えて、振幅格子の形態の回折構造を使用することも可能である。例として、振幅格子のラインは、適切な線状コーティングによって生成することができる。振幅格子の場合には、入射放射線の特定の成分が吸収される場合があることがあるが、この吸収成分は、大面積吸収コーティングをもつグレーフィルタの場合よりも低く、そのため、振幅格子も、原則として、回折構造として使用することができる。

10

【 0 0 3 2 】

補正面に回折効果の所望の局所分布を設定するために、回折構造の異なるパラメータを適切に選ぶことが可能である。例として、回折構造をもつ領域が、補正面において回折構造のない領域の隣に位置することが可能である。このように、補正面の1つの部分のみが回折構造で占められる場合がある。

【 0 0 3 3 】

代替としてまたは追加として、回折構造は、それらの間で互いに、すべて、回折構造が設けられているそれらの領域において同一であり、そのため、回折効果の局所分布は、主として、回折構造自体の局所分布によって影響される場合がある。代替としてまたは追加として、単位面積当たり密度が異なる回折構造が補正面に生成されることも可能である。その結果、回折構造をもつ領域内で局所的に異なる回折効果を得ることが可能である。

20

【 0 0 3 4 】

補正面の適用および低反射ビーム捕捉デバイスの適用のために適切な場所を選ぶとき、投影レンズの構造の特性を考慮することが可能である。例として、投影レンズは、中間結像なしに物体視野を像視野に直接結像するように設計することができる。少なくとも1つの実中間像 (*real intermediate image*) が物体平面と像平面との間の中間像平面の領域に生成されるように、投影レンズを構成することも可能である。この場合、それは、補正面 (すなわち、補正要素) を備えた光学要素が物体平面と中間像との間の瞳平面にまたは瞳平面の近傍に配置される場合、有利であり得る。この場合、回折放射線は、部分的にまたは完全に、中間像の領域の視野絞りまたは迷光絞りによって捕捉され得る。

30

【 0 0 3 5 】

代替としてまたは追加として、光学的に、投影レンズの視野平面の近傍に、例えば、物体平面の近傍に、または実中間像が形成されるならば中間像の近傍に、回折構造を備えた補正面を有する少なくとも1つの光学要素を取り付けることも可能である。好ましくは、補正面を備えた光学要素は、結像ビーム経路の開口絞りの上流に配置され、その結果、開口絞りは、低反射放射線捕捉デバイスとして使用することができる。

【 0 0 3 6 】

ウェーハスキャナ用高性能投影レンズ、例えば反射屈折投影レンズは、多くの場合、しばしば、光軸対して中心に置かれるのではなく軸外れである矩形 (有効) 物体視野を有する。物体視野および像視野が、第1の方向の視野幅と第1の方向に垂直な第2の方向の視野高さとの間の1よりも大きいアスペクト比を用いてスロット形状にされる場合、回折構造の構造要素の構造方位 (*structure orientations*) は、回折構造が主としてまたは排他的に第2の方向に回折するように設計されるならば好都合である。この結果として、比較的小さい回折角の場合でさえ、不要な放射線成分の信頼性の高い完全なマスキング (*masking* : 遮蔽) を得ることが既に可能である。

40

【 0 0 3 7 】

回折構造を用いて、目的の方法で投影レンズの射出瞳内の局所強度分布に影響を及ぼすことが可能である。その結果、この強度分布は、補正面が存在する場合、補正面が存在しない場合と異なることがある。このオプションを使用して、射出瞳内の強度分布の均等化

50

を得る、すなわち、変動を減少させることができる。原理的に、瞳透過関数の異なるプロファイルを用いて、変動を増幅するかまたは異なるタイプの変動を設定することも可能である。しかしながら、補正態様 (c o r r e c t i o n a s p e c t) がしばしば優先されることになる。

【 0 0 3 8 】

いくつかの変形では、補正面のない投影レンズの瞳透過率が測定によって決定され、回折構造は、空間依存回折プロファイルが生成されるように具現され (e m b o d i e d)、前記回折プロファイルは、補正面が結像ビーム経路に配置される場合、補正面のない構成に対して瞳透過率の変動を低減する。変動のこの低減は、結果として生じる瞳透過関数が瞳透過率の異なる値の間で変動する場合でさえ、すなわち、それが均一でない場合でさえ、ここでは「均等化」とも呼ぶ。

10

【 0 0 3 9 】

本発明を実施する範囲内で、局所的に変化する透過率を有する補正面をもつ光学要素を生成する方法を実行することが可能である。局所的に変化する透過率は、回折構造のタイプと、補正面での回折構造の局所分布とによって実質的に決定される。光学要素は、光学結像系の結像ビーム経路中の事前決定可能な位置で使用するために設けられる。設計のために、例えば、以下の手順を始めることができる。

【 0 0 4 0 】

ステップ a) - 選択ステップ - において、回折構造を備えるべき少なくとも 1 つの補正面の結像ビーム経路中の位置が選ばれる。

20

【 0 0 4 1 】

ステップ b) - 割り当てステップ - において、結像ビーム経路中の補正面の位置と視野依存瞳場所との間の割り当てを確認する (a s c e r t a i n)。

【 0 0 4 2 】

例として、これは、以下に記載されるように理解することができる。光学面上の点は、そのサブ開口 (s u b a p e r t u r e) から見られる視野点 x_i ごとに、瞳における場所に対応する: $p_i(x_i)$ 。一般に、以下が、このタイプの様々な視野点 x_i 、 x_j ...などに当てはまることになる:

【数 1】

$$p_j(x_j) \neq p_i(x_i)$$

30

例として、

$$v = (p_i(x_i) - p_{i+1}(x_{i+1})) / (x_i - x_{i+1}) .$$

に従って移動速度 v を定義することが可能である。これは、光学面 (光学系の) の場所に依存する。 $|v|$ が比較的大きい場合、表面は近視野位置 (n e a r - f i e l d p o s i t i o n) を有する。

【数 2】

$$|v| \approx 0$$

40

の場合、表面は近瞳位置 (n e a r - p u p i l p o s i t i o n) を有する。移動速度は 1 つの例にすぎない。他の特性が考えられ (例えば、他の機能プロファイル)、光学系に適合するように選ばれるべきである。そのような変数は、サブ開口比と相関する。通常、射出瞳内の補正にふさわしい挙動は、光学系のどこでも、しばしば、その表面でまたはその近傍で引き起こされる。サブ開口比はそれに割り当てることができ、そのとき、前記サブ開口比は、視野依存瞳強度分布に基づいて規定される移動速度または他の特性

50

と相関する。

【 0 0 4 3 】

例として、ステップ b) では光線シミュレーションを実行することができる。関連する表面が光学結像系の瞳平面に配置される場合、例えば、表面の各場所は、光学結像系の射出瞳内の固定場所に対応することになり、前記固定場所は視野位置によって変化しない。多くの場合、補正面として設けられる表面は、正確に瞳平面に位置づけられないことになる。これらの場合、射出瞳内の割り当てられた点は、視野点の位置に応じて変化することになる。

【 0 0 4 4 】

補正の導入の前に光学結像系の実際の状態が分かるように、像視野の異なる視野点に対して、すなわち、像視野の視野場所に応じて、射出瞳内の局所強度分布の測定が、ステップ c) - 計測ステップ - において実行される。計測ステップは、適切な測定システムで実行することができる。

10

【 0 0 4 5 】

ステップ d) - プロファイル確認ステップ - において、回折によって放射線強度のマスキングについての求められている (s o u g h t - a f t e r) 局所分布を表す意図した偏向プロファイル (d e f l e c t i o n p r o f i l e) を確認し、これは、射出瞳内の局所強度分布の求められている意図したプロファイルを得るのに必要である。原理的に、この方法ステップを実行した後、回折構造が設けられるべき補正面の場所または部分が分かり、前記回折構造が回折によって結像ビーム経路から放射線強度をどれくらい強く取り除くべきかが分かる。このステップを実行するとき、例えば、視野点ごとにまたは選択された視野点に対して射出瞳内の局所強度分布を瞳に関するゼルニケ (Z e r n i k e) 多項式で展開することが可能である。次いで、ステップ b) において確認された割り当てに基づいて、例えば、チコノフ正則化 (T i k h o n o v r e g u l a r i z a t i o n) または Q u a d P r o g 最適化の範囲内で、Z e r n i k e 係数で構成された目的関数を最小化する曲線を確認することは可能である。

20

【 0 0 4 6 】

この最適化ステップの結果は、オプションの比較ステップの範囲内で射出瞳内の局所強度分布の現在の仕様と比較することができる。補正の後、仕様が達成されていない場合、1つまたは複数の追加の補正面を加えることが可能である。仕様からの目標が最適化操作内で困難なく達成される場合、1つまたは複数の補正面を省略し、したがって、補正プロセスの複雑さ、コスト、期間、および誤差感受性を低減するように試みることができる。このオプションの反復プロセスの結果として、補正面と、マスキングされるべきそれぞれの光の量の関連するプロファイル (意図した偏向プロファイル) とのリストが生じる。このリストは、単一の補正面、または異なる位置の複数の補正面、例えば2つ、3つ、または4つの補正面を含むことができる。

30

【 0 0 4 7 】

この方法ステップの後、投影レンズにおいて射出瞳における所望の局所強度分布を得るために、放射線強度が結像ビーム経路から外への回折によってマスキングされるべき補正面と補正面の場所とが分かる。この目的に適した回折構造がどのように構造化され分布されるかは、依然として確認されなければならない。

40

【 0 0 4 8 】

この目的のために、補正面の区域場所に入射する光線の入射角をもつ第1のスペクトルが、ステップ e) - 角度スペクトル確認ステップ - において確認される。さらに、像視野の方向に区域場所から発する光線の反射角をもつ第2のスペクトルが確認される。その結果、結像ビーム経路内の補正面から進んで、像視野に達し、像発生に寄与することになるそれらの光線の光線角度は、第2のスペクトル内にある。回折光強度は、第2のスペクトル内の方向へ導かれるべきでない。好ましくは、非重大領域の方向に区域場所から進む光線の反射角をもつ第3のスペクトルが確認される。その結果、ステップ e) によって達成されるものは、生成されるべき回折構造が回折できる方向が分かり、どの回折方向を避

50

けるべきかが分かることである。

【 0 0 4 9 】

この方法ステップの結果に基づいて、動作波長の光線に対して、回折を第 2 のスペクトルの外で、特に第 3 のスペクトル内の方向または角度に生成する回折構造の構造周期および構造方位が、ステップ f) - 構造確認ステップ - において決定される。動作波長 から開始して、これは、ブラッグの式の

$$n = 2 d \sin$$

によって実現することができ、ここで、 n は回折次数であり、 λ は動作波長であり、 d は構造周期であり、 θ は回折角である。ここで、回折次数 (0 に等しくない) の回折角が、回折光を非重大領域に導くように、使用中に (動作中に) 補正面で生じるすべての入射角に対して具現されるそれらの構造周期および構造方位のみが、回折構造のための可能な構造パラメータと考えられる。

10

【 0 0 5 0 】

ステップ g) - 回折強度確認ステップ - において、回折構造の空間依存回折強度が確認され、回折構造により、意図した偏向プロファイルが得られることになる。回折強度は、まさに、マスキングされた光の所望のプロファイルが現われるように、空間依存で選択される。例として、この強度は、正確に所望の回折強度を供給する回折構造の振幅に変換することができる。通常、回折によって引き起こされるように意図された強度の変化 I は、近似式の

【数 3】

20

$$\Delta I \approx 2\pi h / \lambda$$

によって定量的に記述することができる。ここで、 h は光路長変化の振幅である。通常、この近似式は、ここで考慮している状況には十分な精度で適応し、その理由は、通常、入射放射線の強度の比較的小さい成分のみが回折によって結像ビーム経路から外にマスキングされるべきであるからである。

【 0 0 5 1 】

代替としてまたは補完的に、回折強度は、先行技術から分かっている厳密な方法を使用して、向上した精度で確認することができる。そのような方法は、とりわけ、モードベース計算 (mode - based calculations)、有限要素法 (finite element methods)、および有限差分法 (finite difference methods) を含む。

30

【 0 0 5 2 】

ステップ f) による構造周期および構造方位の確認、およびステップ g) による空間依存回折強度の確認は、時間オーバーラップでまたは時間的に連続して実行することができ、原理上、時間シーケンスは任意である。

【 0 0 5 3 】

次いで、補正面の回折構造が、ステップ f) およびステップ g) の結果に応じて生成され得る。

40

【 0 0 5 4 】

例として、特にほとんど吸収を生成しない位相格子を回折構造の生成のために使用することが可能である。すべての回折構造または回折構造の一部のみを位相格子として設計することができる。用途に応じて、オプションとして、回折構造の一部または回折構造のすべてを振幅格子として設計することも可能である。例として、振幅格子は、補正面として設けられた光学面にクロム構造を付けることによって生成することができる。

【 0 0 5 5 】

ここで説明する概念を様々な異なる動作波長、特にマイクロリソグラフィで現在使用されている動作波長で使用して、高い分解能およびパターン忠実性を得ることができる。例

50

えば、この概念は、深紫外線（D U V）範囲からの動作波長の電磁放射線が利用される場合に使用することができる。これらの動作波長は、約260nm未満の波長、例えば、248nm、193nm、または157nmなどを含む。この概念はまた、例えば、約5nmと約20nmとの間の、例えば、約13.4nmまたは約6.7nmなどの極紫外線範囲（E U V）からの動作波長の電磁放射線を利用する投影露光システムで使用することができる。したがって、回折構造の構造寸法は、所望の回折角および回折効率を得るように適合されるべきである。

【0056】

本発明のさらなる利点および態様は、特許請求の範囲、および図を参照して以下で説明する本発明の好ましい例示的な実施形態の以下の記載から明らかである。

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図1】回折補正要素を有する光学結像系の一実施形態による子午線断面を示す図である。

【図2】瞳座標の関数として図1からの投影レンズの瞳透過率を示す概略図である。

【図3】投影露光装置の例示的な実施形態を示す図である。

【図4】回折補正要素を有する反射屈折投影レンズの一実施形態による子午線断面を示す図である。

【図5】図4からの補正要素の概略的な平面図である。

【図6】E U Vリソグラフィのための投影露光装置の例示的な実施形態を示す図である。

【図7】反射回折補正要素を有する反射投影レンズの一実施形態による断面を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0058】

最初に、図1および図2を使用して、高性能光学結像系を使用するときの問題をより良く理解するためのいくつかの基礎を説明する。図1は、マイクロリソグラフィック投影露光装置のための屈折（ジオプトリック：dioptric）投影レンズPOの形態の光学結像系の一実施形態による子午線断面を示す。投影レンズのいくつかの代表的なレンズ要素L1、L2、L3、L4のみが縦断形で示されている。物体平面OSに配置され、光学軸に中心がある物体視野OFを、像平面ISにあり、光学軸に中心がある像視野IFに、投影レンズによって縮小する光学結像が、2つのビームB1およびB2によって表され、それらの一方（ビームB1）は、光軸AX上にある物点から発し、それらの他方（ビームB2）は、光軸からできるだけ大きく離れた軸外物点から発する。この物体側の物体平面OSおよび像側テレセントリック投影レンズに対して実質的に垂直に発する軸外ビームB2の光線CRは、結像の主光線（chief ray）（主線（principal ray））であり、それと光軸AXとの交点は、投影レンズの瞳平面PPOの軸方向位置を設定する。瞳の近くのビーム断面の境界を定め、使用される像側開口数NAを設定するための開口紋りASが、瞳平面の近傍に設けられる。各々の場合に物点から開口紋りの縁部まで進む光線は、この場合、「開口光線（aperture rays）」または「周縁光線（marginal rays）」と呼ばれる。

【0059】

様々な光線が、異なる幾何学的経路を通り過ぎ（実質的に同じ光路長の場合に）、大幅に異なる入射角で光学面に入射することは明らかである。全長において光軸の非常に近接してまたは光軸に沿って進む光線は、主としてレンズ要素の周辺で進む光線よりも光学高密度レンズ要素材料内で大きい吸収を経験する。逆に、特に周縁光線の場合には、特に高い入射角が光学面で生じる可能性があり、その結果として、これらの光線では、光軸の近くで進み、光学面を少なくとも近似的に垂直に通過する光線よりも通常大きい反射損が生じる。その結果、特に、同じ物点から開始する異なる光線は、投影レンズを通る経路において異なる全体透過率を「見る（see）」ことが分かる。

【0060】

この効果は、「瞳透過関数」によって定量的に記述することができるいわゆる「瞳透過

10

20

30

40

50

率」TPを用いて図2に示され、投影レンズの透過率は正規化瞳座標(normalized pupil coordinate)PKの関数としてプロットされる。実線Aは、屈折投影レンズの瞳透過率の典型的な曲線を表し、それは実質的に回転対称である。光軸(PK=0)の近傍の瞳透過率は、比較的高い値を有しており、それは、当初は、光軸からの半径方向距離の増加とともにさらに増加し、その後、光軸からさらに大きい距離の場合には、透過率は、瞳の縁部の近傍で著しく減少することが明らかである。

【0061】

投影レンズが、選ばれた像視野点(像視野IFにおける視野点)から考慮される場合、この像視野点に対する投影レンズの射出瞳が見られる。次いで、瞳透過率は、光学結像系の射出瞳内の強度の局所分布として現われる。強度のこの局所的な分布は均一にすることができ(瞳の強度変化がない)。しかしながら、通常、像視野点ごとの射出瞳には不均一な強度分布がある。一般に、射出瞳内の強度分布はまた、像視野点ごとに変化し、そのため、瞳の照明は、異なる像視野点とは異なるように見える。本願では、これは、射出瞳内の強度分布の視野依存性と呼ぶ。

10

【0062】

投影レンズを通る異なるビーム経路での投影レンズの実効透過率の強い変動は、結像品質に大きい影響がある可能性がある。射出瞳内の強度分布の著しい視野依存性は、例えば、像視野にわたる生成された構造の限界寸法(critical dimensions)の変動(CD変動)を引き起こすことがある。

【0063】

20

不均一に照明された射出瞳内のあり得る問題を図2に基づいてより詳細に説明する。マスクMのパターンPATの少なくとも1つの像で放射線感受性基板Wを露光するための投影露光方法を考える。マスクは、パターンPATが投影レンズの物体平面OSの領域に配置されるように、図1に示されていない照明系と投影レンズPOとの間に保持される。基板Wは、物体平面と光学的に共役な投影レンズの像平面ISの領域に基板の放射線感受性面が配置されるように保持される。マスクの照明視野は、照明系によって供給される動作波長の照明放射線によって照明される。照明視野の位置およびサイズは、効果的に使用される物体視野OFの位置およびサイズを決定する。

【0064】

照明視野にあるパターンPATの一部は、上述の方法で投影レンズを用いて像平面の像視野IFに転写される。例示的な場合、パターンPATは、ラインが互いに比較的密である第1の領域Iと、その隣りに、ラインがより大きいライン間隔、すなわち、より粗い構造を有する第2の領域IIとを有する。二重極照明が照明系に設定され、前記二重極照明設定は照明系の瞳平面における2つの照明強度最大値によって特徴づけられ、2つの照明強度最大値は光軸に関して互いに全く反対側にあり、光軸から完全に外れている。パターンPATは、それにより生成された照明放射線用回折格子として機能する。ここで、より大きい格子定数(またはより小さいライン密度)をもつ第2の領域IIの回折角は、より大きいライン密度をもつ第1の領域Iの回折角よりも小さい。

30

【0065】

二重極照明(dipole illumination)の照明最大値の軸外位置に応じて、0次の回折「0」は、光軸から外れて、例示的な場合には約-0.7の正規化瞳座標に位置する(図2を参照)。照明強度最大値の軸外位置は、ここで、より小さいライン密度をもつ第2の領域IIに関連する1次の回折 $1_{||}$ が瞳の反対側で瞳座標PK=+0.7に光軸に対して実質的に対称的に位置するように選ばれる。第1の領域Iのより大きいライン密度はより大きい回折角をもたらし、そのため、関連する1次の回折 $1_{||}$ は、瞳の外側縁部に一層近接して、例えば約0.9の瞳座標に位置する。1次の回折のこの周縁位置は、投影レンズの選ばれた開口数の場合には、第1の領域Iのより高いライン密度が投影レンズの解像限界により近くなることを示す。

40

【0066】

異なる次数の回折は、今では、瞳におけるその位置に対応する局所瞳透過率TPで転送

50

され、そのため、瞳透過率に対する、したがって、さらに、照射線量に対する異なるパターン固有値が、異なるライン密度で部分パターンに対して現われる。射出瞳内の強度分布を設定するために積極的介入が行われなかった曲線 A で表された投影レンズの場合には、0 次の回折および関連する 1 次の回折 1_{11} に関連しており、それら自体の間で実質的に同じである瞳透過率値が、瞳透過率の最大値の近傍にあるので、第 2 の領域 II のより粗い構造が比較的高い線量で結像され得る。対照的に、瞳の縁部の近くに位置するより微細な部分パターンの 1 次の回折 1_1 の瞳透過率 T_p は著しく低く、そのため、基板でのパターン固有線量は粗い構造のものよりも著しく低い。例示的な場合、これは、露光される基板の関連するラインが、より遠く離れている第 2 の領域 II のラインよりも著しく大きいかまたは小さいライン幅を有することに寄与する。その結果、線量差が現われ、それは、露光される基板の限界ライン幅に著しい変動をもたらすことがあり、その結果として、結像品質が損なわれる。

10

【 0 0 6 7 】

例示的な実施形態では、瞳透過関数の曲線または投影レンズの射出瞳内の強度分布が別個の手段を用いて設定されることによって、この望ましくない影響の著しい低減を達成することができる。図 2 の例示的な場合、瞳透過関数は、細かい構造の 1 次の回折 1_1 が位置する領域におけるよりも強力に精密にするために、積極的な設定のない投影レンズと比較して、瞳透過率の値が最大値の領域（すなわち、0 次および 1 次の回折が粗い構造に対して位置している場所）で減少するように、「B」で表され破線で示された曲線に変更される。その結果、ラインの密度の違いによる瞳透過率の差が減少し、そのため、上述の不利な影響が小さくなるかまたは限界閾値未満に留まる可能性がある。

20

【 0 0 6 8 】

図 1 および図 2 の例示的な実施形態では、これは、投影レンズの瞳平面 PPO の近傍の特別なタイプの透過フィルタリングによって、すなわち、アポダイゼーション法によって達成される。この目的のために、透明な平行平板（transparent plane - parallel plate）の形態の光学要素 PP が選ばれ、前記板は、投影レンズ PO の瞳平面 PPO の光学的近傍の開口絞り AS の直前に置かれる。この光学要素の少なくとも 1 つの光学面、例示的な場合には物体平面に面する入射面 S_1 が、補正面として選ばれる。光学要素は、光学的使用領域 UA （詳細図を参照）を有し、それは、瞳平面の直近の光学要素の位置に対応して、実質的に円形であり、光軸 AX と、光学的使用領域の外側にある周縁領域とを含み、光学要素を保持するための保持構造が周縁領域に係合する。

30

【 0 0 6 9 】

回折構造 DS は投影露光装置の動作の間、回折構造が、回折構造に入射する結像ビーム経路の光線の強度の成分を結像ビーム経路の外の非重大領域に回折によって誘導するように、事前決定可能な局所分布に従って光学的使用領域 UA 内に生成される。ここで、例示的な場合、回折強度の局所最大値が瞳透過関数の局所最大値に対応する領域に（ $PK = 0.7$ および $PK = -0.7$ に）あり、その結果、回折によるその光強度のマスキングが、例えば、光軸 AX の近くよりも強くなるように回折構造が配置される。回折による放射線強度の局所的に不規則なマスキングの結果として、これらの領域の瞳透過率は、光軸の近傍（回折構造がなく、それゆえに、原理的に、透過率の低減がない）におけるよりも強く減少し、そのため、瞳透過率をより均一にするかまたは瞳透過率の変動を低減する上述の効果が生じる。領域に回折効果をもつ光学要素 PP は、より均一な分布の効果のために射出瞳内の強度分布の少なくとも部分的な補正をもたらすので、補正要素 PP とも呼ばれる。

40

【 0 0 7 0 】

例示的な場合、回折構造体 DS は、回折された放射線の 40 % 超、は 60 % 超、またはさらに 80 % 超が像視野 IF まで達せず、それゆえに、像生成を損なう可能性もないように設計される。回折された放射線成分が投影レンズの内側表面の反射によって迂回により像視野に達するのを避けるために、別個の低反射放射線捕捉デバイス SI_1 、 SI_2 が、

50

図 1 の例では投影レンズの内部に取り付けられる。例として、これらは、動作波長の光を吸収するコーティングで被覆されてもよく、または例えば表面構造化による他の放射線吸収設計を有してもよい。例示的な場合、放射線捕捉デバイスは、補正要素 P P からの数センチメートルの大きい距離に配置され、そのため、放射線捕捉デバイスのあり得る加熱は、熱伝導により補正要素 P P まで達することができない。回折による放射線成分のマスキングは、特に、回折構造を位相格子として設計する場合、ほとんど吸収なしに機能する。この結果として、困難を伴ってしか制御できない光学要素 P P の不利な局所要素加熱なしに、放射線強度成分のマスキングを得ることが可能である。

【 0 0 7 1 】

さらなる例示的な実施形態が、図 3 および図 4 に基づいて説明される。図 3 は、マイクロリソグラフィック投影露光装置 W S C の一例を示し、それは、半導体構成要素および他の微細構造構成要素の生成で使用可能であり、数分の 1 マイクロメートルまで下がった分解能を得るために深紫外線 (D U V) 範囲の光または電磁放射線で動作する。約 1 9 3 n m の動作波長の A r F エキシマレーザは、一次放射線源または光源 L S として機能する。他の U V レーザ光源、例えば、1 5 7 n m の動作波長の F₂ レーザまたは 2 4 8 n m の動作波長の K r F エキシマレーザも可能である。

【 0 0 7 2 】

その出射面 (e m e r g e n c e s u r f a c e) E S において、光源 L S の下流に配設された照明系 I L L は、大きい、境界のはっきりした、実質的に均一に照明された照明視野を生成し、それは、光路において照明系 I L L の背後に配置された投影レンズ P O のテレセントリシティ (t e l e c e n t r i c i t y : テレセントリック性) の要件に適合する。照明系 I L L は、異なる照明モード (照明設定) を調節するためのデバイスを有し、例えば、異なるコヒーレンス度をもつ従来の軸上 (o n - a x i s) 照明と、軸外 (o f f - a x i s) 照明との間で切り替えることができる。例として、軸外照明モードは、環状照明 (a n n u l a r i l l u m i n a t i o n) 、二重極照明 (d i p o l e i l l u m i n a t i o n) 、四重極照明 (q u a d r u p o l e i l l u m i n a t i o n) 、または他の多極照明 (m u l t i - p o l a r i l l u m i n a t i o n) を含む。

【 0 0 7 3 】

レーザ L S からの光を受け取り、この光から、レチクル M に向けられる照明放射線を形成する光学構成要素は、投影露光装置の照明系 I L L の一部である。

【 0 0 7 4 】

レチクルに配置されたパターンが投影レンズ P O の物体平面 O S に位置するようにマスク M (レチクル) を保持し操作するためのデバイス R S が、照明系の下流に配置され、物体平面 O S は、照明系の出射平面 (e m e r g e n c e p l a n e) E S と一致し、ここではレチクル平面 (r e t i c l e p l a n e) O S とも呼ばれる。スキャン動作のために、マスクは、この平面内で、スキャナドライブを用いて光軸 O A (z 方向) に垂直なスキャン方向 (y 方向) に移動可能である。

【 0 0 7 5 】

投影レンズ P O がレチクル平面 O S の下流に続き、投影レンズ P O は、縮小レンズとして機能し、フォトレジスト層で被覆された基板 W 上にマスク M に配置されたパターンの像を、縮尺で、例えば、1 : 4 (| | = 0 . 2 5) または 1 : 5 (| | = 0 . 2 0) の縮尺で結像し、その感光性基板表面 S S は投影レンズ P O の像平面 I S の領域にある。

【 0 0 7 6 】

例示的な場合には半導体ウェーハ W である露光されるべき基板は、光軸 O A に垂直なレチクル M と同期してウェーハをスキャン方向 (y 方向) に移動させるためにスキャナドライブを含むデバイス W S によって保持される。「ウェーハステージ」とも呼ばれるデバイス W S および「レチクルステージ」とも呼ばれるデバイス R S は、スキャン制御デバイスにより制御されるスキャナデバイスの構成要素であり、スキャン制御デバイスは、本実施形態では、投影露光装置の中央制御デバイス C U に統合される。

10

20

30

40

50

【0077】

照明系 I L L によって生成された照明視野は、投影露光の間使用される有効物体視野 O F を画定する。例示的な場合、有効物体視野 O F は矩形であり、それは、スキャン方向 (y 方向) に平行に測定された高さ A * を有し、それに垂直に (x 方向に) 測定された幅 B * > A * を有する。一般に、アスペクト比 $AR = B^* / A^*$ は、2 と 10 との間に、特に、3 と 6 との間にある。有効物体視野は、光軸に隣接して (next to the optical axis) y 方向に距離を置いている (軸外視野) 。有効物体視野と光学的に共役である像平面 I S の有効像視野は、有効物体視野と同じ形態と、有効物体視野と同じ高さ B と幅 A との間のアスペクト比とを有するが、絶対視野寸法は投影レンズの結像縮尺 だけ減少する、すなわち、 $A = | \quad | A^*$ および $B = | \quad | B^*$ である。

10

【0078】

投影レンズが液浸レンズとして設計および操作される場合、浸液の薄い層が投影レンズの動作の間透光され、薄い層は、投影レンズの出射面と像平面 I S との間に置かれる。像側開口数 $NA > 1$ が液浸動作の間可能である。ドライレンズとしての構成も可能であり、この場合、像側開口数は値 $NA < 1$ に制限される。

【0079】

図 4 は、投影露光装置 W S C で使用することができる投影レンズ P O の一例を示す。

【0080】

図 4 は、反射屈折投影レンズ P O の一実施形態の概略子午線レンズ断面を、動作中の投影レンズを通して延びる投影放射線の結像ビーム経路を解明するための選択されたビームとともに示す。投影レンズは、物体平面 O S に配置されたマスクのパターンを物体平面と平行に整列された像平面 I S の上に、縮尺で、例えば 4 : 1 の縮尺で、結像するための縮小効果をもつ結像系として設けられる。ここで、正確に 2 つの実中間像 I M I 1、I M I 2 が、物体平面と像平面との間に生成される。透明な光学要素のみから構成され、それゆえに、純粋に屈折性 (ジオプトリック) である第 1 のレンズ部 O P 1 は、物体平面のパターンが第 1 の中間像 I M I 1 に拡大して結像されるように設計される。それは、反射屈折の第 2 のレンズ部 O P 2 を用いて、サイズの変更なしに第 2 の中間像 I M I 2 に実質的に結像される。第 2 のレンズ部は 2 つの凹面ミラー C M 1、C M 2 からなり、それらのミラー面は互いに向き合っており、どちら場合にも近視野配置で配置される (中間像の近く、それらの間にある瞳平面から離れて) 。第 3 の純粋に屈折性のレンズ部 O P 3 は、第 2 の中間像 I M I 2 を像平面 I S に大きく縮小して結像するように設計される。すべてのレンズ部は、共通の直線 (折り畳まれていない) 光軸 O A (一直線の系 (system : システム)) を有する。

20

30

【0081】

結像系の瞳平面 P 1、P 2、P 3 は、それぞれ、物体平面と第 1 の中間像との間に、第 1 の中間像と第 2 の中間像との間に、および第 2 の中間像と像平面との間にそれぞれ位置し、光学結像の主光線 C R は光軸 O A と交差する。系の開口絞り A S は、第 3 のレンズ部 O P 3 の瞳平面 P 3 の領域に取り付けられる。反射屈折の第 2 のレンズ部 O P 2 内の瞳平面 P 2 は、2 つの凹面ミラーから光学的に離れている。

【0082】

40

投影レンズが液浸レンズとして設計および操作される場合、浸液の薄い層が投影レンズの動作の間透光され、薄い層は、投影レンズの出射面と像平面 I S との間に置かれる。例えば、同等の基本構造をもつ液浸レンズが、例えば、W O 2 0 0 5 / 0 6 9 0 5 5 A 2 に示されている。像側開口数 $NA > 1$ が液浸動作の間可能である。ドライレンズとしての構成も可能であり、この場合、像側開口数は値 $NA < 1$ に制限される。

【0083】

(近軸 (paraxial)) 中間像 I M I 1、I M I 2 の位置は、それぞれ、物体平面と像平面とに光学的に共役にされた系の視野平面を画定する。ビーム経路中の光学要素または光学面の位置を定量化するために、例えば、サブ開口比 S A R を使用することができる。

50

【 0 0 8 4 】

説明する定義によれば、結像ビーム経路中の光学要素の光学面のサブ開口比 SAR は、サブ開口直径 SAD と光学自由直径 (optical free diameter) DCA との間の比率として定義され、 $SAR := SAD / DCA$ に従う。サブ開口直径 SAD は、所与の視野点から発するビームの光線によって照明される光学要素の部分の最大直径によって与えられる。光学的自由直径 DCA は、物体視野から来るすべての光線によって照明される光学要素の表面の領域を含む、光学要素の基準軸のまわりの最も小さい円の直径である。

【 0 0 8 5 】

その結果、 $SAR = 0$ は、視野平面 (物体平面、像平面、または中間像平面) に当てはまる。 $SAR = 1$ は瞳平面に当てはまる。それゆえに、「近視野 (near-field)」面は、0 に近いサブ開口比を有し、一方、「近瞳 (near-pupil)」面は、1 に近いサブ開口比を有する。

10

【 0 0 8 6 】

基準平面 (reference plane) (例えば、視野平面または瞳平面) からの光学面の光学近接度または光学距離は、本願ではいわゆるサブ開口比 SAR によって記述される。本願の目的では、光学面のサブ開口比 SAR は、以下のように定義され、

$$SAR = \text{sign} CRH (MRH / (|CRH| + |MRH|))$$

ここで、 MRH は周縁光線高さを表し、 CRH は主光線高さを表し、符号関数の $\text{sign} x$ は、 x の符号を表し、慣例により $\text{sign} 0 = 1$ である。主光線高さは、大きさに関して最大視野高さをもつ物体視野の視野点の主光線のビーム高さを意味するように理解される。ここで、光線高さは、符号を付けられていると理解されるべきである。周縁光線高さは、光軸と物体平面との間の交点から進む最大開口をもつ光線の光線高さを意味するように理解される。この視野点は、特に軸外像視野の場合に、物体平面に配置されたパターンの転写に寄与する必要はない。

20

【 0 0 8 7 】

サブ開口比は、視野または瞳に対する平面のビーム経路中の近接の尺度である符号付き変数である。定義により、サブ開口比は - 1 と + 1 との間の値に正規化され、サブ開口比は、各視野平面ではゼロであり、サブ開口比は、瞳平面では - 1 から + 1 にまたは逆にジャンプする。それゆえに、1 の絶対値をもつサブ開口比は瞳平面を決定する。

30

【 0 0 8 8 】

それゆえに、近視野平面は、0 に近いサブ開口比を有し、一方、近瞳平面は、大きさに関して 1 に近いサブ開口比を有する。サブ開口比の符号は、基準面の上流または下流の平面の位置を指定する。

【 0 0 8 9 】

透明な平板 PP の形態の光学要素は、瞳近傍空間 PS 内の第 1 の瞳平面 $P1$ の領域の結像ビーム経路に配置される。

【 0 0 9 0 】

光学設計を構想するとき、平板の光学効果が考慮に入れられる。マウント (mount) を含む平板は、交換構成要素として設計され、投影露光装置の交換デバイス EX を用いて結像ビーム経路から取り外すことができ、例えば、同じ厚さをもつ異なる平板と置き換えることができる。他の平板は、光学的使用領域 UA に回折構造をもつ平板状補正要素 PP' として設計することができる。図 5 は、回折構造 DS をもつそのような補正板の変形の概略平面図を示す。回折構造を設計するとき、特に、高密度ラインの方向を設定するとき、投影レンズの特性が考慮に入れられた。

40

【 0 0 9 1 】

投影レンズの設計は、投影レンズの視野平面の領域にある 2 つの実中間像 $IMI1$ 、 $IMI2$ を有する。そのような領域は、迷光 (例えば、散乱光および超開口光) が像視野 IF に達せず、結像品質を低下させないことを確実にする迷光絞りを配置するために使用することができる。図 4 は、放射線捕捉デバイスとして機能する 2 つの迷光絞り $BL1$ 、 B

50

L 2 を示す。有効物体視野 O F と同様に、有効像視野 I F は、x 方向と平行に延びる長辺と y 方向と平行に延びる短辺とをもつ矩形である。範囲は、例えば、26 mm × 5.5 mm とすることができる。補正要素 P P は、第 1 の瞳平面 P 1 に、またはその近傍に、すなわち、物体平面 O S と第 1 の中間像 I M I 1 との間に配置される。それゆえに、補正要素の場所と後続の視野平面との間のフーリエ (F o u r i e r) 関係によれば、補正要素の領域の角度変化は、後続の中間像平面の領域における場所変化に変わることになる。

【 0 0 9 2 】

回折構造が短視野方向の方向に、すなわち、y 方向 (スキャン方向) と実質的に平行に回折するように回折構造を設計することは有利であると考えられる。これにより達成されるものは、反対側の視野縁部から生じた光線でさえ中程度の回折角で中間像を既に出ており、視野絞り (迷光絞り (s t r a y l i g h t s t o p)) によってマスキングすることができることである (図 4 の破線の回折光線 B S を参照) 。回折構造が長い視野範囲の方向に回折するように回折構造のラインを y 方向と平行に整列させることも可能である。しかしながら、この場合は、対応して、視野絞りによる信頼性の高いマスキングを達成するために、より大きい角度変化、したがって、より細かい回折構造を必要とすることになる。例として、有効像視野から外に確実に回折させるために、0.41 の回折角のサインが必要とされることがある。

【 0 0 9 3 】

約 193 nm の動作波長が使用される場合、この推定から導き出すことができることは、例えば 255 nm 以下の周期をもつ高密度ラインが、信頼性の高いマスキングを達成するために十分に強く回折することである。回折構造のラインは長い視野範囲に沿って方向付けられるが、その理由は、回折が、そのとき、所望の通りに、それに垂直に、すなわち、短視野方向に沿って引き起こされるからである。

【 0 0 9 4 】

原理的に、回折構造は、さらに、近視野配置の光学要素、すなわち、光学的に視野平面 (例えば、物体平面または中間像平面) の近傍に配置された光学要素にも適用することができる。次いで、回折された放射線は、例えば、開口絞り A S を用いて捕捉することができる。

【 0 0 9 5 】

互いに平行な直線によるライン構造に加えて、回折構造として円形構造を使用することも可能であり、これは、一般にほぼ円形の瞳のために有利となることがある。

【 0 0 9 6 】

請求される本発明の使用は、D U V 範囲に対して設計された上述の実施形態に制限されない。代わりに、E U V 範囲などの他の動作波長も使用することができる。図 6 は、E U V リソグラフィ用の投影露光装置の例示的な実施形態を示し、図 7 は、E U V 範囲に適し、反射回折補正要素を有する反射投影レンズの一実施形態の断面を示す。

【 0 0 9 7 】

図 6 のマイクロリソグラフィ投影露光装置 W S C は、放射線源 L S、照明系 I L L、および投影レンズ P O を含む。放射線源 L S は、動作波長 の近くの波長範囲の一次放射線を生成し、この放射線は、放射線ビーム R B として照明系 I L L に誘導される。照明系 I L L は、拡大、均質化、光線角度分布の変更などによって一次放射線を変更し、それによって、出力部において照明放射線ビーム R B を発生し、照明放射線ビーム R B は、結像されるべきパターンを担持または形成する反射性レチクルまたはマスク M に衝突する。「レチクル」または「マスク」という用語は、通常、パターンを生成するのに適する反射パターン生成デバイスを意味する。

【 0 0 9 8 】

投影レンズ P O は、物体平面 O S に配置されたパターンを、物体平面に対して光学的に共役な像平面 I S に結像するように設計された光学結像系である。放射線は、投影レンズを通過し、基板保持デバイス W S によって搬送される半導体ウェーハの形態の基板 W の表面 S S の像平面 I S の領域に衝突する。放射線源からレチクルに進む放射線は、通常、照

10

20

30

40

50

明放射線とも呼ばれ、一方、レチクルから基板まで進む放射線は、しばしば、結像放射線または投影放射線と呼ばれる。

【0099】

投影レンズPOは基準軸RAXを規定する。物体視野OFは、前記基準軸に対してY方向において中心に置かれる。結像系の光学要素は、前記基準軸に対して偏心させることができる。

【0100】

この例の場合、放射線源LSは、約5nmと約30nmとの間、特に、約10nmと約20nmとの間の波長範囲の放射線を生成するEUV放射線源である。放射線源は、特に、動作波長が約13.5nmの範囲にあるように設計することができる。EUV範囲からの（例えば、約6.7nmから6.9nmの範囲の）他の波長も可能である。

10

【0101】

照明系ILLは、最高に均一な強度プロファイルおよび規定された光線角度分布を有する照明放射線が発生されるように設計され配置された光学構成要素を含む。この例の場合、ビーム誘導および/またはビーム整形のために設けられる照明系のすべての光学構成要素は、純粋に反射構成要素（ミラー構成要素）である。

【0102】

マスクは、マスク保持デバイスRSによって保持される。照明放射線は、反射レチクルMによって投影レンズPOの方向に反射され、角度分布および/または強度分布に関して変更される。投影レンズを通して基板Wに進む放射線は、結像ビーム経路を形成し、概略的に、2つの光線ROが、投影レンズの物体側に（レチクルと投影レンズとの間に）示されており、像視野IFの像点に収束する2つの光線RIが、像側（投影レンズと基板との間に）に示される。投影レンズの像側で収束光線RIによって形成される角度は、投影レンズの像側開口数NAに関連する。像側開口数は、例えば、0.4以上以外に、0.1以上、0.2以上、または0.3以上とすることができる。

20

【0103】

投影レンズPOは、投影レンズの物体視野OFの領域からのパターンを、縮小して投影レンズの像視野IFに転写するように設計される。投影レンズPOは、1/4に（by a factor of 4; 4の因子で）縮小する。他の縮小、例えば、1/5への縮小（5 fold demagnification）、1/6への縮小（6 fold demagnification）、または1/8への縮小（8 fold demagnification）、あるいはそれほど強くない縮小、例えば、1/2への縮小（2 fold demagnification）も可能である。

30

【0104】

EUVマイクロリソグラフィ用投影レンズの実施形態は、反射光学要素（反射光学系：catoptric system）のみを使用する。投影レンズは、一般に、少なくとも3つまたは少なくとも4つのミラーを有する。正確に6つの湾曲したミラーが、多くの場合、有利である。偶数の湾曲ミラーがある場合は、すべてのミラーを物体平面OSと像平面ISとの間に配置することができ、これらの平面を互いに平行に向けることができ、それによって、投影露光装置の投影レンズの統合が簡単になる。

40

【0105】

投影露光装置の説明を容易にするために、デカルト（Cartesian）x、y、z座標系が図1に示される。この場合、z方向は基準軸RAXと平行であり、xy平面はそれに垂直であり、すなわち、物体平面および像平面と平行であり、y方向は、イラストの図面の平面内にある。

【0106】

投影露光装置WSCはスキャナタイプのものである。レチクルMおよび基板Wは、投影露光装置の動作中に、y方向と平行に同期して移動され、その結果、時間的に連続して、レチクルの異なる領域が、移動しているウェーハに転写される。ステップタイプの実施形態も可能である。

50

【0107】

図7は、 yz 平面を断面平面 (sectional plane) とする投影レンズP Oの実施形態の概略断面を示す。投影レンズは、垂直入射またはほぼ垂直入射で使用される湾曲ミラー面をもつ合計で6つのミラーM1からM6と、平面反射面 (plane reflecting surface) を有する1つのかすめ入射 (grazing incidence) ミラーG Iとを含む。いずれの場合にも、ミラーM1からM6およびG Iの計算された反射面のみが示されている。実際の投影レンズのミラーは、通常、実際に使用される反射面よりも大きい。ステップアンドスキャン動作に設計されたミラー系は、矩形 (または湾曲) OFで動作し、像側開口数 $NA = 0.45$ に達する。像視野IFは、 $2\text{ mm} \times 26\text{ mm}$ の視野サイズを有し、スキャン方向と平行に延びる短い寸法 (2 mm) は、スキャン (走査) スリット長と呼ばれ、 x 軸と平行に測定される長い寸法は、スキャンスリット幅とも呼ばれる。6つの曲線ミラーおよびかすめ入射ミラーG Iの他に、投影レンズは、ビーム誘導および/またはビーム整形のために機能する光学要素を有していない、すなわち、反射光学 (全反射) 結像系である。図6の実施形態の光学パラメータに関する詳細は、参照により本出願に組み込まれる独国特許出願第10 2012 202 675号の説明および表に開示されている。

10

【0108】

照明系ILLから来る放射線は、最初に、物体平面に配置された反射マスクMに衝突する。反射された放射線は、次いで、凹面の第1のミラーM1、凸面の第2のミラーM2、凹面の第3のミラーM3、凹面の第4のミラーM4、平面かすめ入射ミラーG I、凸面の第5のミラーM5、および第6のミラーM6にこの順序で衝突し、第6のミラーM6は像平面ISに面する凹面ミラー面を有し、衝突する放射線は、第6のミラーM6によって、像平面ISに反射され合焦される。実中間像IMIは、第4のミラーM4と第5のミラーM5との間のかすめ入射ミラーG Iの背後で (下流で) 第6のミラーの孔の領域に形成される。投影レンズ内の瞳平面PPは、第2のミラーM2と第3のミラーM3との間に光学的におよび幾何学的に配置される。

20

【0109】

投影レンズP OのミラーM1からM6およびG Iのすべての反射面は、静的自由曲面 (static freeform surface) として具現される。この場合、「自由曲面」は、回転非対称 (非回転対称) 面であり、回転非対称面の表面座標は、少なくとも1波長 (動作波長) だけ最適の回転対称面から外れていることが好ましい。静的自由曲面は、結像系の動作の間形態に関して積極的に変化しない自由曲面であると理解される。当然、静的自由曲面は、調節目的のために全体的に変位させることができる。自由曲面が少ないまたは自由曲面がない (単に回転対称面) による実施形態が可能である。

30

【0110】

投影レンズの1つの単一ミラーまたは投影レンズの1つを超えるミラーは、補正要素として機能するように選択する (または選ぶ) ことができ、その結果、反射光学面は、補正面の光学的使用領域に事前決定可能な局所分布に従って回折構造を生成することによって補正面として構成される。例えば、瞳平面に光学的に近くでの補正が望まれる場合、凸面の第2のミラーM2を選択することができる。中間位置でのまたは視野平面に光学的により近くでの影響が望ましい場合、湾曲ミラーM1および/またはM4を選択することができる。

40

【0111】

補正のために選択されたミラー (単数又は複数) は、交換可能なミラーとして構成され、交換可能なミラーとは、ミラーが投影レンズのフレーム全体を分解することなく同様のミラー (同様の光学ベースパラメータ) と交換できることを意味する。図7の例では、第1のミラーM1が選択される。二重矢印は、第1のミラーM1が交換可能なミラーとして構成されることを示す。

【0112】

詳細図に概略的に示されるように、回折構造DSは、投影露光装置の動作の間、回折構

50

造が、回折構造に入射する結像ビーム経路のEUV光線の強度の成分を結像ビーム経路の外の非重大領域に回折によって誘導するように、事前決定可能な局所分布に従って第1のミラーM1の光学的使用領域UA内に生成される。投影ビーム経路から外に結合した光線は、低反射放射線捕捉デバイスSI1において吸収される。

【0113】

EUV範囲の動作波長（例えば、約13.5nmまたは約6.7nm）のために、回折（回折させる）構造は、一般に、DUV系に適するものよりも細かいライン間隔を有するように製造される。ライン間隔は、数十ナノメートルの程度から10ナノメートル以下、例えば1、2、3、または5ナノメートルなどまでとすることができる。

【0114】

リソグラフィック方法を使用して、回折構造を発生することができる。例えば、ナノインプリントリソグラフィを使用することができる。ナノインプリントリソグラフィは、ナノメートルスケールのパターンを製作する方法である。それは、低コスト、高スループット、および高分解能の簡単なナノリソグラフィプロセスである。それは、インプリントレジストの機械的変形および後続のプロセスによってパターンを作り出す。インプリントレジストは、一般に、インプリンティング中に熱またはUV光によって硬化されるモノマーまたはポリマー調合物である。レジストとテンプレートとの間の接着は、適切な剥離を可能にするように制御される。それによって、EUVミラーの反射面を形成する多層反射コーティングの上および/または中に回折構造を発生させることができる。EUV吸収材料を使用して、回折構造を形成することができる。

【0115】

代替として、誘導自己組織化(direct self assembly)(DSA)方法を使用することができる。誘導自己組織化(directed self-assembly)(DSA)は、ブロックコポリマー形態(block copolymer morphology)を利用してライン、スペース、および孔パターンを作り出し、フィーチャ形状の正確な制御を容易にする誘導組織化(directed assembly)の一種である。DSAは、表面相互作用ならびにポリマー熱力学を使用して、最終パターン形状の形成を完成させる。

【0116】

湾曲ミラー(curved mirrors)のみからなる投影レンズ(すなわち、かすめ入射ミラーなしの投影レンズ)の実施形態が同様に可能である。一例が、DE 10 2015 223 795 A1に示されている。

【0117】

本発明の態様が、マイクロリソグラフィック投影露光方法およびマイクロリソグラフィック投影レンズの例を使用して説明された。この概念は、他の結像方法および結像系に移すこともできる。その結果、動作波長の放射線を使って、物体平面からの結像されるべき対象物の領域を物体平面と光学的に共役な光学結像系の像平面に結像するための結像方法が、さらに、開示され、前記結像方法は、結像されるべき対象物の領域が光学結像系の物体平面の物体視野に配置されるように物体を保持するステップと、結像されるべき物体の領域を像平面に位置する像視野上に、光学結像系を用いて、結像するステップであり、像視野での像生成に寄与するすべて光線が光学結像系の結像ビーム経路を形成する、結像するステップとを含み、光学結像系の射出瞳内の局所強度分布を設定するために、以下のステップ、すなわち、光学結像系の光学要素の少なくとも1つの光学面を補正面に選ぶステップと、動作中に、回折構造が、回折構造に入射した光線の強度の成分を結像ビーム経路の外の非重大領域に回折によって誘導するように、事前決定可能な局所分布に従って補正面の光学的使用領域に回折構造を生成するステップとを実行する。

10

20

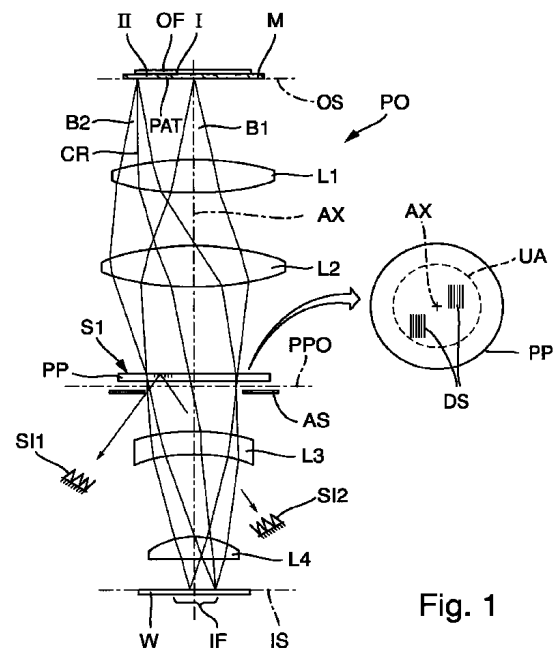
30

40

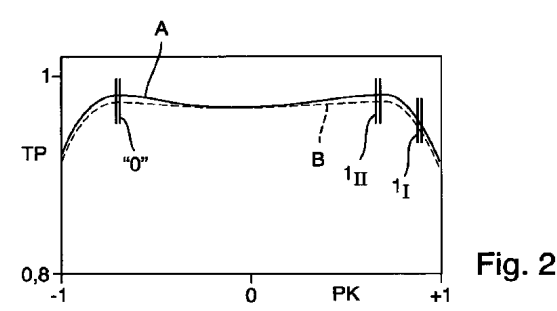
50

【図面】

【図 1】



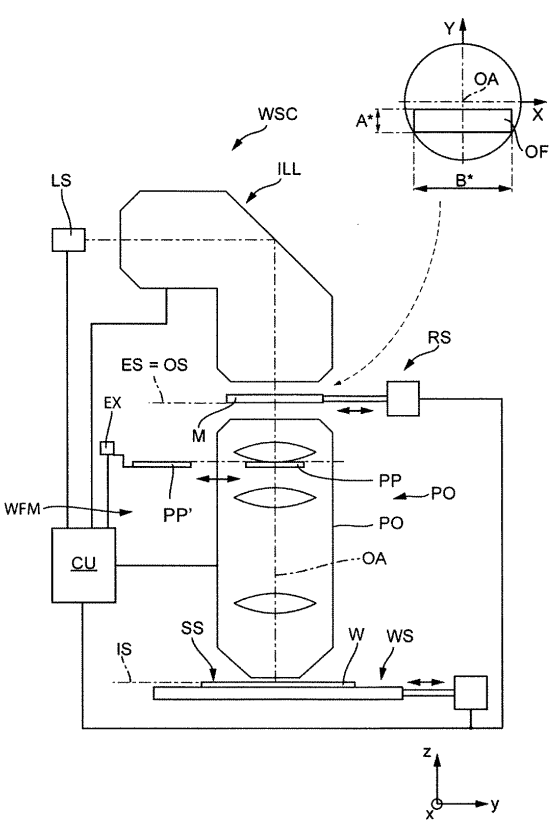
【図 2】



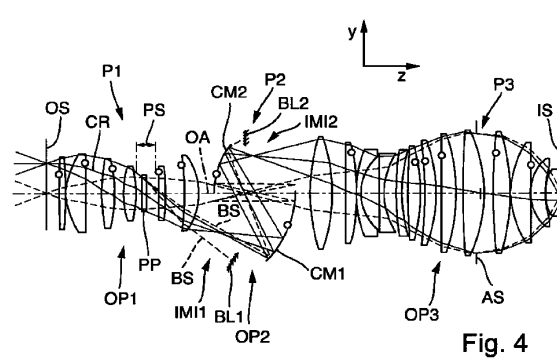
10

20

【図 3】



【図 4】

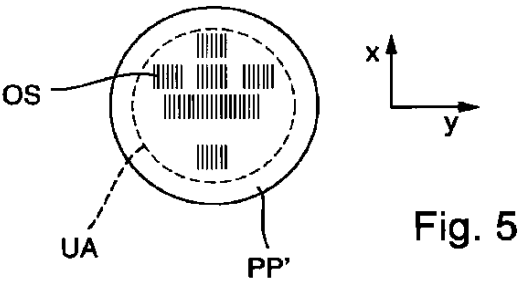


30

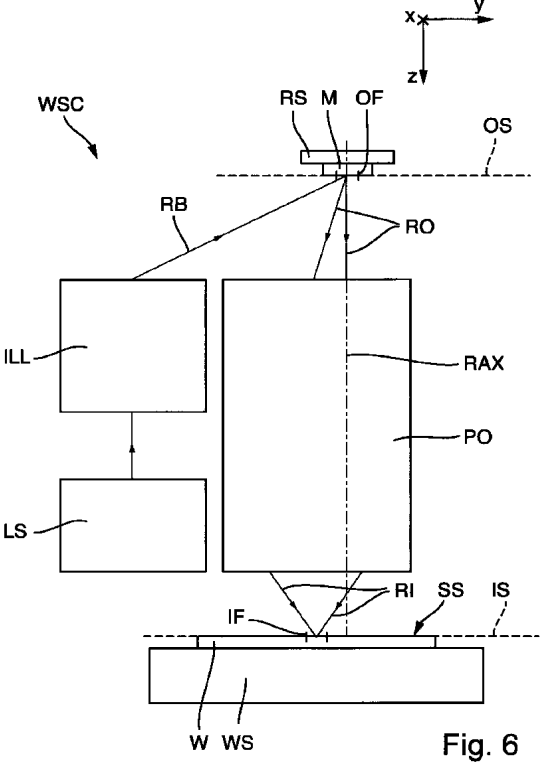
40

50

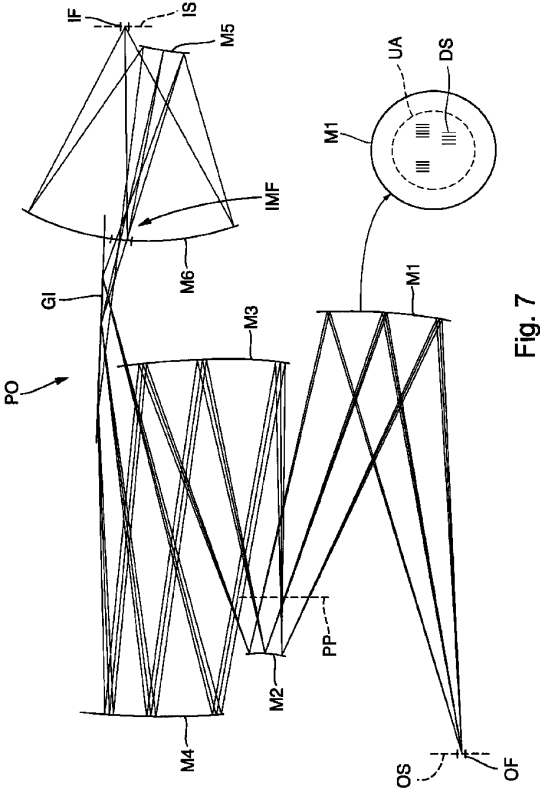
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

弁理士 近藤 直樹
(74)代理人 100139712
弁理士 那須 威夫
(74)代理人 100158469
弁理士 大浦 博司
(72)発明者 グルナー トラルフ
ドイツ連邦共和国 7 3 4 3 3 アーレン オパルシュトラッセ 2 2
審査官 牧 隆志
(56)参考文献 国際公開第 2 0 1 5 / 0 0 7 2 9 8 (W O , A 1)
特開 2 0 1 0 - 2 2 6 1 2 3 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 1 5 8 3 2 8 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 3 / 0 2 5 0 2 6 4 (U S , A 1)
特表 2 0 1 6 - 5 3 8 5 7 6 (J P , A)
特表 2 0 1 5 - 5 1 7 0 9 5 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
G 0 3 F 7 / 2 0
H 0 1 L 2 1 / 0 2 7
G 0 2 B 5 / 1 8