

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5106099号
(P5106099)

(45) 発行日 平成24年12月26日(2012.12.26)

(24) 登録日 平成24年10月12日(2012.10.12)

(51) Int.Cl.		F I
GO 2 B	13/24	(2006.01)
GO 2 B	13/14	(2006.01)
GO 2 B	13/18	(2006.01)
HO 1 L	21/027	(2006.01)
GO 3 F	7/20	(2006.01)
		GO 2 B 13/24
		GO 2 B 13/14
		GO 2 B 13/18
		HO 1 L 21/30 5 1 5 D
		GO 3 F 7/20 5 2 1

請求項の数 20 (全 34 頁)

(21) 出願番号	特願2007-505428 (P2007-505428)	(73) 特許権者	503263355
(86) (22) 出願日	平成17年3月18日 (2005. 3. 18)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー
(65) 公表番号	特表2007-531024 (P2007-531024A)		エムペーハー
(43) 公表日	平成19年11月1日 (2007. 11. 1)		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/EP2005/002898		コッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
(87) 国際公開番号	W02005/096098		ーセ 2
(87) 国際公開日	平成17年10月13日 (2005. 10. 13)	(74) 代理人	100082005
審査請求日	平成20年3月13日 (2008. 3. 13)		弁理士 熊倉 禎男
(31) 優先権主張番号	60/557, 384	(74) 代理人	100067013
(32) 優先日	平成16年3月30日 (2004. 3. 30)		弁理士 大塚 文昭
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(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】 投影対物レンズ、マイクロリソグラフィのための投影露光装置及び反射レチクル

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

投影対物レンズの物表面(103、203、303)に配置されたパターンを、投影対物レンズの像表面(104、204、304)に配置された像視野に、縮小結像スケールで結像するための屈折投影対物レンズ(120、220、320)であって、

投影対物レンズの光学軸心に沿って配置された多数の光学素子を有し、結像光路の単一の狭窄部が、物表面と像表面の間に設けられるようになっていて、

前記投影対物レンズは、

物表面に直接続いていて負の屈折力を有する第1レンズ群と、

第1レンズ群に直接続いていて正の屈折力を有する第2レンズ群と、

第2レンズ群に直接続いていて正の屈折力を有する第3レンズ群と、

第2レンズ群から第3レンズ群への移行領域に配置された系絞り(A)と、

を有し、

前記狭窄部領域は、負の屈折力を有する第1レンズ群の領域、又は第1レンズ群と第2レンズ群との間に形成されていて、最小ビーム束直径を有し、

投影対物レンズが像側開口数 $NA > 0.85$ 及び縮小結像スケール $|M| < 0.05$ となるように、複数の光学素子が構成されて配置されていて、

像視野が1mmより大きい最小像視野直径を有する、投影対物レンズ。

【請求項 2】

像表面(104)が平面状であり、投影対物レンズの物表面(103)が曲率を有して

いて投影対物レンズに関して凹形であり、物表面が、曲率を有して投影対物レンズ(120)に関して凹形であり、投影対物レンズの物表面と像表面の間の軸方向距離である構造長Lよりも小さい曲率半径ROを有する、請求項1に記載の投影対物レンズ。

【請求項3】

最大物視野直径がDmaxであり、物表面と像表面の間の軸方向距離である構造長がLであり、物表面(103)が曲率を有して投影対物レンズに関して凹形であり、このために以下の複数の条件：

$$(1) \quad 0.525 \cdot D_{max} < RO < 100 \cdot D_{max}$$

$$(2) \quad 0.525 \cdot D_{max} < RO < 10 \cdot L$$

の少なくとも1つが当てはまる曲率半径ROを有する、請求項1又は2に記載の投影対物レンズ。

10

【請求項4】

投影対物レンズが、投影対物レンズの少なくとも1つの光学素子を備えた物側素子群(125)と、投影対物レンズの少なくとも1つの光学素子を備えた像側素子群(126)を有し、結像光路の投影放射に対して透過性であって照明放射を投影対物レンズにカップリングさせるのに役立つカップリングイン機器(160、260)が、物側素子群と像側素子群の間に配置されており、カップリングイン機器が、ビームスプリッタとして構成されていて、投影対物レンズの光学軸心に関して傾斜して配向されたビームスプリッタ表面(161、261)を有し、カップリングイン機器が、偏光ビームスプリッタとして構成されていて、投影対物レンズの光学軸心に関して傾斜して配向された偏光選択的ビームスプリッタ表面を有する、請求項1～3のいずれか1項に記載の投影対物レンズ。

20

【請求項5】

カップリングイン機器(160、260)が、狭窄部の領域に配置されている、請求項4に記載の投影対物レンズ。

【請求項6】

投影対物レンズ(320)が、投影対物レンズの少なくとも1つの光学素子を備えた物側素子群と、投影対物レンズの少なくとも1つの光学素子を備えた像側素子群を含んでいて、物側及び像側素子群の間で照明放射を傾斜してカップリングインするためのカップリングイン機器(360)が、投影対物レンズに割り当てられている、請求項1～3のいずれか1項に記載の投影対物レンズ。

30

【請求項7】

投影対物レンズ(120)が、物空間で非テレセントリックの光路を有し、物空間のテレセントリックエラーが、50mradよりも大きい、請求項1に記載の投影対物レンズ。

【請求項8】

各々負の屈折力を有する2つのレンズを有し、照明光のためのカップリングイン機器(160)が、該各々負の屈折力を有する2つのレンズの間の狭窄部領域に配置されている、請求項1～7のいずれか1項に記載の投影対物レンズ。

【請求項9】

各々負の屈折力を有する2つのレンズを有し、照明光のための傾斜したカップリングインが、該各々負の屈折力を有する2つのレンズの間の狭窄部領域で提供されている、請求項1～7のいずれか1項に記載の投影対物レンズ(320)。

40

【請求項10】

物表面に直接続いていて負の屈折力を有する前記第1レンズ群が、物視野の縮小された中間虚像を生成し、

前記第1レンズ群に直接続いていて正の屈折力を有するレンズ群が、像表面に中間虚像を縮小結像し、

前記第1レンズ群に直接続いていて正の屈折力を有するレンズ群は、前記第1レンズ群に直接続いていて正の屈折力を有する前記第2レンズ群と、前記第2レンズ群に直接続いていて正の屈折力を有する前記第3レンズ群とによって形成される、請求項1～9のい

50

れか 1 項に記載の投影対物レンズ。

【請求項 1 1】

主放射源 (1 0 1) からの放射で投影対物レンズ (1 2 0) の物表面 (1 0 3) に配置されたパターンを照明するための照明系 (1 1 0) を有するマイクロリソグラフィ用の投影露光装置であって、請求項 1 に記載の投影対物レンズを有する、投影露光装置 (1 0 0) 。

【請求項 1 2】

照明系 (1 1 0) が、放射源に続いていて照明系の少なくとも 1 つの光学素子を有する入力側素子群 (1 3 5) と、照明系の少なくとも 1 つの光学素子を有する出力側素子群 (1 2 5) を含み、出力側素子群が投影対物レンズの一部として構成されている、請求項 1 1 に記載の投影露光装置。

10

【請求項 1 3】

照明系が、カップリングイン機器 (1 6 0) と投影対物レンズの物表面 (1 0 3) の間で、投影対物レンズの光学軸心と一致する光学軸心を有する、請求項 1 1 又は 1 2 に記載の投影露光装置。

【請求項 1 4】

照明系 (3 1 0) が、カップリングイン機器 (3 6 0) と投影対物レンズの物表面 (3 0 3) の間で、投影対物レンズ (3 2 0) の光学軸心と有限角度を形成する光学軸心を有し、照明系の出力側素子群の複数の光学素子が、照明系の光学軸心に関して偏心して配置されていて、照明系の出射面が、照明系の光学軸心に関して傾斜されている、請求項 1 1 又は 1 2 に記載の投影露光装置。

20

【請求項 1 5】

少なくとも 1 つの非球面を有する少なくとも 1 つの光学素子が、照明系の入力側素子群に配置されている、請求項 1 2 ~ 1 4 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 1 6】

照明放射が、投影対物レンズの物表面に対して垂直に、全照明領域にわたって当たるように、照明系の出力側素子群が構成されていて、これが同時に照明系の出射面である、請求項 1 2 ~ 1 5 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 1 7】

投影対物レンズ (2 2 0) が平面状の物表面を有し、照明系 (2 1 0) がその出射面でテレセントリックの光路のために構成されている、請求項 1 1 ~ 1 6 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

30

【請求項 1 8】

投影対物レンズ (1 2 0) が、曲率を有する湾曲した物表面 (1 0 3) を有していて投影対物レンズに関して凹形であり、照明系 (1 1 0) がその出射面で非テレセントリックの光路のために構成されている、請求項 1 1 ~ 1 6 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【請求項 1 9】

照明系の開口絞り (A ') が、照明系の入力側素子群 (1 3 5) に配置されている、請求項 1 2 ~ 1 8 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

40

【請求項 2 0】

照明系の像側開口数が、投影対物レンズ (1 2 0) の物側開口数よりも大きいか又はこれと等しいように、照明系 (1 1 0) が構成されている、請求項 1 1 ~ 1 9 のいずれか 1 項に記載の投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、投影対物レンズの物表面に配置されたパターンを、投影対物レンズの像表面に配置された像視野に、縮小結像スケールで結像するための投影対物レンズに関し、このような投影対物レンズを有するマイクロリソグラフィ投影露光装置に関し、このような投

50

影露光装置での使用に適した反射マスクに関する。本発明の好ましい利用分野は、いわゆる“マスクレスリソグラフィ”である。

【背景技術】

【0002】

縮小結像スケールの複数のフォトリソグラフィ投影対物レンズ（複数の縮小対物レンズ）は、半導体コンポーネントや他の微細にパターン化された機器のフォトリソグラフィ製造のために、数十年にわたって使用されている。これらは、通常、マスク（フォトマスク又はレチクル）上のパターンを、感光層で覆われた物品上に超高解像度で縮小スケールで投影するのに役立つ。多くの従来のマスクは、固定的に予め画定されたパターンを保持している、これは例えば半導体コンポーネントの特定の機能層に対応している。このような 10
 固定的に予め画定された複数のパターンを有する複数のマスクは、様々なタイプのマスク、例えばバイナリマスク、多様位相シフトマスク又はハイブリッドマスクを含んでいる。これらは、透過マスク又は反射マスクとして形成されて良い。マスクは、以後レチクルとも呼ばれる。1：4又は1：5の縮小結像スケールは、一方で従来の投影系において慣例になっている。

【0003】

従来の投影系は、平面状のマスクを平面状の像視野に結像するように構成されている。従って、像視野曲率を補正（ペッツヴァル補正）するための複数の手段が、複数の投影対物レンズに設けられている。湾曲した基質への投影リソグラフィのため、米国特許US 6,461,908 B1は、湾曲した基質の形状と同一の形状を有する湾曲したマスクを使用することを提案している。湾曲したマスクは、接触方法で製造される。 20

【0004】

米国特許US 5,257,139は、極紫外放射（EUV）のための純粋に反射性の縮小対物レンズを開示しており、物表面及び/又は像表面が投影対物レンズに関して凹形に湾曲している。

【0005】

より微細な構造を生産可能にする目的で、第1に、複数の投影対物レンズの像側開口数（NA）を一層増加させることが行われている。第2に、更に短い波長、とくに260nmより短い波長、例えば248nm、193nm又は157nmのUV光が使用されている。マスク上に存在する複数のパターンの複数の特徴寸法を減少させることは、像側に生成された複数の構造の寸法を減少させることにも寄与し得る。もっとも、固定的に予め画定された超微細構造を欠陥無く製造することは、複雑で費用がかかる。例えば「リソグラフィ：前方の道」、D.A. Markle：固体技術、1999年2月、p84以下参照、で説明されるようなマスクレス技術がそれゆえ開発されている。 30

【0006】

「マスクレス技術」の用語は、この出願で使用されているように、一般に、固定的に予め画定されたパターンを有する複数のマスクを使用していない又はこのような複数のマスクを専ら使用していないリソグラフィ技術に関連している。

【0007】

公知の「マスクレス」リソグラフィ技術は、個別に駆動可能な複数の鏡領域を有する複数の反射レチクル（複数の反射マスク）の使用を伴う。マスクのパターンは、こうしてマスクの適切な駆動により変化され得る。結像されるべき複数のパターンは、例えばUS 6,238,852 B1の特許に示されるように、変形可能又は移動可能な複数のマイクロ鏡により、生成されて良い。刊行物である「投影TV用デジタルマイクロ鏡アレイ」、M.A. Mignard、固体技術、1994年7月、pp.63-68は、駆動可能な複数のマイクロ鏡アレイを開示している。投影露光装置で結像されるべき物としてこのような個別に駆動可能な複数の個別鏡のアレイを有する複数の平面鏡設備を使用することは、複数の特許明細書US 5,523,193、US 5,691,541、US 6,060,224、US 6,312,134及びUS 5,870,176の主題である。そこで説明されている複数の典型的態様での複数の投影対物レンズは、概念的にのみ表 40
 50

されている。

【0008】

本出願人の国際特許出願WO 03/016977 A2は、純粹に反射性の構成の種々の投影露光装置を示しており、これらは極紫外領域(EUV)の投影露光に適しており、駆動可能な複数のマイクロ鏡アレイの形状の複数の反射レチクルを使用している。駆動可能な反射マスクが照明系により斜照明される照明系と、露光されるべき基質上に反射マスクで形成されたパターンの高度縮小像を生成する投影対物レンズの両方が、中心に穴をあけられた複数の凹面鏡の使用により、中心のオプスキュレーションを有する。軸外物視野は、平面状レチクルの斜照明の間、照明される。NA = 0.6までの像側開口数が、1 : 100までの縮小結像スケールで達成される。

10

【0009】

本出願人の独国特許出願DE 100 05 189 A1(US 6,596,718 B1に対応する)は、複数の純粹に屈折性又はカタディオプトリック投影対物レンズを有する複数の投影露光装置を開示しており、これらは固定的に予め画定されたパターンを有する平面状反射レチクルを使用している。ビームスプリッタキューブは、複数の縮小対物レンズに設けられていて、そのために1 : 4の典型的な縮小スケールとNA > 0.5の典型的NA値が指定され、このビームスプリッタキューブは照明系の照明光路と投影対物レンズの結像光路を重ねるのに役立っている。投影対物レンズ内に横方向に放射される照明光は、ビームスプリッタ表面での反射の後で、反射レチクルに中心で当たる。照明光路と結像光路の両方で利用される複数の光学素子は、ビームスプリッタキューブと反射レチクルの間に位置する。

20

【0010】

ビームスプリッタにより光学結像系の結像光路内に照明放射を横方向にカップリングすることは、紫外顕微鏡検査の分野から公知である。米国特許5,999,310は、物側NA = 0.9及び100 : 1までの可変倍率を有するUV広帯域顕微鏡の例を示している。

【0011】

米国特許6,439,726は、照明系の光学軸心が投影対物レンズの光学軸心に関して所定の角度にあるときの、ビデオ投影用に意図された一体型照明系を有する投影対物レンズを示している。投影系への照明光の傾斜されたカップリングは、米国特許4,969,730に更に開示されている。

30

【特許文献1】米国特許6,461,908 B1

【特許文献2】米国特許5,257,139

【特許文献3】米国特許6,238,852 B1

【特許文献4】米国特許5,523,193

【特許文献5】米国特許5,691,541

【特許文献6】米国特許6,060,224

【特許文献7】米国特許6,312,134

【特許文献8】米国特許5,870,176

【特許文献9】WO 03/016977 A2

40

【特許文献10】DE 100 05 189 A1

【特許文献11】米国特許6,596,718 B1

【特許文献12】米国特許5,999,310

【特許文献13】米国特許6,439,726

【特許文献14】米国特許4,969,730

【非特許文献1】「リソグラフィ：前方の道」、D. A. Markle : 固体技術、1999年2月、p 84以下参照

【非特許文献2】「投影TV用デジタルマイクロ鏡アレイ」、M. A. Mignard、固体技術、1994年7月、pp. 63 - 68

【発明の開示】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明の1つの目的は、微細にパターン化された機器のマイクロリソグラフィ製造の間、投影対物レンズを用いて超微細構造が費用効果的に製造され得る投影対物レンズを提供することである。本発明の更なる目的は、マイクロリソグラフィを用いて微細にパターン化された複数の機器の柔軟な製造を可能にする投影対物レンズを提供することである。本発明の更なる目的は、超微細構造を有する微細にパターン化された複数の機器の柔軟な製造を費用効果的に可能にするマイクロリソグラフィ投影露光装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0013】

これらの及び他の目的は、本発明の1つの見地によれば、投影対物レンズの物表面に配置されたパターンを、投影対物レンズの像表面に配置された像視野に、縮小結像スケールで結像するための投影対物レンズを用いて達成される。この投影対物レンズは、投影対物レンズの光学軸心に沿って配置された多数の光学素子を有し、結像光路の単一の狭窄部が、物表面と像表面の間に設けられるようになっていて、投影対物レンズが像側開口数 $NA > 0.85$ 及び縮小結像スケール $|M| < 0.05$ となるように、複数の光学素子が構成されて配置されていて、像視野が1mmより大きい最小像視野直径を有する。投影対物レンズは、物表面に直接続いていて負の屈折力を有する第1レンズ群と、第1レンズ群に直接続いていて正の屈折力を有する第2レンズ群と、第2レンズ群に直接続いていて正の屈折力を有する第3レンズ群と、第2レンズ群から第3レンズ群への移行領域に配置された系紋り(A)とを有する。狭窄部領域は、負の屈折力を有する第1レンズ群の領域、又は第1レンズ群と第2レンズ群との間に形成されていて、最小ビーム束直径を有する。

【発明を実施するための形態】

【0014】

次の条件が好ましくは結像スケールの大きさ $|M|$ に当てはまる。つまり、 $|M| < 0.02$ 、とくに $|M| < 0.01$ であって良い。

【0015】

マイクロリソグラフィにおいて、大きな最小像視野直径を有する平面状像視野は、典型的には顕微鏡の典型的視野直径よりも少なくとも10倍大きく、微細にパターン化された機器のための経済的な製造工程に必要な条件である。それらは、とくに視野依存の収差を補正するための特有の構成手段を必要とする。高い像側開口数と大きな縮小スケールの組み合わせは、粗くパターン化されたパターンで比較的費用効果的に提供され得るマスクの場合でも、超微細特徴寸法がシャープな輪郭で露光された物品上に製造されることを可能にする。100nm以下の領域となり得る、像側で得られる小さな特徴寸法にも関わらず、これは、比較的単純な構成の投影対物レンズで、例えば193nm以上の操作波長用に構成され得る純粋に屈折性の投影対物レンズで、所望のように達成され得る。加工の点で直ちに制御可能な費用効果的材料が、複数のレンズの製造と複数の光学被覆の製造の両方のため、この波長領域で利用可能であるため、維持できる費用で高い結像品質を有する投影対物レンズを提供できる。

【0016】

好ましい複数の態様において、最小像視野直径は5mm以上、とくに、それは10mm以上であって良い。この寸法の複数の像視野で、微小パターン化された複数の機器が、ステップアンドリピート方法及びステップアンドスキャン方法の両方で、露光され得る。

【0017】

本発明による複数の投影対物レンズの複数の態様があり、これらは平面状物表面を有する。これらは、従来の複数の平面状透過マスク又は複数の反射マスク又は複数の位相シフトマスクと連係して使用可能であり、この場合複数のマスクに形成された複数のパターンは大きな縮小のために非常に粗くてよい。これはマスク製造の費用を低減させる。使用可能な複数のマスクの複数のパターンの典型的特徴寸法は、1µm又は10µm又はそれを超える大きさのオーダーであって良い。

10

20

30

40

50

【0018】

平面状像表面を有する他の複数の態様において、投影対物レンズの物表面は、曲率を有していて投影対物レンズに関して凹形である。曲率中心はこうして物表面の側に存在し、これは投影対物レンズを向いている。物表面の好ましい曲率半径 R は、最大視野直径 D_{max} の系で $0.525 \cdot D_{max} < R < 100 \cdot D_{max}$ の範囲にあり、構造長 L の系で $0.525 \cdot D_{max} < R < 10 \cdot L$ の範囲にある。像表面のみが平面状であって物表面が物側で凹形に湾曲している複数の投影対物レンズにおいて、像側曲率を補正（ペッツヴァル補正）するための複雑な補正手段が、主として又は完全に無しで済まされ得る。例として、ペッツヴァル補正された系で顕著な凸状及びウエスト構造につながるビーム束直径の大きな変化を減少させることが可能である。これは、費用効果的な複数の系の構造を、より少ないレンズ及びより小さい最大レンズ直径で可能にする。もし少なくとも1つの凹面鏡を有する複数のカタディオプトリック系が利用されるなら、後者は中程度の寸法を与えられる。これはペッツヴァル補正への大きな寄与が求められないためである。

10

【0019】

とくに好ましい曲率半径を有する投影対物レンズに関して凹形の物表面の曲率は、結像スケール $| \quad | > 0.05$ 、例えば $0.1 \quad | \quad | < 0.05$ またはより大きい、例えば $= 0.25$ 又は $= 0.2$ の、このような複数の投影対物レンズの場合、更に有利かもしれない。

【0020】

複数の反射レチクルの使用にとくに適合された複数の態様において、投影対物レンズは、投影対物レンズの少なくとも1つの光学素子を備えた物側素子群と、投影対物レンズの少なくとも1つの光学素子を備えた像側素子群を有し、結像光路の投影放射に対して透過性であって投影対物レンズに照明放射をカップリングするのに役立つカップリングイン機器が、物側素子群と像側素子群の間に配置されている。カップリングイン機器により、照明放射は最初に反射レチクル上に方向付けられることが可能であり、これから投影対物レンズの像面の方向に結像するために反射される。反射レチクルの中心の反射光照明が結果として可能である。結像光路と照明光路が、カップリングイン機器により、重ねられ得る。従来系とは対照的に、照明系と結像光学との間のインターフェースは、もはやマスクが位置する物表面の領域ではなく、むしろ照明系を向いたカップリングイン機器の入口である。

20

30

【0021】

カップリングイン機器は、ビームスプリッタとして構成されていて良く、投影対物レンズの光学軸心に関して傾斜して配向されたビームスプリッタ表面を有して良い。ビームスプリッタキューブ又はビームスプリッタブロックが、とくに偏光選択的ビームスプリッタ表面（偏光ビームスプリッタ）と関連して良い。部分的に透過性の複数の鏡又はビームパスに傾斜して置かれた複数のビームスプリッタ板の使用も可能である。とくに、出願人の US 6,596,718 B1 で説明されているような、光をカップリングインするのに適した複数のビームスプリッタ素子の提供がなされて良い。この文献の開示内容は、参照により全体としてこの明細書の主題に含められる。

【0022】

幾つかの態様において、結像光路の少なくとも1つの狭窄部が、投影対物レンズの物表面と像表面の間に設けられる。周囲と比較して最小ビーム高さを有する領域が「ウエスト」として以下更に言及される。カップリングイン機器は、好ましくは結像光路のこのような狭窄部の領域に取り付けられ、これに応じて小さな寸法を与えられることが可能であり、例えばビームスプリッタブロックの生産時の材料が節約され得るようになっている。照明系を投影対物レンズにカップリングさせるための構造空間要求に関する利点も与えられるかも知れない。更に、比較的小さなビーム直径の出口放射を与える照明形の利用に十分である。

40

【0023】

好ましくは、単一のウエストのみが設けられる。純粋に屈折性の複数の回転対称投影対

50

物レンズが、最小ビーム束直径で単一の狭窄部領域を有して、とくにコンパクトかつ省材料のやり方で構成され得る。

【0024】

投影対物レンズのもう1つの変形において、後者は同様に物側素子群と像側素子群を有し、2つの素子群はいずれも投影対物レンズの少なくとも1つの光学素子を含む。適切なカップリングイン機器を用いて、照明放射が物側と像側の素子群の間の投影対物レンズに傾斜して放射され、物側素子群の少なくとも1つの光学素子が、照明光路と結像光路の両方により利用され、こうして照明系の一部と投影対物レンズの一部の両方となる。この態様において、照明系の少なくとも1つの光学素子が、照明系、すなわち投影対物レンズの物側素子群の少なくとも1つの光学素子の光学軸心に関して偏心して配置される。傾斜したカップリングインゆえに、この場合、カップリングイン機器は投影対物レンズの結像光路の外側に存在して良く、非偏光での結像が可能であり、投影対物レンズの透過がカップリングイン機器により損なわれない。

10

【0025】

屈折投影対物レンズの1つの態様において、後者は物表面に続いていて正の屈折力を有する第1レンズ群と、第1レンズ群に続いていて負の屈折力を有する第2レンズ群と、第2レンズ群に続いていて正の屈折力を有する第3レンズ群と、第3レンズ群に続いていて正の屈折力を有する第4レンズ群と、第3レンズ群から第4レンズ群への移行領域に配置された系絞りを有する。最小ビーム束直径を有する単一の狭窄部領域が、負の屈折力を有する第2レンズ群の領域に形成される。照明光のためのカップリングイン機器、例えばビームスプリッタは、好ましくはいずれも負の屈折力を有する2つのレンズの間に配置されて良い。他の複数の態様において、照明光の傾斜したカップリングインは、この領域、とくに第2レンズ群の2つの負レンズの間に提供されて良い。正の第1レンズ群により、投影対物レンズが物空間で仮想的にテレセントリックの光路を有することが可能である。テレセントリックエラーは、とくに50 mrad未満、好ましくは10 mrad未満、とくに1 mrad未満でよい。

20

【0026】

他の複数の態様において、正の屈折力を有する入力側第1レンズ群が不要にされて良く、系は負の屈折力を有するレンズ群で始まるようになっている。このような態様は、湾曲したレチクルでの使用にとくに適合されている。この場合、投影対物レンズの物空間のビームパスは、テレセントリック条件から著しく逸脱して良い。とくに、50 mradより大きいテレセントリックエラーが提供されて良い。テレセントリックエラーは、主の結像ビームの光学軸心に関する傾斜角度により本質的に決定され、一般にビーム高さに依存する。

30

【0027】

本発明による投影対物レンズの他の複数の態様において、物表面に続いていて負の屈折力を有する第1レンズ群が、物視野の縮小された中間虚像を生成し、続く正の屈折力を有する第2レンズ群が、中間虚像を像表面に縮小結像するのに役立つ。好ましい系は、リトロフォーカスN-Pタイプの系とみなされて良い。1つの態様において、正の屈折力を有する追加のレンズ群が負の屈折力を有する入力側レンズ群の上流に挿入されるため、物側テレセントリシティが達成される。このタイプの屈折及びカタディオプトリック投影対物レンズの両方が可能である。カタディオプトリック対物レンズの1つの態様において、正の屈折力を有する像側レンズ群は、凹面鏡を有し、これが像面に関して凹形であり、中心開口及び後方反射鏡を有し、これが凹面鏡の反対に存在し、凹面鏡に向けて開口を通過する放射の後方反射のための物側鏡表面を含む。1つの態様においては、後方反射鏡は凸形に湾曲しているが、もう一つの態様においては、平面鏡として具体化される。

40

【0028】

本発明は、更に、主放射源からの放射で投影対物レンズの物表面に配置されたパターンを照明するための照明系を有し、かつ、本発明の投影対物レンズを有する、マイクロソグラフィ用の投影露光装置に関する。

50

【 0 0 2 9 】

1つの態様において、照明系は、光源に続いて照明系の少なくとも1つの光学素子を有する入力側素子群と、照明系の少なくとも1つの光学素子を有する出力側素子群を有し、出力側素子群が同時に投影対物レンズの一部である。これは、1又は複数のレンズが、投影対物レンズの結像光路と照明系の照明光路の両方により利用されることを可能にする。この場合、レチクルの中心照明とレチクルの斜照明の両方が、この態様に依存して可能である。中心照明を有する複数の態様において、照明系が、カップリングイン機器と投影対物レンズの物表面の間で、投影対物レンズの光学軸心と一致する光学軸心を有する。代替として、照明系の光学軸心は、投影対物レンズのそれと有限角度を形成して良い（斜照明）。この場合、照明系の出力側素子群の複数の光学素子は、この照明系の光学軸心に関して偏心して配置されて良く、照明系の出射面が照明系の光学軸心に関して傾斜されている。

10

【 0 0 3 0 】

両方の場合において、少なくとも1つの非球面を有する少なくとも1つの光学素子が、照明放射を投影対物レンズに良好に適合させる目的で、照明系の入力側素子群に便宜上配置されて良い。照明系の開口絞りは、好ましくは入力側素子群の領域に配置される。好ましくは、照明系の像側開口数が投影対物レンズの物側開口数と等しいかこれより大きくなるように、照明系が構成される。結果として、投影対物レンズの瞳孔は十分に照明される。

【 0 0 3 1 】

概して、照明放射が、投影対物レンズの物表面に対して本質的に垂直に、本質的に全照明領域にわたって当たるように、照明系の出力側素子群が構成されるのが好都合であり、これが同時に照明系の出射面である。それゆえ、平面状の物表面を有する複数の投影対物レンズの複数の態様において、照明系は好ましくはその出口でテレセントリックのビームパスのために構成される。湾曲した物表面を有する複数の投影対物レンズにおいては、対照的に、照明系の出口放射がテレセントリック条件から大きく逸脱して良い。

20

【 0 0 3 2 】

本発明は更に、反射レチクルに関し、これはとくに本発明による投影対物レンズと連携した使用のために設けられるが、他の投影対物レンズとも有益に使用され得る。レチクルは、曲率を有していて鏡側で凹形の凹形反射マスクとして構成されて良い。曲率は、関連する投影対物レンズの物表面の曲率に適合される。鏡表面の好ましい曲率半径 R_0 は、最大使用可能鏡直径 D_{max} を有する系で、 $0.525 \cdot D_{max} < R_0 < 100 \cdot D_{max}$ の範囲にある。このような複数の湾曲した反射マスクにより、湾曲した物表面を有する投影対物レンズの製造時の先述の利点（例えば像視野曲率の補正用に設けられた構成手段を減少させること）が十分に利用可能である。

30

【 0 0 3 3 】

好ましい態様において、反射マスクは個別に駆動可能な複数の個別鏡のアレイ（マイクロ鏡アレイ）を有する鏡設備として構成される。複数の個別鏡の反射率の空間分布の適切な設定は、パターンが様々なやり方で設定されることを可能にし、これは更に大幅に縮小された形で投影対物レンズを通して投影対物レンズの像面に投影される。

40

【 0 0 3 4 】

複数の個別鏡の反射率は、種々の仕方で設定され得る。傾斜可能な複数の個別鏡を有する複数の態様が好ましく、これは、複数の個別鏡を傾斜させることにより、個別鏡に入射する放射が投影対物レンズに反射される事を可能にし、又は当たる放射が投影対物レンズを過ぎて方向付けられることを可能にする。この目的のため、レチクルから反射された放射を当たる角度に依存して透過又は反射する表面、例えば全反射表面が、投影対物レンズに設けられて良い。

【 0 0 3 5 】

反射マスクは、好ましくは曲率を有していて反射マスクの対称軸心に関して回転対称であり、鏡設備の複数の個別鏡は、対称軸心に関する放射方向に対して垂直に配向された複

50

数の傾斜軸心の周りで、鏡設備の他の複数の個別鏡に対して傾斜され得る。とくに望ましい構成がこの結果として可能である。

【 0 0 3 6 】

光からの有効なマスキングを確実にする目的で、反射マスクの複数の個別鏡は、好ましくは投影対物レンズの物表面の領域の最大開口角度よりも大きい傾斜角度で、反射マスクの対称軸心に関して傾斜され得る。

【 0 0 3 7 】

複数の個別鏡は、好ましくはその領域を本質的に充填するように配置され、この場合複数の個別鏡の間に存在する反射の無い複数の領域が、典型的な数 μm の幅、とくに $1\ \mu\text{m}$ 未満の幅を有して良い。

【 0 0 3 8 】

複数の個別鏡の正六角形状が好ましい。これは、一方で領域のほぼ完全な充填を、例えば充填因子 $> 95\%$ 又は $> 98\%$ 又は $> 99\%$ で、可能にする。他方で、このようなハニカム構造が使用されて、多くの異なる方向で、パターンの構造方向に対応する列の複数の個別鏡をいずれも一緒に駆動することにより、パターンの複数のリニア構造素子を生成することが可能である。

【 0 0 3 9 】

本発明は更に、マイクロリソグラフィ投影露光装置を用いて、複数の感光性基質を露光する方法を含む。この方法において、反射マスクは、複数の個別に駆動可能な個別鏡のアレイを含み、照明系により照明される。この場合、照明放射の複数のビーム束は、鏡設備の複数の個別鏡のところで反射される。制御ユニットは、予め決められたパターンに合わせて、鏡設備の複数の個別鏡を駆動し、複数のビーム束の一部のみが投影対物レンズを透過して感光性基質に至り、感光性基質が予め決められたパターンに合わせて投影対物レンズを透過した複数のビーム束により露光されるようになっている。反射マスクは、好ましくはその鏡側で凹形に湾曲される。

【 0 0 4 0 】

上記の及び更なる特徴は、特許請求の範囲からだけでなく、明細書から及び図面から明らかとなり、この場合、複数の個別の特徴は、それ自体保護可能な複数の有利な態様を表現して良く、いずれの場合もそれら自体又は複数のサブコンビネーションの形で、本発明の態様及び他の複数の分野で実施されて良い。

【実施例】

【 0 0 4 1 】

以下の好ましい複数の態様の説明において、「光学軸心」の語は、複数の球状光学コンポーネントの複数の曲率中心又は複数の非球面素子の複数の対称軸心を通る直線又は一連の複数の直線部分を意味する。光学軸心は、複数の折り畳み鏡（複数の偏向鏡）又は他の複数の反射表面で折り畳まれる。複数の例において、物体は集積回路の層のパターンを有するマスク（レチクル）である。例えば格子の異なるパターンが含まれても良い。複数の例において、フォトレジスト層を有する感光性基質として役立つウェーハ上に像が投影される。他の基質、例えば液晶ディスプレイ用の素子又は光学格子用の基質も可能である。

【 0 0 4 2 】

図 1 は、マイクロリソグラフィ投影露光装置をウェーハステッパ 100 の形状で示し、これは大規模集積半導体コンポーネントの製造用に提供される。投影露光装置 100 は、 $193\ \text{nm}$ の操作波長を有する ArF レーザ 101 を光源として有しており、例えば $157\ \text{nm}$ のための F_2 レーザ、 $126\ \text{nm}$ のための Ar₂ レーザ又は $106\ \text{nm}$ のための NeF レーザを、複数の光源としての DUV 又は VUV レーザを使用することも可能である。下流の照明系 110 は、主光源 101 からの光から、その球面状に湾曲した出射面 103 に、大きくシャープに境界付けられた非常に均質に照明された照明視野を生成し、これは下流の投影対物レンズ 120 のテレセントリック要件に適合されている。照明系 110 は、照明モード部分の選択用の複数の機器を有し、例えば可変コヒーレンス度を有する従

10

20

30

40

50

来の照明、環状視野照明と、極性照明、とくに双曲又は四極照明のような双曲照明との間で切り替えられ得る。

【 0 0 4 3 】

凹形球状に湾曲した反射表面 1 3 1 を有する反射マスク 1 3 0 は、照明系の出射面 1 0 3 の領域に配置されていて、反射表面が照明系の出射面 1 0 3 と一致するようになっている。反射マスクは、以下において反射レチクルとも呼ばれていて、マスクを保持して取り扱うための機器 1 4 0 (レチクルステージ)により保持されている。幾つかの態様において、反射マスクはスキャナ操作のために設定される。

【 0 0 4 4 】

マスク 1 3 0 の下流の光路に純粋に屈折性の縮小対物レンズ 1 2 0 が続いており、これは、結像スケール = 1 : 1 0 0 の場合、反射マスク 1 3 0 により形成されたパターン的大幅に縮小された像を、投影対物レンズ 1 2 0 の平面状の像面 1 0 4 に結像するために構成されている。感光性基質として役立つ半導体ウェーハ 1 0 5 が像面 1 0 4 の領域に配置されていて、フォトレジスト層で覆われたその平面状の基質表面が、投影対物レンズ 1 2 0 の像面 1 0 4 と本質的に一致するようになっている。ウェーハは、機器 1 5 0 (ウェーハステージ)により保持されていて、これはスキャナ駆動部を有して良い。機器 1 5 0 は更に、z 方向すなわち投影対物レンズ 1 2 0 の光学軸心 1 2 1 と平行に、及びこの軸心に垂直な x 及び y 方向の両方にウェーハを移動させる目的で、複数のマニピュレータを有する。光学軸心に垂直に延びる少なくとも 1 つの傾斜軸心を有する傾斜機器が一体化されている。中心コンピュータユニット 1 4 5 により、光源 1 0 1、照明系 1 1 0、投影対物レンズ 1 2 0、レチクルステージ 1 4 0、ウェーハステージ 1 5 0 及び反射マスク 1 3 0 が、駆動可能であり、露光ステップのための露光が最適化されて実行可能になっている。

【 0 0 4 5 】

更なる複数の特有の構成が、図 1 - 4 に関してより詳細に説明される。投影対物レンズ 1 2 0 は、光学軸心 1 2 1 に関して回転対称であり、球状に湾曲した物表面 1 0 3 が、くすみ無く、像側開口数 $NA = 0.9$ を与える結像スケール 1 : 1 0 0 を有する平面状の像表面 1 0 4 に、結像され得るようになっている。この場合、光学軸心 1 2 1 に関して中心付けられた物平面は、4 mm の像面直径を有する、中心付けられた像面に結像される。物表面 1 0 3 は、像面に関して凹形であり、4 0 0 mm の曲率半径 R_0 を有し、これは光学軸心 1 2 1 に沿って物表面 1 0 3 と像表面 1 0 4 の間の軸方向距離で与えられる投影対物レンズの構造長 L ($L = 1 0 0 0$ mm) よりかなり小さい。投影対物レンズ (図 2) は、4 個のレンズを備えた物側素子群 1 2 5 と、1 3 個のレンズを備えた像側素子群 1 2 6 を有し、開口絞り A は、像側素子群の最大ビーム束直径の領域に配置されていて、厳密なテレセントリック性が像空間に広がるようになっている。対照的に、物空間の結像ビームパスは、テレセントリック条件から逸脱しており、テレセントリックエラーがとくに 5 0 mrad よりも大きくなっている。図 2 から理解されるように、物側ビームガイドが設定されており、露光の間に複数のビーム束が物空間で物表面 1 0 3 に対して本質的に垂直となるようになっている。複数の物側ビーム角度を正確に設定する目的で、投影対物レンズの入射面が非球面状に形成されていて、この入射面は物表面に直接続いて物表面に関して凸形に湾曲している。残りの複数のレンズ表面は球状であり、これは複数のレンズの生産及び試験を単純化している。投影対物レンズの出射面は、像面 1 0 4 の前の有限距離に位置付けられており、像側で凸形に湾曲している。これは、この表面が高い入射角度を負わされた結果として、収差、とくに球面収差の導入を避けることを可能にする。

【 0 0 4 6 】

表 1 は、構成の詳細を表の形でまとめている。この場合、欄 1 は屈折表面又は他の何らかの仕方で区別された表面の番号を示し、欄 2 は表面の半径 r を (mm で) 示し、欄 3 は表面と次の表面の間の距離 d を (mm で) 示し、欄 4 は複数の光学コンポーネントの材料を示す。欄 5 は、複数のレンズの使用可能な自由半径又は自由直径の半分を (mm で) 示す。

【 0 0 4 7 】

10

20

30

40

50

この態様において、第1レンズの入射面、すなわち物表面に最も近いレンズ表面は、非球面である。表2は、対応する非球面データを示し、非球面は次の式により計算される。

【数1】

$$p(h)=[\{(1/r)h^2\}/(1+\text{SQRT}(1-(1+K)(1/r)^2h^2))]+C1*h^4+C2*h^6+...$$

【0048】

この場合、半径の逆数(1/r)は表面曲率を示し、hは表面地点と光学軸心との距離(すなわちビーム高さ)を示す。結局、p(h)はいわゆるサジッタ、すなわちz方向すなわち光学軸心の方向の表面地点と表面頂点との距離を示す。複数の定数K、C1、C2、・・・は表2に再現されている。

10

【0049】

投影対物レンズは、適切に湾曲した複数のマスクを像面に結像するのに通常利用され得る。示された態様は、凹形に湾曲した鏡表面を有する複数の反射レチクル(複数の反射マスク)の使用にとくに適合されている。この目的のため、ビームスプリッタキューブ160の形状のカップリングイン機器が物側素子群125と像側素子群126の間の投影対物レンズに一体化されていて、このビームスプリッタキューブにより、照明光が投影対物レンズに中心でカップリングされ得る。ビームスプリッタ160は、照明系110と投影対物レンズ120の間のインターフェースとして役立つ。この場合、照明系110は、入射側素子群135と、投影対物レンズの物側素子群125で形成された出射側素子群に細分され得る。ビームスプリッタキューブ160は、これらの素子群の間に配置される。こうして達成され得ることは、複数のレンズ、すなわちレンズ群125のそれらが、照明系の照明光路と投影対物レンズの結像光路の両方により、利用されることである。カップリングイン機器160は、偏光選択的有効平面状ビームスプリッタ表面161を有する偏光ビームスプリッタキューブとして形成され、そこで照明系の光学軸心111が折り畳まれ、ビームスプリッタ表面161と物表面103の間に位置するその部分が投影対物レンズの光学軸心121の対応部分と一致するようになっている。物視野の中心照明がこの結果として可能である。

20

【0050】

ビームスプリッタキューブ160に入射する照明光が、折り畳まれた光学軸心111でスパンされた入射面に関してs偏光とされるように、照明系が構成される。結果として、照明光はビームスプリッタ表面161から反射レチクル又は表面103の方向に最初に反射される。ビームスプリッタキューブ160と物表面103又は反射レチクルの間に配置されるのは、/4板の効果をも有する遅延機器127であり、これはビームスプリッタ表面161と反射レチクルの間の照明光路で一度通過され、レチクルが円偏光で照明されるようになっている。像面104の方向に反射された光は、もう一度/4板127を通過し、それがビームスプリッタ表面161に関してp偏光とされ、2回目にそれはビームスプリッタキューブに入射し、こうして損失無く大部分ビームスプリッタ表面で透過されるようになっている。こうして、偏光ビームスプリッタキューブ、/4板127の2度の通過及び反射レチクルでの複数の反射の組み合わせで、照明光路の、及び結像光路の分離が存在する。

30

40

【0051】

図2は、ビームスプリッタキューブ160が結像光路の最小ビーム束直径の領域に配置されることを明らかにしている。これは、高品質で費用効果的に設けられ得る複数の小さな体積ビームスプリッタ素子を利用可能にする。

【0052】

照明系の開口絞りA'は、入射側群135に配置されている。こうして照明系の像側(出力側)開口を設定可能であり、これは好ましくは投影対物レンズの物側開口より大きいか又はこれと等しい。入射側群135の複数のレンズは、複数の非球面レンズ表面を有する。照明系の詳細が、表3及び4に示されている。

50

【 0 0 5 3 】

図3は、凹形に湾曲した鏡表面を有する反射レチクル130の好ましい態様を概略的に示し、図3(a)は軸方向平面図を示し、図3(b)は軸方向断面図を示し、図3(c)は複数の傾斜可能な鏡素子の複数の傾斜軸心の図を拡大した詳細図で示す。反射マスクの巨視的に凹形に反対に湾曲した反射表面131は、多数の六角形鏡素子(個別鏡132、133)で形成されていて、これらは、その領域を本質的に充填して互いに関して数 μm のオーダーの最小の横方向距離を有するように配置されていて、それらが接触を起こすことなく互いに関して相対的に移動可能になっている。六角形状は、最適な充填を可能にする。各鏡素子は、凹面鏡130の対称軸心136に垂直に交わる傾斜軸心135の周りで傾斜され得るようになっていて、それぞれの鏡素子の表面への法線が、その傾斜軸心の周りでの鏡の回転移動の間、鏡設備130の対称軸心136をも含む面にある(図3b)。各鏡素子は、3つの安定位置を有する。1つの位置(反射位置)において、鏡表面の表面への法線が、巨視的に湾曲した鏡表面131への法線の方角を示して、湾曲した表面131に本質的に垂直に当たる光がそれ自身により大部分反射されて戻されるようになっていて、第2位置(偏向位置)において、複数のビームが大きな角度で反射されていて、それらは投影対物レンズの複数のレンズを通り過ぎて複数の光トラップ137(図4)で吸収され得るようになっていて、この場合、傾斜により得られることが可能な複数の鏡素子の入射角度は、好ましくは物空間の投影対物レンズの開口角度よりも大きい。結果として、放射の完全なカップリングアウトが偏向位置で可能である。

10

【 0 0 5 4 】

投影露光装置の操作の間、照明光は投影対物レンズに関して横方向にカップリングされていて、湾曲した反射マスク130のマイクロ鏡アレイに当たる。この場合、複数のビーム束はミラー配置の複数のミラー素子(複数のマイクロ鏡)で反射される。コンピュータユニット145は、複数の別個の鏡を駆動し、これらの複数の鏡素子が所望のマスクパターンの暗部領域に対応して反射位置から偏向位置に傾斜されるようになっていて、反射された光が投影対物レンズにカップリングしないようになっていて、複数のビーム束の残りの部分は、複数の非傾斜の鏡素子で反射され、そこに取り付けられた感光性基質を露光する目的で、複数の傾斜及び非傾斜個別鏡により予め決められるパターンに合わせて、投影対物レンズを通過してその像面に至る。この場合、マイクロ鏡アレイの複数の個別マイクロ鏡は、偏向位置ではなくむしろ反射位置にあり、投影対物レンズの1:100の結像比で、感光性基質上に結像されている。複数の六角形個別鏡の典型的な最大直径が $10\mu\text{m}$ であるとすると、 100nm の大きさのオーダーの複数のマイクロ鏡の複数の像がこのようにして生じ、 100nm 未満の大きさのオーダーの複数の構造が、回折-監視されたウェーハへの投影で生成され得るようになっていて、

20

30

【 0 0 5 5 】

示された態様は、ウェーハステッパのために構成されている。本発明の他の複数の態様において、複数の反射マスクがスキャナ操作のために更に装備され又は駆動されて良い。1つの態様において、反射マスクは、反射表面の曲率中心を通る回転軸心の周りで回転され得るように載置され、設定されたスキャン方向に対して垂直に配向されている。スキャン操作の間、マスクはこの軸心の周りで回転され、これに同期してウェーハステージのスキャナ駆動部がスキャン方向にウェーハを移動させる。もう一つの態様においては、反射マスクは全体として動かないが、複数の個別鏡の傾斜は電子駆動部により制御可能であり、予め決められたパターンが全鏡表面にわたって次第に「移住」するようになっていて、新しいパターンが複数の個別鏡の周期的な切り替えの結果として生じる前に、複数の個別鏡の傾斜により画定されるパターンで瞬時の露光をいずれにおいても可能にする目的で、照明が対応して時刻計測され、この新しいパターンが基質に再び移行される。複数の反射マスクの対応するスキャン操作が、US 6,312,134の特許に説明されていて、その開示内容は、この明細書に含められる。

40

【 0 0 5 6 】

図5は、屈折投影対物レンズ220の第2の態様を示し、これは 193nm のために構

50

成されていて、偏光ビームスプリッタにより照明放射を中心にカップリングインするための照明系 2 1 0 が割り当てられている。同一の又は対応する複数の特徴又は複数の特徴の複数の群が、図 2 と同じ参照符号により 1 0 0 だけ増加されて示されている。投影対物レンズの詳細が表 5 に示されており、照明系の詳細が表 6 に示されている。全系の全てのレンズが球状であり、合成石英ガラス ($n = 1.56$) からなり、その結果として生産が比較的簡単で費用効果的になる。結像スケール $= 0.01$ が与えられるとすると、像側開口数 $NA = 0.9$ が 2 mm の像視野直径で達成される。投影対物レンズは、平面状の物表面 2 0 3 に配置された平面状マスクの像を、同様な平面状の像面 2 0 4 上に結像するために構成されている。

【 0 0 5 7 】

投影系は、物平面に直接続いていて正の屈折力を有する第 1 レンズ群 2 3 1 と、この第 1 レンズ群に直接続いていて負の屈折力を有する第 2 レンズ群 2 3 2 と、この第 2 レンズ群に直接続いていて正の屈折力を有する第 3 レンズ群 2 3 3 と、この第 3 レンズ群に直接続いていて正の屈折力を有する第 4 レンズ群 2 3 4 と、最大ビーム束直径の位置の近傍で第 3 レンズ群 2 3 3 と第 4 レンズ群 2 3 4 の間の移行領域に配置された開口絞り A を有する。これは、負の群 2 3 2 の領域でビーム束直径の単一の狭窄部を備えた、いわゆる単一ウエスト系という結果となる。最小ビーム束直径を有するこの領域で、小さな容積の偏光ビームスプリッタキューブ 2 6 0 は、いずれも負の屈折力を有する 2 つの両凹のレンズの間に配置され、このキューブの平面状偏光ビームスプリッタ表面 2 6 1 が投影対物レンズの光学軸心 2 2 1 と照明系の光学軸心 2 1 1 の両方に関して 45° の角度にある。 / 4 遅延機器 (板 2 2 7) が偏光ビームスプリッタ表面 2 6 1 と物平面 2 0 1 の間に配置されている。偏光で操作され得る投影系の操作手順が、図 2 からの系のそれに対応しており、その理由のためその説明が参照される。

【 0 0 5 8 】

図 2 による態様とは対照的に、ここでは入力側の正の群 2 3 1 は、物空間の光路が仮想的にテレセントリック (テレセントリックエラー $< 1 \text{ mrad}$) であることを確実にし、照明放射又はその複数の主要ビームが物の全面にわたる平面状マスクに垂直に入射するようになっている。像側テレセントリシティが同様に与えられる。

【 0 0 5 9 】

図 6 におけるレンズ断面は、割り当てられた照明系 3 1 0 を有する屈折投影対物レンズ 3 2 0 の第 3 態様を示す。同一又は対応する複数の特徴又は複数の特徴の複数の群が、図 3 と同じ参照符号により 1 0 0 だけ増加されて示されている。複数の球面石英ガラスレンズで専ら構成された投影対物レンズの詳細が表 7 に示されており、2 つの非球面を有する照明系のそれが表 8 に示されており、複数の非球面定数が表 9 に示されている。193 nm の操作波長及び結像スケール $= 0.01$ が与えられるとすると、系は 2 mm の像視野直径で像側開口数 $NA = 0.9$ を達成する。それは像側焦点距離 $f' > 250 \text{ mm}$ を有する。これはテレセントリックのゾーンエラーを制限するのに好適である。

【 0 0 6 0 】

図 5 による態様とは対照的に、投影系 3 1 0、3 2 0 が照明放射を投影対物レンズに傾斜してカップリングさせるために構成されている。この目的のため、平面状の偏向鏡 3 6 0 が照明系 3 1 0 に設けられていて、この偏向鏡は、複数の入射側素子により画定される照明系の光学軸心の一部に関して 45° の角度にある。照明系のこの入力側素子群 3 3 5 は、投影対物レンズに関して側部アームに配置されていて、これは投影対物レンズの光学軸心 3 2 1 に関してほぼ 10° から 15° だけ傾斜されている。照明系の光学軸心の出射側部分は、偏向鏡 3 6 0 のところで入力側部分 3 1 1' の折り畳みの結果として生じており、こうしてほぼ 15° の鋭角を投影対物レンズの光学軸心 3 2 1 で形成し、同時に照明系の出射面である投影対物レンズの平面状の像表面 3 0 3 は、この光学軸心に関して斜めに傾斜されている。この照明系 3 1 0 の場合、偏向鏡 3 6 0 と表面 3 0 3 の間に配置された照明系の出射側素子群の複数のレンズが、この系の光学軸心に関して偏心して配置されている。物平面 3 0 3 に配置されるべき反射レチクルは、そのため斜照明される。投影対物

10

20

30

40

50

レンズの結像光路の外側にカップリングイン機器 360 を配置することにより、投影装置が非偏光で操作され得る。照明放射のカップリングイン角度が投影対物レンズの光学軸心に関して可能な限り小さく保たれる目的で、偏向鏡 360 は負の群 332 の最小直径を有する負レンズの直近に配置される。それゆえ、この場合も同様に、照明放射がその狭窄部領域にカップリングインされ、そこに最小ビーム束直径が投影対物レンズ内に存在する。小さなカップリングイン角度がこの結果として可能である。

【0061】

大幅に縮小する結像スケール $= 0.01$ と大きな像側開口数 $NA = 0.9$ とマイクロリソグラフィに十分な像視野直径とを有する複数の投影対物レンズの更なる複数の態様が、図 7 から 10 に示されている。全ての態様が像空間での厳密なテレセントリシティにより区別されていて、この場合厳密なテレセントリシティは、同様に物側に存在して良いが必須ではない。物側操作距離 $> 200 \text{ mm}$ と像側操作距離 $> 5 \text{ mm}$ が、 1000 mm の構造長 L (物表面と像表面の間の軸方向距離) で全ての系について達成される。複数の例示的な系が、いずれの場合も 193 nm の操作波長のために構成されるが、他の波長、例えば 157 nm 又は 248 nm 用の僅かな修正により更に修正され得る。

10

【0062】

図 7 による態様の系の詳細が表 10 に示されており、図 8 による態様のそれが表 11 及び 12 に示されており、図 9 による態様のそれが表 13 及び 14 に示されており、図 10 による態様のそれが表 15 に示されている。

【0063】

複数の投影対物レンズは、複数の可能な基本形状を表現しており、これらは図 1 - 4 のそれと同様に、照明系に有利に割り当てられ得る。

20

【0064】

複数の系が、第 1 の負レンズ群 (N) と後者に続く正レンズ群 (P) を有し、正レンズ群は好ましくは 2 つの正レンズ群を有し、それらの間に開口絞り A が位置付けられていて、厳密にテレセントリックの光路が像空間に広がるようになっている。

【0065】

機能的には、第 1 負レンズ群は、以後「負前方素子」とも呼ばれるが、物を仮想的に縮小された形で結像する。正の第 2 レンズ群は、以後「正後方素子」とも呼ばれるが、更に中間虚像を縮小し、それを実の形で像面上に結像する。

30

【0066】

物空間でのテレセントリックの光路が、系の構成から独立して、原則として追加の正前方素子 (対物レンズの入口での追加の正レンズ群) の使用により、達成される。複数のビーム束の不可欠な高拡大が、負の屈折力を有する複数のレンズ又は複数の鏡設備により、いずれも屈折光学的に確実にされる。この場合、実の中間像の生成もまた提供されて良い (図 9)。複数の系のウエスト構造は、あいまいでなく、負前方素子と正後方素子の間の 1 つのウエスト部分であり、構造長が減少されるにつれてその厚さが増大する。

【0067】

一般的な用語で上で説明された構造は、4 つの例示的な態様で実際に説明される (図 7 から 10)。

40

【0068】

1 つの態様において (図 7)、系は、負前方素子 G1 と 2 つの正レンズ群 G21 及び G22 から形成された正後方素子 G2 を有する。前方素子は、主として歪に影響を与えるが、系の非点収差にも重要な影響を与え、連続的に交替する効果: $L1(P) - L2(N) - L3(P) - L4(N)$ を有する 4 つのレンズを含む。続く 3 つの負レンズ L5、L6 及び L7 は、この第 1 の態様において純粋に屈折光学的に、ビーム束の拡大に実質的に寄与している。所望の開口数が与えられるとすると、複数のビーム束の狭窄部は屈折第 2 レンズ群 G22 により行われる。球面収差の大幅な下方補正は、負メニスカスレンズ L10 及び L15 により主として補償される。負メニスカスレンズ L15 は、最終レンズ群 (G22) の厳密な負コマ収差を補正する。系は 18 個の球面レンズで全視野にわたって良好

50

に補正される。波面収差の最大RMS値は、193nmの波長と0.9の開口数NAで27mを下回る。

【0069】

図8による態様の構造は、図7におけるそれとかなり異なる。ビーム束を拡大するための複数の負レンズと後方素子の實際上完全な第1レンズ群が、ここではカセグレンタイプの鏡系により置き換えられている。所望の開口数のための複数のビーム束の狭窄部は、屈折第2レンズ群G22により達成される。前方負レンズ素子は、1つの正レンズL1と、2つの連続する負レンズL2及びL3を有し、主として歪を補正する。第1レンズL1及び第1鏡S1により導入される負の非点収差は、負レンズL2及びL3のそれにより実質的に補償され、第1鏡の非球面寄与により実質的に補償される。球面収差の粗い補正は、負メニスカスレンズL9により達成される。結像エラーの微細な補正の実質的な比率は、2つの非球面鏡S1及びS2により達成される。その結果は、コンパクトな(10個の球面レンズ及び2つの非球面鏡)高開口(NA 0.9)投影対物レンズであり、193nmの波長で全視野(14mを下回る波面収差のRMS)にわたって優れた補正を有する。系の口径食は25%である。

10

【0070】

図9による態様は、更に上記された構成原理に向けられている。この場合、開口は全レンズ系で小さく保たれた。開口数を達成する目的での複数のビーム束の拡大及び狭窄部は、ここで2つの鏡S1及びS2から形成された素子により行われる。後者は実際に「開口増大アドオン」APを形成し、これは実の中間像IMIを像面に結像して像視野曲率の補正を行う。

20

【0071】

中間像を生成する系の屈折部分は、4つのレンズ：L1(N)、L2(P)、L3(N)及びL4(N)を有する前方負レンズ素子G1と、いずれも4つのレンズから形成される2つの正レンズ群G21及びG22を有する正後方レンズ素子G2から形成されていて、これは、小さい開口数が与えられるとすると、中間像を提供し、これは収差が無いわけではないが、実の粗く補正された中間像である。補正における複数の系素子の複数の役割が保たれている。良好な補正が非球面鏡S2で行われる。この補正は、全視野にわたって優れており、波面収差の最大RMS値は6mを下回る。操作距離は、5mmであり、オブスキュレーションにより本質的に制限される。

30

【0072】

図10による態様は、二重テレセントリック系である。2つの正レンズL1及びL2からなる第1正レンズ素子G1が導入されたことで、系は無焦点となるが有限の頂点焦点距離のために補正される。系のウエストは、この場合構造長により明確に決定される。物空間の厳密なテレセントリシティは、非球面無しで、全視野に渡って満たされ、20μradより小さく、像空間で10μradよりも小さい。負レンズL3、L4及びL5から形成された第2負レンズ素子G21は、第1正レンズ素子G1により導入された負の歪を相殺する。他の複数の系素子はいずれも特定の補正の仕事を行う。この系は、複数の非球面を使用することなく、25.6mの波面収差という最大RMS値で、全視野にわたって良好に補正される。

40

【0073】

上記された複数の原理を考慮すると、高開口及び非常に大きな結像スケールを有する複数の投影対物レンズがこうして可能であり、とくに1/200 1/50が有効である。投影対物レンズは、好ましくは3つのレンズ群LG1、LG2及びLG3を有し、LG1は負の屈折力を有し、LG2は正の屈折力を有し、LG3は正の屈折力を有し、開口絞りはLG2及びLG3の間に位置していて、最小ビーム高さはLG1及びLG2の間に存在する(単一ウエスト系)。

【0074】

言うまでも無く、上記された全ての系は完全系、すなわち実物(例えばフトリソグラフィマスク)の実像を(例えばウェーハに)形成するための系であって良い。もっとも、

50

系はより大きな系の副系として利用されても良い。こうして、例として、上記された複数の系の1つの「物」が、物平面の上流の結像系（リレー系）により生成される像であって良い。同様に、上記された複数の系の1つにより形成された像は、像面の下流の系（リレー系）のための物として役立って良い。

【表1】

表1

投影対物レンズ NA 0.9, $y_{max} = 100$ mm;

波長 194.00 193.50 193.00

'SIO2HL' 1.559200 1.559980 1.560770

表面	半径	距離	材料	1/2直径
0	400.000000000	324.640162254	AIR	100.000
1	86.430020411	10.000003835	SIO2HL	23.171
2	48.298293282	10.196699688	AIR	20.243
3	-69.736895774	10.000000000	SIO2HL	19.795
4	299.409537246	1.000011900	AIR	19.932
5	59.098845360	10.016450571	SIO2HL	20.139
6	361.588827809	33.800314484	AIR	19.473
7	-48.142016065	10.910436584	SIO2HL	15.849
8	-188.589678970	13.187730911	AIR	16.506
9	0.000000000	22.500000000	SIO2HL	16.930
10	0.000000000	22.500000000	SIO2HL	17.369
11	0.000000000	238.153562537	AIR	17.808
12	-47.087296523	10.000000057	SIO2HL	24.848
13	-55.946001520	0.000000000	AIR	27.185
14	0.000000000	1.000000105	AIR	27.634
15	-220.741509615	10.011681907	SIO2HL	27.588
16	100.646958420	9.769512000	AIR	28.964
17	-191.483547871	10.000000002	SIO2HL	30.011
18	-107.053843656	31.361229507	AIR	32.015
19	-1088.914925000	10.419293442	SIO2HL	40.661
20	-212.764076328	1.000001299	AIR	41.838
21	341.430278820	10.000000000	SIO2HL	43.074
22	88.504006184	10.740662220	AIR	44.113
23	337.809858066	12.360916607	SIO2HL	45.193
24	-483.266284192	2.858639616	AIR	47.007
25	196.238117170	13.028202555	SIO2HL	51.249
26	1913.793681630	2.328540409	AIR	52.005
27	145.034986636	13.584189177	SIO2HL	54.295
28	383.639099907	20.841018033	AIR	54.083
29	0.000000000	1.928784758	AIR	51.892
30	120.907404674	24.996463895	SIO2HL	55.162
31	-291.699215879	10.015685791	AIR	54.127
32	-114.053675815	11.319657831	SIO2HL	53.448
33	-192.963675620	9.323130134	AIR	53.185
34	126.118178150	17.385856739	SIO2HL	48.152
35	-1086.537521640	1.000000151	AIR	46.324
36	59.228308280	16.486503734	SIO2HL	38.594
37	128.061605717	3.509338771	AIR	34.453
38	30.110842822	17.170156067	SIO2HL	24.681
39	59.767761856	10.655162430	AIR	17.607
40	0.000000000	0.000000000	AIR	1.000

10

20

30

40

【表 2】

表2

非球面定数：

表面 1：

K	0.000000
C1	0.208036E-06
C2	0.990359E-10
C3	-0.619573E-13
C4	0.163266E-15
C5	-0.774244E-19
C6	-0.894961E-23

10

【表 3】

表 3

表面	半径	距離	材料	1/2直徑
0	400.000000000	324.640162254	AIR	100.000
1	86.430020411	10.000003835	SIO2HL	21.163
2	48.298293282	10.196699688	AIR	18.370
3	-69.736895774	10.000000000	SIO2HL	17.632
4	299.409537246	1.000011900	AIR	17.478
5	59.098845360	10.016450571	SIO2HL	17.522
6	361.588827809	33.800314484	AIR	16.736
7	-48.142016065	10.910436584	SIO2HL	12.519
8	-188.589678970	13.187730911	AIR	12.688
9	0.000000000	22.500000000	SIO2HL	12.468
10	0.000000000	22.500000000	SIO2HL	12.235
11	0.000000000	21.940616164	AIR	12.003
12	59.405096099	10.000000057	SIO2HL	11.630
13	-125.652397253	15.313992124	AIR	10.946
14	0.000000000	12.139905344	AIR	8.106
15	-22.810212259	24.751161536	SIO2HL	8.576
16	-26.599270383	1.000000000	AIR	12.566
17	146.177135267	10.000000702	SIO2HL	12.449
18	-199.636413998	5.722658490	AIR	11.991
19	-25.600443300	10.000000002	SIO2HL	12.201
20	-20.762693694	43.720377220	AIR	14.031
21	0.000000000	0.000000000	AIR	12.997

20

30

40

【表 4】

表 4

非球面定数：

表面 1：

K	0.0000
C1	2.08035878e-007
C2	9.90358643e-011
C3	-6.19573221e-014
C4	1.63266245e-016
C5	-7.74243609e-020
C6	-8.94961378e-024
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

表面 18：

K	0.0000
C1	1.83727945e-005
C2	4.20815221e-008
C3	3.20433900e-010
C4	-7.68096392e-013
C5	2.84350531e-015
C6	5.67626144e-017
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

10

20

表面 20：

K	0.0000
C1	6.05746008e-008
C2	-2.50070662e-008
C3	2.41271105e-010
C4	-2.19540127e-012
C5	8.12030161e-015
C6	-1.65528888e-017
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000

30

【表5】

表5

投影対物レンズ NA 0.9, ymax = 100 mm;

波長 194.00 193.50 193.00

'SIO2HL' 1.559200 1.559980 1.560770

表面	半径	距離	材料	1/2 直径
0	0.000000000	200.000000000	AIR	100.000
1	0.000000000	0.000000000	AIR	101.802
2	227.259386774	20.512819389	SIO2HL	102.020
3	594.392475879	1.000000000	AIR	101.169
4	272.073100987	21.454554631	SIO2HL	99.300
5	2078.892657600	153.069166701	AIR	98.066
6	-237.215239991	7.000000000	SIO2HL	43.910
7	335.659052798	110.007809302	AIR	41.844
8	-148.011229130	10.003369181	SIO2HL	24.499
9	725.332588478	100.000000000	AIR	23.970
10	0.000000000	22.796744000	SIO2HL	19.201
11	0.000000000	22.796743897	SIO2HL	18.503
12	0.000000000	82.259848661	AIR	17.804
13	-87.290253452	10.009390374	SIO2HL	13.919
14	66.185108650	53.661204241	AIR	14.268
15	-224.422372825	7.125995415	SIO2HL	23.037
16	100.936346895	15.275378203	AIR	24.713
17	-124.438620076	7.674249916	SIO2HL	28.422
18	-79.265280937	43.541855173	AIR	30.164
19	-1542.371382040	9.904443360	SIO2HL	45.489
20	-196.900428214	1.220814596	AIR	46.524
21	237.152709647	7.000150521	SIO2HL	48.741
22	103.229208453	12.317171426	AIR	49.323
23	361.478928608	13.765040133	SIO2HL	50.866
24	-263.605736564	13.230599110	AIR	51.943
25	192.037443483	14.367433759	SIO2HL	58.068
26	-4532.648285910	17.776408871	AIR	58.174
27	0.000000000	0.000000000	AIR	58.639
28	0.000000000	-16.776038017	AIR	58.639
29	101.246526427	24.817355840	SIO2HL	58.732
30	-2946.488476690	15.911928535	AIR	57.553
31	-111.816219499	7.000083871	SIO2HL	57.311
32	-336.209838778	1.000000022	AIR	57.657
33	508.537366488	15.280833710	SIO2HL	57.033
34	-423.712654217	11.073774072	AIR	56.335
35	421.433970292	15.377811583	SIO2HL	52.481
36	-240.474050771	1.000000000	AIR	51.292
37	89.721174516	15.078915013	SIO2HL	43.250
38	805.790847030	1.000733256	AIR	40.806
39	27.796341414	17.226237334	SIO2HL	25.798
40	39.489274732	14.237173922	AIR	19.623
41	0.000000000	0.000000000	AIR	1.001

10

20

30

40

【表 6】

表 6 :

表面	半径	距離	材料	½ 直徑
0	0.000000000	200.000000000	AIR	100.000
1	0.000000000	0.000000000	AIR	101.813
2	227.259386774	20.512819389	SIO2HL	102.033
3	594.392475879	1.000000000	AIR	101.183
4	272.073100987	21.454554631	SIO2HL	99.313
5	2078.892657600	153.069166701	AIR	98.081
6	-237.215239991	7.000000000	SIO2HL	43.926
7	335.659052798	110.007809302	AIR	41.860
8	-148.011229130	10.003369181	SIO2HL	24.523
9	725.332588478	100.000000000	AIR	23.995
10	0.000000000	22.796744000	SIO2HL	19.246
11	0.000000000	22.796743897	SIO2HL	18.550
12	0.000000000	63.543520754	AIR	17.854
13	62.084050924	10.000000000	SIO2HL	14.739
14	3678.767855610	34.942502744	AIR	13.769
15	0.000000000	105.027044179	AIR	7.371
16	-26.045181074	10.000000000	SIO2HL	13.899
17	44.331060902	5.155446669	AIR	18.549
18	224.821093630	20.000000000	SIO2HL	21.651
19	-143.983183676	1.000000000	AIR	30.223
20	793.158151498	24.996311285	SIO2HL	34.131
21	-43.611089630	25.338087648	AIR	36.180
22	0.000000000	0.000000000	AIR	33.370

10

20

30

【表 7】

表 7

投影対物レンズ NA 0.9, ymax = 100 mm;
 波長 194.00 193.50 193.00
 'SIO2HL' 1.559200 1.559980 1.560770

表面	半径	距離	材料	1/2直径
0	0.000000000	200.000000000	AIR	100.000
1	0.000000000	0.000000000	AIR	101.812
2	222.072588602	21.859808138	SIO2HL	102.037
3	283.961110297	0.000000000	AIR	99.413
4	0.000000000	1.000000000	AIR	100.624
5	220.193677380	40.319658086	SIO2HL	98.973
6	-2515.128684440	140.301529862	AIR	95.701
7	-161.961243579	9.825065918	SIO2HL	44.049
8	645.031597416	0.000000000	AIR	42.028
9	0.000000000	0.000000000	AIR	42.228
10	0.000000000	132.110493192	AIR	42.228
11	-251.603890537	10.003369181	SIO2HL	23.092
12	275.629264975	185.763019339	AIR	22.385
13	-87.846806387	10.009390374	SIO2HL	13.827
14	65.828141814	53.738371464	AIR	14.175
15	-225.449501895	7.198681414	SIO2HL	22.958
16	100.814083822	15.360993004	AIR	24.636
17	-122.984481803	7.734840976	SIO2HL	28.366
18	-78.038516367	43.900085312	AIR	30.111
19	-1322.796921570	10.134945317	SIO2HL	45.382
20	-196.830795876	1.334588683	AIR	46.488
21	237.122948890	7.000000000	SIO2HL	48.725
22	103.288957019	12.344192111	AIR	49.306
23	361.770986635	13.817623576	SIO2HL	50.866
24	-263.675534964	13.230599110	AIR	51.953
25	191.990830428	14.398227683	SIO2HL	58.066
26	-4531.012021150	17.784327737	AIR	58.171
27	0.000000000	0.000000000	AIR	58.628
28	0.000000000	-16.784327737	AIR	58.628
29	101.507548398	24.817355840	SIO2HL	58.717
30	-2743.245741810	15.942240527	AIR	57.536
31	-111.808142102	7.000000000	SIO2HL	57.257
32	-335.669122363	1.000000000	AIR	57.598
33	509.243573292	15.272816584	SIO2HL	56.972
34	-423.548229138	11.080839090	AIR	56.272
35	421.919394577	15.377191275	SIO2HL	52.417
36	-240.473101534	1.002269600	AIR	51.224
37	89.733023828	15.115222564	SIO2HL	43.205
38	807.173847447	1.000000000	AIR	40.735
39	27.852445627	17.229076198	SIO2HL	25.805
40	39.619744214	14.232202664	AIR	19.600
41	0.000000000	0.000000000	AIR	1.002

10

20

30

40

【表 8】

表 8

表面	半径	距離	材料	1/2直径
0	0.000000000	17.583000000	AIR	5.259
1	0.000000000	0.000000000	AIR	9.592
2	-69.601732315	7.527921217	SIO2HL	9.413
3	-18.609441116	41.700289171	AIR	10.514
4	0.000000000	7.566135710	AIR	9.454
5	27.904520638	10.000000000	SIO2HL	11.766
6	25.416277956	20.000000000	AIR	11.440
7	66.200568289	11.344447957	SIO2HL	16.361
8	-165.164448263	43.950455000	AIR	16.975
9	0.000000000	47.309396456	AIR	19.437
10	0.000000000	142.059091012	AIR	62.387
11	-275.629264975	10.003369181	SIO2HL	45.764
12	251.603890537	132.110493192	AIR	45.490
13	-645.031597416	9.825065918	SIO2HL	55.548
14	161.961243579	140.301529862	AIR	57.421
15	2515.128684440	40.319658086	SIO2HL	109.216
16	-220.193677380	1.000000000	AIR	110.982
17	-283.961110297	21.859808138	SIO2HL	111.259
18	-222.072588602	0.000000000	AIR	113.539
19	0.000000000	200.000000037	AIR	111.711
20	0.000000000	0.000000000	AIR	100.000

10

20

【表 9】

表 9

非球面定数：

表面 2：

K	0.0000
C1	-1.74492134e-005
C2	5.37710337e-008
C3	5.42537441e-010
C4	1.02328167e-012
C5	-2.21171111e-014
C6	-3.69659022e-016
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

表面 7：

K	0.0000
C1	-1.39573765e-007
C2	-2.52235172e-009
C3	-8.70458774e-012
C4	-1.63660511e-014
C5	1.42409048e-017
C6	3.19420258e-019
C7	0.00000000e+000
C8	0.00000000e+000
C9	0.00000000e+000

30

40

【表 10】

表 10

投影対物レンズ NA 0.9, y_{max} = 100 mm;
 波長 194.00 193.50 193.00
 'SIO2HL' 1.559200 1.559980 1.560770

表面	半径	距離	材料
0	0.00000	300.000000	AIR
1	-517.07543	10.000000	SIO2HL'
2	-163.08614	2.000000	AIR
3	-929.10544	10.000000	SIO2HL'
4	93.45465	2.000000	AIR
5	53.31164	10.000000	SIO2HL'
6	68.85257	8.229234	AIR
7	-128.69071	27.563591	SIO2HL'
8	131.38012	215.860274	AIR
9	-201.54258	10.000000	SIO2HL'
10	209.22715	70.392722	AIR
11	-42.21897	10.000000	SIO2HL'
12	-54.15229	26.624897	AIR
13	-106.70300	10.011682	SIO2HL'
14	132.24977	8.713216	AIR
15	-176.04919	10.545245	SIO2HL'
16	-95.81203	2.070590	AIR
17	-626.82922	10.513299	SIO2HL'
18	-166.59328	16.991938	AIR
19	239.15924	10.000000	SIO2HL'
20	96.38673	11.212496	AIR
21	297.45636	16.550887	SIO2HL'
22	-468.78918	5.856122	AIR
23	215.85400	30.486079	SIO2HL'
24	20753.74250	29.113792	AIR
STO	0.00000	-18.496728	AIR
26	199.84577	16.475516	SIO2HL'
27	3734.99646	3.949997	AIR
28	144.29112	27.158474	SIO2HL'
29	-313.89510	8.376825	AIR
30	-153.06655	11.319658	SIO2HL'
31	-259.19265	19.911905	AIR
32	96.73625	19.312727	SIO2HL'
33	996.85565	2.000000	AIR
34	57.07860	13.965068	SIO2HL'
35	78.44880	2.000000	AIR
36	30.37076	17.863264	SIO2HL'
37	54.88614	11.427232	AIR
38	0.00000	0.000000	AIR

10

20

30

40

【表 1 1】

表 1 1

投影対物レンズ NA 0.9, ymax = 100 mm;

波長 194.00 193.50 193.00

'SIO2HL' 1.559200 1.559980 1.560770

表面	半径	距離	材料	タイプ
0	0.00000	691.521357	AIR	
1	45.79696	12.111642	SIO2HL	
2	257.48283	22.666246	AIR	
3	149.33577	16.416193	SIO2HL	
4	25.83696	5.251676	AIR	
5	-32.42051	5.000000	SIO2HL	
6	28.10868	93.471644	AIR	
7	81.73885	-83.471644	AIR	REFL
8	186.86814	88.471644	AIR	REFL
9	0.00000	0.200000	AIR	
10	342.74175	5.000000	SIO2HL	
11	103.30724	16.248363	AIR	
12	445.16918	11.996131	SIO2HL	
13	-554.93836	0.100000	AIR	
STO	0.00000	0.100000	AIR	
15	281.30149	11.528966	SIO2HL	
16	-4202.79513	0.624173	AIR	
17	154.80439	11.791730	SIO2HL	
18	398.49953	0.954762	AIR	
19	54.71970	28.548092	SIO2HL	
20	192.02474	14.588730	AIR	
21	-128.97697	20.177439	SIO2HL	
22	-156.66767	6.170116	AIR	
23	36.23416	12.054098	SIO2HL	
24	349.15440	8.478625	AIR	
>25	0.00000	0.000018	AIR	

10

20

30

【表 1 2】

表 1 2

非球面定数：

表面 7：

K	1.090334
C1	0.281064E-06
C2	0.208114E-09
C3	0.118850E-12
C4	-.108390E-15
C5	-.294447E-26
C6	-.126943E-30
C7	0.240395E-23
C8	-.689159E-26
C9	0.473369E-29

表面 8：

K	0.023072
C1	0.132767E-08
C2	0.242263E-12
C3	-.509833E-17
C4	0.250415E-20
C5	-.122848E-23
C6	0.256581E-27
C7	-.315290E-31
C8	0.158057E-35
C9	-.135368E-40

【表 13】

表 13

投影対物レンズ NA 0.9, y_{max} = 100 mm;

波長 194.00 193.50 193.00

'SIO2HL' 1.559200 1.559980 1.560770

表面	半径	距離	材料	タイプ
0	INFINITY	692.000000	AIR	
1	370.53276	5.741663	SIO2HL	
2	66.65474	100.244555	AIR	
3	279.25820	11.156469	AIR	
5	84.64407	5.000000	SIO2HL	
6	36.52968	6.589949	AIR	
7	-56.19876	35.000000	SIO2HL	
8	-80.74806	46.918698	AIR	
9	100.33708	5.000000	SIO2HL	
10	45.03328	6.996408	AIR	
11	90.52414	8.301195	SIO2HL	
12	-359.81651	2.000000	AIR	
13	41.20802	5.000000	SIO2HL	
14	29.09382	12.350204	AIR	
15	29.29669	12.118549	SIO2HL	
16	152.28935	8.474905	AIR	
17	-30.77630	6.179925	SIO2HL	
18	-34.89702	-9.222841	AIR	
STO	INFINITY	11.222841	AIR	
20	-839.62776	29.200026	SIO2HL	
21	-55.99671	2.000000	AIR	
22	73.62258	15.326341	SIO2HL	
23	-71.93498	2.000000	AIR	
24	35.16113	6.929709	SIO2HL	
25	-395.44925	48.201333	AIR	
26	2299.26136	16.075460	SIO2HL	
27	INFINITY	-16.075460	SIO2HL	REFL
28	2299.26136	-48.201333	AIR	
29	80.09166	48.201333	AIR	REFL
30	2299.26136	16.075460	SIO2HL	
31	INFINITY	5.000000	AIR	
32	INFINITY	0.000000		

10

20

30

40

【表 1 4】

表 1 4

非球面定数：

表面 2 9：

K	-0.007747
C1	0.139640E-08
C2	0.302115E-12
C3	0.175726E-15
C4	-.106788E-18
C5	0.397978E-22
C6	0.603652E-27
C7	-.543177E-29
C8	0.160890E-32
C9	-.163821E-36

10

20

【表 15】

表 15

投影対物レンズ NA 0.9, $y_{\max} = 100 \text{ mm}$;

波長 194.00 193.50 193.00

'SIO2HL' 1.559200 1.559980 1.560770

表面	半径	距離	材料
0	0.00000	200.000000	AIR
1	911.49052	20.000000	SIO2HL
2	-3535.55959	1.000000	AIR
3	228.31686	22.391006	SIO2HL
4	887.19064	159.409733	AIR
5	-840.22492	7.000000	SIO2HL
6	652.54704	213.779192	AIR
7	-133.51080	7.000000	SIO2HL
8	168.76484	100.603028	AIR
9	-63.21136	30.000000	AIR
11	-137.74731	7.000000	SIO2HL
12	121.42092	12.731535	AIR
13	-87.24022	8.364313	SIO2HL
14	-54.11580	54.019262	AIR
15	-419.73455	17.372064	SIO2HL
16	-155.32420	1.000000	AIR
17	-172.05345	68.230242	AIR
STO	INFINITY	-67.230242	AIR
19	198.39621	7.000000	SIO2HL
20	87.44544	16.025941	SIO2HL
22	-430.07760	13.230599	AIR
23	170.34465	13.562814	SIO2HL
24	3013.66820	1.000000	AIR
25	94.29242	24.817356	SIO2HL
26	3578.66609	14.929691	AIR
27	-109.15751	15.726087	SIO2HL
28	-585.91891	1.000000	AIR
29	480.38009	11.793243	SIO2HL
30	-343.83269	6.476512	AIR
31	225.81131	13.014346	SIO2HL
32	-419.29952	1.000000	AIR
33	81.41776	15.110686	SIO2HL
34	686.55454	1.000000	AIR
35	28.43692	16.576702	SIO2HL
36	47.19354	13.455073	AIR
37	0.00000	0.000000	AIR

【図面の簡単な説明】

【0075】

【図1】本発明による投影露光装置の態様を示し、そこで湾曲した反射マスクが使用されている。

【図2】屈折縮小対物レンズの態様のレンズ断面を示し、照明光が湾曲した物表面と像面とのビームプリッタを介してカップリングインされている。

【図3】多くの個別に傾斜可能な複数の個別鏡を有する湾曲した反射マスクの異なる図を示す。

【図4】図2による投影対物レンズの詳細を示し、照明光の一部が湾曲した反射マスクによりマスクされている。

【図5】照明光の中心カップリングインで屈折縮小対物レンズの第2態様のレンズ断面を示す。

【図6】照明光の偏心カップリングインで縮小対物レンズの第3態様を示す。

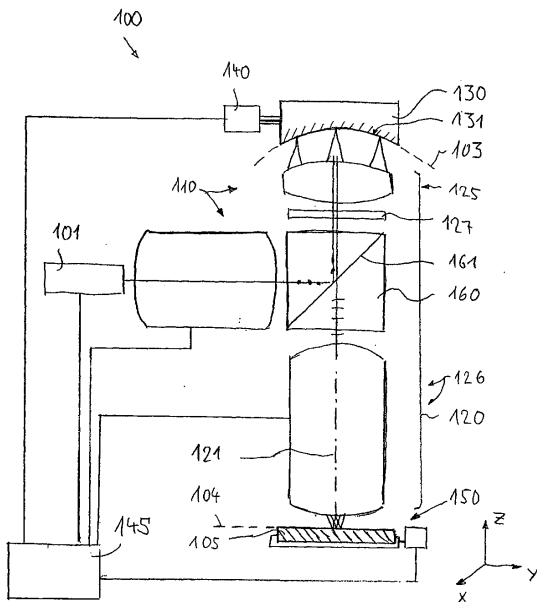
【図7】屈折縮小対物レンズの第4態様のレンズ断面を示す。

【図8】カタディオプトリック縮小対物レンズの第1態様のレンズ断面を示す。

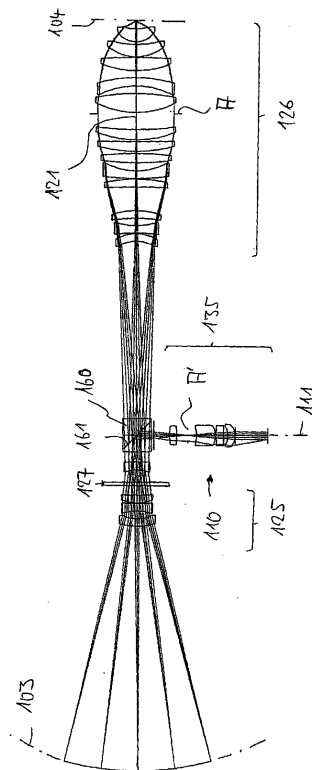
【図9】カタディオプトリック縮小対物レンズの第2態様のレンズ断面を示す。

【図10】屈折縮小対物レンズの第5態様のレンズ断面を示す。

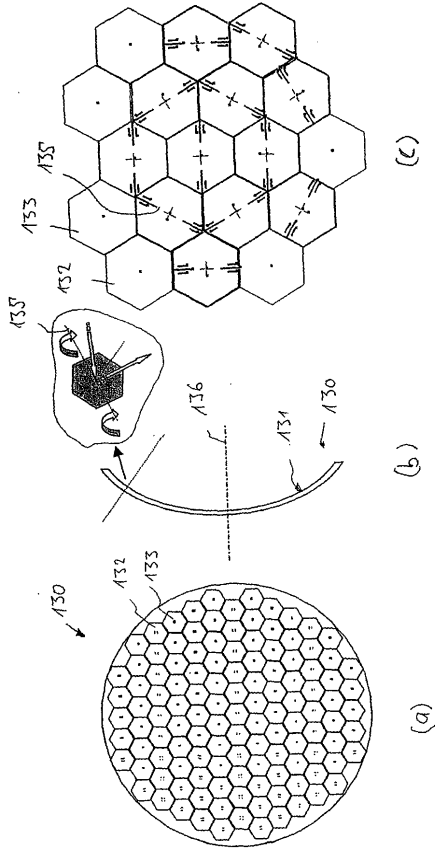
【図1】



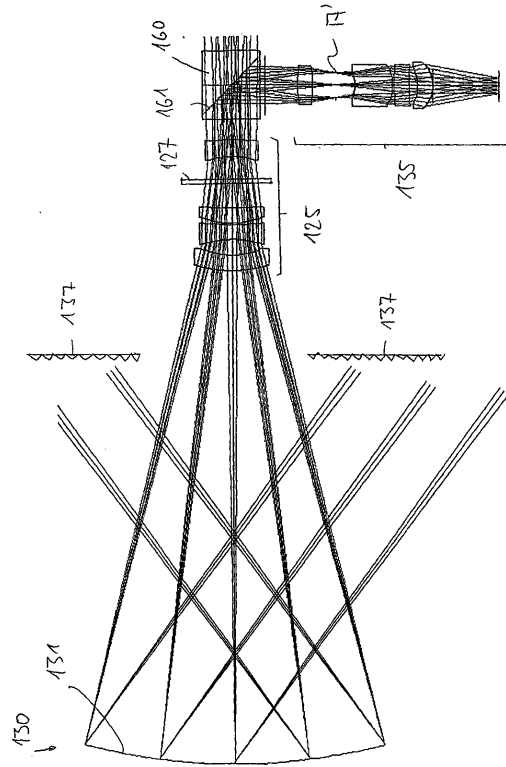
【図2】



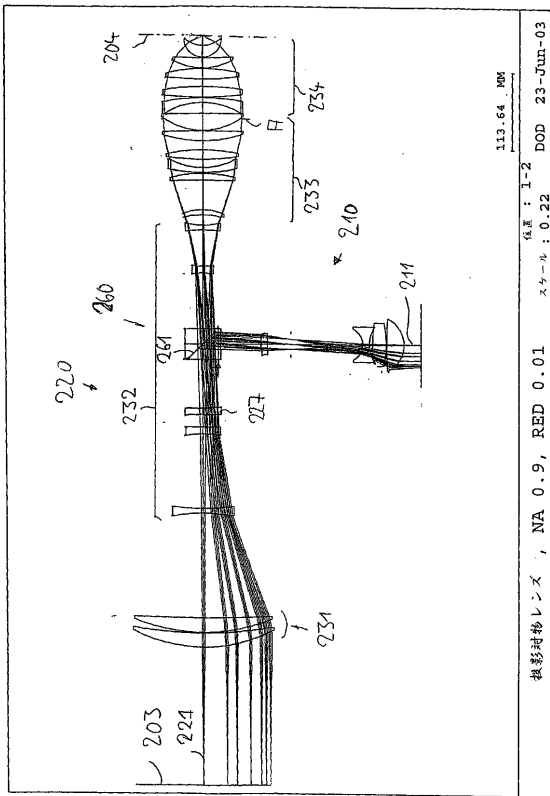
【図3】



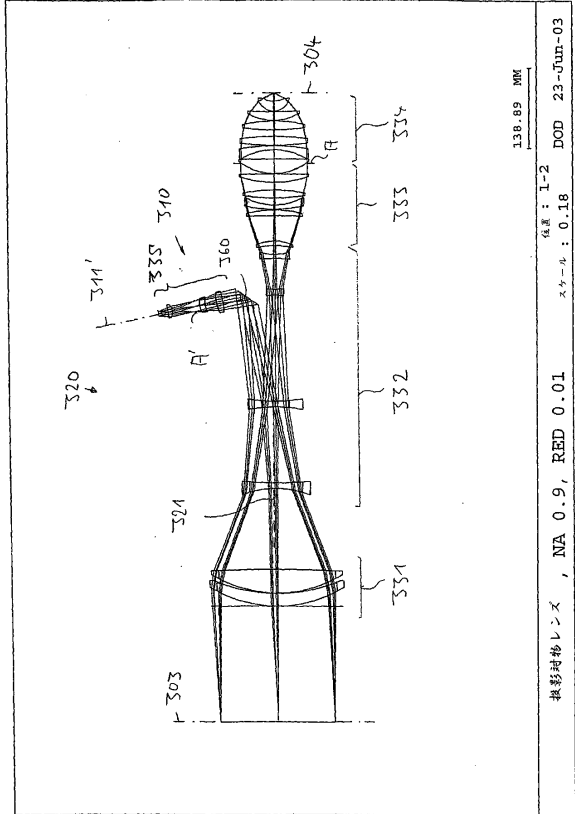
【図4】



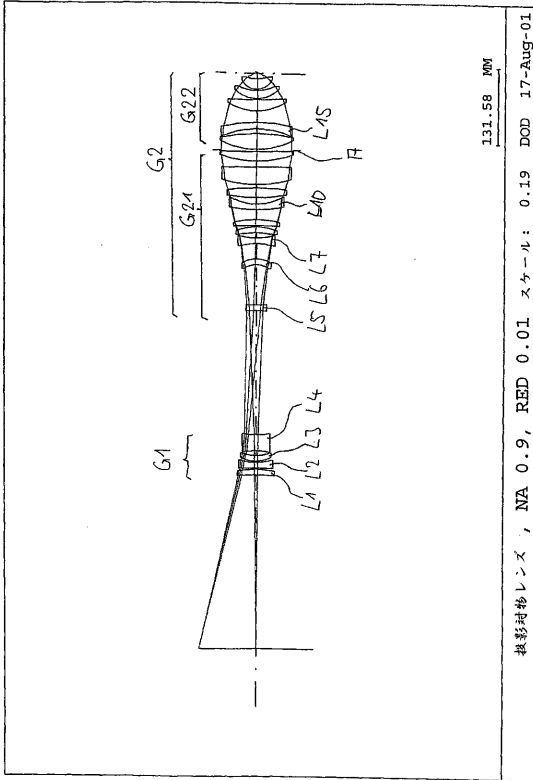
【図5】



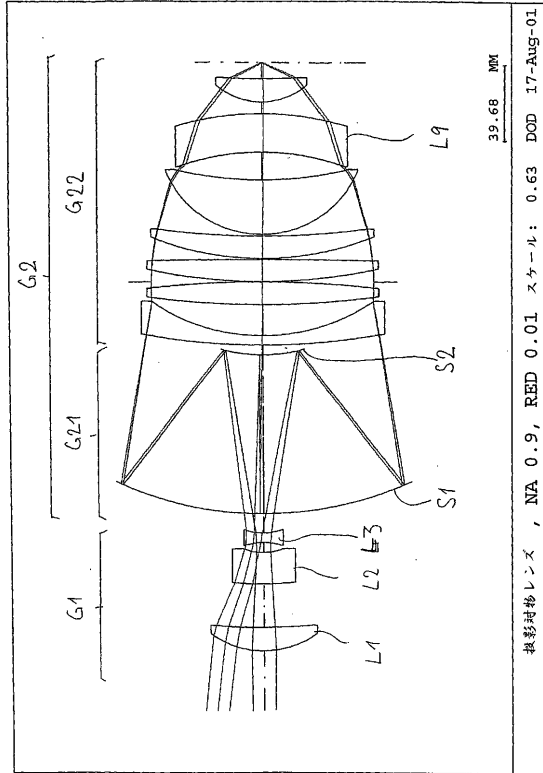
【図6】



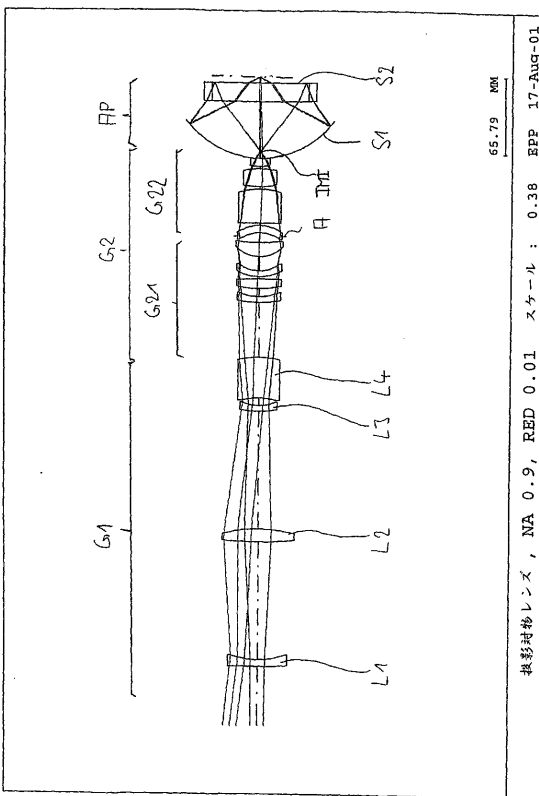
【 図 7 】



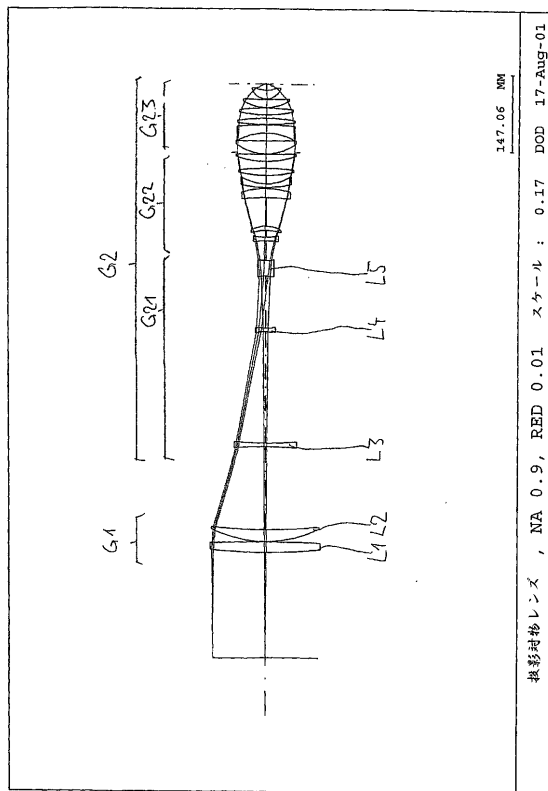
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



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 アウレリアン ドドック
ドイツ連邦共和国、73447 オベルコッヘン、ハインブッヒエンヴェーク 7
- (72)発明者 ヴィルヘルム ウルリッヒ
ドイツ連邦共和国、73434 アーレン、レデラッカーリンク 44
- (72)発明者 ディーター バーダー
ドイツ連邦共和国、73571 ゲッギンゲン、カスタニーヴェーク 5
- (72)発明者 アレキサンダー エッブル
ドイツ連邦共和国、73431 アーレン、ランゲルストラッセ 38

審査官 森内 正明

- (56)参考文献 特開2001-297980(JP, A)
特表2001-517806(JP, A)
特表2002-506230(JP, A)
特表2002-506232(JP, A)
特開平2-160237(JP, A)
国際公開第03/016977(WO, A2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 9/00 - 17/08
G02B 21/02 - 21/04
G02B 25/00 - 25/04
G03F 7/20 - 7/24
H01L 21/027