

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5616789号
(P5616789)

(45) 発行日 平成26年10月29日 (2014. 10. 29)

(24) 登録日 平成26年9月19日 (2014. 9. 19)

(51) Int. Cl.	F I
GO 2 B 17/08 (2006. 01)	GO 2 B 17/08 A
HO 1 L 21/027 (2006. 01)	HO 1 L 21/30 5 1 5 D

請求項の数 24 (全 81 頁)

(21) 出願番号	特願2010-523311 (P2010-523311)	(73) 特許権者	503263355
(86) (22) 出願日	平成20年9月1日 (2008. 9. 1)		カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー
(65) 公表番号	特表2010-538328 (P2010-538328A)		エムペーハー
(43) 公表日	平成22年12月9日 (2010. 12. 9)		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/EP2008/007123		コッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
(87) 国際公開番号	W02009/030444		ーセ 2
(87) 国際公開日	平成21年3月12日 (2009. 3. 12)	(74) 代理人	100092093
審査請求日	平成23年5月30日 (2011. 5. 30)		弁理士 辻居 幸一
(31) 優先権主張番号	11/896, 689	(74) 代理人	100082005
(32) 優先日	平成19年9月5日 (2007. 9. 5)		弁理士 熊倉 禎男
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100067013
			弁理士 大塚 文昭
		(74) 代理人	100086771
			弁理士 西島 孝喜

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 色補正された反射屈折対物系及びそれを含む投影露光装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反射屈折対物系であって、

中心波長 付近の波長帯域からの電磁放射線を用いて像側開口数 NA で対物系の物体面内の物体視野からのパターンを該対物系の像面領域内の像視野に結像するように光軸に沿って配置された複数の光学要素、

を含み、

前記光学要素は、

凹ミラーと、

中央アッペ数を定める異なるアッペ数を有する異なる材料から作られたレンズを含む複数のレンズと、

を含み、

投影対物系が、異なる波長に対して互いから偏位する波長帯域の各波長 に対するそれぞれのベッツヴァル面内に前記パターンの像を形成するように、前記複数のレンズの少なくとも1つは、前記中央アッペ数に等しいか又はそれよりも大きい第1のアッペ数を有する第1の材料から作られた第1のレンズであり、前記複数のレンズの少なくとも1つは、該中央アッペ数よりも小さいアッペ数を有する第2の材料から作られ、

前記像視野の縁部視野点での (最大像高さ y' での) 平面基準面からの所定の波長での前記ベッツヴァル面の前記像面領域内の前記光軸に対して平行に測定された、前記像視野の外縁におけるデフォーカス量 p が、

10

20

$$d p / d < (0 . 2 / N A ^ 2) / n m$$

に従って前記波長 と共に変動し、

ここで、 $d p / d$ とは、波長 に関する p の導関数であり、

$/ n m$ は、波長 1 ナノメートル辺りの変動量であることを意味し、

前記パターンを第 1 の中間像へと結像するように構成された第 1 の対物系部分、

前記第 1 の中間像を第 2 の中間像へと結像するように構成された第 2 の対物系部分、及び

前記第 2 の中間像を前記像面上に結像するように構成された第 3 の対物系部分、
を含み、

前記凹ミラーは、対物系の瞳面に又はそれに光学的に近く配置され、少なくとも 1 つの負のレンズを含む負の群が、放射線が該負の群を少なくとも 2 度反対方向に通過するような二重通過領域において該凹ミラーの前にかつその反射側に配置される、
ことを特徴とする反射屈折対物系。

10

【請求項 2】

全ての前記レンズのうちの 50% よりも多くが、第 1 の材料から作られ、50% 未満が、第 2 の材料から作られることを特徴とする請求項 1 に記載の対物系。

【請求項 3】

全ての前記レンズのうちの 30% 未満が、第 2 の材料から作られることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の対物系。

【請求項 4】

20

第 2 の材料から作られた少なくとも 1 つの第 2 のレンズが、負のレンズであ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 項に記載の対物系。

【請求項 5】

前記負のレンズは、負の両凹レンズであることを特徴とする請求項 4 に記載の対物系。

【請求項 6】

前記負のレンズは、該負のレンズの直近の少なくとも 1 つのレンズの光学自由直径よりも実質的に小さい光学自由直径を有することを特徴とする請求項 4 又は請求項 5 に記載の対物系。

【請求項 7】

前記負のレンズは、対物系の最も大きいレンズの光学自由直径の 80% よりも小さい光学自由直径を有することを特徴とする請求項 4、請求項 5、又は請求項 6 に記載の対物系。

30

【請求項 8】

前記負のレンズの前記光学自由直径は、対物系の前記最も大きいレンズの前記光学自由直径の 50% よりも小さいことを特徴とする請求項 7 に記載の対物系。

【請求項 9】

前記負のレンズは、2 つの隣接するレンズの間に配置され、該 2 つの隣接するレンズの各々は、該負のレンズの前記光学自由直径よりも実質的に大きい光学自由直径を有することを特徴とする請求項 4 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の対物系。

【請求項 10】

40

対物系を通過する放射線ビームのビーム直径が極小値を有する少なくとも 1 つのくびれ領域を含み、

前記負のレンズは、前記くびれ領域に位置決めされる、

ことを特徴とする請求項 4 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の対物系。

【請求項 11】

第 2 の材料の少なくとも 2 つの負のレンズを含むことを特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の対物系。

【請求項 12】

前記第 1 の材料は、溶融シリカ ($S i O _ 2$) であることを特徴とする請求項 1 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載の対物系。

50

【請求項 13】

前記光学要素は、第 1 のレンズ及び該第 1 のレンズと直接隣り合う第 2 のレンズから成る複レンズを含み、

前記第 1 のレンズは、第 1 の材料から作られた正のレンズであり、前記第 2 のレンズは、第 2 の材料から作られた負のレンズである、

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 12 のいずれか 1 項に記載の対物系。

【請求項 14】

前記複レンズは、投影対物系の視野面に光学的に近くて主光線高さが対物系における最大主光線高さの少なくとも 50 % である領域に配置されることを特徴とする請求項 13 に記載の対物系。

10

【請求項 15】

前記複レンズは、放射線が該複レンズを反対方向に少なくとも 2 度通過するような二重通過領域に配置されることを特徴とする請求項 13 に記載の対物系。

【請求項 16】

第 1 の材料から作られた正のレンズが、前記複レンズの前記第 1 のレンズの反対側にかつ該複レンズの前記第 2 のレンズと直接隣り合って配置されることを特徴とする請求項 13 から請求項 15 のいずれか 1 項に記載の対物系。

【請求項 17】

最大像高さ y' における前記像視野の縁部視野点での平面基準面からの所定の波長での前記ベツヴァル面の縦方向逸脱 p を前記波長帯域内の各波長に対して $/NA^2$ 未満まで低減することを特徴とする請求項 1 から請求項 16 のいずれか 1 項に記載の対物系。

20

【請求項 18】

前記波長帯域の第 1 の波長 $\lambda_1 < \lambda_2$ での第 1 のベツヴァル面に前記パターンの第 1 の像を、かつ $2nm$ 又はそれよりも大きい波長差 $\lambda_2 - \lambda_1$ だけ該第 1 の波長から分離した第 2 の波長 $\lambda_2 > \lambda_1$ での第 2 のベツヴァル面に該パターンの第 2 の像を形成することを特徴とする請求項 1 から請求項 17 のいずれか 1 項に記載の対物系。

【請求項 19】

前記第 2 の対物系部分は、前記少なくとも 1 つの凹ミラーを含み、

前記第 1 の対物系部分は、屈折対物系部分であり、

前記第 3 の対物系部分は、屈折対物系部分である

ことを特徴とする請求項 1 に記載の対物系。

30

【請求項 20】

二重通過領域が幾何学的に第 1 の偏向ミラーと前記凹ミラーの間に形成されるように、前記物体面からの放射線を該凹ミラーに向けて偏向するか又は該凹ミラーからの放射線を前記像面に向けて偏向するように配置された第 1 の偏向ミラーを更に含み、

前記像面が前記物体面に対して平行であるように前記第 1 の偏向ミラーからの放射線を該像面に向けて偏向するように配置された第 2 の偏向ミラーを更に含む

ことを特徴とする請求項 1 から請求項 19 のいずれか 1 項に記載の対物系。

【請求項 21】

前記第 1 の中間像を前記第 2 の中間像へと結像するように構成された前記第 2 の対物系部分は、条件 $0.8 \leq |M_2| \leq 1.1$ に従う第 2 の倍率 M_2 を有することを特徴とする請求項 1 から請求項 20 のいずれか 1 項に記載の対物系。

40

【請求項 22】

厳密に 1 つの凹ミラーが存在することを特徴とする請求項 1 から請求項 21 のいずれか 1 項に記載の対物系。

【請求項 23】

投影対物系の像面の領域に配置された感放射線基板を該投影対物系の物体面の領域に配置されたマスクのパターンの少なくとも 1 つの像を用いて露光するように構成された投影露光装置であって、

中心作動波長 λ_c 付近の波長帯域からの紫外放射線を放出する放射線源と、

50

前記放射線源からの前記放射線を受光し、マスクのパターン上に向けられる照明放射線を形成する照明系と、

請求項 1 から請求項 2 2 のいずれか 1 項に記載の対物系と、
を含むことを特徴とする装置。

【請求項 2 4】

> 3 0 0 n m であり、

前記波長帯域は、第 1 の波長 $\lambda_1 <$ と、1 n m よりも大きい波長差 $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ だけ該第 1 の波長から分離した第 2 の波長 $\lambda_2 >$ とを含む、
ことを特徴とする請求項 2 3 に記載の投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、反射屈折対物系に関する。対物系は、投影対物系の像面領域に配置された感放射線基板を投影対物系の物体面領域に配置されたマスクのパターンの少なくとも 1 つの像を用いて露光するマイクロリソグラフィ投影露光装置において用いることができる反射屈折投影対物系として構成することができる。本発明はまた、そのような反射屈折対物系を含む投影露光装置にも関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

マイクロリソグラフィ投影露光方法及び装置は、半導体構成要素及び他の微細パターン形成構成要素を製作するのに用いられる。マイクロリソグラフィ露光工程は、結像される構造のパターン、例えば、半導体構成要素の層の線パターンを保持又は形成するマスク（レチクル）を用いる段階を含む。パターンは、投影露光装置内で照明系と投影対物系の間の投影対物系の物体面領域に位置決めされる。紫外電磁スペクトルからの 1 次放射線（U V 放射線）が 1 次放射線源によって供給され、照明系の光学構成要素によって変換されて、マスクパターンに誘導される照明放射線が生成される。マスク及びパターンによって修正された放射線は、投影対物系を通過し、露光される基板が配置された投影対物系の像面内にパターン像を形成する。通常、基板、例えば、半導体ウェーハは、感放射線層（フォトレジスト）を保持する。

20

【0 0 0 3】

30

現在、マイクロリソグラフィの分野では、様々な種類の 1 次放射線源が用いられている。一部の場合には、1 次放射線源としてレーザが用いられる。レーザの自然帯域幅は、適切な帯域幅狭窄化デバイスによって狭窄化することができる。例えば、約 $\Delta\lambda = 5 0 0$ p m の自然帯域幅を 3 桁だけ低減することができ、露光に用いられる帯域幅 $\Delta\lambda = 0 . 5$ p m を有する放射線が得られる。露光において比較的小さい帯域幅を有する放射線が用いられる場合には、投影対物系の光学要素によって引き起こされる色収差は、色補正（色収差の補正）に対する特別な労力なしに比較的小さく保つことができる。

【0 0 0 4】

比較的に広い波長帯域からの紫外放射線を放出する 1 次放射線源を有するマイクロリソグラフィシステムでは状況が異なる。例えば、水銀蒸気ランプ又は発光ダイオード（LED）を 1 次放射線源として用いることができる。特に、中心波長 $\lambda_c = 3 6 5 . 5$ n m ± 2 n m を有する投影露光システム（いわゆる i 線システム）が長い間用いられている。これらのシステムは、水銀蒸気ランプの i 線を利用し、その自然帯域幅は、フィルタを利用するか、又はいずれか他の方式で約 2 n m のより幅狭の利用帯域幅 $\Delta\lambda$ へと制限される。約 4 0 5 n m における水銀 h 線及び 4 3 6 n m における水銀 g 線のような水銀蒸気ランプの他のスペクトル線を露光において用いることができる。これらの線の各々の電磁スペクトルは、比較的に幅広であり、それによってそのような広帯域放射線を用いる場合であっても要求分解能での低収差結像を保証するために、投影対物系が比較的に有効な色収差補正を実現すべきであることが要件である。また、自然線幅のレーザ光源又は中程度の線幅狭窄化し

40

50

【 0 0 0 5 】

基本的に、色収差は、透過光学材料の屈折率 n が波長 の関数として変化すること起因して発生する。一般的に、光学材料の屈折率は、長い波長よりも短い波長に対して高い。色収差は、様々なカテゴリに再分割することができる。色収差の第 1 のカテゴリは、理想的な像からの異なる波長で形成された像の位置、形状、及び / 又はサイズの偏差を含む。これは、各波長に対して像が近軸領域内に形成され、通常これらの像が位置、形状、及び / 又はサイズにおいて異なるという事実を説明している。第 1 のカテゴリの色収差を通常は「軸線方向の色収差」(又は軸線方向の色、 $A X$) 及び「倍率の色収差」(又は横方向の色、 $L A T$) と呼ぶ。

【 0 0 0 6 】

10

軸線方向色収差は、波長に伴う近軸焦点 (又は像位置) の縦方向変動である。光学材料の屈折率が長波長よりも短波長に対して高い場合には、レンズ要素の各面において短波長がより大きく屈折され、従って、例えば、単純な正のレンズでは、比較的短い波長の光線が、比較的長い波長の光線よりもレンズに近い焦点へと誘導される。レンズの光軸に沿って 2 つの焦点間の近軸距離が軸線方向色収差である。短波長光線が長波長光線よりも正のレンズに近い焦点に誘導される場合には、通常、この縦方向色収差を「補正不足」又は「負」と呼ぶ。

【 0 0 0 7 】

レンズシステムが、異なる波長に対して異なるサイズの像を形成するか又は軸外点の像を色縁へと広げる場合には、異なる色に対する近軸像高さの間の差を通常、横方向の色又は倍率の色差で表している。

20

【 0 0 0 8 】

屈折率の色変動は、単色収差の変動ももたらし、これらの収差は、色収差の第 2 のカテゴリに要約することができる。単色収差の変動は、球面収差の色変動、コマ収差の色変動、非点収差の色変動、歪曲の色変動、及び像視野湾曲の色変動を含む。

【 0 0 0 9 】

一部の場合には、比較的広帯域の放射線源を併用する対物系において、特に延長像視野の外縁の近くで低いコントラストしか持たないブレ像が観察されている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

30

【 0 0 1 0 】

【 特許文献 1 】 $U S 6 2 0 , 9 7 8$ 【 特許文献 2 】 $U S 6 , 9 0 9 , 4 9 2 B 2$ 【 特許文献 3 】 $U S 2 0 0 4 / 0 1 6 0 6 7 7 A 1$ 【 特許文献 4 】 $U S 2 0 0 3 / 0 0 1 1 7 5 5 A 1$ 【 特許文献 5 】 $U S 6 , 6 6 5 , 1 2 6$ 【 特許文献 6 】 $E P 1 , 4 8 0 , 0 6 5$ 【 特許文献 7 】 $W O 2 0 0 5 / 0 4 0 8 9 0$ 【 特許文献 8 】 $E P 1 , 0 6 9 , 4 4 8 A 1$ 【 特許文献 9 】 $U S 6 , 6 3 6 , 3 5 0$

40

【 特許文献 1 0 】 $U S 6 , 9 9 5 , 9 1 8$

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 1 】

本発明の 1 つの目的は、広帯域放射線源によって供給される紫外放射線で作動させることができるマイクロリソグラフィにおいて有用な反射屈折対物系を提供することである。

本発明の別の目的は、広帯域放射線源によって供給される紫外放射線で作動された時に像視野全体にわたって十分なコントラストを有する像を発生させるマイクロリソグラフィにおいて有用な反射屈折対物系を提供することである。

本発明の別の目的は、ベッツヴァル和の色変動に関して良好な補正ステータスを有する

50

反射屈折対物系を提供することである。

本発明の別の目的は、広帯域放射線源によって供給される紫外放射線で作動させることができ、材料の選択に関してかつ透過光学要素に用いられる材料の品質公差に関して製造が容易な反射屈折対物系を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明の上記及び他の目的に対処するために、本発明の第1の構成により、請求項1の特徴を有する反射屈折対物系を提供する。好ましい実施形態は、従属請求項に提供している。これら全ての請求項の表現は、本明細書に引用によって組み込まれている。

反射屈折対物系は、中心波長 付近の波長帯域からの電磁放射線を用いて像側開口数 NA で対物系の物体面内の物体視野からのパターンを対物系の像面領域内の像視野に結像するように光軸に沿って配置された複数の光学要素を含む。光学要素は、凹ミラー及び複数のレンズを含む。

【0013】

複数のレンズは、中央アッペ数を定める異なるアッペ数を有する異なる材料から作られたレンズを含み、複数のレンズのうちの少なくとも1つは、中央アッペ数に等しいか又はそれよりも大きい第1のアッペ数を有する第1の材料から作られた第1のレンズであり、複数のレンズのうちの少なくとも1つは、中央アッペ数よりも小さいアッペ数を有する第2の材料から作られる。

投影対物系は、異なる波長に対して互いに偏位する波長帯域の各波長 に対するそれぞれのベッツヴァル面内にパターンの像を形成する。像視野の縁部視野点において（最大像高さ y' における）平面基準面からの所定の波長でのベッツヴァル面の像面領域内の光軸に対して平行に測定された縦方向逸脱 p は、 $dp/d\lambda < (0.2 / NA^2) / nm$ に従って波長 と共に変動する。

【0014】

上述の平面基準面は、場合によってはガウス像面で表す対物系の近軸像面とすることができる。近軸像面は、近軸像（近軸光線によって形成される像）が形成される軸線方向位置において光軸に対して垂直に延びている。平面基準面は、対物系の最適焦点面とすることができる。一般的に、最適焦点面は、近軸像平面と一致せず、それに対して若干非合焦にされ、非合焦を含む全ての収差が良好に均衡する位置になる。

【0015】

どの光学系にも、ベッツヴァル湾曲と従来的に呼ばれる一種の基本的な視野湾曲が付随する。非点収差が存在しない場合には、サジタル像面とタンゼンシャル像面とは互いに一致し、ベッツヴァル面上に横たわる。正のレンズ（正の屈折力を有するレンズ）は、システムにベッツヴァル面の内向きの湾曲を導入し、負のレンズ（負の屈折力を有するレンズ）は、逆向きの湾曲を導入する。ベッツヴァル湾曲 $1/R_p$ は、ベッツヴァル面の曲率半径であるベッツヴァル半径 R_p の逆数であるベッツヴァル和 $1/R_p$ によって与えられる。光屈折（屈折性）光学要素のベッツヴァル和は、次式のように定められる。

【0016】

【数1】

$$\frac{1}{R_p} = -n_{img} \sum_i \frac{1}{r_i} \left(\frac{1}{n_i} - \frac{1}{n_{i-1}} \right) \quad (1)$$

【0017】

この式では、 R_p は、像空間内でのベッツヴァル面の曲率半径であり、 n_{img} は、像空間内の屈折率であり、 r_i は、 i 番目の系表面の曲率半径であり（入射する放射線に向けて凸の場合は正）、 n_i 及び n_{i-1} は、 i 番目の系表面の下流及び上流の媒体の屈折率である。非点収差が不在である場合には、ベッツヴァル湾曲は、像面の湾曲に対応する。反射面（ミラー）に対しては、次式のような条件が成り立つ。

【0018】

【数 2】

$$\frac{1}{R_p} = n_{img} \sum_i \frac{2}{r_i \cdot n_i} \quad (2)$$

【0019】

ここで、 n_i は、ミラー面を取り囲む媒体の屈折率である。式(1)及び(2)は、正のレンズに対しては条件 $R_p < 0$ が成り立つことを示しており、この条件は、ペッツヴァル面の内向きの湾曲に対応する。従って、平面物体の像は、放射線方向に向けて凹になり、一般的に、この条件を視野湾曲の「補正不足」と呼ぶ。それとは対照的に、凹ミラーでは、条件 $R_p > 0$ が成り立ち、この条件は、視野湾曲の過補正に対応する。

10

【0020】

ペッツヴァル面と近軸像面は、光軸上で一致する。ペッツヴァル面の湾曲は、ペッツヴァル面が、光軸から遠く分離した視野点において理想的な像面から逸脱する状況で生じる場合がある。ペッツヴァル面の湾曲は、像視野の外縁にある(最大像視野高さ y' における)視野点における理想的な像面(通常は平坦な)からのペッツヴァル面のこの像空間内の光軸に対して平行に測定された縦方向逸脱 p に置換される。従来「像視野湾曲」という用語は、最大像視野高さ y' におけるそのような縦方向逸脱(又はサグ)を指す上で用いられ、像視野の曲率半径の逆数である「像視野の湾曲」と混同されないようにすべきである。

【0021】

20

一般的に、像視野湾曲は、異なる波長に対して異なることになり、これは、光学系の「像視野湾曲の色変動」(又はペッツヴァル面の色変動)に対応する。言い換えれば、像視野湾曲(又はペッツヴァル和)は、波長の関数である。1つの材料から作られたレンズしか持たない光学系(単一材料系)を考えると、式(1)は、全てのレンズの屈折率に関するパラメータ n_g 、及びレンズ間の空間内の媒体の屈折率に関するパラメータ n_a を用いて、次式によって書き直すことができる。

【0022】

【数 3】

$$\frac{1}{R_p} = \left(\frac{1}{n_g} - \frac{1}{n_a} \right) n_{img} \cdot \sum_{lenses} \left(\frac{1}{r_{i,1}} - \frac{1}{r_{i,2}} \right) \quad (3)$$

30

【0023】

【数 4】

$$\frac{1}{R_p} = \left(\frac{1}{n_g} - \frac{1}{n_a} \right) n_{img} \cdot G \quad (3a)$$

【0024】

ここで、以下の通りである。

【0025】

【数 5】

40

$$G = \sum_{lenses} \left(\frac{1}{r_{i,1}} - \frac{1}{r_{i,2}} \right) \quad (3b)$$

【0026】

【数 6】

$$\frac{d}{d\lambda} \left(\frac{1}{R_p} \right) = \left(-\frac{1}{n_g^2} \right) n_{img} \cdot G \cdot \frac{dn_g}{d\lambda} \quad (3c)$$

【0027】

式(3)は、系のペッツヴァル和への光屈折寄与を与える。式(3)の右辺の和の項で

50

は、パラメータ $r_{i,1}$ 及び $r_{i,2}$ は、それぞれレンズの入射面の曲率半径及び出射面の曲率半径を意味する。式 (3b) に定めている和の項 G に対応する式 (3) の右辺の積における和の項は、光学系の純幾何学的特性を表し、それに対して式 (3) における積の最初の係数がレンズの屈折率を含み、一般的に、ゼロとは異なり、波長と共に変動することは明らかである。従って、和の項 (純幾何学的な項 G) が 0 とは異なり、レンズに用いられる透過材料が光分散材料である (屈折率が波長と共に変動する) 場合には、ミラーに隣接する媒体の光分散を無視することができると仮定して、式 (3) に与えられたペッツヴァル和への寄与は、式 (3c) に与えられているように波長と共に変動する。

式 (2) から明らかなように、反射面のペッツヴァル和への寄与は、反射面が、空気又は別の気体のような実質的に光分散のない媒体内に位置する限り、波長に依存しない。従って、反射屈折光学系内のペッツヴァル和の全ての色変動は、光学系の光屈折 (屈折性) 光学構成要素のペッツヴァル和の色変動に等しい。

【0028】

上述のように、ペッツヴァル和は、最適な品質を有する像が生成される (非点収差のような他の収差が存在しない場合に) 像視野の湾曲を表すパラメータである。ある光学系に対して所定の像視野湾曲が許容可能であるか否かを判断することが望ましい場合には、以下の通りに問題に対処することができる。像視野の像高さ y' にある縁部視野点における基準像面からのペッツヴァル面のこの像面領域内の光軸に対して平行に測定された縦方向逸脱 p は、次式のように書くことができる。

【0029】

【数7】

$$p = \frac{1}{2R_p} y'^2 \quad (4)$$

【0030】

ここで、 R_p は、ペッツヴァル半径である (ペッツヴァル面の半径)。縦方向逸脱 p は、光軸又は別の形状の面に対して垂直な平面面とすることができる基準面からの像視野の外縁における非合焦に事実上対応する。像視野にわたって回折限界像を得ることが望ましい場合には、この非合焦 (縦方向逸脱) は、次式で定められるレイリー単位に比例する焦点深度 (DOF) の所定の分率を超えてはならない。

【0031】

【数8】

$$RU = \frac{\lambda}{NA^2} \quad (5)$$

【0032】

従って、ペッツヴァル和から生じる非合焦は、次式に従う所定の閾値を超えてはならない。

【0033】

【数9】

$$p < A \cdot \frac{\lambda}{NA^2} \quad (6)$$

【0034】

一般的に、回折限界結像が望ましい場合は、条件 $A < 1$ が成り立たねばならない。

【0035】

ペッツヴァル和が波長と共に変動する場合には、波長に関する p の導関数 $dp/d\lambda$ がゼロとは異なる有限値を有するように、上記に定めた縦方向逸脱 p も同様に波長と共に変動する。波長に関する p の導関数 $dp/d\lambda$ は、光学系における像視野湾曲の色変動のマグニチュードを特徴付けるのに用いることができる。波長に関する p の導関数 dp

10

20

30

40

50

λ / d は、次式が満たされるように、意図する使用の波長帯域内の閾値 B を超えてはならない。

$$d p / d \lambda < B \quad (7)$$

少なくとも2つの波長 λ_1 及び波長差 $\Delta \lambda$ だけ分離した λ_2 を用いることが望ましい広帯域用途では、条件 (6) は、次式のように書き直すことができる。

$$d p / d \lambda < A \cdot 1 / R U \quad (8)$$

【0036】

対物系が、マイクロリソグラフィシステムにおける投影対物系として用いられるように構成される場合には、異なる波長に対して形成される像が、互いに比較的近く共通の像視野領域内に位置し、共通像視野領域が、構成要素の経済的な製造を可能にするのに十分に大きい区域内で基本的に平坦であることが望ましいであろう。これらの実施形態では、対物系は、像領域内での第1及び第2の波長の各々における像視野湾曲を対物系の焦点深度よりも小さく低減させるように構成することができる。焦点深度 (DOF) は、レイリー単位 $R U = \lambda / N A^2$ に比例する。

【0037】

本発明の第1の構成による反射屈折対物系では、色補正、特にベッツヴァル湾曲の色変動の補正を助勢するために、レンズにおいて少なくとも2つの透過光学材料が用いられる。これらの実施形態では、複数のレンズは、異なるアッペ数を有する異なる材料から作られたレンズを含む。屈折率 n (波長 λ に依存する) を有する材料におけるアッペ数 A は、一般的に、次式のように定めることができる。

【0038】

【数10】

$$v = \frac{n - 1}{n_{\lambda 1} - n_{\lambda 2}} \quad (9)$$

【0039】

ここで、 λ_1 及び $\lambda_2 > \lambda_1$ は、アッペ数の計算に向けて帯域幅を判断する異なる波長であり、 n は、 λ_2 と λ_1 の間の波長 λ における屈折率であり、 $n_{\lambda 1}$ 、 $n_{\lambda 2}$ は、それぞれ λ_1 及び λ_2 における屈折率である。アッペ数は、場合によっては「逆相対分散」と呼び、一般的に、比較的高いアッペ数が、比較的低い分散を有する材料に対応し、その逆も同様であることを示し、ここで、材料の分散は、波長に関する屈折率の変化率、すなわち、 $dn/d\lambda$ である。

【0040】

屈折光学系における色収差補正の従来の理論は、波長帯域内の2つ又はそれよりも多くの異なる波長における軸線方向色収差を補正するには、異なる分散 (又はアッペ数) を有する少なくとも2つの異なる光学材料を組み合わせる必要があることを説いている。従来、2つの波長が共通の焦点に誘導される光学系を「アクロマート」と呼ぶ。3つの波長が共通の焦点に誘導される光学系を通常は「アポクロマート」と呼ぶ。「スーパーアポクロマート」という用語は、4つ又はそれよりも多くの波長が共通の焦点に誘導される光学系を表す上に用いることができる。

【0041】

軸線方向色収差 (AX) の補正は、色補正された対物系を得るための前提条件と考えることができるが、広帯域放射線源が用いられる場合に延長像視野領域内で有用な像を得るには、AXのみの補正では十分な条件下ではない。像視野湾曲の色変動の補正に対処するためには、AXのみではなく、付加的な対策が必要とされ、ここで、この対策に対してより詳細に説明を行うことにする。

異なるアッペ数を有する複数の異なる材料を用いる全ての光学系において「中央アッペ数」を定めることができる。「中央アッペ数」は、サンプルの上半分を下半分と分割する数値として統計学的に判断することができる。有限個の数値リストの中央値は、奇数である有限個のリストの全ての数値を最低値から最高値まで配列し、中央値を決める要素のう

10

20

30

40

50

ちの中央の1つを選出することによって得ることができる。リスト上に偶数個の数値が存在する場合には、本出願の目的では、中央値は、2つの中央値の平均値として定められる。例えば、複数のレンズの全てのレンズのうちの60%が1つの同じ第1の材料から作られ、40%が第2の材料から作られる場合には、中央アッペ数は、第1の材料のアッペ数である。

【0042】

複数のレンズのうちの少なくとも1つは、中央アッペ数に等しいか又はそれよりも大きい第1のアッペ数を有する第1の材料から作られた第1のレンズとすることができ、複数のレンズのうちの少なくとも1つは、中央アッペ数よりも小さいアッペ数を有する第2の材料から作ることができる。本出願の目的では、第1の材料（比較的大きいアッペ数を有し、一般的に、比較的小さい分散に対応する）を「相対的クラウン材料」又は単に「クラウン材料」で表すことにし、それに対して比較的小さいアッペ数（一般的に、比較的高い分散に対応する）を有する第2の材料を「相対的フリント材料」又は単に「フリント材料」で表すことにする。

10

【0043】

一部の実施形態では、全てのレンズのうちの50%よりも多くが第1の材料から作られ、50%未満が第2の材料から作られる。一部の実施形態では、全てのレンズのうちの30%未満又は全てのレンズのうちの20%未満が第2の（比較的高い分散の）材料から作られる。

一部の実施形態では、全てのレンズのうちの50%よりも多くが第2の材料から作られ、50%未満が第1の材料から作られる。

20

【0044】

像視野湾曲の色変動補正では、少なくとも1つの第2のレンズ（第2の材料から作られた）が負のレンズの場合に有利であることが見出されている。言い換えれば、相対的クラウン材料で作られたレンズと組み合わせられた相対的フリント材料から作られた少なくとも1つのレンズは、像視野湾曲の色収差を補正するのに強力な屈折手段とすることができる。

負のレンズが比較的強い屈折力を有することは好ましいとすることができる。従って、負のレンズは、メニスカスレンズとして設計することができるが、一部の実施形態では、負のレンズは、負の両凹レンズである。負のレンズは、平凹レンズとしてもよい。

30

【0045】

主に軸線方向色収差（AX）の補正を助勢するために設けられた負のレンズとは異なり、像視野湾曲の色変動の補正を助勢することに専用の負のレンズは、例えば、隣接するレンズと比較した場合に、直径が比較的小さいものでなければならない。負のレンズは、負のレンズの直近の少なくとも1つのレンズの光学自由直径よりも実質的に小さい光学自由直径を有することができる。例えば、負のレンズは、2つの隣接するレンズの間に配置することができるが、2つの隣接するレンズの各々は、負のレンズの光学自由直径よりも、例えば、少なくとも10%、又は少なくとも20%だけ実質的に大きい光学自由直径を有する。一部の実施形態では、負のレンズは、対物系の最も大きいレンズ（最大光学自由直径を有するレンズ）の光学自由直径の80%よりも小さい光学自由直径を有する。負のレンズの光学自由直径は、対物系の最大レンズの光学自由直径の70%よりも小さく、60%よりも小さく、及び/又は50%よりも小さいとすることができる。

40

【0046】

負のレンズは、比較的低い周辺光線高さの領域に配置することができる。それによって比較的強い負の屈折力を有する負のレンズを設計し、一方、同時に負のレンズの光分散効果を補償するのに高い屈折力の正のレンズを設ける必要がないように、対物系の全体的な屈折力への負のレンズの寄与を比較的小さく保つことが可能になる。一部の実施形態では、対物系は、対物系を通過する放射線ビームのビーム直径が極小値を有する少なくとも1つのくびれ領域を含み、負のレンズは、くびれ領域に位置決めされる。

上述の負のレンズは、物体面又は像面のような対物系の視野面の近くに位置決めするこ

50

とができる。1つ又はそれよりも多くの実中間像を有する実施形態では、負のレンズを中間像の近くに位置決めすることができる。

一部の実施形態では、像視野湾曲の色変動を補正するのに相対的フリント材料で作られた1つの負のレンズのみで十分である場合があるが、他の実施形態は、第2の材料から成る少なくとも2つの負のレンズを有する。必要に応じて、第2の材料から成る2つよりも多くの負のレンズを設けることができる。負のレンズは、同じか又は異なる相対的フリント材料から作ることができる。

【0047】

一部の実施形態では、レンズの殆どは、約190nmほどの短さの紫外波長に至るまで基本的に吸収がなく、確立された工程でそれ程の経費を要せずに製造することができる溶融シリカ(SiO₂)で作られる。

溶融シリカは、異なる材料と組み合わせることができる。例えば、一部の実施形態では、溶融シリカから成るレンズは、溶融シリカよりも大きい相対分散を有する1つ又はそれよりも多くの材料で作られたレンズと組み合わせられる。これらの組合せでは、溶融シリカレンズは「相対的クラウン材料」から作られ、それに対して他方のレンズは、「相対的フリント材料」から作られる。これらの組合せでは、FK5、LF5、又はLLF1(ドイツのマインツ市所在のSCHOTTによって販売されている)のような特殊光学ガラス、又はOHARAのような他の製造業者によって供給される同等のガラスを相対的フリント材料として用いることができる。他の材料の組合せでは、溶融シリカは、対物系の他のレンズよりも比較的高い分散を有する相対的フリント材料とすることができる。例えば、溶融シリカレンズは、例えば、193nm作動波長に向けて設計された対物系の実施形態では、フッ化カルシウムで作られたレンズと組み合わせることができる。この材料の組合せでは、フッ化カルシウムは、相対的クラウン材料として機能する。

【0048】

像視野湾曲の色変動の十分な制御を有する広帯域用途において有用な反射屈折対物系は、様々な方式で構成することができる。

一部の実施形態では、凹ミラーは、対物系の瞳面に又はそれに光学的に近く配置され、少なくとも1つの負のレンズを含む負の群が、放射線が負の群を少なくとも2度反対方向に通過するように、凹ミラーの前の凹ミラーの反射側の二重通過領域に配置される。負の群は、凹ミラーの直近の結像の周辺光線高さ(MRH)が、主光線高さ(CRH)よりも大きいことによって特徴付けることができる瞳に近い領域に位置決めすることができる。好ましくは、負の群の領域内では、周辺光線高さは、主光線高さの少なくとも2倍、特に、少なくとも5から10倍大きい。薄いレンズの軸線方向色収差AXは、レンズの位置における周辺光線高さの二乗に比例する(かつレンズの屈折力及び分散に比例する)ので、大きい周辺光線高さの領域内の負の群は、色補正、特に軸線方向色収差AXの補正に実質的に寄与することができる。上記に加えて、投影放射線は、凹ミラーの直近に配置された負の群を反対の放射通過方向に2度通過し、その結果、負の群の色過補正効果が2度利用される。負の群は、例えば、単一の負のレンズで構成するか又は少なくとも2つの負のレンズを含むことができる。

瞳又はその近くに配置された凹ミラーとミラー面の直前に配置された負の群との「Schupmannアクロマート」方式(US620,978参照)で作用する組合せは、反射屈折システム内で様々な構造で利用することができる。

【0049】

本発明の上記及び他の目的に対処するために、本発明の第2の構成により、請求項55の特徴を有する反射屈折対物系を提供する。好ましい実施形態を従属請求項に提供している。これら全ての請求項の表現は、本明細書に引用によって組み込まれている。

第2の構成による反射屈折対物系では、対物系は、反対の向きに湾曲した反射面を有する少なくとも2つの湾曲ミラーを含むように、少なくとも1つの凹ミラーに加えて少なくとも1つの凸ミラーを含む。凸ミラーは、発散(負の)レンズと同様に負の屈折力を有するが、いかなる分散も持たない。ペッツヴァル和への凸ミラーの寄与は、湾曲ミラーの曲

率半径にのみ依存する。ペッツヴァル和への凸ミラーの寄与は、凹ミラーの寄与とは反対の符号を有する。

【 0 0 5 0 】

少なくとも1つの凹ミラーに加えて、少なくとも1つの凸ミラーが設けられる場合には、十分な色補正、特に像視野湾曲（ペッツヴァル和）の色変動の補正を得るのに異なるアッペ数を有する材料の混在はもはや必要ないとすることができるので、屈折光学要素に用いられる複数又は単一の材料の選択を簡略化することができる。一部の実施形態では、複数のレンズのうちの少なくとも90%又は複数のレンズの全ては、基本的に同じアッペ数を有する1つ又は複数の材料から作られる。アッペ数の差は、例えば、20%よりも小さいとすることができる。一部の実施形態では、複数のレンズの全てのレンズは、同じ材料から作られる。この同じ材料は、溶融シリカ（ SiO_2 ）、フッ化カルシウム（ CaF_2 ）、又はBK7又はFK5のような一般的なクラウンガラス、又は類似の光学特性を有するガラスとすることができる。

【 0 0 5 1 】

対物系の全てのレンズにおいて1つの光学材料だけが用いられる（単一材料系）場合には、対物系の製造業者は、異なるガラス種類の分散又は部分分散のような材料特性における厳密な仕様にそれ程依存しない。例えば、光学系の全てのレンズに用いられる1つの材料の分散又は部分分散が、電荷変動に起因して変動する場合には、これらの変動は、基本的に用いられる全ての光学要素において同じであり、従って、比較的単純な調節によって比較的容易に補償することができる。1つよりも多くの材料が用いられ、用いられる材料の各々の光学特性が電荷変動に起因して異なる方式で変動する場合があります、もはや比較的単純な調節での補償が許されない場合には、一般的に、そのような補償はより困難であると考えられる。

【 0 0 5 2 】

像視野湾曲を特徴付ける反射屈折システムのペッツヴァル和は、全ての光屈折（屈折性）系メンバのペッツヴァル和と全ての光反射（反射性）系メンバのペッツヴァル和との和である。式（3c）から分るように、屈折レンズにおける波長に伴うペッツヴァル和の変動は、用いられるレンズ材料の分散 $dn/d\lambda$ に依存する。しかし、式（3a）から分るように、反射システム要素のペッツヴァル和は、波長と共に変化せず（周囲の媒体、一般的に、空気又は他の気体が分散を示さないと仮定して）、従って、波長に伴うペッツヴァル和の全体変化は、ペッツヴァル和への光屈折寄与によって与えられる。1つだけの材料又は非常に似通ったアッペ数を有する複数材料を有する光学系内で像視野湾曲の色変動を補正することが望ましい場合には、全ての屈折構成要素のペッツヴァル和が、波長と共に大きく変化しないように実質的に0であるか、又は極めて小さい値しか得ないことが好ましい。

【 0 0 5 3 】

比較的大きい視野サイズにわたって対物系の全体的なペッツヴァル和の十分な補正を有することが望ましい場合には、全体ペッツヴァル和がゼロになることが必要とされ、従って、ペッツヴァル和への全ての反射構成要素の寄与も基本的にゼロでなければならない。これは、凹ミラーの各々及び少なくとも1つの凸ミラーが基本湾曲（すなわち、ミラーの頂点における反射面の湾曲、頂点湾曲とも表す）を有し、全ての湾曲ミラーの基本湾曲の和が実質的にゼロであることを提供することによって達成することができる。1つ又はそれよりも多くの凸ミラーを設けることができる。

【 0 0 5 4 】

別の構成により、中心波長 付近の波長帯域からの電磁放射線を用いて像側開口数 NA において対物系の物体面内の物体視野からのパターンを対物系の像面領域内の像視野に結像するように光軸に沿って配置された複数の光学要素を含む反射屈折対物系を提供する。光学要素は、凹ミラー及び複数のレンズを含む。投影対物系は、波長帯域の第1の波長 $\lambda_1 <$ において第1のペッツヴァル面内にパターンの第1の像を形成し、5 nm よりも大きい波長差 $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ だけ第1の波長から分離した第2の波長 $\lambda_2 >$ において第2

10

20

30

40

50

のペッツヴァル面内にパターンの第2の像を形成する。第1のペッツヴァル面と第2のペッツヴァル面の間の像面領域内の光軸に対して平行に測定された縦方向ペッツヴァル面逸脱 PS は、像視野内の全ての視野点において λ/NA^2 よりも小さい。

【0055】

別の構成により、中心波長 λ 付近の波長帯域からの電磁放射線を用いて像側開口数 NA で対物系の物体面内の物体視野からのパターンを対物系の像面領域内の像視野に結像するように光軸に沿って配置された複数の光学要素を含む反射屈折対物系を提供する。光学要素は、凹ミラー及び複数のレンズを含む。投影対物系は、異なる波長に対して互いに偏位する波長帯域の各波長 λ に対するそれぞれのペッツヴァル面内にパターンの像を形成する。複数のレンズは、実質的に異なるアッペ数を有する異なる材料から作られたレンズを含む。像視野の縁部視野点での（最大像高さ y' での）平面基準面から所定の波長におけるペッツヴァル面の像面領域内の光軸に対して平行に測定された縦方向逸脱 p は、 $dp/d\lambda < (7.7/\lambda/NA^2)/nm$ に従って波長 λ と共に変動する。

10

【0056】

別の構成により、中心波長 $\lambda < 300nm$ 付近の波長帯域からの電磁放射線を用いて像側開口数 NA で対物系の物体面内の物体視野からのパターンを対物系の像面領域内の像視野に結像するように光軸に沿って配置された複数の光学要素を含む反射屈折対物系を提供する。光学要素は、凹ミラー及び複数のレンズを含む。投影対物系は、異なる波長に対して互いに偏位する波長帯域の各波長 λ に対するそれぞれのペッツヴァル面内にパターンの像を形成する。複数のレンズは、実質的に異なるアッペ数を有する異なる材料から作られたレンズを含む。像視野の縁部視野点での（最大像高さ y' での）平面基準面から所定の波長におけるペッツヴァル面の像面領域内の光軸に対して平行に測定された縦方向逸脱 p は、 $dp/d\lambda < (15/\lambda/NA^2)/nm$ に従って波長 λ と共に変動する。

20

【0057】

以下の特徴は、本発明の異なる構成による全ての実施形態に存在する。

一部の実施形態では、像視野は、 $3mm$ よりも大きい最大像視野高さ y' によって定められる像視野サイズを有する。最大像視野高さの2倍は、例えば、リソグラフィ目的で実際に用いることができる像視野直径に対応する。最大像視野高さ y' は、例えば、 $5mm$ 又はそれよりも大きく、 $8mm$ 又はそれよりも大きく、 $10mm$ 又はそれよりも大きく、又は $15mm$ 又はそれよりも大きいとすることができる。

30

【0058】

実施形態は、像側開口数 $NA > 0.2$ を有することができ、それによって例えばマイクロリソグラフィにおける使用が可能になる。一部の実施形態では、像側開口数 $NA > 0.3$ 、 $NA > 0.4$ 、又は $NA \geq 0.5$ が得られる。像側開口数は、 $NA \geq 0.6$ 、 $NA \geq 0.7$ 、又は $NA \geq 0.8$ のように更に大きいとすることができる。実施形態は、液浸構成において用いることができ、それによって対物系がそのような液浸作動に向けて構成された場合には、 $NA \geq 1.0$ が可能になる。

【0059】

波長帯域は、波長 $\lambda \geq 300nm$ を含むことができる。例えば、1次放射線が水銀蒸気感放射線によって供給される場合には、波長帯域は、水銀 g 、 h 、及び i 線のうちの少なくとも1つを含むことができる。一部の実施形態では、波長帯域は、少なくとも2つの水銀スペクトル線、例えば、水銀 g 、 h 、及び i 線の各々を含むことができる。波長帯域は、例えば、 $\lambda < 260nm$ 又は $\lambda < 200nm$ のような波長 $\lambda < 300nm$ を含むことができる。波長は、 $100nm$ よりも長く、又は $150nm$ よりも長いとすることができる。 $300nm$ よりも短い波長は、レーザ感放射線によって供給することができる。

40

【0060】

波長帯域は、1つのスペクトル線領域の放射線のみを含むことができ、この場合、スペクトル線領域のかなりの量のエネルギーを用いることができる。波長差 $\Delta\lambda$ は、一部の場合は、 $0.1nm$ 又はそれよりも大きく、 $1nm$ 又はそれよりも大きく、又は $2nm$ 又はそれよりも大きいとすることができる。 $\Delta\lambda > 5nm$ のようなより大きい波長差が可能であ

50

る。一部の実施形態では、 $> 10 \text{ nm}$ 、 $> 25 \text{ nm}$ 、又は $> 50 \text{ nm}$ である。例えば、波長帯域が水銀 g、h、及び i 線の各々を含む場合には、 $> 70 \text{ nm}$ よりも大きいとすることができる。 $< 200 \text{ nm}$ よりも小さく、又は $< 100 \text{ nm}$ よりも小さいとすることができる。

以上の及び他の特性は、特許請求の範囲だけではなく、本明細書及び図面においても参照することができ、個々の特徴は、本発明及び他の分野の実施形態として単独又は部分結合のいずれにおいても用いることができ、個々に有利かつ特許請求可能な実施形態を表すことができる。

【図面の簡単な説明】

【0061】

10

【図1】照明系及び投影対物系を有するマイクロリソグラフィのための投影露光装置の実施形態の概略図である。

【図2A】水銀蒸気放射線源及び色補正された投影対物系を用いる投影露光装置の概略図である。

【図2B】異なる放射線スペクトルの概略図である。

【図2C】異なる放射線スペクトルの概略図である。

【図2D】像視野のサイズ及び形状に関する図である。

【図3A】反射屈折投影対物系の第1の実施形態の図である。

【図3B】第1の実施形態の光学特性を表す図である。

【図3C】第1の実施形態の光学特性を表す図である。

20

【図4A】反射屈折投影対物系の第2の実施形態の図である。

【図4B】第2の実施形態の光学特性を表す図である。

【図5A】反射屈折投影対物系の第3の実施形態の図である。

【図5B】第3の実施形態の光学特性を表す図である。

【図5C】第3の実施形態の光学特性を表す図である。

【図5D】第3の実施形態の光学特性を表す図である。

【図6A】反射屈折投影対物系の第4の実施形態の図である。

【図6B】第4の実施形態の光学特性を表す図である。

【図6C】第4の実施形態の光学特性を表す図である。

【図6D】第4の実施形態の光学特性を表す図である。

【図6E】第4の実施形態の光学特性を表す図である。

30

【図7A】反射屈折投影対物系の第5の実施形態の図である。

【図7B】第5の実施形態の光学特性を表す図である。

【図7C】第5の実施形態の光学特性を表す図である。

【図7D】第5の実施形態の光学特性を表す図である。

【図8A】反射屈折投影対物系の第6の実施形態の図である。

【図8B】第6の実施形態の光学特性を表す図である。

【図8C】第6の実施形態の光学特性を表す図である。

【図8D】第6の実施形態の光学特性を表す図である。

【図9A】反射屈折投影対物系の第7の実施形態の図である。

【図9B】第7の実施形態の光学特性を表す図である。

【図9C】第7の実施形態の光学特性を表す図である。

【図9D】第7の実施形態の光学特性を表す図である。

40

【図10A】反射屈折投影対物系の第8の実施形態の図である。

【図10B】第8の実施形態の光学特性を表す図である。

【図10C】第8の実施形態の光学特性を表す図である。

【図10D】第8の実施形態の光学特性を表す図である。

【図10E】第8の実施形態の光学特性を表す図である。

【図11A】反射屈折投影対物系の第9の実施形態の図である。

【図11B】第9の実施形態の光学特性を表す図である。

50

- 【図 1 1 C】第 9 の実施形態の光学特性を表す図である。
 【図 1 2】図 1 1 A に示す投影対物系の 3 つの変形を示す図である。
 【図 1 3 A】反射屈折投影対物系の第 1 0 の実施形態の図である。
 【図 1 3 B】第 1 0 の実施形態の光学特性を表す図である。
 【図 1 4】図 1 3 A の投影対物系の 2 つの変形を示す図である。
 【図 1 5】実施形態による顕微鏡対物系を示す図である。
 【発明を実施するための形態】
 【0 0 6 2】

好ましい実施形態の以下の説明では、「光軸」という用語は、光学要素の湾曲中心を通過する直線又は一連の直線セグメントを指す。光軸は、光軸の続く直線セグメント間に角度が含まれるように、折り返しミラー（偏向ミラー）によって折り返すことができる。下記に提供する例では、物体は、集積回路の層のパターン又はいずれか他のパターン、例えば、格子パターンを保持するマスク（レチクル）である。物体の像は、基板として機能するウェーハ上に投影され、基板は、感光層で被覆されるが、液晶ディスプレイの構成要素又は光学格子のための基板のような他の種類の基板も利用可能である。

図に示している設計の仕様を開示するのに表を提供している場合には、1 つ又は複数の表にそれぞれの図と同じ番号を振っている。理解を容易にするために、図内の対応する特徴には、同様又は同一の参照識別記号を振っている。レンズを指定する場合に、識別記号 L 3 - 2 は、第 3 の対物系部分における第 2 のレンズ（放射線伝播方向に見て）を表している。

【0 0 6 3】

図 1 は、大規模集積半導体構成要素の特定の層を製作するように構成され、設定に依存して $R = 180 \text{ nm}$ 又はそれ未満に至るまで細かい分解能による露光を可能にするウェーハスキャナ WS の形態のマイクロリソグラフィ投影露光装置を略示している。露光装置の 1 次放射線源 S は、約 436 nm における水銀 g 線、約 405 nm における水銀 h 線、及び約 365 nm における水銀 i 線を含む波長帯域内の紫外放射線を放出する高屈折力水銀アーク放電ランプを含む。一部の実施形態では、露光において 3 つの水銀線の各々からの放射線強度が用いられ、従って、1 次放射線源の下流の光学系を最短波長（i 線）と最長波長（g 線）の間の約 70 nm （又はそれよりも大きい）の波長差を有する広波長帯域からの異なる波長で正しく作動するように構成すべきである。

【0 0 6 4】

下流の照明系 ILL は、1 次放射線源 S から光を受光し、その出射平面 EX 内に、投影対物系 PO のテレセントリック性要件に適合し、照明系の光軸 OA_i に中心が定められた大きく鮮明に範囲が定められた均一に照明される照明視野を生成する。照明系 ILL は、照明モードを設定するためのデバイスを含み、この例では、可変干渉度を有する従来の照明と、環状照明と、双極又は四重極照明との間で変更することができる。

【0 0 6 5】

製作される半導体構成要素の特定の層のマスク上に配置されたパターンが、照明系の出射平面 EX と一致する投影対物系の物体平面 OS 内に位置するように、照明系の出射側の最後の光学要素と投影対物系の入射口の間には、マスク M を保持及び操作するためのデバイス RS が配置される。照明系の光軸 OA_i と投影対物系 PO の光軸 OA とは、投影対物系の光軸 OA に関連して軸外視野を発生させるために、互いに対して横方向にオフセットされる。マスクを保持及び操作するための通常は「レチクル台」と呼ぶデバイス RS は、マスクを投影対物系の物体面 OS に対して平行に、又は投影対物系及び照明系の光軸に対して垂直の走査方向（y 方向）に移動することを可能にするスキャナ駆動部を含む。

【0 0 6 6】

投影対物系 PO は、マスク平面とも呼ぶ平面 EX の下流の放射線経路内に続く。投影対物系は、マスクによって保持される構造の縮小像をフォトレジスト層で被覆したウェーハ W 上に縮小スケール、例えば、4 : 1, 5 : 1, 又は 10 : 1 で結像するように構成された縮小対物系とすることができる。投影対物系は、単位倍率（1 : 1）システムとするこ

10

20

30

40

50

とができる。感光基板として機能するウェーハWは、その平面基板面が、投影対物系POの平面像面（像平面）と一致するように配置される。ウェーハは、マスクMに対して平行な方式でマスクMと同期してウェーハを移動するためにスキャナ駆動部を含むデバイスWST（ウェーハ台）によって保持される。

【0067】

投影対物系POは、像面ISに最も近い最後の透過光学構成要素として最後の光学要素LOEを有する。最後の光学要素の出射面は、投影対物系の最後の光学面であり、投影対物系の出射面と基板面の間に気体が充填された間隙が置かれるように、ウェーハの基板面の上方数ミリメートルの作動距離の位置に配置される（乾式システム）。他の実施形態では、最後の光学要素LOEとウェーハの間の作動距離が、液浸液（例えば、水）で充填される液浸システムが用いられる。最後の光学要素LOEは平凸レンズとすることができ、平面出射面を形成する。一部の実施形態では、最後の光学要素は、平行平面プレートによって形成することができ、同様に投影対物系の平面出射面を形成する。投影対物系の出射面は、湾曲したものとすることができる。そのような湾曲出射面は、例えば、両凸レンズ状に形成された最後の光学要素によって形成することができる。一部の実施形態では、最後の光学面（投影対物系の出射面）は凹状とすることができる。

【0068】

投影対物系POは、縮小対物系又は1:1対物系として設計することができる。対物系は、複数の略示しているレンズ（一般的な数のレンズは、多くの場合に10よりも多く、又は15よりも多いレンズである）、及び適切な場合に有する他の透過光学構成要素に加えて、この例の場合は投影対物系の瞳面の近くに配置された（少なくとも1つの）凹ミラーCMを有する。マイクロリソグラフィ分野の多くの用途において、投影対物系の像側開口数は $NA > 0.6$ であり、多くの実施形態において、NAは、ほぼ $NA = 0.65$ と $NA = 0.85$ の間にある。その結果、放射線源Sによって事前に定められる作動波長に対して、 $R = 180\text{ nm}$ 又はそれ未満に至るまでの細かい一般的な分解能が可能である。基本的に、像側NAと放射線源の波長との組合せに依存して、約 150 nm 、 130 nm 、 100 nm 、又は 90 nm 又はそれ未満に至るまでの細かい一般的な分解能も可能である。

【0069】

投影対物系が、望ましい波長帯域内の所定の波長又は所定の複数の波長に対して正しく機能するためには、投影対物系が設計される波長帯域からの光を利用した基板の露光を可能にするように投影対物系を構成すべきである。この波長帯域を「設計波長帯域」で表す場合があり、設計波長帯域は、投影対物系の光学性能が、比較的低い収差レベルしか持たない回折限界結像を可能にするのに十分良好である波長を含む波長範囲を表している。例えば、投影対物系の構成が、設計波長帯域が水銀g、h、及びi線を含むようなものである場合には、投影対物系は、投影露光装置の光源としての高屈折力水銀アーク放電ランプと併せて用いることができる。従って、水銀アーク放電ランプとの併用に向けて構成された投影対物系は、約 365 nm における水銀線（i線）、約 405 nm における水銀線（h線）、及び約 436 nm における水銀線（g線）のうちの少なくとも1つに対して最適化しなければならず、それに対して光学性能は、設計波長帯域の外側では大きく劣化する場合がある。一般的に、水銀g、h、i線を含む設計波長帯域に対してのみ最適化された投影対物系は、約 260 nm よりも短い波長を有する深紫外（DUV）におけるもののようなかなり短い波長、及び/又は例えば約 500 nm よりも長い波長における可視波長範囲内での露光では正しく作動させることができない。

【0070】

投影対物系は、有用な像が比較的幅狭な波長帯域内の1つの波長だけに対して形成されるように設計することができる。本出願で説明する実施形態は、波長差だけ分離した2つ又はそれよりも多くの波長で作動するように補正される。波長差は、例えば、約 50 pm （ 50 ピコメートル ）又はそれよりも大きく、 100 pm 又はそれよりも大きく、 1 nm （ 1 ナノメートル ）又はそれよりも大きく、又は 2 nm 又はそれよりも大きいとする

10

20

30

40

50

ことができる。波長差は、例えば、条件 $\Delta\lambda < 0.25 \mu\text{m}$ に従って数十ナノメートル又はそれよりも大きいものに至るほど大きいとすることができる。図2の例示的な実施形態は、 70 nm よりも大きい波長差 $\Delta\lambda$ に対応する水銀 g、h、i 線の波長に基本的に対応する3つの波長に対して色補正される。そのような場合には、露光において全ての水銀線を用いることができ、それによって1次放射線源の出力屈折力のより大きい部分を露光において利用することができ、単位時間あたりに露光される基板のより高い処理量が可能になる。

【0071】

上述のように、像視野領域内に像を形成するように設計されたどの光学結像系も、従来ペッツヴァル湾曲で表される一種の基本的な視野湾曲に関連付けられる。ペッツヴァル湾曲は、ペッツヴァル面の曲率半径であるペッツヴァル半径 R_p の逆数であるペッツヴァル $1/R_p$ に比例する。光学系がレンズ L_1 、 L_2 のような屈折光学要素を含む場合には、像視野湾曲は、異なる波長に対して異なる場合があり、本明細書ではこの効果を「像視野湾曲の色変動」で表している。言い換えれば、対物系は、波長帯域の第1の波長 λ_1 において第1のペッツヴァル面 PS_1 内に第1のパターン像を形成し、第2の波長 $\lambda_2 > \lambda_1$ において第2のペッツヴァル面内に第2のパターン像を形成し、第1のペッツヴァル面と第2のペッツヴァル面とは一致しない。この状況を図2Aに略示しており、図2Aでは、投影対物系 PO は、 $\lambda_i = 365 \text{ nm}$ (i 線) において第1のペッツヴァル面 PS_1 を生成し、 $\lambda_g = 436 \text{ nm}$ (g 線) において第2のペッツヴァル面 PS_2 を生成し、 $\lambda_h = 405 \text{ nm}$ において第3のペッツヴァル面 PS_3 を生成する。例示的な実施形態では、投影対物系の設計は、中間波長 $\lambda_h = 405 \text{ nm}$ のペッツヴァル面が基本的に平面であり、投影対物系の平面像面 IS と対応するように構成される(基板の平面の放射線入射側は、リソグラフィ工程において配置される)。これらの条件下では、比較的短い波長(i 線)におけるペッツヴァル面 PS_1 は、内向きに湾曲し(投影対物系に向いて凹、すなわち、補正不足)、それに対してより長い波長(g 線)のペッツヴァル面 PS_2 は、反対向きの湾曲を有する。

【0072】

図2Aの例示的な系では、3つ全ての波長のペッツヴァル面は、光軸 OA 上の像面 IS の軸線方向位置と基本的に一致する。これは、軸線方向色収差(AX)が3つの波長の各々において基本的に補正される補正ステータスに対応する。場合によってはこの種の対物系は、設計波長帯域内で3つの共通焦点を有する系、又はアポクロマート系と呼ばれる。一方、最大像視野高さ y' を有する視野点に対応する有効像視野 IF の外縁にある視野点では状況が異なる。ペッツヴァル面の曲げに起因して、最長波長及び最短波長の各々においてペッツヴァル面の縦方向逸脱(サグとも表す)(光軸に対して平行に測定された)が縁部視野点において与えられる。縦方向逸脱 p は、像空間内で光軸に対して垂直に延びる基準面である平面像面 IS からの像視野 IF の外縁における非合焦に事実上対応する。逸脱 p のマグニチュードは、上述の式(4)で与えられる。図2Aからは、延長像視野の外縁に近い領域内では、異なる波長におけるペッツヴァル面はもはや一致しないので、そのような縦方向逸脱は、像品質を劣化させる場合があることを定性的に見ることができる。従って、光軸から遠く分離した領域内では、コントラストの有意な損失又はブレ像が生じる場合があり、この効果は、像視野サイズ(最大像視野高さ Y' によって特徴付けられる)が大きくなる程悪化する。一方、投影対物系内で像視野湾曲の色変動が適切な技術対策によって能動的に制御された場合には、全体の像視野 IF 内で十分な品質を有する像を得ることができる。実施形態は、この点に対して、投影放射線に用いられる波長に対応する関連ペッツヴァル面間の縦方向逸脱 p が、像視野 IF 内の全ての視野点においてレイリー単位 $RU = \lambda / NA^2$ よりも小さいことを可能にすることによって最適化することができる。特に、全ての関連ペッツヴァル面が焦点深度 DOF (RU に比例する)の領域内に位置する場合には、像品質は、通常、像視野 IF 内の全ての視野点において十分になり、回折限界露光が可能になる。

図2Aは全く概略的であり、図2Aに関連して解説した特徴のいかなるものも正確な縮

10

20

30

40

50

尺ではないことに注意されたい。

【 0 0 7 3 】

ここで、用語「波長差」及び「最大像視野高さ y' 」のような本出願において用いる用語のうちのいくつかの意味を図 2 B、図 2 C、及び図 2 Dに関連してより詳細に以下に説明する。図 2 B は、スペクトル内で 3 つの明確なスペクトル線が発生する領域内の波長に対する放射線源の強度 I の依存性を略示している。3 つのスペクトル線は、例えば、水銀 g 、 h 、及び i 線に対応する。この例でスペクトルの下側の端に位置するスペクトル線は、着目しているスペクトル範囲の最大値 I_{MAX} を有する。対応する波長差を定めるために、スペクトル帯域の下限、すなわち、第 1 の波長 λ_1 は、短い方の波長から辿った場合に強度が下限強度 I_L を初めて超える波長として定めることができ、波長帯域の上限は、スペクトル線群の上端にあるスペクトル線に対応する波長よりも長い波長の位置で強度が下限 I_L よりも下に降下する第 2 の波長 λ_2 として定めることができる。強度の下限 I_L は、条件 $I_L = 0.1 I_{MAX}$ が満たされるように選択することができる。この定義により、水銀 g 、 h 、及び i 線の場合には、波長差は、70 nm よりも大きい。着目している波長帯域付近の他のスペクトル線を適切なフィルタ又は他の手段を用いて遮断することは有用である場合がある。

10

【 0 0 7 4 】

波長差の類似の定義を図 2 C に略示している 1 つのスペクトル線しか含まない波長領域において適用することができる。単一のスペクトル線は、例えば、水銀 i 線とすることができる。レーザ放射線源が用いられる場合には、単一のスペクトル線の強度最大値 I_{MAX} の波長は、例えば、ArF レーザにおける約 193 nm のようなレーザ放射線源の公称作動波長に対応するであろう。波長差における対応する値は、放射線源の自然帯域幅を狭窄化する特定の手段が放射線源に設けられた場合に小さくなることは明らかである。例えば、水銀 i 線を用いる場合には、水銀 i 線の自然帯域幅を狭窄化するのに、干渉フィルタなどを用いることができる。レーザ放射線源の場合には、レーザの本来の帯域幅を狭窄化するのに、比較的複合的な構造を有する帯域幅狭窄化装置を用いることができる。

20

【 0 0 7 5 】

次に、図 2 D に関連して対物系の像側の条件を説明する。マイクロリソグラフィ工程に用いられることを意図する対物系の実施形態では、一般的に、比較的大きい像視野サイズが望ましい。本出願の目的では、像視野サイズは、対物系の（円形の）「設計像視野」の半径に対応する最大像視野高さ y' によって特徴付けることができる。設計像視野 IF_D は、意図するリソグラフィ工程に向けて対物系の結像忠実性が十分に良好な像面の全ての視野点を含む。言い換えれば、意図する用途において、全ての結像収差は、最大像視野高さ y' に等しいか又はそれよりも小さい半径方向座標を有する区画内では十分に補正され、それに対して設計像視野 IF_D の外側の視野点では、1 つ又はそれよりも多くの収差が要求閾値よりも高い場合がある。

30

【 0 0 7 6 】

一般的に、設計像視野 IF_D 内の全ての視野点がリソグラフィ工程に用いられるわけではない。全視野点ではなく、露光は、リソグラフィ工程において適度にサイズが定められた基板を露光することを可能にするのに十分にサイズが大きくなければならない有効像視野 IF 内に位置する視野点のみを用いて実施される。多くの投影露光系、特に走査作動に向けて設計されたものでは、スリット形の有効像視野 IF が用いられ、結像されるパターン、並びに露光される基板は、投影段階中に図 1 の実施形態における y 方向に対応する走査方向に対して平行に同期して移動される。図 2 D は、本明細書で解説する反射屈折投影対物系の実施形態に関連して利用することができる有効像視野の 3 つの例 IF_1 、 IF_2 、及び IF_3 を示している。有効像視野のサイズは、一般的に、走査方向に対して平行な長さ A 、及び走査方向に対して垂直な幅 $B > A$ を用いて表すことができ、それによってアスペクト比 $AR = B / A > 1$ が定められる。多くの実施形態では、アスペクト比は、例えば、2 : 1 から 10 : 1 の範囲にあるとすることができる。

40

【 0 0 7 7 】

50

対物系が十分に補正され、いかなる口径食も発生しない視野点のみを含めるために、有効像視野は、設計像視野 IF_D 内に収まる必要がある。反射屈折対物系の設計に依存して、有効像視野を設計像視野内に収める様々な手法が存在する。一部の実施形態では、軸線方向像視野（光軸に中心が定められた像視野）を用いることができる。中心に定められた像視野は、例えば、中心瞳掩蔽（例えば、図 4 又は図 11 と比較されたい）を有する系、又は物理的ビームスプリッタを有する系において用いることができる。長さ A_3 及び幅 B_3 を有する第 3 の有効像視野 IF_3 は、設計像視野 IF_D 内に収まる中心に定められた有効像視野の一例である。一部の実施形態では、口径食を回避するために、全てが光軸の外側の視野点を有する有効像視野（いわゆる軸外視野）を用いなければならない。第 1 の有効像視野 IF_1 は、長さ A_1 及び幅 B_1 を有する矩形の軸外有効像視野の例である。一部の
10 実施形態では、第 2 の有効像視野 IF_2 のような弓形形状を有する有効像視野（場合によっては環状視野又は輪状視野）が用いられる。両方共に光軸 OA の完全に外側のそこからある半径方向距離の位置に置かれた第 1 及び第 2 の有効像視野は、それぞれ同じ長さ A_1 、 A_2 及び幅 B_1 、 B_2 を有することに注意されたい。図 2D から、露光工程に用いられる有効像視野の有用な寸法は、最大像視野高さ Y' （像視野半直径とも表す）が大きい程大きいとすることができることは明らかである。

【0078】

ここで、ペッツヴァル和の色変動において比較的小さい値を得ることができる一部の実施形態を詳細に以下に説明する。

図 3 は、約 365 nm （ i 線）、約 405 nm （ h 線）、及び約 436 nm （ g 線）における 3 つの水銀線、すなわち、少なくとも波長差 $\Delta\lambda = 71\text{ nm}$ だけ分離した波長を有する作動波長帯域を含む 1 次 UV 放射線に向けて設計された第 1 の実施形態の反射屈折投影対物系 300 を示している。縮小結像スケール $4:1$ （ $M = 0.25$ ）が与えられた場合には、投影対物系は、物体側でテレセントリックであり、像側で像側開口数 $NA = 0.5$ を有する。像視野サイズは $26\text{ mm} \times 5.5\text{ mm}$ である。この仕様を表 3、表 3A に提供している。

【0079】

投影対物系 300 は、平面物体面 OS （物体平面）に配置されたパターンの像を厳密に 2 つの実中間像 IMI_1 、 IMI_2 を発生させながら平面像面 IS （像平面）内に縮小スケール、例えば、 $4:1$ で投影するように設計される。矩形の有効物体視野 OF 及び像視野 IF は、軸外、すなわち、光軸 OA の完全に外側である。第 1 の屈折対物系部分 OP_1 は、物体面内に設けられたパターンを第 1 の中間像 IMI_1 へと結像するように設計される。第 2 の反射屈折（屈折性 / 反射性）対物系部分 OP_2 は、第 1 の中間像 IMI_1 を第 2 の中間像 IMI_2 へと $1:(-1)$ に近い倍率で結像する。第 3 の屈折対物系部分 OP_3 は、第 2 の中間像 IMI_2 を像面 IS 上に強い縮小比で結像する。
30

【0080】

投影対物系 300 は、各々が結像系として構成され、中間像を通じて連結された複数のカスケード対物系部分を有し、放射線経路内の先行する結像系によって生成された像（中間像）が、放射線経路内のその後の結像系における物体として機能する「連結」投影対物系の例である。その後の結像系は、更に別の中間像を生成することができるか（第 2 の対物系部分 OP_2 の場合のように）又は投影対物系の像平面に「最終」像視野を生成する投影対物系の最後の結像系を形成する（第 3 の対物系部分 OP_3 のように）。図 3 に示している種類の系を場合によっては $R-C-R$ 系と呼び、ここで「 R 」は、屈折結像系を表し、「 C 」は、反射屈折（又は反射）結像系を表している。
40

【0081】

投影ビームのビーム経路を辿るのを容易にするために、図 3 には軸外物体視野 OF の外側視野点の主光線 CR の経路を太線で示している。本出願の目的では、「主光線」（「プリシパル・レイ」としても公知である）という用語は、有効使用物体視野 OF の最外側視野点（光軸から最も分離した）から入射瞳の中心へと延びる光線を表している。系の回転対称性に起因して、主光線は、明示目的で図に示している子午平面内の同等の視野点か
50

ら選択することができる。物体側で基本的にテレセントリックな投影対物系では、主光線は、光軸に対して平行に又は非常に小さい角度で物体面から出射する。結像過程は、周辺光線の軌道によって更に特徴付けられる。本明細書に用いる「周辺光線」は、軸線方向物体視野点（光軸方向の視野点）から開口絞りの縁部へと延びる光線である。周辺光線は、軸外有効物体視野が用いられる場合は口径食の理由から像形成には寄与しないとすることができる。主光線及び周辺光線は、投影対物系の光学特性を特徴付けるように選択される。所定の軸線方向位置におけるそのような選択された光線と光軸の間の半径方向距離をそれぞれ「主光線高さ」(CRH)及び「周辺光線高さ」(MRH)で表している。本出願で「周辺光線高さ」(MRH)又は「主光線高さ」(CRH)への言及を行う限り、これらの言及は、近軸周辺光線高さ及び近軸主光線高さを意味すると理解される。

10

【0082】

3つの互いに共役な瞳面P1、P2、及びP3が、主光線CRが光軸と交差する位置に形成される。第1の瞳面P1は、第1の対物系部分内で物体面と第1の中間像の間に形成され、第2の瞳面P2は、第2の対物系部分内で第1の中間像と第2の中間像の間に形成され、第3の瞳面P3は、第3の対物系部分内で第2の中間像と像面ISの間に形成される。

第2の対物系部分OP2は、第2の瞳面P2に置かれた単一の凹ミラーCMを含む。物体面から到着する放射線を凹ミラーCMの方向に反射するように、光軸OAに対して45°の角度で第1の中間像IMI1に光学的に近く第1の平面折り返しミラーFM1が配置される。第1の折り返しミラーの平面ミラー面に対して直角に整列した平面ミラー面を有する第2の折り返しミラーFM2は、凹ミラーCMから到着する放射線を物体面に対して平行な像面の方向に反射する。折り返しミラーFM1、FM2の各々は、最近接中間像と光学的に近いがそこから短い距離を隔てて位置する。以上により、放射線が反対方向に2度通過する二重通過領域が、幾何学的に偏向ミラーFM1、FM2と凹ミラーCMの間に形成される。二重通過領域内には、折り返しミラーFM1、FM2に幾何学的に近く、第1及び第2の中間像に光学的に近く、それによって正の視野レンズとして機能する単一の正レンズL2-1が配置される。厳密に1つの負のレンズL2-2を有する負の群NGが、凹ミラーの近くの大い周辺光線高さを有する領域内に、放射線がこの負の群を反対方向に2度通過するように凹ミラーと同軸に配置される。負の群と凹ミラーの間にはいかなる要素も配置されない。

20

30

【0083】

広帯域放射線源が用いられるので、投影対物系は、リソグラフィ用途に向けて全体の像視野内で十分な品質を有する色結像を可能にする程度まで色収差を低減することができなければならない。例えば、縦方向色収差(AX)及び色倍率収差(LAT)のような1次色収差を補正すべきである。これらの色収差の補正は、凹ミラーCM、及びこの凹ミラーの上流で2度の通過を受ける発散レンズL2-2の適切な直径、更に後方の像の近くの第3の対物系部分内のレンズの直径を選択することによって大きく影響を受ける。これらのものは、縦方向色収差の補正に対して重要である。色倍率収差LATは、瞳位置の上流及び下流のレンズの屈折力分布、並びに主光線高さに関連してのレンズの巧みな位置決めによって実質的に影響を受ける。

40

【0084】

正の屈折力を有する全体の系において必要とされる色過補正は、その大部分が第2の対物系部分OP2の凹ミラーCMの直前の負の群NGの領域内で発生する。この実施形態では、負の群は、軸線方向の色色補正への過補正寄与の和が、中継系として機能する第1の対物系部分OP1、及び合焦系として機能する屈折性の第3の対物系部分OP3の補正不足寄与の和を基本的に相殺するように直径及び屈折力に関して寸法が定められる。

【0085】

次に、像視野湾曲の色変動を補正するための選択肢を詳細に以下に説明する。この実施形態は、軸線方向の色(AX)及び横方向の色(LAT)のような1次色収差を主に補正するために、負の群NGと組み合わせられた単一の凹ミラーCM(Schupmannアク

50

ロマート)を含む。凹ミラーは、ペッツヴァル和への過補正寄与を生じ、従って、凹ミラーは、この点に関して負のレンズと同等である。レンズのような屈折構成要素は、基本的に平坦な像を得るために補正不足効果に寄与する。一般的に、補正不足効果のマグニチュードは、波長が減少する時に増大する。上述のように、凹ミラーCMのような反射構成要素は、像視野湾曲の変動に寄与しない。従って、少なくとも1つの凹ミラーを含む反射屈折対物系においてペッツヴァル和の変動を実質的に低減するための1つの手段は、対物系内の他の屈折光学要素よりも実質的に高い分散(小さいアッペ数)を有する材料から作られた少なくとも1つの過補正光屈折(屈折性)光学要素を設けることである。結像において広波長帯域からの異なる波長を用いるべき状況では、比較的高い分散の材料(相対的フリント材料)から作られたそのような過補正屈折要素(又は複数の要素)は、ペッツヴァル和に過補正方式で寄与することができる。分散のマグニチュード(又はアッペ数)及び1つ又は複数の過補正要素の屈折力が正しく選択された場合には、そのような1つ又は複数の過補正要素は、結像性能がもはやペッツヴァル和の色変動によって制限を受けない程度にまで像視野湾曲の色変動を実質的に低減することができる。

【0086】

図3Aの実施形態では、それぞれ第1及び第3の対物系部分OP1、OP3内の比較的小さい負のレンズL1-7及びL3-3を除く全てのレンズが同じ材料、すなわち、合成溶融シリカ(SiO_2)から作られる。2つの比較的小さい(小さい直径の)負のレンズL1-7及びL3-3は、ドイツのマインツ市所在のSCHOTTによってLLF1という名称の下に供給されている特殊ガラスで作られる。この材料の組合せでは、溶融シリカは、比較的低い分散を有するガラスの一般的な代表であり(比較的高いアッペ数のクラウンガラス)、それに対してLLF1は、比較的高い分散を有するガラスの一般的な代表である(比較的低いアッペ数のフリントガラス)。下記の表Aは、紫外スペクトル範囲内(先頭行にある波長の)の光学系でレンズを形成するのに用いることができる様々な透過光学材料(左の列)に関する屈折率及びアッペ数のようないくつかの関連する特性を要約している。

【0087】

(表A)

	192.99 9	193.00 0	193.00 1	360.00 0	365.50 0	370.00 0	405.00 0	436.00 0	ν (アッペ数)
SILUV	1.5609 72	1.5609 70	1.5609 69	1.4752 99	1.4744 77	1.4738 34	1.4695 95	1.4667 05	60.4
CAFUV	1.5013 96	1.5013 95	1.5013 94	1.4454 30	1.4448 63	1.4444 19	1.4414 84	1.4394 77	82.0
FK5				1.5047 80	1.5039 34	1.5032 72	1.4989 02	1.4959 18	62.2
LF5				1.6212 62	1.6190 68	1.6173 71	1.6065 90	1.5996 10	31.2
LLF1				1.5809 29	1.5791 64	1.5777 96	1.5690 35	1.5633 01	35.9

【0088】

「SILUV」という名称は、溶融シリカを表し、「CAFUV」という名称は、フッ化カルシウム(CaF_2)を表し、FK5、LF5、及びLLF1という名称は、ドイツのマインツ市所在のSCHOTTによって販売されている特殊光学ガラスを表している。OHARAのような他の供給元から供給されている類似の光学特性を有する同様又は同等のガラスを用いることもできる。溶融シリカ及びフッ化カルシウムは、約193nm及びそれ未満の短さに至るまで基本的に吸収がないが、特殊ガラスFK5、LF5、及びLLF1は、波長 $> 300\text{nm}$ において、特に水銀i線における光学系において主に用いら

れる。右の列は、水銀 g、h、及び i 線に対して次式に従って計算されたこれらの材料に関するアップ数を列記している。

【 0 0 8 9 】

【 数 1 1 】

$$\nu = \frac{n_{405} - 1}{n_{365.5} - n_{436}} \quad (10)$$

【 0 0 9 0 】

ここで、 n_{405} 、 $n_{365.5}$ 、及び n_{436} は、それぞれ 405 nm、365 nm、及び 436 nm における材料の屈折率である。表 A にあるアップ数から、熔融シリカが相対的クラウン材料（ $\nu = 60.4$ ）であり、それに対して L L F 1 が相対的フリント材料（ $\nu = 35.9$ ）であり、アップ数の差が比較的大きい（ $\nu = 24.5$ ）ことが明らかである。レンズの大部分（22 個のレンズのうちの 20 個）は熔融シリカから作られるので、アップ数の中央値は、熔融シリカのアップ数（ $\nu = 60.4$ ）に対応する。

【 0 0 9 1 】

主にベッツヴァル和の色変動を補正することに専用の比較的高い分散の材料から成る負のレンズは、比較的直径が小さいものでなければならず、比較的大きい屈折力を有するべきであることが見出されている。これは、以下のように理解することができる。上述の式（3）、（3a）、（3b）、（3d）から明らかのように、ベッツヴァル和は、光学系内の光学面のそれぞれの曲率半径によって判断される純粋に幾何学的特性である。一方、レンズ又はミラーの曲率半径は、光学面の屈折（又は反射）光学強度を決める。従って、曲率半径と屈折力の間には相関性が存在する。上述のように、比較的高い分散を有する材料から作られた 1 つ又はそれよりも多くの負のレンズは、ベッツヴァル和の色変動を補正するのに有効であることが見出されている。従って、相対的フリント材料で作られた 1 つ又はそれよりも多くの負のレンズが望ましいものになる。その一方、マイクロリソグラフィにおいて有用な投影対物系のような結像光学系は、物体の像を形成するのに全体として正の屈折力が必要である。光学系を単純に保つためには、対物系内の負の屈折力を可能な限り回避すべきである。これらの相反する要件の間の適切な妥協点は、高分散の材料における負の屈折力（ベッツヴァル和の色変動の変動を補正するのに有利である）が、比較的小さい光学自由直径を有する 1 つ又はそれよりも多くの負のレンズによって与えられる場合に得ることができる。負のレンズの光学自由直径が比較的小さい場合には、負のレンズは、強い負の屈折力（光学面の比較的小さい曲率半径）を有することができ、一方、同時に光学系の全体的な屈折力への寄与は、比較的小さい負のレンズが比較的小さい周辺光線高さの領域内でのみ有効であることに起因して比較的小さく保つことができる。言い換えれば、強い負の屈折力を有する負のレンズが、小さい周辺光線高さの領域内（負のレンズの比較的小さい利用対象自由直径に対応する）に設けられた場合には、そのような負のレンズは、ベッツヴァル和の色変動の補正に対して強い影響を有することができ、一方、同時に全体的な光学系によって実施される結像に対する望ましくない影響を比較的小さく保つことができる。

【 0 0 9 2 】

図 3 A の実施形態の設計は、この基本概念を用いている。負のレンズ L 1 - 7 は、ほぼ平坦な入射面を有し、凹出射面は、放射線ビームの直径がくびれ部の上流の正のレンズ群とくびれ部の下流の正のレンズ群との間で極小値（いわゆるくびれ部）を形成する領域内に、第 1 の対物系部分 O P 1 の第 1 の瞳面 P 1 に密接して配置される。レンズ L 1 - 7 の光学自由直径は、この負のレンズの上流の正のレンズ L 1 - 6、及び下流の正のレンズ L 1 - 8 の光学自由直径よりも有意に小さい（10%を超えて、20%を超えて、又は 30%を超えてより小さい）。負のレンズ L 1 - 7 の光学自由直径は、正の両凸レンズ L 1 - 4、又は負の群 N G を形成する負のレンズ L 2 - 2 のような光学系の最大レンズの直径の 50%よりも小さく、又は 40%よりも小さい。負のレンズ L 1 - 7 における周辺光線高さは、凹ミラー C M において得られる最大周辺光線高さの僅か約 25%である。負の両凹

10

20

30

40

50

レンズ L 3 - 3 において同等の条件が守られ、この負の両凹レンズ L 3 - 3 は、対物系部分 O P 3 内で第 2 の中間像 I M I 2 と第 3 の瞳面 P 3 の間の負のレンズ L 3 - 3 の上流の負のメニスカスレンズ L 3 - 2 と下流の正の両凸レンズ L 3 - 4 の間の放射線ビーム内の小さいくびれ領域内に設けられる。フリント材料から成る負のレンズ L 3 - 3 の上流及び下流のレンズの各々は、この負のレンズよりも大きい光学自由直径を有し、この負のレンズにおける周辺光線高さは、凹ミラー C M の周辺光線高さの僅か約 35 % である。

僅かな部分のみ (10 % よりも少なく、すなわち、22 個のレンズのうちの 2 つ) が、比較的高い分散を有する第 2 の材料で作られるので、第 2 の材料は、僅かな量しか用いられず、これは、経費及び製造という観点から有利である。

【0093】

上述の教示によると、ペッツヴァル和の色変動の補正への実質的な寄与は、相対的フリント材料からの少なくとも 1 つの負のレンズを中間像に光学的に近く、又は物体面又は像面に光学的に近いような比較的小さい周辺光線高さを有する別の位置に、すなわち、視野レンズの方式で設けることによって得ることができる。例えば、相対的フリント材料から作られた小さい負のレンズを第 1 の中間像の直ぐ上流、及び / 又は第 2 の中間像の直ぐ下流に配置することができる。そのようなレンズは、光学系内の他の光学位置にあるフリント材料から成る小さい負のレンズに対して代替的又は追加的に設けることができる。

【0094】

代替的又は追加的に、一般的な概念は、相対的クラウン材料 (他のレンズの殆どのものよりも小さい分散の) から作られる 1 つ又はそれよりも多くの正のレンズが視野面の近くのような比較的小さい周辺光線高さの領域内に設けられるように用いることができる。例えば、殆ど又は全てのレンズが溶融シリカから作られた投影対物系では、フッ化カルシウムから作られた正のレンズを例えば中間像 I M I 1 又は I M I 2 の一方と光学的に近く配置することができる。例えば、第 2 の中間像 I M I 2 の直ぐ下流の正の両凸レンズ L 3 - 1 は、像視野湾曲の色変動の補正を助勢するために、溶融シリカの代わりにフッ化カルシウムから作ることができる。

【0095】

図 3 A の第 1 の実施形態の一部の関連する光学特性を図 3 B 及び図 3 C に示す。図 3 B の図は、色焦点移動、すなわち、360 nm と 440 nm の間の異なる波長における基準像平面に対する焦点面の位置を示している。この曲線は、基本的に水銀 i、h、及び g 線それぞれに対応する約 380 nm、405 nm 及び 428 nm において 3 箇所のゼロ交差を示している。言い換えれば、図 3 A の光学系は、水銀 i、g、及び h 線を含む波長帯域内で 3 つの共通焦点を有し、軸線方向色収差 (A X) が、全ての水銀線において補正されていることを示している (アポクロマート系)。

【0096】

図 3 C は、像視野湾曲の色変動を表す図を示しており、横座標は、波長 λ を表しており、縦座標は、像視野の最大像高さ y' にある縁部視野点における理想的な像面からのペッツヴァル面の縦方向逸脱 p をレイリー単位 $R U = \lambda / N A^2$ における単位で表している。波長に伴う縦方向逸脱 p の変化率 $d p / d \lambda$ が、約 365 nm と約 440 nm の間の波長帯域にわたって約 $0.0085 R U / nm$ 又はそれ未満であることが分る。その結果、水銀アーク放電放射線源によって供給される 3 つ全ての波長におけるペッツヴァル面は、光軸の周囲の像視野の中心から像視野の外縁まで光学系の焦点深度内に適切に収まり、それによって広帯域放射線源を用いた高コントラスト結像が可能になる。

【0097】

図 4 A は、約 365 nm (i 線)、約 405 nm (h 線)、及び約 436 nm (g 線) における 3 つの水銀線、すなわち、少なくとも波長差 $\Delta \lambda = 71 nm$ だけ分離した波長を有する作動波長帯域を含む 1 次 UV 放射線に向けて設計された第 2 の実施形態の反射屈折投影対物系 400 を示している。 ($N A = 0.16$)。この投影対物系は単位倍率系であり (結像スケール $|M| = 1$)、構成は、瞳面 P 2 と一致する対称平面に対して対称である。この仕様を表 4、表 4 A に提供している。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 8 】

投影対物系 4 0 0 は、パターンの像を平面物体面 O S から厳密に 2 つの実中間像 I M I 1 , I M I 2 を発生させながら平面像面 I S へと投影するように設計される。光軸 O A に中心が定められた像視野（軸線方向視野）は、中心瞳掩蔽を有して結像される。第 1 の屈折部分 O P 1 は、物体面からの放射線を用いて第 1 の中間像 I M I 1 を生成し、第 2 の反射屈折対物系部分 O P 2 は、第 1 の中間像 I M I 1 から第 2 の中間像 I M I 2 を発生させ、屈折性の第 3 の対物系部分 O P 3 は、第 2 の中間像 I M I 2 から平面像面 I S 上に最終像を生成する。全ての光学要素は、真っ直ぐな光軸に沿って整列する（直列系）。

【 0 0 9 9 】

第 2 の対物系部分は、物体面に向けた第 1 の中間像 I M I 1 から放射線を受光する反射面を有する第 1 の凹ミラー C M 1 と、像面に向けた第 1 の凹ミラーから反射された放射線を受光し、そのような放射線を第 2 の中間像 I M I 2 に向けて反射する反射面を有する第 2 の凹ミラー C M 2 とを含む。凹ミラーの各々は、光軸の周囲に中心孔（穴又は開口）を有し、第 1 の中間像 I M I 1 から到着する放射線が第 2 の対物系部分に入射すること、及び放射線が第 2 の対物系部分から出射して第 2 の中間像 I M I 2 を形成することをそれぞれ可能にする。両方の中間像は、孔の領域内に形成される。第 1 の凹ミラー C M 1 と第 2 の凹ミラー C M 2 の間に対称に配置された大きい直径の負の両凹レンズは、凹ミラーに光学的に近い負の群 N G を形成する。負の群 N G と凹ミラー C M 1 , C M 2 の各々との間には、肉薄で基本的に屈折力のないメニスカスレンズが配置される。これらのレンズは、他の実施形態では省略することができる。

レンズの殆どのもの（75%よりも多く）は、溶融シリカから作られる。31個のレンズのうちの図 4 A にハッチングで表している 8 つは、比較的高い分散を有する第 2 の材料、すなわち、L L F 1 から作られる。

【 0 1 0 0 】

物体面からの放射線は、第 1 の対物系部分 O P 1 によって変換されて第 1 の中間像を形成し、次に、第 1 の凹ミラー C M 1 に向けて負の群 N G を通じて発散し、第 1 の凹ミラー C M 1 はこの放射線を集光し、負の群 N G を通じて第 2 の凹ミラー C M 2 に向けて放射線ビームを反射し、第 2 の凹ミラー C M 2 は放射線ビームを収束させ、放射線を反射して負の群 N G を通じた 3 度目の通過を行わせ、その後、第 2 の中間像 I M I 2 が形成される。その後、放射線は、第 3 の対物系部分 O P 3 によって再結像されて像面 I S 内に最終像が形成される。凹ミラー C M 1 , C M 2 の各々は、第 2 の瞳面 P 2 に光学的に近いがそこから短い距離にある大きい周辺光線高さの領域に位置決めされる。負の群 N G は、厳密に第 2 の瞳面 P 2 に位置決めされる。

【 0 1 0 1 】

第 2 の瞳面に近い大きい周辺光線高さの領域内にある凹ミラーと負の群 N G との組合せ作用は、軸線方向色収差の補正への主な寄与を図 3 A の第 1 の実施形態における S c h u p m a n n アクロマート（凹ミラー C M と負の群 N G との）に関連して上述したものと類似の方式で与える。図 4 B は、色焦点移動に対する効果を示しており、この投影対物系が、水銀ランプの 3 つ全ての波長（g、h、及び i 線）において作動させることができるアポクロマート光学系であることを示している。

【 0 1 0 2 】

像視野湾曲の色変動の補正は、主に、第 1 の対物系部分内の比較的高い分散のレンズ L 1 - 8 から L 1 - 1 1（及び第 3 の対物系 O P 3 内で対称関係にあるレンズ）によって行われる。これらのレンズ群は、フリント材料から成る比較的大きいレンズによって囲まれたこれらのレンズ群のうちで最も小さいレンズを形成する負の両凹レンズ L 1 - 1 0 を含む。負のレンズ L 1 - 1 0 は、放射線ビーム直径の極小値を有するくびれ領域に、この負のレンズの上流の正の膨らみ部内の周辺光線高さの約半分しかなく、負の群 N G 又は凹ミラー C M 1 , C M 2 の領域内の周辺光線高さの約 30%よりも小さい周辺光線高さを有する位置に配置される。相対的フリント材料のレンズから成るこの群は、1つの正のレンズ L 1 - 9 を含むが、このレンズ群の全体的な屈折力は負であり、この群の上流のレンズに

よって供給される収束ビームをこのレンズ群の下流の肉厚な正の両凸レンズ $L1-12$ に入射する発散ビームへと変換することを可能にする。

【0103】

この例示的な実施形態は、第1の実施形態に関連して説明した一般的な効果が、小さい周辺光線高さの領域内の全体として負の屈折力を有する2つ又はそれよりも多くの比較的小さいレンズにわたって望ましい負の屈折力を分配することによって得ることができることを示している。物体面 OS に近い第1の小さなくびれ領域内の負のレンズ $L1-2$ が、溶融シリカの代わりに $LLF1$ のような比較的高い分散の材料で作られる場合には、像視野湾曲の変動を補正することに対する別の寄与を得ることができる。

波長に伴う像視野湾曲の変動は、 $dp/d = 0.0121 RU/nm$ によって特徴付けられることができる。

【0104】

図3Aの投影対物系300と類似の一般的なレイアウトを有する第3の実施形態の反射屈折投影対物系500を図5Aに示す。折り返しミラー $FM1$ 、 $FM2$ を用いた光軸の折り返し、並びに単一の凹ミラー CM 、及び凹ミラーの直前にある放射線が2度通過する負の群 NG を有する反射屈折群に関する一般的な設計は、図3Aの実施形態と同様であり、従って、それに対応する説明を参照されたい。

投影対物系500は、 ArF エキシマレーザ放射線源によって供給される約 $193nm$ の超深紫外 (VUV) スペクトル範囲からの1次 UV 放射線に向けて設計される。視野サイズは、 $26mm \times 5.5mm$ であり、水液浸で $NA = 1.0$ である。

【0105】

約 $200nm$ よりも短いスペクトル領域では、投影対物系内でレンズ材料として用いることを可能にするのに僅かにいくつかの材料しか十分に透過的ではない。特に、合成溶融シリカ、及びフッ化バリウム又はフッ化カルシウム (CaF_2) のようなフッ化アルカリ結晶材料をレンズ材料として用いることができる。投影対物系500では、溶融シリカ (ハッチングのないレンズ) とフッ化カルシウム (ハッチングを有し、暗めに見えるレンズ) との組合せが用いられる。この材料の組合せでは、溶融シリカは、相対的フリント材料であり (大きい分散及び小さいアッペ数を有する)、フッ化カルシウムは、相対的クラウン材料である (一般的な関係に対しては表Aを参照されたい。絶対値は $193nm$ に対して異なっている)。

【0106】

図5Aから明らかなように、比較的小さい分散を有する材料 (CaF_2) は、主に正のレンズに用いられる。特に、第1の中間像 $IMI1$ の直ぐに上流の正のレンズ $L1-10$ 及び $L1-11$ 、第2の対物系部分 $OP2$ 内で中間像に近い正のレンズ $L2-1$ 、並びに第2中間像 $IMI2$ に続く第3の対物系部分 $OP3$ の第1のレンズである正のレンズ $L3-1$ は、相対的クラウン材料から作られる。その一方、第1の瞳面 $P1$ の近くのくびれ領域内の小さい負のレンズ $L1-8$ 、又は第3の対物系部分 $OP3$ 内のくびれ部の近くの負のレンズ $L3-2$ 及び $L3-3$ を含む他のレンズに対しては、相対的フリント材料が用いられる。相対的クラウン材料と相対的フリント材料との組合せ使用は、色収差の補正に寄与し、帯域幅を改善する。図5Bから明らかなように、中心波長 $193nm$ 付近で幅広の軸線方向色収差最小値が得られる。波面誤差 (m における) の二乗平均平方根 (RMS) 値を波長の関数として提供している図5Dの図に略示しているように、波面収差と波長の間の関係の評価することによって対応する帯域幅を判断することができる。本出願の目的では、 $10m$ よりも小さい波面誤差は、有用な対物系を定めるものと見なされる。この条件下では、約 192.91 と 193.09 の間の波長の各々は、像を形成するのに用いることができる。外側限界の間の波長差を有用な帯域幅として定めると、系の帯域幅は、約 $= 0.18nm$ (約 180 ピコメートル) である。この実施形態では、 $dp/d = 5.35 RU/nm$ という値が得られ、像視野湾曲の色変動に対して部分補正が得られることを示している。これは、基本的に、 VUV 領域内で利用可能な材料の分散における差が、これらの収差を純屈折手段を用いて補正するための選択肢を限定するとい

10

20

30

40

50

うことに起因する。図 5 C は、比較的小さい歪曲を示している。

【 0 1 0 7 】

異なる分散を有する 2 つよりも多くの異なる材料を用いることによって投影対物系の色特性を統御する手法を明示するのに、図 6 A、図 7 A、図 8 A、及び図 9 A それぞれの投影対物系 6 0 0、7 0 0、8 0 0、及び 9 0 0 を用いることができる。系の一般的なレイアウトは、図 3 A 及び図 5 A にあるものと同様であり、従って、対応する説明を参照されたい。これらの仕様を表 6、表 6 A、表 7、表 7 A、表 8、表 8 A、及び表 9、表 9 A それぞれに提供している。

【 0 1 0 8 】

図 6 A の投影対物系 6 0 0 (第 4 の実施形態) では、色補正を改善するのに 5 つの異なる材料 (溶融シリカ、フッ化カルシウム、F K 5、L F 5、及び L L F 1、表 A を参照されたい) が組合せに用いられる。26 mm × 5.5 mm の像視野において像側開口数 $NA = 0.60$ が得られる。この系は、水銀ランプのスペクトル線の各々においてほぼいかなる軸線方向色収差も伴わずに作動するアポクロマートのものである (図 6 B を参照されたい)。像視野内の歪曲 (図 6 C) 及び波面誤差 (図 6 D) は、これらのスペクトル線の各々において良好に補正される。図 6 E から明らかなように、テレセントリック度は、中心波長 $= 405\text{ nm}$ において良好に補正される。完全なテレセントリック性からの偏差は、小さい波長 (i 線において約 -7.5 mrad) 及び大きい波長 (g 線において約 $\pm 5\text{ mrad}$) において発生する。

【 0 1 0 9 】

投影対物系 7 0 0 (第 5 の実施形態) は、レンズの個数、種類、及び配分が投影対物系 6 0 0 の実施形態に比較的類似しているので、投影対物系 6 0 0 の変形として捉えることができる。26 mm × 5.5 mm の像視野において像側開口数 $NA = 0.60$ が得られる。一方、この系は、用いられる材料の合計数を低減し、それによって製造を容易にするために、フッ化カルシウム (比較的高価な) の使用及び特殊ガラス L L F 1 の使用を回避するように設計される。その結果、レンズにおいて 3 つの異なる材料、すなわち、溶融シリカ、F K 5、及び L F 5 のみが用いられる。

アポクロマート補正は変わらずに得られるが (図 7 B)、歪曲補正 (図 7 C) 及び波面収差 (図 7 D) に関してはある程度の犠牲が払われる。

【 0 1 1 0 】

図 8 A の投影対物系 8 0 0 (第 6 の実施形態) は、改善された帯域幅を生じる変形であり、表 A に列記した 5 つの異なる材料を用いることによって可能になる。26 mm × 5.5 mm の像視野において像側開口数 $NA = 0.60$ が得られる。図 8 B の色焦点移動の図は、水銀スペクトル線が対象範囲とする波長範囲内での 4 つの共通焦点を示す約 360 nm、380 nm、405 nm、及び 436 nm における 4 つのゼロ交差を示している。歪曲は、非常に良好に補正される (図 8 C)。360 nm と 440 nm の間の全ての波長に対して、 10 m rms よりも有意に小さい波面収差しか得られず、これは、水銀 g、h、及び i 線を含む連続スペクトル範囲を用いる広帯域用途のためのスーパーアポクロマート投影対物系を形成するように投影対物系を修正することができることを示している。

【 0 1 1 1 】

図 9 A の投影対物系 9 0 0 (第 7 の実施形態) は、水銀 i 線を用いた使用に向けてしか最適化されないが、i 線の中心波長付近の帯域幅に関して改善が行われる。26 mm × 5.5 mm の像視野において像側開口数 $NA = 0.80$ が得られる。この投影対物系は、フィルタリング等のための手法を軽減することができるので、より簡単な構造の水銀蒸気放射線源を用いることを可能にする。図 9 C 及び図 9 D によって示しているように、この光学系は、約 4 nm ($365\text{ nm} \pm 2\text{ nm}$) の全帯域幅 (最短波長と最長波長の間の波長差) にわたって歪曲及び波面誤差の非常に良好な補正を可能にする。像視野湾曲の色変動は、 $dp/d = 0.036\text{ RU/nm}$ によって特徴付けることができる。

【 0 1 1 2 】

図 5 から図 9 の実施形態の各々では、パターンを第 1 の中間像へと結像するように構成

10

20

30

40

50

された第1の対物系部分は、第1の対物系部分を通過する放射線のビーム直径が極小値を有する少なくとも2つの別々のくびれ領域が発生するように、正の屈折力を有する第1のレンズ群、第1のレンズ群の直後の負の屈折力を有する第2のレンズ群、第2のレンズ群の直後の正の屈折力を有する第3のレンズ群、第3のレンズ群の直後の負の屈折力を有する第4のレンズ群、及び第4のレンズ群の直後の正の屈折力を有する第4のレンズ群を含む交互する屈折力を有する一連の連続するレンズ群を含む。図9では、くびれ部をそれぞれ参照番号W1及びW2で表している。一般的に、くびれ部は、負のレンズ又はその近くに形成される。第1の(中継)対物系部分内の二重くびれ部構造は、屈折手段によるペッツヴァル和補正を助勢する。

【0113】

上述の実施形態に関連して概説した投影対物系の各々は、投影対物系を設計する1つ又は複数の波長に対して、波面誤差及び歪曲、並びに色収差の良好な補正を可能にする。補正への有意な寄与は、反射屈折群(瞳又はその近くに少なくとも1つの凹ミラーを含み、凹ミラーの近くに負の群を含む)及び異なる分散を有する屈折材料の使用によって達成される。瞳結像の色軸線方向収差の補正に対しては、特別には重点を置かなかった。この収差は、投影対物系の焦点距離の自然な(補正不足の)色変動を引き起こす場合があり、かつこの色変動は、固定位置の開口絞りを有する系における入射瞳及び出射瞳の位置、従って、テレセントリック度の色変動へと変換される。この色変動は、瞳結像における軸線方向色収差の補正不足に一致し、好ましくは、投影対物系の物体面、像面、又は中間像面に近い領域に対応する瞳結像の瞳位置で又はその近くに対して補正することができる。

【0114】

投影対物系1000(第8の実施形態)は、瞳結像の色軸線方向収差を補正し、それによって物体側テレセントリック度を改善することに専用の屈折手段を含む。26mm×5.5mmの像視野において像側開口数NA=0.60が得られる。投影対物系1000は、物体面の直後の主光線高さが周辺光線高さよりも大きく、物体面に光学的に近い領域内に第1のアクロマート群AG1を含み、第1及び第2の中間像IMI1及びIMI2に光学的に近く、すなわち、物体面OSと光学的に共役な別の視野面に光学的に近い第2の色消し群AG2を含む。

【0115】

第1のアクロマート群AG1は、フッ化カルシウムで作られた正の両凸レンズL1-1、像側が凹でありLF5で作られた負のメニスカスレンズL1-2、及び溶融シリカで作られた正の両凸レンズL1-3を含む。

アクロマート群AG2は、フッ化カルシウムで作られた正の両凸レンズL2-1、正のレンズL2-1に対向する凹面を有するLF5で作られた負のメニスカスレンズL2-2、及びフッ化カルシウムで作られた正の両凸レンズL2-3によって形成される。LF5は、フッ化カルシウム及び溶融シリカの両方と比較して相対的フリント材料である。従って、レンズL1-1及びL1-2は、相対的クラウン材料から作られた正のレンズL1-1が、相対的フリント材料から作られた負のレンズL1-2の直近に配置された複レンズを形成し、それによって瞳結像の軸線方向色収差の色過補正が発生すると説明することができる。同様に、レンズL1-2とL1-3との組合せは、分散と屈折力のそのような相対関係を有する複レンズと説明することができる。

【0116】

同様に、第2のアクロマート群AG2は、2対の直近のレンズを含み、レンズの一方が、相対的クラウン材料からの正レンズであり、他方のレンズが、相対的フリント材料からの負のレンズであると説明することができる。

それによってアクロマート群AG1、AG2の各々は、軸線方向色収差を低減するのに有効である。投影対物系の視野面に近いアクロマートレンズ群AG1、AG2の位置決めに起因して、これらの効果は、瞳結像の軸線方向色収差を低減し、かつ物体側のテレセントリック度誤差を低減することである。

【0117】

性能に対する効果は、図10Bから図10Eによって把握することができる。像面内の軸線方向色収差は、着目している水銀スペクトル線付近の3つの波長に対して補正される。歪曲は、水銀スペクトル線の各々において最小にされる(図10C)。波面補正は、スペクトル線の各々において10nmよりも大きく良好である(図10D)。物体側のテレセントリック度は、約405nmでは完璧であり、長い方の波長(436nm)及び短い方の波長(365nm)の各々において約1.5mradよりも小さい絶対値を有する。図6Eとの比較から、アクロマート群AG1及びAG2が、物体側のテレセントリック度誤差を十分に低減するのに有効であることが明らかであり、それによって照明系の出射側テレセントリック度に対する仕様を緩和することが可能になる。

【0118】

10

図11から図14は、マイクロリソグラフィにおいて有用な全てのレンズが同じ材料から作られた反射屈折投影対物系(いわゆる単一材料系)の実施形態を示している。これらの実施形態では、全てのレンズにおいて溶融シリカが用いられる。ペッツヴァル和の色変動の補正は、投影対物系の全ての屈折構成要素の寄与及び全ての反射構成要素の寄与を、全ての屈折構成要素(レンズ)の組合せペッツヴァル和が実質的に0であり、全ての反射構成要素(ミラー)の組合せペッツヴァル和が実質的に0であるように相殺することによって得られる。反射構成要素に対するそのような要件を満たすために、軸線方向の色及び横方向の色の主な部分を補正する負の屈折力との関連で利用される少なくとも1つの凹ミラーに加えて、凸ミラーが設けられる。

【0119】

20

第9の実施形態を形成する投影対物系1100は、約365nm(i線)、約405nm(h線)、及び約436nm(g線)における3つの水銀線を含む、すなわち、少なくとも波長差 = 71nmだけ分離する波長を有する作動波長帯域を含む1次UV放射線に向けて設計される。縮小結像スケール4:1(= 0.25)が与えられた場合に、投影対物系は、物体側でテレセントリックであり、像側で像側開口数NA = 0.5を有する。像視野サイズは、26mm×5.5mmである。この仕様を表11, 11Aに提供している。

【0120】

投影対物系1100は、平面物体面OS(物体平面)に配置されたレチクル上のパターンの像を厳密に2つの実中間像IMI1、IMI2を発生させながら平面像面IS(像平面)内へと縮小スケールで投影するように設計される。矩形の有効物体視野OF及び像視野IFは軸外、すなわち、光軸OAの完全に外側にある。第1の屈折対物系部分OP1は、物体面内に設けられたパターンを第1の中間像IMI1へと結像するように設計される。第2の反射屈折(屈折性/反射性)対物系部分OP2は、第1の中間像IMI1を第2の中間像IMI2へと1:(-1)に近い倍率で結像する。第3の反射屈折対物系部分OP3は、第2の中間像IMI2を像面IS上に強い縮小比で結像する。

30

【0121】

第1の純屈折対物系部分OP1は、6つの密接して連続する正のレンズによって形成された第1の正のレンズ群LG1と、3つの密接して連続する負のレンズによって形成された第2の負のレンズ群LG2と、及び4つの密接して連続するレンズによって形成された正のレンズ群LG3とを有する単一のくびれ部を有する屈折性の中継系を形成する12個の溶融シリカレンズを有する。

40

【0122】

第2の対物系部分OP2は、第2の瞳面P2の近くに置かれた単一の第1の凹ミラーCM1を含む。第1の平面折り返しミラーFM1は、物体面から到着する放射線を第1の凹ミラーCM1の方向に反射するように、第1の中間像IMI1に光学的に近く光軸OAに対して45°の角度で配置される。第1の折り返しミラーの平面ミラー面に対して直角に整列した平面ミラー面を有する第2の折り返しミラーFM2は、第1の凹ミラーCM1から到着する放射線を物体面に対して平行な像面の方向に反射する。折り返しミラーFM1、FM2の各々は、最近接中間像と光学的に近く位置する。それによって放射線が反対の

50

方向に2度通過する二重通過領域が、幾何学的に偏向ミラーFM1、FM2と凹ミラーCM1の間に形成される。単一の正のレンズL2-1は、折り返しミラーFM1、FM2に幾何学的に近く、かつ第1及び第2の両方の中間像に光学的に近く配置され、それによって正の視野レンズとして機能する。厳密に1つの負のメニスカスレンズL2-2を有する負の群NGは、放射線がこの負の群を反対方向に2度通過するように、凹ミラーの近くの大きい周辺光線高さを有する領域に配置される。負の群と凹ミラーの間には、いかなる光学要素も配置されない。

【0123】

第3の対物系部分OP3は、第2の凹ミラーCM2、凸ミラーCVM、及び8つの熔融シリカレンズを含む反射屈折対物系部分である。第2の凹ミラーCM2は、光軸の領域内に中心の穴を有し、反射面は像面に向く。凸ミラーCVMは、第2の凹ミラーCM2に向く反射面を有し、第2の凹ミラーCM2の像側の光軸方向に位置決めされる。第2の中間像IMI2から到着する放射線は、最初に負-正の複レンズを通過し、その後、第2の凹ミラーCM2内の中心の穴を通じて第2の凹ミラーCM2と凸ミラーCVMの間の空間に入射する。放射線は、第2の凹ミラーCM2の直前に配置されて同じ向きの湾曲を有する負のメニスカスレンズL3-3を通過する。負のレンズL3-3によって発散された放射線は、負の屈折力を有する凸ミラーCVM上に入射し、それによって負のレンズL3-3及び第2の凹ミラーCM2に向けて誘導される反射放射線ビームの発散角は増大する。放射線は、負のレンズL3-3の2度目の通過を行って凹ミラーCM2上に入射し、凹ミラーCM2は正の屈折力を有し、像面ISに向けて誘導される収束放射線を生成する。凹ミラーCM2によって反射された放射線は、負のレンズL3-3の3度目の通過を行い、凸ミラーCVMを通り過ぎてレンズL3-4からL3-8及び平行平面プレートを通じて像面ISへと誘導される。第2の凹ミラーCM2及び負のレンズL3-3は、第3の瞳面P3に光学的に近く位置決めされ、それによって第2の対物系部分OP2内の負の群NGと凹ミラーCM1との組合せと基本的に類似の方式で色収差の補正に寄与する。第2の凹ミラーCM2内の穴に起因して、中心瞳掩蔽が生成される。

【0124】

凸ミラーCVMの曲率半径は、投影対物系内で湾曲ミラーの基本湾曲の和が実質的に0であるように、第1及び第2の凹ミラーCM1、CM2の曲率半径に適合される。本出願に用いる「基本半径」という用語は、湾曲ミラーの頂点、すなわち、光軸OAとそれぞれの反射面によって定められる湾曲面との交点におけるその湾曲ミラーの曲率半径を意味する。湾曲ミラーの基本湾曲の和は、厳密にゼロとすることができる。しかし、仕様に依って、小さい偏差も許容可能である。一般的に、次式の条件が満たされる場合には、この和は、「実質的にゼロ」であると見なすことができる。

【0125】

【数12】

$$|C_M \cdot L| < 2 \quad (9)$$

【0126】

一部の実施形態では、その上限は、例えば、 $|C_M \cdot L| < 1$ 又は $|C_M \cdot L| < 0.5$ であるように、より小さいとすることができる。式(9)では、パラメータLは、物体面OSと像面の間の幾何学的距離(トラック長とも表す)を表し、次式は、凸基本湾曲が正として計数され、凹基本湾曲が負として計数される投影対物系内の湾曲ミラーの基本湾曲 c_i の和である。

【0127】

【数13】

$$C_M = \sum_{\text{Mirrors}} c_i \quad (10)$$

【0128】

図11Aの実施形態では、 $|C_M \cdot L| < 0.251$ である。

図 1 1 A の第 9 の実施形態の一部の関連する光学特性を図 1 1 B 及び図 1 1 C に示す。図 1 1 B の図は、360 nm と 440 nm の間の異なる波長における色焦点移動、すなわち、基準像平面に対する焦点面の位置を示している。この曲線は、それぞれ基本的に水銀 i、h、及び g 線に対応する約 360 nm、405 nm、及び 437 nm において 3 つのゼロ交差を示している。

【0129】

図 1 1 C は、像視野湾曲の色変動を表す図を示しており、横座標は、波長 を表しており、縦座標は、像視野の最大像高さ y' にある縁部視野点における理想的な像面からのペッツヴァル面の縦方向逸脱 p をレイリー単位 $RU = \lambda / NA^2$ における単位で表している。波長に伴う縦方向逸脱 p の変化率 $dp/d\lambda$ が、約 365 nm と約 440 nm の間の波長帯域にわたって約 $0.0028 RU/nm$ であることが分る。

10

図 1 2 は、各々が 2 つの凹ミラー及び単一の凸ミラーを有する投影対物系の 3 つの変形を略示している。

【0130】

これらの概略図では、湾曲ミラーを曲線で表しており、全体として正の屈折力を有するレンズ群を矢先が外向きの双方向矢印で表しており、全体として負の屈折力を有するレンズ群を矢先が内向きの双方向矢印で表している。従って、図 1 2 A は、基本的に図 1 1 A の第 9 の実施形態の一般的なレイアウトを有する設計に対応する（負のレンズ $L3-3$ を持たない）。図 1 2 B による実施形態では、第 1 の対物系部分 $OP1$ は、反射屈折性であり、第 2 の対物系部分 $OP2$ も反射屈折性であり、第 3 の対物系部分 $OP3$ は、屈折性である（ $C-C-R$ 構成）。第 2 の凹ミラー $CM2$ と凸ミラー CVM との組合せは、対物系部分 $OP1$ 内に組み込まれ、それに対して第 3 の対物系部分は、基本的に単一のくびれ部を有する屈折対物系部分であり、1 つ又はそれよりも多くのくびれ部は、第 2 の中間像に存在する開口数から像側開口数をもたらし。これらの実施形態では、第 2 の凹ミラー $CM2$ と凸ミラー CVM の間には、いかなるレンズも配置されないことに注意されたい。実施形態 1100 において示したように、凸ミラー CVM と凹ミラー $CM2$ の間には、屈折レンズを設けることができる。同様に、必要に応じて投影対物系 1100 内の負のレンズ $L3-3$ を省略することができる。

20

【0131】

図 1 2 C の変形では、第 2 の凹ミラー $CM2$ と凸ミラー CVM との組合せは、凸ミラー CVM が、幾何学的に 2 つの凹ミラー $CM1$ 、 $CM2$ の間に配置されるように反射屈折の第 2 の対物系部分内に組み込まれる。この実施形態では、第 1 の対物系部分 $OP1$ 及び第 3 の対物系部分 $OP3$ の各々は、純屈折性のものである（ $R-C-R$ 構成）。必要に応じて、屈折レンズを CVM と $CM2$ の間に挿入することができる。

30

【0132】

投影対物系 1300（第 10 の実施形態）は、厳密に 2 つの中間像、2 つの凹ミラー、及び 1 つの凸ミラー、並びに全てが同じ材料で作られた（熔融シリカ）複数のレンズを有する投影対物系の別の例である。第 1 の対物系部分 $OP1$ は、純屈折性のものである。平面の第 1 の折り返しミラー $FM1$ は、第 1 の中間像 $IMI1$ が、第 1 の折り返しミラー $FM1$ の光学的に後部に生成されるように第 1 の対物系部分 $OP1$ の内側に位置決めされる。代替的に、中間像は、第 1 の折り返しミラー $FM1$ と凹ミラー $CM1$ の間に位置決めすることができる。反射屈折対物系部分 $OP2$ は、第 2 の瞳面 $P2$ に第 1 の凹ミラー $CM1$ を含み、負の群 NG を第 1 の凹ミラー $CM1$ の直前に含む。負の視野レンズ $L2-1$ は、両方の中間像に光学的に近く配置され、正のレンズ $L2-2$ は、中間領域に位置決めされる。第 3 の対物系部分 $OP3$ は、反射屈折性のものであり、物体側に向けて凹であるミラー面を有する第 2 の凹ミラー $CM2$ 、及び幾何学的に第 2 の折り返しミラー $FM2$ と凹ミラー $CM2$ との間で像面に向いて配置された凸ミラー CVM を含む。いくつかのレンズが凹ミラー CVM の光学的下流に配置され、放射線を像面へと収束させる。

40

【0133】

この投影対物系は、凸ミラー CVM 及び凹ミラー $CM2$ を有するミラー群が第 3 の対物

50

系部分内に統合されるということにも関わらず、瞳掩蔽なしに軸外像視野を発生させるように設計される。口径食を回避するために、弧形物体視野OF及び像視野が用いられる。物体面からの放射線は、第1の中間像IMI1を形成し、第1の中間像IMI1は、第2の対物系部分OP2によって第2の中間像IMI2を形成するように再結像される。第2の中間像IMI2は、第2の折り返しミラーFM2から反射された放射線が最初に凹ミラーCM2に誘導されるように、幾何学的に凹ミラーCVMの外縁近くの縁部から短い距離の位置で発生する。凹ミラーCM2は、正のメニスカスレンズのように成形された透過基板L3-1の凸の裏面に付加された反射コーティングによってMangin要素として形成され、第2の凹ミラーCM2上に入射し、そこから反射される放射線によって2度の通過を受ける。第2の凹ミラーCM2から反射された放射線は、凹ミラーCVM上に入射し、このミラーは、この放射線を基板L3-1のレンズ部分を通じて幾何学的に凹ミラーCM2と像面ISの間に配置されたレンズ群に向けて反射する。凸ミラーCM2は、その上流にレンズを有する個別ミラーとして、又は隣接するレンズ要素を伴わないミラーとして達成することができる。

10

図13Bから明らかであるように、この系は、3つの水銀線が対象範囲とする波長帯域内で約371nm、約405nm、及び約420nmの3つの共通の焦点を可能にするアポクロマートのものである。像視野湾曲の色変動は、 $dp/d = 0.0309RU/nm$ によって特徴付けることができる。

【0134】

図14は、凸ミラーCVM及びこの凸ミラーと同軸の凹ミラーCM2を有するミラー群が統合された系内で口径食及び瞳掩蔽を持たない像視野を得るために弧形視野（輪状視野）を用いる反射屈折投影対物系の2つの変形を示している。図14Aの実施形態では、図13Aの実施形態と同様に、同軸ミラー群CM2、CVMが第3の対物系部分内に組み込まれる。図14Bの実施形態では、同軸の凹ミラーCM2及び凸ミラーCVMを含むミラー群が、第1の中間像IMI2を形成する第1の対物系部分OP1内に組み込まれる。

20

【0135】

図15は、上述の教示に従って改善されたペッツヴァル和の色変動の補正を有する反射屈折対物系の例1500を示している。物体が無限遠に配置された場合（左手側から対物系に入射する平行ビームに対応する）、右の高いNAの側で開口数 $NA = 0.6$ が得られる。この対物系が顕微鏡に用いられる場合には、拡大される物体は、像面ISに配置されることになる。この対物系は、低いNAの側から高いNAの側へと第1の中間像IMI1を発生させる反射屈折の第1の対物系部分OP1、第1の中間像から第2の中間像IMI2を発生させる第2の反射（純反射）対物系部分OP2、及び第2の中間像IMI2を像面上に再結像する第3の屈折対物系部分OP3を含む。全ての光学要素は、折り返しのない真っ直ぐな光軸OAに沿って整列する（直列系）。第1の対物系部分は、物体側から像側へと像側に向けて凹である第1の凹ミラーCM1、凹ミラーCM1の直前の単一の負のメニスカスレンズによって形成された負の群NG、薄いメニスカスレンズL1-2、第1の凹ミラーCM1に向く凸反射面を有する凸ミラーCMV、及び第1の中間像IMI1に向けて放射線を収束させるレンズL1-3からL1-6を含む。第2の対物系部分OP2は、純粹光反射（反射性）のものであり、互いに相対する非球面反射面を有する2つの凹ミラーCM2、CM3を含み、各凹ミラーは、光軸方向に中心の穴を有し、放射線が、凹ミラーの間に含まれる空間に入射し、そこを出射することを可能にする。第1の中間像IMI1は、第3の凹ミラーCM3における穴の中又はその近くに形成され、第2の中間像IMI2は、第2の凹ミラーCM2の穴の中又はその近くに形成される。第3の純屈折対物系部分OP3は、対物系が低いNAの側から高いNAの側へと縦断照射される時に、第2の中間像IMI2から発する発散放射線を像面ISに向けて平行化する。

30

40

【0136】

軸線方向色収差の補正は、主に、第1の対物系部分OP1内の大きい周辺光線高さの領域内に設けられた凹ミラーCM1と負の群NGとの組合せによって助勢される。視野湾曲の過補正への更に別の寄与が、第2の対物系部分OP2内の2つの凹ミラーCM2、CM

50

3によって生じる。凹ミラーによって生じる視野湾曲の過補正は、反対の符号の曲率を有する凸ミラーCVMによって補償される。像視野湾曲の色変動は、 $dp/d = 0.0003RU/nm$ によって特徴付けることができる。

【0137】

下記の表Bは、それぞれの図における設計の各々に対して波長に関するpの導関数 dp/d （レイリー単位（RU）毎ナノメートル（nm）で）を上述の他の関連データと共に要約している。

【0138】

（表B）

図	3	4	5	6	7	8	10
表	3	4	5	6	7	8	
λ [nm]	405	405	193	405	405	405	
$\Delta\lambda$ [nm]	71	71	0.18	71	71	71	
L [mm]	1500	1000	1500	1500	1500	1500	
NA	0,5	0,16	1	0,6	0,6	0,6	
y' [mm]	15,5	20	15,5	15,5	15,5	15,5	
λ/NA^2 [μm]	1,62	15,82	0,19	1,13	1,13	1,13	
$dp/d\lambda$ [RE/nm]	0,0085	0,0121	5,35	0,0081	0,016	0,0019	
図	9	10	11	13	15		20
表	9	10	11	13	15		
λ [nm]	365,5	405	405	405	405		
$\Delta\lambda$ [nm]	5	71	71	71	71		
L [mm]	1500	1500	1500	1500	247		
NA	0,8	0,6	0,5	0,5	0,6		
y' [mm]	15,5	15,5	15,5	15,9	0,25		
λ/NA^2 [μm]	0,57	1,13	1,62	1,62	1,13		
$dp/d\lambda$ [RE/nm]	0,036	0,0092	0,0028	0,0309	0,0003		

【0139】

本発明の態様は、異なる構成を有する反射屈折対物系に実施することができる。例えば、1つ又はそれよりも多くの平面折り返しミラーを基本的にUS6,909,492B2、US2004/0160677A1、US2003/0011755A1、US6,665,126、又はEP1,480,065に開示されているような「Schupmannアクロマト」の方式で設計された単一の反射屈折群との組合せで有する少なくとも1つの中間像を有する折り返し反射屈折投影対物系を修正することができる。基本的にWO2005/040890に開示されているような「Schupmannアクロマト」の方式で設計された1つよりも多くの反射屈折群を有する折り返し設計も修正することができる。例えば、EP1,069,448A1に示すような瞳の近くに配置された凹ミラー及び更に別の凹ミラーを有する折り返しのない投影対物系（直列系）を修正することができる。基本的にUS6,636,350又はUS6,995,918に示すような部分的に4つ又は6つの凹ミラーを有する他の直列系を修正することができる。これらの種類の系は、原則として実施形態の関連において相応に適応させて利用することができる。

【0140】

好ましい実施形態の以上の説明は、例示的に提供したものである。提供した開示内容から、当業者は、本発明及びそれに伴う利点を理解するだけでなく、開示した構造及び方法への明らかな様々な変更及び修正も見出すであろう。従って、全ての変更及び修正は、特許請求の範囲及びその均等物によって定められる本発明の精神及び範囲に収まるように求めるものである。

全ての特許請求の内容は、引用によって本明細書の一部になっている。

【 0 1 4 1 】

以下の表は、上述の実施形態の仕様を要約している。これらの表では、列 1 は、屈折面、反射面、又はいずれか他の方式で区別される面の個数を記し、列 2 は、面の半径 r （曲率半径）（mm における）を記し、列 3 は、この面とその後の面の間の厚みでも表す距離 d （mm における）を記し、列 4 は、光学構成要素の材料を記している。列 5 は、材料の屈折率を示し、列 6 は、レンズ面又は他の面の光学自由半径又は光学自由半直径（又はレンズ高さ）（mm における）を示している。半径 $r = 0$ は、平面表面に対応する。

【 0 1 4 2 】

1 つ又は複数の表をそれぞれの図と同じ番号によって示している。補足名称「A」を有する表は、対応する非球面又は他の関連データを記している。非球面は、次式に従って計算される。

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

この場合、半径の逆数（ $1/r$ ）は、面の曲率を表し、 h は、面の点と光軸の間の距離（すなわち、光線高さ）を表している。その結果、 $p(h)$ は、いわゆるサジッタ、すなわち、この面の点と面頂点の間の z 方向（光軸方向）の距離を表している。定数 K は、円錐定数であり、パラメータ $C1$ 、 $C2$ は、非球面定数である。

【 0 1 4 3 】

また、本発明の好ましい特徴を以下の条項に開示する。

1．中心波長 付近の波長帯域からの電磁放射線を用いて像側開口数 NA で対物系の物体面内の物体視野からのパターンを投影対物系の像面領域内の像視野に結像するように光軸に沿って配置された複数の光学要素を含み、光学要素が、凹ミラーと複数のレンズとを含み、投影対物系が、異なる波長に対して互いに偏位する波長帯域の各波長 に対するそれぞれのペッツヴァル面内にパターンの像を形成し、像視野の縁部視野点での（最大像高さ y' での）平面基準面からの所定の波長でのペッツヴァル面の像面領域内の光軸に対して平行に測定された縦方向逸脱 p が、

$$dp/d \lambda < (0.2 / NA^2) / nm$$

に従って波長 と共に変動することを特徴とする反射屈折対物系。

2．像視野の最大像高さ y' にある縁部視野点における平面基準面からの所定の波長のペッツヴァル面の縦方向逸脱 p を波長帯域内の各波長に対して $0.2 / NA^2$ 未満まで低減することを特徴とする条項 1 に記載の対物系。

3．像視野が、3 mm よりも大きい最大像視野高さ y' によって定められる像視野サイズを有することを特徴とする条項 1 に記載の対物系。

4．最大像視野高さ y' が、10 mm 又はそれよりも大きいことを特徴とする条項 3 に記載の対物系。

5．像側開口数 $NA > 0.2$ を有することを特徴とする条項 1 に記載の対物系。

6．像側開口数 $NA > 0.6$ を有することを特徴とする条項 5 に記載の対物系。

7．対物系の出射面と像面の間の像側作動空間が作動中に気体で充填された時に像側開口数 $NA < 1$ を生成するように構成される乾式対物系であることを特徴とする条項 5 に記載の対物系。

8．作動中对物系の出射面と像面の間の像側作動空間内の液浸液と併用された時に像側開口数 $NA < 1$ を有する液浸対物系として構成されることを特徴とする条項 1 に記載の対物系。

9．中心波長 が 300 nm よりも長く、 $dp/d \lambda < (0.2 / NA^2) / nm$ であることを特徴とする条項 1 に記載の対物系。

10．波長帯域の第 1 の波長 $\lambda_1 < \lambda_2$ において第 1 のペッツヴァル面内にパターンの第 1 の像を形成し、波長差 $\Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ だけ第 1 の波長から分離した第 2 の波長 $\lambda_2 > \lambda_1$ において第 2 のペッツヴァル面内にパターンの第 2 の像を形成し、 $\Delta \lambda$ が、2 nm 又はそれよりも大きいことを特徴とする条項 1 に記載の対物系。

11．凹ミラーが、対物系の瞳面に又はそれに光学的に近く配置され、少なくとも 1 つ

10

20

30

40

50

の負のレンズを含む負の群が、放射線が負の群を少なくとも2度反対方向に通過するように、凹ミラーの前で凹ミラーの反射側の二重通過領域に配置されることを特徴とする条項1に記載の対物系。

12. 複数のレンズが、中央アッペ数を定める異なるアッペ数を有する異なる材料から作られたレンズを含み、複数のレンズのうちの少なくとも1つが、中央アッペ数に等しいか又はそれよりも大きい第1のアッペ数を有する第1の材料から作られた第1のレンズであり、複数のレンズのうちの少なくとも1つが、中央アッペ数よりも小さいアッペ数を有する第2の材料から作られることを特徴とする条項1に記載の対物系。

13. 全てのレンズのうちの50%よりも多くが第1の材料から作られ、50%未満が第2の材料から作られることを特徴とする条項12に記載の対物系。

14. 全てのレンズのうちの30%未満が第2の材料から作られることを特徴とする条項13に記載の対物系。

15. 全てのレンズのうちの50%よりも多くが第2の材料から作られ、50%未満が第1の材料から作られることを特徴とする条項12に記載の対物系。

16. 第2の材料から作られた少なくとも1つの第2のレンズが、負のレンズであることを特徴とする条項12に記載の対物系。

17. 負のレンズが、負の両凹レンズであることを特徴とする条項16に記載の対物系。

18. 負のレンズが、負のレンズの直近の少なくとも1つのレンズの光学自由直径よりも実質的に小さい光学自由直径を有することを特徴とする条項16に記載の対物系。

19. 負のレンズが、対物系の最も大きいレンズの光学自由直径の80%よりも小さい光学自由直径を有することを特徴とする条項16に記載の対物系。

20. 負のレンズの光学自由直径が、対物系の最も大きいレンズの光学自由直径の50%よりも小さいことを特徴とする条項19に記載の対物系。

21. 負のレンズが2つの隣接するレンズの間に配置され、2つの隣接するレンズの各々が、負のレンズの光学自由直径よりも実質的に大きい光学自由直径を有することを特徴とする条項16に記載の対物系。

22. 対物系を通過する放射線ビームのビーム直径が極小値を有する少なくとも1つのくびれ領域を含み、負のレンズが、くびれ領域に位置決めされることを特徴とする条項16に記載の対物系。

23. 負のレンズが、対物系の視野面の近くに位置決めされることを特徴とする条項16に記載の対物系。

24. 視野面が、物体面であることを特徴とする条項23に記載の対物系。

25. 視野面が、像面であることを特徴とする条項23に記載の対物系。

26. 少なくとも1つの中間像を有し、負のレンズが、中間像の近くに位置決めされることを特徴とする条項23に記載の対物系。

27. 第2の材料から成る少なくとも2つの負のレンズを含むことを特徴とする条項16に記載の対物系。

28. 全てのレンズのうちの50%よりも多くが、熔融シリカ(SiO_2)で作られることを特徴とする条項1に記載の対物系。

29. 第1の材料が、熔融シリカ(SiO_2)であることを特徴とする条項12に記載の対物系。

30. 複数のレンズが、3つの実質的に異なるアッペ数を有する少なくとも3つの異なる材料から作られたレンズを含むことを特徴とする条項1に記載の対物系。

31. 複数のレンズが、4つの実質的に異なるアッペ数を有する4つの異なる材料から作られたレンズを含むことを特徴とする条項1に記載の対物系。

32. 複数のレンズが、5つの実質的に異なるアッペ数を有する5つの異なる材料から作られたレンズを含むことを特徴とする条項1に記載の対物系。

34. 複数のレンズが、少なくとも2つの異なるアッペ数を有する少なくとも2つの異なる材料から作られたレンズを含み、材料のうちの少なくとも1つは、フッ化カルシウム

10

20

30

40

50

ではなく、かつ溶融シリカ (SiO_2) ではないことを特徴とする条項 1 に記載の対物系。

35. 光学要素が、第 1 のレンズ及び第 1 のレンズの直近の第 2 のレンズから成る複レンズを含み、第 1 のレンズが、第 1 の材料から作られた正のレンズであり、第 2 のレンズが、第 2 の材料から作られた負のレンズであることを特徴とする条項 12 に記載の対物系。

36. 複レンズが、投影対物系の視野面に光学的に近くて、対物系内で主光線高さが最大主光線高さの少なくとも 50% である領域に配置されることを特徴とする条項 35 に記載の対物系。

37. 視野面が、物体面であることを特徴とする条項 36 に記載の対物系。

38. 視野面が、像面であることを特徴とする条項 36 に記載の対物系。

39. 光学要素が、物体面と像面の間の中間像面内に少なくとも 1 つの中間像を形成するように配置され、視野面が、中間像面であることを特徴とする条項 36 に記載の対物系。

40. 複レンズが、放射線が複レンズを少なくとも 2 度反対方向に通過するように、二重通過領域に配置されることを特徴とする条項 35 に記載の対物系。

41. 第 1 の材料から作られた正のレンズが、複レンズの第 2 のレンズの直近に、かつ複レンズの第 1 のレンズの反対側に配置されることを特徴とする条項 35 に記載の対物系。

42. 少なくとも 1 つの凹ミラーに加えて少なくとも 1 つの凸ミラーを含むことを特徴とする条項 1 に記載の対物系。

43. 複数のレンズのうちの少なくとも 90% 又は複数のレンズの全てが、基本的に同じアッペ数を有する 1 つ又は複数の材料から作られることを特徴とする条項 42 に記載の対物系。

44. 複数のレンズの全てのレンズが、同じ材料から作られることを特徴とする条項 42 に記載の対物系。

45. 同じ材料が、溶融シリカ (SiO_2) であることを特徴とする条項 44 に記載の対物系。

46. 複数のレンズの全てのレンズのペッツヴァル和が、実質的にゼロであり、全ての凸及び凹ミラーのペッツヴァル和が、実質的にゼロであることを特徴とする条項 42 に記載の対物系。

47. 物体面と像面の間に幾何学的距離 L を有し、凹ミラー及び凸ミラーの各々が、基本湾曲 c_i を有し、全ての湾曲ミラーの基本湾曲の和：

【0144】

【数14】

$$C_M = \sum_{\text{Mirrors}} c_i$$

【0145】

が、条件 $|C_M \cdot L| < 2$ を満たすことを特徴とする条項 42 に記載の対物系。

48. 光学要素が、物体面と像面の間の中間像面内に少なくとも 1 つの中間像を形成するように配置されることを特徴とする条項 1 に記載の対物系。

49. 中間像が、実質的な色収差を有し、少なくとも 1 つのレンズが、中間像に光学的に近い領域に配置されることを特徴とする条項 48 に記載の対物系。

50. 中間像の近くに配置されたレンズが、結像の周辺光線高さ (MRH) が主光線高さ (CRH) よりも小さい領域に配置されることを特徴とする条項 49 に記載の対物系。

51. 光学要素が、物体面と像面の間に厳密に 2 つの中間像を形成するように配置されることを特徴とする条項 1 に記載の対物系。

52. パターンを第 1 の中間像へと結像するように構成された第 1 の対物系部分と、第 1 の中間像を第 2 の中間像へと結像するように構成された第 2 の対物系部分と、第 2 の中間像を像面上に結像するように構成された第 3 の対物系部分とを含むことを特徴とする条

10

20

30

40

50

項 1 に記載の対物系。

53. 第 2 の対物系部分が、少なくとも 1 つの凹ミラーを含むことを特徴とする条項 52 に記載の対物系。

54. 第 1 の対物系部分が、屈折対物系部分であることを特徴とする条項 52 に記載の対物系。

55. 第 3 の対物系部分が、屈折対物系部分であることを特徴とする条項 52 に記載の対物系。

56. 幾何学的に第 1 の偏向ミラーと凹ミラーの間に二重通過領域が形成されるように物体面からの放射線を凹ミラーに向けて偏向するか又は凹ミラーからの放射線を像面に向けて偏向するように配置された第 1 の偏向ミラーを更に含むことを特徴とする条項 52 に記載の対物系。

10

57. 像面が物体面に対して平行であるように第 1 の偏向ミラーからの放射線を像面に向けて偏向するように配置された第 2 の偏向ミラーを更に含むことを特徴とする条項 56 に記載の対物系。

58. 第 1 の中間像を第 2 の中間像へと結像するように構成された第 2 の対物系部分が、条件 $0.8 \leq \beta_2 \leq 1.1$ に従う第 2 の倍率 β_2 を有することを特徴とする条項 52 に記載の対物系。

59. パターンを第 1 の中間像へと結像するように構成された第 1 の対物系部分が、第 1 の対物系部分を通過する放射線のビーム直径が極小値を有する少なくとも 2 つの別々のくびれ領域が発生するように、正の屈折力を有する第 1 のレンズ群、第 1 のレンズ群の直後の負の屈折力を有する第 2 のレンズ群、第 2 のレンズ群の直後の正の屈折力を有する第 3 のレンズ群、第 3 のレンズ群の直後の負の屈折力を有する第 4 のレンズ群、及び第 4 のレンズ群の直後の正の屈折力を有する第 5 のレンズ群を含む、交互する屈折力を有する一連の連続するレンズ群を含むことを特徴とする条項 52 に記載の対物系。

20

60. 厳密に 1 つの凹ミラーが存在することを特徴とする条項 52 に記載の対物系。

61. 対物系の全ての光学要素に共通の真っ直ぐな折り返しのない光軸を有することを特徴とする条項 52 に記載の対物系。

62. 瞳面に又はその近くに位置決めされた凹ミラーが、瞳掩蔽が生成されるように反射区域内に透過部分を含むことを特徴とする条項 52 に記載の対物系。

63. 第 1 の対物系部分内に凸ミラーが配置されることを特徴とする条項 52 に記載の対物系。

30

64. 第 2 の対物系部分内に凸ミラーが配置されることを特徴とする条項 52 に記載の対物系。

65. 第 3 の対物系部分内に凸ミラーが配置されることを特徴とする条項 52 に記載の対物系。

66. 少なくとも 1 つの偏向ミラーを含む折り返し対物系であり、作動中に弓形有効物体視野を像面内に結像することを特徴とする条項 1 に記載の対物系。

67. 少なくとも 1 つの偏向ミラーを含む折り返し対物系であり、瞳面に又はその近くに位置決めされた凹ミラーが、瞳掩蔽が生成されるように反射区域内に透過部分を含むことを特徴とする条項 1 に記載の対物系。

40

68. 中心波長 λ_0 付近の波長帯域からの電磁放射線を用いて像側開口数 NA で反射屈折対物系の物体面内の物体視野からのパターンを対物系の像面領域内の像視野に結像するように光軸に沿って配置された複数の光学要素を含み、光学要素が、凹ミラーと複数のレンズとを含み、反射屈折対物系が、波長帯域の第 1 の波長 $\lambda_1 < \lambda_0$ において第 1 のペッツヴァル面内にパターンの第 1 の像と、 5 nm よりも大きい波長差 $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ だけ第 1 の波長から分離した第 2 の波長 $\lambda_2 > \lambda_0$ において第 2 のペッツヴァル面内にパターンの第 2 の像とを形成し、第 1 のペッツヴァル面と第 2 のペッツヴァル面の間の像面領域内の光軸に対して平行に測定された縦方向ペッツヴァル面逸脱 PS が、像視野内の全ての視野点において PS/NA^2 よりも小さいことを特徴とする反射屈折対物系。

69. 中心波長 λ_0 付近の波長帯域からの電磁放射線を用いて像側開口数 NA で反射屈折

50

対物系の物体面内の物体視野からのパターンを対物系の像面領域内の像視野に結像するように光軸に沿って配置された複数の光学要素を含み、光学要素が、凹ミラーと複数のレンズとを含み、投影対物系が、異なる波長に対して互いに偏位する波長帯域の各波長 に対するそれぞれのペッツヴァル面内にパターンの像を形成し、複数のレンズが、実質的に異なるアッペ数を有する異なる材料から作られたレンズを含み、像視野の縁部視野点での（最大像高さ y' での）平面基準面からの所定の波長でのペッツヴァル面の像面領域内の光軸に対して平行に測定された縦方向逸脱 p が、

$$dp/d\lambda < (7.7 / NA^2) / nm$$

に従って波長 と共に変動することを特徴とする反射屈折対物系。

70. 中心波長 $< 300 nm$ 付近の波長帯域からの電磁放射線を用いて像側開口数 NA で反射屈折対物系の物体面内の物体視野からのパターンを対物系の像面領域内の像視野に結像するように光軸に沿って配置された複数の光学要素を含み、光学要素が、凹ミラーと複数のレンズとを含み、投影対物系が、異なる波長に対して互いに偏位する波長帯域の各波長 に対するそれぞれのペッツヴァル面内にパターンの像を形成し、複数のレンズが、実質的に異なるアッペ数を有する異なる材料から作られたレンズを含み、像視野の縁部視野点での（最大像高さ y' での）平面基準面からの所定の波長でのペッツヴァル面の像面領域内の光軸に対して平行に測定された縦方向逸脱 p が、

$$dp/d\lambda < (15 / NA^2) / nm$$

に従って波長 と共に変動することを特徴とする反射屈折対物系。

71. 投影対物系の像面の領域に配置された感放射線基板を投影対物系の物体面の領域に配置されたマスクのパターンの少なくとも1つの像を用いて露光するように構成された投影露光装置であって、中心作動波長 付近の波長帯域からの紫外放射線を放出する感放射線と、放射線源からの放射線を受光し、マスクのパターン上に向けられる照明放射線を成形する照明系と、条項1に記載の投影対物系とを含むことを特徴とする投影露光装置。

72. $> 300 nm$ であり、波長帯域が、第1の波長 $\lambda_1 <$ と、 $1 nm$ よりも大きい波長差 $= \lambda_2 - \lambda_1$ だけ第1の波長から分離した第2の波長 $\lambda_2 >$ とを含むことを特徴とする条項71に記載の投影露光装置。

【0146】

(表3)

10

20

NA	0, 5						
OBH	62						
WL	405	365, 5	436				
面	半径	厚み	材料	屈折率 1	屈折率 1	屈折率 3	半直径
0	0, 000000	30, 999606					62, 0
1	442, 210327	19, 399644	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	66, 7
2	-519, 098537	133, 950194					67, 0
3	-115, 471793	9, 999752	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	66, 4
4	620, 664725	82, 839011					73, 7
5	-8114, 454958	42, 716031	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	103, 6
6	-185, 432886	0, 999576					106, 1
7	759, 870106	45, 909768	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	109, 0
8	-223, 104448	0, 999513					109, 0
9	108, 556004	44, 184151	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	92, 3
10	226, 758476	0, 999571					86, 8
11	87, 389465	62, 916943	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	72, 7
12	46, 681583	25, 937231					37, 1
13	-6393, 436173	9, 999569	LLF1	1, 569035	1, 579164	1, 563301	32, 1
14	64, 185307	70, 096512					26, 2
15	-113, 365188	45, 892870	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	48, 5
16	-75, 373921	0, 998865					59, 9
17	204, 094038	34, 671249	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	65, 4
18	-155, 351422	54, 833584					66, 2
19	-500, 000000	0, 000000	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	56, 5
20	-500, 000000	90, 000000					56, 5
21	0, 000000	-98, 001733	REFL				47, 0
22	-1918, 979286	-30, 000065	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	66, 8
23	224, 227390	-483, 329791					69, 4
24	146, 188532	-15, 000000	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	98, 2
25	-3322, 789744	-90, 200337					114, 2
26	303, 674356	90, 200337	REFL				139, 6
27	-3322, 789744	15, 000000	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	106, 1
28	146, 188532	483, 329791					88, 8
29	224, 227390	30, 000065	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	68, 5

10

20

30

【 0 1 4 7 】

(表 3 続 き)

30	-1918,979286	98,001733					66,3	
31	0,000000	-90,000000	REFL				49,7	
32	-500,000000	0,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	56,3	
33	-500,000000	-0,999434					56,3	
34	-88,613541	-40,063824	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	59,9	
35	389,461534	-0,999871					58,2	
36	-85,096736	-9,999048	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	52,3	
37	-60,357818	-43,175897					46,6	
38	151,005116	-9,999800	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	45,2	
39	-154,602510	-59,622445					46,3	10
40	-209,277964	-25,732855	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	63,6	
41	-2668,608907	-37,078249					64,7	
42	-118,939706	-25,943557	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	68,3	
43	-208,205009	-32,287180					65,7	
44	184,455133	-14,999433	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	65,3	
45	-1666,008680	-3,979634					70,5	
46	-1690,411885	-42,649332	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	71,5	
47	109,373142	-0,999292					73,7	
48	-122,073750	-31,195782	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	68,6	
49	-428,173772	5,053196					66,5	20
50	0,000000	-84,671911					67,8	
51	230,712331	-16,783825	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	58,5	
52	95,347852	-25,305725					58,5	
53	-118,738065	-26,920074	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	49,8	
54	-3094,028810	-0,999632					46,4	
55	-855,681538	-66,820809	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	43,5	
56	0,000000	-6,000000					19,1	
57	0,000000	0,000000					15,5	

【 0 1 4 8 】

(表 3 A)

非球面定数

面	3	8	15	17	22
K	0	0	0	0	0
C1	-1, 352838E-08	2, 450022E-08	5, 831651E-07	-2, 714687E-07	1, 052250E-08
C2	2, 806019E-12	5, 467657E-14	-1, 445186E-10	2, 738411E-11	6, 694347E-13
C3	7, 585058E-17	-3, 444541E-19	4, 182731E-14	-4, 384852E-15	-1, 137411E-16
C4	-7, 477742E-21	2, 901679E-22	-1, 166677E-17	6, 483077E-19	1, 982512E-20
C5	5, 612990E-24	-1, 706015E-26	2, 227669E-21	-6, 586345E-23	-1, 232921E-24
C6	-4, 972510E-28	3, 517925E-31	-1, 960258E-25	3, 070880E-27	-1, 927329E-29
10					
面	25	27	30	34	41
K	0	0	0	0	0
C1	2, 012570E-08	2, 012570E-08	1, 052250E-08	9, 941130E-08	6, 010073E-08
C2	-5, 271557E-13	-5, 271557E-13	6, 694347E-13	1, 079479E-11	6, 526446E-12
C3	1, 646217E-17	1, 646217E-17	-1, 137411E-16	7, 576753E-16	4, 150062E-16
C4	-1, 435199E-22	-1, 435199E-22	1, 982512E-20	1, 878135E-19	-1, 474276E-20
C5	-1, 610015E-26	-1, 610015E-26	-1, 232921E-24	-1, 529136E-23	-4, 873680E-24
C6	5, 321668E-31	5, 321668E-31	-1, 927329E-29	3, 782198E-27	6, 536434E-28
20					
面	44	47	52	54	
K	0	0	0	0	
C1	3, 107676E-07	-3, 227235E-08	-5, 078522E-07	1, 169030E-06	
C2	8, 839418E-12	-4, 524537E-12	3, 305415E-11	-2, 964829E-10	
C3	-1, 295508E-15	-7, 096715E-16	-1, 195130E-14	5, 174490E-14	
C4	1, 086911E-19	-2, 046307E-22	1, 805728E-18	-5, 927366E-18	
C5	-1, 087279E-22	-1, 265102E-23	-2, 512187E-22	3, 571492E-22	
C6	1, 276003E-26	1, 254945E-27	1, 386411E-26	-1, 057399E-26	

【 0 1 4 9 】

(表 4)

NA 0,16
OBH 20
WL 405

365,5

436

面	半径	厚み	材料	屈折率1	屈折率2	屈折率3	半直径
0	0,000000	30,000000					20,0
1	0,000000	0,000000	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	24,9
2	0,000000	0,998996					24,9
3	71,505020	17,278950	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	25,8
4	-135,600697	15,835785					25,6
5	-102,466827	10,040269	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	23,8
6	46,804849	23,666744					23,7
7	-30,207629	11,605794	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	25,0
8	-40,037302	1,777476					31,0
9	-48,615984	15,261606	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	32,5
10	-49,955842	1,042998					37,9
11	237,806369	26,314328	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	44,5
12	-92,826530	1,098565					45,8
13	63,699725	24,305861	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	43,6
14	268,334625	31,933675					40,3
15	-78,553440	10,000200	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	31,1
16	-124,449232	10,194899					29,8
17	-67,929099	13,230878	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	27,0
18	-71,976583	1,003059					26,7
19	52,063287	15,522656	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	23,2
20	-2603,360008	6,694216					19,5
21	-52,911743	9,999313	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	16,9
22	141,860863	11,120098					15,6
23	-23,980962	18,719479	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	16,2
24	-32,850592	0,998004					22,4
25	49,471203	29,076524	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	24,6
26	-73,792921	1,012391					22,8
27	-374,091002	10,030736	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	21,5
28	-133,661999	7,972129					19,6
29	-155,779117	11,461812	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	17,5

10

20

30

【 0 1 5 0 】

(表 4 続 き)

30	-54, 134768	2, 490036					16, 1	
31	0, 000000	0, 000000	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	14, 1	
32	0, 000000	20, 000000					14, 1	
33	282, 108008	40, 676565					10, 3	
34	-390, 922222	20, 000015	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	22, 3	
35	-280, 977870	42, 922714					27, 0	
36	-211, 457624	5, 775018	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	40, 1	
37	0, 000000	5, 775018	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	42, 7	
38	211, 457624	42, 922714					45, 5	
39	280, 977870	20, 000015	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	72, 4	10
40	390, 922222	40, 676565					76, 7	
41	-282, 108008	-40, 676565	REFL				86, 7	
42	390, 922222	-20, 000015	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	84, 2	
43	280, 977870	-42, 922714					83, 9	
44	211, 457624	-5, 775018	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	75, 8	
45	0, 000000	-5, 775018	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	75, 4	
46	-211, 457624	-42, 922714					75, 8	
47	-280, 977870	-20, 000015	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	83, 9	
48	-390, 922222	-40, 676565					84, 2	
49	282, 108008	40, 676565	REFL				86, 7	
50	-390, 922222	20, 000015	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	76, 7	20
51	-280, 977870	42, 922714					72, 4	
52	-211, 457624	5, 775018	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	45, 5	
53	0, 000000	5, 775018	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	42, 7	
54	211, 457624	42, 922714					40, 1	
55	280, 977870	20, 000015	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	27, 0	
56	390, 922222	40, 676565					22, 3	
57	-282, 108008	20, 000000					10, 3	
58	0, 000000	0, 000000	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	14, 1	
59	0, 000000	2, 490036					14, 1	30

【 0 1 5 1 】

(表 4 続 き)

60	54,134768	11,461812	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	16,1	
61	155,779117	7,972129					17,5	
62	133,661999	10,030736	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	19,6	
63	374,091002	1,012391					21,5	
64	73,792921	29,076524	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	22,8	
65	-49,471203	0,998004					24,6	
66	32,850592	18,719479	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	22,4	
67	23,980962	11,120098					16,2	
68	-141,860863	9,999313	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	15,6	
69	52,911743	6,694216					16,9	10
70	2603,360008	15,522656	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	19,5	
71	-52,063287	1,003059					23,2	
72	71,976583	13,230878	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	26,7	
73	67,929099	10,194899					27,0	
74	124,449232	10,000200	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	29,8	
75	78,553440	31,933675					31,1	
76	-268,334625	24,305861	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	40,3	
77	-63,699725	1,098565					43,6	
78	92,826530	26,314328	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	45,8	
79	-237,806369	1,042998					44,6	
80	49,955842	15,261606	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	37,9	20
81	48,615984	1,777476					32,5	
82	40,037302	11,605794	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	31,0	
83	30,207629	23,666744					25,0	
84	-46,804849	10,040269	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	23,7	
85	102,466827	15,835785					23,8	
86	135,600697	17,278950	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	25,6	
87	-71,505020	0,998996					25,8	
88	0,000000	0,000000	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	24,9	
89	0,000000	30,000000					24,9	
90	0,000000	0,000000					20,004	30

【 0 1 5 2 】

(表 4 A)

非球面定数

面	28	46	49	52	54
K	0	0	0	0	0
C1	4,526533E-06	1,050730E-07	-9,387324E-09	1,050730E-07	-1,050730E-07
C2	1,481358E-09	-1,076582E-11	3,284049E-13	-1,076582E-11	1,076582E-11
C3	4,401153E-13	1,004293E-15	1,082200E-17	1,004293E-15	-1,004293E-15
C4	6,492931E-15	-1,102576E-19	-1,034500E-21	-1,102576E-19	1,102576E-19
C5	-1,244203E-17	7,702115E-24	8,502093E-26	7,702115E-24	-7,702115E-24
C6	1,672184E-20	-3,347093E-28	-1,706409E-30	-3,347093E-28	3,347093E-28

10

面	57	74
K	0	0
C1	9,387324E-09	-4,868716E-07
C2	-3,284049E-13	1,010109E-09
C3	-1,082200E-17	6,221108E-14
C4	1,034500E-21	-1,082355E-16
C5	-8,502093E-26	-8,554228E-20
C6	1,706409E-30	4,272266E-23

【 0 1 5 3 】

20

(表 5)

NA	1							
OBH	62							
WL	193	192, 95	193, 05					
面	半径	厚み	材料	屈折率1	屈折率2	屈折率3	半直径	
0	0,000000	52,003963					62,0	
1	-215,712833	23,035701	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	71,8	
2	-128,076348	0,999450					76,0	
3	151,426866	42,474347	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	82,9	
4	-729,275651	7,071245					81,3	
5	-426,546840	9,999189	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	80,2	10
6	261,642774	16,043848					77,6	
7	-11777,049949	9,999491	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	77,8	
8	169,293494	56,379980					78,6	
9	691,791322	73,161522	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	96,0	
10	-141,860549	0,999306					101,5	
11	116,062052	46,924402	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	91,5	
12	494,204476	0,999795					87,1	
13	102,783313	57,100880	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	73,0	
14	63,969000	25,033136					42,1	
15	-246,879276	9,999595	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	37,9	20
16	995,973277	82,840679					41,5	
17	-227,141816	12,314049	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	75,2	
18	-297,081330	1,000034					82,1	
19	-432,392392	44,994112	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	84,7	
20	-113,419623	0,999918					89,2	
21	-2525,154853	44,365477	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	94,4	
22	-139,684282	109,398402					96,7	
23	0,000000	-98,001733	REFL				73,1	
24	-443,052731	-30,000907	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	83,1	
25	373,578857	-362,178493					84,2	
26	176,909720	-15,000000	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	90,3	30
27	563,266306	-51,728642					97,8	
28	119,506240	-15,000000	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	99,8	
29	420,143117	-37,416219					130,2	

【 0 1 5 4 】

(表 5 続 き)

30	198,624832	37,416219	REFL				135,7	
31	420,143117	15,000000	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	130,7	
32	119,506240	51,728642					101,3	
33	563,266306	15,000000	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	100,2	
34	176,909720	362,178493					93,2	
35	373,578857	30,000907	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	93,1	
36	-443,052731	98,001733					92,4	
37	0,000000	-90,999924	REFL				71,6	
38	-129,776522	-48,648200	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	84,8	
39	827,646034	-63,899751					83,0	10
40	372,011643	-9,999744	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	68,2	
41	-273,104022	-28,121346					65,9	
42	190,398249	-14,999809	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	66,6	
43	1016,184194	-168,331693					73,2	
44	531,087094	-56,072211	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	131,1	
45	177,485817	-0,999626					137,2	
46	-537,586457	-56,628557	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	140,0	
47	397,129639	-44,087590					138,9	
48	0,000000	43,087853					118,4	
49	-153,486833	-67,057493	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	117,7	20
50	-249,299442	-20,267809					104,8	
51	-162,370282	-20,842280	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	92,1	
52	-156,733700	-9,203222					83,7	
53	-117,699878	-55,240329	CAFUV	1,501395	1,501443	1,501347	77,3	
54	-149,805182	-0,998971					55,9	
55	-62,433321	-55,696773	SILUV	1,560970	1,561050	1,560890	47,3	
56	0,000000	-3,000000	H2OV193	1,437468	1,437576	1,437360	18,5	
57	0,000000	0,000000					15,5	

【 0 1 5 5 】

(表 5 A)

30

非球面定数

面	1	10	17	21	24
K	0	0	0	0	0
C1	-6,708531E-08	2,403412E-08	4,755112E-08	-8,563057E-08	4,477313E-09
C2	-1,705483E-12	5,166728E-13	-1,636240E-11	2,159181E-12	-1,420701E-14
C3	-7,297932E-17	1,588393E-17	9,465561E-16	-8,271916E-17	1,771705E-18
C4	7,204007E-21	1,305430E-21	-1,062161E-19	7,540861E-21	5,190139E-22
C5	-1,589172E-24	-1,770637E-26	7,674898E-24	-3,712728E-25	-5,453752E-26
C6	9,231896E-29	2,718726E-30	-4,144957E-28	5,093035E-30	2,236635E-30

10

面	29	31	36	38	41
K	0	0	0	0	0
C1	6,085379E-09	6,085379E-09	4,477313E-09	1,767039E-08	-1,728330E-07
C2	-8,735959E-14	-8,735959E-14	-1,420701E-14	8,316564E-13	-1,025592E-11
C3	2,780158E-18	2,780158E-18	1,771705E-18	4,937988E-17	-8,277512E-16
C4	-9,170747E-23	-9,170747E-23	5,190139E-22	5,039321E-21	-4,377410E-20
C5	2,453451E-27	2,453451E-27	-5,453752E-26	-1,717773E-25	-1,042063E-23
C6	-3,229238E-32	-3,229238E-32	2,236635E-30	2,891565E-29	3,839128E-28

20

面	44	47	50	54
K	0	0	0	0
C1	3,870375E-08	-1,633267E-09	3,936289E-08	3,278814E-09
C2	-6,465213E-13	-4,107714E-14	-1,118071E-12	2,417322E-11
C3	-1,535545E-17	-1,794721E-17	2,312000E-17	-5,059698E-15
C4	-1,454853E-23	7,679954E-22	-3,066503E-21	5,143166E-19
C5	2,932144E-26	-1,568521E-26	1,702929E-25	-7,127504E-23
C6	-5,208776E-31	1,467656E-31	-3,177511E-30	2,926135E-27

【 0 1 5 6 】

(表6)

NA 0,6
 OBH 62
 WL 405 365,5 436

面	半径	厚み	材料	屈折率1	屈折率2	屈折率3	半直径
0	0,000000	36,200602					62,0
1	171,518544	32,339567	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	69,8
2	-317,786104	79,008130					69,3
3	-147,047114	9,999748	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	55,1
4	342,405051	20,144647					55,5
5	-140,400996	11,668079	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	55,9
6	557,807949	37,480362					62,1
7	-682,419001	28,287548	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	75,6
8	-158,158201	0,999647					79,5
9	2791,087463	36,298237	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	85,4
10	-163,612629	0,999498					86,9
11	163,587527	34,932650	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	83,0
12	-1411,005987	6,407633					80,6
13	77,014420	17,848764	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	63,3
14	74,562204	75,241594					56,1
15	1709,016613	9,999818	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	33,0
16	86,348889	19,951833					34,2
17	-115,135799	18,126817	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	36,7
18	-84,865845	86,519899					41,5
19	19952,065163	33,257664	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	67,2
20	-114,476351	0,999646					69,0
21	-269,872351	20,702731	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	68,2
22	-138,267238	97,475014					69,5
23	0,000000	-71,735184	REFL				50,9
24	-245,337556	-29,999844	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	61,3
25	333,850389	-296,940370					62,3
26	137,245344	-15,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	63,0
27	1268,305030	-29,114799					67,6
28	132,293526	-15,000000	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	70,7
29	435,521613	-64,440722					85,3

10

20

30

【 0 1 5 7 】

(表 6 続 き)

30	216, 777334	64, 440722	REFL				115, 7
31	435, 521613	15, 000000	FK5	1, 498902	1, 503934	1, 495918	94, 0
32	132, 293526	29, 114799					80, 7
33	1268, 305030	15, 000000	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	79, 6
34	137, 245344	296, 940370					72, 8
35	333, 850389	29, 999844	CAFUV	1, 441484	1, 444863	1, 439477	67, 9
36	-245, 337556	71, 735184					66, 8
37	0, 000000	-93, 381314	REFL				50, 5
38	-107, 581987	-42, 025300	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	64, 5
39	247, 652865	-0, 999459					63, 2
40	-365, 522301	-9, 999229	LF5	1, 606590	1, 619068	1, 599610	59, 3
41	-156, 785496	-27, 775457					55, 7
42	215, 516764	-9, 999346	LF5	1, 606590	1, 619068	1, 599610	54, 1
43	-186, 416544	-28, 697629					54, 3
44	-3995, 126063	-21, 876902	FK5	1, 498902	1, 503934	1, 495918	58, 7
45	162, 926370	-12, 599437					60, 0
46	99, 826076	-15, 000424	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	60, 0
47	153, 618881	-144, 443627					64, 8
48	-186, 191390	-23, 831946	CAFUV	1, 441484	1, 444863	1, 439477	87, 4
49	-476, 244153	-42, 228444					86, 6
50	-413, 374893	-36, 176646	CAFUV	1, 441484	1, 444863	1, 439477	85, 2
51	214, 495806	-5, 020862					84, 4
52	201, 213917	-19, 999607	LF5	1, 606590	1, 619068	1, 599610	83, 4
53	358, 671343	29, 882770					86, 1
54	0, 000000	-58, 991901					85, 9
55	-301, 790975	-29, 667431	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	86, 7
56	640, 247261	-0, 998732					85, 4
57	-111, 315063	-77, 785400	LF5	1, 606590	1, 619068	1, 599610	81, 6
58	-111, 070627	-1, 047719					57, 1
59	-91, 910863	-11, 770454	LF5	1, 606590	1, 619068	1, 599610	55, 9
60	-58, 089956	-8, 095749					47, 6
61	-61, 321099	-42, 499546	CAFUV	1, 441484	1, 444863	1, 439477	47, 4
62	290, 536721	-0, 999509					41, 6
63	-425, 141129	-36, 248294	LF5	1, 606590	1, 619068	1, 599610	37, 8
64	-5184, 051745	-2, 053661					23, 8
65	0, 000000	-5, 000000	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	22, 3
66	0, 000000	-6, 000000					20, 0
67	0, 000000	0, 000000					15, 5

10

20

30

【 0 1 5 8 】

(表 6 A)

40

非球面定数

面	1	6	21	24	29
K	0	0	0	0	0
C1	7,821851E-09	2,019984E-07	-8,707918E-08	1,672282E-08	1,350610E-08
C2	-4,052293E-12	-1,334213E-11	-1,886222E-12	-3,595586E-13	-2,922381E-13
C3	3,821805E-16	-9,167908E-16	2,097888E-18	1,743202E-17	7,887008E-18
C4	-3,079520E-20	1,911693E-19	-2,628100E-20	4,201755E-22	-1,332483E-21
C5	1,934159E-24	-1,067121E-23	4,098044E-24	7,233906E-25	1,160768E-25
C6	-7,115391E-29	1,595763E-28	-3,598416E-28	-8,373187E-29	-1,934082E-30

10

面	31	36	38	56	58
K	0	0	0	0	0
C1	1,350610E-08	1,672282E-08	9,769778E-08	-6,550682E-08	9,791014E-09
C2	-2,922381E-13	-3,595586E-13	3,453391E-12	-1,560644E-13	-7,781176E-12
C3	7,887008E-18	1,743202E-17	2,976442E-16	-5,817328E-17	-9,884985E-17
C4	-1,332483E-21	4,201755E-22	1,726040E-20	-2,712719E-21	6,888650E-21
C5	1,160768E-25	7,233906E-25	-6,147409E-26	1,429099E-25	6,352680E-24
C6	-1,934082E-30	-8,373187E-29	1,933603E-28	-4,115515E-29	-1,260629E-28

【 0 1 5 9 】

20

(表 7)

NA	0, 6							
OBH	62							
WL	405	365, 5	436					
面	半径	厚み	材料	屈折率1	屈折率2	屈折率3	半直径	
0	0, 000000	34, 808993					62, 0	
1	170, 953570	48, 314819	FK5	1, 498902	1, 503934	1, 495918	69, 6	
2	-348, 563652	76, 127192					68, 1	
3	-121, 551034	9, 999796	FK5	1, 498902	1, 503934	1, 495918	55, 0	
4	390, 647960	20, 425620					56, 4	10
5	-137, 936653	18, 688128	FK5	1, 498902	1, 503934	1, 495918	57, 0	
6	1839, 684661	31, 593236					65, 7	
7	-1016, 867210	29, 294191	FK5	1, 498902	1, 503934	1, 495918	78, 5	
8	-162, 136440	0, 999636					82, 1	
9	4389, 236277	36, 772688	FK5	1, 498902	1, 503934	1, 495918	88, 1	
10	-168, 369436	0, 999530					89, 7	
11	175, 091671	35, 550265	FK5	1, 498902	1, 503934	1, 495918	86, 1	
12	-1214, 508467	0, 999763					83, 8	
13	81, 914223	27, 014446	LF5	1, 606590	1, 619068	1, 599610	67, 9	
14	72, 400375	51, 756442					55, 7	20
15	271, 721751	52, 860899	FK5	1, 498902	1, 503934	1, 495918	41, 6	
16	82, 426550	25, 551029					33, 3	
17	-92, 405936	26, 193583	FK5	1, 498902	1, 503934	1, 495918	36, 9	
18	-78, 985036	51, 966934					44, 4	
19	736, 381190	40, 572456	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	60, 1	
20	-109, 010821	0, 999212					62, 5	
21	-234, 728770	16, 781333	LF5	1, 606590	1, 619068	1, 599610	60, 9	
22	-146, 225510	76, 172833					61, 6	
23	0, 000000	-66, 560378	REFL				47, 7	
24	-299, 050945	-30, 000133	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	57, 7	
25	323, 230184	-319, 705713					59, 3	30
26	135, 177370	-15, 000000	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	69, 1	
27	766, 049320	-29, 585170					75, 3	
28	142, 363008	-15, 000000	FK5	1, 498902	1, 503934	1, 495918	79, 4	
29	487, 000553	-63, 633859					95, 8	

【 0 1 6 0 】

(表 7 続 き)

30	223,534072	63,633859	REFL				124,3	
31	487,000553	15,000000	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	103,0	
32	142,363008	29,585170					88,0	
33	766,049320	15,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	86,7	
34	135,177370	319,705713					78,2	
35	323,230184	30,000133	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	65,1	
36	-299,050945	66,560378					63,5	
37	0,000000	-103,992166	REFL				48,2	
38	-103,786383	-42,306734	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	63,4	
39	228,514801	-0,999313					62,2	10
40	-220,182594	-9,999287	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	57,5	
41	-110,370872	-28,069207					53,2	
42	138,302084	-9,999765	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	52,7	
43	-213,235355	-9,705758					55,0	
44	-1047,828065	-23,921683	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	56,3	
45	142,824452	-9,454040					58,2	
46	104,729965	-19,886717	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	58,5	
47	140,641782	-104,824622					64,1	
48	-169,227381	-16,128099	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	83,4	
49	-222,667961	-105,563157					82,5	20
50	0,000000	21,631658					87,1	
51	-248,029065	-44,545250	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	86,8	
52	205,620581	-5,466712					86,0	
53	189,539651	-20,000871	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	85,3	
54	360,155646	-38,897623					88,2	
55	-290,846282	-33,599052	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	88,7	
56	436,910026	-0,998269					87,2	
57	-107,156836	-82,856699	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	80,9	
58	-131,854211	-4,919893					53,9	
59	-133,325829	-9,999244	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	52,0	
60	-53,333982	-7,270691					42,6	30
61	-55,970923	-33,068995	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	42,3	
62	205,125551	-0,990514					38,8	
63	-2418,727152	-26,895913	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	35,0	
64	-1099,461984	-2,248719					23,8	
65	0,000000	-5,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	22,3	
66	0,000000	-6,000000					20,0	
67	0,000000	0,000000					15,5	

【 0 1 6 1 】

(表 7 A)

非球面定数

面	1	10	25	28	37
K	0	0	0	0	0
C1	-2, 114185E-08	1, 054702E-07	-4, 275135E-08	3, 021420E-08	4, 868775E-08
C2	-1, 750724E-12	-3, 764752E-13	-1, 372984E-12	-1, 683656E-13	-5, 672263E-13
C3	1, 274243E-16	-3, 742119E-16	1, 762178E-17	-8, 145104E-18	9, 474618E-17
C4	-1, 457299E-20	-9, 898545E-20	-2, 356683E-20	8, 879145E-21	-2, 107717E-21
C5	1, 135473E-24	-2, 100825E-24	5, 272291E-24	-1, 554926E-24	8, 157939E-26
C6	-4, 050698E-29	-1, 945638E-27	-5, 662110E-28	1, 021591E-28	1, 338073E-29

10

面	39	48	50	68	70
K	0	0	0	0	0
C1	4, 868775E-08	3, 021420E-08	1, 900388E-08	-5, 250831E-08	1, 468736E-08
C2	-5, 672263E-13	-1, 683656E-13	3, 608771E-13	-9, 201980E-13	-3, 031829E-12
C3	9, 474618E-17	-8, 145104E-18	-5, 270168E-17	-1, 540202E-17	-1, 306691E-15
C4	-2, 107717E-21	8, 879145E-21	2, 365395E-20	-4, 940151E-21	1, 417316E-19
C5	8, 157939E-26	-1, 554926E-24	-6, 443516E-24	3, 358184E-25	-1, 951105E-23
C6	1, 338073E-29	1, 021591E-28	7, 466478E-28	-3, 228554E-29	1, 556934E-27

【 0 1 6 2 】

20

(表 8)

NA 0, 6
OBH 62
WL 405

360

370

436

面	半径	厚み	材料	屈折率1	屈折率2	屈折率3	屈折率4	半直径
0	0, 000000	44, 811170						62, 0
1	210, 182433	30, 174472	FK5	1, 498902	1, 504780	1, 503272	1, 495918	70, 7
2	-326, 391489	88, 409321						70, 5
3	-130, 618974	9, 999831	FK5	1, 498902	1, 504780	1, 503272	1, 495918	58, 2
4	267, 126803	19, 554220						60, 3
5	-220, 570364	9, 999316	FK5	1, 498902	1, 504780	1, 503272	1, 495918	61, 2
6	-1327, 710736	47, 668085						66, 0
7	-1284, 621428	39, 185850	FK5	1, 498902	1, 504780	1, 503272	1, 495918	85, 3
8	-137, 855924	0, 999817						88, 3
9	487, 178102	33, 104977	FK5	1, 498902	1, 504780	1, 503272	1, 495918	91, 2
10	-293, 325530	1, 000628						91, 0
11	105, 926259	43, 802410	FK5	1, 498902	1, 504780	1, 503272	1, 495918	80, 6
12	324, 516337	1, 015188						73, 5
13	118, 963359	29, 431556	LF5	1, 606590	1, 621262	1, 617371	1, 599610	65, 9
14	108, 340385	31, 172710						51, 7
15	1396, 105980	23, 321303	FK5	1, 498902	1, 504780	1, 503272	1, 495918	38, 9
16	71, 044081	51, 368380						27, 7
17	-126, 060484	41, 789099	FK5	1, 498902	1, 504780	1, 503272	1, 495918	41, 1
18	-99, 403845	22, 583650						52, 7
19	857, 805509	74, 427244	CAFUV	1, 441484	1, 445430	1, 444419	1, 439477	61, 4
20	-122, 114606	5, 533749						67, 9
21	-209, 762399	16, 947254	LF5	1, 606590	1, 621262	1, 617371	1, 599610	66, 4
22	-146, 253848	70, 999492						67, 7
23	0, 000000	-63, 249129	REFL					55, 7
24	-208, 552769	-29, 999696	CAFUV	1, 441484	1, 445430	1, 444419	1, 439477	61, 6
25	424, 428567	-324, 827916						62, 2
26	139, 396378	-15, 000000	SILUV	1, 469595	1, 475299	1, 473834	1, 466705	59, 9
27	625, 984557	-25, 225350						66, 1
28	135, 274526	-15, 000000	FK5	1, 498902	1, 504780	1, 503272	1, 495918	70, 5
29	456, 048088	-54, 202821						84, 4

10

20

30

【 0 1 6 3 】

(表 8 続 き)

30	212,790280	54,202821	REFL					108,3	
31	456,048088	15,000000	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	92,1	
32	135,274526	25,225350						80,1	
33	625,984557	15,000000	SILUV	1,469595	1,475299	1,473834	1,466705	79,2	
34	139,396378	324,827916						73,1	
35	424,428567	29,999696	CAFUV	1,441484	1,445430	1,444419	1,439477	69,2	
36	-208,552769	63,249129						68,4	
37	0,000000	-75,015181	REFL					53,8	
38	-102,357875	-40,431118	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	63,3	
39	310,580801	-1,000180						61,5	10
40	-1464,052553	-10,066792	LF5	1,606590	1,621262	1,617371	1,599610	58,8	
41	-119,074302	-65,705900						54,3	
42	252,233957	-10,774655	LF5	1,606590	1,621262	1,617371	1,599610	52,7	
43	-237,924629	-12,657002						54,1	
44	-982,309305	-24,602972	CAFUV	1,441484	1,445430	1,444419	1,439477	56,1	
45	134,357661	-9,844974						57,7	
46	97,826963	-17,230429	FK5	1,498902	1,504780	1,503272	1,495918	57,7	
47	168,004193	-87,239672						63,4	
48	-175,762982	-25,893749	CAFUV	1,441484	1,445430	1,444419	1,439477	82,9	
49	-699,027803	-17,210584						82,3	20
50	-149743,474739	-29,904546	CAFUV	1,441484	1,445430	1,444419	1,439477	81,9	
51	177,810695	-4,217914						81,7	
52	171,401135	-15,000047	LLF1	1,569035	1,580929	1,577796	1,563301	80,5	
53	384,037176	-34,560433						81,3	
54	0,000000	-36,090269						77,8	
55	-275,985796	-34,854093	SILUV	1,469595	1,475299	1,473834	1,466705	85,0	
56	366,768308	-0,999932						84,9	
57	-122,626193	-68,301753	LLF1	1,569035	1,580929	1,577796	1,563301	83,4	
58	-153,700052	-0,999887						66,1	
59	-112,945765	-17,455396	LLF1	1,569035	1,580929	1,577796	1,563301	65,1	30
60	-74,284310	-5,894701						56,6	
61	-78,256214	-41,228121	CAFUV	1,441484	1,445430	1,444419	1,439477	56,7	
62	276,325888	-1,000199						53,4	
63	-269,254473	-61,769289	LLF1	1,569035	1,580929	1,577796	1,563301	47,5	
64	3062,914635	-1,999421						23,9	
65	0,000000	-5,000000	SILUV	1,469595	1,475299	1,473834	1,466705	22,3	
66	0,000000	-6,000000						20,0	
67	0,000000	0,000000						15,5	

【 0 1 6 4 】

(表 8 A)

40

非球面定数

面	1	6	21	24	29
K	0	0	0	0	0
C1	1, 862046E-08	1, 365542E-07	-7, 395316E-08	1, 970356E-08	9, 523709E-09
C2	-2, 828954E-12	-2, 458877E-12	-2, 209504E-12	5, 033917E-14	-1, 069547E-13
C3	2, 151571E-16	-5, 576839E-16	-2, 590830E-18	3, 242161E-17	-4, 405911E-17
C4	-1, 753914E-20	-1, 015221E-20	-2, 666927E-20	-5, 485376E-21	7, 942019E-21
C5	1, 937299E-24	6, 091438E-24	4, 049751E-24	9, 280815E-25	-7, 143343E-25
C6	-1, 158966E-28	-2, 884858E-28	-3, 738732E-28	-6, 499681E-29	2, 799653E-29

10

面	31	36	38	56	58
K	0	0	0	0	0
C1	9, 523709E-09	1, 970356E-08	9, 873859E-08	-5, 846436E-08	-6, 029739E-08
C2	-1, 069547E-13	5, 033917E-14	5, 158775E-12	-8, 519802E-13	-5, 656839E-12
C3	-4, 405911E-17	3, 242161E-17	3, 420249E-16	1, 039592E-17	4, 131463E-16
C4	7, 942019E-21	-5, 485376E-21	4, 395630E-20	-1, 484379E-20	-1, 406823E-19
C5	-7, 143343E-25	9, 280815E-25	-7, 030301E-25	1, 237068E-24	2, 390138E-23
C6	2, 799653E-29	-6, 499681E-29	3, 152174E-28	-7, 465268E-29	-1, 707603E-27

【 0 1 6 5 】

20

(表 9)

NA 0,8
OBH 62
WL 365,5

363

368

面	半径	厚み	材料	屈折率1	屈折率2	屈折率3	半直径
0	0,000000	42,281274					62,0
1	166,908129	34,871030	FK5	1,503934	1,504313	1,503563	74,1
2	-341,893289	0,999918					73,8
3	131,686316	35,947291	LLF1	1,579164	1,579953	1,578396	69,3
4	107,532111	30,309772					58,7
5	-195,556850	9,999800	FK5	1,503934	1,504313	1,503563	58,2
6	112,709650	26,612732					58,7
7	-382,031523	30,093650	FK5	1,503934	1,504313	1,503563	60,8
8	-330,495973	13,081852					70,2
9	528,171459	47,830904	FK5	1,503934	1,504313	1,503563	81,2
10	-126,002394	0,990028					83,4
11	105,174708	94,034451	LF5	1,619068	1,620048	1,618115	77,0
12	292,344324	21,869742					49,7
13	-234,084742	9,993574	LF5	1,619068	1,620048	1,618115	41,2
14	111,571995	10,348907					36,6
15	-4730,475364	16,938839	FK5	1,503934	1,504313	1,503563	38,9
16	-130,801477	33,406348					42,5
17	-122,494260	16,927788	CAFUV	1,444863	1,445117	1,444614	52,8
18	-91,730678	44,231022					56,6
19	-866,948845	33,656774	CAFUV	1,444863	1,445117	1,444614	71,7
20	-115,085426	4,628809					73,6
21	-349,685621	20,995629	LF5	1,619068	1,620048	1,618115	72,0
22	-163,782660	107,526737					72,9
23	0,000000	-55,573674	REFL				54,6
24	-154,658152	-29,626090	CAFUV	1,444863	1,445117	1,444614	65,6
25	572,342589	-288,913729					66,3
26	110,160044	-15,000000	SILUV	1,474477	1,474845	1,474117	74,0
27	1661,316293	-30,266996					87,2
28	158,023919	-15,000000	FK5	1,503934	1,504313	1,503563	89,5
29	461,458850	-36,803870					105,7

10

20

30

【 0 1 6 6 】

(表 9 続 き)

30	184, 050543	36, 803870	REFL				114, 4	
31	461, 458850	15, 000000	FK5	1, 503934	1, 504313	1, 503563	105, 3	
32	158, 023919	30, 266996					90, 4	
33	1661, 316293	15, 000000	SILUV	1, 474477	1, 474845	1, 474117	88, 7	
34	110, 160044	288, 913729					76, 0	
35	572, 342589	29, 626090	CAFUV	1, 444863	1, 445117	1, 444614	69, 8	
36	-154, 658152	55, 573674					69, 3	
37	0, 000000	-102, 983229	REFL				52, 9	
38	-102, 461599	-43, 346204	SILUV	1, 474477	1, 474845	1, 474117	71, 4	
39	800, 608314	-0, 999940					69, 8	10
40	-187, 732221	-10, 035239	LF5	1, 619068	1, 620048	1, 618115	66, 3	
41	-116, 181870	-28, 943519					61, 9	
42	272, 293629	-10, 394818	LF5	1, 619068	1, 620048	1, 618115	61, 6	
43	-152, 134293	-20, 260151					62, 9	
44	-1759, 716053	-78, 616687	LLF1	1, 579164	1, 579953	1, 578396	66, 2	
45	225, 871084	-20, 423140					80, 8	
46	121, 303195	-20, 000179	SILUV	1, 474477	1, 474845	1, 474117	81, 4	
47	151, 175562	-25, 512299					89, 5	
48	-181, 315542	-18, 873440	CAFUV	1, 444863	1, 445117	1, 444614	109, 0	
49	-225, 795277	-79, 146460					108, 0	20
50	-229, 348186	-68, 605482	CAFUV	1, 444863	1, 445117	1, 444614	116, 8	
51	265, 046380	-5, 694596					115, 7	
52	243, 482530	-14, 992693	LF5	1, 619068	1, 620048	1, 618115	113, 9	
53	927, 754944	-20, 172540					113, 1	
54	0, 000000	-10, 314431					110, 0	
55	-228, 338073	-51, 669046	SILUV	1, 474477	1, 474845	1, 474117	112, 6	
56	642, 206527	-0, 999876					110, 6	
57	-154, 052849	-32, 638805	LF5	1, 619068	1, 620048	1, 618115	100, 6	
58	-355, 383378	-8, 665973					94, 9	
59	-103, 705135	-18, 674690	LF5	1, 619068	1, 620048	1, 618115	81, 9	
60	-77, 782031	-7, 387778					68, 5	30
61	-79, 458605	-77, 668297	CAFUV	1, 444863	1, 445117	1, 444614	67, 5	
62	-1050, 909172	-1, 243784					44, 3	
63	-224, 928327	-21, 310075	FK5	1, 503934	1, 504313	1, 503563	40, 6	
64	1305, 278413	-1, 998158					30, 0	
65	0, 000000	-5, 000000	SILUV	1, 474477	1, 474845	1, 474117	26, 8	
66	0, 000000	-6, 000000					23, 6	
67	0, 000000	0, 000000					15, 5	

【 0 1 6 7 】

(表 9 A)

非球面定数

面	1	8	21	24	29
K	0	0	0	0	0
C1	-1,069190E-08	9,416541E-08	-4,595192E-08	3,727563E-08	2,192364E-08
C2	-1,399566E-12	2,525251E-12	-1,284346E-12	2,351610E-13	-4,594443E-13
C3	2,336566E-17	-4,301671E-17	2,845285E-17	1,072476E-16	2,242516E-17
C4	-4,113735E-21	-3,682918E-20	-1,667194E-20	-2,008136E-20	-8,023095E-22
C5	2,551561E-25	-9,663120E-25	2,424974E-24	3,511793E-24	2,390197E-26
C6	-1,622700E-29	-3,447128E-28	-1,780620E-28	-2,459834E-28	-4,678263E-31

10

面	31	36	38	56	58
K	0	0	0	0	0
C1	2,192364E-08	3,727563E-08	8,350902E-08	9,823458E-09	-8,214838E-08
C2	-4,594443E-13	2,351610E-13	4,809445E-12	-4,162035E-12	5,487551E-12
C3	2,242516E-17	1,072476E-16	2,268610E-16	2,899377E-16	-6,017095E-16
C4	-8,023095E-22	-2,008136E-20	3,941727E-20	-1,644217E-20	4,538588E-20
C5	2,390197E-26	3,511793E-24	-1,253329E-24	5,972180E-25	-2,358426E-24
C6	-4,678263E-31	-2,459834E-28	4,149074E-28	-1,129886E-29	6,188033E-29

【 0 1 6 8 】

20

(表 1 0)

NA	0,6							
OBH	62							
WL	405	365,5	436					
面	半径	厚み	材料	屈折率1	屈折率2	屈折率3	半直径	
0	0,000000	30,999411					62,0	
1	160,049940	28,873463	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	69,0	
2	-612,800703	0,999346					68,7	
3	562,651054	9,999487	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	67,8	
4	124,936938	4,912088					65,2	10
5	133,737902	30,988506	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	66,1	
6	-610,136767	82,523616					65,6	
7	5664,315171	10,019147	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	55,0	
8	97,875194	12,798979					52,9	
9	138,126408	13,783375	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	54,7	
10	227,439334	35,032188					54,5	
11	-140,068683	10,450931	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	56,6	
12	-177,688800	0,999944					59,6	
13	473,598029	34,727404	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	62,4	
14	-139,868570	19,240488					63,5	20
15	-1801,386070	10,050254	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	58,5	
16	3294,618402	1,054855					57,5	
17	80,335540	47,778166	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	54,8	
18	68,155225	10,902616					39,5	
19	133,649980	80,251715	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	38,5	
20	154,882915	55,279023					42,6	
21	-252,086079	20,530066	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	56,7	
22	-110,793858	14,517252					59,6	
23	2813,840547	30,324966	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	64,2	
24	-117,864605	0,999050					65,1	30
25	-395,675659	12,899412	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	62,5	
26	-335,951936	116,084001					62,2	
27	0,000000	-65,130908	REFL				50,3	
28	-242,480715	-28,237391	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	62,5	
29	288,591213	-2,780254					63,7	
30	-708,094923	-19,844459	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	64,0	
31	-197,420763	-2,401508					63,6	
32	-176,742702	-34,902913	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	64,3	
33	840,762679	-242,286700					64,4	
34	112,979620	-15,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	58,0	40
35	-346,487350	-33,491143					64,2	
36	159,571570	-15,000000	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	69,2	
37	464,555752	-45,208278					82,6	

【 0 1 6 9 】

(表 1 0 続 き)

38	179,131521	45,208278	REFL				102,3	
39	464,555752	15,000000	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	88,6	
40	159,571570	33,491143					77,4	
41	-346,487350	15,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	75,1	
42	112,979620	242,286700					66,3	
43	840,762679	34,902913	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	73,8	
44	-176,742702	2,401508					73,8	
45	-197,420763	19,844459	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	72,7	
46	-708,094923	2,780254					73,3	
47	288,591213	28,237391	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	72,8	10
48	-242,480715	65,130908					71,9	
49	0,000000	-109,174016	REFL				54,2	
50	444,534782	-14,410283	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	56,3	
51	556,321250	-21,392174					58,3	
52	-197,721972	-43,357955	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	63,3	
53	-406,898787	-99,037117					61,8	
54	-359,291375	-20,716603	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	64,5	
55	-201,379285	-12,859452					63,2	
56	-1468,206088	-18,746270	FK5	1,498902	1,503934	1,495918	63,7	
57	284,407201	-17,054527					64,3	20
58	111,237525	-15,013460	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	64,2	
59	305,091626	-3,499576					69,8	
60	-155,067381	-19,151255	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	75,7	
61	-272,458298	-83,309836					75,2	
62	0,000000	9,395386					79,4	
63	-3096,938214	-23,798328	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	78,9	
64	251,532882	-9,058033					79,2	
65	186,412154	-16,074626	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	79,3	
66	220,346643	-0,999405					83,4	
67	-601,395145	-36,909051	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	87,1	30
68	210,054860	-0,997007					88,0	
69	-128,898773	-94,527249	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	85,9	
70	-120,282475	-3,487284					59,8	
71	-99,777439	-12,100203	LF5	1,606590	1,619068	1,599610	58,6	
72	-68,345307	-5,410149					52,1	
73	-71,199596	-40,265588	CAFUV	1,441484	1,444863	1,439477	52,2	
74	214,629531	-0,999455					48,8	
75	-239,769691	-46,991889	LLF1	1,569035	1,579164	1,563301	42,5	
76	-825,534544	-2,340391					23,8	
77	0,000000	-5,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	22,3	40
78	0,000000	-6,000000					20,0	
79	0,000000	0,000000					15,5	

【 0 1 7 0 】

(表 1 0 A)

非球面定数

面	1	10	25	28	37
K	0	0	0	0	0
C1	-2,114185E-08	1,054702E-07	-4,275135E-08	3,021420E-08	4,868775E-08
C2	-1,750724E-12	-3,764752E-13	-1,372984E-12	-1,683656E-13	-5,672263E-13
C3	1,274243E-16	-3,742119E-16	1,762178E-17	-8,145104E-18	9,474618E-17
C4	-1,457299E-20	-9,898545E-20	-2,356683E-20	8,879145E-21	-2,107717E-21
C5	1,135473E-24	-2,100825E-24	5,272291E-24	-1,554926E-24	8,157939E-26
C6	-4,050698E-29	-1,945638E-27	-5,662110E-28	1,021591E-28	1,338073E-29

10

面	39	48	50	68	70
K	0	0	0	0	0
C1	4,868775E-08	3,021420E-08	1,900388E-08	-5,250831E-08	1,468736E-08
C2	-5,672263E-13	-1,683656E-13	3,608771E-13	-9,201980E-13	-3,031829E-12
C3	9,474618E-17	-8,145104E-18	-5,270168E-17	-1,540202E-17	-1,306691E-15
C4	-2,107717E-21	8,879145E-21	2,365395E-20	-4,940151E-21	1,417316E-19
C5	8,157939E-26	-1,554926E-24	-6,443516E-24	3,358184E-25	-1,951105E-23
C6	1,338073E-29	1,021591E-28	7,466478E-28	-3,228554E-29	1,556934E-27

【 0 1 7 1 】

20

(表 1 1)

NA 0,5
OBH 62

面	半径	厚み	材料	屈折率	半直径	
0	0,000000	65,555132			62,0	
1	-262,692796	58,390159	SILUV	1,469595	68,9	
2	-335,491269	1,002142			80,9	
3	-485,982299	95,402145	SILUV	1,469595	81,6	
4	-178,089496	0,998908			95,0	
5	301,194343	30,926496	SILUV	1,469595	93,9	10
6	-730,523345	0,998615			92,7	
7	134,963732	23,829147	SILUV	1,469595	83,9	
8	214,686465	0,998184			79,9	
9	94,793549	53,781244	SILUV	1,469595	72,2	
10	80,671778	12,965521			49,6	
11	143,725446	13,924891	SILUV	1,469595	47,4	
12	56,122354	30,110864			37,8	
13	184,633446	9,999420	SILUV	1,469595	32,2	
14	70,709704	50,069936			28,7	20
15	-88,188113	9,998814	SILUV	1,469595	33,7	
16	1639,141921	38,152732			42,3	
17	-452,766366	47,717755	SILUV	1,469595	71,2	
18	-90,282467	0,999222			77,1	
19	-203,492844	18,252322	SILUV	1,469595	84,3	
20	-151,049946	0,998618			87,6	
21	3424,253364	28,068559	SILUV	1,469595	93,4	
22	-275,141884	0,998939			94,7	
23	1095,872351	30,146098	SILUV	1,469595	95,0	
24	-289,000591	271,986113			94,9	30
25	0,000000	-165,255256	REFL		44,8	
26	-543,613185	-29,999930	SILUV	1,469595	74,6	
27	364,048320	-677,088340			76,0	
28	225,653383	-15,000000	SILUV	1,469595	128,6	
29	-8889,084188	-83,801565			147,7	

【 0 1 7 2 】

(表 1 1 続 き)

30	406,604358	83,801565	REFL		172, 2	
31	-8889,084188	15,000000	SILUV	1,469595	153, 4	
32	225,653383	677,088340			136, 8	
33	364,048320	29,999930	SILUV	1,469595	91, 3	
34	-543,613185	165,255256			89, 9	
35	0,000000	-60,999486	REFL		46, 5	
36	-248,722657	-9,999624	SILUV	1,469595	49, 7	
37	-124,021747	-3,776030			49, 8	
38	-126,072837	-20,177162	SILUV	1,469595	50, 8	10
39	-2579,523815	-40,088038			50, 9	
40	-304,558745	-24,999919	SILUV	1,469595	51, 7	
41	-228,739251	-127,090268			50, 6	
42	-195,231753	127,090268	REFL		56, 5	
43	-228,739251	24,999919	SILUV	1,469595	130, 5	
44	-304,558745	15,449014			149, 9	
45	-353,360267	-15,449014	REFL		163, 0	
46	-304,558745	-24,999919	SILUV	1,469595	159, 3	
47	-228,739251	-142,090268			148, 6	
48	0,000000	-10,000000	SILUV	1,469595	140, 4	20
49	0,000000	-0,999090			139, 8	
50	-208,937715	-54,704843	SILUV	1,469595	135, 0	
51	-3444,288303	-0,998850			131, 9	
52	-159,376740	-30,213730	SILUV	1,469595	113, 5	
53	-226,044729	-0,998872			107, 7	
54	-99,116898	-28,577130	SILUV	1,469595	89, 5	
55	-104,030988	-24,590921			80, 3	
56	-180,364312	-9,999790	SILUV	1,469595	77, 1	
57	-68,074055	-93,378648			58, 9	
58	-87,812319	-27,638274	SILUV	1,469595	33, 9	30
59	-248,098009	-5,059518			25, 4	
60	0,000000	-5,000000	SILUV	1,469595	23, 1	
61	0,000000	-10,000000			21, 3	
62	0,000000	0,000000			15, 5	

【 0 1 7 3 】

(表 1 1 A)

非球面定数

面	1	13	20	27	29
K	0	0	0	0	0
C1	-5,755134E-08	1,257426E-07	1,746543E-08	-1,028877E-08	4,311682E-09
C2	-1,878304E-12	3,158426E-11	6,867790E-13	1,901025E-14	-4,199724E-14
C3	-6,883986E-17	5,520463E-15	2,422369E-17	1,731970E-18	4,941219E-19
C4	-1,810212E-20	1,538498E-18	8,419344E-22	-3,546398E-23	-4,176595E-24
C5	2,094060E-24	-6,359530E-22	2,862393E-26	2,594256E-27	5,734147E-30
C6	-2,075578E-28	-2,859857E-25	2,452940E-30	-2,169849E-31	1,584763E-34

10

面	31	33	40	42	44
K	0	0	0	1,096180	0
C1	4,311682E-09	-1,028877E-08	-8,491784E-10	0,000000E+00	-8,491784E-10
C2	-4,199724E-14	1,901025E-14	-1,138273E-14	0,000000E+00	-1,138273E-14
C3	4,941219E-19	1,731970E-18	-1,123799E-19	0,000000E+00	-1,123799E-19
C4	-4,176595E-24	-3,546398E-23	-1,110851E-24	0,000000E+00	-1,110851E-24
C5	5,734147E-30	2,594256E-27	-1,428900E-29	0,000000E+00	-1,428900E-29
C6	1,584763E-34	-2,169849E-31	-2,789684E-34	0,000000E+00	-2,789684E-34

20

面	46	51	59
K	0	0	0
C1	-8,491784E-10	-8,342928E-09	6,045965E-07
C2	-1,138273E-14	5,550791E-14	2,453289E-11
C3	-1,123799E-19	-4,161956E-19	-5,303577E-14
C4	-1,110851E-24	-1,852225E-24	-1,222148E-16
C5	-1,428900E-29	6,941238E-29	1,863660E-19
C6	-2,789684E-34	9,151959E-34	-1,271608E-22

【 0 1 7 4 】

30

(表 1 3)

NA 0, 5
OBH 63, 13

面	半径	厚み	材料	屈折率	半直径	
0	0, 000000	30, 999901			63, 1	
1	352, 100506	9, 999238	SILUV	1, 469595	67, 6	
2	299, 112304	0, 999782			68, 3	
3	160, 170855	35, 197130	SILUV	1, 469595	70, 0	
4	-272, 295394	37, 070906			69, 7	10
5	4280, 985563	9, 999101	SILUV	1, 469595	61, 3	
6	144, 106953	41, 623829			58, 6	
7	-80, 869280	10, 596275	SILUV	1, 469595	58, 6	
8	-147, 787619	1, 414406			65, 2	
9	-354, 217751	10, 723672	SILUV	1, 469595	67, 6	
10	262, 847784	20, 206270			73, 8	
11	-537, 366032	24, 136927	SILUV	1, 469595	76, 2	
12	-179, 202003	1, 004382			80, 4	
13	433, 783416	49, 527682	SILUV	1, 469595	91, 4	20
14	-163, 736190	0, 999059			93, 1	
15	257, 199757	25, 769544	SILUV	1, 469595	89, 4	
16	15065, 300591	0, 998689			87, 7	
17	153, 282386	24, 817103	SILUV	1, 469595	81, 5	
18	354, 352062	0, 998458			77, 9	
19	103, 512120	49, 204101	SILUV	1, 469595	69, 6	
20	63, 335357	5, 215736			45, 8	
21	62, 448757	53, 951200	SILUV	1, 469595	44, 2	
22	52, 316362	36, 399551			21, 7	
23	-57, 975068	9, 999020	SILUV	1, 469595	27, 3	30
24	-168, 359577	21, 370197			33, 7	
25	-110, 026859	9, 999453	SILUV	1, 469595	44, 4	
26	-309, 306552	0, 998977			51, 5	
27	617, 306803	52, 552537	SILUV	1, 469595	57, 4	
28	-751, 837962	3, 136581			75, 7	
29	-4472, 469303	36, 790931	SILUV	1, 469595	79, 2	
30	-335, 977329	0, 999700			88, 5	
31	349, 440658	48, 466362	SILUV	1, 469595	95, 7	
32	-161, 233077	0, 999113			98, 5	40
33	251, 193853	43, 001663	SILUV	1, 469595	102, 9	
34	-479, 286567	95, 998539			102, 0	
35	0, 000000	-230, 845227	REFL		74, 2	
36	137, 186190	-10, 000000	SILUV	1, 469595	62, 5	
37	412, 408427	-383, 574884			65, 4	

【 0 1 7 5 】

(表 1 3 続 き)

38	933,172212	-30,001428	SILUV	1,469595	118,8	
39	261,021411	-274,087200			120,2	
40	365,416470	-15,000000	SILUV	1,469595	116,7	
41	-276,031009	-54,345556			122,4	
42	355,768801	54,345556	REFL		125,4	
43	-276,031009	15,000000	SILUV	1,469595	121,0	
44	365,416470	274,087200			112,0	
45	261,021411	30,001428	SILUV	1,469595	111,1	
46	933,172212	383,574884			109,7	10
47	412,408427	10,000000	SILUV	1,469595	69,3	
48	137,186190	230,845227			66,6	
49	0,000000	-293,610022	REFL		82,2	
50	2450,097020	-25,000000	SILUV	1,469595	126,2	
51	582,198145	25,000000	REFL	1,469595	128,7	
52	2450,097020	173,510495			124,9	
53	310,101034	-173,510495	REFL		56,8	
54	2450,097020	-25,000000	SILUV	1,469595	56,6	
55	582,198145	-14,321186			56,8	20
56	159,877367	-9,999169	SILUV	1,469595	56,5	
57	-649,160080	-20,169434			58,7	
58	188,208878	-67,830259	SILUV	1,469595	60,1	
59	147,140721	-0,998999			73,6	
60	-496,278915	-28,772948	SILUV	1,469595	75,8	
61	229,044072	-0,998595			75,9	
62	-176,316076	-25,458327	SILUV	1,469595	71,6	
63	1913,113358	8,841967			70,8	
64	0,000000	-9,840838			71,8	
65	-97,753416	-47,419715	SILUV	1,469595	67,0	30
66	-92,271860	-30,224639			53,3	
67	437,045983	-9,999462	SILUV	1,469595	50,9	
68	-72,399349	-6,511379			47,1	
69	-82,744883	-28,425240	SILUV	1,469595	48,1	
70	732,945497	-0,999834			47,1	
71	-86,412037	-19,156627	SILUV	1,469595	44,7	
72	-253,551246	-1,075789			41,7	
73	-73,478775	-23,301264	SILUV	1,469595	38,6	
74	-72,591632	-9,781690			30,4	40
75	-469,190155	-12,924465	SILUV	1,469595	28,7	
76	155,107728	-2,055207			25,7	
77	0,000000	-5,000000	SILUV	1,469595	23,4	
78	0,000000	-10,000000			21,6	
79	0,000000	0,000000			15,8	

【 0 1 7 6 】

(表 1 3 A)

非球面定数

面	1	25	31	39	41
K	0	0	0	0	0
C1	-3,661258E-07	3,464559E-07	-1,305972E-07	-8,640857E-09	3,747660E-08
C2	1,843015E-10	-1,827813E-11	5,295276E-12	4,122788E-14	-7,383285E-13
C3	-6,268258E-14	9,923469E-15	-3,005150E-16	-1,211841E-18	2,271622E-17
C4	1,260432E-17	3,105717E-18	7,641800E-21	2,586648E-23	-6,270152E-22
C5	-1,377543E-21	-1,902555E-21	8,273928E-26	-6,141904E-28	1,356418E-26
C6	6,363984E-26	2,869632E-25	-9,242276E-30	6,191402E-33	-1,478323E-31

10

面	43	45	51	53	55
K	0	0	0	0	0
C1	3,747660E-08	-8,640857E-09	-5,179072E-10	-2,124238E-09	-5,179072E-10
C2	-7,383285E-13	4,122788E-14	-1,738331E-15	-1,918149E-14	-1,738331E-15
C3	2,271622E-17	-1,211841E-18	1,880377E-19	2,010594E-16	1,880377E-19
C4	-6,270152E-22	2,586648E-23	-1,509297E-23	-3,842452E-20	-1,509297E-23
C5	1,356418E-26	-6,141904E-28	6,484461E-28	8,836848E-24	6,484461E-28
C6	-1,478323E-31	6,191402E-33	-1,081688E-32	-8,715692E-28	-1,081688E-32

20

面	62	67	76
K	0	0	0
C1	3,148507E-08	-1,234016E-07	-1,048054E-06
C2	1,380670E-12	-4,625862E-12	1,803949E-09
C3	3,697255E-17	1,096597E-15	-2,780582E-12
C4	5,878420E-21	-2,873895E-19	3,426059E-15
C5	-5,716172E-25	5,922872E-23	-2,424520E-18
C6	4,374170E-29	-7,953932E-27	7,260331E-22

【 0 1 7 7 】

30

(表 1 5)

NA 0,6
OBH 5
WL 405

365,5

436

面	半径	厚み	材料	屈折率1	屈折率2	屈折率3	半直径
0	0,000000	100,000000					5,00
1	0,000000	23,978926					6,69
2	100,279375	4,997550	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	5,49
3	38,347603	48,860824					5,22
4	-63,524424	7,500790	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	4,67
5	-59,086406	3,427079					4,79
6	21,437764	-3,427079	REFL				4,72
7	-59,086406	-7,500790	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	6,71
8	-63,524424	-48,860824					8,64
9	38,347603	-4,997550	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	26,51
10	100,279375	-3,978926					32,70
11	68,011922	3,978926	REFL				33,28
12	100,279375	4,997550	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	32,95
13	38,347603	48,860824					28,42
14	-63,524424	7,500790	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	25,42
15	-59,086406	5,427079					25,92
16	0,000000	2,000000	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	24,76
17	0,000000	2,987131					24,61
18	225,245996	7,432028	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	23,91
19	-69,420918	19,596774					23,69
20	23,134512	20,599033	SILUV	1,469595	1,474477	1,466705	13,22

10

20

【 0 1 7 8 】

(表 1 5 続 き)

21	-276, 448248	0, 870385					5, 51	
22	-28, 412945	1, 997697	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	5, 13	
23	21, 255456	1, 109912					4, 03	
24	-31, 221803	2, 081591	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	3, 80	
25	-16, 655361	21, 725692					3, 28	
26	-28, 142553	-16, 629382	REFL				9, 12	
27	28, 142553	23, 241691	REFL				8, 70	
28	-27, 198294	3, 352300	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	4, 74	
29	-9, 909839	0, 198323					5, 66	
30	259, 226768	3, 184463	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	6, 40	10
31	-21, 910436	0, 199199					6, 86	
32	27, 736079	42, 459484	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	7, 28	
33	-36, 360999	0, 198349					8, 60	
34	48, 850843	3, 912770	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	8, 47	
35	-29, 828770	0, 190193					8, 27	
36	11, 325954	4, 718220	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	7, 08	
37	-82, 204408	1, 146759					6, 19	
38	-19, 195841	3, 439905	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	5, 78	
39	-17, 019410	0, 355875					4, 71	
40	0, 000000	2, 000000	SILUV	1, 469595	1, 474477	1, 466705	3, 98	20
41	0, 000000	4, 000000					3, 12	
42	0, 000000	0, 000000					0, 25	

【 0 1 7 9 】

(表 1 5 A)

円錐定数

円錐 定数

面 K

26 -4, 263306

27 -4, 263306

30

【 符号の説明 】

【 0 1 8 0 】

I L L 照明系

M マスク

P O 投影対物系

S 1次放射線源

W S ウェーハスキャナ

40

【図 1】

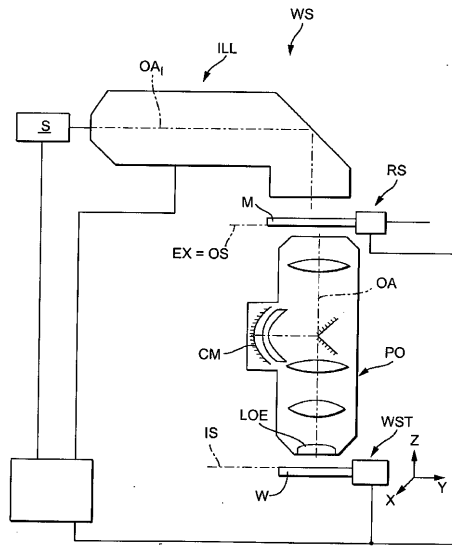


Fig. 1

【図 2 A】

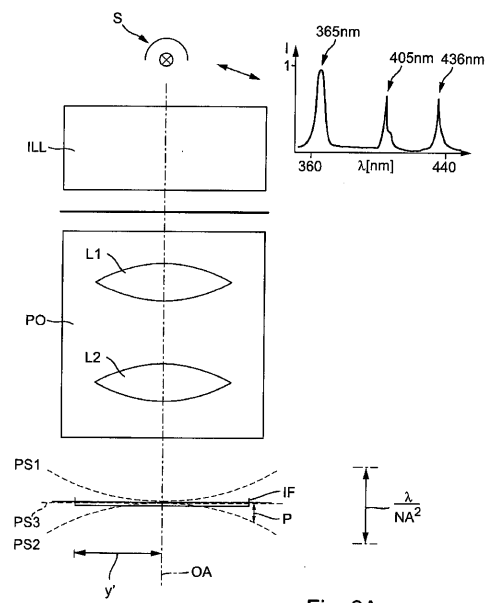


Fig. 2A

【図 2 B】

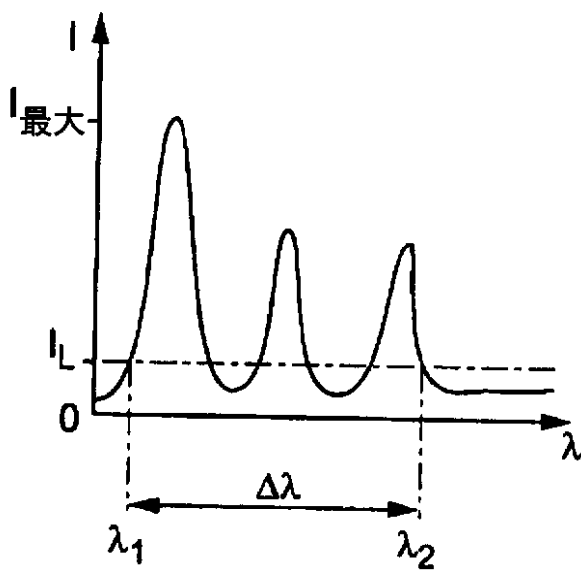


Fig. 2B

【図 2 C】

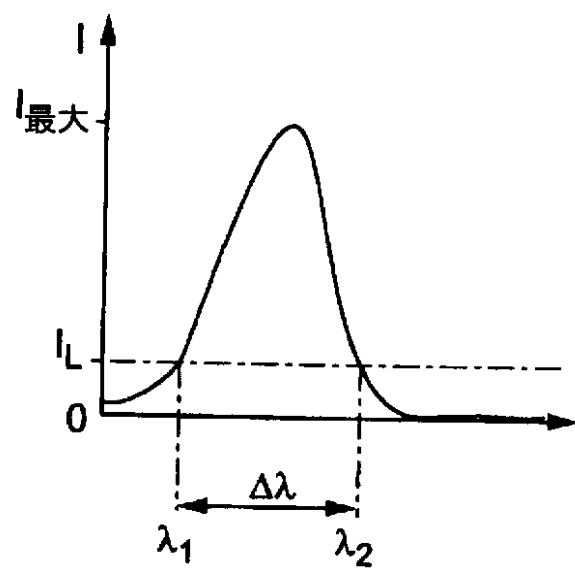
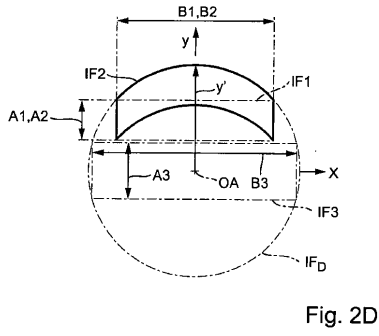
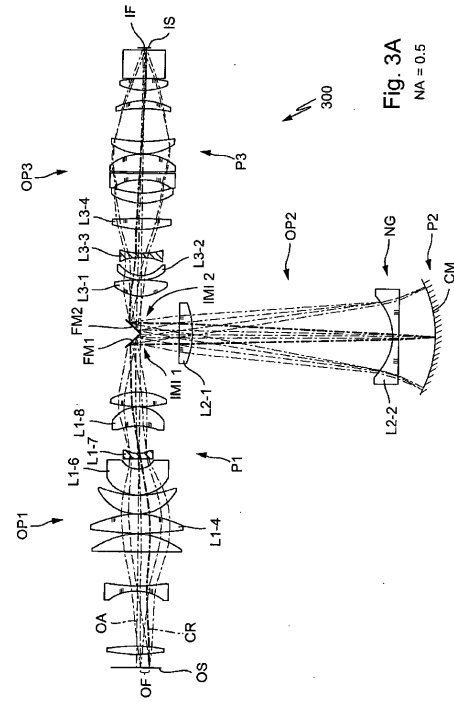


Fig. 2C

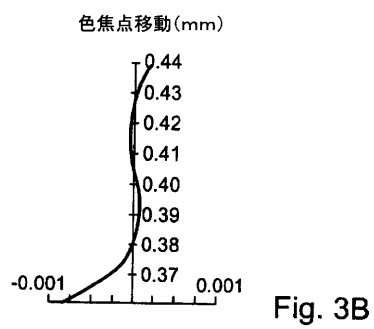
【図 2 D】



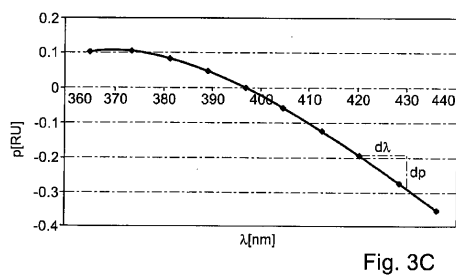
【図 3 A】



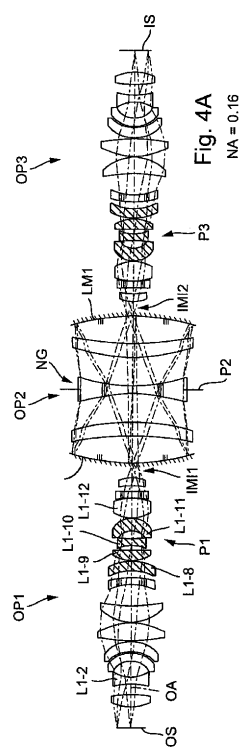
【図 3 B】



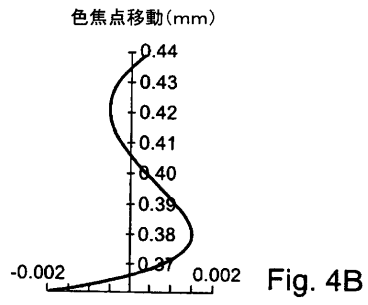
【図 3 C】



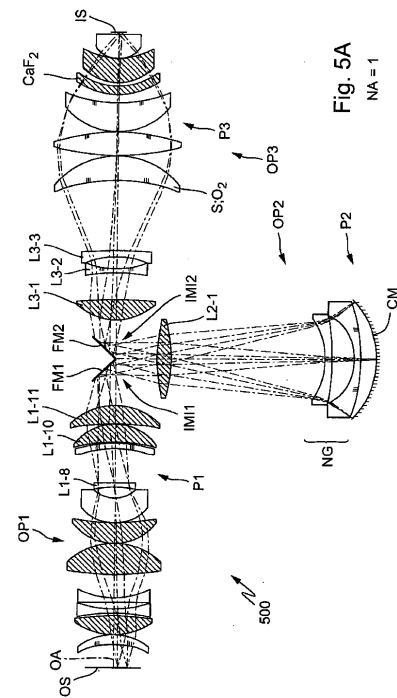
【図 4 A】



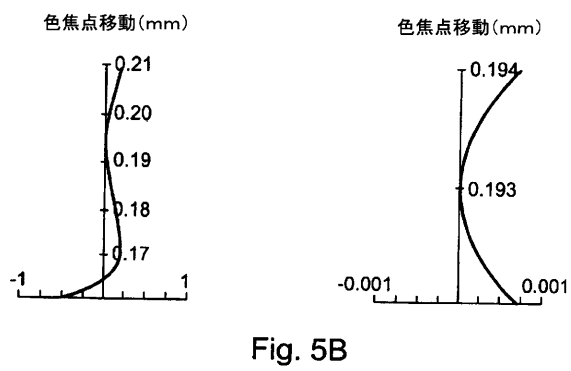
【図 4 B】



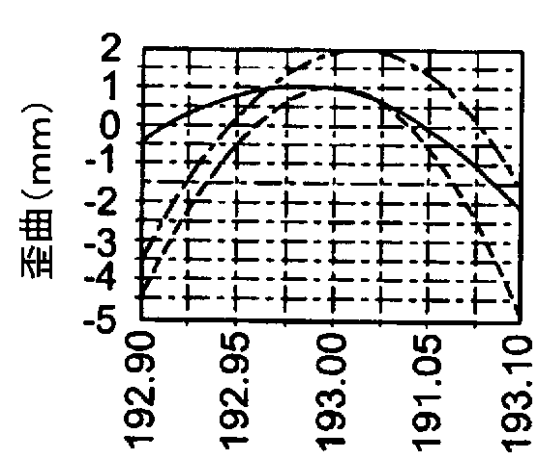
【図 5 A】



【図 5 B】



【図 5 C】



【図 5 D】

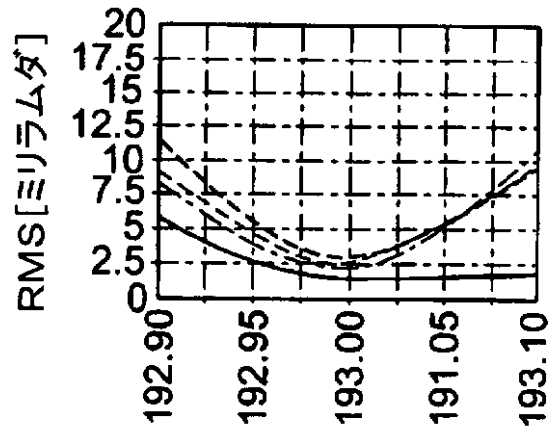
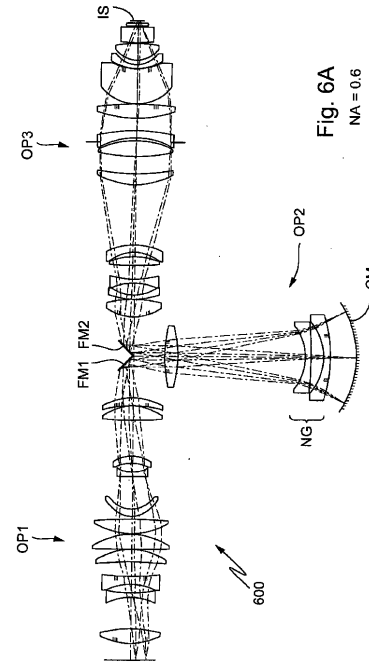


Fig. 5D

【図 6 A】

Fig. 6A
NA = 0.6

【図 6 B】

色焦点移動(mm)

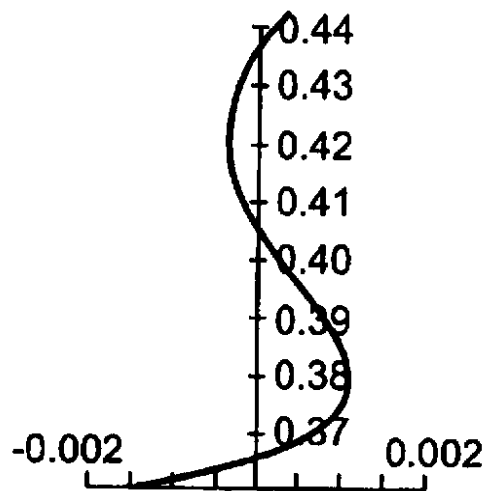


Fig. 6B

【図 6 C】

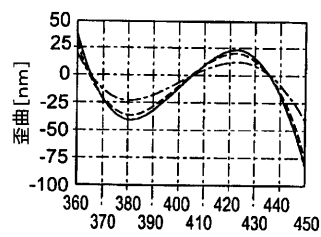


Fig. 6C

【図 6 D】

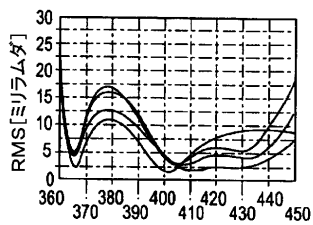


Fig. 6D

【図 6 E】

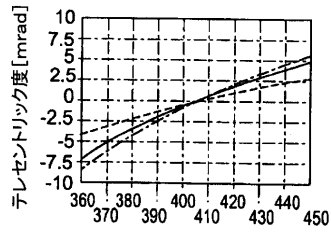
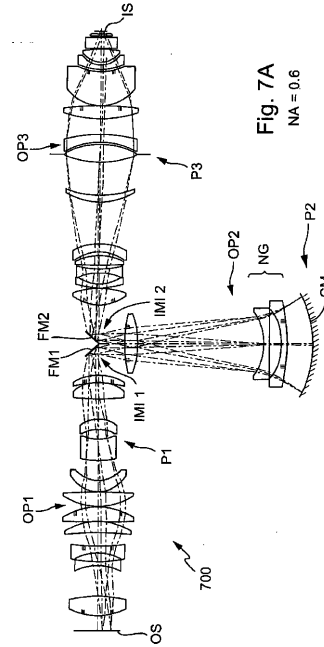


Fig. 6E

【図 7 A】

Fig. 7A
NA = 0.6

【図 7 B】

色焦点移動(mm)

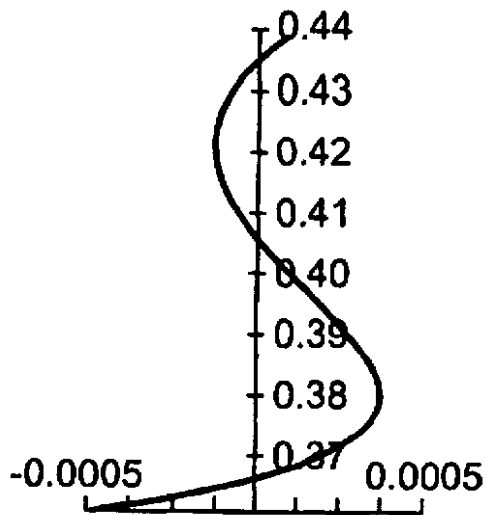


Fig. 7B

【図 7 C】

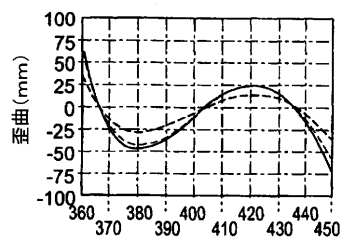


Fig. 7C

【図 7 D】

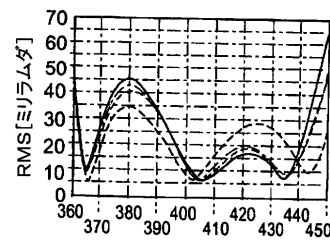
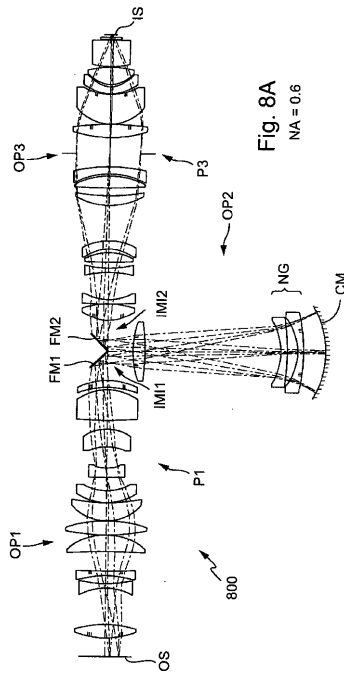
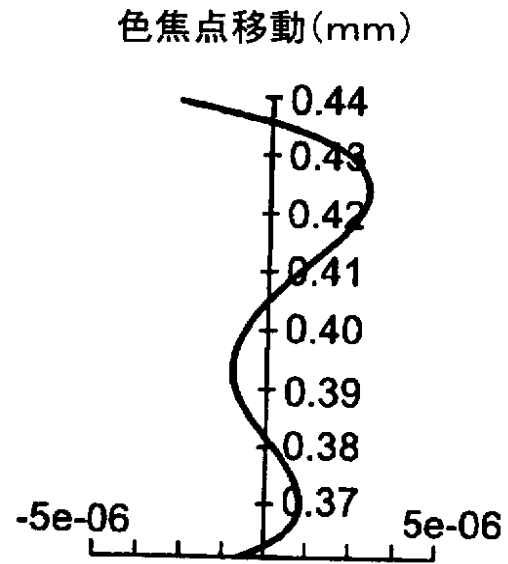


Fig. 7D

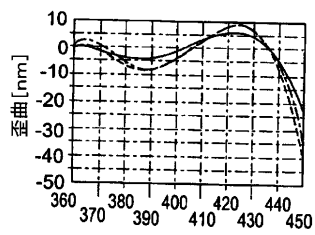
【図 8 A】



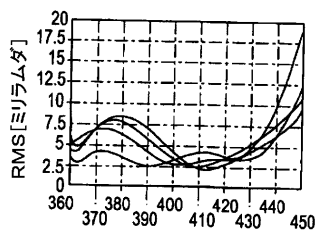
【図 8 B】



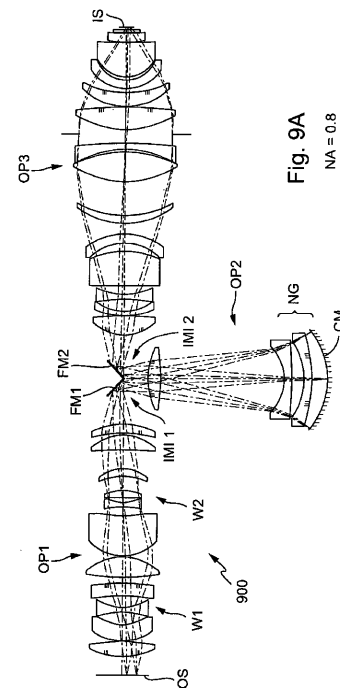
【図 8 C】



【図 8 D】



【図 9 A】



【図 9 B】

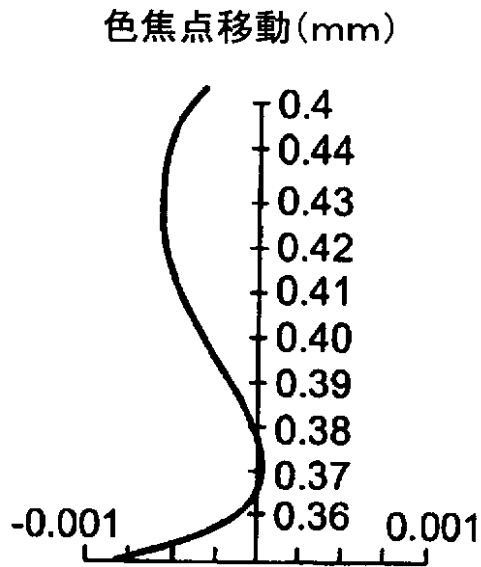


Fig. 9B

【図 9 C】

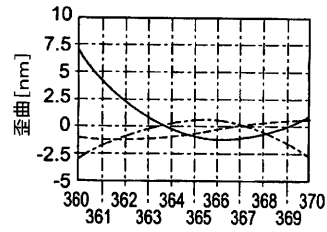


Fig. 9C

【図 9 D】

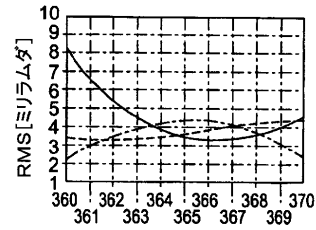
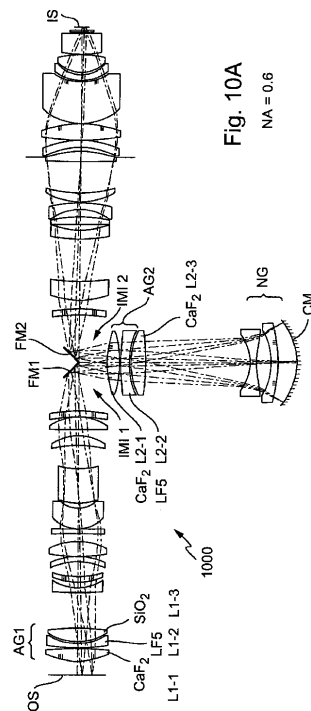


Fig. 9D

【図 10 A】



【図 10 B】

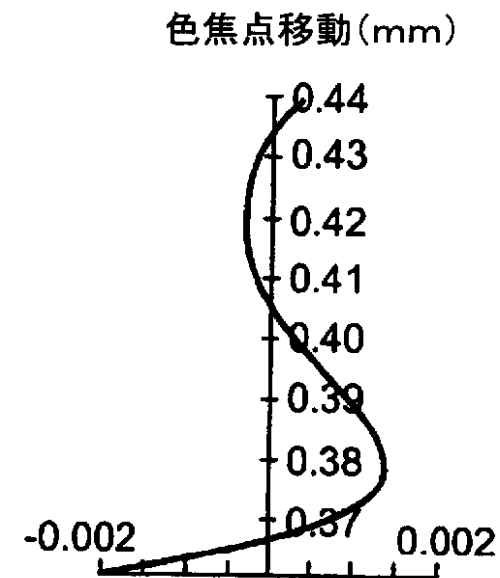
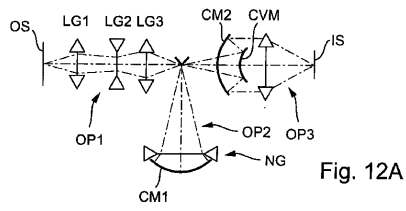
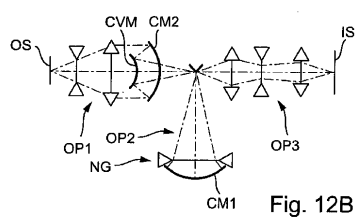


Fig. 10B

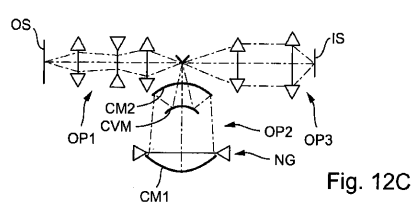
【図 12 A】



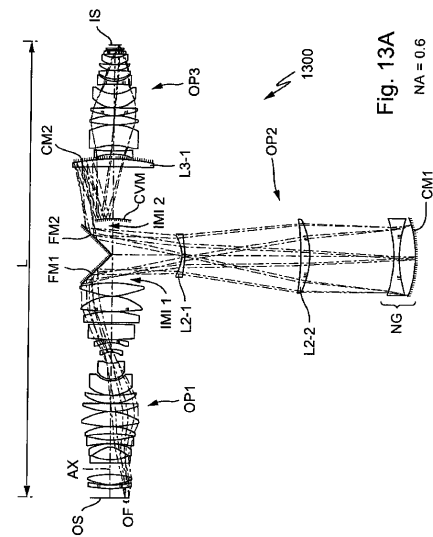
【図 12 B】



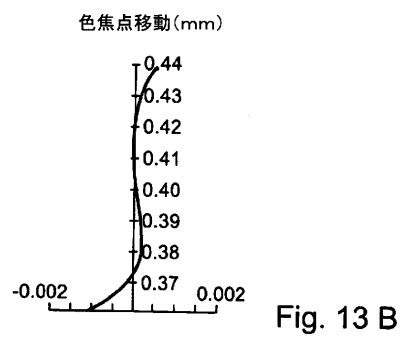
【図 12 C】



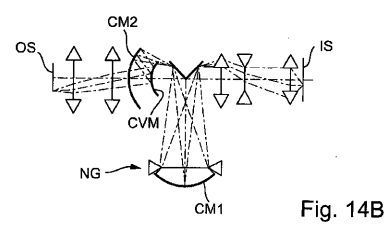
【図 13 A】



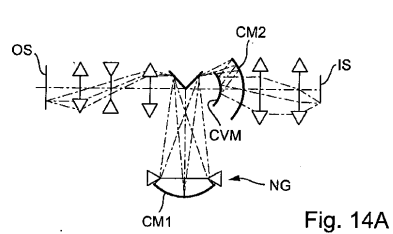
【図 13 B】



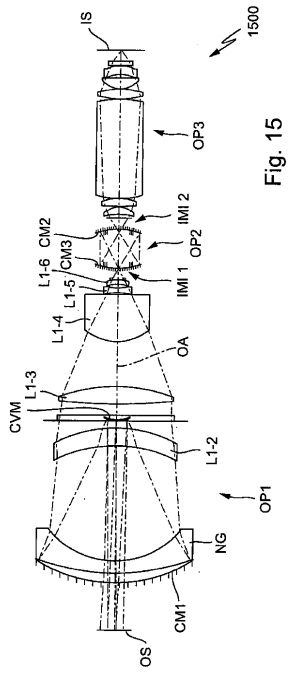
【図 14 B】



【図 14 A】



【 図 15 】



フロントページの続き

(74)代理人 100109070

弁理士 須田 洋之

(74)代理人 100109335

弁理士 上杉 浩

(72)発明者 エブレ アレクサンダー

ドイツ連邦共和国 7 3 4 3 1 アーレン ランガーシュトラッセ 3 8

審査官 原田 英信

(56)参考文献 特開 2 0 0 1 - 1 6 6 2 1 0 (J P , A)

特開 2 0 0 0 - 1 3 3 5 8 8 (J P , A)

特開平 0 6 - 3 0 0 9 7 3 (J P , A)

特開 2 0 0 0 - 0 3 9 5 5 7 (J P , A)

特開 2 0 0 4 - 1 2 6 5 2 0 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 0 2 B 9 / 0 0 - 1 7 / 0 8

G 0 2 B 2 1 / 0 2 - 2 1 / 0 4

G 0 2 B 2 5 / 0 0 - 2 5 / 0 4