

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-309220

(P2006-309220A)

(43) 公開日 平成18年11月9日(2006.11.9)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02B 17/08 (2006.01)	G02B 17/08 A	2H087
H01L 21/027 (2006.01)	H01L 21/30 515D	5F046

審査請求 未請求 請求項の数 58 O L 外国語出願 (全 112 頁)

(21) 出願番号 特願2006-110728 (P2006-110728) (22) 出願日 平成18年4月13日 (2006.4.13) (31) 優先権主張番号 60/675,875 (32) 優先日 平成17年4月29日 (2005.4.29) (33) 優先権主張国 米国 (US)	(71) 出願人 503263355 カール・ツァイス・エスエムティー・アー ゲー ドイツ連邦共和国、73447 オベルコ ッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ セ 2 (74) 代理人 100074538 弁理士 田辺 徹 (72) 発明者 アウレリアン ドドック ドイツ連邦共和国、73447 オベルコ ッヘン、ハインブッヒェンヴェーク 7 Fターム(参考) 2H087 KA21 NA04 RA05 RA12 RA13 TA02 TA04 TA06 UA03 UA04 UA09 5F046 CB12
--	---

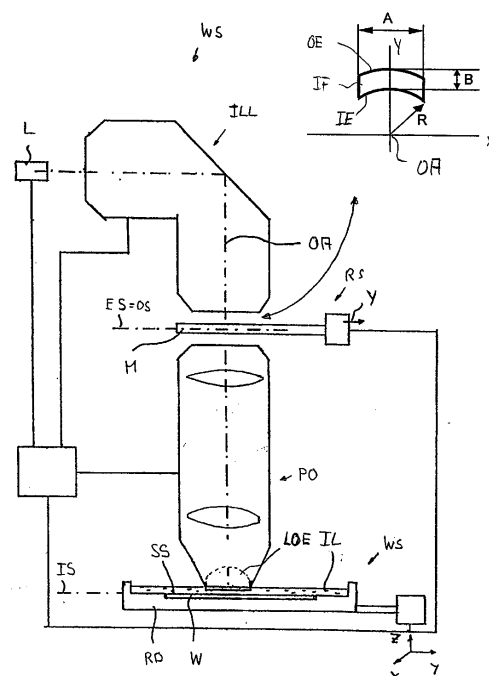
(54) 【発明の名称】 投影対物レンズ

(57) 【要約】

【課題】 相対的に少量の透明光学材料を用いて製作することができるとともに、結像、特に最像側瞳面と像面との間における瞳結像の十分な補正自由度を得ることができる小型の投影対物レンズを提供する。

【解決手段】 自身の物体面内に配置されるパターンを自身の像面上に紫外放射を用いて結像させる投影対物レンズは、 $260\text{ nm} > \lambda > 150\text{ nm}$ である動作波長の放射に対して透明性を有する透明光学素子を含む複数個の光学素子と、前記物体面と前記像面との間において、前記像面に最も接近して配置される像側瞳面と、前記像側瞳面と前記像面との間において配置されて、前記像側瞳面から到来する放射を前記像面の方へと収束させて、 $0.7 < \text{NA} < 1.4$ である像側開口数NAを確定させる開口確定レンズ群とを有する。前記開口確定レンズ群は、 $n_{\text{HI}} > n_{\text{SiO}_2}$ の屈折率 n_{HI} を有する透明な高屈折率材料により製作される少なくとも1個の高屈折率レンズを含み、 n_{SiO_2} は、前記動作波長における二酸化ケイ素(SiO_2)の屈折率である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

自身の物体面内に配置されるパターンを自身の像面上に紫外放射を用いて結像させる投影対物レンズにおいて：

$260\text{ nm} > \lambda > 150\text{ nm}$ の動作波長 λ の放射に対して透明性を有する透明光学素子を含む複数個の光学素子と；

前記像面に最も近い瞳面である像側瞳面と；

前記像側瞳面と前記像面との間において配置されて、前記像側瞳面から到来する放射を前記像面の方へと収束させて、 $0.7 < \text{NA} < 1.4$ の像側開口数 NA を確定させる開口確定レンズ群とからなり、

前記開口確定レンズ群は、 $n_{\text{HfO}_2} > n_{\text{SiO}_2}$ の屈折率 n_{HfO_2} を有する透明な高屈折率材料により製作される少なくとも 1 個の高屈折率レンズを含み、 n_{SiO_2} は、前記動作波長における二酸化ケイ素 (SiO_2) の屈折率である投影対物レンズ。

【請求項 2】

前記高屈折率材料は、前記動作波長において屈折率 $n_{\text{HfO}_2} > 1.6$ を有する請求項 1 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 3】

前記高屈折率材料は、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、酸化アルミニウムマグネシウム (MgAl_2O_4 、スピネル)、フッ化ランタン (LaF_3) および酸化ストロンチウムカルシウムまたは酸化ストロンチウムマグネシウムの混合物を含む材料群から選択される固体材料である請求項 1 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 4】

屈折率 $n_{\text{HfO}_2} > 1.6$ を有する少なくとも 1 個の液体高屈折率材料が用いられる請求項 1 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 5】

前記液体材料は、シクロヘキサン等の環状炭化水素と、水の屈折率を増加させる少なくとも 1 つのドーパントによりドーパされた水とを含む材料群から選択される請求項 4 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 6】

前記動作波長の放射に対して透明性を有する高屈折率液が、正または負の屈折率を有するとともに、物体側境界素子と像側境界素子との間において密封される液体高屈折率レンズを形成する請求項 1 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 7】

前記物体側境界素子は、投影対物レンズの最後の固体光学素子であり、前記像側境界素子は、露光対象の基板である請求項 6 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 8】

前記物体側境界素子と前記像側境界素子とは、投影対物レンズの透明光学素子によって形成されて、該投影対物レンズが自身の像面から離間する位置において形成される少なくとも 1 個の液体レンズを含むようになる請求項 6 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 9】

前記液体レンズに隣接する前記少なくとも 1 個の境界素子は、前記液体レンズを形成する前記高屈折率液の屈折率に近い屈折率を有し、条件 $n < 0.04$ が、前記境界素子と前記液体レンズとの屈折率間の差 n に関して当てはまる請求項 6 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 10】

高屈折率液体レンズに隣接する前記物体側境界素子は、正の屈折率を有するレンズである請求項 6 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 11】

少なくとも 1 個の高屈折率レンズが、周辺光線高さが像側瞳面における周辺光線高さの 50% 未満となる位置において、前記像面に光学的に接近して配置される請求項 1 に記載

10

20

30

40

50

の投影対物レンズ。

【請求項 1 2】

少なくとも前記基板に接触する材料または露光対象の前記基板に最も接近して配置される材料は、液体または固体の高屈折率材料レンズである請求項 1 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 1 3】

前記開口確定レンズ群は、正確に 3 個の非球面状レンズ面を含む請求項 1 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 1 4】

前記開口確定レンズ群は、非球面状のレンズ面を有する正確に 3 個のレンズを含む請求項 1 に記載の投影対物レンズ。 10

【請求項 1 5】

前記非球面状のレンズ面は、凹状のレンズ面上において形成される請求項 1 3 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 1 6】

前記凹状のレンズ面は、非球面レンズの像側に配置される請求項 1 5 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 1 7】

N_{ASP} 個の非球面状のレンズ面と、少なくとも 1 個の非球面状のレンズ面を有する N_{ASPL} 個のレンズとを含み、非球面率 $AR = N_{ASP} / N_{ASPL}$ に関して、条件 $AR > 1$ が成り立つ請求項 1 に記載の投影対物レンズ。 20

【請求項 1 8】

光路に沿って互いに直接連続する 2 個の非球面を有する少なくとも 1 個の二重非球面が、自身内において存在する請求項 1 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 1 9】

前記二重非球面は、2 個の別個の隣接する光学素子の非球面をレンズ/レンズまたはレンズ/鏡の構成において向き合わせるによって形成される請求項 1 8 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 2 0】

前記二重非球面は、非球面として設計される 2 個のレンズ面を有する両非球面レンズ（双非球面）によって形成される請求項 1 8 に記載の投影対物レンズ。 30

【請求項 2 1】

3 個の直接連続する非球面を有する少なくとも 1 個の三重非球面を含む請求項 1 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 2 2】

前記開口確定レンズ群は、浸漬媒質とともに、 $1.2 < NA < 1.4$ の像側開口数 NA を確定させるように設計される請求項 1 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 2 3】

前記物体面上の前記パターンを第 1 の中間像に結像させる第 1 の対物レンズ部分と；中間像を前記像面上に結像させる第 2 の対物レンズ部分とからなり、 40

前記対物レンズ部分の少なくとも一方は、少なくとも 1 個の凹面鏡を含み、全ての光学素子（屈折性および反射性）は、共通の直線状の光軸を共有する（インラインシステム）カタジオプトリック投影対物レンズである請求項 1 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 2 4】

前記第 2 の対物レンズ部分は、前記第 1 の中間像を前記像面上に結像させて、投影対物レンズが正確に 1 個の中間像を含むようにする請求項 2 3 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 2 5】

前記第 2 の対物レンズ部分は、屈折性の対物レンズ部分である請求項 2 4 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 2 6】

前記第2の対物レンズ部分は、少なくとも1個の凹面鏡を含むカタジオプトリック対物レンズ部分である請求項24に記載の投影対物レンズ。

【請求項27】

瞳面に光学的に近接する位置または瞳面に配置される少なくとも1個の凹面鏡を含み、負の屈折力が、前記凹面鏡に接近して配置されて、前記凹面鏡へと向けられる放射と前記凹面鏡から反射される放射とが負の屈折力による作用を受けるようになる請求項23に記載の投影対物レンズ。

【請求項28】

前記像側瞳面付近または前記像側瞳面に配置されるとともに、 $0.8 \leq D_{NL} / D_M$ にしたがったレンズ直径 D_{NL} を有する少なくとも1個の負レンズを含み、ここで、 D_M は、前記第2の対物レンズ部分内において光線直径が最小となるくびれ部分と前記像面との間における最大レンズ直径である請求項1に記載の投影対物レンズ。 10

【請求項29】

前記負レンズは、前記像面の方を向く凹面を有する負メニスカスレンズである請求項28に記載の投影対物レンズ。

【請求項30】

前記像側瞳面と前記像面との間における距離 D_{PS-IS} は、 $D_{PS-IS} \leq 0.18$
* TT の範囲内に含まれ、ここで、 TT は、前記物体面と前記像面との間における軸方向距離（全軌道長）である請求項1に記載の投影対物レンズ。

【請求項31】

最大レンズ直径 D_{max} と、最大像フィールド高さ Y' とを有し、
 $COMP1 = D_{max} / (Y' \cdot NA^2)$ かつ $COMP1 < 1.5$ である請求項23に記載の投影対物レンズ。 20

【請求項32】

正確に2個の凹面鏡を有し、 $COMP1 < 1.4$ である請求項31に記載の投影対物レンズ。

【請求項33】

正確に4個の凹面鏡を有し、 $COMP1 < 1.2$ である請求項31に記載の投影対物レンズ。

【請求項34】

自身の物体面内に配置されるパターンを自身の像面上に紫外放射を用いて結像させるカタジオプトリック投影対物レンズにおいて： 30

前記物体面上の前記パターンを第1の中間像に結像させる第1の対物レンズ部分と；

中間像を前記像面上に結像させるとともに、前記像面に最も近い瞳面である像側瞳面を有する第2の対物レンズ部分とからなり、

前記対物レンズ部分の少なくとも一方は、少なくとも1個の凹面鏡を含み、全ての光学素子（屈折性および反射性）は、共通の直線的な光軸を共有し（インラインシステム）、

前記第2の対物レンズ部分は、前記像側瞳面と前記像面との間において配置されて、前記像側瞳面から到来する放射を前記像面の方へと収束させて、浸漬媒質とともに、 $1.2 \leq NA \leq 1.4$ である像側開口数 NA を確定させる開口確定レンズ群を含み、前記開口確定レンズ群は、3個の非球面状のレンズ面を含むカタジオプトリック投影対物レンズ。 40

【請求項35】

前記開口確定レンズ群は、正確に3個の非球面状のレンズ面を含む請求項34に記載の投影対物レンズ。

【請求項36】

前記非球面状のレンズ面は、凹状のレンズ面上に形成される請求項34に記載の投影対物レンズ。

【請求項37】

前記凹状のレンズ面は、非球面レンズの像側に配置される請求項36に記載の投影対物レンズ。

【請求項 38】

前記像側瞳面と前記像面との間における距離 D_{PS-IS} は、範囲 $D_{PS-IS} = 0.18 \sim 1.8 \text{ mm}$ 内に含まれ、ここで、 TT は、前記物体面と前記像面との間における軸方向距離（全軌道長）である請求項 34 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 39】

最大レンズ直径 D_{max} と、最大像フィールド高さ Y' とを有し、
 $COMP1 = D_{max} / (Y' \cdot NA^2)$ かつ $COMP1 < 1.5$ である請求項 34 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 40】

正確に 2 個の凹面鏡を有し、 $COMP1 < 1.4$ である請求項 39 に記載の投影対物レンズ。 10

【請求項 41】

正確に 4 個の凹面鏡を有し、 $COMP1 < 1.2$ である請求項 39 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 42】

前記第 1 の対物レンズ部分は、少なくとも 1 個の凹面鏡を含むカタジオプトリック対物レンズ部分であり、前記第 2 の対物レンズ部分は、前記第 1 の中間像を前記像面上に結像させるように設計されて、投影対物レンズが正確に 1 個の中間像を含むようになる請求項 34 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 43】

前記第 2 の対物レンズ部分は、屈折性対物レンズ部分である請求項 42 に記載の投影対物レンズ。 20

【請求項 44】

前記第 2 の対物レンズ部分は、少なくとも 1 個の凹面鏡を含むカタジオプトリック対物レンズ部分である請求項 42 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 45】

N_{ASP} 個の非球面状レンズ面と、少なくとも 1 個の非球面状のレンズ面を有する N_{ASPL} 個のレンズ面を含み、非球面比 $AR = N_{ASP} / N_{ASPL}$ に関して、条件 $AR > 1$ が成り立つ請求項 34 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 46】

光路に沿って互いに直接連続する 2 個の非球面を有する少なくとも 1 個の二重非球面が自身内に存在する請求項 34 に記載の投影対物レンズ。 30

【請求項 47】

前記二重非球面は、2 個の別個の隣接する光学素子の非球面をレンズ/レンズまたはレンズ/鏡の構成において向き合わせることによって形成される請求項 46 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 48】

前記二重非球面は、非球面として設計される 2 個のレンズ面を有する両非球面レンズ（双非球面）によって形成される請求項 46 に記載の投影対物レンズ。

【請求項 49】

3 個の直接連続する非球面を有する少なくとも 1 個の三重非球面を含む請求項 34 に記載の投影対物レンズ。 40

【請求項 50】

自身の物体面内に配置されるパターンを自身の像面上に紫外放射を用いて結像させるカタジオプトリック投影対物レンズにおいて：

前記物体面上の前記パターンを第 1 の中間像に結像させる第 1 の対物レンズ部分と；

中間像を前記像面上に結像させるとともに、前記像面に最も近い瞳面である像側瞳面を有する第 2 の対物レンズ部分とからなり、

前記対物レンズ部分の少なくとも一方は、少なくとも 1 個の凹面鏡を含み、全ての光学素子（屈折性および反射性）は、共通の直線的な光軸を共有し（インラインシステム）、 50

前記第2の対物レンズ部分は、前記像側瞳面と前記像面との間に配置されて、前記像側瞳面から到来する放射を前記像面の方へと収束させて、像側開口数NAを確定させる開口数確定レンズ群を含み、投影対物レンズは、最大レンズ直径 D_{max} と、最大像フィールド高さ Y' とを有し、

$COMP1 = D_{max} / (Y' \cdot NA^2)$ かつ $COMP1 < 15$ であるカタジオプトリック投影対物レンズ。

【請求項51】

正確に1個の中間像を生じしめるように設計される請求項50に記載の投影対物レンズ。

【請求項52】

正確に2個の凹面鏡を有し、 $COMP1 < 14$ である請求項51に記載の投影対物レンズ。

【請求項53】

正確に4個の凹面鏡を有し、 $COMP1 < 12$ である請求項51に記載の投影対物レンズ。

【請求項54】

浸漬媒質とともに、 $1.2 < NA < 1.4$ を達成し、前記開口確定レンズ群は、3個の非球面状レンズ面を含む請求項50に記載の投影対物レンズ。

【請求項55】

前記開口確定レンズ群は、正確に3個の非球面状のレンズ面を含む請求項54に記載の投影対物レンズ。

【請求項56】

前記非球面状のレンズ面は、凹状のレンズ面上に形成される請求項54に記載の投影対物レンズ。

【請求項57】

前記凹状のレンズ面は、非球面レンズの像側に配置される請求項56に記載の投影対物レンズ。

【請求項58】

前記像側瞳面と前記像面との間における距離 D_{PS-IS} は、範囲 $D_{PS-IS} = 0.18 \cdot TT$ 内に含まれ、ここで、 TT は、前記物体面と前記像面との間における軸方向距離（全軌道長）である請求項50に記載の投影対物レンズ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、自身の物体面内に配置されるパターンを自身の像面上に紫外放射を用いて結像させる投影対物レンズに関する。

【背景技術】

【0002】

投影対物レンズは、たとえば、特にウェーハスキャナおよびウェーハステッパにおいて半導体素子およびその他の微細構造の素子を製造する投影露光装置に用いられるとともに、以下では総称的に「マスク」または「レチクル」と呼ばれるフォトマスクまたはレチクル上のパターンを、感光性コーティングを有する基板上に超高解像度で縮小投影する役割を果たす。

【0003】

さらに一層微細な構造を創出するためには、投影対物レンズの像側の開口数NAを増大させることと、より短い動作波長、好ましくは260nm未満の波長を有する紫外放射を用いることとの両方が必要とされる。

【0004】

この波長領域において光学素子の製造に利用することができる十分に透明な材料は、こ

10

20

30

40

50

く少数、特に合成石英ガラス（溶融石英）およびフッ化カルシウム等のフッ化物結晶しかない。関連材料が高価であることと、大型のレンズを製造することができるだけの大きさのフッ化カルシウム結晶の入手可能性が限られていることが問題となっている。このため、使用されるレンズの個数と大きさを減じることができ、かつ同時に結像忠実度の維持または一層の向上に寄与しうる施策が望まれる。

【0005】

特に投影リソグラフィーの光学的結像を縮小する場合は、像側の開口数 NA は、像空間内の周囲媒質の屈折率によって制限される。これが、投影対物レンズの出射面と基板との間において結像空間内に気体を有する従来の投影系において、像側開口数が $NA < 1$ の値に制限される理由である。浸漬リソグラフィーでは、理論的に可能な開口数 NA は、基板表面に隣接する浸漬媒質の屈折率によって制限される。浸漬媒質は、液体または固体でありうる。固体媒質についても後者のことが言える。

10

【0006】

しかし、実際的理由から、 NA は、最後の媒質（すなわち像面に最も近い媒質）の屈折率に任意に接近するべきではなく、その理由は、そうすると伝搬角が光軸に対して非常に大きくなるためである。像側開口数が実質的に像側の最後の媒質の屈折率の約 95% を超えないことが実際的であることが立証された。このことは、193 nm においては、水（ $n_{H_2O} = 1.43$ ）を浸漬媒質とする場合に、 $NA = 1.35$ の開口数に対応する。

【0007】

最後のレンズの材料の屈折率より高い屈折率を有する液体を用いる場合または固体媒質の場合は、最後のレンズ素子（すなわち投影対物レンズの像に隣接する最後の光学素子）の材料は、最後の端面（投影対物レンズの出射面）の設計が平面状とされるべきか、またはごく弱い曲面状とされるべきかの制限事項として作用する。平面状の設計は、たとえばウェーハと対物レンズとの間における距離の測定と、露光対象のウェーハと最後の対物レンズ面との間における浸漬媒質の流体力学的特性と、これらの洗浄とに有利である。特に固体媒質の場合には、最後の端面を平面状の設計として、これもまた同様に平面状のウェーハを露光しなければならない。

20

【0008】

遠紫外放射（DUV、248 nm または 193 nm の動作波長）において、通常最後のレンズに用いられる材料は、 $n_{SiO_2} = 1.56$ の屈折率を有する溶融石英（合成石英ガラス、 SiO_2 ）または $n_{CaF_2} = 1.50$ の屈折率を有する CaF_2 である。合成石英ガラス材料は、以下では、単に「石英」とも呼ばれることがある。最後のレンズ素子における放射負荷が高いことから、合成石英ガラスは、こうした放射負荷により長期的に損傷されてしまうため、193 nm においては、最後のレンズにはフッ化カルシウムが好ましい。その結果として、約 1.425（ $n = 1.5$ の 95%）の開口数が達成されうる。放射損傷という欠点が受け入れられる場合は、石英ガラスはさらに、1.48 の開口数（193 nm における石英の屈折率の約 95% に対応）を可能にする。この関係は、248 nm でも同様である。

30

【0009】

本出願人の 2004 年 12 月 10 日出願の国際特許出願 PCT/EP 2004/014062 号に、 $NA > 1$ での浸漬リソグラフィーに適するカタジオプトリック投影対物レンズにおいて、物体面内に配置されるパターンを第 1 の中間像に結像させる第 1 の屈折対物レンズ部分と、前記第 1 の中間像を第 2 の中間像に結像させる第 2 の反射性（純反射性）対物レンズ部分と、前記第 2 の中間像を直接像面上に結像させる第 3 の屈折対物レンズ部分とからなるカタジオプトリック投影対物レンズが開示されている。前記第 2 の対物レンズ部分は、互いに向き合う鏡面を有する 2 個の凹面鏡を有しており、各凹面鏡は、瞳面から光学的に遠くに配置される。この設計は、回転対称であるとともに、全ての屈折性および反射性光学素子（インラインシステム）に共通する 1 本の直線的な光軸を有する。この基本設計の投影対物レンズは、たとえば本出願人の 2004 年 1 月 14 日出願の米国仮出願第 60/536,248 号に開示されている。国際特許出願 PCT/EP 2004/0

40

50

14062号には、動作波長において屈折率 $n = 1.6$ を有する高屈折率材料により製作される少なくとも1個の光学素子を有する実施形態が開示されている。193nmの場合は、サファイア (Al_2O_3) が、投影対物レンズの最後のレンズを形成する平凸レンズ用高屈折率材料として用いられる。いくつかの実施形態では、シクロヘキサンは、193nmにおいて溶融石英の屈折率 ($n = 1.560$) に類似する屈折率 $n = 1.556$ を有する浸漬液として用いられる。固体浸漬 (接触投影リソグラフィ) 用に設計された1つの実施形態は、開示の実施形態において $NA = 1.6$ を可能にする平凸サファイアレンズ ($n_{sapphire} = 1.92$) を有する。

【0010】

本出願人の2004年2月13日出願の米国仮出願第60/544,967号に、像側の最後のレンズの屈折率より高い屈折率を有する浸漬液と一緒に用いられるようになっていた同様の基本設計 (たとえば前記米国仮出願第60/536,248に開示の設計と同様) を有するカタジオプトリック投影対物レンズが示されている。この投影対物レンズは、浸漬液が動作時において投影対物レンズの方へと凸状に湾曲するように設計される。この浸漬液の凸状の湾曲により、最後のレンズと浸漬液との間における界面上において、より大きい入射角を投影放射に用いることができ、以ってこの界面における反射損失が減少するとともに、最後のレンズの屈折率を上回りうる、より高い値の NA が可能になる。

【0011】

前記出願の開示は、参照により本出願に取り入れられる。

【0012】

さまざまなカタジオプトリックインライン投影対物レンズが提案されてきた。光学的観点から、インラインシステムは、平面状の折曲鏡を用いることによって引き起こされる偏光効果等の光学的問題が回避されうするため、好適でありうる。さらにまた、製造の観点から、インラインシステムは、光学素子の従来の取付技術を用いることができ、以って投影対物レンズの機械的安定性を高めることができるように設計されうる。

【0013】

欧州特許EP1069448B1号に、互いに向き合う2個の凹面鏡と、軸外の物体および像フィールドとを有するカタジオプトリック投影対物レンズが開示されている。前記凹面鏡は、物体を、1個の凹面鏡に隣接して配置される中間像上に結像させる第1のカタジオプトリック対物レンズ部分の一部分である。これは、第2の純屈折性対物レンズ部分により像面に結像せしめられる唯一の中間像である。前記物体とカタジオプトリック結像系の像とは、互いに向き合う前記鏡により形成される鏡間空間の外側に配置される。2個の凹面鏡と共通の直線的な光軸とカタジオプトリック結像系により形成されるとともに前記凹面鏡の一方のそばに配置される1個の中間像とを有する同様のシステムは、米国特許出願US2002/0024741A1号に開示されている。

【0014】

米国特許出願US2004/0130806号 (欧州特許出願EP1336887号に対応) には、軸外の物体および像フィールドと、1本の共通の直線的な光軸と、下記の順番で、第1の中間像を創出する第1のカタジオプトリック対物レンズ部分と前記第1の中間像から第2の中間像を創出する第2のカタジオプトリック対物レンズ部分と前記第2の中間像から像を形成させる屈折性の第3の対物レンズ部分とを有するカタジオプトリック投影対物レンズが開示されている。各々のカタジオプトリック系は、互いに向き合う2個の凹面鏡を有する。前記中間像は、これらの凹面鏡によって形成される鏡間空間の外側に位置する。

【0015】

日本国特許出願JP2003114387A号および国際特許出願WO01/55767A号に、1本の共通の直線的な光軸と、中間像を形成する第1のカタジオプトリック対物レンズ部分と、前記中間像をこのシステムの像平面上に結像させる第2のカタジオプトリック対物レンズ部分とを有する軸外の物体および像フィールドを持つカタジオプトリック投影対物レンズが開示されている。凹面および凸面鏡が、組み合わされて用いられている

10

20

30

40

50

。

【 0 0 1 6 】

米国特許出願 US 2 0 0 3 / 0 2 3 4 9 9 2 A 1 号には、1本の共通の直線的な光軸と、中間像を形成する第1のカタジオプトリック対物レンズ部分と、前記中間像を像平面上に結像させる第2のカタジオプトリック対物レンズ部分とを有する軸外の物体および像フィールドを持つカタジオプトリック投影対物レンズが開示されている。各々のカタジオプトリック対物レンズ部分において、凹面および凸面鏡が1個の単レンズと組み合わせられて用いられている。

【 0 0 1 7 】

国際特許出願 WO 2 0 0 4 / 1 0 7 0 1 1 A 1 号には、純水 (H_2O) を浸漬液として用いる浸漬リソグラフィー用に設計される1本の共通の直線的な光軸を有する軸外の物体フィールドおよび像フィールドと、前記光軸から遠く離れたフィールド中心を有する円弧形状の有効物体フィールドを持つさまざまなカタジオプトリック投影対物レンズが開示されている。これらの投影対物レンズは、2個、4個または6個の曲面鏡を有するさまざまな種類の鏡群を含む。2～4個の中間像を有する実施形態が開示されている。二酸化ケイ素 (SiO_2) および/またはフッ化カルシウム (CaF_2) がレンズ材料として用いられる。NA = 1.2 以下の像側開口数が得られる。

【 0 0 1 8 】

実際の見地から、達成可能な最大の像側開口数は、それを達成するために特定の用途に課せられる制限条件によって最適な妥協点を見出さなければならない多数の設計目標の1つにすぎない。フッ化カルシウム等の光学材料の入手可能性が限られていることに鑑みて、ある設計に必要なとされるレンズの最大寸法(直径)は、制限要因となりうる。一般に、ある設計において必要な最大レンズ直径は、像側開口数が増大すると増加する。特に、投影対物レンズの像側瞳面と像面との間において像側に配置される開口確定レンズ群において、非常に大きい直径が必要とされる。この開口確定レンズ群は、基本的に、像側瞳面から到来する放射を像面の方へと収束させて像側開口数を確定させるように設計される。換言すれば、開口確定レンズ群は、瞳結像を行なう。さらにまた、瞳結像を担う開口確定レンズ群の焦点距離は、像側開口数が増大すると短くなる傾向にある。しかしながら、開口確定レンズ群の焦点距離を短くすると、開口確定レンズ群内の光学表面の個数は制限されるため、十分な瞳結像補正手段を得ることは、より困難になる。

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 9 】

本発明の1つの目的は、相対的に少量の透明光学材料を用いて製作することができるとともに、結像、特に最像側瞳面と像面との間における瞳結像の十分な補正自由度を得ることができる小型の投影対物レンズを提供することにある。本発明のまた他の目的は、遠紫外領域で使用するのに適するマイクロリソグラフィー用カタジオプトリックインライン投影対物レンズにおいて、開口数 $NA > 1$ で浸漬リソグラフィーを可能にする値まで達しうる非常に高い像側開口数を得る可能性を有するカタジオプトリックインライン投影対物レンズを提供することにある。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 2 0 】

前記およびその他の目的を達成する方法として、本発明は、1つの形態にしたがって、自身の物体面内に配置されるパターンを自身の像面上に紫外放射を用いて結像させる投影対物レンズにおいて：

260 nm > 動作波長 > 150 nm の放射に対して透明性を有する透明光学素子を含む複数個の光学素子と；

前記像面に最も近い瞳面である像側瞳面と；

前記像側瞳面と前記像面との間において配置されて、前記像側瞳面から到来する放射を前記像面の方へと収束させて、0.7 NA 1.4 の像側開口数 NA を確定させる開口

10

20

30

40

50

確定レンズ群とからなり、

前記開口確定レンズ群は、 $n_{\text{H I}} > n_{\text{SiO}_2}$ の屈折率 $n_{\text{H I}}$ を有する透明な高屈折率材料により製作される少なくとも 1 個の高屈折率レンズを含み、 n_{SiO_2} は、前記動作波長における二酸化ケイ素 (SiO_2) の屈折率である投影対物レンズを提供する。

【発明の実施の形態】

【0021】

前記動作波長において熔融石英より高い屈折率を有する少なくとも 1 個のレンズが、瞳結像を担う前記開口確定レンズ群に用いられると、像収差の補正に関する追加の自由度を得ることが可能になる。第 1 に、レンズ用の追加の空間が、像側瞳面と像面との間において得られて、像補正に寄与するより多くのレンズ面がこの領域内において用いられようようになる。さらにまた、レンズの屈折力は、レンズ面の半径とレンズ材料の屈折率とによるため、高屈折率のレンズ材料を用いることは、レンズ半径を減少させるとともに、それでもなお所望の屈折力を得ることを可能にする。しかしながら、レンズ半径の減少は、収差に対するレンズ面の寄与を減少させる傾向にあり、以って、高屈折率材料を前記開口確定レンズ群に用いると、像収差を最初からある程度回避することができる。さらに、開口確定レンズ群を緩やかに構成することにより、開口絞りを像側瞳面または該瞳面近辺に配置し、かつ必要に応じて前記開口絞りの直径を調節するための空間を得る追加の自由度が得られる。これらの利点は、特に像側瞳面に近い領域内における適度のレンズ寸法とともに得られ、以って投影対物レンズを妥当な費用で提供することができる。

10

【0022】

いくつかの実施形態において、高屈折率材料は、前記動作波長において屈折率 $n_{\text{H I}} > 1.6$ を有する。高屈折率材料は、酸化アルミニウム (Al_2O_3)、酸化アルミニウムマグネシウム (MgAl_2O_4 、スピネル)、フッ化ランタン (LaF_3)、酸化ストロンチウムカルシウムまたは酸化ストロンチウムマグネシウムの混合物を含む材料群から選択される固体材料でありうる。後者の混合材料は、たとえば <http://www.siliconstrategies.com> において、たとえば D. ラマーズ (D. Lammers) の記事である「浸漬技術分野が新しい結晶である液体に注目 (Immersion efforts looks to new crystals, liquids)」、E E タイムズ (EE Times)、2004 年 8 月 16 日で提案された。これらの材料を用いて、1 個以上の固体高屈折率レンズを得ることができる。

20

【0023】

代案または追加として、屈折率 $n_{\text{H I}} > 1.4$ を有する少なくとも 1 個の高屈折率液体材料を用いることができる。この液体材料は、シクロヘキサンおよびドーブされた水を含む材料群から選択されうる。たとえば <http://www.eetimes.com> において入手可能な D. ラマーズ (D. Lammers) の記事である「『ドーブされた水』が 193 nm の浸漬リソグラフィを向上させる (‘Doped water’ could extend 193 nm immersion litho)」、E E タイムズ (EE Times)、2004 年 1 月 28 日において、水 ($n = 1.437$) より高い屈折率を有する浸漬液は、水と硫酸塩、セシウム等のアルカリまたはさまざまな燐酸塩とを混合することによって得られうることが提案された。硫酸セシウムは、容易に水と混じり合って、屈折率 1.6 を有する液体が得られることが報告されている (たとえば <http://www.eurosemi.eu.com> において、たとえば「IMST 浸漬ワークショップが製造を期待 (IMST Immersion workshop looks forward to manufacturing)」、2004 年 1 月 29 日の記事を参照されたい)。

30

40

【0024】

高屈折率の液体を用いることにより、動作波長における放射に対して透明性を有する液体によって正または負の屈折力を有する液体レンズとして形成されるとともに、物体側境界素子と像側境界素子との間において密封される 1 個以上の高屈折率レンズを得ることが可能になる。いくつかの実施形態において、前記物体側境界素子は、投影対物レンズの最後の固体光学素子であり、前記像側境界素子は、露光対象の基板である。この場合は、前記基板と接触する浸漬液が前記液体レンズを形成しうる。

【0025】

50

また、前記物体側境界素子と前記像側境界素子とが投影対物レンズの透明素子によって形成されて、少なくとも1個の液体レンズが投影対物レンズの像面から離間した位置、たとえば投影対物レンズ内において形成されるようにすることも可能である。

【0026】

いくつかの実施形態において、液体レンズに隣接する境界素子の少なくとも1個は、前記液体レンズを形成する高屈折率液体の屈折率に近い屈折率を有しており、好ましくは、前記境界素子と前記液体レンズとの屈折率間における屈折率差 n に関して、条件 $n < 0.04$ が当てはまることが有益であることがわかった。この条件が満たされると、特に小さい収差寄与が物体側境界素子と高屈折率液体との間における界面において得られうる。

10

【0027】

開口確定レンズ群は、最後の瞳面に光学的に近い位置と、像面に光学的に近い位置と、これらの位置間に位置する中間位置とを含む。瞳面に近い位置において、主光線高さ (CRH) は、ゼロに近い小さい値を有するか、またはゼロとなる一方で、周辺光線高さ ($M RH$) は、極大値に近い値または極大値に達する。これに対して、像面に光学的に近い領域においては、周辺光線高さは、劇的に減少する一方で、主光線高さは、像側瞳面と像面との間において増加する。好ましくは、少なくとも1個の高屈折率レンズは、像面に光学的に接近して、特に周辺光線高さ ($M RH$) が像側瞳面における周辺光線高さの50%未満になる位置に配置される。好ましくは、少なくとも基板と接触する材料または露光対象の基板に最も接近して配置される材料は、高屈折率材料 (液体または固体) とされうる。

20

【0028】

また他の形態にしたがって、本発明は、自身の物体面内に配置されるパターンを自身の像面上に紫外放射を用いて結像させるカタジオプトリック投影対物レンズにおいて：

前記物体面上の前記パターンを第1の中間像に結像させる第1の対物レンズ部分と；

中間像を前記像面上に結像させるとともに、前記像面に最も近い瞳面である像側瞳面を有する第2の対物レンズ部分とからなり、

前記対物レンズ部分の少なくとも一方は、少なくとも1個の凹面鏡を含み、全ての光学素子 (屈折性および反射性) は、共通の直線的な光軸を共有し (インラインシステム)、

前記第2の対物レンズ部分は、前記像側瞳面と前記像面との間において配置されて、前記像側瞳面から到来する放射を前記像面の方へと収束させて、浸漬媒質とともに、1.2

30

$NA > 1.4$ の像側開口数を確定させる開口確定レンズ群を含み、前記開口確定レンズ群は、3個の非球面状レンズ面を含むカタジオプトリック投影対物レンズを提供する。

【0029】

好ましくは、前記開口確定レンズ群は、正確に3個の非球面状レンズ面を含む。

【0030】

代案または追加として、前記開口確定レンズ群は、非球面状レンズ面を有する正確に3個のレンズを含むことが好ましいかもしれない。

【0031】

3個の非球面状レンズ面を用いることにより、非球面を用いて瞳結像を補正することによって得られる利点と、球面状レンズ面の製造に比べて非球面状レンズ面の製造が困難であることによってもたらされる欠点との間における最適な妥協策が達成されることがわかった。これに関連して、非球面状レンズ面は、好ましくは、変形 (最適球を定義する球面からの非球面状レンズ面の偏差) が 0.01 mm より大きいレンズ面である。これにより、各々の非球面状レンズ面を用いて実質的な補正効果が得られうる。

40

【0032】

さらに他の態様にしたがって、投影対物レンズは、 N_{ASP} 個の非球面状レンズ面と、少なくとも1個の非球面状レンズ面を有する N_{ASPL} 個のレンズとを含み、ここで、非球面比 $AR = N_{ASP} / N_{ASPL}$ に関して、条件 $AR > 1$ が成り立つ。

【0033】

この条件が満たされると、空間的に密な一連の非球面状レンズ面を有する領域が得られ

50

うる。いくつかの実施形態においては、少なくとも１個の「二重非球面」が投影対物レンズ内において得られる。本明細書において用いられるところの「二重非球面」という用語は、２個の非球面状光学面が光路に沿って互いに直接連続する状況を表す。二重非球面は、レンズ/レンズまたはレンズ/鏡の構成において、２個の別々の隣接する光学素子の非球面を向き合わせるによって形成されうる。二重非球面は、さらにまた、両方のレンズ面が非球面である両非球面レンズ（双非球面）によって形成されうる。特に１個以上の二重非球面を含む高密度の非球面は、より均一に分配される非球面より、収差補正効果が高くなりうるということがわかった。いくつかの実施形態では、非球面を二重非球面に隣接させて配置して、３個の直接連続する非球面を有する三重非球面を形成させることができ、以って非常に密な空間構成の非球面を得ることができる。

10

【００３４】

いくつかの実施形態において、投影対物レンズは、光学的に瞳面近辺または瞳面に配置される少なくとも１個の凹面鏡を含んでおり、負の屈折力が前記凹面鏡の近くに配置されて、凹面鏡に当たって該凹面鏡から反射される放射が負の屈折力の作用を受けるようになっている。色収差、特に軸上色収差（ＣＨＬ）の補正に対する有意な寄与が得られうる。

【００３５】

前記およびその他の特徴は、特許請求の範囲だけではなく、明細書および図面にも示されており、個別の特徴は、単独または組合せのいずれの形態でも本発明の実施形態としてかつ他の分野で用いられうるとともに、個別に有利かつ特許可能な実施形態を表しうる。

【実施例】

20

【００３６】

以下の本発明の好適な実施形態の説明において、「光軸」という用語は、光学素子の曲率中心を通る直線または一連の直線分を指すものとする。本明細書に提示される例の場合は、物体は、集積回路のパターンまたは何らかのその他のパターン、たとえば格子パターンのいずれかを有するマスク（レチクル）である。本明細書に提示される例において、物体の像は、フォトリソ層により被覆される基板としての役割を果たすウェーハ上に投影されるが、液晶ディスプレイの構成要素または光学格子用基板等のその他の種類の基板もまた用いられうる。

【００３７】

複数個の鏡を有する実施形態を説明する。別段の記載がない限り、これらの鏡は、放射が該鏡上において反射される順番にしたがって番号をつけられる。換言すれば、鏡の番号付けにより、鏡は、幾何学的な位置によるのではなく、放射の光路に沿った位置によって示される。

30

【００３８】

「前」および「後」という用語と「上流」および「下流」という用語とは、光路に沿った相対位置に関し、「前」および「上流」は、物体面により近い位置に関する。

【００３９】

それが適切である場合は、異なる実施形態の同一または同様の特徴または特徴群が同様の参照符号によって示される。参照番号を用いる場合は、参照番号を実施形態間において１００または１００の倍数だけ大きくする。

40

【００４０】

図に示される設計の明細を開示するために表を用いる場合は、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す。

【００４１】

図１に、ステップアンドスキャン・モードでの浸漬リソグラフィーによって大規模集積回路構成を製作するのに用いられるウェーハスキャナＷＳの形態をとるマイクロリソグラフィー用投影露光装置の略図が示されている。この投影露光装置は、光源として、１９３ｎｍの動作波長を有するエキシマーレーザーからなり、その他の動作波長、たとえば１５７ｎｍまたは２４８ｎｍもまた可能である。下流の照明系ＩＬＬは、自身の出射面ＥＳにおいて、下流のカタジオプトリック投影対物レンズＰＯのテレセントリック要件に適合

50

する大型の鮮鋭な境界の均質に照明される照明フィールド $I F$ を生じしめる。この照明系 $I L L$ は、照明モードを選択するための装置を有するとともに、本例においては、可変コヒーレンス度を有する従来式軸上照明と軸外照明、特に環状照明（照明系の瞳面内において輪状の照明領域を有する）および双極子または四極子照明との間において切換え可能である。

【0042】

前記照明系の下流には、マスク M を保持し、かつ操作して、前記マスクが投影対物レンズ $P O$ の物体面 $O S$ と一致する照明系の出射面 $E S$ 内に位置するとともに、前記平面内において、照明系と投影対物レンズとに共通の光軸 $O A$ （すなわち Z 方向）に対して垂直な走査方向（ Y 方向）に移動せしめられて走査操作されるようにする装置 $R S$ （レチクル段）が配置される。 10

【0043】

縮小投影対物レンズ $P O$ は、マスクにより提供されるパターンの像を $4 : 1$ の縮尺でフォトリソ層により被覆されるウェーハ W 上に結像させるように設計される。その他の縮尺、たとえば $5 : 1$ または $8 : 1$ もまた可能である。感光基板としての役割を果たすウェーハ W は、フォトリソ層を有する平面状の基板面 $S S$ が本質的に投影対物レンズの平面状の像面 $I S$ と一致するように配置される。前記ウェーハは、スキャナ駆動装置からなって、該ウェーハをマスク M と同期的に該マスクと平行に移動させる装置 $W S$ （ウェーハ段）によって保持される。この装置 $W S$ は、さらにまた、マニピュレータを含んで、前記ウェーハを光軸 $O A$ に対して平行な Z 方向と前記軸に対して垂直な X および Y 方向とのいずれにも移動させる。前記光軸に対して垂直に延在する少なくとも 1 本の傾斜軸を有する傾斜装置が一体化される。 20

【0044】

ウェーハ W を保持するために用いられる前記装置 $W S$ （ウェーハ段）は、浸漬リソグラフィ用に構成される。前記装置は、スキャナ駆動装置により移動せしめられうるとともに、その底部がウェーハ W を受ける平坦な凹部を有する受容装置 $R D$ からなる。周縁部は、液体浸漬媒質 $I M$ 用の上方に開口する扁平な液密受容部を形成し、前記浸漬媒質は、図示されない装置によって前記受容部内に導入されるとともに、前記受容部から排出される。前記縁部の高さは、対物レンズの出射面とウェーハ表面との間における作動距離が適正に設定された場合に、充填される前記浸漬媒質がウェーハ W の表面 $S S$ を完全に覆うことができ、かつ投影対物レンズ $P O$ の出射側端部部分が前記浸漬液内に浸りうるような寸法とされる。 30

【0045】

投影対物レンズ $P O$ は、平凸レンズを像面 $I S$ に最も近い最後の光学素子 $L O E$ として有し、前記レンズの平面状出射面が投影対物レンズ $P O$ の最後の光学面（出射面）となる。投影露光装置の動作時において、前記最後の光学素子の出射面は、浸漬液 $I L$ 内に完全に浸されるとともに、前記浸漬液によって濡らされる。本例の場合は、屈折率 $n_I = 1.437$ （ 193 nm ）を有する超純水が浸漬液として用いられる。

【0046】

図 1 の差込略図に示されているように、照明系 $I L L$ は、弓形の形状を有する照明フィールド $I F$ （環状フィールドまたは輪状フィールド）を生じしめることができる。この弓形照明フィールドの大きさおよび形状は、マスク上のパターンの像を投影対物レンズの像面に投影するのに実際に用いられる投影対物レンズの有効物体フィールド $O F$ の大きさおよび形状を決定する。照明フィールド $I F$ は、走査方向に対して平行な長さ B と、走査方向に対して垂直な幅 A とを有する。光軸により近い湾曲状内側縁部 $I E$ と、光軸からより離れるとともに Y 方向に長さ B だけ半径方向に偏移する外側縁部 $O E$ とは、同じ縁部半径 R を有する。前記照明フィールドは光軸を含まないこと（軸外照明フィールド）が独特の特徴である。 40

【0047】

図 2 に、投影対物レンズの像側端部に近接するとともに、投影対物レンズの最後の光学 50

素子と基板Wの表面が配置される像面ISとの間において形成される像空間内にある透明光学材料のさまざまな構成が略図に示されている。各例において、動作波長（たとえば193nm）において溶融石英より高い屈折率を有する高屈折率材料は、ハッチングにより示されている。

【0048】

図2(a)に、固体浸漬用に設計された投影対物レンズの像側端部が示されている。この投影対物レンズは、球面状または非球面状に湾曲する入射面と、投影対物レンズの像面と本質的に一致する平面状の出射面とを有するサファイア(Al_2O_3)等の高屈折率固体材料により製作される平凸レンズとして形成される像面ISに最も近い最後の光学素子LOEを有する。近接場リソグラフィー用に設計される実施形態においては、動作波長または動作波長未満程度の小さい像側作動距離が用いられる。最後から2番目の光学素子は、一般に溶融石英またはフッ化カルシウムにより製作される正レンズである。

10

【0049】

図2(b)の構成において、投影対物レンズの最後の光学素子LOEは、凸状に湾曲する入射面と、自身からある距離に配置される像面ISの方を向く凹状の出射面とを有するメニスカスレンズによって形成される。高屈折率の浸漬液ILは、投影対物レンズの前記出射面（最後の光学素子の出射面により形成される）と像面に配置される基板Wとの間の像空間を満たして、正の屈折力を有する液体レンズが形成されるようになる。投影対物レンズの動作時において投影対物レンズの方へと凸状に湾曲する浸漬液を用いることにより、像側開口数NAを最後の光学素子の材料の屈折率より若干低い値または該材料の屈折率と同じ値に制限することなく、最後の光学素子の屈折率より高い屈折率を有する浸漬液を用いることが可能になる。特に、最後の光学素子と浸漬液との間の界面に衝突する、より高い入射角の投影用放射が、前記界面において許容不能な反射損失を引き起こすことなく用いられうる。これにより、さらに、最後の光学素子LOEの屈折率を上回りうる、より高い値のNAを得ることが可能になる。

20

【0050】

図2(c)において、二重浸漬構成が、図2(b)の構成の変形態様として示されている。前記構成の場合のように、投影対物レンズの交換不能な最後の光学素子LOEは、像面ISの方を向く凹状の出射面を有するメニスカスレンズである。平行平板PLは、最後の光学素子からある距離において投影対物レンズの像面に対して平行に配設されて、第1の本質的に平凸状の間隙が最後の光学素子LOEと平行平板PLとの間において形成されるとともに、第2の平行平面状の間隙が前記板PLと像面との間において形成されるようになる。交換可能な板PLは、投影対物レンズの本体に固定されうる。さらにまた、前記板が別途の保持装置に固定されることも可能である。第1の浸漬液IL1は、最後の光学素子LOEと前記板PLとの間において第1の間隙を満たし、第2の高屈折率浸漬液IL2は、前記板PLと基板Wとの間において狭い均一な大きさの間隙を満たす。

30

【0051】

達成可能な開口数に関する利点は、本質的に図2(b)に関して説明された利点と同じである。しかしながら、二重浸漬構成は、層流状の浸漬液IL2を感光基板と接触させることを可能にし、これにより、前記液体の連続的または断続的交換とより良好な温度制御とが可能になって、以って光学的性能に対する浸漬の影響が向上する。さらにまた、前記板PLの一方または両方の面が汚染された場合に、前記板を清浄な板と交換することができ。さらに、たとえば最後の光学素子LOEがフッ化カルシウムにより製作される場合は、この材料と水性浸漬液とが接触することは、フッ化カルシウムが水溶性であるため、回避されるべきである。したがって、平行平板PLを用いることにより、水性浸漬液を基板と接触する第2の浸漬液IL2として用いることができ、第1の浸漬液IL1は、フッ化カルシウムに対して侵蝕性を有さないように選択されうる。平行平板PLは、水およびその他の水性浸漬液に対して化学的に安定な溶融石英により製作されうる。各々の浸漬液IL1、IL2は、二酸化ケイ素の屈折率より高い屈折率を有する。浸漬液IL1およびIL2は、同じであるか、または異なりうる。

40

50

【 0 0 5 2 】

図 2 (d) に、「従来式」浸漬リソグラフィーと同様の基本構成が示されている。たとえば溶融石英またはフッ化カルシウムにより製作される、投影対物レンズの平凸状の最後の光学素子 L O E は、該最後の光学素子の平面状出射面と像面との間において像空間を満たす高屈折率浸漬液 I L と接触する。

【 0 0 5 3 】

図 2 (e) の構成は、平凸レンズを投影対物レンズの最後の光学素子 L O E として有する「従来式」浸漬装置の変形態様である。図 2 (e) において、このレンズは、酸化アルミニウム等の固体高屈折率材料により製作される。動作時において、最後の光学素子の平面状出射面と投影対物レンズの像面との間における像空間は、本質的に前記最後の光学素子 L O E の屈折率と同じであるか、または該屈折率を上回りうる屈折率を有する高屈折率浸漬液 I L により満たされる。

10

【 0 0 5 4 】

全ての構成において、光学素子の屈折力を有する最後の曲面と像面との間における全ての透明光学材料の開口数は、前記面と像面との間において一定に維持される一方で、伝搬角度（光線の伝搬方向と光軸との間において測定される角度）は、透明光学材料のさまざまな屈折率によって変動することに注意されたい。

【 0 0 5 5 】

以下の図 3 ~ 1 0 の各々の実施形態において、前記の構成の 1 つが、193 nm の動作波長用に設計されるとともに円弧状の像フィールドに適合せしめられるカタジオプトリックインライン投影対物レンズの像側端部において用いられる。前記像フィールドは、図 3 ~ 6 および 1 1 の実施形態（二鏡システム）においては、 $A = 26 \text{ mm}$ 、 $B = 5.5 \text{ mm}$ および $R = 11.5 \text{ mm}$ （図 1 の差込図参照）を、図 7 ~ 1 0 および 1 2 の実施形態（四鏡システム）においては、 $A = 26 \text{ mm}$ 、 $B = 4 \text{ mm}$ および $R = 14 \text{ mm}$ を特徴とする。有効像フィールドの大きさは、照明系により投影対物レンズの倍率 $= 0.25$ で得られる有効物体フィールドの大きさに関係することに注意されたい。

20

【 0 0 5 6 】

次に、マイクロリソグラフィー用投影露光装置に用いられるようになっているカタジオプトリック投影対物レンズの好適な実施形態を詳細に説明する。以下に示される全ての実施形態において、全ての曲面鏡の曲率面は、投影対物レンズの光軸 O A と一致する共通の回転対称軸を有する。偶数個の鏡を有するカタジオプトリック投影対物レンズ、特にインラインシステムとも呼ばれる軸対称装置が、このようにして得られる。これらの設計においては、いかなる平面状折曲鏡も用いられないか、または必要とされない。有効物体フィールドおよび像フィールドは、軸外であり、すなわち光軸からある半径方向距離に配置される。全ての装置は、光軸を中心とする円形の瞳を有して、以ってマイクロリソグラフィー用投影対物レンズとして使用されうる。

30

【 0 0 5 7 】

図 3 に、平面状の物体面 O S（物体平面）内に配置されるレチクル上のパターンの像を平面状の像面 I S（像平面）上にある縮尺、たとえば 4 : 1 で投影する一方で、正確に 1 個の中間実像 I M I を創出するように設計されるカタジオプトリック投影対物レンズ 3 0 0 の実施形態のメリジオナル平面（Y - Z 平面）におけるレンズ断面が示されている。光軸 O A の外側に配置される軸外有効物体フィールド O F は、これにより、軸外像フィールド I F 上に投影される。前記有効物体フィールド O F は、一般に図 1 の差込図にしたがった形状の弓形「輪状フィールド」である。メリジオナル平面（図の平面）内における軸外物体フィールド O F の外側フィールド点の主光線 C R の軌道は、光路を辿りやすくするために、太線で図示されている。非球面は、点で示されている。

40

【 0 0 5 8 】

本出願において、「主光線」（プリンシパルレイとしても知られる）という用語は、有効的に用いられる物体フィールド O F の最外側フィールド点（光軸から最も遠い）から放射されるとともに、少なくとも 1 個の瞳面位置において光軸と交差する光線を指す。前記

50

装置の回転対称性により、主光線は、実証のために図に示されるように、メリジオナル平面において同等のフィールド点から選択されうる。物体側において本質的にテレセントリックである投影対物レンズでは、主光線は、物体面から平行に、または光軸に対して非常に小さい角度をなして放射される。結像プロセスは、さらにまた、周辺光線の軌道の特徴とする。本明細書において用いられるところの「周辺光線」とは、軸方向の物体フィールド点（光軸上）から開口絞り A S の縁部へと至る光線である。この周辺光線は、軸外有効物体フィールドが用いられる場合は、口径食により像形成に寄与しないことがある。主光線および周辺光線は、投影対物レンズの光学特性を特徴付けるために選択されうる。

【0059】

投影対物レンズ 300 は、高屈折率の最後の光学素子の出射面と像面との間における浸漬液としての純水とともに用いられる場合に像側開口数 $NA = 1.2$ を有する $\lambda = 193\text{ nm}$ 用浸漬対物レンズとして設計される。明細は、表 3 にまとめられている。最左側の欄に、屈折面、反射面またはその他の指定の面の番号が列挙され、第 2 欄に、その面の半径 $r [\text{mm}]$ が列挙され、第 3 欄には、非球面であることが示され、第 4 欄には、光学面の「厚さ」と呼ばれるパラメータである、1 つの面とその次の面との間における距離 $d [\text{mm}]$ が列挙され、第 5 欄には、その光学素子の製作に用いられる材料が列挙され、第 6 欄には、その材料の屈折率が列挙されている。第 7 欄には、光学素子の光学的に利用可能な有効半径 $[\text{mm}]$ が列挙されている。表中の半径 $r = 0$ は、平面（無限半径を有すること）を示す。

【0060】

表 3 中の多数の面は、非球面である。表 3 A に、これらの非球面の関連データが列挙されており、このデータから、これらの面形状の高さ h の関数としてのサジッタまたは盛り高さ $p(h)$ が、以下の式を用いて計算されうる：

【数 1】

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

【0061】

ここで、半径の逆数 $(1/r)$ は、問題の面の面頂点における曲率であり、 h は、光軸から前記面上の点までの距離である。このように、サジッタまたは盛り高さ $p(h)$ は、問題の面の頂点から z 方向に沿って、すなわち光軸に沿って測定されたその点までの距離を表す。定数 K 、 $C1$ 、 $C2$ 等は、表 3 A に列挙されている。

【0062】

第 1 のカタジオプトリック対物レンズ部分 O P 1 は、物体フィールドを拡大倍率 $\gamma_1 = -1.63$ で唯一の中間像 I M I に結像させるように設計される。第 2 の純屈折性対物レンズ部分 O P 2 は、前記中間像 I N I を縮小倍率 $\gamma_2 = -0.15$ で像面 I S 内に配置される像フィールド I F に結像させるように設計される。第 1 の瞳面 P 1 は、前記第 1 の対物レンズ部分内において、主光線 C R が物体フィールドと中間像 I M I との間において光軸 O A と交差する位置に形成される。第 2 の瞳面 P 2 は、前記第 2 の対物レンズ部分において、主光線 C R が光軸と 2 回目の交差をする位置に形成される。この第 2 の瞳面 P 2 は、像面に最も近い像側瞳面である。有効に使用されうる開口数を確定するために変動可能とされうる開口絞り A S は、前記像側瞳面に近接して配置される。前記像側瞳面 P 2 と像面 I S との間において配置される開口確定レンズ群 A D L G は、瞳結像を行なうとともに、正の屈折力を結集して、像側瞳面から像面の方へと到来する放射を収束させて、像側開口数 $NA = 1.2$ を確定させる。

【0063】

前記第 1 の対物レンズ部分は、2 個の正レンズを有する第 1 の屈折レンズ群 L G 1 1 と、光軸 O A 上において第 1 の瞳面 P 1 に光学的に接近して配置されるとともに物体側を向く鏡面を有する第 1 の凹面鏡 M 1 と光軸外において中間像に光学的に接近して配置される像側を向く大半径の凸状鏡面を有する第 2 の鏡 M 2 とを含む鏡群 M G 1 とを有する。前記第 1 の鏡 M 1 の前に配置される負メニスカスレンズ（面 5、6）は、放射により 2 回通過

される。凹面鏡 M 1 によってもたらされる正の屈折力との組合せで、色収差に対する補正効果が得られ、第 2 の鏡 M 2 に衝突する放射の角スペクトルは、適切に調節される。

【 0 0 6 4 】

前記第 2 の対物レンズ部分 O P 2 は、正の屈折力を有する第 1 のレンズ群 L G 2 1 と、負の屈折力を有して、光線束直径が極小に達するくびれ部分 C O N を形成する第 2 のレンズ群 L G 2 2 と、正の屈折力を有して、第 2 の瞳面 P 2 における放射の形状と角スペクトルとを確定する第 3 のレンズ群 L G 2 3 と、全体として正の屈折力を有する開口確定レンズ群 A D L G とを含む。

【 0 0 6 5 】

前記凹面鏡 M 1 は、自身の前の 2 回通過レンズと組み合わせさせて、ペッツヴァルの和に対する正レンズの逆効果を補償することができるだけの十分な屈折力を有する。中間像 I M I は、ペッツヴァルの和に関して、補正過剰である。この効果は、周辺光線高さが極大に達する開口確定レンズ群 A D L G において結集される正の屈折力を含む第 2 の対物レンズ部分によって補償され、以ってペッツヴァルの和の強度の補正不足がもたらされて、本質的に扁平な像が得られるようになる。

【 0 0 6 6 】

前記開口確定レンズ群 A D L G は、平凸状の最後の光学素子 L O E の直ぐ上流に配置されるとともに、像面の方を向く凹状の非球面状出射面を有する正メニスカスレンズによって形成される正確に 3 個の非球面レンズを含む。投影対物レンズの像側端部は、一般に図 2 (a) にしたがって設計される。最後の光学素子 L O E は、屈折率 $n_{H I} = 1.702$ を有するスピネル構造を持つ高屈折率酸化アルミニウムマグネシウム混合物によって形成される。この最後の光学素子の平面状出射面と像面との間における約 2 mm の像側作動距離は、 $n_{i 1} = 1.597$ を有する高屈折率浸漬液によって満たされる。シクロヘプタンが、この目的のために用いられうる。

【 0 0 6 7 】

この構成において、実質的に $N A = 1.2$ より大きい像側開口数が得られうるが、像面に光学的に近い高屈折材料は、第 1 に、開口確定レンズ群の焦点距離を大きくすることによって前記レンズ群の構成を緩やかにして、収差補正に寄与するレンズのための十分な配設空間を得るために用いられる。

【 0 0 6 8 】

図 4 の投影対物レンズ 4 0 0 は、一般に図 2 (c) にしたがって二重浸漬用に設計される投影対物レンズ 3 0 0 の変形態様である。この対物レンズの最も像側の正メニスカスレンズの非球面状出射面 (面 4 6) の上流におけるレンズの順番と種類とは、本質的に対物レンズ 3 0 0 の場合と同様であり (表 3 および 4 参照) 、したがって前記対物レンズの説明を参照されたい。実施形態 3 0 0 と対照的に、像側端部は、像面の方を向く凹状の出射面を有する正メニスカスレンズとして設計される最後から 2 番目のレンズと、像面の方を向く凹状の出射面を有する正メニスカスレンズとして設計される最後の光学素子 L O E とを含む。平行平板 P L は、前記最後の光学素子からある距離において、前記光学素子と像面との間に配置される。動作時において、前記最後の光学素子 L O E と平行平板 P L との間における平凸状の間隙と、前記平行平板 P L と像面との間における平行平面状の間隙とは、最後の光学素子 L O E および平行平板 P L の屈折率 $n_{SiO_2} = 1.561$ より実質的に大きい $n_{H I} = 1.702$ に近い屈折率を有する同じ高屈折率浸漬液によって満たされる。デカリン (デカヒドロナフタレン) 等の環状炭化水素が用いられうる。

【 0 0 6 9 】

図 5 の投影対物レンズ 5 0 0 は、図 2 (b) の略図に示されるように像面の方を向く凹状の出射面を有する溶融石英により製作される正メニスカスレンズによって形成される最後の光学素子 L O E と像面との間の平凸状の間隙内に充填される高屈折率浸漬液とともに用いられるようになっている図 3 の基本設計の変形態様である。 $n_{H I} = 1.702$ を有する高屈折率浸漬液が用いられる。

【 0 0 7 0 】

10

20

30

40

50

図 6 の投影対物レンズ 6 0 0 は、図 2 (d) にしたがって最後の光学素子 L O E の平面状の出射面と平面状の像面との間の均一な厚さの間隙内に充填される単一層の高屈折率浸漬液とともに用いられるようになっている図 3 の設計の変形態様である。溶融石英により製作される平凸状の最後の光学素子 L O E の屈折率 ($n_{SiO_2} = 1.561$) と浸漬液として用いられるドープされた水の屈折率 $n_{HI} = 1.597$ とは、本質的に同じである (屈折率差 $n = 0.036$)。最後の光学素子の製造公差は、屈折率における小差によって緩和されうる。

【 0 0 7 1 】

浸漬液としての純水 ($n = 1.437$) に適合化される投影対物レンズ 6 0 0 の変形態様の明細は、表 1 1、1 1 A に示されている。レンズおよび鏡の個数と順番と種類 (一般形状) とは、図 1 1 に示されるように、図 6 の実施形態の場合と同じである。この実施形態と対照的に、最後の光学素子を形成する平凸レンズは、溶融石英により製作される。いかなる高屈折率材料も、この実施形態においては用いられない。

【 0 0 7 2 】

図 7 の投影対物レンズ 7 0 0 は、本発明にしたがったカタジオプトリック投影対物レンズの第 2 の設計形式の代表例である。この実施形態は、 $NA = 1.3$ において浸漬液として純水 ($n = 1.437$) を用いる浸漬リソグラフィー用に適合化されている。高屈折率の固体 ($n_{HI} = 1.786$) により製作される平凸レンズが、最後の光学素子 L O E を形成する。第 1 のカタジオプトリック対物レンズ部分 O P 1 は、軸外物体フィールド O F を唯一の中間像 I M I に拡大倍率 ($\beta_1 = -3.23$) で結像させるように設計される。第 2 のカタジオプトリック対物レンズ部分 O P 2 は、前記中間像を像フィールド I F 上に縮小倍率 ($\beta_2 = -0.077$) で結像させるように設計される。第 1 の対物レンズ部分において、正の屈折力を有する屈折性の第 1 のレンズ群 L G 1 1 は、負のメニスカスレンズが自身の前に配置されている、鏡群 M G 1 の第 1 の凹面鏡 M 1 の方へと放射を収束させるように設計される。第 1 の鏡 M 1 から反射される放射は、像面の方を向く若干凸状の鏡面を有する第 2 の鏡 M 2 へと向けられる。第 1 の鏡 M 1 は、第 1 の瞳面 P 1 に光学的に接近して光軸上に配置される一方で、第 2 の鏡 M 2 は、軸外であり、かつフィールド面 (中間像 I M I) に光学的に接近している。

【 0 0 7 3 】

第 2 の対物レンズ部分 O P 2 の入射領域において、物体面の方を向く凹状の鏡面を有する第 3 の鏡 M 3 と、像面の方を向く凸状の鏡面を有する第 4 の鏡 M 4 とを含む第 2 の鏡群 M G 2 は、放射を 3 個の連続する負メニスカスレンズを含む第 2 のレンズ群 L G 2 2 の方へと収束させるように設計され、以って光線束直径が極小となることを特徴とするくびれ部 C O N が創出される。正の屈折力を有する第 3 のレンズ群 L G 2 3 と、正の屈折力を有する開口確定レンズ群 A D L G とは、放射を像面の方へと収束させるように設計される。開口絞り A S は、第 3 のレンズ群 L G 2 3 と開口確定レンズ群 A D L G との間において配置される像側瞳面 P 2 に接近して配置される。

【 0 0 7 4 】

図 3 ~ 図 7 に示される実施形態の基本構成と本構成とを比較することにより、前記実施形態において用いられる屈折レンズ群 L G 2 1 の機能は、この場合は、少なくとも部分的に、第 2 の対物レンズ部分の入口にある第 2 の鏡群 M G 2 によって果たされることは明らかである。少なくとも 3 個の負レンズが第 4 の鏡 M 4 と像側瞳面 P 2 との間において配設されることが独特の特徴である。特に、くびれ部分 C O N における 3 個の連続する負レンズは、球面収差、コマおよびベッツヴァルの和の補正に有意に寄与する。さらにまた、第 2 の対物レンズ部分 O P 2 は、高密度の非球面を特徴とする。特に、3 個の連続する非球面 (面 2 2、2 3 および 2 4) を含む三重非球面 T A は、負レンズ群 L G 2 2 と双非球面正レンズ (面 2 3、2 4) で始まる正レンズ群 L G 2 3 との間において遷移領域内に配設される。二重非球面 D A は、後続のレンズの光学面 (面 2 6、2 7) を向き合わせることで形成される。像面の方を向く非球面状出射面を有する 3 個の連続する各非球面レンズが、開口確定レンズ群 A D L G 内において用いられる。その結果として、第 2 の対物

10

20

30

40

50

レンズ部分 O B 2 は、 $N_{A S P} = 9$ 個の非球面状レンズ面と少なくとも 1 個の非球面状レンズ面を有する $N_{A S P L} = 8$ 個のレンズとを含む。したがって、投影対物レンズ 7 0 0 内において結像系を形成する第 2 の対物レンズ部分において、非球面比 $A R = N_{A S P} / N_{A S P L} = 1.125$ となる。

【0075】

さらにまた、浸漬液としての純水 ($n = 1.437$) に適合化せしめられる投影対物レンズ 7 0 0 の変形態様の明細が、表 1 2、1 2 A に示されている。レンズおよび鏡の個数と順番と種類 (一般形状) とは、図 1 2 に示されているように、図 7 の実施形態と同じである。この実施形態と対照的に、最後の光学素子を形成する平凸レンズは、熔融石英によって製作される。いかなる高屈折材料も、この実施形態においては用いられない。

10

【0076】

投影対物レンズ 8 0 0 は、図 2 (a) にしたがって、平凸状の最後の光学素子 L O E の平面状の出射面が露光対象の基板の表面と接触せしめられる固体浸漬用に設計される。最後から 2 番目の正レンズ P L は、熔融石英により製作される一方で、最後の光学素子 L O E は、 $n_{H I} = 1.760$ を有する固体高屈折率材料により製作される。 $N A > 1.6$ 程度の像側開口数は、この条件下で得られうるが、実際の値は、 $N A = 1.3$ に制限される。高屈折率の最後の光学素子は、こうした高い $N A$ 値と、開口確定レンズ群 A D L G 内における最後の光学素子の上流の相対的に小さい放射伝搬角とを組み合わせることを可能にし、したがって、前記開口確定レンズ群は、像側瞳面 P 2 と像面との間において瞳結像を補正する 3 個の非球面レンズを含むレンズに関して、大きい焦点距離と十分な空間とを有する緩やかな態様に設計されうる。

20

【0077】

図 9 の投影対物レンズ 9 0 0 は、最も重要な相違が、一般に図 2 (b) にしたがって設計されて、最後の光学素子 L O E (熔融石英により製作される) の凹状の出射面と像面との間における平凸状の空間内の高屈折率の浸漬液とともに用いられる投影対物レンズの像側端部の構成にある、図 8 の投影対物レンズ 8 0 0 の変形態様である。

【0078】

図 1 0 の投影対物レンズ 1 0 0 0 は、一般に図 2 (c) にしたがって、像側端部において二重浸漬用に設計される、図 8 に示された実施形態の変形態様である。作用において、前記像側端部は、凹状の出射面を有する正メニスカスレンズとして設計される最後の光学素子 L O E と、 $n_{H I} = 1.751$ を有する高屈折率浸漬液により満たされる平凸状の浸漬空間と、熔融石英の平行平板 P L と、 $n_{H I} = 1.751$ を有する浸漬液により満たされる、像面に隣接する第 2 の平行平面状の空間とをこの順番で有する。前記に説明したように、像側端部における光学面の汚染に起因する問題と、浸漬液中における不均一な液体流動と温度条件とに起因する問題とは、たとえば図 2 (b) に示されるような単一浸漬の代わりに二重浸漬を用いると大体において回避されうる。

30

【0079】

すでに述べたように、本発明は、相対的に少量の光学材料を用いて製作されうるカタジオプトリック投影対物レンズを、高開口数を有して製作することを可能にし、特に開口数 $N A > 1$ での浸漬リソグラフィーを可能にする。以下に、少ない材料消費の潜在性を、特に小型の投影対物レンズが製造されうることを説明するパラメータを考察して立証する。

40

【0080】

一般に、投影対物レンズの寸法は、像側開口数 $N A$ が増加すると激増する傾向にある。経験的に、最大レンズ直径 D_{max} は、 $D_{max} \sim N A^k$ にしたがって、 $N A$ の増加に伴って線形を超えて激増する傾向にあることがわかっており、ここで、 $k > 1$ である。値 $k = 2$ は、本出願において用いられる近似値である。さらにまた、最大レンズ直径 D_{max} は、像フィールドの大きさ (像フィールド高さ Y' により表され、ここで、 Y' は、像フィールド点と光軸との間における最大距離である) に比例して増加することがわかった。本出願においては、一次従属が仮定される。これらの考慮事項に基づいて、第 1 の小型化パラメータ C O M P 1 は、下記のように定義される：

50

【数 2】

$$\text{COMP1} = D_{\max}/(Y' \cdot \text{NA}^2).$$

【0081】

像フィールド高さおよび開口数が所定の値であるとき、小型設計が望まれる場合は、第1の小型化パラメータCOMP1を可能な限り小さくすべきであることは明白である。

【0082】

投影対物レンズを得るために必要な全体としての材料消費量を考慮すると、レンズの絶対数 N_L もまた関連してくる。一般に、より少数のレンズを有する装置は、より多数のレンズを有する装置より好ましい。したがって、第2の小型化パラメータCOMP2は、下記のように定義される：

【数 3】

$$\text{COMP2} = \text{COMP1} \cdot N_L.$$

【0083】

この場合も、COMP2が小さい値であることは、小型の光学装置であることを示す。

【0084】

さらにまた、本発明の好適な実施形態にしたがった投影対物レンズは、入射側フィールド面を光学的に共役の出射側フィールド面に結像するための少なくとも2個の対物レンズ部分を有しており、前記結像用投影対物レンズ部分は、中間像の位置で連結される。

【0085】

一般に、レンズの個数と投影対物レンズの製造に必要な全体としての材料は、光学装置の結像用対物レンズ部分の個数 N_{Op} が増加すると増加する。対物レンズ部分毎のレンズの平均個数 N_L / N_{Op} を可能な限り小値に保つことが望ましい。したがって、第3の小型化パラメータCOMP3は、下記のように定義される：

【数 4】

$$\text{COMP3} = \text{COMP1} \cdot N_L / N_{Op}.$$

【0086】

この場合も、光学材料の消費量が少ない投影対物レンズは、COMP3の値が小さいことを特徴とする。

【0087】

表13に、小型化パラメータCOMP1、COMP2、COMP3を計算するのに必要な値と、明細表とともに提示された各々の装置のこうしたパラメータのそれぞれの値とがまとめられている（表番号（同じ番号の図に対応する）は、表13の欄1に示されている）。したがって、少なくとも1個の凹面鏡と少なくとも2個の結像用対物レンズ部分（すなわち、少なくとも1個の中間像）とを有する小型のカタジオプトリック投影対物レンズを得るためには、以下の条件の少なくとも1つを満たすべきである：

$$\text{COMP1} < 1.5$$

好ましくは、 $\text{COMP1} < 1.4$ が満たされるべきである。この制限は、特に二鏡装置（すなわち、2個の凹面鏡を有するカタジオプトリック投影対物レンズ）に当てはまる。

【0088】

四鏡装置（図7～10および12に示されたような）においては、COMP1を考慮すると、設計はさらに一層小型化されうる。好ましくは、下記の条件：

$$\text{COMP1} < 1.2$$

が満たされるべきであり、ここで、好ましくは、 $\text{COMP1} < 1.1$ が当てはまりうる。

【0089】

表13から、本発明にしたがった好適な実施形態は、一般にこれらの条件の少なくとも

1つを満たすことがわかり、本明細書に開示の設計基準にしたがって、適度な材料消費量の小型設計が得られることが示されている。

【0090】

NA > 1での浸漬リソグラフィー用に設計される高NAのカタジオプトリック投影対物レンズを用いて本発明の原理を説明した。本発明は、「乾燥系」、すなわち動作時ににおいて気体により満たされる像側作動距離を有するNA < 1のカタジオプトリック投影対物レンズにも用いられうる。

【0091】

好適な実施形態の前記説明は、例証として示されたものである。記載の開示から、当業者は、本発明と本発明に伴う利点とを理解するだけではなく、開示の構造および方法に対する自明のさまざまな変更および改変にも気付くであろう。したがって、全ての変更および改変は、添付の特許請求の範囲に記載されるところの本発明およびその同等物の精神および範囲の範囲内に含まれるものとする。

【0092】

全ての請求項の内容は、本明細書の記載の一部とされる。

【表3】

面	半径		厚さ	材料	屈折率 193.368 nm	有効半径
1	-404.542022		36.232225	SIO2	1.56078570	88.996
2	-184.402723	非球面	1.000090	空気	1.00000000	95.088
3	674.592973		51.347982	SIO2	1.56078570	102.076
4	-174.232362		144.581202	空気	1.00000000	102.829
5	-162.800929	非球面	14.999049	CAF2	1.50185255	53.189
6	-1456.920767		15.293417	空気	1.00000000	63.896
7	-202.841004		-15.293417	反射	1.00000000	67.884
8	-1456.920767		-14.999049	CAF2	1.50185255	67.836
9	-162.800929	非球面	-129.581898	空気	1.00000000	67.241
10	-2538.490880	非球面	174.873667	反射	1.00000000	89.519
11	-391.507349		46.632422	SIO2	1.56078570	140.865
12	-195.389639		0.999852	空気	1.00000000	144.625
13	1411.077988	非球面	41.703225	SIO2	1.56078570	160.805
14	-529.305238		0.999461	空気	1.00000000	162.519
15	1458.778723		34.033769	SIO2	1.56078570	165.701
16	-3002.433858		1.088813	空気	1.00000000	166.002
17	212.825771		57.638065	SIO2	1.56078570	165.361
18	436.070633	非球面	107.276235	空気	1.00000000	157.551
19	807.065576	非球面	13.824876	SIO2	1.56078570	136.972
20	290.022861		105.550931	空気	1.00000000	129.323
21	153.210365		45.794134	SIO2	1.56078570	102.069
22	136.220631		56.777310	空気	1.00000000	85.525
23	-236.154610	非球面	16.122149	SIO2	1.56078570	84.150
24	196.227428		58.167782	空気	1.00000000	89.217
25	-225.833560		59.831340	SIO2	1.56078570	97.239
26	-193.684381		3.215861	空気	1.00000000	118.689
27	1270.382760	非球面	13.092290	SIO2	1.56078570	138.308
28	444.089768		15.430530	空気	1.00000000	145.054
29	798.722954		70.490347	SIO2	1.56078570	148.503
30	-372.865243		1.829734	空気	1.00000000	155.186
31	1055.533545		39.622524	SIO2	1.56078570	165.276
32	-843.038518		36.110674	空気	1.00000000	165.999
33	397.601006		52.148862	SIO2	1.56078570	165.961
34	-2316.548771		-4.213465	空気	1.00000000	164.343
35	0.000000		0.000000	空気	1.00000000	163.851
36	0.000000		24.329363	空気	1.00000000	163.851
37	-584.913340		13.012880	SIO2	1.56078570	163.706
38	-1175.679472		0.999882	空気	1.00000000	163.968
39	468.096624		53.626064	SIO2	1.56078570	161.375
40	-861.698483		0.999930	空気	1.00000000	159.675
41	199.043185		50.143874	SIO2	1.56078570	132.604
42	1068.213664	非球面	0.999723	空気	1.00000000	126.983
43	159.145519		28.472240	SIO2	1.56078570	103.283
44	185.472842	非球面	1.000460	空気	1.00000000	90.240
45	118.935626		36.986741	CAF2	1.50185255	82.041
46	183.063185	非球面	1.167554	空気	1.00000000	65.440
47	108.701433		56.721488	高屈折率1	1.70196985	58.621
48	0.000000		1.996512	高屈折率2	1.59667693	18.135

10

20

30

40

50

【表 3 A】

非球面定数

面	2	5	9	10	13
K	0	0	0	0	0
C1	-2.722625e-09	1.960629e-08	1.960629e-08	-2.009517e-09	4.688860e-12
C2	7.584994e-13	7.765801e-13	7.765801e-13	-9.097265e-14	-1.731249e-13
C3	9.846612e-17	1.917740e-17	1.917740e-17	-8.260726e-18	-6.240777e-19
C4	6.877818e-21	2.910700e-22	2.910700e-22	5.085547e-23	4.036403e-23
C5	1.011674e-24	1.224735e-25	1.224735e-25	-1.203685e-26	-1.100969e-27
C6	-1.051032e-29	-3.426250e-30	-3.426250e-30	-9.728791e-31	5.706583e-33
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	18	19	23	27	42
K	0	0	0	0	0
C1	1.982111e-08	1.777327e-08	-1.163364e-07	-7.203585e-09	1.122901e-08
C2	-8.423501e-14	3.329332e-13	-9.570513e-13	1.049118e-13	-3.595965e-14
C3	-7.592975e-19	2.038481e-20	4.236584e-17	-7.379754e-19	-2.518839e-18
C4	1.931064e-22	7.263940e-22	-7.733258e-22	7.196196e-23	4.313506e-22
C5	-5.204262e-27	-3.379214e-26	2.136062e-26	-9.945374e-28	-1.564968e-26
C6	8.863320e-32	6.878653e-31	1.705507e-30	4.329096e-32	3.223390e-31
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	44	46			
K	0	0			
C1	1.449926e-08	6.313252e-08			
C2	5.832083e-13	1.940331e-12			
C3	6.975570e-17	-2.373686e-16			
C4	3.546013e-21	-1.406348e-21			
C5	-1.283131e-26	-1.469813e-25			
C6	1.520482e-29	9.584030e-29			
C7	0.000000e+00	0.000000e+00			
C8	0.000000e+00	0.000000e+00			
C9	0.000000e+00	0.000000e+00			

10

20

【表 4】

面	半径		厚さ	材料	屈折率 193.368 nm	有効半径
1	-414.121100		42.366173	SiO ₂	1.56078570	88.595
2	-180.398286	非球面	0.997246	空気	1.00000000	95.880
3	672.276124		51.013183	SiO ₂	1.56078570	102.455
4	-176.777070		141.655598	空気	1.00000000	103.078
5	-155.975967	非球面	14.997355	CAF2	1.50185255	51.750
6	-1379.092049		14.967737	空気	1.00000000	62.450
7	-199.579690		-14.967737	反射	1.00000000	66.450
8	-1379.092049		-14.997355	CAF2	1.50185255	66.430
9	-155.975967	非球面	-126.660492	空気	1.00000000	65.918
10	-2739.696693	非球面	171.620690	反射	1.00000000	89.015
11	-377.604010		48.768472	SiO ₂	1.56078570	140.210
12	-192.471339		1.143047	空気	1.00000000	144.656
13	1832.945177	非球面	45.701706	SiO ₂	1.56078570	159.912
14	-432.630174		1.309799	空気	1.00000000	162.061
15	960.131289		33.354459	SiO ₂	1.56078570	165.645
16	13106.162262		1.201087	空気	1.00000000	165.350
17	211.754857		52.094947	SiO ₂	1.56078570	164.107
18	368.724438	非球面	111.692117	空気	1.00000000	156.247
19	695.817447	非球面	18.634797	SiO ₂	1.56078570	137.290
20	273.576995		102.726199	空気	1.00000000	128.441
21	153.882013		53.558789	SiO ₂	1.56078570	103.781
22	134.234534		55.463264	空気	1.00000000	84.662
23	-264.669591	非球面	13.022221	SiO ₂	1.56078570	83.344
24	199.502999		58.221149	空気	1.00000000	88.287
25	-239.260240		59.896334	SiO ₂	1.56078570	97.407
26	-196.613503		1.765954	空気	1.00000000	118.186
27	1196.470171	非球面	13.989223	SiO ₂	1.56078570	136.152
28	432.693820		16.877009	空気	1.00000000	143.023
29	868.369835		68.316963	SiO ₂	1.56078570	146.466
30	-368.754428		3.325465	空気	1.00000000	153.285
31	948.367854		41.454358	SiO ₂	1.56078570	164.595
32	-811.359547		21.980014	空気	1.00000000	165.329
33	379.644456		54.827896	SiO ₂	1.56078570	165.179
34	-2000.974239		-5.709303	空気	1.00000000	163.419
35	0.000000		0.000000	空気	1.00000000	163.100
36	0.000000		22.976075	空気	1.00000000	163.100
37	-613.803055		12.999109	SiO ₂	1.56078570	162.929
38	-1347.086830		1.077015	空気	1.00000000	162.653
39	507.225908		51.105620	SiO ₂	1.56078570	159.495
40	-817.071242		1.390689	空気	1.00000000	157.771
41	186.916911		50.121407	SiO ₂	1.56078570	129.074
42	751.052938	非球面	0.999451	空気	1.00000000	123.165
43	154.750641		22.396936	SiO ₂	1.56078570	100.269
44	200.808041	非球面	0.999869	空気	1.00000000	91.478
45	121.066042		34.146717	CAF2	1.50185255	82.634
46	169.446884	非球面	1.216841	空気	1.00000000	66.454
47	103.838634		20.583027	SiO ₂	1.56078570	59.765
48	103.718650		26.529620	高屈折率1	1.70196985	46.439
49	0.000000		10.000000	SiO ₂	1.56078570	30.992
50	0.000000		1.996512	高屈折率1	1.70196985	18.983
51	0.000000		0.000000	空気	0.00000000	17.000

10

20

30

【表 4 A】

非球面定数

面	2	5	9	10	13
K	0	0	0	0	0
C1	-4.404795e-09	2.108903e-08	2.108903e-08	-9.135670e-10	1.561215e-10
C2	5.820719e-13	9.182484e-13	9.182484e-13	-1.409356e-13	-2.907275e-13
C3	8.269357e-17	2.420748e-17	2.420748e-17	-6.913194e-18	1.928971e-18
C4	6.832303e-21	3.816551e-22	3.816551e-22	-2.311766e-22	1.443299e-23
C5	1.109394e-24	2.038192e-25	2.038192e-25	9.899481e-27	-1.206840e-27
C6	-1.950134e-29	-1.306007e-30	-1.306007e-30	-2.195577e-30	7.504603e-33
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	18	19	23	27	42
K	0	0	0	0	0
C1	2.067993e-08	2.125729e-08	-1.336932e-07	-8.139318e-09	5.632057e-09
C2	-1.794696e-13	1.937856e-13	-1.521795e-12	9.789279e-14	-6.884692e-18
C3	1.805678e-19	3.281010e-21	2.384680e-17	-1.958751e-18	-3.284658e-18
C4	2.458151e-22	1.028071e-21	-5.679311e-22	1.143247e-22	8.247569e-22
C5	-6.710693e-27	-4.445379e-26	-4.218802e-25	-2.199820e-27	-3.538280e-26
C6	1.159381e-31	8.293984e-31	3.402670e-29	7.977100e-32	7.399992e-31
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	44	46			
K	0	0			
C1	1.802314e-08	7.847301e-08			
C2	1.052624e-12	1.326566e-12			
C3	1.095964e-16	-3.074253e-16			
C4	3.351062e-21	1.612295e-20			
C5	-1.457987e-25	-4.631529e-24			
C6	3.258770e-29	5.629462e-28			
C7	0.000000e+00	0.000000e+00			
C8	0.000000e+00	0.000000e+00			
C9	0.000000e+00	0.000000e+00			

10

20

【表 5】

面	半径		厚さ	材料	屈折率 193.368 nm	有効半径
1	-451.633069		41.847802	SiO2	1.56078570	88.846
2	-179.764443	非球面	0.997865	空気	1.00000000	95.677
3	788.811739		49.515274	SiO2	1.56078570	101.750
4	-175.765286		142.344513	空気	1.00000000	102.424
5	-152.168282	非球面	14.999283	CAF2	1.50185255	52.217
6	-1224.296886		15.148776	空気	1.00000000	63.166
7	-197.634797		-15.148776	反射	1.00000000	67.215
8	-1224.296886		-14.999283	CAF2	1.50185255	67.146
9	-152.168282	非球面	-127.348415	空気	1.00000000	66.389
10	-2297.976026	非球面	172.492572	反射	1.00000000	88.913
11	-363.177979		48.449667	SiO2	1.56078570	140.748
12	-191.107660		0.999511	空気	1.00000000	145.196
13	1371.212896	非球面	46.493123	SiO2	1.56078570	160.992
14	-443.917203		1.000590	空気	1.00000000	162.829
15	1036.740259		32.622427	SiO2	1.56078570	166.016
16	18207.832821		1.096839	空気	1.00000000	165.744
17	215.621498		52.169416	SiO2	1.56078570	164.511
18	393.524032	非球面	111.107168	空気	1.00000000	156.872
19	806.536545	非球面	16.822440	SiO2	1.56078570	138.306
20	270.135089		106.851182	空気	1.00000000	129.559
21	153.204982		53.733281	SiO2	1.56078570	105.125
22	135.178987		57.907901	空気	1.00000000	86.138
23	-265.940335	非球面	17.321242	SiO2	1.56078570	84.520
24	196.940842		56.734300	空気	1.00000000	89.865
25	-240.085893		60.203703	SiO2	1.56078570	97.829
26	-196.482791		1.011366	空気	1.00000000	119.023
27	1505.948667	非球面	13.006909	SiO2	1.56078570	137.367
28	436.428499		16.435228	空気	1.00000000	144.478
29	837.903006		68.476413	SiO2	1.56078570	148.046
30	-356.200116		1.277689	空気	1.00000000	154.245
31	943.310018		42.390199	SiO2	1.56078570	165.276
32	-805.249142		28.982667	空気	1.00000000	166.006
33	372.901733		57.042107	SiO2	1.56078570	165.234
34	-2011.241856		-5.362421	空気	1.00000000	163.126
35	0.000000		0.000000	空気	1.00000000	162.695
36	0.000000		22.693554	空気	1.00000000	162.695
37	-618.137674		13.166607	SiO2	1.56078570	162.516
38	-1354.641448		1.437096	空気	1.00000000	162.047
39	500.325754		50.334013	SiO2	1.56078570	158.446
40	-848.695041		1.055181	空気	1.00000000	156.638
41	190.208184		48.937616	SiO2	1.56078570	128.548
42	871.846545	非球面	0.999300	空気	1.00000000	122.700
43	156.573271		23.501019	SiO2	1.56078570	100.182
44	190.148325	非球面	0.999727	空気	1.00000000	90.347
45	121.071287		34.552923	CAF2	1.50185255	81.853
46	182.689299	非球面	0.998604	空気	1.00000000	65.800
47	105.605176		20.369177	SiO2	1.56078570	58.914
48	99.320659		39.009260	ガラス53	1.70196985	45.020
49	0.000000		0.000000	空気	0.00000000	17.000

10

20

30

【表 5 A】

非球面定数

面	2	5	9	10	13
K	0	0	0	0	0
C1	-3.874558e-09	2.221038e-08	2.221038e-08	-3.922240e-10	-8.667348e-12
C2	8.315942e-13	9.873497e-13	9.873497e-13	-1.977352e-13	-2.555495e-13
C3	1.016326e-16	3.165387e-17	3.165387e-17	-5.465052e-18	1.320002e-18
C4	6.175290e-21	1.398411e-22	1.398411e-22	-3.354122e-22	1.461733e-23
C5	1.157104e-24	2.420682e-25	2.420682e-25	1.182185e-26	-9.502963e-28
C6	-3.544707e-29	-4.120639e-30	-4.120639e-30	-2.423764e-30	5.753067e-33
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	18	19	23	27	42
K	0	0	0	0	0
C1	2.045030e-08	2.256223e-08	-1.285703e-07	-6.512254e-09	1.075423e-08
C2	-1.419891e-13	2.739230e-13	-1.156589e-12	1.223304e-13	-3.072658e-14
C3	5.317906e-19	-3.997897e-22	4.892617e-17	-1.406871e-18	-7.074621e-18
C4	1.512247e-22	7.796208e-22	-1.326371e-21	9.709645e-23	9.986934e-22
C5	-3.315707e-27	-3.395311e-26	-3.320971e-26	-1.285907e-27	-4.000417e-26
C6	6.495461e-32	6.522368e-31	1.382652e-29	5.835628e-32	8.319761e-31
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	44	46			
K	0	0			
C1	1.028484e-08	8.250136e-08			
C2	3.036683e-13	2.629435e-12			
C3	1.031272e-16	-3.068772e-16			
C4	4.607368e-21	2.829771e-21			
C5	-2.568057e-25	-1.206037e-24			
C6	2.849902e-29	6.211885e-29			
C7	0.000000e+00	0.000000e+00			
C8	0.000000e+00	0.000000e+00			
C9	0.000000e+00	0.000000e+00			

10

20

【表 6】

面	半径		厚さ	材料	屈折率 193.368 nm	有効半径
1	-331.000904		42.813272	SiO2	1.56078570	87.918
2	-186.584235	非球面	0.998996	空気	1.00000000	96.506
3	456.092636		54.350538	SiO2	1.56078570	104.559
4	-187.509343		148.636637	空気	1.00000000	104.982
5	-167.147346	非球面	14.998818	CAF2	1.50185255	53.680
6	-1774.729150		15.137660	空気	1.00000000	64.137
7	-210.467126		-15.137660	反射	1.00000000	68.006
8	-1774.729150		-14.998818	CAF2	1.50185255	68.006
9	-167.147346	非球面	-133.638684	空気	1.00000000	67.649
10	-3173.721817	非球面	178.773115	反射	1.00000000	92.046
11	-1077.389521		58.402850	SiO2	1.56078570	150.422
12	-231.757181		1.000238	空気	1.00000000	154.439
13	9687.226397	非球面	43.632651	SiO2	1.56078570	163.998
14	-383.748558		1.000850	空気	1.00000000	165.716
15	1429.968899		26.165059	SiO2	1.56078570	166.011
16	3898.010913		0.999264	空気	1.00000000	165.250
17	195.690040		51.365518	SiO2	1.56078570	162.270
18	307.973470	非球面	112.539955	空気	1.00000000	153.025
19	353.925856	非球面	14.621944	SiO2	1.56078570	131.543
20	192.060285		86.375704	空気	1.00000000	122.255
21	155.121944		64.250457	SiO2	1.56078570	104.326
22	130.619670		55.246879	空気	1.00000000	81.462
23	-219.052805	非球面	13.030104	SiO2	1.56078570	80.150
24	194.190299		50.223615	空気	1.00000000	86.444
25	-200.413455		63.662787	SiO2	1.56078570	91.322
26	-177.648047		1.036827	空気	1.00000000	115.955
27	777.183202	非球面	14.381647	SiO2	1.56078570	140.005
28	426.571296		16.224176	空気	1.00000000	146.424
29	773.106124		66.866991	SiO2	1.56078570	150.068
30	-355.919709		2.893664	空気	1.00000000	155.097
31	1532.665989		40.910666	SiO2	1.56078570	164.941
32	-669.729091		34.068489	空気	1.00000000	165.952
33	459.493406		48.212313	SiO2	1.56078570	165.903
34	-2073.015200		-5.544810	空気	1.00000000	164.438
35	0.000000		0.000000	空気	1.00000000	164.174
36	0.000000		26.013038	空気	1.00000000	164.174
37	-549.643917		13.007760	SiO2	1.56078570	164.053
38	-1478.808572		1.037593	空気	1.00000000	165.026
39	402.404594		63.032812	SiO2	1.56078570	164.560
40	-758.807583		1.004453	空気	1.00000000	162.896
41	199.150466		49.164957	SiO2	1.56078570	133.403
42	976.072546	非球面	0.999907	空気	1.00000000	127.646
43	126.061354		31.719144	SiO2	1.56078570	98.206
44	167.480430	非球面	0.999440	空気	1.00000000	88.650
45	116.813879		29.633926	CAF2	1.50185255	79.972
46	176.434975	非球面	0.996811	空気	1.00000000	66.214
47	99.243782		50.572086	SiO2	1.56078570	57.873
48	0.000000		1.996512	高屈折率1	1.59667693	19.284
49	0.000000		0.000000	空気	0.00000000	17.001

10

20

30

【表 6 A】

非球面定数

面	2	5	9	10	13
K	0	0	0	0	0
C1	-1.555531e-09	1.687918e-08	1.687918e-08	-1.348504e-09	7.573604e-10
C2	-6.958515e-14	6.232575e-13	6.232575e-13	-3.176568e-15	-3.870838e-13
C3	-1.242060e-17	9.529592e-18	9.529592e-18	-6.759196e-18	2.190326e-18
C4	1.389350e-20	1.573173e-21	1.573173e-21	1.871932e-22	1.172042e-22
C5	1.251086e-25	-2.114196e-25	-2.114196e-25	-1.231992e-26	-4.121126e-27
C6	4.509880e-29	1.902556e-29	1.902556e-29	-2.072031e-31	3.470805e-32
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	18	19	23	27	42
K	0	0	0	0	0
C1	2.849121e-08	3.066437e-08	-1.429500e-07	-9.011286e-09	1.649069e-08
C2	-2.278306e-13	-7.961198e-14	-2.394790e-12	1.443716e-13	-2.040459e-13
C3	-8.088020e-18	4.912301e-19	4.129786e-17	-2.416742e-18	-1.139128e-18
C4	1.085216e-21	2.365625e-21	-5.098269e-21	1.150323e-22	4.785396e-22
C5	-3.346165e-26	-1.010997e-25	-1.337613e-25	-2.653658e-27	-1.860374e-26
C6	4.803561e-31	2.034614e-30	-3.296337e-29	6.716032e-32	4.389813e-31
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	44	46			
K	0	0			
C1	-6.517109e-09	7.951924e-08			
C2	-5.411899e-13	5.625967e-12			
C3	9.933771e-17	-8.187722e-16			
C4	6.592214e-21	5.591368e-20			
C5	1.596683e-25	-1.663052e-23			
C6	-4.426984e-30	1.270531e-27			
C7	0.000000e+00	0.000000e+00			
C8	0.000000e+00	0.000000e+00			
C9	0.000000e+00	0.000000e+00			

10

20

【表 7】

面	半径		厚さ	材料	屈折率 193.368 nm	有効半径
1	-140.823672	非球面	57.433959	SiO ₂	1.56078570	85.179
2	-204.756037		1.827474	空気	1.00000000	106.319
3	239.453106		66.012931	SiO ₂	1.56078570	126.931
4	-836.638684		1.982704	空気	1.00000000	125.824
5	1797.059677		14.713179	SiO ₂	1.56078570	123.061
6	4149.711621		2.799289	空気	1.00000000	121.381
7	340.970653		31.938127	SiO ₂	1.56078570	117.054
8	-1898.815009	非球面	204.027732	空気	1.00000000	113.970
9	-155.329952		13.309745	SiO ₂	1.56078570	72.590
10	-695.719352		17.409035	空気	1.00000000	85.602
11	-243.893201	非球面	-17.409035	反射	1.00000000	89.704
12	-695.719352		-13.309745	SiO ₂	1.56078570	89.028
13	-155.329952		-179.734273	空気	1.00000000	84.959
14	-1318.535220	非球面	456.277939	反射	1.00000000	113.654
15	-418.128785		-188.264797	反射	1.00000000	268.689
16	-460.678827		110.821404	反射	1.00000000	137.222
17	376.198743	非球面	24.631702	SiO ₂	1.56078570	98.837
18	123.411374		80.569056	空気	1.00000000	87.243
19	-188.093003		24.804534	SiO ₂	1.56078570	91.133
20	-451.680016		1.621150	空気	1.00000000	102.517
21	26469.639394		16.715830	SiO ₂	1.56078570	107.381
22	201.259280	非球面	35.754201	空気	1.00000000	118.111
23	-1202.421670	非球面	51.241370	SiO ₂	1.56078570	128.186
24	-322.482765	非球面	8.795729	空気	1.00000000	132.239
25	258.337599		56.740990	SiO ₂	1.56078570	153.219
26	-12589.869567	非球面	13.195369	空気	1.00000000	150.978
27	324.459180	非球面	45.773586	SiO ₂	1.56078570	149.648
28	-497.518575		13.712710	空気	1.00000000	149.967
29	-376.404658		13.085749	SiO ₂	1.56078570	149.173
30	-958.464185		9.230241	空気	1.00000000	151.496
31	-728.292950		28.695468	SiO ₂	1.56078570	151.626
32	-357.158659		18.667769	空気	1.00000000	152.581
33	0.000000		0.000000	空気	1.00000000	146.019
34	0.000000		-16.100683	空気	1.00000000	146.019
35	484.354722		22.103311	SiO ₂	1.56078570	146.382
36	948.500644		1.900326	空気	1.00000000	145.547
37	333.774920		49.314075	SiO ₂	1.56078570	144.715
38	-28057.399637	非球面	0.998829	空気	1.00000000	142.813
39	158.420364		53.881706	SiO ₂	1.56078570	116.975
40	581.967137	非球面	0.998509	空気	1.00000000	107.937
41	104.934453		41.887014	SiO ₂	1.56078570	81.972
42	167.465131	非球面	0.995522	空気	1.00000000	63.820
43	93.083837		53.858695	高屈折率1	1.78568015	56.852
44	0.000000		1.000000	水	1.43667693	20.140
45	0.000000		0.000000	空気	0.00000000	18.001

10

20

30

【表 7 A】

非球面定数

面	1	8	11	14	17
K	0	0	0	0	0
C1	5.957933e-08	2.481530e-08	-5.109441e-09	2.044458e-12	-2.109855e-08
C2	1.983359e-12	-2.106333e-13	-1.514546e-13	6.373752e-14	9.955737e-14
C3	1.201592e-16	2.160013e-17	-6.120616e-18	-1.152163e-18	-3.652850e-17
C4	-2.700912e-23	-4.839678e-22	2.313325e-22	7.638886e-23	-1.097906e-21
C5	6.082962e-25	-5.713773e-27	-2.633844e-26	-3.033146e-27	-6.959896e-27
C6	-2.642537e-29	8.881762e-31	6.276857e-31	6.643171e-32	8.723697e-30
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	22	23	24	26	27
K	0	0	0	0	0
C1	-5.654066e-09	5.468832e-08	-1.993769e-08	3.512543e-08	-3.999647e-08
C2	-1.931133e-12	1.076007e-13	3.867690e-13	-5.639458e-13	-6.709900e-19
C3	-2.481208e-17	-3.892917e-17	-1.570725e-17	3.892215e-18	-1.456616e-17
C4	5.232255e-21	6.516272e-22	3.297297e-22	-1.923201e-22	2.347099e-23
C5	-2.111625e-25	6.792876e-27	1.949532e-27	6.195980e-27	2.220410e-28
C6	2.849533e-30	-4.282052e-31	-5.752876e-31	-1.678071e-31	-1.672158e-31
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	38	40	42		
K	0	0	0		
C1	-6.766738e-09	-4.193986e-12	1.257645e-07		
C2	-7.368953e-13	1.352189e-12	8.654450e-12		
C3	1.596358e-17	-6.097321e-17	2.916255e-16		
C4	3.936995e-22	5.969746e-21	-1.206138e-19		
C5	-1.883310e-26	-3.255779e-25	4.057293e-23		
C6	2.137685e-31	9.856534e-30	-5.471715e-27		
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		

10

20

【表 8】

面	半径		厚さ	材料	屈折率 193.368 nm	有効半径
1	-139.939073	非球面	56.668455	SIO2	1.56078570	84.946
2	-204.568615		1.070135	空気	1.00000000	105.840
3	239.096072		65.121557	SIO2	1.56078570	125.956
4	-692.798796		1.571173	空気	1.00000000	125.004
5	1957.346368		13.080686	SIO2	1.56078570	121.787
6	1439.865663		2.096708	空気	1.00000000	119.718
7	353.510947		31.616914	SIO2	1.56078570	116.673
8	-1227.690426	非球面	203.390504	空気	1.00000000	114.118
9	-157.037999		13.053495	SIO2	1.56078570	71.933
10	-687.975180		17.007176	空気	1.00000000	84.503
11	-243.140860	非球面	-17.007176	反射	1.00000000	88.550
12	-687.975180		-13.053495	SIO2	1.56078570	87.923
13	-157.037999		-180.045623	空気	1.00000000	84.148
14	-1229.260994	非球面	456.822311	反射	1.00000000	112.739
15	-415.881540		-187.469556	反射	1.00000000	269.993
16	-461.273571		110.622049	反射	1.00000000	138.437
17	416.369746	非球面	22.657139	SIO2	1.56078570	99.312
18	127.343817		81.525715	空気	1.00000000	87.994
19	-175.649639		25.205390	SIO2	1.56078570	91.038
20	-395.046607		1.723874	空気	1.00000000	102.252
21	4752.102432		17.551743	SIO2	1.56078570	107.514
22	207.928243	非球面	36.620857	空気	1.00000000	116.600
23	-847.913584	非球面	53.064053	SIO2	1.56078570	122.858
24	-317.558108	非球面	10.132654	空気	1.00000000	129.865
25	262.792389		55.215589	SIO2	1.56078570	153.298
26	-12429.722386	非球面	14.874464	空気	1.00000000	151.228
27	331.657900	非球面	47.885282	SIO2	1.56078570	151.049
28	-521.198576		15.157977	空気	1.00000000	151.375
29	-364.704682		13.335942	SIO2	1.56078570	150.764
30	-913.671559		10.373584	空気	1.00000000	153.606
31	-747.508150		29.699750	SIO2	1.56078570	153.896
32	-353.767343		16.584736	空気	1.00000000	154.899
33	0.000000		0.000000	空気	1.00000000	148.746
34	0.000000		-15.584916	空気	1.00000000	148.746
35	467.578029		23.532973	SIO2	1.56078570	149.243
36	1013.533552		1.802113	空気	1.00000000	148.398
37	320.005819		51.463273	SIO2	1.56078570	147.084
38	-62373.538118	非球面	1.172411	空気	1.00000000	144.920
39	166.275527		53.143323	SIO2	1.56078570	118.761
40	678.286117	非球面	0.999760	空気	1.00000000	109.694
41	105.898192		40.733496	SIO2	1.56078570	82.526
42	182.630168	非球面	1.149050	空気	1.00000000	66.139
43	95.822380		55.466141	高屈折率1	1.76018665	57.704
44	0.000000		0.000000	空気	0.00000000	18.001

10

20

30

【表 8 A】

非球面定数

面	1	8	11	14	17
K	0	0	0	0	0
C1	6.029618e-08	2.414888e-08	-4.778400e-09	1.245817e-11	-1.786350e-08
C2	1.977400e-12	-1.754153e-13	-1.414883e-13	6.801196e-14	4.468447e-13
C3	1.297306e-16	2.161869e-17	-6.411452e-18	-1.282692e-18	-3.702082e-17
C4	-6.465162e-23	-3.688233e-22	3.571585e-22	7.748610e-23	-4.404198e-22
C5	6.063912e-25	-1.968392e-26	-4.048065e-26	-2.938896e-27	-5.584451e-26
C6	-2.830320e-29	1.221206e-30	1.379349e-30	6.278026e-32	7.546398e-30
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	22	23	24	26	27
K	0	0	0	0	0
C1	-9.734986e-10	5.553906e-08	-1.791098e-08	3.707823e-08	-3.550387e-08
C2	-1.751323e-12	1.384318e-14	3.025582e-13	-5.382312e-13	-7.220978e-18
C3	-5.043265e-17	-5.243875e-17	-1.190211e-17	2.499773e-18	-9.815037e-18
C4	6.940058e-21	1.291553e-21	1.909715e-22	3.519276e-23	3.333902e-23
C5	-2.676941e-25	-1.397101e-26	8.123766e-28	7.231639e-28	4.084565e-28
C6	3.739931e-30	8.628659e-32	-5.978842e-31	-4.265017e-32	-3.001149e-32
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	38	40	42		
K	0	0	0		
C1	-3.626586e-09	-9.602390e-12	1.015803e-07		
C2	-7.527255e-13	1.622695e-12	5.897100e-12		
C3	1.554813e-17	-8.497345e-17	6.155690e-17		
C4	3.433043e-22	6.501324e-21	-8.118554e-20		
C5	-1.684169e-26	-3.034013e-25	2.357436e-23		
C6	1.922213e-31	8.528873e-30	-3.368932e-27		
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		

10

20

【表 9】

面	半径		厚さ	材料	屈折率 193.368 nm	有効半径
1	-143.450651	非球面	57.270855	SIO2	1.56078570	85.095
2	-206.795430		0.999185	空気	1.00000000	105.561
3	238.942349		65.084734	SIO2	1.56078570	124.717
4	-715.681319		1.922826	空気	1.00000000	123.678
5	1969.861686		13.486505	SIO2	1.56078570	120.587
6	1956.232535		2.085647	空気	1.00000000	118.680
7	351.063566		30.285116	SIO2	1.56078570	115.287
8	-1758.712740	非球面	197.627466	空気	1.00000000	112.682
9	-158.482402		13.019095	SIO2	1.56078570	70.234
10	-717.195376		16.489522	空気	1.00000000	82.406
11	-242.835615	非球面	-16.489522	反射	1.00000000	86.344
12	-717.195376		-13.019095	SIO2	1.56078570	85.836
13	-158.482402		-177.629393	空気	1.00000000	82.613
14	-1324.014672	非球面	455.015907	反射	1.00000000	112.967
15	-414.262835		-187.362305	反射	1.00000000	267.779
16	-458.612694		107.716389	反射	1.00000000	136.372
17	443.456477	非球面	22.553628	SIO2	1.56078570	98.289
18	127.177618		83.061925	空気	1.00000000	87.356
19	-168.941635		26.194208	SIO2	1.56078570	90.922
20	-368.163655		2.172316	空気	1.00000000	103.197
21	2411.489857		17.733305	SIO2	1.56078570	109.822
22	210.765543	非球面	36.730354	空気	1.00000000	118.951
23	-831.909620	非球面	53.167578	SIO2	1.56078570	125.050
24	-323.559346	非球面	8.877188	空気	1.00000000	131.662
25	261.636780		54.578305	SIO2	1.56078570	154.212
26	-7451.510120	非球面	11.673321	空気	1.00000000	152.231
27	334.113467	非球面	46.289599	SIO2	1.56078570	151.745
28	-521.440736		15.564426	空気	1.00000000	152.216
29	-362.516258		12.998369	SIO2	1.56078570	151.706
30	-885.661707		9.199344	空気	1.00000000	154.981
31	-760.796527		31.167725	SIO2	1.56078570	155.373
32	-354.924849		21.266047	空気	1.00000000	156.575
33	0.000000		0.000000	空気	1.00000000	150.737
34	0.000000		-19.909527	空気	1.00000000	150.737
35	466.946915		24.184506	SIO2	1.56078570	151.060
36	1007.812349		1.000089	空気	1.00000000	150.208
37	327.655912		52.259505	SIO2	1.56078570	149.067
38	8559.973662	非球面	1.008019	空気	1.00000000	146.760
39	167.622816		51.251662	SIO2	1.56078570	120.228
40	755.582939	非球面	0.998542	空気	1.00000000	113.007
41	111.268305		39.610904	SIO2	1.56078570	85.238
42	208.057298	非球面	0.994963	空気	1.00000000	70.122
43	96.749104		15.231814	SIO2	1.56078570	60.010
44	82.457236		42.900568	高屈折率1	1.74983027	48.300
45	0.000000		0.000000	空気	0.00000000	18.001

10

20

30

【表 9 A】

非球面定数

面	1	8	11	14	17
K	0	0	0	0	0
C1	6.544677e-08	2.162074e-08	-5.239503e-09	1.092411e-10	-2.331771e-08
C2	1.806423e-12	-3.031766e-13	-1.579675e-13	6.350407e-14	5.772773e-13
C3	1.297100e-16	2.869963e-17	-7.844766e-18	-1.193786e-18	-4.477617e-17
C4	-2.621657e-24	-4.280146e-22	4.623955e-22	7.117518e-23	-1.454389e-22
C5	7.019452e-25	-2.494189e-26	-5.077577e-26	-2.571356e-27	-7.846302e-26
C6	-2.854711e-29	1.410397e-30	1.577810e-30	5.313151e-32	7.773042e-30
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	22	23	24	26	27
K	0	0	0	0	0
C1	-2.745443e-09	5.504068e-08	-1.908337e-08	3.813921e-08	-3.744186e-08
C2	-1.430163e-12	7.749637e-14	3.534725e-13	-5.922217e-13	-2.137735e-18
C3	-5.862502e-17	-5.302435e-17	-1.382155e-17	2.502458e-18	-1.196000e-17
C4	6.728883e-21	1.267574e-21	2.208808e-22	2.824486e-23	3.236426e-23
C5	-2.451371e-25	-1.082217e-26	3.523530e-28	1.545158e-28	1.843694e-28
C6	3.279808e-30	1.089270e-31	-6.086769e-31	-4.369267e-32	-6.628403e-32
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	38	40	42		
K	0	0	0		
C1	-3.844980e-09	-3.398546e-12	9.454938e-08		
C2	-8.880362e-13	1.531428e-12	5.457038e-12		
C3	1.651633e-17	-8.128857e-17	-2.777250e-17		
C4	4.940631e-22	6.519570e-21	-5.706103e-20		
C5	-2.154757e-26	-3.129316e-25	1.580865e-23		
C6	2.371161e-31	8.388571e-30	-1.897858e-27		
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		

10

20

【表 10】

面	半径		厚さ	材料	屈折率 193.368 nm	有効半径
1	-143.758671	非球面	57.406768	SIO2	1.56078570	85.023
2	-191.747696		1.160725	空気	1.00000000	104.914
3	262.406876		66.568396	SIO2	1.56078570	121.885
4	-660.446223		2.956398	空気	1.00000000	121.076
5	1807.942814		13.827382	SIO2	1.56078570	118.221
6	2860.322099		2.763629	空気	1.00000000	116.681
7	372.157874		32.394269	SIO2	1.56078570	113.548
8	-5597.977799	非球面	198.998515	空気	1.00000000	110.172
9	-161.056093		13.111979	SIO2	1.56078570	72.542
10	-710.061926		16.992176	空気	1.00000000	85.045
11	-245.005067	非球面	-16.992176	反射	1.00000000	88.979
12	-710.061926		-13.111979	SIO2	1.56078570	88.381
13	-161.056093		-178.456992	空気	1.00000000	84.711
14	-1269.813125	非球面	456.743570	反射	1.00000000	112.130
15	-415.069093		-187.485062	反射	1.00000000	265.291
16	-455.335485		106.779583	反射	1.00000000	134.666
17	393.788910	非球面	22.686347	SIO2	1.56078570	97.923
18	126.775396		82.399523	空気	1.00000000	87.164
19	-169.193381		26.323032	SIO2	1.56078570	90.623
20	-374.448573		2.507925	空気	1.00000000	102.877
21	2687.188508		17.800162	SIO2	1.56078570	109.393
22	214.951760	非球面	37.379156	空気	1.00000000	118.556
23	-782.900400	非球面	53.764790	SIO2	1.56078570	125.976
24	-331.748589	非球面	8.779472	空気	1.00000000	132.976
25	263.534372		53.789713	SIO2	1.56078570	155.917
26	-10091.465506	非球面	11.694437	空気	1.00000000	154.056
27	336.628180	非球面	46.842179	SIO2	1.56078570	153.605
28	-524.036178		16.083667	空気	1.00000000	154.085
29	-361.494925		13.160214	SIO2	1.56078570	153.588
30	-887.600668		7.655686	空気	1.00000000	157.086
31	-757.302512		30.706439	SIO2	1.56078570	157.410
32	-356.228549		20.569987	空気	1.00000000	158.573
33	0.000000		0.000000	空気	1.00000000	153.024
34	0.000000		-19.570300	空気	1.00000000	153.024
35	466.343801		24.348330	SIO2	1.56078570	153.460
36	1007.994113		1.045023	空気	1.00000000	152.646
37	327.911368		52.702566	SIO2	1.56078570	151.549
38	6644.997887	非球面	1.030724	空気	1.00000000	149.268
39	170.393057		51.776105	SIO2	1.56078570	122.801
40	713.133919	非球面	1.221421	空気	1.00000000	115.628
41	114.354690		39.319232	SIO2	1.56078570	87.759
42	217.249445	非球面	1.502569	空気	1.00000000	73.430
43	99.993745		13.872371	SIO2	1.56078570	62.621
44	81.034397		36.208638	高屈折率1	1.75124600	51.110
45	0.000000		5.000000	SIO2	1.56078570	31.083
46	0.000000		5.000000	高屈折率1	1.75124600	23.545
47	0.000000		0.000000	空気	0.00000000	18.001

10

20

30

【表 10A】

非球面定数

面	1	8	11	14	17
K	0	0	0	0	0
C1	6.210399e-08	1.051314e-08	-4.569414e-09	-1.170452e-10	-2.490154e-08
C2	1.322671e-12	-3.222083e-13	-1.355497e-13	6.160782e-14	5.760576e-13
C3	1.391370e-16	2.983455e-17	-5.800270e-18	-7.963399e-19	-4.995261e-17
C4	-3.915352e-24	-5.584427e-22	2.308879e-22	4.962774e-23	1.562080e-22
C5	5.960542e-25	-2.378406e-26	-2.634160e-26	-1.672115e-27	-1.194410e-25
C6	-7.993263e-30	1.339901e-30	4.940167e-31	3.658240e-32	7.937623e-30
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	22	23	24	26	27
K	0	0	0	0	0
C1	-3.526126e-09	5.446621e-08	-1.645252e-08	3.708765e-08	-3.576180e-08
C2	-1.261634e-12	8.646900e-14	3.102803e-13	-5.459169e-13	-4.908192e-19
C3	-4.207319e-17	-4.238433e-17	-1.123332e-17	1.694357e-18	-1.112975e-17
C4	5.124669e-21	1.115885e-21	1.935408e-22	2.693408e-23	3.052683e-23
C5	-1.827823e-25	-1.256788e-26	2.150379e-28	1.272051e-28	-9.406336e-29
C6	2.424527e-30	3.245209e-31	-5.110521e-31	-4.770036e-32	-7.115777e-32
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
面	38	40	42		
K	0	0	0		
C1	-3.058277e-09	-3.739153e-12	8.462131e-08		
C2	-7.881241e-13	1.325294e-12	4.796560e-12		
C3	1.199448e-17	-6.820514e-17	-4.069007e-17		
C4	5.234460e-22	5.182324e-21	-1.845363e-20		
C5	-1.972629e-26	-2.333482e-25	6.685841e-24		
C6	2.034018e-31	5.777182e-30	-6.748719e-28		
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		

10

20

【表 1 1】

面	半径		厚さ	材料	屈折率 193.368 nm	有効半径
1	-363.562869		43.314952	SIO2	1.56078570	88.757
2	-190.552538	非球面	2.163276	空気	1.00000000	97.015
3	444.494588		54.518871	SIO2	1.56078570	104.913
4	-189.396028		147.375897	空気	1.00000000	105.241
5	-167.542007	非球面	15.119789	CAF2	1.50185255	53.592
6	-1783.871595		14.984449	空気	1.00000000	64.000
7	-212.048924		-14.984449	反射	1.00000000	67.817
8	-1783.871595		-15.119789	CAF2	1.50185255	67.824
9	-167.542007	非球面	-132.376727	空気	1.00000000	67.499
10	-4144.296360	非球面	177.480135	反射	1.00000000	91.762
11	-1081.722900		58.982873	SIO2	1.56078570	150.472
12	-230.182654		0.997725	空気	1.00000000	154.440
13	-2745.872210	非球面	40.203338	SIO2	1.56078570	162.415
14	-365.406997		1.171374	空気	1.00000000	164.562
15	660.444007		26.539178	SIO2	1.56078570	165.998
16	929.458283		1.345953	空気	1.00000000	164.441
17	197.977075		53.302785	SIO2	1.56078570	162.916
18	326.403722	非球面	109.997010	空気	1.00000000	153.978
19	381.962587	非球面	15.209469	SIO2	1.56078570	133.444
20	218.959915		84.152560	空気	1.00000000	125.121
21	157.386222		65.954537	SIO2	1.56078570	105.406
22	130.586858		55.186424	空気	1.00000000	81.465
23	-219.213704	非球面	12.992852	SIO2	1.56078570	80.092
24	193.521199		51.103600	空気	1.00000000	86.111
25	-202.267409		64.379291	SIO2	1.56078570	91.522
26	-182.797467		1.012504	空気	1.00000000	116.600
27	759.119564	非球面	13.528303	SIO2	1.56078570	139.976
28	434.694511		16.255534	空気	1.00000000	146.202
29	803.267199		66.374930	SIO2	1.56078570	149.833
30	-355.087707		3.182081	空気	1.00000000	154.931
31	1534.992497		41.086853	SIO2	1.56078570	164.988
32	-659.025403		33.311165	空気	1.00000000	166.004
33	469.085216		47.735231	SIO2	1.56078570	166.006
34	-2061.549181		-5.348879	空気	1.00000000	164.561
35	0.000000		0.000000	空気	1.00000000	164.239
36	0.000000		25.851690	空気	1.00000000	164.239
37	-553.529412		12.998477	SIO2	1.56078570	164.123
38	-1487.266396		1.056380	空気	1.00000000	165.162
39	400.870395		62.857908	SIO2	1.56078570	164.885
40	-775.884967		0.994629	空気	1.00000000	163.261
41	196.348406		50.149979	SIO2	1.56078570	133.827
42	872.082483	非球面	0.999034	空気	1.00000000	128.044
43	126.532527		31.734400	SIO2	1.56078570	98.487
44	171.258915	非球面	0.998171	空気	1.00000000	88.881
45	116.691632		29.088808	CAF2	1.50185255	80.089
46	168.659021	非球面	0.998989	空気	1.00000000	66.353
47	97.521146		50.907207	SIO2	1.56078570	58.235
48	0.000000		1.996512	水	1.43667693	20.051
49	0.000000		0.000000	空気	0.00000000	17.001

10

20

30

【表 1 1 A】

非球面定数

面	2	5	9	10	13
K	0	0	0	0	0
C1	-2.760578e-09	1.603489e-08	1.603489e-08	-1.247159e-09	3.764876e-10
C2	-2.853441e-13	5.878412e-13	5.878412e-13	-3.674242e-16	-3.990105e-13
C3	-1.854842e-17	9.905237e-18	9.905237e-18	-5.946353e-18	3.462113e-18
C4	1.455974e-20	1.668823e-21	1.668823e-21	9.954063e-23	6.557756e-23
C5	3.187482e-26	-2.878194e-25	-2.878194e-25	-6.271000e-27	-3.238969e-27
C6	5.065923e-29	3.229224e-29	3.229224e-29	-3.822302e-31	2.732583e-32
面	18	19	23	27	42
K	0	0	0	0	0
C1	2.738495e-08	2.436036e-08	-1.401150e-07	-1.009245e-08	1.349777e-08
C2	-3.575547e-13	-2.434773e-13	-2.511241e-12	1.381857e-13	-1.797461e-13
C3	-3.439165e-19	3.420924e-18	2.114608e-17	-2.368525e-18	-1.521933e-18
C4	8.255803e-22	2.235015e-21	-4.813119e-21	1.099057e-22	4.601109e-22
C5	-2.770099e-26	-8.956199e-26	-4.497879e-25	-2.558985e-27	-1.539741e-26
C6	4.268336e-31	1.676039e-30	-2.691902e-29	6.765261e-32	3.225484e-31
面	44	46			
K	0	0			
C1	-3.924402e-09	8.340227e-08			
C2	8.630468e-14	4.003614e-12			
C3	1.193178e-16	-6.361779e-16			
C4	8.227416e-21	3.754169e-22			
C5	-2.859787e-25	-6.830124e-24			
C6	2.158513e-29	8.494830e-28			

10

20

【表 1 2】

面	半径		厚さ	材料	屈折率 193.368 nm	有効半径
1	-117.609115	非球面	42.504552	SIO2	1.56078570	82.223
2	-177.038824		1.228703	空気	1.00000000	100.960
3	213.364626		67.089304	SIO2	1.56078570	127.440
4	-547.449059		1.056991	空気	1.00000000	126.644
5	16244.721914		12.999757	SIO2	1.56078570	122.158
6	649.329131		6.393295	空気	1.00000000	118.074
7	716.539542		21.519661	SIO2	1.56078570	117.192
8	-891.121831	非球面	211.074110	空気	1.00000000	115.493
9	-161.155386		13.128287	SIO2	1.56078570	81.535
10	-611.506316		15.535604	空気	1.00000000	87.295
11	-236.127827	非球面	-15.535604	反射	1.00000000	88.921
12	-611.506316		-13.128287	SIO2	1.56078570	87.062
13	-161.155386		-191.071578	空気	1.00000000	78.080
14	-765.604468	非球面	489.939909	反射	1.00000000	97.935
15	-414.218644		-194.485522	反射	1.00000000	273.711
16	-461.591091		113.184572	反射	1.00000000	137.119
17	292.697085	非球面	13.007609	SIO2	1.56078570	94.156
18	107.732392		69.107843	空気	1.00000000	82.930
19	-151.983662		23.402024	SIO2	1.56078570	83.726
20	-488.789850		1.717184	空気	1.00000000	96.444
21	-28913.044218		13.515647	SIO2	1.56078570	100.924
22	191.919927	非球面	31.978477	空気	1.00000000	111.581
23	-1067.055170	非球面	43.571548	SIO2	1.56078570	119.978
24	-309.523406	非球面	7.386175	空気	1.00000000	124.389
25	262.769369		57.656563	SIO2	1.56078570	153.654
26	-45785.112793	非球面	26.346702	空気	1.00000000	152.049
27	327.865485	非球面	53.200757	SIO2	1.56078570	153.196
28	-490.867497		15.569016	空気	1.00000000	154.873
29	-378.382439		13.404211	SIO2	1.56078570	154.857
30	-940.264877		12.530928	空気	1.00000000	159.986
31	-735.332053		32.210701	SIO2	1.56078570	161.214
32	-353.930461		23.507896	空気	1.00000000	163.018
33	0.000000		0.000000	空気	1.00000000	162.367
34	0.000000		-22.444608	空気	1.00000000	162.367
35	495.791214		25.478789	SIO2	1.56078570	163.005
36	1099.109773		1.092964	空気	1.00000000	162.533
37	327.887763		59.191484	SIO2	1.56078570	162.857
38	-6035.878726	非球面	0.997881	空気	1.00000000	160.933
39	155.585955		60.857823	SIO2	1.56078570	128.682
40	502.556704	非球面	0.994698	空気	1.00000000	121.517
41	100.683802		45.378701	SIO2	1.56078570	87.346
42	259.320956	非球面	0.989546	空気	1.00000000	75.251
43	84.190909		47.361435	SIO2	1.56078570	57.516
44	0.000000		1.000000	水	1.43667693	20.150
45	0.000000		0.000000	空気	0.00000000	18.001

10

20

30

【表 1 2 A】

非球面定数

面	1	8	11	14	17
K	0	0	0	0	0
C1	6.521334e-08	2.807890e-08	-2.987383e-09	-3.124994e-09	-2.024087e-08
C2	1.713047e-12	-1.135339e-13	-9.372427e-14	2.096585e-13	1.211841e-12
C3	4.736329e-16	4.898650e-17	-2.112133e-18	-6.739512e-18	1.994882e-16
C4	-4.747266e-20	-1.991503e-21	1.990133e-23	2.945523e-22	-3.964237e-20
C5	5.703360e-24	4.395448e-26	-7.724934e-27	-9.829910e-27	3.071839e-24
C6	-1.904358e-28	1.060646e-30	3.307276e-32	1.518811e-31	-9.359990e-29
面	22	23	24	26	27
K	0	0	0	0	0
C1	-2.344946e-08	6.574907e-08	-1.112698e-08	3.645338e-08	-3.564504e-08
C2	-1.215056e-12	3.605980e-13	6.168355e-13	-5.510982e-13	1.362785e-18
C3	-1.130529e-16	-1.083503e-16	-2.523969e-17	7.960300e-18	-1.354328e-17
C4	1.330694e-20	3.744156e-23	-1.208201e-22	-2.644142e-22	3.985355e-23
C5	-5.272948e-25	2.126697e-25	-7.939671e-27	5.011928e-27	-1.152577e-27
C6	6.293611e-30	-4.908894e-30	-1.349927e-30	-6.300745e-32	-1.519852e-31
面	38	40	42		
K	0	0	0		
C1	7.566945e-09	-2.903055e-12	9.147070e-08		
C2	-8.163086e-13	1.907885e-12	9.024229e-12		
C3	8.893793e-18	-2.330647e-16	-6.249869e-16		
C4	2.692862e-22	1.789661e-20	3.018462e-20		
C5	-7.162666e-27	-6.737730e-25	2.430882e-24		
C6	4.921956e-32	1.119864e-29	-6.583230e-28		

10

20

【表 1 3】

表/図	D _{max}	Y'	NA	N _L	N _{OP}	COMP1	COMP2	COMP3
3	332	17	1.2	21	2	13.56	284.80	142.40
4	331.2	17	1.2	22	2	13.53	297.65	148.82
5	332	17	1.2	21	2	13.56	284.80	142.40
6	332	17	1.2	21	2	13.56	284.80	142.40
7	305	18	1.3	18	2	10.03	180.47	90.24
8	310	18	1.3	18	2	10.19	183.43	91.72
9	313	18	1.3	18	2	10.29	185.21	92.60
10	317	18	1.3	19	2	10.42	197.99	99.00
11	332	17	1.2	21	2	13.56	284.80	142.40
12	326	18	1.3	18	2	10.72	192.90	96.45

30

【図面の簡単な説明】

【0093】

【図 1】円弧状の照明フィールドを創出するように設計される照明系とカタジオプトリック投影対物レンズとを有するマイクロリソグラフィ用投影露光装置の略図である。

40

【図 2】投影対物レンズの像側端部において高屈折率材料が用いられるさまざまな構成を示す略図である。

【図 3】カタジオプトリックインライン投影対物レンズの第 1 の実施形態のメリジオナル平面におけるレンズ断面図である。

【図 4】カタジオプトリックインライン投影対物レンズの第 2 の実施形態のメリジオナル平面におけるレンズ断面図である。

【図 5】カタジオプトリックインライン投影対物レンズの第 3 の実施形態のメリジオナル平面におけるレンズ断面図である。

【図 6】カタジオプトリックインライン投影対物レンズの第 4 の実施形態のメリジオナル平面におけるレンズ断面図である。

50

【図 7】カタジオプトリックインライン投影対物レンズの第 5 の実施形態のメリジオナル平面におけるレンズ断面図である。

【図 8】カタジオプトリックインライン投影対物レンズの第 6 の実施形態のメリジオナル平面におけるレンズ断面図である。

【図 9】カタジオプトリックインライン投影対物レンズの第 7 の実施形態のメリジオナル平面におけるレンズ断面図である。

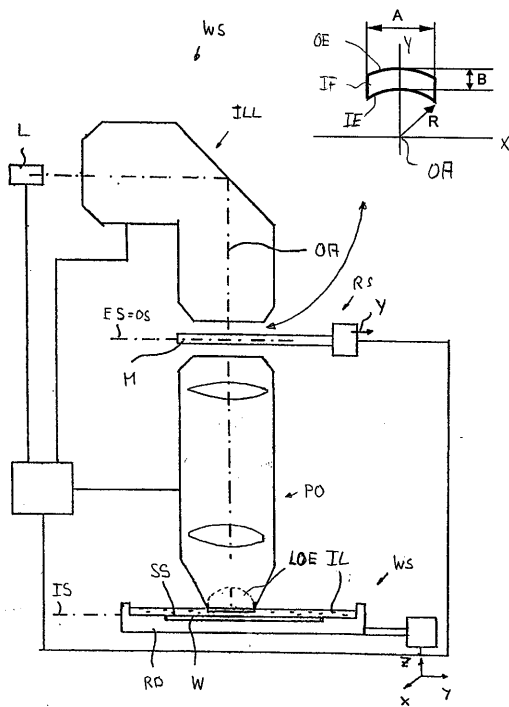
【図 10】カタジオプトリックインライン投影対物レンズの第 8 の実施形態のメリジオナル平面におけるレンズ断面図である。

【図 11】カタジオプトリックインライン投影対物レンズの第 4 の実施形態の変形態様のメリジオナル平面におけるレンズ断面図である。

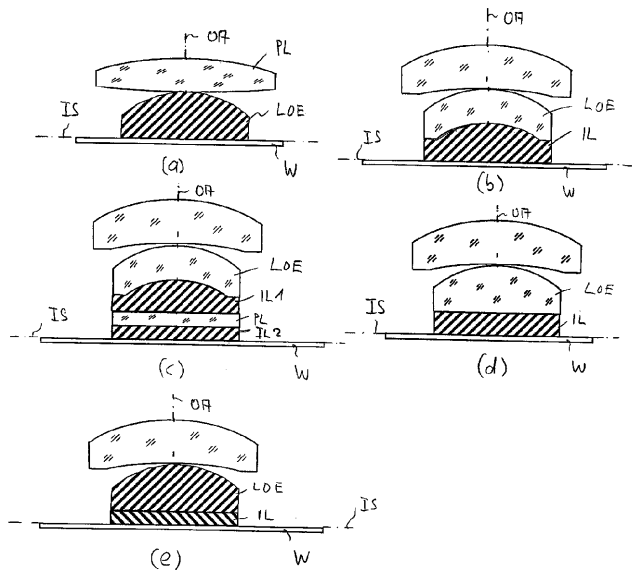
【図 12】カタジオプトリックインライン投影対物レンズの第 5 の実施形態の変形態様のメリジオナル平面におけるレンズ断面図である。

10

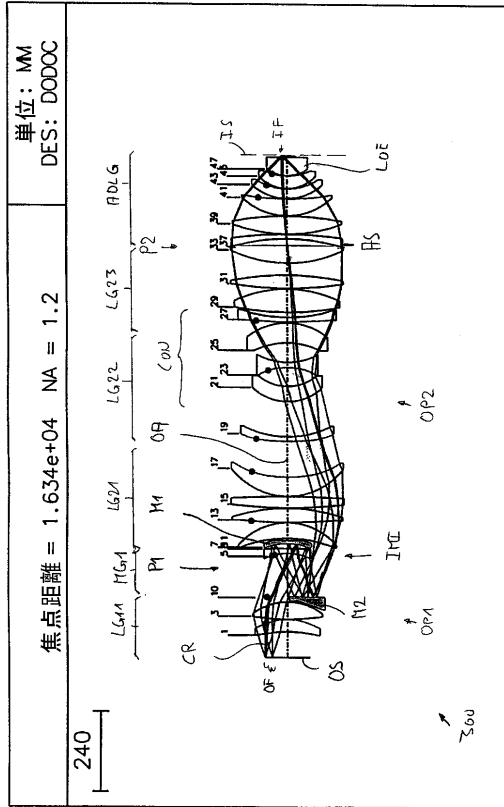
【図 1】



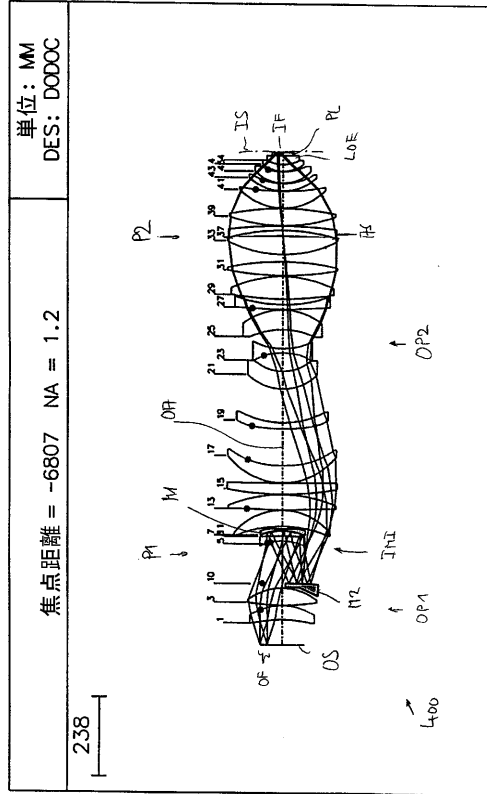
【図 2】



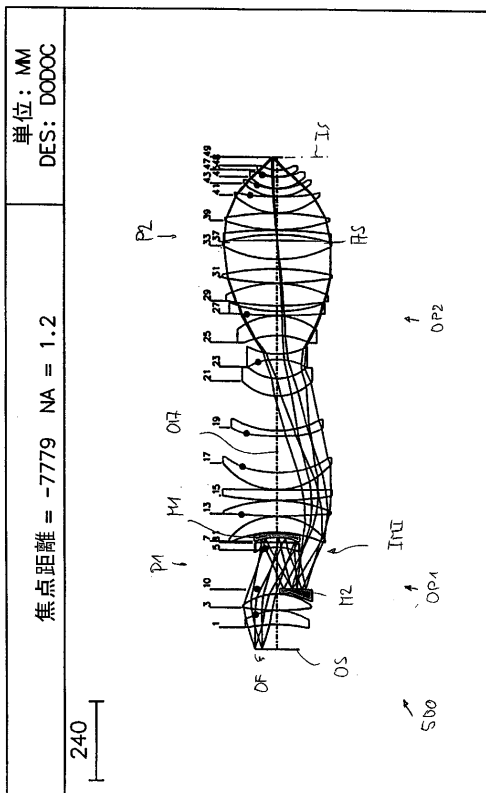
【 図 3 】



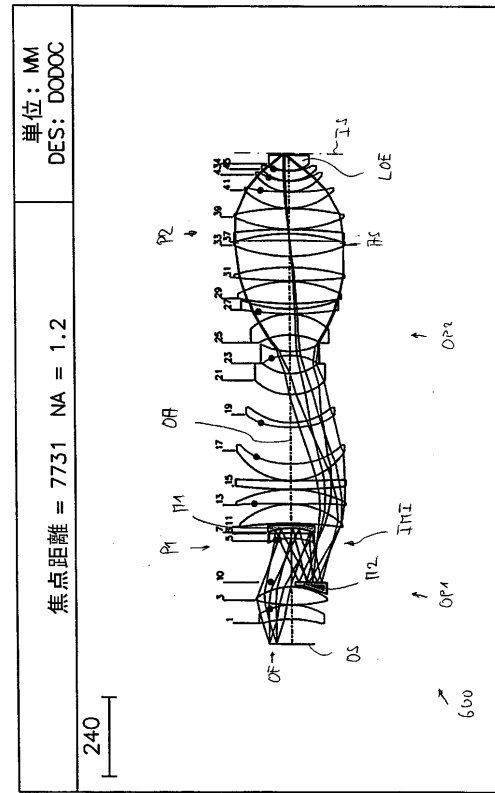
【 図 4 】



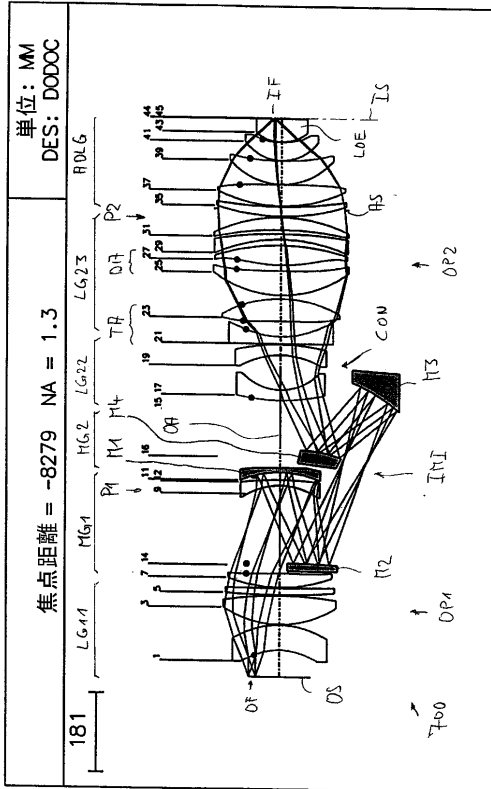
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【外国語明細書】

1 Title of Invention

Projection Objective

2 Detailed Description of Invention

Field of the Invention

The invention relates to a projection objective for imaging a pattern arranged in an object surface of the projection objective onto an image surface of the projection objective using ultraviolet radiation.

Description of the Related Art

Projection objectives are, for example, employed in projection exposure systems, in particular wafer scanners or wafer steppers, used for fabricating semiconductor devices and other types of microdevices and serve to project patterns on photomasks or reticles, hereinafter referred to generically as “masks” or “reticles,” onto a substrate having a photosensitive coating with ultrahigh resolution on a reduced scale.

In order to create even finer structures, it is sought to both increase the image-side numerical aperture NA of the projection objective and employ shorter operating wavelengths, preferably ultraviolet radiation with wavelengths $\lambda < 260$ nm.

There are very few materials, in particular, synthetic quartz glass (fused silica) and crystalline fluorides such as calcium fluoride, that are sufficiently transparent in that wavelength region available for fabricating the optical elements. The high prices of the materials involved and limited availability of crystalline calcium fluoride in sizes large enough for fabricating large lenses represent problems. Measures that allow reducing the number and sizes of lenses employed and simultaneously contribute to maintaining, or even improving, imaging fidelity are thus desired.

In the case of reducing optical imaging, in particular of projection lithography, the image-side numerical aperture NA is limited by the refractive index of the surrounding medium in image space. This is why in conventional projection systems having a gas in an image space between an exit surface of the projection objective and the substrate the image-side numerical aperture is limited to values $NA < 1$. In immersion lithography the theoretically possible numerical aperture NA is limited by the refractive index of the immersion medium adjacent to the substrate surface. The immersion medium can be a liquid or a solid. Solid immersion is also spoken of in the latter case.

However, for practical reasons NA should not come arbitrarily close to the refractive index of the last medium (i.e. the medium closest to the image surface), since the propagation angles then become very large relative to the optical axis. It has proven to be practical for the image-side numerical aperture not substantially to exceed approximately 95% of the refractive index of the last medium of the image side. For 193 nm, this corresponds to a numerical aperture of $NA = 1.35$ in the case of water ($n_{H_2O} = 1.43$) as immersion medium.

With liquids whose refractive index is higher than that of the material of the last lens, or in the case of solid immersion, the material of the last lens element (i.e. the last optical element of the projection objective

adjacent to the image) acts as a limitation if the design of the last end surface (exit surface of the projection objective) is to be planar or only weakly curved. The planar design is advantageous, for example, for measuring the distance between wafer and objective, for hydrodynamic behavior of the immersion medium between the wafer to be exposed and the last objective surface, and for their cleaning. The last end surface must be of planar design for solid immersion, in particular, in order to expose the wafer, which is likewise planar.

For deep ultraviolet radiation (DUV, operating wavelength of 248 nm or 193 nm) the materials normally used for the last lens are fused silica (synthetic quartz glass, SiO_2) with a refractive index of $n_{\text{SiO}_2} = 1.56$ or CaF_2 with a refractive index of $n_{\text{CaF}_2} = 1.50$. The synthetic quartz glass material may also be referred to simply as "quartz" in the following. Because of the high radiation load in the last lens elements, at 193 nm calcium fluoride is preferred for the last lens since synthetic quartz glass would be damaged in the long term by the radiation load. This results in a numerical aperture of approximately 1.425 (95% of $n = 1.5$) which can be achieved. If the disadvantage of the radiation damage is accepted, quartz glass still allows numerical apertures of 1.48 (corresponding to approximately 95% of the refractive index of quartz at 193 nm). The relationships are similar at 248 nm.

International patent application PCT/EP2004/014062 filed by the applicant on December 10, 2004 discloses catadioptric projection objectives suitable for immersion lithography at $\text{NA} > 1$ comprising a first, refractive objective part for imaging a pattern provided in the object surface into a first intermediate image, a second, catoptric (purely reflective) objective part for imaging the first intermediate image into a second intermediate image, and a third, refractive objective part for imaging the second intermediate image directly onto the image surface. The second objective part includes two concave mirrors having mirror surfaces facing each

other, where each concave mirror is positioned optically remote from a pupil surface. The design is rotational symmetric and has one straight optical axis common to all refractive and reflective optical elements (in-line system). Projection objectives of this basic design are disclosed e.g. in US provisional application 60/536,248 filed on January 14, 2004 by the applicant. PCT/EP2004/014062 discloses embodiments having at least one optical element made from high-index material with a refractive index $n \geq 1.6$ at the operating wavelength. At 193 nm, sapphire (Al_2O_3) is used as high-index material for a plano-convex lens forming the last lens of the projection objective. In some embodiments, Cyclohexane is used as an immersion fluid, which has a refractive index $n = 1.556$ similar to that of fused silica ($n = 1.560$) at 193 nm. An embodiment designed for solid immersion (contact projection lithography) has a plano-convex sapphire lens ($n_{\text{sapphire}} = 1.92$) which enables $\text{NA} = 1.6$ in the disclosed embodiment.

US provisional application 60/544,967 filed by the applicant on February 13, 2004 shows catadioptric projection objectives having similar basic design (as disclosed e.g. in US provisional application 60/536,248 mentioned above) adapted for use with immersion liquids having a refractive index which is larger than the refractive index of the last lens on the image side. The projection objective is designed in such way that the immersion fluid is curved convexly towards the projection objective during operation. The convex curvature of the immersion fluid allows to use larger incidence angles for projection radiation on the interface between the last lens and the immersion fluid, whereby reflection losses at this interface are decreased and higher values for NA are possible, which may be larger than the refractive index of the last lens.

The disclosures of the applications mentioned above are incorporated into the present application by reference.

Various catadioptric in-line projection objectives have been proposed, From an optical point of view, in-line systems may be favorable since optical problems caused by utilizing planar folding mirrors, such as polarization effects, can be avoided. Also, from a manufacturing point of view, in-line systems may be designed such that conventional mounting techniques for optical elements can be utilized, thereby improving mechanical stability of the projection objectives.

The Patent EP 1 069 448 B1 discloses catadioptric projection objectives having two concave mirrors facing each other and an off-axis object and image field. The concave mirrors are part of a first catadioptric objective part imaging the object onto an intermediate image positioned adjacent to a concave mirror. This is the only intermediate image, which is imaged to the image plane by a second, purely refractive objective part. The object as well as the image of the catadioptric imaging system are positioned outside the intermirror space defined by the mirrors facing each other. Similar systems having two concave mirrors, a common straight optical axis and one intermediate image formed by a catadioptric imaging system and positioned besides one of the concave mirrors is disclosed in US patent application US 2002/0024741 A1.

US patent application US 2004/0130806 (corresponding to European patent application EP 1 336 887) discloses catadioptric projection objectives having off-axis object and image field, one common straight optical axis and, in that sequence, a first catadioptric objective part for creating a first intermediate image, a second catadioptric objective part for creating a second intermediate image from the first intermediate image, and a refractive third objective part forming the image from the second intermediate image. Each catadioptric system has two concave mirrors facing each other. The intermediate images lie outside the intermirror spaces defined by the concave mirrors.

Japanese patent application JP 2003114387 A and international patent application WO 01/55767 A disclose catadioptric projection objectives with off-axis object and image field having one common straight optical axis, a first catadioptric objective part for forming an intermediate image and a second catadioptric objective part for imaging the intermediate image onto the image plane of this system. Concave and convex mirrors are used in combination.

US patent application US 2003/0234992 A1 discloses catadioptric projection objectives with off-axis object and image field having one common straight optical axis, a first catadioptric objective part for forming an intermediate image, and a second catadioptric objective part for imaging the intermediate image onto the image plane. In each catadioptric objective part concave and convex mirrors are used in combination with one single lens.

International patent application WO 2004/107011 A1 discloses various catadioptric projection objectives with off-axis object field and image field having one common straight optical axis designed for immersion lithography using pure water (H_2O) as immersion liquid and an arc shaped effective object field having a field center far away from the optical axis. The projection objectives include various types of mirror groups having two, four or six curved mirrors. Embodiments with two to four intermediate images are disclosed. Silicon dioxide (SiO_2) and/or Calcium fluoride (CaF_2) are used as lens material. Image-side numerical apertures up to $NA = 1.2$ are obtained.

From a practical point of view, the maximum image-side numerical aperture which can be achieved is only one of a number of design goals for which an optimum compromise must be found depending on limiting conditions imposed for a specific application. In view of the limited availability of optical materials, such as Calcium fluoride, the maximum size

(diameter) of lenses needed for a design may be a limiting factor. Typically, the maximum lens diameter necessary in a design is increased as the image-side numerical aperture increases. Specifically, very large diameters are needed in an aperture-defining lens group arranged on the image side between and image-side pupil surface of the projection objective and the image surface. The aperture-defining lens group is basically designed for converging radiation coming from the image-side pupil surface towards the image surface to define the image-side numerical aperture. With other words, the aperture-defining lens group performs the pupil imaging. Also, the focal length of the aperture-defining lens group responsible for the pupil imaging tends to decrease as the image-side numerical aperture is increased. Shortening the focal length of the aperture-defining lens group, however, makes it more difficult to provide sufficient correcting means for the pupil imaging since the number of optical surfaces within the aperture-defining lens group is limited.

SUMMARY OF THE INVENTION

It is one object of the present invention to provide a compact projection objective that can be built with relatively small amounts of transparent optical material and allows sufficient degrees of freedom for correcting the imaging, particularly for the pupil imaging between the most image-side pupil surface and the image surface. It is another object of the invention to provide a catadioptric in-line projection objective for microlithography suitable for use in the deep ultraviolet range having potential for very high image-side numerical aperture which may extend to values allowing immersion lithography at numerical apertures $NA > 1$.

As a solution to these and other objects the invention, according to one formulation, provides a projection objective for imaging a pattern arranged in an object surface of the projection objective onto an image surface of the projection objective using ultraviolet radiation comprising:

a plurality of optical elements including transparent optical elements transparent for radiation at an operating wavelength λ , where $260 \text{ nm} > \lambda > 150 \text{ nm}$;

an image-side pupil surface being the pupil surface closest to the image surface;

an aperture-defining lens group arranged between the image-side pupil surface and the image surface for converging radiation coming from the image-side pupil surface towards the image surface to define an image-side numerical aperture NA, where $0.7 \leq \text{NA} \leq 1.4$.

wherein the aperture-defining lens group includes at least one high-index lens made from a transparent high-index material having a refractive index n_{HI} , where $n_{\text{HI}} > n_{\text{SiO}_2}$, and where n_{SiO_2} is the refractive index of silicon dioxide (SiO_2) at the operating wavelength.

If at least one lens having a refractive index larger than that of fused silica at the operating wavelength is used in the aperture-defining lens group responsible for the pupil imaging, additional degrees of freedom with respect to correction of imaging aberrations become available. Firstly, additional space for lenses may be provided between the image-side pupil surface and the image surface such that more lens surfaces contributing to imaging correction can be utilized in that region. Further, since the refractive power of a lens depends on the radii of the lens surfaces and the refractive index of the lens material, utilizing high-index material for a lens allows to decrease the lens radii and still obtain a desired refractive power. A decrease in lens radius, however, tends to decrease the contribution of a lens surface to aberrations, whereby image aberrations can be avoided to some extent in the first place if a high-index material is used in the aperture-defining lens group. Further, a relaxed construction of the aperture-defining lens group allows additional degrees of freedom for positioning an aperture stop at or close to the image-side pupil surface and to allow space for adjusting the diameter of the aperture stop as needed. These advantageous can be obtained in

conjunction with moderate lens sizes particularly in the region close to the image-side pupil surface, whereby a projection objective can be provided at reasonable costs.

In some embodiments, the high-index material has a refractive index $n_{HI} > 1.6$ at the operating wavelength. The high-index material may be a solid material chosen from the group including aluminum oxide (Al_2O_3), magnesium aluminum oxide ($MgAl_2O_4$, spinell), lanthanum fluoride (LaF_3), mixtures of calcium strontium oxide or magnesium strontium oxide. The latter mixed materials have been proposed e.g. in the article "Immersion efforts looks to new crystals, liquids" by D. Lammers, EE Times, August 16, 2004 e.g. in: <http://www.siliconstrategies.com>. These materials may be used to provide one or more solid high-index lenses.

Alternatively, or in addition, at least one high-index liquid material may be used having a refractive index $n_{HI} > 1.4$. The liquid material may be chosen from the group including Cyclohexane and doped water. In the article "'Doped water' could extend 193 nm immersion litho" by D. Lammers, EE Times January 28, 2004 available e.g. through <http://www.eetimes.com> it has been proposed that immersion liquids with refractive index higher than water ($n=1.437$) can be obtained by mixing water with sulphates, alkalis such as caesium, or various phosphates. Caesium sulphate is reported to mix readily with water to obtain a liquid with refractive index 1.6 (see e.g. article "IMST Immersion workshop looks forward to manufacturing", January 29, 2004, e.g. in: <http://www.eurosemi.eu.com>).

Using a high-index liquid allows to provide one or more high-index lenses formed as a liquid lens having positive or negative refractive power from a liquid transparent to radiation at the operating wavelength and confined between an object-side bordering element and an image-side bordering element. In some embodiments, the object-side bordering

element is a last solid optical element of the projection objective and the image-side bordering element is the substrate to be exposed. In this case an immersion liquid in contact with the substrate may form the liquid lens.

It is also possible that the object-side bordering element and the image-side bordering element are formed by transparent elements of the projection objectives such that at least one liquid lens is formed at a position spaced apart from the image surface of the projection objective, e.g. within in the projection objective.

In some embodiments it has been found useful that at least one of the bordering elements adjacent to a liquid lens has a refractive index which is close to the refractive index of the high-index liquid forming the liquid lens, where preferably the condition $\Delta n \leq 0,04$ applies for the refractive index difference Δn between the refractive indexes of the bordering element and the liquid lens. Particularly small aberration contributions can be obtained at the interface between the object-side bordering element and the high-index liquid if this condition is observed.

The aperture-defining lens group includes positions optically close to the last pupil surface, positions optically close to the image surface and intermediate positions positioned there between. In positions close to the pupil surface, the chief ray height (CRH) has small values close to or at zero, whereas the marginal ray height (MRH) attains values close to or at a local maximum. In contrast, in a region optically close to the image surface the marginal ray height decreases drastically, whereas the chief ray height increases between the image-side pupil surface and the image surface. Preferably, at least one high-index lens is arranged optically close to the image surface, particularly where the marginal ray height (MRH) is less than 50% of the marginal ray height at the image-side pupil surface. Preferably, at least the material in contact with the

substrate or positioned closest to the substrate to be exposed may be the high-index material (liquid or solid).

According to another formulation, the invention provides a catadioptric projection objective for imaging a pattern arranged in an object surface of the projection objective onto an image surface of the projection objective using ultraviolet radiation comprising:

a first objective part for imaging the pattern on the object surface onto a first intermediate image; and

a second objective part for imaging an intermediate image onto the image surface and having an image-side pupil surface being the pupil surface closest to the image surface,

at least one of the objective parts including at least one concave mirror and all optical elements (refractive and reflective) sharing a common straight optical axis (in-line system);

wherein the second objective part includes an aperture-defining lens group arranged between the image-side pupil surface and the image surface for converging radiation coming from the image-side pupil surface towards the image surface to define an image-side numerical aperture NA, where $1,2 \leq NA \leq 1,4$ in conjunction with an immersion medium, the aperture-defining lens group including three aspheric lens surfaces.

Preferably, the aperture-defining lens group includes exactly three aspheric lens surfaces.

Alternatively, or in addition, it may be preferable that the aperture-defining lens group includes exactly three lenses having an aspherical lens surface.

It has been found that providing three aspherical lens surfaces provides an optimum compromise between benefits obtained by using aspherical surfaces for correction of the pupil imaging and the drawbacks resulting

from the difficulties to manufacture an aspherical lens surface as compared to manufacturing a spherical lens surface. In this context, an aspherical lens surface is preferably a lens surface where the deformation (deviation of the aspherical lens surface from a spherical surface defining the best fitting sphere) is larger than 0,01mm. Substantial correcting effect can then be obtained with each of the aspherical lens surfaces.

According to another aspect the projection objective includes a number N_{ASP} of aspheric lens surfaces and a number N_{ASPL} of lenses having at least one aspheric lens surface, wherein the condition $AR > 1$ holds for the asphere ratio $AR = N_{ASP}/N_{ASPL}$.

If this condition is fulfilled regions with a spatially dense sequence of aspheric lens surfaces can be obtained. In some embodiments, at least one "double asphere" is obtained within the projection objective. The term "double asphere" as used here describes a situation where two aspherical optical surfaces are directly following each other along the optical path. The double asphere may be formed by facing aspherical surfaces of two separate, neighboring optical elements in a lens/lens or lens/mirror configuration. The double asphere may also be formed by a double aspherical lens (biasphere) where both lens surfaces are aspherical surfaces. It has been found that the large density of aspherical surfaces, particularly including one or more double aspheres, may be more effective for aberration correction than a more even distribution of aspherical surfaces. In some embodiments, an aspherical surface may be positioned next to a double asphere to form a triple asphere having three immediately consecutive aspherical surfaces, whereby a very dense spatial configuration of aspherical surfaces can be obtained.

In some embodiments the projection objectives includes at least one concave mirror positioned optically close to a pupil surface or at a pupil

surface, where negative refractive power is arranged close to that concave mirror such that radiation impinging on the concave mirror and reflected from the concave mirror is influenced by negative refractive power. A significant contribution to correction of chromatic aberrations, particularly chromatic length aberration (CHL), may be obtained.

The previous and other properties can be seen not only in the claims but also in the description and the drawings, wherein individual characteristics may be used either alone or in sub-combinations as an embodiment of the invention and in other areas and may individually represent advantageous and patentable embodiments.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

In the following description of preferred embodiments of the invention, the term "optical axis" shall refer to a straight line or sequence of straight-line segments passing through the centers of curvature of the optical elements. In the case of those examples presented here, the object is either a mask (reticle) bearing the pattern of an integrated circuit or some other pattern, for example, a grating pattern. In the examples presented here, the image of the object is projected onto a wafer serving as a substrate that is coated with a layer of photoresist,

although other types of substrate, such as components of liquid-crystal displays or substrates for optical gratings, are also feasible.

Embodiments having a plurality of mirrors are described. Unless stated otherwise, the mirrors will be numbered according to the sequence in which the radiation is reflected on the mirrors. With other words, the numbering of the mirrors denotes the mirrors according to the position along the optical path of radiation, rather than according to geometrical position.

The terms "front" and "rear" as well as the terms "upstream" and "downstream" relate to relative positions along the optical path, where "front" and "upstream" relate to positions closer to the object surface.

Where appropriate, identical or similar features or feature groups in different embodiments are denoted by similar reference identifications. Where reference numerals are used, those are increased by 100 or multiples of 100 between embodiments.

Where tables are provided to disclose the specification of a design shown in a figure, the table or tables are designated by the same numbers as the respective figures.

Fig. 1 shows schematically a microlithographic projection exposure system in the form of a wafer scanner WS, which is provided for fabricating large scale integrated semiconductor components by means of immersion lithography in a step-and-scan mode. The projection exposure system comprises as light source an Excimer laser L having an operating wavelength of 193 nm, other operating wavelengths, for example 157 nm or 248 nm, also being possible. A downstream illumination system ILL generates, in its exit surface ES, a large, sharply delimited, homogeneously illuminated illumination field IF that is adapted to the telecentric

requirements of the downstream catadioptric projection objective PO. The illumination system ILL has devices for selection of the illumination mode and, in the example, can be changed over between conventional on-axis illumination with a variable degree of coherence, and off-axis illumination, particularly annular illumination (having a ring shaped illuminated area in a pupil surface of the illumination system) and dipole or quadrupole illumination.

Arranged downstream of the illumination system is a device RS (reticle stage) for holding and manipulating a mask M in such a way that the mask lies in the exit surface ES of the illumination system coinciding with the object surface OS of the projection objective PO and can be moved in this plane for scanning operation in a scanning direction (Y-direction) perpendicular to the optical axis OA common to the illumination system and the projection objective (i.e. the Z-direction).

The reduction projection objective PO is designed to image an image of a pattern provided by the mask with a reduced scale of 4:1 onto a wafer W coated with a photoresist layer. Other reduction scales, e.g. 5:1 or 8:1 are possible. The wafer W serving as a light-sensitive substrate is arranged in such a way that the planar substrate surface SS with the photoresist layer essentially coincides with the planar image surface IS of the projection objective. The wafer is held by a device WS (wafer stage) comprising a scanner drive in order to move the wafer synchronously with the mask M in parallel with the latter. The device WS also comprises manipulators in order to move the wafer both in the Z direction parallel to the optical axis OA and in the X and Y directions perpendicular to said axis. A tilting device having at least one tilting axis running perpendicular to the optical axis is integrated.

The device WS provided for holding the wafer W (wafer stage) is constructed for use in immersion lithography. It comprises a receptacle de-

vice RD, which can be moved by a scanner drive and the bottom of which has a flat recess for receiving the wafer W. A peripheral edge forms a flat, upwardly open, liquidtight receptacle for a liquid immersion medium IM, which can be introduced into the receptacle and discharged from the latter by means of devices that are not shown. The height of the edge is dimensioned in such a way that the immersion medium that has been filled in can completely cover the surface SS of the wafer W and the exit-side end region of the projection objective PO can dip into the immersion liquid given a correctly set operating distance between objective exit and wafer surface.

The projection objective PO has a planoconvex lens as the last optical element LOE nearest to the image surface IS, the planar exit surface of said lens being the last optical surface (exit surface) of the projection objective PO. During operation of the projection exposure system, the exit surface of the last optical element is completely immersed in the immersion liquid IL and is wetted by the latter. In the exemplary case, ultrapure water having a refractive index $n_l \approx 1.437$ (193 nm) is used as the immersion liquid.

As shown schematically in the inset figure of Fig. 1, the illumination system ILL is capable of generating an illumination field IF having a arcuate shape (annular field or ring field). The size and shape of the arcuate illumination field determines the size and shape of the effective object field OF of the projection objective actually used for projecting an image of a pattern on a mask in the image surface of the projection objective. The illumination field IF has a length B parallel to the scanning direction and a width A perpendicular to the scanning direction. A curved inner edge IE closer to the optical axis and an outer edge OE further away from the optical axis and radially off-set in Y-direction by length B have the same edge radius R. It is a characterizing feature that the

illumination field does not include the optical axis (off-axis illumination field).

Fig. 2 shows schematically various configurations of transparent optical materials close to the image-side end of the projection objective and in the image space defined between a last optical element of the projection objective and the image surface IS, where the surface of the substrate W is positioned. In each example, high-index material having a refractive index larger than that of fused silica at the operating wavelength (e.g. 193 nm) is identified by hatching.

In Fig. 2(a) the image-side end of a projection objective designed for solid immersion is shown. The projection objective has a last optical element LOE closest to the image surface IS formed as a plano-convex lens made of a high-index solid material, such as sapphire (Al_2O_3), which has a spherically or aspherically curved entry surface and a planar exit surface essentially coinciding with the image surface of the projection objective. In embodiments designed for near-field lithography, a small image-side working distance in the order of the operating wavelength or fractions thereof may be provided. The last but one optical element is a positive lens typically made of fused silica or calcium fluoride.

In the configuration of Fig. 2(b) the last optical element LOE of the projection objective is formed by a meniscus lens having a convexly curved entry surface and a concave exit surface facing the image surface IS positioned at a distance from the exit surface. A high index immersion liquid IL fills the image space between the exit surface of the projection objective (formed by the exit surface of the last optical element) and the substrate W at the image surface such that a liquid lens having positive refractive power is formed. Providing an immersion liquid which, during operation of the projection objective, is curved convexly towards the projection objective allows to use immersion

liquids having a refractive index larger than the refractive index of the last optical element without limiting the image-side numerical aperture NA to values slightly smaller or at the refractive index of the material of the last optical element. Particularly, higher incidence angles of projection radiation impinging on the interface between the last optical element and the immersion liquid can be used without causing intolerable reflection losses at this interface. This, in turn allows higher values for NA which may be larger than the refractive index of the last optical element LOE.

In Fig. 2(c) a double-immersion-configuration is shown as a variant of the configuration of Fig. 2(b). As in that case, the last optical element LOE of the projection objective, which cannot be exchanged, is a meniscus lens having a concave exit side facing the image surface IS. A plane parallel plate PL is provided at a distance from the last optical element parallel to the image surface of the projection objective such that a first, essentially plano-convex interspace is formed between the last optical element LOE and the parallel plate PL, and a second, plane parallel interspace is formed between the plate PL and the image surface. The exchangeable plate PL may be fixed to the body of the projection objective. It is also possible that the plate is fixed to a separate holder. A first immersion liquid IL1 is filling the first interspace between the last optical element LOE and the plate PL, and a second high index immersion liquid IL2 fills the narrow, uniformly-sized interspace between the plate PL and the substrate W.

The advantages concerning attainable numerical apertures are essentially the same as explained in connection with Fig. 2(b). However, a double-immersion configuration allows to obtain a laminar flow of the immersion liquid IL2 in contact with the photosensitive substrate which allows a continuous or intermittent exchange and a better temperature control of that fluid, whereby the influence of the immersion on the

optical performance is improved. Also, in case of contamination of one or both faces of the plate PL, the plate may be exchanged for a clean plate. Further, if, for example, the last optical element LOE is made of calcium fluoride, a contact of that material with water-based immersion liquid should be avoided as calcium fluoride is soluble in water. Therefore, using a parallel plate PL allows to use a water-based immersion liquid as a second immersion liquid IL2 in contact with a substrate, where the first immersion liquid IL1 can be chosen such that it is not aggressive against calcium fluoride. The parallel plate PL may be made of fused silica, which is chemically stable against water and other, water-based immersion liquids. Each of the immersion liquids IL1, IL2 has a refractive index larger than that of silicon dioxide. The immersion liquids IL1 and IL2 may be the same or different.

In Fig. 2(d) a basic configuration similar to “conventional” immersion lithography is shown. A plano-convex last optical element LOE of the projection objective, e.g. made of fused silica or calcium fluoride, is in contact with a high-index immersion liquid IL filling the image space between the planar exit side of the last optical element and the image surface.

The configuration in Fig. 2(e) is a variant of a “conventional” immersion system having a plano-convex lens as last optical element LOE of the projection objective. In Fig. 2(e) this lens is made of a solid high-index material, such as aluminum oxide. During operation, an image space between the planar exit surface of the last optical element and the image surface of the projection objective is filled with a high-index immersion liquid IL having a refractive index which may be essentially the same as that of the last optical element LOE or larger.

Note that in all configurations the numerical aperture in all transparent optical materials between the last curved surface with refractive power of

the optical elements and the image surface remains constant between that surface and the image surface, whereas the propagation angles (angles measured between the propagation direction of a ray and the optical axis) vary depending on the various refractive indices of the transparent optical materials.

In each of the following embodiments in Figs 3 to 10 one of the configurations mentioned above is used on the image-end side of a catadioptric in-line projection objective designed for 193 nm operation wavelength and adapted to an arc-shaped image field. The image field is characterized by $A = 26$ mm, $B = 5,5$ mm and $R = 11,5$ mm (compare inset in Fig. 1) in the embodiments of Figs 3 to 6 and 11 (two-mirror systems) and by $A = 26$ mm, $B = 4$ mm and $R = 14$ mm in the embodiments of Figs 7 to 10 and 12 (four-mirror systems). Note that the size of the effective image field relates to the size of the effective object field provided by the illumination system by the magnification factor $\beta = 0,25$ of the projection objective.

Preferred embodiments of catadioptric projection objectives adapted to be used in a microlithographic projection exposure system will now be described in detail. In all embodiments given below the surfaces of curvature of all curved mirrors have a common axis of rotational symmetry which coincides with the optical axis OA of the projection objective. Catadioptric projection objectives having an even number of mirrors, particularly axially symmetric systems, also named in-line systems, are provided this way. No planar folding mirrors are used or needed in these designs. The effective object field and image field are off-axis, i.e. positioned at a radial distance from the optical axis. All systems have a circular pupil centered around the optical axis thus allowing use as projection objectives for microlithography.

Fig. 3 shows a meridional lens section (in a Y-Z-plane) of an embodiment of a catadioptric projection objective 300 designed to project an image of a pattern on a reticle arranged in the planar object surface OS (object plane) onto a planar image surface IS (image plane) on a reduced scale, for example 4:1, while creating exactly one real intermediate image IMI. An off-axis effective object field OF positioned outside the optical axis OA is thereby projected on an off-axis image field IF. The effective object field OF is an arcuate "ring field" shaped generally in accordance with the inset of Fig. 1. The trajectory of a chief ray CR of an outer field point of the off-axis object field OF in the meridional plane (drawing plane) is drawn bold in order to facilitate following the beam path. Aspherical surfaces are indicated by a dot.

For the purpose of this application, the term "chief ray" (also known as principal ray) denotes a ray emanating from an outermost field point (farthest away from the optical axis) of the effectively used object field OF and intersecting the optical axis at least one pupil surface position. Due to the rotational symmetry of the system the chief ray may be chosen from an equivalent field point in the meridional plane, as shown in the figures for demonstration purposes. In projection objectives being essentially telecentric on the object side, the chief ray emanates from the object surface parallel or at a very small angle with respect to the optical axis. The imaging process is further characterized by the trajectory of marginal rays. A "marginal ray" as used herein is a ray running from an axial object field point (on the optical axis) to the edge of an aperture stop AS. That marginal ray may not contribute to image formation due to vignetting when an off-axis effective object field is used. The chief ray and marginal ray are chosen to characterize optical properties of the projection objectives.

The projection objective 300 is designed as an immersion objective for $\lambda = 193$ nm having an image side numerical aperture $NA = 1,2$ when

used in conjunction with pure water as an immersion liquid between the exit face of the high-index last optical element and the image surface. Specifications are summarized in Table 3. The leftmost column lists the number of the refractive, reflective, or otherwise designated surface, the second column lists the radius, r , of that surface [mm], the third column indicates the aspheric surfaces, the fourth column lists the distance, d [mm], between a surface and the next surface, a parameter that is referred to as the "thickness" of the optical surface, the fifth column lists the material employed for fabricating that optical element, and the sixth column lists the refractive index of that material. The seventh column lists the optically utilizable, clear, semi diameter [mm] of the optical component. A radius $r = 0$ in a table designates a planar surface (having infinite radius).

A number of surfaces in table 3 are aspherical surfaces. Table 3A lists the associated data for those aspherical surfaces, from which the sagitta or rising height $p(h)$ of their surface figures as a function of the height h may be computed employing the following equation:

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

where the reciprocal value $(1/r)$ of the radius is the curvature of the surface in question at the surface vertex and h is the distance of a point thereon from the optical axis. The sagitta or rising height $p(h)$ thus represents the distance of that point from the vertex of the surface in question, measured along the z -direction, i.e., along the optical axis. The constants K , $C1$, $C2$, etc., are listed in Table 3A.

A first, catadioptric objective part OP1 is designed to image the object field into the only intermediate image IMI at an enlarging magnification ratio $\beta_1 = -1,63$. A second, purely refractive objective part OP2 is designed to image the intermediate image INI at a reducing

magnification $\beta_2 = -0,15$ into the image field IF positioned in the image surface IS. A first pupil surface P1 is formed within the first objective part at a position where the chief ray CR intersects the optical axis OA between object field and intermediate image IMI. A second pupil surface P2 is formed in the second objective part where the chief ray CR intersects the optical axis a second time. The second pupil surface P2 is the image-side pupil surface closest to the image surface. The aperture stop AS, which may be variable to define the effectively used numerical aperture, is placed in the vicinity of the image-side pupil surface. An aperture-defining lens group ADLG arranged between the image-side pupil surface P2 and the image surface IS performs a pupil imaging and concentrates positive refractive power for converging radiation coming from the image-side pupil surface towards the image surface to define the image-side numerical aperture $NA = 1,2$.

The first objective part has a first, refractive lens group LG11 having two positive lenses, and a mirror group MG1 including a first, concave mirror M1 situated on the optical axis OA optically close to the first pupil surface P1 and having a mirror surface facing the object-side, and a second mirror M2 having a large-radius convex mirror surface facing the image-side positioned outside the optical axis optically close to the intermediate image. A negative meniscus lens (surfaces 5, 6) situated in front of the first mirror M1 is passed twice by the radiation. In combination with positive optical power provided by the concave mirror M1 a correcting effect on chromatic aberrations is obtained and the angular spectrum of radiation impinging on second mirror M2 is adjusted appropriately.

The second objective part OP2 includes a first lens group LG21 with positive refractive power, a second lens group LG22 with negative refractive power to define a constriction region CON where the beam bundle diameter attains a local minimum, a third lens group LG23 with

positive refractive power for defining the shape and angular spectrum of the radiation at the second pupil surface P2, and the aperture-defining lens group ADLG having overall positive refractive power.

The concave mirror M1 has sufficient optical power to compensate, in combination with the doubly passed lens in front of it, the opposite effect of the positive lenses on Petzval sum. The intermediate image IMI is overcorrected for Petzval sum. This effect is compensated by the second objective part, which includes positive refractive power concentrated in the aperture-defining lens group ADLG where the marginal ray height attains a local maximum, thereby providing strong undercorrection of Petzval sum such that an essentially flat image is obtained.

The aperture-defining lens group ADLG includes exactly three aspherical lenses immediately upstream of the plano-convex last optical element LOE and formed by positive meniscus lenses having concave, aspherical exit surfaces facing the image surface. The image-side end of the projection objective is designed generally in accordance with Fig. 2(a). The last optical element LOE is formed by a high-index magnesium aluminum oxide mixture with spinell structure having refractive index $n_{HI} = 1,702$. An image-side working distance of about 2 mm between the planar exit side of the last optical element in the image surface is filled with a high-index immersion liquid having $n_{II} = 1,597$. Cycloheptane may be used for that purpose.

Although an image-side numerical aperture substantially larger than $NA = 1,2$ could be obtained in that configuration, the high-index material optically close to the image surface is primarily used to relax the construction of the aperture-defining lens group by enlarging the focal length of that lens group in order to provide sufficient installation space for lenses contributing to aberration correction.

The projection objective 400 of Fig. 4 is a variant of the projection objective 300 designed for double-immersion generally in accordance with Fig. 2(c). This sequence and types of lenses upstream of the aspherical exit surface of the most image-side positive meniscus lens (surface 46) is essentially the same as in objective 300 (compare tables 3 and 4), therefore reference is made to that description. In contradistinction to embodiment 300, the image-side end includes a last but one lens designed as a positive meniscus lens having a concave exit surface facing the image surface, and a last optical element LOE designed as a positive meniscus lens having a concave exit surface facing the image surface. A plane parallel plate PL is arranged at a distance from the last optical element between that optical element and the image surface. During operation, a plano-convex interspace between the last optical element LOE and the parallel plate PL, as well as an plane parallel interspace between the parallel plate PL and the image surface are filled with the same high-index immersion liquid having refractive index near to $n_{HI} = 1,702$ substantially larger than the refractive index $n_{SiO_2} = 1,561$ of the last optical element LOE and the parallel plate PL. A cyclic hydrocarbon, such as Decalin (Decahydronaphthalene) may be used.

The projection objective 500 in Fig. 5 is a variant of the basic design of Fig. 3 adapted for use with a high-index immersion liquid to be filled in a plano-convex interspace between the last optical element LOE formed by a positive meniscus lens made of fused silica having a concave exit side facing the image surface, and the image surface as shown schematically in Fig. 2(b). A high-index immersion liquid with $n_{HI} = 1,702$ is used.

The projection objective 600 in Fig. 6 is a variant of the design of Fig. 3 adapted for use with a single layer of high-index immersion liquid to be

filled in a uniformly thick interspace between a planar exit surface of the last optical element LOE and the planar image surface in accordance with Fig. 2(d). The refractive index of the plano-convex last optical element LOE made of fused silica ($n_{\text{SiO}_2} = 1,561$) and the refractive index $n_{\text{HI}} = 1,597$ of the doped water used as immersion liquid are essentially the same (refractive index difference $\Delta n = 0,036$). Manufacturing tolerances for the last optical element can be relaxed due to the small difference in refractive index.

The specification of a variant of the projection objective 600 adapted to pure water ($n \approx 1.437$) as an immersion liquid is given in tables 11, 11A. The number and sequence as well as the type (general shape) of lenses and mirrors are the same as in the embodiment of Fig. 6, as seen in Fig. 11. In contradistinction to that embodiment, the plano-convex lens forming the last optical element is made of fused silica. No high-index material is used in that embodiment.

The projection objective 700 in Fig. 7 is an representative example of a second design type of a catadioptric projection objective according to the invention. The embodiment is adapted for immersion lithography using pure water ($n \approx 1.437$) as an immersion liquid at $\text{NA}=1,3$. A plano-convex lens made of a high-index solid ($n_{\text{HI}}=1,786$) forms the last optical element LOE. A first, catadioptric objective part OP1 is designed to image the off-axis object field OF into the only intermediate image IMI at an enlarging scale ($\beta_1 = -3,23$). A second, catadioptric objective part OP2 is designed to image the intermediate image onto the image field IF at a reducing scale ($\beta_2 = -0,077$). In the first objective part, a refractive first lens group LG11 having positive refractive power is designed to converge the radiation towards a first, concave mirror M1 of mirror group MG1, in front of which a negative meniscus lens is situated. Radiation reflected from first mirror M1 is directed at second mirror M2 having a slightly convex mirror surface facing the image side. Whereas the first

mirror M1 is situated on the optical axis optically close to the first pupil surface P1, the second mirror M2 is off-axis and optically close to a field surface (intermediate image IMI).

In the entry region of second objective part OP2 a second mirror group MG2 including a third mirror M3 having a concave mirror surface facing the object side and a fourth mirror M4 having a convex mirror surface facing the image-side are designed to converge the radiation towards a second lens group LG22 including three consecutive negative meniscus lenses, whereby a constriction CON characterized by a local minimum in beam diameter is created. A third lens group LG23 having positive refractive power, and an aperture-defining lens group ADLG having positive refractive power are designed to converge the radiation towards the image surface. An aperture stop AS is positioned close to an image-side pupil surface P2 situated between a third lens group LG23 and the aperture-defining lens group ADLG.

By comparing the basic construction of embodiments shown in Fig. 3 to Fig. 7 with this configuration, it appears that the function of refractive lens group LG21 provided in that embodiment is at least partly performed now by the second mirror group MG2 at the entry of the second objective part. It is a characterizing feature that at least three negative lenses are provided between the fourth mirror M4 and the image-side pupil surface P2. Specifically, the three consecutive negative lenses in the constriction region CON contribute significantly to spherical aberration, coma and Petzval sum correction. Further, the second objective part OP2 is characterized by a large density of aspheric surfaces. Specifically, a triple asphere TA including three consecutive aspheric surfaces (surfaces 22, 23 and 24) is provided in a transition region between negative lens group LG22 and positive lens group LG23, which opens with a bi-aspherical positive lens (surfaces 23, 24). A double asphere DA is formed by facing optical surfaces of the following

lenses (surfaces 26, 27). Three consecutive aspheric lenses, each having an aspherical exit surface facing the image surface, are provided in the aperture-defining lens group ADLG. As a consequence, a second objective part OB2 includes a number $N_{ASP} = 9$ aspheric lens surfaces and a number $N_{ASPL} = 8$ lenses having at least one aspheric lens surface. Therefore, the asphere ratio $AR = N_{ASP}/N_{ASPL} = 1,125$ in the second objective part, which forms an imaging subsystem within the projection objective 700.

The specification of a variant of the projection objective 700 also adapted to pure water ($n \approx 1.437$) as an immersion liquid is given in tables 12, 12A. The number and sequence as well as the type (general shape) of lenses and mirrors are the same as in the embodiment of Fig. 7, as seen in Fig. 12. In contradistinction to that embodiment, the plano-convex lens forming the last optical element is made of fused silica. No high-index material is used in that embodiment.

The projection objective 800 is designed for solid immersion in accordance with Fig. 2(a), where the planar exit surface of the plano-convex last optical element LOE is brought in contact with the surface of the substrate to be exposed. Whereas the last but one positive lens PL is made of fused silica, the last optical element LOE is made of a solid high-index material having $n_{HI} = 1,760$. Although an image-side numerical aperture in the order of $NA > 1,6$ may be obtained under this condition, the actual value is confined to $NA = 1,3$. The high-index last optical element enables to combine this high NA-value with relatively small propagation angles of radiation upstream of the last optical element within the aperture-defining lens group ADLG, which therefore may be designed in a relaxed manner with large focal length and sufficient space for lenses, including three aspherical lenses for correcting the pupil imaging between the image-side pupil surface P2 and the image surface.

Projection objective 900 of Fig. 9 is a variant of projection objective 800 of Fig. 8, where the most significant difference lies in the construction of the image-side end of the projection objective, which is designed generally in accordance with Fig. 2(b) to be used with a high-index immersion liquid in a plano-convex space between a concave exit surface of the last optical element LOE (made of fused silica) and the image surface.

The projection objective 1000 in Fig. 10 is a variant of the embodiment shown in Fig. 8 designed on the image-side end for double-immersion generally in accordance with Fig. 2(c). In operation, the image-side end has, in that sequence, a last optical element LOE designed as a positive meniscus lens having a concave exit surface, a plano-convex immersion space filled with a high-index immersion liquid with $n_{HI} = 1,751$, a plane parallel plate PL of fused silica, a second, plane parallel space filled with immersion liquid with $n_{HI} = 1,751$, adjacent to the image surface. As explained above, problems originating in contamination of the optical surfaces at the image end and problems originating from non-uniform liquid flow and temperature conditions within the immersion liquid can be largely avoided if double-immersion is used instead of single immersion as shown, for example, in Fig. 2(b).

As mentioned earlier, the invention allows to build catadioptric projection objectives with high numerical aperture, particularly allowing immersion lithography at numerical apertures $NA > 1$, that can be built with relatively small amounts of optical material. The potential for small material consumption is demonstrated in the following considering parameters describing the fact that particularly compact projection objectives can be manufactured.

Generally, the dimensions of projection objectives tend to increase dramatically as the image side numerical aperture NA is increased. Empirically it has been found that the maximum lens diameter D_{\max} tends to increase stronger than linear with increase of NA according to $D_{\max} \sim NA^k$, where $k > 1$. A value $k = 2$ is an approximation used for the purpose of this application. Further, it has been found that the maximum lens diameter D_{\max} increases in proportion to the image field size (represented by the image field height Y' , where Y' is the maximum distance between an image field point and the optical axis). A linear dependency is assumed for the purpose of the application. Based on these considerations a first compactness parameter COMP1 is defined as:

$$\text{COMP1} = D_{\max}/(Y' \cdot NA^2).$$

It is evident that, for given values of image field height and numerical aperture, the first compaction parameter COMP1 should be as small as possible if a compact design is desired.

Considering the overall material consumption necessary for providing a projection objective, the absolute number of lenses, N_L is also relevant. Typically, systems with a smaller number of lenses are preferred to systems with larger numbers of lenses. Therefore, a second compactness parameter COMP2 is defined as follows:

$$\text{COMP2} = \text{COMP1} \cdot N_L.$$

Again, small values for COMP2 are indicative of compact optical systems.

Further, projection objectives according to preferred embodiments of the invention have at least two objective parts for imaging an entry side field surface into an optically conjugate exit side field surface, where the imaging objective parts are concatenated at intermediate images.

Typically, the number of lenses and the overall material necessary to build an projection objective will increase the higher the number N_{OP} of imaging objective parts of the optical system is. It is desirable to keep the average number of lenses per objective part, N_L / N_{OP} , as small as possible. Therefore, a third compactness parameter COMP3 is defined as follows:

$$COMP3 = COMP1 \cdot N_L / N_{OP}.$$

Again, projection objectives with low optical material consumption will be characterized by small values of COMP3.

Table 13 summarizes the values necessary to calculate the compactness parameters COMP1, COMP2, COMP3 and the respective values for these parameters for each of the systems presented with a specification table (the table number (corresponding to the same number of a figure) is given in column 1 of table 13). Therefore, in order to obtain a compact catadioptric projection objective having at least one concave mirror and at least two imaging objective parts (i.e. at least one intermediate image) at least one of the following conditions should be observed:

$$COMP1 < 15$$

Preferably $COMP1 < 14$ should be observed. This limit applies particularly for two-mirror systems (i.e. catadioptric projection objectives having two concave mirrors).

In four mirror-systems (such as shown in Figs 7 to 10 and 12) the design can be even more compact when COMP 1 is considered. Preferably the condition

$$COMP1 < 12$$

should be observed, where preferably $COMP1 < 11$ may apply.

Table 13 shows that preferred embodiments according to the invention generally observe at least one of these conditions indicating that compact designs with moderate material consumption are obtained according to the design rules laid out in this specification.

The principles of the invention have been explained using high-NA catadioptric projection objectives designed for immersion lithography at $NA > 1$. The invention can also be utilized in "dry systems", i.e. in catadioptric projection objectives with $NA < 1$ having an image side working distance which is filled with a gas during operation.

The above description of the preferred embodiments has been given by way of example. From the disclosure given, those skilled in the art will not only understand the present invention and its attendant advantages, but will also find apparent various changes and modifications to the structures and methods disclosed. It is sought, therefore, to cover all changes and modifications as fall within the spirit and scope of the invention, as defined by the appended claims, and equivalents thereof.

The content of all the claims is made part of this description by reference.

Table 3

Surface	Radius		Thickness	Material	Index 193.368 nm	Semidiameter
1	-404.542022		36.232225	SIO2	1.56078570	88.996
2	-184.402723	AS	1.000090	AIR	1.00000000	95.088
3	674.592973		51.347982	SIO2	1.56078570	102.076
4	-174.232362		144.581202	AIR	1.00000000	102.829
5	-162.800929	AS	14.999049	CAF2	1.50185255	53.189
6	-1456.920767		15.293417	AIR	1.00000000	63.896
7	-202.841004		-15.293417	REFL	1.00000000	67.884
8	-1456.920767		-14.999049	CAF2	1.50185255	67.836
9	-162.800929	AS	-129.581898	AIR	1.00000000	67.241
10	-2538.490880	AS	174.873667	REFL	1.00000000	89.519
11	-391.507349		46.632422	SIO2	1.56078570	140.865
12	-195.389639		0.999852	AIR	1.00000000	144.625
13	1411.077988	AS	41.703225	SIO2	1.56078570	160.805
14	-529.305238		0.999461	AIR	1.00000000	162.519
15	1458.778723		34.033769	SIO2	1.56078570	165.701
16	-3002.433858		1.088813	AIR	1.00000000	166.002
17	212.825771		57.638065	SIO2	1.56078570	165.361
18	436.070633	AS	107.276235	AIR	1.00000000	157.551
19	807.065576	AS	13.824876	SIO2	1.56078570	136.972
20	290.022861		105.550931	AIR	1.00000000	129.323
21	153.210365		45.794134	SIO2	1.56078570	102.069
22	136.220631		56.777310	AIR	1.00000000	85.525
23	-236.154610	AS	16.122149	SIO2	1.56078570	84.150
24	196.227428		58.167782	AIR	1.00000000	89.217
25	-225.833560		59.831340	SIO2	1.56078570	97.239
26	-193.684381		3.215861	AIR	1.00000000	118.689
27	1270.382760	AS	13.092290	SIO2	1.56078570	138.308
28	444.089768		15.430530	AIR	1.00000000	145.054
29	798.722954		70.490347	SIO2	1.56078570	148.503
30	-372.865243		1.829734	AIR	1.00000000	155.186
31	1055.533545		39.622524	SIO2	1.56078570	165.276
32	-843.038518		36.110674	AIR	1.00000000	165.999
33	397.601006		52.148862	SIO2	1.56078570	165.961
34	-2316.548771		-4.213465	AIR	1.00000000	164.343
35	0.000000		0.000000	AIR	1.00000000	163.851
36	0.000000		24.329363	AIR	1.00000000	163.851
37	-584.913340		13.012880	SIO2	1.56078570	163.706
38	-1175.679472		0.999882	AIR	1.00000000	163.968
39	468.096624		53.626064	SIO2	1.56078570	161.375
40	-861.698483		0.999930	AIR	1.00000000	159.675
41	199.043165		50.143874	SIO2	1.56078570	132.604
42	1068.213664	AS	0.999723	AIR	1.00000000	126.983
43	159.145519		28.472240	SIO2	1.56078570	103.283
44	185.472842	AS	1.000460	AIR	1.00000000	90.240
45	118.935626		36.986741	CAF2	1.50185255	82.041
46	183.063185	AS	1.167554	AIR	1.00000000	65.440
47	108.701433		56.721488	HIINDEX1	1.70196985	58.621
48	0.000000		1.996512	HIINDEX2	1.59667693	18.135

Table 3A**Aspheric Constants**

SRF	2	5	9	10	13
K	0	0	0	0	0
C1	-2.722625e-09	1.960629e-08	1.960629e-08	-2.009517e-09	4.688860e-12
C2	7.584994e-13	7.765801e-13	7.765801e-13	-9.097265e-14	-1.731249e-13
C3	9.846612e-17	1.917740e-17	1.917740e-17	-8.260726e-18	-6.240777e-19
C4	6.877818e-21	2.910700e-22	2.910700e-22	5.085547e-23	4.036403e-23
C5	1.011674e-24	1.224735e-25	1.224735e-25	-1.203685e-26	-1.100969e-27
C6	-1.051032e-29	-3.426250e-30	-3.426250e-30	-9.728791e-31	5.706583e-33
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	18	19	23	27	42
K	0	0	0	0	0
C1	1.982111e-08	1.777327e-08	-1.163364e-07	-7.203585e-09	1.122901e-08
C2	-8.423501e-14	3.329332e-13	-9.570513e-13	1.049118e-13	-3.595965e-14
C3	-7.592975e-19	2.038481e-20	4.236584e-17	-7.379754e-19	-2.518839e-18
C4	1.931064e-22	7.263940e-22	-7.733258e-22	7.196196e-23	4.313506e-22
C5	-5.204262e-27	-3.379214e-26	2.136062e-26	-9.945374e-28	-1.564968e-26
C6	8.863320e-32	6.878653e-31	1.705507e-30	4.329096e-32	3.223390e-31
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	44	46			
K	0	0			
C1	1.449926e-08	6.313252e-08			
C2	5.832083e-13	1.940331e-12			
C3	6.975570e-17	-2.373686e-16			
C4	3.546013e-21	-1.406348e-21			
C5	-1.283131e-26	-1.469813e-25			
C6	1.520482e-29	9.584030e-29			
C7	0.000000e+00	0.000000e+00			
C8	0.000000e+00	0.000000e+00			
C9	0.000000e+00	0.000000e+00			

Table 4

Surface	Radius		Thickness	Material	Index 193.368 nm	Semidiameter
1	-414.121100		42.366173	SIO2	1.56078570	88.595
2	-180.398286	AS	0.997246	AIR	1.00000000	95.880
3	672.276124		51.013183	SIO2	1.56078570	102.455
4	-176.777070		141.655598	AIR	1.00000000	103.078
5	-155.975967	AS	14.997355	CAF2	1.50185255	51.750
6	-1379.092049		14.967737	AIR	1.00000000	62.450
7	-199.579690		-14.967737	REFL	1.00000000	66.450
8	-1379.092049		-14.997355	CAF2	1.50185255	66.430
9	-155.975967	AS	-126.660492	AIR	1.00000000	65.918
10	-2739.696693	AS	171.620690	REFL	1.00000000	89.015
11	-377.604010		48.768472	SIO2	1.56078570	140.210
12	-192.471339		1.143047	AIR	1.00000000	144.656
13	1832.945177	AS	45.701706	SIO2	1.56078570	159.912
14	-432.630174		1.309799	AIR	1.00000000	162.061
15	960.131289		33.354459	SIO2	1.56078570	165.645
16	13106.162262		1.201087	AIR	1.00000000	165.350
17	211.754857		52.094947	SIO2	1.56078570	164.107
18	368.724438	AS	111.692117	AIR	1.00000000	156.247
19	695.817447	AS	18.634797	SIO2	1.56078570	137.290
20	273.576995		102.726199	AIR	1.00000000	128.441
21	153.882013		53.558789	SIO2	1.56078570	103.781
22	134.234534		55.463264	AIR	1.00000000	84.662
23	-264.669591	AS	13.022221	SIO2	1.56078570	83.344
24	199.502999		58.221149	AIR	1.00000000	88.287
25	-239.260240		59.896334	SIO2	1.56078570	97.407
26	-196.613503		1.765954	AIR	1.00000000	118.186
27	1196.470171	AS	13.989223	SIO2	1.56078570	136.152
28	432.693820		16.877009	AIR	1.00000000	143.023
29	868.369835		68.316963	SIO2	1.56078570	146.466
30	-368.754428		3.325465	AIR	1.00000000	153.285
31	948.367854		41.454358	SIO2	1.56078570	164.595
32	-811.359547		21.980014	AIR	1.00000000	165.329
33	379.644456		54.827896	SIO2	1.56078570	165.179
34	-2000.974239		-5.709303	AIR	1.00000000	163.419
35	0.000000		0.000000	AIR	1.00000000	163.100
36	0.000000		22.976075	AIR	1.00000000	163.100
37	-613.803055		12.999109	SIO2	1.56078570	162.929
38	-1347.086830		1.077015	AIR	1.00000000	162.653
39	507.225908		51.105620	SIO2	1.56078570	159.495
40	-817.071242		1.390689	AIR	1.00000000	157.771
41	186.916911		50.121407	SIO2	1.56078570	129.074
42	751.052938	AS	0.999451	AIR	1.00000000	123.165
43	154.750641		22.396936	SIO2	1.56078570	100.269
44	200.808041	AS	0.999869	AIR	1.00000000	91.478
45	121.066042		34.146717	CAF2	1.50185255	82.634
46	169.446884	AS	1.216841	AIR	1.00000000	66.454
47	103.838634		20.583027	SIO2	1.56078570	59.765
48	103.718650		26.529620	HIINDEX1	1.70196985	46.439
49	0.000000		10.000000	SIO2	1.56078570	30.992
50	0.000000		1.996512	HIINDEX1	1.70196985	18.983
51	0.000000		0.000000	AIR	0.00000000	17.000

Table 4A**Aspheric Constants**

SRF	2	5	9	10	13
K	0	0	0	0	0
C1	-4.404795e-09	2.108903e-08	2.108903e-08	-9.135670e-10	1.561215e-10
C2	5.820719e-13	9.182484e-13	9.182484e-13	-1.409356e-13	-2.907275e-13
C3	8.269357e-17	2.420748e-17	2.420748e-17	-6.913194e-18	1.928971e-18
C4	6.832303e-21	3.816551e-22	3.816551e-22	-2.311766e-22	1.443299e-23
C5	1.109394e-24	2.038192e-25	2.038192e-25	9.899481e-27	-1.206840e-27
C6	-1.950134e-29	-1.306007e-30	-1.306007e-30	-2.195577e-30	7.504603e-33
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	18	19	23	27	42
K	0	0	0	0	0
C1	2.067993e-08	2.125729e-08	-1.336932e-07	-8.139318e-09	5.632057e-09
C2	-1.794696e-13	1.937856e-13	-1.521795e-12	9.789279e-14	-6.884692e-18
C3	1.805678e-19	3.281010e-21	2.384680e-17	-1.958751e-18	-3.284658e-18
C4	2.458151e-22	1.028071e-21	-5.679311e-22	1.143247e-22	8.247569e-22
C5	-6.710693e-27	-4.445379e-26	-4.218802e-25	-2.199820e-27	-3.538280e-26
C6	1.159381e-31	8.293984e-31	3.402670e-29	7.977100e-32	7.399992e-31
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	44	46			
K	0	0			
C1	1.802314e-08	7.847301e-08			
C2	1.052624e-12	1.326566e-12			
C3	1.095964e-16	-3.074253e-16			
C4	3.351062e-21	1.612295e-20			
C5	-1.457987e-25	-4.631529e-24			
C6	3.258770e-29	5.629462e-28			
C7	0.000000e+00	0.000000e+00			
C8	0.000000e+00	0.000000e+00			
C9	0.000000e+00	0.000000e+00			

Table 5

Surface	Radius		Thickness	Material	Inex 193.368 nm	Semidiameter
1	-451.633069		41.847802	SIO2	1.56078570	88.846
2	-179.764443	AS	0.997865	AIR	1.00000000	95.677
3	788.811739		49.515274	SIO2	1.56078570	101.750
4	-175.765286		142.344513	AIR	1.00000000	102.424
5	-152.168282	AS	14.999283	CAF2	1.50185255	52.217
6	-1224.296886		15.148776	AIR	1.00000000	63.166
7	-197.634797		-15.148776	REFL	1.00000000	67.215
8	-1224.296886		-14.999283	CAF2	1.50185255	67.146
9	-152.168282	AS	-127.348415	AIR	1.00000000	66.389
10	-2297.976026	AS	172.492572	REFL	1.00000000	88.913
11	-363.177979		48.449667	SIO2	1.56078570	140.748
12	-191.107660		0.999511	AIR	1.00000000	145.196
13	1371.212896	AS	46.493123	SIO2	1.56078570	160.992
14	-443.917203		1.000590	AIR	1.00000000	162.829
15	1036.740259		32.622427	SIO2	1.56078570	166.016
16	18207.832821		1.096839	AIR	1.00000000	165.744
17	215.621498		52.169416	SIO2	1.56078570	164.511
18	393.524032	AS	111.107168	AIR	1.00000000	156.872
19	806.536545	AS	16.822440	SIO2	1.56078570	138.306
20	270.135089		106.851182	AIR	1.00000000	129.559
21	153.204982		53.733281	SIO2	1.56078570	105.125
22	135.178987		57.907901	AIR	1.00000000	86.138
23	-265.940335	AS	17.321242	SIO2	1.56078570	84.520
24	196.940842		56.734300	AIR	1.00000000	89.865
25	-240.085893		60.203703	SIO2	1.56078570	97.829
26	-196.482791		1.011366	AIR	1.00000000	119.023
27	1505.948667	AS	13.006909	SIO2	1.56078570	137.367
28	436.428499		16.435228	AIR	1.00000000	144.478
29	837.903006		68.476413	SIO2	1.56078570	148.046
30	-356.200116		1.277689	AIR	1.00000000	154.245
31	943.310018		42.390199	SIO2	1.56078570	165.276
32	-805.249142		28.982667	AIR	1.00000000	166.006
33	372.901733		57.042107	SIO2	1.56078570	165.234
34	-2011.241856		-5.362421	AIR	1.00000000	163.126
35	0.000000		0.000000	AIR	1.00000000	162.695
36	0.000000		22.693554	AIR	1.00000000	162.695
37	-618.137674		13.166607	SIO2	1.56078570	162.516
38	-1354.641448		1.437096	AIR	1.00000000	162.047
39	500.325754		50.334013	SIO2	1.56078570	158.446
40	-848.695041		1.055181	AIR	1.00000000	156.638
41	190.208184		48.937616	SIO2	1.56078570	128.548
42	871.846545	AS	0.999300	AIR	1.00000000	122.700
43	156.573271		23.501019	SIO2	1.56078570	100.182
44	190.148325	AS	0.999727	AIR	1.00000000	90.347
45	121.071287		34.552923	CAF2	1.50185255	81.853
46	182.689299	AS	0.998604	AIR	1.00000000	65.800
47	105.605176		20.369177	SIO2	1.56078570	58.914
48	99.320659		39.009260	GLASS53	1.70196985	45.020
49	0.000000		0.000000	AIR	0.00000000	17.000

Table 5A**Aspheric Constants**

SRF	2	5	9	10	13
K	0	0	0	0	0
C1	-3.874558e-09	2.221038e-08	2.221038e-08	-3.922240e-10	-8.667348e-12
C2	8.315942e-13	9.873497e-13	9.873497e-13	-1.977352e-13	-2.555495e-13
C3	1.016326e-16	3.165387e-17	3.165387e-17	-5.465052e-18	1.320002e-18
C4	6.175290e-21	1.398411e-22	1.398411e-22	-3.354122e-22	1.461733e-23
C5	1.157104e-24	2.420682e-25	2.420682e-25	1.182185e-26	-9.502963e-28
C6	-3.544707e-29	-4.120639e-30	-4.120639e-30	-2.423764e-30	5.753067e-33
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	18	19	23	27	42
K	0	0	0	0	0
C1	2.045030e-08	2.256223e-08	-1.285703e-07	-6.512254e-09	1.075423e-08
C2	-1.419891e-13	2.739230e-13	-1.156589e-12	1.223304e-13	-3.072658e-14
C3	5.317906e-19	-3.997897e-22	4.892617e-17	-1.406871e-18	-7.074621e-18
C4	1.512247e-22	7.796208e-22	-1.326371e-21	9.709645e-23	9.986934e-22
C5	-3.315707e-27	-3.395311e-26	-3.320971e-26	-1.285907e-27	-4.000417e-26
C6	6.495461e-32	6.522368e-31	1.382652e-29	5.835628e-32	8.319761e-31
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	44	46			
K	0	0			
C1	1.028484e-08	8.250136e-08			
C2	3.036683e-13	2.629435e-12			
C3	1.031272e-16	-3.068772e-16			
C4	4.607368e-21	2.829771e-21			
C5	-2.568057e-25	-1.206037e-24			
C6	2.849902e-29	6.211885e-29			
C7	0.000000e+00	0.000000e+00			
C8	0.000000e+00	0.000000e+00			
C9	0.000000e+00	0.000000e+00			

Table 6

Surface	Radius		Thickness	Material	Index 193.368 nm	Semidiameter
1	-331.000904		42.813272	SIO2	1.56078570	87.918
2	-186.584235	AS	0.998996	AIR	1.00000000	96.506
3	456.092636		54.350538	SIO2	1.56078570	104.559
4	-187.509343		148.636637	AIR	1.00000000	104.982
5	-167.147346	AS	14.998818	CAF2	1.50185255	53.680
6	-1774.729150		15.137660	AIR	1.00000000	64.137
7	-210.467126		-15.137660	REFL	1.00000000	68.006
8	-1774.729150		-14.998818	CAF2	1.50185255	68.006
9	-167.147346	AS	-133.638684	AIR	1.00000000	67.649
10	-3173.721817	AS	178.773115	REFL	1.00000000	92.046
11	-1077.389521		58.402850	SIO2	1.56078570	150.422
12	-231.757181		1.000238	AIR	1.00000000	154.439
13	9687.226397	AS	43.632651	SIO2	1.56078570	163.998
14	-383.748558		1.000850	AIR	1.00000000	165.716
15	1429.968899		26.165059	SIO2	1.56078570	166.011
16	3898.010913		0.999264	AIR	1.00000000	165.250
17	195.690040		51.365518	SIO2	1.56078570	162.270
18	307.973470	AS	112.539955	AIR	1.00000000	153.025
19	353.925856	AS	14.621944	SIO2	1.56078570	131.543
20	192.060285		86.375704	AIR	1.00000000	122.255
21	155.121944		64.250457	SIO2	1.56078570	104.326
22	130.619670		55.246879	AIR	1.00000000	81.462
23	-219.052805	AS	13.030104	SIO2	1.56078570	80.150
24	194.190299		50.223615	AIR	1.00000000	86.444
25	-200.413455		63.662787	SIO2	1.56078570	91.322
26	-177.648047		1.036827	AIR	1.00000000	115.955
27	777.183202	AS	14.381647	SIO2	1.56078570	140.005
28	426.571296		16.224176	AIR	1.00000000	146.424
29	773.106124		66.866991	SIO2	1.56078570	150.068
30	-355.919709		2.893664	AIR	1.00000000	155.097
31	1532.665989		40.910666	SIO2	1.56078570	164.941
32	-669.729091		34.068489	AIR	1.00000000	165.952
33	459.493406		48.212313	SIO2	1.56078570	165.903
34	-2073.015200		-5.544810	AIR	1.00000000	164.438
35	0.000000		0.000000	AIR	1.00000000	164.174
36	0.000000		26.013038	AIR	1.00000000	164.174
37	-549.643917		13.007760	SIO2	1.56078570	164.053
38	-1478.808572		1.037593	AIR	1.00000000	165.026
39	402.404594		63.032812	SIO2	1.56078570	164.560
40	-758.807583		1.004453	AIR	1.00000000	162.896
41	199.150466		49.164957	SIO2	1.56078570	133.403
42	976.072546	AS	0.999907	AIR	1.00000000	127.646
43	126.061354		31.719144	SIO2	1.56078570	98.206
44	167.480430	AS	0.999440	AIR	1.00000000	88.650
45	116.813879		29.633926	CAF2	1.50185255	79.972
46	176.434975	AS	0.996811	AIR	1.00000000	66.214
47	99.243782		50.572086	SIO2	1.56078570	57.873
48	0.000000		1.996512	HIINDEX1	1.59667693	19.284
49	0.000000		0.000000	AIR	0.00000000	17.001

Table 6A**Aspheric Constants**

SRF	2	5	9	10	13
K	0	0	0	0	0
C1	-1.555531e-09	1.687918e-08	1.687918e-08	-1.348504e-09	7.573604e-10
C2	-6.958515e-14	6.232575e-13	6.232575e-13	-3.176568e-15	-3.870838e-13
C3	-1.242060e-17	9.529592e-18	9.529592e-18	-6.759196e-18	2.190326e-18
C4	1.389350e-20	1.573173e-21	1.573173e-21	1.871932e-22	1.172042e-22
C5	1.251086e-25	-2.114196e-25	-2.114196e-25	-1.231992e-26	-4.121126e-27
C6	4.509880e-29	1.902556e-29	1.902556e-29	-2.072031e-31	3.470805e-32
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	18	19	23	27	42
K	0	0	0	0	0
C1	2.849121e-08	3.066437e-08	-1.429500e-07	-9.011286e-09	1.649069e-08
C2	-2.278306e-13	-7.961198e-14	-2.394790e-12	1.443716e-13	-2.040459e-13
C3	-8.088020e-18	4.912301e-19	4.129786e-17	-2.416742e-18	-1.139128e-18
C4	1.085216e-21	2.365625e-21	-5.098269e-21	1.150323e-22	4.785396e-22
C5	-3.346165e-26	-1.010997e-25	-1.337613e-25	-2.653658e-27	-1.860374e-26
C6	4.803561e-31	2.034614e-30	-3.296337e-29	6.716032e-32	4.389813e-31
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	44	46			
K	0	0			
C1	-6.517109e-09	7.951924e-08			
C2	-5.411899e-13	5.625967e-12			
C3	9.933771e-17	-8.187722e-16			
C4	6.592214e-21	5.591368e-20			
C5	1.596683e-25	-1.663052e-23			
C6	-4.426984e-30	1.270531e-27			
C7	0.000000e+00	0.000000e+00			
C8	0.000000e+00	0.000000e+00			
C9	0.000000e+00	0.000000e+00			

Table 7

Surface	Radius		Thickness	Material	Index 193.368 nm	Semidiameter
1	-140.823672	AS	57.433959	SiO2	1.56078570	85.179
2	-204.756037		1.827474	AIR	1.00000000	106.319
3	239.453106		66.012931	SiO2	1.56078570	126.931
4	-836.638684		1.982704	AIR	1.00000000	125.824
5	1797.059677		14.713179	SiO2	1.56078570	123.061
6	4149.711621		2.799289	AIR	1.00000000	121.381
7	340.970653		31.938127	SiO2	1.56078570	117.054
8	-1898.815009	AS	204.027732	AIR	1.00000000	113.970
9	-155.329952		13.309745	SiO2	1.56078570	72.590
10	-695.719352		17.409035	AIR	1.00000000	85.602
11	-243.893201	AS	-17.409035	REFL	1.00000000	89.704
12	-695.719352		-13.309745	SiO2	1.56078570	89.028
13	-155.329952		-179.734273	AIR	1.00000000	84.959
14	-1318.535220	AS	456.277939	REFL	1.00000000	113.654
15	-418.128785		-188.264797	REFL	1.00000000	268.689
16	-460.678827		110.821404	REFL	1.00000000	137.222
17	376.198743	AS	24.631702	SiO2	1.56078570	98.837
18	123.411374		80.569056	AIR	1.00000000	87.243
19	-188.093003		24.804534	SiO2	1.56078570	91.133
20	-451.680016		1.621150	AIR	1.00000000	102.517
21	26469.639394		16.715830	SiO2	1.56078570	107.381
22	201.259280	AS	35.754201	AIR	1.00000000	118.111
23	-1202.421670	AS	51.241370	SiO2	1.56078570	128.186
24	-322.482765	AS	8.795729	AIR	1.00000000	132.239
25	258.337599		56.740990	SiO2	1.56078570	153.219
26	-12589.869567	AS	13.195369	AIR	1.00000000	150.978
27	324.459180	AS	45.773586	SiO2	1.56078570	149.648
28	-497.518575		13.712710	AIR	1.00000000	149.967
29	-376.404658		13.085749	SiO2	1.56078570	149.173
30	-958.464185		9.230241	AIR	1.00000000	151.496
31	-728.292950		28.695468	SiO2	1.56078570	151.626
32	-357.158659		18.667769	AIR	1.00000000	152.581
33	0.000000		0.000000	AIR	1.00000000	146.019
34	0.000000		-16.100683	AIR	1.00000000	146.019
35	484.354722		22.103311	SiO2	1.56078570	146.382
36	948.500644		1.900326	AIR	1.00000000	145.547
37	333.774920		49.314075	SiO2	1.56078570	144.715
38	-28057.399637	AS	0.998829	AIR	1.00000000	142.813
39	158.420364		53.881706	SiO2	1.56078570	116.975
40	581.967137	AS	0.998509	AIR	1.00000000	107.937
41	104.934453		41.887014	SiO2	1.56078570	81.972
42	167.465131	AS	0.995522	AIR	1.00000000	63.820
43	93.083837		53.858695	HIINDEX1	1.78568015	56.852
44	0.000000		1.000000	WATER	1.43667693	20.140
45	0.000000		0.000000	AIR	0.00000000	18.001

Table 7A**Aspheric Constants**

SRF	1	8	11	14	17
K	0	0	0	0	0
C1	5.957933e-08	2.481530e-08	-5.109441e-09	2.044458e-12	-2.109855e-08
C2	1.983359e-12	-2.106333e-13	-1.514546e-13	6.373752e-14	9.955737e-14
C3	1.201592e-16	2.160013e-17	-6.120616e-18	-1.152163e-18	-3.652850e-17
C4	-2.700912e-23	-4.839678e-22	2.313325e-22	7.638886e-23	-1.097906e-21
C5	6.082962e-25	-5.713773e-27	-2.633844e-26	-3.033146e-27	-6.959896e-27
C6	-2.642537e-29	8.881762e-31	6.276857e-31	6.643171e-32	8.723697e-30
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	22	23	24	26	27
K	0	0	0	0	0
C1	-5.654066e-09	5.468832e-08	-1.993769e-08	3.512543e-08	-3.999647e-08
C2	-1.931133e-12	1.076007e-13	3.867690e-13	-5.639458e-13	-6.709900e-19
C3	-2.481208e-17	-3.892917e-17	-1.570725e-17	3.892215e-18	-1.456616e-17
C4	5.232255e-21	6.516272e-22	3.297297e-22	-1.923201e-22	2.347099e-23
C5	-2.111625e-25	6.792876e-27	1.949532e-27	6.195980e-27	2.220410e-28
C6	2.849533e-30	-4.282052e-31	-5.752876e-31	-1.678071e-31	-1.672158e-31
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	38	40	42		
K	0	0	0		
C1	-6.766738e-09	-4.193986e-12	1.257645e-07		
C2	-7.368953e-13	1.352189e-12	8.654450e-12		
C3	1.596358e-17	-6.097321e-17	2.916255e-16		
C4	3.936995e-22	5.969746e-21	-1.206138e-19		
C5	-1.883310e-26	-3.255779e-25	4.057293e-23		
C6	2.137685e-31	9.856534e-30	-5.471715e-27		
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		

Table 8

Surface	Radius		Thickness	Material	Index 193.368 nm	Semidiameter
1	-139.939073	AS	56.668455	SIO2	1.56078570	84.946
2	-204.568615		1.070135	AIR	1.00000000	105.840
3	239.096072		65.121557	SIO2	1.56078570	125.956
4	-692.798796		1.571173	AIR	1.00000000	125.004
5	1957.346368		13.080686	SIO2	1.56078570	121.787
6	1439.865663		2.096708	AIR	1.00000000	119.718
7	353.510947		31.616914	SIO2	1.56078570	116.673
8	-1227.690426	AS	203.390504	AIR	1.00000000	114.118
9	-157.037999		13.053495	SIO2	1.56078570	71.933
10	-687.975180		17.007176	AIR	1.00000000	84.503
11	-243.140860	AS	-17.007176	REFL	1.00000000	88.550
12	-687.975180		-13.053495	SIO2	1.56078570	87.923
13	-157.037999		-180.045623	AIR	1.00000000	84.148
14	-1229.260994	AS	456.822311	REFL	1.00000000	112.739
15	-415.881540		-187.469556	REFL	1.00000000	269.993
16	-461.273571		110.622049	REFL	1.00000000	138.437
17	416.369746	AS	22.657139	SIO2	1.56078570	99.312
18	127.343817		81.525715	AIR	1.00000000	87.994
19	-175.649639		25.205390	SIO2	1.56078570	91.038
20	-395.046607		1.723874	AIR	1.00000000	102.252
21	4752.102432		17.551743	SIO2	1.56078570	107.514
22	207.928243	AS	36.620857	AIR	1.00000000	116.600
23	-847.913584	AS	53.064053	SIO2	1.56078570	122.858
24	-317.558108	AS	10.132654	AIR	1.00000000	129.865
25	262.792389		55.215589	SIO2	1.56078570	153.298
26	-12429.722386	AS	14.874464	AIR	1.00000000	151.228
27	331.657900	AS	47.885282	SIO2	1.56078570	151.049
28	-521.198576		15.157977	AIR	1.00000000	151.375
29	-364.704682		13.335942	SIO2	1.56078570	150.764
30	-913.671559		10.373584	AIR	1.00000000	153.606
31	-747.508150		29.699750	SIO2	1.56078570	153.896
32	-353.767343		16.584736	AIR	1.00000000	154.899
33	0.000000		0.000000	AIR	1.00000000	148.746
34	0.000000		-15.584916	AIR	1.00000000	148.746
35	467.578029		23.532973	SIO2	1.56078570	149.243
36	1013.533552		1.802113	AIR	1.00000000	148.398
37	320.005819		51.463273	SIO2	1.56078570	147.084
38	-62373.538118	AS	1.172411	AIR	1.00000000	144.920
39	166.275527		53.143323	SIO2	1.56078570	118.761
40	678.286117	AS	0.999760	AIR	1.00000000	109.694
41	105.898192		40.733496	SIO2	1.56078570	82.526
42	182.630168	AS	1.149050	AIR	1.00000000	66.139
43	95.822380		55.466141	HIINDEX1	1.76018665	57.704
44	0.000000		0.000000	AIR	0.00000000	18.001

Table 8A**Aspheric Constants**

SRF	1	8	11	14	17
K	0	0	0	0	0
C1	6.029618e-08	2.414888e-08	-4.778400e-09	1.245817e-11	-1.786350e-08
C2	1.977400e-12	-1.754153e-13	-1.414883e-13	6.801196e-14	4.468447e-13
C3	1.297306e-16	2.161869e-17	-6.411452e-18	-1.282692e-18	-3.702082e-17
C4	-6.465162e-23	-3.688233e-22	3.571585e-22	7.748610e-23	-4.404198e-22
C5	6.063912e-25	-1.968392e-26	-4.048065e-26	-2.938896e-27	-5.584451e-26
C6	-2.830320e-29	1.221206e-30	1.379349e-30	6.278026e-32	7.546398e-30
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	22	23	24	26	27
K	0	0	0	0	0
C1	-9.734986e-10	5.553906e-08	-1.791098e-08	3.707823e-08	-3.550387e-08
C2	-1.751323e-12	1.384318e-14	3.025582e-13	-5.382312e-13	-7.220978e-18
C3	-5.043265e-17	-5.243875e-17	-1.190211e-17	2.499773e-18	-9.815037e-18
C4	6.940058e-21	1.291553e-21	1.909715e-22	3.519276e-23	3.333902e-23
C5	-2.676941e-25	-1.397101e-26	8.123766e-28	7.231639e-28	4.084565e-28
C6	3.739931e-30	8.628659e-32	-5.978842e-31	-4.265017e-32	-3.001149e-32
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	38	40	42		
K	0	0	0		
C1	-3.626586e-09	-9.602390e-12	1.015803e-07		
C2	-7.527255e-13	1.622695e-12	5.897100e-12		
C3	1.554813e-17	-8.497345e-17	6.155690e-17		
C4	3.433043e-22	6.501324e-21	-8.118554e-20		
C5	-1.684169e-26	-3.034013e-25	2.357436e-23		
C6	1.922213e-31	8.528873e-30	-3.368932e-27		
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		

Table 9

Surface	Radius		Thickness	Material	Index 193.368 nm	Semidiameter
1	-143.450651	AS	57.270855	SIO2	1.56078570	85.095
2	-206.795430		0.999185	AIR	1.00000000	105.561
3	238.942349		65.084734	SIO2	1.56078570	124.717
4	-715.681319		1.922826	AIR	1.00000000	123.678
5	1969.861686		13.486505	SIO2	1.56078570	120.587
6	1956.232535		2.085647	AIR	1.00000000	118.680
7	351.063566		30.285116	SIO2	1.56078570	115.287
8	-1758.712740	AS	197.627466	AIR	1.00000000	112.682
9	-158.482402		13.019095	SIO2	1.56078570	70.234
10	-717.195376		16.489522	AIR	1.00000000	82.406
11	-242.835615	AS	-16.489522	REFL	1.00000000	86.344
12	-717.195376		-13.019095	SIO2	1.56078570	85.836
13	-158.482402		-177.629393	AIR	1.00000000	82.613
14	-1324.014672	AS	455.015907	REFL	1.00000000	112.967
15	-414.262835		-187.362305	REFL	1.00000000	267.779
16	-458.612694		107.716389	REFL	1.00000000	136.372
17	443.456477	AS	22.553628	SIO2	1.56078570	98.289
18	127.177618		83.061925	AIR	1.00000000	87.356
19	-168.941635		26.194208	SIO2	1.56078570	90.922
20	-368.163655		2.172316	AIR	1.00000000	103.197
21	2411.489857		17.733305	SIO2	1.56078570	109.822
22	210.765543	AS	36.730354	AIR	1.00000000	118.951
23	-831.909620	AS	53.167578	SIO2	1.56078570	125.050
24	-323.559346	AS	8.877188	AIR	1.00000000	131.662
25	261.636780		54.578305	SIO2	1.56078570	154.212
26	-7451.510120	AS	11.673321	AIR	1.00000000	152.231
27	334.113467	AS	46.289599	SIO2	1.56078570	151.745
28	-521.440736		15.564426	AIR	1.00000000	152.216
29	-362.516258		12.998369	SIO2	1.56078570	151.706
30	-885.661707		9.199344	AIR	1.00000000	154.981
31	-760.796527		31.167725	SIO2	1.56078570	155.373
32	-354.924849		21.266047	AIR	1.00000000	156.575
33	0.000000		0.000000	AIR	1.00000000	150.737
34	0.000000		-19.909527	AIR	1.00000000	150.737
35	466.946915		24.184506	SIO2	1.56078570	151.060
36	1007.812349		1.000089	AIR	1.00000000	150.208
37	327.655912		52.259505	SIO2	1.56078570	149.067
38	8559.973662	AS	1.008019	AIR	1.00000000	146.760
39	167.622816		51.251662	SIO2	1.56078570	120.228
40	755.582939	AS	0.998542	AIR	1.00000000	113.007
41	111.268305		39.610904	SIO2	1.56078570	85.238
42	208.057298	AS	0.994963	AIR	1.00000000	70.122
43	96.749104		15.231814	SIO2	1.56078570	60.010
44	82.457236		42.900568	HIINDEX1	1.74983027	48.300
45	0.000000		0.000000	AIR	0.00000000	18.001

Table 9A**Aspheric Constants**

SRF	1	8	11	14	17
K	0	0	0	0	0
C1	6.544677e-08	2.162074e-08	-5.239503e-09	1.092411e-10	-2.331771e-08
C2	1.806423e-12	-3.031766e-13	-1.579675e-13	6.350407e-14	5.772773e-13
C3	1.297100e-16	2.869963e-17	-7.844766e-18	-1.193786e-18	-4.477617e-17
C4	-2.621657e-24	-4.280146e-22	4.623955e-22	7.117518e-23	-1.454389e-22
C5	7.019452e-25	-2.494189e-26	-5.077577e-26	-2.571356e-27	-7.846302e-26
C6	-2.854711e-29	1.410397e-30	1.577810e-30	5.313151e-32	7.773042e-30
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	22	23	24	26	27
K	0	0	0	0	0
C1	-2.745443e-09	5.504068e-08	-1.908337e-08	3.813921e-08	-3.744186e-08
C2	-1.430163e-12	7.749637e-14	3.534725e-13	-5.922217e-13	-2.137735e-18
C3	-5.862502e-17	-5.302435e-17	-1.382155e-17	2.502458e-18	-1.196000e-17
C4	6.728883e-21	1.267574e-21	2.208808e-22	2.824486e-23	3.236426e-23
C5	-2.451371e-25	-1.082217e-26	3.523530e-28	1.545158e-28	1.843694e-28
C6	3.279808e-30	1.089270e-31	-6.086769e-31	-4.369267e-32	-6.628403e-32
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	38	40	42		
K	0	0	0		
C1	-3.844980e-09	-3.398546e-12	9.454938e-08		
C2	-8.880362e-13	1.531428e-12	5.457038e-12		
C3	1.651633e-17	-8.128857e-17	-2.777250e-17		
C4	4.940631e-22	6.519570e-21	-5.706103e-20		
C5	-2.154757e-26	-3.129316e-25	1.580865e-23		
C6	2.371161e-31	8.388571e-30	-1.897858e-27		
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		

Table 10

Surface	Radius		Thickness	Material	Index 193.368 nm	Semidiameter
1	-143.758671	AS	57.406768	SIO2	1.56078570	85.023
2	-191.747696		1.160725	AIR	1.00000000	104.914
3	262.406876		66.568396	SIO2	1.56078570	121.885
4	-660.446223		2.956398	AIR	1.00000000	121.076
5	1807.942814		13.827382	SIO2	1.56078570	118.221
6	2860.322099		2.763629	AIR	1.00000000	116.681
7	372.157874		32.394269	SIO2	1.56078570	113.548
8	-5597.977799	AS	198.998515	AIR	1.00000000	110.172
9	-161.056093		13.111979	SIO2	1.56078570	72.542
10	-710.061926		16.992176	AIR	1.00000000	85.045
11	-245.005067	AS	-16.992176	REFL	1.00000000	88.979
12	-710.061926		-13.111979	SIO2	1.56078570	88.381
13	-161.056093		-178.456992	AIR	1.00000000	84.711
14	-1269.813125	AS	456.743570	REFL	1.00000000	112.130
15	-415.069093		-187.485062	REFL	1.00000000	265.291
16	-455.335485		106.779583	REFL	1.00000000	134.666
17	393.788910	AS	22.686347	SIO2	1.56078570	97.923
18	126.775396		82.399523	AIR	1.00000000	87.164
19	-169.193381		26.323032	SIO2	1.56078570	90.623
20	-374.448573		2.507925	AIR	1.00000000	102.877
21	2687.188508		17.800162	SIO2	1.56078570	109.393
22	214.951760	AS	37.379156	AIR	1.00000000	118.556
23	-782.900400	AS	53.764790	SIO2	1.56078570	125.976
24	-331.748589	AS	8.779472	AIR	1.00000000	132.976
25	263.534372		53.789713	SIO2	1.56078570	155.917
26	-10091.465506	AS	11.694437	AIR	1.00000000	154.056
27	336.628180	AS	46.842179	SIO2	1.56078570	153.605
28	-524.036178		16.083667	AIR	1.00000000	154.085
29	-361.494925		13.160214	SIO2	1.56078570	153.588
30	-887.600668		7.655686	AIR	1.00000000	157.086
31	-757.302512		30.706439	SIO2	1.56078570	157.410
32	-356.228549		20.569987	AIR	1.00000000	158.573
33	0.000000		0.000000	AIR	1.00000000	153.024
34	0.000000		-19.570300	AIR	1.00000000	153.024
35	466.343801		24.348330	SIO2	1.56078570	153.460
36	1007.994113		1.045023	AIR	1.00000000	152.646
37	327.911368		52.702566	SIO2	1.56078570	151.549
38	6644.997887	AS	1.030724	AIR	1.00000000	149.268
39	170.393057		51.776105	SIO2	1.56078570	122.801
40	713.133919	AS	1.221421	AIR	1.00000000	115.628
41	114.354690		39.319232	SIO2	1.56078570	87.759
42	217.249445	AS	1.502569	AIR	1.00000000	73.430
43	99.993745		13.872371	SIO2	1.56078570	62.621
44	81.034397		36.208638	HIINDEX1	1.75124600	51.110
45	0.000000		5.000000	SIO2	1.56078570	31.083
46	0.000000		5.000000	HIINDEX1	1.75124600	23.545
47	0.000000		0.000000	AIR	0.00000000	18.001

Table 10A**Aspheric Constants**

SRF	1	8	11	14	17
K	0	0	0	0	0
C1	6.210399e-08	1.051314e-08	-4.569414e-09	-1.170452e-10	-2.490154e-08
C2	1.322671e-12	-3.222083e-13	-1.355497e-13	6.160782e-14	5.760576e-13
C3	1.391370e-16	2.983455e-17	-5.800270e-18	-7.963399e-19	-4.995261e-17
C4	-3.915352e-24	-5.584427e-22	2.308879e-22	4.962774e-23	1.562080e-22
C5	5.960542e-25	-2.378406e-26	-2.634160e-26	-1.672115e-27	-1.194410e-25
C6	-7.993263e-30	1.339901e-30	4.940167e-31	3.658240e-32	7.937623e-30
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	22	23	24	26	27
K	0	0	0	0	0
C1	-3.526126e-09	5.446621e-08	-1.645252e-08	3.708765e-08	-3.576180e-08
C2	-1.261634e-12	8.646900e-14	3.102803e-13	-5.459169e-13	-4.908192e-19
C3	-4.207319e-17	-4.238433e-17	-1.123332e-17	1.694357e-18	-1.112975e-17
C4	5.124669e-21	1.115885e-21	1.935408e-22	2.693408e-23	3.052683e-23
C5	-1.827823e-25	-1.256788e-26	2.150379e-28	1.272051e-28	-9.406336e-29
C6	2.424527e-30	3.245209e-31	-5.110521e-31	-4.770036e-32	-7.115777e-32
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00
SRF	38	40	42		
K	0	0	0		
C1	-3.058277e-09	-3.739153e-12	8.462131e-08		
C2	-7.881241e-13	1.325294e-12	4.796560e-12		
C3	1.199448e-17	-6.820514e-17	-4.069007e-17		
C4	5.234460e-22	5.182324e-21	-1.845363e-20		
C5	-1.972629e-26	-2.333482e-25	6.685841e-24		
C6	2.034018e-31	5.777182e-30	-6.748719e-28		
C7	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C8	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		
C9	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00		

Table 11

SRF	Radius		Thickness	Material	Index 193.368 nm	Semidiam..
1	-363.562869		43.314952	SIO2	1.56078570	88.757
2	-190.552538	AS	2.163276	AIR	1.00000000	97.015
3	444.494588		54.518871	SIO2	1.56078570	104.913
4	-189.396028		147.375897	AIR	1.00000000	105.241
5	-167.542007	AS	15.119789	CAF2	1.50185255	53.592
6	-1783.871595		14.984449	AIR	1.00000000	64.000
7	-212.048924		-14.984449	REFL	1.00000000	67.817
8	-1783.871595		-15.119789	CAF2	1.50185255	67.824
9	-167.542007	AS	-132.376727	AIR	1.00000000	67.499
10	-4144.296360	AS	177.480135	REFL	1.00000000	91.762
11	-1081.722900		58.982873	SIO2	1.56078570	150.472
12	-230.182654		0.997725	AIR	1.00000000	154.440
13	-2745.872210	AS	40.203338	SIO2	1.56078570	162.415
14	-365.406997		1.171374	AIR	1.00000000	164.562
15	660.444007		26.539178	SIO2	1.56078570	165.998
16	929.458283		1.345953	AIR	1.00000000	164.441
17	197.977075		53.302785	SIO2	1.56078570	162.916
18	326.403722	AS	109.997010	AIR	1.00000000	153.978
19	381.962587	AS	15.209469	SIO2	1.56078570	133.444
20	218.959915		84.152560	AIR	1.00000000	125.121
21	157.386222		65.954537	SIO2	1.56078570	105.406
22	130.586858		55.186424	AIR	1.00000000	81.465
23	-219.213704	AS	12.992852	SIO2	1.56078570	80.092
24	193.521199		51.103600	AIR	1.00000000	86.111
25	-202.267409		64.379291	SIO2	1.56078570	91.522
26	-182.797467		1.012504	AIR	1.00000000	116.600
27	759.119564	AS	13.528303	SIO2	1.56078570	139.976
28	434.694511		16.255534	AIR	1.00000000	146.202
29	803.267199		66.374930	SIO2	1.56078570	149.833
30	-355.087707		3.182081	AIR	1.00000000	154.931
31	1534.992497		41.086853	SIO2	1.56078570	164.988
32	-659.025403		33.311165	AIR	1.00000000	166.004
33	469.085216		47.735231	SIO2	1.56078570	166.006
34	-2061.549181		-5.348879	AIR	1.00000000	164.561
35	0.000000		0.000000	AIR	1.00000000	164.239
36	0.000000		25.851690	AIR	1.00000000	164.239
37	-553.529412		12.998477	SIO2	1.56078570	164.123
38	-1487.266396		1.056380	AIR	1.00000000	165.162
39	400.870395		62.857908	SIO2	1.56078570	164.885
40	-775.884967		0.994629	AIR	1.00000000	163.261
41	196.348406		50.149979	SIO2	1.56078570	133.827
42	872.082483	AS	0.999034	AIR	1.00000000	128.044
43	126.532527		31.734400	SIO2	1.56078570	98.487
44	171.258915	AS	0.998171	AIR	1.00000000	88.881
45	116.691632		29.088808	CAF2	1.50185255	80.089
46	168.659021	AS	0.998989	AIR	1.00000000	66.353
47	97.521146		50.907207	SIO2	1.56078570	58.235
48	0.000000		1.996512	WATER	1.43667693	20.051
49	0.000000		0.000000	AIR	0.00000000	17.001

Table 11A
Aspheric Constants

SRF	2	5	9	10	13
K	0	0	0	0	0
C1	-2.760578e-09	1.603489e-08	1.603489e-08	-1.247159e-09	3.764876e-10
C2	-2.853441e-13	5.878412e-13	5.878412e-13	-3.674242e-16	-3.990105e-13
C3	-1.854842e-17	9.905237e-18	9.905237e-18	-5.946353e-18	3.462113e-18
C4	1.455974e-20	1.668823e-21	1.668823e-21	9.954063e-23	6.557756e-23
C5	3.187482e-26	-2.878194e-25	-2.878194e-25	-6.271000e-27	-3.238969e-27
C6	5.065923e-29	3.229224e-29	3.229224e-29	-3.822302e-31	2.732583e-32
SRF	18	19	23	27	42
K	0	0	0	0	0
C1	2.738495e-08	2.436036e-08	-1.401150e-07	-1.009245e-08	1.349777e-08
C2	-3.575547e-13	-2.434773e-13	-2.511241e-12	1.381857e-13	-1.797461e-13
C3	-3.439165e-19	3.420924e-18	2.114608e-17	-2.368525e-18	-1.521933e-18
C4	8.255803e-22	2.235015e-21	-4.813119e-21	1.099057e-22	4.601109e-22
C5	-2.770099e-26	-8.956199e-26	-4.497879e-25	-2.558985e-27	-1.539741e-26
C6	4.268336e-31	1.676039e-30	-2.691902e-29	6.765261e-32	3.225484e-31
SRF	44	46			
K	0	0			
C1	-3.924402e-09	8.340227e-08			
C2	8.630468e-14	4.003614e-12			
C3	1.193178e-16	-6.361779e-16			
C4	8.227416e-21	3.754169e-22			
C5	-2.859787e-25	-6.830124e-24			
C6	2.158513e-29	8.494830e-28			

Table 12

SRF	Radius		Thickness	Material	Index 193.368 nm	Semidiam.
1	-117.609115	AS	42.504552	SIO2	1.56078570	82.223
2	-177.038824		1.228703	AIR	1.00000000	100.960
3	213.364626		67.089304	SIO2	1.56078570	127.440
4	-547.449059		1.056991	AIR	1.00000000	126.644
5	16244.721914		12.999757	SIO2	1.56078570	122.158
6	649.329131		6.393295	AIR	1.00000000	118.074
7	716.539542		21.519661	SIO2	1.56078570	117.192
8	-891.121831	AS	211.074110	AIR	1.00000000	115.493
9	-161.155386		13.128287	SIO2	1.56078570	81.535
10	-611.506316		15.535604	AIR	1.00000000	87.295
11	-236.127827	AS	-15.535604	REFL	1.00000000	88.921
12	-611.506316		-13.128287	SIO2	1.56078570	87.062
13	-161.155386		-191.071578	AIR	1.00000000	78.080
14	-765.604468	AS	489.939909	REFL	1.00000000	97.935
15	-414.218644		-194.485522	REFL	1.00000000	273.711
16	-461.591091		113.184572	REFL	1.00000000	137.119
17	292.697085	AS	13.007609	SIO2	1.56078570	94.156
18	107.732392		69.107843	AIR	1.00000000	82.930
19	-151.983662		23.402024	SIO2	1.56078570	83.726
20	-488.789850		1.717184	AIR	1.00000000	96.444
21	-28913.044218		13.515647	SIO2	1.56078570	100.924
22	191.919927	AS	31.978477	AIR	1.00000000	111.581
23	-1067.055170	AS	43.571548	SIO2	1.56078570	119.978
24	-309.523406	AS	7.386175	AIR	1.00000000	124.389
25	262.769369		57.656563	SIO2	1.56078570	153.654
26	-45785.112793	AS	26.346702	AIR	1.00000000	152.049
27	327.865485	AS	53.200757	SIO2	1.56078570	153.196
28	-490.867497		15.569016	AIR	1.00000000	154.873
29	-378.382439		13.404211	SIO2	1.56078570	154.857
30	-940.264877		12.530928	AIR	1.00000000	159.986
31	-735.332053		32.210701	SIO2	1.56078570	161.214
32	-353.930461		23.507896	AIR	1.00000000	163.018
33	0.000000		0.000000	AIR	1.00000000	162.367
34	0.000000		-22.444608	AIR	1.00000000	162.367
35	495.791214		25.478789	SIO2	1.56078570	163.005
36	1099.109773		1.092964	AIR	1.00000000	162.533
37	327.887763		59.191484	SIO2	1.56078570	162.857
38	-6035.878726	AS	0.997881	AIR	1.00000000	160.933
39	155.585955		60.857823	SIO2	1.56078570	128.682
40	502.556704	AS	0.994698	AIR	1.00000000	121.517
41	100.683802		45.378701	SIO2	1.56078570	87.346
42	259.320956	AS	0.989546	AIR	1.00000000	75.251
43	84.190909		47.361435	SIO2	1.56078570	57.516
44	0.000000		1.000000	WATER	1.43667693	20.150
45	0.000000		0.000000	AIR	0.00000000	18.001

Table 12A
Aspheric Constants

SRF	1	8	11	14	17
K	0	0	0	0	0
C1	6.521334e-08	2.807890e-08	-2.987383e-09	-3.124994e-09	-2.024087e-08
C2	1.713047e-12	-1.135339e-13	-9.372427e-14	2.096585e-13	1.211841e-12
C3	4.736329e-16	4.898650e-17	-2.112133e-18	-6.739512e-18	1.994882e-16
C4	-4.747266e-20	-1.991503e-21	1.990133e-23	2.945523e-22	-3.964237e-20
C5	5.703360e-24	4.395448e-26	-7.724934e-27	-9.829910e-27	3.071839e-24
C6	-1.904358e-28	1.060646e-30	3.307276e-32	1.518811e-31	-9.359990e-29
SRF	22	23	24	26	27
K	0	0	0	0	0
C1	-2.344946e-08	6.574907e-08	-1.112698e-08	3.645338e-08	-3.564504e-08
C2	-1.215056e-12	3.605980e-13	6.168355e-13	-5.510982e-13	1.362785e-18
C3	-1.130529e-16	-1.083503e-16	-2.523969e-17	7.960300e-18	-1.354328e-17
C4	1.330694e-20	3.744156e-23	-1.208201e-22	-2.644142e-22	3.985355e-23
C5	-5.272948e-25	2.126697e-25	-7.939671e-27	5.011928e-27	-1.152577e-27
C6	6.293611e-30	-4.908894e-30	-1.349927e-30	-6.300745e-32	-1.519852e-31
SRF	38	40	42		
K	0	0	0		
C1	7.566945e-09	-2.903055e-12	9.147070e-08		
C2	-8.163086e-13	1.907885e-12	9.024229e-12		
C3	8.893793e-18	-2.330647e-16	-6.249869e-16		
C4	2.692862e-22	1.789661e-20	3.018462e-20		
C5	-7.162666e-27	-6.737730e-25	2.430882e-24		
C6	4.921956e-32	1.119864e-29	-6.583230e-28		

Table 13

Tab./Fig	D _{max}	Y'	NA	N _L	N _{OP}	COMP1	COMP2	COMP3
3	332	17	1.2	21	2	13.56	284.80	142.40
4	331.2	17	1.2	22	2	13.53	297.65	148.82
5	332	17	1.2	21	2	13.56	284.80	142.40
6	332	17	1.2	21	2	13.56	284.80	142.40
7	305	18	1.3	18	2	10.03	180.47	90.24
8	310	18	1.3	18	2	10.19	183.43	91.72
9	313	18	1.3	18	2	10.29	185.21	92.60
10	317	18	1.3	19	2	10.42	197.99	99.00
11	332	17	1.2	21	2	13.56	284.80	142.40
12	326	18	1.3	18	2	10.72	192.90	96.45

3 Brief Description of the Drawings

- Fig. 1 shows a schematic drawing of a projection exposure system for microlithography having an illumination system designed for creating an arc shaped illumination field and a catadioptric projection objective;
- Fig. 2 shows schematic drawings representing various configurations for using high-index material at the image-side end of a projection objective,
- Fig. 3 shows a meridional lens section of a first embodiment of a catadioptric in-line projection objective;
- Fig. 4 shows a meridional lens section of a second embodiment of a catadioptric in-line projection objective;
- Fig. 5 shows a meridional lens section of a third embodiment of a catadioptric in-line projection objective;

- Fig. 6 shows a meridional lens section of a fourth embodiment of a catadioptric in-line projection objective;
- Fig. 7 shows a meridional lens section of a fifth embodiment of a catadioptric in-line projection objective;
- Fig. 8 shows a meridional lens section of a sixth embodiment of a catadioptric in-line projection objective;
- Fig. 9 shows a meridional lens section of a seventh embodiment of a catadioptric in-line projection objective;
- Fig. 10 shows a meridional lens section of an eighth embodiment of a catadioptric in-line projection objective;
- Fig. 11 shows a meridional lens section of a variant of the fourth embodiment of a catadioptric in-line projection objective;
- Fig. 12 shows a meridional lens section of a variant of the fifth embodiment of a catadioptric in-line projection objective.

1. A projection objective for imaging a pattern arranged in an object surface of the projection objective onto an image surface of the projection objective using ultraviolet radiation comprising:

a plurality of optical elements including transparent optical elements transparent for radiation at an operating wavelength λ , where $260 \text{ nm} > \lambda > 150 \text{ nm}$;

an image-side pupil surface being the pupil surface closest to the image surface;

an aperture-defining lens group arranged between the image-side pupil surface and the image surface for converging radiation coming from the image-side pupil surface towards the image surface to define an image-side numerical aperture NA, where $0,7 \leq \text{NA} \leq 1,4$.

wherein the aperture-defining lens group includes at least one high-index lens made from a transparent high-index material having a refractive index n_{HI} , where $n_{\text{HI}} > n_{\text{SiO}_2}$, and where n_{SiO_2} is the refractive index of silicon dioxide (SiO_2) at the operating wavelength.

2. Projection objective according to claim 1, wherein the high-index material has a refractive index $n_{\text{HI}} > 1.6$ at the operating wavelength.

3. Projection objective according to claims 1 or 2, wherein the high-index material is solid material chosen from the group including aluminum oxide (Al_2O_3), magnesium aluminum oxide (MgAl_2O_4 , spinell), lanthanum fluoride (LaF_3), and mixtures of calcium strontium oxide or magnesium strontium oxide.

4. Projection objective according to anyone of claims 1 to 3, wherein at least one liquid high-index material is used having a refractive index $n_{\text{HI}} > 1.6$.

5. Projection objective according to claim 4, wherein the liquid material is chosen from the group including cyclic hydrocarbons such as Cyclohexane, and water doped by at least one dopant increasing the refractive index of water.
6. Projection objective according to anyone of claims 1 to 5, wherein a high-index liquid transparent to radiation at the operating wavelength forms a liquid high-index lens having positive or negative refractive power and confined between an object-side bordering element and an image-side bordering element.
7. Projection objective according to claim 6, wherein the object-side bordering element is a last solid optical element of the projection objective and the image-side bordering element is the substrate to be exposed.
8. Projection objective according to claim 6, wherein the object-side bordering element and the image-side bordering element are formed by transparent optical elements of the projection objectives such that the projection objective includes at least one liquid lens formed at a position spaced apart from the image surface of the projection objective.
9. Projection objective according to claim 6, wherein at least one of the bordering elements adjacent to the liquid lens has a refractive index which is close to the refractive index of the high-index liquid forming the liquid lens, where the condition $\Delta n \leq 0,04$ applies for the refractive index difference Δn between the refractive indexes of the bordering element and the liquid lens.
10. Projection objective according to claim 6, wherein the object-side bordering element adjacent to a high-index liquid lens is a lens having positive refractive power.

11. Projection objective according to anyone of claims 1 to 10, wherein at least one high-index lens is arranged optically close to the image surface where a marginal ray height is less than 50% of the marginal ray height at the image-side pupil surface.

12. Projection objective according to anyone of claims 1 to 11, wherein at least the material in contact with the substrate or positioned closest to the substrate to be exposed is a liquid or solid high-index material lens.

13. Projection objective according to anyone of claims 1 to 12, wherein the aperture-defining lens group includes exactly three aspheric lens surfaces.

14. Projection objective according to anyone of claims 1 to 13, wherein the aperture-defining lens group includes exactly three lenses having an aspherical lens surface.

15. Projection objective according to claim 13, wherein the aspheric lens surfaces are formed on concave lens surfaces.

16. Projection objective according to claim 15, wherein the concave lens surfaces are positioned on the image-side of an aspheric lens.

17. Projection objective according to anyone of claims 1 to 16, wherein the projection objective includes a number N_{ASP} of aspheric lens surfaces and a number N_{ASPL} of lenses having at least one aspheric lens surface, wherein the condition $AR > 1$ holds for the asphere ratio $AR = N_{ASP}/N_{ASPL}$.

18. Projection objective according to anyone of claims 1 to 17, wherein at least one double asphere having two aspherical surfaces directly following each other along an optical path is present within the projection objective.

19. Projection objective according to claim 18, wherein the double asphere is formed by facing aspherical surfaces of two separate, neighboring optical elements in a lens/lens or lens/mirror configuration.

20. Projection objective according to claim 18, wherein the double asphere is formed by a double aspherical lens (biasphere) having two lens surfaces designed as aspherical surfaces.

21. Projection objective according to anyone of claims 1 to 20, wherein the projection objective includes at least one a triple asphere having three immediately consecutive aspherical surfaces.

22. Projection objective according to anyone of claims 1 to 21, wherein the aperture-defining lens group is designed to define an image-side numerical aperture NA, where $1,2 \leq NA \leq 1,4$ in conjunction with an immersion medium.

23. Projection objective according to anyone of claims 1 to 22, wherein the projection objective is a catadioptric projection objective comprising:

a first objective part for imaging the pattern on the object surface onto a first intermediate image; and

a second objective part for imaging an intermediate image onto the image surface,

at least one of the objective parts including at least one concave mirror and all optical elements (refractive and reflective) sharing a common straight optical axis (in-line system).

24. Projection objective according to claim 23, wherein the second objective part is designed for imaging the first intermediate image onto the image surface such that the projection objective includes exactly one intermediate image.

25. Projection objective according to claim 24, wherein the second objective part is a refractive objective part.

26. Projection objective according to claim 24, wherein the second objective part is a catadioptric objective part including at least one concave mirror.

27. Projection objective according to anyone of claims 23 to 26, wherein the projection objective includes at least one concave mirror positioned optically close to a pupil surface or at a pupil surface, where negative refractive power is arranged close to that concave mirror such that radiation directed at the concave mirror and radiation reflected from the concave mirror is influenced by negative refractive power.

28. Projection objective according to anyone of claims 1 to 27, wherein the projection objective includes at least one negative lens arranged near or at the image-side pupil surface and having a lens diameter D_{NL} according to: $0,8 \leq D_{NL} \leq D_M$, where D_M is the maximum diameter of lenses between a constriction region of smallest beam diameter in the second objective part and the image surface.

29. Projection objective according to claim 28, wherein the negative lens is a negative meniscus lens having a concave surface facing the image surface.

30. Projection objective according to anyone of claims 1 to 29, wherein a distance D_{PS-IS} between the image-side pupil surface and the image surface falls within a range $D_{PS-IS} \leq 0,18 * TT$, where TT is the axial distance between the object surface and the image surface (total track length).

31. Projection objective according to claim 23, wherein the projection objective has a maximum lens diameter D_{max} and a maximum image field height Y' , wherein

$COMP1 = D_{max} / (Y' \cdot NA^2)$ and wherein $COMP1 < 15$

32. Projection objective according to claim 31, wherein the projection objective has exactly two concave mirrors and wherein $COMP1 < 14$

33. Projection objective according to claim 31, wherein the projection objective has exactly four concave mirrors and wherein $COMP1 < 12$

34. A catadioptric projection objective for imaging a pattern arranged in an object surface of the projection objective onto an image surface of the projection objective using ultraviolet radiation comprising:

a first objective part for imaging the pattern on the object surface onto a first intermediate image; and

a second objective part for imaging an intermediate image onto the image surface and having an image-side pupil surface being the pupil surface closest to the image surface,

at least one of the objective parts including at least one concave mirror and all optical elements (refractive and reflective) sharing a common straight optical axis (in-line system);

wherein the second objective part includes an aperture-defining lens group arranged between the image-side pupil surface and the image surface for converging radiation coming from the image-side pupil sur-

face towards the image surface to define an image-side numerical aperture NA, where $1,2 \leq NA \leq 1,4$ in conjunction with an immersion medium, the aperture-defining lens group including three aspheric lens surfaces.

35. Projection objective according to claim 34, wherein the aperture-defining lens group includes exactly three aspheric lens surfaces.

36. Projection objective according to claims 34 or 35, wherein the aspheric lens surfaces are formed on concave lens surfaces.

37. Projection objective according to claim 36, wherein the concave lens surfaces are positioned on the image-side of an aspheric lens.

38. Projection objective according to anyone of claims 34 to 37, wherein a distance D_{PS-IS} between the image-side pupil surface and the image surface falls within a range $D_{PS-IS} \leq 0,18 * TT$, where TT is the axial distance between the object surface and the image surface (total track length).

39. Projection objective according to anyone of claims 34 to 38, wherein the projection objective has a maximum lens diameter D_{max} and a maximum image field height Y' , wherein $COMP1 = D_{max} / (Y' \cdot NA^2)$ and wherein $COMP1 < 15$

40. Projection objective according to claim 39, wherein the projection objective has exactly two concave mirrors and wherein $COMP1 < 14$

41. Projection objective according to claim 39, wherein the projection objective has exactly four concave mirrors and wherein $COMP1 < 12$

42. Projection objective according to anyone of claims 34 to 41, wherein the first objective part is a catadioptric objective part including at

least one concave mirror and the second objective part is designed for imaging the first intermediate image onto the image surface such that the projection objective includes exactly one intermediate image.

43. Projection objective according to claim 42, wherein the second objective part is a refractive objective part.

44. Projection objective according to claim 42, wherein the second objective part is a catadioptric objective part including at least one concave mirror.

45. Projection objective according to anyone of claims 34 to 44, wherein the projection objective includes a number N_{ASP} of aspheric lens surfaces and a number N_{ASPL} of lenses having at least one aspheric lens surface, wherein the condition $AR > 1$ holds for the asphere ratio $AR = N_{ASP}/N_{ASPL}$.

46. Projection objective according to anyone of claims 34 to 45, wherein at least one double asphere having two aspherical surfaces directly following each other along an optical path is present within the projection objective.

47. Projection objective according to claim 46, wherein the double asphere is formed by facing aspherical surfaces of two separate, neighboring optical elements in a lens/lens or lens/mirror configuration.

48. Projection objective according to claim 46, wherein the double asphere is formed by a double aspherical lens (biasphere) having two lens surfaces designed as aspherical surfaces.

49. Projection objective according to anyone of claims 34 to 48, wherein the projection objective includes at least one a triple asphere having three immediately consecutive aspherical surfaces.

50. A catadioptric projection objective for imaging a pattern arranged in an object surface of the projection objective onto an image surface of the projection objective using ultraviolet radiation comprising:

a first objective part for imaging the pattern on the object surface onto a first intermediate image; and

a second objective part for imaging an intermediate image onto the image surface and having an image-side pupil surface being the pupil surface closest to the image surface,

at least one of the objective parts including at least one concave mirror and all optical elements (refractive and reflective) sharing a common straight optical axis (in-line system);

wherein the second objective part includes an aperture-defining lens group arranged between the image-side pupil surface and the image surface for converging radiation coming from the image-side pupil surface towards the image surface to define an image-side numerical aperture NA, the projection objective having a maximum lens diameter D_{\max} and a maximum image field height Y' , wherein

$COMP1 = D_{\max} / (Y' \cdot NA^2)$ and wherein $COMP1 < 15$

51. Projection objective according to claim 50, wherein the projection objective is designed to generate exactly one intermediate image.

52. Projection objective according to claim 51, wherein the projection objective has exactly two concave mirrors and wherein $COMP1 < 14$

53. Projection objective according to claim 51, wherein the projection objective has exactly four concave mirrors and wherein $COMP1 < 12$

54. Projection objective according to anyone of claims 50 to 53, wherein $1,2 \leq NA \leq 1,4$ in conjunction with an immersion medium, and wherein the aperture-defining lens group includes three aspheric lens surfaces.

55. Projection objective according to claim 54, wherein the aperture-defining lens group includes exactly three aspheric lens surfaces.

56. Projection objective according to claim 54, wherein the aspheric lens surfaces are formed on concave lens surfaces.

57. Projection objective according to claim 56, wherein the concave lens surfaces are positioned on the image-side of an aspheric lens.

58. Projection objective according to anyone of claims 50 to 57, wherein a distance D_{PS-IS} between the image-side pupil surface and the image surface falls within a range $D_{PS-IS} \leq 0,18 * TT$, where TT is the axial distance between the object surface and the image surface (total track length).

1. Abstract

A projection objective for imaging a pattern arranged in an object surface of the projection objective onto an image surface of the projection objective using ultraviolet radiation has a plurality of optical elements including transparent optical elements transparent for radiation at an operating wavelength λ , where $260\text{ nm} > \lambda > 150\text{ nm}$, an image-side pupil surface arranged between the object surface and the image surface closest to the image surface, and an aperture-defining lens group arranged between the image-side pupil surface and the image surface for converging radiation coming from the image-side pupil surface towards the image surface to define an image-side numerical aperture NA, where $0.7 \leq \text{NA} \leq 1.4$. The aperture-defining lens group includes at least one high-index lens made from a transparent high-index material having a refractive index n_{HI} , where $n_{\text{HI}} > n_{\text{SiO}_2}$ and where n_{SiO_2} is the refractive index of silicon dioxide (SiO_2) at the operating wavelength.

2. Representative Drawings

Fig.1

Fig. 1

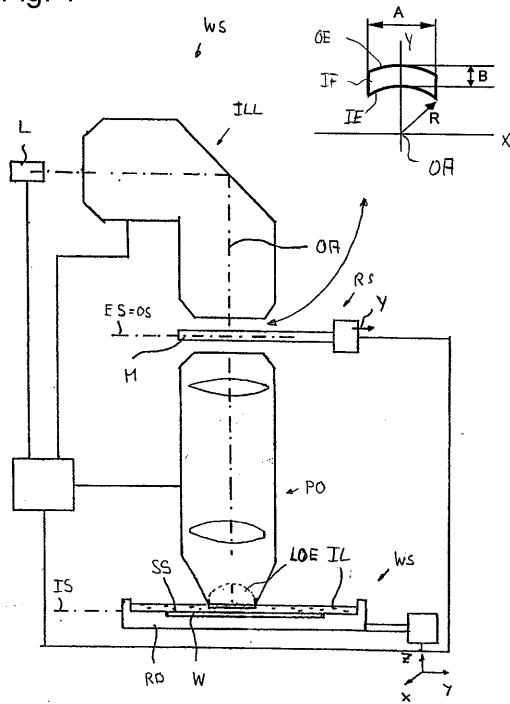


Fig. 2

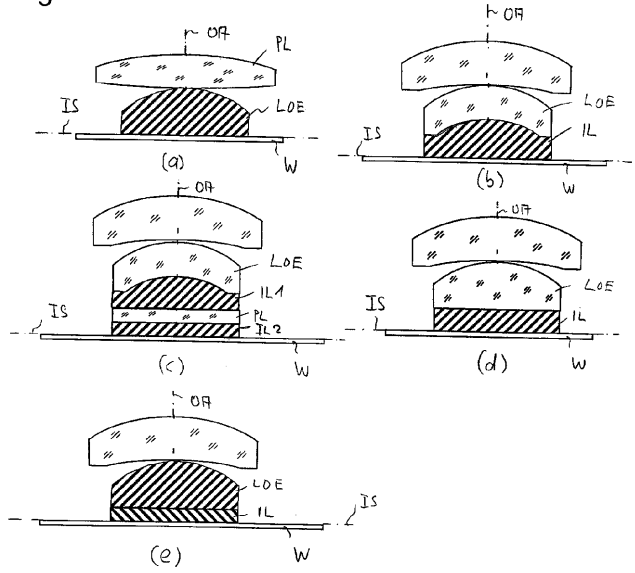


Fig. 3

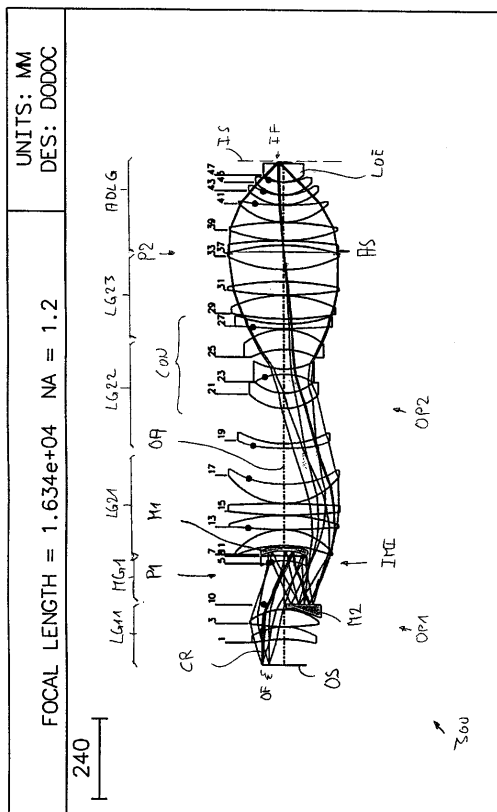


Fig. 4

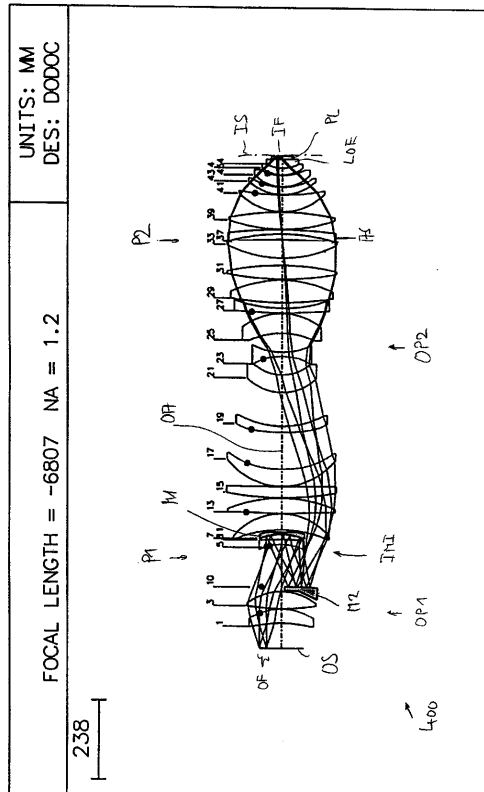


Fig. 5

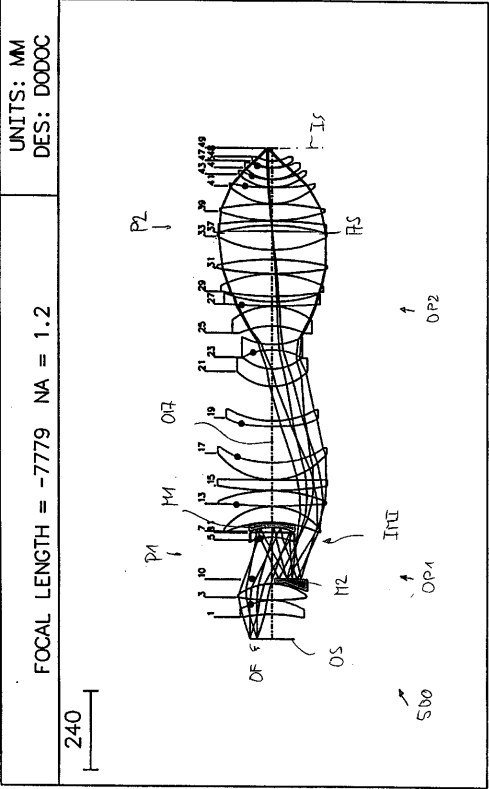


Fig.6

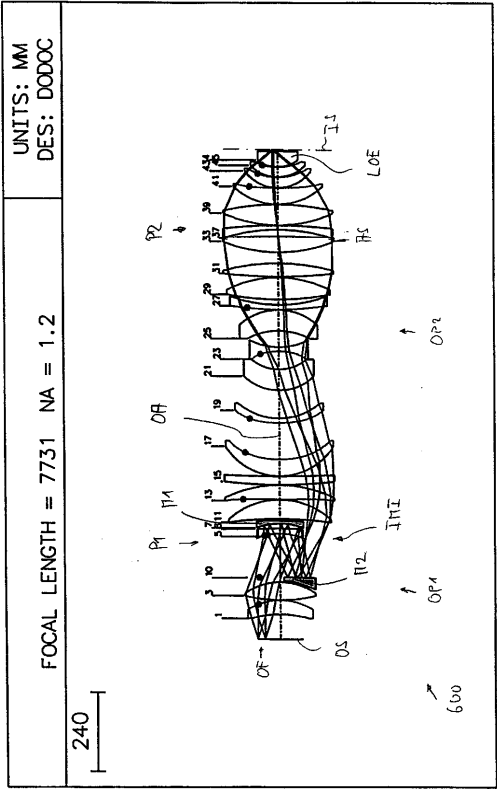


Fig. 7

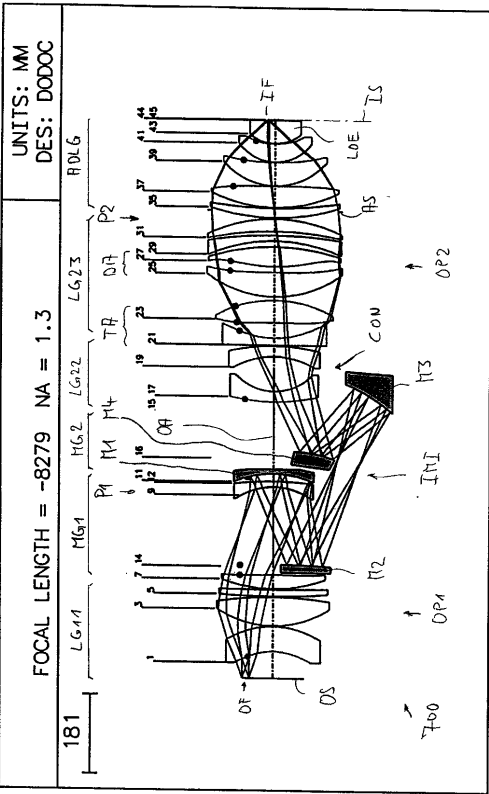


Fig. 8

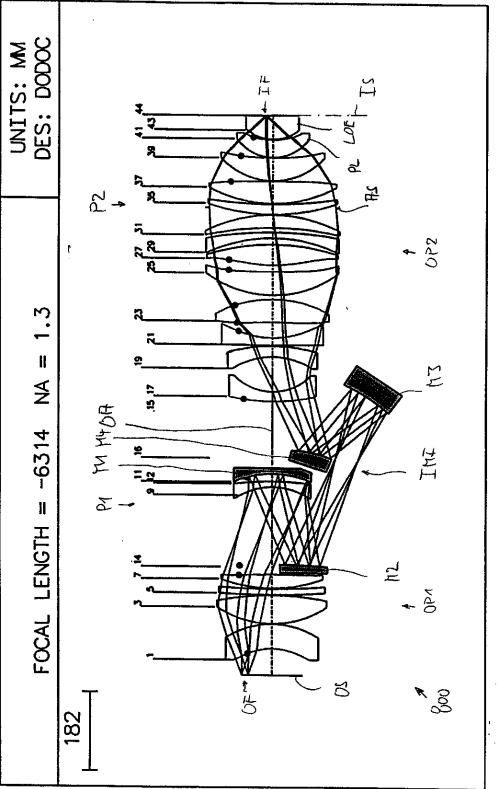


Fig. 9

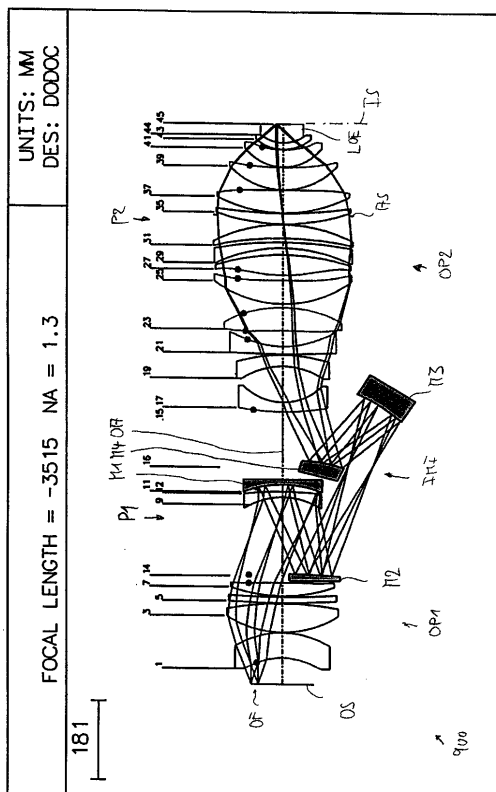


Fig. 10

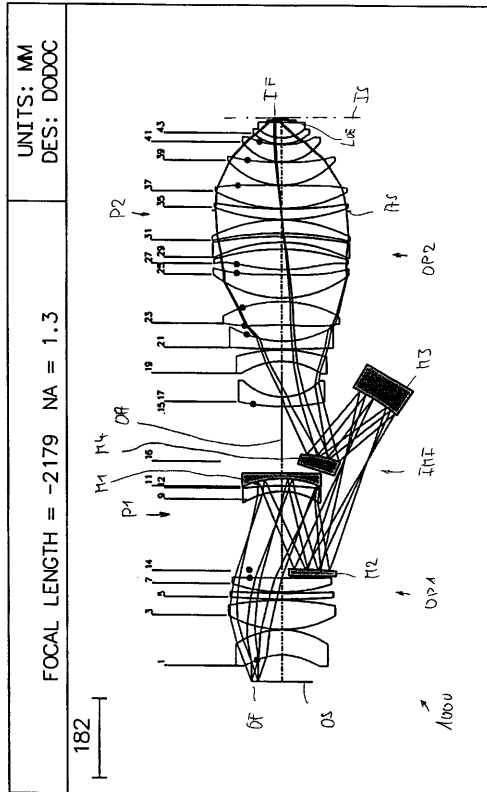


Fig. 11

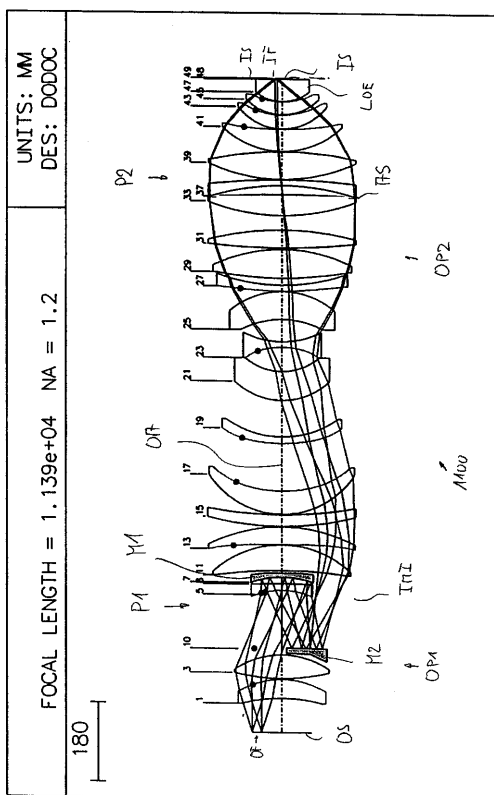


Fig. 12

