

(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2010-107988

(P2010-107988A)

(43) 公開日 平成22年5月13日(2010.5.13)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO2B 17/00 (2006.01)	GO2B 17/00 A	2H087
GO2B 13/18 (2006.01)	GO2B 13/18	5F046
HO1L 21/027 (2006.01)	HO1L 21/30 514D	
GO3F 7/20 (2006.01)	HO1L 21/30 531A	
	GO3F 7/20 521	

審査請求 有 請求項の数 25 O L 外国語出願 (全 227 頁)

(21) 出願番号 特願2009-265616 (P2009-265616)
 (22) 出願日 平成21年10月30日(2009.10.30)
 (62) 分割の表示 特願2008-529565 (P2008-529565)
 の分割
 原出願日 平成18年9月12日(2006.9.12)
 (31) 優先権主張番号 60/716,437
 (32) 優先日 平成17年9月13日(2005.9.13)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 60/793,387
 (32) 優先日 平成18年4月7日(2006.4.7)
 (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
 ッペン、ルドルフ・エーバー・シュトラ
 セ 2
 (74) 代理人 100082005
 弁理士 熊倉 禎男
 (74) 代理人 100067013
 弁理士 大塚 文昭
 (74) 代理人 100086771
 弁理士 西島 孝喜
 (74) 代理人 100109070
 弁理士 須田 洋之

最終頁に続く

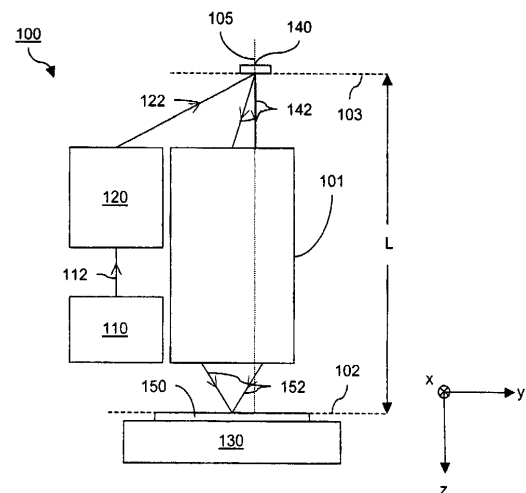
(54) 【発明の名称】 マイクロリソグラフィ投影光学系、ある機器を製造するための方法、光学面を設計する方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 照明波長での分解能に関してマイクロリソグラフィ投影露光装置における投影対物鏡として使用できる光学系を改善する。

【解決手段】 放射光を物体平面(103)から像平面(102)に結像するように配列された複数の素子を含み、これらの複数の素子のうちの少なくとも一つは放射光の経路内に位置する回転非対称面を有する反射素子であるマイクロリソグラフィ投影光学系(101)とする。回転非対称面は、回転対称面から約10nm以上の値だけずれる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マイクロリソグラフィ投影光学系であって、

波長 λ の放射光を物体平面から像平面に結像するように配列されており、少なくとも 1 つは前記放射光の経路内に位置する回転非対称面を有する反射素子である複数の素子を備え、

前記回転非対称面は、少なくとも 1 つの位置において最良フィット回転対称面から少なくとも $\lambda/10$ だけずれるマイクロリソグラフィ投影光学系。

【請求項 2】

前記最良フィット回転非対称面は、式

10

【数 1】

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^{\alpha} C_j x^m y^n$$

に対応する面から約 0.1 λ 又はそれ以下の値だけずれ、

ただし、式中、

【数 2】

$$j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1$$

20

であり、

z は、軸に平行な、前記面のサゲであり、 c は、頂点曲率であり、 k は、円錐定数であり、 C_j は、単項式 $x^m y^n$ の係数であり、 α は、整数である請求項 1 又は 2 に記載の光学系。

【請求項 3】

前記回転非対称面は、前記 1 つ又は複数の位置において、前記最良フィット回転対称面から約 10λ 又はそれ以上ずれる請求項 1 に記載の光学系。

【請求項 4】

前記回転非対称面は、前記 1 つ又は複数の位置において、前記最良フィット回転対称面から約 20 nm 又はそれ以上ずれる請求項 1 に記載の光学系。

30

【請求項 5】

前記複数の素子は、子午面を定め、前記複数の要素は、前記子午面に関して鏡対称である請求項 1 に記載の光学系。

【請求項 6】

前記複数の素子は、放射光の経路内に位置する回転非対称面を有する反射素子である 2 つの素子を備える請求項 1 に記載の光学系。

【請求項 7】

前記複数の素子は正の主光線角度倍率を有する 2 つ以下の反射素子を含む請求項 1 に記載の光学系。

40

【請求項 8】

前記複数の素子は正の主光線角度倍率を有する 1 つ以下の反射素子を含む請求項 7 に記載の光学系。

【請求項 9】

前記マイクロリソグラフィ投影光学系は約 0.2 又はそれ以上の像側開口数を有する請求項 1 に記載の光学系。

【請求項 10】

前記光学系は、像平面において矩形の視野を有し、直交する方向のそれぞれにおいて、前記矩形の視野は、互いに直交する両方向で約 1 mm 又はそれ以上の最小寸法を有する請求項 1 に記載の光学系。

50

- 【請求項 1 1】
前記像視野の静的歪曲は約 10 mm 又はそれ以下である請求項 1 に記載の光学系。
- 【請求項 1 2】
前記像視野の波面誤差は約 / 14 又はそれ以下である請求項 1 に記載の光学系。
- 【請求項 1 3】
前記主光線は、前記物体平面において互いから発散する請求項 1 に記載の光学系。
- 【請求項 1 4】
前記光学系の子午断面に対し、前記主光線は 20° 未満の、前記複数の素子のそれぞれの表面上の最大入射角を有する請求項 1 3 に記載の光学系。
- 【請求項 1 5】 10
前記像平面においてテレセントリックである請求項 1 に記載の光学系。
- 【請求項 1 6】
前記光学系を通る放射光の経路は主光線により特徴付けられ、前記光学系の子午断面について、中心視野点の前記主光線は、度の、前記複数の素子のそれぞれの表面上の最大入射角を有し、前記光学系は 0.3 よりも大きい像側開口数 NA を有し、比 / NA は 68 未満である請求項 1 に記載の光学系。
- 【請求項 1 7】
約 75 mm 又はそれ以下の物体 - 像シフトを有する請求項 1 に記載の光学系。
- 【請求項 1 8】 20
前記複数の素子は、約 25 mm 又はそれ以下のフリーボードを有する 4 つ又はそれ以上の素子を備える請求項 1 に記載の光学系。
- 【請求項 1 9】
の放射光を物体平面に与えるように構成された放射光源をさらに備える請求項 1 に記載の光学系。
- 【請求項 2 0】
前記放射光源から放射光を前記物体平面に位置する物体に向けてるように配列された 1 つ又は複数の素子を備える照明系をさらに備え、前記照明系は、前記光学系の入射瞳に対応する場所に位置する素子を備える請求項 1 9 に記載の光学系。
- 【請求項 2 1】 30
マイクロリソグラフィ・ツールであって、
請求項 2 0 に記載の前記光学系と、
前記光学系がレチクルを前記像平面に結像するように前記物体平面に前記レチクルの位置を決めるように構成された第 1 の可動ステージと、
前記レチクルの前記像が物品の表面に来るように前記像平面に物品の位置を決めるように構成された第 2 の可動ステージとを備えるマイクロリソグラフィ・ツール。
- 【請求項 2 2】 40
微細構造コンポーネントをマイクロリソグラフィにより生産するための方法であって、
少なくとも放射光感受性材料の層を有する基板を用意する工程と、
投影される構造を有するマスクを用意する工程と、
請求項 2 1 に記載のマイクロリソグラフィ・ツールを用意する工程と、
前記マイクロリソグラフィ・ツールを使用して前記層の一領域上に前記マスクの少なくとも一部を投影する工程とを含む方法。
- 【請求項 2 3】
請求項 2 2 に記載の方法により生産される微細構造コンポーネント。
- 【請求項 2 4】
放射光の前記経路に関して回転対称である設計から出発し、
この経路軸に平行な放射光の前記経路により定められる前記軸に対して回転対称の前記軸を平行移動することにより前記回転対称設計を偏心させ、
前記経路軸に対して回転対称の前記軸を傾けることにより前記回転対称設計を傾け、
前記偏心され、傾けられた設計からの自由形状のずれを行わせることにより光学収差を 50

最小にすることを含む請求項 1 から 20 のいずれか 1 項に記載の光学系における回転非対称面を設計する方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、マイクロリソグラフィ投影光学系に関するものであり、特に投影対物鏡、そのような光学系を備えるマイクロリソグラフィ・ツール、そのようなマイクロリソグラフィ・ツールを使用した微細構造コンポーネントのマイクロリソグラフィ技術による生産方法、そのような方法により生産される微細構造コンポーネント、そのような光学系における光学面を設計する方法に関するものである。

10

【背景技術】

【0002】

投影対物鏡は、基板上に配置された感光性物質の層上にレチクルのイメージを形成することによりパターンをレチクルから基板に転写するためにマイクロリソグラフィ技術で広く使用されている。一般に、投影対物鏡は、屈折光学対物鏡、反射光学対物鏡、反射屈折光学対物鏡の3つの異なるクラスに分類される。屈折光学対物鏡は、屈折素子（例えば、レンズ素子）を使用して、物体平面からの光を像平面に結像する。反射光学対物鏡は、反射素子（例えば、鏡素子）を使用して、物体平面からの光を像平面に結像する。反射屈折光学対物鏡は、屈折と反射の両方を行う素子を使用して、物体平面からの光を像平面に結像する。

20

【0003】

対物鏡は、特に投影光学系内で使用される場合については、T. Jewell「Optical system design issues in development of projection camera for EUV lithography」、Proc. SPIE 2437 (1995) に記載されている。他の対物鏡は、欧州特許第0730169A号、欧州特許第0730179A号、欧州特許第0730180A号、欧州特許第0790513A号、米国特許第5063586A号、米国特許第6577443A号、米国特許第6660552A号、米国特許第6710917A号に記載されている。

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明の目的は、特に所与の照明波長での分解能に関してマイクロリソグラフィ投影露光装置における投影対物鏡として使用できる光学系を改善することである。さらに、本発明による光学系は、照明光に関して高い光処理能力を有していなければならない。

【課題を解決するための手段】

【0005】

この目的は、請求項 1 の特徴を有する光学系により達成される。

【0006】

以下の明細では、本発明による回転非対称面は、自由形式曲面とも呼ばれる。球面鏡又は非球面鏡と異なり、自由形式曲面は回転対称軸を持たない。本発明による自由形式曲面は EUV 投影対物鏡に対する既知の非球面回転対称鏡面とは以下の点で異なっている。そのような既知の非球面鏡面は数学的にテイラー展開により記述される、つまり、 n 次の回転対称多項式により与えられるサグを持つという点で異なる。これらすべての多項式の項に対するこのテイラー展開の中心点は、共通光軸により定義される。既知の鏡面は、テイラー展開が計算しやすく、最適化しやすいためそのような展開により記述され、そのような鏡面を製造する際に多くの経験が存在する。しかし、共通中心を持つ既知のテイラー展開だと、特定のレベルよりも低く下げられない不要な歪曲が生じることが、発明者によって理解された。回転対称光学面に固有のこの歪曲制限は、本発明により光学面の 1 つが自由形式曲面又は回転非対称面として具現された場合に、回避される。自由形式曲面を使用

40

50

すると、特にEUVマイクロリソグラフィ保護の分野において有利な回転対称面に固有の開口数と歪曲に関する制限を克服することが可能である。特別な一実施態様では、自由形式曲面は、光学系の子午面に鏡対称的な表面としてよい。子午面は、物体平面の法線及び光学系の光学コンポーネントの物体視野及び開口の中心点により定義されている平面である。都合のよいことに、本発明による投影対物鏡は、反射光学投影対物鏡である。一般に、光学系の像平面は、物体平面に平行である。光学系は、最小曲率半径が300mmである像平面に視野を持つことができる。光学系において、主光線は、物体平面における物体平面法線に対して約3°、5°、7°又はそれ以上の角度をとることができる。光学系は、物体平面から2.8mを超える、特に10mを超える位置に置かれた入射瞳を持つことができる。一般に、自由形式曲面を有する光学系では正確に定義された瞳平面は存在しない。光学系の瞳平面において、異なる視野点に対応する主光線が一点に集まる。瞳平面において、それぞれの視野点からの光束が重なり合う。瞳平面という用語は、強度分布が物体平面内の照明角度分布に対応する光学系内で誘導される光線に垂直な領域を特徴付けるために使用される。結像される放射光は、物体平面に位置する物体から反射される。物体平面に位置する物体は、複数の素子により像平面に結像されるレチクルであってよい。光学系は1/4の縮小率を持つことができる。本発明による光学系は4つ又はそれ以上の反射素子を備えている。特に、光学系は6つ又はそれ以上の反射素子を備えることができる。複数の素子は、物体平面と像平面との間の中間像平面に放射光を結像するように配列されることがある。この場合、視野絞りを、中間像平面に、又はその近くに位置決めする。特に、それらの複数の素子は5つの素子を含み、中間像平面は、物体平面から像平面までの放射光路に沿って第4の素子と第5の素子との間に配置される。物体平面と像平面は約1m又はそれ以上の距離Lだけ隔てている。物体平面から像平面までの放射光の光路長は約2L、3L、4L、又はそれ以上とすることができる。複数の素子は、放射光の光路内に少なくとも一对の隣接素子を含み、その一对の隣接素子は約0.5L又はそれ以上の距離だけ隔てられる。都合のよいことに、これらの複数の素子のどれも、射出瞳の遮蔽を引き起こさない。これらの複数の素子は、第1の鏡と第2の鏡を備えることができ、第1と第2の鏡はそれぞれ物体平面から最小距離 d_1 及び d_2 を有し、 d_1/d_2 は約2又はそれ以上である。あるいは、 d_1/d_2 は2よりも小さい値とすることもできる。その場合、光学系は、概して、物体側に大きな作動距離を有する。これらの複数の素子は、物体平面から像平面までの放射光路内に第1の素子を含むことができ、第1の素子は正の光学力(optical power)を有する。光学系は、物体平面と像平面との間に位置決めされた開口絞りを備える。光学系の複数の素子は3つの素子を含み、開口絞りは、物体平面から像平面までの放射光路内の第2の素子と第3の素子との間に位置決めされる。あるいは、開口絞りは、第2又は第3の素子のところに配置されてもよい。放射光は、開口絞りを1回又は2回通過することができる。本発明により光学系とともに使用される放射源は約300nm又はそれ以下、200nm又はそれ以下、100nm又はそれ以下の波長を有するレーザー放射源でよい。

【0007】

請求項2に記載の自由形式曲面を展開式で表すことで、反射面の有効で、再現性のある製造が可能になる。この展開式の中で、 m は66としてよい。さらに、 m は偶数整数からなる。さらに、 $m+n$ は10以上の数としてよい。

【0008】

請求項3又は4に記載のずれによって、対物鏡の歪曲を、回転対称光学面を使用して到達可能な限界以下に十分低減させることができる。回転非対称面は、最良フィット回転対称面から1つ又は複数の配置で約100nm又はそれ以上ずれる可能性がある。回転非対称面は、最良フィット回転対称面から1つ又は複数の位置のところで約50nm又はそれ以上、約100nm又はそれ以上、約500nm又はそれ以上、又は約1000nm又はそれ以上ずれることがある。

【0009】

請求項5に記載の鏡対称光学的自由形式曲面は、光学的自由形式曲面の生産の要件を

10

20

30

40

50

引き下げる。

【 0 0 1 0 】

請求項 6 に記載の光学的自由形式曲面を持つ 2 つの反射素子を使用すると、一方で最小の収差を改善することが可能になり、また製造される自由形式曲面をあまり複雑にすることなく特定の収差最小化要件を満たすことが可能になる。光学系は、さらに、3 個、4 個、5 個、又は 6 個の自由形状素子を備えることも可能である。

【 0 0 1 1 】

請求項 7 に記載の正の主光線角度倍率を持つ 2 つ以下の反射素子を備える光学系は、鏡面に対し比較的低い入射光線角を示すため、最初により低い収差を示す。このことは、請求項 8 に記載の正の主光線角度倍率を有するただ 1 つの反射素子を含む光学系を使用した場合に特にいえる。

10

【 0 0 1 2 】

請求項 9 に記載の光学系の開口数では、高い分解能が可能である。像側開口数は、0 . 2 5、0 . 2 8、0 . 3、0 . 3 5、0 . 4 又はそれ以上と高くできる。

【 0 0 1 3 】

請求項 1 0 に記載の像視野寸法により、マイクロリソグラフィ投影装置内で光学系を効率よく使用できる。収差補正は、自由形式曲面を使用することで改善されるので、回転対称面を使用すると、収差が高すぎて厳しい要件を満たせない矩形の像視野を使用する現在の設計が可能になる。矩形の視野は、最小寸法を約 2 mm とすることができ、また第 1 の寸法を約 1 mm 又はそれ以上、第 2 の寸法を約 1 mm 又はそれ以上とすることができ、第 1 と第 2 の寸法は直交する。この第 2 の寸法は約 1 0 mm 又は約 2 0 mm もしくはそれ以上とすることができる。

20

【 0 0 1 4 】

請求項 1 1 に記載の歪曲と請求項 1 2 に記載の波面誤差によって、投影品質は、回折、つまり投影光の波長によってのみ制限されるようになる。このような低い歪曲を有する光学系は、特に、1 0 から 3 0 nm までの範囲内の EUV 光源とともに使用するよう最適化される。

【 0 0 1 5 】

この光学系は、物体平面における物体平面法線と非平行な主光線を持つことができる。請求項 1 3 に記載の主光線角度を使用すると、光学コンポーネント点数の少ない投影対物鏡の正面にある照明光学系における強度分布を制御することにより像平面内の照明角度の分布を制御することが可能になる。これは、収束する一連の主光線角度を持つ光学系を使用したのでは可能ではない、というのも、その結果、操作平面に接近し、この操作平面内の強度分布を介して照明角度の分布を制御するためにコンポーネントを追加することが必要になるからである。請求項 1 3 に記載の分散主光線を使用する光学系では、物体平面は、複数の素子と光学系の入射瞳との間に位置する。

30

【 0 0 1 6 】

請求項 1 4 に記載の最大入射角により、最初に収差が高くなるのを回避できる。素子のそれぞれの表面への最大入射角は 1 8 ° 未満又は 1 5 ° 未満とすることができる。

【 0 0 1 7 】

請求項 1 5 に記載のテレセントリック光学系は、像平面内に配列された基板の高さの変動を許容する。

40

【 0 0 1 8 】

請求項 1 6 に記載の光学系は、非常に高い分解能をもたらす。比 / NA は約 6 0 又はそれ以下あるいは 5 0 又はそれ以下とすることができる。

【 0 0 1 9 】

請求項 1 7 に記載の約 7 5 mm 又はそれ以下の物体 - 像シフトを有する光学系では、光学系の光学設計を薄型化できる。物体 - 像シフトは約 5 0 mm 又はそれ以下あるいは約 2 5 mm 又はそれ以下とすることができる。物体 - 像シフトが 0 の場合、中心視野点平行移動を生じることなく物体と像視野とにおける中心視野点に交差する軸を中心に光学系を回

50

転させることができる。これは、光学系の回転を必要とする計測ツールや試験ツールが使用される場合に特に有利である。

【0020】

請求項18に記載の素子のフリーボードでは、主光線の入射角が小さいコンパクトな設計が実現される。光学系の4つ又はそれ以上の素子は約5mm又はそれ以上のフリーボードを有することができる。これにより、光学系の光学素子のホルダーと基板の設計に関する要件が引き下げられる。

【0021】

請求項19に記載の放射源を有する光学系は、少なくとも1つの自由形式曲面を使用することにより収差最小化を都合よく利用するが、それは、収差と歪曲をそのような放射源の波長の範囲内に収めることが可能だからである。好ましくは、波長は約10nmから約15nmまでの範囲内である。

【0022】

請求項20に記載の光学系と請求項21に記載のマイクロリソグラフィ・ツールの利点は、請求項1から19に記載の光学系に関して上で述べた利点に対応する。請求項22に記載の製造方法に関して、また請求項23に記載のコンポーネントに関して同じことがいえる。

【0023】

請求項24に記載の設計方法から、制御可能な形で生産できる自由形式曲面を形成する再現可能な設計指針が得られる。

【0024】

さらに、実施態様は、以下の利点のうちの1つ又は複数を含むことができる。例えば、実施態様は、像平面においてテレセントリックである反射光学投影対物鏡を含む。これにより、一定範囲の像側作動距離の範囲にわたって一定の、又はほぼ一定の像倍率が得られる。

【0025】

いくつかの実施態様では、反射光学投影対物鏡はきわめて高い分解能を有する。例えば、投影対物鏡は約50nmよりも小さい構造を分解する能力を持つ。短波長(例えば、約10nmから約30nm)で動作するように設計された高い像側開口数を持つ投影対物鏡において高い分解能が得られる。

【0026】

投影対物鏡は、低い収差を持つ像を形成することができる。いくつかの実施態様では約30nm又はそれ以下の波面誤差に関して投影対物鏡が補正される。いくつかの実施態様では、歪曲に関して、約2nm又はそれ以下の値よりも小さく、投影対物鏡が補正される。

【0027】

実施態様は、高い開口数を持ち、かつ像歪曲が低く、波面誤差が小さく、比較的広い像視野にわたって像平面にテレセントリック性で結像する反射光学対物鏡を含む。これらの特徴は1つ又は複数の自由形式曲面鏡を使用することにより達成できる。

【0028】

いくつかの実施態様では、投影対物鏡による計測法は、回転軸を中心とする投影対物鏡の回転にもかかわらず容易に実装できる。例えば、投影対物鏡の実施態様(例えば、高NA投影対物鏡)は、比較的小さな、又はゼロの物体-像シフトを持つことができ、その結果、投影対物鏡が軸の周りに回転するときに軸上視野点の平行移動はほとんど、又はまったく生じない。したがって、投影対物鏡は、回転の作用を受けたときに、同じ視野位置で、その視野位置を再配置することなく、計測を繰り返し実行することができる。

【0029】

実施態様は、さらに、視野依存瞳遮蔽又は中心瞳遮蔽のまったくない反射光学投影対物鏡も含む。

【0030】

10

20

30

40

50

投影対物鏡の実施態様を、可視光線と紫外線（UV）の波長を含む、様々な異なる波長で動作するように適合させることができる。実施態様は、極紫外線（EUV）波長で動作するように適合させられる。さらに、実施態様は、複数の波長、又はある範囲の波長で使用するようにも適合させられる。

【0031】

反射光学投影対物鏡の実施態様は、リソグラフィ・ツール（例えば、リソグラフィ・スキャナ）で使用することができ、オーバースキャンを、比較的強く抑えることができる。低オーバースキャンは、例えば、像視野が矩形の投影対物鏡を使用することにより実現することができる。このような実施態様では、矩形の視野の縁がダイ部位の前縁と平行になるように像の位置を揃えることができ、これにより、部位の四隅をスキャンするために像視野の縁を越えてダイ部位の前縁をスキャンする必要がなくなるが、典型的には、矩形又は正方形のダイ部位がアーチ形視野に関してスキャンされる場合と同様である。

10

【0032】

実施態様は、比較的処理能力の高いリソグラフィ・ツールを含む。例えば、オーバースキャンが比較的小さい実施態様は、オーバースキャンの大きい相当するシステムに比べて効率的である。したがって、これらのオーバースキャン・システムは、相当するシステムと比べて高いウェハ処理能力を実現することができる。

【0033】

いくつかの実施態様では、陰影効果の視野依存性が低いか、又はまったくない反射光学投影対物鏡が実現される。例えば、反射光学投影対物鏡は、物体視野上で主光線の様な照明角度をなす物体平面から遠くに（例えば、無限遠に）置かれている入射瞳を持つことができる。これは、主光線角度が物体視野上で変化する場合に生じる視野依存陰影効果を低減させるか、又は回避することができる。あるいは、又はそれに加えて、投影対物鏡は、投影対物鏡のそれぞれの鏡の子午断面内の光線について比較的小さな値の主光線入射角及び/又は入射角の小さな変化を有する可能性があり、その結果、それぞれの多層反射スタックがそのような入射角について最適化されていれば、それぞれの鏡の平均反射力が増大する。

20

【0034】

いくつかの実施態様では、投影対物鏡は、照明系の複雑さを低減できる特徴を含むことができる。例えば、投影対物鏡の入射瞳の配置は、物体平面の前とすることができる。言い換えると、異なる視野点から始まる主光線は、互いに関して発散する。これにより、投影対物鏡の入射瞳/照明系の射出瞳は、照明系内のテレスコープを使用して照明系の射出瞳を投影対物鏡の入射瞳の位置に中継しなくても接近可能にすることができる。

30

【0035】

他の特徴及び利点は、説明、図面、請求項から明白であろう。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】マイクロリソグラフィ・ツールの一実施形態の略図である。

【図2A】図1に示されているマイクロリソグラフィ・ツールの一部を示す略図である。

【図2B】回転非対称面及び対応する回転対称基準面の断面図である。

40

【図3】子午断面内に示されている投影対物鏡の一実施形態の断面図である。

【図4】子午断面内に示されている投影対物鏡の鏡の一部の断面図である。

【図5A】正の主光線角度倍率を有する鏡における光線経路の略図である。

【図5B】負の主光線角度倍率を有する鏡における光線経路の略図である。

【図6】A鏡のフットプリントの図である。 B：図6Aに示されている鏡の断面図である。

【図7A】環状弓形視野の一実施形態の平面図である。

【図7B】一对のウェハ・ダイ部位に関する環状弓形視野の平面図である。

【図7C】一对のウェハ・ダイ部位に関する矩形視野の平面図である。

【図8】図1に示されているマイクロリソグラフィ・ツールの実施形態の投影対物鏡の略

50

図である。

- 【図 9】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。
- 【図 10】子午断面内に示されている投影対物鏡の一部の断面図である。
- 【図 11】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。
- 【図 12】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。
- 【図 13】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。
- 【図 14 A】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。
- 【図 14 B】図 14 A に示されている投影対物鏡を含む光学系及び照明系の断面図である。
- 【図 15】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。 10
- 【図 16 A】図 15 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として計算で求められた歪曲を示す $x - y$ ベクトルのグラフである。
- 【図 16 B】図 15 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として計算で求められた主光線角度を示す $x - y$ ベクトルのグラフである。
- 【図 17】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。
- 【図 18】図 17 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として横収差を示すグラフである。
- 【図 19】図 17 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として横収差を示すグラフである。
- 【図 20】図 17 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として横収差を示すグラフである。 20
- 【図 21】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。
- 【図 22】図 21 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。
- 【図 23】図 21 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。
- 【図 24】図 21 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。
- 【図 25】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。
- 【図 26】図 25 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。 30
- 【図 27】図 25 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。
- 【図 28】図 25 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。
- 【図 29】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。
- 【図 30】図 29 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。
- 【図 31】図 29 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。 40
- 【図 32】図 29 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。
- 【図 33】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。
- 【図 34】図 33 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。
- 【図 35】図 33 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。
- 【図 36】図 33 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。
- 【図 37】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。 50

【図 3 8】図 3 7 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。

【図 3 9】図 3 7 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。

【図 4 0】図 3 7 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。

【図 4 1】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。

【図 4 2】図 4 1 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。

【図 4 3】図 4 1 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。

【図 4 4】図 4 1 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。

【図 4 5】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。

【図 4 6】図 4 5 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。

【図 4 7】図 4 5 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。

【図 4 8】図 4 5 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。

【図 4 9】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。

【図 5 0】図 4 9 に示されている投影対物鏡に対する像視野内の位置の関数として収差を示すグラフである。

【図 5 1】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。

【図 5 2】子午断面内に示されている投影対物鏡の断面図である。

【図 5 3】半導体機器の製造の工程を示す流れ図である。

【図 5 4】ウェハ加工プロセスの工程を示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0037】

一態様の開示は、自由形式曲面鏡面を持つ 1 つ又は複数の鏡（自由形式曲面鏡と呼ぶ）を有する反射光学投影対物鏡に関する。自由形式曲面鏡を持つ反射光学投影対物鏡は、マイクロリソグラフィ・ツールにおいて使用できる。図 1 を参照すると、マイクロリソグラフィ・ツール 100 は、一般に、光源 110、照明系 120、投影対物鏡 101、ステージ 130 を含む。参考のため、直交座標系が示されている。光源 110 は、波長の放射光を発生し、その放射光線 112 を照明系 120 に送る。照明系 120 は、放射光に相互作用を及ぼし（例えば、拡大し、均質化し）、放射光線 122 を物体平面 103 に位置するレチクル 140 に送る。投影対物鏡 101 は、レチクル 140 から反射された放射光 142 を像平面 102 に位置する基板 150 の表面に結像させる。投影対物鏡 101 の像側に入射する放射光は、光線 152 として表される。図 1 に示されているように、光線は、例示しているだけであり、例えば、レチクル 140 に関して放射光路を正確に表すことは意図されていない。基板 150 は、ステージ 130 により支えられ、このステージは、投影対物鏡 101 がレチクル 140 を基板 150 の異なる部分に結像させるように、投影対物鏡 101 に対して基板 150 を移動させる。

【0038】

投影対物鏡 101 は、基準軸 105 を含む。投影対物鏡が子午断面に対して対称である実施形態では、基準軸 105 は、物体平面 103 に垂直であり、子午断面の内側に置かれている。

【0039】

光源 110 は、ツール 100 の所望の動作波長の放射光を発生するように選択される。いくつかの実施形態では、光源 110 は、KrF レーザー（例えば、約 248 nm の波

10

20

30

40

50

長を持つ)又はArFレーザー(例えば、約193nmの波長を持つ)などのレーザー光源である。使用できる非レーザー光源は、電磁スペクトルの青色又はUV部分、例えば、約365nm、約280nm、又は約227nmの放射光を放出するLEDなどの発光ダイオード(LED)を含む。

【0040】

典型的には、リソグラフィ・ツールにおいて動作するように設計されている投影対物鏡において、波長は、電磁スペクトルの紫外部、深紫外部、又は極紫外部内にある。例えば、は約400nm又はそれ以下(例えば、約300nm又はそれ以下、約200nm又はそれ以下、約100nm又はそれ以下、約50nm又はそれ以下、約30nm又はそれ以下)とすることができる。は約2nm以上(例えば、約5nm又はそれ以上、約10nm又はそれ以上)であってもよい。実施形態において、は約193nm、約157nm、約13nm、又は約11nmとすることができる。比較的短い波長を使用することは、一般に、投影対物鏡の分解能が波長にほぼ比例するため望ましい場合がある。したがって、波長が短いほど、投影対物鏡が分解できる像内の特徴は長い波長を使用する同等の投影対物鏡に比べて小さいものでもよい。しかし、いくつかの実施形態では、は、電磁スペクトルの非UV部分(例えば、可視部分)にある。

10

【0041】

照明系120は、均質強度プロファイルを持つ平行放射光線を形成するように配列された光学コンポーネントを含む。照明系120は、典型的には、さらに、光線122をレチクル140に向けたためのビーム操縦光学系も含む。いくつかの実施形態では、照明系120は、さらに、放射線ビームの所望の偏光プロファイルを形成するコンポーネントも含む。

20

【0042】

典型的に、物体平面103は、像平面102に平行である。しかし、いくつかの実施形態では、像平面102は、物体平面103に関して傾けられる。例えば、像平面102は約1°又はそれ以上(例えば、約2°又はそれ以上、約3°又はそれ以上、約4°又はそれ以上、約5°又はそれ以上)の角度だけ傾けることができる。

【0043】

物体平面103は、像平面102から距離Lだけ隔てられている。距離Lは、投影対物鏡101の縦方向寸法、又は軌跡長とも呼ばれる。軌跡長は2つの平行平面の間の距離により定義される。第1の平面は物体平面であり、第2の平面は、物体視野と、像視野と、光学コンポーネントとが、これら2つの平行平面の間に置かれるような物体平面に平行で最も近い平面として定義される。一般に、この距離は、投影対物鏡101の具体的設計とツール100の動作波長に依存する。EUVリソグラフィ用に設計されたツールなどにおけるいくつかの実施形態では、Lは約1mから約3mまでの範囲(例えば、約1.5mから約2.5mまでの範囲)内にある。いくつかの実施形態では、Lは2m未満であり、例えば、約1.9m又はそれ以下などである(例えば、約1.8m又はそれ以下、約1.7m又はそれ以下、約1.6m又はそれ以下、約1.5m又はそれ以下)。Lは約0.2m又はそれ以上とすることができる(例えば、約0.3m又はそれ以上、約0.4m又はそれ以上、約0.5m又はそれ以上、約0.6m又はそれ以上、約0.7m又はそれ以上、約0.8m又はそれ以上、約0.9m又はそれ以上、約1m又はそれ以上)。

30

40

【0044】

結像される放射光の光路長と軌跡長との比は、投影対物鏡101の具体的設計に応じて異なる。いくつかの実施形態では、この光路長と軌跡長との比は、比較的大きい。例えば、この光路長と軌跡長との比は約2又はそれ以上(例えば、約2.5又はそれ以上、約3又はそれ以上、約3.5又はそれ以上、約4又はそれ以上、約4.5又はそれ以上、約5又はそれ以上)とすることができる。

【0045】

投影対物鏡101は、物体平面103における視野の寸法と像平面102における視野の対応する寸法との比を意味する倍率比を持つ。典型的には、リソグラフィ・ツールで使

50

用される投影対物鏡は、縮小投影対物鏡であり、これらは、像の寸法を縮める、つまり像を縮小することを意味する。したがって、いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 は、物体平面 103 における寸法と比較して寸法が約 2 × 又はそれ以上（例えば、約 3 × 又はそれ以上、約 4 × 又はそれ以上、約 5 × 又はそれ以上、約 6 × 又はそれ以上、約 7 × 又はそれ以上、約 8 × 又はそれ以上、約 9 × 又はそれ以上、約 10 × 又はそれ以上）だけ減少した寸法の視野を像平面 102 に形成することができる。言い換えると、投影対物鏡 101 は約 2 × 又はそれ以上（例えば、約 3 × 又はそれ以上、約 4 × 又はそれ以上、約 5 × 又はそれ以上、約 6 × 又はそれ以上、約 7 × 又はそれ以上、約 8 × 又はそれ以上、約 9 × 又はそれ以上、約 10 × 又はそれ以上）の縮小率を有することができる。しかし、より一般的には、投影対物鏡は、拡大像又は物体と同じサイズの像を形成するように設計できる。

10

【0046】

さらに図 2A を参照すると、光線 152 は、レチクル像を像平面 102 に形成する複数の光路の円錐形を定める。光線の円錐の角度は、投影対物鏡 101 の像側開口数 (NA) に関係する。像側 NA は、

$$NA = n_0 \sin \theta_{\max}$$

と表すことができ、 n_0 は、基板 150 の表面に隣接する浸漬媒体（例えば、空気、窒素、水、又は真空環境）の屈折率をいい、 θ_{\max} は、投影対物鏡 101 からの像形成光線からなる最大円錐形の半角である。

20

【0047】

一般に、投影対物鏡 101 は約 0.1 又はそれ以上（例えば、約 0.15 又はそれ以上、約 0.2 又はそれ以上、約 0.25 又はそれ以上、約 0.28 又はそれ以上、約 0.3 又はそれ以上、約 0.35 又はそれ以上）の像側 NA を有する。いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 は比較的高い像側 NA を有する。例えば、いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 は約 0.4 を超える（例えば、約 0.45 又はそれ以上、約 0.5 又はそれ以上、約 0.55 又はそれ以上、約 0.6 又はそれ以上）の像側 NA を有する。一般に、投影対物鏡 101 の分解能は、波長と像側 NA とに応じて異なる。理論の束縛を受けることを望まなければ、投影対物鏡の分解能は、式

【0048】

【数 1】

$$R = k \frac{\lambda}{NA}$$

30

に基づく波長と像側 NA に基づいて決定できるが、ただし、R は、印刷できる最小寸法であり、k は、プロセス係数と呼ばれる無次元定数である。k は、放射光（例えば、偏光特性）、照明特性（例えば、部分干渉性、環状照明、双極子設定、四極子設定など）や、レジスト材料に関連する様々な係数に応じて変わる。典型的には、k は約 0.4 から約 0.8 までの範囲にあるが、さらに、用途によっては、0.4 よりも低く、0.8 よりも高くてもよい。

【0049】

投影対物鏡 101 は、さらに、像平面において名目的にテレセントリックである。例えば、主光線は、露光された視野上の像平面において互いに平行であることから約 0.5° 又はそれ以下（例えば、約 0.4° 又はそれ以下、約 0.3° 又はそれ以下、約 0.2° 又はそれ以下、約 0.1° 又はそれ以下、約 0.05° 又はそれ以下、約 0.01° 又はそれ以下、約 0.001° 又はそれ以下）だけずれる可能性がある。したがって、投影対物鏡 101 は、一定範囲の像サイズの作動距離にわたって実質的に一定の倍率を実現できる。いくつかの実施形態では、主光線は、像平面 102 に対し名目上直交する。したがって、ウェハ表面の形状が平坦でないか、又は像平面がピンぼけになっていても、像平面内に歪曲又は陰影の効果を生じない。

40

【0050】

50

いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 は、比較的高い分解能を有する（つまり、 R の値を比較的小さくできる）。例えば、 R は約 150 nm 又はそれ以下（例えば、約 130 nm 又はそれ以下、約 100 nm 又はそれ以下、約 75 nm 又はそれ以下、約 50 nm 又はそれ以下、約 40 nm 又はそれ以下、約 35 nm 又はそれ以下、約 32 nm 又はそれ以下、約 30 nm 又はそれ以下、約 28 nm 又はそれ以下、約 25 nm 又はそれ以下、約 22 nm 又はそれ以下、約 20 nm 又はそれ以下、約 18 nm 又はそれ以下、約 17 nm 又はそれ以下、約 16 nm 又はそれ以下、約 15 nm 又はそれ以下、約 14 nm 又はそれ以下、約 13 nm 又はそれ以下、約 12 nm 又はそれ以下、約 11 nm 又はそれ以下、例えば約 10 nm など）とすることができる。

【0051】

投影対物鏡 101 により形成される像の質は、様々な異なる方法により定量化できる。例えば、像は、ガウス光学系に関連する理想化された条件から像の測定又は計算により求められたずれに基づいて特徴付けることができる。これらのずれは、一般に、収差と呼ばれる。理想的又は所望の形状からの波面のずれを定量化するために使用される計量の 1 つは、自乗平均波面誤差の平方根 (W_{rms}) である。 W_{rms} は、参照により本明細書に組み込まれている「*Handbook of Optics*」、第 1 巻、第 2 版、Michael Bass 編集 (McGraw-Hill, Inc., 1995 年) の 35.3 頁で定義されている。一般に、対物鏡の W_{rms} 値が低いほど、波面の所望の、又は理想的な形状からのずれは小さく、像の質はよい。いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 は、像平面 102 における像について比較的小さい W_{rms} を取りうる。例えば、投影対物鏡 101 は約 0.1 又はそれ以下（例えば、約 0.07 又はそれ以下、約 0.06 又はそれ以下、約 0.05 又はそれ以下、約 0.045 又はそれ以下、約 0.04 又はそれ以下、約 0.035 又はそれ以下、約 0.03 又はそれ以下、約 0.025 又はそれ以下、約 0.02 又はそれ以下、約 0.015 又はそれ以下、約 0.01 又はそれ以下、約 0.005 など）の W_{rms} を持つことができる。

【0052】

像の質を評価するために使用できる他の計量は、像面湾曲と呼ばれる。像面湾曲は、焦点面の視野点依存位置に対する最高から最低までの距離を指す。いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 は、像平面 102 における像について比較的小さい像面湾曲を取りうる。例えば、投影対物鏡 101 は約 50 nm 又はそれ以下（例えば、約 30 nm 又はそれ以下、約 20 nm 又はそれ以下、約 15 nm 又はそれ以下、約 12 nm 又はそれ以下、約 10 nm 又はそれ以下）の像側の像面湾曲を持つことができる。

【0053】

光学性能を評価するために使用できる他の計量は歪曲と呼ばれる。歪曲とは、像平面内の理想像点位置からの視野点依存のずれの最大絶対値のことである。いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 は、比較的小さな最大歪曲を有する。例えば、投影対物鏡 101 は約 50 nm 又はそれ以下（例えば、約 40 nm 又はそれ以下、約 30 nm 又はそれ以下、約 20 nm 又はそれ以下、約 15 nm 又はそれ以下、約 12 nm 又はそれ以下、10 nm 又はそれ以下、9 nm 又はそれ以下、8 nm 又はそれ以下、7 nm 又はそれ以下、6 nm 又はそれ以下、5 nm 又はそれ以下、4 nm 又はそれ以下、3 nm 又はそれ以下、2 nm 又はそれ以下、1 nm など）の最大歪曲を有する。

【0054】

さらに、いくつかの実施形態において、歪曲は、像視野上で比較的小さな量だけ変化する。例えば、歪曲は、像視野上で約 5 nm 又はそれ以下（例えば、約 4 nm 又はそれ以下、約 3 nm 又はそれ以下、約 2 nm 又はそれ以下、約 1 nm 又はそれ以下）だけ変化する。

【0055】

反射光学系である場合、投影対物鏡 101 は、基板 150 の表面上にレチクル 140 の像を形成する方法でレチクル 140 から反射された放射光を基板 150 に向けるように配列された多数の鏡を含む。投影対物鏡の具体的設計について、以下で説明する。しかし、

10

20

30

40

50

より一般的には、鏡の数、サイズ、構造は、概して、投影対物鏡 101 の所望の光学特性やツール 100 の物理的制約条件に依存する。

【0056】

一般に、投影対物鏡 101 における鏡の数は異なる。典型的には、鏡の数は、所望の処理能力（例えば、像平面 102 に像を形成する物体からの放射光の強度）、所望の像側 NA と関係する像分解能、所望の最大瞳遮蔽などの、対物鏡の光学性能特性に関連する様々な性能のトレードオフ関係に関する。

【0057】

一般に、投影対物鏡 101 は、少なくとも 4 枚の鏡（例えば、5 枚又はそれ以上の鏡、6 枚又はそれ以上の鏡、7 枚又はそれ以上の鏡、8 枚又はそれ以上の鏡、9 枚又はそれ以上の鏡、10 枚又はそれ以上の鏡、11 枚又はそれ以上の鏡、12 枚又はそれ以上の鏡）を有する。物体平面と像平面との間に対物鏡のすべての鏡が配置されることが望ましい実施形態では、対物鏡 101 は、典型的には、偶数枚数の鏡（例えば、4 枚の鏡、6 枚の鏡、8 枚の鏡、10 枚の鏡）を有する。いくつかの実施形態において、投影対物鏡のすべての鏡が物体平面と像平面との間に位置する奇数枚数の鏡を使用することができる。例えば、1 枚又は複数枚の鏡が比較的大きな角度で傾けられた場合、投影対物鏡は、すべての鏡が物体平面と像平面との間に位置する奇数枚数の鏡を含む。

【0058】

一般に、投影対物鏡 101 内の複数の鏡のうちの少なくとも 1 つは、回転非対称面又は自由形式曲面を有する。球面鏡又は非球面鏡と異なり、自由形式曲面鏡面は、回転対称軸を持たない。一般に、自由形式曲面は、回転非対称面に最もよく一致する回転対称面のことである、回転対称基準面（例えば、球面又は非球面の回転対称基準面）からずれる。

【0059】

回転対称基準面は、自由形式曲面鏡面について以下のように決定することができる。第 1 に、考察対象の自由形式曲面鏡面を特徴付ける情報を取得する。鏡の光学データが知られている実施形態では、この情報は、鏡の底面半径（例えば、 $1/c$ 、ただし、 c は頂点曲率である）、鏡面の円錐定数 k 、鏡を特徴付ける多項式係数を決定することを含む。あるいは、又はそれに加えて、鏡を特徴付ける情報は、鏡面の表面形状測定結果から得られる（例えば、干渉計を使用して得られる）。表面形状測定結果から、鏡の表面を記述する関数 z' (x' , y') を得ることができるが、ただし、 z' は、図 2 B に例示されているように、異なる (x' , y') 座標の z' 軸に沿った鏡面のサグである。この初期工程は、さらに、対物鏡で像形成放射光を反射するために実際に使用される鏡面の領域のことである、鏡のフットプリントを決定することを含む。フットプリントは、光線追跡プログラムを使用して対物鏡を通る光線を追跡し、光線が接触する鏡面領域を抽出することにより決定することができる。

【0060】

回転非対称面を特徴付ける情報を得た後、表面の偏心率と傾きがゼロであるその表面の局所座標系が確定される。表面の傾きと偏心率を設定することで、最適化アルゴリズムで基準面を決定し、さらに、鏡面と基準面との間のサグの差を決定できる軸 z' を定義するための矛盾なく定義された出発点を得られる。鏡面の光学データが知られている場合、 z' 軸は、円錐定数 k と底面半径 $1/c$ に基づいて決定される。光学データの回転対称部分について、 z' 軸は、回転非対称面の回転対称部分に対する対称軸である。鏡面が、表面形状測定から特徴付けられる実施形態において、 z' 軸は計測軸に対応する（例えば、干渉計光軸）。図 2 B は、これを回転非対称鏡 201 の 2 次元断面について示しており、局所座標系は、 x' 、 y' 、 z' 軸により表される。回転非対称鏡 201 のフットプリントの境界は、図 2 B に示されている断面について x_{min} 及び x_{max} として示されている。

【0061】

次いで、初期基準面が、座標系に関して確定される。初期基準面は、傾きが 0、偏心率が 0 である。初期基準面は、球面又は回転対称非球面のいずれかである。初期基準面は、回転非対称鏡面に近似する回転対称面を設計することにより確立される。初期基準面は、

最適化アルゴリズムの出発点を表す。初期基準面が確定されると、初期基準面の多数の点と局所座標系の z' 軸に沿って測定された回転非対称面のフットプリントの表面の点との間の局所距離 b_i ($i = 1 \dots N$) が決定される。次に、数値フィッティング・パラメータとフィッティング・アルゴリズムを使用して局所距離 (d_i) に対する最小値を決定することにより、回転対称基準面 (図 2 B の表面 2 1 1) が確定される。回転対称基準面が球面である場合、パラメータは、基準面の、局所座標系内の球体の中心の位置と半径を含む。図 2 B では、座標系原点から球体中心の偏心度が、座標 x_c と z_c により示される (y' 軸に沿った量 y_c だけの偏心度は、図 2 B に示されていない)。球面の半径は、 R と表される。パラメータ R 、 x_c 、 y_c 、 z_c は、座標 (x_c , y_c , z_c) を中心とする半径 R の球面に対する方程式である、方程式

$$z' = (R^2 - (x' - x_c)^2 - (y' - y_c)^2)^{1/2} - z_c$$

に基づいて局所距離 d_i が最小値となるように最適化される。

【0062】

回転対称基準面が非球面である場合、パラメータは、基準面の偏心度と傾き、底面半径、円錐定数、非球面係数を含む。これらのパラメータは、円錐と非球面を記述する方程式である、式

【0063】

【数2】

$$z' = \frac{c'h^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k')c'^2h^2}} + \sum_j A'_j h^{2j}$$

に基づいて決定することができる。ここで、 $h^2 = x'^2 + y'^2$ 、 A'_j は、円錐面からの回転対称基準面のずれを特徴付ける係数である。一般に、基準面を鏡面に合わせるために使用される非球面係数 A'_j の数は、表面を計算するために使用されるシステムの計算能力、利用可能な時間、所望の精度レベルに応じて変化する。いくつかの実施形態では、基準面は3次までの非球面係数を使用して計算することができる。いくつかの実施形態では3次よりも高い係数 (例えば、4次、6次) が使用される。円錐と非球面のパラメータ化についてのさらなる詳細は、例えば、Optical Research Associates (カリフォルニア州パサディナ所在) から入手可能な Code V の製品取扱説明書を参照のこと。

【0064】

一般に、フィッティングは、様々な最適化アルゴリズムを使用して実行できる。例えば、いくつかの実施形態では、減衰最小自乗フィッティング・アルゴリズムなどの、最小自乗フィッティング・アルゴリズムを使用できる。減衰最小自乗フィッティング・アルゴリズムは、例えば、Code V 又は ZEMAX (Optima Research, Ltd.、英国スタンステッド所在) などの、市販の光学設計ソフトウェアを使用して実行することができる。

【0065】

回転対称基準面が決定された後、鏡面上の追加の点同士の間の局所距離を決定し、視覚化することができる。回転対称基準面の追加の特性を決定することができる。例えば、回転非対称鏡面からの回転対称基準面の最大のずれを決定することができる。

【0066】

例えば、自由形式曲面の、最良フィット球面又は回転対称基準面からの最大のずれは約 1 又はそれ以上 (例えば、約 10 又はそれ以上、約 20 又はそれ以上、約 50 又はそれ以上、約 100 又はそれ以上、約 150 又はそれ以上、約 200 又はそれ以上、約 500 又はそれ以上、約 1,000 又はそれ以上、約 10,000 又はそれ以上、約 50,000 又はそれ以上) とすることができる。自由形式曲面の、最良フィット回転対称非球面からの最大のずれは約 1 又はそれ以上 (例えば、約 5 又はそれ以上、約 10 又はそれ以上、約 20 又はそれ以上、約 50 又はそれ以上、約 100

10

20

30

40

50

又はそれ以上、約 200 又はそれ以上、約 500 又はそれ以上、約 1,000 又はそれ以上、約 10,000 又はそれ以上)とすることができる。いくつかの実施形態では、自由形式曲面の、最良フィット回転対称非球面からの最大のずれは約 1,000 又はそれ以下(例えば、約 900 又はそれ以下、約 800 又はそれ以下、約 700 又はそれ以下、約 600 又はそれ以下、約 500 又はそれ以下)とすることができる。

【0067】

いくつかの実施形態では、自由形式曲面の、最良フィット球面からの最大のずれは 10 nm 又はそれ以上(例えば、約 100 nm 又はそれ以上、約 500 nm 又はそれ以上、約 1 μ m 又はそれ以上、約 5 μ m 又はそれ以上、約 10 μ m 又はそれ以上、約 50 μ m 又はそれ以上、約 100 μ m 又はそれ以上、約 200 μ m 又はそれ以上、約 500 μ m 又はそれ以上、約 1,000 μ m、約 2,000 μ m 又はそれ以上、約 3,000 μ m 又はそれ以上)とすることができる。自由形式曲面の、最良フィット球面からの最大のずれは約 10 mm 又はそれ以下(例えば、約 5 mm 又はそれ以下、約 3 mm 又はそれ以下、約 2 mm 又はそれ以下、約 1 mm 又はそれ以下、約 500 μ m 又はそれ以下)とすることができる。

10

【0068】

自由形式曲面の、最良フィット回転対称非球面からの最大のずれは 10 nm 又はそれ以上(例えば、約 100 nm 又はそれ以上、約 500 nm 又はそれ以上、約 1 μ m 又はそれ以上、約 5 μ m 又はそれ以上、約 10 μ m 又はそれ以上、約 50 μ m 又はそれ以上、約 100 μ m 又はそれ以上、約 200 μ m 又はそれ以上、約 500 μ m 又はそれ以上、約 1,000 μ m)とすることができる。自由形式曲面の、最良フィット回転対称非球面からの最大のずれは約 10 mm 又はそれ以下(例えば、約 5 mm 又はそれ以下、約 3 mm 又はそれ以下、約 2 mm 又はそれ以下、約 1 mm 又はそれ以下、約 500 μ m 又はそれ以下)とすることができる。

20

【0069】

鏡面の曲率は、中心視野点の主光線を反射するそれぞれの鏡面上の点において決定される、第 1 と第 2 の平均主曲率により特徴付けられる。第 1 と第 2 の主曲率は、I. N. Bronstein 著「Handbook of Mathematics」第 4 版(Springer、2004 年)、567 頁で説明されているように計算される。一般に、鏡面の第 1 の主曲率は、その鏡面の第 2 の主曲率と異なることがある。いくつかの実施形態において、第 1 と第 2 の主曲率の差の絶対値は約 10^{-8} 又はそれ以上(例えば、 10^{-7} 又はそれ以上、 5×10^{-7} 又はそれ以上、約 10^{-6} 又はそれ以上、約 5×10^{-6} 又はそれ以上、約 10^{-5} 又はそれ以上、約 5×10^{-5} 又はそれ以上、約 10^{-4} 又はそれ以上、約 5×10^{-4} 又はそれ以上、約 10^{-3} 又はそれ以上)とすることができる。

30

【0070】

一般に、第 1 及び / 又は第 2 の主曲率は正又は負とすることができる。鏡面の第 1 及び / 又は第 2 の主曲率は、比較的小さい値としてよい。例えば、いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 内の 1 つ又は複数の鏡の第 1 の主曲率の絶対値は約 10^{-2} 又はそれ以下(例えば、約 5×10^{-3} 又はそれ以下、約 3×10^{-3} 又はそれ以下、約 2×10^{-3} 又はそれ以下、約 10^{-3} 又はそれ以下)である。投影対物鏡 101 内の鏡に対する第 1 の主曲率の総和の絶対値は約 10^{-3} 又はそれ以下(例えば、約 5×10^{-4} 又はそれ以下、約 3×10^{-4} 、約 2×10^{-4} 又はそれ以下、約 10^{-4} 又はそれ以下、 5×10^{-5} 又はそれ以下、 10^{-5} 又はそれ以下)とすることができる。

40

【0071】

いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 内の 1 つ又は複数の鏡の第 2 の主曲率の絶対値は約 10^{-2} 又はそれ以下(例えば、約 5×10^{-3} 又はそれ以下、約 3×10^{-3} 又はそれ以下、約 2×10^{-3} 又はそれ以下、約 10^{-3} 又はそれ以下)である。投影対物鏡 101 内の鏡に対する第 2 の主曲率の総和の絶対値は約 10^{-3} 又はそれ以下(例えば、約 5×10^{-4} 又はそれ以下、約 3×10^{-4} 、約 2×10^{-4} 又はそれ以下、約 10^{-4} 又はそれ以下、 5×10^{-5} 又はそれ以下、 10^{-5} 又はそれ以下)とすることができる。

50

【 0 0 7 2 】

投影対物鏡 1 0 1 内の鏡の第 1 と第 2 の主曲率の総和、つまり、投影対物鏡 1 0 1 内のすべての鏡の第 1 の主曲率の総和、投影対物鏡 1 0 1 内のすべての鏡の第 2 の主曲率の総和、又は投影対物鏡 1 0 1 内のすべての鏡のすべての第 1 と第 2 の主曲率の総和は、比較的小さい値とすることができる。例えば、鏡の第 1 と第 2 の主曲率の総和の絶対値は約 10^{-3} 又はそれ以下（例えば、約 5×10^{-4} 又はそれ以下、約 3×10^{-4} 、約 2×10^{-4} 又はそれ以下、約 10^{-4} 又はそれ以下、 5×10^{-5} 又はそれ以下、 10^{-5} 又はそれ以下）とすることができる。

【 0 0 7 3 】

いくつかの実施形態では、自由形式曲面は、式

10

【 0 0 7 4 】

【 数 3 】

$$Z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^{66} C_j X^m Y^n$$

ただし

20

$$j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1$$

により数学的に記述することができ、Z は、Z 軸（対物鏡 1 0 1 内の z 軸に平行である場合も、平行でない場合もある、つまり、一般に投影対物鏡 1 0 1 内の z 軸に対し偏心し、傾いている）に平行な表面のサグであり、c は、頂点曲率に対応する定数であり、k は、円錐定数であり、 C_j は、単項式 $X^m Y^n$ の係数である。典型的には、c、k、 C_j の値は、投影対物鏡 1 0 1 に関して鏡の所望の光学特性に基づいて決定される。さらに、単項式の次数 $m + n$ は、好きなように変えられる。一般に、高次の単項式を使用すると、より高いレベルの収差補正を含む投影対物鏡設計を行うことができるが、単項式が高次になるほど、典型的には、決定に費やされる計算量が増大する。いくつかの実施形態では、 $m + n$ は 10 又はそれ以上（例えば、15 又はそれ以上、20 又はそれ以上）である。後述のように、自由形式曲面鏡の方程式に対するパラメータは、市販の光学設計ソフトウェアを使用して決定することができる。いくつかの実施形態では、 $m + n$ は 10 未満（例えば、9 又はそれ以下、8 又はそれ以下、7 又はそれ以下、6 又はそれ以下、5 又はそれ以下、4 又はそれ以下、3 又はそれ以下）である。

30

【 0 0 7 5 】

一般に、自由形式曲面は、上記のもの以外の方程式を使用して数学的に記述することができる。例えば、いくつかの実施形態では、自由形式曲面は、Zernike 多項式（Optical Research Associates（カリフォルニア州パサディナ）から市販されている CODE V（登録商標）の取扱説明書に記載されているものなど）を使用して、又は 2 次元スプライン曲面を使用して、数学的に記述することができる。2 次元スプライン曲面の実施例は、ベジェ・スプライン又は非一様有理ベジェ・スプライン（NURBS）である。2 次元スプライン曲面は、例えば、xy 平面内の点のグリッド及び対応する z 値又は勾配及びそれらの点により記述することができる。特定のタイプのスプライン曲面に応じて、例えば、多項式又は連続性及び微分可能性に関する特定の特性を有する関数（例えば、解析関数）を使用してグリッド点の間の特定の補間を行うことで完全な表面が得られる。

40

【 0 0 7 6 】

一般に、投影対物鏡 1 0 1 における自由形式曲面鏡の数と位置は、異なることがある。

50

実施形態は2つ又はそれ以上の自由形式曲面鏡を備える投影対物鏡を含む（例えば、3つ又はそれ以上の自由形式曲面鏡、4つ又はそれ以上の自由形式曲面鏡、5つ又はそれ以上の自由形式曲面鏡、6つ又はそれ以上の自由形式曲面鏡）。

【0077】

投影対物鏡101は、一般に、正の光学力を持つ1つ又は複数の鏡を含む。言い換えると、鏡の反射部分は、陥凹面を有し、凹面鏡と呼ばれる。投影対物鏡101は2つ又はそれ以上（例えば、3つ又はそれ以上、4つ又はそれ以上、5つ又はそれ以上、6つ又はそれ以上）の凹面鏡を含むことができる。投影対物鏡101は、さらに、負の光学力を持つ1つ又は複数の鏡を含むこともできる。これは、複数の鏡のうちの1つ又は複数が、凸面を持つ反射部分を有することを意味する（凸面鏡と呼ばれる）。いくつかの実施形態では、投影対物鏡101は2つ又はそれ以上（例えば、3つ又はそれ以上、4つ又はそれ以上、5つ又はそれ以上、6つ又はそれ以上）の凸面鏡を含む。

10

【0078】

6個の鏡を含む投影対物鏡の一実施形態が、図3に示されている。特に、投影対物鏡300は6つの自由形式曲面鏡310、320、330、340、350、360を含む。投影対物鏡300に対するデータは、以下の表1Aと表1Bに示されている。表1Aは、光学データを示しているが、表1Bは、鏡面のそれぞれに対する自由形式曲面定数を示している。表1Aと表1Bの目的に関して、鏡1(M1)は鏡310に対応し、鏡2(M2)は鏡320に対応し、鏡3(M3)は鏡330に対応し、鏡4(M4)は鏡340に対応し、鏡5(M5)は鏡350に対応し、鏡6(M6)は鏡360に対応するという形で鏡の参照番号は相関している。表1Aとそれ以降の表における「厚さ」は、放射光路内の隣接する素子間の距離を意味する。自由形式曲面鏡に対する単項式係数 C_j は、鏡が初期投影対物鏡設計から偏心され、回転され（又は傾けられ）る量とともに表1Bに示されている。半径Rは、頂点曲率cの逆数である。偏心度は、単位mmで示され、回転は、度で示されている。単項式係数の単位は、 mm^{-j+i} である。N r a d i u s は、無次元倍率である（例えば、CODE V（登録商標）の取扱説明書を参照）。

20

【0079】

図3では、投影対物鏡300は、子午断面で示されている。この子午面は、投影対物鏡300に対する対称平面である。子午面に対して対称であるのは、鏡がy軸に対してのみ偏心され、x軸に関して傾けられているためである。さらに、x座標において奇数次数（例えば、 x 、 x^3 、 x^5 など）を持つ自由形式曲面鏡に対する係数はゼロである。

30

【0080】

投影対物鏡300は13.5nmの放射光で動作するように構成され、その像側NAは0.35であり、軌跡長は1,500mmである。結像放射光の光路長は3,833mmである。したがって、光路長と軌跡長との比は約2.56である。投影対物鏡の縮小率は4x、最大歪曲は100nm未満、 W_{nns} は0.035、像面湾曲は28nmである。投影対物鏡300の追加の特性は、以下の投影対物鏡101の説明で取りあげる。

【0081】

例えば、物体平面103からの放射光路内にある第1の鏡、鏡310は正の光学力を有する。鏡320、340、360はP鏡でもある。鏡330、350は、(N)負の光学力を有する。したがって、投影対物鏡300の放射光路内の鏡の順序は、PPNPNPである。

40

【0082】

【表 1】

表面	半径 (mm)	厚さ (mm)	モード
物体	無限大	714.025	
鏡1	-1678.761	-414.025	REFL
鏡2	2754.233	564.025	REFL
鏡3	350.451	-316.293	REFL
鏡4	590.379	906.948	REFL
鏡5	433.060	-435.447	REFL
鏡6	521.283	480.767	REFL
像	無限大	0.000	

10

表 1 A

【 0 0 8 3 】

【表 2】

係数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-4.724690E+00	-9.830444E+01	-3.914225E-01	-8.227088E-01	7.162282E+00	9.391806E-02
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ²	-1.641507E-04	-1.736185E-04	-2.373278E-04	2.451198E-05	-1.557674E-04	-6.667760E-06
Y ²	-1.752262E-04	-1.741103E-04	-9.708884E-04	-3.130199E-05	1.398839E-04	9.098616E-06
X ² Y	-2.463783E-08	-2.724028E-07	6.327587E-07	-9.301810E-08	9.519017E-07	-8.040311E-10
Y ³	-3.641831E-08	-1.681535E-07	-6.103587E-07	2.218271E-08	6.329282E-07	-4.521618E-10
X ⁴	-1.405718E-10	1.314594E-09	-1.671620E-08	4.569574E-10	7.852021E-10	-5.450396E-11
X ² Y ²	-3.301633E-10	1.799995E-09	9.953323E-09	-1.957005E-10	3.524719E-09	-5.846553E-11
Y ⁴	5.029041E-11	2.141266E-09	2.197236E-09	9.287687E-10	6.846802E-09	-6.829886E-12
X ⁴ Y	2.090103E-13	4.363226E-12	-5.435284E-11	1.915106E-13	-2.016721E-11	5.660569E-15
X ² Y ³	-4.188774E-13	4.826497E-12	3.808642E-11	-5.874603E-12	-1.600920E-11	-1.079542E-14
Y ⁵	-3.154238E-13	-4.239647E-12	-9.502949E-13	9.213338E-13	7.113886E-12	-1.553415E-14
X ⁶	1.150997E-16	-5.978561E-15	1.819755E-13	1.113227E-15	-7.841517E-14	-1.105247E-16
X ⁴ Y ²	-1.278598E-15	-1.564797E-14	-9.716106E-14	4.491475E-15	2.513948E-14	-2.683146E-16
X ² Y ⁴	4.862795E-15	2.347370E-14	-8.086932E-14	-1.357215E-14	7.550314E-13	-1.006466E-16
Y ⁶	-2.281966E-15	6.013241E-15	-9.790347E-15	9.777397E-16	5.013963E-13	2.221551E-17
X ⁶ Y	1.931804E-18	-3.973144E-17	1.435292E-15	2.420914E-18	1.092143E-15	2.493748E-20
X ⁴ Y ³	1.873466E-17	-2.704307E-16	6.491544E-16	1.627727E-18	4.414328E-15	-3.302939E-21
X ² Y ⁵	-1.108422E-17	-6.723973E-16	1.496578E-17	-1.880319E-17	8.552963E-15	-3.287503E-20
Y ⁷	1.208226E-17	-3.735956E-17	5.421342E-17	-8.994976E-19	4.894980E-15	-1.747517E-20
X ⁸	-6.860939E-22	3.733020E-20	-1.370615E-17	-3.978807E-21	-1.978913E-18	-3.966972E-22
X ⁶ Y ²	-2.665919E-20	-1.577571E-19	1.832427E-17	-2.552872E-21	-2.066761E-17	-1.153602E-21
X ⁴ Y ⁴	-1.606232E-19	9.112068E-19	3.422045E-18	-4.011070E-20	-4.034354E-17	-9.786532E-22
X ² Y ⁶	-7.104780E-20	4.547933E-18	3.897160E-19	8.558317E-21	3.324806E-17	-2.054121E-22
Y ⁸	-2.837115E-20	3.557864E-20	-5.077104E-20	8.825661E-22	3.460507E-17	4.049399E-23
X ⁶ Y	1.837688E-23	1.087991E-21	-7.892883E-20	-4.154231E-23	3.418177E-20	2.593417E-25
X ⁶ Y ³	1.326930E-22	6.381757E-21	8.816591E-20	-7.838712E-23	-1.567137E-20	3.310704E-25
X ⁴ Y ⁵	5.956987E-22	3.566833E-22	3.431915E-21	-1.727422E-22	-2.315754E-19	1.062541E-25
X ² Y ⁷	4.749865E-22	-1.305899E-20	-1.115108E-21	2.927898E-23	0.000000E+00	5.083980E-27
Y ⁹	2.880675E-23	3.134161E-21	4.687247E-23	-2.354646E-24	0.000000E+00	-4.697062E-26
X ¹⁰	3.263322E-27	-1.350621E-25	7.223418E-23	3.596439E-27	0.000000E+00	-1.214434E-27
X ⁸ Y ²	-7.476461E-26	-8.102951E-24	-1.439645E-22	-6.842489E-26	0.000000E+00	-7.139344E-27
X ⁶ Y ⁴	-2.162180E-25	-1.982986E-23	1.317953E-22	-1.079450E-25	0.000000E+00	-8.881170E-27
X ⁴ Y ⁶	-8.415305E-25	-1.821358E-26	-5.971700E-24	-1.561940E-25	0.000000E+00	-3.378805E-27
X ² Y ⁸	-8.228853E-25	3.745838E-24	-3.016526E-24	3.289669E-26	0.000000E+00	1.400401E-27
Y ¹⁰	2.644302E-26	-1.118733E-23	5.389015E-25	-3.012754E-27	0.000000E+00	9.011434E-28
Nradius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y偏心	-100.000	-84.186	100.000	19.008	11.570	24.216
X回転	-7.020	-1.728	-11.272	-5.323	-2.295	-1.825

20

30

40

表 1 B

50

【 0 0 8 4 】

投影対物鏡 3 0 0 内の鏡について、鏡毎に最良フィット球面からの自由形式曲面の最大のずれは、鏡 3 1 0 では $154 \mu\text{m}$ であり、鏡 3 2 0 では $43 \mu\text{m}$ であり、鏡 3 3 0 では $240 \mu\text{m}$ であり、鏡 3 4 0 では $1,110 \mu\text{m}$ であり、鏡 3 5 0 では $440 \mu\text{m}$ であり、鏡 3 6 0 では $712 \mu\text{m}$ である。最良フィット回転対称非球面からの自由形式曲面の最大のずれは、鏡 3 1 0 では $47 \mu\text{m}$ であり、鏡 3 2 0 では $33 \mu\text{m}$ であり、鏡 3 3 0 では $96 \mu\text{m}$ であり、鏡 3 4 0 では $35 \mu\text{m}$ であり、鏡 3 5 0 では $152 \mu\text{m}$ であり、鏡 3 6 0 では $180 \mu\text{m}$ である。

【 0 0 8 5 】

鏡 3 1 0 に対する第 1 と第 2 の主曲率は、それぞれ、 9.51×10^{-4} 及び 9.30×10^{-4} である。投影対物鏡 3 0 0 内の他の鏡に対するそれぞれ第 1 と第 2 の主曲率は、鏡 3 2 0 では 2.76×10^{-5} 及び 1.56×10^{-5} であり、鏡 3 3 0 では -2.38×10^{-3} 及び -2.17×10^{-3} であり、鏡 3 4 0 では 1.79×10^{-3} 及び 1.75×10^{-3} であり、鏡 3 5 0 では -2.64×10^{-3} 及び -2.10×10^{-3} であり、さらに鏡 3 6 0 では 1.93×10^{-3} 及び 1.91×10^{-3} である。投影対物鏡 3 0 0 の第 1 の主曲率の総和は、 -3.19×10^{-4} である。第 2 の主曲率の総和は 3.29×10^{-4} である。第 1 と第 2 の主曲率の総和は、 9.97×10^{-6} であり、第 1 と第 2 の主曲率の総和の逆数は 1.00×10^5 である。

【 0 0 8 6 】

いくつかの実施形態では、投影対物鏡 1 0 1 内の鏡の配列は、物体平面 1 0 3 からの放射光を 1 つ又は複数の中間像平面に結像させる。例えば、投影対物鏡 3 0 0 は、物体平面 1 0 3 からの放射光を鏡 3 6 0 の近くの位置 3 0 5 にある中間像に結像させる。1 つ又は複数の中間像を持つ実施形態は、さらに、2 つ又はそれ以上の瞳平面を含む。いくつかの実施形態では、これらの瞳平面の少なくとも 1 つは、開口絞りを実質的にその瞳平面に置くことを目的にして物理的に接近可能である。開口絞りは、投影対物鏡の開口のサイズを定義するために使用される。

【 0 0 8 7 】

投影対物鏡 1 0 1 内の中間像におけるコマ収差は、比較的大きくできる。コマ収差は、主光線と、上側光線と下側光線が交差する点における上側光線と下側光線との間の距離により定量化されうる。いくつかの実施形態では、この距離は約 1 mm 又はそれ以上（例えば、約 2 mm 又はそれ以上、約 3 mm 又はそれ以上、約 4 mm 又はそれ以上、約 5 mm 又はそれ以上、約 6 mm 又はそれ以上、約 7 mm など）とすることができる。投影対物鏡内の中間像におけるコマ収差は、比較的小さくできる。いくつかの実施形態では、この距離は約 1 mm 又はそれ以下（例えば、約 0.1 mm 又はそれ以下、 0.01 mm 又はそれ以下）とすることができる。

【 0 0 8 8 】

一般に、投影対物鏡 1 0 1 内の鏡は、法線入射する、又は特定の範囲の入射角で入射する波長の相当量の放射光を反射するように形成される。鏡は、例えば、の法線入射放射光の約 50% 又はそれ以上（例えば、約 60% 又はそれ以上、約 70% 又はそれ以上、約 80% 又はそれ以上、約 90% 又はそれ以上、約 95% 又はそれ以上、 98% 又はそれ以上）を反射するように形成することができる。

【 0 0 8 9 】

いくつかの実施形態では、これらの鏡は、の法線入射放射光を実質的に反射するように配列されている異なる材質のフィルムの多層スタックを含む。スタック内のそれぞれのフィルムは約 $\lambda/4$ の光学的厚さを持つことができる。多層スタックは約 20 枚又はそれ以上（例えば、約 30 枚又はそれ以上、約 40 枚又はそれ以上、約 50 枚又はそれ以上）のフィルムを含むことができる。一般に、多層スタックを形成するために使用される材料は、動作波長に基づいて選択される。例えば、モリブデンとシリコン又はモリブデンとベリリウムの複数の交互に重ねたフィルムを使用して、 10 nm から 30 nm の範囲内の放射光を反射する鏡を形成することができる（例えば、それぞれ、約 13 nm 又は約 11

10

20

30

40

50

nmの (について)。一般に、モリブデンとシリコンの複数の交互に重ねたフィルムは、 $\lambda = 11 \text{ nm}$ において好ましく、モリブデンとベリリウム(IV)の複数の交互に重ねたフィルムは、 $\lambda = 13 \text{ nm}$ において好ましい。

【0090】

いくつかの実施形態では、鏡は、アルミニウムの単層でコーティングされ、 MgF_2 、 LaF_3 、又は Al_2O_3 から形成された層などの、誘電体の1つ又は複数の層でオーバーコーティングされた石英ガラスから作られる。誘電体コーティングでアルミニウムから形成された鏡は、例えば、約 193 nm の波長を持つ放射光に使用できる。

【0091】

一般に、鏡により反射される放射光の割合は、鏡面上への放射光の入射角に応じて変化する。結像放射光は多数の異なる経路に沿って反射光学投影対物鏡内を伝播するため、それぞれの鏡上への放射光の入射角は変化する。この効果は、図4を参照しつつ例示されており、これは、反射凹面401を含む、子午断面内の、鏡400の一部を示している。結像放射光は、光線410、420、430により示される光路を含む、多数の異なる光路に沿って表面401上に入射する。光線410、420、430は、表面法線が異なる表面401の一部分に入射する。これらの部分における表面法線の方向は、直線411、421、431により示されており、それぞれ、光線410、420、430に対応する。光線410、420、430は、それぞれ角度 θ_{410} 、 θ_{420} 、 θ_{430} で表面401に入射する。一般に、角度 θ_{410} 、 θ_{420} 、 θ_{430} は、変化する。

【0092】

投影対物鏡101内のそれぞれの鏡について、結像放射光の入射角は、様々な方法で特徴付けられる。特徴付けの1つは、投影対物鏡101の子午断面内のそれぞれの鏡上の子午光線の最大入射角である。子午光線は、子午断面内にある光線を意味する。一般に、 θ_{max} は、投影対物鏡101内の異なる鏡について変化する。

【0093】

いくつかの実施形態では、投影対物鏡101内のすべての鏡に対する θ_{max} の最大値は約 75° 又はそれ以下(例えば、約 70° 又はそれ以下、約 65° 又はそれ以下、約 60° 又はそれ以下、約 55° 又はそれ以下、約 50° 又はそれ以下、約 45° 又はそれ以下)である。 θ_{max} は約 5° よりも大きい(例えば、約 10° 又はそれ以上、約 20° 又はそれ以上)とすることができる。いくつかの実施形態では、 θ_{max} の最大値は、比較的低いものとしてよい。例えば、 θ_{max} の最大値は約 40° 又はそれ以下(例えば、約 35° 又はそれ以下、約 30° 又はそれ以下、約 25° 又はそれ以下、約 20° 又はそれ以下、約 15° 又はそれ以下、約 13° 又はそれ以下、約 10° 又はそれ以下)とすることができる。

【0094】

例えば、投影対物鏡300では、鏡310に対する θ_{max} は 8.22° であり、鏡320に対する θ_{max} は 10.38° であり、鏡330に対する θ_{max} は 22.35° であり、鏡340に対する θ_{max} は 7.49° であり、鏡350に対する θ_{max} は 24.58° であり、鏡360に対する θ_{max} は 6.15° である。

【0095】

いくつかの実施形態では、 θ_{max} (度)の最大値と像側NAとの比は約100又はそれ以下(例えば、約80又はそれ以下、約70又はそれ以下、約68又はそれ以下、約60又はそれ以下、約50又はそれ以下、約40又はそれ以下、約30又はそれ以下)とすることができる。

【0096】

他の特徴付けは、投影対物鏡101の子午断面内のそれぞれの鏡上の中心視野点に対応する主光線の入射角である。この角度は θ_{CR} と呼ばれる。一般に、 θ_{CR} は変化する。投影対物鏡300では、例えば、鏡310の θ_{CR} は 6.59° であり、鏡320の θ_{CR} は 7.93° であり、鏡330の θ_{CR} は 20.00° であり、鏡340の θ_{CR} は 7.13° であり、鏡350の θ_{CR} は 13.06° であり、鏡360の θ_{CR} は 5.02° である。いく

つかの実施形態では、投影対物鏡 101 内の θ_{CR} の最大値 $\theta_{CR}(\max)$ は、比較的低い値とすることができる。例えば、 $\theta_{CR}(\max)$ は約 35° 又はそれ以下（例えば、約 30° 又はそれ以下、約 25° 又はそれ以下、約 20° 又はそれ以下、約 15° 又はそれ以下、約 13° 又はそれ以下、約 10° 又はそれ以下、約 8° 又はそれ以下、約 5° 又はそれ以下）とすることができる。投影対物鏡 300 において、鏡 330 に対する θ_{CR} である $\theta_{CR}(\max)$ は 20.00° である。

【0097】

いくつかの実施形態では、 $\theta_{CR}(\max)$ (度) の最大値と像側 NA との比は約 100 又はそれ以下（例えば、約 80 又はそれ以下、約 70 又はそれ以下、約 68 又はそれ以下、約 60 又はそれ以下、約 50 又はそれ以下、約 40 又はそれ以下、約 30 又はそれ以下）とすることができる。

10

【0098】

投影対物鏡 101 内のそれぞれの鏡は、さらに、投影対物鏡 101 の子午断面に対する光線の入射角の範囲により特徴付けることもできる。鏡毎に、 θ は、 θ_{\max} と θ_{\min} との差に対応し、 θ_{\min} は、投影対物鏡 101 の子午断面内のそれぞれの鏡上の光線の最小入射角である。一般に、 θ は、投影対物鏡 101 内のそれぞれの鏡について変化しうる。いくつかの鏡については、 θ は、比較的小さい値とすることができる。例えば、 θ は約 20° 又はそれ以下（例えば、約 15° 又はそれ以下、約 12° 又はそれ以下、約 10° 又はそれ以下、約 8° 又はそれ以下、約 5° 又はそれ以下、約 3° 又はそれ以下、 2° 又はそれ以下）とすることができる。あるいは、投影対物鏡 101 内のいくつかの鏡については、 θ は、比較的大きくできる。例えば、いくつかの鏡に対する θ は約 20° 又はそれ以上（例えば、約 25° 又はそれ以上、約 30° 又はそれ以上、約 35° 又はそれ以上、約 40° 又はそれ以上）とすることができる。投影対物鏡 300 では、鏡 310 に対する θ_{\max} は 3.34° であり、鏡 320 に対する θ_{\max} は 4.92° であり、鏡 330 に対する θ_{\max} は 5.18° であり、鏡 340 に対する θ_{\max} は、 0.98° であり、鏡 350 に対する θ_{\max} は 24.07° であり、鏡 360 に対する θ_{\max} は 2.77° である。

20

【0099】

いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 内のすべての鏡に対する θ_{\max} の最大値、 θ_{\max} は、比較的低い値とすることができる。例えば、 θ_{\max} は約 25° 又はそれ以下（例えば、約 20° 又はそれ以下、約 15° 又はそれ以下、約 12° 又はそれ以下、約 10° 又はそれ以下、約 9° 又はそれ以下、約 8° 又はそれ以下、約 7° 又はそれ以下、約 6° 又はそれ以下、約 5° 又はそれ以下、 3° など）とすることができる。投影対物鏡 300 について、 θ_{\max} は 24.07° である。

30

【0100】

投影対物鏡 101 内の放射光路を特徴付ける他の方法は、それぞれの鏡における主光線倍率によるものであり、これは、それぞれの鏡からの反射前と反射後の主光線（例えば、子午断面内の）と基準軸 105 との間の角度の正接の商を指す。例えば、主光線 501 は、鏡 510 からの反射の前に基準軸 105 から発散し、鏡 510 から反射し、基準軸 105 に向かって戻る図 5A を参照すると、鏡 510 は正の主光線角度倍率を有する。あるいは、図 5B を参照すると、主光線 502 が鏡 520 からの反射前と反射後の両方で基準軸 105 から発散する場合、鏡 520 は負の主光線角度倍率を有する。両方の場合において、主光線倍率は、 $\tan(\theta_1) / \tan(\theta_2)$ によって与えられる。いくつかの実施形態において、正の主光線角度倍率を持つ複数の鏡を有することは、投影対物鏡内の 1 つ又は複数の鏡上の比較的大きな入射角に対応しうる。したがって、正の主光線角度倍率を持つ鏡をただ 1 つ有する投影対物鏡は、さらに、鏡上への比較的低い入射角を示しうる。投影対物鏡 300 では、鏡 310、320、330、350 は負の主光線角度倍率を有するが、鏡 340 は正の主光線角度倍率を有する。

40

【0101】

投影対物鏡 101 内の鏡の相対的間隔は、投影対物鏡の特定の設計に応じて変化しうる

50

。隣接する鏡の間の比較的広い距離（放射光路に関して）は、鏡上への比較的低い入射光線角に対応する。いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 は、投影対物鏡軌跡長の 50% を超える長さだけ隔てられた少なくとも一对の隣接する鏡を含むことができる。例えば、投影対物鏡 300 において、鏡 340 と 350 は、投影対物鏡の軌跡長の 50% を超える長さだけ隔てられる。

【0102】

いくつかの実施形態では、物体平面と放射線光路内の第 1 の鏡との間の大きな相対距離 d_{op-1} を物体平面と放射線光路内の第 2 の鏡との間の距離 d_{op-2} と比較させることも、鏡上への比較的低い入射光線角に対応する。例えば、 d_{op-1} / d_{op-2} が約 2 又はそれ以上（例えば、約 2.5 又はそれ以上、約 3 又はそれ以上、約 3.5 又はそれ以上、約 4 又はそれ以上、約 4.5 又はそれ以上、約 5 又はそれ以上）である実施形態も、比較的低い入射光線角を持つ。投影対物鏡 300 では、 d_{op-1} / d_{op-2} は 2.38 である。

10

【0103】

一般に、投影対物鏡 101 内の鏡のフットプリントのサイズと形状は、異なることがある。フットプリント形状とは、 $x - y$ 平面上に投影された鏡の形状のことである。鏡のフットプリントは、円形、卵形、多角形（例えば、矩形、正方形、六角形）、又は不規則な形とすることができる。いくつかの実施形態では、フットプリントは、投影対物鏡 101 の子午面に対して対称的である。

【0104】

いくつかの実施形態では、鏡のフットプリントは、最大寸法が 1,500 mm 又はそれ以下（例えば、約 1,400 mm 又はそれ以下、約 1,300 mm 又はそれ以下、約 1,200 mm 又はそれ以下、約 1,100 mm 又はそれ以下、約 1,000 mm 又はそれ以下、約 900 mm 又はそれ以下、約 800 mm 又はそれ以下、約 700 mm 又はそれ以下、約 600 mm 又はそれ以下、約 500 mm 又はそれ以下、約 400 mm 又はそれ以下、約 300 mm 又はそれ以下、約 200 mm 又はそれ以下、約 100 mm 又はそれ以下）である。鏡のフットプリントは約 10 mm よりも大きい（例えば、約 20 mm 又はそれ以上、約 50 mm 又はそれ以上）最大寸法を有することができる。

20

【0105】

卵形のフットプリントを持つ鏡 600 の一実施例が図 6A に示されている。鏡 600 は、 M_x で与えられる x 方向に最大寸法を有する。いくつかの実施形態では、 M_x は約 1,500 mm 又はそれ以下（例えば、約 1,400 mm 又はそれ以下、約 1,300 mm 又はそれ以下、約 1,200 mm 又はそれ以下、約 1,100 mm 又はそれ以下、約 1,000 mm 又はそれ以下、約 900 mm 又はそれ以下、約 800 mm 又はそれ以下、約 700 mm 又はそれ以下、約 600 mm 又はそれ以下、約 500 mm 又はそれ以下、約 400 mm 又はそれ以下、約 300 mm 又はそれ以下、約 200 mm 又はそれ以下、約 100 mm 又はそれ以下）である。 M_x は約 10 mm よりも大きく（例えば、約 20 mm 又はそれ以上、約 50 mm 又はそれ以上）することができる。

30

【0106】

鏡 600 は、子午線 601 に対して対称的である。鏡 600 は、子午線 601 に沿って寸法 M_y を持つ。鏡 600 については、 M_y は、 M_x よりも小さいが、より一般的には、 M_y は、 M_x よりも小さいか、同じサイズであるか、又は大きくてもよい。いくつかの実施形態では、 M_y は約 $0.1 M_x$ から約 M_x （例えば、約 $0.2 M_x$ 又はそれ以上、約 $0.3 M_x$ 又はそれ以上、約 $0.4 M_x$ 又はそれ以上、約 $0.5 M_x$ 又はそれ以上、約 $0.6 M_x$ 又はそれ以上、約 $0.7 M_x$ 又はそれ以上、約 $0.8 M_x$ 又はそれ以上、約 $0.9 M_x$ 又はそれ以上）の範囲内にある。あるいは、いくつかの実施形態では、 M_y は約 $2 M_x$ から約 $10 M_x$ までの範囲など、約 $1.1 M_x$ 又はそれ以上（例えば、約 $1.5 M_x$ 又はそれ以上）とすることができる。 M_y は約 1,000 mm 又はそれ以下（例えば、約 900 mm 又はそれ以下、約 800 mm 又はそれ以下、約 700 mm 又はそれ以下、約 600 mm 又はそれ以下、約 500 mm 又はそれ以下、約 400 mm 又はそれ以下、約 300 mm 又はそれ以下、約 200 mm 又はそれ以下、約 100 mm 又はそれ以下）とすることができる

40

50

。 M_y は約 10 mm よりも大きい (例えば、約 20 mm 又はそれ以上、約 50 mm 又はそれ以上) とすることができる。

【0107】

投影対物鏡 300 において、鏡 310 に対する M_x と M_y は、それぞれ、303 mm 及び 139 mm であり、鏡 320 に対する M_x と M_y は、それぞれ、187 mm 及び 105 mm であり、鏡 330 に対する M_x と M_y は、それぞれ、114 mm 及び 62 mm であり、鏡 340 に対する M_x と M_y は、それぞれ、299 mm 及び 118 mm であり、鏡 350 に対する M_x と M_y は、それぞれ、99 mm 及び 71 mm であり、鏡 360 に対する M_x と M_y は、それぞれ、358 mm 及び 332 mm である。

【0108】

いくつかの実施形態では、鏡の底部は 1 つ又は複数の方向に鏡面 (つまり、結像放射光を反射する鏡の部分) を超えて伸びる。例えば、鏡の底部は、 x 及び y 方向に光学活性面を超えて約 10 mm 又はそれ以上 (例えば、約 20 mm 又はそれ以上、約 30 mm 又はそれ以上、約 40 mm 又はそれ以上、約 50 mm 又はそれ以上) 伸びることができる。鏡底部伸長は、取り付け装置に装着できる光学活性でない表面を設けることにより投影対物鏡 101 内に鏡を取り付けやすくする。

【0109】

好ましくは、鏡底部伸長は、投影対物鏡 101 内の放射光を塞ぐ方向にあってはならない。鏡の縁と鏡を通るときの放射光路との間の距離は、鏡の縁に最も近い光線と鏡により反射される鏡の縁に最も近い位置にある光線との間の最小距離である、「フリーボード」と呼ばれるパラメータに関係する。いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 は約 20 mm 又はそれ以上 (例えば、約 25 mm 又はそれ以上、約 30 mm 又はそれ以上、約 35 mm 又はそれ以上、約 40 mm 又はそれ以上、約 45 mm 又はそれ以上、約 50 mm 又はそれ以上) のフリーボードを備える 1 つ又は複数の鏡を含むことができる。フリーボードが大きければ、投影対物鏡は、結像放射光を閉塞することなく延長された鏡底部を受け入れることができるため鏡の加工が柔軟に行える。しかし、比較的小さいフリーボードは、投影対物鏡内の鏡上への低い入射光線角に対応しうる。いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 は約 15 mm 又はそれ以下 (例えば、約 12 mm 又はそれ以下、約 10 mm 又はそれ以下、約 8 mm 又はそれ以下、約 5 mm 又はそれ以下) のフリーボードを備える 1 つ又は複数の鏡を含むことができる。いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 は 5 mm から 25 mm までの範囲のフリーボードを有する 1 つ又は複数の鏡を含む。例えば、投影対物鏡 300 では、鏡 310、320、330、350、360 は 5 mm から 25 mm までの範囲のフリーボードを有する。

【0110】

一般に、投影対物鏡 101 における鏡の厚さは異なることがある。鏡の厚さとは、その光学面の法線方向の鏡の寸法のことである。鏡は、一般に、投影対物鏡内に取り付けやすい十分な厚さを持たなければならない。図 6 B を参照すると、鏡 600 の厚さは、最大厚さ T_{max} と最小厚さ T_{min} により特徴付けられる。典型的には、 T_{max} と T_{min} との差は、鏡面の曲率と鏡の底部の構造に依存する。いくつかの実施形態において、 T_{max} は約 200 mm 又はそれ以下 (例えば、約 150 mm 又はそれ以下、約 100 mm 又はそれ以下、約 80 mm 又はそれ以下、約 60 mm 又はそれ以下、約 50 mm 又はそれ以下、約 40 mm 又はそれ以下、約 30 mm 又はそれ以下、約 20 mm 又はそれ以下) である。いくつかの実施形態では、 T_{min} は約 1 mm 又はそれ以上 (例えば、約 2 mm 又はそれ以上、約 5 mm 又はそれ以上、約 10 mm 又はそれ以上、約 20 mm 又はそれ以上、約 50 mm 又はそれ以上、約 100 mm 又はそれ以上) である。

【0111】

いくつかの実施形態では、投影対物鏡内の任意の鏡の最大寸法は約 1,500 mm 又はそれ以下 (例えば、約 1,400 mm 又はそれ以下、約 1,300 mm 又はそれ以下、約 1,200 mm 又はそれ以下、約 1,100 mm 又はそれ以下、約 1,000 mm 又はそれ以下、約 900 mm 又はそれ以下、約 800 mm 又はそれ以下、約 700 mm 又はそれ

10

20

30

40

50

以下、約 600 mm 又はそれ以下、約 500 mm 又はそれ以下、約 300 mm など) である。いくつかの実施形態では、投影対物鏡内の任意の鏡の最大寸法は約 10 mm 又はそれ以上 (例えば、約 20 mm 又はそれ以上、約 30 mm 又はそれ以上、約 40 mm 又はそれ以上、約 50 mm 又はそれ以上、約 75 mm 又はそれ以上、約 100 mm 又はそれ以上) である。

【0112】

一般に、投影対物鏡 101 の視野の形状は変化できる。いくつかの実施形態では、視野は、リング弧の形状など、弓形である。図 7A を参照すると、リング弧状視野 700 は、 x 次元 d_x 、 y 次元 d_y 、半径方向次元 d_r により特徴付けられる。 d_x 及び d_y は、それぞれ x 方向及び y 方向に沿った視野の寸法に対応する。 d_r は、軸 705 から視野の内側境界 700 まで測定されたリング半径に対応する。リング弧状視野 700 は、 $y-z$ 平面に平行な平面に対して対称的であり、これは直線 710 により示されている。一般に、 d_x 、 d_y 、 d_r のサイズは、投影対物鏡 101 の設計により異なる。典型的には、 d_y は、 d_x よりも小さい。物体平面 103 と像平面 102 における視野寸法 d_x 、 d_y 、 d_r の相対サイズは、投影対物鏡 101 の拡大率又は縮小率に応じて異なる。

10

【0113】

いくつかの実施形態では、 d_x は、像平面 102 において比較的大きい。例えば、像平面 102 における d_x は 1 mm よりも大きいもの (例えば、約 3 mm 又はそれ以上、約 4 mm 又はそれ以上、約 5 mm 又はそれ以上、約 6 mm 又はそれ以上、約 7 mm 又はそれ以上、約 8 mm 又はそれ以上、約 9 mm 又はそれ以上、約 10 mm 又はそれ以上、約 11 mm 又はそれ以上、約 12 mm 又はそれ以上、約 13 mm 又はそれ以上、約 14 mm 又はそれ以上、約 15 mm 又はそれ以上、約 18 mm 又はそれ以上、約 20 mm 又はそれ以上、約 25 mm 又はそれ以上) としてよい。 d_x は約 100 mm 又はそれ以下 (例えば、約 50 mm 又はそれ以下、約 30 mm 又はそれ以下) とすることができる。像平面 102 における d_y は約 0.5 mm から約 5 mm までの範囲内 (例えば、約 1 mm、約 2 mm、約 3 mm、約 4 mm) とすることができる。

20

【0114】

典型的には、像平面 102 における d_r は約 10 mm 又はそれ以上である。例えば、 d_r は、像平面 102 において約 15 mm 又はそれ以上 (例えば、約 20 mm 又はそれ以上、約 25 mm 又はそれ以上、約 30 mm 又はそれ以上) とすることができる。いくつかの実施形態では、 d_r は、極端に大きくてもよい (例えば、約 1 m 又はそれ以上、約 5 m 又はそれ以上、約 10 m 又はそれ以上)。いくつかの実施形態では、視野の形状は矩形であり、 d_r は無限大である。例えば、投影対物鏡 300 は、矩形の視野を有する。特に、投影対物鏡 300 は、像平面内で測定して、 y 次元が 2 mm 及び x 次元が 26 mm となる矩形の視野を有する。

30

【0115】

より一般的には、他の視野形状について、投影対物鏡 101 は、像平面 102 において 1 mm よりも大きい (例えば、約 3 mm 又はそれ以上、約 4 mm 又はそれ以上、約 5 mm 又はそれ以上、約 6 mm 又はそれ以上、約 7 mm 又はそれ以上、約 8 mm 又はそれ以上、約 9 mm 又はそれ以上、約 10 mm 又はそれ以上、約 11 mm 又はそれ以上、約 12 mm 又はそれ以上、約 13 mm 又はそれ以上、約 14 mm 又はそれ以上、約 15 mm 又はそれ以上、約 18 mm 又はそれ以上、約 20 mm 又はそれ以上、約 25 mm 又はそれ以上) 最大視野寸法を持つことができる。いくつかの実施形態では、投影対物鏡は約 100 mm 以下 (例えば、約 50 mm 又はそれ以下、約 30 mm 又はそれ以下) の最大視野寸法を有する。

40

【0116】

いくつかの実施形態では、像視野形状は、投影対物鏡 101 を使用して露光されるウェハ上のダイ部位の形状に (例えば、1 つ又は複数の次元において) 対応しうる。例えば、像視野は、ウェハを露光するときにオーバースキャンを低減させるように形成できる。オーバースキャンとは、部位全体を露光するためにダイ部位の縁を超えて像視野をスキャン

50

する必要があることである。一般に、これは、像視野の形状がダイ部位の形状に一致しない場合に生じる。

【0117】

オーバースキャンは、像視野の前縁とダイ部位の後縁の隅がむき出しになっている位置におけるダイ部位の後縁との間の最大距離の比（例えば、パーセンテージで表される）により特徴付けることができる。図7Bを参照すると、オーバースキャンは、 d_{os} と d_y との比に対応しており、 d_{os} は、像視野700の前縁と隅721及び722がむき出しになっている位置におけるダイ部位720の後縁との間の距離である。いくつかの実施形態では、投影対物鏡は、比較的低いオーバースキャンを生じる可能性がある。例えば、投影対物鏡は約5%又はそれ以下（例えば、約4%又はそれ以下、約3%又はそれ以下、約2%又はそれ以下、約1%又はそれ以下、約0.5%又はそれ以下、約0.1%又はそれ以下）のオーバースキャンを生じうる。

10

【0118】

いくつかの実施形態では、投影対物鏡101は、オーバースキャン・ゼロで使用できる。例えば、図7Cを参照すると、正方形のダイ部位740を露光するために像視野730が使用される実施形態において、スキャンは、オーバースキャン・ゼロで実行できる。

【0119】

図8を参照すると、一般に、投影対物鏡101では、投影対物鏡の特定の設計に応じて変化する物体-像シフト d_{ois} が入り込む。物体-像シフトとは、 $x-y$ 平面内で測定された、物体視野内の対応する点から像視野内の一点までの距離のことである。光軸（投影対物鏡内のそれぞれの鏡に対する回転対称の共通軸）を持つ投影対物鏡では、物体-像シフトは、式

20

$$d_{ois} = h_0 (1 - M)$$

を使用して計算することができるが、ただし、 h_0 は、光軸からの物体視野内の中心視野点の $x-y$ 平面内の距離であり、 M は、投影対物鏡拡大率である。例えば、投影対物鏡では、縮小率は $4\times$ （つまり、 $M = 0.25$ ）であり、中心視野点が光軸から120mmのところであれば、 d_{ois} は、90mmである。

【0120】

いくつかの実施形態では、投影対物鏡101は比較的小さな物体-像シフトを生じる。例えば、投影対物鏡に生じる物体-像シフトはゼロである。比較的小さな物体像シフトを持つ投影対物鏡では、光学設計は比較的細いものとなりうる。さらに、物体-像シフトが0である実施形態では、投影対物鏡101は、例えばステージ130に対して中心視野点が平行移動することなく物体視野と像視野内の中心視野点と交差する軸を中心に回転させることができる。これは、例えば、投影対物鏡101に関してウェハを検査し、位置を揃えるための計測ツール（例えば、米国特許第6,240,158B1号で開示されているものなどの検出光学系）が、中心視野点の公称位置に置かれる場合に有利なものとなりえるが、それは、中心視野点は、投影対物鏡が回転する場合にこの位置に関して平行移動されないからである。したがって、物体-像シフトがゼロであれば、動作の過程で投影対物鏡が回転の影響を受ける場合に投影対物鏡101の計測と検査を簡単に行うことができる。これは、図8に例示されており、像平面150内の検出面、例えば、2次元CCDアレイとともに配置されている検査及び計測ツール150aを示している。検査及び計測ツール150aは、軸105と一致する基準軸が、検出面の中心点と交差するように配列される。検査及び計測ツール150aの検出面の横方向伸長は、物体-像シフト d_{ois} よりも大きい。物体-像シフト d_{ois} が小さいので、計測及び検査ツール150aは、基準軸105を中心とする投影対物鏡101の回転に関係なく投影対物鏡101の投影品質を測定することができる。

30

40

【0121】

いくつかの実施形態では、投影対物鏡101は約80mm又はそれ以下（例えば、約60mm又はそれ以下、約50mm又はそれ以下、約40mm又はそれ以下、約30mm又はそれ以下、約20mm又はそれ以下、約15mm又はそれ以下、約12mm又はそれ以

50

下、約 10 mm 又はそれ以下、約 8 mm 又はそれ以下、約 5 mm 又はそれ以下、約 4 mm 又はそれ以下、約 3 mm 又はそれ以下、約 2 mm 又はそれ以下、約 1 mm 又はそれ以下) の d_{ois} を有する。例えば、投影対物鏡 300 の d_{ois} は 57 mm である。

【0122】

投影対物鏡 101 の実施形態は、比較的大きな像側自由作動距離を取りうる。像側自由作動距離とは、像平面 102 と結像放射光を反射する像平面 102 に最も近い鏡の鏡面との間の最短距離のことである。自由作動距離のこの定義は、自由作動距離が常に光軸において測定される回転対称面を有する従来の光学系における定義と異なる。本出願による定義に関する自由作動距離は、図 9 に例示されており、これは、鏡 810 を像平面 102 に最も近い鏡として示している。放射光は、鏡 810 の表面 811 から反射する。像側自由作動距離は、 d_w として表される。いくつかの実施形態では、 d_w は約 25 mm 又はそれ以上 (例えば、約 30 mm 又はそれ以上、約 35 mm 又はそれ以上、約 40 mm 又はそれ以上、約 45 mm 又はそれ以上、約 50 mm 又はそれ以上、約 55 mm 又はそれ以上、約 60 mm 又はそれ以上、約 65 mm 又はそれ以上) である。いくつかの実施形態では、 d_w は約 200 mm 又はそれ以下 (例えば、約 150 mm 又はそれ以下、約 100 mm 又はそれ以下、約 50 mm 又はそれ以下) である。例えば、投影対物鏡 300 は約 45 mm の像側自由作動距離を有する。比較的大きな作動距離が望ましいのは、これにより、像平面 102 に面している鏡 810 の側と接触せずに基板 150 の表面を像平面 102 に配置することができるからである。

【0123】

同様に、物体側自由作動距離とは、物体平面 103 と結像放射光を反射する物体平面 103 に最も近い投影対物鏡 101 内の鏡の反射側の鏡面との間の最短距離のことである。いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 は、比較的大きな物体側自由作動距離を有する。例えば、投影対物鏡 101 の物体側自由作動距離は約 50 mm 又はそれ以上 (例えば、約 100 mm 又はそれ以上、約 150 mm 又はそれ以上、約 200 mm 又はそれ以上、約 250 mm 又はそれ以上、約 300 mm 又はそれ以上、約 350 mm 又はそれ以上、約 400 mm 又はそれ以上、約 450 mm 又はそれ以上、約 500 mm 又はそれ以上、約 550 mm 又はそれ以上、約 600 mm 又はそれ以上、約 650 mm 又はそれ以上、約 700 mm 又はそれ以上、約 750 mm 又はそれ以上、約 800 mm 又はそれ以上、約 850 mm 又はそれ以上、約 900 mm 又はそれ以上、約 950 mm 又はそれ以上、約 1,000 mm 又はそれ以上) とすることができる。いくつかの実施形態では、物体側自由作動距離は約 2,000 mm 以下 (例えば、約 1,500 mm 又はそれ以下、約 1,200 mm 又はそれ以下、約 1,000 mm 又はそれ以下) である。例えば、投影対物鏡 300 は約 300 mm の物体側自由作動距離を有する。比較的大きな物体側自由作動距離は、投影対物鏡 101 と物体平面 103 との間の空間への接近が望ましい実施形態において好都合である場合がある。例えば、レチクル 140 が反射レチクルである実施形態では、対物鏡 101 に面する側からレチクルを照らす必要がある。したがって、投影対物鏡 101 と物体平面 103 との間に、所望の照明角度で照明系 120 によりレチクルを十分に照らせる空間がなければならない。さらに、一般に、物体側自由作動距離が大きいほど、例えば、投影対物鏡 101 とレチクル 140 の支持構造物との間に他のコンポーネント (例えば、一様性フィルタ) を取り付けのに十分な空間を設けることによりツールの残り部分を柔軟に設計できる。

【0124】

一般に、投影対物鏡 101 は、主光線がレチクル 140 に収束するか、発散するか、互いに実質的に平行となるように設計することができる。それに対応して、物体平面 103 に関して投影対物鏡 101 の入射瞳の位置は、変わりうる。例えば、主光線がレチクル 140 に収束する場合、入射瞳は、物体平面 103 の像平面側に配置される。逆に、主光線がレチクル 140 で発散する場合、物体平面 103 は、入射瞳と像平面 102 との間に配置される。さらに、物体平面 103 と入射瞳との間の距離は変わりうる。いくつかの実施形態では、入射瞳は、物体平面 103 から約 1 m 又はそれ以上 (例えば、約 2 m 又はそれ

10

20

30

40

50

以上、約 3 m 又はそれ以上、約 4 m 又はそれ以上、約 5 m 又はそれ以上、約 8 m 又はそれ以上、約 10 m 又はそれ以上) 離れたところに配置される(物体平面 103 に垂直な軸に沿って測定される)。いくつかの実施形態では、入射瞳は、物体平面 103 に対して無限遠に配置される。これは、主光線がレチクル 140 で互いに平行となる場所に対応する。投影対物鏡 300 では、物体平面 103 の中心視野点における主光線の入射角は 7° であり、中心視野点主光線からの主光線角の最大変動量は、0.82° である。入射瞳は、像平面 102 から物体平面 103 の反対側にある物体平面 103 から 1,000 mm のところに配置される。

【0125】

照明系 120 は、照明系の射出瞳が、実質的に投影対物鏡 101 の入射瞳のところに位置するように配列される。いくつかの実施形態において、照明系 120 は、照明系の射出瞳を投影対物鏡 101 の入射瞳の位置に投影するテレスコープ・サブシステムを含む。しかし、いくつかの実施形態では、照明系 120 の射出瞳は、照明系内のテレスコープを使用せずに、投影対物鏡 101 の入射瞳のところに位置決めされる。例えば、物体平面 103 は、投影対物鏡 101 と投影対物鏡の入射瞳との間にある場合、照明系 120 の射出瞳は、照明系内のテレスコープを使用せずに投影対物鏡の入射瞳と一致する。

10

【0126】

一般に、投影対物鏡 101 は、ZEMAX、OSLO、又は Code V のような市販の光学設計用ソフトウェアを使用して設計することができる。典型的には、設計は、例えば、放射波長、視野サイズ、開口数などのパラメータとともに初期の投影対物設計(例えば、鏡の配列)を指定することから始まる。次に、この code で、例えば、波面誤差、歪曲、テレセントリック性、像面湾曲などの指定された光学性能基準に関して設計を最適化する。

20

【0127】

いくつかの実施形態では、初期投影対物鏡は、光軸を中心とする回転対称鏡(例えば、球面鏡又は非球面鏡)で指定される。それぞれの鏡は、光軸から鏡がいくつかの事前設定基準を満たす位置へ偏心させられる。例えば、それぞれの鏡を、特定の視野について鏡上への主光線入射角を最小にする量だけ光軸から偏心させる。いくつかの実施形態では、いくつかの鏡は約 5 mm 又はそれ以上(例えば、約 10 mm 又はそれ以上、約 20 mm 又はそれ以上、約 30 mm 又はそれ以上、約 50 mm 又はそれ以上)だけ偏心される。いくつかの実施形態では、鏡は約 200 mm 又はそれ以下(例えば、約 180 mm 又はそれ以下、約 150 mm 又はそれ以下、約 120 mm 又はそれ以下、約 100 mm 又はそれ以下)だけ偏心される。

30

【0128】

あるいは、又はそれに加えて、鏡がいくつかの事前設定基準を満たす位置へそれぞれの鏡を傾けることができる。この傾きは、投影対物鏡の初期構成の光軸に関するそれぞれの鏡対称軸の向きを意味する。いくつかの鏡は約 1° 又はそれ以上(例えば、約 2° 又はそれ以上、約 3° 又はそれ以上、約 4° 又はそれ以上、約 5° 又はそれ以上)だけ傾けることができる。いくつかの実施形態では、鏡は約 20° 又はそれ以下(例えば、約 15° 又はそれ以下、約 12° 又はそれ以下、約 10° 又はそれ以下)だけ傾けられる。

40

【0129】

偏心及び/又は傾斜の後、それぞれの鏡に対する自由形式曲面形状は、指定された光学性能基準に合わせて投影対物鏡設計を最適化すると判断できる。

【0130】

鏡に加えて、投影対物鏡 101 は 1 つ又は複数の開口絞りなどの 1 つ又は複数のコンポーネントを含むことができる。一般に、開口絞りの形状は異なる。開口絞りの実施例は、円形開口絞り、楕円形開口絞り、/又は多角形開口絞りを含む。開口絞りは、像放射光が開口絞りを 2 回又は 1 回通過するように位置決めされる。開口絞りは、投影対物鏡 101 内で入れ換えることができ、/又は調節可能な開口を持つことができる。

【0131】

50

いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 は視野絞りを含む。例えば、投影対象が中間像を含む実施形態では、視野絞りは、中間像のところに、又はその近くに配置できる。

【0132】

実施形態は、パッフルを含むことができる（例えば、迷放射光からウェハを遮蔽するため）。いくつかの実施形態では、投影対物鏡 101 は、投影対物鏡内の鏡の位置の変化を監視するためのコンポーネント（例えば、干渉計）を含むことができる。この情報は、鏡を調節して、鏡と鏡との間の相対的移動を補正するために使用することができる。鏡の調節は、自動化できる。鏡の位置を監視/調節するためのシステムの例は、米国特許第 6,549,270 B1 号で開示されている。

【0133】

図 10 を参照すると、投影対物鏡 1000 の一実施形態は 6 個の鏡 1010、1020、1030、1040、1050、1060 を含み、その像側開口数は 0.35 であり、動作波長は 13.5 nm である。鏡 1010、1020、1030、1040、1050、1060 は、すべての自由形式曲面鏡である。投影対物鏡 1000 は、物体平面 103 からの放射光を縮小率 4x で像平面 102 に結像する。投影対物鏡 1000 の軌跡長は 1497 mm であり、結像放射光の光路長は 4760 mm である。したがって、光路長と軌跡長との比は約 3.18 である。

【0134】

投影対物鏡 1000 の入射瞳は、物体平面 103 から 1,000 mm のところに配置され、物体平面は入射瞳と複数の鏡との間に位置する。反射レチクルが物体平面 103 のところに位置するため、照明光学系を、入射瞳に対応する位置 1070 に配置することができる。物体平面 103 の中心視野点の主光線の角度は 7° である。物体平面 103 の主光線の角度の最大変化は、0.82° である。

【0135】

投影対物鏡 1000 は、矩形の視野を有する。像側視野幅 d_x は 26 mm である。像側視野長 d_y は 2 mm である。投影対物鏡 1000 の物体 - 像シフトは 13 mm である。

【0136】

投影対物鏡 1000 の性能は、0.021 の像側 W_{rms} を含む。歪曲は 10 nm 未満であり、像側像面湾曲は 19 nm である。投影対物鏡 1000 は、鏡 1040 と 1050 との間に中間像を形成する。中間像のコマ収差は比較的大きい。特に、主光線と、上側光線及び下側光線が交差する位置における上側光線と下側光線との間の距離は 7 mm である。

【0137】

物体平面 103 から像平面 102 までの放射光路のオーダーの鏡の光学力は以下のとおりである。鏡 1010 は正の光学力を有し、鏡 1020 は負の光学力を有し、鏡 1030 は正の光学力を有し、鏡 1040 は正の光学力を有し、鏡 1050 は負の光学力を有し、鏡 1060 は正の光学力を有する。

【0138】

$M_x \times M_y$ として与えられる、それぞれの鏡のフットプリントの寸法は、鏡 1010 については 323 mm × 152 mm であり、鏡 1020 については 107 mm × 59 mm であり、鏡 1030 については 297 mm × 261 mm であり、鏡 1040 については 277 mm × 194 mm であり、鏡 1050 については、99 mm × 72 mm であり、鏡 1060 については 268 mm × 243 mm である。

【0139】

最良フィット球面からの鏡 1010 の最大逸脱は 475 μm である。鏡 1020、1030、1040、1050、1060 の最良フィット球面からの最大の逸脱は、それぞれ、1,234 μm、995 μm、1,414 μm、170 μm、416 μm である。最良フィット非球面からのそれぞれの鏡の最大の逸脱は、鏡 1010、1020、1030、1040、1050、1060 についてそれぞれ 236 μm、102 μm、102 μm、148 μm、54 μm、372 μm である。

10

20

30

40

50

【0140】

鏡1010に対する第1と第2の主曲率は、それぞれ、 1.16×10^{-3} と 1.05×10^{-3} である。投影対物鏡1000内の他の鏡に対するそれぞれ第1と第2の主曲率は、鏡1020では -3.02×10^{-3} と -1.13×10^{-3} であり、鏡1030では 5.97×10^{-4} と 4.96×10^{-4} であり、鏡1040では 5.50×10^{-4} と 3.63×10^{-4} であり、鏡1050では -2.24×10^{-3} と -2.04×10^{-3} であり、鏡1060では 2.57×10^{-3} と 2.48×10^{-3} である。投影対物鏡1000の第1の主曲率の総和は、 -3.78×10^{-4} である。第2の主曲率の総和は 1.22×10^{-3} である。第1と第2の主曲率は 8.45×10^{-4} であり、第1と第2の主曲率の総和の逆数は 1.18×10^3 である。

10

【0141】

中心視野点の主光線入射角は、鏡1010、1020、1030、1040、1050、1060についてそれぞれ 3.40° 、 9.86° 、 6.48° 、 10.13° 、 13.66° 、 7.00° である。子午断面に対するそれぞれの鏡上の最大入射角 θ_{\max} は、鏡1010、1020、1030、1040、1050、1060についてそれぞれ 3.94° 、 10.42° 、 7.45° 、 14.34° 、 24.28° 、 8.61° である。鏡1010、1020、1030、1040、1050、1060に対する θ_{\max} は、それぞれ 1.13° 、 2.74° 、 3.42° 、 9.96° 、 23.69° 、 3.95° である。

20

【0142】

鏡1010、1020、1030、1050、1060は5mmよりも大きく、25mmよりも小さいフリーボードを有する。鏡1030は正の主光線角度倍率を有するが、鏡1040及び1050は負の主光線角度倍率を有する。

【0143】

投影対物鏡1000の像側自由作動距離は45mmである。物体側自由作動距離は252mmである。

【0144】

投影対物鏡1000では、 d_{op-1} / d_{op-2} は3.14である。さらに、隣接する鏡の対1020と1030、1030と1040、1040と1050は、投影対物鏡の軌跡長の50%を超える長さだけ隔てられる。さらに、鏡1010と物体平面103との間の距離は、投影対物鏡の軌跡長の50%を超える長さである。

30

【0145】

投影対物鏡1000に対するデータは、以下の表2Aと表2Bに示されている。表2Aと2B及び後続の表におけるパラメータとそのパラメータの単位は、上の表1Aと1Bに示されている対応するパラメータ及び単位と同じである。表2Aは、光学データを示しているが、表2Bは、鏡面のそれぞれに対する自由形式曲面定数を示している。表2Aと表2Bの目的に関して、鏡1(M1)は鏡1010に対応し、鏡2(M2)は鏡1020に対応し、鏡3(M3)は鏡1030に対応し、鏡4(M4)は鏡1040に対応し、鏡5(M5)は鏡1050に対応し、鏡6(M6)は鏡1060に対応するという形で鏡の参照番号は相関している。

40

【0146】

【表 3】

表面	半径 (mm)	厚さ (mm)	モード
物体	無限大	788.884	
鏡1	-651.356	-537.372	REFL
鏡2	-463.216	952.014	REFL
鏡3	-1710.243	-783.854	REFL
鏡4	1821.345	1032.444	REFL
鏡5	309.420	-306.504	REFL
鏡6	405.847	351.549	REFL
像	無限大	0.000	

10

表 2 A

【 0 1 4 7 】

【表 4】

係数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-5.925412E-01	1.525505E+00	-1.851822E+00	3.314097E+00	1.983829E+00	2.009323E-01
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ²	2.471303E-04	6.505963E-04	7.593410E-05	2.922157E-05	-4.716078E-04	1.426720E-05
Y ²	1.863347E-04	6.677442E-05	-2.868206E-05	-7.428048E-05	-3.446472E-04	5.312976E-05
X ² Y	-3.545294E-08	-2.891983E-06	1.046420E-07	9.891278E-08	2.877558E-06	-2.714955E-08
Y ³	-1.873281E-08	-3.078489E-06	-7.296056E-08	-3.920160E-08	1.288669E-06	-9.898583E-09
X ⁴	1.180642E-11	3.342373E-10	-3.287877E-11	-8.971583E-11	3.862440E-10	-8.982825E-11
X ² Y ²	3.437144E-11	5.937123E-09	-2.687658E-11	-7.769409E-11	1.693138E-08	2.462964E-11
Y ⁴	9.863178E-11	-2.340521E-08	-1.605207E-10	-1.806038E-10	-2.208217E-09	-3.099979E-11
X ⁴ Y	-4.051355E-14	1.381955E-13	-2.895532E-14	5.170900E-14	4.797213E-11	-4.214964E-14
X ² Y ³	-2.144219E-13	-2.531232E-10	-1.637831E-13	2.916068E-13	1.961281E-10	-3.785260E-14
Y ⁵	-2.415401E-14	1.279499E-10	-7.226386E-14	1.273503E-13	2.976407E-11	4.394992E-14
X ⁶	-2.920211E-17	1.949737E-14	-1.774795E-17	-2.785422E-16	8.466233E-14	-5.281246E-16
X ⁴ Y ²	7.135583E-17	-6.187267E-13	-2.447653E-16	-1.867205E-16	3.921385E-13	-5.767253E-16
X ² Y ⁴	5.606882E-16	4.378172E-13	-4.812153E-16	4.588123E-16	7.309790E-13	-7.534000E-17
Y ⁶	-7.879310E-16	-6.710705E-13	6.992795E-19	3.331795E-16	-3.185164E-13	-9.186437E-17
X ⁶ Y	2.435160E-20	-3.445743E-16	-3.254844E-19	-4.053237E-18	1.681642E-15	-7.144774E-20
X ⁴ Y ³	-1.325499E-18	2.205904E-15	-4.637731E-19	-1.132243E-18	6.530207E-15	-1.155827E-19
X ² Y ⁵	2.538976E-18	7.780251E-15	-5.473994E-19	9.042940E-19	5.583512E-15	1.826925E-19
Y ⁷	6.001333E-18	7.757557E-15	-8.424804E-21	7.805993E-20	-2.390583E-15	3.562442E-19
X ⁸	-2.140710E-22	-1.536511E-18	-5.293518E-23	-7.757919E-22	1.098261E-18	-2.871286E-21
X ⁶ Y ²	-2.383343E-21	-3.017606E-17	-2.864847E-21	-2.918509E-20	-1.362527E-17	-8.946767E-21
X ⁴ Y ⁴	4.328735E-21	-3.407893E-17	-3.923348E-22	-6.995732E-21	2.738740E-17	-2.968388E-21
X ² Y ⁶	-4.831336E-20	-1.206126E-16	-1.673186E-22	5.920827E-22	4.911090E-17	8.147751E-22
Y ⁸	-3.800647E-20	-6.248834E-17	-5.575611E-23	-7.891743E-22	-4.049646E-18	-1.438562E-21
X ⁸ Y	2.973276E-24	6.697817E-20	-9.383994E-25	-1.349984E-23	8.777395E-22	-9.763800E-25
X ⁶ Y ³	1.179538E-23	5.201215E-19	-6.639018E-24	-8.645373E-23	-3.199889E-19	-4.878981E-24
X ⁴ Y ⁵	-1.203834E-23	-4.705218E-20	-1.462557E-25	-1.508808E-23	8.645921E-20	-3.908340E-24
X ² Y ⁷	2.304206E-22	1.208243E-19	2.562699E-25	1.368282E-24	4.649092E-19	2.276452E-24
Y ⁹	1.418250E-22	-1.077428E-19	7.645118E-27	-3.895996E-25	1.402632E-20	5.582547E-24
X ¹⁰	4.021654E-28	2.141815E-23	-3.668876E-27	-1.991462E-26	1.059359E-22	-2.694594E-26
X ⁸ Y ²	-1.314266E-26	-8.696134E-22	-1.671744E-27	-3.158518E-26	-2.330392E-22	-7.617267E-26
X ⁶ Y ⁴	-7.356431E-27	-3.656759E-21	-5.748164E-27	-9.269087E-26	-2.103517E-21	-6.065960E-26
X ⁴ Y ⁶	1.059736E-26	3.564328E-22	-1.527905E-28	-1.292503E-26	-3.644105E-22	1.700246E-26
X ² Y ⁸	-3.817918E-25	2.574506E-21	1.902672E-28	1.728267E-27	1.530993E-21	1.267011E-26
Y ¹⁰	-2.256936E-25	1.804566E-21	1.126083E-29	-2.712119E-28	-1.135939E-22	-1.049025E-26
Nradius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y偏心	-141.222	-91.036	45.162	-4.535	-0.554	-8.496
X回転	-9.184	-15.081	1.443	-3.391	-6.975	-1.780

10

20

30

表 2 B

【 0 1 4 8 】

40

図 1 1 を参照すると、投影対物鏡 1 0 0 0 の一実施形態は 6 個の鏡 1 1 1 0、1 1 2 0、1 1 3 0、1 1 4 0、1 1 5 0、1 1 6 0 を含み、その像側開口数は 0 . 3 5 であり、動作波長は 1 3 . 5 n m である。鏡 1 1 1 0、1 1 2 0、1 1 3 0、1 1 4 0、1 1 5 0、1 1 6 0 は、すべての自由形式曲面鏡である。投影対物鏡 1 1 0 0 は、物体平面 1 0 3 からの放射光を縮小率 4 x で像平面 1 0 2 に結像する。投影対物鏡 1 1 0 0 の軌跡長は 2 0 0 0 m m であり、結像放射光の光路長は 5 3 3 7 m m である。したがって、光路長と軌跡長との比は約 2 . 6 7 である。投影対物鏡 1 1 0 0 は、鏡 1 1 2 0 に位置する開口絞り 1 1 0 6 を有する。

【 0 1 4 9 】

投影対物鏡 1 1 0 0 の入射瞳は無限遠に配置される。物体平面 1 0 3 の中心物体視野点

50

の主光線の角度は 7° である。物体平面 103 の主光線の角度の最大変化は、 0.06° 以下である。

【0150】

投影対物鏡 1100 は矩形の視野を有する。像側視野幅 d_x は 26 mm である。像側視野長 d_y は 2 mm である。投影対物鏡 1100 の物体 - 像シフトは 31 mm である。

【0151】

投影対物鏡 1100 の性能は 0.025 の像側 W_{rms} を含む。像側像面湾曲は 10 nm である。投影対物鏡 1100 は、鏡 1140 と 1150 との間に中間像を形成する。

【0152】

物体平面 103 から像平面 102 までの放射光路のオーダーの鏡の光学力は以下のとおりである。鏡 1110 は正の光学力を有し、鏡 1120 は正の光学力を有し、鏡 1130 は負の光学力を有し、鏡 1140 は正の光学力を有し、鏡 1150 は負の光学力を有し、鏡 1160 は正の光学力を有する。

10

【0153】

$M_x \times M_y$ として与えられる、それぞれの鏡のフットプリントの寸法は、鏡 1110 については $291\text{ mm} \times 195\text{ mm}$ であり、鏡 1120 については $159\text{ mm} \times 152\text{ mm}$ であり、鏡 1130 については $157\text{ mm} \times 53\text{ mm}$ であり、鏡 1140 については $295\text{ mm} \times 66\text{ mm}$ であり、鏡 1150 については $105\text{ mm} \times 86\text{ mm}$ であり、鏡 1160 については $345\text{ mm} \times 318\text{ mm}$ である。

【0154】

中心視野点の主光線入射角は、鏡 1110、1120、1130、1140、1150、1160 についてそれぞれ 4.38° 、 4.03° 、 18.37° 、 7.74° 、 12.64° 、 5.17° である。子午断面に対するそれぞれの鏡上の最大入射角 θ_{max} は、鏡 1110、1120、1130、1140、1150、1160 についてそれぞれ 6.48° 、 6.44° 、 20.05° 、 9.12° 、 21.76° 、 7.22° である。鏡 1110、1120、1130、1140、1150、1160 に対する θ_{max} はそれぞれ 4.27° 、 4.92° 、 4.09° 、 3.12° 、 19.37° 、 4.61° である。

20

【0155】

鏡 1110、1150、1160 は 5 mm よりも大きく、 25 mm よりも小さいフリーボードを有する。鏡 1140 は正の主光線角度倍率を有するが、鏡 1110、1120、1130、1150 は負の主光線角度倍率を有する。

30

【0156】

投影対物鏡 1100 の像側自由作動距離は 25 mm である。物体側自由作動距離は 163 mm である。

【0157】

投影対物鏡 1100 では、 d_{op-1} / d_{op-2} は 6.57 である。さらに、隣接する鏡の対 1040 と 1050 は、投影対物鏡の軌跡長の 50% を超える長さだけ隔てられる。さらに、鏡 1110 と物体平面 103 との間の距離は、投影対物鏡の軌跡長の 50% を超える長さである。

40

【0158】

投影対物鏡 1100 に対するデータは、以下の表 3A と表 3B に示されている。表 3A は、光学データを示しているが、表 3B は、鏡面のそれぞれに対する非球面定数を示している。表 3A と表 3B の目的に関して、鏡 1 (M1) は鏡 1110 に対応し、鏡 2 (M2) は鏡 1120 に対応し、鏡 3 (M3) は鏡 1130 に対応し、鏡 4 (M4) は鏡 1140 に対応し、鏡 5 (M5) は鏡 1150 に対応し、鏡 6 (M6) は鏡 1160 に対応するという形で鏡の参照番号は相関している。

【0159】

【表 5】

表面	半径 (mm)	厚さ (mm)	モード
物体	無限大	1070.002	
鏡1	-2069.710	-907.121	REFL
鏡2	1710.596	0.000	REFL
絞り	無限大	907.500	
鏡3	414.111	-319.107	REFL
鏡4	618.022	1223.709	REFL
鏡5	406.139	-436.552	REFL
鏡6	522.609	461.570	REFL
像	無限大	0.000	

10

表 3 A

【 0 1 6 0 】

【表 6】

係数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-2.012543E+00	-7.790981E+00	-9.061196E-01	-4.714699E-01	5.253415E+00	1.051556E-01
Y	-1.801229E-01	-2.676895E-01	6.249715E-03	2.914352E-02	3.699848E-02	6.762162E-04
X ²	-3.718177E-05	-1.568640E-04	-4.213586E-04	-1.680785E-04	-6.132874E-05	2.479745E-06
Y ²	-5.757281E-05	-1.359112E-04	-3.015850E-04	-9.908817E-05	-6.393717E-05	1.909227E-06
X ² Y	-3.283304E-08	-1.421641E-07	-4.802304E-08	-4.234719E-08	5.460366E-07	-5.398408E-09
Y ³	-7.289267E-08	-9.447144E-08	3.714670E-07	1.405667E-07	2.644773E-08	-4.741511E-09
X ⁴	-3.792146E-11	2.173390E-10	-6.723035E-10	-2.377992E-11	1.030821E-09	-1.926536E-11
X ² Y ²	-1.087876E-10	5.689855E-10	-5.959943E-10	-4.401654E-10	2.045233E-09	-4.586698E-11
Y ⁴	-1.237594E-10	2.990476E-10	6.549602E-10	-4.022683E-11	5.551510E-11	-2.632066E-11
X ⁴ Y	-3.587007E-14	-1.028868E-12	-8.033093E-12	1.716353E-13	5.551826E-12	-2.577816E-14
X ² Y ³	8.925822E-14	4.492952E-13	-1.186638E-12	-7.545064E-13	-4.309344E-12	-1.775797E-14
Y ⁵	-7.423435E-14	5.791519E-13	8.705928E-14	-2.700779E-13	-7.302230E-12	-9.309635E-15
X ⁶	1.876383E-17	2.916278E-16	-2.307341E-14	-1.670466E-15	8.878140E-15	-3.351380E-17
X ⁴ Y ²	-3.009967E-16	-3.620666E-16	-2.232847E-14	1.589023E-15	4.463758E-14	-1.408427E-16
X ² Y ⁴	1.992400E-16	3.916129E-16	1.756497E-15	3.477633E-16	1.478648E-13	-1.372823E-16
Y ⁶	8.315953E-18	-6.580116E-16	8.232062E-16	1.253553E-16	3.691569E-14	-3.799352E-17
X ⁶ Y	-2.621825E-20	-1.237101E-17	-3.125465E-16	-7.682746E-18	3.293829E-16	-1.214309E-19
X ⁴ Y ³	-1.344388E-18	3.730815E-17	1.376670E-16	5.918289E-18	8.409538E-16	5.369262E-20
X ² Y ⁵	-6.157858E-19	3.202677E-17	4.387074E-19	2.707480E-18	4.875870E-16	-1.363873E-20
Y ⁷	2.770099E-20	8.487049E-18	2.518948E-18	1.820744E-19	1.274511E-16	2.776746E-21
X ⁸	2.265356E-23	-1.881878E-20	6.916970E-19	3.815768E-20	-1.030207E-19	-2.065793E-23
X ⁶ Y ²	-1.848041E-22	-1.667898E-19	-1.070800E-18	1.947584E-20	-6.071205E-19	-1.191227E-22
X ⁴ Y ⁴	-1.617091E-21	-4.471313E-20	-2.039154E-19	-1.469302E-21	8.581801E-18	-2.848570E-22
X ² Y ⁶	-1.152811E-21	-1.417078E-19	-4.885470E-20	8.329380E-22	2.867618E-18	6.073429E-24
Y ⁸	5.021474E-23	-1.270497E-20	-2.834042E-20	-1.011971E-21	1.613992E-18	-6.757839E-23
X ⁸ Y	0.000000E+00	0.000000E+00	7.973679E-21	2.492982E-22	0.000000E+00	-2.465296E-25
X ⁶ Y ³	0.000000E+00	0.000000E+00	7.629111E-22	1.401277E-22	0.000000E+00	2.930653E-25
X ⁴ Y ⁵	0.000000E+00	0.000000E+00	-7.196032E-21	-4.219890E-23	0.000000E+00	1.194933E-25
X ² Y ⁷	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.090375E-22	-3.791571E-24	0.000000E+00	5.412579E-25
Y ⁹	0.000000E+00	0.000000E+00	-5.080252E-23	1.076602E-24	0.000000E+00	3.891280E-26
X ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	-6.129418E-25	-1.289913E-27	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	2.295090E-23	4.078311E-25	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	5.951785E-24	1.728297E-25	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁴ Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.732732E-23	-5.280557E-26	0.000000E+00	0.000000E+00
X ² Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.410994E-27	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	3.484416E-27	0.000000E+00	0.000000E+00
Nradius	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00
Y偏心	194.936	-49.734	36.609	9.442	30.019	-40.956
X回転	-5.944	-17.277	-5.569	-0.579	0.301	-0.924

10

20

30

表 3 B

【 0 1 6 1】

図 1 2 を参照すると、投影対物鏡 1 2 0 0 の一実施形態は 6 個の鏡 1 2 1 0、1 2 2 0、1 2 3 0、1 2 4 0、1 2 5 0、1 2 6 0 を含み、その像側開口数は 0 . 3 5 であり、動作波長は 1 3 . 5 n m である。鏡 1 2 1 0、1 2 2 0、1 2 3 0、1 2 4 0、1 2 5 0、1 2 6 0 は、すべての自由形式曲面鏡である。投影対物鏡 1 2 0 0 は、物体平面 1 0 3 からの放射光を縮小率 4 x で像平面 1 0 2 に結像させる。物体平面 1 0 3 と像平面 1 0 2 に直交する基準軸 1 2 0 5 は、物体視野及び像視野内の対応する視野点と交差する。投影対物鏡 1 2 0 0 の軌跡長は 1 3 8 5 m m であり、結像放射光の光路長は 4 1 6 2 m m である。したがって、光路長と軌跡長との比は約 3 . 0 1 である。投影対物鏡 1 2 0 0 は鏡 1 2 2 0 に位置する開口絞りを有する。

40

【 0 1 6 2】

投影対物鏡 1 2 0 0 の入射瞳は無限遠にあり、物体平面は入射瞳と複数の鏡との間に位

50

置する。物体平面 1 0 3 の中心物体視野点の主光線の角度は 7° である。物体平面 1 0 3 の主光線の角度の最大変化は 0.06° 以下である。

【0163】

投影対物鏡 1 2 0 0 は矩形の視野を有する。像側視野幅 d_x は 26 mm である。像側視野長 d_y は 2 mm である。投影対物鏡 1 2 0 0 に生じる物体 - 像シフトはゼロである。

【0164】

投影対物鏡 1 2 0 0 は鏡 1 2 4 0 と 1 2 5 0 との間に中間像を形成する。

【0165】

物体平面 1 0 3 から像平面 1 0 2 までの放射光路のオーダーの鏡の光学力は以下のとおりである。鏡 1 2 1 0 は正の光学力を有し、鏡 1 2 2 0 は負の光学力を有し、鏡 1 2 3 0 は正の光学力を有し、鏡 1 2 4 0 は正の光学力を有し、鏡 1 2 5 0 は負の光学力を有し、鏡 1 2 6 0 は正の光学力を有する。

10

【0166】

$M_x \times M_y$ として与えられる、それぞれの鏡のフットプリントの寸法は、鏡 1 2 1 0 については $250\text{ mm} \times 153\text{ mm}$ であり、鏡 1 0 2 0 については $70\text{ mm} \times 69\text{ mm}$ であり、鏡 1 2 3 0 については $328\text{ mm} \times 153\text{ mm}$ であり、鏡 1 2 4 0 については $325\text{ mm} \times 112\text{ mm}$ であり、鏡 1 2 5 0 については $87\text{ mm} \times 75\text{ mm}$ であり、鏡 1 2 6 0 については $269\text{ mm} \times 238\text{ mm}$ である。

【0167】

中心視野点の主光線入射角は、鏡 1 2 1 0、1 2 2 0、1 2 3 0、1 2 4 0、1 2 5 0、1 2 6 0 についてそれぞれ 6.13° 、 10.61° 、 8.65° 、 8.26° 、 14.22° 、 5.23° である。子午断面に対するそれぞれの鏡上の最大入射角 θ_{\max} は、鏡 1 2 1 0、1 2 2 0、1 2 3 0、1 2 4 0、1 2 5 0、1 2 6 0 についてそれぞれ 6.53° 、 11.63° 、 8.91° 、 11.39° 、 24.26° 、 7.44° である。鏡 1 2 1 0、1 2 2 0、1 2 3 0、1 2 4 0、1 2 5 0、1 2 6 0 に対する θ_{\max} は、それぞれ 1.07° 、 3.64° 、 1.74° 、 7.44° 、 21.70° 、 4.51° である。

20

【0168】

鏡 1 2 1 0、1 2 2 0、1 2 5 0、1 2 6 0 は 5 mm よりも大きく、 25 mm よりも小さいフリーボードを有する。鏡 1 2 4 0 は正の主光線角度倍率を有するが、鏡 1 2 1 0、1 2 2 0、1 2 3 0、1 2 5 0 は負の主光線角度倍率を有する。

30

【0169】

投影対物鏡 1 2 0 0 の像側自由作動距離は 40 mm である。物体側自由作動距離は 439 mm である。

【0170】

投影対物鏡 1 2 0 0 では、 d_{op-1} / d_{op-2} は 1.91 である。さらに、隣接する鏡の対 1 2 4 0 と 1 2 5 0 は、投影対物鏡の軌跡長の 50% を超える長さだけ隔てられる。さらに、鏡 1 2 1 0 と物体平面 1 0 3 との間の距離は、投影対物鏡の軌跡長の 50% を超える長さである。

【0171】

投影対物鏡 1 2 0 0 に対するデータは、以下の表 4 A と表 4 B に示されている。表 4 A は、光学データを示しているが、表 4 B は、鏡面のそれぞれに対する非球面定数を示している。表 4 A と表 4 B の目的に関して、鏡 1 (M1) は鏡 1 2 1 0 に対応し、鏡 2 (M2) は鏡 1 2 2 0 に対応し、鏡 3 (M3) は鏡 1 2 3 0 に対応し、鏡 4 (M4) は鏡 1 2 4 0 に対応し、鏡 5 (M5) は鏡 1 2 5 0 に対応し、鏡 6 (M6) は鏡 1 2 6 0 に対応するという形で鏡の参照番号は相関している。

40

【0172】

【表 7】

表面	半径 (mm)	厚さ (mm)	モード
物体	無限大	836.375	
鏡1	-614.878	-397.397	REFL
鏡2	-383.358	0.000	REFL
絞り	無限大	655.992	
鏡3	-1204.989	-659.631	REFL
鏡4	1885.915	909.840	REFL
鏡5	302.954	-308.805	REFL
鏡6	403.492	348.850	REFL
像	無限大	0.000	

10

表 4 A

【 0 1 7 3 】

【表 8】

係数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-6.673329E-01	-2.825442E-01	-1.643864E+00	2.078932E+00	3.340547E+00	1.990979E-01
Y	-5.045837E-02	2.263680E-01	-1.277806E-01	-3.310548E-02	-1.935522E-01	1.783092E-02
X ²	1.827144E-04	1.686990E-04	9.963384E-05	5.203052E-05	-3.849892E-04	3.792406E-05
Y ²	1.737812E-04	2.093994E-04	-1.747764E-05	-7.184095E-05	-3.329705E-04	1.662759E-05
X ² Y	4.766150E-08	-1.595967E-06	-5.515151E-08	-8.752119E-10	1.213426E-06	5.552151E-08
Y ³	5.091508E-08	-1.231538E-06	-1.294839E-07	-1.939381E-07	1.502735E-06	9.165146E-08
X ⁴	-4.718889E-11	-6.941238E-09	-7.002011E-11	-5.996832E-11	-2.342602E-09	9.552648E-12
X ² Y ²	-4.340357E-11	-7.827867E-09	-1.801185E-10	-7.139217E-11	-1.234047E-08	-1.611525E-10
Y ⁴	1.234053E-10	-3.130174E-09	-7.281275E-11	-1.598859E-10	-1.206604E-08	-1.662004E-10
X ⁴ Y	1.205203E-13	-6.495768E-11	-3.614883E-14	-4.344276E-14	2.268270E-11	2.930397E-13
X ² Y ³	2.259661E-13	-4.304439E-11	-1.048629E-13	-7.811421E-16	2.977954E-11	8.493936E-13
Y ⁵	-5.198478E-13	-1.485266E-11	5.022687E-15	-1.422459E-14	-1.556209E-11	4.051167E-13
X ⁶	-1.305395E-16	-4.159695E-14	0.000000E+00	-3.767576E-17	1.374773E-14	-9.890588E-17
X ⁴ Y ²	8.838986E-17	1.462887E-14	0.000000E+00	-1.369883E-16	-3.320990E-13	-1.312584E-15
X ² Y ⁴	-1.745854E-16	4.353978E-13	0.000000E+00	-7.920443E-17	-1.008910E-13	-2.069868E-15
Y ⁶	1.020155E-15	-1.927189E-13	0.000000E+00	-3.431888E-17	-9.148646E-14	-6.650861E-16
X ⁸ Y	1.090627E-19	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	1.607288E-18
X ⁶ Y ³	-4.158749E-19	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	4.652411E-18
X ² Y ⁵	-1.758731E-18	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	4.087290E-18
Y ⁷	-3.081679E-18	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	9.802736E-19
X ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ² Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ¹⁰ Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ³	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ⁵	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ² Y ⁷	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ⁹	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ¹²	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ¹⁰ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ² Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Nradius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y偏心	-118.847	-100.000	100.000	24.472	-11.760	-37.772
X回転	-7.782	7.388	1.406	-2.140	-8.177	6.989

10

20

30

表 4 B

【 0 1 7 4 】

図 1 3 を参照すると、投影対物鏡 1 3 0 0 の一実施形態は 6 個の鏡 1 3 1 0、1 3 2 0、1 3 3 0、1 3 4 0、1 3 5 0、1 3 6 0 を含み、その像側開口数は 0 . 3 5 であり、動作波長は 1 3 . 5 n m である。鏡 1 3 1 0、1 3 2 0、1 3 3 0、1 3 4 0、1 3 5 0、1 3 6 0 は、すべての自由形式曲面鏡である。投影対物鏡 1 3 0 0 は、物体平面 1 0 3 からの放射光を縮小率 4 x で像平面 1 0 2 に結像する。投影対物鏡 1 3 0 0 の軌跡長は 1 5 0 0 m m であり、結像放射光の光路長は 4 0 9 3 m m である。したがって、光路長と軌跡長との比は約 2 . 7 3 である。投影対物鏡 1 3 0 0 は、鏡 1 3 2 0 に位置する開口絞りを有する。

40

【 0 1 7 5 】

投影対物鏡 1 3 0 0 の入射瞳は無限遠にある。物体平面 1 0 3 の中心物体視野点の主光線の角度は 7 ° である。物体平面 1 0 3 の主光線の角度の最大変化は、0 . 1 ° である。

50

【0176】

投影対物鏡1300は、矩形の視野を有する。像側視野幅 d_x は26mmである。像側視野長 d_y は2mmである。投影対物鏡1000の物体-像シフトは119mmである。

【0177】

投影対物鏡1300は鏡1340と1350との間に中間像を形成する。

【0178】

物体平面103から像平面102までの放射光路のオーダーの鏡の光学力は以下のとおりになる。鏡1310は正の光学力を有し、鏡1320は負の光学力を有し、鏡1330は正の光学力を有し、鏡1340は正の光学力を有し、鏡1350は負の光学力を有し、鏡1360は正の光学力を有する。

10

【0179】

$M_x \times M_y$ として与えられる、それぞれの鏡のフットプリントの寸法は、鏡1310については271mm×173mmであり、鏡1320については69mm×65mmであり、鏡1330については290mm×115mmであり、鏡1340については272mm×66mmであり、鏡1350については81mm×67mmであり、鏡1360については274mm×243mmである。

【0180】

中心視野点の主光線入射角は、鏡1310、1320、1330、1340、1350、1360についてそれぞれ9.66°、12.15°、9.10°、5.45°、13.31°、4.60°である。子午断面に対するそれぞれの鏡上の最大入射角 θ_{max} は、鏡1310、1320、1330、1340、1350、1360についてそれぞれ11.20°、15.46°、9.63°、8.64°、23.31°、6.17°である。鏡1310、1320、1330、1340、1350、1360に対する θ_{max} は、それぞれ3.25°、7.32°、1.57°、6.92°、21.18°、3.63°である。

20

【0181】

鏡1340は正の主光線角度倍率を有するが、鏡1310、1320、1330、1350は負の主光線角度倍率を有する。投影対物鏡1300の像側自由作動距離は40mmである。物体側自由作動距離は582mmである。このように物体側自由作動距離が大きいため、追加のコンポーネント、特に照明系、例えば、かすり入射折り畳み鏡又は一様性フィルタを挿入することができる。

30

【0182】

投影対物鏡1300では、 d_{op-1} / d_{op-2} は1.63である。さらに、隣接する鏡の対1340と1350は、投影対物鏡の軌跡長の50%を超える長さだけ隔てられる。さらに、鏡1310と物体平面103との間の距離は、投影対物鏡の軌跡長の50%を超える長さである。

【0183】

投影対物鏡1300に対するデータは、以下の表5Aと表5Bに示されている。表5Aは、光学データを示しているが、表5Bは、鏡面のそれぞれに対する非球面定数を示している。表5Aと表5Bの目的に関して、鏡1(M1)は鏡1310に対応し、鏡2(M2)は鏡1320に対応し、鏡3(M3)は鏡1330に対応し、鏡4(M4)は鏡1340に対応し、鏡5(M5)は鏡1350に対応し、鏡6(M6)は鏡1360に対応するという形で鏡の参照番号は相関している。

40

【0184】

【表 9】

表面	半径 (mm)	厚さ (mm)	モード
物体	無限大	946.404	
鏡1	-605.890	-364.901	REFL
鏡2	-368.417	0.000	REFL
絞り	無限大	626.468	
鏡3	-1202.217	-556.441	REFL
鏡4	1949.768	808.432	REFL
鏡5	276.499	-313.562	REFL
鏡6	401.291	353.600	REFL
像	無限大	0.000	

10

表 5 A

【 0 1 8 5 】

【表 10】

係数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-5.95606E-01	-1.82166E+00	-5.82444E-01	-2.39948E+00	3.35329E+00	1.67263E-01
Y	1.96214E-02	1.05243E-01	-1.91165E-01	-6.23536E-02	-4.99892E-02	1.30034E-02
X ²	1.71425E-04	1.61788E-04	6.52106E-05	7.49004E-05	-2.48914E-04	3.68103E-05
Y ²	1.59322E-04	1.15506E-04	-1.78602E-05	-9.20778E-05	-2.00659E-04	4.01025E-05
X ² Y	3.03035E-08	-8.08249E-07	-6.98999E-08	-6.74632E-08	7.56105E-07	5.29501E-09
Y ³	2.86899E-08	-3.26183E-07	-9.54345E-08	-1.51650E-07	2.54367E-07	8.86827E-09
X ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ³	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁵	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶ Y	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ³	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁵	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁷	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁸	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶ Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁸	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁸ Y	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶ Y ³	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ⁵	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁷	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁹	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ¹⁰	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁸ Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶ Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁸	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ¹⁰	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Nradius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y偏心	-200.000	-82.208	200.000	44.995	-23.759	-73.032
X回転	-11.492	6.153	4.904	-0.617	-3.814	7.081

10

20

30

表 5 B

【 0 1 8 6 】

図 1 4 A を参照すると、投影対物鏡 1 4 0 0 の一実施形態は 6 個の鏡 1 4 1 0、1 4 2 0、1 4 3 0、1 4 4 0、1 4 5 0、1 4 6 0 を含み、その像側開口数は 0 . 4 0 であり、動作波長は 1 3 . 5 n m である。鏡 1 4 1 0、1 4 2 0、1 4 3 0、1 4 4 0、1 4 5 0、1 4 6 0 はすべての自由形式曲面鏡である。投影対物鏡 1 4 0 0 は、物体平面 1 0 3 からの放射光を縮小率 4 x で像平面 1 0 2 に結像する。投影対物鏡 1 4 0 0 の軌跡長は 1 4 9 8 m m であり、結像放射光の光路長は 3 9 3 1 m m である。したがって、光路長と軌跡長との比は約 2 . 6 2 である。投影対物鏡 1 4 0 0 は、鏡 1 4 2 0 と 1 4 3 0 との間に位置する腫平面を有する。

40

【 0 1 8 7 】

投影対物鏡 1 4 0 0 の入射瞳は、物体平面 1 0 3 から 1 , 0 0 0 m m のところに配置され、物体平面は入射瞳と複数の鏡との間に位置する。物体平面 1 0 3 の中心物体視野点の

50

主光線の角度は 7° である。物体平面103の主光線の角度の最大変化は、 0.82° である。

【0188】

投影対物鏡1400は矩形の視野を有する。像側視野幅 d_x は26mmである。像側視野長 d_y は2mmである。投影対物鏡1000の物体-像シフトは38mmである。

【0189】

投影対物鏡1000の性能は 0.083 の像側 W_{rms} を含む。歪曲は約100nmであり、像側像面湾曲は36nmである。投影対物鏡1400は、鏡1440と1450との間に中間像を形成する。

【0190】

物体平面103から像平面102までの放射光路のオーダーの鏡の光学力は以下のとおりである。鏡1410は正の光学力を有し、鏡1420は正の光学力を有し、鏡1430は負の光学力を有し、鏡1440は正の光学力を有し、鏡1050は負の光学力を有し、鏡1460は正の光学力を有する。

【0191】

$M_x \times M_y$ として与えられる、それぞれの鏡のフットプリントの寸法は、鏡1410については $326\text{mm} \times 159\text{mm}$ であり、鏡1420については $210\text{mm} \times 123\text{mm}$ であり、鏡1430については $120\text{mm} \times 66\text{mm}$ であり、鏡1440については $312\text{mm} \times 119\text{mm}$ であり、鏡1450については $112\text{mm} \times 83\text{mm}$ であり、鏡1460については $405\text{mm} \times 379\text{mm}$ である。

【0192】

中心視野点の主光線入射角は、鏡1410、1420、1430、1440、1450、1460についてそれぞれ 6.70° 、 8.08° 、 20.41° 、 6.68° 、 14.52° 、 5.67° である。子午断面に対するそれぞれの鏡上の最大入射角 θ_{max} は、鏡1410、1420、1430、1440、1450、1460についてそれぞれ 8.61° 、 10.91° 、 21.98° 、 7.41° 、 27.19° 、 6.86° である。鏡1410、1420、1430、1440、1450、1460に対する θ_{max} は、それぞれ 3.92° 、 5.69° 、 3.82° 、 1.79° 、 26.83° 、 3.20° である。

【0193】

鏡1410、1420、1430、1450、1460は5mmよりも大きく、25mmよりも小さいフリーボードを有する。鏡1440は正の主光線角度倍率を有するが、鏡1410、1420、1430、1450は負の主光線角度倍率を有する。

【0194】

投影対物鏡1400の像側自由作動距離は45mmである。物体側自由作動距離は291mmである。

【0195】

投影対物鏡1400では、 d_{op-1} / d_{op-2} は2.47である。さらに、隣接する鏡の対1440と1450は、投影対物鏡の軌跡長の50%を超える長さだけ隔てられる。

【0196】

投影対物鏡1400に対するデータは、以下の表6Aと表6Bに示されている。表6Aは、光学データを示しているが、表6Bは、鏡面のそれぞれに対する非球面定数を示している。表6Aと表6Bの目的に関して、鏡1(M1)は鏡1010に対応し、鏡2(M2)は鏡1020に対応し、鏡3(M3)は鏡1030に対応し、鏡4(M4)は鏡1040に対応し、鏡5(M5)は鏡1050に対応し、鏡6(M6)は鏡1060に対応するという形で鏡の参照番号は相関している。

【0197】

10

20

30

40

【表 1 1】

表面	半径 (mm)	厚さ (mm)	モード
物体	無限大	719.154	
鏡1	-1768.086	-427.871	REFL
鏡2	2334.525	575.634	REFL
鏡3	352.553	-347.888	REFL
鏡4	610.853	933.638	REFL
鏡5	431.588	-434.965	REFL
鏡6	521.464	479.940	REFL
像	無限大	0.000	

10

表 6 A

【 0 1 9 8 】

【表 1 2】

係数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-7.735395E+00	-6.005799E+01	-3.751432E-01	-8.758413E-01	6.604547E+09	8.612526E-02
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ²	-1.485069E-04	-1.263679E-04	-2.624294E-04	1.347923E-05	-1.368138E-04	-6.931036E-06
Y ²	-1.726040E-04	-1.711814E-04	-1.005287E-03	-3.665045E-05	1.295215E-04	8.615161E-06
X ² Y	-5.200823E-08	-4.156617E-07	7.669496E-07	-5.478449E-08	9.580682E-07	-4.043887E-09
Y ³	-3.734392E-08	-4.637041E-08	-5.212076E-07	4.563436E-08	1.158899E-07	-6.370253E-09
X ⁴	-1.602036E-10	1.080674E-09	-1.784900E-08	3.290440E-10	2.227159E-09	-4.223672E-11
X ² Y ²	-5.655636E-10	1.150736E-09	9.356049E-09	-1.772824E-10	7.086270E-09	-3.649540E-11
Y ⁴	7.840007E-11	1.816509E-09	1.947612E-09	9.043201E-10	3.962050E-09	5.321857E-12
X ³ Y	-9.204024E-14	2.366805E-12	-2.677935E-11	-8.314956E-13	-1.528996E-11	2.788263E-15
X ² Y ³	1.079162E-12	3.100338E-12	3.708016E-11	-5.930044E-12	-2.181691E-11	-3.366047E-14
Y ⁵	-4.579479E-13	-6.879640E-12	-4.466462E-13	9.529833E-13	-2.295402E-11	-2.906642E-14
X ⁵	6.241273E-17	-3.829664E-15	1.521283E-13	1.097127E-15	-3.501249E-14	-6.862154E-17
X ³ Y ²	1.666766E-15	1.243647E-14	5.320614E-14	7.533431E-16	8.652054E-14	-1.407857E-16
X ² Y ⁴	-2.345440E-15	2.162639E-15	-5.453363E-14	-1.396841E-14	4.036247E-13	1.131588E-17
Y ⁶	-3.012261E-15	-1.224080E-14	-1.034267E-14	9.519542E-16	1.105527E-13	3.923271E-17
X ⁴ Y	3.484859E-18	-9.656525E-18	-6.882044E-16	7.124323E-18	8.790794E-16	2.032080E-20
X ² Y ⁵	-2.997302E-18	-1.020453E-16	-4.147278E-16	1.059357E-17	9.581262E-16	-8.764820E-20
X ² Y ³	3.436846E-18	2.303857E-17	-1.104525E-16	-1.635704E-17	-1.619074E-15	-2.001426E-19
Y ⁷	1.247042E-17	1.643841E-16	4.675424E-17	-7.809506E-19	-3.824576E-15	-5.405817E-20
X ⁶	6.566049E-22	4.616940E-20	-8.583253E-18	1.135128E-21	-4.651481E-19	-3.090479E-22
X ⁴ Y ²	-1.894284E-20	-2.084017E-19	-4.140672E-18	3.271179E-20	-2.096068E-17	-7.850033E-22
X ⁴ Y ⁴	-4.216883E-21	-3.239553E-19	-3.670866E-18	4.460462E-20	-8.776559E-17	-1.201625E-22
X ² Y ⁶	-2.826171E-21	-3.920562E-19	3.151001E-20	7.969094E-21	-5.615799E-17	3.016401E-22
Y ⁸	-1.315593E-20	-3.058425E-19	2.416437E-20	8.284460E-22	-1.006196E-17	1.721317E-22
X ⁵ Y	-9.935149E-25	-5.168771E-24	-2.316832E-20	-2.523681E-24	1.540486E-20	-3.155606E-26
X ³ Y ⁵	3.001708E-23	1.226818E-21	-2.812819E-21	3.078069E-23	-1.510545E-19	-4.150182E-25
X ³ Y ⁷	7.941504E-24	1.371322E-21	-5.440197E-21	3.362723E-23	-6.912241E-19	-2.830215E-25
X ² Y ⁷	-9.194045E-25	7.101398E-22	4.152263E-22	1.093452E-23	-4.418575E-19	3.377883E-25
Y ⁹	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁴ Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ² Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Nradius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y偏心	-182.329	-185.907	121.386	20.437	21.141	28.282
X回転	-10.857	-0.974	-13.061	-5.217	-2.314	-0.850

10

20

30

表 6 B

【 0 1 9 9 】

40

図 1 4 B を参照すると、投影対物鏡 1 4 0 0 は、光源 1 4 0 5 を含み、かつ集光器ユニット 1 4 1 5、スペクトル純度フィルタ 1 4 2 5、視野面鏡 1 4 3 5、瞳面鏡 1 4 4 5 を含む照明光学系を含む光学系 1 4 0 1 内で使用される。光源 1 4 0 5 は 1 3 . 5 n m の放射光を投影対物鏡に送るよう構成された E U V 光源である。集光器ユニット 1 4 1 5 は、光源 1 4 0 5 から放射光を集めて、その放射光をスペクトル純度フィルタ 1 4 1 5 に向けて送り、このフィルタは 1 3 . 5 n m 以外の波長の入射放射光を除去し、1 3 . 5 n m の放射光を視野面鏡 1 4 3 5 に向けて送る。瞳面鏡 1 4 4 5 とともに、視野面鏡は 1 3 . 5 n m の放射光で物体平面 1 0 3 に位置する反射レチクルを照らす。この放射光は、主光線がレチクルから発散するように供給される。この方法で、かすり入射鏡などの追加のコンポーネントを使用せずに、放射光がレチクルに送られる。

50

【0200】

図15を参照すると、投影対物鏡1500の一実施形態は6個の鏡1510、1520、1530、1540、1550、1560を備え、その像側開口数は0.40であり、動作波長は13.5nmである。鏡1510、1520、1530、1540、1550、1560は、すべての自由形式曲面鏡である。投影対物鏡1500は、物体平面103からの放射光を縮小率4×で像平面102に結像する。投影対物鏡1500の軌跡長は1499mmであり、結像放射光の光路長は4762mmである。したがって、光路長と軌跡長との比は約3.18である。

【0201】

投影対物鏡1500の入射瞳は、物体平面103から1,000mmのところに配置され、物体平面は入射瞳と複数の鏡との間に位置する。反射レチクルが物体平面103のところに位置するため、照明光学系、特に瞳面を有する鏡は、入射瞳に対応する位置1501に配置される。物体平面103の中心物体視野点の主光線の角度は7°である。物体平面103の主光線の角度の最大変化は、0.82°である。

10

【0202】

投影対物鏡1500は矩形の視野を有する。像側視野幅 d_x は26mmである。像側視野長 d_y は2mmである。投影対物鏡1500の物体-像シフトは7mmである。

【0203】

投影対物鏡1500の性能は、0.040の像側 W_{rms} を含む。さらに図16Aを参照すると、歪曲は像視野上で約3nm未満である。像側像面湾曲は35nmである。投影対物鏡1500は、鏡1540と1550との間に中間像を形成する。図16Bを参照すると、主光線は、像視野において約0.001rad(0.06°)の範囲内で像平面102に直交している。

20

【0204】

物体平面103から像平面102までの放射光路のオーダーの鏡の光学力としては、鏡1510は正の光学力を有し、鏡1520は負の光学力を有し、鏡1530は正の光学力を有し、鏡1540は正の光学力を有し、鏡1550は負の光学力を有し、鏡1560は正の光学力を有する。

【0205】

$M_x \times M_y$ として与えられる、それぞれの鏡のフットプリントの寸法は、鏡1510については253mm×162mmであり、鏡1520については105mm×66mmであり、鏡1530については227mm×301mmであり、鏡1540については182mm×220mmであり、鏡1550については111mm×85mmであり、鏡1560については289mm×275mmである。

30

【0206】

中心視野点の主光線入射角は、鏡1510、1520、1530、1540、1550、1560についてそれぞれ3.96°、12.21°、7.51°、11.98°、15.82°、8.08°である。子午断面に対するそれぞれの鏡上の最大入射角 θ_{max} は、鏡1510、1520、1530、1540、1550、1560についてそれぞれ4.47°、12.81°、8.55°、16.91°、27.68°、9.96°である。鏡1510、1520、1530、1540、1550、1560に対する θ_{max} は、それぞれ1.10°、3.61°、4.19°、12.12°、27.17°、4.79°である。

40

【0207】

鏡1510、1520、1540、1550、1560は5mmよりも大きく、25mmよりも小さいフリーボードを有する。鏡1530は正の主光線角度倍率を有するが、鏡1510、1520、1540、1550は負の主光線角度倍率を有する。

【0208】

投影対物鏡1500の像側自由作動距離は45mmである。物体側自由作動距離は260mmである。

50

【0209】

投影対物鏡1500では、 d_{op-1} / d_{op-2} は3.05である。さらに、隣接する鏡の対1520と1530、1530と1540、1540と1550は、投影対物鏡の軌跡長の50%を超える長さだけ隔てられる。さらに、鏡1510と物体平面103との間の距離は、投影対物鏡の軌跡長の50%を超える長さである。

【0210】

投影対物鏡1500に対するデータは、以下の表7Aと表7Bに示されている。表7Aは、光学データを示しているが、表7Bは、鏡面のそれぞれに対する非球面定数を示している。表7Aと表7Bの目的に関して、鏡1(M1)は鏡1510に対応し、鏡2(M2)は鏡1520に対応し、鏡3(M3)は鏡1530に対応し、鏡4(M4)は鏡1540に対応し、鏡5(M5)は鏡1550に対応し、鏡6(M6)は鏡1560に対応するという形で鏡の参照番号は相関している。

10

【0211】

【表13】

表面	半径 (mm)	厚さ (mm)	モード
物体	無限大	793.452	
鏡1	-652.351	-533.717	REFL
鏡2	-459.234	946.263	REFL
鏡3	-1711.458	-789.999	REFL
鏡4	1814.404	1037.812	REFL
鏡5	310.131	-304.837	REFL
鏡6	407.712	349.882	REFL
像	無限大	0.000	

20

表7A

【0212】

【表 1 4】

係数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-5.917992E-01	1.401977E+00	-1.852312E+00	3.134672E+00	1.276852E+00	2.162747E-01
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ²	2.486175E-04	6.462590E-04	8.097144E-05	3.683589E-05	-5.694587E-04	1.127522E-05
Y ²	1.796052E-04	-1.218131E-05	-3.272168E-05	-7.479058E-05	-3.798909E-04	5.142215E-05
X ² Y	-3.704365E-08	-3.061838E-06	1.166808E-07	1.073313E-07	3.054784E-06	-1.801527E-08
Y ³	-8.473078E-09	-4.336504E-08	-6.831514E-08	-2.680850E-08	1.944165E-06	2.077407E-09
X ⁴	1.525482E-11	2.440415E-10	-2.839993E-11	-8.352784E-11	1.477727E-09	-1.231925E-10
X ² Y ²	4.909383E-11	1.819997E-09	-2.639958E-11	-7.983809E-11	1.884598E-08	-4.030921E-11
Y ⁴	7.241758E-11	-1.924132E-08	-1.611187E-10	-1.805904E-10	2.629058E-09	-6.788132E-11
X ³ Y	-3.944773E-14	-3.384346E-12	4.634420E-14	1.089774E-13	4.746215E-11	7.092901E-15
X ² Y ³	-2.485019E-13	-1.985647E-10	-1.749321E-13	2.706968E-13	1.878106E-10	7.623271E-14
Y ⁵	-6.222759E-14	1.546404E-10	-7.306272E-14	1.121470E-13	2.713089E-11	1.059625E-13
X ⁵	-2.853060E-17	1.499373E-14	-3.327224E-16	-3.396117E-16	1.122966E-13	-7.141998E-16
X ³ Y ²	5.428060E-17	-4.560639E-13	-2.729510E-17	1.958645E-17	4.975385E-13	-1.157245E-15
X ² Y ⁴	9.034205E-16	4.633694E-13	-4.803414E-16	4.337124E-16	9.650331E-13	-6.079561E-16
Y ⁶	9.726812E-16	-1.567936E-12	-9.119915E-19	3.224937E-16	-4.013641E-13	-1.910957E-16
X ⁴ Y	7.541120E-20	-5.491590E-16	-3.248735E-18	-4.999870E-18	1.809992E-15	1.533677E-19
X ³ Y ³	-7.407407E-19	-3.053897E-15	-4.175176E-19	-1.121906E-18	4.277794E-15	7.709209E-19
X ² Y ⁵	-3.053897E-18	-1.459850E-15	-5.190383E-19	9.702383E-19	5.157566E-15	9.414679E-19
Y ⁷	-1.167661E-17	1.377526E-14	-3.283791E-21	9.398678E-20	-3.053184E-15	3.954522E-19
X ⁶	-1.128385E-22	-2.091289E-19	-1.560172E-21	-2.941200E-21	2.054965E-18	-3.788563E-21
X ⁴ Y ²	-2.424101E-21	-5.485841E-18	-1.205060E-20	-3.188366E-20	8.911569E-18	-9.560288E-21
X ³ Y ⁴	4.347588E-22	-3.722786E-17	-1.249304E-21	-8.368608E-21	1.007777E-17	-8.789392E-21
X ² Y ⁶	2.577199E-21	-2.687589E-17	-2.354061E-22	8.597809E-22	1.143993E-17	-3.545101E-21
Y ⁸	5.215288E-20	-7.389037E-17	-4.229309E-23	-6.689468E-22	-7.499429E-18	-1.703637E-21
X ⁵ Y	7.792174E-25	0.000000E+00	-7.813621E-24	-2.516130E-23	0.000000E+00	8.396981E-25
X ⁴ Y ³	8.992421E-24	0.000000E+00	-1.921637E-23	-8.262460E-23	0.000000E+00	4.664369E-24
X ³ Y ⁵	-4.714974E-25	0.000000E+00	-1.610571E-24	-1.778189E-23	0.000000E+00	9.398752E-24
X ² Y ⁷	6.059892E-24	0.000000E+00	3.848059E-26	1.222213E-24	0.000000E+00	1.042278E-23
Y ⁹	-8.700880E-23	0.000000E+00	6.368781E-27	-2.288415E-25	0.000000E+00	7.789109E-24
X ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	-5.411923E-27	-1.603639E-26	0.000000E+00	-3.929816E-26
X ² Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.609679E-27	-4.538477E-26	0.000000E+00	-1.453997E-25
X ³ Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.127835E-26	-7.710579E-26	0.000000E+00	-1.839705E-25
X ⁴ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.495275E-28	-1.413945E-26	0.000000E+00	-8.230974E-26
X ² Y ⁹	0.000000E+00	0.000000E+00	4.740792E-29	1.022008E-27	0.000000E+00	-8.755648E-27
Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	1.728076E-29	1.964912E-28	0.000000E+00	-7.204080E-27
Nradius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y偏心	-144.660	-98.223	42.173	-14.449	2.986	-10.929
X回転	-8.868	-16.235	1.500	-3.658	-7.600	-1.635

10

20

30

表 7 B

【 0 2 1 3】

40

図 1 7 から 2 0 は、自由形式曲面としてすべて設計されている 4 つの鏡を有する本発明の他の実施形態を示している。示されているのは、物体平面 3 0 0 0、像平面 3 0 0 2、第 1 の鏡 S 1、第 2 の鏡 S 2、第 3 の鏡 S 3、第 4 の鏡 S 4 である。光学データが記載されているすべての後続の表は、鏡 S 1 から S 4 を M 1 から M 4 として参照している。図 1 7 から 2 0 による実施形態について、以下のデータが与えられている。

【 0 2 1 4】

- 開口数： 0 . 2 6
- 結像係数： 1 : 4
- 物体視野の形態： 矩形
- 物体側で視野をスキャンする幅： 1 0 0 m m

50

物体側で視野をスキャンする高さ：8 mm
 長さ：2 3 6 0 mm
 像平面の傾き：- 3 . 0 8 4 °

【 0 2 1 5 】

この実施形態は、開口数、視野サイズ、システム・サイズ、波面、歪曲補正のバランスのとれた組合せを有するシステムを示している

【 0 2 1 6 】

光学データは、以下の表に示されている。

【 0 2 1 7 】

【 表 1 5 】

表面	半径	厚さ	モード
物体	無限大	2102,043	
鏡1	3004,821	-1812,311	REFL
鏡2	2545,365	1957,316	REFL
鏡3	706,710	0,000	REFL
絞り	無限大	-339,990	
鏡4	741,656	453,302	REFL
像	無限大	0,000	

10

20

【 0 2 1 8 】

【 表 1 6 】

係数	M1	M2	M3	M4	像
Y偏心	-65,523	54,692	48,905	47,778	23,755
X回転	-2,620	-2,374	-2,706	-1,585	-3,084

【 0 2 1 9 】

30

【表 17】

係数	M1	M2	M3	M4
K	-1,09E+00	5,80E-02	2,06E+00	6,72E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	3,54E-04	9,93E-06	-5,35E-04	1,23E-04
Y2	1,97E-04	1,07E-05	1,23E-05	2,97E-04
X2Y	-6,42E-07	-2,47E-08	-4,37E-07	-2,44E-07
Y3	3,69E-07	1,89E-08	-1,34E-06	-4,72E-07
X4	2,63E-09	3,01E-12	-2,94E-08	-5,08E-09
X2Y2	-1,09E-10	2,13E-11	-3,33E-08	-5,07E-09
Y4	-6,07E-11	-1,88E-11	-1,42E-08	-1,36E-09
X4Y	-2,66E-11	-7,36E-14	4,84E-11	-4,80E-12
X2Y3	2,61E-11	3,55E-14	-5,06E-11	-1,05E-11
Y5	-1,67E-12	-6,53E-15	7,86E-11	-1,06E-11
X6	-8,14E-13	-2,93E-16	-7,71E-13	-1,04E-13
X4Y2	1,29E-13	6,33E-17	-1,53E-12	-4,13E-13
X2Y4	-4,50E-14	-7,40E-17	2,40E-13	-3,31E-13
Y6	1,04E-15	1,42E-17	-6,88E-13	1,99E-14
X6Y	1,96E-14	3,20E-18	-6,34E-15	-1,31E-15
X4Y3	-2,85E-16	2,38E-19	-1,30E-14	-5,72E-15
X2Y5	-1,60E-16	-4,36E-20	1,43E-14	-9,75E-16
Y7	1,93E-18	1,20E-20	1,61E-15	2,08E-15
X8	-1,62E-17	-1,41E-21	-8,44E-19	-7,70E-18
X6Y2	-1,69E-16	-1,19E-20	1,72E-16	-1,13E-16
X4Y4	3,10E-18	5,44E-22	2,91E-16	-1,26E-16
X2Y6	-2,80E-19	8,10E-22	9,83E-18	4,36E-17
Y8	8,73E-21	-4,31E-24	4,37E-17	3,31E-17
X8Y	1,79E-19	6,79E-24	1,76E-18	-4,84E-19
X6Y3	6,22E-19	1,62E-23	6,22E-18	-2,33E-18
X4Y5	-2,21E-20	-3,41E-24	-1,22E-19	-1,19E-18
X2Y7	4,10E-21	-2,28E-24	-2,47E-18	5,49E-19
Y9	9,75E-23	-5,21E-26	-5,68E-19	2,75E-19
X10	-3,29E-23	-8,73E-28	-5,00E-21	-4,71E-22
X8Y2	-4,75E-22	-7,40E-27	-6,76E-20	-6,64E-21
X6Y4	-8,19E-22	-6,01E-27	-1,52E-19	-1,46E-20
X4Y6	4,25E-23	3,34E-27	-4,79E-20	-4,03E-21
X2Y8	-6,29E-24	2,20E-27	5,65E-21	1,87E-21
Y10	-3,17E-25	9,18E-29	2,89E-21	8,49E-22
Nradius	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

10

20

30

【 0 2 2 0 】

【表 18】

XObject/mm	YObject/mm	歪み (x)/nm	歪み (y)/nm	歪みの 絶対値/nm	テレセント リック性/度	13.5 nmでの 波面誤差
0	600	0	-0.960073	0.960073	0.0196465	0.027195
0	602	0	-1.46082	1.46082	0.0111602	0.019766
0	604	0	-1.14157	1.14157	0.00258716	0.015522
0	606	0	-0.708422	0.708422	0.00607316	0.01395
0	608	0	-0.868087	0.868087	0.0148213	0.032279
12.5	600	-0.702813	-0.349919	0.785105	0.0226563	0.026075
12.5	602	-0.506161	-0.815296	0.959639	0.0159931	0.018251
12.5	604	-0.214821	-0.491402	0.536306	0.011916	0.01476
12.5	606	0.161171	-0.084304	0.181888	0.0132822	0.014764
12.5	608	0.611783	-0.300692	0.681685	0.0190686	0.032953
25	600	-0.828473	0.99838	1.29736	0.0299227	0.025603
25	602	-0.613329	0.633853	0.882011	0.0254871	0.014924
25	604	-0.210678	0.966257	0.988958	0.0234105	0.012561
25	606	0.359349	1.28961	1.33874	0.0243974	0.016745
25	608	1.07663	0.89729	1.40152	0.028208	0.035061
37.5	600	-0.079109	1.6231	1.62502	0.0391462	0.033551
37.5	602	-0.207297	1.40928	1.42444	0.036144	0.015412
37.5	604	-0.058849	1.73794	1.73893	0.035006	0.008795
37.5	606	0.335888	1.90321	1.93262	0.0359723	0.018708
37.5	608	0.946577	1.1986	1.5273	0.0389452	0.038658
50	600	1.28921	-0.96207	1.60861	0.0492443	0.056489
50	602	0.261464	-1.00092	1.03450	0.0471902	0.03219
50	604	-0.405953	-0.714664	0.821914	0.0466375	0.018965
50	606	-0.753775	-0.809016	1.10575	0.0476858	0.02652
50	608	-0.82272	-1.99027	2.15361	0.0502807	0.047096

10

20

【0221】

30

$x_{\text{Object/mm}}$ 及び $y_{\text{Object/mm}}$ は、物体平面内の x 座標及び y 座標を表す。歪曲 $(x)/nm$ 及び歪曲 $(y)/nm$ の値は、それぞれの座標における歪曲を表す。歪曲 $/nm$ の絶対値は、像平面で測定されたそれぞれの座標における歪曲絶対値を表す。テレセントリック性/度は、それぞれの座標における主光線角を表す。13.5nmでの波面誤差は、照明波長 $=13.5nm$ の単位のRMS波面誤差を表す。光学系は、 yz 平面に関して鏡面对称であるので、物体平面内で正の x 座標を有する視野点に対するデータを与えるだけで十分である。

【0222】

図18から20は、図17による対物鏡の射出瞳の座標系における横収差を示している。これらの収差のグラフは15個の視野点、つまり、 $x=0$ 、 $x=x_{\text{max}}/2$ 、 $x=x_{\text{max}}$ における物体視野の中心の y_{min} と y_{max} の間の5個の等距離 y 座標に対する波面誤差を示している。

40

【0223】

図21から24は、自由形式曲面としてすべて設計されている4つの鏡を有する本発明の他の実施形態を示している。示されているのは、物体平面3000、像平面3002、第1の鏡S1、第2の鏡S2、第3の鏡S3、第4の鏡S4である。光学データが記載されているすべての後続の表は、鏡S1からS4をM1からM4として参照している。図21から24による実施形態について、以下のデータが与えられている。

【0224】

開口数： 0.3

50

結像係数： 1 : 4
 物体視野の形態： 矩形
 物体側で視野をスキャンする幅： 1 0 0 m m
 物体側で視野をスキャンする高さ： 8 m m
 長さ： 2 3 5 4 m m
 像平面の傾き： - 3 . 7 9 8 °

【 0 2 2 5 】

この実施形態は、開口数が大きなシステムを示している。

【 0 2 2 6 】

光学データは、以下の表に示されている。

【 0 2 2 7 】

【表 1 9】

表面	半径	厚さ	モード
物体	無限大	2102,043	
鏡1	3030,572	-1827,768	REFL
鏡2	2546,206	1949,851	REFL
鏡3	689,344	0,000	REFL
絞り	無限大	-322,728	
鏡4	734,331	452,552	REFL
像	無限大	0,000	

【 0 2 2 8 】

【表 2 0】

係数	M1	M2	M3	M4	像
Y偏心	-60,435	53,835	51,299	48,788	20,674
X回転	-2,524	-2,393	-2,965	-1,494	-3,798

【 0 2 2 9 】

10

20

30

【表 2 1】

係数	M1	M2	M3	M4
K	-1,64E+00	5,42E-02	2,28E+00	7,41E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	3,01E-04	8,11E-06	-2,17E-04	3,12E-04
Y2	1,85E-04	9,90E-06	1,37E-05	3,77E-04
X2Y	-8,52E-07	-2,68E-08	-8,61E-07	-3,91E-07
Y3	3,22E-07	1,35E-08	-1,77E-06	-3,44E-07
X4	1,85E-09	-4,10E-12	-3,25E-08	-3,95E-09
X2Y2	1,66E-09	2,16E-11	-4,52E-08	-3,73E-09
Y4	-2,66E-10	-2,70E-11	-1,63E-08	1,07E-09
X4Y	-1,09E-11	-4,58E-14	2,88E-11	-5,23E-12
X2Y3	2,59E-11	1,36E-14	-5,03E-11	-3,04E-12
Y5	-2,08E-12	-8,16E-15	5,68E-11	9,47E-13
X6	-3,36E-13	-1,32E-16	-1,05E-12	-8,91E-14
X4Y2	4,77E-14	2,14E-18	-2,39E-12	-2,67E-13
X2Y4	-1,05E-13	-8,15E-17	-5,56E-13	-1,48E-13
Y6	2,44E-15	1,81E-17	-8,66E-13	-9,89E-14
X6Y	7,74E-15	1,24E-18	-2,94E-15	6,43E-17
X4Y3	-1,33E-16	3,33E-19	-7,65E-15	-1,59E-15
X2Y5	6,38E-17	1,05E-20	2,25E-15	-1,75E-15
Y7	1,78E-17	-9,61E-21	5,45E-15	-1,44E-15
X8	-5,84E-18	-6,31E-22	-2,12E-17	-2,74E-18
X6Y2	-6,51E-17	-4,73E-21	-2,21E-17	-2,49E-17
X4Y4	1,12E-18	-1,06E-21	1,03E-17	-4,22E-17
X2Y6	-1,87E-19	3,30E-23	-3,82E-17	-1,56E-17
Y8	-1,84E-20	-2,35E-23	4,83E-17	-2,21E-18
X8Y	6,56E-20	3,32E-24	5,90E-19	-1,29E-19
X6Y3	2,32E-19	6,89E-24	2,59E-18	-5,99E-19
X4Y5	-7,44E-21	1,27E-24	2,28E-19	-4,47E-19
X2Y7	2,48E-21	-3,15E-25	3,92E-19	-9,74E-20
Y9	4,79E-23	3,01E-26	-8,17E-20	7,95E-20
X10	-1,93E-23	-6,89E-28	-3,94E-21	-2,24E-22
X8Y2	-1,74E-22	-4,55E-27	-2,48E-20	-2,04E-21
X6Y4	-2,97E-22	-4,06E-27	-4,24E-20	-4,46E-21
X4Y6	1,36E-23	-1,24E-27	-3,93E-21	-1,90E-21
X2Y8	-4,52E-24	3,71E-28	9,91E-21	-3,41E-22
Y10	-2,43E-25	-8,40E-31	2,16E-21	3,64E-22
Nradius	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

10

20

30

【 0 2 3 0 】

【表 2 2】

XObject/mm	YObject/mm	歪み (x)/nm	歪み (y)/nm	歪みの 絶対値/nm	テレセント リック性/度	13.5 nmでの 波面誤差
0	600	0	-2.20023	2.20023	0.0179382	0.046052
0	602	0	-1.79021	1.79021	0.0109101	0.029756
0	604	0	-1.28717	1.28717	0.00378722	0.023987
0	606	0	-0.891336	0.891336	0.00343113	0.017834
0	608	0	-0.799202	0.799202	0.0107455	0.043696
12.5	600	-1.08427	-1.27001	1.66991	0.0239704	0.043224
12.5	602	-0.470847	-0.877877	0.996175	0.0193253	0.026959
12.5	604	0.0397523	-0.421226	0.423098	0.0164496	0.024212
12.5	606	0.437494	-0.10014	0.448809	0.016432	0.020337
12.5	608	0.712381	-0.110954	0.72097	0.0193876	0.042811
25	600	-1.45171	0.861628	1.68815	0.0365032	0.04072
25	602	-0.473724	1.1945	1.28501	0.0337094	0.021812
25	604	0.296494	1.50628	1.53518	0.0322325	0.025914
25	606	0.838851	1.59734	1.80421	0.0323169	0.027051
25	608	1.13332	1.27182	1.70351	0.0340121	0.041958
37.5	600	-0.729082	2.21013	2.32728	0.0509314	0.052463
37.5	602	0.112795	2.42562	2.42824	0.0490538	0.021672
37.5	604	0.637771	2.47706	2.55785	0.0481478	0.026628
37.5	606	0.815622	2.16558	2.31408	0.0483103	0.033809
37.5	608	0.616222	1.29608	1.43512	0.0495729	0.044712
50	600	0.775128	-0.556886	0.954435	0.0660057	0.083092
50	602	0.722695	-0.544482	0.904847	0.0646623	0.033187
50	604	0.238001	-0.896861	0.927904	0.0640826	0.022442
50	606	-0.719402	-1.81183	1.94942	0.0643192	0.040278
50	608	-2.18984	-3.48339	4.11454	0.0653953	0.058456

10

20

【0 2 3 1】

図 2 2 から 2 4 は、図 2 1 による対物鏡の射出瞳の座標系における横収差を示している。

30

【0 2 3 2】

図 2 5 から 2 8 は、自由形式曲面としてすべて設計されている 4 つの鏡を有する本発明の他の実施形態を示している。示されているのは、物体平面 3 0 0 0、像平面 3 0 0 2、第 1 の鏡 S 1、第 2 の鏡 S 2、第 3 の鏡 S 3、第 4 の鏡 S 4 である。光学データが記載されているすべての後続の表は、鏡 S 1 から S 4 を M 1 から M 4 として参照している。図 2 5 から 2 8 による実施形態について、以下のデータが与えられている。

【0 2 3 3】

開口数： 0 . 2 5
 結像係数： 1 : 5
 物体視野の形態： 矩形
 物体側で視野をスキャンする幅： 1 0 0 m m
 物体側で視野をスキャンする高さ： 8 m m
 長さ： 3 0 3 0 m m
 像平面の傾き： 0 °

40

【0 2 3 4】

この実施形態は、物体平面と像平面が平行なシステムを示している。さらに、この実施形態は 1 : 5 の異なる結像係数を示す。

【0 2 3 5】

50

光学データは、以下の表に示されている。

【 0 2 3 6 】

【 表 2 3 】

表面	半径 (mm)	厚さ (mm)	モード
物体	無限大	2802,724	
鏡1	3724,091	-2465,218	REFL
鏡2	3395,652	2585,049	REFL
鏡3	966,548	0,000	REFL
絞り	無限大	-489,055	
鏡4	977,692	596,613	REFL
像	無限大	0,000	

10

【 0 2 3 7 】

【 表 2 4 】

係数	M1	M2	M3	M4	像
Y偏心	-100,324	68,520	71,277	70,971	11,261
X回転	-2,639	-2,442	-1,362	-1,500	0,000

20

【 0 2 3 8 】

【表 2 5】

係数	M1	M2	M3	M4
K	-1,16E+00	2,46E-02	1,91E+00	6,14E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	7,57E-04	-5,51E-06	-1,67E-03	-7,26E-05
Y2	3,91E-04	1,41E-05	2,55E-04	5,59E-04
X2Y	3,33E-07	4,07E-08	7,06E-06	1,39E-06
Y3	7,43E-07	3,00E-08	-1,85E-06	-7,26E-07
X4	-3,29E-10	-1,40E-11	-3,83E-08	-9,63E-09
X2Y2	-5,31E-09	4,16E-11	-2,00E-08	-9,67E-09
Y4	-1,29E-10	3,16E-11	1,30E-09	-5,34E-10
X4Y	5,56E-11	-8,02E-16	2,62E-10	2,05E-11
X2Y3	9,40E-11	5,57E-14	1,95E-10	-4,65E-11
Y5	-4,49E-12	-1,18E-13	1,24E-10	-2,50E-11
X6	-1,02E-13	-2,32E-17	-7,28E-13	-2,01E-13
X4Y2	-6,56E-13	6,60E-16	3,35E-13	-7,74E-13
X2Y4	-2,69E-13	8,67E-16	3,48E-12	-1,39E-12
Y6	-1,18E-15	1,46E-16	4,55E-13	-6,59E-14
X6Y	1,01E-15	-3,25E-19	1,32E-14	-1,08E-15
X4Y3	3,51E-15	-1,59E-18	2,19E-14	-5,45E-15
X2Y5	-1,34E-16	-2,11E-18	2,46E-14	-1,09E-14
Y7	-2,06E-17	9,07E-21	1,98E-15	-1,21E-17
X8	6,20E-19	7,45E-23	-7,70E-18	-5,96E-18
X6Y2	-3,16E-18	1,52E-21	4,77E-17	-3,66E-17
X4Y4	-7,05E-18	2,84E-21	2,42E-16	-4,83E-17
X2Y6	1,15E-18	2,33E-21	-1,14E-17	-4,02E-17
Y8	8,47E-20	-8,82E-23	9,94E-17	6,83E-19
X8Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y5	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y7	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y9	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X8Y2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y6	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y8	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Nradius	4,00E+00	4,00E+00	4,00E+00	4,00E+00

10

20

30

【 0 2 3 9 】

【表 2 6】

XObjectm	YObject/mm	歪み (x)/nm	歪み (y)/nm	歪みの 絶対値/nm	テレセント リック性/度	13.5 nmでの 波面誤差
0	800	0	-0.340392	0.340392	0.0258308	0.017169
0	802	0	-0.548595	0.548595	0.0138699	0.019794
0	804	0	-0.199318	0.199318	0.00186948	0.024128
0	806	0	0.121535	0.121535	0.0101706	0.014148
0	808	0	-0.173787	0.173787	0.0222505	0.035190
12.5	800	0.0450163	-0.176646	0.182292	0.0264815	0.018897
12.5	802	-0.0866232	-0.387405	0.396971	0.0151773	0.020501
12.5	804	-0.0707759	-0.0498264	0.0865557	0.00674106	0.024709
12.5	806	0.0891365	0.250161	0.265567	0.0122229	0.015804
12.5	808	0.389682	-0.0752142	0.396874	0.0233473	0.036331
25	800	0.164298	0.201778	0.260208	0.0283526	0.021433
25	802	-0.143816	-0.0170961	0.144828	0.0185673	0.020512
25	804	-0.157147	0.284935	0.325397	0.0131056	0.024535
25	806	0.117459	0.521867	0.534922	0.0169632	0.017161
25	808	0.673133	0.105856	0.681406	0.0263743	0.038085
37.5	800	0.382136	0.456584	0.595397	0.0312476	0.023030
37.5	802	-0.192076	0.222698	0.294088	0.0231726	0.017658
37.5	804	-0.324591	0.463967	0.566237	0.0195923	0.021537
37.5	806	-0.025688	0.594265	0.59482	0.022802	0.014965
37.5	808	0.694325	0.0256282	0.694798	0.0307906	0.038495
50	800	0.623063	0.0244512	0.623543	0.0349462	0.032248
50	802	-0.351568	-0.233592	0.422096	0.0284496	0.023561
50	804	-0.738167	-0.0805832	0.742553	0.0261558	0.025133
50	806	-0.550452	-0.102823	0.559974	0.0291262	0.020735
50	808	0.197816	-0.888445	0.910201	0.0361232	0.042244

10

20

30

【0 2 4 0】

図 2 6 から 2 8 は、図 2 5 による対物鏡の射出瞳の座標系における横収差を示している。

【0 2 4 1】

図 2 9 から 3 2 は、自由形式曲面としてすべて設計されている 4 つの鏡を有する本発明の他の実施形態を示している。示されているのは、物体平面 3 0 0 0、像平面 3 0 0 2、第 1 の鏡 S 1、第 2 の鏡 S 2、第 3 の鏡 S 3、第 4 の鏡 S 4 である。光学データが記載されているすべての後続の表は、鏡 S 1 から S 4 を M 1 から M 4 として参照している。図 2 9 から 3 2 による実施形態について、以下のデータが与えられている。

【0 2 4 2】

開口数： 0 . 2 4
 結像係数： 1 : 5
 物体視野の形態： 矩形
 物体側で視野をスキャンする幅： 1 0 0 m m
 物体側で視野をスキャンする高さ： 8 m m
 長さ： 2 2 7 3 m m
 像平面の傾き： 0 °

40

【0 2 4 3】

図 2 5 の実施形態に比べて、この実施形態の開口数は幾分低く、残収差は幾分高いが、システムの長さは図 1 7 による。

【0 2 4 4】

50

光学データは、以下の表に示されている。

【 0 2 4 5 】

【 表 2 7 】

表面	半径 (mm)	厚さ (mm)	モード
物体	無限大	2102,043	
鏡1	2793,659	-1848,726	REFL
鏡2	2546,811	1938,769	REFL
鏡3	724,789	0,000	REFL
絞り	無限大	-366,800	
鏡4	733,040	447,458	REFL
像	無限大	0,000	

10

【 0 2 4 6 】

【 表 2 8 】

係数	M1	M2	M3	M4	像
Y偏心	-75,087	51,394	53,563	53,215	8,406
X回転	-2,635	-2,442	-1,373	-1,503	0,000

20

【 0 2 4 7 】

【表 2 9】

係数	M1	M2	M3	M4
K	-1,18E+00	2,43E-02	1,79E+00	6,25E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	5,63E-04	-4,21E-06	-1,24E-03	-5,32E-05
Y2	2,93E-04	1,06E-05	1,91E-04	4,21E-04
X2Y	3,27E-07	3,31E-08	5,31E-06	1,03E-06
Y3	5,55E-07	2,25E-08	-1,34E-06	-5,45E-07
X4	-4,83E-11	-1,05E-11	-2,55E-08	-7,45E-09
X2Y2	-4,43E-09	2,08E-11	-8,22E-09	-8,28E-09
Y4	-1,07E-10	2,38E-11	5,97E-09	-1,14E-09
X4Y	2,99E-11	-1,99E-14	2,05E-10	1,41E-11
X2Y3	6,95E-11	5,53E-14	1,56E-10	-5,12E-11
Y5	-3,40E-12	-8,87E-14	1,05E-10	-2,19E-11
X6	-3,28E-14	6,98E-18	-3,80E-13	-1,62E-13
X4Y2	-3,27E-13	6,59E-16	6,90E-13	-6,77E-13
X2Y4	-1,84E-13	6,85E-16	3,09E-12	-1,35E-12
Y6	-8,30E-16	1,08E-16	3,25E-13	-5,27E-14
X6Y	2,31E-16	-3,71E-19	9,39E-15	-9,01E-16
X4Y3	1,75E-15	-1,64E-18	1,82E-14	-5,23E-15
X2Y5	-1,54E-16	-1,71E-18	2,00E-14	-1,08E-14
Y7	-1,38E-17	4,97E-21	1,64E-16	-8,50E-18
X8	4,46E-19	6,17E-23	2,58E-18	-4,70E-18
X6Y2	-8,01E-19	1,33E-21	8,08E-17	-2,87E-17
X4Y4	-3,59E-18	2,58E-21	2,26E-16	-4,48E-17
X2Y6	9,06E-19	1,87E-21	-2,45E-17	-4,08E-17
Y8	6,53E-20	-4,81E-23	8,45E-17	-2,43E-19
X8Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y5	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y7	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y9	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X8Y2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y6	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y8	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Nradius	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

10

20

30

【 0 2 4 8 】

【表 3 0】

XObject/mm	YObject/mm	歪み (x)/nm	歪み (y)/nm	歪みの 絶対値/nm	テレセント リック性/度	13.5 nmでの 波面誤差
0	600	0	-0.303712	0.303712	0.0350766	0.023748
0	602	0	-0.943417	0.943417	0.0190794	0.022355
0	604	0	-0.508069	0.508069	0.00301184	0.029861
0	606	0	0.00377447	0.003775	0.0131266	0.017655
0	608	0	-0.410098	0.410098	0.0293362	0.037546
12.5	600	-0.0976702	-0.0397139	0.105436	0.0359221	0.024194
12.5	602	-0.336727	-0.658804	0.73987	0.0208196	0.021336
12.5	604	-0.305426	-0.223582	0.378515	0.00938223	0.028592
12.5	606	-0.0115266	0.267305	0.267554	0.0161529	0.016575
12.5	608	0.537176	-0.188439	0.569269	0.0309678	0.038828
25	600	0.0740798	0.543069	0.548099	0.0383664	0.025529
25	602	-0.488733	-0.0159655	0.488994	0.0253625	0.019218
25	604	-0.511562	0.417058	0.660025	0.0180672	0.025576
25	606	-0.00993471	0.843229	0.843287	0.0229845	0.014322
25	608	1.00055	0.259991	1.03377	0.0354364	0.042367
37.5	600	0.635211	0.816881	1.03479	0.0421854	0.027832
37.5	602	-0.420855	0.35196	0.548629	0.0315907	0.018948
37.5	604	-0.668773	0.775246	1.02385	0.0269974	0.023314
37.5	606	-0.131864	1.08739	1.09535	0.0312902	0.013747
37.5	608	1.16644	0.285392	1.20085	0.0418989	0.047139
50	600	1.40779	-0.264954	1.43251	0.0471254	0.033617
50	602	-0.396014	-0.610703	0.727863	0.0387971	0.027129
50	604	-1.12571	-0.213831	1.14584	0.0360974	0.028277
50	606	-0.812445	-0.0743145	0.815836	0.0402623	0.020092
50	608	0.512487	-1.19576	1.30095	0.0496609	0.052034

10

20

【 0 2 4 9 】

図 3 0 から 3 2 は図 2 9 による対物鏡の射出瞳の座標系における横収差を示している。

【 0 2 5 0 】

図 3 3 から 3 6 は、自由形式曲面としてすべて設計されている 4 つの鏡を有する本発明の他の実施形態を示している。示されているのは、物体平面 3 0 0 0、像平面 3 0 0 2、第 1 の鏡 S 1、第 2 の鏡 S 2、第 3 の鏡 S 3、第 4 の鏡 S 4 である。光学データが記載されているすべての後続の表は、鏡 S 1 から S 4 を M 1 から M 4 として参照している。図 3 3 から 3 6 による実施形態について、以下のデータが与えられている。

【 0 2 5 1 】

- 開口数： 0 . 3 0
- 結像係数： 1 : 5
- 物体視野の形態： 矩形
- 物体側で視野をスキャンする幅： 1 0 0 m m
- 物体側で視野をスキャンする高さ： 8 m m
- 長さ： 2 3 3 2 m m
- 像平面の傾き： - 4 . 5 1 5 °

40

【 0 2 5 2 】

この光学系を使用すると、光学コンポーネントの遮蔽がない非常に高い開口数を実現される。

【 0 2 5 3 】

光学データは、以下の表に示されている。

50

【 0 2 5 4 】

【 表 3 1 】

表面	半径	厚さ	モード
物体	無限大	2102,043	
鏡1	2806,084	-1838,550	REFL
鏡2	2547,909	1937,744	REFL
鏡3	678,009	0,000	REFL
絞り	無限大	-321,297	
鏡4	724,986	451,996	REFL
像	無限大	0,000	

10

【 0 2 5 5 】

【 表 3 2 】

係数	M1	M2	M3	M4	像
Y偏心	-60,550	48,435	58,618	51,407	8,786
X回転	-2,354	-2,502	-3,516	-1,667	-4,515

【 0 2 5 6 】

20

【表 3 3】

係数	M1	M2	M3	M4
K	-9,97E-01	3,10E-02	2,78E+00	8,33E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	5,76E-04	3,29E-05	3,77E-04	7,34E-04
Y2	2,85E-04	8,60E-06	-2,80E-04	4,86E-04
X2Y	-1,58E-06	7,59E-11	2,37E-06	4,69E-08
Y3	5,91E-07	1,16E-08	-3,82E-07	-6,08E-07
X4	2,12E-09	2,57E-11	-2,39E-08	4,09E-10
X2Y2	1,66E-08	1,07E-10	-5,49E-08	-8,60E-10
Y4	-4,86E-11	3,13E-11	-4,63E-08	-1,53E-09
X4Y	-3,03E-11	-5,49E-14	1,73E-10	3,15E-12
X2Y3	-6,10E-11	-1,55E-13	1,88E-10	-7,52E-12
Y5	-4,20E-12	-4,44E-14	1,11E-10	-3,72E-12
X6	9,54E-15	3,01E-17	-7,68E-13	-2,46E-14
X4Y2	2,14E-13	4,63E-16	-2,74E-12	-1,59E-13
X2Y4	1,12E-14	3,89E-16	-3,32E-12	-1,92E-13
Y6	1,65E-15	2,47E-17	-1,30E-12	-7,78E-14
X6Y	-2,26E-16	-1,54E-19	8,48E-15	-1,53E-16
X4Y3	-5,47E-16	-7,87E-19	1,15E-14	-6,67E-16
X2Y5	5,78E-16	-3,98E-19	3,95E-15	-3,91E-16
Y7	1,29E-18	-6,38E-21	-3,30E-15	4,66E-16
X8	2,43E-19	3,50E-23	-1,57E-17	-1,17E-18
X6Y2	3,79E-19	4,92E-22	-9,74E-17	-7,71E-18
X4Y4	2,03E-21	1,04E-21	-1,74E-16	-1,21E-17
X2Y6	-1,22E-18	4,66E-22	-1,42E-16	-7,08E-18
Y8	1,73E-20	1,30E-23	-4,17E-17	1,05E-18
X8Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y5	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y7	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y9	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X8Y2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y6	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y8	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Nradius	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

10

20

30

【 0 2 5 7 】

【表 3 4】

XObject/mm	YObject/mm	歪み (x)/nm	歪み (y)/nm	歪みの 絶対値/nm	テレセント リック性/度	13.5 nmでの 波面誤差
0	600	0	-0.166318	0.166318	0.0148053	0.053501
0	602	0	-0.731572	0.731572	0.00884521	0.019284
0	604	0	-0.661487	0.661487	0.00282744	0.038268
0	606	0	-0.504836	0.504836	0.0032483	0.021472
0	608	0	-0.810627	0.810627	0.00938234	0.047628
12.5	600	-0.852921	0.132616	0.863169	0.0186158	0.052338
12.5	602	-0.193958	-0.398416	0.44312	0.0145478	0.024553
12.5	604	0.181685	-0.303572	0.353787	0.0121468	0.042437
12.5	606	0.270096	-0.131573	0.300439	0.012504	0.02662
12.5	608	0.0673771	-0.431381	0.436611	0.0154976	0.048115
25	600	-1.29433	0.754312	1.49809	0.0270423	0.048536
25	602	-0.101019	0.323398	0.338808	0.0247903	0.031643
25	604	0.524636	0.489914	0.717815	0.0238524	0.049015
25	606	0.574789	0.705289	0.909844	0.0244236	0.033313
25	608	0.0416169	0.420711	0.422764	0.0264463	0.04856
37.5	600	-1.11433	0.871449	1.41462	0.0371683	0.044918
37.5	602	0.363273	0.598909	0.700471	0.0359881	0.032203
37.5	604	0.986834	0.876191	1.31968	0.0357827	0.049123
37.5	606	0.744538	1.15498	1.37416	0.0365972	0.031801
37.5	608	-0.375406	0.886699	0.962894	0.0383944	0.049913
50	600	-0.505166	-0.901506	1.03339	0.0480691	0.060875
50	602	0.879494	-0.970155	1.30947	0.0476135	0.036681
50	604	1.12068	-0.556047	1.25104	0.0479137	0.044354
50	606	0.202525	-0.20714	0.289695	0.0489775	0.03033

10

20

【0 2 5 8】

図 3 4 から 3 6 は図 3 3 による対物鏡の射出瞳の座標系における横収差を示している。

30

【0 2 5 9】

図 3 7 から 4 0 は、自由形式曲面としてすべて設計されている 4 つの鏡を有する本発明の他の実施形態を示している。示されているのは、物体平面 3 0 0 0、像平面 3 0 0 2、第 1 の鏡 S 1、第 2 の鏡 S 2、第 3 の鏡 S 3、第 4 の鏡 S 4 である。光学データが記載されているすべての後続の表は、鏡 S 1 から S 4 を M 1 から M 4 として参照している。図 3 7 から 4 0 による実施形態について、以下のデータが与えられている。

【0 2 6 0】

開口数： 0 . 2 0
 結像係数： 1 : 4
 物体視野の形態： 矩形
 物体側で視野をスキャンする幅： 1 0 0 m m
 物体側で視野をスキャンする高さ： 8 m m
 長さ： 2 0 8 4 m m
 像平面の傾き： + 6 . 8 9 0 °

40

【0 2 6 1】

この実施形態は、物体平面の法線方向に関して高い主光線角をなす鏡の配列を示している。これにより、図に示されていない照明用光線経路及び反射マスク又はレチクルにおける結像光線経路を容易に分離できる。さらに、鏡面への最大入射角は、この実施形態では幾分低く、多層反射構造の製造が容易になる。

【0 2 6 2】

50

光学データは、以下の表に示されている。

【 0 2 6 3 】

【 表 3 5 】

表面	半径	厚さ	モード
物体	無限大	1781,972	
鏡1	21581,586	-1639,081	REFL
鏡2	4053,640	1376,461	REFL
鏡3	1254,488	0,000	REFL
絞り	無限大	-1067,803	
鏡4	1733,205	1632,838	REFL
像	無限大	0,000	

10

【 0 2 6 4 】

【 表 3 6 】

係数	M1	M2	M3	M4	像
Y偏心	-29,501	-2,134	-5,508	-0,487	5,838
X回転	-0,812	0,034	2,908	1,105	6,890

20

【 0 2 6 5 】

【表 3 7】

係数	M1	M2	M3	M4
K	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	2,80E-04	1,47E-05	-6,54E-04	-1,23E-04
Y2	1,13E-04	7,15E-05	-1,55E-04	-2,14E-05
X2Y	-8,62E-09	-9,59E-08	-2,20E-07	-1,32E-08
Y3	1,51E-07	5,42E-08	1,12E-07	3,86E-08
X4	2,07E-09	-1,04E-10	-6,16E-10	-7,05E-11
X2Y2	-3,64E-09	-1,00E-10	-4,18E-10	-3,95E-11
Y4	-2,70E-11	-3,46E-10	1,32E-09	5,30E-11
X4Y	-2,72E-11	-2,99E-13	1,86E-13	-6,90E-15
X2Y3	1,52E-11	2,29E-13	-1,45E-12	8,75E-14
Y5	-1,49E-12	4,09E-13	5,04E-12	2,35E-14
X6	-2,54E-14	-8,99E-17	-3,11E-16	-5,52E-17
X4Y2	7,40E-14	1,26E-15	-2,70E-15	-2,62E-17
X2Y4	-1,14E-14	-2,54E-15	1,21E-14	1,83E-16
Y6	1,69E-15	1,03E-16	-3,69E-15	6,00E-17
X6Y	-5,30E-17	4,44E-20	-8,25E-18	2,20E-20
X4Y3	6,36E-17	-1,53E-18	-3,51E-17	2,26E-19
X2Y5	-7,58E-17	4,16E-18	3,32E-17	-9,30E-20
Y7	-9,34E-19	-2,88E-19	3,35E-17	8,72E-20
X8	7,35E-18	3,66E-21	-3,46E-20	-7,26E-24
X6Y2	3,71E-18	1,22E-20	-3,57E-20	5,68E-22
X4Y4	3,71E-19	-4,74E-21	3,56E-19	-5,19E-22
X2Y6	1,26E-19	1,19E-21	4,63E-20	-8,91E-22
Y8	3,67E-21	-8,04E-22	3,00E-20	1,91E-22
X8Y	-6,70E-20	-8,52E-23	8,72E-23	1,96E-24
X6Y3	-1,92E-20	-1,06E-22	6,48E-22	2,15E-24
X4Y5	-4,59E-21	-2,85E-23	9,86E-22	-3,07E-24
X2Y7	7,55E-23	-1,72E-23	1,23E-21	-2,46E-24
Y9	3,46E-26	3,04E-24	-2,25E-22	3,35E-25
X10	5,05E-23	6,75E-26	1,03E-24	1,46E-27
X8Y2	1,43E-22	2,53E-25	4,57E-24	4,54E-27
X6Y4	2,81E-23	2,06E-25	2,76E-24	2,39E-27
X4Y6	7,66E-24	9,23E-26	-2,58E-24	-1,86E-27
X2Y8	-1,40E-25	2,75E-26	-6,32E-25	-2,02E-27
Y10	1,61E-27	-2,48E-27	6,81E-25	1,93E-28
Nradius	2,00E+00	2,00E+00	2,00E+00	2,00E+00

10

20

30

【 0 2 6 6 】

【表 3 8】

XObject/mm	YObject/mm	歪み (x)/nm	歪み (y)/nm	歪みの 絶対値/nm	テレセント リック性/度	13.5 nmでの 波面誤差	
0	800	0	-0.366434	0.366434	0.0198854	0.093978	
0	802	0	-0.0892875	0.0892875	0.0104067	0.015958	
0	804	0	-0.0777646	0.0777646	0.0009187	0.032744	
0	806	0	0.0405964	0.0405964	0.0085785	0.042489	
0	808	0	0.661542	0.661542	0.018085	0.028159	
12.5	800	0.0955838	-0.353342	0.366042	0.0306806	0.091554	10
12.5	802	-0.0573173	-0.0687788	0.089531	0.0256084	0.020828	
12.5	804	-0.106637	-0.0760641	0.130985	0.0234513	0.03637	
12.5	806	-0.0613664	-0.00241775	0.061414	0.0249869	0.044044	
12.5	808	0.0696061	0.548237	0.552638	0.0296558	0.030805	
25	800	0.115633	-0.279658	0.302621	0.0507857	0.08257	
25	802	-0.184329	0.0221776	0.185658	0.047943	0.024249	
25	804	-0.278855	-0.0466988	0.282738	0.0468785	0.040154	
25	806	-0.1860	-0.112547	0.2174	0.0477167	0.043512	
25	808	0.0763955	0.221706	0.234499	0.050368	0.032565	
37.5	800	0.146594	-0.0521759	0.155602	0.072869	0.065923	20
37.5	802	-0.292306	0.261705	0.392342	0.0709743	0.020204	
37.5	804	-0.42743	0.0728035	0.433586	0.0703175	0.037534	
37.5	806	-0.286029	-0.243519	0.375651	0.0709367	0.034303	
37.5	808	0.104968	-0.288511	0.307012	0.0728031	0.030384	
50	800	0.555156	0.451152	0.715358	0.095576	0.062457	
50	802	-0.0193915	0.746217	0.746469	0.0941997	0.044595	
50	804	-0.197219	0.352291	0.403738	0.0937666	0.049527	
50	806	-0.0149766	-0.352951	0.353268	0.0942927	0.040292	
50	808	0.491125	-0.968364	1.08579	0.0957648	0.053486	

【0 2 6 7】

図 3 8 から 4 0 は図 3 7 による対物鏡の射出瞳の座標系における横収差を示している。

【0 2 6 8】

図 4 1 から 4 4 は、自由形式曲面としてすべて設計されている 4 つの鏡を有する本発明の他の実施形態を示している。示されているのは、物体平面 3 0 0 0、像平面 3 0 0 2、第 1 の鏡 S 1、第 2 の鏡 S 2、第 3 の鏡 S 3、第 4 の鏡 S 4 である。光学データが記載されているすべての後続の表は、鏡 S 1 から S 4 を M 1 から M 4 として参照している。図 4 1 から 4 4 による実施形態について、以下のデータが与えられている。

【0 2 6 9】

開口数： 0 . 2 2
 結像係数： 1 : 4
 物体視野の形態： 矩形
 物体側で視野をスキャンする幅： 1 0 0 m m
 物体側で視野をスキャンする高さ： 6 m m
 長さ： 1 6 1 0 m m
 像平面の傾き： - 3 . 2 6 9 °

【0 2 7 0】

この光学系は、全物体視野幅が 1 0 0 m m であるとともに、高い開口数を有し、また長さははっきりと 2 m 未満である。

【0 2 7 1】

光学データは、以下の表に示されている。

30

40

50

【 0 2 7 2 】

【 表 3 9 】

表面	半径	厚さ	モード
物体	無限大	1401,362	
鏡1	2056,786	-1173,664	REFL
鏡2	1698,638	1307,130	REFL
鏡3	485,224	0,000	REFL
絞り	無限大	-242,471	
鏡4	500,544	317,875	REFL
像	無限大	0,000	

10

【 0 2 7 3 】

【 表 4 0 】

係数	M1	M2	M3	M4	像
Y偏心	-39,335	41,119	28,409	29,500	20,214
X回転	-2,559	-2,218	-2,171	-1,946	-3,269

【 0 2 7 4 】

20

【表 4 1】

係数	M1	M2	M3	M4
K	1,99E-01	1,77E-02	-1,87E+00	4,88E-01
Y	2,81E-02	1,37E-02	3,55E-02	7,69E-03
X2	2,26E-04	3,48E-06	-4,91E-04	-4,94E-05
Y2	1,03E-04	5,88E-06	4,66E-05	1,24E-04
X2Y	-2,82E-07	-2,37E-09	6,97E-07	5,91E-08
Y3	2,75E-07	1,70E-08	1,19E-07	-2,41E-07
X4	9,82E-10	1,81E-11	4,96E-08	-2,57E-09
X2Y2	3,25E-10	7,65E-11	1,17E-07	-1,97E-09
Y4	3,00E-10	3,51E-11	5,55E-08	-1,12E-09
X4Y	1,63E-12	-5,37E-14	6,00E-11	-1,49E-12
X2Y3	7,72E-12	-1,83E-13	5,59E-11	-5,50E-12
Y5	-1,69E-12	-2,87E-14	1,06E-10	-7,08E-12
X6	-7,06E-13	-2,35E-16	7,97E-13	-3,51E-14
X4Y2	-1,89E-13	2,95E-16	2,92E-12	-2,27E-13
X2Y4	-2,95E-14	8,47E-16	3,43E-12	-8,71E-14
Y6	-6,58E-15	6,72E-17	1,51E-12	2,45E-13
X6Y	1,66E-14	2,27E-18	-5,35E-15	-1,05E-16
X4Y3	3,03E-16	-1,68E-18	-1,54E-14	-4,92E-15
X2Y5	3,34E-17	-1,58E-18	8,39E-15	-7,28E-18
Y7	6,29E-18	-9,72E-20	-1,58E-14	4,60E-15
X8	-8,43E-18	-5,58E-22	3,34E-17	-1,03E-18
X6Y2	-1,36E-16	-3,42E-21	2,48E-16	-4,99E-17
X4Y4	1,67E-17	1,04E-20	5,35E-16	-1,22E-16
X2Y6	-1,28E-19	2,47E-21	1,70E-16	1,96E-17
Y8	2,31E-20	2,12E-22	1,26E-17	2,70E-17
X8Y	6,81E-20	-6,83E-25	1,95E-18	-2,10E-19
X6Y3	4,40E-19	-1,21E-23	8,94E-18	-1,50E-18
X4Y5	-1,14E-19	-2,41E-23	2,11E-18	-1,40E-18
X2Y7	1,00E-21	-2,59E-24	-2,62E-18	2,58E-19
Y9	1,76E-22	-1,04E-25	4,55E-19	4,95E-20
X10	4,15E-23	1,40E-27	1,03E-21	-3,22E-22
X8Y2	-8,40E-23	8,23E-27	-2,65E-20	-3,81E-21
X6Y4	-4,40E-22	2,75E-26	-1,15E-19	-1,13E-20
X4Y6	2,15E-22	2,05E-26	-6,68E-20	-5,18E-21
X2Y8	-2,36E-24	2,35E-27	1,73E-20	1,16E-21
Y10	-4,82E-25	1,60E-28	7,05E-21	6,71E-23
Nradius	2,00E+00	2,00E+00	2,00E+00	2,00E+00

10

20

30

【 0 2 7 5 】

【表 4 2】

XObject/mm	YObject/mm	歪み (x)/nm	歪み (y)/nm	歪みの 絶対値/nm	テレセント リック性/度	13.5 nmでの 波面誤差
0	400	0	-1.00949	1.00949	0.0229582	0.016806
0	401.5	0	-1.95078	1.95078	0.0133671	0.014259
0	403	0	-1.62222	1.62222	0.00369148	0.023621
0	404.5	0	-1.10626	1.10626	0.00606921	0.019377
0	406	0	-1.48681	1.48681	0.0159156	0.012538
12.5	400	-0.880918	-0.237177	0.912288	0.0242612	0.029659
12.5	401.5	-0.966915	-1.11354	1.47475	0.0158373	0.024479
12.5	403	-0.748886	-0.752973	1.06198	0.00983379	0.029615
12.5	404.5	-0.234325	-0.238253	0.334175	0.0114533	0.0278
12.5	406	0.569207	-0.653615	0.866723	0.0189539	0.028612
25	400	-0.712509	1.51156	1.67107	0.0278372	0.041582
25	401.5	-1.05587	0.817705	1.33548	0.0216593	0.031971
25	403	-0.794449	1.26023	1.48974	0.0186545	0.033731
25	404.5	0.0563116	1.75538	1.75628	0.0204067	0.035112
25	406	1.48083	1.21794	1.91735	0.0260668	0.043885
37.5	400	0.775815	2.32893	2.45475	0.0330354	0.035552
37.5	401.5	-0.220665	1.89815	1.91094	0.0289732	0.019017
37.5	403	-0.318211	2.43041	2.45116	0.0278179	0.018555
37.5	404.5	0.458907	2.84034	2.87718	0.0299911	0.023281
37.5	406	2.08622	2.04109	2.91862	0.0349482	0.041572
50	400	2.20545	-1.61745	2.73499	0.0393365	0.049861
50	401.5	-0.163904	-1.76675	1.77434	0.0370418	0.045563
50	403	-1.35027	-1.20714	1.81119	0.0372211	0.042817
50	404.5	-1.38792	-1.02622	1.72611	0.0399036	0.036919
50	406	-0.3114	-2.31311	2.33398	0.0446971	0.041068

10

20

【0 2 7 6】

図 4 2 から 4 4 は図 4 1 による対物鏡の射出瞳の座標系における横収差を示している。

30

【0 2 7 7】

図 4 5 から 4 8 は、自由形式曲面としてすべて設計されている 4 つの鏡を有する本発明の他の実施形態を示している。示されているのは、物体平面 3 0 0 0、像平面 3 0 0 2、第 1 の鏡 S 1、第 2 の鏡 S 2、第 3 の鏡 S 3、第 4 の鏡 S 4 である。光学データが記載されているすべての後続の表は、鏡 S 1 から S 4 を M 1 から M 4 として参照している。図 4 5 から 4 8 による実施形態について、以下のデータが与えられている。

【0 2 7 8】

開口数： 0 . 2
 結像係数： 1 : 4
 物体視野の形態： 矩形
 物体側で視野をスキャンする幅： 4 8 m m
 物体側で視野をスキャンする高さ： 6 m m
 長さ： 8 0 5 m m
 像平面の傾き： - 3 . 2 5 4 °

40

【0 2 7 9】

物体視野が幾分小さいので、この光学系は非常にコンパクトである。

【0 2 8 0】

光学データは、以下の表に示されている。

【0 2 8 1】

50

【表 4 3】

表面	半径	厚さ	モード
物体	無限大	700,681	
鏡1	1028,806	-586,789	REFL
鏡2	849,319	653,594	REFL
鏡3	242,363	0,000	REFL
絞り	無限大	-121,170	
鏡4	250,164	158,873	REFL
像	無限大	0,000	

10

【 0 2 8 2 】

【表 4 4】

係数	M1	M2	M3	M4	像
Y偏心	-19,604	20,562	14,246	14,754	10,066
X回転	-2,555	-2,217	-2,176	-1,945	-3,254

【 0 2 8 3 】

【表 4 5】

係数	M1	M2	M3	M4
K	1,85E-01	1,74E-02	-1,85E+00	4,82E-01
Y	1,40E-02	6,82E-03	1,78E-02	3,82E-03
X2	1,12E-04	1,78E-06	-2,41E-04	-2,19E-05
Y2	5,11E-05	2,94E-06	2,25E-05	6,32E-05
X2Y	-1,50E-07	-2,03E-09	2,40E-07	6,62E-09
Y3	1,37E-07	8,46E-09	9,10E-08	-1,22E-07
X4	6,14E-10	1,05E-11	2,48E-08	-1,21E-09
X2Y2	1,18E-10	3,69E-11	5,87E-08	-8,27E-10
Y4	1,49E-10	1,75E-11	2,85E-08	-6,21E-10
X4Y	-4,96E-13	-4,03E-14	2,70E-11	-1,87E-12
X2Y3	3,75E-12	-9,18E-14	2,66E-11	-3,21E-12
Y5	-8,45E-13	-1,45E-14	5,11E-11	-3,08E-12
X6	-4,48E-13	-1,55E-16	4,07E-13	-1,32E-14
X4Y2	-9,93E-14	1,76E-16	1,48E-12	-1,34E-13
X2Y4	-1,45E-14	4,25E-16	1,72E-12	-4,41E-14
Y6	-3,27E-15	3,37E-17	5,96E-13	1,31E-13
X6Y	9,85E-15	1,26E-18	-4,00E-15	9,75E-18
X4Y3	2,03E-16	-8,24E-19	-7,92E-15	-2,79E-15
X2Y5	2,17E-17	-7,96E-19	4,39E-15	-2,79E-17
Y7	3,42E-18	-4,69E-20	-7,86E-15	2,14E-15
X8	-9,51E-18	-1,05E-21	2,00E-17	-1,48E-18
X6Y2	-7,13E-17	7,34E-23	1,55E-16	-3,11E-17
X4Y4	8,72E-18	5,00E-21	2,91E-16	-5,52E-17
X2Y6	-6,01E-20	1,22E-21	8,06E-17	1,21E-17
Y8	1,39E-20	1,11E-22	2,93E-17	1,34E-17
X8Y	8,76E-20	3,22E-24	1,62E-18	-1,88E-19
X6Y3	1,77E-19	-1,60E-23	6,77E-18	-9,63E-19
X4Y5	-6,03E-20	-1,18E-23	-5,88E-20	-5,35E-19
X2Y7	3,31E-22	-1,26E-24	-1,35E-18	1,61E-19
Y9	9,94E-23	-4,83E-26	9,84E-20	4,93E-20
X10	2,39E-23	5,19E-28	-1,04E-21	-2,67E-22
X8Y2	-1,62E-22	8,70E-28	-3,92E-20	-3,09E-21
X6Y4	-5,01E-23	2,68E-26	-9,03E-20	-7,21E-21
X4Y6	1,13E-22	1,01E-26	-3,00E-20	-1,55E-21
X2Y8	-8,02E-25	1,14E-27	9,53E-21	7,07E-22
Y10	-3,08E-25	6,63E-29	3,03E-21	1,68E-22
Nradius	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00

10

20

30

【 0 2 8 4 】

【表 4 6】

XObject/mm	YObject/mm	歪み (x)/nm	歪み (y)/nm	歪みの 絶対値/nm	テレセント リック性/度	13.5 nmでの 波面誤差
0	200	0	0.448311	0.448311	0.0429146	0.030026
0	201.5	0	-2.47405	2.47405	0.0235631	0.014465
0	203	0	-0.967497	0.967497	0.00387066	0.028481
0	204.5	0	0.932079	0.932079	0.0161673	0.017921
0	206	0	-0.816331	0.816331	0.0365555	0.020854
6	200	-0.229332	0.72028	0.755908	0.0429896	0.031915
6	201.5	-0.764827	-2.11395	2.24805	0.0241369	0.015911
6	203	-0.727117	-0.578603	0.929236	0.00803243	0.028531
6	204.5	-0.144224	1.28903	1.29708	0.018286	0.019129
6	206	0.955191	-0.553491	1.10397	0.0378693	0.025583
12	200	0.0887838	1.34107	1.34401	0.0432387	0.034302
12	201.5	-1.10902	-1.23729	1.66157	0.0258287	0.016652
12	203	-1.16563	0.372291	1.22364	0.0146925	0.027176
12	204.5	-0.139014	2.12835	2.13289	0.0235883	0.019707
12	206	1.91157	-0.015856	1.91164	0.0416026	0.033254
18	200	1.27353	1.60761	2.05092	0.0437339	0.03238
18	201.5	-0.903733	-0.573284	1.07023	0.0285705	0.014127
18	203	-1.38256	1.11952	1.77898	0.0218489	0.02358
18	204.5	-0.254443	2.63758	2.64983	0.0306063	0.015334
18	206	2.38718	-0.072959	2.38829	0.0472927	0.036701
24	200	3.13573	-0.027319	3.13585	0.0445949	0.032197
24	201.5	-0.646294	-1.71453	1.8323	0.0322942	0.028012
24	203	-2.18957	0.0094815	2.18959	0.0293844	0.032097
24	204.5	-1.62383	1.08662	1.95386	0.0386179	0.018853
24	206	0.918622	-2.54687	2.70747	0.0544894	0.035386

10

20

【0 2 8 5】

図 4 6 から 4 8 は図 4 5 による対物鏡の射出瞳の座標系における横収差を示している。

30

【0 2 8 6】

図 1 7 から 5 2 に示されているすべての実施形態は、矩形の物体視野を有する光学系を示している。

【0 2 8 7】

図 4 9 から 5 0 は、自由形式曲面としてすべて設計されている 4 つの鏡を有する本発明の他の実施形態を示している。示されているのは、物体平面 3 0 0 0、像平面 3 0 0 2、第 1 の鏡 S 1、第 2 の鏡 S 2、第 3 の鏡 S 3、第 4 の鏡 S 4 である。光学データが記載されているすべての後続の表は、鏡 S 1 から S 4 を M 1 から M 4 として参照している。図 4 9 から 5 0 による実施形態について、以下のデータが与えられている。

40

【0 2 8 8】

- 開口数： 0 . 2 2
- 結像係数： 1 : 4
- 物体視野の形態： 半径が 6 0 0 mm、方位角が - 4 . 8 ° < < + 4 . 8 ° である環状弓形
- 物体側で視野をスキャンする幅： 1 0 0 mm
- 物体側で視野をスキャンする高さ： 8 mm
- 長さ： 2 4 1 8 mm
- 像平面の傾き： - 3 . 2 8 4 °

【0 2 8 9】

50

この実施形態は、設計の利点が非矩形の物体視野を持つ光学系に移すことができることを示す。

【0290】

光学データは、以下の表に示されている。

【0291】

【表47】

表面	半径	厚さ	モード
物体	無限大	2102,043	
鏡1	3086,275	-1760,111	REFL
鏡2	2547,993	1960,753	REFL
鏡3	727,984	0,000	REFL
絞り	無限大	-360,225	
鏡4	749,971	475,405	REFL
像	無限大	0,000	

10

【0292】

【表48】

係数	M1	M2	M3	M4	像
Y偏心	-59,076	61,644	42,310	44,405	30,452
X回転	-2,561	-2,218	-2,136	-1,933	-3,284

20

【0293】

【表 4 9】

係数	M1	M2	M3	M4
K	2,00E-01	1,89E-02	-1,89E+00	4,80E-01
Y	4,23E-02	2,05E-02	5,14E-02	1,08E-02
X2	3,46E-04	6,56E-06	-7,12E-04	-6,02E-05
Y2	1,53E-04	8,72E-06	8,61E-05	1,95E-04
X2Y	-4,18E-07	4,24E-10	1,15E-06	1,02E-07
Y3	4,10E-07	2,56E-08	1,76E-07	-4,73E-07
X4	2,12E-09	2,92E-11	7,50E-08	-3,49E-09
X2Y2	5,90E-10	1,00E-10	1,77E-07	-2,72E-09
Y4	4,49E-10	5,40E-11	8,13E-08	-1,87E-09
X4Y	-3,35E-11	-1,41E-13	9,25E-11	-4,80E-12
X2Y3	1,08E-11	-2,57E-13	6,96E-11	-2,94E-11
Y5	-2,41E-12	-4,00E-14	1,39E-10	-5,57E-12
X6	-3,85E-13	-3,65E-17	1,18E-12	-4,06E-14
X4Y2	2,15E-13	8,00E-16	4,59E-12	-3,08E-13
X2Y4	-4,13E-14	1,38E-15	5,36E-12	-5,08E-13
Y6	-8,84E-15	1,00E-16	1,93E-12	4,48E-13
X6Y	7,18E-15	-4,72E-19	-7,85E-15	1,73E-15
X4Y3	-6,02E-16	-1,61E-18	-1,51E-14	2,44E-16
X2Y5	7,75E-17	-2,49E-18	1,58E-14	-2,98E-15
Y7	1,31E-17	-1,67E-19	-2,79E-14	6,45E-15
X8	-1,06E-17	-5,96E-22	5,82E-17	5,31E-18
X6Y2	-3,13E-17	1,16E-20	2,73E-16	2,65E-17
X4Y4	1,56E-18	3,02E-21	3,20E-16	6,02E-17
X2Y6	-2,21E-19	2,55E-21	-6,39E-18	3,59E-17
Y8	1,87E-20	3,05E-22	6,46E-17	2,87E-17
X8Y	7,61E-20	-2,02E-24	3,28E-18	-4,79E-20
X6Y3	-7,15E-20	-4,82E-23	1,05E-17	-4,21E-19
X4Y5	-2,92E-21	-1,16E-24	-3,75E-18	7,33E-19
X2Y7	1,11E-22	-5,59E-25	-4,58E-18	5,27E-19
Y9	3,34E-24	-4,27E-27	8,58E-19	1,71E-20
X10	1,71E-23	2,57E-28	-2,76E-21	-5,14E-22
X8Y2	-2,62E-23	1,39E-26	-1,87E-20	-3,15E-21
X8Y4	4,86E-22	5,94E-26	-2,67E-20	-6,00E-21
X4Y6	-9,99E-24	-5,21E-28	6,16E-20	3,68E-21
X2Y8	6,99E-25	7,71E-28	3,25E-20	2,02E-21
Y10	1,70E-26	1,19E-29	1,19E-20	9,56E-23
Nradius	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

10

20

30

【 0 2 9 4 】

【表 5 0】

X _{Object} /mm	Y _{Object} /mm	歪み (x)/nm	歪み (y)/nm	歪みの 絶対値/nm	テレセント リック性/度	13.5 nmでの 波面誤差
0	600	0	-0.892917	0.892917	0.0133679	0.012256
0	602	0	-0.841667	0.841667	0.00534092	0.016933
0	604	0	0.0201694	0.0201694	0.00275272	0.021805
0	606	0	0.379474	0.379474	0.0109134	0.010404
0	608	0	-1.08242	1.08242	0.0191416	0.02706
12.5655	599.868	-0.463563	-0.551102	0.720142	0.0164908	0.01867
12.6073	601.868	-0.477332	-0.590644	0.759412	0.0108284	0.018161
12.6492	603.868	-0.257454	0.245037	0.355423	0.0095748	0.022897
12.6911	605.867	0.191813	0.643426	0.671409	0.0140875	0.014667
12.733	607.867	0.866074	-0.713531	1.12215	0.0209974	0.029184
25.1254	599.474	-0.531595	0.291324	0.606187	0.0234981	0.028751
25.2091	601.472	-0.737092	-0.0428674	0.738337	0.0195942	0.018248
25.2929	603.47	-0.47659	0.691569	0.839884	0.0185603	0.0228
25.3766	605.468	0.241321	1.18393	1.20828	0.0209057	0.018522
25.4604	607.467	1.40777	0.117965	1.4127	0.0257861	0.030662
37.6743	598.816	0.166072	1.07231	1.08509	0.0319492	0.037305
37.7999	600.812	-0.597255	0.172817	0.621755	0.0288103	0.012352
37.9255	602.808	-0.665059	0.662666	0.938845	0.0277044	0.017593
38.0511	604.804	-0.0504098	1.23414	1.23517	0.0289218	0.01636
38.1766	606.8	1.23319	0.573939	1.36021	0.0322511	0.025322
50.2067	597.896	1.97056	0.813316	2.13181	0.0409886	0.048287
50.3741	599.889	0.0758373	-1.03335	1.03613	0.0381837	0.020354
50.5414	601.882	-0.898661	-1.045	1.37827	0.0369235	0.027327
50.7088	603.875	-0.970685	-0.525246	1.10368	0.0374078	0.03097
50.8761	605.868	-0.159467	-1.30833	1.31801	0.0398057	0.030446

10

20

【 0 2 9 5 】

図 5 0 は、図 4 9 による対物鏡の射出瞳の座標系における横収差を示している。

【 0 2 9 6 】

図 5 1 は、自由形式曲面としてすべて設計されている 6 つの鏡を有する本発明の他の実施形態を示している。示されているのは、物体平面 3 0 0 0、像平面 3 0 0 2、第 1 の鏡 M 1、第 2 の鏡 M 2、第 3 の鏡 M 3、第 4 の鏡 M 4、第 5 の鏡 M 5、第 6 の鏡 M 6 である。この投影対物鏡の像側開口数は、0 . 4 0 である。視野形状は、幅 2 6 mm、高さ 2 m m の矩形である。動作波長は 1 3 . 5 nm である。鏡の光学力の順序は、P N P N N P である。この光学系では、鏡 M 4 と M 5 との間に 1 つの中間像が置かれる。この投影対物鏡の入射瞳は、物体平面 3 0 0 0 から 1 0 0 0 mm のところに配置され、物体平面 3 0 0 0 は入射瞳と複数の鏡との間に位置する。軌跡長は 1 7 3 6 mm である。物体像シフトは 6 5 mm である。光路長は 4 8 2 7 mm である。

40

【 0 2 9 7 】

この投影対物鏡の性能は、0 . 0 3 7 の像側 W_{rms} を含む。歪曲は 1 2 nm よりも小さい。像側像面湾曲は 2 5 nm である。

【 0 2 9 8 】

物体の中心物体視野点の主光線の角度は 7 ° である。物体平面 3 0 0 0 の主光線の角度の最大変化は、0 . 8 2 である。

【 0 2 9 9 】

$M_x \times M_y$ として与えられる、それぞれの鏡のフットプリントの寸法は、鏡 M 1 については 3 2 3 mm \times 2 1 5 mm であり、鏡 M 2 については 1 3 1 mm \times 1 0 2 mm であり、鏡

50

M 3 については 2 6 7 mm × 1 8 3 mm であり、鏡 M 4 については 7 0 mm × 5 2 mm であり、鏡 M 5 については 1 2 4 mm × 1 0 9 mm であり、鏡 M 6 については 4 4 7 mm × 4 3 3 mm である。

【 0 3 0 0 】

中心視野点の主光線入射角は、鏡 M 1 から M 6 について、4 . 0 6 °、1 1 . 3 4 °、1 2 . 2 0 °、3 1 . 6 0 °、1 2 . 2 7 °、7 . 6 4 ° である。鏡 M 1 から M 6 に対する子午断面内の最大入射角は 4 . 9 6 °、1 2 . 3 8 °、1 6 . 5 4 °、4 1 . 2 4 °、2 9 . 4 2 °、9 . 2 5 ° である。鏡 M 1 から M 6 に対する子午断面内の入射角の帯域幅は 1 . 0 8 °、2 . 7 1 °、9 . 8 3 °、2 2 . 7 2 °、2 9 . 1 3 °、4 . 2 8 ° である。鏡 M 2 と M 4 は 5 mm よりも大きく、2 5 mm よりも小さいフリーボードを有する。鏡 M 3 は正の主光線角度倍率を有するが、鏡 M 1、M 2、M 4、M 5 は負の主光線角度倍率を有する。

10

【 0 3 0 1 】

この投影対物鏡の像側自由作動距離は 4 5 mm である。物体側自由作動距離は 4 0 0 mm である。

【 0 3 0 2 】

この投影対物鏡では、 d_{op-1} / d_{op-2} は 2 . 6 7 である。さらに、レチクルと鏡 M 1、さらに鏡 M 2 と M 3 は、投影対物鏡の軌跡長の 5 0 % を超える長さだけ隔てられる。

【 0 3 0 3 】

図 5 1 の投影対物鏡に対するデータは、以下の表 8 A、8 B に示されている。表 8 A は、光学データを示しているが、表 8 B は、鏡面のそれぞれに対する非球面定数を示している。

20

【 0 3 0 4 】

【 表 5 1 】

表面	半径	厚さ	モード
物体	無限大	1067,761	
鏡1	-1219,687	-668,241	REFL
鏡2	-747,811	1291,054	REFL
鏡3	-969,893	-374,588	REFL
鏡4	-549,105	374,588	REFL
鏡5	470,063	-502,811	REFL
鏡6	618,025	547,811	REFL
像	無限大	0.000	

30

表 8 A

【 0 3 0 5 】

【表 5 2】

係数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	5,078166E-01	2,515234E+00	4,458912E-01	-5,135256E+00	3,709497E+00	1,306537E-01
Y	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
X2	-4,229616E-06	4,423002E-05	-1,137338E-04	6,243736E-04	-4,439433E-04	1,714681E-05
Y2	-2,042693E-05	-3,200090E-04	-1,490188E-04	4,230830E-05	-3,941063E-04	1,369711E-05
X2Y	-2,456512E-08	-1,681122E-06	1,278895E-08	1,439095E-06	1,109021E-07	-7,066857E-09
Y3	-1,017618E-08	-1,065440E-06	-9,040764E-08	-8,248306E-07	6,038369E-07	-8,198184E-09
X4	2,532498E-11	-4,655202E-10	-6,082020E-11	-7,879275E-09	-9,475896E-10	-9,236663E-12
X2Y2	2,917327E-11	-4,875362E-09	-7,951092E-11	-6,364830E-09	-2,626820E-09	-1,778520E-11
Y4	1,116055E-11	9,584332E-10	-1,259982E-10	2,921676E-09	-8,367567E-10	-1,348267E-11
X4Y	-7,018800E-15	-9,924549E-12	-5,700215E-14	-7,337153E-11	-3,015573E-13	-5,057127E-15
X2Y3	-2,588267E-14	-2,065300E-11	-1,623609E-13	-4,830483E-11	-3,421535E-12	-8,177430E-15
Y5	-5,631482E-14	1,175099E-13	-3,257076E-14	2,900148E-11	-5,156003E-12	-7,754740E-16
X6	2,507037E-17	7,181890E-15	-6,970398E-17	1,896541E-13	-2,402650E-14	-1,687447E-17
X4Y2	1,805398E-16	2,845435E-14	-1,726885E-16	-3,660328E-13	-3,460882E-14	-5,258270E-17
X2Y4	3,234883E-16	4,275982E-14	-3,443645E-16	-1,119940E-13	-2,515640E-14	-4,418332E-17
Y6	5,139221E-17	1,240058E-14	-4,807113E-19	2,665448E-14	-3,989968E-14	-9,729792E-18
X6Y	-1,655261E-20	2,112846E-16	-6,490967E-20	2,217617E-15	3,565159E-17	-2,533466E-21
X4Y3	6,406762E-19	7,287537E-16	-1,578781E-19	-1,022968E-15	-2,246920E-17	-9,556211E-21
X2Y5	1,095531E-18	4,084428E-16	-1,899934E-19	8,581644E-18	-4,609677E-16	-8,095822E-21
Y7	3,534107E-19	-1,119501E-16	-6,323108E-20	-1,566367E-16	-4,089822E-16	7,022063E-21
X8	-2,127854E-23	5,631762E-20	-1,645304E-22	-2,809082E-18	-2,426092E-19	-2,519698E-23
X6Y2	-2,911239E-22	1,595162E-18	1,240419E-22	8,883017E-18	-3,131391E-18	-1,169336E-22
X4Y4	2,052045E-21	3,313410E-18	-2,644748E-22	-1,246599E-18	-8,074234E-18	-1,413514E-22
X2Y6	2,303292E-21	8,331439E-19	-5,379641E-23	2,833584E-19	-6,891166E-18	-6,982184E-23
Y8	7,915735E-22	-4,495038E-19	-9,241853E-23	-3,000322E-19	-2,367176E-18	-1,361196E-23
X8Y	-3,633622E-25	-1,145501E-22	-8,423039E-26	-1,268652E-20	2,592347E-21	4,570116E-27
X6Y3	-1,500591E-24	1,545859E-21	6,330084E-25	1,171733E-20	1,459272E-21	1,168279E-26
X4Y5	2,954923E-24	3,997306E-21	1,050127E-26	-4,257185E-23	-1,756358E-22	1,479131E-26
X2Y7	1,472672E-24	3,951572E-22	8,889089E-29	-7,100170E-25	5,863402E-23	6,095900E-27
Y9	4,285712E-25	-3,958881E-23	-1,136961E-30	-9,034885E-27	7,298215E-25	4,531322E-28
X10	1,301003E-29	1,955419E-24	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
X6Y2	-6,199954E-28	-8,094414E-25	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
X6Y4	-1,564267E-27	-8,554437E-24	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
X4Y6	2,214589E-27	1,149257E-24	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
X2Y8	-6,083137E-29	6,386629E-26	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
Y10	1,486303E-30	1,060932E-26	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
Nradius	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00

係数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Y偏心	248,450	92,818	-2,826	26,446	-4,799	29,811
X回転	8,882	-0,938	1,151	-1,082	-3,174	-3,333

表 8 B

【0306】

図 5 1 の投影対物鏡は、主に鏡 M 4 の形状をとる図 3、10、11、12、13、14、15 の実施形態と異なる。前のほうで説明されている実施形態とは対照的に、図 5 1 の実施形態の鏡 M 4 は、凸面鏡である。

【0307】

図 5 2 は、自由形式曲面としてすべて設計されている 6 つの鏡を有する本発明の他の実施形態を示している。示されているのは、物体平面 3000、像平面 3002、第 1 の鏡 M 1、第 2 の鏡 M 2、第 3 の鏡 M 3、第 4 の鏡 M 4、第 5 の鏡 M 5、第 6 の鏡 M 6 である。この投影対物鏡の像側開口数は、0.35 である。視野形状は幅 26 mm、高さ 2 mm

10

20

30

40

50

の矩形である。動作波長は13.5 nmである。鏡の光学力の順序はPPNP NPである。この光学系では、鏡M4とM5との間に1つの中間像が置かれる。この投影対物鏡の入射瞳は1749 mmの距離内の物体平面3000の像平面側に配置される。開口絞りは、鏡M2上に位置する。軌跡長は1700 mmである。物体像シフトは41 mmである。光路長は4156 mmである。

【0308】

この投影対物鏡の性能は、0.020 の像側 W_{rms} を含む。歪曲は1.1 nmよりも小さい。像側像面湾曲は17 nmである。

【0309】

物体の中心物体視野点の主光線の角度は6°である。物体平面3000の主光線の角度の最大変化は、0.58である。

10

【0310】

$M_x \times M_y$ として与えられる、それぞれの鏡のフットプリントの寸法は、鏡M1については169 mm × 148 mmであり、鏡M2については159 mm × 136 mmであり、鏡M3については120 mm × 61 mmであり、鏡M4については265 mm × 118 mmであり、鏡M5については101 mm × 77 mmであり、鏡M6については345 mm × 329 mmである。

【0311】

中心視野点の主光線入射角は、鏡M1からM6について、8.11°、9.49°、21.03°、8.01°、13.67°、5.03°である。鏡M1からM6に対する子午断面内の最大入射角は10.31°、12.06°、21.56°、8.45°、24.59°、6.36°である。鏡M1からM6に対する子午断面内の入射角の帯域幅は4.56°、5.34°、1.85°、1.23°、22.98°、3.16°である。鏡M4は正の主光線角度倍率を有するが、鏡M1、M2、M3、M5は負の主光線角度倍率を有する。

20

【0312】

この投影対物鏡の像側自由作動距離は45 mmである。物体側自由作動距離は441 mmである。

【0313】

この投影対物鏡では、 d_{op-1} / d_{op-2} は1.89である。さらに、鏡M4とM5は、投影対物鏡の軌跡長の50%を超える長さだけ隔てられる。

30

【0314】

図52の投影対物鏡に対するデータは、以下の表9A、9Bに示されている。表9Aは、光学データを示しているが、表9Bは、鏡面のそれぞれに対する非球面定数を示している。

【0315】

【表53】

表面	半径	厚さ	モード
物体	無限大	831,483	
鏡1	-2519,290	-390,700	REFL
鏡2	1736,318	0,000	REFL
絞り	無限大	510,700	
鏡3	353,216	-404,591	REFL
鏡4	691,089	1108,132	REFL
鏡5	454,789	-432,650	REFL
鏡6	522,649	477,625	REFL

40

表9A

【0316】

50

【表 5 4】

係数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-5,620176E+01	-8,079329E+00	-9,913161E-01	-1,320517E+00	4,540035E+00	8,058603E-02
Y	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
X2	-8,081674E-05	-2,443257E-05	-2,909041E-04	-5,514277E-05	-2,176416E-04	-1,461415E-05
Y2	-1,409006E-04	-8,853894E-05	-5,146801E-04	-2,593301E-05	1,796509E-04	7,215641E-06
X2Y	1,932586E-07	4,504714E-08	9,969292E-07	-1,801177E-07	1,153365E-06	5,683301E-09
Y3	-1,223280E-07	-1,864294E-08	-4,877028E-07	1,179942E-07	-2,117705E-07	-5,600182E-09
X4	-7,040228E-11	7,425419E-11	2,136430E-09	4,622733E-10	-1,333652E-09	-5,926598E-11
X2Y2	-1,318594E-10	1,067519E-10	9,622356E-09	-4,928633E-10	1,322772E-08	-2,894278E-11
Y4	6,586919E-11	1,598749E-10	9,675806E-10	8,019884E-10	3,924061E-09	1,500259E-11
X4Y	-1,333049E-12	9,551370E-14	4,142100E-11	7,245165E-13	-2,333334E-11	8,269178E-15
X2Y3	-7,486772E-12	-5,744418E-13	2,571945E-11	-5,121409E-12	-4,081436E-11	-1,142259E-14
Y5	-7,859762E-14	-1,146786E-12	1,015135E-12	7,149294E-13	-3,294173E-11	-6,514010E-14
X6	-1,349693E-17	-2,093126E-16	5,786287E-14	7,466543E-16	3,668669E-14	-1,312132E-16
X4Y2	-4,117907E-15	3,600153E-15	1,917870E-13	4,761724E-15	1,666994E-13	-1,600140E-16
X2Y4	2,686652E-14	2,433374E-14	1,452311E-14	-1,001928E-14	1,713311E-13	4,528614E-17
Y6	-6,985464E-16	-1,574024E-15	-4,040479E-15	1,285725E-15	3,233877E-13	1,795344E-16
X6Y	-6,324670E-18	1,672711E-17	6,549813E-16	7,589572E-18	1,109670E-15	7,389564E-20
X4Y3	1,633680E-16	-5,475446E-17	2,838607E-16	1,219368E-17	1,040774E-15	-3,901601E-20
X2Y5	2,578083E-17	-2,114042E-17	-8,191058E-17	-1,112382E-17	-4,281539E-15	-8,922758E-19
Y7	-5,352170E-18	-4,852332E-17	-8,778735E-18	1,658599E-18	-1,041652E-15	-5,361021E-19
X8	3,930907E-20	-3,041873E-20	1,620935E-18	3,142617E-21	-2,044671E-18	-3,471237E-22
X6Y2	2,642712E-19	1,926793E-19	2,461846E-18	4,103145E-20	9,496169E-18	-5,396836E-22
X4Y4	-1,209256E-18	7,815308E-19	2,461216E-20	2,400689E-20	2,006336E-17	4,153767E-23
X2Y6	-5,242330E-19	-2,345008E-19	-1,129636E-20	-4,573196E-22	-8,505126E-18	2,958769E-21
Y8	5,723961E-20	-4,523191E-19	2,359743E-20	2,441529E-21	2,039563E-17	1,076978E-21
X8Y	-5,843186E-22	4,059084E-22	1,256052E-20	1,926704E-23	-6,283441E-20	8,511910E-25
X6Y3	-1,725684E-21	-3,122858E-21	2,334258E-21	9,329420E-23	-1,729457E-19	2,027558E-25
X4Y5	4,331458E-21	-1,961697E-21	8,015847E-22	2,907419E-23	2,503951E-19	-5,006594E-24
X2Y7	1,628473E-21	-1,158132E-20	2,742066E-22	8,412546E-24	-3,164177E-19	-7,133872E-24
Y9	-2,174037E-22	-5,641699E-21	-6,405172E-23	1,117517E-24	1,693513E-19	-7,896547E-25
X10	3,942480E-26	-1,611794E-24	-3,181193E-25	1,249724E-27	-2,648224E-23	-6,952534E-28
X8Y2	2,026760E-24	2,715637E-24	2,416966E-23	3,491430E-26	-5,242301E-22	-5,078551E-27
X6Y4	3,177651E-24	1,517348E-23	-1,929381E-24	8,815740E-26	-7,406490E-22	-1,604907E-26
X4Y6	-6,089337E-24	-2,527074E-23	2,506522E-24	2,875808E-26	3,978023E-21	4,391294E-28
X2Y8	-1,609759E-24	-7,603424E-23	1,589355E-25	1,072608E-26	-2,716665E-21	4,653881E-27
Y10	2,665008E-25	-1,428174E-23	-2,253314E-25	5,234796E-28	1,510394E-21	-1,026184E-27
radius	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00

10

20

30

係数	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Y偏心	-107,723	-48,244	142,711	9,140	15,331	1,453
X回転	-3,086	0,713	-20,000	-1,900	0,245	2,474

表 9 B

40

【0317】

図 5 2 の投影対物鏡では主光線は物体平面 3 0 0 0 から出発しながら互いに収束する。

【0318】

上で説明され、図 1 に示されているマイクロリソグラフィ・ツール 1 0 0 などのマイクロリソグラフィ・ツールは、例えば、半導体チップ、液晶ディスプレイ (LCD) パネル、又は電荷結合素子 (CCD) 検出器のアレイなどの半導体機器の加工で使用できる。一般に、半導体機器の加工で使用されるプロセス工程の順序は、加工される特定の機器により異なる。図 5 3 は、半導体機器の製造の工程の順序の一例を示す流れ図である。最初に工程 5 3 1 0 において、生産者は、半導体機器用に製造される集積回路を設計する。その

50

後、工程 5 3 2 0 において、集積回路の設計に基づいてマスク（つまり、レチクル）が生産される。集積回路を実際に製作する前に、工程 5 3 3 0 で指示されているとおりウェハ（例えば、シリコン・ウェハ）が準備される。次に、ウェハ加工工程（工程 5 3 4 0）でマスクを使用してウェハ上に集積回路が形成される。ウェハ加工の詳細は、以下で詳述される。ウェハに集積回路を形成した後、ウェハは、ダイスカットされ、接着され、パッケージングされて、個々のマイクロチップが製造される（工程 5 3 5 0）。これらの組み立て工程は、後処理と呼ばれることが多い。組み立てた後、チップの検査が行われる（工程 5 3 6 0）。例えば、チップの動作可能性及び/又は耐久性が検査される。検査工程 5 3 6 0 に合格したそれらの機器は、その後、顧客に出荷される（工程 5 3 7 0）。

【 0 3 1 9 】

図 5 4 は、ウェハ加工工程の詳細を示す流れ図である。一般に、ウェハ加工は、ウェハ上に様々な材料（例えば、導電体、半導体、/又は誘電体）の多数の層を形成することを伴う。これらの層の 1 つ又は複数は、リソグラフィ・プロセスを使用してパターンが形成される（工程 5 4 2 0）。層は、様々な方法で形成することができる。例えば、層を形成することは、酸化プロセス工程でウェハの表面を酸化することを伴う場合がある（工程 5 4 1 1）。いくつかの実施形態では、層を形成することは、例えば、気相成長法（CVD）などにより、ウェハの表面に材料を堆積することを伴う（工程 5 4 1 2）。いくつかの実施形態では、層を形成することは、例えば、蒸着によりウェハ上に電極を形成する電極形成プロセスを伴う（工程 5 4 1 2）。層を形成することは、イオンをウェハに注入するイオン注入プロセスを伴うことがある（工程 5 4 1 4）。

【 0 3 2 0 】

ある材料からなる層を形成した後、リソグラフィ・プロセスを使用してその層のパターン形成を行うことができる。これは、典型的には、レジストをウェハに塗布するレジスト・プロセスを伴う（工程 5 4 1 5）。工程 5 4 1 6 は、上述のリソグラフィ・ツール 1 0 0 などのリソグラフィ・ツールを使用して、露光により、マスクの回路パターンをウェハ上にプリントする露光プロセスである。工程 5 4 1 7 は、露光レジストが現像処理される現像プロセスである。現像した後、現像されたレジストにより露光されるウェハの部分は、エッチング・プロセスでエッチングされる（工程 5 4 1 8）。最後に、残りのレジスト材料は、レジスト分離プロセスでウェハから取り除かれる（工程 5 4 1 9）。

【 0 3 2 1 】

工程 5 4 1 0 と 5 4 2 0 が繰り返され、集積回路をウェハ上に形成する。実施形態は、例えば、材料の層のパターニングの前又は後に、ウェハ研磨加工などの追加のプロセス工程を含みうる。

【 0 3 2 2 】

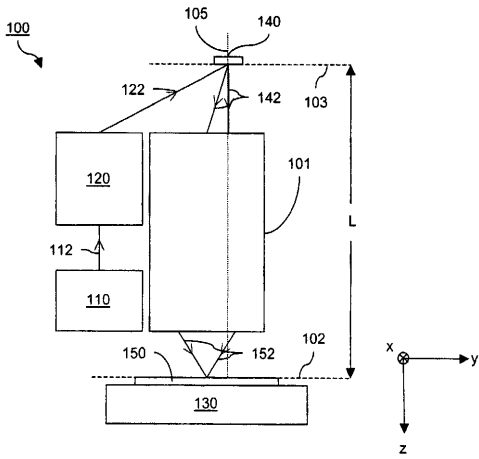
他の実施形態は請求項にある。

10

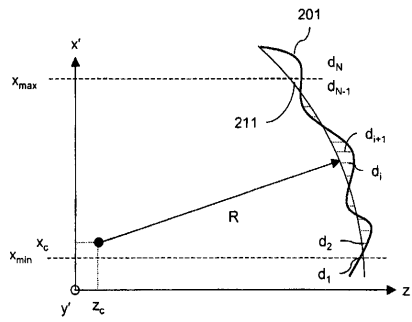
20

30

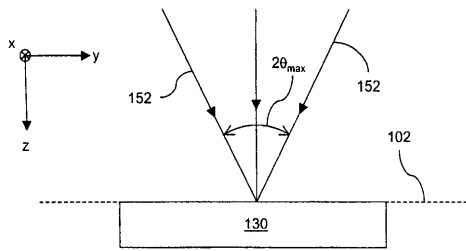
【 図 1 】



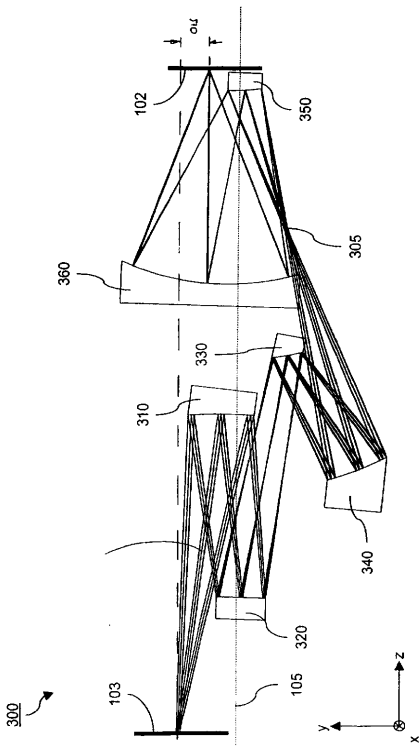
【 図 2 B 】



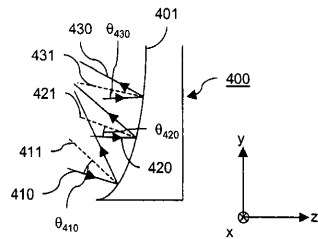
【 図 2 A 】



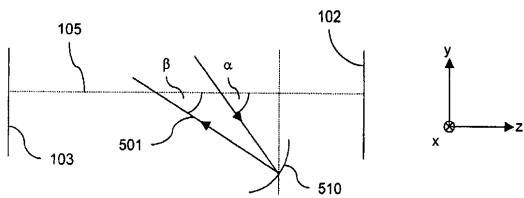
【 図 3 】



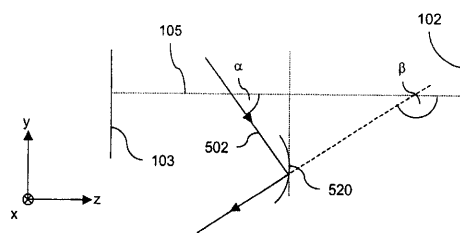
【 図 4 】



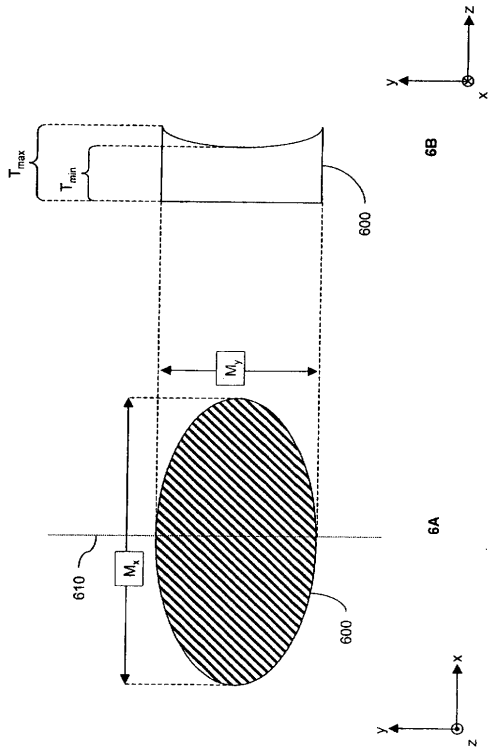
【 図 5 A 】



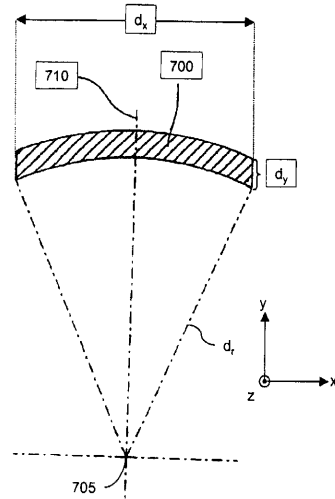
【 図 5 B 】



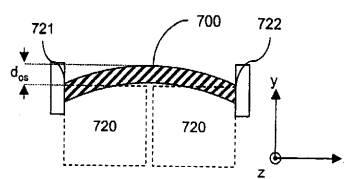
【 図 6 】



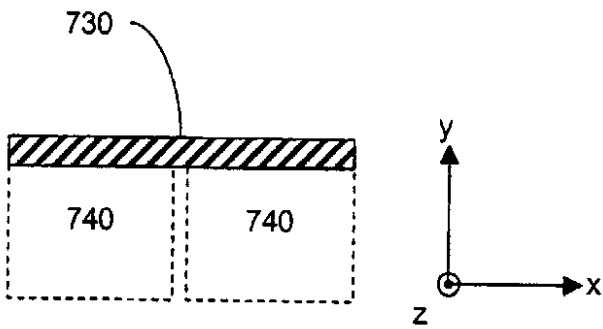
【 図 7 A 】



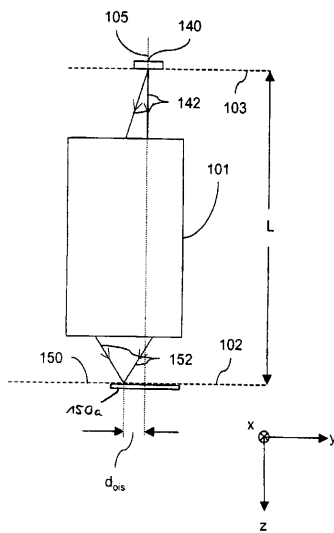
【 図 7 B 】



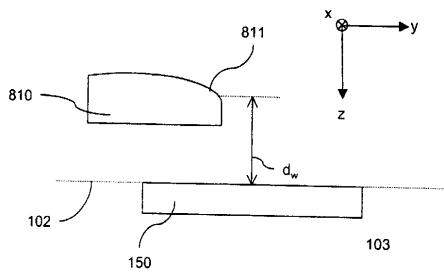
【 図 7 C 】



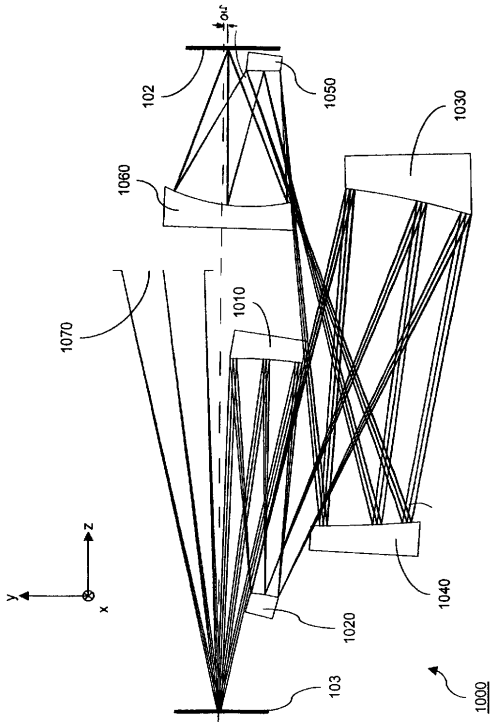
【 図 8 】



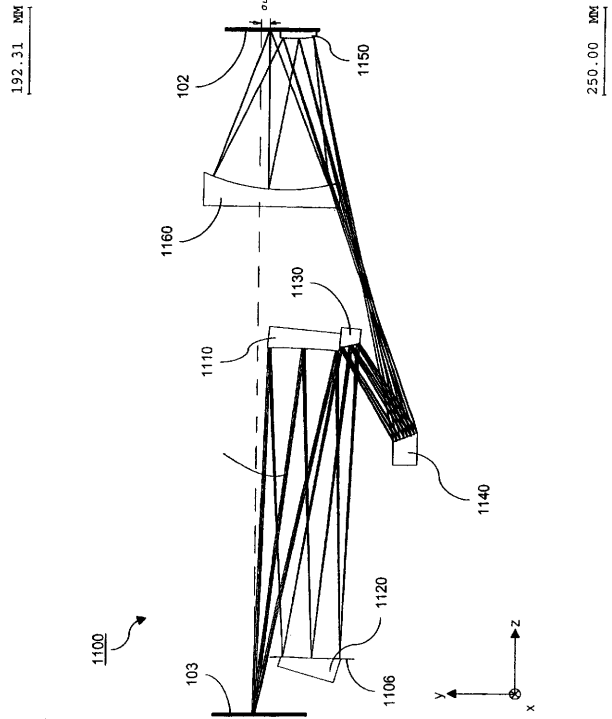
【 図 9 】



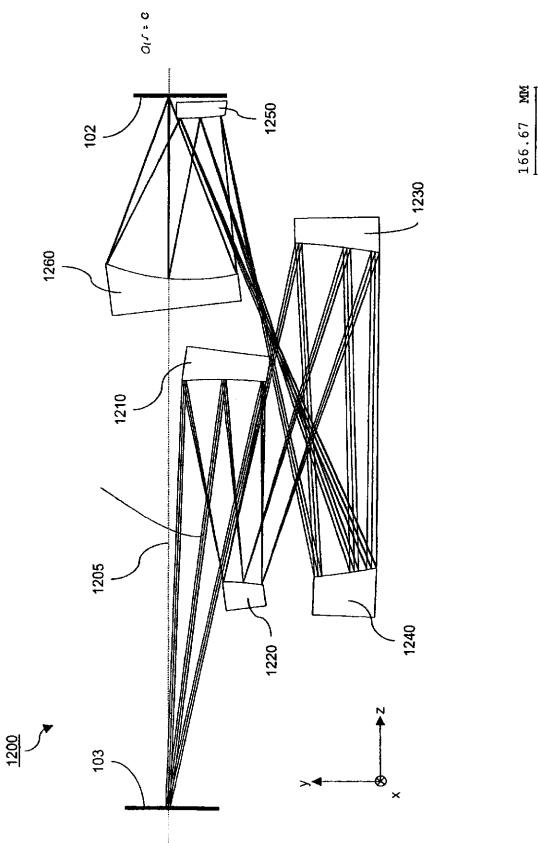
【 図 1 0 】



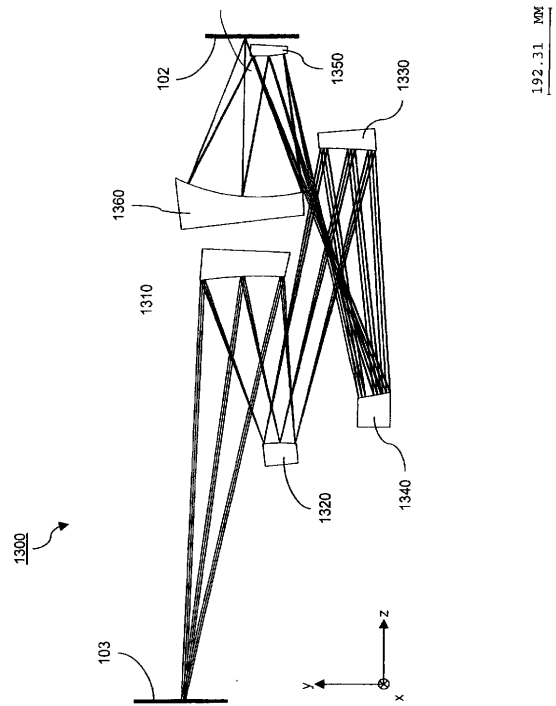
【 図 1 1 】



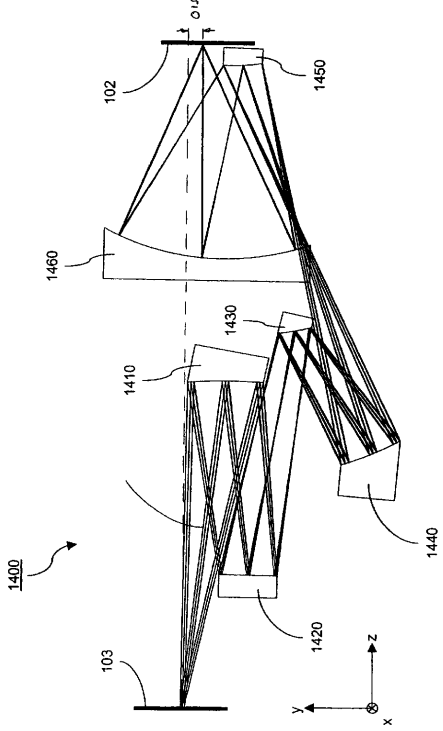
【 図 1 2 】



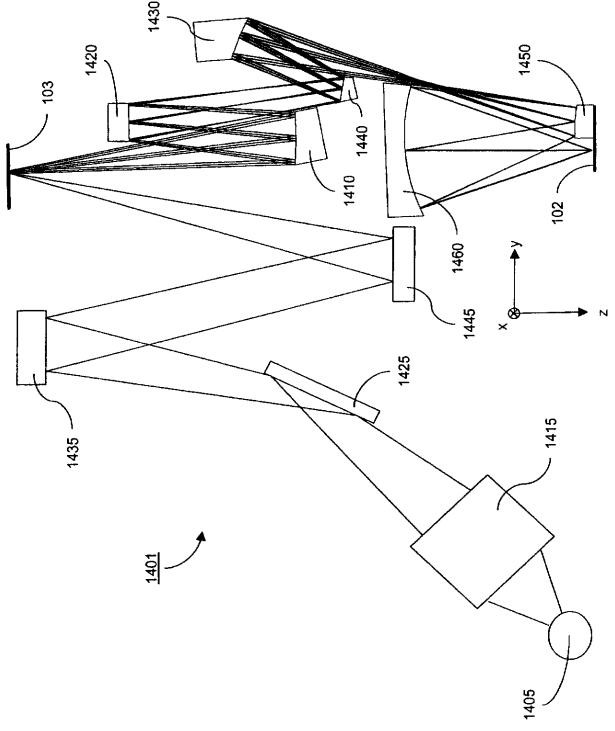
【 図 1 3 】



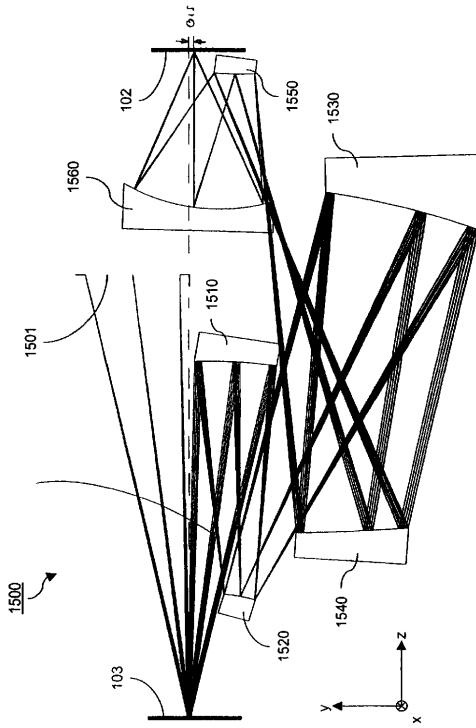
【 図 1 4 A 】



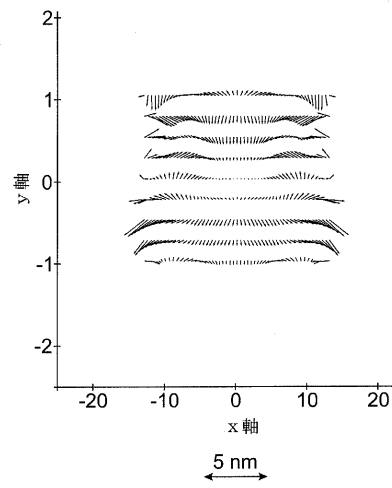
【 図 1 4 B 】



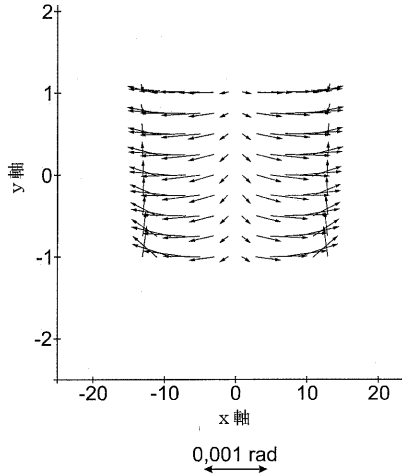
【 図 1 5 】



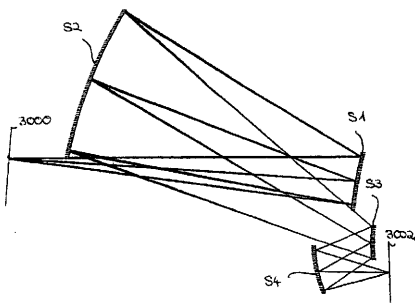
【 図 1 6 A 】



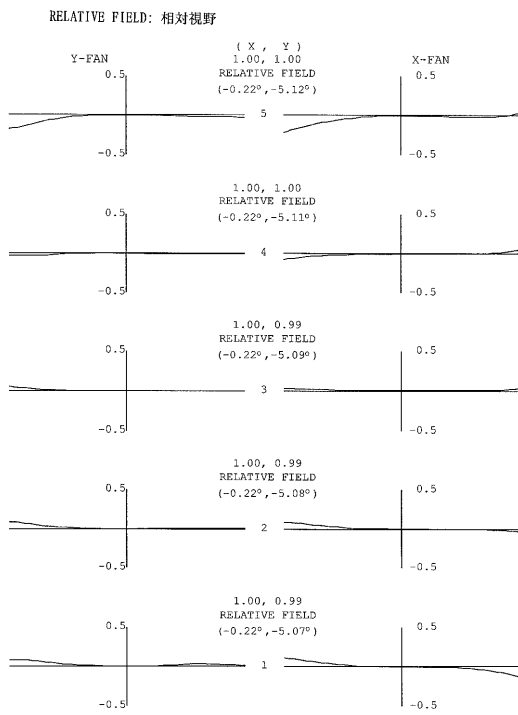
【 図 1 6 B 】



【 図 1 7 】



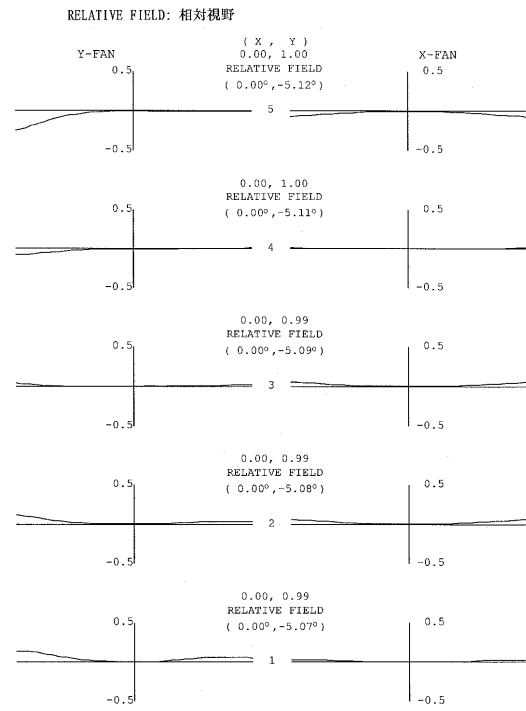
【 図 1 9 】



13.5000 NM

光路差 (波)

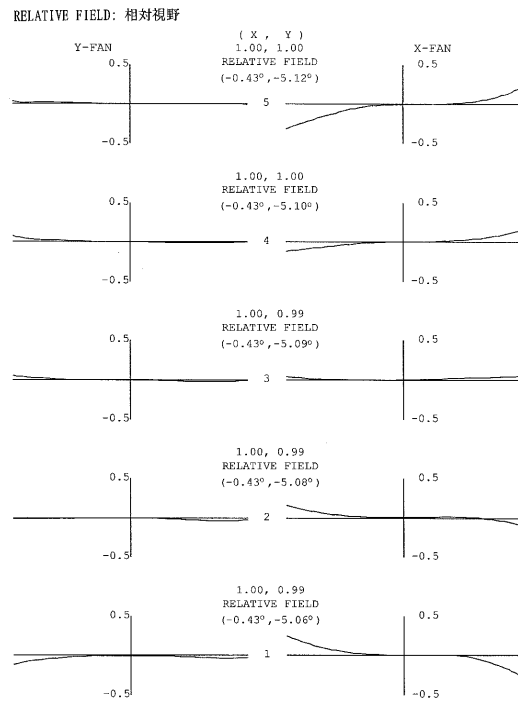
【 図 1 8 】



13.5000 NM

光路差 (波)

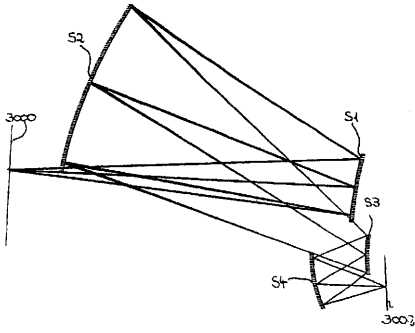
【 图 2 0 】



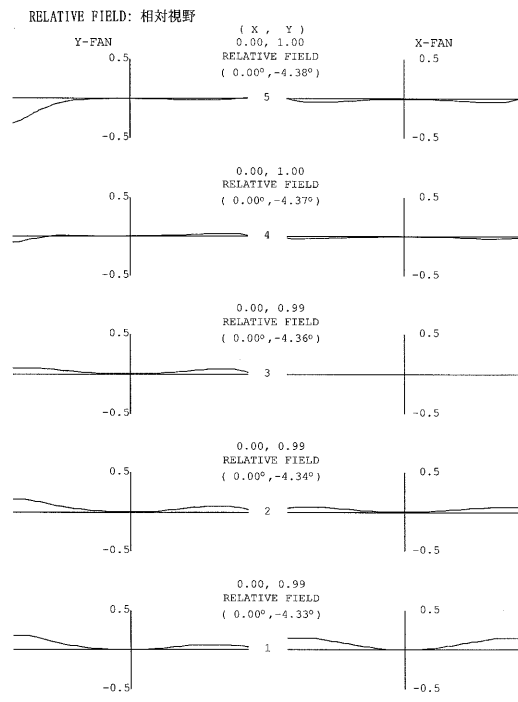
13.5000 NM

光路差 (波)

【 図 2 1 】



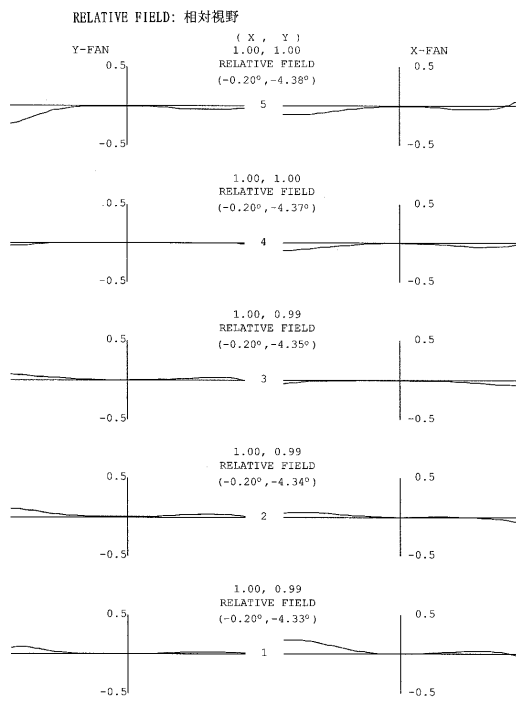
【 図 2 2 】



13.5000 NM

光路差 (波)

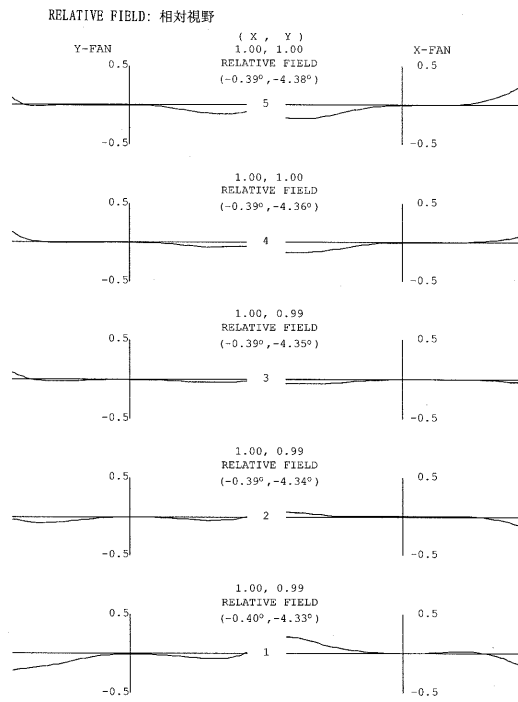
【 图 2 3 】



13.5000 NM

光路差 (波)

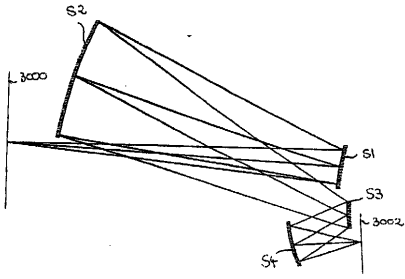
【 图 2 4 】



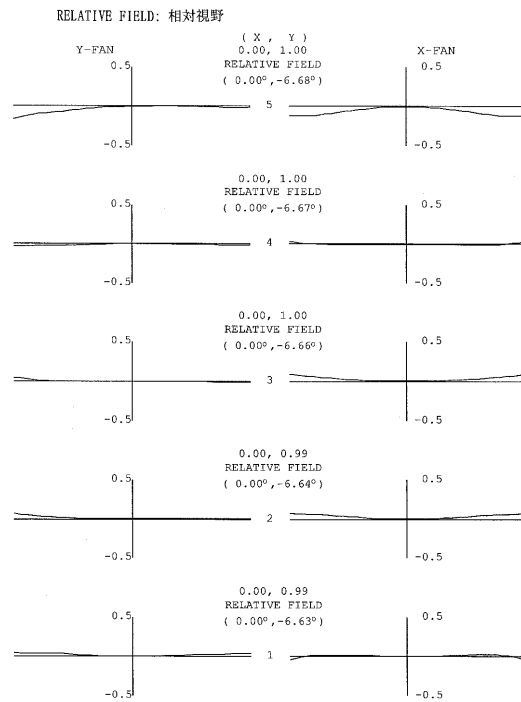
13.5000 NM

光路差 (波)

【 図 2 5 】



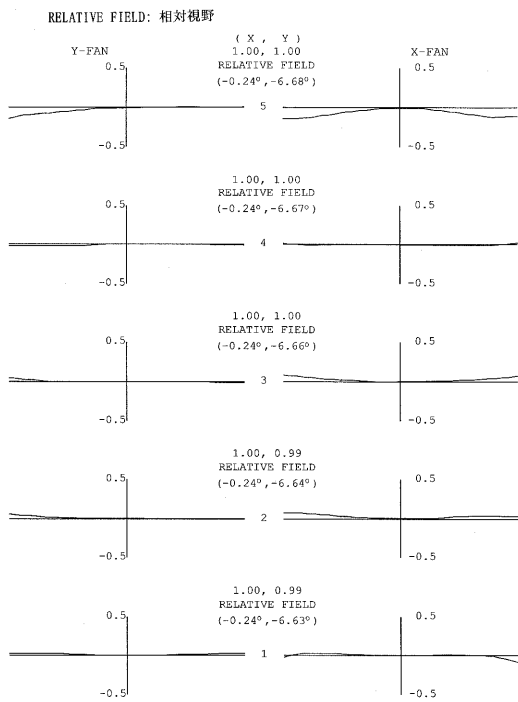
【 図 2 6 】



13.5000 NM

光路差 (波)

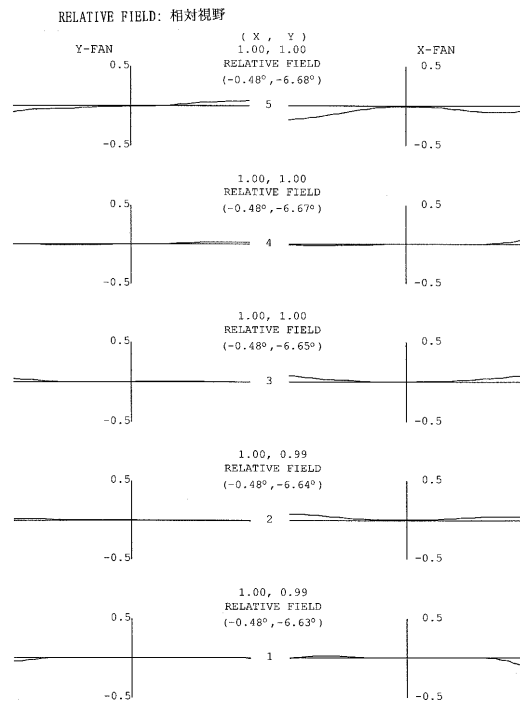
【 图 2 7 】



13.5000 NM

光路差 (波)

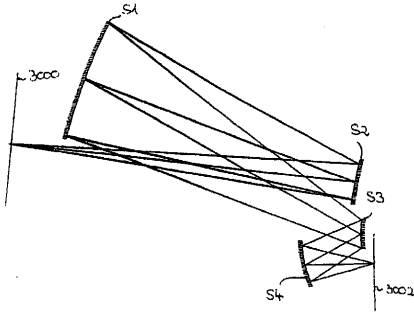
【 图 2 8 】



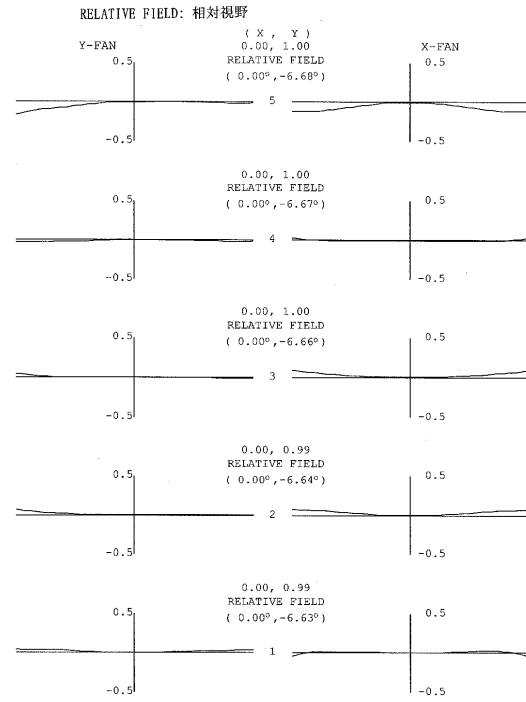
13.5000 NM

光路差 (波)

【 図 2 9 】



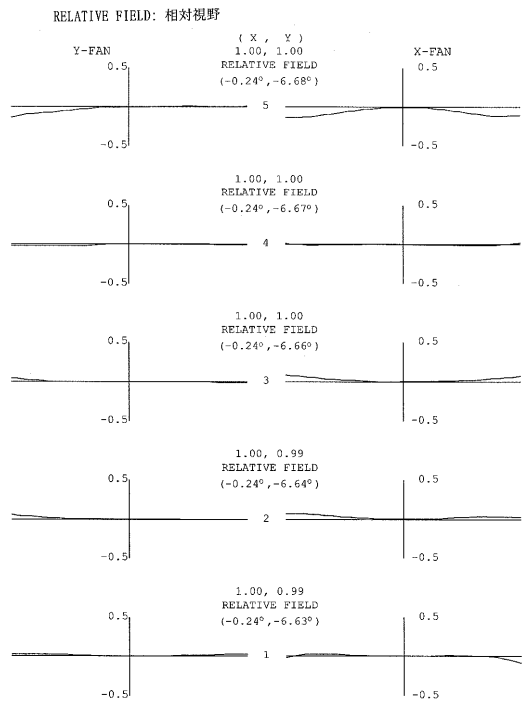
【 図 3 0 】



13.5000 NM

光路差 (波)

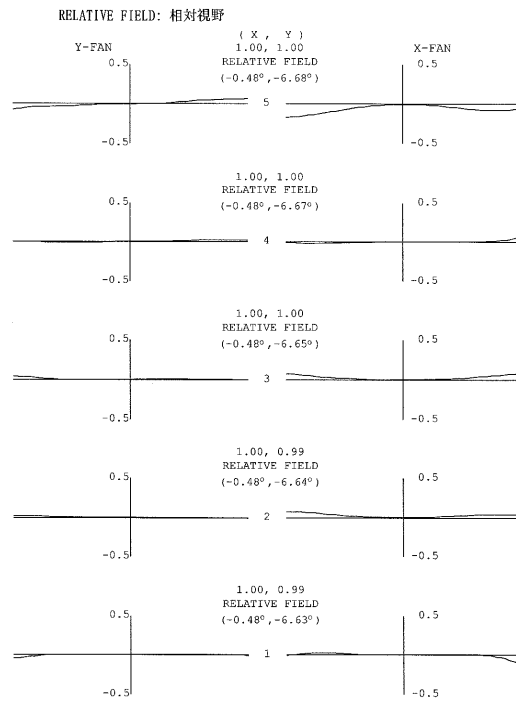
【 图 3 1 】



13.5000 NM

光路差 (波)

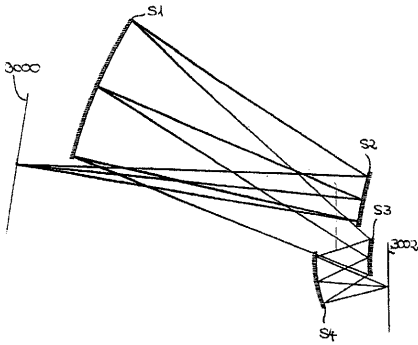
【 图 3 2 】



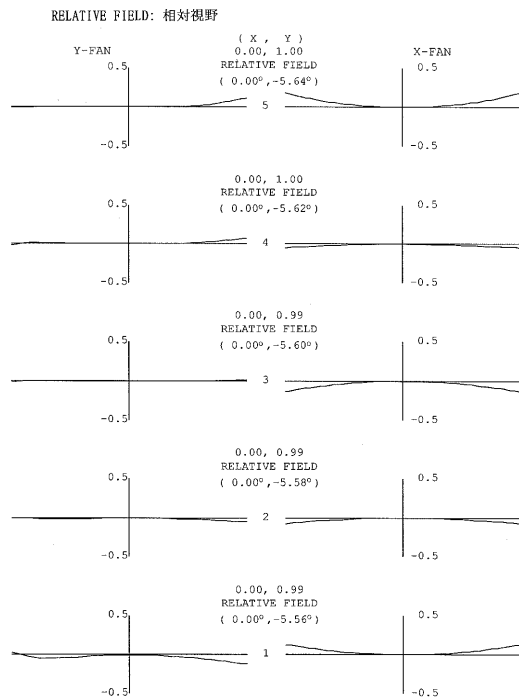
13.5000 NM

光路差 (波)

【 図 3 3 】



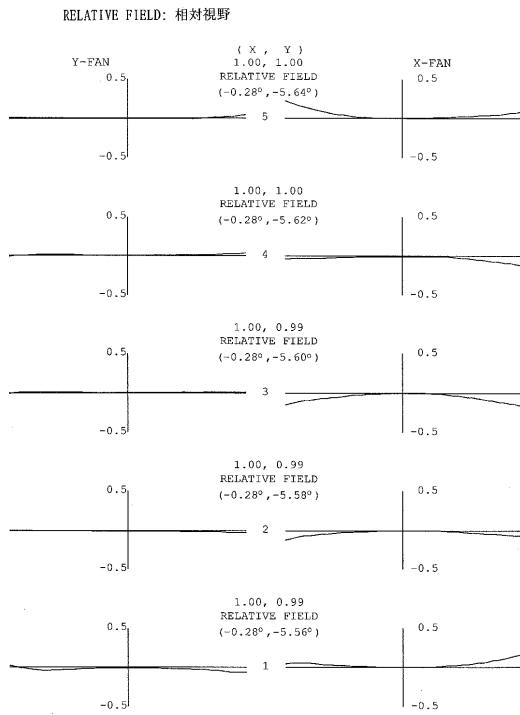
【 図 3 4 】



13.5000 NM

光路差 (波)

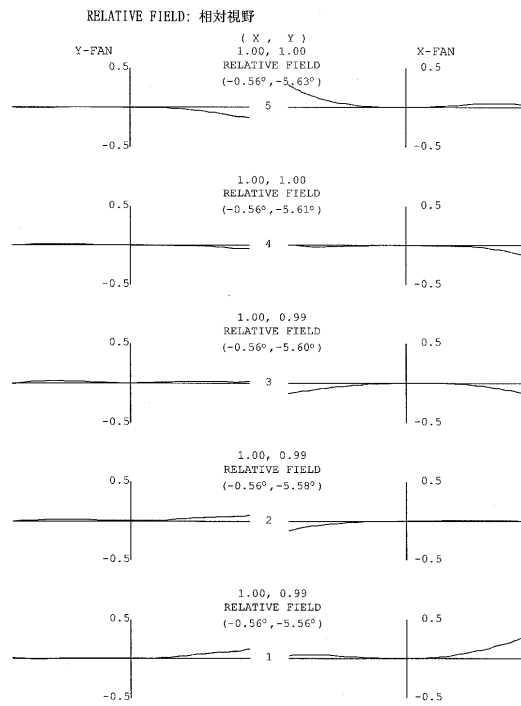
【 图 3 5 】



13.5000 NM

光路差 (波)

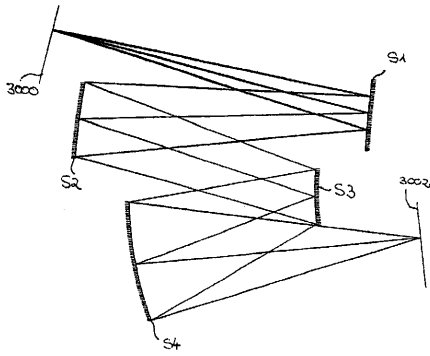
【 图 3 6 】



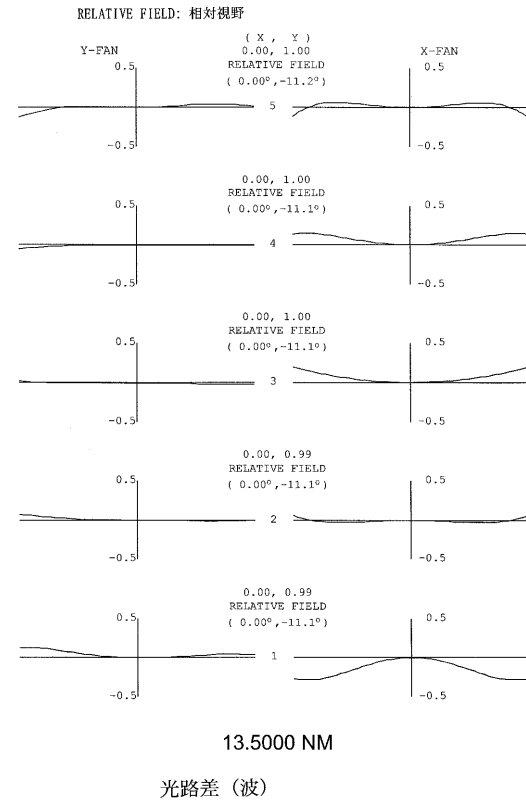
13.5000 NM

光路差 (波)

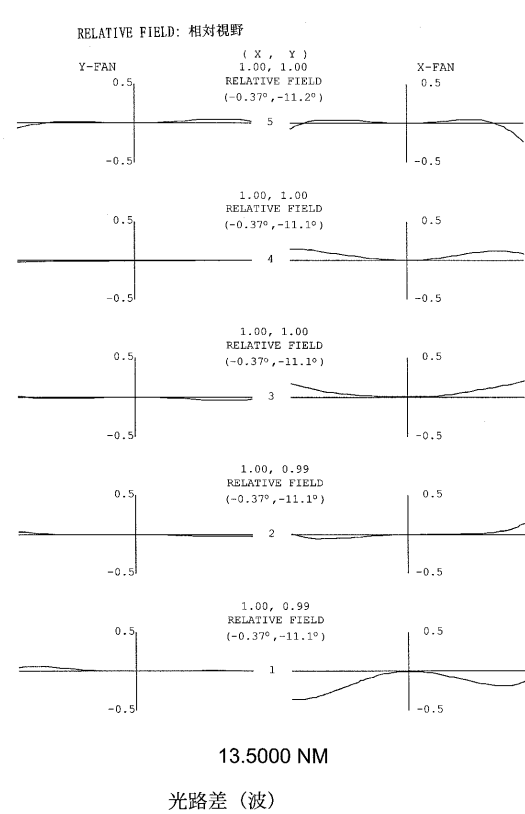
【 図 3 7 】



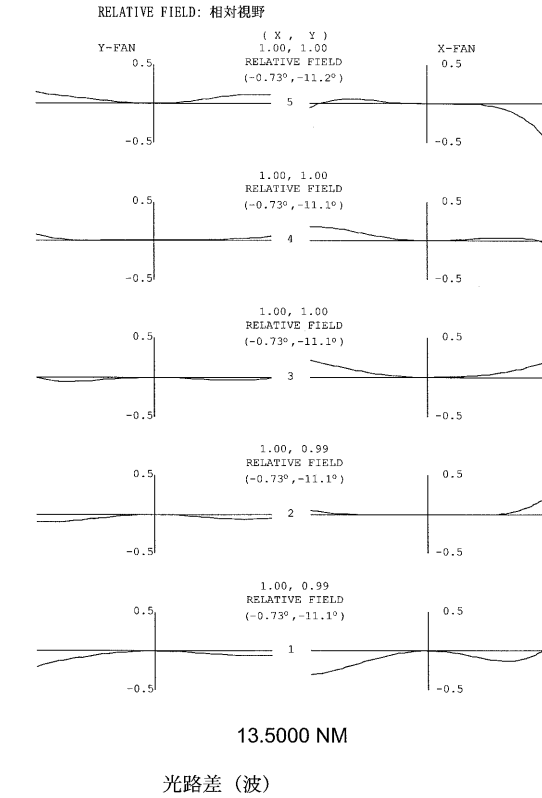
【 図 3 8 】



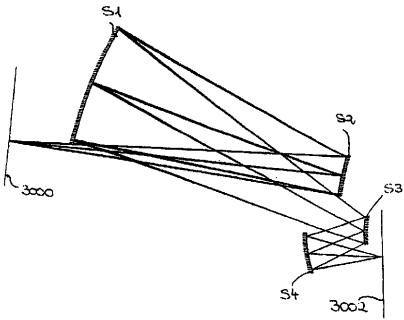
【 图 3 9 】



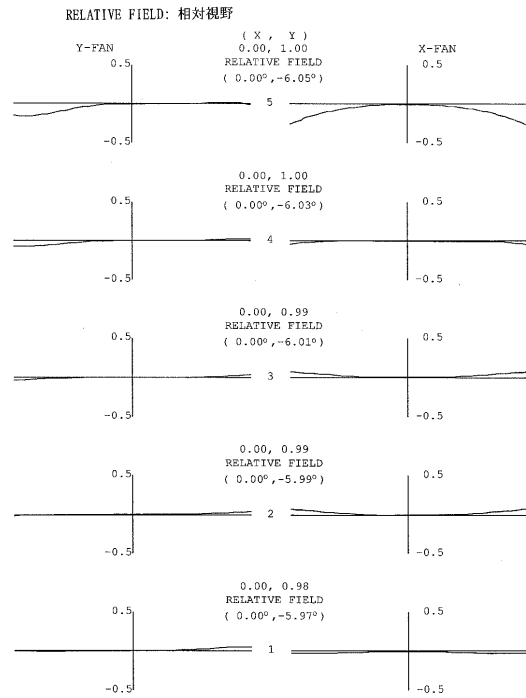
【 图 4 0 】



【 図 4 1 】



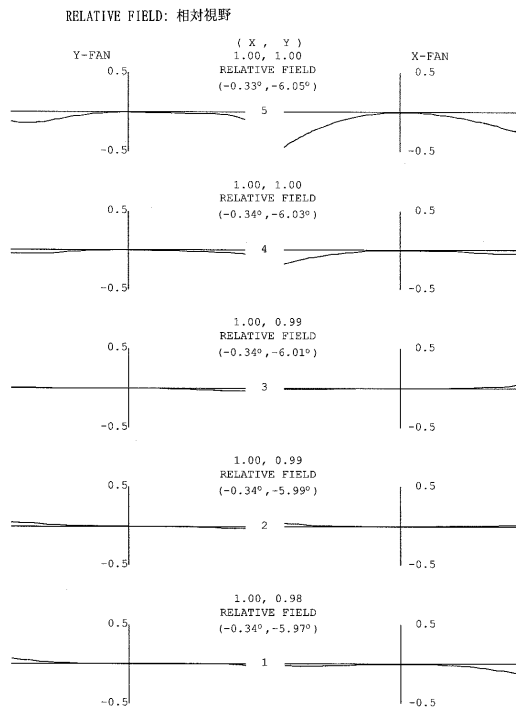
【 図 4 2 】



13.5000 NM

光路差 (波)

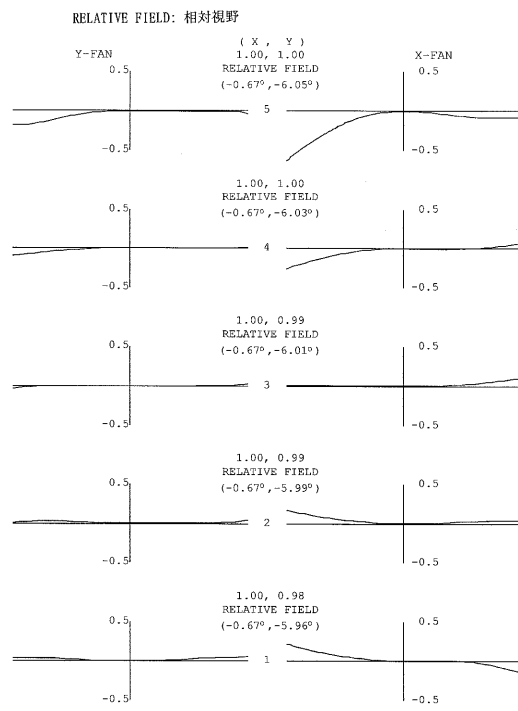
【 图 4 3 】



13.5000 NM

光路差 (波)

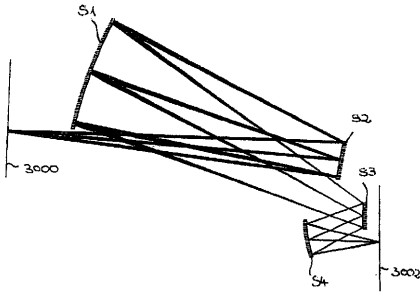
【 图 4 4 】



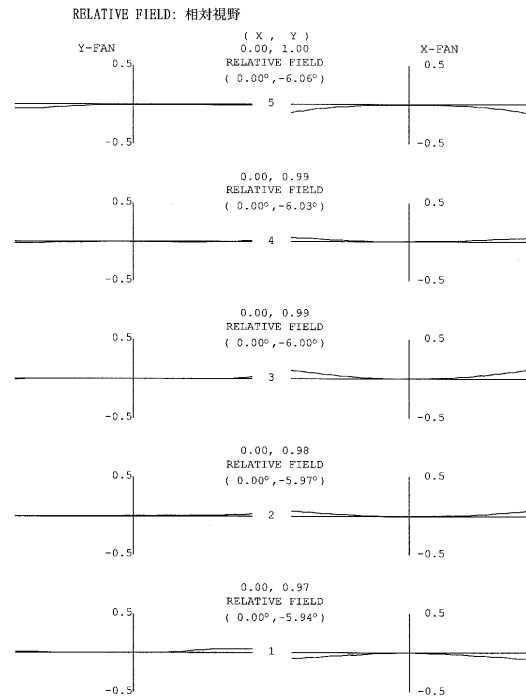
13.5000 NM

光路差 (波)

【 図 4 5 】



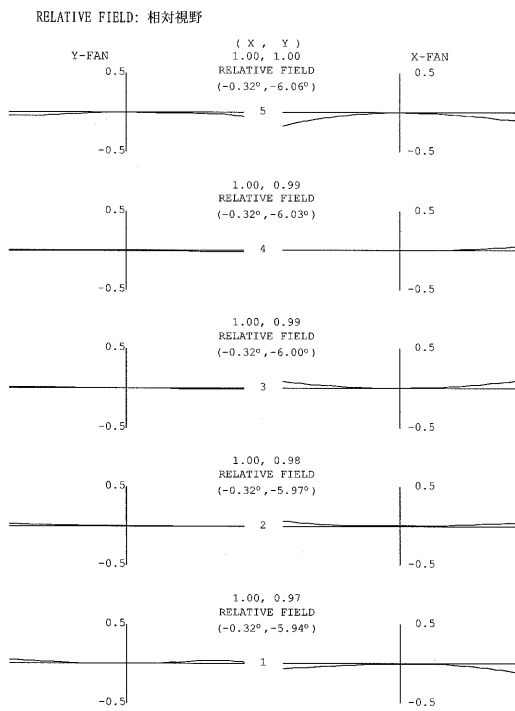
【 図 4 6 】



13.5000 NM

光路差 (波)

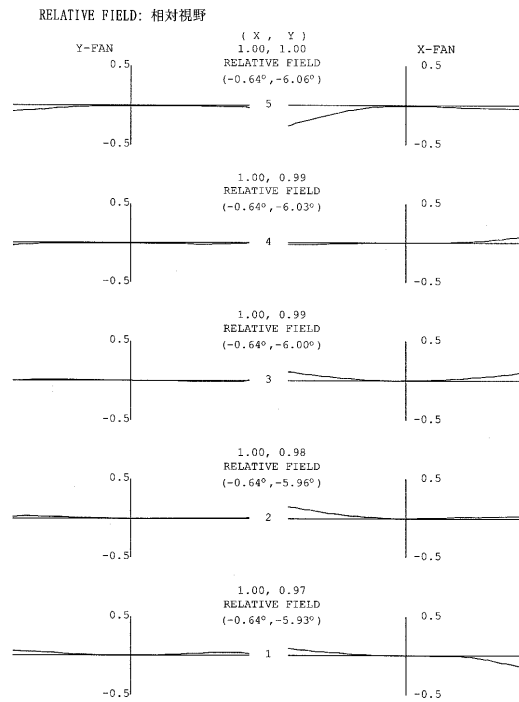
【 図 4 7 】



13.5000 NM

光路差 (波)

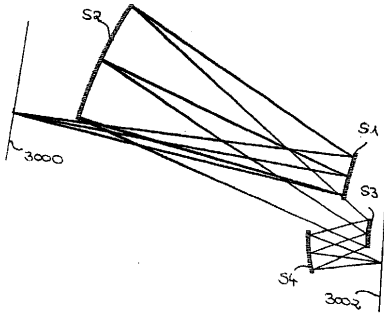
【 図 4 8 】



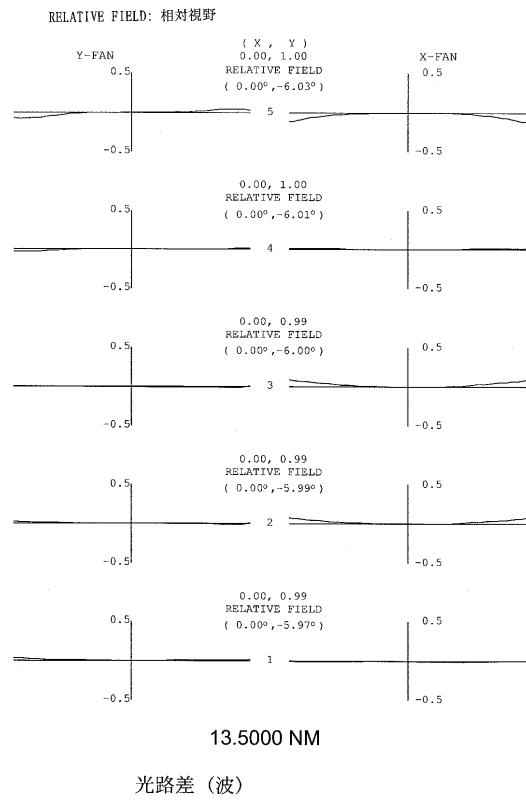
13.5000 NM

光路差 (波)

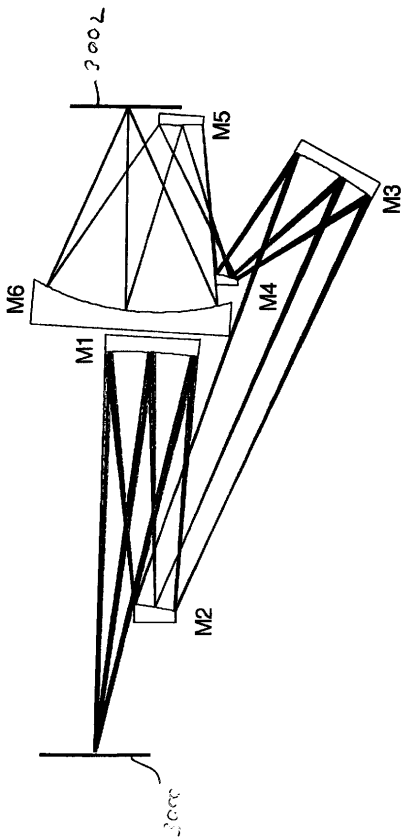
【 図 4 9 】



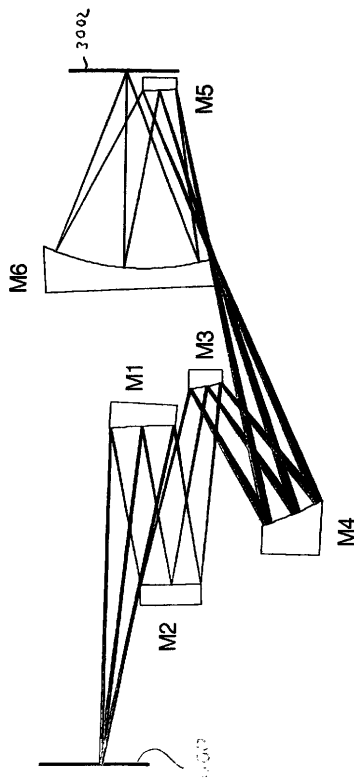
【 図 5 0 】



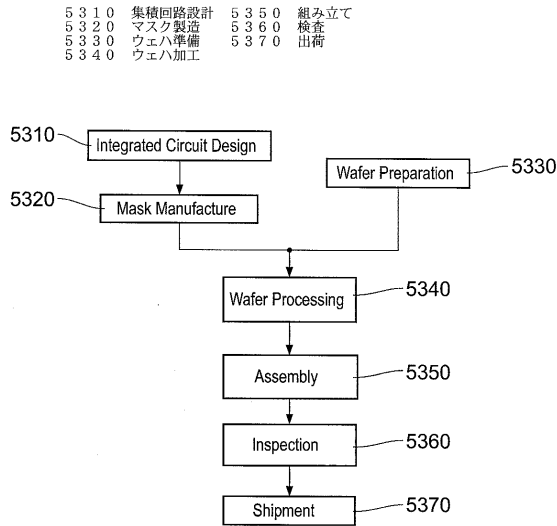
【 図 5 1 】



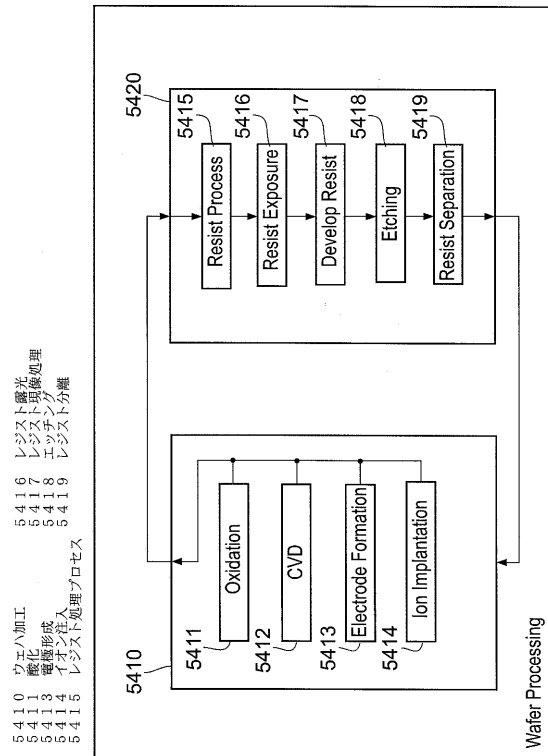
【 図 5 2 】



【 図 5 3 】



【 図 5 4 】



【 手続 補正書 】

【 提出日 】平成22年1月4日 (2010.1.4)

【 手続 補正 1 】

【 補正対象書類名 】特許請求の範囲

【 補正対象項目名 】全文

【 補正方法 】変更

【 補正の内容 】

【 特許請求の範囲 】

【 請求項 1 】

マイクロリソグラフィ投影光学系であって、

波長 の放射光を物体平面から像平面に結像するように配列されており、少なくとも1つは前記放射光の経路内に位置する回転非対称面を有する反射素子である複数の素子を備え、

前記回転非対称面は、少なくとも1つの位置において最良フィット回転対称面から少なくとも だけずれており、

前記像平面における前記光学系の視野は、最小曲率半径が300mmであるマイクロリソグラフィ投影光学系。

【 請求項 2 】

前記 は、100nm以下である請求項1に記載の光学系。

【 請求項 3 】

前記最良フィット回転非対称面は、式

【数 1】

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^a C_j x^m y^n$$

に対応する面から約 0 . 1 又はそれ以下の値だけずれ、
ただし、式中、

【数 2】

$$j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1$$

であり、

z は、軸に平行な、前記面のサグであり、c は、頂点曲率であり、k は、円錐定数であり、 C_j は、単項式 $x^m y^n$ の係数であり、 j は、整数である請求項 1 又は 2 に記載の光学系。

【請求項 4】

前記回転非対称面は、前記 1 つ又は複数の位置において、前記最良フィット回転対称面から約 1 0 又はそれ以上ずれる請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 5】

前記回転非対称面は、前記 1 つ又は複数の位置において、前記最良フィット回転対称面から約 2 0 nm 又はそれ以上ずれる請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 6】

前記複数の素子は、子午面を定め、前記複数の要素は、前記子午面に関して鏡対称である請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 7】

前記複数の素子は、放射光の経路内に位置する回転非対称面を有する反射素子である 2 つの素子を備える請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 8】

前記複数の素子は正の主光線角度倍率を有する 2 つ以下の反射素子を含む請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 9】

前記複数の素子は正の主光線角度倍率を有する 1 つ以下の反射素子を含む請求項 8 に記載の光学系。

【請求項 10】

前記マイクロリソグラフィ投影光学系は約 0 . 2 又はそれ以上の像側開口数を有する請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 11】

前記光学系は、像平面において矩形の視野を有し、直交する方向のそれぞれにおいて、前記矩形の視野は、互いに直交する両方向で約 1 mm 又はそれ以上の最小寸法を有する請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 12】

前記像視野の静的歪曲は約 1 0 mm 又はそれ以下である請求項 1 から 11 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 13】

前記像視野の波面誤差は約 $\lambda/14$ 又はそれ以下である請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 14】

前記主光線は、前記物体平面において互いから発散する請求項 1 から 13 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 15】

前記光学系の子午断面に対し、前記主光線は 20° 未満の、前記複数の素子のそれぞれの表面上の最大入射角を有する請求項14に記載の光学系。

【請求項16】

前記像平面においてテレセントリックである請求項1から15のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項17】

前記光学系を通る放射光の経路は主光線により特徴付けられ、前記光学系の子午断面について、中心視野点の前記主光線は、 θ 度の、前記複数の素子のそれぞれの表面上の最大入射角を有し、前記光学系は 0.3 よりも大きい像側開口数 NA を有し、 θ/NA は 68 未満である請求項1から16のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項18】

約 75 mm 又はそれ以下の物体 - 像シフトを有する請求項1から17のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項19】

前記複数の素子は、約 25 mm 又はそれ以下のフリーボードを有する4つ又はそれ以上の素子を備える請求項1から18のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項20】

放射光を物体平面に与えるように構成された放射光源をさらに備える請求項1から19のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項21】

前記放射光源から放射光を前記物体平面に位置する物体に向けてように配列された1つ又は複数の素子を備える照明系をさらに備え、前記照明系は、前記光学系の入射瞳に対応する場所に位置する素子を備える請求項20に記載の光学系。

【請求項22】

マイクロリソグラフィ・ツールであって、
請求項21に記載の前記光学系と、
前記光学系がレチクルを前記像平面に結像するように前記物体平面に前記レチクルの位置を決めるように構成された第1の可動ステージと、
前記レチクルの前記像が物品の表面に来るように前記像平面に物品の位置を決めるように構成された第2の可動ステージとを備えるマイクロリソグラフィ・ツール。

【請求項23】

微細構造コンポーネントをマイクロリソグラフィにより生産するための方法であって、
少なくとも放射光感受性材料の層を有する基板を用意する工程と、
投影される構造を有するマスクを用意する工程と、
請求項22に記載のマイクロリソグラフィ・ツールを用意する工程と、
前記マイクロリソグラフィ・ツールを使用して前記層の一領域上に前記マスクの少なくとも一部を投影する工程とを含む方法。

【請求項24】

請求項23に記載の方法により生産される微細構造コンポーネント。

【請求項25】

放射光の前記経路に関して回転対称である設計から出発し、
この経路軸に平行な放射光の前記経路により定められる前記軸に対して回転対称の前記軸を平行移動することにより前記回転対称設計を偏心させ、
前記経路軸に対して回転対称の前記軸を傾けることにより前記回転対称設計を傾け、
前記偏心され、傾けられた設計からの自由形状のずれを行わせることにより光学収差を最小にすることを含み請求項1から19のいずれか1項に記載の光学系における回転非対称面を設計する方法。

フロントページの続き

(72)発明者 マン, ハンス - ユルゲン

ドイツ連邦共和国・7 3 4 4 7 オーバーコッヒェン・カッツェンバッハシュトラッセ・4 9

(72)発明者 ユーリッヒ, ヴィルヘルム

ドイツ連邦共和国・7 3 4 3 4 アーレン・レデラッケリング・4 4

(72)発明者 プレトリウス, マルコ

ドイツ連邦共和国・7 3 4 4 7 オーバーコッヒェン・カッツェンバッハシュトラッセ・6 0 エイ

Fターム(参考) 2H087 KA21 NA02 NA04 RA06 TA02 TA06

5F046 BA05 CB02 CB25 GA03 GB01

【 外国語明細書 】

MICROLITHOGRAPHY PROJECTION OPTICAL SYSTEM, METHOD FOR MANUFACTURING A DEVICE AND METHOD TO DESIGN AN OPTICAL SURFACE

This disclosure relates to a microlithography projection optical system, in particular to a projection objective, a microlithographic tool comprising such an optical system, a method for microlithographic production of microstructured components using such a microlithographic tool, a microstructured component being produced by such a method and a method to design an optical surface in such an optical system.

Projection objectives are widely used in microlithography to transfer a pattern from a reticle to a substrate by forming an image of the reticle on a layer of a photosensitive material disposed on the substrate. In general, projection objectives fall into three different classes: dioptric objectives; catoptric objectives; and catadioptric objectives. Dioptric objectives use refractive elements (e.g., lens elements) to image light from an object plane to an image plane. Catoptric objectives use reflective elements (e.g., mirror elements) to image light from an object plane to an image plane. Catadioptric objectives use both refractive and reflective elements to image light from an object plane to an image plane.

Objectives, in particular for use in projection systems, are known from T. Jewell: "Optical system design issues in development of projection camera for EUV lithography", Proc. SPIE 2437 (1995). Other objectives are known from EP 0 730 169 A, EP 0 730 179 A, EP 0 730 180 A, EP 0 790 513 A, US 5 063 586 A, US 6 577 443 A, US 6 660 552 A and US 6 710 917 A.

- 2 -

It is an object of the present invention, to improve an optical system which can in particular be used as projection objective in a microlithography projection exposure apparatus with respect to its resolution with a given illumination wavelength. Further, the optical systems according to the present invention should have a high light throughput with respect to illumination light.

This object is met by an optical system having the features of claim 1.

In the following specification, a rotationally asymmetric surface according to the invention also is referred to as a freeform surface. Unlike spherical or aspherical mirrors, freeform surfaces do not have an axis of rotational symmetry. Freeform surfaces according to the present invention differ from known aspheric rotational symmetric mirror surfaces for EUV projection objectives in that such known aspheric mirror surfaces are described via a mathematical Taylor expansion, i.e. having a sag being given by a rotational symmetric polynomial of grade n . The center point of this Taylor expansion for all these polynomial terms is defined by a common optical axis. Known mirror surfaces are described by such an expansion, because the Taylor expansion is easy to calculate, easy to optimize and there exists a lot of experience in manufacturing such mirror surfaces. However, it was realized by the inventors that the known Taylor expansion with common center leads to an unwanted distortion which cannot be lowered below a certain level. This distortion limitation being inherent to rotational symmetric optical surfaces is avoided, when according to the invention one of the optical surfaces is embodied as freeform or rotationally asymmetric surface. Using freeform surfaces it is possible to overcome limitations with respect to numerical aperture and distortion being inherent to rotational symmetric surfaces which in particular is advantageous in the field of EUV microlithography protection. In a special embodiment, a freeform surface may be a surface being mirror symmetric to a meridional plane of the optical system. A meridional plane is a plane being defined by the

- 3 -

normal of the object plane and the center points of the object field and the apertures of the optical components of the optical system. Advantageously, the projection objective according to the present invention is a catoptric projection objective. In general, the image plane of the optical system is parallel to the object plane. The optical system may have a field at the image plane having a minimum radius of curvature of 300 mm. In the optical system, the chief rays may be at an angle of about 3° , 5° , 7° or more with respect to the object plane normal at the object plane. The optical system may have an entrance pupil which is located more than 2.8 m, in particular more than 10 m from the object plane. In general, in an optical system with freeform surfaces, an exactly defined pupil plane does not exist. In a pupil plane of the optical system, the chief rays corresponding to different field points meet. In the pupil plane, the ray bundles from each field point superpose. The term pupil plane is used to characterize a region perpendicular to the light beam guided in the optical system where an intensity distribution corresponds to an illumination angle distribution in the object plane. The imaged radiation may be reflected from an object positioned at the object plane. The object positioned at the object plane may be a reticle that is imaged by the plurality of elements to the image plane. The optical system may have a demagnification of 4X. The optical system according to the present invention may comprise four or more reflective elements. In particular, the optical system may comprise six or more reflective elements. A plurality of elements may be arranged to image the radiation to an intermediate image plane between the object plane and the image plane. In this case, a field stop may be positioned at or near the intermediate image plane. In particular, the plurality of elements may comprise five elements and the intermediate image plane may be located between a fourth element and a fifth element along the path of the radiation from the object plane to the image plane. The object and image planes may be separated by a distance L being about 1 m or more. The optical path length of the radiation from the object plane to the image plane may be about $2L$, $3L$, $4L$ or more. The plurality of

- 4 -

elements may comprise at least one pair of adjacent elements in the path of the radiation, where the pair of adjacent elements is separated by about $0,5 L$ or more. Advantageously, none of the plurality of elements causes an obscuration of the exit pupil. The plurality of elements may comprise a first mirror and a second mirror, the first and second mirrors having a minimum distance from the object plane of d_1 and d_2 , respectively, where d_1/d_2 is about 2 or more. Alternatively, d_1/d_2 may be smaller than 2. In that case, the optical system as a rule has a large working distance at the object side. The plurality of elements may include a first element in the path of the radiation from the object plane to the image plane, where the first element has positive optical power. The optical system may comprise an aperture stop positioned between the object plane and the image plane. The plurality of elements of the optical system may comprise three elements and the aperture stop may be positioned between the second and third elements in the path of the radiation from the object plane to the image plane. Alternatively, the aperture stop may be positioned at the second or at the third element. The radiation may pass through the aperture stop once or twice. A radiation source which is used with the optical system according to the invention may be a laser radiation source having a wavelength of about 300 nm or less, 200 nm or less, 100 nm or less.

A mathematical expansion of the freeform surface according to claim 2 gives a good and reproducible manufacturing of the reflective surfaces. In this expansion, α may be 66. Further, m may consist of even integers. Further, $m + n$ may be equal to or bigger than 10.

A deviation according to claim 3 or 4 provides for a proper reduction of the objective's distortion below the limit which is reachable using rotationally symmetric optical surfaces. The rotationally asymmetric surface may deviate from the best-fit rotationally symmetric surface by about 100λ or more at the one or more locations. The rotationally asymmetric surface may deviate from

- 5 -

the best-fit rotationally symmetric surface by about 50 nm or more, by about 100 nm or more, by about 500 nm or more or by about 1000 nm or more at the one or more locations.

A mirror symmetric freeform optical surface according to claim 5 lowers the requirements for production of the freeform optical surface.

Two reflective elements with freeform optical surfaces according to claim 6 lead to the possibility of a better aberration minimization on the one hand and give the possibility to meet certain aberration minimization requirements with less complicated to manufactured freeforms. The optical system also may have three, four, five or six freeform elements.

An optical system having no more than two reflective elements with a positive chief ray angle magnification according to claim 7 exhibits relatively low incident ray angles on the mirrors, thus causing lower aberrations at the outset. This holds in particular using an optical system including only one reflective element having a positive chief ray angle magnification according to claim 8.

A numerical aperture of the optical system according to claim 9 allows a high resolution. The image-side numerical aperture may be as high as 0.25, 0.28, 0.3, 0.35, 0.4 or more.

An image field dimension according to claim 10 enables an efficient use of the optical system in a microlithography projection apparatus. As an aberration correction is improved with freeform surfaces, now designs with rectangular image fields are possible which by use of rotationally symmetric surfaces would exhibit aberrations being too high to meet demanding requirements. The rectangular field may have a minimum dimension of about 2 mm and may have a first dimension of about 1 mm or more and a second dimension of

- 6 -

about 1 mm or more where the first and second dimension are orthogonal. This second dimension may be about 10 mm or about 20 mm or more.

A distortion according to claim 11 and a wavefront error according to claim 12 lead to a projection quality which only may be limited by diffraction, i.e. by the wavelength of the projection light. An optical system with such low distortion in particular is optimized for use with EUV light sources in the range between 10 and 30 nm.

The optical system may have chief rays which are non-parallel to the object plane normal at the object plane. A chief ray angle according to claim 13 gives the possibility to control the distribution of illumination angles in the image plane by controlling an intensity distribution in the illumination optics in front of the projection objective with a low number of optical components. This is not possible using an optical system with a convergent set of chief ray angles as this would result in the requirement of additional components to give access to a manipulation plane to control the distribution of illumination angles via an intensity distribution in this manipulation plane. In an optical system with diverging chief rays according to claim 13, the object plane is positioned between the plurality of elements and an entrance pupil of the optical system.

Maximum angles of incidence according to claim 14 help to avoid high aberrations at the outset. The maximum angle of incidence on a surface of each of the elements may be less than 18° or less than 15° .

A telecentric optical system according to claim 15 tolerates height variations of a substrate arranged in the image plane.

An optical system according to claim 16 leads to a very high resolution. The ratio θ/NA may be about 60 or less or 50 or less.

- 7 -

An optical system with an object-image shift of about 75 mm or less according to claim 17 leads to a slim optical design of the optical system. The object-image shift may be about 50 mm or less or about 25 mm or less. In case of zero object-image shift, the optical system can be rotated about the axis intersecting the center field points in the object and image fields without the central field point translating. This is in particular advantageous where metrology and testing tools are used requiring rotation of the optical system.

Freeboards of the elements according to claim 18 give a compact design with small incidence angles of the chief rays. Four or more elements of the optical system may have freeboards of about 5 mm or more. This lowers the requirements regarding holder and substrate design of the optical elements of the optical system.

An optical system having a radiation source according to claim 19 exploits advantageously the aberration minimization by use of the at least one freeform surface, as aberrations and distortions in the range of the wavelength of such a radiation source are possible. Preferably, the wavelength is in a range from about 10 nm to about 15 nm.

The advantages of an optical system according to claim 20 and a microlithographic tool according to claim 21 correspond to those mentioned above with respect to the optical system according to claims 1 to 19. The same holds with respect to the manufacturing method according to claim 22 and with respect to the component according to claim 23.

A design method according to claim 24 gives a reproducible design instruction to create freeform surfaces which can be produced in a controllable manner.

- 8 -

Furthermore, embodiments can include one or more of the following advantages. For example, embodiments include catoptric projection objectives that are telecentric at the image plane. This can provide for constant or nearly constant image magnification over a range of image-side working distances.

In certain embodiments, catoptric projection objectives have extremely high resolution. For example, projection objectives can have the capability of resolving structures smaller than about 50 nm. High resolution can be achieved in projection objectives that have a high image-side numerical aperture that are designed for operation at short wavelengths (e.g., about 10 nm to about 30 nm).

Projection objectives can provide images with low aberrations. In certain embodiments, projection objectives are corrected for wavefront error of about $30\text{ m}\lambda$ or less. In certain embodiments, projection objectives are corrected for distortion below values of about 2 nm or less.

Embodiments include catoptric objectives that have a high numerical aperture and provide imaging with low image distortion, low wavefront error, and telecentricity at the image plane over a relatively large image field. These features can be achieved by use of one or more freeform mirrors.

In some embodiments, projection objective metrology can be easily implemented despite rotations of the projection objective about a rotation axis. For example, embodiments of projection objectives (e.g., high NA projection objectives) may have relatively small or zero object-image shift which result in little or no translation of an on-axis field point when the projection objective rotates about the axis. Thus, when the projection objective is subject to rotation, metrology can be repeatedly performed in the same field position without having to relocate that field position.

- 9 -

Embodiments also include catoptric projection objectives that have no field dependent pupil obscuration or no central pupil obscuration at all.

Embodiments of projection objectives can be adapted for operation at a variety of different wavelengths, including visible and ultraviolet (UV) wavelengths. Embodiments can be adapted for operation at Extreme UV (EUV) wavelengths. Furthermore, embodiments can be adapted for use at more than one wavelength, or over a range of wavelengths.

Embodiments of catoptric projection objectives can be used in lithography tools (e.g., lithography scanners) and can provide relatively low overscan. Low overscan is accomplished, for example, by using projection objectives with rectangular image fields. In such embodiments, the image can be aligned so that an edge of the rectangular field is parallel to the leading edge of the die sites, avoiding the need to scan the leading edge of the die sites beyond the edge of the image field in order to scan the site corners, as is typically the case when rectangular or square die sites are scanned relative to arcuate fields.

Embodiments include lithography tools with relatively high throughput. For example, embodiments having relatively low overscan are more efficient than comparable systems that have larger overscan. Accordingly, these low overscan systems can provide higher wafer throughput than the comparable systems.

In some embodiments, catoptric projection objectives are provided that have low or no field dependence of shading effects. For example, catoptric projection objectives can have their entrance pupil located far from the object plane (e.g., at infinity) providing uniform illumination angles of the chief rays on the object field. This can reduce or avoid field dependent shading effects

- 10 -

that occurs where chief ray angles vary across the object field. Alternatively, or additionally, projection objectives can have relatively small values chief ray incident angles and/or small variations of incident angles for rays in the meridional section for each mirror in the projection objective, resulting in an increased average reflectivity of each mirror, given a respective multi layer reflecting stack being optimized for such incident angles.

In certain embodiments, projection objective can include features that allow a reduction in the complexity of the illumination system. For example, the location of the entrance pupil of projection objectives may be in front of the object plane. In other words, chief rays starting at different field points are divergent with respect to each other. This can make the entrance pupil of the projection objective/exit pupil of the illumination system accessible without using a telescope in the illumination system to relay the illumination system's exit pupil to the location of the projection objective's entrance pupil.

Other features and advantages will be apparent from the description, the drawings, and the claims.

FIG. 1 is a schematic view of an embodiment of a microlithography tool.

FIG. 2A is a schematic view showing a portion of the microlithography tool shown in FIG. 1.

FIG. 2B is a cross-sectional view of a rotationally asymmetric surface and a corresponding rotationally symmetric reference surface.

- 11 -

- FIG. 3 is a cross-sectional view of an embodiment of a projection objective shown in meridional section.
- FIG. 4 is a cross-sectional view of a portion of a mirror from a projection objective shown in meridional section.
- FIG. 5A is a schematic view of a ray path at a mirror having a positive chief ray angle magnification.
- FIG. 5B is a schematic view of a ray path at a mirror having a negative chief ray angle magnification.
- FIG. 6A is a view of a mirror's footprint.
- FIG. 6B is a cross-section view of the mirror shown in FIG. 6A.
- FIG. 7A is a plan view of an embodiment of a ring segment field.
- FIG. 7B is a plan view of a ring segment field relative to a pair of wafer die sites.
- FIG. 7C is a plan view of a rectangular field relative to a pair of wafer die sites.
- FIG. 8 is a schematic view of the projection objective of the embodiment of microlithography tool shown in FIG. 1.
- FIG. 9 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.

- 12 -

- FIG. 10 is a cross-sectional view of a portion of a projection objective shown in meridional section.
- FIG. 11 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.
- FIG. 12 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.
- FIG. 13 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.
- FIG. 14A is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.
- FIG. 14B is a cross-sectional view of an optical system that includes the projection objective shown in FIG. 14A and of an illumination system.
- FIG. 15 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.
- FIG. 16A is an x-y vector plot showing calculated distortion as a function of position in the image field for the projection objective shown in FIG. 15.
- FIG. 16B is an x-y vector plot showing calculated chief ray angle as a function of position in the image field for the projection objective shown in FIG. 15.

- 13 -

- FIG. 17 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.
- FIGS. 18 to 20 are plots showing lateral aberrations as a function of position in the image field for the projection objective shown in Fig. 17.
- FIG. 21 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.
- FIGS. 22 to 24 are plots showing aberrations as a function of position in the image field for the projection objective shown in Fig. 21.
- FIG. 25 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.
- FIGS. 26 to 28 are plots showing aberrations as a function of position in the image field for the projection objective shown in Fig. 25.
- FIG. 29 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.
- FIGS. 30 to 32 are plots showing aberrations as a function of position in the image field for the projection objective shown in Fig. 29.
- FIG. 33 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.

- 14 -

- FIGS. 34 to 36 are plots showing aberrations as a function of position in the image field for the projection objective shown in Fig. 33.
- FIG. 37 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.
- FIGS. 38 to 40 are plots showing aberrations as a function of position in the image field for the projection objective shown in Fig. 37.
- FIG. 41 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.
- FIGS. 42 to 44 are plots showing aberrations as a function of position in the image field for the projection objective shown in Fig. 41.
- FIG. 45 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.
- FIGS. 46 to 48 are plots showing aberrations as a function of position in the image field for the projection objective shown in Fig. 45.
- FIG. 49 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.

- 15 -

- FIG. 50 is a plot showing aberrations as a function of position in the image field for the projection objective shown in Fig. 49.
- FIG. 51 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.
- FIG. 52 is a cross-sectional view of a projection objective shown in meridional section.
- FIG. 53 is a flowchart showing steps in the manufacture of a semiconductor device.
- FIG. 54 is a flowchart showing steps in a wafer process.

In one aspect, the disclosure relates to catoptric projection objectives that have one or more mirrors having a freeform mirror surface (referred to as freeform mirrors). Catoptric projection objectives with freeform mirrors can be used in microlithography tools. Referring to FIG. 1, a microlithography tool 100 generally includes a light source 110, an illumination system 120, a projection objective 101, and a stage 130. A Cartesian co-ordinate system is shown for reference. Light source 110 produces radiation at a wavelength λ and directs a beam 112 of the radiation to illumination system 120. Illumination system 120 interacts with (e.g., expands and homogenizes) the radiation and directs a beam 122 of the radiation to a reticle 140 positioned at an object plane 103. Projection objective 101 images radiation 142 reflected from reticle 140 onto a surface of a substrate 150 positioned at an image plane 102. The radiation on the image-side of projection objective 101 is depicted as rays 152. As shown in FIG. 1, the rays are illustrative only and not intended to be accurately depict the path of the radiation with respect to reticle 140, for example. Substrate 150

- 16 -

is supported by stage 130, which moves substrate 150 relative to projection objective 101 so that projection objective 101 images reticle 140 to different portions of substrate 150.

Projection objective 101 includes a reference axis 105. In embodiments where projection objective is symmetric with respect to a meridional section, reference axis 105 is perpendicular to object plane 103 and lies inside the meridional section.

Light source 110 is selected to provide radiation at a desired operational wavelength, λ , of tool 100. In some embodiments, light source 110 is a laser light source, such as a KrF laser (e.g., having a wavelength of about 248 nm) or an ArF laser (e.g., having a wavelength of about 193 nm). Non-laser light sources that can be used include light-emitting diodes (LEDs), such as LEDs that emit radiation in the blue or UV portions of the electromagnetic spectrum, e.g., about 365 nm, about 280 nm or about 227 nm.

Typically, for projection objectives designed for operation in lithography tools, wavelength λ is in the ultraviolet portion, the deep ultraviolet portion or the extreme ultraviolet portion of the electromagnetic spectrum. For example, λ can be about 400 nm or less (e.g., about 300 nm or less, about 200 nm or less, about 100 nm or less, about 50 nm or less, about 30 nm or less). λ can be more than about 2 nm (e.g., about 5 nm or more, about 10 nm or more). In embodiments, λ can be about 193 nm, about 157 nm, about 13 nm, or about 11 nm. Using a relatively short wavelength may be desirable because, in general, the resolution of a projection objective is approximately proportional to the wavelength. Therefore shorter wavelengths can allow a projection objective to resolve smaller features in an image than equivalent projection objectives that use longer wavelengths. In certain embodiments, however, λ

- 17 -

can be in non-UV portions of the electromagnetic spectrum (e.g., the visible portion).

Illumination system 120 includes optical components arranged to form a collimated radiation beam with a homogeneous intensity profile. Illumination system 120 typically also includes beam steering optics to direct beam 122 to reticle 140. In some embodiments, illumination system 120 also include components to provide a desired polarization profile for the radiation beam.

Typically object plane 103 is parallel to image plane 102. However, in certain embodiments, image plane 102 is tilted with respect to object plane 103. For example, image plane 102 can be tilted by an angle being about 1° or more (e.g. about 2° or more, about 3° or more, about 4° or more, about 5° or more).

Object plane 103 is separated from image plane 102 by a distance L , which is also referred to as the lengthwise dimension, or tracklength, of projection objective 101. The tracklength is defined by the distance between two parallel planes. The first plane is the object plane, the second is defined as the plane parallel and closest to the object plane such that the object field, the image field and the optical components are located between these two parallel planes. In general, this distance depends on the specific design of projection objective 101 and the wavelength of operation of tool 100. In some embodiments, such as in tools designed for EUV lithography, L is in a range from about 1 m to about 3 m (e.g., in a range from about 1.5 m to about 2.5 m). In certain embodiments, L is less than 2 m, such as about 1.9 m or less (e.g., about 1.8 m or less, about 1.7 m or less, about 1.6 m or less, about 1.5 m or less). L can be more than about 0.2 m or more (e.g., about 0.3 m or more, about 0.4 m or more, about 0.5 m or more, about 0.6 m or more, about 0.7 m or more, about 0.8 m or more, about 0.9 m or more, about 1 m or more).

- 18 -

The ratio of the optical path length of imaged radiation to the tracklength varies depending on the specific design of projection objective 101. In some embodiments, the ratio of this optical path length to tracklength can be relatively high. For example, the ratio of this optical path length to tracklength can be about two or more (e.g., about 2.5 or more, about three or more, about 3.5 or more, about four or more, about 4.5 or more, about five or more).

Projection objective 101 has a magnification ratio, which refers to the ratio of the dimensions of the field at object plane 103 to the corresponding dimensions of the field at image plane 102. Typically, projection objectives used in lithography tools are reduction projection objectives, meaning they reduce the dimensions of, or demagnify, the image. In some embodiments, therefore, projection objective 101 can produce a field at image plane 102 whose dimensions are reduced by about 2X or more (e.g., about 3X or more, about 4X or more, about 5X or more, about 6X or more, about 7X or more, about 8X or more, about 9X or more, about 10X or more) compared to the dimensions at object plane 103. In other words, projection objective 101 can have a demagnification of about 2X or more, (e.g., about 3X or more, about 4X or more, about 5X or more, about 6X or more, about 7X or more, about 8X or more, about 9X or more, about 10X or more). More generally, however, projection objectives can be designed to provide a magnified image or an image the same size as the object.

Referring also to FIG. 2A, rays 152 define a cone of light paths that form the reticle image at image plane 102. The angle of the cone of rays is related to the image-side numerical aperture (*NA*) of projection objective 101. Image-side *NA* can be expressed as

$$NA = n_o \sin \theta_{\max}$$

- 19 -

where n_0 refers to the refractive index of the immersing medium adjacent the surface of substrate 150 (e.g., air, nitrogen, water, or evacuated environment), and θ_{\max} is the half-angle of the maximum cone of image forming rays from projection objective 101.

In general, projection objective 101 can have an image side NA of about 0.1 or more (e.g., about 0.15 or more, about 0.2 or more, about 0.25 or more, about 0.28 or more, about 0.3 or more, about 0.35 or more). In some embodiments, projection objective 101 has a relatively high image-side NA. For example, in some embodiments, projection objective 101 may have an image-side NA of more than 0.4 (e.g., about 0.45 or more, about 0.5 or more, about 0.55 or more, about 0.6 or more). In general, the resolution of projection objective 101 varies depending on wavelength λ and the image-side NA. Without wishing to be bound by theory, the resolution of a projection objective can be determined based on the wavelength and image-side NA based on the formula,

$$R = k \frac{\lambda}{NA},$$

where R is the minimum dimension that can be printed and k is a dimensionless constant called the process factor. k varies depending on various factors associated with the radiation (e.g., the polarization properties), the illumination properties (e.g., partial coherence, annular illumination, dipole settings, quadrupole settings, etc.) and the resist material. Typically, k is in a range from about 0.4 to about 0.8, but can also be below 0.4 and higher than 0.8 for certain applications.

Projection objective 101 is also nominally telecentric at the image plane. For example, the chief rays can deviate by about 0.5° or less (e.g., about 0.4° or

- 20 -

less, about 0.3° or less, about 0.2° or less, about 0.1° or less, about 0.05° or less, 0.01° or less, 0.001° or less) from being parallel to each other at the image plane over the exposed field. Thus, projection objective 101 can provide substantially constant magnification over a range of image-size working distances. In some embodiments, the chief rays are nominally orthogonal to image plane 102. Thus, a non flat topography of the wafer surface or a defocusing of the image plane does not lead to distortion or shading effects in the image plane.

In certain embodiments, projection objective 101 has a relatively high resolution (i.e., the value of R can be relatively small). For example, R can be about 150 nm or less (e.g., about 130 nm or less, about 100 nm or less, about 75 nm or less, about 50 nm or less, about 40 nm or less, about 35 nm or less, about 32 nm or less, about 30 nm or less, about 28 nm or less, about 25 nm or less, about 22 nm or less, about 20 nm or less, about 18 nm or less, about 17 nm or less, about 16 nm or less, about 15 nm or less, about 14 nm or less, about 13 nm or less, about 12 nm or less, about 11 nm or less, such as about 10 nm).

The quality of images formed by projection objective 101 can be quantified in a variety of different ways. For example, images can be characterized based on the measured or calculated departures of the image from idealized conditions associated with Gaussian optics. These departures are generally known as aberrations. One metric used to quantify the deviation of a wavefront from the ideal or desired shape is the root-mean-square wavefront error (W_{rms}). W_{rms} is defined in the "Handbook of Optics," Vol. I, 2nd Ed., edited by Michael Bass (McGraw-Hill, Inc., 1995), at page 35.3, which is incorporated herein by reference. In general, the lower the W_{rms} value for an objective, the less the wavefront deviates from its desired or ideal shape, and the better the quality of the image. In certain embodiments, projection

- 21 -

objective 101 can have a relatively small W_{rms} for images at image plane 102. For example, projection objective 101 can have a W_{rms} of about 0.1λ or less (e.g., about 0.07λ or less, about 0.06λ or less, about 0.05λ or less, about 0.045λ or less, about 0.04λ or less, about 0.035λ or less, about 0.03λ or less, about 0.025λ or less, about 0.02λ or less, about 0.015λ or less, about 0.01λ or less, such as about 0.005λ).

Another metric that can be used to evaluate the quality of the image is referred to as field curvature. Field curvature refers to the peak-to-valley distance for the field point dependent position of the focal plane. In some embodiments, projection objective 101 can have a relatively small field curvature for images at image plane 102. For example, projection objective 101 can have an image-side field curvature of about 50 nm or less (e.g., about 30 nm or less, about 20 nm or less, about 15 nm or less, about 12 nm or less, 10 nm or less).

A further metric that can be used to evaluate the optical performance is referred to as distortion. Distortion refers to the maximum absolute value of the field point dependent deviation from the ideal image point position in the image plane. In some embodiments, projection objective 101 can have a relatively small maximum distortion. For example, projection objective 101 can have a maximum distortion of about 50 nm or less, (e.g. about 40 nm or less, about 30 nm or less, about 20 nm or less, about 15 nm or less, about 12 nm or less, 10 nm or less, 9 nm or less, 8 nm or less, 7 nm or less, 6 nm or less, 5 nm or less, 4 nm or less, 3 nm or less, 2 nm or less, such as 1 nm).

Further, in certain embodiments, distortion can vary by a relatively small amount across the image field. For example, distortion can vary by about 5 nm or less (e.g., about 4 nm or less, about 3 nm or less, about 2 nm or less, about 1 nm or less) across the image field.

- 22 -

Being a catoptric system, projection objective 101 includes a number of mirrors arranged to direct radiation reflected from reticle 140 to substrate 150 in a way that forms an image of reticle 140 on the surface of substrate 150. Specific designs of projection objectives are described below. More generally, however, the number, size, and structure of the mirrors generally depends on the desired optical properties of projection objective 101 and the physical constraints of tool 100.

In general, the number of mirrors in projection objective 101 may vary. Typically, the number of mirrors is related to various performance trade-offs associated with the optical performance characteristics of the objective, such as the desired throughput (e.g., the intensity of radiation from the object that forms the image at image plane 102), the desired image-side NA and related image resolution, and the desired maximum pupil obscuration.

In general, projection objective 101 has at least four mirrors (e.g., five or more mirrors, six or more mirrors, seven or more mirrors, eight or more mirrors, nine or more mirrors, ten or more mirrors, eleven or more mirrors, twelve or more mirrors). In embodiments where it is desirable that all the mirrors of the objective are positioned between the object plane and the image plane, objective 101 will typically have an even number of mirrors (e.g., four mirrors, six mirrors, eight mirrors, ten mirrors). In certain embodiments, an odd number of mirrors can be used where all the mirrors of the projection objective are positioned between the object plane and image plane. For example, where one or more mirrors are tilted at relatively large angles, a projection objective can include an odd number of mirrors where all the mirrors are positioned between the object plane and image plane.

- 23 -

In general, at least one of the mirrors in projection objective 101 has a rotationally asymmetric or freeform surface. Unlike spherical or aspherical mirrors, freeform mirror surfaces do not have an axis of rotational symmetry. Generally, a freeform surface deviates from a rotationally symmetric reference surface (e.g., a spherical or aspherical rotationally symmetric reference surface), which refers to the rotationally symmetric surface that most closely matches the rotationally asymmetric surface.

Rotationally-symmetric reference surfaces can be determined for a freeform mirror surface as follows. First, one obtains information that characterizes the freeform mirror surface under consideration. In embodiments where optical data of the mirror is known, this information includes determining the basic radius of the mirror (e.g. $1/c$, where c is the vertex curvature), a conic constant of the mirror, k , and polynomial coefficients characterizing the mirror. Alternatively, or additionally, the information characterizing the mirror can be obtained from a surface figure measurement of the mirror surface (e.g. obtained using an interferometer). A surface figure measurement can provide a function $z'(x', y')$ describing the mirror's surface, where z' is the sag of the mirror surface along the z' -axis for different (x', y') coordinates, as illustrated in Fig. 2B. The initial step also includes determining the footprint for the mirror, which refers to an area of the mirror surface that is actually used to reflect image-forming radiation in the objective. The footprint can be determined by tracing rays through the objective using a ray tracing program and extracting the mirror area contacted by the rays.

After obtaining the information characterizing the rotationally asymmetric surface, a local coordinate system for the surface is established for which decentration and tilt of the surface is zero. Setting the tilt and decentration of the surface gives a well defined starting point for an optimization algorithm to determine the reference surface and also define an axis, z' , along which the

- 24 -

sag differences between the mirror surface and the reference surface can be determined. Where optical data for the mirror surface is known, the z' -axis is determined based on the conic constant, k , and basic radius, $1/c$. For the rotationally symmetric portion of the optical data, the z' -axis is the symmetry axis for the rotationally symmetric part of the rotationally asymmetric surface. In embodiments where the mirror surface is characterized from a surface figure measurement, the z' -axis corresponds to the metrology axis (e.g. the interferometers optical axis). Fig. 2B illustrates this for a two-dimensional section of a rotationally asymmetric mirror 201, where the local coordinate system is denoted by the x' , y' and z' axes. The boundaries for the footprint of the rotationally asymmetric mirror 201 are shown as x_{\min} and x_{\max} for the cross-section shown in Fig. 2B.

An initial reference surface is then established with respect to the coordinate system. The initial reference surface has zero tilt and zero decentration. The initial reference surface is either a spherical surface or a rotationally symmetric aspherical surface. The initial reference surface is established by one designating a rotationally symmetric surface that approximates the rotationally asymmetric mirror surface. The initial reference surface represents a starting point for an optimization algorithm. Once the initial reference surface is established, a local distance, b_i ($i = 1 \dots N$) between a number of points of the initial reference surface and points on the surface of the rotationally asymmetric surface footprint measured along the z' -axis of the local coordinate system are determined. Next, the rotationally symmetric reference surface (surface 211 in Fig. 2B) is established by determining a minimal value for the local distances (d_i) using a number fitting parameters and a fitting algorithm. In the event that the rotationally symmetric reference surface is a spherical surface, the parameters include the location of the center of the sphere within the local coordinate system, the radius, of the reference surface. In Fig. 2B, decentering of the sphere center from the coordinate

- 25 -

system origin is shown by coordinates x_c and z_c (decentration along the y' -axis by an amount y_c is not shown in Fig. 2B). The radius of the spherical surface is designated as R . The parameters R , x_c , y_c and z_c are optimized to provide a minimal value for the local distances, d_i , based on the equation:

$$z' = (R^2 - (x' - x_c)^2 - (y' - y_c)^2)^{1/2} - z_c,$$

which is the equation for a spherical surface of radius R , centered at coordinate (x_c, y_c, z_c) .

Where the rotationally symmetric reference surface is an aspherical surface, the parameters can include decentration and tilt of the reference surface, base radius, conical constant and aspherical coefficients. These parameters can be determined based on the equation

$$z' = \frac{c'h^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + k')c'^2h^2}} + \sum_j A'_j h^{2j},$$

which is an equation describing conic and aspheric surfaces. Here, $h^2 = x'^2 + y'^2$, and A'_j are coefficients characterizing the deviation of the rotationally-symmetric reference surface from a conic surface. Generally, the number of aspherical coefficients, A'_j , used to fit the reference surface to the mirror surface can vary depending on the computational power of the system being used to calculate the surface, the time available, and the desired level of accuracy. In some embodiments, the reference surface can be calculated using aspherical coefficients up to third order. In certain embodiments, coefficients higher than third order (e.g., fourth order, sixth order) are used. For additional discussion on parameterization of conic and aspheric surfaces see, for

- 26 -

example, the product manual for Code V, available from Optical Research Associates (Pasadena, CA).

In general, fitting can be performed using a variety of optimization algorithms. For example, in some embodiments, a least squares fitting algorithm, such as a damped least squares fitting algorithm, can be used. Damped least squares fitting algorithms may be performed using commercially-available optical design software, such as Code V or ZEMAX (available from Optima Research, Ltd., Stansted, United Kingdom) for example.

After the rotationally-symmetric reference surface is determined, the local distance between additional points on the mirror surface can be determined and visualized. Additional characteristics of the rotationally-symmetric reference surface can be determined. For example, a maximum deviation of the rotationally-symmetric reference surface from the rotationally-asymmetric mirror surface can be determined.

A freeform surface can, for example, have a maximum deviation from a best fit sphere or a rotationally symmetric reference surface of about λ or more (e.g., about 10λ or more, about 20λ or more, about 50λ or more, about 100λ or more, about 150λ or more, about 200λ or more, about 500λ or more, about $1,000 \lambda$ or more, about $10,000 \lambda$ or more, about $50,000 \lambda$ or more). A freeform surface can have a maximum deviation from a best fit rotationally symmetric asphere of about λ or more (e.g., about 5λ or more, about 10λ or more, about 20λ or more, about 50λ or more, about 100λ or more, about 200λ or more, about 500λ or more, about $1,000 \lambda$ or more, about $10,000 \lambda$ or more). In some embodiments, a freeform surface can have a maximum deviation from a best fit rotationally symmetric asphere of about $1,000 \lambda$ or

- 27 -

less (e.g., about 900λ or less, about 800λ or less, about 700λ or less, about 600λ or less, about 500λ or less).

In certain embodiments, freeform surfaces have a maximum deviation from a best fit sphere by 10 nm or more (e.g., about 100 nm or more, about 500 nm or more, about 1 μm or more, about 5 μm or more, about 10 μm or more, about 50 μm or more, about 100 μm or more, about 200 μm or more, about 500 μm or more, about 1,000 μm , about 2,000 μm or more, about 3,000 μm or more). Freeform surfaces can have a maximum deviation from a best fit sphere by about 10 mm or less (e.g., about 5 mm or less, about 3 mm or less, about 2 mm or less, about 1 mm or less, about 500 μm or less).

Freeform surfaces can have a maximum deviation from a best fit rotationally symmetric asphere by 10 nm or more (e.g., about 100 nm or more, about 500 nm or more, about 1 μm or more, about 5 μm or more, about 10 μm or more, about 50 μm or more, about 100 μm or more, about 200 μm or more, about 500 μm or more, about 1,000 μm). Freeform surfaces can have a maximum deviation from a best fit rotationally symmetric asphere by about 10 mm or less (e.g., about 5 mm or less, about 3 mm or less, about 2 mm or less, about 1 mm or less, about 500 μm or less).

The curvature of the mirror surfaces is characterized by a first and second mean principal curvature, which are determined at the point on each mirror surface that reflects the chief ray of the central field point. First and second principal curvatures are calculated as described in Handbook of Mathematics by I. N. Bronstein, et al., 4th Ed. (Springer, 2004), p. 567. In general, the first principal curvature for a mirror can be different from the second principal curvature for that mirror. In some embodiments, the absolute value of the difference between the first and second principal curvatures can be about 10^{-8}

- 28 -

or more (e.g., 10^{-7} or more, 5×10^{-7} or more, about 10^{-6} or more, about 5×10^{-6} or more, about 10^{-5} or more, about 5×10^{-5} or more, about 10^{-4} or more, about 5×10^{-4} or more, about 10^{-3} or more).

In general, the first and/or second principal curvatures can be positive or negative. The first and/or second principal curvatures for a mirror surface can be relatively small. For example, in some embodiments, the absolute value of the first principal curvature for one or more mirrors in projection objective 101 is about 10^{-2} or less (e.g., about 5×10^{-3} or less, about 3×10^{-3} or less, about 2×10^{-3} or less, about 10^{-3} or less). The absolute value of the sum of the first principal curvatures for the mirrors in projective objective 101 can be about 10^{-3} or less (e.g., about 5×10^{-4} or less, about 3×10^{-4} , about 2×10^{-4} or less, about 10^{-4} or less, 5×10^{-5} or less, 10^{-5} or less).

In certain embodiments, the absolute value of the second principal curvature for one or more mirrors in projection objective 101 is about 10^{-2} or less (e.g., about 5×10^{-3} or less, about 3×10^{-3} or less, about 2×10^{-3} or less, about 10^{-3} or less). The absolute value of the sum of the second principal curvatures for the mirrors in projective objective 101 can be about 10^{-3} or less (e.g., about 5×10^{-4} or less, about 3×10^{-4} , about 2×10^{-4} or less, about 10^{-4} or less, 5×10^{-5} or less, 10^{-5} or less).

The sum of the first and second principal curvatures of the mirrors in projection objective 101, i.e. the sum of the first principal curvatures of all mirrors in projection objective 101, the sum of the second principal curvatures of all mirrors in projection objective 101 or the sum of all first and second principle curvatures of all mirrors in projection objective 101, can be relatively small. For example, the absolute value of the sum of the first and second principal curvatures of the mirrors can be about 10^{-3} or less (e.g., about

- 29 -

5×10^{-4} or less, about 3×10^{-4} , about 2×10^{-4} or less, about 10^{-4} or less, 5×10^{-5} or less, 10^{-5} or less).

In certain embodiments, freeform mirror surfaces can be described mathematically by the equation:

$$Z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^{66} C_j X^m Y^n$$

where

$$j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1$$

and Z is the sag of the surface parallel to a Z -axis (which may or may not be parallel to the z -axis in projection objective 101, i.e. in general is decentered and tilted to the z -axis in projection objective 101), c is a constant corresponding to the vertex curvature, k is a conic constant, and C_j is the coefficient of the monomial $X^m Y^n$. Typically, the values of c , k , and C_j are determined based on the desired optical properties of the mirror with respect to projection objective 101. Further, the order of the monomial, $m + n$, can vary as desired. Generally, a higher order monomial can provide a projection objective design with a higher level of aberration correction, however, higher order monomials are typically more computationally expensive to determine. In some embodiments, $m + n$ is 10 or more (e.g., 15 or more, 20 or more). As discussed below, the parameters for the freeform mirror equation can be determined using commercially-available optical design software. In some embodiments, $m + n$ is less than 10 (e.g., 9 or less, 8 or less, 7 or less, 6 or less, 5 or less, 4 or less, 3 or less).

- 30 -

In general, freeform surfaces can be described mathematically using equations other than those presented above. For example, in some embodiments, freeform surfaces can be described mathematically using Zernike polynomials (such as presented in the manual for CODE V[®], commercially available from Optical Research Associates, Pasadena, CA) or using two-dimensional spline surfaces. Examples of two-dimensional spline surfaces are Bezier splines or non-uniform rational Bezier splines (NURBS). Two-dimensional spline surfaces can be described, for example, by a grid of points in an x-y plane and corresponding z-values or slopes and these points. Depending on the specific type of spline surface, the complete surface is obtained by a specific interpolation between the grid points using, e.g., polynomials or functions that have certain properties with respect to continuity or differentiability (e.g., analytical functions).

In general, the number and position of freeform mirrors in projection objective 101 can vary. Embodiments include projection objectives with two or more freeform mirrors (e.g., three or more freeform mirrors, four or more freeform mirrors, five or more freeform mirrors, six or more freeform mirrors).

Projection objective 101 generally includes one or more mirrors with positive optical power. In other words, the reflective portion of the mirror has a concave surface and is referred to as a concave mirror. Projection objective 101 can include two or more (e.g., three or more, four or more, five or more, six or more) concave mirrors. Projection objective 101 can also include one or more mirrors that have negative optical power. This means that one or more of the mirrors has a reflective portion with a convex surface (referred to as a convex mirror). In some embodiments, projection objective 101 includes two or more (e.g., three or more, four or more, five or more, six or more) convex mirrors.

- 31 -

An embodiment of a projection objective that includes six mirrors is shown in FIG. 3. Specifically, projection objective 300 includes six freeform mirrors 310, 320, 330, 340, 350, and 360. Data for projection objective 300 is presented in Table 1A and Table 1B below. Table 1A presents optical data, while Table 1B presents freeform constants for each of the mirror surfaces. For the purposes of Table 1A and Table 1B, the mirror designations correlate as follows: mirror 1 (M1) corresponds to mirror 310; mirror 2 (M2) corresponds to mirror 320; mirror 3 (M3) corresponds to mirror 330; mirror 4 (M4) corresponds to mirror 340; mirror 5 (M5) corresponds to mirror 350; and mirror 6 (M6) corresponds to mirror 360. "Thickness" in Table 1A and subsequent tables refers to the distance between adjacent elements in the radiation path. The monomial coefficients, C_j , for the freeform mirrors, along with the amount the mirror is decentered and rotated (or tilted) from an initial projection objective design, are provided in Table 1B. R, the radius, is the inverse of the vertex curvature, c . Decenter is given in mm and rotation is given in degrees. Units for the monomial coefficients are mm^{j+1} . Nradius is a unitless scaling factor (see, for example, the manual for CODE V®).

In FIG. 3, projection objective 300 is shown in meridional section. The meridional plane is a symmetry plane for projection objective 300. Symmetry about the meridional plane is as the mirrors are decentered only with respect to the y -axis and tilted about the x -axis. Further, the coefficients for the freeform mirrors having an odd degree in the x -coordinate (e.g., x , x^3 , x^5 , etc.) are zero.

Projection objective 300 is configured for operation with 13.5 nm radiation and has an image-side NA of 0.35 and a tracklength of 1,500 mm. The optical path length of imaged radiation is 3,833 mm. Accordingly, the ratio of optical path length to tracklength is approximately 2.56. Projection objective has a demagnification of 4X, a maximum distortion of less than 100 nm, W_{rms} of 0.035

- 32 -

λ , and a field curvature of 28 nm. Additional characteristics of projection objective 300 are presented in the discussion of projection objective 101 that follows.

For example, the first mirror in the radiation path from object plane 103, mirror 310, has positive optical power. Mirrors 320, 340, and 360 are also P mirrors. Mirrors 330 and 350 have (N) negative optical power. The sequence of mirrors in the radiation path in projection objective 300 is thus PPNPNP.

Surface	Radius (mm)	Thickness (mm)	Mode
Object	INFINITY	714.025	
Mirror 1	-1678.761	-414.025	REFL
Mirror 2	2754.233	564.025	REFL
Mirror 3	350.451	-316.293	REFL
Mirror 4	590.379	906.948	REFL
Mirror 5	433.060	-435.447	REFL
Mirror 6	521.283	480.767	REFL
Image	INFINITY	0.000	

Table 1A

Coefficient	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-4.724690E+00	-9.830444E+01	-3.914225E-01	-8.227088E-01	7.162282E+00	9.391806E-02
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ²	-1.641507E-04	-1.736185E-04	-2.373278E-04	2.451198E-05	-1.557674E-04	-6.667760E-06
Y ²	-1.752262E-04	-1.741103E-04	-9.708884E-04	-3.130199E-05	1.398839E-04	9.098618E-06
X ² Y	-2.463783E-08	-2.724028E-07	6.327587E-07	-9.301810E-08	9.519017E-07	-8.040311E-10
Y ³	-3.641831E-08	-1.681535E-07	-6.103587E-07	2.218271E-08	6.329282E-07	-4.521618E-10
X ⁴	-1.405718E-10	1.314594E-09	-1.671620E-08	4.569574E-10	7.852021E-10	-5.450396E-11
X ² Y ²	-3.301633E-10	1.799995E-09	9.953323E-09	-1.957005E-10	3.524719E-09	-5.846553E-11
Y ⁴	5.029041E-11	2.141266E-09	2.197236E-09	9.287687E-10	6.848802E-09	-6.829886E-12
X ⁴ Y	2.090103E-13	4.363226E-12	-5.435284E-11	1.915106E-13	-2.016721E-11	5.660569E-15
X ² Y ³	-4.188774E-13	4.826497E-12	3.808642E-11	-5.874603E-12	-1.600920E-11	-1.079542E-14
Y ⁵	-3.154238E-13	-4.239647E-12	-9.502949E-13	9.213338E-13	7.113886E-12	-1.553415E-14
X ⁶	1.150997E-16	-5.978561E-15	1.819755E-13	1.113227E-15	-7.841517E-14	-1.105247E-16
X ⁴ Y ²	-1.278596E-15	-1.564797E-14	-9.716106E-14	4.491475E-15	2.513948E-14	-2.683146E-16
X ² Y ⁴	4.862795E-15	2.347370E-14	-8.086932E-14	-1.357215E-14	7.550314E-13	-1.006466E-16
Y ⁶	-2.281966E-15	6.013241E-15	-9.790347E-15	9.777397E-16	5.013963E-13	2.221551E-17
X ⁶ Y	1.931804E-18	-3.973144E-17	1.435292E-15	2.420914E-18	1.092143E-15	2.493748E-20
X ⁴ Y ³	1.873466E-17	-2.704307E-16	6.491544E-16	1.627727E-18	4.414328E-15	-3.302939E-21
X ² Y ⁵	-1.108422E-17	-6.723973E-16	1.496578E-17	-1.880319E-17	8.552963E-15	-3.287503E-20
Y ⁷	1.208226E-17	-3.735956E-17	5.421342E-17	-8.994976E-19	4.894980E-15	-1.747517E-20
X ⁸	-6.860939E-22	3.733020E-20	-1.370615E-17	-3.978807E-21	-1.975913E-18	-3.966972E-22
X ⁶ Y ²	-2.665919E-20	-1.577571E-19	1.832427E-17	-2.552872E-21	-2.066761E-17	-1.153602E-21
X ⁴ Y ⁴	-1.606232E-19	9.112068E-19	3.422045E-18	-4.011070E-20	-4.034354E-17	-9.786532E-22
X ² Y ⁶	-7.104780E-20	4.547933E-18	3.897160E-19	8.558317E-21	3.324806E-17	-2.054121E-22
Y ⁸	-2.837115E-20	3.557864E-20	-5.077104E-20	8.825661E-22	3.460507E-17	4.049399E-23
X ⁸ Y	1.837688E-23	1.087991E-21	-7.892883E-20	-4.154231E-23	3.418177E-20	2.593417E-25
X ⁶ Y ³	1.326930E-22	6.381757E-21	8.816591E-20	-7.838712E-23	-1.567137E-20	3.310704E-25
X ⁴ Y ⁵	5.956987E-22	3.566833E-22	3.431915E-21	-1.727422E-22	-2.315754E-19	1.062541E-25
X ² Y ⁷	4.749865E-22	-1.305899E-20	-1.115108E-21	2.927898E-23	0.000000E+00	5.083980E-27
Y ⁹	2.880675E-23	3.134161E-21	4.687247E-23	-2.354646E-24	0.000000E+00	-4.697062E-26
X ¹⁰	3.263322E-27	-1.350621E-25	7.223418E-23	3.596439E-27	0.000000E+00	-1.214434E-27
X ⁸ Y ²	-7.476461E-26	-8.102951E-24	-1.439645E-22	-6.842489E-26	0.000000E+00	-7.139344E-27
X ⁶ Y ⁴	-2.162180E-25	-1.982986E-23	1.317953E-22	-1.079450E-25	0.000000E+00	-8.881170E-27
X ⁴ Y ⁶	-8.415305E-25	-1.821358E-26	-5.971700E-24	-1.561940E-25	0.000000E+00	-3.378805E-27
X ² Y ⁸	-8.226853E-25	3.745838E-24	-3.016526E-24	3.289669E-26	0.000000E+00	1.400401E-27
Y ¹⁰	2.644302E-26	-1.118733E-23	5.389015E-25	-3.012754E-27	0.000000E+00	9.011434E-28
Nradius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y-decenter	-100.000	-84.186	100.000	19.008	11.570	24.216
X-rotation	-7.020	-1.728	-11.272	-5.323	-2.295	-1.825

Table 1B

- 34 -

For the mirrors in projection objective 300, the maximum deviation of the freeform surfaces from a best fit sphere for each mirror is as follows: 154 μm for mirror 310; 43 μm for mirror 320, 240 μm for mirror 330; 1,110 μm for mirror 340; 440 μm for mirror 350; and 712 μm for mirror 360. The maximum deviation of the freeform surfaces from a best fit rotationally symmetric asphere is 47 μm for mirror 310; 33 μm for mirror 320, 96 μm for mirror 330; 35 μm for mirror 340; 152 μm for mirror 350; and 180 μm for mirror 360.

The first and second principal curvature for mirror 310 are 9.51×10^{-4} and 9.30×10^{-4} respectively. Respective first and second principal curvatures for the other mirrors in projection objective 300 are as follows: 2.76×10^{-5} and 1.56×10^{-5} for mirror 320; -2.38×10^{-3} and -2.17×10^{-3} for mirror 330; 1.79×10^{-3} and 1.75×10^{-3} for mirror 340; -2.64×10^{-3} and -2.10×10^{-3} for mirror 350; and 1.93×10^{-3} and 1.91×10^{-3} for mirror 360. The sum of the first principal curvature for projection objective 300 is -3.19×10^{-4} . The sum of the second principal curvature is 3.29×10^{-4} . The sum of the first and second principal curvatures is 9.97×10^{-6} and the inverse sum of the first and second principal curvatures is 1.00×10^5 .

In certain embodiments, the arrangement of mirrors in projection objective 101 images radiation from object plane 103 to one or more intermediate-image planes. For example, projection objective 300 images radiation from object plane 103 to an intermediate image at a location 305 near mirror 360. Embodiments that have one or more intermediate images, also include two or more pupil planes. In some embodiments, at least one of these pupil planes is physically accessible for the purposes of placing an aperture stop substantially

- 35 -

at that pupil plane. An aperture stop is used to define the size of the projection objective's aperture.

Coma at an intermediate image in projection objective 101 can be relatively large. Coma can be quantified by the distance between the chief ray and the upper and lower rays at the point where the upper and lower rays cross. In some embodiments, this distance can be about 1 mm or more (e.g., about 2 mm or more, about 3 mm or more, about 4 mm or more, about 5 mm or more, about 6 mm or more, such as about 7 mm). Coma at an intermediate image in projection objective can be relatively small. In some embodiments, the distance can be about 1 mm or less (e.g., about 0.1 mm or less, 0.01 mm or less).

In general, mirrors in projection objective 101 are formed so that they reflect a substantial amount of radiation of wavelength λ normally-incident thereon or incident thereon over a certain range of incident angles. Mirrors can be formed, for example, so that they reflect about 50% or more (e.g., about 60% or more, about 70% or more, about 80% or more, about 90% or more, about 95% or more, 98% or more) of normally incident radiation at λ .

In some embodiments, the mirrors include a multilayer stack of films of different materials arranged to substantially reflect normally incident radiation at λ . Each film in the stack can have an optical thickness of about $\lambda/4$. Multilayer stacks can include about 20 or more (e.g., about 30 or more, about 40 or more, about 50 or more) films. In general, the materials used to form the multilayer stacks are selected based on operational wavelength λ . For example, multiple alternating films of molybdenum and silicon or molybdenum and beryllium can be used to form mirrors for reflecting radiation in the 10 nm to 30 nm range (e.g., for λ of about 13 nm or about 11

- 36 -

nm, respectively). Generally, multiple alternating films of molybdenum and silicon are preferred for $\lambda = 11$ nm and multiple alternating films of molybdenum and beryllium are preferred for $\lambda = 13$ nm.

In certain embodiments, the mirrors are made of quartz glass coated with a single layer of aluminum and overcoated with one or more layers of dielectric materials, such as layers formed from MgF_2 , LaF_2 , or, Al_2O_3 . Mirrors formed from aluminum with dielectric coatings can be used, for example, for radiation having a wavelength of about 193 nm.

In general, the percentage of radiation at λ reflected by a mirror varies as a function of the angle of incidence of the radiation on the mirror surface. Because imaged radiation propagates through a catoptric projection objective along a number of different paths, the angle of incidence of the radiation on each mirror can vary. This effect is illustrated with reference to FIG.4, which shows a portion of a mirror 400, in meridional section, that includes a concave reflective surface 401. Imaged radiation is incident on surface 401 along a number of different paths, including the paths shown by rays 410, 420, and 430. Rays 410, 420, and 430 are incident on portions of surface 401 where the surface normal is different. The direction of surface normal at these portions is shown by lines 411, 421, and 431, corresponding to rays 410, 420, and 430, respectively. Rays 410, 420, and 430 are incident on surface 401 at angles θ_{410} , θ_{420} , and θ_{430} , respectively. In general, angles θ_{410} , θ_{420} , and θ_{430} may vary.

For each mirror in projection objective 101, the incident angles of imaged radiation can be characterized in a variety of ways. One characterization is the maximum angle of incidence of meridional rays on each mirror in a meridional section of projection objective 101. Meridional rays refer to rays

- 37 -

lying in the meridional section. In general, θ_{\max} can vary for different mirrors in projection objective 101.

In some embodiments, the maximum value of θ_{\max} for all the mirrors in projection objective 101 is about 75° or less (e.g., about 70° or less, about 65° or less, about 60° or less, about 55° or less, about 50° or less, about 45° or less). θ_{\max} can be more than about 5° (e.g., about 10° or more, about 20° or more). In some embodiments, the maximum value of θ_{\max} can be relatively low. For example, the maximum value of θ_{\max} can be about 40° or less (e.g., about 35° or less, about 30° or less, about 25° or less, about 20° or less, about 15° or less, about 13° or less, about 10° or less).

As an example, in projection objective 300, θ_{\max} for mirror 310 is 8.22°, θ_{\max} for mirror 320 is 10.38°, θ_{\max} for mirror 330 is 22.35°, θ_{\max} for mirror 340 is 7.49°, θ_{\max} for mirror 350 is 24.58°, and θ_{\max} for mirror 360 is 6.15°.

In some embodiments, the ratio of the maximum value of θ_{\max} (in degrees) to image-side NA can be about 100 or less (e.g., about 80 or less, about 70 or less, 68 or less, about 60 or less, about 50 or less, about 40 or less, about 30 or less).

Another characterization is the angle of incidence of the chief ray corresponding to the central field point on each mirror in a meridional section of projection objective 101. This angle is referred to as θ_{CR} . In general, θ_{CR} can vary. For projection objective 300, for example, mirror 310 has θ_{CR} of 6.59°, mirror 320 has θ_{CR} of 7.93°, mirror 330 has θ_{CR} of 20.00°, mirror 340 has θ_{CR} of 7.13°, mirror 350 has θ_{CR} of 13.06°, and mirror 360 has θ_{CR} of 5.02°. In some embodiments the maximum value of θ_{CR} , $\theta_{\text{CR}(\max)}$, in projection objective 101 can be relatively low. For example, $\theta_{\text{CR}(\max)}$ can be

- 38 -

about 35° or less (e.g., about 30° or less, about 25° or less, about 20° or less, about 15° or less, about 13° or less, about 10° or less, about 8° or less, about 5° or less). For projection objective 300, $\theta_{CR(max)}$, which is θ_{CR} for mirror 330, is 20.00°.

In some embodiments, the ratio of the maximum value of $\theta_{CR(max)}$ (in degrees) to image-side NA can be about 100 or less (e.g., about 80 or less, about 70 or less, 68 or less, about 60 or less, about 50 or less, about 40 or less, about 30 or less).

Each mirror in projection objective 101 can also be characterized by the range of angles of incidence, $\Delta\theta$, of rays for a meridional section of projection objective 101. For each mirror, $\Delta\theta$ corresponds to the difference between θ_{max} and θ_{min} , where θ_{min} is the minimum angle of incidence of rays on each mirror in a meridional section of projection objective 101. In general, $\Delta\theta$ may vary for each mirror in projection objective 101. For some mirrors, $\Delta\theta$ can be relatively small. For example, $\Delta\theta$ can be about 20° or less (e.g., about 15° or less, about 12° or less, about 10° or less, about 8° or less, about 5° or less, about 3° or less, 2° or less). Alternatively, for some mirrors in projection objective 101, $\Delta\theta$ can be relatively large. For example, $\Delta\theta$ for some mirrors can be about 20° or more (e.g., about 25° or more, about 30° or more, about 35° or more, about 40° or more). For projection objective 300, $\Delta\theta_{max}$ for mirror 310 is 3.34°, $\Delta\theta_{max}$ for mirror 320 is 4.92°, $\Delta\theta_{max}$ for mirror 330 is 5.18°, $\Delta\theta_{max}$ for mirror 340 is 0.98°, $\Delta\theta_{max}$ for mirror 350 is 24.07°, and $\Delta\theta_{max}$ for mirror 360 is 2.77°.

In some embodiments, the maximum value for $\Delta\theta$, $\Delta\theta_{max}$, for all the mirrors in projection objective 101 can be relatively small. For example, $\Delta\theta_{max}$ can be about 25° or less (e.g., about 20° or less, about 15° or less, about 12° or less,

- 39 -

about 10° or less, about 9° or less, about 8° or less, about 7° or less, about 6° or less, about 5° or less, such as 3°). For projection objective 300, $\Delta\theta_{\max}$ is 24.07°.

Another way to characterize the radiation path in projection objective 101 is by the chief ray magnification at each mirror, which refers to the quotient of the tangent of the angle between the chief ray (e.g. in the meridional section) and reference axis 105 before and after reflection from each mirror. For example, referring to FIG. 5A where a chief ray 501 diverges from reference axis 105 prior to reflection from a mirror 510, and reflects from mirror 510 back towards reference axis 105, mirror 510 has a positive chief ray angle magnification. Referring to FIG. 5B, alternatively, where a chief ray 502 diverges from reference axis 105 both before and after reflection from a mirror 520, mirror 520 has a negative chief ray angle magnification. In both cases, the chief ray magnification is given by $\tan(\alpha)/\tan(\beta)$. In certain embodiments, having multiple mirrors with positive chief ray angle magnification can correspond to relatively large incident angles on one or more mirrors in the projection objective. Accordingly, projection objectives having only one mirror with positive chief ray angle magnification can also exhibit relatively low incident ray angles on the mirrors. For projection objective 300, mirrors 310, 320, 330 and 350 have negative chief ray angle magnifications, while mirror 340 has positive chief ray angle magnification.

The relative spacing of mirrors in projection objective 101 can vary depending on the specific design of the projection objective. Relatively large distances between adjacent mirrors (with respect to the path of the radiation) can correspond to relatively low incident ray angles on the mirrors. In certain embodiments, projection objective 101 can include at least one pair of adjacent mirrors that separated by more than 50% of the projection objective

- 40 -

tracklength. For example, in projection objective 300, mirrors 340 and 350 are separated by more than 50% of the projection objective's track length.

In certain embodiments, having a large relative distance, d_{op-1} , between the object plane and the first mirror in the radiation path compared to the distance, d_{op-2} , between the object plane and the second mirror in the radiation path can also correspond to relatively low incident ray angles on the mirrors. For example, embodiments where d_{op-1}/d_{op-2} is about 2 or more (e.g., about 2.5 or more, about 3 or more, about 3.5 or more, about 4 or more, about 4.5 or more, about 5 or more) can also have relatively low incident ray angles. In projection objective 300, d_{op-1}/d_{op-2} is 2.38.

In general, the footprint size and shape of the mirrors in projection objective 101 can vary. The footprint shape refers to the shape of the mirror projected onto the x - y plane. The footprint of the mirrors can be circular, oval, polygonal (e.g., rectangular, square, hexagonal), or irregular in shape. In embodiments, the footprint is symmetric with respect to the meridional plane of projection objective 101.

In certain embodiments, mirrors can have a footprint with a maximum dimension that is about 1,500 mm or less (e.g., about 1,400 mm or less, about 1,300 mm or less, about 1,200 mm or less, about 1,100 mm or less, about 1,000 mm or less, about 900 mm or less, about 800 mm or less, about 700 mm or less, about 600 mm or less, about 500 mm or less, about 400 mm or less, about 300 mm or less, about 200 mm or less, about 100 mm or less.) Mirrors may have footprint that has a maximum dimension that is more than about 10 mm (e.g., about 20 mm or more, about 50 mm or more).

An example of a mirror 600 with an oval footprint is shown in FIG. 6A. . Mirror 600 has a maximum dimension in the x -direction given by M_x . In

- 41 -

embodiments, M_x can be about 1,500 mm or less (e.g., about 1,400 mm or less, about 1,300 mm or less, about 1,200 mm or less, about 1,100 mm or less, about 1,000 mm or less, about 900 mm or less, about 800 mm or less, about 700 mm or less, about 600 mm or less, about 500 mm or less, about 400 mm or less, about 300 mm or less, about 200 mm or less, about 100 mm or less). M_x can be more than about 10 mm (e.g., about 20 mm or more, about 50 mm or more).

Mirror 600 is symmetric with respect to meridian 601. Mirror 600 has a dimension M_y along meridian 601. For mirror 600 M_y is smaller than M_x , however, more generally, M_y can be smaller, the same size, or larger than M_x . In some embodiments, M_y is in a range from about 0.1 M_x to about M_x (e.g., about 0.2 M_x or more, about 0.3 M_x or more, about 0.4 M_x or more, about 0.5 M_x or more, about 0.6 M_x or more, about 0.7 M_x or more about 0.8 M_x or more, about 0.9 M_x or more). Alternatively, in certain embodiments, M_y can be about 1.1 M_x or more (e.g., about 1.5 M_x or more), such as in a range from about 2 M_x to about 10 M_x . M_y can be about 1,000 mm or less (e.g., about 900 mm or less, about 800 mm or less, about 700 mm or less, about 600 mm or less, about 500 mm or less, about 400 mm or less, about 300 mm or less, about 200 mm or less, about 100 mm or less). M_y can be more than about 10 mm (e.g., about 20 mm or more, about 50 mm or more).

In projection objective 300, M_x and M_y for mirror 310 are 303 mm and 139 mm, respectively; M_x and M_y for mirror 320 are 187 mm and 105 mm, respectively; M_x and M_y for mirror 330 are 114 mm and 62 mm, respectively; M_x and M_y for mirror 340 are 299 mm and 118 mm, respectively; M_x and M_y for mirror 350 are 99 mm and 71 mm, respectively; and M_x and M_y for mirror 360 are 358 mm and 332 mm, respectively.

- 42 -

In some embodiments, the base of the mirrors may extend beyond the mirror surface (i.e., the portion of the mirror that reflects imaged radiation) in one or more directions. For example, a mirror's base can extend about 10 mm or more (e.g., about 20 mm or more, about 30 mm or more, about 40 mm or more, about 50 mm or more) beyond the optically active surface in the *x*- and/or *y*-directions. Mirror base extension can facilitate mounting the mirror in projection objective 101 by providing surfaces that are not optically active that can be attached to mounting apparatus.

Preferably, mirror base extensions should not be in a direction that occludes the radiation path in projection objective 101. The distance between the edge of a mirror and the radiation path as it passes the mirror is related to a parameter referred to as the "freeboard," which is the minimum distance between the rays closest to a mirror's edge and the rays nearest the mirror's edge that are reflected by the mirror. In some embodiments, projection objective 101 can include one or more mirrors with freeboards of about 20 mm or more (e.g., about 25 mm or more, about 30 mm or more, about 35 mm or more, about 40 mm or more, about 45 mm or more, about 50 mm or more). Large freeboards provide flexibility in mirror fabrication as the projection objective can accommodate an extended mirror base without occlusion of the imaged radiation. However, relatively small freeboards can correspond to low incident ray angles on the mirrors in the projection objective. In some embodiments, projection objective 101 can include one or more mirrors with freeboards of about 15 mm or less (e.g., about 12 mm or less, about 10 mm or less, about 8 mm or less, about 5 mm or less). In certain embodiments, projection objective 101 includes one or more mirrors having a freeboard between 5 mm and 25 mm. For example, in projection objective 300, mirrors 310, 320, 330, 350, and 360 have freeboards between 5 mm and 25 mm.

- 43 -

In general, the thickness of the mirrors in projection objective 101 may vary. Mirror thickness refers to the dimension of the mirror normal to its optical surface. Mirrors should generally have sufficient thickness to facilitate mounting within the projection objective. Referring to FIG. 6B, the thickness of mirror 600 can be characterized by a maximum thickness, T_{\max} , and a minimum thickness, T_{\min} . Typically, the difference between T_{\max} and T_{\min} will depend on the curvature of the mirror surface and the structure of the mirror's base. In some embodiments, T_{\max} is about 200 mm or less (e.g., about 150 mm or less, about 100 mm or less, about 80 mm or less, about 60 mm or less, about 50 mm or less, about 40 mm or less, about 30 mm or less, about 20 mm or less). In certain embodiments, T_{\min} is about 1 mm or more (e.g., about 2 mm or more, about 5 mm or more, about 10 mm or more, about 20 mm or more, about 50 mm or more, about 100 mm or more).

In some embodiments, the maximum dimension of any mirror in projection objective is about 1,500 mm or less (e.g., about 1,400 mm or less, about 1,300 mm or less, about 1,200 mm or less, about 1,100 mm or less, about 1,000 mm or less, about 900 mm or less, about 800 mm or less, about 700 mm or less, about 600 mm or less, about 500 mm or less, such as about 300 mm). In certain embodiments, the maximum dimension of any mirror in projection objective is about 10 mm or more (e.g., about 20 mm or more, about 30 mm or more, about 40 mm or more, about 50 mm or more, about 75 mm or more, about 100 mm or more).

In general, the shape of the field of projection objective 101 can vary. In some embodiments, the field has an arcuate shape, such as the shape of a segment of a ring. Referring to FIG. 7A, a ring-segment field 700 can be characterized by an x -dimension, d_x , a y -dimension, d_y , and a radial dimension, d_r . d_x and d_y correspond to the dimension of the field along the x -direction and y -direction, respectively. d_r corresponds to the ring radius, as measured from an axis 705

- 44 -

to the inner boundary of field 700. Ring-segment field 700 is symmetric with respect to a plane parallel to the y - z plane and indicated by line 710. In general, the sizes of d_x , d_y , and d_r vary depending on the design of projection objective 101. Typically d_y is smaller than d_x . The relative sizes of field dimensions d_x , d_y , and d_r at object plane 103 and image plane 102 vary depending on the magnification or demagnification of projection objective 101.

In some embodiments, d_x is relatively large at image plane 102. For example, d_x at image plane 102 can be more than 1 mm (e.g., about 3 mm or more, about 4 mm or more, about 5 mm or more, about 6 mm or more, about 7 mm or more, about 8 mm or more, about 9 mm or more, about 10 mm or more, about 11 mm or more, about 12 mm or more, about 13 mm or more, about 14 mm or more, about 15 mm or more, about 18 mm or more, about 20 mm or more, about 25 mm or more). d_x can be about 100 mm or less (e.g., about 50 mm or less, about 30 mm or less). d_y at image plane 102 can be in a range from about 0.5 mm to about 5 mm (e.g., about 1 mm, about 2 mm, about 3 mm, about 4 mm).

Typically, d_r at image plane 102 is about 10 mm or more. d_r can be, for example, about 15 mm or more (e.g., about 20 mm or more, about 25 mm or more, about 30 mm or more) at image plane 102. In some embodiments, d_r can be extremely large (e.g., about 1 m or more, about 5 m or more, about 10 m or more). In certain embodiments, the field is rectangular in shape and d_r is infinite. Projection objective 300, for example, has a rectangular field. Specifically, projection objective 300 has a rectangular field with a y -dimension of 2 mm and an x -dimension of 26 mm, measured in the image plane.

- 45 -

More generally, for other field shapes, projection objective 101 can have a maximum field dimension of more than 1 mm (e.g., about 3 mm or more, about 4 mm or more, about 5 mm or more, about 6 mm or more, about 7 mm or more, about 8 mm or more, about 9 mm or more, about 10 mm or more, about 11 mm or more, about 12 mm or more, about 13 mm or more, about 14 mm or more, about 15 mm or more, about 18 mm or more, about 20 mm or more, about 25 mm or more) at image plane 102. In certain embodiments, projection objective has a maximum field dimension of no more than about 100 mm (e.g., about 50 mm or less, about 30 mm or less).

In some embodiments, the image field shape can correspond (e.g., in one or more dimensions) to the shape of die sites on a wafer that is exposed using projection objective 101. For example, the image field can be shaped to reduce overscan when exposing the wafer. Overscan refers to the need to scan the image field beyond the edge of a die site to expose the entire site. Generally, this occurs where the shape of the image field does not conform to the shape of die site.

Overscan can be characterized by the ratio (e.g., expressed as a percentage) of the maximum distance between the leading edge of the image field and the trailing edge of the die site at the position where the corners at the trailing edge of the die site are exposed. Referring to FIG. 7B, overscan corresponds to the ratio of d_{os} to d_y , where d_{os} is the distance between the leading edge of image field 700 and the trailing edge of die sites 720 at the position where corners 721 and 722 are exposed. In certain embodiments, projection objective can have relatively low overscan. For example, projection objective can have an overscan of about 5% or less (e.g., about 4% or less, about 3% or less, about 2% or less, about 1% or less, about 0.5% or less, 0.1% or less).

- 46 -

In certain embodiments, projection objective 101 can be used with zero overscan. For example, referring to FIG. 7C, in embodiments where an image field 730 is used to expose square die sites 740, scanning can be achieved with zero overscan.

Referring to FIG. 8, in general, projection objective 101 introduces an object-image shift, d_{ois} , that varies depending on the specific design of the projection objective. The object-image shift refers to the distance of a point in the image field from the corresponding point in the object field, as measured in the x - y plane. For projection objectives that have an optical axis (a common axis of rotational symmetry for each mirror in the projection objective) the object-image shift can be calculated using the formula:

$$d_{ois} = h_o(1 - M)$$

where h_o refers to the distance in the x - y plane of the central field point in the object field from the optical axis and M is the projection objective magnification ratio. For example, for a projection objective have a demagnification of 4X (i.e., $M = 0.25$) and where the central field point is 120 mm from the optical axis, d_{ois} is 90 mm.

In some embodiments, projection objective 101 can have a relatively small object-image shift. For example, projection objective has zero object-image shift. Projection objectives having relatively small object image shifts can be have a relatively slim optical design. Furthermore, in embodiments that have zero object-image shift, projection objective 101 can be rotated about the axis intersecting the central field points in the object and image fields without the central field point translating with respect to, e.g., stage 130. This can be advantageous where, for example, metrology tools (e.g., detection optical systems, such as those disclosed in U.S. 6,240,158 B1) for inspecting and

- 47 -

aligning wafers with respect to projection objective 101 are placed at a nominal position of the central field point because the central field point is not translated with respect to this position when the projection objective rotates. Accordingly, zero object-image shift can facilitate easier metrology and testing of projective objective 101 where the projection objective is subject to rotations during the course of operation. This is illustrated in Fig. 8 showing a testing or metrology tool 150a located with its detection surface, e.g. a two-dimensional CCD array, within the image plane 150. The testing and metrology tool 150a is arranged such that a reference axis coinciding with axis 105 intersects a central point of the detection surface. The lateral extension of the detection surface of the testing and metrology tool 150a is larger than the object-image shift d_{ois} . Due to the small object-image shift d_{ois} , the metrology and testing tool 150a is able to measure the projection quality of projection objective 101 irrespective of a rotation of the projection objective 101 around the reference axis 105.

In some embodiments, projection objective 101 has a d_{ois} of about 80 mm or less (e.g., about 60 mm or less, about 50 mm or less, about 40 mm or less, about 30 mm or less, about 20 mm or less, about 15 mm or less, about 12 mm or less, about 10 mm or less, about 8 mm or less, about 5 mm or less, about 4 mm or less, about 3 mm or less, about 2 mm or less, about 1 mm or less). Projection objective 300, for example, has a d_{ois} of 57 mm.

Embodiments of projection objective 101 can have a relatively large image-side free working distance. The image-side free working distance refers to the shortest distance between image plane 102 and the mirror surface of the mirror closest to image plane 102 that reflects imaged radiation. This definition of a free working distance differs from that in conventional optical systems having rotationally symmetric surfaces where the free working distance is always measured in the optical axis. The free working distance

- 48 -

with respect to the definition according to the present application is illustrated in FIG 9, which shows a mirror 810 as the closest mirror to image plane 102. Radiation reflects from surface 811 of mirror 810. The image-side free working distance is denoted d_w . In some embodiments, d_w is about 25 mm or more (e.g., about 30 mm or more, about 35 mm or more, about 40 mm or more, about 45 mm or more, about 50 mm or more about 55 mm or more, about 60 mm or more, about 65 mm or more). In certain embodiments, d_w is about 200 mm or less (e.g., about 150 mm or less, about 100 mm or less, about 50 mm or less). Projection objective 300, for example, has an image-side free working distance of approximately 45 mm. A relatively large working distance may be desirable because it can allow the surface of substrate 150 to be positioned at image plane 102 without contacting the side of mirror 810 facing image plane 102.

Analogously, the object-side free working distance refers to the shortest distance between object plane 103 and the mirror surface of the reflective side of the mirror in projection objective 101 closest to object plane 103 that reflects imaged radiation. In some embodiments, projection objective 101 has a relatively large object-side free working distance. For example, projection objective 101 can have an object-side free working distance of about 50 mm or more (e.g., about 100 mm or more, about 150 mm or more, about 200 mm or more, about 250 mm or more, about 300 mm or more, about 350 mm or more, about 400 mm or more, about 450 mm or more, about 500 mm or more, about 550 mm or more, about 600 mm or more, about 650 mm or more, about 700 mm or more, about 750 mm or more, about 800 mm or more, about 850 mm or more, about 900 mm or more, about 950 mm or more, about 1,000 mm or more). In certain embodiments, the object-side free working distance is no more than about 2,000 mm (e.g., about 1,500 mm or less, about 1,200 mm or less, about 1,000 mm or less). Projection objective 300, for example, has an object-side free working distance of approximately 300 mm. A relatively large

- 49 -

object-side free working distance may be advantageous in embodiments where access to the space between projection objective 101 and object plane 103 is desired. For example, in embodiments where reticle 140 is a reflective reticle, it is necessary to illuminate the reticle from the side that faces objective 101. Therefore, there should be sufficient space between projection objective 101 and object plane 103 to allow the reticle to be illuminated by illumination system 120 at a desired illumination angle. Furthermore, in general, a larger object-side free working distance allows flexibility in design of the rest of tool, for example, by providing sufficient space to mount other components (e.g. an uniformity filter) between projection objective 101 and the support structure for reticle 140.

In general, projection objective 101 can be designed so that chief rays either converge, diverge, or are substantially parallel to each other at reticle 140. Correspondingly, the location of the entrance pupil of projection objective 101 with respect to object plane 103 can vary. For example, where chief rays converge at reticle 140, the entrance pupil is located on the image plane side of object plane 103. Conversely, where the chief rays diverge at reticle 140, object plane 103 is located between the entrance pupil and image plane 102. Furthermore, the distance between object plane 103 and the entrance pupil can vary. In some embodiments, the entrance pupil is located about 1 m or more (e.g., about 2 m or more, about 3 m or more, about 4 m or more, about 5 m or more, about 8 m or more, about 10 m or more) from object plane 103 (measured along an axis perpendicular to object plane 103). In some embodiments, the entrance pupil is located at infinity with respect to object plane 103. This corresponds to where the chief rays are parallel to each other at reticle 140. For projection objective 300, the incident angle of the chief ray at the central field point at object plane 103 is 7° and the maximum variation of the chief ray angle from the central field point chief ray is 0.82° . The

- 50 -

entrance pupil is located 1,000 mm from object plane 103 on the opposite side of object plane 103 from image plane 102.

Illumination system 120 may be arranged so that the exit pupil of the illumination system is positioned substantially at the entrance pupil of projection objective 101. In certain embodiments, illumination system 120 includes a telescope subsystem which projects the illumination system's exit pupil to the location of the entrance pupil of projection objective 101. However, in some embodiments, the exit pupil of illumination system 120 is positioned at the entrance pupil of projection objective 101 without using a telescope in the illumination system. For example, when the object plane 103 is between projection objective 101 and the entrance pupil of the projection objective, the exit pupil of illumination system 120 may coincide with the projection objective's entrance pupil without using a telescope in the illumination system.

In general, projection objective 101 can be designed using commercially available optical design software like ZEMAX, OSLO, or Code V. Typically, a design is started by specifying an initial projection objective design (e.g., arrangement of mirrors) along with parameters such as the radiation wavelength, field size and numerical aperture, for example. The code then optimizes the design for specified optical performance criteria, such as, for example, wavefront error, distortion, telecentricity, and field curvature.

In certain embodiments, the initial projection objective is designated by rotationally symmetric mirrors (e.g., spherical or aspherical mirrors) that are centered on an optical axis. Each mirror is then decentered from the optical axis to a position where the mirror satisfies some pre-established criterion. For example, each mirror can be decentered from the optical axis by an amount which minimizes the chief ray angle of incidence across the mirror for

- 51 -

particular field. In embodiments, mirrors can be decentered by about 5 mm or more (e.g., about 10 mm or more, about 20 mm or more, about 30 mm or more, about 50 mm or more). In certain embodiments, mirrors are decentered by about 200 mm or less (e.g., about 180 mm or less, about 150 mm or less, about 120 mm or less, about 100 mm or less).

Alternatively, or additionally, each mirror can be tilted to a position where the mirror satisfies some pre-established criterion. The tilt refers to the orientation of each mirror's symmetry axis with respect to the optical axis of the initial configuration of the projection objective. Mirrors can be tilted by about 1° or more (e.g., about 2° or more, about 3° or more, about 4° or more, about 5° or more). In some embodiments, mirrors are tilted by about 20° or less (e.g., about 15° or less, about 12° or less, about 10° or less).

After decentering and/or tilting, a freeform shape for each mirror can be determined to optimize the projection objective design for specified optical performance criteria.

In addition to mirrors, projection objective 101 can include one or more other components, such as one or more aperture stops. In general, the shape of the aperture stop can vary. Examples of aperture stops include circular aperture stops, elliptical aperture stops, and/or polygonal aperture stops. Aperture stops can also be positioned so that the image radiation makes a double pass or a single pass through the aperture stop. Aperture stops can be interchanged in projection objective 101 and/or may have an adjustable aperture.

In some embodiments, projection objective 101 includes a field stop. For example, in embodiments where projection objective includes an intermediate image, the field stop can be positioned at or near the intermediate image.

- 52 -

Embodiments can include baffles (e.g., to shield the wafer from stray radiation). In some embodiments, projection objective 101 can include components (e.g., interferometers) for monitoring changes in the position of mirrors within the projection objective. This information can be used to adjust the mirrors to correct for any relative movement between the mirrors. Mirror adjustment can be automated. Examples of systems for monitoring/adjusting mirror position are disclosed in U.S. 6,549,270 B1.

Referring to FIG. 10, an embodiment of a projection objective 1000 includes six mirrors 1010, 1020, 1030, 1040, 1050, and 1060, and has an image-side numerical aperture of 0.35 and an operating wavelength of 13.5 nm. Mirrors 1010, 1020, 1030, 1040, 1050, and 1060 are all freeform mirrors. Projection objective 1000 images radiation from object plane 103 to image plane 102 with a demagnification ratio of 4X. The tracklength of projection objective 1000 is 1497 mm and the optical path length of imaged radiation is 4760 mm. Accordingly, the ratio of the optical path length to tracklength is approximately 3.18.

The entrance pupil of projection objective 1000 is located 1,000 mm from object plane 103 with object plane positioned between the entrance pupil and the mirrors. Due to the reflective reticle positioned at object plane 103, illumination optics can be positioned at location 1070, corresponding to the entrance pupil. The chief ray angle of the central field point at object plane 103 is 7°. The maximum variation of chief ray angles at object plane 103 is 0.82°.

Projection objective 1000 has a rectangular field. The image-side field width, d_x , is 26 mm. The image-side field length, d_y , is 2 mm. Projection objective 1000 has an object-image shift of 13 mm.

- 53 -

The performance of projection objective 1000 includes an image-side W_{rms} of 0.021λ . Distortion is less than 10 nm, and image-side field curvature is 19 nm. Projection objective 1000 provides an intermediate image between mirrors 1040 and 1050. Coma at the intermediate image is relatively large. In particular, the distance between the chief ray and the upper and lower rays at the location where the upper and lower rays cross is 7 mm.

The optical power of the mirrors in the order of the radiation path from object plane 103 to image plane 102 is as follows: mirror 1010 has positive optical power; mirror 1020 has negative optical power; mirror 1030 has positive optical power; mirror 1040 has positive optical power; mirror 1050 has negative optical power; and mirror 1060 has positive optical power.

The dimension of the footprint of each mirror, given as $M_x \times M_y$, is as follows: 323 mm x 152 mm for mirror 1010; 107 mm x 59 mm for mirror 1020; 297 mm x 261 mm for mirror 1030; 277 mm x 194 mm for mirror 1040; 99 mm x 72 mm for mirror 1050; and 268 mm x 243 mm for mirror 1060.

The maximum deviation of mirror 1010 from a best fit sphere is 475 μm . Maximum deviation from best fit spheres of mirrors 1020, 1030, 1040, 1050, and 1060 are 1,234 μm , 995 μm , 1,414 μm , 170 μm , and 416 μm , respectively. The maximum deviation of each mirror from a best fit asphere is 236 μm , 102 μm , 102 μm , 148 μm , 54 μm , and 372 μm for mirrors 1010, 1020, 1030, 1040, 1050, and 1060, respectively.

The first and second principal curvature for mirror 1010 are 1.16×10^{-3} and 1.05×10^{-3} respectively. Respective first and second principal curvatures for the other mirrors in projection objective 1000 are as follows: -3.02×10^{-3} and -1.13×10^{-3} for mirror 1020; 5.97×10^{-4} and 4.96×10^{-4} for mirror 1030; $5.50 \times$

- 54 -

10^{-4} and 3.63×10^{-4} for mirror 1040; -2.24×10^{-3} and -2.04×10^{-3} for mirror 1050; and 2.57×10^{-3} and 2.48×10^{-3} for mirror 1060. The sum of the first principal curvature for projection objective 1000 is -3.78×10^{-4} . The sum of the second principal curvature is 1.22×10^{-3} . The sum of the first and second principal curvatures is 8.45×10^{-4} and the inverse sum of the first and second principal curvatures is 1.18×10^3 .

The chief ray angle of incidence for the central field point is 3.40° , 9.86° , 6.48° , 10.13° , 13.66° , and 7.00° for mirrors 1010, 1020, 1030, 1040, 1050, and 1060, respectively. The maximum angle of incidence, θ_{\max} , on each mirror for the meridional section is 3.94° , 10.42° , 7.45° , 14.34° , 24.28° , and 8.61° for mirrors 1010, 1020, 1030, 1040, 1050, and 1060, respectively. $\Delta\theta$ for mirrors 1010, 1020, 1030, 1040, 1050, and 1060 are 1.13° , 2.74° , 3.42° , 9.96° , 23.69° , and 3.95° , respectively.

Mirrors 1010, 1020, 1030, 1050, and 1060 have freeboards that are more than 5 mm and less than 25 mm. Mirror 1030 has positive chief ray angle magnification while mirrors 1040 and 1050 have negative chief ray angle magnification.

The image-side free working distance of projection objective 1000 is 45 mm. The object-side free working distance is 252 mm.

In projection objective 1000, $d_{\text{op-1}}/d_{\text{op-2}}$ is 3.14. Furthermore, adjacent mirror pairs 1020 and 1030, 1030 and 1040, and 1040 and 1050 are separated by more than 50% of the projection objective's tracklength. Further, the distance between mirror 1010 and object plane 103 is more than 50% of the projection objective's tracklength.

- 55 -

Data for projection objective 1000 is presented in Table 2A and Table 2B below. The parameters and units for the parameters for Table 2A and 2B and subsequent tables are the same as the corresponding parameters and units presented in Table 1A and 1B above. Table 2A presents optical data, while Table 2B presents freeform constants for each of the mirror surfaces. For the purposes of Table 2A and Table 2B, the mirror designations correlate as follows: mirror 1 (M1) corresponds to mirror 1010; mirror 2 (M2) corresponds to mirror 1020; mirror 3 (M3) corresponds to mirror 1030; mirror 4 (M4) corresponds to mirror 1040; mirror 5 (M5) corresponds to mirror 1050; and mirror 6 (M6) corresponds to mirror 1060.

- 56 -

Surface	Radius (mm)	Thickness (mm)	Mode
Object	INFINITY	788.884	
Mirror 1	-651.356	-537.372	REFL
Mirror 2	-463.216	952.014	REFL
Mirror 3	-1710.243	-783.854	REFL
Mirror 4	1821.345	1032.444	REFL
Mirror 5	309.420	-306.504	REFL
Mirror 6	405.847	351.549	REFL
Image	INFINITY	0.000	

Table 2A

- 57 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-5.925412E-01	1.525505E+00	-1.851822E+00	3.314097E+00	1.963829E+00	2.009323E-01
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ²	2.471303E-04	6.505963E-04	7.593410E-05	2.922157E-05	-4.716078E-04	1.426720E-05
Y ²	1.863347E-04	6.677442E-05	-2.868206E-05	-7.428048E-05	-3.446472E-04	5.312976E-05
X ² Y	-3.545294E-08	-2.891983E-06	1.048420E-07	9.891278E-08	2.877558E-06	-2.714955E-08
Y ³	-1.873281E-08	-3.078489E-06	-7.296056E-07	-3.920160E-08	1.288669E-06	-9.898583E-09
X ⁴	1.180642E-11	3.342373E-10	-3.287877E-11	-8.971583E-11	3.862440E-10	-8.982825E-11
X ² Y ²	3.437144E-11	5.937123E-09	-2.687658E-11	-7.769409E-11	1.693138E-08	2.462964E-11
Y ⁴	9.863178E-11	-2.340521E-08	-1.605207E-10	-1.806038E-10	-2.208217E-09	-3.099379E-11
X ⁴ Y	-4.051355E-14	1.381955E-13	-2.895532E-14	5.170900E-14	4.797213E-11	-4.214964E-14
X ² Y ³	-2.144219E-13	-2.531232E-10	-1.637831E-13	2.916068E-13	1.961281E-10	-3.785260E-14
Y ⁵	-2.415401E-14	1.279499E-10	-7.226386E-14	1.273503E-13	2.976407E-11	4.394992E-14
X ⁶	-2.920211E-17	1.949737E-14	-1.774795E-17	-2.785422E-16	8.466233E-14	-5.281246E-16
X ⁴ Y ²	7.135583E-17	-6.187267E-13	-2.447653E-16	-1.867205E-16	3.921385E-13	-5.767253E-16
X ² Y ⁴	5.606882E-16	4.378172E-13	-4.812153E-16	4.588123E-16	7.309790E-13	-7.534000E-17
Y ⁶	-7.879310E-16	-6.710705E-13	6.992795E-19	3.331795E-16	-3.185164E-13	-9.186437E-17
X ⁶ Y	2.435160E-20	-3.445743E-16	-3.254844E-19	-4.053237E-18	1.681642E-15	-7.144774E-20
X ⁴ Y ³	-1.325499E-18	2.205904E-15	-4.637731E-19	-1.132243E-18	6.530207E-15	-1.155827E-19
X ² Y ⁵	2.538976E-18	7.780251E-15	-5.473994E-19	9.042940E-19	5.583512E-15	1.826925E-19
Y ⁷	6.001333E-18	7.757557E-15	-8.424804E-21	7.805993E-20	-2.390583E-15	3.562442E-19
X ⁸	-2.140710E-22	-1.536511E-18	-5.293518E-23	-7.757919E-22	1.098261E-18	-2.871286E-21
X ⁶ Y ²	-2.383343E-21	-3.017606E-17	-2.564847E-21	-2.918509E-20	-1.382527E-17	-5.946767E-21
X ⁴ Y ⁴	4.328735E-21	-3.407893E-17	-3.923348E-22	-6.995732E-21	2.738740E-17	-2.968388E-21
X ² Y ⁶	-4.831336E-20	-1.206126E-16	-1.673186E-22	5.920827E-22	4.911090E-17	8.147751E-22
Y ⁸	-3.800647E-20	-6.246834E-17	-5.575611E-23	-7.691743E-22	-4.049646E-18	-1.438562E-21
X ⁸ Y	2.973276E-24	6.697817E-20	-9.383994E-25	-1.349984E-23	8.777395E-22	-9.763800E-25
X ⁶ Y ³	1.179538E-23	5.201215E-19	-6.639018E-24	-8.645373E-23	-3.199889E-19	-4.878981E-24
X ⁴ Y ⁵	-1.203834E-23	-4.705218E-20	-1.462557E-25	-1.508808E-23	8.645921E-20	-3.908340E-24
X ² Y ⁷	2.304206E-22	1.208243E-19	2.562699E-25	1.368282E-24	4.649092E-19	2.276452E-24
Y ⁹	1.418250E-22	-1.077428E-19	7.645118E-27	-3.895996E-25	1.402632E-20	5.582547E-24
X ¹⁰	4.021654E-28	2.141815E-23	-3.668876E-27	-1.991462E-26	1.059359E-22	-2.694594E-26
X ⁸ Y ²	-1.314266E-26	-8.696134E-22	-1.671744E-27	-3.158518E-26	-2.330392E-22	-7.617267E-26
X ⁶ Y ⁴	-7.356431E-27	-3.656759E-21	-5.748164E-27	-9.269087E-26	-2.103517E-21	-6.065950E-26
X ⁴ Y ⁶	1.059736E-26	3.564328E-22	-1.527905E-28	-1.292503E-26	-3.644105E-22	1.700246E-26
X ² Y ⁸	-3.817918E-25	2.574506E-21	1.902672E-28	1.728267E-27	1.530993E-21	1.267011E-26
Y ¹⁰	-2.256936E-25	1.804566E-21	1.126083E-29	-2.712119E-28	-1.135939E-22	-1.049025E-26
Nradius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y-decenter	-141.222	-91.036	45.162	-4.535	-0.554	-8.496
X-rotation	-9.184	-15.081	1.443	-3.391	-6.975	-1.780

Table 2B

- 58 -

Referring to FIG. 11, an embodiment of a projection objective 1000 includes six mirrors 1110, 1120, 1130, 1140, 1150, and 1160, and has an image-side numerical aperture of 0.35 and an operating wavelength of 13.5 nm. Mirrors 1110, 1120, 1130, 1140, 1150, and 1160 are all freeform mirrors. Projection objective 1100 images radiation from object plane 103 to image plane 102 with a demagnification ratio of 4X. The tracklength of projection objective 1100 is 2000 mm and the optical path length of imaged radiation is 5337 mm. Accordingly, the ratio of the optical path length to tracklength is approximately 2.67. Projection objective 1100 has an aperture stop 1106 positioned at mirror 1120.

The entrance pupil of projection objective 1100 is located at infinity. The chief ray angle of the central field point at object plane 103 is 7°. The maximum variation of chief ray angles at object plane 103 is less than 0.06°.

Projection objective 1100 has a rectangular field. The image-side field width, d_x , is 26 mm. The image-side field length, d_y , is 2 mm. Projection objective 1100 has an object-image shift of 31 mm.

The performance of projection objective 1100 includes an image-side W_{rms} of 0.025λ . Image-side field curvature is 10 nm. Projection objective 1100 provides an intermediate image between mirrors 1140 and 1150.

The optical power of the mirrors in the order of the radiation path from object plane 103 to image plane 102 is as follows: mirror 1110 has positive optical power; mirror 1120 has positive optical power; mirror 1130 has negative optical power; mirror 1140 has positive optical power; mirror 1150 has negative optical power; and mirror 1160 has positive optical power.

- 59 -

The dimension of the footprint of each mirror, given as $M_x \times M_y$, is as follows: 291 mm x 195 mm for mirror 1110; 159 mm x 152 mm for mirror 1120; 157 mm x 53 mm for mirror 1130; 295 mm x 66 mm for mirror 1140; 105 mm x 86 mm for mirror 1150; and 345 mm x 318 mm for mirror 1160.

The chief ray angle of incidence for the central field point is 4.38° , 4.03° , 18.37° , 7.74° , 12.64° , and 5.17° for mirrors 1110, 1120, 1130, 1140, 1150, and 1160, respectively. The maximum angle of incidence, θ_{\max} , on each mirror for the meridional section is 6.48° , 6.44° , 20.05° , 9.12° , 21.76° , and 7.22° for mirrors 1110, 1120, 1130, 1140, 1150, and 1160, respectively. $\Delta\theta$ for mirrors 1110, 1120, 1130, 1140, 1150, and 1160 are 4.27° , 4.92° , 4.09° , 3.12° , 19.37° , and 4.61° , respectively.

Mirrors 1110, 1150, and 1160 have freeboards that are more than 5 mm and less than 25 mm. Mirror 1140 has positive chief ray angle magnification while mirrors 1110, 1120, 1130, and 1150 have negative chief ray angle magnification.

The image-side free working distance of projection objective 1100 is 25 mm. The object-side free working distance is 163 mm.

In projection objective 1100, d_{op-1}/d_{op-2} is 6.57. Furthermore, adjacent mirror pair 1040 and 1050 are separated by more than 50% of the projection objective's tracklength. Further, the distance between mirror 1110 and object plane 103 is more than 50% of the projection objective's tracklength.

Data for projection objective 1100 is presented in Table 3A and Table 3B below. Table 3A presents optical data, while Table 3B presents aspherical constants for each of the mirror surfaces. For the purposes of Table 3A and Table 3B, the mirror designations correlate as follows: mirror 1 (M1) corresponds to

- 60 -

mirror 1110; mirror 2 (M2) corresponds to mirror 1120; mirror 3 (M3) corresponds to mirror 1130; mirror 4 (M4) corresponds to mirror 1140; mirror 5 (M5) corresponds to mirror 1150; and mirror 6 (M6) corresponds to mirror 1160.

Surface	Radius (mm)	Thickness (mm)	Mode
Object	INFINITY	1070.002	
Mirror 1	-2069.710	-907.121	REFL
Mirror 2	1710.596	0.000	REFL
STOP	INFINITY	907.500	
Mirror 3	414.111	-319.107	REFL
Mirror 4	618.022	1223.709	REFL
Mirror 5	406.139	-436.552	REFL
Mirror 6	522.609	461.570	REFL
Image	INFINITY	0.000	

Table 3A

- 61 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-2.012543E+00	-7.790981E+00	-9.061196E-01	-4.714699E-01	5.253415E+00	1.051556E-01
Y	-1.801229E-01	-2.676895E-01	6.249715E-03	2.914352E-02	3.699848E-02	6.762162E-04
X ²	-3.718177E-05	-1.568640E-04	-4.213586E-04	-1.680785E-04	-6.132874E-05	2.479745E-06
Y ²	-5.757281E-05	-1.359112E-04	-3.015850E-04	-9.908817E-05	-6.383717E-05	1.909227E-06
X ² Y	-3.283304E-08	-1.421641E-07	-4.802304E-08	-4.234719E-08	5.460366E-07	-5.398408E-09
Y ³	-7.289267E-08	-9.447144E-08	3.714670E-07	1.405667E-07	2.644773E-08	-4.741511E-09
X ⁴	-3.792148E-11	2.173390E-10	-8.723035E-10	-2.377992E-11	1.030821E-09	-1.926536E-11
X ³ Y ²	-1.087876E-10	5.689855E-10	-5.959943E-10	-4.401654E-10	2.045233E-09	-4.586698E-11
Y ⁴	-1.237594E-10	2.990476E-10	8.549602E-10	-4.022663E-11	5.551510E-11	-2.632066E-11
X ⁴ Y	-3.587007E-14	-1.028868E-12	-8.033093E-12	1.716353E-13	5.551826E-12	-2.577816E-14
X ³ Y ³	8.925822E-14	4.492952E-13	-1.186636E-12	-7.545064E-13	-4.309344E-12	-1.775797E-14
Y ⁵	-7.423435E-14	5.791519E-13	8.705928E-14	-2.700779E-13	-7.302230E-12	-9.309635E-15
X ⁶	1.876383E-17	2.916278E-16	-2.307341E-14	-1.670466E-15	8.878140E-15	-3.351380E-17
X ⁴ Y ²	-3.009967E-16	-3.620666E-16	-2.232847E-14	1.589023E-15	4.483758E-14	-1.408427E-16
X ² Y ⁴	1.992400E-16	3.916129E-16	1.756497E-15	3.477633E-16	1.478648E-13	-1.372823E-16
Y ⁶	8.315953E-18	-6.580116E-16	8.232062E-16	1.253553E-16	3.691569E-14	-3.799352E-17
X ⁶ Y	-2.621825E-20	-1.237101E-17	-3.125465E-16	-7.682746E-18	3.293829E-16	-1.214309E-19
X ⁴ Y ³	-1.344388E-18	3.730815E-17	1.376670E-16	5.918289E-18	8.409538E-16	5.369262E-20
X ³ Y ⁵	-6.157858E-19	3.202677E-17	4.387074E-19	2.707480E-18	4.875870E-16	-1.363873E-20
Y ⁷	2.770009E-20	8.487049E-18	2.518948E-18	1.820744E-19	1.274511E-16	2.776746E-21
X ⁸	2.265356E-23	-1.881878E-20	6.916970E-19	3.815768E-20	-1.030207E-19	-2.085793E-23
X ⁶ Y ²	-1.848041E-22	-1.667898E-19	-1.070800E-18	1.947584E-20	-6.071205E-19	-1.191227E-22
X ⁵ Y ⁴	-1.617091E-21	-4.471313E-20	-2.039154E-19	-1.469302E-21	8.581801E-18	-2.848570E-22
X ² Y ⁶	-1.152811E-21	-1.417078E-19	-4.885470E-20	8.329380E-22	2.867618E-18	8.073429E-24
Y ⁸	5.021474E-23	-1.270497E-20	-2.834042E-20	-1.011971E-21	1.813992E-18	-6.757839E-23
X ⁸ Y	0.000000E+00	0.000000E+00	7.973679E-21	2.492982E-22	0.000000E+00	-2.465296E-25
X ⁶ Y ³	0.000000E+00	0.000000E+00	7.629111E-22	1.401277E-22	0.000000E+00	2.930653E-25
X ⁴ Y ⁵	0.000000E+00	0.000000E+00	-7.196032E-21	-4.219890E-23	0.000000E+00	1.194933E-25
X ² Y ⁷	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.090375E-22	-3.791571E-24	0.000000E+00	5.412579E-25
Y ⁹	0.000000E+00	0.000000E+00	-5.080252E-23	1.076602E-24	0.000000E+00	3.891280E-26
X ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	-6.129418E-25	-1.289913E-27	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	2.295090E-23	4.078311E-25	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	5.951785E-24	1.728297E-25	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁴ Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.732732E-23	-5.280557E-26	0.000000E+00	0.000000E+00
X ² Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.410994E-27	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	3.484416E-27	0.000000E+00	0.000000E+00
Nradius	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00	1.000000E+00
Y-decenter	194.936	-49.734	36.609	9.442	30.019	40.956
X-rotation	-5.944	-17.277	-5.569	-0.579	0.301	-0.924

Table 3B

- 62 -

Referring to FIG. 12, an embodiment of a projection objective 1200 includes six mirrors 1210, 1220, 1230, 1240, 1250, and 1260, and has an image-side numerical aperture of 0.35 and an operating wavelength of 13.5 nm. Mirrors 1210, 1220, 1230, 1240, 1250, and 1260 are all freeform mirrors. Projection objective 1200 images radiation from object plane 103 to image plane 102 with a demagnification ratio of 4X. A reference axis 1205, orthogonal to object plane 103 and image plane 102 intersects corresponding field points in the object and image fields. The tracklength of projection objective 1200 is 1385 mm and the optical path length of imaged radiation is 4162 mm. Accordingly, the ratio of the optical path length to tracklength is approximately 3.01. Projection objective 1200 has an aperture stop positioned at mirror 1220.

The entrance pupil of projection objective 1200 is at infinity with object plane positioned between the entrance pupil and the mirrors. The chief ray angle of the central field point at object plane 103 is 7°. The maximum variation of chief ray angles at object plane 103 is less than 0.06°.

Projection objective 1200 has a rectangular field. The image-side field width, d_x , is 26 mm. The image-side field length, d_y , is 2 mm. Projection objective 1200 has zero object-image shift.

Projection objective 1200 provides an intermediate image between mirrors 1240 and 1250.

The optical power of the mirrors in the order of the radiation path from object plane 103 to image plane 102 is as follows: mirror 1210 has positive optical power; mirror 1220 has negative optical power; mirror 1230 has positive optical power; mirror 1240 has positive optical power; mirror 1250 has negative optical power; and mirror 1260 has positive optical power.

- 63 -

The dimension of the footprint of each mirror, given as $M_x \times M_y$, is as follows: 250 mm x 153 mm for mirror 1210; 70 mm x 69 mm for mirror 1020; 328 mm x 153 mm for mirror 1230; 325 mm x 112 mm for mirror 1240; 87 mm x 75 mm for mirror 1250; and 269 mm x 238 mm for mirror 1260.

The chief ray angle of incidence for the central field point is 6.13° , 10.61° , 8.65° , 8.26° , 14.22° , and 5.23° for mirrors 1210, 1220, 1230, 1240, 1250, and 1260, respectively. The maximum angle of incidence, θ_{\max} , on each mirror for the meridional section is 6.53° , 11.63° , 8.91° , 11.39° , 24.26° , and 7.44° for mirrors 1210, 1220, 1230, 1240, 1250, and 1260, respectively. $\Delta\theta$ for mirrors 1210, 1220, 1230, 1240, 1250, and 1260 are 1.07° , 3.64° , 1.74° , 7.44° , 21.70° , and 4.51° , respectively.

Mirrors 1210, 1220, 1250, and 1260 have freeboards that are more than 5 mm and less than 25 mm. Mirror 1240 has positive chief ray angle magnification while mirrors 1210, 1220, 1230, and 1250 have negative chief ray angle magnification.

The image-side free working distance of projection objective 1200 is 40 mm. The object-side free working distance is 439 mm.

In projection objective 1200, d_{op-1}/d_{op-2} is 1.91. Furthermore, adjacent mirror pair 1240 and 1250 are separated by more than 50% of the projection objective's tracklength. Further, the distance between mirror 1210 and object plane 103 is more than 50% of the projection objective's tracklength.

Data for projection objective 1200 is presented in Table 4A and Table 4B below. Table 4A presents optical data, while Table 4B presents aspherical constants for each of the mirror surfaces. For the purposes of Table 4A and Table

- 64 -

4B, the mirror designations correlate as follows: mirror 1 (M1) corresponds to mirror 1210; mirror 2 (M2) corresponds to mirror 1220; mirror 3 (M3) corresponds to mirror 1230; mirror 4 (M4) corresponds to mirror 1240; mirror 5 (M5) corresponds to mirror 1250; and mirror 6 (M6) corresponds to mirror 1260.

Surface	Radius (mm)	Thickness (mm)	Mode
Object	INFINITY	836.375	
Mirror 1	-614.878	-397.397	REFL
Mirror 2	-383.358	0.000	REFL
STOP	INFINITY	655.992	
Mirror 3	-1204.989	-659.631	REFL
Mirror 4	1885.915	909.840	REFL
Mirror 5	302.954	-308.805	REFL
Mirror 6	403.492	348.850	REFL
Image	INFINITY	0.000	

Table 4A

- 65 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-6.673329E-01	-2.825442E-01	-1.843864E+00	2.076932E+00	3.340547E+00	1.990979E-01
Y	-5.045837E-02	2.263660E-01	-1.277806E-01	-3.310548E-02	-1.935522E-01	1.783092E-02
X ²	1.827144E-04	1.686990E-04	9.963384E-05	5.203052E-05	-3.849892E-04	3.792405E-05
Y ²	1.737812E-04	2.093994E-04	-1.747764E-05	-7.184095E-05	-3.329705E-04	1.662759E-05
X ² Y	4.765150E-08	-1.595967E-06	-5.515151E-08	-8.752119E-10	1.213426E-06	5.552151E-08
Y ³	5.091508E-08	-1.231538E-06	-1.294839E-07	-1.939381E-07	1.502735E-06	9.165146E-08
X ⁴	-4.718889E-11	-6.941238E-09	-7.002011E-11	-5.996832E-11	-2.342602E-09	9.552648E-12
X ² Y ²	-4.340357E-11	-7.827867E-09	-1.801185E-10	-7.139217E-11	-1.234047E-08	-1.611525E-10
Y ⁴	1.234053E-10	-3.130174E-09	-7.281275E-11	-1.598859E-10	-1.206604E-08	-1.662004E-10
X ⁴ Y	1.205203E-13	-6.495768E-11	-3.814883E-14	-4.344276E-14	2.268270E-11	2.930397E-13
X ² Y ³	2.259661E-13	-4.304439E-11	-1.048629E-13	-7.811421E-16	2.977954E-11	8.493936E-13
Y ⁵	-5.198478E-13	-1.485266E-11	5.022687E-15	-1.422459E-14	-1.556209E-11	4.051187E-13
X ⁶	-1.306395E-16	-4.159695E-14	0.000000E+00	-3.787576E-17	1.374773E-14	-9.890588E-17
X ⁴ Y ²	8.838986E-17	1.462867E-14	0.000000E+00	-1.369883E-16	-3.320990E-13	-1.312584E-15
X ² Y ⁴	-1.745854E-16	4.353978E-13	0.000000E+00	-7.920443E-17	-1.008910E-13	-2.069868E-15
Y ⁶	1.020155E-15	-1.927189E-13	0.000000E+00	-3.431888E-17	-9.148646E-14	-6.650861E-16
X ⁶ Y	1.090627E-19	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	1.607288E-18
X ⁴ Y ³	-4.158749E-19	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	4.652411E-18
X ² Y ⁵	-1.758731E-18	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	4.087290E-18
Y ⁷	-3.081679E-18	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	9.802736E-19
X ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁴ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ² Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ³	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁴ Y ⁵	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ² Y ⁷	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ⁹	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁴ Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ² Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Nradius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y-decenter	-118.847	-100.000	100.000	24.472	-11.760	-37.772
X-rotation	-7.782	7.388	1.406	-2.140	-8.177	6.989

Table 4B

- 66 -

Referring to FIG. 13, an embodiment of a projection objective 1300 includes six mirrors 1310, 1320, 1330, 1340, 1350, and 1360, and has an image-side numerical aperture of 0.35 and an operating wavelength of 13.5 nm. Mirrors 1310, 1320, 1330, 1340, 1350, and 1360 are all freeform mirrors. Projection objective 1300 images radiation from object plane 103 to image plane 102 with a demagnification ratio of 4X. The tracklength of projection objective 1300 is 1500 mm and the optical path length of imaged radiation is 4093 mm. Accordingly, the ratio of the optical path length to tracklength is approximately 2.73. Projection objective 1300 has an aperture stop positioned at mirror 1320.

The entrance pupil of projection objective 1300 is at infinity. The chief ray angle of the central field point at object plane 103 is 7°. The maximum variation of chief ray angles at object plane 103 is less than 0.1°.

Projection objective 1300 has a rectangular field. The image-side field width, d_x , is 26 mm. The image-side field length, d_y , is 2 mm. Projection objective 1000 has an object-image shift of 119 mm.

Projection objective 1300 provides an intermediate image between mirrors 1340 and 1350.

The optical power of the mirrors in the order of the radiation path from object plane 103 to image plane 102 is as follows: mirror 1310 has positive optical power; mirror 1320 has negative optical power; mirror 1330 has positive optical power; mirror 1340 has positive optical power; mirror 1350 has negative optical power; and mirror 1360 has positive optical power.

- 67 -

The dimension of the footprint of each mirror, given as $M_x \times M_y$, is as follows: 271 mm x 173 mm for mirror 1310; 69 mm x 65 mm for mirror 1320; 290 mm x 115 mm for mirror 1330; 272 mm x 66 mm for mirror 1340; 81 mm x 67 mm for mirror 1350; and 274 mm x 243 mm for mirror 1360.

The chief ray angle of incidence for the central field point is 9.66° , 12.15° , 9.10° , 5.45° , 13.31° , and 4.60° for mirrors 1310, 1320, 1330, 1340, 1350, and 1360, respectively. The maximum angle of incidence, θ_{\max} , on each mirror for the meridional section is 11.20° , 15.46° , 9.63° , 8.64° , 23.31° , and 6.17° for mirrors 1310, 1320, 1330, 1340, 1350, and 1360, respectively. $\Delta\theta$ for mirrors 1310, 1320, 1330, 1340, 1350, and 1360 are 3.25° , 7.32° , 1.57° , 6.92° , 21.18° , and 3.63° , respectively.

Mirror 1340 has positive chief ray angle magnification while mirrors 1310, 1320, 1330, and 1350 have negative chief ray angle magnification.

The image-side free working distance of projection objective 1300 is 40 mm. The object-side free working distance is 582 mm. This large object-side free working distance allows insertion of additional components, in particular of the illumination system, e.g. an additional grazing incidence folding mirror or a uniformity filter.

In projection objective 1300, d_{op-1}/d_{op-2} is 1.63. Furthermore, adjacent mirror pairs 1340 and 1350 is separated by more than 50% of the projection objective's tracklength. Further, the distance between mirror 1310 and object plane 103 is more than 50% of the projection objective's tracklength.

Data for projection objective 1300 is presented in Table 5A and Table 5B below. Table 5A presents optical data, while Table 5B presents aspherical constants for each of the mirror surfaces. For the purposes of Table 5A and Table 5B, the mirror designations correlate as follows: mirror 1 (M1) corresponds to

- 68 -

mirror 1310; mirror 2 (M2) corresponds to mirror 1320; mirror 3 (M3) corresponds to mirror 1330; mirror 4 (M4) corresponds to mirror 1340; mirror 5 (M5) corresponds to mirror 1350; and mirror 6 (M6) corresponds to mirror 1360.

Surface	Radius (mm)	Thickness (mm)	Mode
Object	INFINITY	946.404	
Mirror 1	-605.890	-364.901	REFL
Mirror 2	-368.417	0.000	REFL
STOP	INFINITY	626.468	
Mirror 3	-1202.217	-556.441	REFL
Mirror 4	1949.768	808.432	REFL
Mirror 5	276.499	-313.562	REFL
Mirror 6	401.291	353.600	REFL
Image	INFINITY	0.000	

Table 5A

- 69 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-5.95606E-01	-1.82186E+00	-5.82444E-01	-2.38948E+00	3.35329E+00	1.67283E-01
Y	1.96214E-02	1.05243E-01	-1.91165E-01	-6.23536E-02	-4.99892E-02	1.30034E-02
X ²	1.71425E-04	1.61788E-04	8.52106E-05	7.49004E-05	-2.48914E-04	3.88103E-05
Y ²	1.59322E-04	1.15508E-04	-1.78602E-05	-9.20778E-05	-2.00659E-04	4.01025E-05
X ² Y	3.03035E-08	-8.08249E-07	-6.98999E-08	-6.74632E-08	7.56105E-07	5.29501E-09
Y ³	2.86898E-08	-3.26183E-07	-9.54345E-08	-1.51650E-07	2.54367E-07	8.86827E-09
X ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ³	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁵	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶ Y	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ³	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁵	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁷	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁸	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶ Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁸	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁸ Y	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶ Y ³	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ⁵	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁷	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ⁹	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ¹⁰	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁸ Y ²	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁶ Y ⁴	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ⁴ Y ⁶	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
X ² Y ⁸	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Y ¹⁰	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
Nradius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y-decenter	-200.000	-82.208	200.000	44.996	-23.759	-73.032
X-rotation	-11.492	6.153	4.904	-0.617	-3.814	7.081

Table 5B

- 70 -

Referring to FIG. 14A, an embodiment of a projection objective 1400 includes six mirrors 1410, 1420, 1430, 1440, 1450, and 1460, and has an image-side numerical aperture of 0.40 and an operating wavelength of 13.5 nm. Mirrors 1410, 1420, 1430, 1440, 1450, and 1460 are all freeform mirrors. Projection objective 1400 images radiation from object plane 103 to image plane 102 with a demagnification ratio of 4X. The tracklength of projection objective 1400 is 1498 mm and the optical path length of imaged radiation is 3931 mm. Accordingly, the ratio of the optical path length to tracklength is approximately 2.62. Projection objective 1400 has a pupil plane positioned between mirrors 1420 and 1430.

The entrance pupil of projection objective 1400 is located 1,000 mm from object plane 103 with object plane positioned between the entrance pupil and the mirrors. The chief ray angle of the central field point at object plane 103 is 7°. The maximum variation of chief ray angles at object plane 103 is 0.82°.

Projection objective 1400 has a rectangular field. The image-side field width, d_x , is 26 mm. The image-side field length, d_y , is 2 mm. Projection objective 1000 has an object-image shift of 38 mm.

The performance of projection objective 1000 includes an image-side W_{rms} of 0.083λ . Distortion is approximately 100 nm, and image-side field curvature is 36 nm. Projection objective 1400 provides an intermediate image between mirrors 1440 and 1450.

The optical power of the mirrors in the order of the radiation path from object plane 103 to image plane 102 is as follows: mirror 1410 has positive optical power; mirror 1420 has positive optical power; mirror 1430 has negative opti-

- 71 -

cal power; mirror 1440 has positive optical power; mirror 1050 has negative optical power; and mirror 1460 has positive optical power.

The dimension of the footprint of each mirror, given as $M_x \times M_y$, is as follows: 326 mm x 159 mm for mirror 1410; 210 mm x 123 mm for mirror 1420; 120 mm x 66 mm for mirror 1430; 312 mm x 119 mm for mirror 1440; 112 mm x 83 mm for mirror 1450; and 405 mm x 379 mm for mirror 1460.

The chief ray angle of incidence for the central field point is 6.70°, 8.08°, 20.41°, 6.68°, 14.52°, and 5.67° for mirrors 1410, 1420, 1430, 1440, 1450, and 1460, respectively. The maximum angle of incidence, θ_{\max} , on each mirror for the meridional section is 8.61°, 10.91°, 21.98°, 7.41°, 27.19°, and 6.86° for mirrors 1410, 1420, 1430, 1440, 1450, and 1460, respectively. $\Delta\theta$ for mirrors 1410, 1420, 1430, 1440, 1450, and 1460 are 3.92°, 5.69°, 3.82°, 1.79°, 26.83°, and 3.20°, respectively.

Mirrors 1410, 1420, 1430, 1450, and 1460 have freeboards that are more than 5 mm and less than 25 mm. Mirror 1440 has positive chief ray angle magnification while mirrors 1410, 1420, 1430, and 1450 have negative chief ray angle magnification.

The image-side free working distance of projection objective 1400 is 45 mm. The object-side free working distance is 291 mm.

In projection objective 1400, $d_{\text{op-1}}/d_{\text{op-2}}$ is 2.47. Furthermore, adjacent mirror pair 1440 and 1450 is separated by more than 50% of the projection objective's tracklength.

Data for projection objective 1400 is presented in Table 6A and Table 6B below. Table 6A presents optical data, while Table 6B presents aspherical con-

- 72 -

stants for each of the mirror surfaces. For the purposes of Table 6A and Table 6B, the mirror designations correlate as follows: mirror 1 (M1) corresponds to mirror 1010; mirror 2 (M2) corresponds to mirror 1020; mirror 3 (M3) corresponds to mirror 1030; mirror 4 (M4) corresponds to mirror 1040; mirror 5 (M5) corresponds to mirror 1050; and mirror 6 (M6) corresponds to mirror 1060.

Surface	Radius (mm)	Thickness (mm)	Mode
Object	INFINITY	719.154	
Mirror 1	-1768.086	-427.871	REFL
Mirror 2	2334.525	575.634	REFL
Mirror 3	352.553	-347.888	REFL
Mirror 4	610.853	933.638	REFL
Mirror 5	431.588	-434.965	REFL
Mirror 6	521.464	479.940	REFL
Image	INFINITY	0.000	

Table 6A

Coefficient	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-7.735395E+00	-6.005799E+01	-3.751432E-01	-8.758413E-01	6.604547E+00	8.612526E-02
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ²	-1.485069E-04	-1.263679E-04	-2.624294E-04	1.347923E-05	-1.388138E-04	-6.931036E-06
Y ²	-1.726040E-04	-1.711814E-04	-1.005287E-03	-3.665045E-05	1.295215E-04	8.615161E-06
X ² Y	-5.200823E-08	-4.156617E-07	7.669496E-07	-5.478449E-08	9.580682E-07	-4.043887E-09
Y ²	-3.734392E-08	-4.637041E-08	-5.212076E-07	4.563436E-08	1.156899E-07	-6.370253E-09
X ⁴	-1.602036E-10	1.080674E-09	-1.784900E-08	3.290440E-10	2.227159E-09	-4.223672E-11
X ² Y ²	-5.655636E-10	1.150736E-09	9.356049E-09	-1.772824E-10	7.086270E-09	-3.649540E-11
Y ⁴	7.840007E-11	1.816509E-09	1.947812E-09	9.043201E-10	3.962050E-09	5.321857E-12
X ⁴ Y	-9.204024E-14	2.366905E-12	-2.677935E-11	-8.314955E-13	-1.528996E-11	2.788263E-15
X ² Y ³	1.079182E-12	3.100338E-12	3.708016E-11	-5.930044E-12	-2.181691E-11	-3.366047E-14
Y ⁶	-4.579479E-13	-6.879640E-12	-4.466462E-13	9.529833E-13	-2.295402E-11	-2.906642E-14
X ⁶	6.241273E-17	-3.829664E-15	1.521283E-13	1.097127E-15	-3.501249E-14	-6.862154E-17
X ⁴ Y ²	1.666766E-15	1.243647E-14	5.320814E-14	7.533431E-16	8.652054E-14	-1.407857E-16
X ² Y ⁴	-2.345440E-15	2.162639E-15	-5.453363E-14	-1.396841E-14	4.036247E-13	1.131588E-17
Y ⁸	-3.012261E-15	-1.224080E-14	-1.034267E-14	9.519542E-16	1.105527E-13	3.923271E-17
X ⁶ Y	3.484859E-18	-9.656525E-18	-6.882044E-16	7.124323E-18	8.790794E-16	2.032080E-20
X ⁴ Y ³	-2.997302E-18	-1.020453E-16	-4.147276E-16	1.059357E-17	9.581262E-16	-8.784820E-20
X ² Y ⁶	3.436846E-18	2.303857E-17	-1.104525E-16	-1.635704E-17	-1.619074E-15	-2.001426E-19
Y ⁷	1.247042E-17	1.643841E-16	4.675424E-17	-7.809506E-19	-3.824576E-15	-5.405817E-20
X ⁸	6.566049E-22	4.616940E-20	-8.583253E-18	1.135128E-21	-4.651481E-19	-3.090479E-22
X ⁶ Y ²	-1.894284E-20	-2.084017E-19	-4.140672E-18	3.271179E-20	-2.096068E-17	-7.650033E-22
X ⁴ Y ⁴	-4.216883E-21	-3.239553E-19	-3.670866E-18	4.460462E-20	-8.776559E-17	-1.201625E-22
X ² Y ⁸	-2.826171E-21	-3.920562E-19	3.151001E-20	7.969094E-21	-5.615799E-17	3.016401E-22
Y ⁹	-1.315593E-20	-3.058425E-19	2.416437E-20	8.284460E-22	-1.006196E-17	1.721317E-22
X ⁸ Y	-9.935149E-25	-5.168771E-24	-2.316832E-20	-2.523681E-24	1.540486E-20	-3.155606E-26
X ⁶ Y ³	3.001708E-23	1.226818E-21	-2.812819E-21	3.078069E-23	-1.510545E-19	-4.150182E-25
X ⁴ Y ⁵	7.941504E-24	1.371322E-21	-5.440197E-21	3.362723E-23	-6.912241E-19	-2.930215E-25
X ² Y ⁷	-9.194045E-25	7.101398E-22	4.152263E-22	1.093452E-23	-4.418575E-19	3.377883E-25
Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁸ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁶ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ⁴ Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ² Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Nradius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y-decenter	-182.329	-165.907	121.386	20.437	21.141	28.282
X-rotation	-10.857	-0.974	-13.061	-5.217	-2.314	-0.850

Table 6B

- 74 -

Referring to FIG. 14B, projection objective 1400 can be used in an optical system 1401 that includes a light source 1405 and illumination optics including a collector unit 1415, a spectral purity filter 1425, a field facet mirror 1435 and a pupil facet mirror 1445. Light source 1405 is an EUV light source configured to provide radiation at 13.5 nm to the projection objective. Collector unit 1415 gathers radiation from source 1405 and directs the radiation towards spectral purity filter 1415 which filters incident radiation at wavelengths other than 13.5 nm and directs the radiation at 13.5 nm towards field facet mirror 1435. Together with pupil facet mirror 1445, field facet mirror illuminates a reflective reticle positioned at object plane 103 with radiation at 13.5 nm. The radiation is provided so that the chief rays diverge from the reticle. The radiation is provided to the reticle in this way without the use of additional components, such as a grazing incidence mirror.

Referring to FIG. 15, an embodiment of a projection objective 1500 includes six mirrors 1510, 1520, 1530, 1540, 1550, and 1560, and has an image-side numerical aperture of 0.40 and an operating wavelength of 13.5 nm. Mirrors 1510, 1520, 1530, 1540, 1550, and 1560 are all freeform mirrors. Projection objective 1500 images radiation from object plane 103 to image plane 102 with a demagnification ratio of 4X. The tracklength of projection objective 1500 is 1499 mm and the optical path length of imaged radiation is 4762 mm. Accordingly, the ratio of the optical path length to tracklength is approximately 3.18.

The entrance pupil of projection objective 1500 is located 1000 mm from object plane 103 with object plane positioned between the entrance pupil and the mirrors. Due to the reflective reticle positioned at object plane 103, illumination optics, in particular a mirror having pupil facets, can be positioned at location 1501, corresponding to the entrance pupil. The chief ray angle of the

- 75 -

central field point at object plane 103 is 7° . The maximum variation of chief ray angles at object plane 103 is 0.82° .

Projection objective 1500 has a rectangular field. The image-side field width, d_x , is 26 mm. The image-side field length, d_y , is 2 mm. Projection objective 1500 has an object-image shift of 7 mm.

The performance of projection objective 1500 includes an image-side W_{rms} of 0.040λ . Referring also to FIG. 16A, distortion is less than about 3 nm across the image field. Image-side field curvature is 35 nm. Projection objective 1500 provides an intermediate image between mirrors 1540 and 1550. Referring to FIG. 16B, the chief rays are orthogonal to image plane 102 to within about 0.001 rad (0.06°) at the image field.

The optical power of the mirrors in the order of the radiation path from object plane 103 to image plane 102 is as follows: mirror 1510 has positive optical power; mirror 1520 has negative optical power; mirror 1530 has positive optical power; mirror 1540 has positive optical power; mirror 1550 has negative optical power; and mirror 1560 has positive optical power.

The dimension of the footprint of each mirror, given as $M_x \times M_y$, is as follows: 253 mm x 162 mm for mirror 1510; 105 mm x 66 mm for mirror 1520; 227 mm x 301 mm for mirror 1530; 182 mm x 220 mm for mirror 1540; 111 mm x 85 mm for mirror 1550; and 289 mm x 275 mm for mirror 1560.

The chief ray angle of incidence for the central field point is 3.96° , 12.21° , 7.51° , 11.98° , 15.82° , and 8.08° for mirrors 1510, 1520, 1530, 1540, 1550, and 1560, respectively. The maximum angle of incidence, θ_{max} , on each mirror for the meridional section is 4.47° , 12.81° , 8.55° , 16.91° , 27.68° , and 9.96° for mirrors 1510, 1520, 1530, 1540, 1550, and 1560, respectively. $\Delta\theta$ for mirrors

- 76 -

1510, 1520, 1530, 1540, 1550, and 1560 are 1.10°, 3.61°, 4.19°, 12.12°, 27.17°, and 4.79°, respectively.

Mirrors 1510, 1520, 1540, 1550, and 1560 have freeboards that are more than 5 mm and less than 25 mm. Mirror 1530 has positive chief ray angle magnification while mirrors 1510, 1520, 1540, and 1550 have negative chief ray angle magnification.

The image-side free working distance of projection objective 1500 is 45 mm. The object-side free working distance is 260 mm.

In projection objective 1500, $d_{op,1}/d_{op,2}$ is 3.05. Furthermore, adjacent mirror pairs 1520 and 1530, 1530 and 1540, and 1540 and 1550 are separated by more than 50% of the projection objective's tracklength. Further, the distance between mirror 1510 and object plane 103 is more than 50% of the projection objective's tracklength.

Data for projection objective 1500 is presented in Table 7A and Table 7B below. Table 7A presents optical data, while Table 7B presents aspherical constants for each of the mirror surfaces. For the purposes of Table 7A and Table 7B, the mirror designations correlate as follows: mirror 1 (M1) corresponds to mirror 1510; mirror 2 (M2) corresponds to mirror 1520; mirror 3 (M3) corresponds to mirror 1530; mirror 4 (M4) corresponds to mirror 1540; mirror 5 (M5) corresponds to mirror 1550; and mirror 6 (M6) corresponds to mirror 1560.

- 77 -

Surface	Radius (mm)	Thickness (mm)	Mode
Object	INFINITY	793.452	
Mirror 1	-652.351	-533.717	REFL
Mirror 2	-459.234	946.263	REFL
Mirror 3	-1711.458	-789.999	REFL
Mirror 4	1814.404	1037.812	REFL
Mirror 5	310.131	-304.837	REFL
Mirror 6	407.712	349.882	REFL
Image	INFINITY	0.000	

Table 7A

- 78 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	-5.917992E-01	1.401977E+00	-1.852312E+00	3.134672E+00	1.276852E+00	2.162747E-01
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X ²	2.488175E-04	6.462590E-04	8.097144E-05	3.683589E-05	-5.694587E-04	1.127522E-05
Y ²	1.796052E-04	-1.218131E-05	-3.272168E-05	-7.479058E-05	-3.798909E-04	5.142215E-05
X ² Y	-3.704365E-08	-3.061838E-06	1.166808E-07	1.073313E-07	3.054784E-06	-1.901527E-08
Y ³	-8.473076E-09	-4.336504E-06	-6.831514E-08	-2.680850E-08	1.944165E-06	2.077407E-09
X ⁴	1.525482E-11	2.440415E-10	-2.839993E-11	-8.352784E-11	1.477727E-09	-1.231925E-10
X ² Y ²	4.909383E-11	1.819997E-09	-2.639958E-11	-7.953809E-11	1.884588E-08	-4.030921E-11
Y ⁴	7.241758E-11	-1.924132E-08	-1.611187E-10	-1.805904E-10	2.829058E-09	-6.788132E-11
X ⁴ Y	-3.944773E-14	-3.384346E-12	4.634420E-14	1.089774E-13	4.746215E-11	7.092901E-15
X ² Y ³	-2.485019E-13	-1.985647E-10	-1.749321E-13	2.706968E-13	1.878106E-10	7.623271E-14
Y ⁵	-6.222758E-14	1.546404E-10	-7.306272E-14	1.121470E-13	2.713089E-11	1.059625E-13
X ⁶	-2.853060E-17	1.499373E-14	-3.327224E-16	-3.396117E-16	1.122966E-13	-7.141998E-16
X ⁴ Y ²	5.428060E-17	-4.560639E-13	-2.729510E-17	1.958645E-17	4.975385E-13	-1.157245E-15
X ² Y ⁴	9.034205E-16	4.633694E-13	-4.803414E-16	4.337124E-16	9.650331E-13	-6.079561E-16
Y ⁶	9.726812E-16	-1.587936E-12	-9.119915E-19	3.224937E-16	-4.013641E-13	-1.910957E-16
X ⁶ Y	7.541120E-20	-5.491590E-16	-3.248735E-18	-4.999870E-18	1.809992E-15	1.533877E-19
X ⁴ Y ³	-7.407407E-19	1.626025E-15	-4.175176E-19	-1.121906E-18	4.277794E-15	7.709209E-19
X ² Y ⁵	-3.053897E-18	-1.459850E-15	-5.190383E-19	9.702383E-19	5.157566E-15	9.414679E-19
Y ⁷	-1.167661E-17	1.377526E-14	-3.283791E-21	9.398678E-20	-3.053184E-15	3.954522E-19
X ⁸	-1.128385E-22	-2.091289E-19	-1.560172E-21	-2.941200E-21	2.054965E-18	-3.788563E-21
X ⁶ Y ²	-2.424101E-21	-5.485841E-18	-1.205060E-20	-3.188366E-20	8.911569E-18	-9.560288E-21
X ⁴ Y ⁴	4.347588E-22	-3.722786E-17	-1.249304E-21	-8.368608E-21	1.007777E-17	-8.789392E-21
X ² Y ⁶	2.577199E-21	-2.687589E-17	-2.354061E-22	8.597809E-22	1.143993E-17	-3.545101E-21
Y ⁸	5.215288E-20	-7.369037E-17	-4.229309E-23	-6.689468E-22	-7.499429E-18	-1.703637E-21
X ⁸ Y	7.792174E-25	0.000000E+00	-7.813621E-24	-2.516130E-23	0.000000E+00	8.396981E-25
X ⁶ Y ³	8.992421E-24	0.000000E+00	-1.921637E-23	-8.262460E-23	0.000000E+00	4.664369E-24
X ⁴ Y ⁵	-4.714974E-25	0.000000E+00	-1.610571E-24	-1.778199E-23	0.000000E+00	9.398752E-24
X ² Y ⁷	6.059892E-24	0.000000E+00	3.848059E-26	1.222213E-24	0.000000E+00	1.042278E-23
Y ⁹	-8.700880E-23	0.000000E+00	6.368781E-27	-2.288415E-25	0.000000E+00	7.789109E-24
X ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	-5.411923E-27	-1.603639E-26	0.000000E+00	-3.929816E-26
X ⁸ Y ²	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.609679E-27	-4.538477E-26	0.000000E+00	-1.453997E-25
X ⁶ Y ⁴	0.000000E+00	0.000000E+00	-1.127835E-26	-7.710579E-26	0.000000E+00	-1.839705E-25
X ⁴ Y ⁶	0.000000E+00	0.000000E+00	-8.495275E-28	-1.413945E-26	0.000000E+00	-8.230974E-26
X ² Y ⁸	0.000000E+00	0.000000E+00	4.740792E-29	1.022008E-27	0.000000E+00	-8.755646E-27
Y ¹⁰	0.000000E+00	0.000000E+00	1.728076E-29	1.964912E-28	0.000000E+00	-7.204080E-27
Nradius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
Y-decenter	-144.660	-88.223	42.173	-14.449	2.986	-10.929
X-rotation	-8.868	-16.235	1.500	-3.658	-7.600	-1.635

Table 7B

- 79 -

FIGS. 17 to 20 show another embodiment of the invention having four mirrors being all designed as freeform surfaces. Depicted is the object plane 3000, the image plane 3002, a first mirror S1, a second mirror S2, a third mirror S3, a fourth mirror S4. All subsequent tables with optical data refer to the mirrors S1 to S4 as M1 to M4. For the embodiment according to FIGS. 17 to 20, the following data are given:

Numerical aperture:	0.26
Imaging factor:	1:4
Form of object fields:	rectangular
Width of scanning field on the object side:	100 mm
Height of scanning field on the object side:	8 mm
Length:	2360 mm
Tilt of image plane:	- 3,084°.

This embodiment shows a system having a balanced combination of numerical aperture, field size, system size, wavefront and distortion correction.

The optical data can be seen from the following tables:

Surface	Radius	Thickness	Mode
Object	INFINITY	2102,043	
Mirror 1	3004,821	-1812,311	REFL
Mirror 2	2545,365	1957,316	REFL
Mirror 3	706,710	0,000	REFL
STOP	INFINITY	-339,990	
Mirror 4	741,656	453,302	REFL
Image	INFINITY	0,000	

- 80 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4	Image
Y-decenter	-65,523	54,692	48,905	47,778	23,755
X-rotation	-2,620	-2,374	-2,706	-1,585	-3,084

Coefficient	M1	M2	M3	M4
K	-1,09E+00	5,80E-02	2,06E+00	6,72E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	3,54E-04	9,93E-06	-5,35E-04	1,23E-04
Y2	1,97E-04	1,07E-05	1,23E-05	2,97E-04
X2Y	-6,42E-07	-2,47E-08	-4,37E-07	-2,44E-07
Y3	3,69E-07	1,89E-08	-1,34E-06	-4,72E-07
X4	2,63E-09	3,01E-12	-2,94E-08	-5,08E-09
X2Y2	-1,09E-10	2,13E-11	-3,33E-08	-5,07E-09
Y4	-6,07E-11	-1,88E-11	-1,42E-08	-1,36E-09
X4Y	-2,66E-11	-7,36E-14	4,84E-11	-4,80E-12
X2Y3	2,61E-11	3,55E-14	-5,06E-11	-1,05E-11
Y5	-1,67E-12	-6,53E-15	7,86E-11	-1,06E-11
X6	-8,14E-13	-2,93E-16	-7,71E-13	-1,04E-13
X4Y2	1,29E-13	6,33E-17	-1,53E-12	-4,13E-13
X2Y4	-4,50E-14	-7,40E-17	2,40E-13	-3,31E-13
Y6	1,04E-15	1,42E-17	-6,88E-13	1,99E-14
X6Y	1,96E-14	3,20E-18	-6,34E-15	-1,31E-15
X4Y3	-2,85E-16	2,38E-19	-1,30E-14	-5,72E-15
X2Y5	-1,60E-16	-4,36E-20	1,43E-14	-9,75E-16
Y7	1,93E-18	1,20E-20	1,61E-15	2,08E-15
X8	-1,62E-17	-1,41E-21	-8,44E-19	-7,70E-18
X6Y2	-1,69E-16	-1,19E-20	1,72E-16	-1,13E-16
X4Y4	3,10E-18	5,44E-22	2,91E-16	-1,26E-16
X2Y6	-2,80E-19	8,10E-22	9,83E-18	4,36E-17
Y8	8,73E-21	-4,31E-24	4,37E-17	3,31E-17
X8Y	1,79E-19	6,79E-24	1,76E-18	-4,84E-19
X6Y3	6,22E-19	1,62E-23	6,22E-18	-2,33E-18
X4Y5	-2,21E-20	-3,41E-24	-1,22E-19	-1,19E-18
X2Y7	4,10E-21	-2,28E-24	-2,47E-18	5,49E-19
Y9	9,75E-23	-5,21E-26	-5,68E-19	2,75E-19
X10	-3,29E-23	-8,73E-28	-5,00E-21	-4,71E-22
X8Y2	-4,75E-22	-7,40E-27	-6,76E-20	-6,64E-21
X6Y4	-8,19E-22	-6,01E-27	-1,52E-19	-1,46E-20
X4Y6	4,25E-23	3,34E-27	-4,79E-20	-4,03E-21
X2Y8	-6,29E-24	2,20E-27	5,65E-21	1,87E-21
Y10	-3,17E-25	9,18E-29	2,89E-21	8,49E-22
Nradius	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

- 81 -

$x_{\text{Object/mm}}$	$y_{\text{Object/mm}}$	Distortion (x)/nm	Distortion (y)/nm	Absolute Value of Distortion/nm	Telecentricity/ Degrees	Wavefront Error at 13,5 nm
0	600	0	-0.960073	0.960073	0.0196465	0.027195
0	602	0	-1.46082	1.46082	0.0111602	0.019766
0	604	0	-1.14157	1.14157	0.00258716	0.015522
0	606	0	-0.708422	0.708422	0.00607316	0.01395
0	608	0	-0.868087	0.868087	0.0148213	0.032279
12.5	600	-0.702813	-0.349919	0.785105	0.0226563	0.026075
12.5	602	-0.506161	-0.815296	0.959639	0.0159931	0.018251
12.5	604	-0.214821	-0.491402	0.536306	0.011916	0.01476
12.5	606	0.161171	-0.084304	0.181888	0.0132822	0.014764
12.5	608	0.611783	-0.300692	0.681685	0.0190686	0.032953
25	600	-0.828473	0.99338	1.29736	0.0299227	0.025603
25	602	-0.613329	0.633853	0.882011	0.0254871	0.014924
25	604	-0.210678	0.966257	0.988958	0.0234105	0.012561
25	606	0.359349	1.28961	1.33874	0.0243974	0.016745
25	608	1.07663	0.89729	1.40152	0.028208	0.035061
37.5	600	-0.079109	1.6231	1.62502	0.0391462	0.033551
37.5	602	-0.207297	1.40928	1.42444	0.036144	0.015412
37.5	604	-0.058849	1.73794	1.73893	0.035006	0.008795
37.5	606	0.335888	1.90321	1.93262	0.0359723	0.018708
37.5	608	0.946577	1.1986	1.5273	0.0389452	0.038658
50	600	1.28921	-0.96207	1.60861	0.0492443	0.056489
50	602	0.261464	-1.00092	1.03450	0.0471902	0.03219
50	604	-0.405953	-0.714664	0.821914	0.0466375	0.018965
50	606	-0.753775	-0.809016	1.10575	0.0476858	0.02652
50	608	-0.82272	-1.99027	2.15361	0.0502807	0.047096

$x_{\text{Object/mm}}$ and $y_{\text{Object/mm}}$ denote the x- and y-coordinates in the object plane. The values Distortion(x)/nm and Distortion(y)/nm denote the distortion at the respective coordinate. Absolute Value of Distortion/nm denotes the absolute distortion value at the respective coordinate measured at the image plane. Telecentricity/Degrees denotes the chief ray angle at the respective coordinate. Wavefront Error at 13,5 nm denotes the RMS wavefront error in units of the illumination wavelength $\lambda = 13,5$ nm. As the optical system is mirror symmetric with respect to the yz-plane it is sufficient to give data for fieldpoints having positive x-coordinates in the object plane.

- 82 -

FIGS. 18 to 20 show lateral aberrations in the coordinate system of the exit pupil of the objective according to FIG. 17. These aberration plots show the wavefront error for 15 fieldpoints, i.e. for five equidistant y-coordinates between y_{\min} and y_{\max} at the center of the object field at $x = 0$, at $x = x_{\max}/2$ and at $x = x_{\max}$.

FIGS. 21 to 24 show another embodiment of the invention having four mirrors being all designed as freeform surfaces. Depicted is the object plane 3000, the image plane 3002, a first mirror S1, a second mirror S2, a third mirror S3, a fourth mirror S4. All subsequent tables with optical data refer to the mirrors S1 to S4 as M1 to M4. For the embodiment according to FIGS. 21 to 24, the following data are given:

Numerical aperture:	0.3
Imaging factor:	1:4
Form of object fields:	rectangular
Width of scanning field on the object side:	100 mm
Height of scanning field on the object side:	8 mm
Length:	2354 mm
Tilt of image plane:	- 3,798°.

This embodiment shows a system having an increased numerical aperture.

The optical data can be seen from the following tables:

- 83 -

Surface	Radius	Thickness	Mode
Object	INFINITY	2102,043	
Mirror 1	3030,572	-1827,768	REFL
Mirror 2	2546,206	1949,851	REFL
Mirror 3	689,344	0,000	REFL
STOP	INFINITY	-322,728	
Mirror 4	734,331	452,552	REFL
Image	INFINITY	0,000	

Coefficient	M1	M2	M3	M4	Image
Y-decenter	-60,435	53,835	51,299	48,788	20,674
X-rotation	-2,524	-2,393	-2,965	-1,494	-3,798

- 84 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4
K	-1,64E+00	5,42E-02	2,28E+00	7,41E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	3,01E-04	8,11E-06	-2,17E-04	3,12E-04
Y2	1,85E-04	9,90E-06	1,37E-05	3,77E-04
X2Y	-8,52E-07	-2,68E-08	-8,61E-07	-3,91E-07
Y3	3,22E-07	1,35E-08	-1,77E-06	-3,44E-07
X4	1,85E-09	-4,10E-12	-3,25E-08	-3,95E-09
X2Y2	1,66E-09	2,16E-11	-4,52E-08	-3,73E-09
Y4	-2,66E-10	-2,70E-11	-1,63E-08	1,07E-09
X4Y	-1,09E-11	-4,58E-14	2,88E-11	-5,23E-12
X2Y3	2,59E-11	1,36E-14	-5,03E-11	-3,04E-12
Y5	-2,08E-12	-8,16E-15	5,68E-11	9,47E-13
X6	-3,36E-13	-1,32E-16	-1,05E-12	-8,91E-14
X4Y2	4,77E-14	2,14E-18	-2,39E-12	-2,67E-13
X2Y4	-1,05E-13	-8,15E-17	-5,56E-13	-1,48E-13
Y6	2,44E-15	1,81E-17	-8,66E-13	-9,89E-14
X6Y	7,74E-15	1,24E-18	-2,94E-15	6,43E-17
X4Y3	-1,33E-16	3,33E-19	-7,65E-15	-1,59E-15
X2Y5	6,38E-17	1,05E-20	2,25E-15	-1,75E-15
Y7	1,78E-17	-9,61E-21	5,45E-15	-1,44E-15
X8	-5,84E-18	-6,31E-22	-2,12E-17	-2,74E-18
X6Y2	-6,51E-17	-4,73E-21	-2,21E-17	-2,49E-17
X4Y4	1,12E-18	-1,06E-21	1,03E-17	-4,22E-17
X2Y6	-1,87E-19	3,30E-23	-3,82E-17	-1,56E-17
Y8	-1,84E-20	-2,35E-23	4,83E-17	-2,21E-18
X8Y	6,56E-20	3,32E-24	5,90E-19	-1,29E-19
X6Y3	2,32E-19	6,89E-24	2,59E-18	-5,99E-19
X4Y5	-7,44E-21	1,27E-24	2,28E-19	-4,47E-19
X2Y7	2,48E-21	-3,15E-25	3,92E-19	-9,74E-20
Y9	4,79E-23	3,01E-26	-8,17E-20	7,95E-20
X10	-1,93E-23	-6,89E-28	-3,94E-21	-2,24E-22
X8Y2	-1,74E-22	-4,55E-27	-2,48E-20	-2,04E-21
X6Y4	-2,97E-22	-4,06E-27	-4,24E-20	-4,46E-21
X4Y6	1,36E-23	-1,24E-27	-3,93E-21	-1,90E-21
X2Y8	-4,52E-24	3,71E-28	9,91E-21	-3,41E-22
Y10	-2,43E-25	-8,40E-31	2,16E-21	3,64E-22
Nradius	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

- 85 -

X _{Object} /mm	Y _{Object} /mm	Distortion (x)/nm	Distortion (y)/nm	Absolute Value of Distortion/nm	Telecentricity/ Degrees	Wavefront Error at 13,5 nm
0	600	0	-2.20023	2.20023	0.0179382	0.046052
0	602	0	-1.79021	1.79021	0.0109101	0.029756
0	604	0	-1.28717	1.28717	0.00378722	0.023987
0	606	0	-0.891336	0.891336	0.00343113	0.017834
0	608	0	-0.799202	0.799202	0.0107455	0.043696
12.5	600	-1.08427	-1.27001	1.66991	0.0239704	0.043224
12.5	602	-0.470847	-0.877877	0.996175	0.0193253	0.026959
12.5	604	0.0397523	-0.421226	0.423098	0.0164496	0.024212
12.5	606	0.437494	-0.10014	0.448809	0.016432	0.020337
12.5	608	0.712381	-0.110954	0.72097	0.0193876	0.042811
25	600	-1.45171	0.861628	1.68815	0.0365032	0.04072
25	602	-0.473724	1.1945	1.28501	0.0337094	0.021812
25	604	0.296494	1.50528	1.53518	0.0322325	0.025914
25	606	0.838851	1.59734	1.80421	0.0323169	0.027051
25	608	1.13332	1.27182	1.70351	0.0340121	0.041958
37.5	600	-0.729082	2.21013	2.32728	0.0509314	0.052463
37.5	602	0.112795	2.42562	2.42824	0.0490538	0.021672
37.5	604	0.637771	2.47706	2.55785	0.0481478	0.026628
37.5	606	0.815622	2.16558	2.31408	0.0483103	0.033809
37.5	608	0.616222	1.29608	1.43512	0.0495729	0.044712
50	600	0.775128	-0.556886	0.954435	0.0660057	0.083092
50	602	0.722695	-0.544482	0.904847	0.0646623	0.033187
50	604	0.238001	-0.896861	0.927904	0.0640826	0.022442
50	606	-0.719402	-1.81183	1.94942	0.0643192	0.040278
50	608	-2.18984	-3.48339	4.11454	0.0653953	0.058456

FIGS. 22 to 24 show lateral aberrations in the coordinate system of the exit pupil of the objective according to FIG. 21.

FIGS. 25 to 28 show another embodiment of the invention having four mirrors being all designed as freeform surfaces. Depicted is the object plane 3000, the image plane 3002, a first mirror S1, a second mirror S2, a third mirror S3, a fourth mirror S4. All subsequent tables with optical data refer to the mirrors S1 to S4 as M1 to M4. For the embodiment according to FIGS. 25 to 28, the following data are given:

- 86 -

Numerical aperture:	0.25
Imaging factor:	1:5
Form of object fields:	rectangular
Width of scanning field on the object side:	100 mm
Height of scanning field on the object side:	8 mm
Length:	3030mm
Tilt of image plane:	0°.

This embodiment shows a system having parallel object and image planes.
Further, this embodiment exhibits a different imaging factor of 1:5.

The optical data can be seen from the following tables:

Surface	Radius (mm)	Thickness (mm)	Mode
Object	INFINITY	2802,724	
Mirror 1	3724,091	-2465,218	REFL
Mirror 2	3395,652	2585,049	REFL
Mirror 3	966,548	0,000	REFL
STOP	INFINITY	-489,055	
Mirror 4	977,692	596,613	REFL
Image	INFINITY	0,000	

Coefficient	M1	M2	M3	M4	Image
Y-decenter	-100,324	68,520	71,277	70,971	11,261
X-rotation	-2,639	-2,442	-1,362	-1,500	0,000

- 87 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4
K	-1,16E+00	2,46E-02	1,91E+00	6,14E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	7,57E-04	-5,51E-06	-1,67E-03	-7,26E-05
Y2	3,91E-04	1,41E-05	2,55E-04	5,59E-04
X2Y	3,33E-07	4,07E-08	7,06E-06	1,39E-06
Y3	7,43E-07	3,00E-08	-1,85E-06	-7,26E-07
X4	-3,29E-10	-1,40E-11	-3,83E-08	-9,63E-09
X2Y2	-5,31E-09	4,16E-11	-2,00E-08	-9,67E-09
Y4	-1,29E-10	3,16E-11	1,30E-09	-5,34E-10
X4Y	5,56E-11	-8,02E-16	2,62E-10	2,05E-11
X2Y3	9,40E-11	5,57E-14	1,95E-10	-4,65E-11
Y5	-4,49E-12	-1,18E-13	1,24E-10	-2,50E-11
X6	-1,02E-13	-2,32E-17	-7,28E-13	-2,01E-13
X4Y2	-6,56E-13	6,60E-16	3,35E-13	-7,74E-13
X2Y4	-2,69E-13	8,67E-16	3,48E-12	-1,39E-12
Y6	-1,18E-15	1,46E-16	4,55E-13	-6,59E-14
X6Y	1,01E-15	-3,25E-19	1,32E-14	-1,08E-15
X4Y3	3,51E-15	-1,59E-18	2,19E-14	-5,45E-15
X2Y5	-1,34E-16	-2,11E-18	2,46E-14	-1,09E-14
Y7	-2,06E-17	9,07E-21	1,98E-15	-1,21E-17
X8	6,20E-19	7,45E-23	-7,70E-18	-5,96E-18
X6Y2	-3,16E-18	1,52E-21	4,77E-17	-3,66E-17
X4Y4	-7,05E-18	2,84E-21	2,42E-16	-4,83E-17
X2Y6	1,15E-18	2,33E-21	-1,14E-17	-4,02E-17
Y8	8,47E-20	-8,82E-23	9,94E-17	6,83E-19
X8Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y5	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y7	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y9	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X8Y2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y6	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y8	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Nradius	4,00E+00	4,00E+00	4,00E+00	4,00E+00

- 88 -

XObjectm	YObject/mm	Distortion (x)/nm	Distortion (y)/nm	Absolute Value of Distortion/nm	Telecentricity/ Degrees	Wavefront Error at 13,5 nm
0	800	0	-0.340392	0.340392	0.0258308	0.017169
0	802	0	-0.548595	0.548595	0.0138699	0.019794
0	804	0	-0.199318	0.199318	0.00186948	0.024128
0	806	0	0.121535	0.121535	0.0101706	0.014148
0	808	0	-0.173787	0.173787	0.0222505	0.035190
12.5	800	0.0450163	-0.176646	0.182292	0.0264815	0.018897
12.5	802	-0.0866232	-0.387405	0.396971	0.0151773	0.020501
12.5	804	-0.0707759	-0.0498264	0.0865557	0.00674106	0.024709
12.5	806	0.0891365	0.250161	0.265567	0.0122229	0.015804
12.5	808	0.389682	-0.0752142	0.396874	0.0233473	0.036331
25	800	0.164298	0.201778	0.260208	0.0283526	0.021433
25	802	-0.143816	-0.0170961	0.144828	0.0185673	0.020512
25	804	-0.157147	0.284935	0.325397	0.0131056	0.024535
25	806	0.117459	0.521867	0.534922	0.0169632	0.017161
25	808	0.673133	0.105856	0.681406	0.0263743	0.038085
37.5	800	0.382136	0.456584	0.595397	0.0312476	0.023030
37.5	802	-0.192076	0.222698	0.294088	0.0231726	0.017658
37.5	804	-0.324591	0.463967	0.566237	0.0195923	0.021537
37.5	806	-0.025688	0.594265	0.59482	0.022802	0.014965
37.5	808	0.694325	0.0256282	0.694798	0.0307906	0.038495
50	800	0.623063	0.0244512	0.623543	0.0349462	0.032248
50	802	-0.351568	-0.233592	0.422096	0.0284496	0.023561
50	804	-0.738167	-0.0805832	0.742553	0.0261558	0.025133
50	806	-0.550452	-0.102823	0.559974	0.0291262	0.020735
50	808	0.197816	-0.888445	0.910201	0.0361232	0.042244

FIGS. 26 to 28 show lateral aberrations in the coordinate system of the exit pupil of the objective according to FIG. 25.

FIGS. 29 to 32 show another embodiment of the invention having four mirrors being all designed as freeform surfaces. Depicted is the object plane 3000, the image plane 3002, a first mirror S1, a second mirror S2, a third mirror S3, a fourth mirror S4. All subsequent tables with optical data refer to the mirrors S1 to S4 as M1 to M4. For the embodiment according to FIGS. 29 to 32, the following data are given:

- 89 -

Numerical aperture:	0.24
Imaging factor:	1:5
Form of object fields:	rectangular
Width of scanning field on the object side:	100 mm
Height of scanning field on the object side:	8 mm
Length:	2273 mm
Tilt of image plane:	0°.

Compared to the embodiment of FIG. 25, this embodiment has a somewhat lower numerical aperture and somewhat higher residual aberrations, but the length of the system according to FIG. 17.

The optical data can be seen from the following tables:

Surface	Radius (mm)	Thickness (mm)	Mode
Object	INFINITY	2102,043	
Mirror 1	2793,659	-1848,726	REFL
Mirror 2	2546,811	1938,769	REFL
Mirror 3	724,789	0,000	REFL
STOP	INFINITY	-366,800	
Mirror 4	733,040	447,458	REFL
Image	INFINITY	0,000	

Coefficient	M1	M2	M3	M4	Image
Y-decenter	-75,087	51,394	53,563	53,215	8,406
X-rotation	-2,635	-2,442	-1,373	-1,503	0,000

- 90 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4
K	-1,18E+00	2,43E-02	1,79E+00	6,25E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	5,63E-04	-4,21E-06	-1,24E-03	-5,32E-05
Y2	2,93E-04	1,06E-05	1,91E-04	4,21E-04
X2Y	3,27E-07	3,31E-08	5,31E-06	1,03E-06
Y3	5,55E-07	2,25E-08	-1,34E-06	-5,45E-07
X4	-4,83E-11	-1,05E-11	-2,55E-08	-7,45E-09
X2Y2	-4,43E-09	2,08E-11	-8,22E-09	-8,28E-09
Y4	-1,07E-10	2,38E-11	5,97E-09	-1,14E-09
X4Y	2,99E-11	-1,99E-14	2,05E-10	1,41E-11
X2Y3	6,95E-11	5,53E-14	1,56E-10	-5,12E-11
Y5	-3,40E-12	-8,87E-14	1,05E-10	-2,19E-11
X6	-3,28E-14	6,98E-18	-3,80E-13	-1,62E-13
X4Y2	-3,27E-13	6,59E-16	6,90E-13	-6,77E-13
X2Y4	-1,84E-13	6,85E-16	3,09E-12	-1,35E-12
Y6	-8,30E-16	1,08E-16	3,25E-13	-5,27E-14
X6Y	2,31E-16	-3,71E-19	9,39E-15	-9,01E-16
X4Y3	1,75E-15	-1,64E-18	1,82E-14	-5,23E-15
X2Y5	-1,54E-16	-1,71E-18	2,00E-14	-1,08E-14
Y7	-1,38E-17	4,97E-21	1,64E-16	-8,50E-18
X8	4,46E-19	6,17E-23	2,58E-18	-4,70E-18
X6Y2	-8,01E-19	1,33E-21	8,08E-17	-2,87E-17
X4Y4	-3,59E-18	2,58E-21	2,26E-16	-4,48E-17
X2Y6	9,06E-19	1,87E-21	-2,45E-17	-4,08E-17
Y8	6,53E-20	-4,81E-23	8,45E-17	-2,43E-19
X8Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y5	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y7	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y9	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X8Y2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y6	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y8	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Nradius	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

- 91 -

XObject/mm	YObject/mm	Distortion (x)/nm	Distortion (y)/nm	Absolute Value of Distortion/nm	Telecentricity/ Degrees	Wavefront Error at 13,5 nm
0	600	0	-0.303712	0.303712	0.0350766	0.023748
0	602	0	-0.943417	0.943417	0.0190794	0.022355
0	604	0	-0.508069	0.508069	0.00301184	0.029861
0	606	0	0.00377447	0.003775	0.0131266	0.017655
0	608	0	-0.410098	0.410098	0.0293362	0.037546
12.5	600	-0.0976702	-0.0397139	0.105436	0.0359221	0.024194
12.5	602	-0.336727	-0.658804	0.73987	0.0208196	0.021336
12.5	604	-0.305426	-0.223582	0.378515	0.00938223	0.028592
12.5	606	-0.0115266	0.267305	0.267554	0.0161529	0.016575
12.5	608	0.537176	-0.188439	0.569269	0.0309678	0.038828
25	600	0.0740798	0.543069	0.548099	0.0383664	0.025529
25	602	-0.488733	-0.0159655	0.488994	0.0253625	0.019218
25	604	-0.511562	0.417058	0.660025	0.0180672	0.025576
25	606	-0.00993471	0.843229	0.843287	0.0229845	0.014322
25	608	1.00055	0.259991	1.03377	0.0354364	0.042367
37.5	600	0.635211	0.816881	1.03479	0.0421854	0.027832
37.5	602	-0.420855	0.35196	0.548629	0.0315907	0.018948
37.5	604	-0.668773	0.775246	1.02385	0.0269974	0.023314
37.5	606	-0.131864	1.08739	1.09535	0.0312902	0.013747
37.5	608	1.16644	0.285392	1.20085	0.0418989	0.047139
50	600	1.40779	-0.264954	1.43251	0.0471254	0.033617
50	602	-0.396014	-0.610703	0.727863	0.0387971	0.027129
50	604	-1.12571	-0.213831	1.14584	0.0360974	0.028277
50	606	-0.812445	-0.0743145	0.815836	0.0402623	0.020092
50	608	0.512487	-1.19576	1.30095	0.0496609	0.052034

FIGS. 30 to 32 show lateral aberrations in the coordinate system of the exit pupil of the objective according to FIG. 29.

FIGS. 33 to 36 show another embodiment of the invention having four mirrors being all designed as freeform surfaces. Depicted is the object plane 3000, the image plane 3002, a first mirror S1, a second mirror S2, a third mirror S3, a fourth mirror S4. All subsequent tables with optical data refer to the mirrors S1 to S4 as M1 to M4. For the embodiment according to FIGS. 33 to 36, the following data are given:

- 92 -

Numerical aperture:	0.30
Imaging factor:	1:5
Form of object fields:	rectangular
Width of scanning field on the object side:	100 mm
Height of scanning field on the object side:	8 mm
Length:	2332 mm
Tilt of image plane:	- 4,515°.

With this optical system, a very high numerical aperture without obscuration of the optical components is realized.

The optical data can be seen from the following tables:

Surface	Radius	Thickness	Mode
Object	INFINITY	2102,043	
Mirror 1	2806,084	-1838,550	REFL
Mirror 2	2547,909	1937,744	REFL
Mirror 3	678,009	0,000	REFL
STOP	INFINITY	-321,297	
Mirror 4	724,986	451,996	REFL
Image	INFINITY	0,000	

Coefficient	M1	M2	M3	M4	Image
Y-decenter	-60,550	48,435	58,618	51,407	8,786
X-rotation	-2,354	-2,502	-3,516	-1,667	-4,515

- 93 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4
K	-9,97E-01	3,10E-02	2,78E+00	8,33E-01
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	5,76E-04	3,29E-05	3,77E-04	7,34E-04
Y2	2,85E-04	8,60E-06	-2,80E-04	4,86E-04
X2Y	-1,58E-06	7,59E-11	2,37E-06	4,69E-08
Y3	5,91E-07	1,16E-08	-3,82E-07	-6,08E-07
X4	2,12E-09	2,57E-11	-2,39E-08	4,09E-10
X2Y2	1,66E-08	1,07E-10	-5,49E-08	-8,60E-10
Y4	-4,86E-11	3,13E-11	-4,63E-08	-1,53E-09
X4Y	-3,03E-11	-5,49E-14	1,73E-10	3,15E-12
X2Y3	-6,10E-11	-1,55E-13	1,88E-10	-7,52E-12
Y5	-4,20E-12	-4,44E-14	1,11E-10	-3,72E-12
X6	9,54E-15	3,01E-17	-7,88E-13	-2,46E-14
X4Y2	2,14E-13	4,63E-16	-2,74E-12	-1,59E-13
X2Y4	1,12E-14	3,89E-16	-3,32E-12	-1,92E-13
Y6	1,65E-15	2,47E-17	-1,30E-12	-7,78E-14
X6Y	-2,26E-16	-1,54E-19	8,48E-15	-1,53E-16
X4Y3	-5,47E-16	-7,87E-19	1,15E-14	-6,67E-16
X2Y5	5,78E-16	-3,98E-19	3,95E-15	-3,91E-16
Y7	1,29E-18	-6,38E-21	-3,30E-15	4,66E-16
X8	2,43E-19	3,50E-23	-1,57E-17	-1,17E-18
X6Y2	3,79E-19	4,92E-22	-9,74E-17	-7,71E-18
X4Y4	2,03E-21	1,04E-21	-1,74E-16	-1,21E-17
X2Y6	-1,22E-18	4,66E-22	-1,42E-16	-7,08E-18
Y8	1,73E-20	1,30E-23	-4,17E-17	1,05E-18
X8Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y5	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y7	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y9	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X8Y2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X6Y4	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X4Y6	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2Y8	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y10	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Nradius	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

- 94 -

X _{Object} /mm	Y _{Object} /mm	Distortion (x)/nm	Distortion (y)/nm	Absolute Value of Distortion/nm	Telecentricity/ Degrees	Wavefront Error at 13,5 nm
0	600	0	-0.166318	0.166318	0.0148053	0.053501
0	602	0	-0.731572	0.731572	0.00884521	0.019284
0	604	0	-0.661487	0.661487	0.00282744	0.038268
0	606	0	-0.504836	0.504836	0.0032483	0.021472
0	608	0	-0.810627	0.810627	0.00938234	0.047628
12.5	600	-0.852921	0.132616	0.863169	0.0186158	0.052338
12.5	602	-0.193958	-0.398416	0.44312	0.0145478	0.024553
12.5	604	0.181685	-0.303572	0.353787	0.0121468	0.042437
12.5	606	0.270096	-0.131573	0.300439	0.012504	0.02662
12.5	608	0.0673771	-0.431381	0.436611	0.0154976	0.048115
25	600	-1.29433	0.754312	1.49809	0.0270423	0.048536
25	602	-0.101019	0.323398	0.338808	0.0247903	0.031643
25	604	0.524636	0.489914	0.717815	0.0238524	0.049015
25	606	0.574789	0.705289	0.909844	0.0244236	0.033313
25	608	0.0416169	0.420711	0.422764	0.0264463	0.04856
37.5	600	-1.11433	0.871449	1.41462	0.0371683	0.044918
37.5	602	0.363273	0.598909	0.700471	0.0359881	0.032203
37.5	604	0.986834	0.876191	1.31968	0.0357827	0.049123
37.5	606	0.744538	1.15498	1.37416	0.0365972	0.031801
37.5	608	-0.375406	0.886699	0.962894	0.0383944	0.049913
50	600	-0.505166	-0.901506	1.03339	0.0480691	0.060875
50	602	0.879494	-0.970155	1.30947	0.0476135	0.036681
50	604	1.12068	-0.556047	1.25104	0.0479137	0.044354
50	606	0.202525	-0.20714	0.289695	0.0489775	0.03033

FIGS. 34 to 36 show lateral aberrations in the coordinate system of the exit pupil of the objective according to FIG. 33.

FIGS. 37 to 40 show another embodiment of the invention having four mirrors being all designed as freeform surfaces. Depicted is the object plane 3000, the image plane 3002, a first mirror S1, a second mirror S2, a third mirror S3, a fourth mirror S4. All subsequent tables with optical data refer to the mirrors S1 to S4 as M1 to M4. For the embodiment according to FIGS. 37 to 40, the following data are given:

- 95 -

Numerical aperture:	0.20
Imaging factor:	1:4
Form of object fields:	rectangular
Width of scanning field on the object side:	100 mm
Height of scanning field on the object side:	8 mm
Length:	2084 mm
Tilt of image plane:	+ 6,890°.

This embodiment shows a mirror arrangement, giving high chief ray angles with respect to the normal of the object plane. This facilitates a separation of a not shown illumination ray path and the imaging ray path at a reflective mask or reticle. Further, the maximum angles of incidence on the mirror surfaces are somewhat lower in this embodiment, facilitating the manufacturing of multi-layer reflective structures.

The optical data can be seen from the following tables:

Surface	Radius	Thickness	Mode
Object	INFINITY	1781,972	
Mirror 1	21581,586	-1639,081	REFL
Mirror 2	4053,640	1376,461	REFL
Mirror 3	1254,488	0,000	REFL
STOP	INFINITY	-1067,803	
Mirror 4	1733,205	1632,838	REFL
Image	INFINITY	0,000	

- 96 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4	Image
Y-decenter	-29,501	-2,134	-5,508	-0,487	5,838
X-rotation	-0,812	0,034	2,908	1,105	6,890

Coefficient	M1	M2	M3	M4
K	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Y	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
X2	2,80E-04	1,47E-05	-6,54E-04	-1,23E-04
Y2	1,13E-04	7,15E-05	-1,55E-04	-2,14E-05
X2Y	-8,62E-09	-9,59E-08	-2,20E-07	-1,32E-08
Y3	1,51E-07	5,42E-08	1,12E-07	3,86E-08
X4	2,07E-09	-1,04E-10	-6,16E-10	-7,05E-11
X2Y2	-3,64E-09	-1,00E-10	-4,18E-10	-3,95E-11
Y4	-2,70E-11	-3,46E-10	1,32E-09	5,30E-11
X4Y	-2,72E-11	-2,99E-13	1,86E-13	-6,90E-15
X2Y3	1,52E-11	2,29E-13	-1,45E-12	8,75E-14
Y5	-1,49E-12	4,09E-13	5,04E-12	2,35E-14
X6	-2,54E-14	-8,99E-17	-3,11E-16	-5,52E-17
X4Y2	7,40E-14	1,26E-15	-2,70E-15	-2,62E-17
X2Y4	-1,14E-14	-2,54E-15	1,21E-14	1,83E-16
Y6	1,69E-15	1,03E-16	-3,69E-15	6,00E-17
X6Y	-6,30E-17	4,44E-20	-8,25E-18	2,20E-20
X4Y3	6,36E-17	-1,53E-18	-3,51E-17	2,26E-19
X2Y5	-7,58E-17	4,16E-18	3,32E-17	-9,30E-20
Y7	-9,34E-19	-2,88E-19	3,35E-17	8,72E-20
X8	7,35E-18	3,66E-21	-3,46E-20	-7,26E-24
X6Y2	3,71E-18	1,22E-20	-3,57E-20	5,68E-22
X4Y4	3,71E-19	-4,74E-21	3,56E-19	-5,19E-22
X2Y6	1,26E-19	1,19E-21	4,63E-20	-8,91E-22
Y8	3,67E-21	-8,04E-22	3,00E-20	1,91E-22
X8Y	-6,70E-20	-8,52E-23	8,72E-23	1,96E-24
X6Y3	-1,92E-20	-1,06E-22	6,48E-22	2,15E-24
X4Y5	-4,59E-21	-2,85E-23	9,86E-22	-3,07E-24
X2Y7	7,55E-23	-1,72E-23	1,23E-21	-2,46E-24
Y9	3,46E-26	3,04E-24	-2,25E-22	3,35E-25
X10	5,05E-23	6,75E-26	1,03E-24	1,46E-27
X8Y2	1,43E-22	2,53E-25	4,57E-24	4,54E-27
X6Y4	2,81E-23	2,06E-25	2,76E-24	2,39E-27
X4Y6	7,66E-24	9,23E-26	-2,58E-24	-1,86E-27
X2Y8	-1,40E-25	2,75E-26	-6,32E-25	-2,02E-27
Y10	1,61E-27	-2,48E-27	6,81E-25	1,93E-28
Nradius	2,00E+00	2,00E+00	2,00E+00	2,00E+00

- 97 -

X _{Object/mm}	Y _{Object/mm}	Distortion (x)/nm	Distortion (y)/nm	Absolute Value of Distortion/nm	Telecentricity/ Degrees	Wavefront Error at 13,5 nm
0	800	0	-0.366434	0.366434	0.0198854	0.093978
0	802	0	-0.0892875	0.0892875	0.0104067	0.015958
0	804	0	-0.0777646	0.0777646	0.0009187	0.032744
0	806	0	0.0405964	0.0405964	0.0085785	0.042489
0	808	0	0.661542	0.661542	0.018085	0.028159
12.5	800	0.0955838	-0.353342	0.366042	0.0306806	0.091554
12.5	802	-0.0573173	-0.0687788	0.089531	0.0256084	0.020828
12.5	804	-0.106637	-0.0760641	0.130985	0.0234513	0.03637
12.5	806	-0.0613664	-0.00241775	0.061414	0.0249869	0.044044
12.5	808	0.0696061	0.543237	0.552638	0.0296558	0.030805
25	800	0.115633	-0.279658	0.302621	0.0507857	0.08257
25	802	-0.184329	0.0221776	0.185658	0.047943	0.024249
25	804	-0.278855	-0.0466988	0.282738	0.0468785	0.040154
25	806	-0.1860	-0.112547	0.2174	0.0477167	0.043512
25	808	0.0763955	0.221706	0.234499	0.050368	0.032565
37.5	800	0.146594	-0.0521759	0.155602	0.072869	0.065923
37.5	802	-0.292306	0.261705	0.392342	0.0709743	0.020204
37.5	804	-0.42743	0.0728035	0.433586	0.0703175	0.037534
37.5	806	-0.286029	-0.243519	0.375651	0.0709367	0.034303
37.5	808	0.104968	-0.288511	0.307012	0.0728031	0.030384
50	800	0.555156	0.451152	0.715358	0.095576	0.062457
50	802	-0.0193915	0.746217	0.746469	0.0941997	0.044595
50	804	-0.197219	0.352291	0.403738	0.0937666	0.049527
50	806	-0.0149766	-0.352951	0.353268	0.0942927	0.040292
50	808	0.491125	-0.968364	1.08579	0.0957648	0.053486

FIGS. 38 to 40 show lateral aberrations in the coordinate system of the exit pupil of the objective according to FIG. 37.

FIGS. 41 to 44 show another embodiment of the invention having four mirrors being all designed as freeform surfaces. Depicted is the object plane 3000, the image plane 3002, a first mirror S1, a second mirror S2, a third mirror S3, a fourth mirror S4. All subsequent tables with optical data refer to the mirrors S1 to S4 as M1 to M4. For the embodiment according to FIGS. 41 to 44, the following data are given:

- 98 -

Numerical aperture:	0.22
Imaging factor:	1:4
Form of object fields:	rectangular
Width of scanning field on the object side:	100 mm
Height of scanning field on the object side:	6 mm
Length:	1610 mm
Tilt of image plane:	- 3,269°.

This optical system has a full object field width of 100 mm combined with a high numerical aperture and a length being distinctly below 2 m.

The optical data can be seen from the following tables:

Surface	Radius	Thickness	Mode
Object	INFINITY	1401,362	
Mirror 1	2056,786	-1173,664	REFL
Mirror 2	1698,638	1307,130	REFL
Mirror 3	485,224	0,000	REFL
STOP	INFINITY	-242,471	
Mirror 4	500,544	317,875	REFL
Image	INFINITY	0,000	

Coefficient	M1	M2	M3	M4	Image
Y-decenter	-39,335	41,119	28,409	29,500	20,214
X-rotation	-2,559	-2,218	-2,171	-1,946	-3,269

- 99 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4
K	1,99E-01	1,77E-02	-1,87E+00	4,88E-01
Y	2,81E-02	1,37E-02	3,55E-02	7,69E-03
X2	2,26E-04	3,48E-06	-4,91E-04	-4,94E-05
Y2	1,03E-04	5,88E-06	4,66E-05	1,24E-04
X2Y	-2,82E-07	-2,37E-09	6,97E-07	5,91E-08
Y3	2,75E-07	1,70E-08	1,19E-07	-2,41E-07
X4	9,82E-10	1,81E-11	4,96E-08	-2,57E-09
X2Y2	3,25E-10	7,65E-11	1,17E-07	-1,97E-09
Y4	3,00E-10	3,51E-11	5,55E-08	-1,12E-09
X4Y	1,63E-12	-5,37E-14	6,00E-11	-1,49E-12
X2Y3	7,72E-12	-1,83E-13	5,59E-11	-5,50E-12
Y5	-1,69E-12	-2,87E-14	1,06E-10	-7,08E-12
X6	-7,06E-13	-2,35E-16	7,97E-13	-3,51E-14
X4Y2	-1,89E-13	2,95E-16	2,92E-12	-2,27E-13
X2Y4	-2,95E-14	8,47E-16	3,43E-12	-8,71E-14
Y6	-6,58E-15	6,72E-17	1,51E-12	2,45E-13
X6Y	1,66E-14	2,27E-18	-5,35E-15	-1,05E-16
X4Y3	3,03E-16	-1,68E-18	-1,54E-14	-4,92E-15
X2Y5	3,34E-17	-1,58E-18	8,39E-15	-7,28E-18
Y7	6,29E-18	-9,72E-20	-1,58E-14	4,60E-15
X8	-8,43E-18	-5,58E-22	3,34E-17	-1,03E-18
X6Y2	-1,36E-16	-3,42E-21	2,48E-16	-4,99E-17
X4Y4	1,67E-17	1,04E-20	5,35E-16	-1,22E-16
X2Y6	-1,28E-19	2,47E-21	1,70E-16	1,96E-17
Y8	2,31E-20	2,12E-22	1,26E-17	2,70E-17
X8Y	6,81E-20	-6,83E-25	1,95E-18	-2,10E-19
X6Y3	4,40E-19	-1,21E-23	8,94E-18	-1,50E-18
X4Y5	-1,14E-19	-2,41E-23	2,11E-18	-1,40E-18
X2Y7	1,00E-21	-2,59E-24	-2,62E-18	2,58E-19
Y9	1,76E-22	-1,04E-25	4,55E-19	4,95E-20
X10	4,15E-23	1,40E-27	1,03E-21	-3,22E-22
X8Y2	-8,40E-23	8,23E-27	-2,65E-20	-3,81E-21
X6Y4	-4,40E-22	2,75E-26	-1,15E-19	-1,13E-20
X4Y6	2,15E-22	2,05E-26	-6,68E-20	-5,18E-21
X2Y8	-2,36E-24	2,35E-27	1,73E-20	1,16E-21
Y10	-4,82E-25	1,60E-28	7,05E-21	6,71E-23
Nradius	2,00E+00	2,00E+00	2,00E+00	2,00E+00

- 100 -

XObject/mm	YObject/mm	Distortion (x)/nm	Distortion (y)/nm	Absolute Value of Distortion/nm	Telecentricity/ Degrees	Wavefront Error at 13,5 nm
0	400	0	-1.00949	1.00949	0.0229582	0.016806
0	401.5	0	-1.95078	1.95078	0.0133671	0.014259
0	403	0	-1.62222	1.62222	0.00369148	0.023621
0	404.5	0	-1.10626	1.10626	0.00606921	0.019377
0	406	0	-1.48681	1.48681	0.0159156	0.012538
12.5	400	-0.880918	-0.237177	0.912288	0.0242612	0.029659
12.5	401.5	-0.966915	-1.11354	1.47475	0.0158373	0.024479
12.5	403	-0.748886	-0.752973	1.06198	0.00983379	0.029615
12.5	404.5	-0.234325	-0.238253	0.334175	0.0114533	0.0278
12.5	406	0.569207	-0.653615	0.866723	0.0189539	0.028612
25	400	-0.712509	1.51156	1.67107	0.0278372	0.041582
25	401.5	-1.05587	0.817705	1.33548	0.0216593	0.031971
25	403	-0.794449	1.26023	1.48974	0.0186545	0.033731
25	404.5	0.0563116	1.75538	1.75628	0.0204067	0.035112
25	406	1.48083	1.21794	1.91735	0.0260668	0.043885
37.5	400	0.775815	2.32893	2.45475	0.0330354	0.035552
37.5	401.5	-0.220665	1.89815	1.91094	0.0289732	0.019017
37.5	403	-0.318211	2.43041	2.45116	0.0278179	0.018555
37.5	404.5	0.458907	2.84034	2.87718	0.0299911	0.023281
37.5	406	2.08622	2.04109	2.91862	0.0349482	0.041572
50	400	2.20545	-1.61745	2.73499	0.0393365	0.049861
50	401.5	-0.163904	-1.76675	1.77434	0.0370418	0.045563
50	403	-1.35027	-1.20714	1.81119	0.0372211	0.042817
50	404.5	-1.38792	-1.02622	1.72611	0.0399036	0.036919
50	406	-0.3114	-2.31311	2.33398	0.0446971	0.041068

FIGS. 42 to 44 show lateral aberrations in the coordinate system of the exit pupil of the objective according to FIG. 41.

FIGS. 45 to 48 show another embodiment of the invention having four mirrors being all designed as freeform surfaces. Depicted is the object plane 3000, the image plane 3002, a first mirror S1, a second mirror S2, a third mirror S3, a fourth mirror S4. All subsequent tables with optical data refer to the mirrors S1 to S4 as M1 to M4. For the embodiment according to FIGS. 45 to 48, the following data are given:

- 101 -

Numerical aperture:	0.2
Imaging factor:	1:4
Form of object fields:	rectangular
Width of scanning field on the object side:	48 mm
Height of scanning field on the object side:	6 mm
Length:	805 mm
Tilt of image plane:	- 3,254

Having a somewhat smaller object field, this optical system is very compact.

The optical data can be seen from the following tables:

Surface	Radius	Thickness	Mode
Object	INFINITY	700,681	
Mirror 1	1028,806	-586,789	REFL
Mirror 2	849,319	653,594	REFL
Mirror 3	242,363	0,000	REFL
STOP	INFINITY	-121,170	
Mirror 4	250,164	158,873	REFL
Image	INFINITY	0,000	

Coefficient	M1	M2	M3	M4	Image
Y-decenter	-19,604	20,562	14,246	14,754	10,066
X-rotation	-2,555	-2,217	-2,176	-1,945	-3,254

- 102 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4
K	1,85E-01	1,74E-02	-1,85E+00	4,82E-01
Y	1,40E-02	6,82E-03	1,78E-02	3,82E-03
X2	1,12E-04	1,78E-06	-2,41E-04	-2,19E-05
Y2	5,11E-05	2,94E-06	2,25E-05	6,32E-05
X2Y	-1,50E-07	-2,03E-09	2,40E-07	6,62E-09
Y3	1,37E-07	8,46E-09	9,10E-08	-1,22E-07
X4	6,14E-10	1,05E-11	2,48E-08	-1,21E-09
X2Y2	1,18E-10	3,69E-11	5,87E-08	-8,27E-10
Y4	1,49E-10	1,75E-11	2,85E-08	-6,21E-10
X4Y	-4,96E-13	-4,03E-14	2,70E-11	-1,87E-12
X2Y3	3,75E-12	-9,18E-14	2,66E-11	-3,21E-12
Y5	-8,45E-13	-1,45E-14	5,11E-11	-3,08E-12
X6	-4,48E-13	-1,55E-16	4,07E-13	-1,32E-14
X4Y2	-9,93E-14	1,76E-16	1,48E-12	-1,34E-13
X2Y4	-1,45E-14	4,25E-16	1,72E-12	-4,41E-14
Y6	-3,27E-15	3,37E-17	5,96E-13	1,31E-13
X6Y	9,85E-15	1,26E-18	-4,00E-15	9,75E-18
X4Y3	2,03E-16	-8,24E-19	-7,92E-15	-2,79E-15
X2Y5	2,17E-17	-7,96E-19	4,39E-15	-2,79E-17
Y7	3,42E-18	-4,69E-20	-7,86E-15	2,14E-15
X8	-9,51E-18	-1,05E-21	2,00E-17	-1,48E-18
X6Y2	-7,13E-17	7,34E-23	1,55E-16	-3,11E-17
X4Y4	8,72E-18	5,00E-21	2,91E-16	-5,52E-17
X2Y6	-6,01E-20	1,22E-21	8,06E-17	1,21E-17
Y8	1,39E-20	1,11E-22	2,93E-17	1,34E-17
X8Y	8,76E-20	3,22E-24	1,62E-18	-1,88E-19
X6Y3	1,77E-19	-1,60E-23	6,77E-18	-9,63E-19
X4Y5	-6,03E-20	-1,18E-23	-5,88E-20	-5,35E-19
X2Y7	3,31E-22	-1,26E-24	-1,35E-18	1,61E-19
Y9	9,94E-23	-4,83E-26	9,84E-20	4,93E-20
X10	2,39E-23	5,19E-28	-1,04E-21	-2,67E-22
X8Y2	-1,62E-22	8,70E-28	-3,92E-20	-3,09E-21
X6Y4	-5,01E-23	2,68E-26	-9,03E-20	-7,21E-21
X4Y6	1,13E-22	1,01E-26	-3,00E-20	-1,55E-21
X2Y8	-8,02E-25	1,14E-27	9,53E-21	7,07E-22
Y10	-3,08E-25	6,63E-29	3,03E-21	1,68E-22
Nradius	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00

- 103 -

XObject/mm	YObject/mm	Distortion (x)/nm	Distortion (y)/nm	Absolute Value of Distortion/nm	Telecentricity/ Degrees	Wavefront Error at 13,5 nm
0	200	0	0.448311	0.448311	0.0429146	0.030026
0	201.5	0	-2.47405	2.47405	0.0235631	0.014465
0	203	0	-0.967497	0.967497	0.00387066	0.028481
0	204.5	0	0.932079	0.932079	0.0161673	0.017921
0	206	0	-0.816331	0.816331	0.0365555	0.020854
6	200	-0.229332	0.72028	0.755908	0.0429896	0.031915
6	201.5	-0.764827	-2.11395	2.24805	0.0241369	0.015911
6	203	-0.727117	-0.578603	0.929236	0.00803243	0.028531
6	204.5	-0.144224	1.28903	1.29708	0.018286	0.019129
6	206	0.955191	-0.553491	1.10397	0.0378693	0.025583
12	200	0.0887838	1.34107	1.34401	0.0432387	0.034302
12	201.5	-1.10902	-1.23729	1.66157	0.0258287	0.016652
12	203	-1.16563	0.372291	1.22364	0.0146925	0.027176
12	204.5	-0.139014	2.12835	2.13289	0.0235883	0.019707
12	206	1.91157	-0.015856	1.91164	0.0416026	0.033254
18	200	1.27353	1.60761	2.05092	0.0437339	0.03238
18	201.5	-0.903733	-0.573284	1.07023	0.0285705	0.014127
18	203	-1.38256	1.11952	1.77898	0.0218489	0.02358
18	204.5	-0.254443	2.63758	2.64983	0.0306063	0.015334
18	206	2.38718	-0.072959	2.38829	0.0472927	0.036701
24	200	3.13573	-0.027319	3.13585	0.0445949	0.032197
24	201.5	-0.646294	-1.71453	1.8323	0.0322942	0.028012
24	203	-2.18957	0.0094815	2.18959	0.0293844	0.032097
24	204.5	-1.62383	1.08662	1.95386	0.0386179	0.018853
24	206	0.918622	-2.54687	2.70747	0.0544894	0.035386

FIGS. 46 to 48 show lateral aberrations in the coordinate system of the exit pupil of the objective according to FIG. 45.

All embodiments shown in FIGS. 17 to 52 show optical systems having a rectangular object field.

FIGS. 49 to 50 show another embodiment of the invention having four mirrors being all designed as freeform surfaces. Depicted is the object plane 3000, the image plane 3002, a first mirror S1, a second mirror S2, a third mirror S3, a

- 104 -

fourth mirror S4. All subsequent tables with optical data refer to the mirrors S1 to S4 as M1 to M4. For the embodiment according to FIGS. 49 to 50, the following data are given:

Numerical aperture:	0.22
Imaging factor:	1:4
Form of object fields:	ring segments having a radius of 600 mm and an azimuth angle of $-4,8^\circ < \varphi < +4,8^\circ$
Width of scanning field on the object side:	100 mm
Height of scanning field on the object side:	8 mm
Length:	2418 mm
Tilt of image plane:	$-3,284^\circ$.

This embodiment shows that the design advantages are transferable to optical systems with non-rectangular object fields.

The optical data can be seen from the following tables:

Surface	Radius	Thickness	Mode
Object	INFINITY	2102,043	
Mirror 1	3086,275	-1760,111	REFL
Mirror 2	2547,993	1960,753	REFL
Mirror 3	727,984	0,000	REFL
STOP	INFINITY	-360,225	
Mirror 4	749,971	475,405	REFL
Image	INFINITY	0,000	

Coefficient	M1	M2	M3	M4	Image
Y-decenter	-59,076	61,644	42,310	44,405	30,452
X-rotation	-2,561	-2,218	-2,136	-1,933	-3,284

- 105 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4
K	2,00E-01	1,89E-02	-1,89E+00	4,80E-01
Y	4,23E-02	2,05E-02	5,14E-02	1,08E-02
X2	3,46E-04	6,56E-06	-7,12E-04	-6,02E-05
Y2	1,53E-04	8,72E-06	8,61E-05	1,95E-04
X2Y	-4,18E-07	4,24E-10	1,15E-06	1,02E-07
Y3	4,10E-07	2,56E-08	1,76E-07	-4,73E-07
X4	2,12E-09	2,92E-11	7,50E-08	-3,49E-09
X2Y2	5,90E-10	1,00E-10	1,77E-07	-2,72E-09
Y4	4,49E-10	5,40E-11	8,13E-08	-1,87E-09
X4Y	-3,35E-11	-1,41E-13	9,25E-11	-4,80E-12
X2Y3	1,08E-11	-2,57E-13	6,96E-11	-2,94E-11
Y5	-2,41E-12	-4,00E-14	1,39E-10	-5,57E-12
X6	-3,85E-13	-3,65E-17	1,18E-12	-4,06E-14
X4Y2	2,15E-13	8,00E-16	4,59E-12	-3,08E-13
X2Y4	-4,13E-14	1,38E-15	5,36E-12	-5,08E-13
Y6	-8,84E-15	1,00E-16	1,93E-12	4,48E-13
X6Y	7,18E-15	-4,72E-19	-7,85E-15	1,73E-15
X4Y3	-6,02E-16	-1,61E-18	-1,51E-14	2,44E-16
X2Y5	7,75E-17	-2,49E-18	1,58E-14	-2,98E-15
Y7	1,31E-17	-1,67E-19	-2,79E-14	6,45E-15
X8	-1,06E-17	-5,96E-22	5,82E-17	5,31E-18
X6Y2	-3,13E-17	1,16E-20	2,73E-16	2,65E-17
X4Y4	1,56E-18	3,02E-21	3,20E-16	6,02E-17
X2Y6	-2,21E-19	2,55E-21	-6,39E-18	3,59E-17
Y8	1,87E-20	3,05E-22	6,46E-17	2,87E-17
X8Y	7,61E-20	-2,02E-24	3,28E-18	-4,79E-20
X6Y3	-7,15E-20	-4,82E-23	1,05E-17	-4,21E-19
X4Y5	-2,92E-21	-1,16E-24	-3,75E-18	7,33E-19
X2Y7	1,11E-22	-5,59E-25	-4,58E-18	5,27E-19
Y9	3,34E-24	-4,27E-27	8,58E-19	1,71E-20
X10	1,71E-23	2,57E-28	-2,76E-21	-5,14E-22
X8Y2	-2,62E-23	1,39E-26	-1,87E-20	-3,15E-21
X6Y4	4,86E-22	5,94E-26	-2,67E-20	-6,00E-21
X4Y6	-9,99E-24	-5,21E-28	6,16E-20	3,68E-21
X2Y8	6,99E-25	7,71E-28	3,25E-20	2,02E-21
Y10	1,70E-26	1,19E-29	1,19E-20	9,56E-23
Nradius	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00	3,00E+00

- 106 -

X _{Object/mm}	Y _{Object/mm}	Distortion (x)/nm	Distortion (y)/nm	Absolute Value of Distortion/nm	Telecentricity/ Degrees	Wavefront Error at 13,5 nm
0	600	0	-0.892917	0.892917	0.0133679	0.012256
0	602	0	-0.841667	0.841667	0.00534092	0.016933
0	604	0	0.0201694	0.0201694	0.00275272	0.021805
0	606	0	0.379474	0.379474	0.0109134	0.010404
0	608	0	-1.08242	1.08242	0.0191416	0.02706
12.5655	599.868	-0.463563	-0.551102	0.720142	0.0164908	0.01867
12.6073	601.868	-0.477332	-0.590644	0.759412	0.0108284	0.018161
12.6492	603.868	-0.257454	0.245037	0.355423	0.0095748	0.022897
12.6911	605.867	0.191813	0.643426	0.671409	0.0140875	0.014667
12.733	607.867	0.866074	-0.713531	1.12215	0.0209974	0.029184
25.1254	599.474	-0.531595	0.291324	0.606187	0.0234981	0.028751
25.2091	601.472	-0.737092	-0.0428674	0.738337	0.0195942	0.018248
25.2929	603.47	-0.47659	0.691569	0.839884	0.0185603	0.0228
25.3766	605.468	0.241321	1.18393	1.20828	0.0209057	0.018522
25.4604	607.467	1.40777	0.117965	1.4127	0.0257861	0.030662
37.6743	598.816	0.166072	1.07231	1.08509	0.0319492	0.037305
37.7999	600.812	-0.597255	0.172817	0.621755	0.0288103	0.012352
37.9255	602.808	-0.665059	0.662666	0.938845	0.0277044	0.017593
38.0511	604.804	-0.0504098	1.23414	1.23517	0.0289218	0.01636
38.1766	606.8	1.23319	0.573939	1.36021	0.0322511	0.025322
50.2067	597.896	1.97056	0.813316	2.13181	0.0409886	0.048287
50.3741	599.889	0.0758373	-1.03335	1.03613	0.0381837	0.020354
50.5414	601.882	-0.898661	-1.045	1.37827	0.0369235	0.027327
50.7088	603.875	-0.970685	-0.525246	1.10368	0.0374078	0.03097
50.8761	605.868	-0.159467	-1.30833	1.31801	0.0398057	0.030446

FIG. 50 shows lateral aberrations in the coordinate system of the exit pupil of the objective according to FIG. 49.

FIG. 51 shows another embodiment of the invention having six mirrors being all designed as freeform surfaces. Depicted is the object plane 3000, the image plane 3002, a first mirror M1, a second mirror M2, a third mirror M3, a fourth mirror M4, a fifth mirror M5 and a sixth mirror M6. This projection objective has an image side numerical aperture of 0,40. The field shape is rectangular with a width of 26 mm and a height of 2 mm. The operating wavelength is

- 107 -

13,5 nm. The sequence of optical power of mirrors is PNPNNP. This optical system has one intermediate image between mirrors M4 and M5. The entrance pupil of this projection objective is located 1000 mm from object plane 3000, with the object plane 3000 positioned between the entrance pupil and the mirrors. The tracklength is 1736 mm. The object image shift is 65 mm. The optical path length is 4827 mm.

The performance of this projection objective includes an image-side W_{rms} of $0,037 \lambda$. Distortion is smaller than 12 nm. Image-side field curvature is 25 nm.

The chief ray angle of the central field point at the object is 7° . The maximum variation of chief ray angles at object plane 3000 is 0,82.

The dimension of the footprint of each mirror, given as $M_x \times M_y$ is as follows: 323 mm x 215 mm for mirror M1; 131 mm x 102 mm for mirror M2; 267 mm x 183 mm for mirror M3; 70 mm x 52 mm for mirror M4; 124 mm x 109 mm for mirror M5; 447 mm x 433 mm for mirror M6.

The chief ray angle of incidence for the central field point for the mirrors M1 to M6 is $4,06^\circ$; $11,34^\circ$; $12,20^\circ$; $31,60^\circ$; $12,27^\circ$ and $7,64^\circ$. The maximum angles of incidence in meridional section for the mirrors M1 to M6 is $4,96^\circ$; $12,38^\circ$; $16,54^\circ$; $41,24^\circ$; $29,42^\circ$ and $9,25^\circ$. The bandwidth of angle of incidence in meridional section for mirrors M1 to M6 is $1,08^\circ$; $2,71^\circ$; $9,83^\circ$; $22,72^\circ$; $29,13^\circ$ and $4,28^\circ$. Mirrors M2 and M4 have freeboards that are more than 5mm and less than 25 mm. Mirror M3 has positive chief ray angle magnification while mirrors M1, M2, M4 and M5 have negative chief ray angle magnification.

The image-side free working distance of this projection objective is 45 mm.

The object-side free working distance is 400 mm.

- 108 -

In this projection objective, d_{OP-1}/d_{OP-2} is 2,67. Further, reticle and mirror M1 as well as mirrors M2 and M3 are separated by more than 50 % of the projection objective tracklength.

Data for the projection objective of FIG. 51 is presented in Tables 8A, 8B below. Table 8A presents optical data, while Table 8B presents aspherical constants for each of the mirror surfaces.

Surface	Radius	Thickness	Mode
Object	INFINITY	1067,761	
Mirror 1	-1219,687	-668,241	REFL
Mirror 2	-747,811	1291,054	REFL
Mirror 3	-969,893	-374,588	REFL
Mirror 4	-549,105	374,588	REFL
Mirror 5	470,063	-502,811	REFL
Mirror 6	618,025	547,811	REFL
Image	INFINITY	0.000	

Table 8A

- 109 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4	M5	M6
K	5.078166E-01	2.515234E+00	4.458912E-01	-5.135256E+00	3.709497E+00	1.305537E-01
Y	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X2	-4.229616E-06	4.423002E-05	-1.137338E-04	6.243736E-04	-4.439433E-04	1.714681E-05
Y2	-2.042693E-05	-3.200090E-04	-1.490188E-04	4.230830E-05	-3.941063E-04	1.369711E-05
X2Y	-2.456512E-08	-1.681122E-06	1.278895E-08	1.439095E-06	1.109021E-07	-7.066857E-09
Y3	-1.017618E-08	-1.085440E-06	-9.040764E-08	-8.248306E-07	6.038369E-07	-8.198184E-09
X4	2.532498E-11	-4.655202E-10	-6.082020E-11	-7.879275E-09	-9.475896E-10	-9.236663E-12
X2Y2	2.917327E-11	-4.875362E-09	-7.951092E-11	-6.364830E-09	-2.626820E-09	-1.778520E-11
Y4	1.116055E-11	9.584332E-10	-1.259982E-10	2.921676E-09	-8.367567E-10	-1.348267E-11
X4Y	-7.018800E-15	-9.924549E-12	-5.700215E-14	-7.337153E-11	-3.015573E-13	-5.057127E-15
X2Y3	-2.588267E-14	-2.065300E-11	-1.623609E-13	-4.830483E-11	-3.421535E-12	-8.177430E-15
Y5	-5.631482E-14	1.175099E-13	-3.257076E-14	2.900148E-11	-5.156003E-12	-7.754740E-16
X6	2.507037E-17	7.181890E-15	-6.970398E-17	1.896541E-13	-2.402650E-14	-1.687447E-17
X4Y2	1.805398E-16	2.845435E-14	-1.726885E-16	-3.660328E-13	-3.460882E-14	-5.258270E-17
X2Y4	3.234883E-16	4.275982E-14	-3.443645E-16	-1.119940E-13	-2.515640E-14	-4.418332E-17
Y6	5.139221E-17	1.240058E-14	-4.807113E-19	2.665448E-14	-3.989968E-14	-9.729792E-18
X6Y	-1.655261E-20	2.112846E-16	-6.490967E-20	2.217817E-15	3.565159E-17	-2.533468E-21
X4Y3	6.406762E-19	7.287537E-16	-1.578781E-19	-1.022968E-15	-2.246920E-17	-9.556211E-21
X2Y5	1.095531E-18	4.084428E-16	-1.899934E-19	8.581644E-18	-4.609677E-16	-8.095822E-21
Y7	3.534107E-19	-1.119501E-16	-6.323108E-20	-1.566387E-16	-4.089822E-16	7.022063E-21
X8	-2.127854E-23	5.631762E-20	-1.645304E-22	-2.809082E-18	-2.426092E-19	-2.519698E-23
X6Y2	-2.911239E-22	1.595162E-18	1.240419E-22	8.883017E-18	-3.131391E-18	-1.169336E-22
X4Y4	2.052045E-21	3.313410E-18	-2.644748E-22	-1.246599E-18	-8.074234E-18	-1.413514E-22
X2Y6	2.303292E-21	8.331439E-19	-5.379641E-23	2.833584E-19	-6.891166E-18	-6.982184E-23
Y8	7.915735E-22	-4.495038E-19	-9.241853E-23	-3.000322E-19	-2.367176E-18	-1.381196E-23
X8Y	-3.633622E-25	-1.145501E-22	-8.423039E-26	-1.268652E-20	2.592347E-21	4.570116E-27
X6Y3	-1.500591E-24	1.545859E-21	6.330084E-25	1.171733E-20	1.459272E-21	1.168279E-26
X4Y5	2.954923E-24	3.997308E-21	1.050127E-26	-4.257185E-23	-1.756358E-22	1.479131E-26
X2Y7	1.472672E-24	3.951572E-22	8.889089E-29	-7.100170E-25	5.863402E-23	6.095900E-27
Y9	4.265712E-25	-3.958881E-23	-1.136961E-30	-9.034885E-27	7.298215E-25	4.531322E-28
X10	1.301003E-29	1.955419E-24	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X8Y2	-6.199954E-28	-8.094414E-25	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X6Y4	-1.564267E-27	-8.554437E-24	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X4Y6	2.214569E-27	1.149257E-24	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
X2Y8	-6.083137E-29	6.386629E-26	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Y10	1.486303E-30	1.060932E-26	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000E+00
Nradius	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00

Coefficient	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Y-decenter	248,450	92,818	-2,826	26,446	-4,799	29,811
X-rotation	8,882	-0,938	1,151	-1,082	-3,174	-3,333

Table 8B

- 110 -

The projection objective of FIG. 51 differs from the embodiments of FIGS. 3, 10, 11, 12, 13, 14 and 15 mainly in the shape of mirror M4. In contrast to these earlier described embodiments, mirror M4 of the embodiment of FIG. 51 is convex.

FIG. 52 shows another embodiment of the invention having six mirrors being all designed as freeform surfaces. Depicted is the object plane 3000, the image plane 3002, a first mirror M1, a second mirror M2, a third mirror M3, a fourth mirror M4, a fifth mirror M5 and a sixth mirror M6. This projection objective has an image side numerical aperture of 0,35. The field shape is rectangular with a width of 26 mm and a height of 2 mm. The operating wavelength is 13,5 nm. The sequence of optical power of mirrors is PPNPNP. This optical system has one intermediate image between mirrors M4 and M5. The entrance pupil of this projection objective is located on the image plane side of the object plane 3000 in a distance of 1749 mm. An aperture stop is positioned on mirror M2. The tracklength is 1700 mm. The object image shift is 41 mm. The optical path length is 4156 mm.

The performance of this projection objective includes an image-side W_{rms} of $0,020 \lambda$. Distortion is smaller than 1,1 nm. Image-side field curvature is 17 nm.

The chief ray angle of the central field point at the object is 6° . The maximum variation of chief ray angles at object plane 3000 is 0,58.

The dimension of the footprint of each mirror, given as $M_x \times M_y$ is as follows: 169 mm x 148 mm for mirror M1; 159 mm x 136 mm for mirror M2; 120 mm x 61 mm for mirror M3; 265 mm x 118 mm for mirror M4; 101 mm x 77 mm for mirror M5; 345 mm x 329 mm for mirror M6.

- 111 -

The chief ray angle of incidence for the central field point for the mirrors M1 to M6 is 8,11°; 9,49°; 21,03°; 8,01°; 13,67°; 5,03°. The maximum angle of incidence in meridional section for the mirrors M1 to M6 is 10,31°; 12,06°; 21,56°; 8,45°; 24,59°; 6,36°. The bandwidth of angle of incidence in meridional section for mirrors M1 to M6 is 4,56°; 5,34°; 1,85°; 1,23°; 22,98°; 3,16°. Mirror M4 has positive chief ray angle magnification while mirrors M1, M2, M3 and M5 have negative chief ray angle magnification.

The image-side free working distance of this projection objective is 45 mm. The object-side free working distance is 441 mm.

In this projection objective, d_{OP-1}/d_{OP-2} is 1,89. Further, mirrors M4 and M5 are separated by more than 50 % of the projection objective tracklength.

Data for the projection objective of FIG. 52 is presented in Tables 9A, 9B below. Table 9A presents optical data, while table 9B presents aspherical constants for each of the mirror surfaces.

Surface	Radius	Thickness	Mode
Object	INFINITY	831,483	
Mirror 1	-2519,290	-390,700	REFL
Mirror 2	1736,318	0,000	REFL
STOP	INFINITY	510,700	
Mirror 3	353,216	-404,591	REFL
Mirror 4	691,089	1108,132	REFL
Mirror 5	454,789	-432,650	REFL
Mirror 6	522,649	477,625	REFL

Table 9A

- 112 -

Coefficient	M1	M2	M3	M4	M5	M6
X	-5,620176E+01	-8,079329E+00	-8,913161E-01	-1,320517E+00	4,540035E+00	8,058603E-02
Y	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00	0,000000E+00
X2	-8,081674E-05	-2,443257E-05	-2,909041E-04	-5,514277E-05	-2,176416E-04	-1,481415E-05
Y2	-1,409006E-04	-8,853894E-05	-5,146801E-04	-2,593301E-05	1,796509E-04	7,215641E-06
X2Y	1,932586E-07	4,504714E-08	9,969292E-07	-1,801177E-07	1,153365E-06	5,683301E-09
Y3	-1,223280E-07	-1,884294E-08	-4,877028E-07	1,179942E-07	-2,117705E-07	-5,600182E-09
X4	-7,040228E-11	7,425419E-11	2,136430E-09	4,622733E-10	-1,333652E-09	-5,926598E-11
X2Y2	-1,318594E-10	1,067519E-10	9,622356E-09	-4,928633E-10	1,322772E-08	-2,894278E-11
Y4	6,586919E-11	1,598749E-10	9,875806E-10	8,019884E-10	3,924061E-09	1,500259E-11
X4Y	-1,333049E-12	9,551370E-14	4,142100E-11	7,245165E-13	-2,333334E-11	8,269178E-15
X2Y3	-7,486772E-12	-5,744418E-13	2,571945E-11	-5,121409E-12	-4,081436E-11	-1,142259E-14
Y5	-7,859762E-14	-1,146786E-12	1,015135E-12	7,149294E-13	-3,294173E-11	-6,514010E-14
X6	-1,349693E-17	-2,093126E-15	5,786287E-14	7,466543E-16	3,666869E-14	-1,312132E-16
X4Y2	-4,117907E-15	3,600153E-15	1,917870E-13	4,761724E-15	1,666994E-13	-1,600140E-16
X2Y4	2,686652E-14	2,433374E-14	1,452311E-14	-1,001928E-14	1,713311E-13	4,528614E-17
Y6	-6,985464E-16	-1,574024E-15	-4,040479E-15	1,285725E-15	3,233877E-13	1,795344E-18
X6Y	-6,324670E-18	1,672711E-17	6,549813E-16	7,589572E-18	1,109670E-15	7,389564E-20
X4Y3	1,633680E-16	-5,475446E-17	2,838607E-16	1,219368E-17	1,040774E-15	-3,901601E-20
X2Y5	2,578083E-17	-2,114042E-17	-3,191058E-17	-1,112382E-17	-4,281539E-15	-8,922758E-19
Y7	-5,352170E-18	-4,852332E-17	-8,778735E-18	1,658599E-18	-1,041652E-15	-5,361021E-19
X8	3,930907E-20	-3,041873E-20	1,620935E-18	3,142617E-21	-2,044671E-18	-3,471237E-22
X6Y2	2,642712E-19	1,926793E-19	2,461846E-18	4,103145E-20	9,496169E-18	-5,396836E-22
X4Y4	-1,209256E-18	7,815308E-19	2,461216E-20	2,400689E-20	2,006336E-17	4,153767E-23
X2Y6	-5,242330E-19	-2,345008E-19	-1,129636E-20	-4,573196E-22	-8,505126E-18	2,958769E-21
Y8	5,723961E-20	-4,523191E-19	2,359743E-20	2,441529E-21	2,039563E-17	1,076978E-21
X8Y	-5,843186E-22	4,059084E-22	1,256052E-20	1,926704E-23	-6,283441E-20	8,511910E-25
X6Y3	-1,725684E-21	-3,122858E-21	2,334258E-21	9,329420E-23	-1,729457E-19	2,027558E-25
X4Y5	4,331458E-21	-1,961697E-21	8,015847E-22	2,907419E-23	2,503951E-19	-5,006594E-24
X2Y7	1,628473E-21	-1,158132E-20	2,742066E-22	8,412546E-24	-3,164177E-19	-7,133872E-24
Y9	-2,174037E-22	-5,641899E-21	-6,405172E-23	1,117517E-24	1,693513E-19	-7,896547E-25
X10	3,942480E-26	-1,611794E-24	-3,181193E-25	1,249724E-27	-2,648224E-23	-6,952534E-28
X8Y2	2,026760E-24	2,715637E-24	2,416966E-23	3,491430E-26	-5,242301E-22	-5,078551E-27
X6Y4	3,177651E-24	1,517348E-23	-1,929381E-24	8,815740E-26	-7,408490E-22	-1,604907E-26
X4Y6	-6,089337E-24	-2,527074E-23	2,506522E-24	2,875808E-26	3,978023E-21	4,391294E-28
X2Y8	-1,609759E-24	-7,803424E-23	1,589355E-25	1,072608E-26	-2,716665E-21	4,653881E-27
Y10	2,665008E-25	-1,428174E-23	-2,253314E-25	5,234796E-28	1,510394E-21	-1,026184E-27
Nradius	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00

Coefficient	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Y-decenter	-107,723	-48,244	142,711	9,140	15,331	1,453
X-rotation	-3,086	0,713	-20,000	-1,900	0,245	2,474

Table 9B

- 113 -

The projection objective of FIG. 52 has chief rays converging to each other while starting from the object plane 3000.

Microlithography tools, such as microlithography tool 100 described above and shown in FIG. 1, can be used in the fabrication of semiconductor devices, such as semiconductor chips, liquid crystal display (LCD) panels, or arrays of charge coupled device (CCD) detectors, for example. Generally, the sequence of process steps used in the fabrication of semiconductor devices varies depending on the specific device being fabricated. FIG. 53 is a flow chart that shows an example of a sequence of steps in the manufacture of a semiconductor device. Initially, in step 5310 the producer designs the integrated circuit to be manufactured for the semiconductor device. Subsequently, in step 5320 masks (i.e., reticles) are produced based on the design of the integrated circuit. Prior to actually building the integrated circuit, wafers (e.g., silicon wafers) are prepared as indicated in step 5330. Next, the integrated circuit is formed on the wafer using the masks in a wafer processing step (step 5340). Details of wafer processing are discussed in greater detail below. After forming the integrated circuit in the wafer, the wafer is diced, bonded, and packaged to produce individual microchips (step 5350). These assembly steps are often referred to as post-processing. After assembly, the chips are inspected (step 5360). For example, the chips' operability and/or durability may be tested. Those devices that pass inspection step 5360 are subsequently shipped to the customer (step 5370).

FIG. 54 is a flow chart showing details of the wafer processing step. Generally, wafer processing involves forming a number of layers of various materials (e.g., conducting materials, semiconducting materials, and/or dielectric materials) on a wafer (Step 5410). One or more of these layers is patterned using a lithographic process (Step 5420). The layers can be formed

- 114 -

in a variety of ways. For example, forming the layer can involve oxidizing a surface of the wafer in an oxidation process step (Step 5411). In some embodiments, forming the layer involves depositing a material on a surface of the wafer, such as by chemical vapor deposition (CVD), for example (Step 5412). In certain embodiments, forming the layer involves an electrode forming process for forming electrodes on the wafer by vapor deposition, for example (Step 5412). Forming layers can involve an ion implanting process for implanting ions to the wafer (Step 5414).

After forming a layer of a material, the layer can be patterned using a lithographic process. This typically involves a resist process for applying a resist to the wafer (Step 5415). Step 5416 is an exposure process for printing, by exposure, the circuit pattern of the mask on the wafer using a lithography tool, such as lithography tool 100 described above. Step 5417 is a developing process in which the exposed resist is develop. After developing, portions of the wafer exposed by the developed resist are etched in an etching process (Step 5418). Finally, the remaining resist material is removed from the wafer in a resist separation process (Step 5419).

Steps 5410 and 5420 are repeated forming integrated circuits on the wafer. Embodiments can include additional process steps, such as wafer polishing, for example, before or after patterning a layer of material.

Other embodiments are in the claims.

Claims

1. Microlithography projection optical system, comprising:
a plurality of elements arranged to image radiation at a wavelength λ from an object plane to an image plane, at least one of the elements being a reflective element that has a rotationally asymmetric surface positioned in a path of the radiation,
wherein the rotationally asymmetric surface deviates from a best-fit rotationally symmetric surface by at least λ at at least one location.

2. The optical system of claim 1, wherein the best-fit rotationally asymmetric surface deviates by about 0.1λ or less from a surface corresponding to the equation:

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=2}^{\alpha} C_j x^m y^n$$

where

$$j = \frac{(m+n)^2 + m + 3n}{2} + 1,$$

z is the sag of the surface parallel to an axis, c is the vertex curvature and k is the conical constant, C_j is the coefficient of the monomial $x^m y^n$, and α is an integer.

3. The optical system of claim 1 wherein the rotationally asymmetric surface deviates from the best-fit rotationally symmetric surface by about 10λ or more at the one or more locations.
4. The optical system of claim 1 wherein the rotationally asymmetric surface deviates from the best-fit rotationally symmetric surface by about 20 nm or more at the one or more locations.

- 2 -

5. The optical system of claim 1 wherein the plurality of elements define a meridional plane and the elements are mirror symmetric with respect to the meridional plane.
6. The optical system of claim 1 wherein the plurality of elements comprises two elements that are reflective elements that have rotationally asymmetric surfaces positioned in a path of the radiation.
7. The optical system of claim 1 wherein the plurality of elements includes no more than two reflective elements that have a positive chief ray angle magnification.
8. The optical system of claim 7 wherein the plurality of elements includes no more than one reflective element that has a positive chief ray angle magnification.
9. The optical system of claim 1 wherein the microlithography projection optical system has an image-side numerical aperture of about 0.2 or more.
10. The optical system of claim 1 wherein the optical system has a rectangular field at the image plane and wherein in each of the orthogonal directions the rectangular field has a minimum dimension of about 1 mm or more in both directions being orthogonal to each other.
11. The optical system of claim 1 wherein static distortion at the image field is about 10 nm or less.
12. The optical system of claim 1 wherein a wavefront error at the image field is about $\lambda/14$ or less.

13. The optical system of claim 1 wherein the chief rays diverge from each other at the object plane.
14. The optical system of claim 13 wherein, for a meridional section of the optical system, the chief rays have a maximum angle of incidence on a surface of each of the elements of less than 20°.
15. The optical system of claim 1 being telecentric at the image plane.
16. The optical system of claim 1 wherein a path of the radiation through the optical system is characterized by chief rays and, for a meridional section of the optical system, the chief ray of a central field point has a maximum angle of incidence on a surface of each of the elements of θ degrees, the optical system has an image side numeral aperture, NA, of more than 0.3, and the ratio θ/NA is less than 68.
17. The optical system of claim 1 wherein the optical system has an object-image shift of about 75 mm or less.
18. The optical system of claim 1 wherein the plurality of elements comprises four or more elements that have freeboards of about 25 mm or less.
19. The optical system of claim 1 further comprising a radiation source configured to provide the radiation at λ to an object plane.
20. The optical system of claim 19 further comprising an illumination system comprising one or more elements arranged to direct radiation from the radiation source to an object positioned at the object plane, wherein the il-

- 4 -

lumination system comprises an element positioned at a location corresponding to an entrance pupil of the optical system.

21. A microlithography tool, comprising:
 - the optical system of claim 20;
 - a first moveable stage configured to position a reticle at the object plane so that the optical system images the reticle to the image plane; and
 - a second moveable stage configured to position an article at the image plane so that the image of the reticle at a surface of the article.

22. Method for microlithographic production of microstructured components comprising the following steps:
 - providing a substrate having at least a layer of radiation sensitive material,
 - providing a mask having a structure which is to be projected,
 - providing a microlithographic tool according to claim 21,
 - projection at least a part of the mask on an area of the layer using the microlithographic tool.

23. Microstructured component being produced by a method according to claim 22.

24. Method to design a rotationally asymmetric surface in an optical system according to one of claims 1 to 20, comprising the following steps:
 - start from a design being rotational symmetric with respect to the path of radiation;
 - decenter the rotational symmetric design by translating the axis of rotational symmetry with respect to the axis defined by the path of radiation parallel to this path axis;

- tilt the rotational symmetric design by tilting the axis of rotational symmetry with respect to the path axis;
- minimization of optical aberrations by implementing a freeform deviation from the decentered and tilted design.

Abstract

In general, in one aspect, the invention features a microlithography projection optical system (101) that includes a plurality of elements (310-360) arranged to image radiation from an object plane (103) to an image plane (102), at least one of the elements being a reflective element that has a rotationally asymmetric surface positioned in a path of the radiation. The rotationally asymmetric surface deviates from a rotationally symmetric surface by about 10 nm or more and the optical system is a microlithography projection optical system.

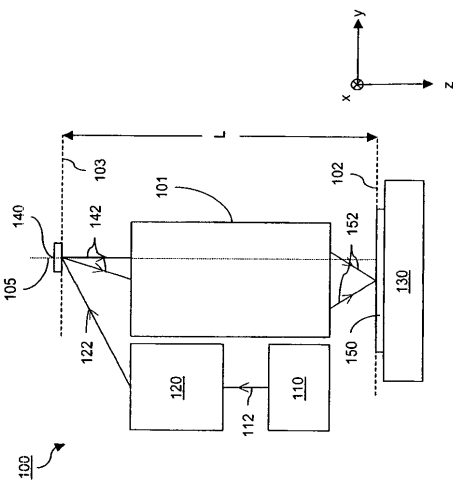


FIG. 1

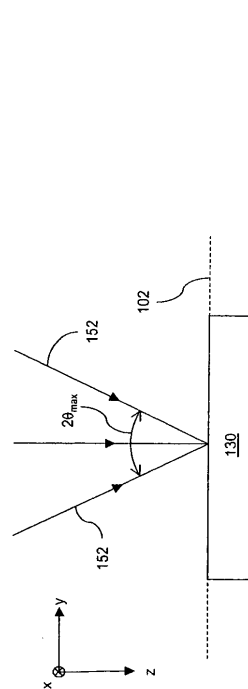


FIG. 2A

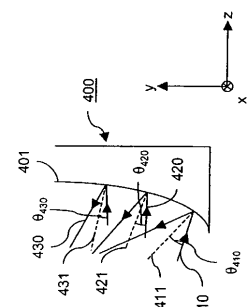


FIG. 4

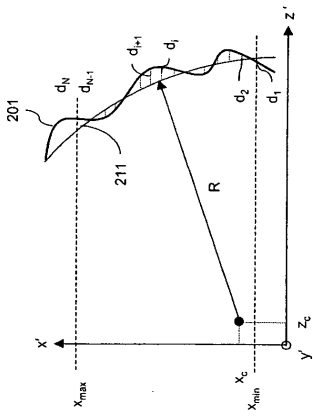


FIG. 2B

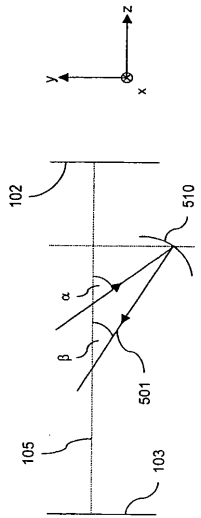


FIG. 5A

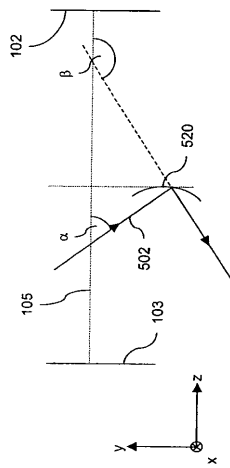


FIG. 5B

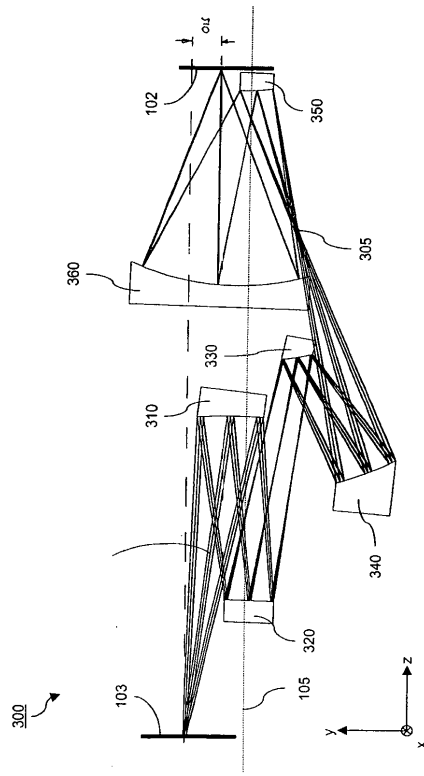


FIG. 3

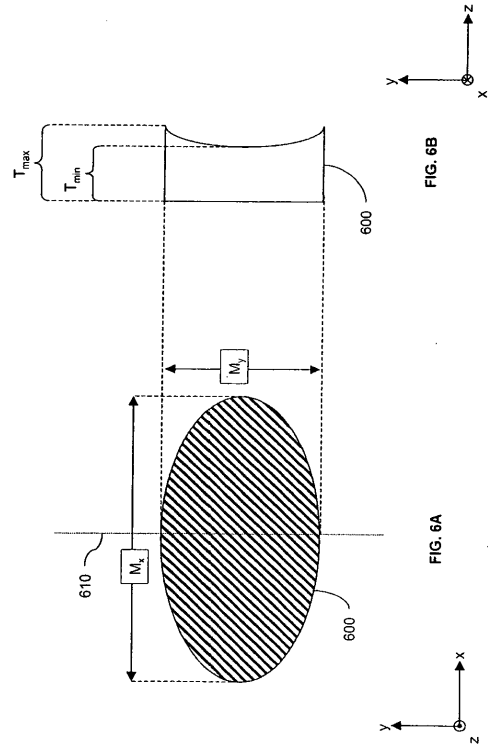


FIG. 6A

FIG. 6B

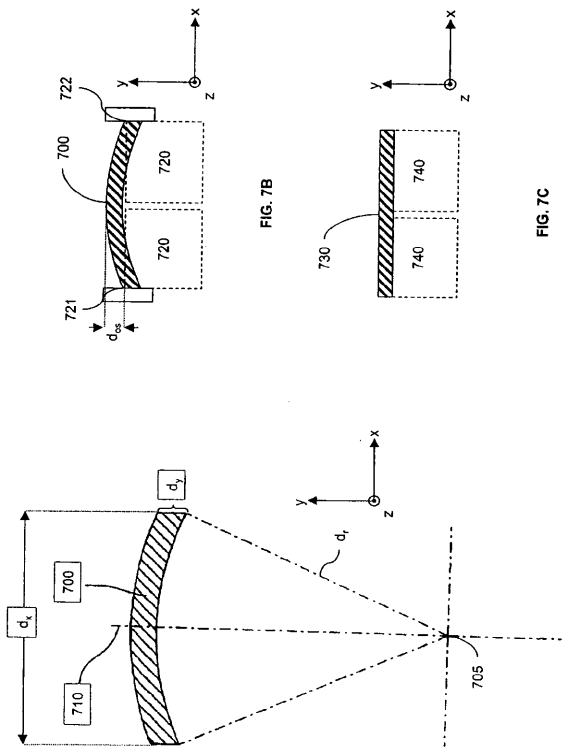


FIG. 7B

FIG. 7C

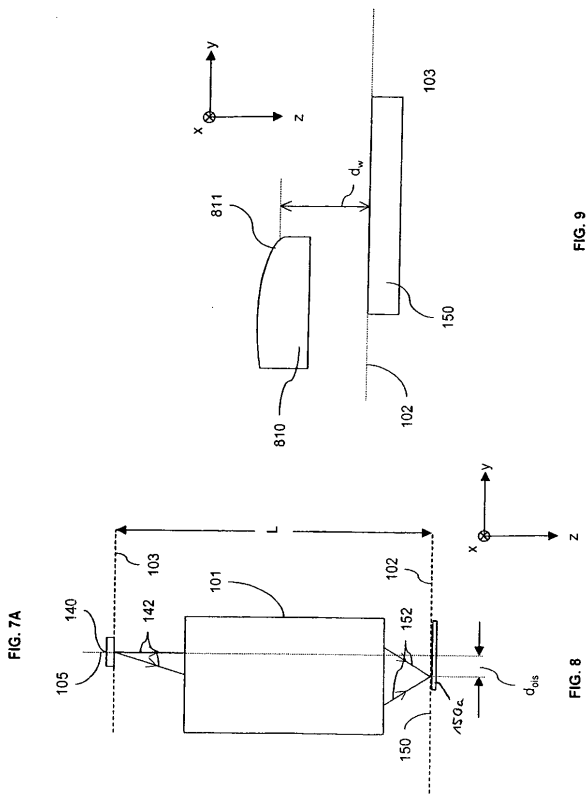


FIG. 7A

FIG. 9

FIG. 8

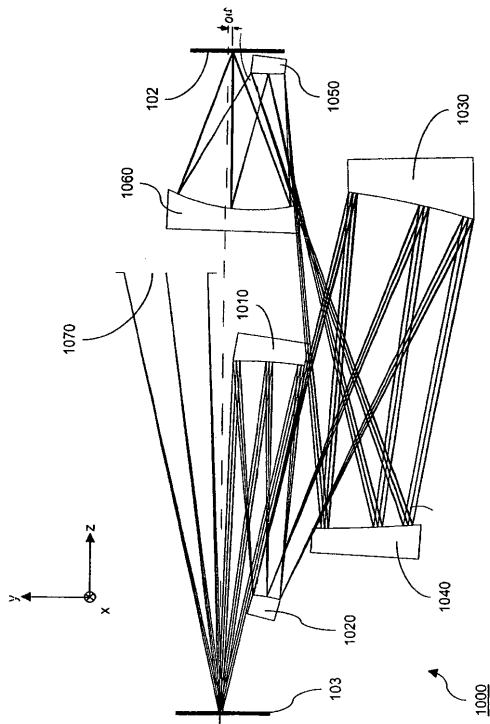


FIG. 10

192.31 MM

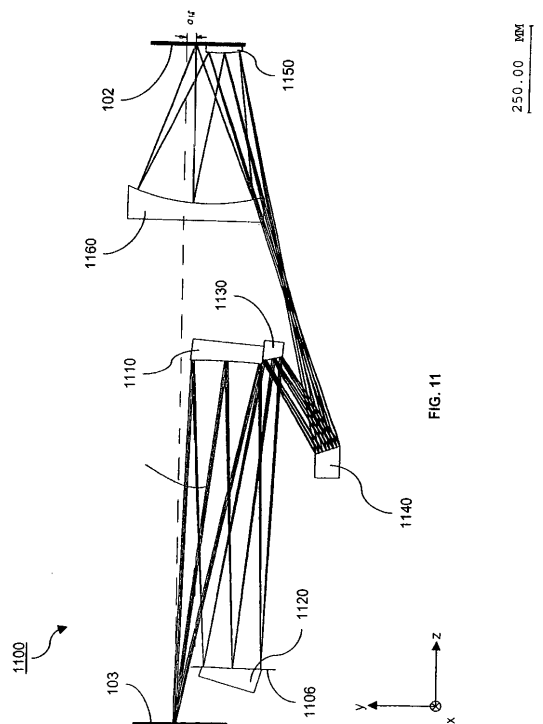


FIG. 11

250.00 MM

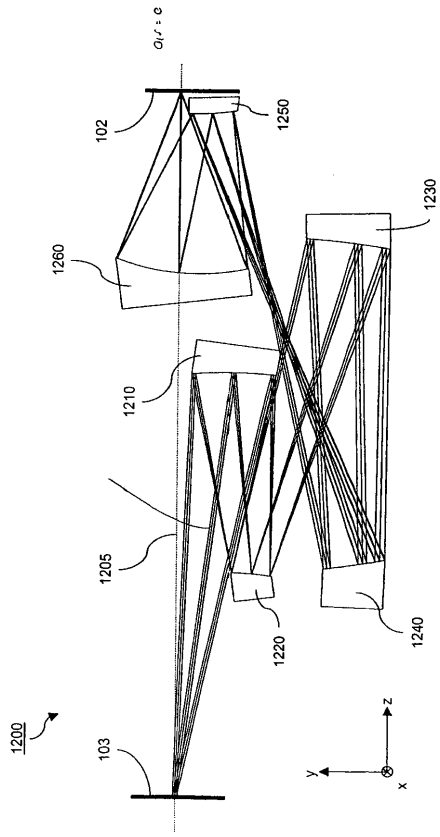


FIG. 12

1.66.67 mm

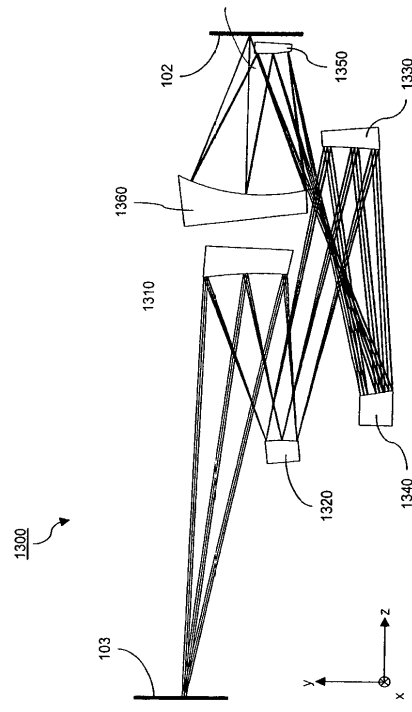


FIG. 13

1.92.31 mm

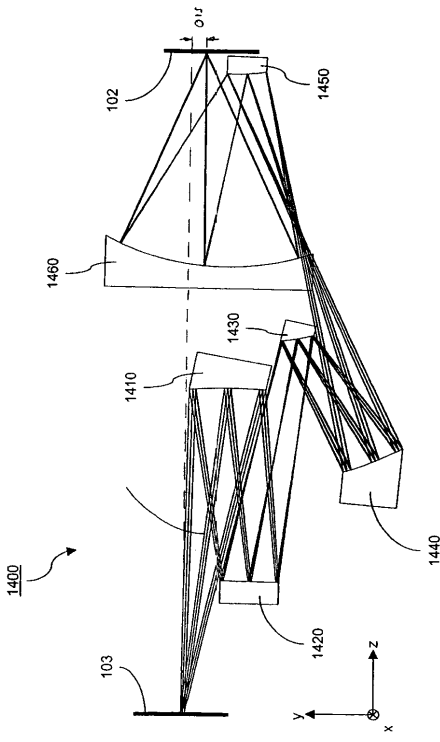


FIG. 14A

1.92.31 mm

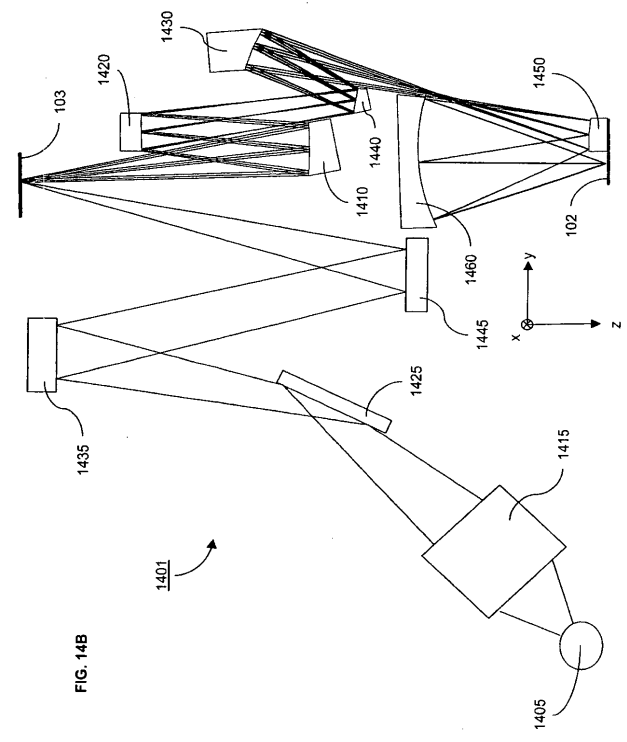


FIG. 14B

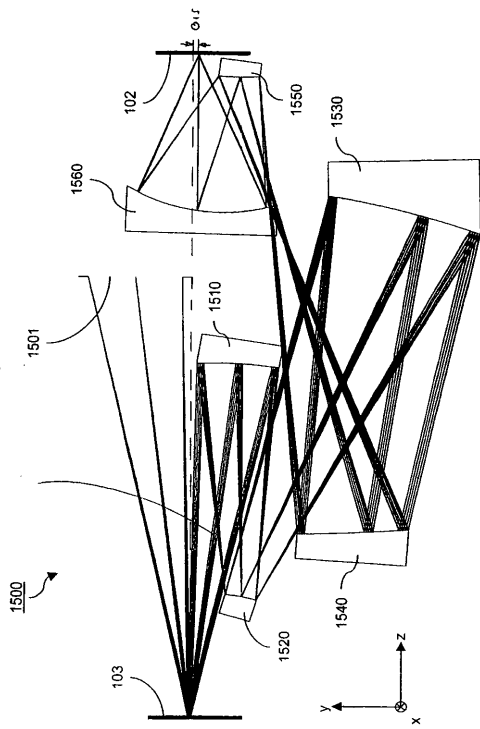


FIG. 15

192.31 MM

FIG. 16B

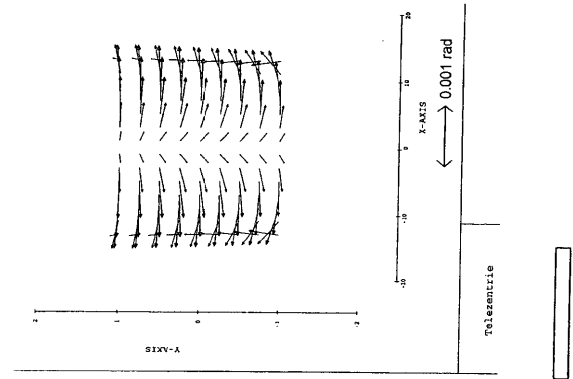


FIG. 16A

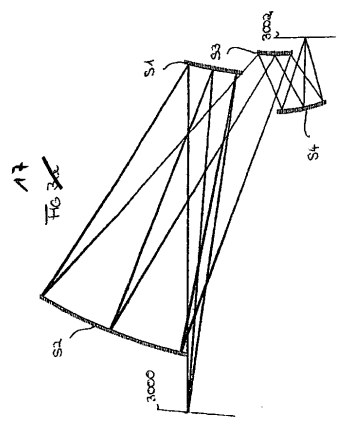
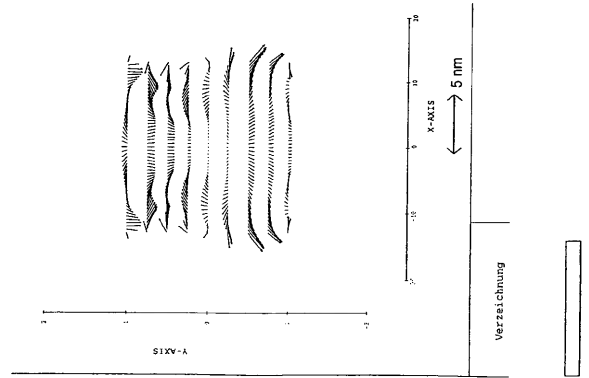


FIG. 17

Fig. 18

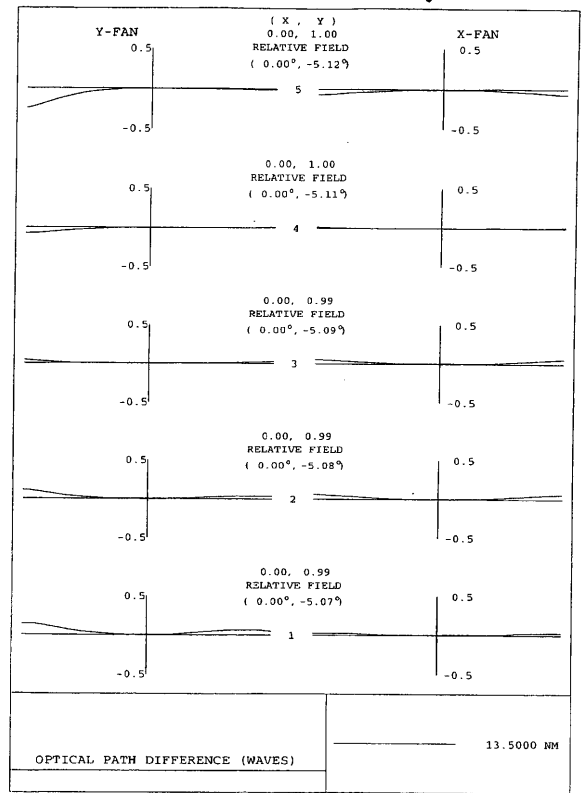


Fig. 19

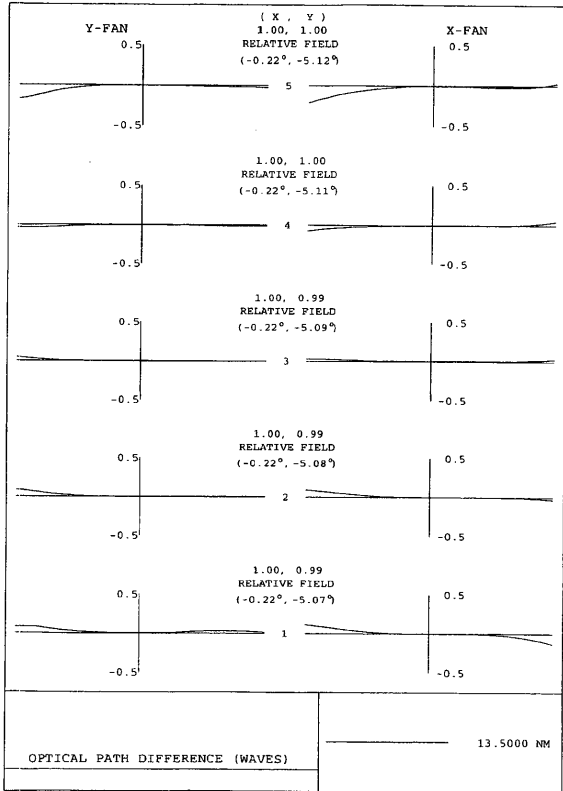


Fig. 20

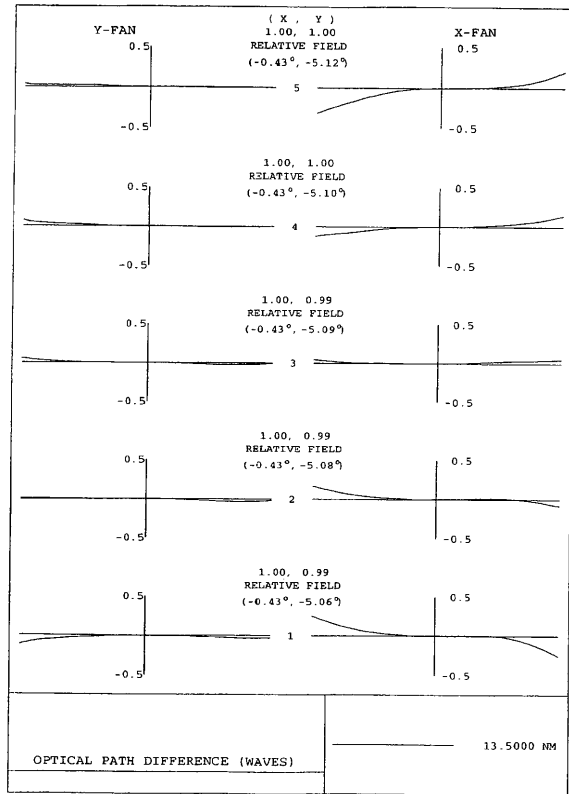


Fig. 21

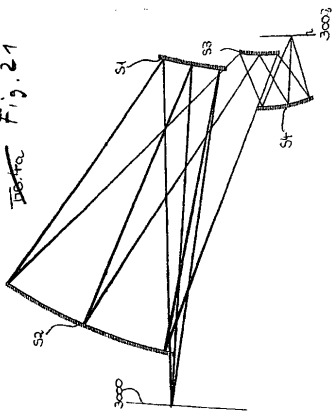


Fig. 22

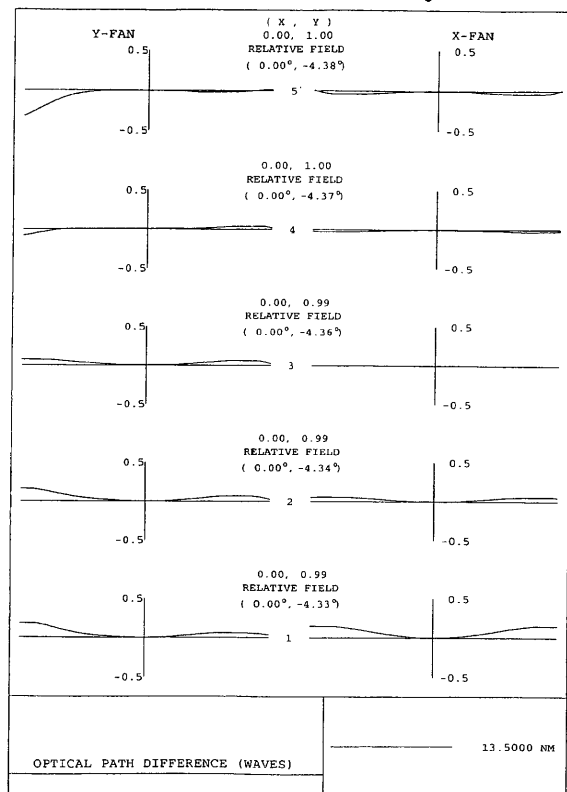


Fig.23

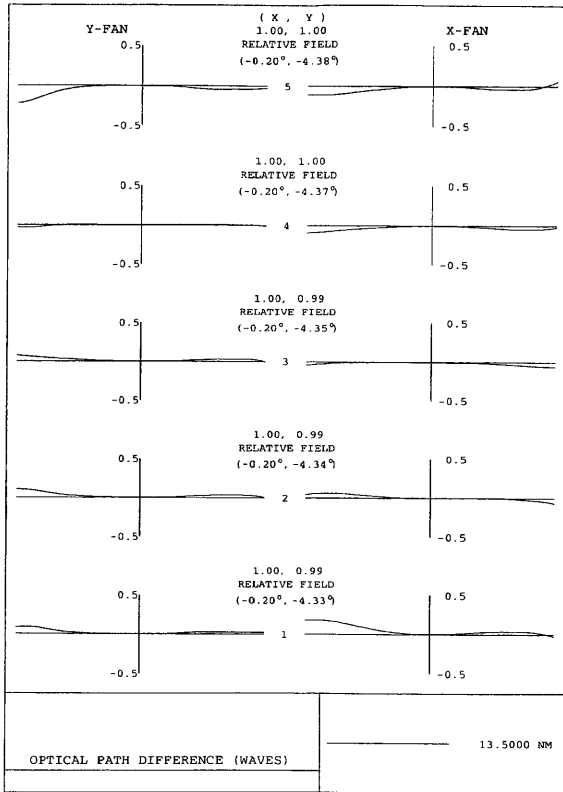


Fig.24

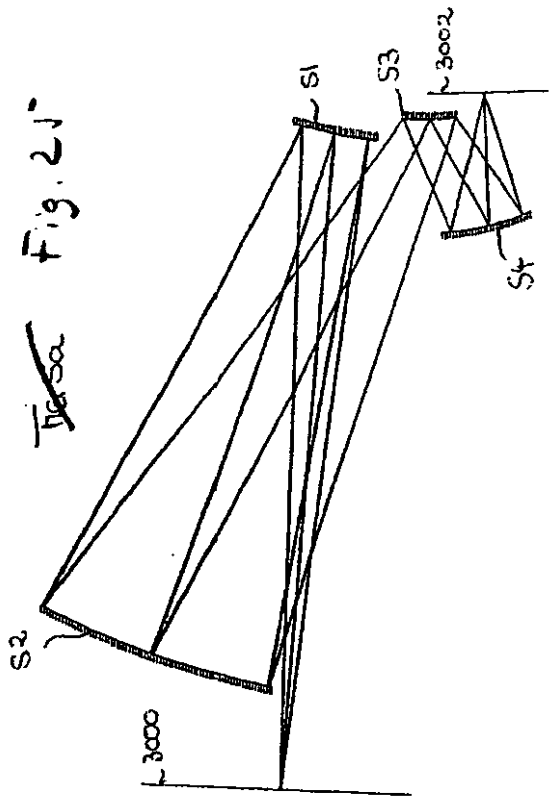
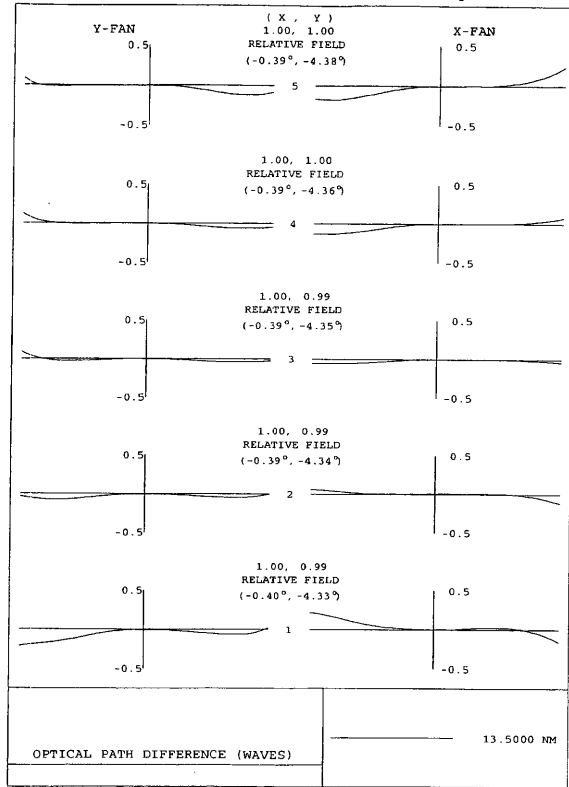


Fig.26

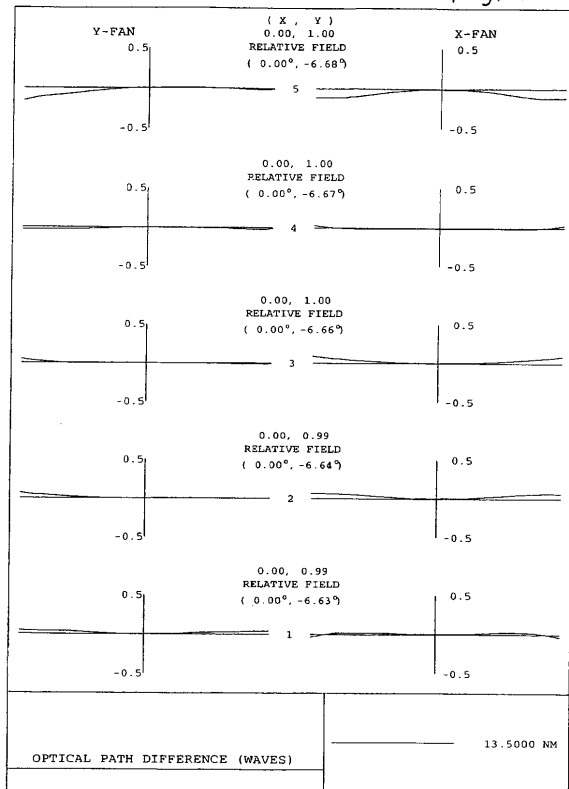


Fig. 27

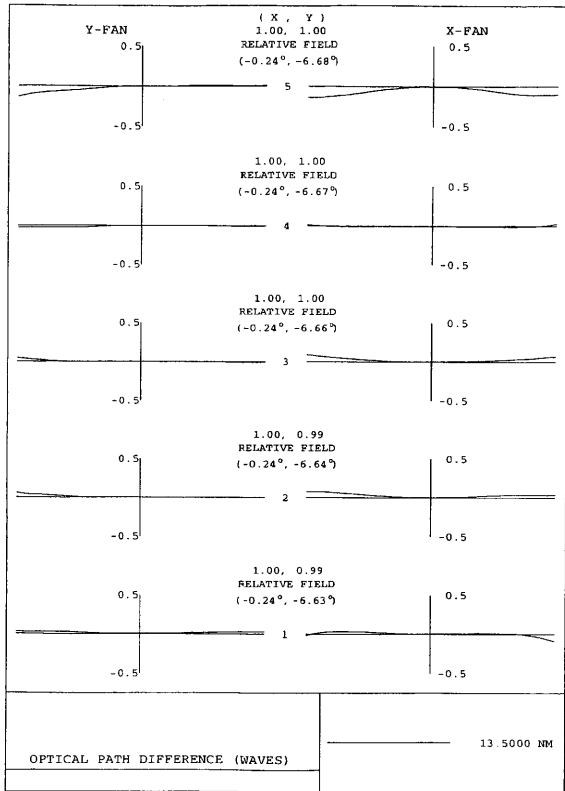


Fig. 28

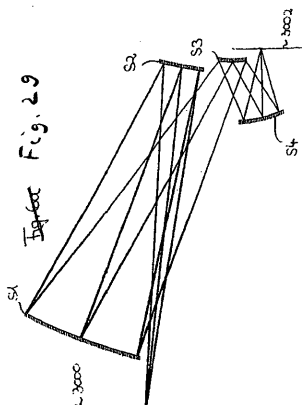
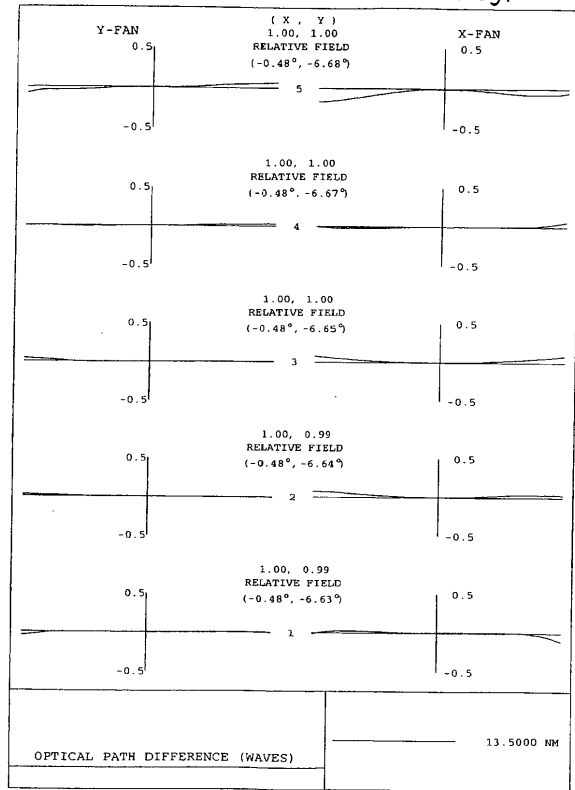


Fig. 30

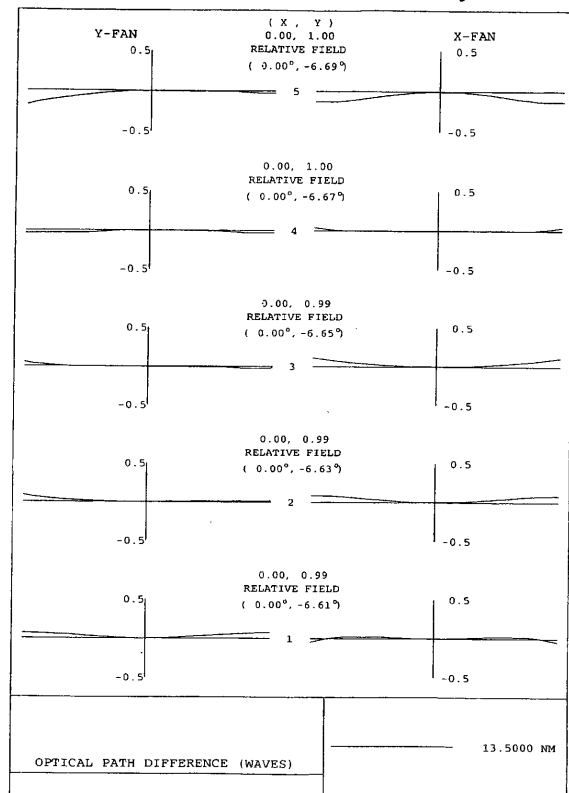


Fig. 31

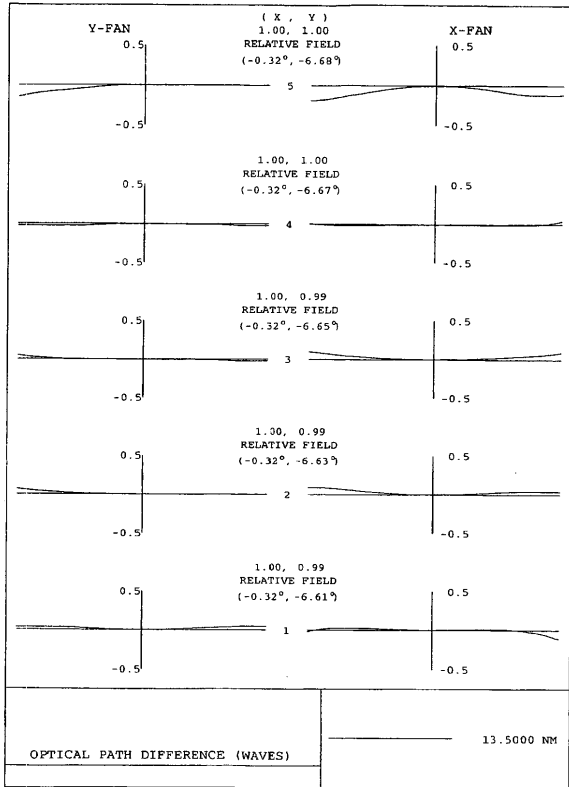


Fig. 32

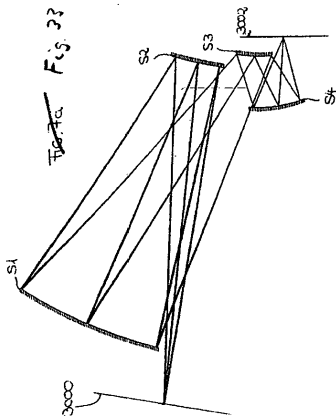
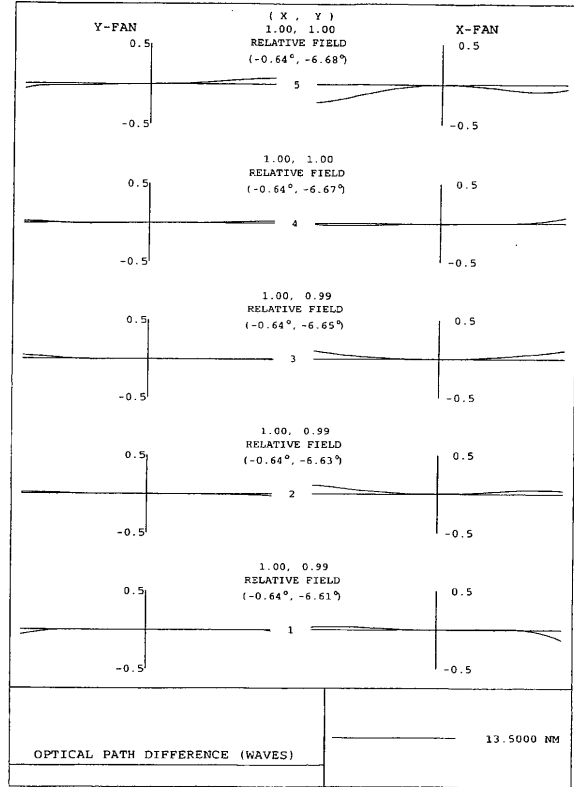


Fig. 34

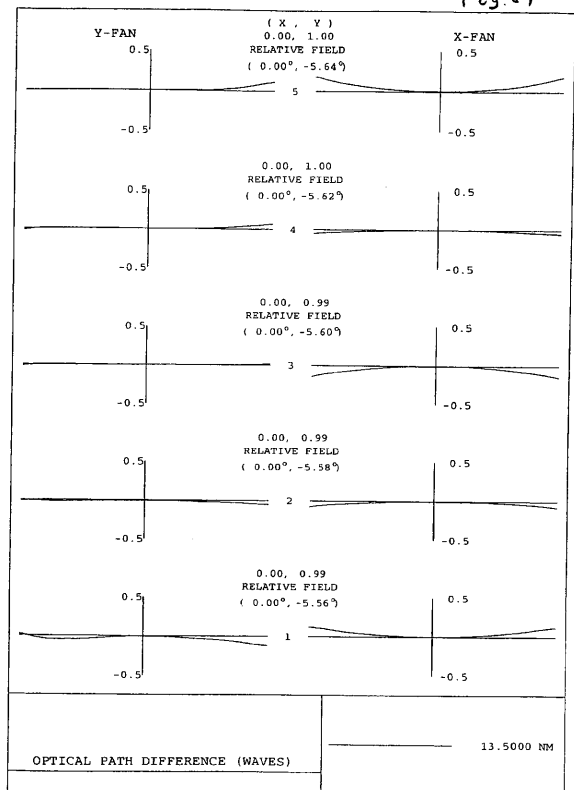


Fig. 35

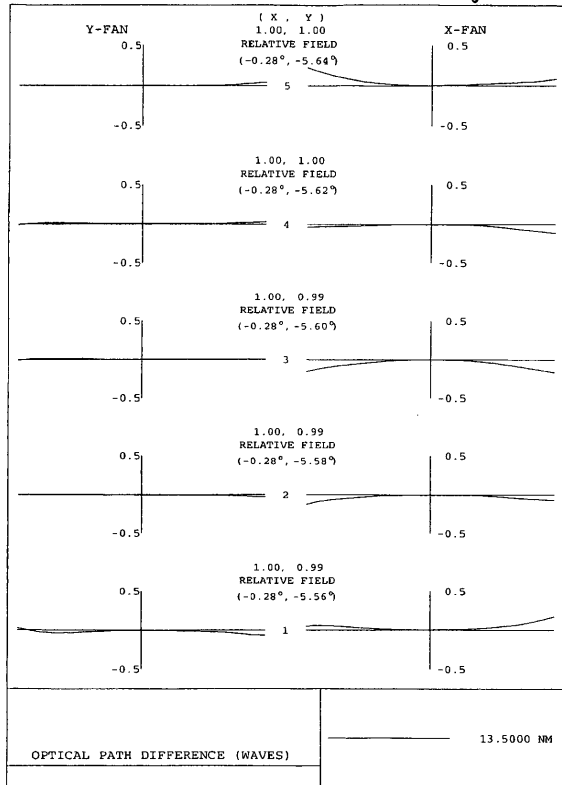


Fig. 36

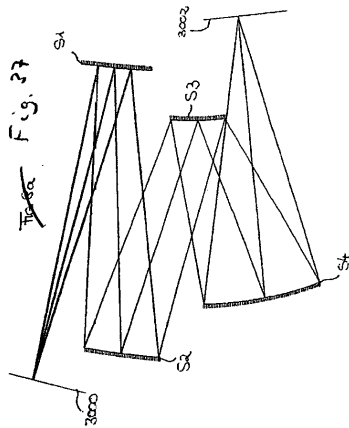
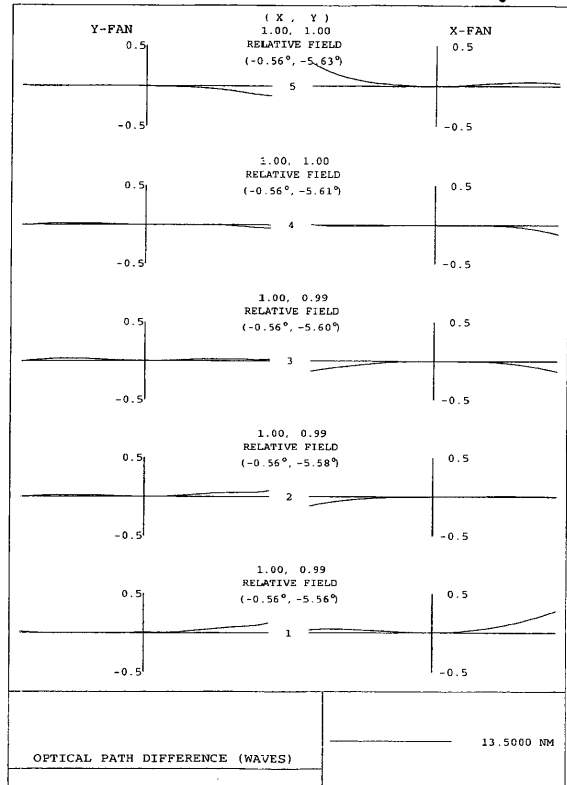


Fig. 38

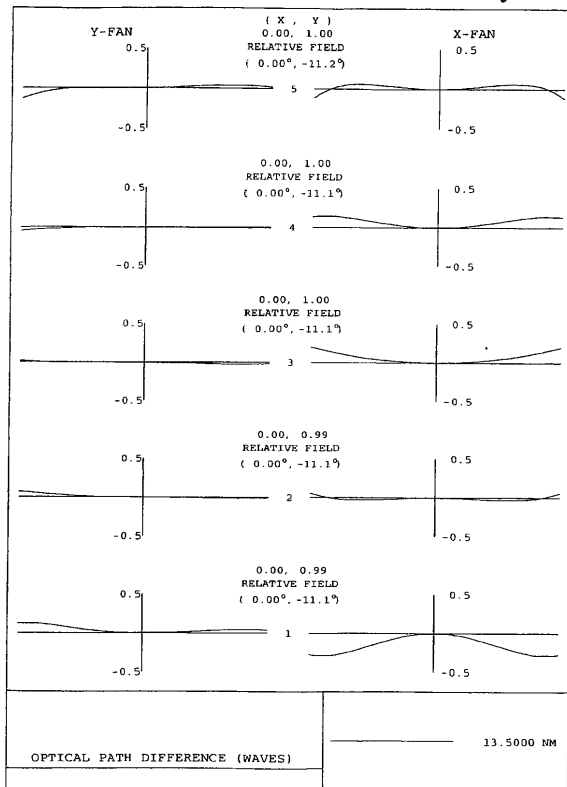


Fig. 39

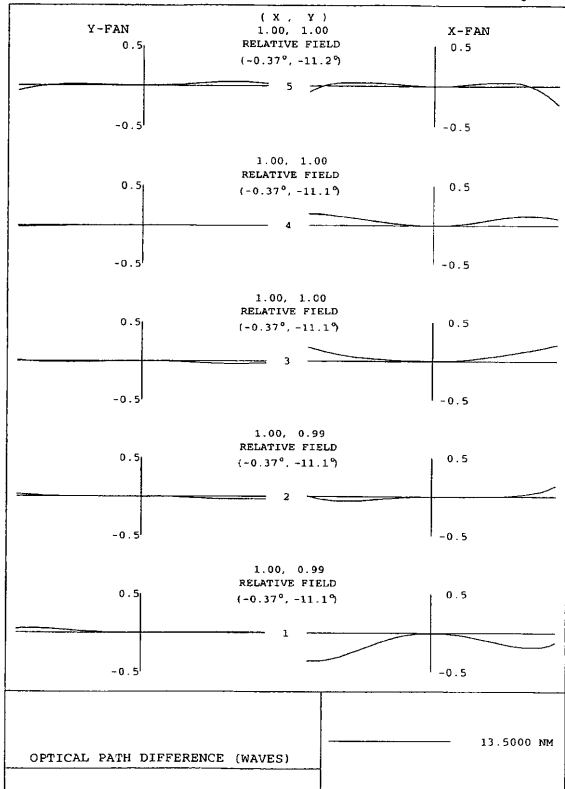


Fig. 40

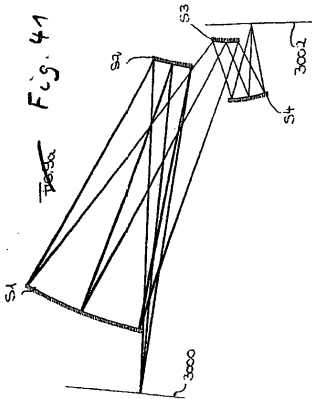
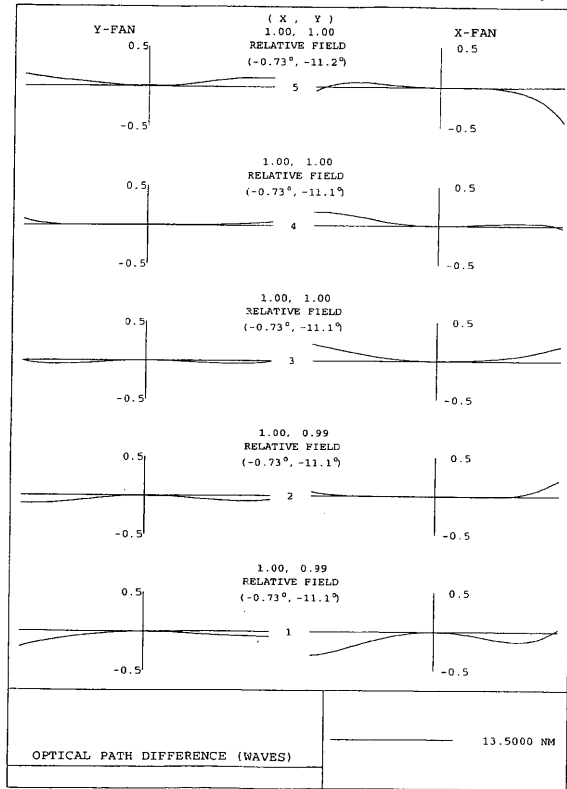


Fig. 42

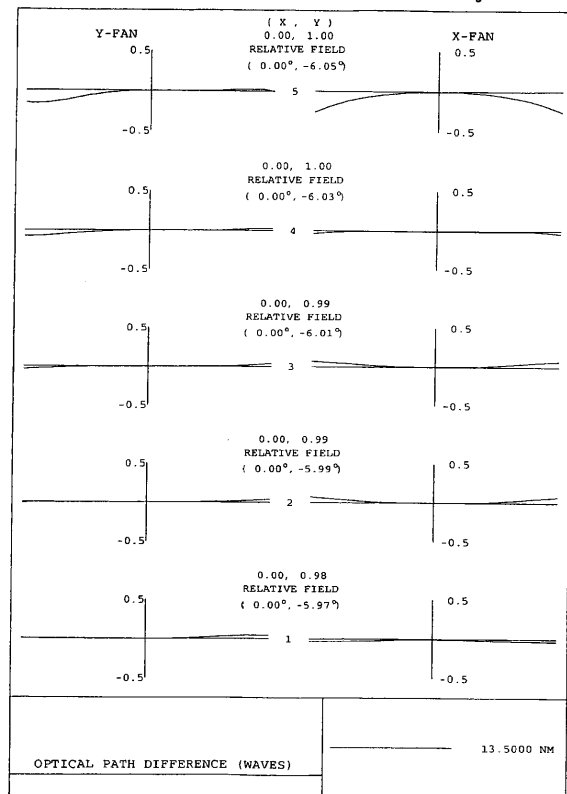


Fig. 43

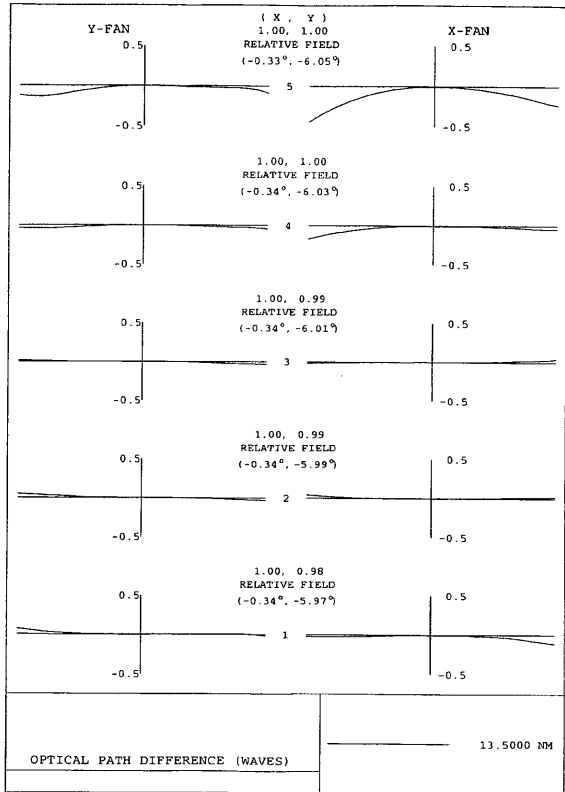


Fig. 44

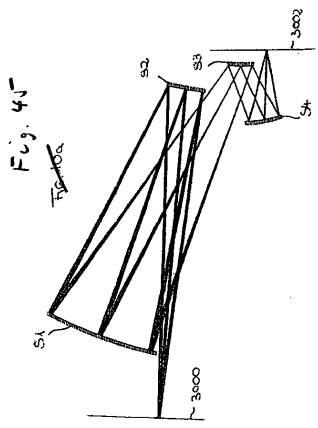
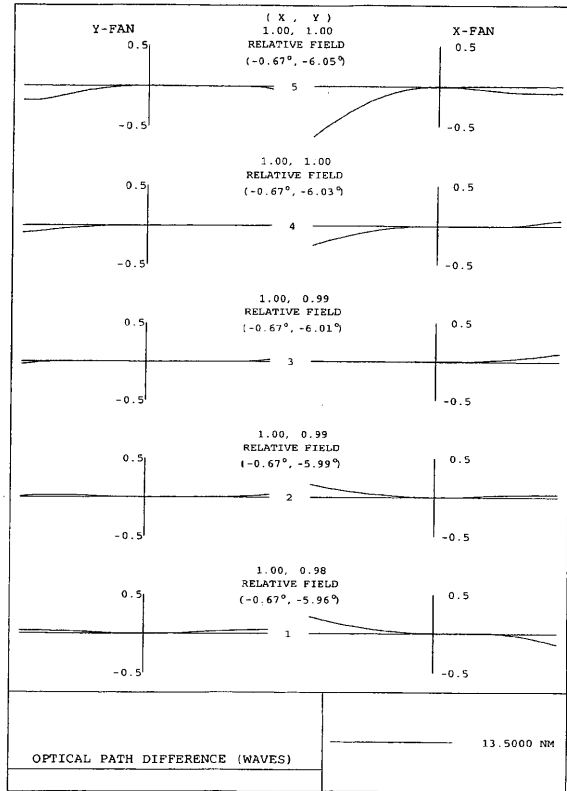


Fig. 46

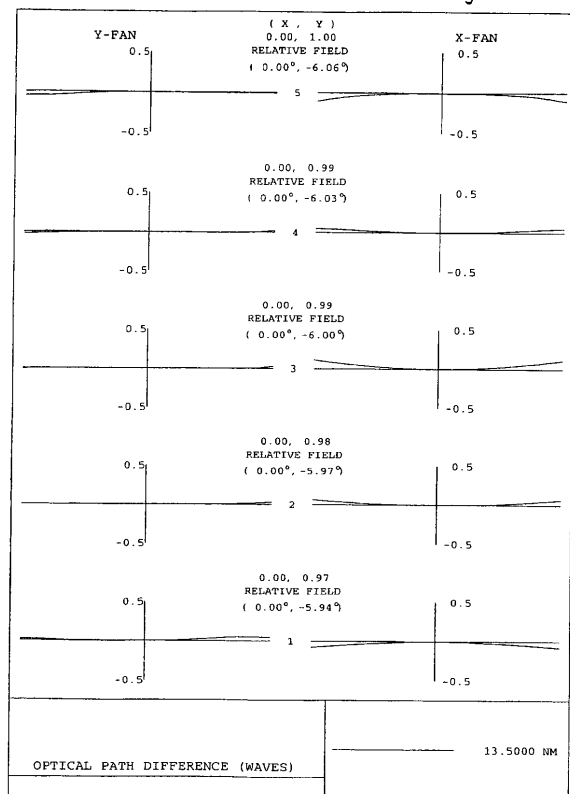


Fig. 47

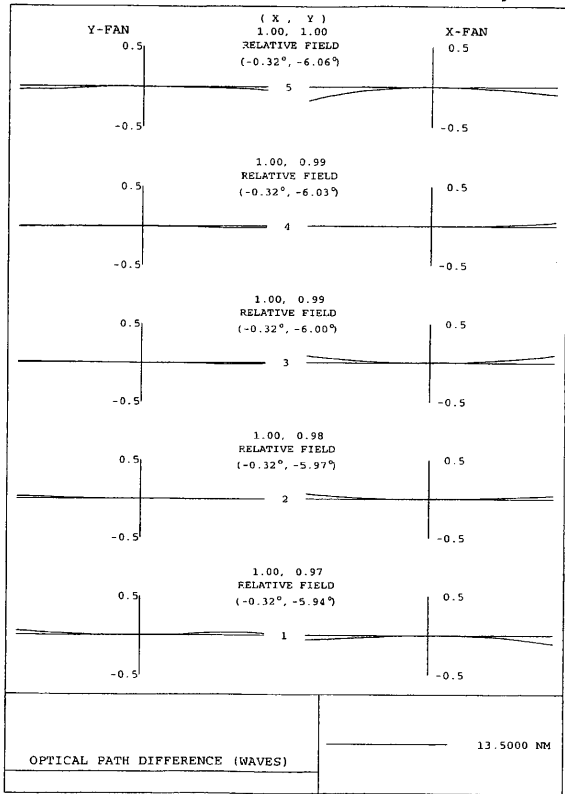


Fig. 48

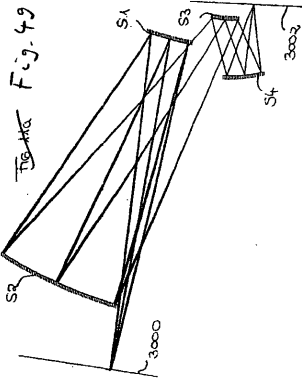
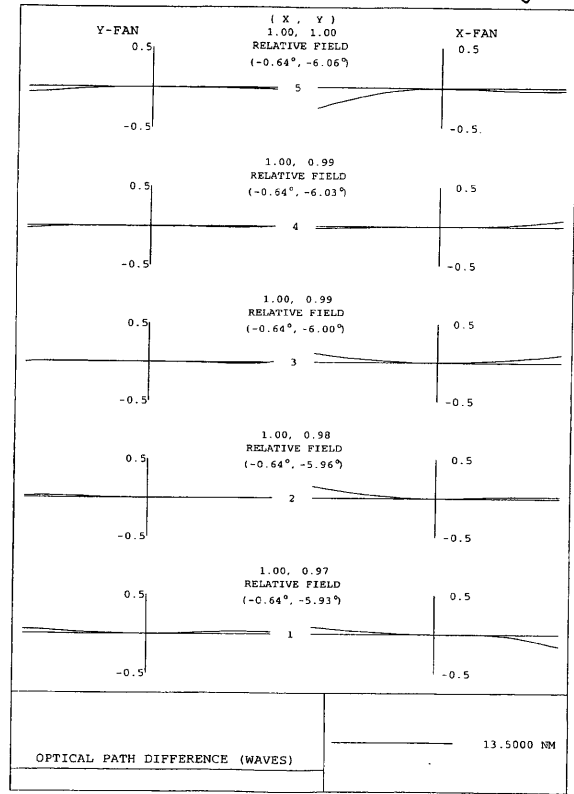
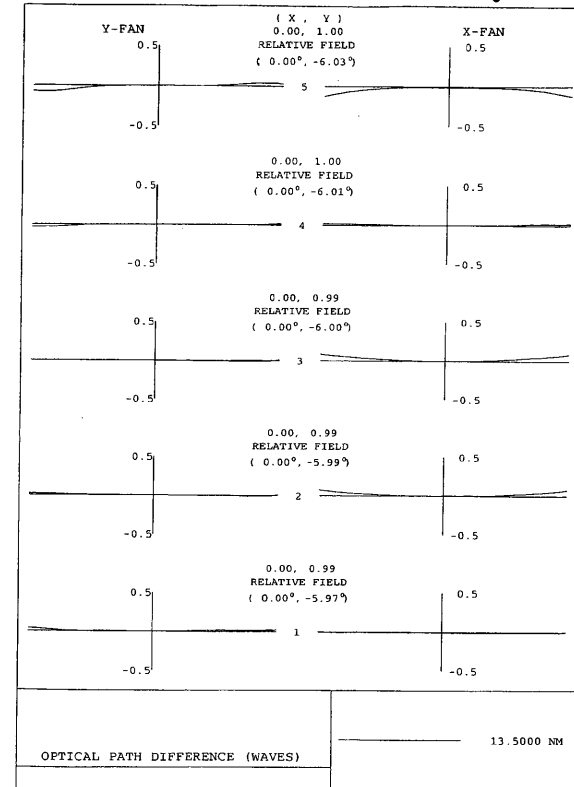


Fig. 50



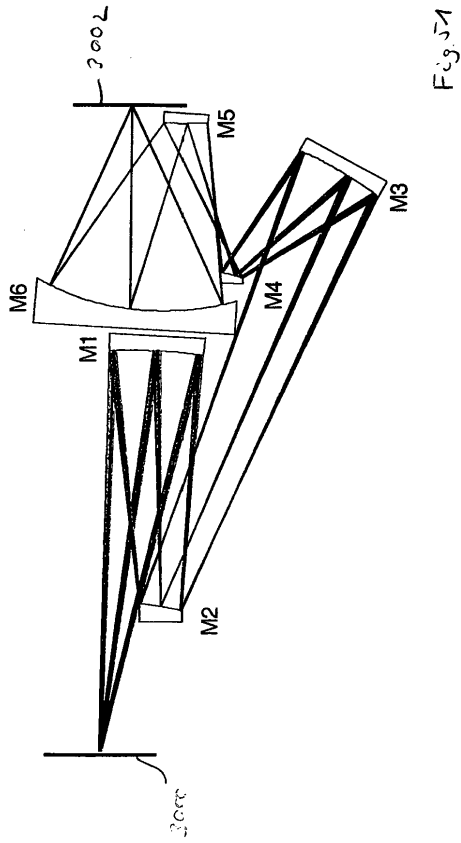


Fig. 51

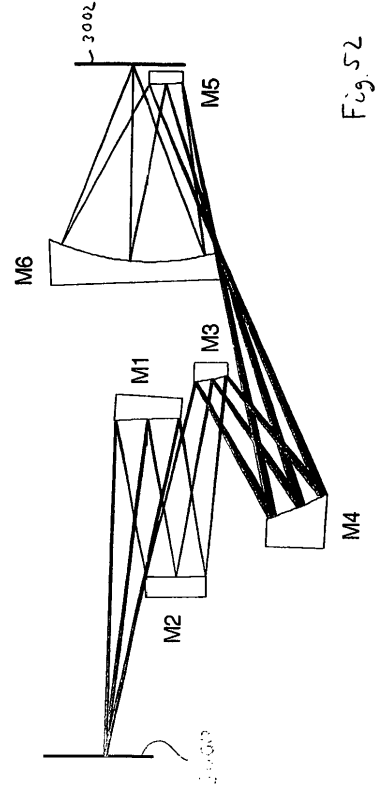


Fig. 52

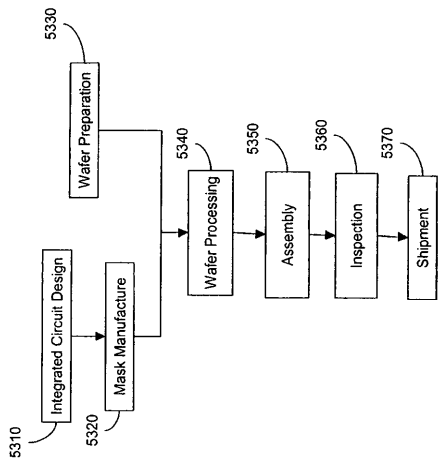


FIG. 53

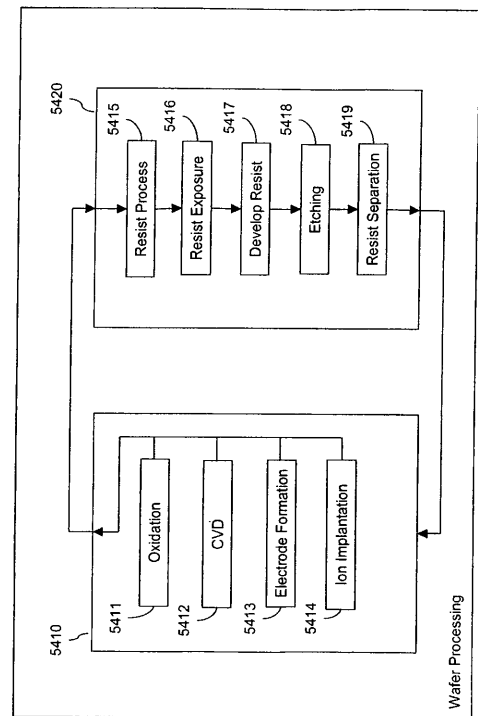


FIG. 54