

(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2013-210647

(P2013-210647A)

(43) 公開日 平成25年10月10日(2013.10.10)

| (51) Int.Cl. | | F I | テーマコード (参考) |
|--------------|---------------|------------------|--------------------|
| GO2B | 17/08 | (2006.01) | GO2B 17/08 A 2H087 |
| GO2B | 13/14 | (2006.01) | GO2B 13/14 5F146 |
| GO2B | 13/18 | (2006.01) | GO2B 13/18 |
| GO2B | 13/24 | (2006.01) | GO2B 13/24 |
| HO1L | 21/027 | (2006.01) | HO1L 21/30 531A |

審査請求 有 請求項の数 33 O L 外国語出願 (全 98 頁) 最終頁に続く

| | | | |
|--------------|-------------------------------------|----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2013-98566 (P2013-98566) | (71) 出願人 | 503263355 カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー ムペーハー ドイツ連邦共和国、73447 オーバー コッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ ーセ 2 |
| (22) 出願日 | 平成25年5月8日(2013.5.8) | (74) 代理人 | 100082005 弁理士 熊倉 禎男 |
| (62) 分割の表示 | 特願2011-151263 (P2011-151263) の分割 | (74) 代理人 | 100067013 弁理士 大塚 文昭 |
| 原出願日 | 平成18年9月12日(2006.9.12) | (74) 代理人 | 100086771 弁理士 西島 孝喜 |
| (31) 優先権主張番号 | 60/716,437 | (74) 代理人 | 100109070 弁理士 須田 洋之 |
| (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) | | |

最終頁に続く

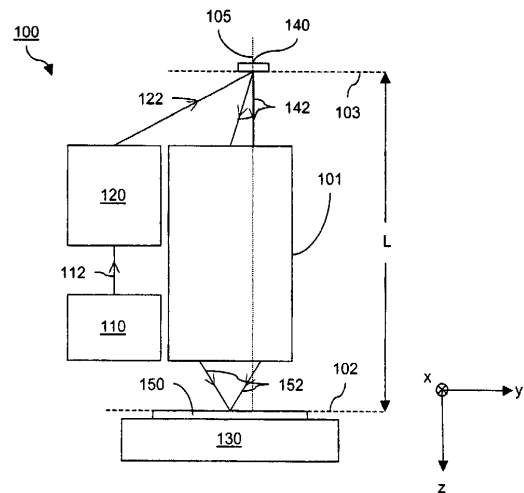
(54) 【発明の名称】 マイクロリソグラフィ投影光学系、ある機器を製造するための方法、光学面を設計する方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 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。

【解決手段】 マイクロリソグラフィ投影対物鏡101は、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1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り、回転非対称面は、回転対称面から約10nm以上の値だけずれている。

【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 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 1 0 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 2 0 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面对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に記載の鏡面对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。

10

【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。

20

【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。

30

【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。

40

【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】

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 2 A 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が得られる。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

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

20

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。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

50

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 radius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_{rms} 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 | -4.186774E-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

【0084】

投影対物鏡300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310では154 μm であり、鏡320では43 μm であり、鏡330では240 μm であり、鏡340では1,110 μm であり、鏡350では440 μm であり、鏡360では712 μm 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310では47 μm であり、鏡320では33 μm であり、鏡330では96 μm であり、鏡340では35 μm であり、鏡350では152 μm であり、鏡360では180 μm である。

【0085】

鏡310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300内の他の鏡に対するそれぞれ第1と第2の主曲率は、鏡320では 2.76×10^{-5} 及び 1.56×10^{-5} であり、鏡330では -2.38×10^{-3} 及び -2.17×10^{-3} であり、鏡340では 1.79×10^{-3} 及び 1.75×10^{-3} であり、鏡350では -2.64×10^{-3} 及び -2.10×10^{-3} であり、さらに鏡360では 1.93×10^{-3} 及び 1.91×10^{-3} である。投影対物鏡300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。

【0086】

いくつかの実施形態では、投影対物鏡101内の鏡の配列は、物体平面103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300は、物体平面103からの放射光を鏡360の近くの位置305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。

【0087】

投影対物鏡101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1mm又はそれ以上（例えば、約2mm又はそれ以上、約3mm又はそれ以上、約4mm又はそれ以上、約5mm又はそれ以上、約6mm又はそれ以上、約7mm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1mm又はそれ以下（例えば、約0.1mm又はそれ以下、0.01mm又はそれ以下）とすることができる。

【0088】

一般に、投影対物鏡101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。

【0089】

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、10nmから30nm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13nm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_2 、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

する必要があるのである。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。

10

【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。

20

30

40

【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

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 | -3.099379E-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 | -1.596511E-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 | -3.792148E-11 | 2.173390E-10 | -8.723035E-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 | 8.549802E-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 | -1.93981E-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 ⁴ 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 ⁴ 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 ⁴ Y ⁷ | 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 |
| 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 ⁴ 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

【 0 1 7 6 】

投影対物鏡 1 3 0 0 は、矩形の視野を有する。像側視野幅 d_x は 2 6 mm である。像側視野長 d_y は 2 mm である。投影対物鏡 1 0 0 0 の物体 - 像シフトは 1 1 9 mm である。

【 0 1 7 7 】

投影対物鏡 1 3 0 0 は鏡 1 3 4 0 と 1 3 5 0 との間に中間像を形成する。

【 0 1 7 8 】

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になる。鏡 1 3 1 0 は正の光学力を有し、鏡 1 3 2 0 は負の光学力を有し、鏡 1 3 3 0 は正の光学力を有し、鏡 1 3 4 0 は正の光学力を有し、鏡 1 3 5 0 は負の光学力を有し、鏡 1 3 6 0 は正の光学力を有する。

10

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

【 0 1 8 0 】

中心視野点の主光線入射角は、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 についてそれぞれ 9 . 6 6 °、1 2 . 1 5 °、9 . 1 0 °、5 . 4 5 °、1 3 . 3 1 °、4 . 6 0 ° 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 3 1 0、1 3 2 0、1 3 3 0、1 3 4 0、1 3 5 0、1 3 6 0 についてそれぞれ 1 1 . 2 0 °、1 5 . 4 6 °、9 . 6 3 °、8 . 6 4 °、2 3 . 3 1 °、6 . 1 7 ° 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 に対する θ_{max} は、それぞれ 3 . 2 5 °、7 . 3 2 °、1 . 5 7 °、6 . 9 2 °、2 1 . 1 8 °、3 . 6 3 ° である。

20

【 0 1 8 1 】

鏡 1 3 4 0 は正の主光線角度倍率を有するが、鏡 1 3 1 0、1 3 2 0、1 3 3 0、1 3 5 0 は負の主光線角度倍率を有する。投影対物鏡 1 3 0 0 の像側自由作動距離は 4 0 mm である。物体側自由作動距離は 5 8 2 mm 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

【 0 1 8 2 】

投影対物鏡 1 3 0 0 では、 d_{op-1} / d_{op-2} は 1 . 6 3 である。さらに、隣接する鏡の対 1 3 4 0 と 1 3 5 0 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。さらに、鏡 1 3 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 5 0 % を超える長さである。

【 0 1 8 3 】

投影対物鏡 1 3 0 0 に対するデータは、以下の表 5 A と表 5 B に示されている。表 5 A は、光学データを示しているが、表 5 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 5 A と表 5 B の目的に関して、鏡 1 (M 1) は鏡 1 3 1 0 に対応し、鏡 2 (M 2) は鏡 1 3 2 0 に対応し、鏡 3 (M 3) は鏡 1 3 3 0 に対応し、鏡 4 (M 4) は鏡 1 3 4 0 に対応し、鏡 5 (M 5) は鏡 1 3 5 0 に対応し、鏡 6 (M 6) は鏡 1 3 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

【 0 1 8 4 】

【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 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 38 mm 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 100 nm であり、像側像面湾曲は 36 nm 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 mm \times 159 mm であり、鏡 1420 については 210 mm \times 123 mm であり、鏡 1430 については 120 mm \times 66 mm であり、鏡 1440 については 312 mm \times 119 mm であり、鏡 1450 については 112 mm \times 83 mm であり、鏡 1460 については 405 mm \times 379 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 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 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 45 mm である。物体側自由作動距離は 291 mm 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 ² Y | -9.204024E-14 | 2.366805E-12 | -2.677935E-11 | -8.314956E-13 | -1.528996E-11 | 2.788263E-15 |
| X ² Y ² | 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 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 | 5.320614E-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 ⁶ Y | 3.484859E-18 | -9.656525E-18 | -6.882044E-16 | 7.124323E-18 | 8.790794E-16 | 2.032080E-20 |
| X ⁴ Y ⁴ | -2.997302E-18 | -1.020453E-16 | -4.147278E-16 | 1.059357E-17 | 9.581262E-16 | -8.764820E-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 | -7.850033E-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 ⁸ | -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 ⁸ Y | -9.935149E-25 | -5.168771E-24 | -2.316832E-20 | -2.523681E-24 | 1.540486E-20 | -3.155606E-26 |
| X ⁶ Y ⁴ | 3.001708E-23 | 1.226818E-21 | -2.812819E-21 | 3.078069E-23 | -1.510545E-19 | -4.150182E-25 |
| X ⁴ Y ⁶ | 7.941504E-24 | 1.371322E-21 | -5.440197E-21 | 3.362723E-23 | -6.912241E-19 | -2.830215E-25 |
| X ² Y ⁸ | -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 nm 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 nm 以外の波長の入射放射光を除去し、1 3 . 5 nm 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 nm 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-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 | -7.983809E-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 | -1.053897E-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 | -1.763637E-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 】

【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 1 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 | 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

【 0 2 2 1】

30

$x_{Object/mm}$ 及び $y_{Object/mm}$ 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。

【 0 2 2 2】

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、 $x = 0$ 、 $x = x_{max} / 2$ 、 $x = x_{max}$ 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

【 0 2 2 3】

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。

【 0 2 2 4】

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 °

30

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 |
| 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 |
| 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 |

10

20

【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 °

40

【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。

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。

【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 | -19,804 | 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

【0285】

図46から48は図45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

【0286】

図17から52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。

【0287】

図49から50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49から50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

【0288】

開口数： 0.22
 結像係数： 1:4
 物体視野の形態： 半径が600mm、方位角が $-4.8^\circ < < +4.8^\circ$ である環状弓形
 物体側で視野をスキャンする幅： 100mm
 物体側で視野をスキャンする高さ： 8mm
 長さ： 2418mm
 像平面の傾き： -3.284°

【0289】

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】

| 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 | -0.892917 | 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 267 mm × 183 mm であり、鏡 M 4 については 70 mm × 52 mm であり、鏡 M 5 については 124 mm × 109 mm であり、鏡 M 6 については 447 mm × 433 mm である。

【0300】

中心視野点の主光線入射角は、鏡 M 1 から M 6 について、4.06°、11.34°、12.20°、31.60°、12.27°、7.64° 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 4.96°、12.38°、16.54°、41.24°、29.42°、9.25° 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 1.08°、2.71°、9.83°、22.72°、29.13°、4.28° である。鏡 M 2 と M 4 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 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

【0301】

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 400 mm である。

【0302】

この投影対物鏡では、 d_{op-1} / d_{op-2} は 2.67 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 50% を超える長さだけ隔てられる。

【0303】

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

【0304】

【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

【0305】

【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 | -1,085440E-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 | 2,217617E-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 | -1,361196E-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 】

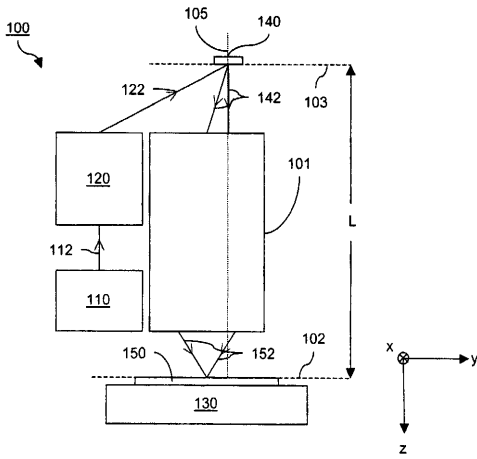
他の実施形態は請求項にある。

10

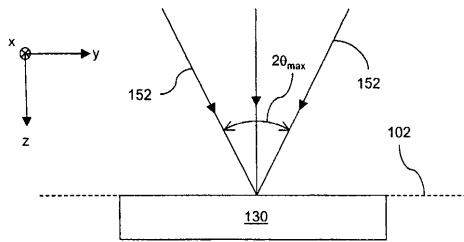
20

30

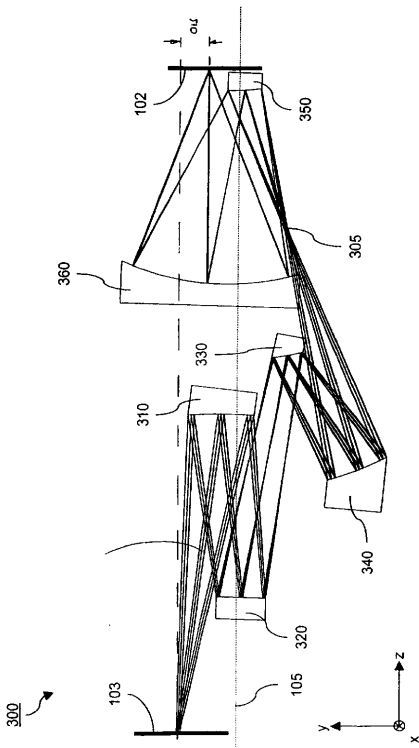
【 図 1 】



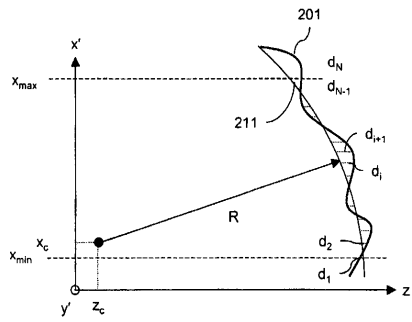
【 図 2 A 】



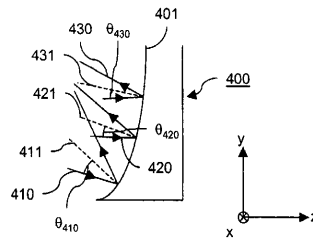
【 図 3 】



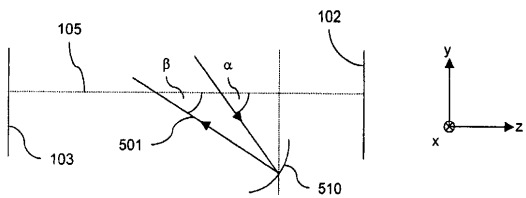
【 図 2 B 】



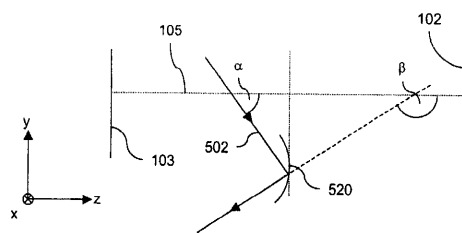
【 図 4 】



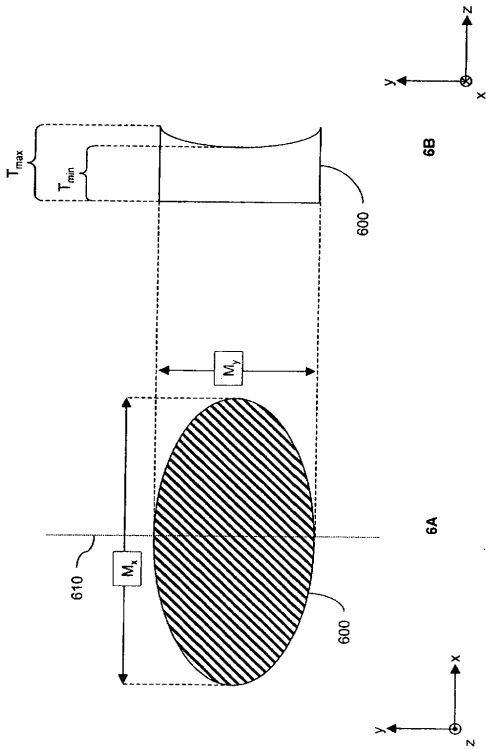
【 図 5 A 】



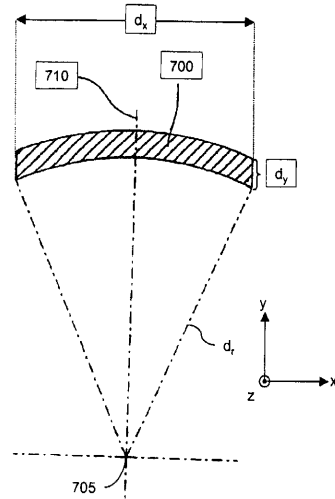
【 図 5 B 】



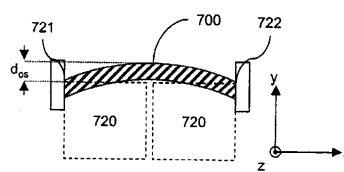
【 図 6 】



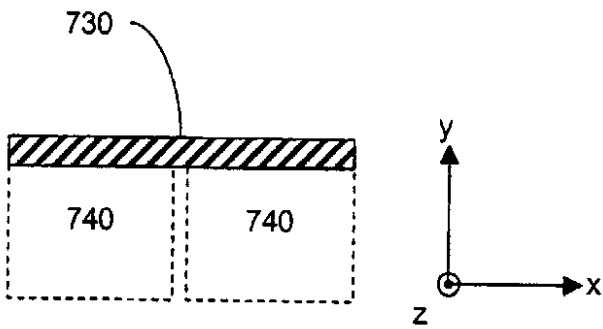
【 図 7 A 】



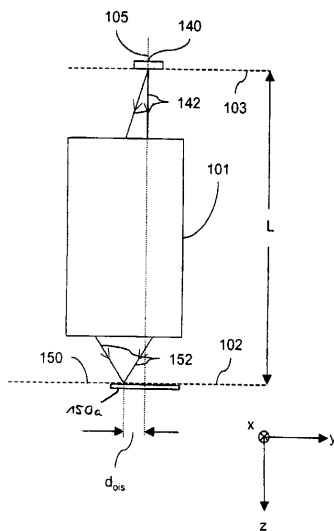
【 図 7 B 】



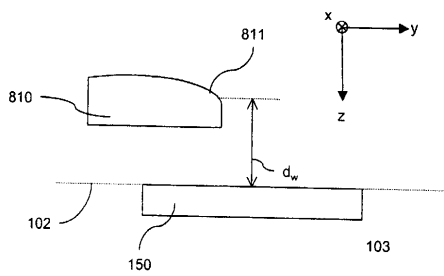
【 図 7 C 】



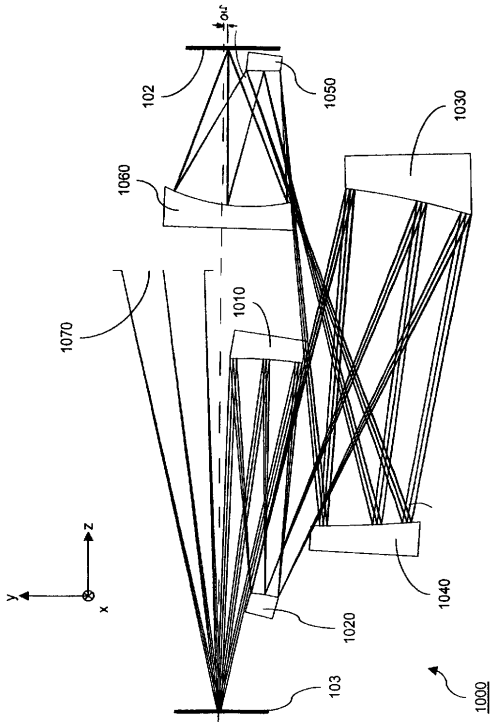
【 図 8 】



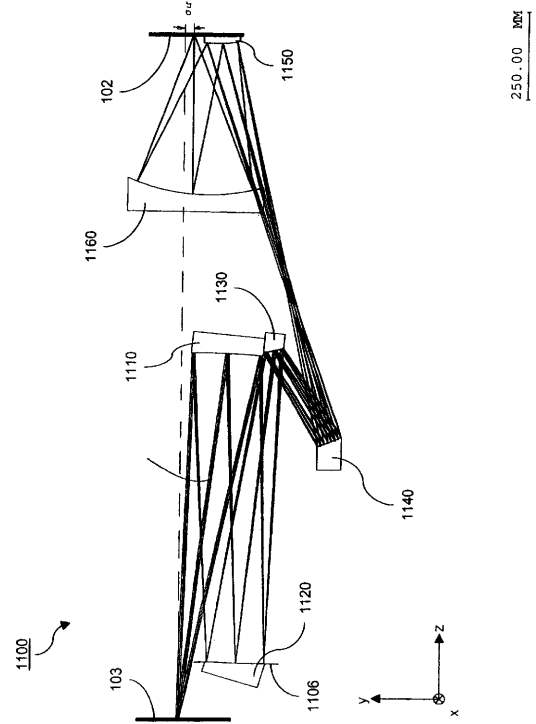
【 図 9 】



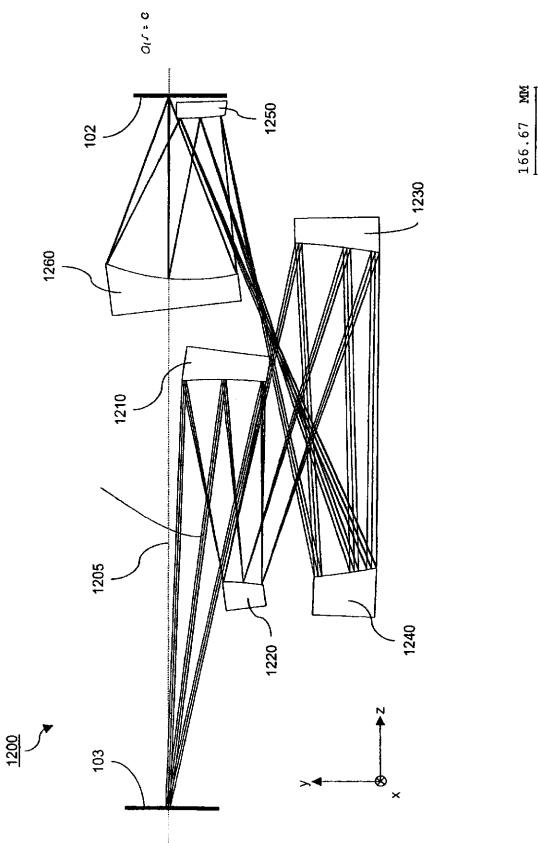
【 図 1 0 】



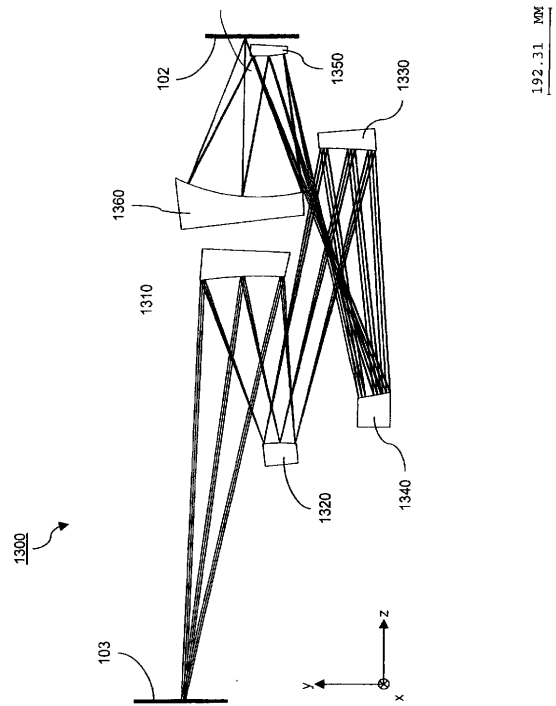
【 図 1 1 】



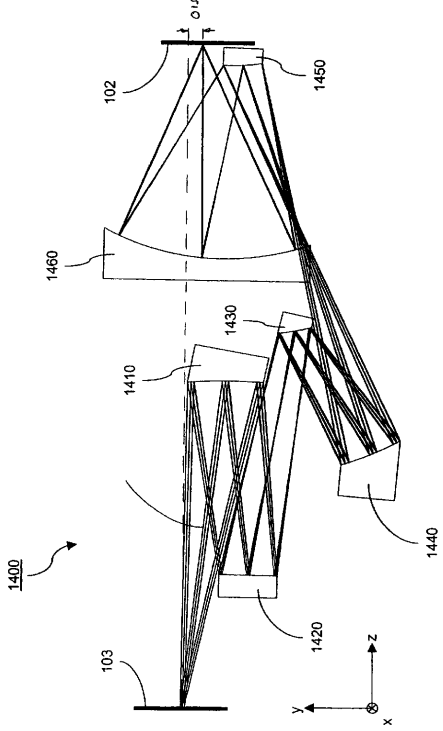
【 図 1 2 】



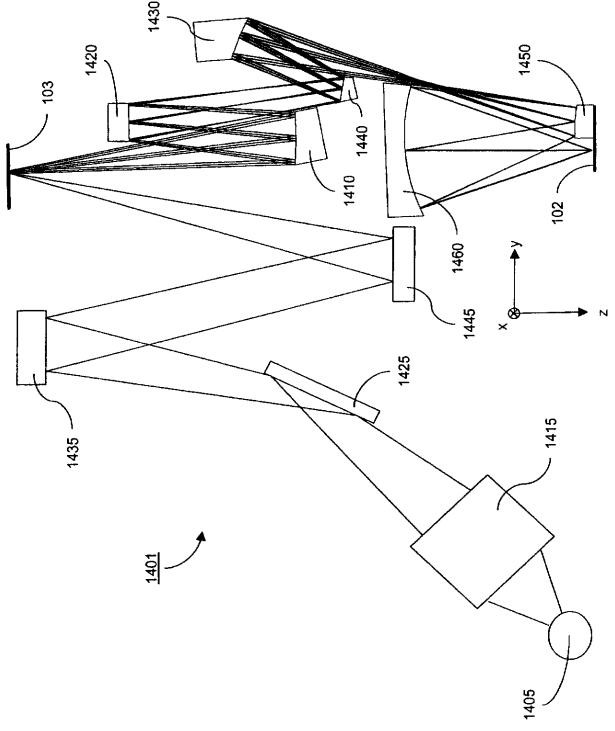
【 図 1 3 】



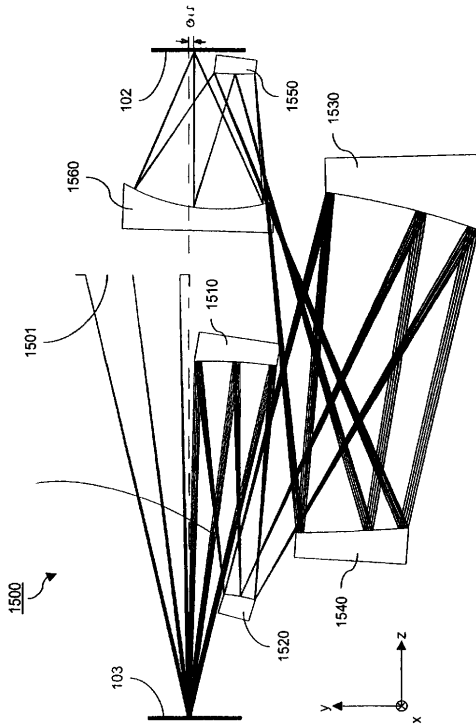
【 図 1 4 A 】



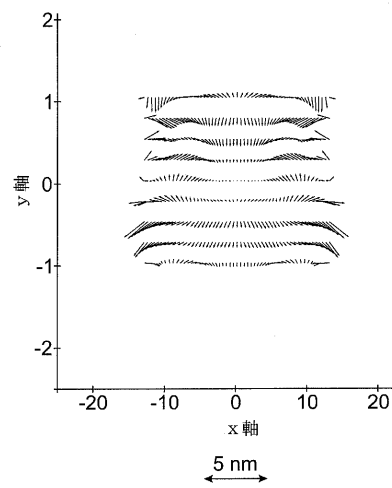
【 図 1 4 B 】



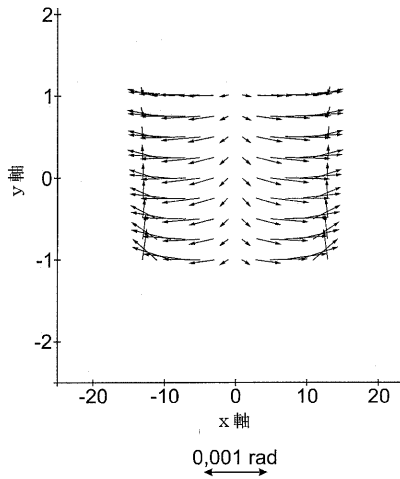
【 図 1 5 】



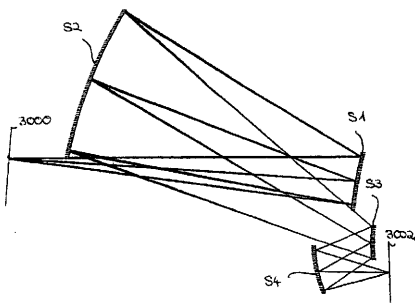
【 図 1 6 A 】



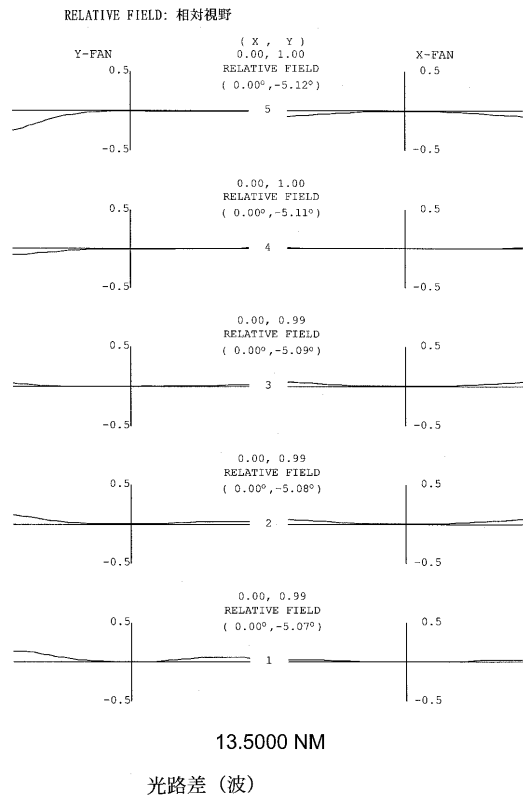
【 図 1 6 B 】



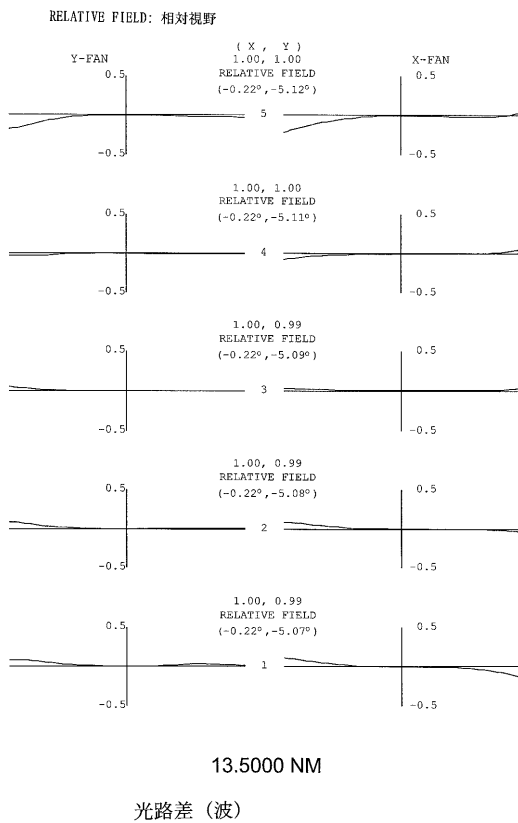
【 図 1 7 】



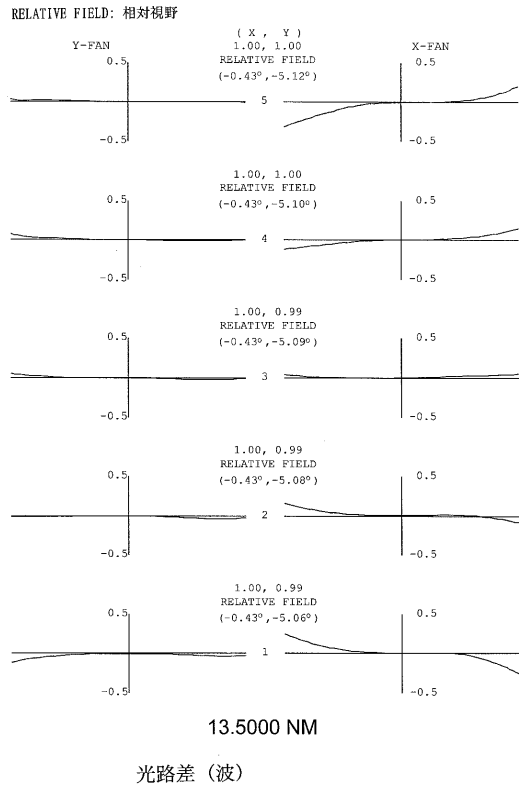
【 図 1 8 】



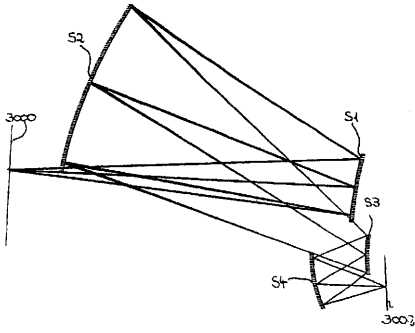
【 図 1 9 】



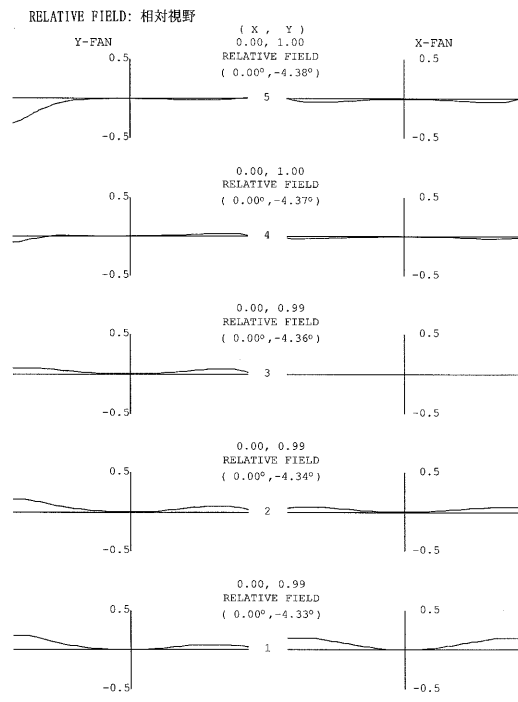
【 图 2 0 】



【 図 2 1 】



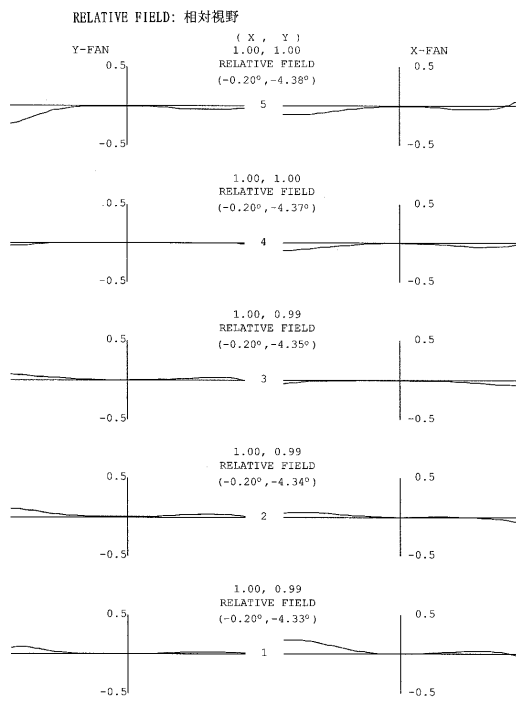
【 図 2 2 】



13.5000 NM

光路差 (波)

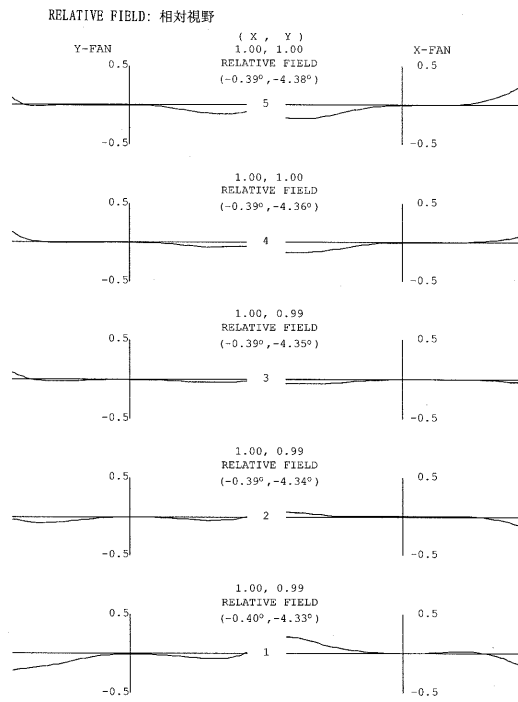
【 图 2 3 】



13.5000 NM

光路差 (波)

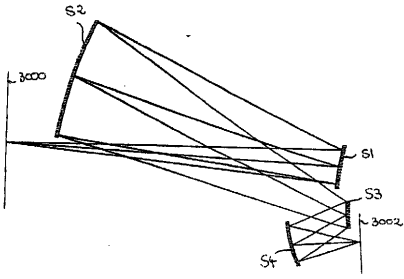
【 图 2 4 】



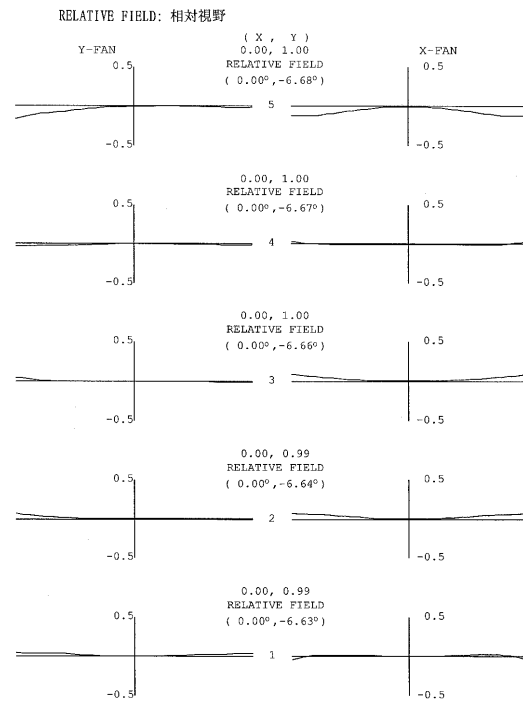
13.5000 NM

光路差 (波)

【 図 2 5 】



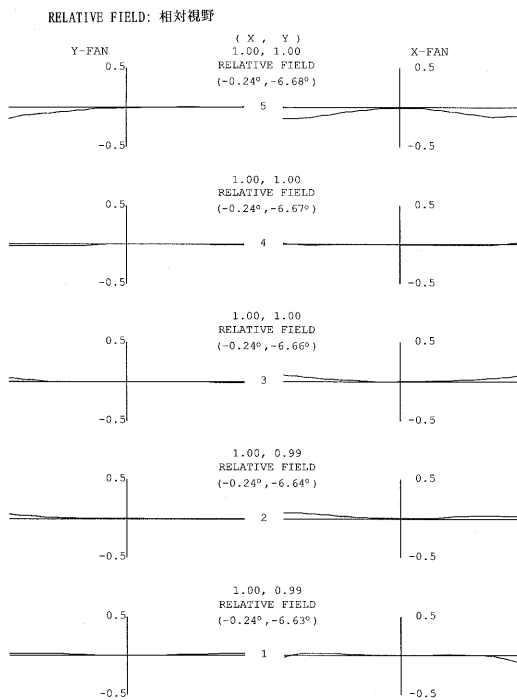
【 図 2 6 】



13.5000 NM

光路差 (波)

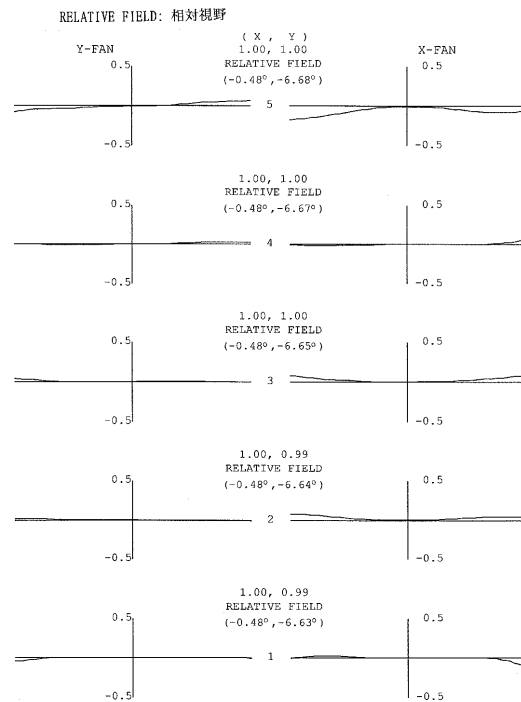
【 图 2 7 】



13.5000 NM

光路差 (波)

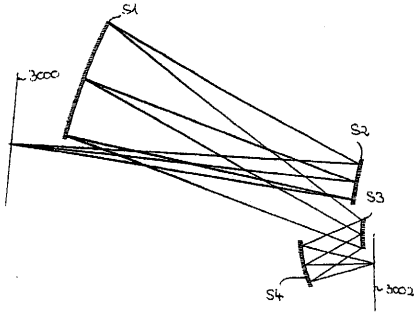
【 图 2 8 】



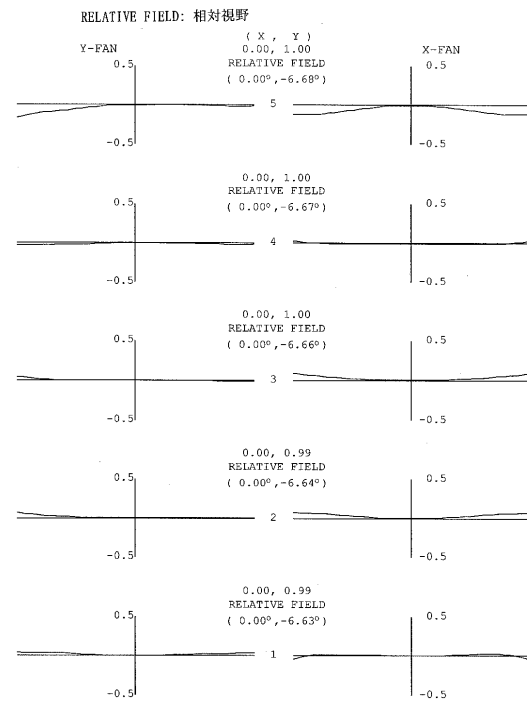
13.5000 NM

光路差 (波)

【 図 2 9 】



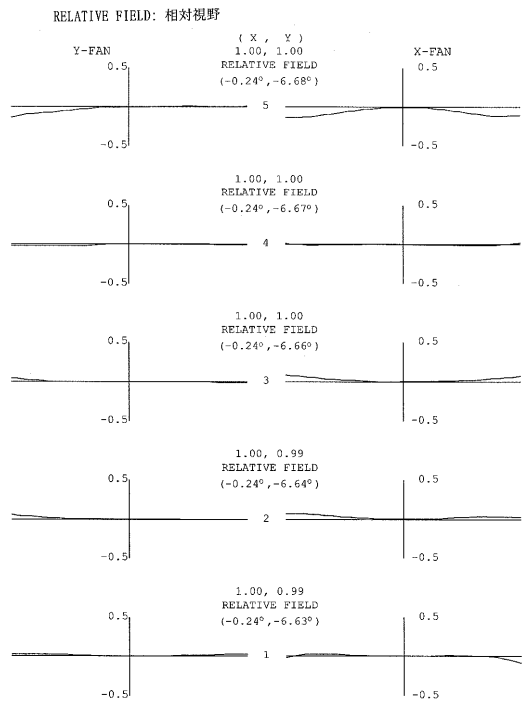
【 図 3 0 】



13.5000 NM

光路差 (波)

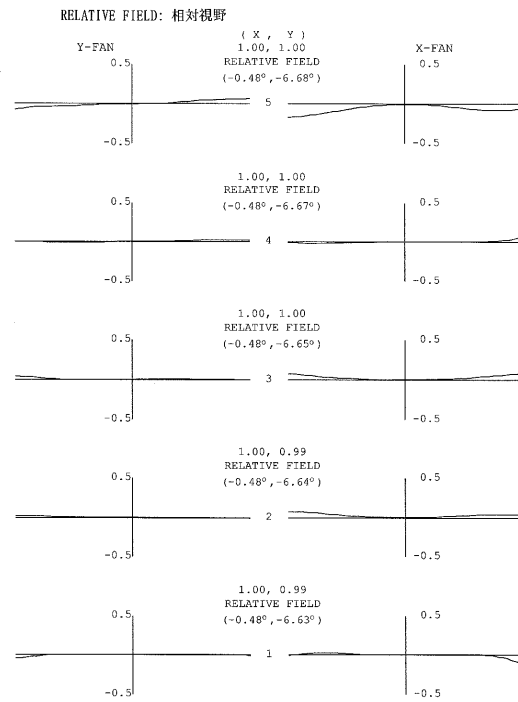
【 图 3 1 】



13.5000 NM

光路差 (波)

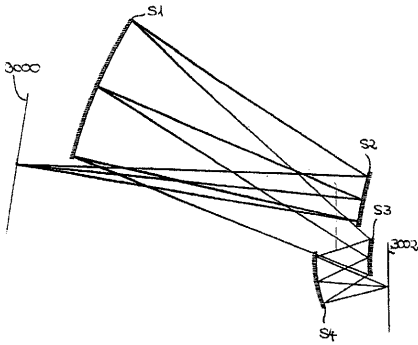
【 图 3 2 】



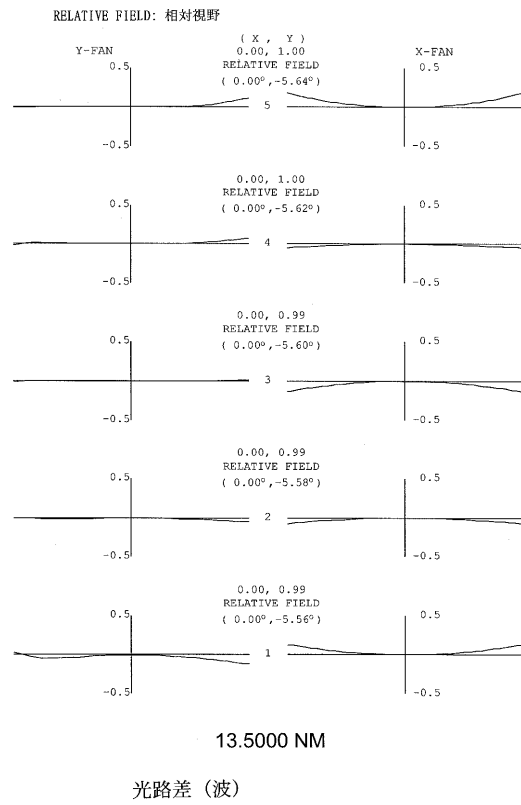
13.5000 NM

光路差 (波)

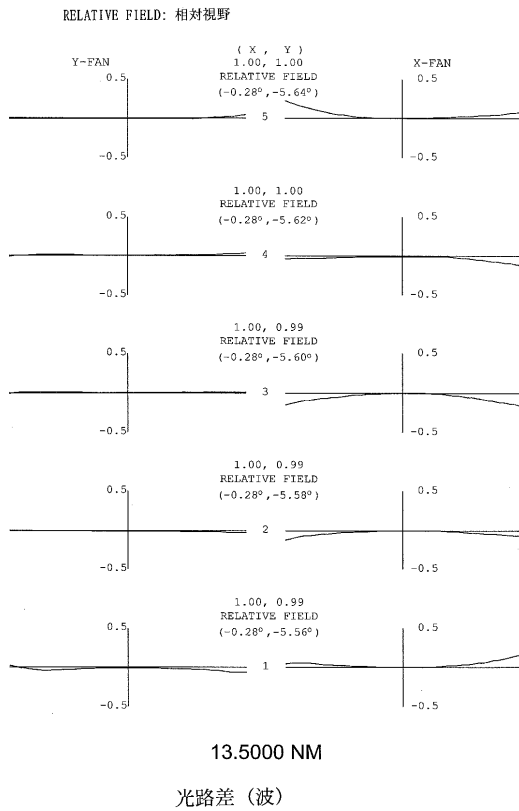
【 図 3 3 】



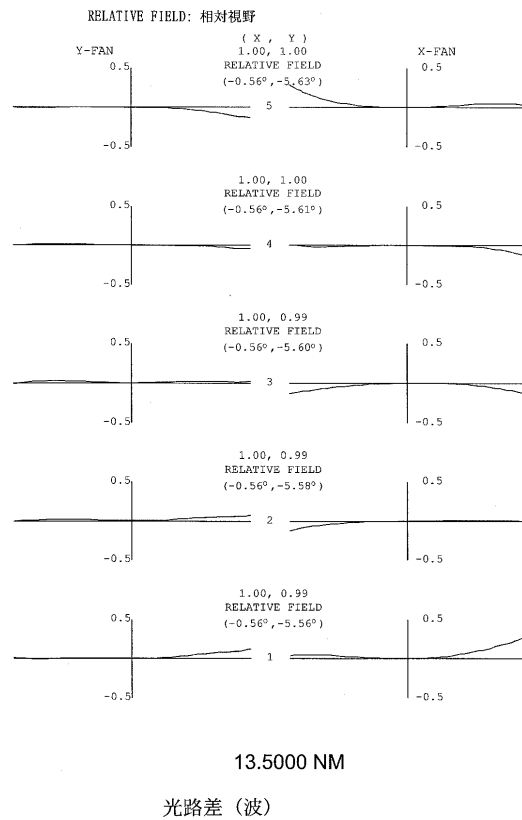
【 図 3 4 】



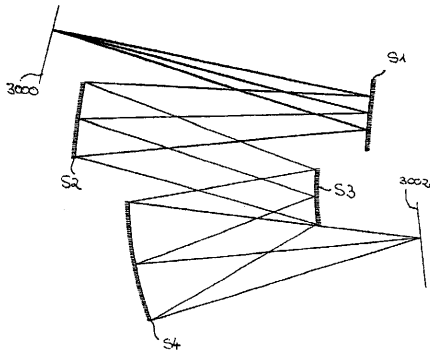
【 图 3 5 】



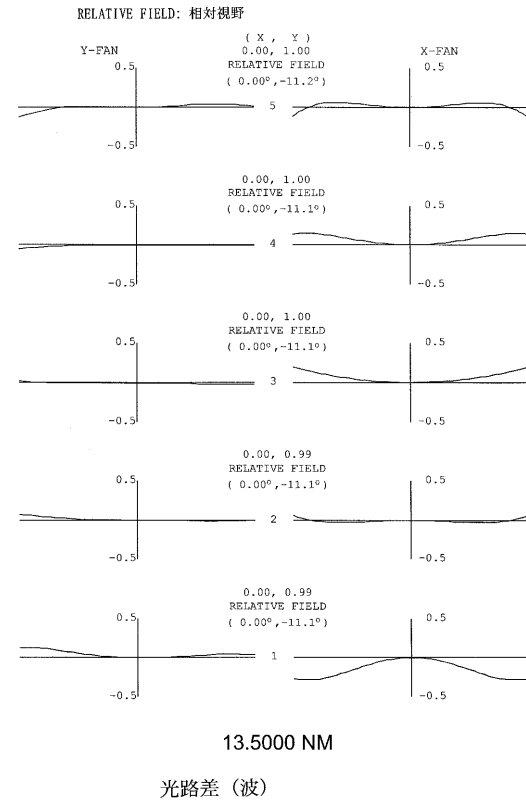
【 图 3 6 】



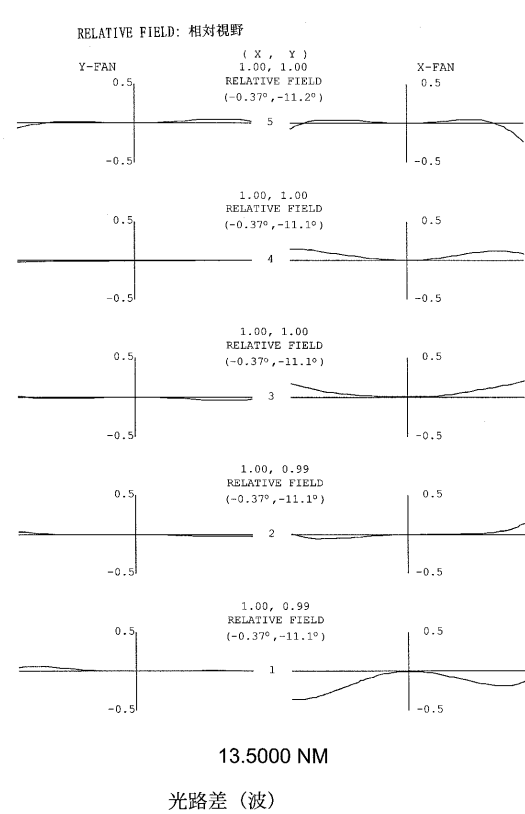
【 図 3 7 】



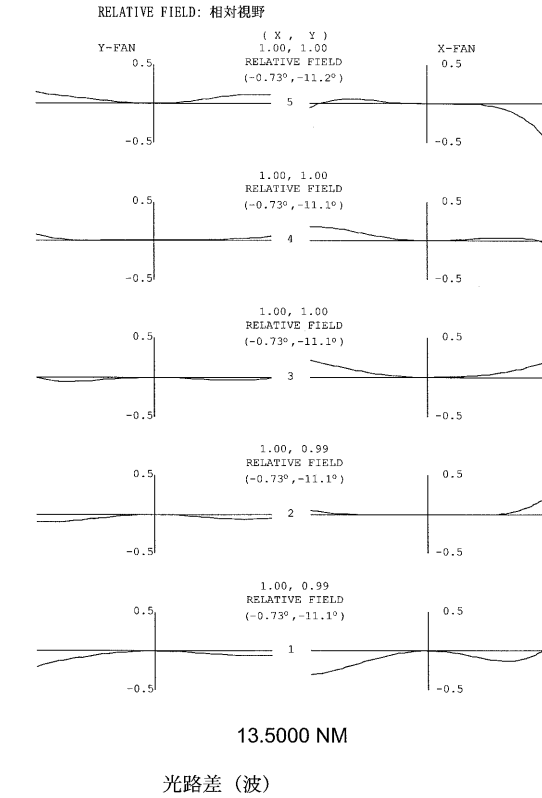
【 図 3 8 】



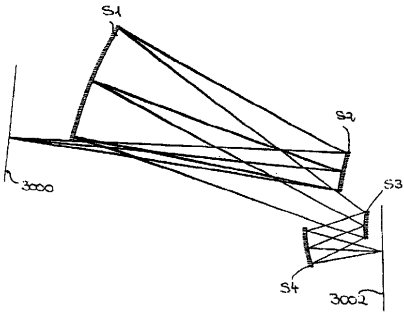
【 图 3 9 】



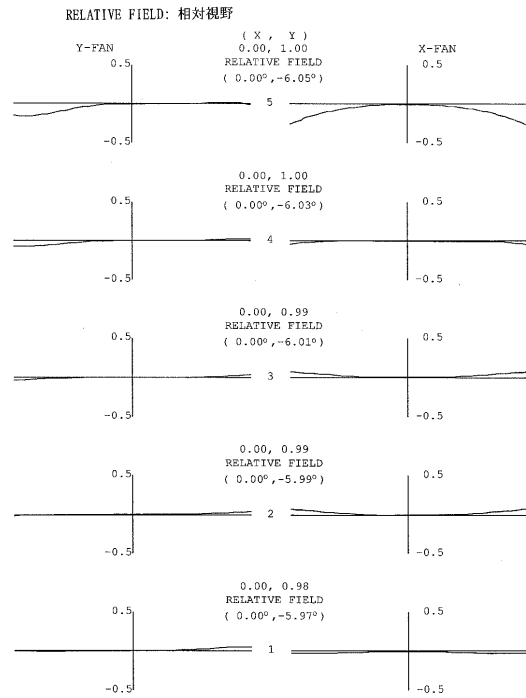
【 图 4 0 】



【 図 4 1 】



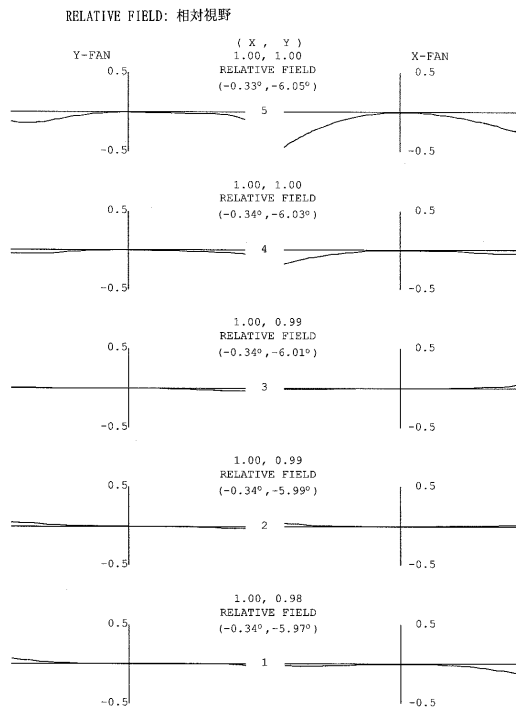
【 図 4 2 】



13.5000 NM

光路差 (波)

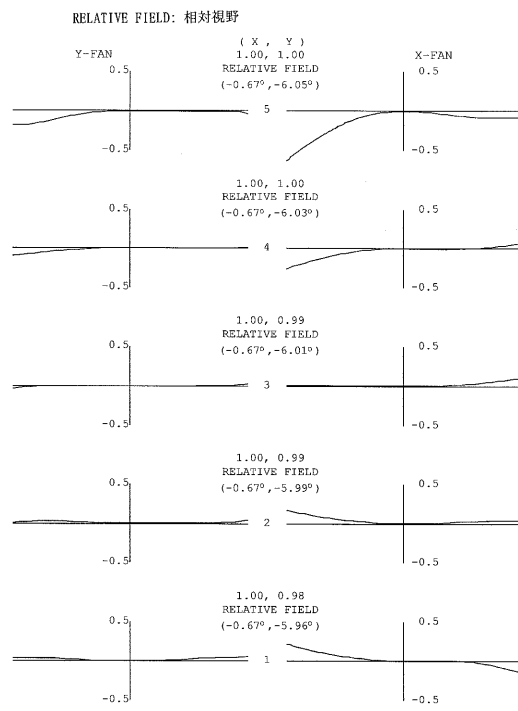
【 图 4 3 】



13.5000 NM

光路差 (波)

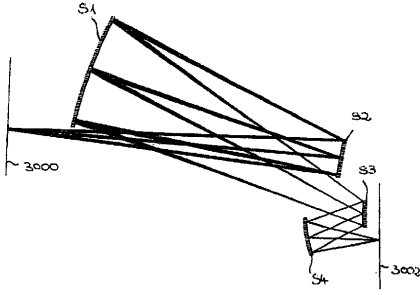
【 图 4 4 】



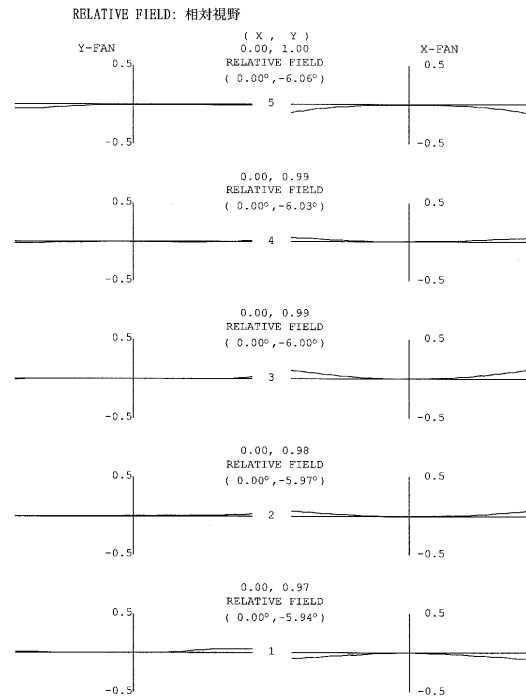
13.5000 NM

光路差 (波)

【 図 4 5 】



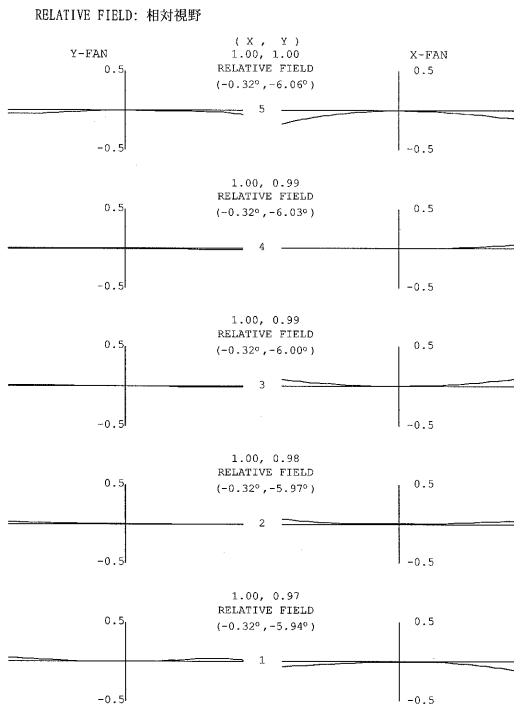
【 図 4 6 】



13.5000 NM

光路差 (波)

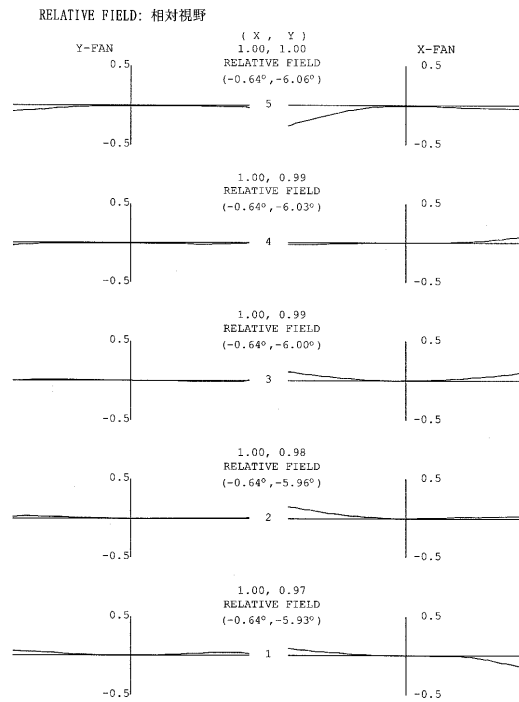
【 図 4 7 】



13.5000 NM

光路差 (波)

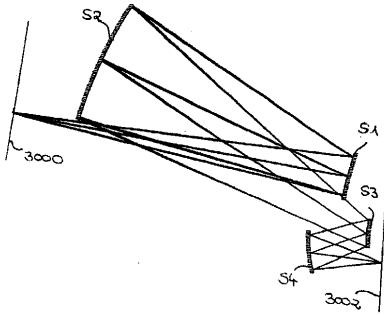
【 図 4 8 】



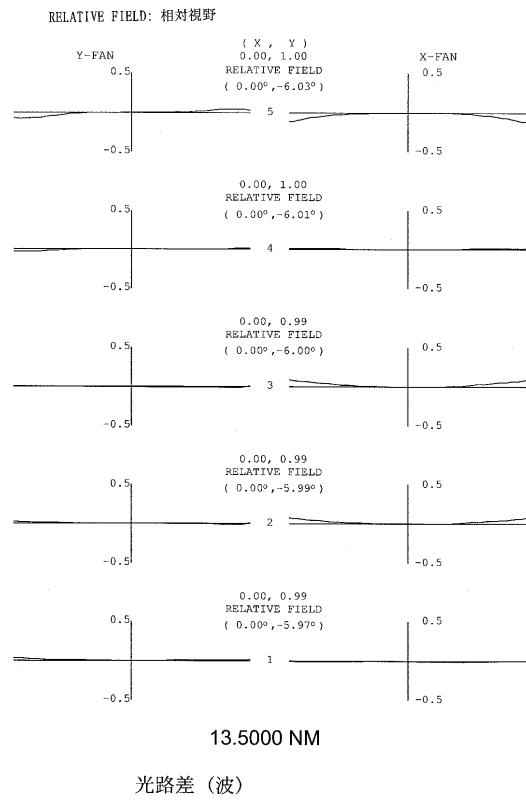
13.5000 NM

光路差 (波)

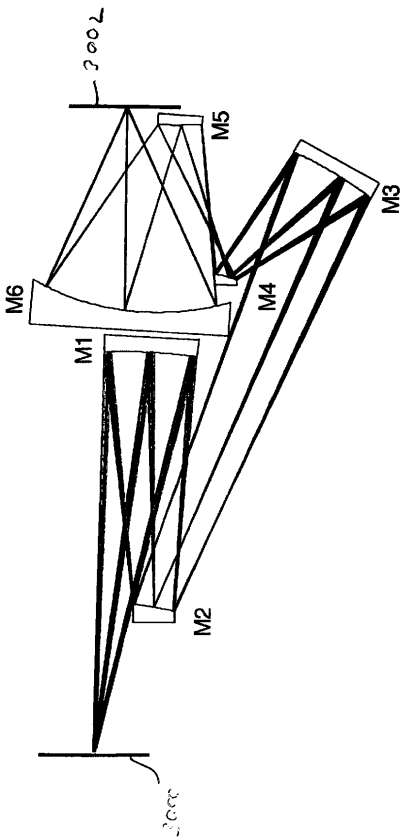
【 図 4 9 】



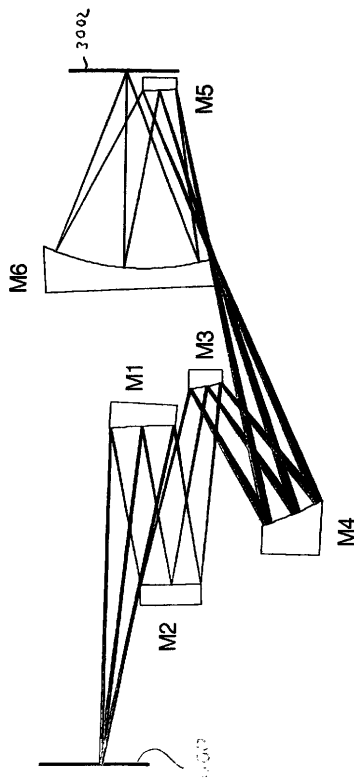
【 図 5 0 】



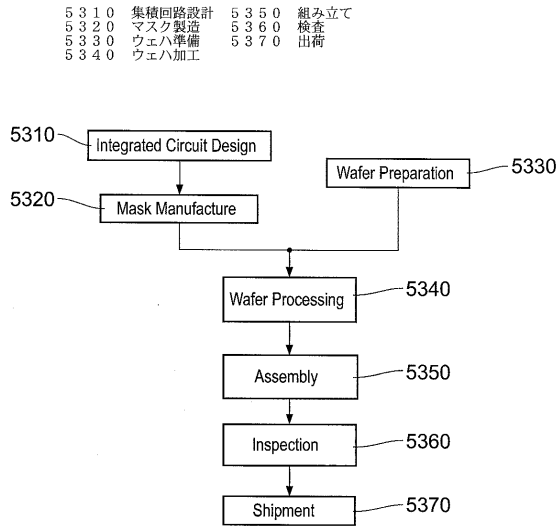
【 図 5 1 】



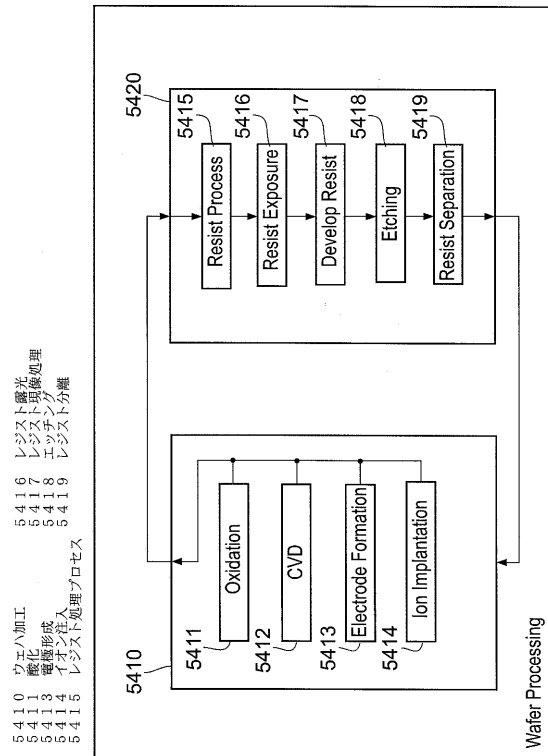
【 図 5 2 】



【 図 5 3 】



【 図 5 4 】



【 手続 補正書 】

【 提出日 】平成25年6月7日 (2013.6.7)

【 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複数の反射素子を備え、

前記回転非対称面は、1つ又はそれ以上の位置において、該回転非対称面に最もよく一致する回転対称面である回転対称基準面から 又はそれ以上のサグ方向の距離だけずれており、

前記像平面は、前記物体平面に対して傾けられ、

前記光学系は、像平面において矩形又はリング弧状の視野を有し、2つの直交する方向において、前記像視野は、前記2つの直交する方向の一方において1mm又はそれ以上寸法を有し、前記2つの直交する方向の他方において0.5mmから5mmの寸法を有するマイクロリソグラフィ投影光学系。

【 請求項 2 】

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複数の反射素子を備え、

前記回転非対称面は、1つ又はそれ以上の位置において、該回転非対称面に最もよく一

致する回転対称面である回転対称基準面から 又はそれ以上のサグ方向の距離だけずれており、

前記像平面は、前記物体平面に対して傾けられ、

前記光学系は、像平面において矩形又はリング弧状の視野を有し、2つの直交する方向において、前記像視野は、前記2つの直交する方向の両方向で1mm又はそれ以上の最小寸法を有するマイクロリソグラフィ投影光学系。

【請求項3】

前記像視野は、長い寸法と短い寸法を有し、前記長い寸法において5mmの最小寸法を有する請求項1又は2に記載の光学系。

【請求項4】

前記像視野は、長い寸法と短い寸法を有し、前記長い寸法において10mmの最小寸法を有する請求項1又は3に記載の光学系。

【請求項5】

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複数の反射素子を備え、

前記回転非対称面は、1つ又はそれ以上の位置において、該回転非対称面に最もよく一致する回転対称面である回転対称基準面から 又はそれ以上のサグ方向の距離だけずれており、

前記像平面は、前記物体平面に対して傾けられ、

前記光学系は、少なくとも4つの鏡を反射素子として含むマイクロリソグラフィ投影光学系。

【請求項6】

前記像平面と前記物体平面との間の傾斜角度は、3°よりも大きい請求項5に記載の光学系。

【請求項7】

前記像平面と前記物体平面との間の傾斜角度は、5°よりも大きい請求項6に記載の光学系。

【請求項8】

結像放射光の経路の主光線は、前記物体平面における物体平面法線に対して3°又はそれ以上の角度をなす請求項1から7のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項9】

結像放射光の経路の主光線は、前記物体平面における物体平面法線に対して5°又はそれ以上の角度をなす請求項8に記載の光学系。

【請求項10】

結像放射光の経路の主光線は、前記物体平面における物体平面法線に対して7°又はそれ以上の角度をなす請求項9に記載の光学系。

【請求項11】

開口絞りが、結像放射光が該開口絞りをちょうど1回通過するように配列される請求項1～10のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項12】

開口絞りが、結像放射光が該開口絞りを2回通過するように配列される請求項1から10のいずれか1項に記載の光学系。

【請求項13】

前記回転非対称面は、式

【数1】

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

で定められる面から 0 . 1 又はそれ以下のサグ方向の距離だけずれ、
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 から 1 2 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 1 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、前記回転対称基準面から 1 0 又はそれ以上のサグ方向の距離だけずれる請求項 1 から 1 3 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 1 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、前記回転対称基準面から 2 0 n m 又はそれ以上のサグ方向の距離だけずれる請求項 1 から 1 4 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 1 6】

前記複数の素子は、前記物体平面の法線並びに前記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る平面である前記光学系の子午面を定め、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 1 5 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 1 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 1 6 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 1 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み、ここで前記主光線角度倍率は、それぞれの前記反射素子からの反射前と反射後の主光線と基準軸との間の角度の正接の商である、請求項 1 から 1 7 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 1 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 1 8 に記載の光学系。

【請求項 2 0】

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

【請求項 2 1】

前記像視野の歪曲は 1 0 m m 又はそれ以下である請求項 1 から 2 0 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 2 2】

前記像視野の波面誤差は λ / 1 4 又はそれ以下である請求項 1 から 2 1 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 2 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 から 2 2 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 2 4】

前記物体平面の法線並びに前記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る平面である前記光学系の子午断面に対し、前記主光線は 2 0 ° 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 2 3 に記載の光学系。

【請求項 2 5】

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 2 4 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 2 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、前記物体平面の法線並びに前記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る平面である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 6.8 未満である請求項 1 から 2 5 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 2 7】

7.5 mm 又はそれ以下の物体 - 像シフトを有し、ここで前記物体 - 像シフトは、 $x - y$ 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である請求項 1 から 2 6 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 2 8】

前記複数の素子は、 2.5 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、ここで前記フリーボードは、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請求項 1 から 2 7 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 2 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 から 2 8 のいずれか 1 項に記載の光学系。

【請求項 3 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 2 9 に記載の光学系。

【請求項 3 1】

マイクロリソグラフィ装置であって、
請求項 3 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装置。

【請求項 3 2】

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 3 1 に記載のマイクロリソグラフィ装置を用意する工程と、
前記マイクロリソグラフィ装置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 3 3】

基準軸と一致する回転対称軸に関して回転対称である設計から出発し、
前記基準軸に対して平行に前記回転対称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、
前記基準軸に対して前記回転対称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む請求項 1 から 2 8 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

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
G 0 2 B 13/22 (2006.01) G 0 2 B 13/22

(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 オーバーコッヒエン・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 オーバーコッヒエン・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 LA01 NA02 NA04 NA11 RA06 TA02 TA06
5F146 GA03 GA21 GA27 GB11

【外国語明細書】

2013210647000001.pdf