

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4639352号  
(P4639352)

(45) 発行日 平成23年2月23日(2011.2.23)

(24) 登録日 平成22年12月10日(2010.12.10)

(51) Int.Cl.

F I

G 2 1 K 7/00 (2006.01)  
 G 0 3 F 1/16 (2006.01)  
 G 2 1 K 1/06 (2006.01)  
 H 0 1 L 21/027 (2006.01)

G 2 1 K 7/00  
 G 0 3 F 1/16 F  
 G 2 1 K 1/06 M  
 H 0 1 L 21/30 5 0 2 V  
 H 0 1 L 21/30 5 3 1 M

請求項の数 2 (全 43 頁)

(21) 出願番号 特願2004-504243 (P2004-504243)  
 (86) (22) 出願日 平成15年5月8日(2003.5.8)  
 (65) 公表番号 特表2005-525565 (P2005-525565A)  
 (43) 公表日 平成17年8月25日(2005.8.25)  
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2003/004803  
 (87) 国際公開番号 W02003/096356  
 (87) 国際公開日 平成15年11月20日(2003.11.20)  
 審査請求日 平成17年11月25日(2005.11.25)  
 (31) 優先権主張番号 102 20 816.6  
 (32) 優先日 平成14年5月10日(2002.5.10)  
 (33) 優先権主張国 ドイツ(DE)  
 (31) 優先権主張番号 102 20 815.8  
 (32) 優先日 平成14年5月10日(2002.5.10)  
 (33) 優先権主張国 ドイツ(DE)

(73) 特許権者 503263355  
 カール・ツァイス・エスエムティー・ゲー  
 エムペーハー  
 ドイツ連邦共和国、7 3 4 4 7 オベルコ  
 ッヘン、ルドルフ・エーバー・シュトラ  
 セ 2  
 (73) 特許権者 504311556  
 カール ツァイス エスエムエス ゲー  
 エムペーハー  
 ドイツ連邦共和国、ディー・O 7 7 4 5,  
 イェーナ、カール・ツァイス・プロム  
 ナーデ 1 O  
 (74) 代理人 100082005  
 弁理士 熊倉 禎男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長 $\leq 100\text{nm}$ で物体を検査する検査系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体平面内の物体を照明する照明系と、  
 前記物体の少なくとも一部分を像平面に反射、拡大、および投影するための波長 $100\text{nm}$ 以下のための撮像系と、  
 第一の鏡と第二の鏡を有し、前記物体平面から前記像平面までの光路内に配された第一副系、及び  
 第三の鏡を有し、前記光路内の前記第一副系の下流に配される第二副系、  
 を備える前記反射型X線顕微鏡を含む、前記像平面内の像記録系と、  
 を含み、  
 前記反射型X線顕微鏡は、  
 前記物体平面から前記像平面までの光路内に配される第一副系であって、前記光路内の  
 中間像平面に中間像を形成する第一副系、及び  
 前記中間像に後置された前記光路内の前記第一副系に後置された第二副系、  
 を備えることを特徴とする検査系。

【請求項 2】

前記第二副系を前記中間像平面方向に移動させ、前記物体を前記物体平面に対して垂直  
 方向に移動させる焦点調整装置をさらに含むことを特徴とする請求項1に記載の検査系。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

## 【0001】

本発明は、物体平面内で物体を検査する反射型X線顕微鏡に関し、物体は、波長 $<100\text{ nm}$ 、特に、波長 $<30\text{ nm}$ の光路で照明され、像平面内で拡大して結像される。この種の反射型X線顕微鏡は光路内で物体平面から像平面まで配置される第1副系を含み、第1副系は、少なくとも一つの第1光学結像要素、特に、第1鏡を含む。X線顕微鏡は次の特許から周知である。すなわち、米国特許第5222113号、米国特許第5311565号、米国特許第5177774号、米国特許第5144497号、米国特許第5291339号、米国特許第5131023号、EP特許0459833号。

## 【0002】

後置される回折格子を持つシュバルツシルド光学系は、米国特許5022064号から周知であり、反射型X線顕微鏡を備えた検査系は、特開平2001-116900号公報から周知である。

10

## 【0003】

米国特許第5222113号、米国特許第5311565号、米国特許第5177774号、EP特許0459833号はX線顕微鏡を示し、投影光学系内に結像のためのゾーンプレートが設けられる。フレネルゾーンプレートでは、波光学結像構成要素が関係し、光は、集中して配置される円形リングから成る系で回折される。X線波長の範囲で多数の光学要素を備える結像系内でのフレネルゾーンプレートの使用の欠点は、フレネルゾーンプレートが透過性部品であり、透過性部品はX線波長範囲での不良な透過に基づき大きい光損失に至ることである。

20

## 【0004】

結像系としてシュバルツシルド光学系を含むX線顕微鏡は、米国特許第5144497号、米国特許第5291339号、米国特許第5131023号から周知である。

## 【0005】

米国特許第5144497号、米国特許第5291339号、米国特許第5131023号で、概略的に記載されているX線顕微鏡では、光路は検査される物体に対してテレセントリックに構成され、このことは、反射中での物体の結像を困難にする。

## 【0006】

特に、X線リトグラフィーの分野で使用される物体の検査のため、使用するこの種の系の別の欠点は、十分な結像倍率のために全長が長くなることである。このことは、例えば、EUV投影露光設備内でのマスクの検査のための検査系の使用を困難にする。

30

## 【0007】

シュバルツシルド光学系は、米国特許第5022064号から周知であり、このシュバルツシルド光学系の後に回折格子が配置され、異なる波長のX線を異なる状態に回折し、光スペクトルを分離する。また、この系は物体ところでテレセントリックされる。

## 【0008】

波長 $<100\text{ nm}$ 、特に、 $<30\text{ nm}$ の光線により物体平面内でマイクロリトグラフィーのため、物体を検査する反射型顕微鏡は、特開平2001-116900号公報から周知である。この公報に開示されているX線顕微鏡は、第1凹面鏡と第2凸面鏡とを備えるシュバルツシルド光学系である。前記の系とは対照的に、光路は、物体の検査のため物体のところでテレセントリックされず、例えば、EUV反射マスクの反射での検査ができる。

40

## 【0009】

特開平2001-116900号に開示される系では、大きい結像倍率が要求される時、非常に長い全長を必要とするのが欠点である。

【特許文献1】米国特許第5222113号

【特許文献2】米国特許第5311565号

【特許文献3】米国特許第5177774号

【特許文献4】米国特許第5144497号

【特許文献5】米国特許第5291339号

【特許文献6】米国特許第5131023号

50

【特許文献 7】E P 特許 0 4 5 9 8 3 3 号。  
【特許文献 8】米国特許第 5 0 2 2 0 6 4 号  
【特許文献 9】特開平 2 0 0 1 - 1 1 6 9 0 0 号公報  
【特許文献 1 0】E P 特許 0 6 2 8 8 0 6 号  
【特許文献 1 1】特開平 2 0 0 4 - 3 2 1 0 4 7 号公報  
【特許文献 1 2】米国特許第 5 0 6 3 5 8 6 号  
【特許文献 1 3】米国特許第 5 1 5 3 8 9 8 号  
【特許文献 1 4】米国特許第 4 7 9 8 4 5 0 号  
【特許文献 1 5】E P 特許 0 9 6 2 8 3 0 号  
【特許文献 1 6】米国特許第 6 2 4 4 7 1 7 号  
【特許文献 1 7】W O 0 2 / 2 7 4 0 1  
【特許文献 1 8】W O 0 2 / 2 7 4 0 2

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 1 0】

本発明の課題は、技術水準の欠点、特に、特開平 2 0 0 1 - 1 1 6 9 0 0 号公報の欠点を回避し、マイクロリトグラフィーのための物体の検査を可能にし、短い全長を有する反射型顕微鏡を提供することである。特に、X 線顕微鏡の全長を 5 m 以下にし、特に、3 m 以下で、倍率は 1 0 - 1 0 0 0 0 x、特に、3 0 0 - 1 0 0 0 x にするのがよい。

20

【0 0 1 1】

本発明の別の観点では、波長 < 1 0 0 nm、特に、波長 1 0 - 3 0 nm で、ホトリトグラフィー工程のためのマスク検査を可能にする検査系を提供することである。

【0 0 1 2】

UV 範囲での波長を持つホトリトグラフィー工程の透過マスクの検査のための検査系は、E P 特許 0 6 2 8 8 0 6 号、特開平 2 0 0 4 - 3 2 1 0 4 7 号公報から周知である。これらの刊行物の内容は、本願の開示内容に完全に組み込まれている。これらの系には透過マスクの検査だけが記載され、すなわち、EUV リトグラフィーで使用される反射マスクの検査は記載されていない。

【課題を解決するための手段】

【0 0 1 3】

この課題は、マイクロリトグラフィーのための物体の検査ができ、短い全長を有する X 線顕微鏡を提供し、第 1 副系および第 2 副系内で X 線顕微鏡を分割することにより解決され、そのために、種々の実施例が可能である。

30

【0 0 1 4】

本発明の第 1 実施例では、本発明によると第 1 観点で、この課題は次のようにして解決される。特に、シュワルツシルド系の形状で構成される第 1 鏡および第 2 鏡を含む第 1 副系に、少なくとも一つの第 3 鏡を含む第 2 副系が光路内に後置される。この第 3 鏡は、物体から像までの光路を回折し、特開平 2 0 0 1 - 1 1 6 9 0 0 号公報から周知である系に対して全長を著しく減少することができる。

【0 0 1 5】

2 鏡以上を備える系は、投影対物レンズのための EUV リトグラフィーの分野で周知である。

40

【0 0 1 6】

例えば、この種の系は米国特許第 5 0 6 3 5 8 6 号、米国特許第 5 1 5 3 8 9 8 号、米国特許第 4 7 9 8 4 5 0 号、E P 特許 0 9 6 2 8 3 0 号から周知である。

【0 0 1 7】

これらの全ての系では、縮小対物レンズに関するものである。これらの刊行物は、物体を拡大して像平面内に結像する系をどのようにして構成しなければならないかということに対して手がかりを提供できない。

【0 0 1 8】

50

特に、この対物レンズでは、できる限りの短い全長を達成するという問題に立ち向かうことはできない。むしろ、結像特性が主観点である。

【0019】

前記のように、第2副系の少なくとも一つ第3鏡は、光路を回折し、像でのほぼテレセントリックな光路の調整のために役立つ。

【0020】

特に、第2副系が、全長の縮小を保証する全体として2個の鏡を含むと有利である。特に、この種の配置では、第1副系および像平面の第2鏡の範囲で生じる構造空間の問題を解決することができる。何故ならば、物体平面および像平面は4鏡系では、空間的に相互に非常に離れて分離され、その上、対物レンズの外側に位置し、対物レンズの反対側に位置するからである。

10

【0021】

有利には、光路は像の近くでテレセントリックする。

【0022】

特に、第1副系の第1鏡および第2鏡は非球面に形成され、第3鏡および第4鏡は、それぞれ、非球面にも球面にも形成される。このため、仕上げ技術的に簡単に製造されるので球面鏡は都合がよい。

【0023】

像平面内で検査される物体の十分な拡大を保証するため、全体の系は  $10\times$ 、特に、 $300\times$  -  $1000\times$  の範囲の結像倍率を有する。

20

【0024】

この反射型X線顕微鏡は、物体から像平面までの光路内で実際の間像なしに結像されるか、実際の間像で結像できる。中間像を備える構成は、第1副系と第2副系が対向して延びることができ、像は中間像焦点平面の上下に撮像できる長所があり、例えば、マスク検査ではマスク欠陥の情報を次に説明するように送ることができる。

【0025】

第1副系の後の光路内に実際の間像を形成する場合、本発明の次に説明する実施例では、少なくとも一つの第1光学要素を含む第1副系に、第2副系を光路内に後置し、中間像平面内の中間像が像平面内の拡大像に結像されることにより、課題が解決される。

【0026】

第2副系は、別の構成では、光電子顕微鏡 (PEEM) を含むことができる。それから、第1副系は、小さい第1倍率、例えば、 $0.1\times$  -  $100\times$ 、特に、 $1\times$  -  $10\times$  の第1結像倍率だけが必要である。PEEMは可変倍率を備えるズーム対物レンズとして構成できる。

30

【0027】

物体平面から像平面までの  $10\times$ 、特に、 $300$  -  $10000\times$  で全体の系の必要な倍率は、光電子顕微鏡により拡大される。このようにして、全体の系の全長は、特開平2001-116900号公開公報で周知である系に対して著しく縮小できる。

【0028】

光電子顕微鏡、いわゆるPEEMは、技術水準で説明され、例えば、Firma Focus GmbH, D-65100 Hunstetten-Gosrohにより製造および販売されている。これに関しては、ウェブページ <http://www.focus-gmbh.com> で示されている。このインターネットサイトで説明されている光電子顕微鏡は、光を像の形成のために確実にする顕微鏡ではなくて、エレクトロンである。光電子顕微鏡では、検査される物体は電界形レンズを含む結像電子光学系により結像される。この場合、像を形成する電子は、中間像内配置されるか、その近くに配置されるホット電極、例えば、ホットカソードの放射によりX線で生じられ、レンズ系により増幅のためにマルチチャネルプレート上に結像される。この出願では、中間像平面の近くの配列は  $10 \cdot \lambda / NA^2$ 、特に、 $5 \cdot \lambda / NA^2$  の間隔である。ここで、 $\lambda$  は入射光の波長であり、 $NA = NA_1$  であり、ここで、NAは結像系の開口数であり、 $1$  は第1副系の結像倍率である。マルチチャネルプレートにより多重される電子は、例えば、マ

40

50

ルチチャネルプレートの上に配置される蛍光体スクリーン上で可視光線に変換され、例えば、CCDカメラで観察できる。顕微鏡により、20nmの横解像度が達成できる。

【0029】

顕微鏡による像平面内での拡大像の中間像の結像の代わりに、第2副系を設けることもでき、第2副系は中間像平面内または中間像平面の近くで蛍光体板と、波長の長い光のための蛍光体板に後置されるレンズ系とを含む。蛍光体板上に入射するX線により、波長の長い光の範囲内に蛍光線が発生される。それから、この蛍光線は、光学結像系、例えば、レンズ系またはフルネルゾープレートまたは任意の回折光学要素により、像平面内で結像できる。

【0030】

第1副系として、結像のための光学系に属する全てのEUV光学要素、例えば、多層被覆された鏡、ゾンプレートまたは回折光学要素を考慮することができる。

【0031】

特に、第1副系は、第1鏡S1と第2鏡S2という2つの鏡を含む。特に、第1鏡は凹面鏡であり、第2鏡は凸面鏡である。特に、第1鏡および第2鏡は非球面に形成される。

【0032】

第2副系は、特に、中間像平面内の中間像を像平面内の像に拡大して結像することに役立つ。そのため、この第2副系の結像倍率は大きく、 $\times 3$ である。特に、結像倍率は $50 \times$ から $500 \times$ の範囲である。第2副系の結像倍率は、この出願では、中間像平面内での中間像の結像により、像平面内の拡大像で定義される。第2副系として、顕微鏡(P.E.E.M.)、後続される光学顕微鏡を備えた蛍光コンバータまたは他のコンバータ顕微鏡を使用でき、それらは、結像系内での別の処理のため、X線は他の結像キャリア、例えば、波長の長い光子、電子またはイオンに変換できる。

【0033】

特に、本発明による反射型X線顕微鏡は、顕微鏡の鏡が調心して配置される光軸を有する。

【0034】

米国特許から周知であるX線顕微鏡と対照的に、本発明による反射型X線顕微鏡では、物体平面内の物体は、特に、光軸の上下に配置される。このことは、反射中、例えば、反射するEUVマスク内での物体の検査を可能にし、物体平面および像平面が相互に傾斜して配置されることがなく、すなわち、像平面と同様に物体平面は反射するX線対物レンズの光軸に対して垂直である。これにより、像誤差を最小にできる。何故ならば、これにより、全方向での全ての視野個所のための均一な結像倍率が達成されるからである。

【0035】

特に、開口数の調整のため、反射型顕微鏡が開口絞りを含むと有利である。異なる数の開口を調整できるため、開口絞りは接近可能であれば有利である。

それで、開口絞りの有利な配置は、物体平面の後、第1鏡の前での第1副系内の物体平面から像平面までの光路内での配置である。開口絞りは光軸に対して偏心される。開口絞りは、特に、投影露光設備の異なる数の開口により異なる開口ステップの調整をシミュレートできる。

【0036】

本発明の第2の観点では、物体を検査する検査系は、波長100nmを持つマイクロリトグラフィーのための特別のマスクが使用される。検査系は物体平面内での物体の視野の照明のための照明系を含む。光源として、照明系は、例えば、放電源、レーザプラズマ源またはシンクロトロン源を含む。例えば、13.5nmの最適な光線は、格子スペクトルフィルタで濾過できる。物体平面内で、照明される視野内において、少なくとも、検査されるマスクの一部分が配置される。さらに、検査系は、像平面内で検査されるマスクの少なくとも一部分を結像するため、波長100nmの結像系を含む。像平面内で、この平面内で拡大される結像物体の観察のための観察系が設けられる。

【0037】

本発明による検査系では、結像系は、本発明による反射型X線顕微鏡が有利である。

【0038】

本発明による検査系は、特に、物体平面内で物体を位置決めする位置決め装置を含む。それにより、物体平面内で検査される物体の完全に目標とされる部分に移動でき、物体の異なる部分の像を像平面内に撮像できる。

【0039】

本発明の有利な実施例では、結像系は接近可能で調整可能な開口絞りを含む。調整可能な開口絞りは開口を調整することができ、物体での結像特性は、投影露光設備内の結像特性に対して等しい。EUVリトグラフィーのための投影露光設備は、例えば、WO 02 / 27401、WO 02 / 27402または米国特許6244717号から周知であり、これらの開示内容は、この出願に完全に包含される。EUV投影露光設備内の可能な不明瞭化は、例えば、検査系の照明システム系内に配置される不明瞭化絞りにより、シミュレートできる。

10

【0040】

投影露光設備が、例えば、像側で0.3のNAと、4xの倍率の投影対物レンズを有すると、投影系内の結像に対応する結像を得るため、検査系内で調整可能な開口絞りで事前に選択される開口は0.3:4であり、すなわち、0.075である。

【0041】

調整可能な開口絞りは、0.001 NA 0.25の範囲で自由に調整できる。

【0042】

20

結像系内の調整可能な開口絞りと並んで、本発明の有利な実施例では、照明系も調整可能な照明開口絞りを含めて設けることができる。

【0043】

結像光学系の開口絞りの平面に結合する平面内に配置される照明系内の照明絞りにより、瞳孔充填率のサイズを設定できる。瞳孔充填率は  $\sin \theta / \sin \theta_0$  として定義され、ここで、 $\sin \theta$  は物体での照明系の開口数  $NA_{\text{照明}}$  に対応し、 $\sin \theta_0$  は物体での結像系の開口数  $NA_{\text{結像}}$  に対応する。の調整は、投影露光設備のための異なる種類の照明系をシミュレートすることを可能にする。上記のように開口絞りと照明開口絞りは、円形絞りでの設定瞳孔充填率により円形照明の調整を可能にする一方、絞り変更体、例えば、絞り車輪の装着により照明開口絞り平面内で、環状照明、4極性照明または2極性照明もシミュレートすることができる。視野を限定するため、対物レンズに対して結合する平面内で視野絞りを設けることができる。

30

【0044】

特に、検査系の撮像系は分析ユニットを有し、分析ユニットにより像平面内での物体の像を評価できる。

【0045】

特別の構成では、ステッパーとして構成される投影露光設備の特性のシミュレーションと並んで、マスクの質的検査および量的検査を可能にするために、検査系は、特に、物体を物体平面に対して垂直に移動できる焦点調整装置を含む。これは、設定された焦点位置で物体での一方箇所および同じ箇所での像の撮像を可能にする。特に、下から上へ焦点合わせは所定の段階で対称的に実行される。異なる焦点位置で撮像される像は、分析ユニットで評価され、マスクの品質についての少なくとも一つの命令を実行できる。マスクが異なる箇所で欠陥を持つならば、分析ユニットは、この欠陥を正確に分析することができる。同様に、マスクを修理でき、続いて新たに分析することができる。

40

【0046】

特に、分析ユニットは撮像される像データをデジタル処理できるマイクロコンピュータ装置を含む。

【0047】

本発明の特別に有利な実施例は、第1結像系と平行に配置され、波長  $> 100 \text{ nm}$  のための第2結像系を含む。この第2結像系は、例えば、UV光線またはVUV光線で、例えば

50

、マスクのＩラインを全体的に最初に大まかに検査することができる。特に、この種の補助観察系は同一焦点および／または同心に配置される。全体のマスクは、例えば、 $6 \times 6$  ( $152 \text{ mm} \times 152 \text{ mm}$ ) の寸法を有し、物体視野は  $2 \times 2 \text{ mm}$  であり、全体のマスクの大まかな検査ができる。それから、マスクを位置決め装置により欠陥が生じている個所に移動できる。波長  $100 \text{ nm}$  のための結像光学系により、この選択された個所を検査することができる。波長  $100 \text{ nm}$  のための結像光学系を検査できる物体視野は、 $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ 、特に、 $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$  である。

#### 【0048】

本発明の特に有利な実施例では、第２副系は交換でき、または、取り替えできる。第２副系の交換により、物体視野は拡大でき、マスクは全体として、最初に大まかに検査できる。全体のマスクは、例えば、 $6 \times 6$  ( $152 \text{ mm} \times 152 \text{ mm}$ ) の寸法を有し、物体視野は  $2 \times 2 \text{ mm}$  であり、全体のマスクの大まかな検査ができる。それから、マスクを位置決め装置により欠陥が生じている個所にも移動できる。小さい物体視野と大きい倍率を備えた別の第２副系により、この選択された個所を詳細に検査できる。物体視野は、特に、 $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ 、特に、 $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$  である。

#### 【0049】

第２副系が光電子顕微鏡として構成され、例えば、 $40 \times$  から  $4000 \times$  の範囲の可変倍率、すなわち、ズーム作用を有する系では、異なる大きい物体視野は光電子顕微鏡の倍率調整により検査できる。

#### 【0050】

特に、少なくとも、検査系、例えば、第１副系の波長  $100 \text{ nm}$  のための結像部分は、ＥＵＶ使用のための適切な真空内に配置される。

#### 【0051】

本発明による検査系と並んで、波長  $100 \text{ nm}$  を持つマイクロリトグラフィーのため、物体、特に、マスクの検査の方法にも使用され、物体平面内で物体視野は照明系で照明され、検査される物体は位置決め装置により照明された物体視野にもたらされ、撮像系が配置される像平面内で波長  $100 \text{ nm}$  の結像系により結像される。マスクの特徴付けのため、有利な方法では、検査される物体は焦点調整装置により、物体平面に対して垂直に移動され、像は焦点の上下での設定焦点位置で撮像され、評価される。

#### 【0052】

中間像を持つ系では、変更または追加して、第２副系を中間像の焦点に対して移動でき、像を設定焦点位置で撮像できる。代わりに、全体の結像装置または第１副系だけを、物体平面と垂直に軸線方向へ移動できる。

#### 【0053】

本発明による検査系の用途は多様である。前に詳細に説明したように、この種の検査系は、マスク素材、被覆されたマスク素材、仕上げ工程中のマスクのため、波長  $100 \text{ nm}$  を持つマイクロリトグラフィーに適し、同様にマスクの修理の管理にも適する。また、マスク変更工程の管理ができる。さらに、この種の検査系により、投影露光設備の露光工程は開口および瞳孔充填率の調整によりシミュレートでき、それで、投影露光設備は構成でき、最適化できる。この検査系はウエハの検査にも適する。

本発明を図面に基づいて次に詳細に説明する。

#### 【実施例１】

#### 【0054】

図１において、第１鏡Ｓ１と第２鏡Ｓ２とを含む第１副系を備えた発明の第１実施例が図示されている。この実施例では、第１鏡Ｓ１は凹面鏡であり、第２鏡Ｓ２は凸面鏡である。鏡Ｓ１、Ｓ２は光軸ＨＡに対して調心して配置される。第２副系は第３鏡を含む。また、第３鏡は光軸に対して調心して配置される。光軸ＨＡに対して偏心して物体平面１内で配置される物体は、本発明による拡大結像Ｘ線顕微鏡により像平面３内に結像される。像平面３は、第２鏡Ｓ２並びに物体平面と第１鏡との間で光軸に対して偏心して配置される開口絞りＢの近くにある。

## 【 0 0 5 5 】

鏡 S 1、S 2、S 3 の全ての鏡表面は回転対称で、非球面鏡部分表面である。

## 【 0 0 5 6 】

第 1 鏡の曲率半径は  $|R_1| = 500 \text{ mm}$  であり、第 2 鏡の曲率半径は  $|R_2| = 3.5 \text{ mm}$  であり、第 3 鏡の曲率半径は  $|R_3| = 4000 \text{ mm}$  である。

第 2 鏡は比較的に小さい曲率半径だけを有する。この小さい曲率半径は要求される大きい結像倍率を生じるために必要である。開口絞り B は、物体平面と第 1 鏡との間で物体平面から  $466 \text{ mm}$  の間隔で離れ、 $60 \text{ mm}$  の最大偏心開口を有する。光学系の全長、つまり、開口絞り B が配置される絞り平面から第 3 鏡 S 3 までの間隔は  $2007 \text{ mm}$  であり、物体平面 1 から開口絞り B までの間隔は  $466 \text{ mm}$  である。全体系は  $\times = -500$  の結像倍率を有する。物体平面および像平面での物体と像は、光軸 H A に関して反対側で偏心している。

10

## 【 0 0 5 7 】

表示される 3 鏡系の長所は、3 個の鏡だけで  $2500 \text{ mm}$  以下のわずかな全長を実現でき、全長、すなわち、第 3 鏡の頂点までの開口絞りの間隔が  $2007 \text{ mm}$  であり、開口平面内の開口絞り B から物体平面 1 までの間隔が  $466 \text{ mm}$  であることで分かる。図 1 による実施例の全体の対物レンズデータは付属表 1 a に示され、表面データの概要は付属表 1 b に示され、表面データの詳細は付属表 1 c に示される。光学データの全体の先行する表および後行する表は、Z E M A X フォーマットのデータである。Z E M A X フォーマットは当業者にとって周知である。

20



【表 1 A】

レンズ特徴：

特徴

 $\beta' = -500$ 

凹面—凸面—凹面

全体的レンズデータ：

表面	:	7
絞り	:	3
系開口	:	物体空間 NA=0.1672
ガラスカタログ	:	ショット
光線照準	:	実際基準、キャッシュ オン
X瞳孔シフト	:	0
Y瞳孔シフト	:	0
Z瞳孔シフト	:	0
アボダイゼーション	:	均一、係数=0.00000E+000
有効焦点長さ	:	234.2387 (空气中)
有効焦点長さ	:	234.2387 (像空間中)
バック焦点長さ	:	-112265.6
トータルトラック	:	2333
像空間F/#	:	1.482005
近軸作動F/#	:	1474.167
作動F/#	:	1497.046
像空間NA	:	0.0003391746
物体間隔NA	:	0.1672
絞り半径	:	79.02767
近軸像高さ	:	19.03943
近軸倍率	:	-500
入射瞳孔直径	:	158.0553
入射瞳孔位置	:	325.5
射出瞳孔直径	:	79.52777
射出瞳孔位置	:	117421.5
視野型式	:	物体高さ mm
最大視野	:	0.03807887
主波	:	0.0135
レンズ単位	:	mm
角度倍率	:	-1.987423

10

20

視野 : 8

視野型式：物体高さ mm

#	X 値	Y 値	重量
1	0.000000	-0.005000	1.000000
2	0.000000	-0.012500	1.000000
3	0.000000	-0.020000	1.000000
4	0.000000	-0.027500	1.000000
5	0.000000	-0.035000	1.000000
6	0.015000	-0.005000	1.000000
7	0.015000	-0.020000	1.000000
8	0.015000	-0.035000	1.000000

30

口径食係数

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

40

波長 : 1

単位：ミクロン

#	値	重量
1	0.013500	1.000000

【表 1 B】

レンズ特徴：

特徴

$\beta' = -500$

凹面－凸面－凹面

表面データ概要

表面	型式	コメント	半径	厚み	ガラス	直径	円錐
物体	標準	物体平面-OE	無限大	140.5		0.07615773	0
1	標準	補助表面	無限大	325.5		47.70722	0
2	標準	補助表面	無限大	0		158.0553	0
絞り	標準	絞り	無限大	370		158.0553	0
4	平滑球面	第1鏡	-500	-352.5	鏡	276.962	0
5	平滑球面	第2鏡	-3.5	1990	鏡	1.385541	0
6	平滑球面	第3鏡	-4000	-2000	鏡	38.53955	0
像	標準	像平面-BE	無限大			38.80791	0

## 【表 1 C】

レンズ特徴：  
特徴  
 $\beta' = -500$   
凹面—凸面—凹面

## 表面データ詳細

表面 物体	: 標準	
コメント	: 物体平面-O E	
開口	: 矩形開口	
X 半分幅	: 0. 0 1 5	
Y 半分幅	: 0. 0 1 5	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: -0. 0 2	
表面 1	: 標準	
コメント	: 補助表面	
開口	: 矩形開口	
X 半分幅	: 3 0	
Y 半分幅	: 1 5	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: -2 0. 6 4	
表面 2	: 標準	
コメント	: 補助表面	
開口	: 円形開口	
最小半径	: 0	
最大半径	: 3 0	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: -4 8. 9 8	
表面絞り	: 標準	
コメント	: 絞り	
表面 4	: 平滑球面	
コメント	: 第1鏡	
係数 r 2	: -4. 8 3 0 7 1 2 5 e-0 0 6	
係数 r 4	: 1. 5 0 7 6 7 4 e-0 1 0	
係数 r 6	: 5. 9 5 4 9 0 6 e-0 1 6	
係数 r 8	: 9. 9 6 3 5 9 4 e-0 2 2	
係数 r 1 0	: -6. 0 6 3 5 1 7 5 e-0 2 7	
係数 r 1 2	: 9. 0 5 8 3 7 2 6 e-0 3 1	
係数 r 1 4	:	0
係数 r 1 6	:	0
表面 5	: 平滑球面	
コメント	: 第2鏡	
係数 r 2	: -0. 0 0 2 9 7 2 5 7 0 7	
係数 r 4	: 0. 0 0 0 9 5 7 4 9 3 0 9	
係数 r 6	: 0. 0 0 5 4 9 9 5 0 8 5	
係数 r 8	: -0. 0 1 9 4 8 4 3 1	
係数 r 1 0	: 0. 0 4 7 3 9 1 2 5 4	
係数 r 1 2	: -0. 0 8 1 3 9 2 8 4 4	
係数 r 1 4	: 0. 0 8 3 8 0 6 8 6 3	
係数 r 1 6	: -0. 0 3 4 8 3 9 9 0 4	
表面 6	: 平滑球面	
コメント	: 第3鏡	
係数 r 2	: 1. 6 4 6 4 2 3 1 e-0 0 6	
係数 r 4	: 5. 7 6 3 3 4 6 6 e-0 0 9	
係数 r 6	: -1. 3 1 7 4 4 9 e-0 1 1	
係数 r 8	: 4. 0 2 8 0 3 2 5 e-0 1 4	
係数 r 1 0	: -7. 0 7 3 4 6 6 5 e-0 1 7	
係数 r 1 2	: 5. 3 0 1 7 9 2 3 e-0 2 0	
係数 r 1 4	:	0
係数 r 1 6	:	0
表面像	: 標準	
コメント	: 像平面-B E	

10

20

30

40

## 【実施例 2】

## 【0058】

図2では、第1鏡S1と第2鏡S2とを含む第1副系と、第3鏡と第4鏡とを含む第2副系とを備えた4鏡系が示されている。第1鏡は参照符号S1が付され、第2鏡は参照符号S2が付され、第3鏡は参照符号S3が付され、第4鏡は参照符号S4が付されている。第1鏡S1では凹面鏡が関係し、第2鏡では凸面鏡が関係し、第3鏡および第4鏡では、それぞれ、凹面鏡が関係する。この実施例では、開口絞りBは第1鏡S1の前のわずかな

50

間隔に配置される。この種の配置は明らかにわずかな口径食に通じる。全体系の結像倍率は  $\beta' = 3.54$  であり、すなわち、物体平面 1 内の物体および像平面 3 内の像は、光軸 H A に対して同じ側に偏心している。本発明のこの実施例の全体の対物レンズデータは付属表 2 a で示され、概要表面データは付属表 2 b で示され、特定の表面データは付属表 2 c で示される。

【表 2 A】

レンズ特徴：

特徴

$\beta' = 3.54$

凹面－凸面－凹面－凹面

10

全体的レンズデータ：

表面	:	7	
絞り	:	3	
系開口	:	物体空間	NA=0.1672
ガラスカタログ	:	ショット	
光線照準	:	実際基準、キャッシュ	オン
X 瞳孔シフト	:	0	
Y 瞳孔シフト	:	0	
Z 瞳孔シフト	:	0	
アポダイゼーション	:	均一、係数=0.00000E+000	
有効焦点長さ	:	-15.36043	(空气中)
有効焦点長さ	:	-15.36043	(像空間中)
バック焦点長さ	:	3582.062	
トータルトラック	:	3013	
像空間 F/#	:	0.01442053	
近軸作動 F/#	:	1043.713	
作動 F/#	:	994.9058	
像空間 NA	:	0.0004790589	
物体空間 NA	:	0.1672	
絞り半径	:	532.5889	
近軸像高さ	:	13.47995	
近軸倍率	:	354.0009	
入射瞳孔直径	:	1065.178	
入射瞳孔位置	:	3000	
射出瞳孔直径	:	5.20994	
射出瞳孔位置	:	-5445.013	
視野型式	:	物体高さ	mm
最大視野	:	0.03807887	
主波	:	0.0135	
レンズ単位	:	mm	
角度倍率	:	-204.4511	

20

30

視野 : 8

視野 型式: 物体高さ mm

#	X 値	Y 値	重量
1	0.000000	0.005000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

口径食係数

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

40

波長 : 1

単位: ミクロン

#	値	重量
1	0.013500	1.000000

50

## 【表 2 B】

レンズ特徴：

特徴

$\beta' = 354$

凹面－凸面－凹面－凹面

表面データ概要

表面	型式	コメント	半径	厚み	ガラス	直径	円錐
物体	標準		無限大	140.5		0.07615773	0
1	標準	補助表面	無限大	3000		47.72672	0
2	標準	補助表面	無限大	0		1065.179	0
絞り	平滑球面	絞り	-2500	-1997	鏡	1046.393	0
4	平滑球面		-166	1000	鏡	39.11943	0
5	平滑球面		-50	-1010	鏡	2.082316	0
6	平滑球面		2000	2020	鏡	40	0
像	標準		無限大			100	0

【表 2 C】

レンズ特徴：	
特徴	
$\beta' = 354$	
凹面—凸面—凹面—凹面	
表面データ詳細	
表面 物体	: 標準
開口	: 矩形開口
X 半分幅	: 0. 015
Y 半分幅	: 0. 015
X 偏心	: 0
Y 偏心	: 0. 02
表面 1	: 標準
コメント	: 補助表面
開口	: 矩形開口
X 半分幅	: 30
Y 半分幅	: 15
X 偏心	: 0
Y 偏心	: -20. 64
表面 2	: 標準
コメント	: 補助表面
開口	: 円形開口
最小半径	: 0
最大半径	: 198. 75
X 偏心	: 0
Y 偏心	: -331. 25
表面 絞り	: 平滑球面
コメント	: 絞り
係数 r 2	: -1. 7434327e-007
係数 r 4	: 3. 1374279e-013
係数 r 6	: 5. 3355533e-020
係数 r 8	: -8. 5318118e-028
係数 r 10	: 2. 8646746e-032
係数 r 12	: -4. 1365345e-039
係数 r 14	: 0
係数 r 16	: 0
表面 4	: 平滑球面
係数 r 2	: 3. 3019781e-006
係数 r 4	: 3. 6808025e-008
係数 r 6	: 1. 7049583e-012
係数 r 8	: -2. 0350022e-015
係数 r 10	: 5. 2988305e-018
係数 r 12	: -1. 4240788e-021
係数 r 14	: 0
係数 r 16	: 0
表面 5	: 平滑球面
係数 r 2	: 0. 0031086973
係数 r 4	: 6. 1575983e-005
係数 r 6	: -0. 0012869219
係数 r 8	: 0. 0073299418
係数 r 10	: -0. 020602843
係数 r 12	: 0. 024688225
係数 r 14	: -0. 0012519234
係数 r 16	: -0. 014071763
開口	: 浮動開口
最大半径	: 1. 0411558
表面 6	: 平滑球面
係数 r 2	: -6. 5912756e-005
係数 r 4	: -1. 5574759e-008
係数 r 6	: -4. 7738429e-010
係数 r 8	: 7. 5143917e-012
係数 r 10	: -6. 5517905e-014
係数 r 12	: 2. 2254561e-016
係数 r 14	: 0
係数 r 16	: 0
開口	: 浮動開口
最大半径	: 20
表面像	: 標準
被覆デフィニション:	

【実施例 3】

【0059】

さらに、図 3 では、第 1 鏡 S 1 と、第 2 鏡 S 2 と、第 3 鏡 S 3 と、第 4 鏡 S 4 とを備えた 4 鏡系が示されている。先の図面と同じ部品は同じ参照符号が付される。

【0060】

10

20

30

40

50

図 3 による系の基本的な構成は、回転対称で球面の鏡部分表面または非球面の鏡部分表面を備えて同軸である。物体視野は光軸 H A に対して偏心して配置される。全ての鏡は光軸 H A の周囲で回転対称である。第 1 鏡は曲率半径  $|R_1| = 500 \text{ mm}$  を持つ凹面鏡であり、第 2 鏡は曲率半径  $|R_2| = 50 \text{ mm}$  を持つ凸面鏡であり、第 3 鏡は曲率半径  $|R_3| = 166 \text{ mm}$  を持つ凹面鏡であり、第 4 鏡 S 4 は曲率半径  $|R_4| = 4000 \text{ mm}$  を持つ凹面鏡である。

製造技術的観点から、図 3 による実施例では第 3 鏡が球面であると有利である。これに対して鏡 S 1、S 2、S 4 の鏡表面は回転非球面である。開口絞り B は物体平面 1 と第 1 鏡 S 1 との間で、物体平面 1 から  $840.5 \text{ mm}$  の間隔で離れ、 $146 \text{ mm}$  の最大偏心開口を有する。この場合、開口絞り B から像平面 3 までの間隔である光学系の全長は  $2116 \text{ mm}$  である。この系の全体の結像倍率は  $= 530$  であり、すなわち、物体平面内の物体と像平面内の像は光軸 H A に対して同じ側で同じ側で偏心している。

【 0 0 6 1 】

図 3 による全体の光学データは付属表 3 a で示され、表面データの概要は付属表 3 b で示され、特定の表面データは付属表 3 c で示される。

【表 3 A】

レンズ特徴：

特徴  
 $\beta' = 530$   
 凹面－凸面－凹面－凹面

全体的レンズデータ：

表面	:	8
絞り	:	2
系開口	:	物体空間 NA=0.1672
ガラスカタログ	:	ショット
光線照準	:	実際基準、キャッシュ オン
X瞳孔シフト	:	0
Y瞳孔シフト	:	0
Z瞳孔シフト	:	0
アポダイゼーション	:	均一、係数=0.000000E+000
有効焦点長さ	:	-80.6423 (空气中)
有効焦点長さ	:	-80.6423 (像空間中)
バック焦点長さ	:	-35555.39
トータルトラック	:	2815.61
像空間 F/#	:	0.2828798
近軸作動 F/#	:	1562.617
作動 F/#	:	1576.998
像空間 NA	:	0.000319976
物体間隔 NA	:	0.1672
絞り半径	:	142.5381
近軸像高さ	:	20.1818
近軸倍率	:	530
入射瞳孔直径	:	285.0762
入射瞳孔位置	:	700
射出瞳孔直径	:	27.35677
射出瞳孔位置	:	-42950.12
視野型式	:	物体高さ mm
最大視野	:	0.03807887
主波	:	0.0135
レンズ単位	:	mm
角度倍率	:	-10.42068

視野 : 8

視野 型式: 物体高さ mm

#	X 値	Y 値	重量
1	0.000000	0.005000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

口径食係数

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

波長 : 1

単位: ミクロン

#	値	重量
1	0.013500	1.000000

10

20

30

40



## 【表 3 B】

レンズ特徴：

特徴

$\beta' = 530$

凹面－凸面－凹面－凹面

表面データ概要

表面	型式	コメント	半径	厚み	ガラス	直径	円錐
物体	標準	物体平面	無限大	140.5		0.07615773	0
1	標準	補助表面	無限大	700		47.71745	0
絞り	標準	絞り	無限大	300		285.0762	0
3	標準	補助表面	無限大	0		386.8558	0
4	平滑球面	第1鏡	-500	-285.69	鏡	374.3561	0
5	平滑球面	第2鏡	-50	-2081.3	鏡	30.41275	0
6	標準	第3鏡－球面	-166	-2000	鏡	3.0007	0
7	平滑球面	第4鏡	4000	2020	鏡	39.28856	0
像	標準	像平面	無限大			40.26898	0

## 【表 3 C】

レンズ特徴：

特徴

 $\beta' = 530$ 

凹面—凸面—凹面—凹面

表面データ詳細

表面 物体	: 標準	
コメント	: 物体平面	
開口	: 矩形開口	
X 半分幅	: 0. 015	
Y 半分幅	: 0. 015	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: 0. 03	10
表面 1	: 標準	
コメント	: 補助表面	
開口	: 矩形開口	
X 半分幅	: 30	
Y 半分幅	: 15	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: -20. 64	
表面 絞り	: 標準	
コメント	: 絞り	
表面 3	: 標準	
コメント	: 補助表面	
開口	: 円形開口	
最小半径	: 0	
最大半径	: 73	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: -119. 87	20
表面 4	: 平滑球面	
コメント	: 第1鏡	
係数 r2	: -2. 4617005e-005	
係数 r4	: 2. 611535e-010	
係数 r6	: 1. 5508187e-015	
係数 r8	: -1. 1008112e-020	
係数 r10	: 4. 8365227e-026	
係数 r12	: 1. 7895774e-030	
係数 r14	: 0	
係数 r16	: 0	
表面 5	: 平滑球面	
コメント	: 平滑球面	
係数 r2	: 7. 36621e-006	
係数 r4	: 6. 6871564e-007	
係数 r6	: 2. 6494143e-009	
係数 r8	: -1. 063463e-011	
係数 r10	: 1. 4770529e-014	
係数 r12	: 5. 4578804e-018	
係数 r14	: 0	
係数 r16	: 0	
表面 6	: 標準	
コメント	: 第3鏡—球面	
表面 7	: 平滑球面	
コメント	: 第4鏡	
係数 r2	: -4. 6390308e-007	
係数 r4	: 2. 9425212e-009	
係数 r6	: -8. 911427e-012	
係数 r8	: 1. 9486952e-014	
係数 r10	: -3. 204605e-017	
係数 r12	: 2. 3357399e-020	
係数 r14	: 0	
係数 r16	: 0	40
表面 像	: 標準	
コメント	: 像平面	
被覆デフィニション:		

## 【実施例 4】

## 【0062】

さらに、図4、図5は鏡S1、S2を含む第1副系と、鏡S3、S4を含む第2副系とを備えた4鏡系を示す。先の図2、図3と同様の部品は同じ参照符号が付されている。図4、図5による系の基本的構成は同軸である。特に、第3鏡S3、第4鏡S4が球面に構成され、第1鏡S1、第2鏡S2だけが、回転対称で非球面鏡部分表面を含むと有利である。第1鏡S1は曲率半径  $|R_1| = 500\text{ mm}$  を持つ凹面鏡であり、第2鏡は曲率半径

$R_2 = 100\text{ mm}$ を持つ凸面鏡であり、第3鏡は曲率半径  $R_3 = 216\text{ mm}$ を持つ凹面鏡であり、第4鏡S4は曲率半径  $R_4 = 4000\text{ mm}$ を持つ凹面鏡である。光学系の全長、つまり、開口絞りBが配置される開口絞り面から像平面3までの間隔は2183 mmであり、物体平面1と開口絞り平面との間の間隔は466 mmである。

【0063】

結像倍率は  $\times 500$  であり、すなわち、物体視野内の物体および像視野内の像は光軸HAに対して同じ側で偏心している。図4で示される実施例の物体視界は  $30\text{ }\mu\text{m} \times 30\text{ }\mu\text{m}$  の範囲を有し、わずかに偏心され、すなわち、光軸HAに対して外方軸に配置される。図4による実施例の全体の光学データは付属表4aで示され、光学表面データの概要は付属表4bで示され、光学表面の特定の表面データは付属4cで示される。

【表 4 A】

レンズ特徴：

特徴

 $\beta' = 500$ 

凹面－凸面－凹面－凹面、鏡3、4は球面

全体的レンズデータ：

表面	:	8
絞り	:	3
系開口	:	物体空間 NA=0.1672
ガラスカタログ	:	ショット
光線照準	:	実際基準、キャッシュ オン
X瞳孔シフト	:	0
Y瞳孔シフト	:	0
Z瞳孔シフト	:	0
アボダイゼーション	:	均一、係数=0.000000E+000
有効焦点長さ	:	-70.30086 (空气中)
有効焦点長さ	:	-70.30086 (像空間中)
バック焦点長さ	:	-28049.43
トータルトラック	:	2508.5
像空間F/#	:	0.4447864
近軸作動F/#	:	1474.167
作動F/#	:	1495.231
像空間NA	:	0.0003391745
物体空間NA	:	0.1672
絞り半径	:	79.02767
近軸像高さ	:	19.03943
近軸倍率	:	500
入射瞳孔直径	:	158.0553
入射瞳孔位置	:	325.5
射出瞳孔直径	:	23.85146
射出瞳孔位置	:	-35178.54
視野型式	:	物体高さ mm
最大視野	:	0.03807887
主波	:	0.0135
レンズ単位	:	mm
角度倍率	:	-6.626653

10

20

視野 : 8

視野型式：物体高さ mm

#	X 値	Y 値	重量
1	0.000000	0.005000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

30

口径食係数

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

40

波長 : 1

単位：ミクロン

#	値	重量
1	0.013500	1.000000

【表 4 B】

レンズ特徴：

特徴

$$\beta' = 500$$

凹面－凸面－凹面－凹面、鏡 3、鏡 4 は球面

表面データ概要

表面	型式	コメント	半径	厚み	ガラス	直径	円錐
物体	標準	物体平面	無限大	140.5		0.07615773	0
1	標準	補助表面	無限大	325.5		47.70722	0
絞り	標準	補助表面	無限大	0		158.0553	0
3	標準	絞り	無限大	370		158.0553	0
4	平滑球面	第 1 鏡	-500	-305	鏡	276.6939	0
5	平滑球面	第 2 鏡	-100	2108	鏡	24.81398	0
6	標準	第 3 鏡－球面	-216	-2000	鏡	3.494166	0
7	標準	第 4 鏡－球面	4000	2010	鏡	37.08851	0
像	標準	像平面	無限大			37.94685	0

## 【表 4 C】

レンズ特徴：

特徴

$\beta' = 500$

凹面－凸面－凹面－凹面、鏡 3、鏡 4 は球面

表面データ詳細

表面 物体	: 標準	
コメント	: 物体平面	
開口	: 矩形開口	10
X 半分幅	: 0. 0 1 5	
Y 半分幅	: 0. 0 1 5	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: + 0. 0 2	
表面 1	: 標準	
コメント	: 補助表面	
開口	: 矩形開口	
X 半分幅	: 3 0	
Y 半分幅	: 1 5	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: - 2 0. 6 4	
表面 2	: 標準	
コメント	: 補助表面	
開口	: 円形開口	
最小半径	: 0	
最大半径	: 3 0	20
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: - 4 8. 9 8	
表面 絞り	: 標準	
コメント	: 絞り	
表面 4	: 平滑球面	
コメント	: 第 1 鏡	
係数 r 2	: - 4. 6 1 0 3 3 5 2 e - 0 0 5	
係数 r 4	: 4. 5 7 9 7 5 3 7 e - 0 1 1	
係数 r 6	: 1. 0 8 6 5 0 1 e - 0 1 5	
係数 r 8	: - 3. 2 2 4 8 1 4 e - 0 2 0	
係数 r 1 0	: 1. 7 6 3 5 5 3 6 e - 0 2 6	
係数 r 1 2	: 1. 8 4 4 6 4 8 1 e - 0 2 9	
係数 r 1 4	: 0	
係数 r 1 6	: 0	
表面 5	: 平滑球面	
コメント	: 第 2 鏡	30
係数 r 2	: - 0. 0 0 3 3 0 8 1 2 0 4	
係数 r 4	: - 1. 5 5 0 5 9 7 2 e - 0 0 7	
係数 r 6	: 1. 7 1 3 2 7 5 e - 0 0 9	
係数 r 8	: - 1. 0 0 3 4 1 8 3 e - 0 1 1	
係数 r 1 0	: 1. 1 4 8 9 7 4 1 e - 0 1 4	
係数 r 1 2	: 4. 6 1 8 7 4 4 2 e - 0 1 7	
係数 r 1 4	: 0	
係数 r 1 6	: 0	
表面 6	: 標準	
コメント	: 第 3 鏡－球面	
表面 7	: 標準	
コメント	: 第 4 鏡－球面	
表面 像	: 標準	
コメント	: 像平面	
被覆デフィニション:		40

## 【実施例 5】

## 【0064】

図 5 では、図 4 による実施例の変形が示されている。実質的に全ての系データは維持され、鏡 S 1、S 2 の非球面だけが変更されている。この変更により、物体視野は  $200\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$  の大きさに拡張することができ、図 4 での実施例に対して、波頭誤差や歪みが悪化することはない。

## 【0065】

第 1 鏡および第 2 鏡での非球面だけが変更されているので、付属表 4 a による全体の光学データおよび付属表 4 b による全体の表面データは、実施例 5 にも受け継がれている。鏡 S 1、S 2 の特定の非球面データ内だけに偏りが生じる。実施例 5 による特定の光学表面データは付属表 5 c で与えられる。

# 【表 5 C】

レンズ特徴：

特徴

$\beta^* = 500$

凹面—凸面—凹面—凹面、鏡 3、鏡 4 は球面

物体視野：2 x = 200  $\mu$ m、y = 5  $\mu$ m - 100  $\mu$ m (波頭誤差 < 20  $\mu$ λ)

10

表面データ詳細

表面 物体 : 標準  
コメント : 物体平面  
開口 : 矩形開口  
X 半分幅 : 0.1  
Y 半分幅 : 0.015  
X 偏心 : 0  
Y 偏心 : 0.085  
表面 1 : 標準  
コメント : 補助表面  
開口 : 矩形開口  
X 半分幅 : 30  
Y 半分幅 : 15  
X 偏心 : 0  
Y 偏心 : -20.64  
表面 2 : 標準  
コメント : 補助表面  
開口 : 円形開口  
最小半径 : 0  
最大半径 : 30  
X 偏心 : 0  
Y 偏心 : -48.98  
表面 絞り : 標準  
コメント : 絞り  
表面 4 : 平滑球面  
コメント : 第 1 鏡  
係数 r 2 : -4.6094988e-005  
係数 r 4 : 5.1127578e-011  
係数 r 6 : 4.8723006e-016  
係数 r 8 : -1.0557709e-020  
係数 r 10 : 5.2110287e-026  
係数 r 12 : 7.3206667e-020  
係数 r 14 : 0  
係数 r 16 : 0  
表面 5 : 平滑球面  
コメント : 第 2 鏡  
係数 r 2 : -0.0033070554  
係数 r 4 : -6.8871027e-008  
係数 r 6 : 4.3841886e-010  
係数 r 8 : -3.4827214e-012  
係数 r 10 : 6.0031516e-013  
係数 r 12 : 1.6086521e-017  
係数 r 14 : 0  
係数 r 16 : 0  
表面 6 : 標準  
コメント : 第 3 鏡—球面  
表面 7 : 標準  
コメント : 第 4 鏡—球面  
表面 像 : 標準  
コメント : 像平面  
被覆デフィニション：

20

30

40

# 【実施例 6】

# 【0066】

図 6 では、第 1 鏡 S 1、第 2 鏡 S 2、第 3 鏡 S 3 および第 4 鏡 S 4 を持つ 4 鏡配置の別の变形が示されている。図 2 乃至図 5 と同じ部品は同じ参照符号が付される。実施例 3、4、5 に対する図 6 による実施例 6 の本質的な相違は、第 2 鏡 S 2 が凹面鏡であり、光軸 H A の上方に使用されていることである。それで、この鏡の後の光束は同様に光軸の上方へ

50

延びる。結像倍率は  $= -500$  であり、すなわち、物体平面内の物体および像平面内の像は光軸 H A と反対側にある。

【0067】

図6の実施例による全体の光学データは付属表6aに示され、全体の表面データは付属表6bに示され、特定の表面データは付属表6cに示される。

【表6A】

レンズ特徴：

特徴

$\beta' = -500$

全ての鏡は凹面、鏡3、4は球面

10

全体的レンズデータ：

表面	:	8
絞り	:	3
系開口	:	物体空間 NA=0.1672
ガラスカタログ	:	ショット
光線照準	:	実際基準、キャッシュ オン
X瞳孔シフト	:	0
Y瞳孔シフト	:	0
Z瞳孔シフト	:	0
アポダイゼーション	:	均一、係数=0.00000E+000
有効焦点長さ	:	37.39941 (空气中)
有効焦点長さ	:	37.39941 (像空間中)
バック焦点長さ	:	-11587.69
トータルトラック	:	2409.22
像空間F/#	:	0.2366223
近軸作動F/#	:	1474.167
作動F/#	:	1492.687
像空間NA	:	0.0003391745
物体空間NA	:	0.1672
絞り半径	:	79.02767
近軸像高さ	:	19.03943
近軸倍率	:	-500
入射瞳孔直径	:	158.0553
入射瞳孔位置	:	325.5
射出瞳孔直径	:	12.68697
射出瞳孔位置	:	-18608.47
視野型式	:	物体高さ mm
最大視野	:	0.03807887
一次波	:	0.0135
レンズ単位	:	mm
角度倍率	:	12.45809

20

30

視野 : 8

視野型式: 物体高さ mm

#	X値	Y値	重量
1	0.000000	0.005000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

口径食係数

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

40

波長 : 1

単位: ミクロン

#	値	重量
1	0.013500	1.000000

50



【表 6 B】

レンズ特徴：

特徴

$$\beta' = 500$$

全ての鏡は凹面、鏡 3、鏡 4 は球面

表面データ概要

表面	型式	コメント	半径	厚み	ガラス	直径	円錐
物体	標準	物体平面	無限大	140.5		0.07615773	0
1	標準	補助表面	無限大	325.5		47.70722	0
2	標準	補助表面	無限大	0		158.0553	0
絞り	標準	絞り	無限大	370		158.0553	0
4	平滑球面	第1鏡	-500	-404.28	鏡	277.1741	0
5	平滑球面	第2鏡	100	2108	鏡	24.79504	0
6	標準	第3鏡—球面	-216	-1900	鏡	3.507399	0
7	標準	第4鏡—球面	4000	1910	鏡	35.32319	0
像	標準	像平面	無限大			37.93232	0

## 【表 6 C】

レンズ特徴：

特徴

$\beta' = -500$

全ての鏡は凹面、鏡 3、鏡 4 は球面

表面データ詳細

表面 物体	: 標準	
コメント	: 物体平面	
開口	: 矩形開口	
X 半分幅	: 0. 0 1 5	
Y 半分幅	: 0. 0 1 5	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: 0. 0 2	
表面 1	: 標準	
コメント	: 補助表面	
開口	: 矩形開口	
X 半分幅	: 3 0	
Y 半分幅	: 1 5	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: -2 0. 6 4	
表面 2	: 標準	
コメント	: 補助表面	
開口	: 円形開口	
最小半径	: 0	
最大半径	: 3 0	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: -4 8. 9 8	
表面 絞り	: 標準	
コメント	: 絞り	
表面 4	: 平滑球面	
コメント	: 第 1 鏡	
係数 r 2	: 2. 7 7 6 9 1 4 8 e-0 0 5	
係数 r 4	: 2. 2 4 8 8 5 7 2 e-0 1 0	
係数 r 6	: 1. 1 5 9 9 2 7 3 e-0 1 5	
係数 r 8	: -2. 9 1 1 0 6 4 3 e-0 2 0	
係数 r 1 0	: 1. 1 8 5 6 4 2 7 e-0 2 4	
係数 r 1 2	: -1. 6 4 1 2 8 3 9 e-0 2 9	
係数 r 1 4	: 0	
係数 r 1 6	: 0	
表面 5	: 平滑球面	
コメント	: 第 2 鏡	
係数 r 2	: 0. 0 0 2 7 2 0 8 7 4 7	
係数 r 4	: 3. 1 3 7 4 8 1 9 e-0 0 8	
係数 r 6	: 7. 8 3 1 5 5 6 1 e-0 1 0	
係数 r 8	: -8. 0 6 5 0 9 5 7 e-0 1 2	
係数 r 1 0	: 3. 8 1 3 2 8 3 1 e-0 1 4	
係数 r 1 2	: -6. 7 8 5 5 0 9 8 e-0 1 7	
係数 r 1 4	: 0	
係数 r 1 6	: 0	
表面 6	: 標準	
コメント	: 第 3 鏡—球面	
表面 7	: 標準	
コメント	: 第 4 鏡—球面	
表面 像	: 標準	
コメント	: 像平面	
被覆デフィニション:		

10

20

30

40

## 【実施例 7】

## 【0 0 6 8】

図 7 で示される実施例は、第 2 鏡 S 2 までは図 6 による実施例に対応する。図 6 による実施例に対する本質的な相違は、第 3 鏡 S 3 が凸面鏡であることである。図 7 による系の結像倍率は  $= 500$  であり、すなわち、図 6 による実施例と対照的に物体平面内の物体および像平面内の像は光軸 H A に関して同じ側にある。

## 【0 0 6 9】

図 7 による実施例の光学データは付属表 7 a に示され、全体の表面データは付属表 7 b に示され、特定の表面データは付属表 7 c に示される。

【表 7 A】

レンズ特徴：

特徴

 $\beta' = 500$ 

凹面—凸面—凹面—凹面

全体的レンズデータ：

表面	:	6
絞り	:	3
系開口	:	物体空間 NA=0. 1672
ガラスカタログ	:	ショット
光線照準	:	実際基準、キャッシュ オン
X瞳孔シフト	:	0
Y瞳孔シフト	:	0
Z瞳孔シフト	:	0
アボダイゼーション	:	均一、係数=0. 000000E+000
有効焦点長さ	:	-196. 9264 (空气中)
有効焦点長さ	:	-196. 9264 (像空間中)
バック焦点長さ	:	-91931. 51
トータルトラック	:	2311. 22
像空間F/#	:	1. 245933
近軸作動F/#	:	1474. 167
作動F/#	:	1489. 404
像空間NA	:	0. 0003391746
物体空間NA	:	0. 1672
絞り半径	:	79. 02767
近軸像高さ	:	30. 92329
近軸倍率	:	500
入射瞳孔直径	:	158. 0553
入射瞳孔位置	:	325. 5
射出瞳孔直径	:	66. 84893
射出瞳孔位置	:	-98294. 58
視野型式	:	物体高さ mm
最大視野	:	0. 06184658
一次波	:	0. 0135
レンズ単位	:	mm
角度倍率	:	-2. 364366

10

20

視野 : 8  
 視野型式：物体高さ mm

#	X値	Y値	重量
1	0.000000	0.030000	1.000000
2	0.000000	0.037500	1.000000
3	0.000000	0.045000	1.000000
4	0.000000	0.052500	1.000000
5	0.000000	0.060000	1.000000
6	0.015000	0.030000	1.000000
7	0.015000	0.045000	1.000000
8	0.015000	0.060000	1.000000

30

口径食係数

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

40

波長 : 1

単位：ミクロン

#	値	重量
1	0.013500	1.000000

【表 7 B】

レンズ特徴：

特徴

$\beta' = 500$

凹面－凹面－凸面－凹面

表面データ概要

表面	型式	コメント	半径	厚み	ガラス	直径	円錐
物体	標準	物体平面	無限大	140.5		0.1236932	0
1	標準	補助表面	無限大	325.5		47.74043	0
2	標準	補助表面	無限大	0		158.0553	0
絞り	標準	絞り	無限大	370		158.0553	0
4	平滑球面	第1鏡	-500	-404.28	鏡	277.2035	0
5	平滑球面	第2鏡	100	2000	鏡	25.1518	0
6	標準	第3鏡－球面	190	-1580	鏡	4.422261	0
7	標準	第4鏡－球面	3400	1600	鏡	61.67181	0
像	標準	像平面	無限大			61.75582	0

## 【表 7 C】

レンズ特徴：  
 特徴  
 $\beta' = 500$   
 凹面－凸面－凹面－凹面

## 表面データ詳細

表面 物体	: 標準	
コメント	: 物体平面	
開口	: 矩形開口	
X 半分幅	: 0.015	
Y 半分幅	: 0.015	10
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: 0.045	
表面 1	: 標準	
コメント	: 補助表面	
開口	: 矩形開口	
X 半分幅	: 30	
Y 半分幅	: 15	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: -20.64	
表面 2	: 標準	
コメント	: 補助表面	
開口	: 円形開口	
最小半径	: 0	
最大半径	: 30	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: -48.98	20
表面 絞り	: 標準	
コメント	: 絞り	
表面 4	: 平滑球面	
コメント	: 第1鏡	
係数 r 2	: 2.70268e-005	
係数 r 4	: 2.2512635e-010	
係数 r 6	: 8.2044497e-016	
係数 r 8	: -7.579954e-022	
係数 r 10	: 1.102694e-025	
係数 r 12	: -1.2494723e-030	
係数 r 14	: 0	
係数 r 16	: 0	
表面 5	: 平滑球面	
コメント	: 第2鏡	
係数 r 2	: 0.0026219304	
係数 r 4	: 4.9915565e-008	30
係数 r 6	: 5.9995692e-011	
係数 r 8	: -3.0213474e-013	
係数 r 10	: 4.3389295e-016	
係数 r 12	: 6.1610188e-019	
係数 r 14	: 0	
係数 r 16	: 0	
表面 6	: 標準	
コメント	: 第3鏡－球面	
表面 7	: 標準	
コメント	: 第4鏡－球面	
表面 像	: 標準	
コメント	: 像平面	

被覆デフィニション:

10

20

30

40

## 【実施例 8】

## 【0070】

図 8 による実施例は、2 鏡配置で 3 m 以下の全長を維持する場合、全体系のために最大 = 100 の有効な縁条件でのみ結合倍率を実現できることを示す。図 8 で示される系では、第 1 鏡 S 1 と第 2 鏡 S 2 とを持つ 2 鏡系が関係し、第 1 鏡 S 1、第 2 鏡 S 2 は、それぞれ、凹面鏡である。図 8 による実施例の全体の光学データは付属表 8 a で示され、全体の表面データは付属表 8 b で示され、特定の表面データは付属表 8 c で示される。

## 【0071】

図 1 乃至図 8 による系の物体側開口は、開口絞り B を介して調整でき、例えば、従来の投影露光設備のシミュレーションのため、0.0625 である。この開口絞りは 0.00

50

1  $NA = 0.25$  の範囲で調整できる。図示しない照明系により平面 1 内で照明される物体視野寸法は、例えば、 $30\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$  または  $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$  である。例えば、マイクロリトグラフィ - のためのマスク、いわゆる網目印が検査され、この種のマスクは典型的には  $152 \times 152\ \text{mm}$  の寸法を有する。それで、本発明による反射型 X 線顕微鏡によりマスクの部分の結像だけができる。物体平面 1 内の物体は図 1 乃至図 7 による系で、像平面 3 内で  $300 - 10000$  倍に拡大して結像される。開口絞り平面 B は接近可能であるので、絞り平面内で開口は開口絞り B により  $0.001 - NA = 0.25$  の範囲で調整できる。ここで、 $NA$  は物体での結像側開口を示し、以下、開口  $NA_{\text{結像}}$  とも称する。物体平面 1 内の主光線 5 の角度  $\theta$  は系の光軸に対して通常  $6^\circ$  である。2 つ以上の鏡を含む図 1 乃至図 7 による X 線顕微鏡により、全長が  $3000\ \text{mm}$  以下である十分に拡大される X 線顕微鏡対物レンズを得ることができる。

【表 8 A】

レンズ特徴：

特徴

 $\beta' = 1.00$ 

凹面-凹面

全体的レンズデータ：

表面	:	6
絞り	:	3
系開口	:	物体空間 NA=0.1672
ガラスカタログ	:	ショット
光線照準	:	実際基準、キャッシュ オン
X瞳孔シフト	:	0
Y瞳孔シフト	:	0
Z瞳孔シフト	:	0
アポダイゼーション	:	均一、係数=0.000000E+000
有効焦点長さ	:	-20.15204 (空气中)
有効焦点長さ	:	-20.15204 (像空間中)
バック焦点長さ	:	1109.829
トータルトラック	:	2291.4
像空間F/#	:	0.1274999
近軸作動F/#	:	294.833
作動F/#	:	296.6462
像空間NA	:	0.001695873
物体空間NA	:	0.1672
絞り半径	:	79.02767
近軸像高さ	:	3.807881
近軸倍率	:	99.99986
入射瞳孔直径	:	158.0583
入射瞳孔位置	:	325.5
射出瞳孔直径	:	6.838018
射出瞳孔位置	:	-1990.643
視野型式	:	物体高さ mm
最大視野	:	0.03807887
主波	:	0.0135
レンズ単位	:	mm
角度倍率	:	-23.11421

10

20

視野 : 8

視野型式：物体高さ mm

#	X値	Y値	重量
1	0.000000	0.050000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

30

口径食効率

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

40

波長 : 1

単位：ミクロン

#	値	重量
1	0.013500	1.000000

【表 8 B】

レンズ特徴：

特徴

$\beta' = 100$

凹面－凹面

表面データ概要

表面	型式	コメント	半径	厚み	ガラス	直径	円錐
物体	標準	物体平面	無限大	140.5		0.07615773	0
1	標準	補助表面	無限大	325.5		47.70722	0
2	標準	補助表面	無限大	0		158.0553	0
絞り	標準	絞り	無限大	370		158.0553	0
4	平滑球面	第1鏡	-500	-404.1	鏡	277.4292	0
5	平滑球面	第2鏡	100	2000	鏡	6.815651	0
像	標準	像平面	無限大			7.497326	0



【表 8 C】

レンズ特徴：  
特徴  
 $\beta' = 100$   
凹面－凹面

## 表面データ詳細

表面 物体	: 標準	
コメント	: 物体平面	
開口	: 矩形開口	
X 半分幅	: 0. 0 1 5	
Y 半分幅	: 0. 0 1 5	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: 0. 0 2	
表面 1	: 標準	
コメント	: 補助表面	
開口	: 矩形開口	
X 半分幅	: 3 0	
Y 半分幅	: 1 5	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: - 2 0. 6 4	
表面 2	: 標準	
コメント	: 補助表面	
開口	: 円形開口	
最小半径	: 0	
最大半径	: 3 0	
X 偏心	: 0	
Y 偏心	: - 4 8. 9 8	
表面 絞り	: 標準	
コメント	: 絞り	
表面 4	: 平滑球面	
コメント	: 第 1 鏡	
係数 r 2	: 6. 7 3 0 9 5 2 7 e - 0 0 5	
係数 r 4	: 2. 9 0 8 2 2 7 6 e - 0 1 0	
係数 r 6	: 1. 7 2 9 1 5 1 5 e - 0 1 5	
係数 r 8	: - 6. 2 3 0 2 4 3 2 e - 0 2 0	
係数 r 1 0	: 2. 6 4 1 0 3 7 e - 0 2 4	
係数 r 1 2	: - 4. 1 1 5 6 1 5 5 e - 0 2 9	
係数 r 1 4	: 0	
係数 r 1 6	: 0	
表面 5	: 平滑球面	
コメント	: 第 2 鏡	
係数 r 2	: 0. 0 2 1 2 7 7 2 9 9	
係数 r 4	: - 5. 2 8 0 3 6 6 7 e - 0 0 6	
係数 r 6	: 3. 6 4 4 1 8 4 4 e - 0 0 6	
係数 r 8	: - 5. 0 7 9 7 4 4 5 e - 0 0 7	
係数 r 1 0	: 3. 4 6 5 3 6 5 4 e - 0 0 8	
係数 r 1 2	: - 9. 1 7 5 1 0 5 e - 0 1 0	
係数 r 1 4	: 0	
係数 r 1 6	: 0	
表面 像	: 標準	
コメント	: 像平面	
被覆デフィニション:		

10

20

30

## 【実施例 9】

## 【0072】

図 9 では、第 1 副系と第 2 副系とを持つ本発明の別の実施例が示される。この場合、第 1 副系は第 1 鏡 S 1 と第 2 鏡 S 2 とを含む。第 1 鏡 S 1 は凹面鏡であり、第 2 鏡 S 2 は凸面鏡である。鏡 S 1、S 2 は光軸 H A に対して調心に配置される。単一の鏡だけによる系も考えることができるであろう。第 2 副系は光電子顕微鏡 10 を含む。光軸 H A に対して偏心して配置される物体平面 1 内の物体は、第 1 副系により中間像平面 2 内の中間像 Z に結像される。調整可能な開口絞り B は物体平面と第 1 鏡との間で光軸に対して偏心され、結像系の高開口部分内に配置される。高開口部分内の配置により、異なる開口数を非常に正確に調整できる。光電子顕微鏡の光電陰極 20 が中間像平面 2 の近くに配置される。光電子顕微鏡 ( P E E M ) により、中間像平面 2 内の中間像 Z は、像平面 3 内の拡大像内に結像される。光電子顕微鏡 10 の内のいくつかの重要な部品だけが概要で示される。光電陰極 20 に当たる X 線光は光電効果に基づき電子を放射する。放射された電子は、実例で

40

50

は1つだけが示されるレンズ22と、実例では同様に1つだけが示される絞り24を介して、蛍光スクリーン26上に結像される。蛍光スクリーンにより、電子により発生された像は可視像に変換され、可視像は観察装置、例えば、CCDカメラにより観察できる。

#### 【0073】

図9による系の物体側の開口は開口絞りBを介して調整でき、例えば、従来の投影露光設備のシミュレーションのため0.0725である。この開口絞りは、0.001 NA 0.25の範囲で調整できる。平面1内で図示しない照明装置で照明される物体視野寸法は、例えば、 $30\mu\text{m} \times 30\mu\text{m}$ または $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ である。例えば、マイクロリトグラフィのためのマスク、いわゆる網目印が検査され、この種のマスクは典型的には $152 \times 152\text{mm}$ の寸法を有する。それで、本発明による反射型X線顕微鏡によりマスクの部分の結像だけができる。物体平面1内の物体は、像平面3内で300 - 10000倍に拡大して結像される。特に、図9で示すように、開口絞り平面Bは接近可能であるので、絞り平面内で開口は開口絞りBにより0.001 NA 0.25の範囲で調整できる。ここで、NAは物体での結像側開口を示し、以下、開口NA結像とも称する。物体平面1内の主光線5の角度は系の光軸に対して通常 $6^\circ$ である。この光電子顕微鏡により、全長が2000mm以下である十分に拡大されるX線型顕微鏡対物レンズを得ることができる。

10

#### 【0074】

図10では、特に、小さい物体視野を持つ被覆されたEUVマスクを検査する本発明による検査系が図示される。照明系100は物体平面101内で所定の仕方で視野102を照明する。照明系100は瞳孔充填率を調整するため図示しない照明開口絞りを含むことができる。瞳孔充填率は、 $\approx \sin \alpha / \sin \beta$

20

NA照明 / NA結像として定義される。ここで、NA照明は、開口絞りにより設定される照明系内での開口数を示し、NA結像は、ここでは、反射型X線顕微鏡の結像系の開口絞りBにより設定される結像系の開口数を示す。

#### 【0075】

例えば、円形照明、環状照明、矩形照明または2極照明のような異なる照明設定を調整できるため、開口絞り平面内に絞り車輪を配置できる。

#### 【0076】

可変調整できる照明開口絞り、結像系内の開口絞り、または、絞り車輪により、本発明による検査系では、マスクまたは網目印が、設置されるEUV投影露光設備内での調整をシミュレートでき、マスク像の評価により開口、照明の種類等に関する投影露光設備の最適な調整パラメータを検出できる。それで、検査系は単にマスクの欠陥の検査だけに適する。マスクの欠陥が検査される場合、調査されるEUVマスク104の欠陥個所が照明される観察視野内に配置される。

30

#### 【0077】

図10において視野102の視野中央にむかって、光束の光線経路が示される。視野平面から出る光束108の主光線106は、光軸HAに対して角度だけ傾斜される。角度は物体での投影露光設備内への主光線入射角度に一致し、およそ $6^\circ$ である。

40

#### 【0078】

図10では詳細に図示されていないが図1乃至図9によるX線顕微鏡対物レンズを含むことができる結像系110としての本発明によるX線顕微鏡により、物体平面101内の物体104は像平面112内の像に結像される。図10から分かるように、視野中央から出る光束の光線経路は像平面112内でテレセントリックされ、すなわち、光束108の主光線106は像平面112に垂直に当たる。テレセントリーにより特徴付けられる理想的位置から理想的でない位置への少なくとも1つの開口絞りの移動による結像系誤差の意識的な導入も可能であり、このことは、光束が像平面112にテレセントリックしないに当たることになる。像平面112内の物体104の像114は拡大される。この拡大倍率は、好ましくは、300xから1000xの範囲である。像平面112内では、観察のために

50

観察装置が配置される。観察装置はカメラ、特に、ＣＣＤカメラ、マルチチャンネルプレート、または蛍光スクリーンを使用できる。

【 0 0 7 9 】

さらに、観察装置は同様に図 1 0 で図示されない分析ユニットを設けることができ、分析ユニットは、観察装置から受ける像を、例えば、評価のためデジタル形式で送ることができる。分析ユニットはプログラム可能なデジタルコンピュータとすることができる。

【 0 0 8 0 】

さらに、プログラム可能なデジタルコンピュータは制御装置を含むことができ、制御装置は物体平面内で照明される物体視野寸法や形状、瞳孔充滿率および開口数を調整するために結像光学系内の開口絞り、照明開口絞りまたは絞り車輪並びに検査系内の視野絞りを制御する。さらに、この系は  $x - y$

平面としても称される物体平面内で検査される物体の位置決め装置を含むことができる。それにより、小さい物体視野、例えば、 $30 \mu m \times 30 \mu m$  または  $100 \mu m \times 100 \mu m$  のマスクの異なる部分を、例えば、 $152 \times 152 mm^2$  のマスク寸法で検査することができる。 $x - y$  平面内でのマスクの系統的な開始により、調整可能な絞りでシミュレートされる投影露光設備で全体のマスクを検査できる。しかしながら、これは非常に高価であるので、第 1 副系が第 2 副系から容易に分離できるように結像系を構成すると有利となる。大きい物体視野または小さい物体視野や大きい倍率又は小さい倍率が必要であれば、第 2 副系を大きい倍率又は小さい倍率および / または大きい物体視野または小さい物体視野を持つ第 2 副系に対して非常に簡単に交換できる。そのような場合、全体のマスクは大まかに検査され、マスク上の限界範囲は  $x - y$  位置決め装置により接近でき、それから、この範囲は別の光学系で欠陥のための検査をできる。位置決め装置による  $x - y$  平面での移動可能性と並んで、本発明の有利な実施例では焦点調整装置も設けられ、焦点調整装置により物体は物体平面と垂直に移動でき、像は焦点の上下の設定焦点位置で撮像できる。このようにして、像やマスクを異なる設定焦点平面で撮像できる。この焦点平面の数は検査の最適精度に依存する。

【 0 0 8 1 】

異なる焦点平面での像データに加えて、個々の像のため照明平面内での照明密度に関するデータも撮像できる。

【 0 0 8 2 】

$x$  位置、 $y$  位置および  $z$  位置による撮像された像データから、検査されるマスクの密度データマップ描くことができる。これらの密度データマップは、シミュレーション計算に基づいて得られる密度データマップと比較でき、または、投影露光工程中に受容できる結果に至る基準データマップと比較することができる。このようにして、欠陥に関するマスクの検査と、必要とあれば、修理の検査ができ、マスクの的確性を検査できる。

【 0 0 8 3 】

この発明による検査系は、欠陥分析およびマイクロリトグラフィーのためのマスクの修理に適するのみならず、また、検査系の波長の光での照射によるマスクの局部清掃に適し、または、マスク構造の設計の最適化にも適し、露光工程のための工程最適化および射影露光設備内での系構成に適する。

【 0 0 8 4 】

図 1 1 では、全体の検査系の原理略図が示される。ＥＵＶ光源 1 0 0 の光はコレクタ 1 0 2 により集められ、照明系の鏡 1 0 4、1 0 6 を介して検査される物体がある物体平面 1 0 8 へ向けられる。照明装置 1 1 0 の光束は物体平面 1 0 8 内の物体へテレセントリックに当たるのではなくて、角度を成して当たる。特に、光束の主光線角度は、投影露光設備により主光線角度に一致して操作される。第 1 実施例では、この角度は垂線 1 1 2 に対して  $6^\circ$  である。

【 0 0 8 5 】

照明系 1 1 0 内では、コレクタ 1 0 2 から物体平面 1 0 8 までの光路内に照明開口絞り 1 2 0 および視野絞り 1 2 2 が配置される。反射を受けて照明される物体平面 1 0 8 内の物

10

20

30

40

50

体は、本発明による結像系により、物体が観察できる像平面 130 内に結像される。結像は、この実施例では 2 段階、つまり、中間像 Z で行われる。結像系の第 1 副系 150 は第 1 鏡 152 と第 2 鏡 154 を含む。第 1 副系により中間像平面内に結像される物体平面内の物体の中間像は、有利には、検査されるマスクが第 2 副系 156 により像平面 130 内で拡大して結像される。結像系内の開口絞り 154 は、物体平面 108 から第 1 副系 150 の第 1 鏡 152 との間の中間像平面に対する物体平面までの光路内にある。例えば、第 2 副系は少なくとも 1 つの鏡と、PEEM とを含む光学系にできる。このことは既に詳細に説明した。

#### 【0086】

図 12 では、本発明による検査システムでの物体の検査のための実例の測定フローが示される。第 1 ステップ 200 で、系の調整、例えば、開口 NA<sub>結像</sub>、開口 NA<sub>照明</sub>、および不明瞭化絞り、または、視野絞りの入力が行われる。その後、これらの絞りは第 2 ステップ 202 内で調整される。その後、系の調整はステップ 204 内でテスト構造、例えば、x 方向または y 方向の線形構造に基づき再検査される。テスト構造により、系はステップ 206 内で微調整される。その後、ステップ 210 内で物体の検査すべき範囲である測定視野内の測定個所が、例えば、対応する個所で x - y テーブルが移動されて位置決めされる。測定視野内での位置決め前に、ステップ 208 で測定調整のドキュメンテーションも実行できる。

#### 【0087】

検査される測定個所が位置決めされた後、最後のステップ 212 内で焦点が調整される。ステップ 212 内で焦点が見出されると、ステップ 214 内で測定像が撮像されるか、前記のように焦点が走査され、すなわち、異なる Z 位置のための測定像が撮像される。ステップ 216 で、測定像後に品質制御が行われ、または、異なる焦点位置に関連する測定像は品質的観点で評価される。それらが品質要件に適合すると、もしあるならば、物体は別の測定個所に移動され、さらに、前記のような測定フローで撮像される。品質制御が否定的な結果に至ると、同じ個所で新しい測定像が撮像され、または、異なる Z 位置に関連する測定像数が撮像される。

#### 【0088】

最早、別の測定位置 220 が存在しなければ、ステップ 222 で系の調整が変更できるか、ステップ 224 で測定を終了することができる。

#### 【0089】

図 13 では、例えば、コンピュータ装置により実行でき、検査系により得られる測定像または測定情報の可能な評価が示される。異なる測定像が焦点平面の上下で撮像されると、物体平面、すなわち、x - y 平面、並びに、z 方向での検査される物体の場所の関数である選択された測定像 300 は、ステップ 302 で、試料の場所、つまり、x - y 位置の関する場所、すなわち、領域に関する場所も z 位置に関する場所、すなわち、部分に関する場所も選択され、続いて分析できる。選択されたデータは数字で処理され、ステップ 304 で示すように設定された表示を計算できる。例えば、データは適合でき、挿入でき、相関でき、平滑化でき、濾過でき、または、鏡像にできる。計算によるデータの準備またはステップ 304 での準備は、例えば、ステップ 306 で品質に関する識別番号に基づき自動的に特徴付けることもできる。

#### 【0090】

品質のための識別番号の出力の変更、または、それに加えてステップ 310 で異なる表示を実行できる。x 方向または y 方向での密度の像表示ができ、または、輪郭プロットができる。これは、参照符号 312 および 314 で表される。これに変えて、部分のための輪郭を示すことができ、または、線幅を焦点ぼけ、すなわち、z 方向への運動を介して示すことができる。これは、ステップ 316 および 318 で表される。さらに、線幅は閾値を介して示すことができる。これは、参照符号 320 で表される。変更の表示タイプは参照符号 322 で表される処理窓であり、レジスト発生のための測定データのシミュレーションの表示は参照符号 324 で表される。多数の測定の比較ができ、または、焦点ぼけ、

10

20

30

40

50

すなわち、z方向への運動を介してコントラストの表示ができる。これは、参照符号326、328で表される。ステップ330による測定像の評価に基づいて他の表示もできる。可能な表示タイプは、波長範囲193nmで動作する検査系では、カールツアス Microelectronic Systems GmbHの操作マニュアルAIMS Fab B41003Eおよび/またはソフトウェアマニュアルAIMS Fab B40409Eで詳細に説明されている。この刊行物の開示内容は、本出願に完全に含まれる。

#### 【0091】

図14a乃至図14cでは、本発明による検査系の可能な使用範囲が示されている。図14aは、例えば、マスクブランク、すなわち、マスク素材の製造の場合のEUV検査系の使用を示す。ステップ400で仕上げられ、たいいてい、ガラス基板である基板が、ステップ402で本発明によるEUV検査系により、その品質に関して制御できる。この品質が十分であれば、基板はステップ404でEUVミラー層により被覆される。これらのミラー層は、今や、ステップ406で欠陥に関して検査され、つまり、全表面に亘り検査される。ステップ406による欠陥検査は、検査モジュール、例えば、可視光線で動作するEUV結像系と平行な結像系で行われる。マスク上に欠陥が生じると、ステップ408により、この欠陥はEUV検査系により詳細に検査できる。このために、事前に全表面が検査されるマスクは、x-y位置調整装置により欠陥個所に移動され、マスクのこれらの範囲はEUV検査系により詳細に検査される。行われたEUV検査後にステップ410によるマスクの品質が十分であれば、ステップ412によりマスクは送り出され、または、ステップ414により中止される。

#### 【0092】

図14bは、本発明によるEUV検査系の別の使用範囲として、マスク製造での使用を示す。密に被覆されたマスク基板は、図14bのステップ450で、入力制御装置内のEUV検査系により検査できる。マスク品質が十分であれば、それは、次のステップ452内で構造化できる。ステップ452による全体の構造マスクは、ステップ454でEUV検査系により再び検査できる。

このため、入力制御装置450の場合と同様に、最初に全体のマスク表面の欠陥検査は、例えば、可視光線で動作する検査系で行われ、同様に、可視光線またはUVまたはVUV波長範囲で動作するCD測定で行われる。EUV光線で実行されない欠陥検査またはCD測定で欠陥が生じると、そこで発見された欠陥を詳細に分類化するために本発明によるEUV検査系を使用することができる。欠陥についてのEUV検査に基づき、マスクの品質が欠陥検査後、十分であると分かれば、ステップ456により出すことができる。マスクの品質が不十分であれば、マスクは対応する欠陥個所に移動され、その後、ステップ458で修理ができるかどうかの検査がされる。修理ができなければ、マスクはステップ462により取りやめられる。修理ができれば、ステップ462により修理が実行され、EUV検査に向けられる。今や、十分な品質データが生じると、修理されたマスクを出すことができる。

#### 【0093】

図14cは、本発明による使用範囲として、ウエハ工場でのこの種の検査系の使用を示す。

#### 【0094】

ウエハ工場では、マスクはステップ500により、最初に、入力制御装置に向けられることができる。マスクは製造工程502のコースでエージングされる。マスクは、本発明によるEUV検査系により規定間隔で、ステップ504によりエージングまたは貯蔵後に検査できる。このため、再び、マスクは最初に可視可能な波長範囲またはUV波長範囲またはVUV波長範囲の光線で全表面に亘り検査される。欠陥が生じる個所でEUV検査が行われる。マスク品質が、なお、十分であれば、マスクは、さらに製造に使用できる。マスクが、もはや質的な要件を満たさないことを検査系が示すと、欠陥を修理できるかどうかを検査できる。このステップは、ステップ506で表される。修理ができなければ、マス

クはステップ 5 0 8 により製造工程から取り出される。修理ができれば、マスクはステップ 5 1 0 により修理され、修理後に E U V 検査系で検査される。欠陥は、行われた修理後に分類化され、十分な品質の場合に、マスクは再び、製造工程に移され、十分でない品質の場合には取り出される。

#### 【 0 0 9 5 】

それで、本発明により、始めて X 線顕微鏡および E U V リトグラフィーで使用する物体の検査設備が提供され、非常に短い全長とコンパクトな構造により特徴付けられる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【 0 0 9 6 】

【図 1】図 1 は、第 1 鏡、第 2 鏡を含む第 1 副系と、第 3 鏡を含む第 2 副系とを備えた本発明による第 1 X 線顕微鏡対物レンズの全体図を示す。

10

【図 2】図 2 は、第 1 鏡、第 2 鏡を含む第 1 副系と、第 3 鏡、第 4 鏡を含む第 2 副系とを備えた第 2 X 線顕微鏡を示す。

【図 3】図 3 は、第 1 鏡、第 2 鏡を含む第 1 副系と、第 3 鏡、第 4 鏡を含む第 2 副系とを含み、第 3 鏡は球面に構成され、絞りが物体平面と第 1 鏡との間にある第 3 X 線顕微鏡を示す。

【図 4】図 4 は、第 1 鏡、第 2 鏡を含む第 1 副系と、第 3 鏡、第 4 鏡を含む第 2 副系とを含み、第 3 鏡、第 4 鏡は球面に構成され、物体視野寸法は  $30\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$  である第 4 X 線顕微鏡を示す。

【図 5】図 5 は、第 1 鏡、第 2 鏡を含む第 1 副系と、第 3 鏡、第 4 鏡を含む第 2 副系とを備え、第 3 鏡、第 4 鏡は球面に構成され、物体視野は  $200\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$  の範囲を有する第 5 X 線顕微鏡を示す。

20

【図 6】図 6 は、第 1 鏡、第 2 鏡を含む第 1 副系と、第 3 鏡、第 4 鏡を含む第 2 副系とを備え、第 3 鏡、第 4 鏡は球面に構成され、全ての鏡は凹面鏡である第 6 X 線顕微鏡を示す。

【図 7】図 7 は、第 1 鏡、第 2 鏡を含む第 1 副系と、第 3 鏡、第 4 鏡を含む第 2 副系とを備え、第 1 鏡は凹面鏡であり、第 2 鏡は凹面鏡であり、第 3 鏡は凸面鏡であり、第 4 鏡は凹面鏡である第 7 X 線顕微鏡を示す。

【図 8】図 8 は、2 鏡系を示し、第 1 鏡は凹面鏡であり、第 2 鏡は凹面鏡である。

【図 9】図 9 は、第 1、第 2 鏡を備える第 1 副系と、光電子顕微鏡を含む第 2 副系とを備えた本発明による X 線顕微鏡対物レンズの全体図を示す。

30

【図 10】図 10 は、本発明による X 線顕微鏡を備えた E U V マスクの検査系を概要図で示す。

【図 11】図 11 は、検査系を示し、検査系の個々の構成部分を詳細に示す。

【図 12】図 12 は、測定を実施するためのフローチャートを示す。

【図 13】図 13 は、撮像される像の可能な処理を示す。

【図 14 A】図 14 A は、本発明による可能な使用範囲を示す。

【図 14 B】図 14 B は、本発明による可能な使用範囲を示す。

【図 14 C】図 14 C は、本発明による可能な使用範囲を示す。

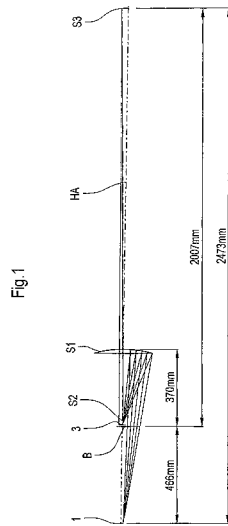
#### 【符号の説明】

40

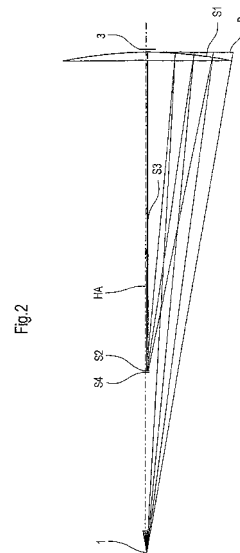
#### 【 0 0 9 7 】

- 1 物体平面
- S 1 第 1 鏡
- S 2 第 2 鏡
- S 3 第 3 鏡
- S 4 第 4 鏡
- 3 像平面
- H A 光軸
- B 開口絞り

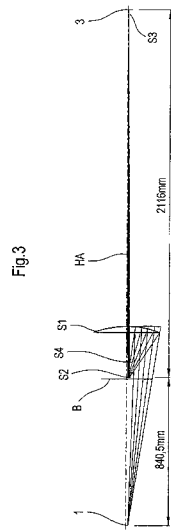
【図 1】



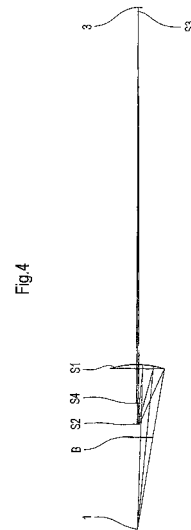
【図 2】



【図 3】



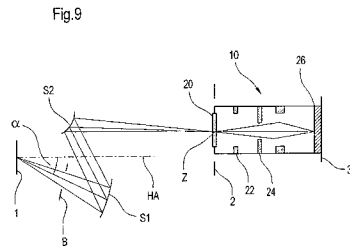
【図 4】



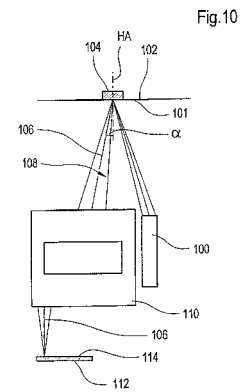




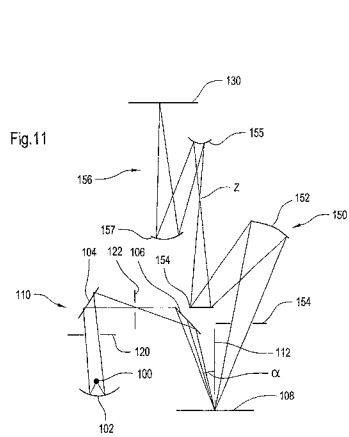
【図 9】



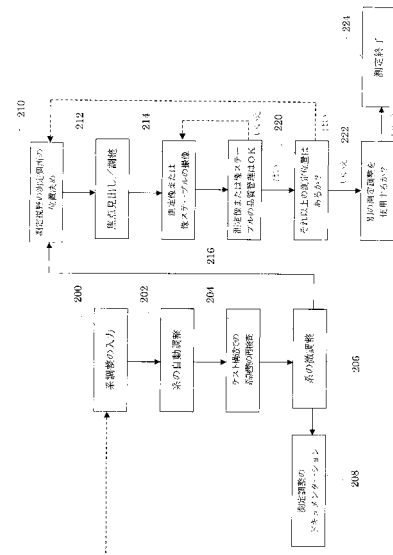
【図 10】



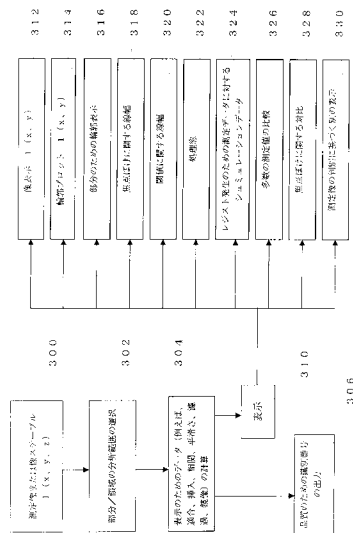
【図 11】



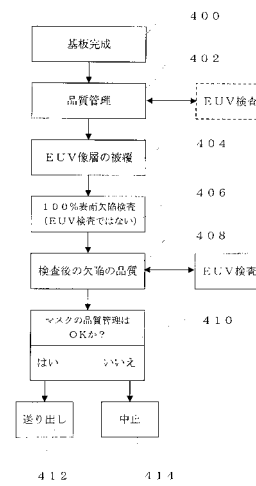
【図 12】



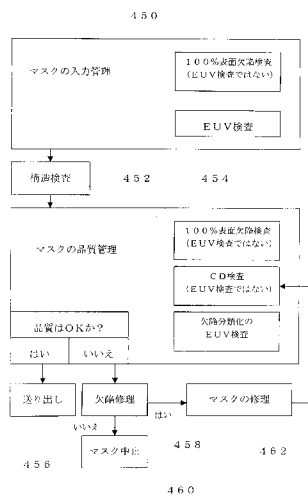
【 図 1 3 】



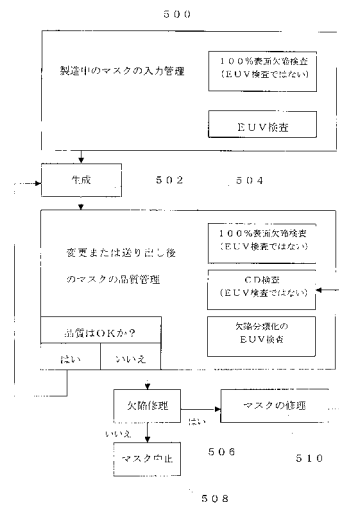
【 図 1 4 A 】



【 図 1 4 B 】



【 ㊦ 1 4 C 】



## フロントページの続き

- (74)代理人 100067013  
弁理士 大塚 文昭
- (74)代理人 100086771  
弁理士 西島 孝喜
- (74)代理人 100109070  
弁理士 須田 洋之
- (74)代理人 100109335  
弁理士 上杉 浩
- (74)代理人 100088096  
弁理士 福森 久夫
- (72)発明者 マン, ハンス-ユルゲン  
ドイツ連邦共和国, ディ-73447, オーバーコッヘン, カツェンバッハシュトラッセ  
49
- (72)発明者 ディンガー, ウド  
ドイツ連邦共和国, ディ-73447, オーバーコッヘン, ハインツ-クペンベンダー-シュ  
トラッセ 4
- (72)発明者 ウルリヒ, ヴィルヘルム  
ドイツ連邦共和国, ディ-73434, アーレン, レーダーアッカーリング 44
- (72)発明者 ライネケ, ヴォルフガング  
ドイツ連邦共和国, ディ-15783, ツォーテン, ツェーシュトラッセ 97B
- (72)発明者 エンゲル, トーマス  
ドイツ連邦共和国, ディ-99102, エルフルト, ウルビヒャー ベーク 88
- (72)発明者 ジボルド, アクセル  
ドイツ連邦共和国, ディ-07449, イェーナ, ビーバーベーク 13
- (72)発明者 ハルニッシュ, ヴォルフガング  
ドイツ連邦共和国, ディ-07778, レーステン, アム マーラーグラーベン 4
- (72)発明者 ベドウスキー, マルコ  
ドイツ連邦共和国, ディ-73447, オーバーコッヘン, オットー-ショット-シュトラッ  
セ 15
- (72)発明者 パオシンガー, ディーター  
ドイツ連邦共和国, ディ-13465, ベルリン, パルボルツァイマーシュトラッセ 5

審査官 中塚 直樹

(56)参考文献 特開平06-349715(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G21K 7/00