(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2010-61159
(P2010-61159A)
(43)公開日　平成22年3月18日(2010.3.18)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
G02B 13/00	(2006.01)	G02B	13/00		2H087
G02B 13/18	(2006.01)	G02B	13/18		5F046
G02B 17/08	(2006.01)	G02B	17/08	A	
H01L 21/027	(2006.01)	H01L	21/30	515D	

審査請求 有　請求項の数 22　ＯＬ　（全 45 頁）

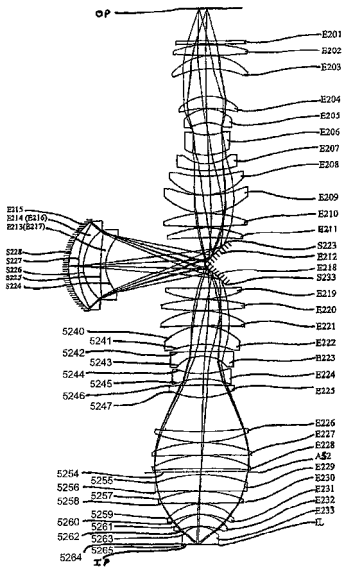
(21)出願番号　特願2009-276077 (P2009-276077)
(22)出願日　平成21年12月4日 (2009.12.4)
(62)分割の表示　特願2004-530609 (P2004-530609)の分割
原出願日　平成15年8月22日 (2003.8.22)
(31)優先権主張番号　0311470.9
(32)優先日　平成15年5月19日 (2003.5.19)
(33)優先権主張国　英国 (GB)
(31)優先権主張番号　特願2002-242925 (P2002-242925)
(32)優先日　平成14年8月23日 (2002.8.23)
(33)優先権主張国　日本国 (JP)

(71)出願人　000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号
(74)代理人　100095256
弁理士　山口　孝雄
(72)発明者　大村　泰弘
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号　株式会社ニコン内
(72)発明者　池沢　弘範
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号　株式会社ニコン内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】投影光学系、露光装置、および露光方法

(57)【要約】
【課題】　像面との間の光路中に高屈折率の媒質を介在させて、大きく且つ実効的な像側開口数を確保する。
【解決手段】　第１面（ＯＰ）の像を１．１よりも大きい屈折率を有する媒質（ＩＬ）を介して第２面（ＩＰ）上に投影するための投影光学系は、最も第２面側に配置された境界レンズ（Ｅ２３３）を含む複数のレンズを有する光路を有し、境界レンズの第１面側の面は正の屈折力を有する。ただし、光路中の雰囲気の屈折率を１とする。
【選択図】　図２



【特許請求の範囲】
【請求項１】
第１面の像を１．１よりも大きい屈折率を有する媒質を介して第２面上に投影するための投影光学系であって、
前記投影光学系は最も第２面側に配置された境界レンズを含む複数のレンズを有する光路を有し、
前記境界レンズの前記第１面側の面は正の屈折力を有する投影光学系。
ただし、前記光路中の雰囲気の屈折率を１とする。
【請求項２】
請求項１に記載の投影光学系であって、
前記境界レンズの第１面側の曲率をＣｂとし、光軸と有効結像領域の最外点との距離をＤとし、前記境界レンズの前記第２面側の開口数をＮＡとするとき、
０．０１２＜Ｃｂ・Ｄ／ＮＡ＜０．４７５
の条件を満足する投影光学系。
【請求項３】
請求項１又は２に記載の投影光学系であって、
前記境界レンズと前記第２面との間の光路中に少なくとも１つのほぼ無屈折力の光学部材が配置され、かつ、前記境界レンズと前記光学部材との間の光路及び前記光学部材と前記第２面との間の光路は前記媒質で満たされている投影光学系。
【請求項４】
請求項３に記載の投影光学系であって、
前記ほぼ無屈折力の少なくとも１つ光学部材は前記境界レンズと前記第２面との間の光路中に挿脱自在に配置されている投影光学系。
【請求項５】
請求項３又は４に記載の投影光学系であって、
前記ほぼ無屈折力の光学部材の姿勢は調整可能である投影光学系。
【請求項６】
請求項３乃至５のいずれか１項に記載の投影光学系であって、
前記ほぼ無屈折力の光学部材の屈折力をＰとし、前記光軸と前記有効結像領域の最外点との距離をＤとするとき、
$|P \cdot D| < 1.0 \times 10^{-4}$
の条件を満足する投影光学系。
【請求項７】
請求項１乃至６のいずれか１項に記載の投影光学系であって、
少なくとも１つの凹面反射鏡を有する反射屈折光学系である投影光学系。
【請求項８】
請求項７に記載の投影光学系であって、
前記光軸に対して偏心した有効結像領域を有し、前記投影光学系の前記光路中に少なくとも１つの中間像が形成される投影光学系。
【請求項９】
請求項８に記載の投影光学系であって、
前記少なくとも１つの凹面反射鏡を有し前記中間像を形成するための１つの結像光学系と、前記中間像からの光束に基づいて最終像を前記第２面上に形成するための他の結像光学系と、
前記１つの結像光学系と前記他の結像光学系との間の光路中に配置された偏向鏡とを有する投影光学系。
【請求項１０】
請求項９に記載の投影光学系であって、
前記光学系全体の倍率をＭＡとし、前記他の結像光学系の倍率をＭＧ３とするとき、次の条件式

０．７５＜ＭＡ／ＭＧ３＜１．１
を満足する投影光学系。
【請求項１１】
請求項８に記載の投影光学系であって、
前記第１面の第１中間像を形成するための第１結像光学系と、前記少なくとも１つの凹面反射鏡を有し前記第１中間像からの光束に基づいて第２中間像を形成するための第２結像光学系と、前記第２中間像からの光束に基づいて最終像を前記第２面上に形成するための第３結像光学系とを有し、
前記第１結像光学系と前記第２結像光学系との間の光路中に第１偏向鏡が配置され、前記第２結像光学系と前記第３結像光学系との間の光路中に第２偏向鏡が配置されている投影光学系。
【請求項１２】
請求項１１に記載の投影光学系であって、
前記第１結像光学系の光軸と前記第３結像光学系の光軸とが一致している投影光学系。
【請求項１３】
請求項１１又は１２に記載の投影光学系であって、
前記光学系全体の倍率をＭＡとし、前記第３結像光学系の倍率をＭＧ３とするとき、次の条件式
０．７５＜ＭＡ／ＭＧ３＜１．１
を満足する投影光学系。
【請求項１４】
請求項９に記載の投影光学系であって、
前記他の結像光学系は開口絞りを含んでおり、かつ、前記開口絞りの前記第２面側に配置されたレンズ要素の数は５以下である投影光学系。
【請求項１５】
請求項１４に記載の投影光学系であって、
前記第２面と前記第３結像光学系中の前記開口絞りとの間に配置された総てのレンズ要素は正の屈折力を有している投影光学系。
【請求項１６】
請求項１４に記載の投影光学系であって、
前記開口絞りの前記第２面側に配置されたレンズ要素に負の屈折力を有するレンズ要素は含まれていない投影光学系。
【請求項１７】
請求項１乃至１６のいずれか１項に記載の投影光学系であって、
前記第１面側の開口数が０．２２以上である投影光学系。
【請求項１８】
請求項８に記載の投影光学系であって、
前記第１面の第１中間像を形成するための第１結像光学系と、前記少なくとも１つの凹面反射鏡を有し前記第１中間像からの光束に基づいて第２中間像を形成するための第２結像光学系と、前記第２中間像からの光束に基づいて最終像を前記第２面上に形成するための第３結像光学系とを有する投影光学系。
【請求項１９】
請求項１８に記載の投影光学系であって、
前記第１結像光学系の光軸と前記第３結像光学系の光軸とが一致している投影光学系。
【請求項２０】
請求項１８に記載の投影光学系であって、
前記第１および第３結像光学系は非球面を有している投影光学系。
【請求項２１】
第１面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンの像を前記第２面に設定された感光性基板上に形成するための請求項１乃至２０のいずれ

か１項に記載の投影光学系とを有する露光装置。
【請求項２２】
第１面に設定されたマスクを照明するステップと、請求項１乃至２０のいずれか１項に記載の投影光学系を介して前記マスクに形成されたパターンの像を第２面に設定された感光性基板上に投影露光するステップとを含み、
前記投影露光するステップでは、前記媒質を介して前記パターンの像を前記感光性基板上に投影露光する露光方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、フォトリソグラフィ系等の投影光学系に関する。本発明は、露光装置及び露光方法にも関する。本発明は、半導体素子や液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に適した高解像の投影光学系に適用できる。
【背景技術】
【０００２】
以下において、用語「アナスチグマート」とは、非点収差、及び/又は、球面収差を含む収差を低減するために適合化された光学要素又は光学要素群をいう。用語アナスチグマートの詳論については、例えば、Naumann及びSchroder著「Bauelemente der Optik」第6版第３８２乃至３８３頁１９９２年Carl Hauser Verlag（Munchen及びWien）刊を参照。用語「マンジャンミラー配置」とは、凹面鏡と、該凹面鏡に近接した負の屈折力を有する少なくとも１つのレンズとを含んだ光学装置であって、当該凹面鏡と当該負の屈折力を有するレンズとが必ずしも接触していなくてもよいものをいう。
【０００３】
半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、マスク（又はレチクル）のパターン像を、投影光学系を介して、フォトレジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）上に露光する投影露光装置が使用されている。半導体素子の集積度が向上するにつれて、投影露光装置の投影光学系に要求される解像力（解像度）が益々高まっている。
【０００４】
その結果、投影光学系の解像力に対する要求を満足するために、照明光（露光光）の波長λを短くする、及び/又は、投影光学系の開口数ＮＡを大きくする必要がある。具体的には、投影光学系の解像度は、ｋ・λ／ＮＡ（ｋはプロセス係数）で表される。像側開口数ＮＡは、投影光学系と像面との間の媒質（通常は空気などの気体）の屈折率をｎとし、最大入射角をθとすると、ｎ・sinθで表される。従来から、マイクロリソグラフィにおける解像力の向上は、開口数（ＮＡ）を大きくすることによるか、照明光の波長を短くすることによって、或いは、これらの両者を組み合わせることによってなされてきた。
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
しかしながら、媒質入射角θをより大きくすることにより開口数ＮＡの増大を図ろうとすると、像面への入射角及び投影光学系からの射出角が大きくなり、光学面での反射損失が増大する。大きく且つ実効的な像側開口数を確保することはできない。投影光学系と像面との間の光路中に屈折率の高い液体のような媒質を満たすことにより開口数ＮＡの増大を図る技術が知られている。国際公開番号ＷＯ９９／４９５０４号公報には、マスクに露光光線を照射し、投影光学系を介して前記マスクのパターンを基板上に転写する投影露光方法であって、前記基板が所定の方向に沿って移動させられる際に、所定の液体が、前記投影光学系の前記基板側の光学要素の端部と前記基板の表面との間の空間を満たすように、前記基板の移動方向に沿って送られる投影露光方法と、マスクに露光光線を照射し、投影光学系を介して前記マスクのパターンを基板上に転写する投影露光装置であって、前記基板を保持しつつ移動する基板ステージ、所定の液体を、前記投影光学系の前記基板側の

光学要素の端部と前記基板の表面との間の空間を満たすように、供給管を介して所定の方向に沿って供給する液体供給装置、前記露光光線の照射領域を前記所定の方向で挟むように配置された前記供給管と排出用菅とを介して前記液体を前記基板の表面から回収する液体回収装置を有し、前記基板ステージが前記基板を前記所定の方向に沿って移動させるために駆動される際に、前記液体の供給及び回収が実行される投影露光装置とが開示されている。当該液体の流れの方向は、当該基板の移動方向に応じて変更することができる。当該露光装置には、前記供給菅と前記排出菅の前記の組を略１８０度回転させた位置に配置された第２の供給菅と排出菅の組を設けることもできる。更には、当該露光装置には、前記投影光学系と前記基板との間に供給された液体を回収する液体回収装置を設けることもできる。

【０００６】

米国特許第４,５０９,８５２号には、パターンを有するマスクを半導体基板に塗布された感光層に投影レンズによって結像するフォトリソグラフィー投影装置が開示されている。解像能を向上させ、定在波、負均一露光等の悪影響を除くために、当該基板と投影レンズの近接した境界面との間の空間が、露光の際に、感光層と同一の屈折率を有する透明な液体で満たされている。しかしながら、大きく且つ実効的な像側開口数を確保することのできる構成について具体的な提案は未だなされていない。

【０００７】

液浸による理論的解像度の向上については、１.０より大きなＮＡを持つ油浸屈折系対物が長年に亘って設計されてきてはいるがその視野は０.５ｍｍ以下である顕微鏡分野において、よく知られたことである。例えば、Warren Smith著「Modern Optical Engineering」第3版第450頁SPIE Press及びMcGraw Hillを参照。

【０００８】

マイクロリソグラフィー分野に適用される液浸についても、長年に亘って提案されてはきたが、生産への適用はなかなか進んでおらず、これは、実践上の問題点があることによることは明らかである。しかしながら、「乾燥」投影レンズのＮＡが理論限界の１.０に近づくに従って、液浸の理論上の利点が魅力を増してきた。これらの利点については、例えば、Burn J. LinがJM3 1(1)第7乃至12頁2002年4月で発表した「The k3 coefficient in nonparaxial λ/NA scaling equations for resolution, depth of focus, and immersion liquid」を参照。

【０００９】

リソグラフィ用液浸の課題に関するより最近の検討によれば、より楽観的な見解が得られてきている。例えば、M. Switkes及びM. RothschildがJM3 1(3)第225乃至228頁2002年10月で発表した「Resolution Enhancement of 157 nm Lithography by Liquid Immersion を参照。しかしながら、上記２つのいずれの論文も、光学設計の問題を扱ってはいない。

【００１０】

液浸リソグラフィを提案した初期の論文には、H. Kawata, J.M. Carter, A. Yen及びH. I. SmithがMicroelectronic, Eng. 第9巻第31頁 (1989年)で発表した「Optical projection lithography using lenses with numerical apertures greater than unity」、H. Kawata, I. Matsumura, H. Yoshida及びK. Murataによる日本で発行されたJournal of Applied Physics, Part 131, 第4174頁（1992年）の「Fabrication of 0.2um fine patterns using optical projection lithography with an oil immersion lens」、G. Owen, R.F. W. Pease, D.A. Markle, A. Grenville, R.L. Hsieh, R. von Bunau and N.I. Malufによるthe Journal of Vacuum Science Technology, B10-6, 第3032頁（1992年）の「1/8 μm optical lithography」、及び、M. Switkes 及びM. Rothschildによるthe Journal of Vacuum Science Technology, Bl9-6, 第2353頁 (2001年) の「Immersion lithography at 157 nm」等がある。

【００１１】

この最近のSwitkes論文は、ＡｒＦ（又はＫｒＦ）レーザ光用の液浸液として水を、F_2レーザ光用の液浸液として過フルオロポリエーテルを提案し、走査ウエハステージに係る

実際的問題を扱い始めているという意味で、最も重要な論文である。

【００１２】

他にも、１．０より大きなＮＡを有する液浸屈折系マイクロリソグラフィー投影レンズ設計を部分的に開示して、リソグラフィで用いられる比較的大きな視野に関する光学設計の問題を扱い始めている論文、即ち、Ulrich Wilhelm, Rostalski Hans-Juergen, Hudyma RussellがSPIE Vol. 4832 IODC 2002 6月で発表した「Development of dioptric projection lenses for DUV lithography」（4832-18）がある。

【００１３】

米国特許公開公報第２００１／００４０７２２号には、Ｖ型折り曲げ鏡と２つの中間像とを用いた反射屈折型設計が開示されている。しかしながら、これは、光学検査用に用途を限定した小視野系（＜１ｍｍ）であり、また、この公報には、マイクロリソグラフィーで要求される遥かに大きな視野寸法並びに極めて小さな残留収差及びディストーションに対して当該設計が適用できるという示唆は全くない。

【００１４】

Timothy A. Brunner他によるJM3 25 1(3)第188乃至196頁2002年10月掲載の「High numerical aperture lithographic imagery at the Brewster angle」には、「乾燥」投影レンズにおいてＮＡが１．０に近づいたときの根本的欠点が結像品質の観点から記載されている。これらの欠点は、フォトレジスト内部でのより良い像を生むはずであった偏光の方向をより強く反射して失わせるレジスト境界面でのフレネル反射ロスによって一層悪化するベクトル結像劣化に関連するものである。これは、約０．８５のＮＡに対応するブルースター角において、最も強く起こる現象である。

【００１５】

液浸屈折系設計の検討を行い、１．０のＮＡと２６ｍｍの視野寸法を得るためには、最大レンズ直径を、入手可能な高品質溶融石英では限界でありフッ化カルシウムでは限界を超えた３３０ｍｍ程度としなければならないことが分かった。「乾燥」屈折系レンズにおいてＮＡが大きくなるに従ってスペクトル幅が小さくなるのと同様に、スペクトル幅も小さくなる。視野寸法を小さくし縮小率を４倍を超えて大きくすれば、これらの問題に対応できるが、「液浸」リソグラフィ装置と現行の「乾燥」システムとの互換性が失われることになる。

【００１６】

既知の「乾燥」反射屈折型設計では、比較的小さなレンズ直径と色収差が得られている。しかしながら、これらの設計は、最後の要素とウエハとの間に液体を追加するだけでは、液浸型に転換することはできない。液体を追加すると、当該設計の他の箇所で補償しなければならなくなる球面収差が発生することになる。また、単純に液体を追加する場合において、ＮＡの定義には屈折率が既に含まれているため、ＮＡは増加しない。

【００１７】

ウエハを液体に浸けることは、ＮＡを「乾燥」系での１．０ではなく液体の屈折率（約１．４）に等しい理論的最大値にまで増加させることを可能とする必要条件ではあるが十分条件ではない。一定倍率の下では、近軸幾何光学理論（特にはラグランジュ不変量）から分かるように、ウエハでのＮＡの増加に伴って、投影レンズ系全体に亘ってＮＡが増加することになる。この結果、レンズの直径と、Ｄを有効口径としＲを曲率半径としたときに比Ｄ／Ｒで定義される光学面勾配とが大きくなる。同時に、ＮＡの増加に伴って、色収差及び高次収差も増大する。従って、光学設計に通じた者にとって、レンズの寸法及び複雑性の非現実的増大並びに残留収差の容認できない増大を招くことなく、「乾燥」投影レンズのＮＡを液浸液の屈折率にまで増加させることが可能であることは自明なことではない。

【００１８】

光学設計に関する教科書（例えば、Warren Smith著「Modern Optical Engineering」第3版第449乃至445頁SPIE Press及びMcGraw Hill刊）には、最後の要素の液浸液と接触する平坦面の反対側の面が超半球状の凸面（有効口径／曲率半径がＤ／Ｒ＝２なる半球を超え

ている）である従来からの顕微鏡液浸対物レンズが記載されている。一般的に、この面は不遊系又は不遊条件に近い系となるように設計されている。不遊条件の下では、球面収差、コマ収差、及び非点収差は全く無く、当該レンズ要素内での外縁光線収束角は入射前に比べて当該ガラスの屈折率分だけ大きくなっている。この不遊条件に近くするということは、球面収差及びコマ収差を最小化することであり、小視野顕微鏡対物レンズや先行技術である米国特許公開公報第２００１／００４０７２２号に開示されている系に対しては有用なＮＡを増加させる簡単な方法である。

【００１９】

遥かに大きな視野全体に亘って小さな収差が要求されるマイクロリソグラフィーにおいては、このような不遊系の面では、軸外球面収差及び非点収差を含む高次の収差変動が当該視野全体で発生してしまう。最後の要素に不遊系の面を使う代わりに、不遊条件を満たしているのではなく、所謂コンセントリック又はモノセントリック条件を満たした又は略満たした凸面を使うのが一般的な方法である。コンセントリック条件が満たされている場合には、最後の要素内での外縁光線収束角は、入射前の外縁光線収束角と同じである。この場合にも、球面収差やコマ収差は全くないが、広視野系にとって更に重要なことは、サジタル軸外球面収差が零になっていることである。例えば、J. Dyson JOSA第49巻(7)第713頁(1959年7月)又はC.G. Wynneによる「Monocentric telescopes for microlithography」Optical Engineering第26巻第4号（1987年）を参照。

【００２０】

J. G. Bakerによる「The Catadioptric Refractor」The Astronomical Journal第59巻第74乃至84頁（1955年）には、シュプマンによって提案された構想（L. Schupmannによる「Die Medial-Fernrohre, Eine neue Konstruktion fur groBe astronomische Instrumente」Teubner（Leipzig）1899年刊）に基づいた望遠鏡のプラス面とマイナス面とが論じられている。

【００２１】

本発明は、像面との間の光路中に高屈折率の媒質を介在させ、光学面での反射損失を良好に抑えて、大きく且つ実効的な像側開口数を確保することのできる投影光学系を提供することを目的とする。また、大きく且つ実効的な像側開口数を有し、ひいては高い解像度を有する投影光学系を介して、微細なパターンを高精度に転写露光することのできる露光装置及び露光方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００２２】

本発明の第１の局面によれば、第１面の像を第２面上に投影するための投影光学系であって、境界レンズと、前記境界レンズと前記第２面との間の少なくとも１つの液浸媒質の層とを有し、前記境界レンズは、前記境界レンズを通して前記第２面上に投影される光に関して、入射前の外縁光線収束角が前記境界レンズ内の外縁光線収束角より大きくなるように形成された第１面側の光学面を有している投影光学系が提供される。

【００２３】

本発明の第２の局面によれば、第１面の像を第２面上に投影するための投影光学系であって、光学系と、前記境界レンズと、前記第２面との間の少なくとも１つの液浸媒質の層とを有し、前記第１面からの光が、前記光学系を透過して、所定の外縁光線収束角をもって射出し、かつ、前記境界レンズは、前記光学系から射出した前記光を受けるために配置されており、前記境界レンズを通して前記第２面上に投影される光に関して、前記入射前の外縁光線収束角が前記境界レンズ内の外縁光線収束角より大きくなるように適合化されている投影光学系が提供される。

【００２４】

前記光学系（前記投影光学系の前記光学系を意味し、後者は投影光学系に含まれている）は、前記境界レンズに近接し、かつ、非球面光学面を有する少なくとも１つの正の屈折力を有するレンズ要素を更に有しているようにすることができる。また、代りに、前記光学系は、前記境界レンズに近接し、かつ、少なくとも１つの非球面光学面を有する第１の

正の屈折力を有するレンズ要素と、前記第１の正の屈折力を有するレンズ要素と前記境界レンズとの間にあり、かつ、少なくとも１つの非球面光学面を有する第２の正の屈折力を有するレンズ要素とを更に有しているようにすることもできる。

【００２５】

前記光学系は、前記第１の正の屈折力を有するレンズ要素は２６．１ｍｍより大きく２８．９ｍｍより小さな軸上厚と１０３ｍｍより大きく１１４ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有し、前記第２の正の屈折力を有するレンズ要素は２６．５ｍｍより大きく２９．３ｍｍより小さな軸上厚と８３．２ｍｍより大きく９１．９ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有し、かつ、前記境界レンズは４１．６ｍｍより大きく４６．０ｍｍより小さな軸上厚と５６．９ｍｍより大きく６２．９ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有する系とすることができる。

【００２６】

また、前記光学系は、前記境界レンズに近接し、かつ、少なくとも１つの非球面光学面を有する第１の正の屈折力を有するレンズ要素と、前記第１の正の屈折力を有するレンズ要素と前記境界レンズとの間にあり、かつ、少なくとも１つの非球面光学面を有する第２の正の屈折力を有するレンズ要素とを有したものであり、前記第１の正の屈折力を有するレンズ要素は２７．２２ｍｍより大きく２７．７７ｍｍより小さな軸上厚と１０７．６ｍｍより大きく１０９．８ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有し、前記第２の正の屈折力を有するレンズ要素は２７．６３ｍｍより大きく２８．１９ｍｍより小さな軸上厚と８６．６７ｍｍより大きく８８．４２ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有し、かつ、前記境界レンズは４３．３７ｍｍより大きく４４．２５ｍｍより小さな軸上厚と５９．２７ｍｍより大きく６０．４６ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有したものとすることができる。

【００２７】

上で規定した光学系のいずれも、第３の正の屈折力を有するレンズ要素、第１の負の屈折力を有するレンズ要素、第２の負の屈折力を有するレンズ要素、及び第４の正の屈折力を有するレンズ要素を含んだ球面収差を低減するために配置された複ガウス型アナスチグマートを含んだものとすることができる。

【００２８】

この光学系においては、前記第３の正の屈折力を有するレンズ要素は４３．９ｍｍより大きく４８．５ｍｍより小さな軸上厚と１２８ｍｍより大きく１４１ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有し、前記第１の負の屈折力を有するレンズ要素は１３．１ｍｍより大きく１１．９ｍｍより小さな軸上厚と１５４０ｍｍより大きく１７１０ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有し、前記第２の負の屈折力を有するレンズ要素は１１．９ｍｍより大きく１３．１ｍｍより小さな軸上厚と１８４ｍｍより大きく２０４ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有し、かつ、前記第４の正の屈折力を有するレンズ要素は３０．６ｍｍより大きく３３．９ｍｍより小さな軸上厚と１８９ｍｍより大きく２０９ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第２面側の面とを有している。

【００２９】

前段落で記載された光学系の代わりとして、前記光学系は、前記第３の正の屈折力を有するレンズ要素は４５．７１ｍｍより大きく４６．６３ｍｍより小さな軸上厚と１３３．３ｍｍより大きく１３６．０ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有し、前記第１の負の屈折力を有するレンズ要素は１２．３８ｍｍより大きく１２．６３ｍｍより小さな軸上厚と１６０８ｍｍより大きく１６４１ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有し、前記第２の負の屈折力を有するレンズ要素は１２．３８ｍｍより大きく１２．６３ｍｍより小さな軸上厚と１９１．９ｍｍより大きく１９５．８ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有し、かつ、前記第４の正の屈折力を有するレンズ要素は３１．９１ｍｍより大きく３２．５６ｍｍより小さな軸上厚と１９７．４ｍｍより大きく２０１．３ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第２面側の面とを有した系とす

ることもできる。

【００３０】

上記のいずれの型の光学系も、凹面鏡と少なくとも１つの負の屈折力を有するシュプマン型レンズとを有する反射屈折型アナスチグマートを含んだものとすることができる。この光学系においては、前記反射屈折型アナスチグマートを２つの負の屈折力を有するシュプマン型レンズを含んだものとすることができる。上記のいずれの光学系も、紫外光と共に使用するために適合化されたものとすることができる。

【００３１】

当該光学系は、表１及び表２に記載されたものと同様な諸元を有する光学要素の集合とすることができる。当該光学系は、表１及び表２に記載された諸元に実質的に基づいてはいるが特定の動作光学波長のために再最適化されるように調整された諸元を有する光学要素の集合とすることができる 。

【００３２】

本発明の第３の局面によれば、第１面の像を第２面上に投影するための投影方法であって、第１の外縁光線収束角を持つ光を境界レンズに伝えるステップと、第２の外縁光線収束角を持つ光を前記境界レンズを通して伝えるステップと、前記境界レンズからの光を液浸液を通して前記第２面に伝えるステップとを含んでおり、前記第１の外縁光線収束角は前記第２の外縁光線収束角より大きい投影方法が提供される。

【００３３】

この方法は、前記境界レンズに近接し、かつ、非球面光学面を有する少なくとも１つの正の屈折力を有するレンズ要素を通して光を伝えるステップを含むことができる。

【００３４】

また、代りに、この方法は、前記境界レンズに近接し、かつ、少なくとも１つの非球面光学面を有する第１の正の屈折力を有するレンズ要素を通して光を伝えるステップと、前記第１の正の屈折力を有するレンズ要素と前記境界レンズとの間にあり、かつ、少なくとも１つの非球面光学面を有する第２の正の屈折力を有するレンズ要素を通して光を伝えるステップとを含むこともできる。この方法は、前記境界レンズに近接し、かつ、少なくとも１つの非球面光学面を有する第１の正の屈折力を有するレンズ要素を通して光を伝えるステップと、前記第１の正の屈折力を有するレンズ要素と前記境界レンズとの間にあり、かつ、少なくとも１つの非球面光学面を有する第２の正の屈折力を有するレンズ要素を通して光を伝えるステップと、２６．１ｍｍより大きく２８．９ｍｍより小さな軸上厚と１０３ｍｍより大きく１１４ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有した前記第１の正の屈折力を有するレンズ要素を通して光を伝えるステップと、２６．５ｍｍより大きく２９．３ｍｍより小さな軸上厚と８３.２ｍｍより大きく９１.９ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有した前記第２の正の屈折力を有するレンズ要素を通して光を伝えるステップと、４１．６ｍｍより大きく４６.０ｍｍより小さな軸上厚と５６.９ｍｍより大きく６２.９ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有した前記境界レンズを通して光を伝えるステップとを含むこともできる。代りに、この方法は、前記境界レンズに近接し、かつ、少なくとも１つの非球面光学面を有する第１の正の屈折力を有するレンズ要素を通して光を伝えるステップと、前記第１の正の屈折力を有するレンズ要素と前記境界レンズとの間にあり、かつ、少なくとも１つの非球面光学面を有する第２の正の屈折力を有するレンズ要素を通して光を伝えるステップと、２７．２２ｍｍより大きく２７.７７ｍｍより小さな軸上厚と１０７.６ｍｍより大きく１０９.８ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有した前記第１の正の屈折力を有するレンズ要素を通して光を伝えるステップと、２７.６３ｍｍより大きく２８.１９ｍｍより小さな軸上厚と８６.６７ｍｍより大きく８８.４２ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有した前記第２の正の屈折力を有するレンズ要素を通して光を伝えるステップと、４３.３７ｍｍより大きく４４.２５ｍｍより小さな軸上厚と５９.２７ｍｍより大きく６０.４６ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有した前記境界レンズを通して光を伝えるステップとを含むこともできる。

【００３５】
上で規定した方法はいずれも、第３の正の屈折力を有するレンズ要素、第１の負の屈折力を有するレンズ要素、第２の負の屈折力を有するレンズ要素、及び第４の正の屈折力を有するレンズ要素を含んだ球面収差を低減するために配置された複ガウス型アナスチグマートを通して光を伝えるステップを含んだものとすることができる。このような方法は、４３．９ｍｍより大きく４８．５ｍｍより小さな軸上厚と１２８ｍｍより大きく１４１ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った物体側の面とを有した第３の正の屈折力を有するレンズ要素、１３．１ｍｍより大きく１１．９ｍｍより小さな軸上厚と１５４０ｍｍより大きく１７１０ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有した第１の負の屈折力を有するレンズ要素、１３．１ｍｍより大きく１１．９ｍｍより小さな軸上厚と１８４ｍｍより大きく２０４ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有した第２の負の屈折力を有するレンズ要素、及び３０．６ｍｍより大きく３３．９ｍｍより小さな軸上厚と１８９ｍｍより大きく２０９ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第２面側の面とを有した第４の正の屈折力を有するレンズ要素を含んだ球面収差を低減するために配置された複ガウス型アナスチグマートを通して光を伝えるステップを含んだものとすることができる。代りに、当該方法は、４５．７１ｍｍより大きく４６．６３ｍｍより小さな軸上厚と１３３．３ｍｍより大きく１３６．０ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有した第３の正の屈折力を有するレンズ要素、１２．３８ｍｍより大きく１２．６３ｍｍより小さな軸上厚と１６０８ｍｍより大きく１６４１ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有した第１の負の屈折力を有するレンズ要素、１２．３８ｍｍより大きく１２．６３ｍｍより小さな軸上厚と１９１．９ｍｍより大きく１９５．８ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第１面側の面とを有した第２の負の屈折力を有するレンズ要素、及び３１．９１ｍｍより大きく３２．５６ｍｍより小さな軸上厚と１９７．４ｍｍより大きく２０１．３ｍｍより小さな軸上曲率半径を持った第２面側の面とを有した第４の正の屈折力を有するレンズ要素を含んだ球面収差を低減するために配置された複ガウス型アナスチグマートを通して光を伝えるステップを含んだものとすることもできる。

【００３６】
本発明の前記第３の局面による上で規定したいずれの方法も、凹面鏡と少なくとも１つの負の屈折力を有するシュプマン型レンズとを有する反射屈折型アナスチグマートを通して光を伝えるステップを含んだものとすることができ、そして、この方法は、凹面鏡と２つの負の屈折力を有するシュプマン型レンズとを含んだ反射屈折型アナスチグマートを通して光を伝えるステップを含んだものとすることもできる。

【００３７】
上で規定された各方法で使用される光は、紫外光の光線とすることができる。当該方法は、表１及び表２に記載された光学的特性と同様な光学的特性を有する光学要素の集合を通して光を伝えるステップを含んだものとすることができる。

【００３８】
当該方法は、表１及び表２に記載された光学的特性に基づいてはいるが特定の動作波長のために再最適化された光学的特性を実質的に有する光学要素の集合を通して光を伝えるステップを含んだものとすることができる。当該方法は、表１及び表２に記載された光学的特性に基づいてはいるが特定の動作波長と特定の液浸層厚とのために再最適化された光学的特性を実質的に有する光学要素の集合を通して光を伝えるステップを含んだものとすることができる。

【００３９】
本発明の第４の局面によれば、第１面の像を第２面上に形成するための投影光学系において、最も第２面側に配置されて第１面側の面が正の屈折力を有する境界レンズを含む複数のレンズを有する光路であって、前記光路中の雰囲気の屈折率を１とするとき、前記境界レンズと前記第２面との間の光路は１．１よりも大きい屈折率を有する媒質で満たされている光路を含む投影光学系が提供される。

【００４０】

この第４の局面の好ましい態様によれば、前記境界レンズの第１面側の面の曲率をＣｂとし、光軸と有効結像領域の最外点との距離をＤとし、第２面側の開口数をＮＡとするとき、０．０１２＜Ｃｂ・Ｄ／ＮＡ＜０．４７５の条件を満足する。この投影光学系において、前記境界レンズと前記第２面との間の光路中には、少なくとも１つのほぼ無屈折力の光学部材が挿脱自在に配置され、前記境界レンズと前記光学部材との間の光路及び前記光学部材と前記第２面との間の光路は前記媒質で満たされていることが好ましい。この場合、前記ほぼ無屈折力の光学部材の姿勢は調整可能であることが好ましい。また、前記ほぼ無屈折力の光学部材の屈折力をＰとし、光軸と有効結像領域の最外点との距離をＤとするとき、｜Ｐ・Ｄ｜＜１．０×１０$^{-4}$の条件を満足することが好ましい。

【００４１】

また、前記投影光学系は、少なくとも１つの凹面反射鏡と屈折光学部材とを含む反射屈折光学系であるのが好ましい。この場合、前記投影光学系は、光軸に対して偏心した有効結像領域を有し、かつ、少なくとも１つの中間像が前記投影光学系の光路中に形成されるのが好ましい。また、前記投影光学系は、前記第１面の第１中間像を形成するための第１結像光学系と、少なくとも１つの凹面反射鏡を有し前記第１中間像に基づいて第２中間像を形成するための第２結像光学系と、前記第２中間像からの光束に基づいて最終像を前記第２面上に形成するための第３結像光学系とを備えたものであり、前記第１結像光学系と前記第２結像光学系との間の光路中に第１偏向鏡が配置され、前記第２結像光学系と前記第３結像光学系との間の光路中に第２偏向鏡が配置され、且つ、前記第１結像光学系の光軸と前記第３結像光学系の光軸とが一致しているものであることが好ましい。第１面側の開口数は０．２２以上であるのが好ましい。また、前記媒質を通過する際に発生する光量損失が５０％以下であることが好ましい。

【００４２】

本発明の第５の局面によれば、前記第１面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンの像を前記第２面に設定された感光性基板上に形成するための投影光学系とを含んだ露光装置が提供される。

【００４３】

本発明の第６の局面によれば、前記第１面に設定されたマスクを照明するステップと、前記マスクに形成されたパターンの像を前記第２面に設定された感光性基板上に投影露光するステップとを含んだ露光方法が提供される。

【００４４】

本発明の第７の局面によれば、マスクに形成されたパターンを感光性基板に転写するための露光装置であって、前記マスク上の所定の照明領域を照明するための照明光学系と、前記パターンの縮小像を感光性基板上の露光領域内に投影するための投影光学系とを備えたものであり、前記投影光学系は、最も感光性基板側に配置された境界レンズを備える反射屈折光学系であり、前記露光領域は前記反射屈折型投影光学系の光軸から偏心しており、且つ、前記投影光学系の光路中の雰囲気の屈折率を１とするとき、前記境界レンズと前記第２面との間の光路は１．１よりも大きい屈折率を有する媒質で満たされている露光装置が提供される。

【発明の効果】

【００４５】

本発明の投影光学系の或る局面によれば、最も像側（第２面側）に配置された境界レンズと像面との間の光路中に１．１よりも大きい屈折率を有する媒質を介在させることにより、像側開口数ＮＡの増大を図っている。M. Switkes及びM. Rothschildが発表した論文「Resolution Enhancement of 157-nm Lithography by Liquid Immersion」JM3 1(3)第225乃至228頁2002年10月には、波長λが２００ｎｍ以下の光束に対して所定の透過率を有する媒質として、フロリナート（過フルオロポリエーテル：米国スリーエム社の商品名）及び脱イオン水が挙げられている。

【図面の簡単な説明】

【００４６】

【図１】比較のための反射屈折型「乾燥」投影系を示す図である。
【図２】本発明の第１実施例にかかる反射屈折型液浸投影レンズ系を示す図である。
【図３】図２の光路中の最後の方の光学素子を示す図である。
【図４】境界レンズ、液浸層、及び像面を示す図である。
【図５】本発明の第１実施例にかかる最後のレンズ素子に進む外縁光線光路を示す図である。
【図６】本発明の第１実施例にかかる最後のレンズ素子を通過して液浸層に進む外縁光線光路を示す図である。
【図７】本発明を組み込んだ露光装置の構成を概略的に示す図である。
【図８】第２実施例及び第３実施例においてウエハ上に形成される矩形状の実効露光領域と基準光軸との位置関係を示す図である。
【図９】第４実施例においてウエハ上に形成される矩形状の実効露光領域と基準光軸との位置関係を示す図である。
【図１０】第２乃至第４実施例における境界レンズとウエハとの構成を概略的に示す図である。
【図１１】本発明の第２実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。
【図１２】第２実施例における横収差を示す図である。
【図１３】本発明の第３実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。
【図１４】本発明の第３実施例における横収差を示す図である。
【図１５】本発明の第４実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。
【図１６】第４実施例における横収差を示す図である。
【図１７】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。
【図１８】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。
【図１９】本発明の第５実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。
【図２０】第５実施例における各種収差を示すグラフである。
【発明を実施するための形態】
【００４７】
本発明の投影光学系では、境界レンズの物体側（第１面側）の面に正の屈折力を付与することにより、光学面での反射損失を低減さることができ、ひいては大きく且つ実効的な像側開口数を確保している。こうして、本発明では、像面との間の光路中に高屈折率の媒質を介在させ、光学面での反射損失を良好に抑えて、大きく且つ実効的な像側開口数を確保することのできる投影光学系を実現することができる。
【００４８】
次の条件式（１）を満していることが望ましい。ここで、Ｃｂは境界レンズの物体側の面の曲率であり、Ｄは光軸と有効結像領域の最外点との距離（露光装置の場合には光軸と実効露光領域の最外点との距離）であり、ＮＡは像側（第２面側）の開口数である。なお、有効結像領域及び実効露光領域とは、収差が十分に補正された結像領域及び露光領域を指している。

０．０１２＜Ｃｂ・Ｄ／ＮＡ＜０．４７５　　（１）

【００４９】
条件式（１）の上限値を上回ると、有効結像領域（実効露光領域）内の全体に亘って収差補正を良好に行うことができないので好ましくない。条件式（１）の下限値を下回ると、光学面での反射損失の低減を十分に実現することができないため、実効的な開口数が小さくなり、ひいては解像力が低下するので好ましくない。なお、反射損失及び吸収損失の低減をさらに図り、有効結像領域（実効露光領域）内の全体に亘って高解像力を得るには、条件式（１）の上限値を０．４０とし、その下限値を０．０１５と設定することが好ましい。
【００５０】

上述したように、境界レンズと像面との間に介在させる高屈折率の媒質として、所要の透過率を確保する（光量損失を抑える）ことができるように、フロリナートのようなフッ素系不活性液体や脱イオン水のような液体が用いられる。露光装置の場合、液体がウエハ等の基板に塗布されたフォトレジストによる汚染を受ける恐れがある。汚染された液体により境界レンズの像側の光学面も汚染され、その結果、境界レンズ及び液体の透過率が低下する恐れがある。

【００５１】

そこで、境界レンズと像面との間の光路中に、たとえば平行平面板のような光学部材（一般的には、ほぼ無屈折力の光学部材）を挿脱自在に配置することが好ましい。投影光学系の製造工程においては、境界レンズと像面との間に介在させる当該光学部材を選択的に交換することにより、ペッツバール和を調整し、像面湾曲を補正することができる。

【００５２】

さらに、ほぼ無屈折力の光学部材の姿勢を調整することができるように構成することが好ましい。この場合、光学部材を光軸に対して傾ける（チルトさせる）ことにより、レンズの偏芯によって生じる非対称収差を補正することができる。ほぼ無屈折力の光学部材は、次の条件式（２）を満足することが望ましい。

$$|P \cdot D| < 1.0 \times 10^{-4} \quad (2)$$

【００５３】

条件式（２）において、Ｐは、ほぼ無屈折力の光学部材の屈折力（＝１／焦点距離）であり、Ｄは、光軸と有効結像領域の最外点との距離（露光装置の場合には光軸と実効露光領域の最外点との距離）である。条件式（２）の上限値を上回ると、光学部材を傾けて非対称収差を補正する際に、他の収差も大きく変動してしまうので好ましくない。

【００５４】

少なくとも１つの凹面反射鏡と屈折光学部材（レンズ成分）とを有する反射屈折光学系として投影光学系を構成することが望ましい。この構成により、大きな有効結像領域（実効露光領域）と大きな像側開口数ＮＡとを有する投影光学系を達成することができる。一般に、屈折光学部材のみで構成される屈折型の投影光学系の場合、像面湾曲を補正するために、開口数の小さい物体側（物体面の近傍）に正レンズ群と負レンズ群とを交互に配置して、ペッツバール和をできるだけ０に近づける必要がある。

【００５５】

しかしながら、像側開口数の大きな光学系では、物体側の開口数も大きい。従って、ペッツバール和を０に補正しつつ有効結像領域（実効露光領域）の全体に亘って球面収差やコマ収差を良好に補正することは困難である。この場合、縮小倍率を１：４から１：５や１：６等のより高倍率に変更すれば、物体側の開口数が小さくなるため、ペッツバール和の補正を達成することができる。しかし、この手法には、露光装置において広い実効露光領域を確保しようとすると、マスクが大きくなりすぎるという不都合がある。

【００５６】

これに対し、少なくとも１つの凹面反射鏡と屈折光学系とを有する反射屈折型の投影光学系では、凹面反射鏡が正の屈折力を持ちつつ、ペッツバール和に対しては負レンズと同様の寄与をする。凹面反射鏡と正レンズとの組み合わせによりペッツバール和の補正が容易に可能である。その結果、反射屈折光学系の構成と、像面からの光路中に高屈折率の液体（媒質）を介在させる液浸光学系の構成とを組み合わせることにより、大きい像側開口数及び広い有効結像領域（実効露光領域）を有する投影光学系を達成することができる。

【００５７】

反射屈折光学系においては、凹面反射鏡に向かって進む光と凹面反射鏡で反射されて戻る光とを如何に分離するかが課題になる。像側開口数の大きい投影光学系では、光学素子の有効径が大きくなること（大型光学素子の導入）を避けることはできない。したがって、透過反射面を有するプリズム型ビームスプリッターを利用する反射屈折光学系では、大型化したプリズム型ビームスプリッターの製造が困難になるという不都合がある。光軸に対して偏心した有効結像領域を有し、光路中に少なくとも１つの中間像を形成するように

投影光学系を構成することが好ましい。この構成により、中間像の形成位置の付近に光路分離用の平面反射鏡を配置して、凹面反射鏡に向かって進む光と凹面反射鏡で反射されて戻る光とを容易に分離することができる。

【００５８】

さらに、この投影光学系は、物体面（第１面）の第１中間像を形成する第１結像光学系と、少なくとも１つの凹面反射鏡を有し第１中間像からの光束に基づいて第２中間像を形成する第２結像光学系と、第２中間像からの光束に基づいて最終像を像面（第２面）上に形成する第３結像光学系とを備え、第１結像光学系と第２結像光学系との間の光路中に第１偏向鏡が配置され、第２結像光学系と第３結像光学系との間の光路中に第２偏向鏡が配置され、第１結像光学系の光軸と第３結像光学系の光軸とが一致している構成になっていることが好ましい。この構成により、像側開口数の大きな光学系においても、凹面反射鏡に向かって進む光と凹面反射鏡で反射されて戻る光との光路分離が容易にできることになる。また、第１結像光学系と第３結像光学系とが共軸になるので光学系の組立てや調整が比較的容易にできることになる。

【００５９】

前述したように、１：５や１：６の高倍率で縮小する投影光学系は、露光装置に適用した場合にマスクの大型化を招くので好ましくない。したがって、適切な縮小倍率において高い解像力を得るために、物体側の開口数が０．２２以上であることが好ましい。さらに、境界レンズと像面との間に介在する媒質を通過する際に発生する光量損失が５０％以下であることが好ましい。この構成を満足しない場合には、媒質に吸収された光が熱となり、媒質中の屈折率揺らぎに起因して結像性能が劣化し易い。

【００６０】

本発明のより良い理解と本発明が如何に実施できるかを示すこととのために、以下では、添付図面を一例として参照することにする。図１は、ヨーロッパ特許公開公報第１１９１３７８Ａ１号に開示されている、比較のための反射屈折型「乾燥」投影系を示す図である。この「乾燥」投影系には、Ｌ１１からＬ１３までのフィールドレンズ要素の第１の組、収差補正を補助するＬ１４からＬ１７までのメニスカスアナスチグマート、Ｌ１８からＬ２０までの正の屈折力を有するレンズ要素の組（これら全体で第１フィールドレンズ群Ｇ１を構成する）、ビーム分割手段ＦＭ（１，２）、及び２つのシュプマン型レンズＬ２１及びＬ２２と凹面鏡ＣＭとを含んだ収差補正機能を持ったマンジャンミラー配置Ｇ２が含まれている。この系には、Ｌ３１からＬ３３までの正の屈折力を有するレンズ要素の組、負レンズ要素Ｌ３４、Ｌ３５及びＬ３９の正の屈折力を有するレンズ要素の組、収差を補正する負の屈折力を有するアナスチグマートＬ４０、及び正の屈折力を有するレンズ要素Ｌ４１（これら全体で第２フィールドレンズ群Ｇ３を構成する）も含まれている。レチクルＲからの光は、第１フィールドレンズ群Ｇ１を通って送られ、次に、ビーム分割手段ＦＭ（１，２）を通ってマンジャンミラー配置Ｇ２に送られ、最後に、ビーム分割手段ＦＭ（１，２）と第２フィールドレンズ群Ｇ３とを通って送られる。この構成により、像が、レチクルＲからウエハＷに、ウエハ上のフォトレジストを制御可能に露光するように、負の倍率をもって伝えられる。

【００６１】

図２、図３、表１、及び表２は、本発明の詳細な実施例を示している。物体面ＯＰからの光は、平面窓Ｅ２０１、Ｅ２０２及びＥ２０３からなる第１の正の屈折力を有するフィールドレンズ要素群、球面収差を低減するように適合化されたＥ２０４からＥ２０８までのアナスチグマート、Ｅ２０９からＥ２１１までの第２の正の屈折力を有するフィールドレンズ要素群、Ｅ２１２及びＥ２１８からなるビームスプリッター、シュプマン型レンズＥ２１３及びＥ２１４と凹面鏡Ｅ２１５とを含んだ反射屈折型アナスチグマート、再度のＥ２１２及びＥ２１８からなるビームスプリッター、Ｅ２１９からＥ２２１までの第３の正の屈折力を有するフィールドレンズ要素群、球面収差を低減するように配置されたＥ２２２からＥ２２５までの複ガウス型アナスチグマート、Ｅ２２６からＥ２３２までの第４の正の屈折力を有するフィールドレンズ要素群、境界レンズＥ２３３、及び液浸液ＩＬを

通って、像面ＩＰに届く。

【００６２】

上記の第４の正の屈折力を有するフィールドレンズ要素群には、第１の正の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２３１及び第２の正の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２３２が含まれている。上記複ガウス型アナスチグマートには、第３の正の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２２２、第１の負の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２２３、第２の負の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２２４、及び第４の正の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２２５が含まれている。

【００６３】

表１及び表２には、Ｅ２１０からＥ２３３までの光学要素の好ましい曲率半径と光学面間軸上距離とが記載されている。当該技術に通じた者ならば理解するはずであるが、表１及び表２に記載された総ての諸元を±１％まで、或いは適切な適合化と共に更に±５％まで変更した有効に動作する系を設計し得る。例えば、１５７ｎｍで動作させる場合には、面Ｓ２６３の曲率半径は、５６．９ｍｍより大きく６２．９ｍｍより小さくでき、より好ましくは５９．２７ｍｍより大きく６０．４６ｍｍより小さくでき、最も好適には５９．８６４３ｍｍとすることができる。Ｅ２０２からＥ２３３までの光学要素の曲面の曲率半径の値、並びに、Ｅ２０２からＥ２１１まで、Ｅ２１３からＥ２１５まで、及びＥ２１９からＥ２３３までの光学要素の厚さ及び間隔の値は、動作波長が変更されたときには、当然変更される。

【００６４】

従って、Ｅ２２２からＥ２２５まで及びＥ２３１からＥ２３３までのレンズ要素の厚さ、並びに、光学面Ｓ２４０、Ｓ２４２、Ｓ２４４、Ｓ２４７、Ｓ２５９、Ｓ２６１、及びＳ２６３の曲率半径はそれぞれ以下の値を取り得る。第１の正の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２３１は、２６．１ｍｍより大きく２８．９ｍｍより小さな軸上厚と１０３ｍｍより大きく１１４ｍｍより小さな曲率半径を持った物体側の面Ｓ２５９とを持つ。第２の正の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２３２は、２６．５ｍｍより大きく２９．３ｍｍより小さな軸上厚と８３．２ｍｍより大きく９１．９ｍｍより小さな曲率半径を持った物体側の面Ｓ２６１とを持つ。

【００６５】

境界レンズ要素Ｅ２３３は、４１．６ｍｍより大きく４６．０ｍｍより小さな軸上厚と５６．９ｍｍより大きく６２．９ｍｍより小さな曲率半径を持った物体側の面Ｓ２６３とを持つ。第３の正の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２２２は、４３．９ｍｍより大きく４８．５ｍｍより小さな軸上厚と１２８ｍｍより大きく１４１ｍｍより小さな曲率半径を持った物体側の面Ｓ２４０とを持つ。第１の負の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２２３は、１１．９ｍｍより大きく１３．１ｍｍより小さな軸上厚と１５４０ｍｍより大きく１７１０ｍｍより小さな曲率半径を持った物体側の面Ｓ２４２とを持つ。

【００６６】

第２の負の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２２４は、１１．９ｍｍより大きく１３．１ｍｍより小さな軸上厚と１８４ｍｍより大きく２０４ｍｍより小さな曲率半径を持った物体側の面Ｓ２４４とを持つ。第４の正の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２２５は、３０．６ｍｍより大きく３３．９ｍｍより小さな軸上厚と１８９ｍｍより大きく２０９ｍｍより小さな曲率半径を持った像側の面Ｓ２４７とを持つ。

【００６７】

当該投影光学系の諸元の値は、一覧表中の有限値を基準とした更に狭い±１％の範囲内に入っているのがより好ましい。従って、Ｅ２２２からＥ２２５まで及びＥ２３１からＥ２３３までのレンズ要素の厚さ、並びに、光学面Ｓ２４０、Ｓ２４２、Ｓ２４４、Ｓ２４７、Ｓ２５９、Ｓ２６１、及びＳ２６３の曲率半径は、１５７ｎｍで動作させるとき、それぞれ以下の値を取るのがより好ましい。

【００６８】

第１の正の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２３１は、２７．２２ｍｍより大きく２７．７７ｍｍより小さな軸上厚と１０７．６ｍｍより大きく１０９．８ｍｍより小さな曲率半径を持

った物体側の面Ｓ２５９とを持つ。第２の正の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２３２は、２７．６３ｍｍより大きく２８．１９ｍｍより小さな軸上厚と８６．６７ｍｍより大きく８８．４２ｍｍより小さな曲率半径を持った物体側の面Ｓ２６１とを持つ。境界レンズ要素Ｅ２３３は、４３．３７ｍｍより大きく４４．２５ｍｍより小さな軸上厚と５９．２７ｍｍより大きく６０．４６ｍｍより小さな曲率半径を持った物体側の面Ｓ２６３とを持つ。

【００６９】

第３の正の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２２２は、４５．７１ｍｍより大きく４６．６３ｍｍより小さな軸上厚と１３３．３ｍｍより大きく１３６．０ｍｍより小さな曲率半径を持った物体側の面Ｓ２４０とを持つ。第１の負の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２２３は、１２．３８ｍｍより大きく１２．６３ｍｍより小さな軸上厚と１６０８ｍｍより大きく１６４１ｍｍより小さな曲率半径を持った物体側の面Ｓ２４２とを持つ。第２の負の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２２４は、１２．３８ｍｍより大きく１２．６３ｍｍより小さな軸上厚と１９１．９ｍｍより大きく１９５．８ｍｍより小さな曲率半径を持った物体側の面Ｓ２４４とを持つ。

【００７０】

第４の正の屈折力を有するレンズ要素Ｅ２２５は、３１．９１ｍｍより大きく３２．５６ｍｍより小さな軸上厚と１９７．４ｍｍより大きく２０１．３ｍｍより小さな曲率半径を持った像側の面Ｓ２４７とを持つ。Ｅ２０１からＥ２３３までの光学要素の面の曲率半径、及び、Ｅ２０１からＥ２３３までの光学要素の厚さが表１及び表２に記載された値となっているのが更に好ましい。

【００７１】

重要な特徴は、図４に示されているように両者とも平面（無限大の曲率半径）とすることができる、境界レンズ２３３の像側の面Ｓ２６４と像面ＩＰとの間の（ガラス以外の）液体の存在である。なお、過フルオロポリエーテル等の水以外の液体を幾つかの実施例で使用することができ、また、用語「液体」の使用は、１より実質的に大きな屈折率を持ったガラス以外の任意の液体媒質が含まれることを意図したものである。好適な液体としては、（脱イオン化及び/又は脱ガス化することができる）水及び過フルオロポリエーテルがある。

【００７２】

本発明のこの実施例では、ウエハがガス中に入っている図１の乾燥マイクロリソグラフィー投影系に比べて、解像度が向上している。ウエハは、フォトレジストに入射する光の速度と波長とを、光源の波長を変えることなく、約１．４倍だけ低下させる液体に浸っている。従って、このことによって、ウエハが１．０に近い屈折率のガス中に入っていたならば最後のレンズの表面で発生したはずの光の全反射が避けられ、１．０より著しく大きな開口数（ＮＡ）が得られることになる。

【００７３】

図示された実施例は、図１等のＮＡが０．８５の「乾燥」設計より約１．４倍だけ大きなＮＡが１．２の「液浸」反射屈折型光学設計の具体例を示すものである。この開示された反射屈折型設計では、先行技術の「乾燥」液浸光学設計の幾つか実際的制限も回避されている。

【００７４】

この系では、レンズの直径や面曲率が実際的な製造限界を超えて増すことなく、また、先行技術の屈折系設計では起きたはずの視野寸法や光源のスペクトルバンド幅の低下を招くことなく、ＮＡが空気中での理論限界１．０を超えて大きくされた反射屈折型広視野遠紫外マイクロリソグラフィー投影光学系設計によって、液浸の理論的利点が実現されている。このＮＡ１．２の「液浸」反射屈折系の設計では、ＮＡ０．８５の「乾燥」反射屈折系と同等の軌道長（レチクル・ウエハ間距離）と同「乾燥」反射屈折系と同一の瞬間ウエハフィールド２６×５ｍｍとが実現されているので、リソグラフィスキャナー装置本体に対する必要な変更が最小化されると共に、ウエハ上でのスキャン視野領域も変わることなく確保される。

【００７５】
反射屈折系の方が（絶対という訳ではないが）、像面湾曲の補正のために負の屈折力を有するレンズ要素と正の屈折力を有するレンズ要素との間の距離を大きくする必要がないので、反射屈折系の方が（必須ではないが）好ましい。距離を大きくする代りに、正の屈折力を有する凹面鏡（図２の要素Ｅ２１５並びに表１及び表２参照）によって、像面が平坦化される。この鏡に近接した負の屈折力を有するレンズ要素（所謂シュプマン型レンズである図２の要素Ｅ２１３及びＥ２１４並びに表１及び表２参照）によって、第２の種類の屈折材料やスペクトルバンド幅の低減を必要とすることなく、１．０を超えて大きくすべきＮＡに対して、更なる像面湾曲の補正と十分な色消しが得られる。これにより、溶融石英のレンズ要素のみを使用し、フッ化カルシウムの要素を全く使用せず、液浸媒質として約１ｍｍ厚の脱イオン水（図２のＩＬ並びに表１及び表２参照）を使用して、現行の０．４ｐｍバンド線幅狭帯化ＡｒＦエキシマレーザに対して、当該設計を最適化することが可能となる。

【００７６】
線幅狭帯化ＡｒＦエキシマレーザと共に使用されるために、上記の開示された設計を容易に再最適化することができる。当該設計の考え方は、フッ化カルシウムのレンズ要素のみと例えば０．１厚の過フルオロポリエーテルの液浸液層とを使い、F_2エキシマレーザに対しても適用することができる。

【００７７】
多くのタイプの「乾燥」反射屈折系の設計がなされ、公表されてきている。しかしながら、本発明は、Ｖ字形状の折り曲げ鏡を２つの中間像の間に使用した「Ｖ型」反射屈折型光学設計と称すことができるものと、これに限定される訳ではないが、極めて密接に関連している。この形式では、レンズ直径が比較的に小さくなり、屈折系レンズに類似した機械的鏡筒構成となるという利点がある。但し、Ｖ字形状の折り曲げ鏡と同等の効果をもたらすスプリッターキューブ等の代替物もあることに留意すべきである。

【００７８】
最後のレンズ要素の表面とウエハとの間で液浸液を効果的に動作させるためには、当該最後のレンズ要素の表面は平面（図２及び図４の面Ｓ２６４並びに表１及び表２参照）となっているのが好ましい。これによって、ウエハをスキャンしている際の液体の動きが円滑になり、当該液体内での気泡生成の可能性が最小化され、ウエハ空間がテレセントリック系になっている場合には主光線は入射角零で当該液体に入るので、液体の屈折率及び分散の変化に伴う倍率変化の感度が最小化される。

【００７９】
伝統的な液浸顕微鏡対物レンズでは、可能な限り液体の厚さを薄くし、最後のレンズ要素と液体との間の屈折率の差によって球面収差が発生するが、この球面収差は、可能な限り液体の厚さを薄くし、当該レンズ要素の屈折率にできる限り合致した屈折率を持った液体を選ぶことにより最小化されている。遠紫外マイクロリソグラフィーの場合には、液体の厚さは、光の透過、及び、ウエハのスキャニング及びステッピングの際の液体の動きや機構上の問題等の他の理由に基づいて決定される。本設計は、液体の厚さや屈折率の選定による制約を受けるものではない。現在の設計では液体の厚さは１ｍｍとなっているが、この光学設計は、異なった厚さや液体の屈折率に対しても容易に再最適化できる。この場合においてもやはり、球面収差が、広視野内に亘って一定であり、少なくとも１つの非球面を用いて当該系内の瞳面において容易に補正できるときには、当該液体に接する最後のレンズ表面を平面とすることによって、当該再最適化が行い易くなる。

【００８０】
本発明では、ウエハに最も近い最後の要素即ち境界レンズ（図２及び図４の要素Ｅ２３３の面Ｓ２６３）に、不遊条件もコンセントリック条件も用いられていない。この場合、（図５及び図６から分かるように）要素２３３内での外縁光線収束角は当該要素への入射前の外縁光線収束角より僅かに小さい。この特徴は、次の３つの利点を有している。

【００８１】

ａ．この面のＤ／Ｒ（有効口径／曲率半径）を１．５未満に制限でき、この値は、大きく高品質な光学要素に関する通常の研磨技術範囲内の値である。
ｂ．結果として生ずる球面収差やコマ収差は、当該系内の幾つかの非球面を含む他の要素の中で容易に補正でき、このことは、マイクロリソグラフィーで使用される広視野内で急激に変化する軸外球面収差、コマ収差、非点収差、ディストーション等の高次の収差を補正する上で有利なことである。この手法は、Ｖ型反射屈折系設計等の２つの中間像を有する長く複雑な系において特に有効である。
ｃ．コンセントリック条件を厳密に満たした面の場合に発生するようなウエハ上の焦点ゴースト像は全く発生しない。

【００８２】

また、伝統的な液浸顕微鏡対物レンズでは、不遊系面とコンセントリック系面とを併せ持った少なくとも１つの要素が最後の要素の前に置かれる。そのようにするのではなく、本発明の当該好ましい実施例では、極端な曲率と臨界角に近い又は臨界角を超えた極端な入射角との双方を避けるべく、完全にコンセントリックでもなく完全に不遊でもない面を持った少なくとも２つの正メニスカス要素（図２及び図３の要素Ｅ２３１及びＥ２３２並びに表１及び表２を参照）が使用されている。

【００８３】

これらの面の中の少なくとも１つは、より小さいＮＡの「乾燥」設計において隣接要素間の空気間隔（例えば、図２の要素Ｅ２３０とＥ２３１との間の空気間隔）によって実現される収差補正機能に類似した収差補正機能を果たすために、非球面とすることができる。

【００８４】

最後の３つの正要素の光学的屈折力を比較的大きくしたことによって、図１のような設計における０．８５の「乾燥」ＮＡを１．２の「液浸」ＮＡにまで増加させる際に当該系の他の箇所において必要となるレンズ要素の寸法増大が最小化されている。このことは、当該レンズが、このように最小化されないとしたならば、既存の技術で容易に製造できる大きさを超えてしまい、従って、極めてコスト高となってしまうことからして、非常に有利なことである。加えて、最後の３つの要素の屈折力を比較的大きくしたことによって、瞳（開口絞り）の位置を、例えば図１の「乾燥」設計での普通の位置よりも、ウエハに近づけることが可能となっている。

【００８５】

既知の反射屈折型「乾燥」リソグラフィ投影系に共通する１つの特徴は、瞳とウエハとの間に負の屈折力を有する要素が配置されていることである。諸収差を補正するために用いられているこの特徴には、「液浸」反射屈折型投影光学系において、当該系がこの特徴を持たない場合に比べて、主たる正の屈折力を有するレンズが大きくなってしまうという欠点がある。本出願における新規の配置には、そのような負の屈折力を有するレンズが必要ではないという利点があり、従って、このことによって、主たる正の屈折力を有するレンズの直径が更に小さくなっており、光路の長さも更に短く小さくなっている。代りに、「乾燥」設計での負レンズ要素（例えば図１の要素Ｌ３８）による収差補正は、瞳に近い非球面によってなされている。

【００８６】

負の屈折力を有するレンズ群、即ち図２のＥ２２２からＥ２２５までの要素は、球面収差を低減するために配置された複ガウス型アナスチグマートとなっている。このアナスチグマートは、このアナスチグマートがない場合にはＮＡが０．８５の「乾燥」設計（図１）の場合よりもＮＡが１．２の場合において大きくなってしまう高次のコマ収差及び軸外球面収差を最小化しつつ、当該設計の全体における像面湾曲及び横の色の補正に寄与している。この特徴は、ＮＡが１．２の場合においてこの特徴がない場合に見込まれる視野よりも広い視野を可能とするという利点を提供している。

【００８７】

図５及び図６に示されているように、境界レンズＥ２３３に投影される光錐の外縁光線

の角度Ｌは、当該光錐が境界レンズＥ２３３に入ると小さくなることが分かる。図５及び図６には、境界レンズＥ２３３に入る前の外縁光線の幾何学焦点Ｆは、当該境界レンズの２つの光学面Ｓ２６３とＳ５６４との間に位置し、かつ、当該境界レンズの曲率中心ＣＣと当該境界レンズの光学面Ｓ２６４との間にも位置していることが分かる実施例が示されている。

【００８８】

更に、図６から分かるように、境界レンズＥ２３３の屈折率は、通常、液浸液ＩＬの屈折率と同じではなく、実際的には液浸液ＩＬの屈折率より大きいため、外縁光線の角度Ｓは、外縁光線が像面ＩＰに当たる前に境界レンズＥ２３３から液浸液の層に入ると小さくなる。

【００８９】

なお、用語「物体面」、「像面」、「瞳面」、及び「平面鏡」は、平面、即ち数学的平面に限定されるものではなく、湾曲した物理的又は数学的面であっても良い。更に、図１乃至図６の図示はその各部の尺度が同一となっているわけではなく、また、ビームスプリッターＥ２１２及びＥ２１８は、その中に２つの光路を有する単一の要素であっても良い。表１中の非球面Ａ（１）乃至Ａ（１２） は、次の式（３）によって定義される。

【００９０】

【数１】

$$Z=\frac{(CURV)Y^2}{1+(1-(1+K)(CURV)^2Y^2)^{1/2}}+(A)Y^4+(B)Y^6+(C)Y^8+(D)Y^{10}$$
$$+(E)Y^{12}+(F)Y^{14}+(G)Y^{16}+(H)Y^{18}+(J)Y^{20} \qquad (3)$$

【００９１】

ＣＵＲＶは頂点曲率半径の逆数であり、ＣＵＲＶ（又はＣｕｒｖ）、Ａ、Ｂ、Ｃ、Ｄ、Ｅ、Ｆ、Ｇ、Ｈ、及びＪの値は表２に記載されている。表１において、半径の符号は曲率の方向を表し、ＣＣは凹面を表し、ＣＸは凸面を表している。表１の実施例では、Ｅ２０２からＥ２１１まで、Ｅ２１３からＥ２１７まで、Ｅ２１９からＥ２２８、及びＥ２２９からＥ２３３までの総てのレンズ要素中での最大直径は、正レンズ要素Ｅ２２７の２４２.８ｍｍに過ぎない。

【００９２】

【表１】

表１

要素	曲率半径		次面までの軸上間隔	
	後面 前面		後面 前面	
E201	無限大	無限大	8.0000	1.0000
E202	296.2214 CX	-960.8207 CX	29.0933	1.0000
E203	29.3195 CX	219.1233 CC	31.5402	69.4729
E204	105.2542 CX	433.274 A(1)	30.2818	1.1583
E205	77.5810 CX	85.0063 CC	35.9523	30.5076
E206	-101.0777 CC	-109.0575 CX	50.0000	22.2382
E207	-86.9124 CC	-277.5585 CX	17.0119	14.1315
E208	-313.0101 CC	-121.4285 CX	47.1365	1.0000
E209	244.5825 A(2)	-150.1716 CX	43.8716	1.0000
E210	287.8659 CX	-1006.7736 CX	33.3703	3.9387
E211	232.1539 CX	3443.7633 A(3)	26.1499	64.9981
E212	無限大		-248.6029	
E213	99.3337 A(4)	760.1855 CX	-12.5000	-41.6713
E214	112.9332 CC	210.0532 CX	-12.5000	-23.5805
E215	150.9146 CC		23.5805	
E216	210.0532 CX	112.9332 CC	12.5000	41.6713
E217	760.1855 CX	99.3337 A(5)	12.5000	248.6029
E218	無限大		-64.0489	
E219	3037.9516 CC	252.1281 CX	-26.2012	-1.0000
E220	-422.2688 CX	878.8560 CX	-28.0789	-1.0000
E221	-197.8858 CX	-1895.1173 CC	-36.9167	-1.0000
E222	-134.6900 CX	221.3134 A(6)	-46.1691	-18.4179
E223	-1624.3296 CX	89.3372 A(7)	-12.5000	-44.5981
E224	193.8597 CC	211.4093 A(8)	-12.5000	-14.8193
E225	-1550.8977 CX	199.3485 CX	-32.2367	-85.9268
E226	1142.6351 A(9)	305.6765 CX	-26.7479	-1.0002
E227	-341.9216 CX	-5217.2118 CC	-30.8753	-1.0000
E228	-274.1211 CX	3414.1345 A(10)	-33.1045	-9.8682
AS	無限大		5.3722	
E229	-337.4484 CX	-6051.4400 CC	-40.2177	-1.0007
E230	-286.9832 CX	-47776.7480 CC	-29.3234	-1.0000
E231	-108.7000 CX	152.1155 A(11)	-27.4984	-1.0000
E232	87.5448 CX	167.7647 A(12)	-27.9141	-1.0000
E233	-59.8643 CX	無限大	-43.8105	
IL	無限大	無限大	-1.0000	

【００９３】

【表２】

表２

非球面	曲率	K E	A F	B G	C H	D J
A (1)	0.00230801	0.000000 1.24264E-23	1.35800E-07 0.00000E+00	4.43804E-13 0.00000E+00	5.17522E-16 0.00000E+00	-2.13416E- 20 0.00000E+00
A (2)	−0.00408861	0.000000 5.62462E-26	-2.93564E-09 -1.64835E-30	3.96730E-13 0.00000E+00	-3.34166E-17 0.00000E+00	-3.22241 E-22 0.00000E+00
A (3)	0.00029038	0.000000 -2.36540E-26	2.58800E-08 4.15511E-31	-1.30225E-14 0.00000E+00	-1.33600E-17 0.00000E+00	7.99491E-22 0.00000E+00
A (4)	0.01006708	0.000000 -2.27561E-26	-7.39601E-08 -3.78485E-28	-3.15605E-12 0.00000E+00	-2.13807E-16 0.00000E+00	-1. 63643E-20 0.00000E+00
A (5)	0.01006708	0.000000 2.27561E-26	-7.39601E-08 --3.78485E-28	-3.15605E-12 0.00000E+00	-2.13807E-16 0.00000E+00	-1. 63643E-20 0.00000E+00
A (6)	−0.00451848	0.000000 -1.21801E-25	4.41668E-09 -1.34613E-30	-5.79647E-13 0.00000E+00	-2.25277E-17 0.00000E+00	6.73716E-22 0.00000E+00
A (7)	−0.01119354	0.000000 -2.48878E-24	-6.93411E-08 -1.79947E-28	-3.30971E-12 0.00000E+00	-3.11788E-16 0.00000E+00	-2.65850E-20 0.00000E+00
A (8)	−0.00473016	0.000000 1.16802E-24	-4.72629E-08 -3.23662E-29	6.08755E-12 0.00000E+00	-1.63469E-16 0.00000E+00	-2.65475E-20 0.00000E+00
A (9)	0.00087517	0.000000 3.68761E-26	1.10141E-08 2.41555E-31	-5.01692E-13 0.00000E+00	-2.00493E-17 0.00000E+00	-8. 25872E-22 0.00000E+00
A (10)	−0.00029290	0.000000 -3.84229E-26	6.20015E-09 2.58938E-31	--1.26050E-13 0.00000E+00	-3.59314E-17 0.00000E+00	1.65781E-21 0.00000E+00
A (11)	−0.00657395	0.000000 9.31381E-25	3.58357E-08 5.59854E-28	-7.83628E-12 0.00000E+00	7.69481E-16 0.00000E+00	-7.68364E-20 0.00000E+00
A (12)	−0.00596073	0.000000 -6.00362E-23	-1.91466E-07 -8.48073E-28	4.589321E-12 0.00000E+00	1.26164E-15 0.00000E+00	4.61975E-19 0.00000E+00

【００９４】

図７は、本発明を組み込んだ露光装置の構成を概略的に示す図である。図７において、投影光学系ＰＬの基準光軸ＡＸに平行にＺ軸を、基準光軸ＡＸに垂直な面内において図７の紙面に平行にＹ軸を、図７の紙面に垂直にＸ軸をそれぞれ設定している。

【００９５】

図７に示された露光装置は、紫外領域の照明光を供給するための光源１００として、ＡｒＦエキシマレーザ光源（発振中心波長１９３．３０６ｎｍ：第２実施例及び第４実施例で使用）又はF_2レーザ光源（発振中心波長１５７．６３１ｎｍ：第３実施例で使用）を備えている。光源１００から射出された光は、照明光学系ＩＬを介して、所定のパターンが形成されたレチクルＲを重畳的に照明する。光源１００と照明光学系ＩＬとの間の光路はケーシング（不図示）で密封されており、光源１００から照明光学系ＩＬ中の最もレチクル側の光学部材までの空間は、露光光の吸収率が低い気体であるヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

【００９６】

レチクルＲは、レチクルホルダＲＨを介して、レチクルステージ上においてＸＹ平面に平行に保持されている。レチクルＲには転写すべきパターンが形成されている。パターン領域全体のうちＸ方向に沿って長辺を有し且つＹ方向に沿って短辺を有する矩形状（スリット状）のパターン領域が照明される。レチクルステージＲＳは、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面（すなわちＸＹ平面）に沿って二次元的に移動可能である。位置座標はレチクル移動鏡ＲＭを用いた干渉計ＲＩＦによって計測され且つ位置制御されている。

【００９７】

レチクルＲに形成されたパターンからの光は、投影光学系ＰＬを介して、感光性基板としての役割を担うウエハＷ上にレチクルパターン像を形成する。ウエハＷは、ウエハホルダテーブルＷＴを介して、ウエハステージＷＳ上においてＸＹ平面に平行に保持されている。レチクルＲ上での矩形状の照明領域に対応するように、ウエハＷ上ではＸ方向に沿って長辺を有し且つＹ方向に沿って短辺を有する矩形状の露光領域にパターン像が形成される。レチクルＲ上での矩形状の照明領域に対応するように、ウエハＷ上のＸ方向に沿って

長辺を有し且つＹ方向に沿って短辺を有する矩形状の露光領域にパターン像が形成される。ウエハステージＷＳは、図示を省略した駆動系の作用によりウエハ面（すなわちＸＹ平面）に沿って二次元的に移動可能である。その位置座標はウエハ移動鏡ＷＭを用いた干渉計ＷＩＦによって計測され且つ位置制御される。

【００９８】

図８は、本発明の第２実施例及び第３実施例においてウエハ上に形成される矩形状の実効露光領域と基準光軸との位置関係を示す図である。本発明の第２実施例及び第３実施例では、図８に示すように、基準光軸ＡＸを中心とした半径Ｂを有する円形状の領域（イメージサークル）ＩＦ内において、基準軸から－Ｙ方向にＡだけ離れた位置に所望の大きさを有する矩形状の実効露光領域ＥＲが設定されている。実効露光領域ＥＲのＸ方向の長さはＬＸであり、そのＹ方向の長さはＬＹである。

【００９９】

換言すると、第２実施例及び第３実施例では、基準光軸ＡＸから－Ｙ方向に軸外し量Ａだけ離れた位置に所望の大きさを有する矩形状の実効露光領域ＥＲが設定され、基準光軸ＡＸを中心として実効露光領域ＥＲを包括するように円形状のイメージサークルＩＦの半径Ｂが規定されている。これに対応して、レチクルＲ上では、基準光軸ＡＸから－Ｙ方向に軸外し量Ａに対応する距離だけ離れた位置に実効露光領域ＥＲに対応した大きさ及び形状を有する矩形状の照明領域（すなわち実効照明領域）が形成されている。

【０１００】

図９は、本発明の第４実施例においてウエハ上に形成される矩形状の実効露光領域と基準光軸との位置関係を示す図である。本発明の第４実施例では、図９に示すように、基準光軸ＡＸを中心とした半径Ｂを有する円形状の領域（イメージサークル）ＩＦ内において、基準光軸ＡＸを中心としてＸ方向に沿って細長く延びた矩形状の実効露光領域ＥＲが設定されている。実効露光領域ＥＲのＸ方向の長さはＬＸであり、そのＹ方向の長さはＬＹである。したがって、図示を省略したが、これに対応して、レチクルＲ上では、基準光軸ＡＸを中心として実効露光領域ＥＲに対応した大きさ及び形状を有する矩形状の照明領域（すなわち実効照明領域）が形成されている。

【０１０１】

本実施形態の露光装置では、投影光学系ＰＬを構成する光学部材のうち最もレチクル側に配置された光学部材（第４実施例ではレンズＬ１１）と最もウエハ側に配置された境界レンズＬｂとの間で投影光学系ＰＬの内部が気密状態を保つように構成されている。投影光学系ＰＬの内部の気体はヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。照明光学系ＩＬと投影光学系ＰＬとの間の狭い光路には、レチクルＲ及びレチクルステージＲＳなどが配置されている。レチクルＲ及びレチクルステージＲＳなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部は、窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

【０１０２】

図１０は、当該各実施例における境界レンズとウエハとの間の構成を概略的に示す図である。各実施例において、投影光学系ＰＬの最もウエハ側に配置された境界レンズＬｂは、レチクル側（第１面側）に向かって凸面を有する。換言すれば、境界レンズＬｂのレチクル側の面Ｓｂは、正の屈折力を有する。境界レンズＬｂとウエハＷとの間の光路中には、平行平面板Ｌｐが挿脱自在に配置されている。境界レンズＬｂと平行平面板Ｌｐとの間の光路及び平行平面板Ｌｐとウエハ Ｗとの間の光路は、１．１よりも大きい屈折率を有する媒質Ｌｍで満たされている。媒質Ｌｍとして、第２実施例及び第４実施例では脱イオン水を、第３実施例ではフロリナートのようなフッ素系不活性液体を用いている。

【０１０３】

投影光学系ＰＬに対してウエハＷを相対移動させつつ走査露光を行うステップ・アンド・スキャン方式の露光装置において、走査露光の開始から終了まで投影光学系ＰＬの境界レンズＬｂとウエハＷとの間の光路中に液体媒質Ｌｍを満たし続けるには、たとえば上記国際公開番号ＷＯ９９／４９５０４号公報に開示された技術や、特開平１０－３０３１１

４号公報に開示された技術を用いることができる。

【０１０４】

国際公開番号ＷＯ９９／４９５０４号公報に開示された技術では、液体供給装置から供給管及び排出ノズルを介して所定の温度に調整された液体（媒質Ｌｍ）を境界レンズＬｂとウエハＷとの間の光路を満たすように供給し、液体供給装置により回収管及び流入ノズルを介してウエハＷ上から液体を回収する。液体の供給量及び回収量は、投影光学系ＰＬに対するウエハＷの相対移動速度に応じて調整される。

【０１０５】

一方、特開平１０－３０３１１４号公報に開示された技術では、液体（媒質Ｌｍ）を収容することができるようにウエハホルダテーブルＷＴを容器状に構成し、その内底部の中央において（液体中において）ウエハＷを真空吸着により位置決め保持する。投影光学系ＰＬの鏡筒先端部が液体中に達し、ひいては境界レンズＬｂのウエハ側の光学面が液体中に達するように構成されている。

【０１０６】

このように、光源１００からウエハＷまでの光路の全体に亘って、露光光がほとんど吸収されることのない雰囲気が形成されている。上述したように、投影光学系ＰＬによって規定されるレチクルＲ上の照明領域及びウエハＷ上の露光領域（すなわち実効露光領域ＥＲ）は、Ｙ方向に沿って短辺を有する矩形状である。したがって、駆動系及び干渉計（ＲＩＦ、ＷＩＦ）を用いてレチクルＲ及びウエハＷの位置制御を行いながら、矩形状の露光領域及び照明領域の短辺方向すなわちＹ方向に沿ってレチクルステージＲＳとウエハステージＷＳとを、ひいてはレチクルＲとウエハＷとを同期的に移動（走査）させることにより、ウエハＷ上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウエハＷの走査量（移動量）に応じた長さを有する領域に対してレチクルパターンが走査露光される。

【０１０７】

各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さをｙとし、非球面の頂点における接平面から高さｙにおける非球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）をｚとし、頂点曲率半径をｒとし、円錐係数をκとし、ｎ次の非球面係数をＣｎとしたとき、以下の数式（４）（異なった記号を用いた数式（３）と同じもの）で表される。各実施例において、非球面形状に形成されたレンズ面には面番号の右側に＊印を付している。

【０１０８】

$$z=(y^2/r)/[1+\{1-(1+\kappa)\cdot y^2/r^2\}^{1/2}]+C_4\cdot y^4+C_6\cdot y^6+C_8\cdot y^8+C_{10}\cdot y^{10}+C_{12}\cdot y^{12}+C_{14}\cdot y^{14}+C_{16}\cdot y^{16}+C_{18}\cdot y^{18}+C_{20}\cdot y^{20} \quad (4)$$

【０１０９】

図１１は、本発明の第２実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。第２実施例において、投影光学系ＰＬは、物体面（第１面）に配置されたレチクルＲのパターンの第１中間像を形成するための屈折型の第１結像光学系Ｇ１と、凹面反射鏡ＣＭを含み第２中間像（第１中間像の像であってレチクルパターンの２次像）を形成するための第２結像光学系Ｇ２と、第２中間像からの光に基づいて像面（第２面）に配置されたウエハＷ上にレチクルパターンの最終像（レチクルパターンの縮小像）を形成するための屈折型の第３結像光学系Ｇ３とを備えている。

【０１１０】

第１結像光学系Ｇ１と第２結像光学系Ｇ２との間の光路中において第１中間像の形成位置の近傍には、第１結像光学系Ｇ１からの光を第２結像光学系Ｇ２に向かって偏向するための第１光路折り曲げ鏡Ｍ１が配置されている。第２結像光学系Ｇ２と第３結像光学系Ｇ３との間の光路中において第２中間像の形成位置の近傍には、第２結像光学系Ｇ２からの光を第３結像光学系Ｇ３に向かって偏向するための第２光路折り曲げ鏡Ｍ２が配置されている。

【０１１１】

第１結像光学系Ｇ１は直線状に延びた光軸ＡＸ１を有している。第３結像光学系Ｇ３は

直線状に延びた光軸ＡＸ３を有している。光軸ＡＸ１と光軸ＡＸ３とは共通の単一光軸である基準光軸ＡＸと一致するように設定されている。基準光軸ＡＸは、重力方向（すなわち鉛直方向）に沿って位置決めされている。その結果、レチクルＲ及びウエハＷは、重力方向と直交する面すなわち水平面に沿って互いに平行に配置されている。加えて、第１結像光学系Ｇ１を構成するすべてのレンズ及び第３結像光学系Ｇ３を構成するすべてのレンズは、基準光軸ＡＸ上において水平面に沿って配置されている。

【０１１２】

一方、第２結像光学系Ｇ２も直線状に延びた光軸ＡＸ２を有し、この光軸ＡＸ２は基準光軸ＡＸと直交するように設定されている。第１光路折り曲げ鏡Ｍ１及び第２光路折り曲げ鏡Ｍ２はともに平面状の反射面を有し、２つの反射面を有する１つの光学部材（１つの光路折り曲げ鏡）として一体的に構成されている。この２つの反射面の交線（厳密にはその仮想延長面の交線）が第１結像光学系Ｇ１のＡＸ１、第２結像光学系Ｇ２のＡＸ２、及び第３結像光学系Ｇ３のＡＸ３と一点で交わるように設定されている。

【０１１３】

第２実施例では、光源１００として、ＡｒＦエキシマレーザ光源を用いている。投影光学系ＰＬを構成するすべての屈折光学部材（レンズ成分）及び平行平面板Ｌｐには石英（SiO_2）を用いている。露光光であるＡｒＦエキシマレーザ光線の発振中心波長は１９３．３０６ｎｍであり、この中心波長に対する石英の屈折率は１．５６０３２６１である。境界レンズＬｂとウエハＷとの間に介在する媒質Ｌｍとして、露光光に対して１．４７の屈折率を有する脱イオン水を用いている。

【０１１４】

第２実施例にかかる投影光学系ＰＬにおいて、第１結像光学系Ｇ１は、レチクル側から順に、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ１１と、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズＬ１２と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ１３と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１４と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズＬ１５と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１６と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１７と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１８と、両凸レンズＬ１９と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１１０とから構成されている。

【０１１５】

第２結像光学系Ｇ２は、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）から順に、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズＬ２１と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズＬ２２と、凹面反射鏡ＣＭとから構成されている。

【０１１６】

第３結像光学系Ｇ３は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズＬ３１と、両凸レンズＬ３２と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ３３と、両凹レンズＬ３４と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ３５と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ３６と、開口絞りＡＳと、両凸レンズＬ３７と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズＬ３８と、両凸レンズＬ３９と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ３１０と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ３１１と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ３１２と、ウエハ側に平面を向けた平凸レンズＬ３１３（境界レンズＬｂ）とから構成されている。

【０１１７】

境界レンズＬｂとしての平凸レンズＬ３１３とウエハＷとの間の光路中には、平行平面板Ｌｐが配置されている。境界レンズＬｂと平行平面板Ｌｐとの間の光路及び平行平面板ＬｐとウエハＷとの間の光路には、脱イオン水からなる媒質Ｌｍが満たされている。

【０１１８】

以下の表３及び表４に、図１１の第２実施例にかかる投影光学系ＰＬの諸元の値を掲げる。表３において、λは露光光の中心波長を、βは投影倍率（全系の結像倍率）を、ＮＡ

は像側（ウエハ側）開口数を、ＢはウエハＷ上でのイメージサークルＩＦの半径を、Ａは実効露光領域ＥＲの軸外し量を、ＬＸは実効露光領域ＥＲのＸ方向に沿った寸法（長辺の寸法）を、ＬＹは実効露光領域ＥＲのＹ方向に沿った寸法（短辺の寸法）を表している。

【０１１９】

面番号は物体面（第１面）であるレチクル面から像面（第２面）であるウエハ面への光線の進行する方向に沿ったレチクル側からの面の順序を、ｒは各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：ｍｍ）を、ｄは各面の軸上間隔すなわち面間隔（ｍｍ）を、ＥＤは各面の有効直径（ｍｍ）を、ｎは中心波長に対する屈折率を示している。

【０１２０】

面間隔ｄは、反射される度にその符号を変えるものとする。面間隔ｄの符号は、第１光路折り曲げ鏡Ｍ１の反射面から凹面反射鏡ＣＭまでの光路中及び第２光路折り曲げ鏡Ｍ２の反射面から像面までの光路中では負である。該符号は、その他の光路中では正である。第１結像光学系Ｇ１では、レチクル側に向かって凸面の曲率半径は正であり、凹面の曲率半径は負である。一方、第３結像光学系Ｇ３では、レチクル側に向かって凹面の曲率半径は正であり、凸面の曲率半径は負である。第２結像光学系Ｇ２では、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）に向かって凹面の曲率半径は正であり、凸面の曲率半径は負である。表３及び表４における表記は、以降の表５及び表６においても同様である。

【０１２１】

次の諸元の値は、表３及び表４に係る値である。

λ＝１９３．３０６ｎｍ
β＝－１／４
ＮＡ＝１．０
Ｄ＝Ｂ＝１５ｍｍ
Ａ＝３ｍｍ
ＬＸ＝２６ｍｍ
ＬＹ＝４．４ｍｍ
Ｃｂ＝０．０１０９５ｍｍ$^{-1}$
Ｐ＝０ｍｍ$^{-1}$
Ｃｂ・Ｄ／ＮＡ＝０．１６４
｜Ｐ・Ｄ｜＝０

【０１２２】

【表３】

表３

面番号	r (mm)	d (mm)	n	
レチクル面		108.2689		
501	244.17278	32. 6883	1.5603261	(L11)
502	12431.0855	40.5868		
503	218.00254	43.8864	1.5603261	(L12)
504*	-901.16882	1		
505	95.35438	40.6221	1.5603261	(L13)
506	255.04609	43.5025		
507	-357.02117	25.9377	1.5603261	(L14)
508	-305.85533	29.8146		
509	-123.85265	28.7005	1.5603261	(L15)
510	-2549.65778	4.178		
511	-591.66174	23.2188	1.5603261	(L16)
512	-399.04534	8.7209		
513*	-231.3931	20.2346	1.5603261	(L17)
514	-148.33833	17.4652		
515	-354.63058	50	1.5603261	(L18)
516	-136.53902	1		
517	5811.09639	34.5332	1.5603261	(L19)
518	-219.00801	1		
519	208.57104	29.3963	1.5603261	(L110)
520*	18419.59845	90.9569		
521	∞	-244.3047		(M1)
522*	131.03687	-18.0014	1.5603261	(L21)
523	305.47877	-26.1693		
524	100.48802	-16.0009	1.5603261	(L22)
525	385.87639	-26.7822		
526	149.24479	26.7822		(CM)
527	385.87639	16.0009	1.5603261	(L22)
528	100.48802	26.1693		
529	305	18.0014	1.5603261	(L21)
530*	131.03687	244.3047		
531	∞	-64.0489		(M2)
532	529.91109	-39.4419	1.5603261	(L31)
533	219.30879	-26.0915		
534	-1009.84284	-33.6721	1.5603261	(L32)
535	345.39448	-1		
536	-176.43124	-49.9914	1.5603261	(L33)
537*	-663.25312	-119.1058		
538	205.20912	-14.0042	1.5603261	(L34)
539	-198.561	-115.1819		
540*	1437.46317	-49.9958	1.5603261	(L35)
541	188.22741	-15.3421		
542	-212.79097	-49.9776	1.5603261	(L36)
43*	-1223.58584	-25.593		
544	∞	-1.0003		(AS)
545	-15481.75066	-23.7099	1.5603261	(L37)
546	362.44209	-12.9484		
547	209.8877	-14.0041	1.5603261	(L38)
548	345.03468	-1.0007		
549	-11942.14877	-29.1119	1.5603261	(L39)
550	278.1043	-1		

【０１２３】

【表４】

551	-157.59127	-26.2942	1.5603261	(L310)
552	-333.08397	-1		
553	-127.00506	-33.438	1.5603261	(L311)
554*	-354.79236	-1.0073		
555	-119.95893	-27.9094	1.5603261	(L312)
556	-139.80778	-1		
557	-91.35661	-34.5243	1.5603261	(L313:Lb)
558	∞	-1	1.47	(Lm)
559	∞	-4	1.5603261	(Lp)
560	∞	-5	1.47	(Lm)
ウエハ面				

【０１２４】
【表５】

表４

非球面	κ C_{12}	C_4 C_{14}	C_6	C_8	C_{10}
4	0 6.02784×10^{-26}	3.88992×10^{-8} 0	-7.82619×10^{-13}	5.12223×10^{-17}	-2.73274×10^{-21}
13	0 -1.04055×10^{-24}	-6.25952×10^{-8} 3.26369×10^{-29}	5.48030×10^{-13}	-3.31838×10^{-16}	1.38375×10^{-20}
20	0 -1.24577×10^{-26}	1.72798×10^{-8} 6.24349×10^{-31}	-1.61452×10^{-13}	-4.93244×10^{-19}	1.04591×10^{-22}
22 及び 30	0 -5.01578×10^{-25}	-8.82578×10^{-8} 2.58145×10^{-29}	-2.18452×10^{-12}	-8.66533×10^{-17}	-3.62594×10^{-21}
37	0 4.71865×10^{-28}	-7.06709×10^{-9} -1.92011×10^{-31}	2.17699×10^{-13}	4.99998×10^{-18}	9.16340×10^{-23}
40	0 0	5.99640×10^{-8} 0	-2.38721×10^{-13}	-2.67049×10^{-18}	8.91192×10^{-22}
43	0 -2.95585×10^{-26}	-1.17799×10^{-8} 0	-5.24366×10^{-13}	-2.67126×10^{-17}	1.52192×10^{-21}
54	0 -6.31540×10^{-25}	-5.15363×10^{-9} 1.49243×10^{-29}	-2.43381×10^{-12}	6.03374×10^{-17}	2.56676×10^{-21}

【０１２５】
図１２は、横収差を示す図である。収差図において、Ｙは像高を示している。図１２における表記は、以降の図１４及び図１６においても同様である。図１２の収差図から明らかなように、第２実施例では、ＡｒＦエキシマレーザ光線を用いて非常に大きな像側開口数（ＮＡ＝１．０）を確保しているにもかかわらず、実効露光領域の全体に亘って収差が良好に補正されていることがわかる。
【０１２６】
図１３は、本発明の第３実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。第３実施例の投影光学系ＰＬは、第２実施例と基本的に同じ構成を有する反射屈折型の光学系である。しかしながら、第３実施例では、第２実施例とは異なり、光源１００としてF_2レーザ光源を用いている。投影光学系ＰＬを構成するすべての屈折光学部材（レンズ成分）及び平行平面板Ｌｐには蛍石（CaF_2）を用いている。露光光であるF_2レーザ光の発振中心波長は１５７．６３１ｎｍであり、この中心波長に対する蛍石の屈折率は１．５５９２２６７である。境界レンズＬｂとウエハＷとの間に介在する媒質Ｌｍとして、露光光に対して１．３６の屈折率を有するフッ素系不活性液体を用いている。
【０１２７】
第３実施例にかかる投影光学系ＰＬにおいて、第１結像光学系Ｇ１は、レチクル側から順に、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ１１と、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズＬ１２と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ１３と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１４と、レチクル側に凹面を向けた

負メニスカスレンズＬ１５と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズＬ１６と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１７と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１８と、両凸レンズＬ１９と、ウエハ側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズＬ１１０とから構成されている。

【０１２８】

第２結像光学系Ｇ２は、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）から順に、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズＬ２１と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズＬ２２と、凹面反射鏡ＣＭとから構成されている。

【０１２９】

第３結像光学系Ｇ３は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズＬ３１と、両凸レンズＬ３２と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ３３と、両凹レンズＬ３４と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ３５と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ３６と、開口絞りＡＳと、両凸レンズＬ３７と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズＬ３８と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ３１０と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ３１１と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ３１２と、ウエハ側に平面を向けた平凸レンズＬ３１３（境界レンズＬｂ）とから構成されている。

【０１３０】

境界レンズＬｂとしての平凸レンズＬ３１３とウエハＷとの間の光路中には、平行平面板Ｌｐが配置されている。境界レンズＬｂと平行平面板Ｌｐとの間の光路及び平行平面板ＬｐとウエハＷとの間の光路には、フッ素系不活性液体からなる媒質Ｌｍが満たされている。第３実施例では、フッ素系不活性液体からなる媒質Ｌｍを通過する際に発生する光量損失が比較的大きいため、平行平面板ＬｐとウエハＷとの距離すなわちワーキングディスタンスＷＤを第１実施例よりもかなり小さく設定している。次の諸元の値は、表５及び表６に係る値である。

【０１３１】

λ＝１５７．６３１ｎｍ
β＝－１／４
ＮＡ＝１．０
Ｄ＝Ｂ＝１５ｍｍ
Ａ＝３ｍｍ
ＬＸ＝２６ｍｍ
ＬＹ＝４．４ｍｍ
Ｃｂ＝０．０１０８７ｍｍ$^{-1}$
Ｐ＝０ｍｍ$^{-1}$
Ｃｂ・Ｄ／ＮＡ＝０．１６３
｜Ｐ・Ｄ｜＝０

【０１３２】

【表６】

表５

面番号	r (mm)	d (mm)	n	
レチクル面		101.913		
501	225.91181	34.4965	1.5592267	(L11)
502	1436.06203	33.7438		
503	201.91225	49.2729	1.5592267	(L12)
504*	-841.64457	1		
505	96.6787	38.2983	1.5592267	(L13)
506	257.84523	43.1608		
507	-380.28084	27.546	1.5592267	(L14)
508	-312.16425	30.1639		
509	-124.06734	28.9267	1.5592267	(L15)
510	-557.96151	3.8304		
511	-366.97659	22.7734	1.5592267	(L16)
512	-456.35163	12.9347		
513*	-254.00244	19.0622	1.5592267	(L17)
514	-156.7197	14.5386		
515	-336.79481	46.8839	1.5592267	(L18)
516	-133.2981	2.8796		
517	2442.55879	49.687	1.5592267	(L19)
518	-237.47884	1.195		
519	210.34651	30.7754	1.5592267	(L110)
520*	-18494.54411	86.6055		
521	∞	-256.5916		(M1)
522*	137.75129	-18	1.5592267	(L21)
523	355.77715	-27.9942		
524	100.61796	-16	1.5592267	(L22)
525	376.58992	-26.125		
526	150.70332	26.125		(CM)
527	376.58992	16	1.5592267	(L22)
528	100.61796	27.9942		
529	355.77715	18	1.5592267	(L21)
530*	137.75129	256.5916		
531	∞	-64.0489		(M2)
532	529.4817	-37.2168	1.5592267	(L31)
533	217.84933	-45.5764		
534	-906.17992	-39.8472	1.5592267	(L32)
535	390.17706	-1		
536	-175.866	-49.6987	1.5592267	(L33)
537*	-666.25803	-123.631		
538	193.90829	-14.451	1.5592267	(L34)
539	-194.01757	-115.5693		
540*	1756.45056	-49.9992	1.5592267	(L35)
541	192.14442	-16.6644		
542	-212.68601	-46.8499	1.5592267	(L36)
543*	-1313.55988	-26.5088		
544	∞	-1		(AS)
545	-46713.1214	-22.7123	1.5592267	(L37)
546	380.61069	-13.0721		
547	213.48092	-14.0147	1.5592267	(L38)
548	358.25443	-1		
549	-3283.23016	-29.4719	1.5592267	(L39)
550	287.34852	-1		

【０１３３】

【表７】

551	-177.16315	-23.5067	1.5592267	(L310)
552	-351.98397	-1		
553	-121.82696	-35.6149	1.5592267	(L311)
554*	-392.8455	-1		
555	-117.938	-28.2524	1.5592267	(L312)
556	-138.49028	-1		
557	-91.96471	-39.69	1.5592267	(L313:Lb)
558	∞	-1	1.36	(Lm)
559	∞	-4	1.5592267	(Lp)
560	∞	-1	1.36	(Lm)
ウエハ面				

【０１３４】

【表８】

表６

非球面	κ C_{12}	C_4 C_{14}	C_6	C_8	C_{10}
4	0 8.18197×10^{-26}	-4.99618×10^{-8} 0	-7.39398×10^{-13}	5.16730×10^{-17}	-3.94177×10^{-21}
13	0 -5.93253×10^{-25}	-6.25952×10^{-8} 1.35088×10^{-29}	1.42305×10^{-12}	-2.81530×10^{-16}	1.39566×10^{-20}
20	0 -1.38926×10^{-26}	1.68383×10^{-8} 5.21818×10^{-31}	-1.06688×10^{-13}	-2.92682×10^{-18}	2.12089×10^{-22}
22 及び 30	0 -7.40500×10^{-26}	-8.30158×10^{-8} -9.34635×10^{-30}	-1.66607×10^{-12}	-6.51740×10^{-17}	-4.60984×10^{-21}
37	0 5.40821×10^{-29}	-5.68895×10^{-9} -2.41375×10^{-31}	2.19286×10^{-13}	5.12916×10^{-18}	6.51778×10^{-23}
40	0 0	5.94153×10^{-8} 0	-2.72431×10^{-13}	-3.72411×10^{-18}	8.85563×10^{-22}
43	0 -3.00290×10^{-26}	-1.10623×10^{-8} 0	-5.34092×10^{-13}	-2.58209×10^{-17}	1.51679×10^{-21}
54	0 -7.25627×10^{-25}	-5.82309×10^{-9} 2.57401×10^{-29}	-2.25140×10^{-12}	6.80911×10^{-17}	3.12945×10^{-21}

【０１３５】

図１４は、第３実施例における横収差を示す図である。図１４の収差図から明らかなように、第３実施例では、非常に大きな像側開口数（ＮＡ＝１．０）が確保されているにもかかわらず、実効露光領域の全体に亘って収差が良好に補正されていることがわかる。

【０１３６】

図１５は、本発明の第４実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。この投影光学系ＰＬは、第１実施例、第２実施例、及び第３実施例とは異なり屈折型の光学系である。しかしながら、第４実施例では、第２実施例と同様に、光源１００としてＡｒＦエキシマレーザ光源を用い、境界レンズＬｂとウエハＷとの間に介在する媒質Ｌｍとして露光光に対して１．４７の屈折率を有する脱イオン水を用いている。

【０１３７】

第４実施例では、投影光学系ＰＬを構成する屈折光学部材（レンズ成分）及び平行平面板Ｌｐに石英（SiO_2）又は蛍石（CaF_2）を用いている。具体的には、レンズＬ１３、Ｌ１７、Ｌ１８，Ｌ１１４、Ｌ１１５、Ｌ１２２及びＬ１２３（Ｌｂ）は蛍石により形成され、その他のレンズ及び平行平面板Ｌｐは石英により形成されている。露光光であるＡｒＦエキシマレーザ光の発振中心波長は１９３．３０６ｎｍである。この中心波長に対する石英の屈折率は１．５６０３２６１であり、蛍石の屈折率は１．５０１４５４８である。

【０１３８】

第４実施例の投影光学系ＰＬは、レチクル側から順に、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズＬ１１と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズＬ１２と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１３と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１４と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ１６と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ１７と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ１８と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズＬ１９と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズＬ１１０と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズＬ１１１と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズＬ１１２と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１１３と、両凸レンズＬ１１４と、両凸レンズＬ１１５と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズＬ１１６と、開口絞りＡＳと、両凹レンズＬ１１７と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１１８と、両凸レンズＬ１１９と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ１２０と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１２１と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ１２２と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズＬ１２３（境界レンズＬｂ）とから構成されている。

【０１３９】

境界レンズＬｂとしての負メニスカスレンズＬ１２３とウエハＷとの間の光路中には、平行平面板Ｌｐが配置されている。境界レンズＬｂと平行平面板Ｌｐとの間の光路及び平行平面板ＬｐとウエハＷとの間の光路には、脱イオン水からなる媒質Ｌｍが満たされている。

【０１４０】

以下の表７及び表８に、第４実施例にかかる投影光学系ＰＬの諸元の値を掲げる。表７及び表８において、λは露光光の中心波長を、βは投影倍率（全系の結像倍率）を、ＮＡは像側（ウエハ側）開口数を、ＢはウエハＷ上でのイメージサークルＩＦの半径を、ＬＸは実効露光領域ＥＲのＸ方向に沿った寸法（長辺の寸法）を、ＬＹは実効露光領域ＥＲのＹ方向に沿った寸法（短辺の寸法）を表している。

【０１４１】

面番号は物体面（第１面）であるレチクル面から像面（第２面）であるウエハ面への光線の進行する方向に沿ったレチクル側からの面の順序を、ｒは各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：ｍｍ）を、ｄは各面の軸上間隔すなわち面間隔（ｍｍ）を、ＥＤは各面の有効直径（ｍｍ）を、ｎは中心波長に対する屈折率をしている。レチクル側に向かって凸面の曲率半径は正に取られ、凹面の曲率半径は負に取られている。次の諸元の値は、表７及び表８に係る値である。

【０１４２】

λ＝１９３．３０６ｎｍ
β＝－１／４
ＮＡ＝０．９
Ｄ＝Ｂ＝１２ｍｍ
ＬＸ＝２２ｍｍ
ＬＹ＝９ｍｍ
Ｃｂ＝０．００２ｍｍ$^{-1}$
Ｐ＝０ｍｍ$^{-1}$
Ｃｂ・Ｄ／ＮＡ＝０．０２６７
｜Ｐ・Ｄ｜＝０

【０１４３】

【表９】

表７

面番号	r (mm)	d (mm)	n	
	（レチクル面）	55.8515		
501	-2113.36467	22.0016	1.5603261	(L11)
502*	216.83131	37.6588		
503	-99	35.9329	1.5603261	(L12)
504	-530.65397	1		
505	-2085.24301	49.6884	1.5014548	(L13)
506	-211.94203	1		
507*	-1300.49159	51	1.5603261	(L14)
508	-228.7234	1		
509	449.54298	42.9915	1.5603261	(L15)
510	-31743139.73	4.4564		
511	286.16093	46.424	1.5603261	(L16)
512	700	27.3629		
513	200	44.5225	1.5014548	(L17)
514	835.17809	1		
515	176.47058	44.0153	1.5014548	(L18)
516	4997.43477	1		
517	1190.04003	14.0931	1.5603261	(L19)
518	117.90394	42.896		
519*	-174.99987	14	1.5603261	(L110)
520	122.55049	22.0064		
521	-9702.06368	10	1.5603261	(L111)
522*	501.0497	22.5348		
523	-150	15.2478	1.5603261	(L112)
524*	545.44066	5.0208		
525	670.66815	37.0463	1.5603261	(L113)
526*	1258.71661	9.9406		
527	5070.2394	51.1959	1.5014548	(L114)
528	-161.64547	1		
529	827.78244	41.9662	1.5014548	(L115)
530	-354.18335	2.2506		
531	4796.10166	21.3348	1.5603261	(L116)
532	2003.44485	100.6473		
534	∞	19.4869		(AS)
534	-1507.37025	26.9184	1.5603261	(L117)
535	1249.53353	17.3121		
536	-3874.77086	48.5508	1.5603261	(L118)
537	-333.94853	1		
538	1503.93894	41.7658	1.5603261	(L119)
539	-563.59244	1		
540	186	57.7875	1.5603261	(L120)
541	997.61736	1		
542	158.43716	36.3731	1.5603261	(L121)
543*	202.36197	1		
544	120	48.8077	1.5014548	(L122)
545	244.45698	7.8937		
546	500	45.5175	1.5014548	(L123:Lb)
547	100.78932	4.5	1.47	(Lm)
548	∞	4	1.5603261	(Lp)
549	∞	9	1.47	(Lm)
550				

【０１４４】

【表１０】

551	-177.16315	-23.5067	1.5592267	(L310)
552	-351.98397	-1		
553	-121.82696	-35.6149	1.5592267	(L311)
554*	-392.8455	-1		
555	-117.938	-28.2524	1.5592267	(L312)
556	-138.49028	-1		
557	-91.96471	-39.69	1.5592267	(L313:Lb)
558	∞	-1	1.36	(Lm)
559	∞	-4	1.5592267	(Lp)
560	∞	-1	1.36	(Lm)
ウエハ				

【０１４５】
【表１１】

表８

非球面	κ C_{12}	C_4 C_{14}	C_6	C_8	C_{10}
2	0 -2.03062×10^{-24}	-1.49703×10^{-7} 5.69043×10^{-29}	6.71854×10^{-12}	-3.64562×10^{-16}	4.13593×10^{-20}
7	0 1.74725×10^{-28}	-1.18880×10^{-5} -4.32881×10^{-32}	1.02901×10^{-13}	-7.54528×10^{-19}	5.83141×10^{-23}
19	0 3.26842×10^{-24}	-7.74045×10^{-5} -3.56309×10^{-28}	1.56057×10^{-11}	-1.10312×10^{-15}	3.62488×10^{-20}
22	0 -4.51996×10^{-24}	-1.04821×10^{-7} 4.81943×10^{-28}	8.80831×10^{-12}	3.69747×10^{-17}	-2.96855×10^{-20}
24	0 -8.61747×10^{-25}	1.27905×10^{-8} -7.01397×10^{-29}	7.05643×10^{-13}	-4.87282×10^{-16}	4.68907×10^{-20}
26	0 -4.70258×10^{-25}	7.26173×10^{-8} 1.17373×10^{-29}	-3.04123×10^{-12}	-2.32724×10^{-17}	8.20189×10^{-21}
43	0 3.04007×10^{-27}	-1.90186×10^{-5} 4.59309×10^{-31}	-8.61256×10^{-14}	1.45348×10^{-17}	4.84634×10^{-24}

【０１４６】
図１６は、第４実施例における横収差を示す図である。図１６の収差図から明らかなように、第４実施例では、屈折型の投影光学系においてＡｒＦエキシマレーザ光を用いて比較的大きな像側開口数（ＮＡ＝０．９）を確保しているにもかかわらず、実効露光領域の全体に亘って収差が良好に補正されていることがわかる。
【０１４７】
こうして、第２実施例では、波長が１９３．３０６ｎｍのＡｒＦエキシマレーザ光に対して、１．０の高い像側開口数を確保するとともに、ウエハW上において半径が１５ｍｍのイメージサークル内に諸収差が十分に補正された領域として、２６ｍｍ×４．４ｍｍの矩形状の実効露光領域（静止露光領域）を確保することができる。例えば、２６ｍｍ×３３ｍｍの矩形状の露光領域内に回路パターンを高解像度で走査露光することができる。
【０１４８】
第３実施例では、波長が１５７．６３１ｎｍのF_2レーザ光に対して、１．０の高い像側開口数を確保するとともに、ウエハW上において半径が１５ｍｍのイメージサークル内に諸収差が十分に補正された領域として、２６ｍｍ×４．４ｍｍの矩形状の実効露光領域（静止露光領域）を確保することができる。例えば、２６ｍｍ×３３ｍｍの矩形状の露光領域内に回路パターンを高解像度で走査露光することができる。
【０１４９】
第４実施例では、波長が１９３．３０６ｎｍのＡｒＦエキシマレーザ光に対して、０．９の高い像側開口数を確保するとともに、ウエハW上において半径が１２ｍｍのイメージサークル内に諸収差が十分に補正された領域として、２２ｍｍ×９ｍｍの矩形状の実効露

光領域（静止露光領域）を確保することができる。例えば、２２ｍｍ×３３ｍｍの矩形状の露光領域内に回路パターンを高解像度で走査露光することができる。

【０１５０】

第２実施例では、すべてのレンズ成分を石英により形成しているが、露光光のエネルギが集中する小口径レンズ（たとえばウエハＷの近傍に配置された境界レンズＬｂやレンズＬ３１２など）を蛍石で形成することにより、石英のコンパクションに起因する結像性能劣化を回避することができる。

【０１５１】

第３結像レンズ群の倍率に関する条件を制限することが好ましいときには、当該条件式を次のように制限することができる。

０．７５＜ＭＡ／ＭＧ３＜１．１　　（５）

好ましくは、０．８＜ＭＡ／ＭＧ３＜１．０５

但し、ＭＡは光学系全体の倍率であり、ＭＧ３は第３結像レンズ系Ｇ３の倍率である。

【０１５２】

光路を分離する役割を果たす平面鏡に入射する光に対する開口数ＮＡが大きくなると光路を分離することが困難になるため、光軸と露光領域との間の距離を大きくする必要が生じる。十分な露光領域を確保するためには、光学系が大きくなることが避けられない。大きな像側開口数ＮＡが望まれるときであっても、第３結像レンズ群の倍率に関する条件式を満たすことによって、平面鏡に入射する際の開口数の増加を小さくすることができるので、光路分離が容易となる。従って、大きな像側開口数ＮＡが確保でき、光学系を大きくすることなく、良好な光学性能が得られる。

【０１５３】

開口数ＮＡを大きくし、かつ、開口絞りの近傍にあるレンズの直径が大きくなることを防ぐためには、開口絞りと像面（第２面）との間の距離を短くすると共に、開口絞りと像面との間の合焦レンズ群全体の正の屈折力を大きくする必要がある。また、レンズ要素の保持に起因するレンズの変形を防ぐために、十分なレンズ縁厚を確保する必要があり、従って、合焦レンズ群は５個以下のレンズ要素で構成するのが好ましい。加えて、正の屈折力を効果的に増加させるために、合焦レンズ群に負のレンズ要素は含まれていないのが好ましい。

【０１５４】

参考のために、様々な実施例における、全体の倍率ＭＡと第３群Ｇ３の倍率ＭＧ３とをまとめたものを次に掲げる。

	倍率　ＭＡ
ＭＧ３　　ＭＡ／ＭＧ３	
第１実施例	１／４
１／３．５５　　０．８８８	
第２実施例（ＡｒＦ）	１／４
１／３．５３　　０．８８３	
第３実施例（F_2）	１／４
１／３．７８　　０．９４５	
第５実施例	１／４
１／３．４２　　０．８５５	

【０１５５】

表９及び表１０は、第５実施例に関連した各種数値を示したものである。次の諸元は、図１９に示された第５実施例にかかるものである。

ＮＡ（像側）：１．２５

倍率ＭＡ：１／４

露光領域：Ａ＝３．５ｍｍ、Ｂ＝１５．１ｍｍであるから矩形領域２６ｍｍ×４ｍｍ

中心波長：１９３．３０６ｎｍ

石英ガラスの屈折率：１．５６０３２６１

純水の屈折率：１．４３６８１６３
石英ガラスの分散（ｄｎ／ｄλ）：－１．５９１Ｅ－６／ｐｍ
純水の分散（ｄｎ／ｄλ）：－２．０９６Ｅ－６／ｐｍ
【０１５６】
ところで、F_2レーザを使用したフォトリソグラフィー装置のための液浸液の一例として、過フルオロポリエーテル（ＰＦＰＥ）が挙げられる。
【０１５７】
図１９の第５実施例にかかる投影光学系ＰＬにおいて、第１結像光学系Ｇ１は、レチクル側から順に、レチクル側に凸面を向けた正レンズＬ１１と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ１２と、ウエハ側に非球面を持つ両凸レンズＬ１３と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ１４と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１５と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズＬ１６と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１７と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ１８と、正レンズＬ１９と、ウエハ側に非球面を向けた正メニスカスレンズＬ１１０とから構成されている。
【０１５８】
第２結像光学系Ｇ２は、光の進行往路に沿ってレチクル側（すなわち入射側）から順に、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズＬ２１と、レチクル側に凹面を向けた負メニスカスレンズＬ２２と、凹面反射鏡ＣＭとから構成されている。
【０１５９】
第３結像光学系Ｇ３は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズＬ３１と、両凸レンズＬ３２と、正レンズＬ３３と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ３４と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた両凹負レンズＬ３５と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズＬ３６と、両凸レンズＬ３７と、レチクル側に非球面を向けた正レンズＬ３８と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズＬ３９と、ウエハ側に非球面を向けた正レンズＬ３１０と、開口絞りＡＳと、両凸レンズＬ３１１と、正レンズＬ３１２と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ３１３と、ウエハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズＬ３１４と、ウエハ側に平面を向けた平凸レンズＬ３１５（境界レンズＬｂ）とから構成されている。
【０１６０】
図２０から明らかなように、第５実施例は、±０．４ｐｍの波長範囲において色収差を極めて良好に補正している。
【０１６１】

【表１２】

表９

面番号	r (mm)	d (mm)	材料
物体面	∞	81.9091	
601:	2634.49417	21.2504	溶融石英
602:	-395.77168	1.0000	
603:	150.00000	50.0000	溶融石英
604:	369.68733	54.9152	
605:	179.71446	34.0868	溶融石英
606:	非球面-1	6.6932	
607:	88.93816	50.0000	溶融石英
608:	91.86919	23.6059	
609:	-98.63242	50.0000	溶融石英
610:	-88.50693	12.0495	
611:	-76.47008	38.6573	溶融石英
612:	-344.46033	15.7028	
613:	-334.92667	50.0661	溶融石英
614:	-117.23873	1.0000	
615:	非球面-2	43.8716	溶融石英
616:	-181.49712	1.0000	
617:	289.19628	27.8483	溶融石英
618:	5892.12201	12.1517	
619:	227.01362	27.1570	溶融石英
620:	非球面-3	69.0000	
621:	∞	-236.5116	(M1)
622:	非球面-4	-12.5000	溶融石英
623:	1144.45984	-50.1326	
624:	110.85976	-12.5000	溶融石英
625:	213.24820	-26.1588	
626:	155.15866	26.1588	(CM)
627:	213.24820	12.5000	溶融石英
628:	110.85976	50.1326	
629:	1144.45984	12.5000	溶融石英
630:	非球面-4	236.5116	
631:	∞	-64.0489	(M2)
632:	3037.95158	-22.3312	溶融石英
633:	259.31045	-1.0000	
634:	-470.92323	-24.5450	溶融石英
635:	700.75092	-1.0000	
636:	-228.28898	-45.9798	溶融石英
637:	-4362.49907	-1.0000	
638:	-147.00156	-50.0000	溶融石英
639:	非球面-5	-13.1758	
640:	810.59426	-12.5000	溶融石英
641:	非球面-6	-40.9252	
642:	-2113.41076	-12.5000	溶融石英
643:	非球面-7	-16.1803	
644:	-562.31334	-30.6877	溶融石英
645:	1126.64825	-80.2339	
646:	非球面-8	-22.6585	溶融石英
647:	586.42327	-1.0000	

【０１６２】

【表１３】

648:	-361.03935	-33.1534	溶融石英
649:	-3170.02757	-1.0000	
650:	-310.02927	-49.2493	溶融石英
651:	非球面-9	-9.8682	
652:	∞	-5.3722	開口絞り
653:	-777.31707	-35.8824	溶融石英
654:	1312.61222	-1.0007	
655:	-319.73575	-35.9439	溶融石英
656:	3225.49072	-1.0000	
657:	-130.49530	-28.4950	溶融石英
658:	非球面-10	-1.0000	
659:	-95.22134	-34.3036	溶融石英
660:	非球面-11	-1.0000	
661:	-61.85167	-50.0000	溶融石英
662:	∞	-1.0000	脱イオン水
像面	∞		

【０１６３】

【表１４】

表１０

非球面番号	曲率	K	A	B	C	D
	(CURV)	E	F	G	H	J
非球面-1	-0.00209291	0	7.81812×10^{-8}	6.03387×10^{-13}	3.16794×10^{-16}	-3.45599×10^{-20}
		1.67268×10^{-24}	0	0	0	0
非球面-2	-0.00252981	0	-1.14607×10^{-08}	4.60861×10^{-13}	-1.61766×10^{-17}	-5.41414×10^{-24}
		5.36076×10^{-27}	-1.16131×10^{-31}	0	0	0
非球面-3	0.00029038	0	1.29530×10^{-08}	2.79320×10^{-13}	-1.95862×10^{-17}	6.49032×10^{-22}
		-1.02409×10^{-26}	-4.06450×10^{-32}	0	0	0
非球面-4	0.00934352	0	-8.88014×10^{-08}-	-3.40911×10^{-12}	-1.98985×10^{-16}	-1.45801×10^{-20}
		-9.23066×10^{-26}	l.30730xl0^{-28}	0	0	0
非球面-5	-0.00197848	0	-3.21829×10^{-08}	4.08976×10^{-13}	9.46190×10^{-17}	-1.12686×10^{-20}
		1.09349×10^{-24}	-2.30304×10^{-29}	0	0	0
非球面-6	-00104007	0	-1.40846×10^{-08}	3.73235×10^{-12}	5.78170×10^{-17}	4.02044×10^{-20}
		1.81116×10^{-24}	-3.46502×10^{-28}	0	0	0
非球面-7	-0.00689746	0	3.76564×10^{-08}	2.04565×10^{-12}	6.72661×10^{-17}	3.35779×10^{-21}
		-5.51576×10^{-25}	2.95829×10^{-28}	0	0	0
非球面-8	-0.00029365	0	1.54429×10^{-08}	-1.52631×10^{-13}	-1.17235×10^{-17}	-3.02626×10^{-22}
		2.05070×10^{-28}	3.61487×10^{-31}	0	0	0
非球面-9	0.00123523	0	-9.78469×10^{-09}	2.15545×10^{-14}	-2.66488×10^{-17}	1.19902×10^{-21}
		-2.50321×10^{-26}	2.10016×10^{-31}	0	0	0
非球面-10	-0.00508157	0	$2.7621\ 5\times10^{-09}$	-4.06793×10^{-12}	4.51389×10^{-16}	-5.07074×10^{-20}
		1.83976×10^{-24}	-6.22513×10^{-29}	0	0	0
非球面-11	-0.00460959	0	-1.08228×10^{-07}	-9.51194×10^{-12}	1.14605×10^{-15}	-1.27400×10^{-19}
		1.59438×10^{-23}	-5.73173×10^{-28}	0	0	0

【０１６４】

上述の実施形態の露光装置では、照明装置によってレチクル（マスク）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いてウエハ等の感光性基板に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとし

ての半導体デバイスを得るための典型的手法について図１７のフローチャートを参照して説明する。

【０１６５】

図１７のステップ３０１において、１ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ３０２において、その１ロットのウエハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。引続いて、ステップ３０３において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像が、その１ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ３０４においてその１ロットのウエハ上のフォトレジストの現像が行われた後、その１ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。

【０１６６】

次に、更に上のレイヤの回路パターンの形成を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。ステップ３０１～ステップ３０５では、ウエハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っている。これらの工程に先立って、ウエハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っても良い。

【０１６７】

本実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることができる。以下、図１２ のフローチャートを参照して、この場合の典型的手法を説明する。図１８において、パターン形成工程４０１では、本実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には電極等を含む多数の所定パターンが形成される。現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、そして、工程は、次のカラーフィルター形成工程４０２へ進む。

【０１６８】

次に、カラーフィルター形成工程４０２では、Ｒ（赤）、Ｇ（緑）、Ｂ（青）を含むこれらの種類のドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、又はＲ、Ｇ、Ｂの３本のストライプのフィルターの組が複数水平走査線方向に配列されたりしてカラーフィルターが形成される。カラーフィルター形成工程４０２の後に、セル組み立て工程４０３が実行される。セル組み立て工程４０３では、パターン形成工程４０１にて得られた所定パターンを有する基板、及びカラーフィルター形成工程４０２にて得られたカラーフィルターを用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程４０３では、例えば、パターン形成工程４０１にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程４０２にて得られたカラーフィルターとの間の空間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【０１６９】

続いて、モジュール組み立て工程４０４にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）を引き起こす電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

【０１７０】

上述の実施形態では、マスク及び基板を投影光学系に対して相対移動させながら基板の各露光領域に対してマスクパターンをスキャン露光するステップ・アンド・スキャン方式の露光装置に対して本発明を適用している。しかしながら、これに限定されることなく、マスクと基板とを静止させた状態でマスクのパターンを基板へ一括的に転写し、基板を順

次ステップ移動させて各露光領域にマスクパターンを逐次露光するステップ・アンド・リピート方式の露光装置に対しても本発明を適用することができる。

【０１７１】

上述の実施形態では、ＡｒＦエキシマレーザ光源又はF_2レーザ光源を用いている。しかしながら、本発明はこれに限定されるものではなく、他の適当な光源を用いることもできる。上述の実施形態では、露光装置に搭載された投影光学系に対して本発明を適用している。本発明は、露光装置に搭載された投影光学系に対して適用されているが、本発明は、これに限定されることなく、他の一般的な投影光学系に対しても適用することができる。

【０１７２】

以上説明したように、本発明の投影光学系では、像面との間の光路中に高屈折率の媒質を介在させるとともに、境界レンズの物体側の面に正の屈折力を付与することにより、光学面での反射損失を良好に抑えて、大きな実効的な像側開口数を確保することができる。

【０１７３】

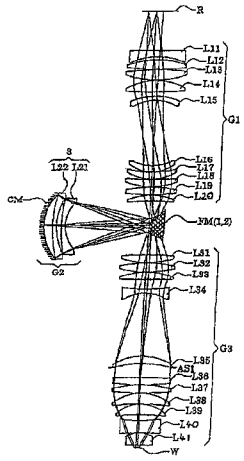
したがって、本発明の投影光学系を用いる露光装置及び露光方法では、大きく且つ実効的な像側開口数と高い解像度とを有する投影光学系を介して、微細なパターンを高精度に転写露光することができる。本発明の投影光学系を搭載した露光装置を用いて、高解像な投影光学系を介した高精度な投影露光により、良好なマイクロデバイスを製造することができる。

【符号の説明】

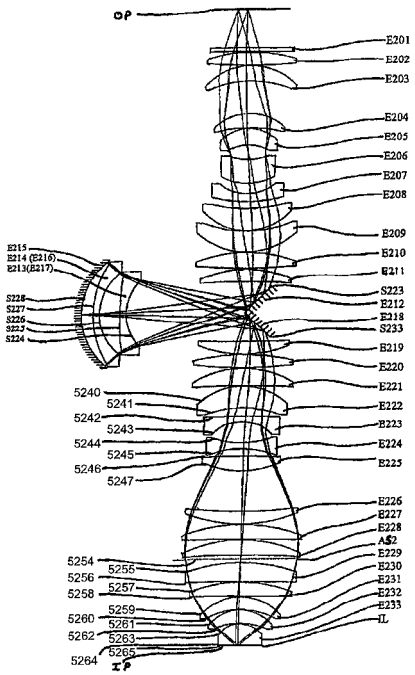
【０１７４】

ＯＰ　第１面
ＩＰ　第２面
Ｅ２３３　境界レンズ
ＩＬ　液浸液の層
Ｌ　境界レンズへの入射前の外縁光線収束角
Ｓ　境界レンズ内の外縁光線収束角
Ｓ２６３　境界レンズの第１面側の光学面

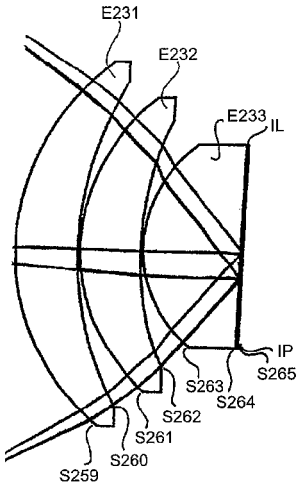
【図１】


R
L11
L12
L13
L14
L15
G1
S
L02 L01
CM
FM(L2)
L16
L17
L18
L19
L20
G2
L31
L32
L33
L34
G3
L35
AS1
L36
L37
L38
L39
L40
L41
W

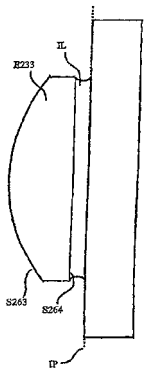
【図２】


OP
E201
E202
E203
E204
E205
E206
E207
E208
E209
E210
E211
S223
E212
E218
S233
E219
E220
E221
E222
E223
E224
E225
E226
E227
E228
AS2
E229
E230
E231
E232
E233
IL
IP
E215
E214 (E216)
E213(E217)
S228
S227
S226
S225
S224
5240
5241
5242
5243
5244
5245
5246
5247
5254
5255
5256
5257
5258
5259
5260
5261
5262
5263
5264
5265

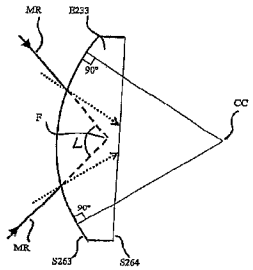
【図３】


E231
E232
E233
IL
IP
S265
S263
S264
S262
S261
S260
S259

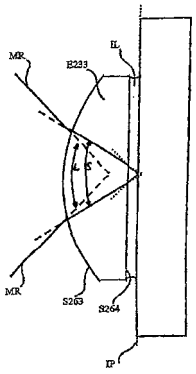
【図４】


IL
E233
S263
S264
IP

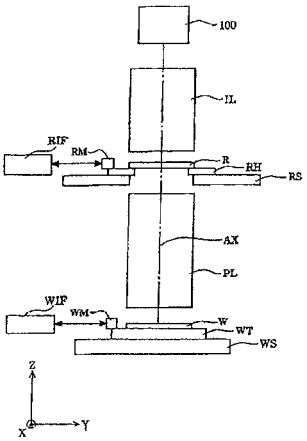
【図５】


MR
E233
90°
F
CC
90°
MR
S263
S264

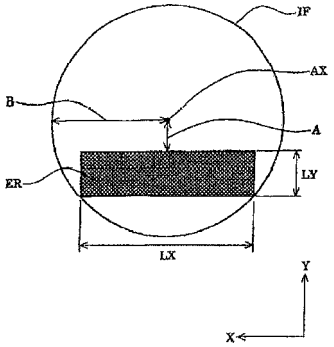
【図６】


MR
E233
IL
MR
S263
S264
IP

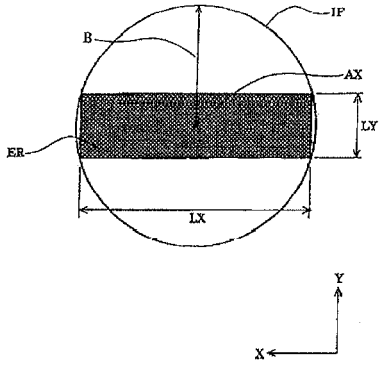
【図７】


100
IL
RIF
RM
R
RH
RS
AX
PL
WIF
WM
W
WT
WS
Z
X
Y

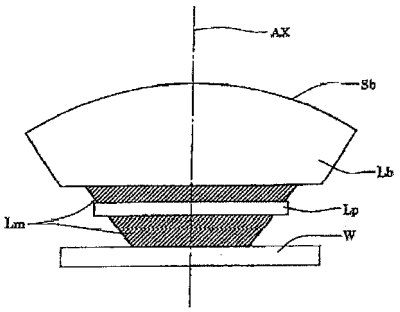
【図８】


IF
AX
B
A
ER
LY
LX
Y
X

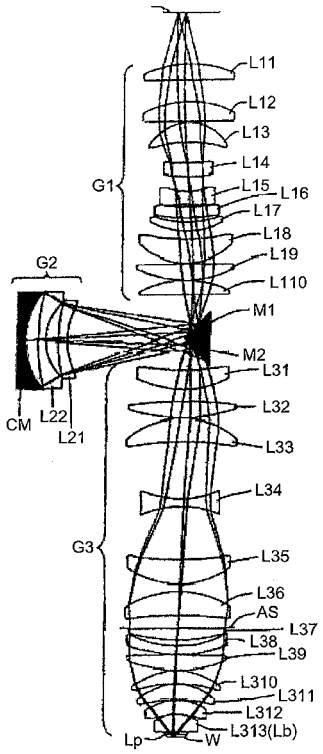
【図９】



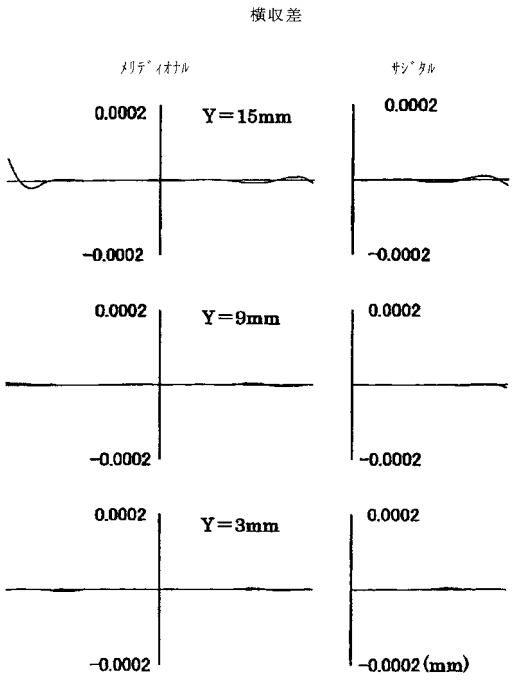
【図１０】



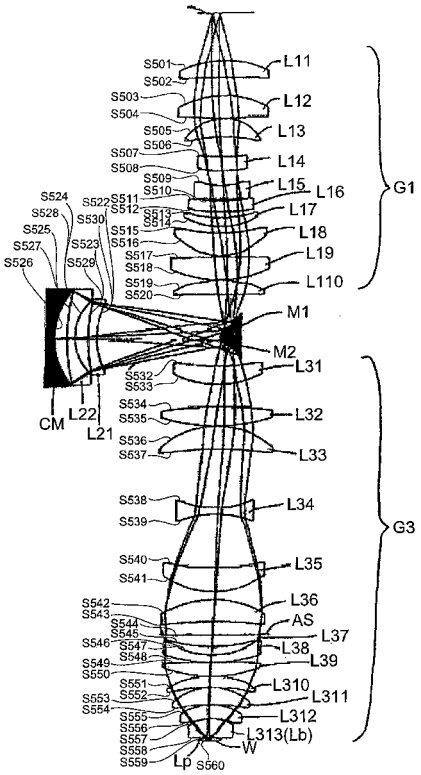
【図１１】



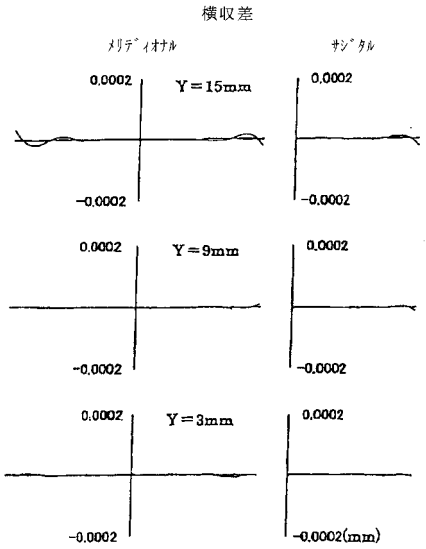
【図１２】



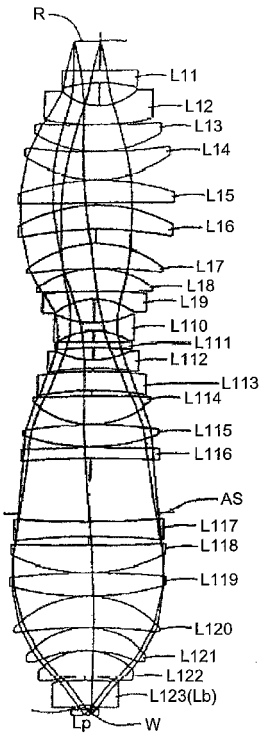
【図１３】



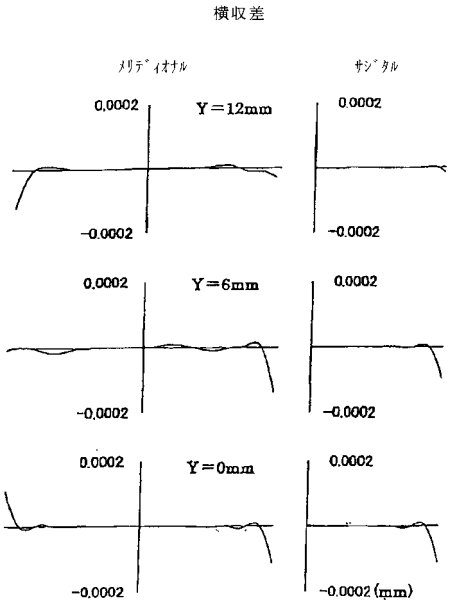
【図１４】



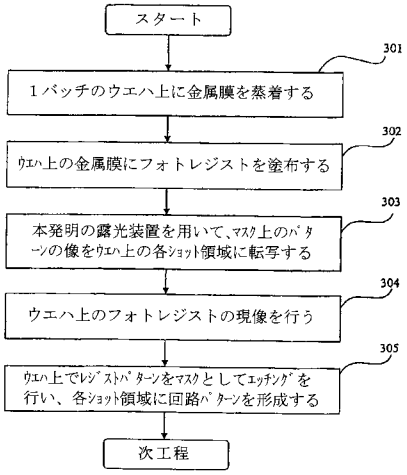
【図１５】



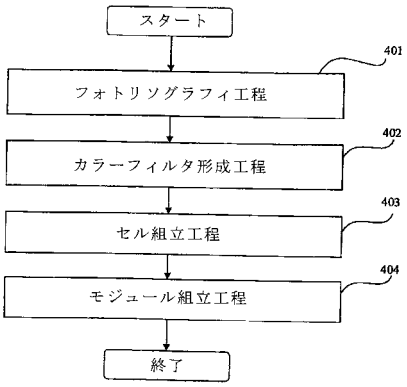
【図１６】



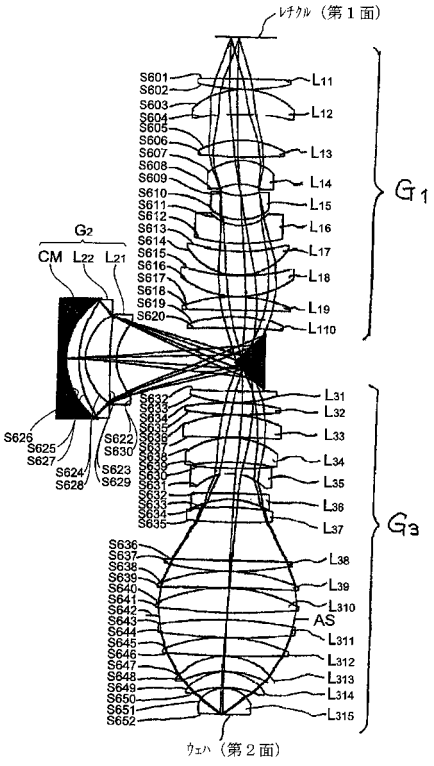
【図１７】



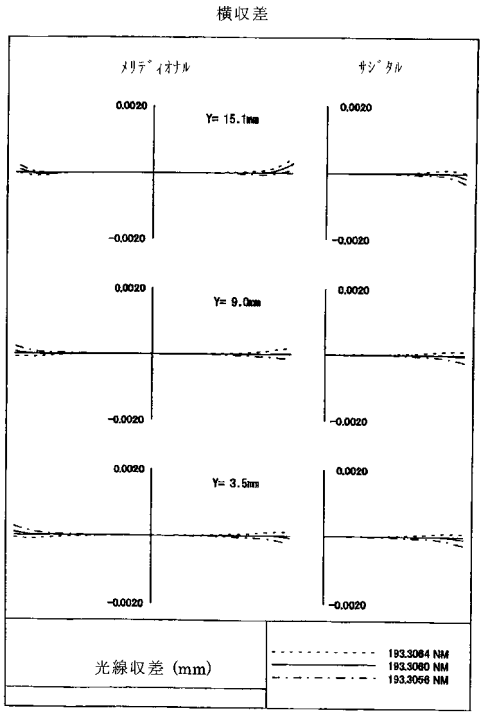
【図１８】



【図１９】



【図２０】



フロントページの続き

(72)発明者 ウィリアムソン, ディヴィッド, エム.
英国, ＷＲ１４ ４ＤＷ ウォーセスターシャイアー, ウェスト マルヴァーン, ハーコート ロード, ヴァートン コテージ

Ｆターム(参考) 2H087 KA21 LA01 NA02 PA15 PA17 PB20 QA03 QA07 QA19 QA22
QA25 QA37 QA42 QA45 RA05 RA12 RA13 RA32 TA03 TA06
UA09
5F046 BA04 CB01 CB12 CB19 CB25