

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5253081号
(P5253081)

(45) 発行日 平成25年7月31日 (2013. 7. 31)

(24) 登録日 平成25年4月26日 (2013. 4. 26)

(51) Int.Cl.

F I

G O 2 B 13/14 (2006.01)

G O 2 B 13/14

H O 1 L 21/027 (2006.01)

H O 1 L 21/30 5 1 5 D

G O 3 F 7/20 (2006.01)

G O 3 F 7/20 5 2 1

G O 2 B 13/24 (2006.01)

G O 2 B 13/24

請求項の数 15 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2008-265715 (P2008-265715)
 (22) 出願日 平成20年10月14日 (2008. 10. 14)
 (65) 公開番号 特開2010-96866 (P2010-96866A)
 (43) 公開日 平成22年4月30日 (2010. 4. 30)
 審査請求日 平成23年10月14日 (2011. 10. 14)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100076428
 弁理士 大塚 康德
 (74) 代理人 100112508
 弁理士 高柳 司郎
 (74) 代理人 100115071
 弁理士 大塚 康弘
 (74) 代理人 100116894
 弁理士 木村 秀二
 (74) 代理人 100130409
 弁理士 下山 治
 (74) 代理人 100134175
 弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影光学系、露光装置及びデバイスの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体面のパターンを像面に投影する投影光学系であって、
 紫外線の照射により屈折率が不可逆的に上昇する第1のレンズと、
 前記紫外線の照射により屈折率が不可逆的に低下する第2のレンズと、
 を有し、

前記物体面と前記投影光学系の光軸との交点である第1の交点と、前記像面と前記投影光学系の光軸との交点である第2の交点との間の距離を $T T$ とした場合に、

前記第1のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第1の中心位置と、前記第1の交点及び前記第2の交点のうち前記第1の中心位置に近い交点の交点位置との間の距離 $D 1$ は、

$$D 1 \quad T T / 8$$

を満たし、

前記第2のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第2の中心位置と、前記交点位置との間の距離 $D 2$ は、

$$D 2 \quad T T / 8$$

を満たすことを特徴とする投影光学系。

【請求項 2】

物体面のパターンを像面に投影する投影光学系であって、
 紫外線の照射により屈折率が不可逆的に上昇する第1のレンズと、

10

20

前記紫外線の照射により屈折率が不可逆的に低下する第 2 のレンズと、
を有し、

前記物体面と前記像面との間に少なくとも 1 つの中間像を形成し、

前記物体面と前記投影光学系の光軸との交点である第 1 の交点と、前記像面と前記投影光学系の光軸との交点である第 2 の交点との間の距離を $T T$ とした場合に、

前記第 1 のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第 1 の中心位置と、前記第 1 の中心位置と最短となる中間像位置との間の距離 $D C 1$ は、

$$D C 1 = T T / 6$$

を満たし、

前記第 2 のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第 2 の中心位置と、前記中間像位置との距離 $D C 2$ は、

$$D C 2 = T T / 6$$

を満たすことを特徴とする投影光学系。

【請求項 3】

物体面のパターンを像面に投影する投影光学系であって、

紫外線の照射により屈折率が不可逆的に上昇する第 1 のレンズと、

前記紫外線の照射により屈折率が不可逆的に低下する第 2 のレンズと、

を有し、

前記物体面と前記像面との間に少なくとも 1 つの瞳を有し、

前記物体面と前記投影光学系の光軸との交点である第 1 の交点と、前記像面と前記投影光学系の光軸との交点である第 2 の交点との間の距離を $T T$ とした場合に、

前記第 1 のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第 1 の中心位置と、前記第 1 の中心位置と最短となる瞳位置との間の距離 $D P 1$ は、

$$D P 1 = T T / 8$$

を満たし、

前記第 2 のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第 2 の中心位置と、前記瞳位置との距離 $D P 2$ は、

$$D P 2 = T T / 8$$

を満たすことを特徴とする投影光学系。

【請求項 4】

物体面のパターンを像面に投影する投影光学系であって、

紫外線の照射により屈折率が不可逆的に上昇する第 1 のレンズと、

前記紫外線の照射により屈折率が不可逆的に低下する第 2 のレンズと、

を有し、

前記物体面と前記投影光学系の光軸との交点である第 1 の交点と、前記像面と前記投影光学系の光軸との交点である第 2 の交点との間の距離を $T T$ とした場合に、

前記第 1 のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第 1 の中心位置と、前記第 1 の中心位置と最短となる前記投影光学系のウエスト位置との間の距離 $D W 1$ は、

$$D W 1 = T T / 1.1$$

を満たし、

前記第 2 のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第 2 の中心位置と、前記ウエスト位置との間の距離 $D W 2$ は、

$$D W 2 = T T / 1.1$$

を満たし、

前記ウエスト位置は、前記投影光学系を構成する複数のレンズのレンズ面のうち最軸外主光線と前記投影光学系の光軸との距離が最大となるレンズ面と前記投影光学系の瞳との間において、有効領域が最小となるレンズ面の前記投影光学系の光軸との交点の位置であることを特徴とする投影光学系。

【請求項 5】

物体面のパターンを像面に投影する投影光学系であって、
紫外線の照射により屈折率が不可逆的に上昇する第１のレンズと、
前記紫外線の照射により屈折率が不可逆的に低下する第２のレンズと、
を有し、
前記第１のレンズと前記第２のレンズとが接合されていることを特徴とする投影光学系

【請求項６】

前記第２のレンズは、前記第１のレンズの主成分を含む硝材で構成されることを特徴とする請求項１乃至５のうちいずれか１項に記載の投影光学系。

【請求項７】

前記第１のレンズと前記第２のレンズとが隣接していることを特徴とする請求項１乃至４のうちいずれか１項に記載の投影光学系。

【請求項８】

前記第１のレンズと前記第２のレンズとが接合されていることを特徴とする請求項７に記載の投影光学系。

【請求項９】

前記第１のレンズ及び前記第２のレンズは、合成石英ガラスで構成されていることを特徴とする請求項１乃至８のうちいずれか１項に記載の投影光学系。

【請求項１０】

前記第１のレンズ及び前記第２のレンズの少なくとも一方はＯＨ基を含み、
前記第１のレンズと前記第２のレンズとは、互いに異なるＯＨ基濃度を有することを特徴とする請求項１乃至９のうちいずれか１項に記載の投影光学系。

【請求項１１】

前記第１のレンズ及び前記第２のレンズの少なくとも一方は水素分子を含み、
前記第１のレンズと前記第２のレンズとは、互いに異なる水素分子濃度を有することを特徴とする請求項１乃至９のうちいずれか１項に記載の投影光学系。

【請求項１２】

前記第１のレンズと前記第２のレンズとは、オプティカルコンタクトによって接合されていることを特徴とする請求項５又は８に記載の投影光学系。

【請求項１３】

前記第１のレンズと前記第２のレンズとは、接着剤によって接合されていることを特徴とする請求項５又は８に記載の投影光学系。

【請求項１４】

光源からの光でレチクルを照明する照明光学系と、
前記レチクルのパターンを基板に投影する請求項１乃至１３のうちいずれか１項に記載の投影光学系と、
を有することを特徴とする露光装置。

【請求項１５】

請求項１４に記載の露光装置を用いて基板を露光するステップと、
露光された前記基板を現像するステップと、
を有することを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、投影光学系、露光装置及びデバイスの製造方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

フォトリソグラフィ（焼き付け）技術を用いて半導体メモリや論理回路などの微細な半導体デバイスを製造する際に、投影露光装置が従来から使用されている。投影露光装置は、レチクル（マスク）に描画された回路パターンを投影光学系によってウエハ等に投影

10

20

30

40

50

して回路パターンを転写する。

【0003】

投影露光装置で転写できる最小の寸法（解像度）は、露光光の波長に比例し、投影光学系の開口数（NA）に反比例する。従って、半導体デバイスの微細化への要求に伴い露光光の短波長化が進んでいる。例えば、現在では、KrFエキシマレーザー（波長約248nm）やArFエキシマレーザー（波長約193nm）などの紫外線が露光光として用いられている。

【0004】

このような露光装置の投影光学系や照明光学系の光学材料（硝材）には、真空紫外領域においても高い透過率を有する合成石英ガラスが使用される。かかる合成石英ガラスに要求される光学性能には、露光光の波長に対する透過率だけではなく、屈折率均質性、複屈折、耐久性などがある。特に、露光装置の露光性能を長期にわたって保証するためには、屈折率均質性を悪化させないことが重要になる。

【0005】

一方、合成石英ガラスには、紫外線を長期間照射することにより、コンパクションやレアファクションを起因とする屈折率の変化が生じることが知られている。ここで、コンパクションとは、紫外線の照射により被照射領域の光学ガラスの密度が増加し、かかる密度変化に伴い光学ガラス（被照射領域）の屈折率が上昇する現象である。また、レアファクションとは、紫外線の照射により被照射領域の光学ガラスの密度が減少し、かかる密度変化に伴い光学ガラス（被照射領域）の屈折率が低下する現象である。

【0006】

コンパクションやレアファクションに起因する屈折率の変化に対する技術については従来から提案されている（特許文献1乃至3及び非特許文献1参照）。特許文献1は、合成石英ガラスを製造する際に、合成石英ガラスに含ませる水素分子濃度やOH基濃度を制御してコンパクション及びレアファクションを抑制する技術を開示している。特許文献2は、合成石英ガラスを硝材とするレンズと、蛍石を硝材とするレンズとを組み合わせることで投影光学系を構成することで、コンパクションによる結像性能への影響を低減する技術を開示している。特許文献3は、実際に照射される単位面積当たりの光エネルギーよりも大きい光エネルギーを予め照射した合成石英ガラスで投影光学系を構成することで、コンパクションによる結像性能への影響を低減する技術を開示している。非特許文献1は、コンパクションが優位な材料と、レアファクションが優位な材料とを組み合わせることで光学系を構成する技術を開示している。

【特許文献1】特開2008-63181号公報

【特許文献2】特開2005-114881号公報

【特許文献3】特開2006-73687号公報

【非特許文献1】Verification of compaction and rarefaction models for fused silica with 40 billion pulses of 193-nm excimer laser exposure and their effects on projection lens imaging performance, Proc. SPIE Optical Microlithography XVII Vol. 5377, 2004

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献1に開示された技術では、コンパクションの発生を低減する合成石英ガラスを製造することはできるものの、残存してしまうコンパクションの影響により、露光装置の露光性能を長期にわたって保証することは困難である。

【0008】

また、特許文献2に開示された技術は、コンパクションが発生しない蛍石を硝材とする

レンズを適切に配置することでコンパクションの結像性能への影響を低減することができる。しかしながら、蛍石は、露光光の偏光状態に応じて補正が困難な収差を発生させる真性複屈折を含んでいるため、投影光学系を設計する際の設計難度が向上してしまう。更に、蛍石は高価であるため、投影光学系の製造コストを上げてしまうという問題がある。

【0009】

また、特許文献3に開示された技術では、投影光学系の光学素子(レンズ)としての形状に加工する前に、光エネルギーを長時間照射しなければならないため、投影光学系の製造時間が長期化し、結果的に製造コストを上げてしまうことになる。

【0010】

また、非特許文献1には、コンパクションが優位な材料と、レアファクションが優位な材料とをどのように組み合わせどこに配置するのかなど具体的な記載がない。

10

【0011】

このように、従来技術では、製造コストを抑えながら、コンパクションやレアファクションに起因する結像性能の劣化を低減して、露光装置の露光性能を長期にわたって保証する投影光学系を提供することは実質的に困難である。

【0012】

本発明は、このような従来技術の課題に鑑みて、製造コストを抑えながら、コンパクションやレアファクションに起因する結像性能の劣化を低減することができる投影光学系を提供することを例示的目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0013】

上記目的を達成するために、本発明の第1の側面としての投影光学系は、物体面のパターンを像面に投影する投影光学系であって、紫外線の照射により屈折率が不可逆的に上昇する第1のレンズと、前記紫外線の照射により屈折率が不可逆的に低下する第2のレンズと、を有し、前記物体面と前記投影光学系の光軸との交点である第1の交点と、前記像面と前記投影光学系の光軸との交点である第2の交点との間の距離を TT とした場合に、前記第1のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第1の中心位置と、前記第1の交点及び前記第2の交点のうち前記第1の中心位置に近い交点の交点位置との間の距離 $D1$ は、 $D1 \geq TT/8$ を満たし、前記第2のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第2の中心位置と、前記交点位置との間の距離 $D2$ は、 $D2 \geq TT/8$ を満たすことを特徴とする。

30

【0014】

本発明の第2の側面としての投影光学系は、物体面のパターンを像面に投影する投影光学系であって、紫外線の照射により屈折率が不可逆的に上昇する第1のレンズと、前記紫外線の照射により屈折率が不可逆的に低下する第2のレンズと、を有し、前記物体面と前記像面との間に少なくとも1つの中間像を形成し、前記物体面と前記投影光学系の光軸との交点である第1の交点と、前記像面と前記投影光学系の光軸との交点である第2の交点との間の距離を TT とした場合に、前記第1のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第1の中心位置と、前記第1の中心位置と最短となる中間像位置との間の距離 $DC1$ は、 $DC1 \geq TT/6$ を満たし、前記第2のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第2の中心位置と、前記中間像位置との距離 $DC2$ は、 $DC2 \geq TT/6$ を満たすことを特徴とする。

40

【0015】

本発明の第3の側面としての投影光学系は、物体面のパターンを像面に投影する投影光学系であって、紫外線の照射により屈折率が不可逆的に上昇する第1のレンズと、前記紫外線の照射により屈折率が不可逆的に低下する第2のレンズと、を有し、前記物体面と前記像面との間に少なくとも1つの瞳を有し、前記物体面と前記投影光学系の光軸との交点である第1の交点と、前記像面と前記投影光学系の光軸との交点である第2の交点との間の距離を TT とした場合に、前記第1のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第1の中心位置と、前記第1の中心位置と最短となる瞳位置との間の距離 D

50

P 1 は、D P 1 $TT/8$ を満たし、前記第 2 のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第 2 の中心位置と、前記瞳位置との距離 D P 2 は、D P 2 $TT/8$ を満たすことを特徴とする。

【0016】

本発明の第 4 の側面としての投影光学系は、物体面のパターンを像面に投影する投影光学系であって、紫外線の照射により屈折率が不可逆的に上昇する第 1 のレンズと、前記紫外線の照射により屈折率が不可逆的に低下する第 2 のレンズと、を有し、前記物体面と前記投影光学系の光軸との交点である第 1 の交点と、前記像面と前記投影光学系の光軸との交点である第 2 の交点との間の距離を TT とした場合に、前記第 1 のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第 1 の中心位置と、前記第 1 の中心位置と最短となる前記投影光学系のウエスト位置との間の距離 $DW1$ は、 $DW1$ $TT/11$ を満たし、前記第 2 のレンズの前記投影光学系の光軸における厚さの中心位置である第 2 の中心位置と、前記ウエスト位置との間の距離 $DW2$ は、 $DW2$ $TT/11$ を満たし、前記ウエスト位置は、前記投影光学系を構成する複数のレンズのレンズ面のうち最軸外主光線と前記投影光学系の光軸との距離が最大となるレンズ面と前記投影光学系の瞳との間において、有効領域が最小となるレンズ面の前記投影光学系の光軸との交点の位置であることを特徴とする。

10

【0017】

本発明の第 5 の側面としての投影光学系は、物体面のパターンを像面に投影する投影光学系であって、紫外線の照射により屈折率が不可逆的に上昇する第 1 のレンズと、前記紫外線の照射により屈折率が不可逆的に低下する第 2 のレンズと、を有し、前記第 1 のレンズと前記第 2 のレンズとが接合されていることを特徴とする。

20

【0018】

本発明の更なる目的又はその他の側面は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施形態によって明らかにされるであろう。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、例えば、製造コストを抑えながら、コンパクションやレアファクションに起因する結像性能の劣化を低減する投影光学系を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

30

【0020】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施の形態について説明する。なお、各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【0021】

露光装置の投影光学系や照明光学系などの硝材として使用される合成石英ガラスにおいて、紫外線（露光光）の照射による不可逆的で局所的な屈折率の変化は、特許文献 1 に記載されているように、照射される紫外線のエネルギー密度と関連している。例えば、照射される紫外線のエネルギー密度が高ければ高いほど、屈折率の変化も大きくなる。

【0022】

本実施形態では、長期的にコンパクションの性質を有する（即ち、屈折率が不可逆的に上昇する）第 1 のレンズと、長期的にレアファクションの性質を有する（即ち、屈折率が不可逆的に低下する）第 2 のレンズとを適切に配置して投影光学系を構成する。これにより、紫外線の照射による屈折率の変化（コンパクション及びレアファクション）に起因する結像性能の劣化を低減することができ、結像性能の長期安定性を得ることができる。

40

【0023】

また、非特許文献 1 に記載されているように、紫外線の照射による不可逆的で局所的な屈折率の変化は、照射される紫外線の累積照射エネルギー量にも依存している。非特許文献 1 には、紫外線を照射した初期段階ではコンパクションの性質を有していても、累積照射エネルギーの増加に伴ってレアファクションの性質に移行するガラスが報告されている。このようなガラスは、初期段階でコンパクションの性質を有していても長期的にはレア

50

ファクシジョンの性質が現れるため、本実施形態では、レアファクシジョンの性質を有するものとする。同様に、初期段階でレアファクシジョンの性質を有していても長期的にはコンパクトシジョンの性質が現れるガラスは、本実施形態では、コンパクトシジョンの性質を有するものとする。

【0024】

KrFエキシマレーザーやArFエキシマレーザーを露光光として用いる露光装置の投影光学系の硝材には、上述したように、合成石英ガラスが主として使用されている。特許文献1に記載されているように、合成石英ガラスにおける紫外線の照射による屈折率の変化は、合成石英ガラスが含むOH基濃度や水素分子濃度と密接に関わっている。従って、OH基濃度や水素分子濃度によって、エネルギー密度や累積照射エネルギー量に対する屈折率の変化の特性（コンパクトシジョンであるかレアファクシジョンであるか）を分類することが可能である。

10

【0025】

長期的にコンパクトシジョンの性質を有する第1のレンズと、長期的にレアファクシジョンの性質を有する第2のレンズとを適切に配置して投影光学系を構成するためには、OH基濃度、又は、水素分子濃度が互いに異なる合成石英ガラスが必要となる。なお、硝材は、一般に、主成分によって分類される。従って、OH基や水素分子のような不純物の含有量が異なっても（即ち、OH基濃度や水素分子濃度が異なっても）、主成分が同じであれば、硝材の種類として、合成石英ガラスと分類される。このように、不純物の含有量に関わらず、主成分が同じ元素で構成されている硝材を、本実施形態では、同じ主成分を有する硝材と称する。

20

【0026】

また、紫外線の照射による屈折率の変化に起因する結像性能の劣化を効果的に低減するためには、長期的にコンパクトシジョンの性質を有する第1のレンズと長期的にレアファクシジョンの性質を有する第2のレンズとが近接又は隣接していることが好ましい。換言すれば、OH基濃度、又は、水素分子濃度の異なる硝材で構成されたレンズが近接又は隣接していることが好ましい。これは、投影光学系を構成する複数のレンズでは、露光光（紫外線）の照射によるレンズ内の照度分布がレンズごとに異なるが、相互の配置が近いレンズであればレンズ内の照度分布が類似しているからである。

【0027】

紫外線の照射による不可逆的な屈折率の変化は、露光光の被照射領域の近傍で局所的に発生する。従って、露光光（紫外線）の照射による不可逆的な屈折率の変化のレンズ内分布は、レンズ内の照度分布に依存する。そこで、紫外線の照射による屈折率の変化が相反する硝材（合成石英ガラス）で構成されたレンズを、レンズ内の照度分布が比較的類似する位置に配置する。これにより、屈折率の変化に対する光路長変化を低減することが可能となり、結像性能の劣化を効果的に低減することができる。

30

【0028】

また、コンパクトシジョン及びレアファクシジョンに起因する結像性能の劣化を、投影光学系内の光学部材の駆動、ウエハの駆動、露光光の波長の変更などによって補正することも考えられる。但し、この場合、コンパクトシジョン及びレアファクシジョンに起因する結像性能の劣化を補正しきれず、結像性能の劣化が残存してしまう。

40

【0029】

コンパクトシジョン及びレアファクシジョンによる屈折率の変化のレンズ内分布はレンズ内の照度分布に依存し、レンズ内の照度分布はレチクルのパターンや照明条件に応じて様々な形状に変化する。従って、屈折率の変化のレンズ内分布は特異な形状になることが多く、結像性能の劣化も特性な性質になってしまうため、投影光学系内の光学部材の駆動、ウエハの駆動、露光光の波長の変更などによって結像性能の劣化を補正することが困難となる。

【0030】

また、紫外線の照射による不可逆的な屈折率の変化は、上述したように、エネルギー密

50

度と相関する。従って、長期的にコンパクションの性質を有する第1のレンズ及び長期的にレアファクションの性質を有する第2のレンズは、投影光学系においてエネルギー密度が高い位置に配置することが好ましい。これは、エネルギー密度が高い位置では、露光光（紫外線）の照射による不可逆的な屈折率の変化が大きいためである。

【0031】

例えば、物体面（レチクル面）の近傍や像面（ウエハ面）の近傍には露光光が集光するために、物体面の近傍や像面の近傍は比較的高いエネルギー密度になる。また、実像の結像（実像の中間像）を形成する投影光学系では、中間像の近傍に露光光が集光するため、中間像の近傍は比較的高いエネルギー密度になる。また、投影光学系の瞳の近傍は、瞳結像による露光光の集光が発生するため、比較的高いエネルギー密度になる。また、投影光学系においては、後述するウエスト位置での有効径が小さいため、ウエスト位置の近傍は比較的高いエネルギー密度になる。

【0032】

以下、本発明の一側面としての投影光学系について詳細に説明する。

【0033】

図1は、投影光学系100の構成の一例を示す概略断面図である。投影光学系100は、物体面（レチクル面）OPのパターンを像面（ウエハ面）IPに投影する光学系であって、複数のレンズや光学部材で構成される。

【0034】

まず、図1を参照して、物体面OPの近傍に、紫外線の照射による屈折率の変化が相反する硝材（合成石英ガラス）で構成されたレンズ（コンパクションの性質を有する第1のレンズ及びレアファクションの性質を有する第2のレンズ）を配置する場合を説明する。

【0035】

投影光学系の光軸OAにおけるレンズの厚さの中心位置P1と、物体面OPと光軸OAとの交点（第1の交点）の位置P2との間の距離DFが以下の数式1を満たす範囲では、物体面OPに向かって集光する露光光の影響によりエネルギー密度が比較的高くなる。なお、TTは、物体面OPと像面IPとの間の距離、即ち、物体面OPと光軸OAとの交点の位置（第1の交点位置）P2と像面IPと光軸OAとの交点（第2の交点）の位置（第2の交点位置）P3との間の距離である。

【0036】

$$DF \leq TT / 8 \quad \dots (数式1)$$

従って、数式1を満たす範囲のレンズは、コンパクションやレアファクションに起因する結像性能の劣化への影響が比較的大きい。そこで、数式1を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも1つを長期的にコンパクションの性質を有する第1のレンズとする。更に、数式1を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも1つを長期的にレアファクションの性質を有する第2のレンズとする。これにより、コンパクションによる結像性能への影響が、レアファクションによる結像性能への影響によって打ち消され、コンパクション及びレアファクションに起因する結像性能の劣化を低減することができる。

【0037】

更に、レンズの厚さの中心位置P1と、物体面OPと光軸OAとの交点の位置P2との間の距離DFが以下の数式2を満たす範囲では、物体面OPに向かって集光する露光光の影響が更に強くなるため、エネルギー密度が更に高くなる。

【0038】

$$DF \leq TT / 12 \quad \dots (数式2)$$

従って、数式2を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも1つを長期的にコンパクションの性質を有する第1のレンズとし、少なくとも1つを長期的にレアファクションの性質を有する第2のレンズとすることがより好ましい。

【0039】

次に、図1を参照して、像面IPの近傍に、紫外線の照射による屈折率の変化が相反する硝材（合成石英ガラス）で構成されたレンズを配置する場合を説明する。

【 0 0 4 0 】

光学系の光軸 O A におけるレンズの厚さの中心位置 P 1 と、像面 I P と光軸 O A との交点の位置 P 3 との間の距離 D B が以下の数式 3 を満たす範囲では、像面 I P に向かって集光する露光光の影響によりエネルギー密度が比較的高くなる。

【 0 0 4 1 】

$$D B \quad T T / 8 \quad \cdots \quad (\text{数式 3})$$

従って、数式 3 を満たす範囲のレンズは、コンパクションやレアファクションに起因する結像性能の劣化への影響が比較的大きい。そこで、数式 3 を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも 1 つを長期的にコンパクションの性質を有する第 1 のレンズとする。更に、数式 3 を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも 1 つを長期的にレアファクションの性質を有する第 2 のレンズとする。これにより、コンパクションによる結像性能への影響が、レアファクションによる結像性能への影響によって打ち消され、コンパクション及びレアファクションに起因する結像性能の劣化を低減することができる。

10

【 0 0 4 2 】

更に、レンズの厚さの中心位置 P 1 と、像面 I P と光軸 O A との交点の位置 P 3 との間の距離 D F が以下の数式 4 を満たす範囲では、像面 I P に向かって集光する露光光の影響が更に強くなるため、エネルギー密度が更に高くなる。

【 0 0 4 3 】

$$D B \quad T T / 12 \quad \cdots \quad (\text{数式 4})$$

従って、数式 4 を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも 1 つを長期的にコンパクションの性質を有する第 1 のレンズとし、少なくとも 1 つを長期的にレアファクションの性質を有する第 2 のレンズとすることがより好ましい。

20

【 0 0 4 4 】

なお、図 1 に示す投影光学系 1 0 0 は模式的であり、本発明は、光軸 O A が 1 本の直線で表される共軸光学系に限定されるものではない。例えば、本発明は、光軸 O A が折れ曲がる偏芯光学系にも適用することができる。

【 0 0 4 5 】

次に、図 2 を参照して、瞳位置 P 4 の近傍に、紫外線の照射による屈折率の変化が相反する硝材（合成石英ガラス）で構成されたレンズを配置する場合を説明する。なお、瞳位置 P 4 とは、物体面 O P の有効領域内の光軸 O A から最も離れた位置から射出して像面 I P に光軸 O A と平行に入射する光線 L 1 と、光軸 O A との交点の位置である。また、本実施形態では、光線 L 1 を最軸外主光線と称する。ここで、図 2 は、投影光学系 1 0 0 の構成の一例を示す概略断面図である。

30

【 0 0 4 6 】

投影光学系の光軸 O A におけるレンズの厚さの中心位置 P 1 と、瞳位置 P 4 との間の距離 D P が以下の数式 5 を満たす範囲では、瞳に向かって集光する露光光の影響によりエネルギー密度が比較的高くなる。

【 0 0 4 7 】

$$D P \quad T T / 8 \quad \cdots \quad (\text{数式 5})$$

従って、数式 5 を満たす範囲のレンズは、コンパクションやレアファクションに起因する結像性能の劣化への影響が比較的大きい。そこで、数式 5 を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも 1 つを長期的にコンパクションの性質を有する第 1 のレンズとする。更に、数式 5 を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも 1 つを長期的にレアファクションの性質を有する第 2 のレンズとする。換言すれば、第 1 のレンズの光軸 O A における厚さの中心位置と、かかる中心位置と最短となる瞳位置との間の距離 D P 1、第 2 のレンズの光軸 O A における厚さの中心位置と、かかる中心位置と瞳位置との間の距離 D P 2 が数式 5 を満たす。即ち、数式 5 において、D P を、D P 1、又は、D P 2 に置換する。これにより、コンパクションによる結像性能への影響が、レアファクションによる結像性能への影響によって打ち消され、コンパクション及びレアファクションに起因する結像性能の劣化を低減することができる。

40

50

【 0 0 4 8 】

更に、レンズの厚さの中心位置 P 1 と、瞳位置 P 4 との間の距離 D P が以下の数式 6 を満たす範囲では、瞳に向かって集光する露光光の影響が更に強くなるため、エネルギー密度が更に高くなる。

【 0 0 4 9 】

$$D P \quad T T / 1 2 \quad \cdots \text{ (数式 6)}$$

従って、数式 6 を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも 1 つを長期的にコンパクションの性質を有する第 1 のレンズとし、少なくとも 1 つを長期的にレアファクションの性質を有する第 2 のレンズとすることがより好ましい。

【 0 0 5 0 】

なお、図 2 に示す投影光学系 1 0 0 は模式的であり、本発明は、瞳結像が 1 つだけ存在する光学系に限定されるものではない。例えば、本発明は、瞳結像が複数存在する光学系にも適用することができる。

【 0 0 5 1 】

次に、図 3 を参照して、実像の中間像位置 P 5 の近傍に、紫外線の照射による屈折率の変化が相反する硝材（合成石英ガラス）で構成されたレンズを配置する場合を説明する。図 3 に示す投影光学系 1 0 0 は、実像の中間像を形成する。実像の中間像とは、物体面 O P と像面 I P との間において、物体面 O P 及び像面 I P 以外での実像の結像を意味する。また、中間像位置 P 5 は、実像の中間像の近軸結像位置である。ここで、図 3 は、投影光学系 1 0 0 の構成の一例を示す概略断面図である。

【 0 0 5 2 】

投影光学系の光軸 O A におけるレンズの厚さの中心位置 P 1 と、中間像位置 P 5 との間の距離 D C が以下の数式 7 を満たす範囲では、実像の中間像に向かって集光する露光光の影響によりエネルギー密度が比較的高くなる。

【 0 0 5 3 】

$$D C \quad T T / 6 \quad \cdots \text{ (数式 7)}$$

従って、数式 7 を満たす範囲のレンズは、コンパクションやレアファクションに起因する結像性能の劣化への影響が比較的大きい。そこで、数式 7 を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも 1 つを長期的にコンパクションの性質を有する第 1 のレンズとする。更に、数式 7 を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも 1 つを長期的にレアファクションの性質を有する第 2 のレンズとする。換言すれば、第 1 のレンズの光軸 O A における厚さの中心位置と、かかる中心位置と最短となる中間像位置との間の距離 D C 1、第 2 のレンズの光軸 O A における厚さの中心位置と、かかる中心位置と中間像位置との間の距離 D C 2 が数式 7 を満たす。即ち、数式 7 において、D C を、D C 1、又は、D C 2 に置換する。これにより、コンパクションによる結像性能への影響が、レアファクションによる結像性能への影響によって打ち消され、コンパクション及びレアファクションに起因する結像性能の劣化を低減することができる。

【 0 0 5 4 】

更に、レンズの厚さの中心位置 P 1 と、中間像位置 P 5 との間の距離 D C が以下の数式 8 を満たす範囲では、実像の中間像に向かって集光する露光光の影響が更に強くなるため、エネルギー密度が更に高くなる。

【 0 0 5 5 】

$$D C \quad T T / 7 \quad \cdots \text{ (数式 8)}$$

従って、数式 8 を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも 1 つを長期的にコンパクションの性質を有する第 1 のレンズとし、少なくとも 1 つを長期的にレアファクションの性質を有する第 2 のレンズとすることがより好ましい。

【 0 0 5 6 】

なお、図 3 に示す投影光学系 1 0 0 は模式的であり、本発明は、実像の中間像を 1 つだけ形成する投影光学系に限定されるものではない。例えば、本発明は、複数の実像の中間像を形成する投影光学系にも適用することができる。

【 0 0 5 7 】

次に、図 4 を参照して、ウエスト位置 P 6 の近傍に、紫外線の照射による屈折率の変化が相反する硝材（合成石英ガラス）で構成されたレンズを配置する場合を説明する。ウエスト位置 P 6 とは、投影光学系 1 0 0 が有する光学面のうち最軸外主光線 L 1 と光軸 O A との距離が最大となる光学面 S L と瞳位置 P 4 との間において、光学面上の有効領域が最小となる光学面 S S の光軸 O A との交点の位置である。また、光学面とは、投影光学系 1 0 0 において、物体面 O P からの露光光が照射されるレンズの面（レンズ面）である。なお、図 4 において、E F は、光軸 O A から最も離れた有効領域の位置を模式的に表している。ここで、図 4 は、投影光学系 1 0 0 の構成の一例を示す概略断面図である。

【 0 0 5 8 】

投影光学系の光軸 O A におけるレンズの厚さの中心位置 P 1 と、ウエスト位置 P 6 との間の距離 D W が以下の数式 9 を満たす範囲では、有効領域が小さく、エネルギー密度が比較的高くなる。

【 0 0 5 9 】

$$D W \quad T T / 1 1 \quad \cdots \quad (\text{数式 9})$$

従って、数式 9 を満たす範囲のレンズは、コンパクションやレアファクションに起因する結像性能の劣化への影響が比較的大きい。そこで、数式 9 を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも 1 つを長期的にコンパクションの性質を有する第 1 のレンズとする。更に、数式 9 を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも 1 つを長期的にレアファクションの性質を有する第 2 のレンズとする。換言すれば、第 1 のレンズの光軸 O A における厚さの中心位置と、かかる中心位置と最短となるウエスト位置との間の距離 D W 1、第 2 のレンズの光軸 O A における厚さの中心位置と、ウエスト位置との間の距離 D W 2 が数式 9 を満たす。即ち、数式 9 において、D W を、D W 1、又は、D W 2 に置換する。これにより、コンパクションによる結像性能への影響が、レアファクションによる結像性能への影響によって打ち消され、コンパクション及びレアファクションに起因する結像性能の劣化を低減することができる。

【 0 0 6 0 】

更に、レンズの厚さの中心位置 P 1 と、ウエスト位置 P 6 との間の距離 D W が以下の数式 1 0 を満たす範囲では、有効領域が更に小さくなるため、エネルギー密度が更に高くなる。

【 0 0 6 1 】

$$D W \quad T T / 2 2 \quad \cdots \quad (\text{数式 1 0})$$

従って、数式 1 0 を満たす範囲のレンズのうち、少なくとも 1 つを長期的にコンパクションの性質を有する第 1 のレンズとし、少なくとも 1 つを長期的にレアファクションの性質を有する第 2 のレンズとすることがより好ましい。

【 0 0 6 2 】

なお、図 4 に示す投影光学系 1 0 0 は模式的であり、本発明は、凹レンズ及び凸レンズで構成される投影光学系に限定されるものではない。

【 0 0 6 3 】

また、投影光学系 1 0 0 の物体面 O P と光軸 O A との交点の位置 P 2 と、像面 I P と光軸 O A との交点の位置 P 3 とは、光学的に共役な位置である。そこで、これらの位置を結像共役位置と称すれば、物体面 O P の近傍、又は、像面 I P の近傍に、紫外線の照射による屈折率の変化が相反する硝材（合成石英ガラス）で構成されたレンズを配置する場合について、以下のように換言することができる。

【 0 0 6 4 】

第 1 のレンズの光軸 O A における厚さの中心位置（第 1 の中心位置）と、かかる中心位置と最短となる結像共役位置との間の距離を D 1 とする。同様に、最短となる結像共役位置と第 2 のレンズの光軸 O A における厚さの中心位置（第 2 の中心位置）との間の距離を D 2 とする。換言すれば、物体面 O P と光軸 O A との交点及び像面 I P と光軸 O A との交点の交点のうち、第 1 のレンズの光軸 O A における厚さの中心位置に近い交点の交点位置

10

20

30

40

50

との間を距離 D_1 とする。また、かかる交点位置と第 2 のレンズの光軸 $O A$ における厚さの中心位置との間を距離 D_2 とする。この場合、以下の数式 1 1 及び 1 2 を満たすように、投影光学系 1 0 0 を構成する。

【 0 0 6 5 】

$$D_1 \quad T T / 8 \quad \cdots (\text{数式 } 1 \ 1)$$

$$D_2 \quad T T / 8 \quad \cdots (\text{数式 } 1 \ 2)$$

なお、以下の数式 1 3 及び 1 4 を満たすように、投影光学系 1 0 0 を構成することがより好ましい。

【 0 0 6 6 】

$$D_1 \quad T T / 1 \ 2 \quad \cdots (\text{数式 } 1 \ 3)$$

$$D_2 \quad T T / 1 \ 2 \quad \cdots (\text{数式 } 1 \ 4)$$

これにより、コンパクションによる結像性能への影響が、レアファクションによる結像性能への影響によって打ち消され、コンパクション及びレアファクションに起因する結像性能の劣化を低減することができる。

【 0 0 6 7 】

また、投影光学系 1 0 0 を構成する複数のレンズのそれぞれにおいて、レンズ内の照度分布は、レンズが近接しているほど類似している。従って、コンパクションの性質を有する第 1 のレンズと、レアファクションの性質を有する第 2 のレンズとを接合することで、コンパクション及びレアファクションに起因する結像性能の劣化を更に低減することができる。

【 0 0 6 8 】

図 5 は、投影光学系 1 0 0 を構成するレンズ 1 1 0 の一例を示す概略断面図である。レンズ 1 1 0 は、コンパクションの性質を有する第 1 のレンズ 1 1 2 とレアファクションの性質を有する第 2 のレンズ 1 1 4 とが、接合面 $C S$ を介して、接合されている。これにより、第 1 のレンズ 1 1 2 における照度分布と第 2 のレンズ 1 1 4 における照度分布との類似性が、投影光学系 1 0 0 を構成する他のレンズにおける照度分布よりも高くなる。従って、コンパクションによる局所的な屈折率の変化の分布と、レアファクションによる局所的な屈折率の変化との類似性が高まり、コンパクションの影響を、レアファクションの影響によって、より効果的に打ち消すことができる。換言すれば、コンパクション及びレアファクションに起因する結像性能の劣化を効果的に低減することができる。

【 0 0 6 9 】

なお、図 5 に示す投影光学系 1 0 0 を構成するレンズ 1 1 0 は模式的であり、第 1 のレンズ 1 1 2 及び第 2 のレンズ 1 1 4 は平行平板に限定されない。例えば、第 1 のレンズ 1 1 2 及び第 2 のレンズ 1 1 4 は、正の屈折力又は負の屈折力を有するレンズであってもよい。また、接合面 $C S$ は平面に限定されず、曲面、階段形状、凹凸形状であってもよい。

【 0 0 7 0 】

また、第 1 のレンズ 1 1 2 と第 2 のレンズ 1 1 4 とは、オプティカルコンタクトによって接合されていることが好ましい。オプティカルコンタクトによって接合にすることで、第 1 のレンズ 1 1 2 と第 2 のレンズ 1 1 4 との相対的な位置ズレを低減することが可能となり、位置ズレによる結像性能の劣化を低減することができる。なお、第 1 のレンズ 1 1 2 と第 2 のレンズ 1 1 4 とを接着剤によって接合しても同様の効果を得ることが可能である。

【 0 0 7 1 】

また、レンズ 1 1 0 は、図 6 に示すように、第 1 のレンズ 1 1 2 を通過する光線 $L L$ の光線方向に沿った光線長 $L L \ 1$ と、第 2 のレンズ 1 1 4 を通過する光線 $L L$ の光線方向に沿った光線長 $L L \ 2$ とが以下の数式 1 5 を満たすように、構成することが好ましい。換言すれば、以下の数式 1 5 を満たすように、第 1 のレンズ 1 1 2、第 2 のレンズ 1 1 4 及び接合面 $C S$ の形状を規定することが好ましい。

【 0 0 7 2 】

$$n_1 \times L L \ 1 = - \quad n_2 \times L L \ 2 \quad \cdots (\text{数式 } 1 \ 5)$$

10

20

30

40

50

これにより、コンパクションの影響を、レアファクションの影響によって、より効果的に打ち消すことができる。換言すれば、コンパクション及びレアファクションに起因する結像性能の劣化を効果的に低減することができる。

【0073】

なお、数式15において、 n_1 は、第1のレンズ112の光線LLに対する（即ち、光線LLの照射による）不可逆的な屈折率の変化率を示す。 n_2 は、第2のレンズ114の光線LLに対する（即ち、光線LLの照射による）不可逆的な屈折率の変化率を示す。

【0074】

また、投影光学系100を構成するレンズ110（第1のレンズ112及び第2のレンズ114）を通過する光線LLの方向は限定されず、実露光における全ての光線にあてはめることができる。換言すれば、光線LLは、実露光における光線群から任意に選択することが可能である。なお、光線長LL1及びLL2は、実露光における光線群のそれぞれの光線長の平均値で定義してもよい。第1のレンズ112及び第2のレンズ114のいずれか一方が非球面を有する場合には、かかる非球面の実質的な基準となる球面成分から光線長LL1及びLL2を選択してもよい。

【0075】

また、レンズ110は、図7に示すように、光軸OAに平行な軸PAの第1のレンズ112内の距離LO1と、軸PAの第2のレンズ114内の距離LO2とが以下の数式16を満たすように、構成することが好ましい。換言すれば、以下の数式16を満たすように、第1のレンズ112、第2のレンズ114及び接合面CSの形状を規定することが好ましい。

【0076】

$$n_1 \times LO1 = - n_2 \times LO2 \quad \cdots \text{(数式16)}$$

これにより、コンパクションの影響を、レアファクションの影響によって、より効果的に打ち消すことができる。換言すれば、コンパクション及びレアファクションに起因する結像性能の劣化を効果的に低減することができる。

【0077】

また、軸PAの位置（軸PAと光軸OAとの相対位置）は図7に示す位置に限定されず、第1のレンズ112及び第2のレンズ114内の任意の位置から選択することができる。なお、距離LO1及びLO2は、第1のレンズ112及び第2のレンズ114の実露光での被照射部位の距離の平均値で定義されてもよい。第1のレンズ112及び第2のレンズ114のいずれか一方が非球面を有する場合には、かかる非球面の実質的な基準となる球面成分から距離LO1及びLO2を選択してもよい。

【0078】

以下、本発明の一側面としての投影光学系について具体的に説明する。

【0079】

図8は、特開2006-163369号公報の表1を参照して構成された投影光学系100を示す概略断面図である。図8に示す投影光学系100は、物体面の近傍、瞳位置の近傍、像面の近傍、ウエスト位置の近傍に、紫外線の照射による屈折率の変化が相反する硝材（合成石英ガラス）で構成されたレンズを配置して構成されている。

【0080】

まず、図9乃至図11を参照して、物体面の近傍のレンズについて説明する。図9は、図8に示す投影光学系100を構成するレンズPL1の拡大部分断面図である。図10は、図8に示す投影光学系100を構成するレンズPL2の拡大部分断面図である。図11は、図8に示す投影光学系100を構成するレンズPL3及びPL4の拡大部分断面図である。

【0081】

レンズPL1は、図9に示すように、レンズPL1aとレンズPL1bとを接合した接合レンズで構成される。なお、レンズPL1a及びPL1bのいずれか一方は長期的にコ

10

20

30

40

50

ンパクションの性質を有するレンズ（第１のレンズ）であり、他方は長期的にレアファクションの性質を有するレンズ（第２のレンズ）である。

【 0 0 8 2 】

レンズ P L 2 は、図 1 0 に示すように、レンズ P L 2 a とレンズ P L 2 b とを接合した接合レンズで構成される。なお、レンズ P L 2 a 及び P L 2 b のいずれか一方は長期的にコンパクションの性質を有するレンズ（第１のレンズ）であり、他方は長期的にレアファクションの性質を有するレンズ（第２のレンズ）である。

【 0 0 8 3 】

レンズ P L 3 は、図 1 1 に示すように、レンズ P L 3 a とレンズ P L 3 b とレンズ P L 3 c とを接合した接合レンズで構成される。一方、レンズ P L 4 は、接合レンズではなく、通常のレンズで構成される。レンズ P L 3 a 及び P L 3 b のいずれか一方は長期的にコンパクションの性質を有するレンズ（第１のレンズ）であり、他方は長期的にレアファクションの性質を有するレンズ（第２のレンズ）である。また、レンズ P L 3 c 及びレンズ P L 4 のいずれか一方は長期的にコンパクションの性質を有するレンズ（第１のレンズ）であり、他方は長期的にレアファクションの性質を有するレンズ（第２のレンズ）である。かかる構成によって、レンズ P L 4 における屈折率の変化のレンズ内分布と比較的類似性の高いレンズ内分布をレンズ P L 3 c に生じさせることが可能となり、コンパクションの影響を、レアファクションの影響によって、より効果的に打ち消すことができる。

【 0 0 8 4 】

レンズ P L 1（レンズ P L 1 a 及び P L 1 b）、レンズ P L 2（レンズ P L 2 a 及び P L 2 b）、レンズ P L 3（レンズ P L 3 a、P L 3 b 及び P L 3 c）及びレンズ P L 3 の数値諸元表（曲率、厚さ、屈折率）を以下の表 1 に示す。また、表 1 には、各レンズの距離 D F も示している。

【 0 0 8 5 】

【表 1】

表 1

レンズ	曲率半径	厚さ	屈折率	DF	TT/DF
PL1a	∞	3.000	1.560326	19.5	64.1
	∞	0.000			
PL1b	∞	5.000	1.560326	23.5	53.2
	∞	10.157			
PL2a	-289.036	8.000	1.560326	40.2	31.1
	∞	0.000			
PL2b	∞	4.000	1.560326	46.2	27.1
	418.109	24.539			
PL3a	-142.063	10.000	1.560326	77.7	16.1
	-379.154	0.000			
PL3b	-379.154	32.000	1.560326	98.7	12.7
	-379.154	0.000			
PL3c	-379.154	4.000	1.560326	116.7	10.7
	-379.154	11.395			
PL4	-301.615	50.000	1.560326	155.1	8.1
	-268.436				

【 0 0 8 6 】

図 8 に示す投影光学系 1 0 0 は、T T = 1 2 4 9 . 3 8 6 mm であり、レンズ P L 1 a とレンズ P L 1 b とは、数式 1 及び数式 2 を満たすように構成されている。同様に、レンズ P L 2 a とレンズ P L 2 b、及び、レンズ P L 3 a とレンズ P L 3 b とは、数式 1 及び数式 2 を満たすように構成されている。また、レンズ P L 3 c とレンズ P L 4 とは、数式 1 を満たすように構成されている。

【 0 0 8 7 】

このような構成によって、コンパクションによる結像性能への影響が、レアファクションによる結像性能への影響によって打ち消され、長期的に安定した結像性能を得ることができる。また、数式 1 を満たすレンズ P L 3 c とレンズ P L 4 よりも、数式 2 を満たすレンズ P L 1 a とレンズ P L 1 b、レンズ P L 2 a とレンズ P L 2 b、及び、レンズ P L 3 a とレンズ P L 3 b の方が高いエネルギー密度で照射されるため、より高い効果が得られる。

【 0 0 8 8 】

次に、図 1 2 及び図 1 3 を参照して、瞳位置の近傍のレンズについて説明する。図 1 2 は、図 8 に示す投影光学系 1 0 0 を構成するレンズ P L 9 及び P L 1 0 の拡大部分断面図である。図 1 3 は、図 8 に示す投影光学系 1 0 0 を構成するレンズ P L 1 1 の拡大部分断面図である。

【 0 0 8 9 】

レンズ P L 9 及び P L 1 0 は、図 1 2 に示すように、接合レンズではなく、通常のレンズで構成される。レンズ P L 9 及び P L 1 0 のいずれか一方は長期的にコンパクションの性質を有するレンズ（第 1 のレンズ）であり、他方は長期的にレアファクションの性質を有するレンズ（第 2 のレンズ）である。

【 0 0 9 0 】

レンズ P L 1 1 は、図 1 3 に示すように、レンズ P L 1 1 a とレンズ P L 1 1 b とを接合した接合レンズで構成される。なお、レンズ P L 1 1 a 及び P L 1 1 b のいずれか一方は長期的にコンパクションの性質を有するレンズ（第 1 のレンズ）であり、他方は長期的にレアファクションの性質を有するレンズ（第 2 のレンズ）である。

【 0 0 9 1 】

レンズ P L 9、レンズ P L 1 0 及びレンズ P L 1 1（レンズ P L 1 1 a 及び P L 1 1 b）の数値諸元表（曲率、厚さ、屈折率）を以下の表 2 に示す。また、表 2 には、各レンズの距離 D P も示している。

【 0 0 9 2 】

【表 2】

表2

レンズ	曲率半径	厚さ	屈折率	DP	TT/DP
PL9	611.973	40.000	1.560326	154.9	8.1
	-6298.101	1.000			
PL10	728.162	35.217	1.560326	116.3	10.7
	361.302	14.555			
PL11a	534.727	4.000	1.560326	82.1	15.2
	534.727	0.000			
PL11b	534.727	56.000	1.560326	52.1	24.0
	-1287.947				

【 0 0 9 3 】

レンズ P L 9 とレンズ P L 1 0 とは、数式 5 を満たすように構成されている。また、レンズ P L 1 1 a とレンズ P L 1 1 b とは、数式 5 及び数式 6 を満たすように構成されている。

【 0 0 9 4 】

このような構成によって、コンパクションによる結像性能への影響が、レアファクションによる結像性能への影響によって打ち消され、長期的に安定した結像性能を得ることができる。また、数式 5 を満たすレンズ P L 9 とレンズ P L 1 0 よりも、数式 6 を満たすレンズ P L 1 1 a とレンズ P L 1 1 b の方が高いエネルギー密度で照射されるため、より高い効果が得られる。

【 0 0 9 5 】

次に、図 1 4 乃至図 1 6 を参照して、像面の近傍のレンズについて説明する。図 1 4 は、図 8 に示す投影光学系 1 0 0 を構成するレンズ P L 1 2 の拡大部分断面図である。図 1 5 は、図 8 に示す投影光学系 1 0 0 を構成するレンズ P L 1 3 の拡大部分断面図である。図 1 6 は、図 8 に示す投影光学系 1 0 0 を構成するレンズ P L 1 4 の拡大部分断面図である。

【 0 0 9 6 】

レンズ P L 1 2 は、図 1 4 に示すように、レンズ P L 1 2 a とレンズ P L 1 2 b とを接合した接合レンズで構成される。なお、レンズ P L 1 2 a 及び P L 1 2 b のいずれか一方は長期的にコンパクションの性質を有するレンズ（第 1 のレンズ）であり、他方は長期的にリアファクションの性質を有するレンズ（第 2 のレンズ）である。

10

【 0 0 9 7 】

レンズ P L 1 3 は、図 1 5 に示すように、レンズ P L 1 3 a とレンズ P L 1 3 b とを接合した接合レンズで構成される。なお、レンズ P L 1 3 a 及び P L 1 3 b のいずれか一方は長期的にコンパクションの性質を有するレンズ（第 1 のレンズ）であり、他方は長期的にリアファクションの性質を有するレンズ（第 2 のレンズ）である。

【 0 0 9 8 】

レンズ P L 1 4 は、図 1 6 に示すように、レンズ P L 1 4 a とレンズ P L 1 4 b とを接合した接合レンズで構成される。なお、レンズ P L 1 4 a 及び P L 1 4 b のいずれか一方は長期的にコンパクションの性質を有するレンズ（第 1 のレンズ）であり、他方は長期的にリアファクションの性質を有するレンズ（第 2 のレンズ）である。

20

【 0 0 9 9 】

レンズ P L 1 2（レンズ P L 1 2 a 及び P L 1 2 b）、レンズ P L 1 3（レンズ P L 1 3 a 及び P L 1 3 b）及びレンズ P L 1 4（レンズ P L 1 4 a 及び P L 1 4 b）の数値諸元表（曲率、厚さ、屈折率）を以下の表 3 に示す。また、表 3 には、各レンズの距離 D B も示している。

【 0 1 0 0 】

【 表 3 】

表3

30

レンズ	曲率半径	厚さ	屈折率	DB	TT/DB
PL12a	143.476	4.151	1.560326	149.5	8.4
	123.660	0.000			
PL12b	123.660	50.000	1.560326	122.4	10.2
	362.448	1.000			
PL13a	98.976	5.882	1.560326	93.4	13.4
	90.000	0.000			
PL13b	90.000	28.000	1.560326	76.5	16.3
	141.188	1.000			
PL14a	124.903	53.494	1.560326	34.7	36.0
	∞	0.000			
PL14b	∞	5.000	1.560326	5.5	227.2
	∞				

40

【 0 1 0 1 】

レンズ P L 1 2 a とレンズ P L 1 2 b とは、数式 3 を満たすように構成されている。また、レンズ P L 1 3 a とレンズ P L 1 3 b、及び、レンズ P L 1 4 a とレンズ P L 1 4 b とは、数式 3 及び数式 4 を満たすように構成されている。

【 0 1 0 2 】

このような構成によって、コンパクションによる結像性能への影響が、リアファクションによる結像性能への影響によって打ち消され、長期的に安定した結像性能を得ることが

50

できる。また、数式 3 を満たすレンズ P L 1 2 a とレンズ P L 1 2 b よりも、数式 4 を満たすレンズ P L 1 3 a とレンズ P L 1 3 b、及び、レンズ P L 1 4 a とレンズ P L 1 4 b の方が高いエネルギー密度で照射されるため、より高い効果が得られる。

【 0 1 0 3 】

次に、図 1 7 乃至図 1 8 を参照して、ウエスト位置の近傍のレンズについて説明する。図 1 7 は、図 8 に示す投影光学系 1 0 0 を構成するレンズ P L 5 及び P L 6 の拡大部分断面図である。図 1 8 は、図 8 に示す投影光学系 1 0 0 を構成するレンズ P L 7 及び P L 8 の拡大部分断面図である。

【 0 1 0 4 】

レンズ P L 5 及び P L 6 は、図 1 7 に示すように、接合レンズではなく、通常のレンズで構成される。レンズ P L 5 及び P L 6 のいずれか一方は長期的にコンパクションの性質を有するレンズ（第 1 のレンズ）であり、他方は長期的にレアファクションの性質を有するレンズ（第 2 のレンズ）である。

10

【 0 1 0 5 】

レンズ P L 7 及び P L 8 は、図 1 8 に示すように、接合レンズではなく、通常のレンズで構成される。レンズ P L 7 及び P L 8 のいずれか一方は長期的にコンパクションの性質を有するレンズ（第 1 のレンズ）であり、他方は長期的にレアファクションの性質を有するレンズ（第 2 のレンズ）である。

【 0 1 0 6 】

レンズ P L 5、レンズ P L 6、レンズ P L 7 及びレンズ P L 8 の数値諸元表（曲率、厚さ、屈折率）を以下の表 4 に示す。また、表 4 には、各レンズの距離 D W も示している。

20

【 0 1 0 7 】

【表 4】

表4

レンズ	曲率半径	厚さ	屈折率	DW	TT/DW
PL5	8836.695	14.000	1.560326	105.8	11.8
	84.328	37.636			
PL6	161.547	17.000	1.560326	52.7	23.7
	143.918	44.176			
PL7	-109.833	12.000	1.560326	6.0	208.3
	147.291	33.877			
PL8	-278.731	17.398	1.560326	54.6	22.9
	-10024.728	20.517			

30

【 0 1 0 8 】

レンズ P L 5 とレンズ P L 6 とは、数式 1 0 を満たすように構成されている。また、レンズ P L 7 とレンズ P L 8 とは、数式 9 及び数式 1 0 を満たすように構成されている。

【 0 1 0 9 】

このような構成によって、コンパクションによる結像性能への影響が、レアファクションによる結像性能への影響によって打ち消され、長期的に安定した結像性能を得ることができる。また、数式 9 を満たすレンズ P L 5 とレンズ P L 6 よりも、数式 1 0 を満たすレンズ P L 7 とレンズ P L 8 の方が高いエネルギー密度で照射されるため、より高い効果が得られる。

40

【 0 1 1 0 】

図 1 9 は、国際公開 2 0 0 5 - 0 6 9 0 5 5 号の T a b l e 3 7 を参照して構成された投影光学系 1 0 0 を示す概略断面図である。図 1 9 に示す投影光学系 1 0 0 は、実像の中間像位置の近傍に、紫外線の照射による屈折率の変化が相反する硝材（合成石英ガラス）で構成されたレンズを配置して構成されている。

【 0 1 1 1 】

図 2 0 及び図 2 1 を参照して、実像の中間像位置の近傍のレンズについて説明する。図

50

20は、国際公開2005-069055号のTable 37におけるSurface 18、19で規定されるレンズL21の拡大部分断面図である。図21は、国際公開2005-069055号のTable 37におけるSurface 20、21で規定されるレンズL22の拡大部分断面図である。

【0112】

レンズPL21は、図20に示すように、レンズPL21aとレンズPL21bとを接合した接合レンズで構成される。なお、レンズPL21a及びPL21bのいずれか一方は長期的にコンパクションの性質を有するレンズ(第1のレンズ)であり、他方は長期的にレアファクションの性質を有するレンズ(第2のレンズ)である。

【0113】

レンズPL22は、図21に示すように、レンズPL22aとレンズPL22bとを接合した接合レンズで構成される。なお、レンズPL22a及びPL22bのいずれか一方は長期的にコンパクションの性質を有するレンズ(第1のレンズ)であり、他方は長期的にレアファクションの性質を有するレンズ(第2のレンズ)である。

【0114】

レンズPL21(レンズPL21a及び21b)及びレンズPL22(レンズPL22a及びPL22b)の数値諸元表(曲率、厚さ、材料)を以下の表5に示す。また、表5には、各レンズの距離DCも示している。なお、表5に示されたレンズ材料SILUVは、紫外線を使用する用途に適用される水晶ガラスを指している。

【0115】

【表5】

表5

レンズ	曲率半径	厚さ	材料	DC	TT/DC
PL21a	-227.124051	14.708033	SILUV	201.9	6.2
	-151.628870	0.000000			
PL21b	-151.628870	15.000000	SILUV	187.1	6.7
	-115.706665	0.999372			
PL22a	-6458.564488	11.246094	SILUV	172.9	7.2
	-512.559200	0.000000			
PL22b	-512.559200	10.000000	SILUV	162.3	7.7
	-316.595524				

【0116】

レンズPL21aとレンズPL21bとは、数式7を満たすように構成されている。また、レンズPL22aとレンズPL22bとは、数式7及び数式8を満たすように構成されている。

【0117】

このような構成によって、コンパクションによる結像性能への影響が、レアファクションによる結像性能への影響によって打ち消され、長期的に安定した結像性能を得ることができる。また、数式7を満たすレンズPL21aとレンズPL21bよりも、数式8を満たすレンズPL22aとレンズPL22bの方が高いエネルギー密度で照射されるため、より高い効果が得られる。

【0118】

なお、図19に示す投影光学系100の瞳位置や結像共役位置の近傍のレンズについても、紫外線の照射による屈折率の変化が相反する硝材(合成石英ガラス)で構成されたレンズで構成することが可能である。

【0119】

以下、本発明の一側面としての投影光学系を適用した露光装置について説明する。

【0120】

図 2 2 は、本発明の一側面としての露光装置 2 0 0 の構成を示す概略断面図である。露光装置 2 0 0 は、投影光学系 1 0 0 とウエハ 2 4 0 との間に供給される液体 L W を介して、レチクル 2 2 0 のパターンをステップ・アンド・スキャン方式でウエハ 2 4 0 に露光する液浸露光装置である。

【 0 1 2 1 】

露光装置 2 0 0 は、図 2 2 に示すように、照明装置 2 1 0 と、レチクル 2 2 0 を載置するレチクルステージ 2 2 5 と、投影光学系 1 0 0 と、ウエハ 2 4 0 を載置するウエハステージ 2 4 5 と、測距装置 2 5 0 と、ステージ制御部 2 6 0 を有する。また、露光装置 2 0 0 は、液体供給部 2 7 0 と、液浸制御部 2 8 0 と、液体回収部 2 9 0 と、ノズルユニット N U とを有する。

10

【 0 1 2 2 】

照明装置 2 1 0 は、光源部 2 1 2 と、照明光学系 2 1 4 とを有する。本実施形態では、光源部 2 1 2 の光源として、波長 1 9 3 n m の A r F エキシマレーザーを使用する。

【 0 1 2 3 】

照明光学系 2 1 4 は、光源部 2 1 2 からの光でレチクル 2 2 0 を照明する光学系である。

【 0 1 2 4 】

レチクル 2 2 0 は、図示しないレチクル搬送系によって露光装置 2 0 0 の外部から搬送され、レチクルステージ 2 2 5 に支持及び駆動される。

【 0 1 2 5 】

20

レチクルステージ 2 2 5 は、図示しないレチクルチャックを介してレチクル 2 2 0 を支持し、ステージ制御部 2 6 0 によって制御される。

【 0 1 2 6 】

投影光学系 1 0 0 は、物体面に配置されたレチクル 2 2 0 上のパターンを、像面に配置されたウエハ 2 4 0 上に投影する投影光学系である。投影光学系 1 0 0 は、上述した通りのいかなる形態をも適用可能であり、ここでの詳細な説明は省略する。

【 0 1 2 7 】

ウエハ 2 4 0 は、レチクル 2 2 0 のパターンが投影（転写）される基板である。但し、ウエハ 2 4 0 は、ガラスプレートやその他の基板に置換することもできる。ウエハ 2 4 0 には、フォトリソが塗布されている。

30

【 0 1 2 8 】

液体保持部 2 4 4 は、ウエハステージ 2 4 5 に支持されたウエハ 2 4 0 の周囲に配置される。液体保持部 2 4 4 は、ウエハ 2 4 0 の表面と同じ高さの表面を有する板である。また、液体保持部 2 4 4 は、ウエハ 2 4 0 の外周付近のショットを露光する際に、ウエハ 2 4 0 の外側の領域の液体 L W を保持する。

【 0 1 2 9 】

測距装置 2 5 0 は、レチクルステージ 2 2 5 の位置及びウエハステージ 2 4 5 の位置を、参照ミラー 2 5 2 及び 2 5 4、及び、レーザー干渉計 2 5 6 及び 2 5 8 を使用してリアルタイムに計測する。測距装置 2 5 0 による測距結果は、ステージ制御部 2 6 0 に伝達される。

40

【 0 1 3 0 】

ステージ制御部 2 6 0 は、測距装置 2 5 0 の測距結果に基づいて、位置決めや同期制御のために、レチクルステージ 2 2 5 及びウエハステージ 2 4 5 の駆動を制御する。

【 0 1 3 1 】

液体供給部 2 7 0 は、投影光学系 1 0 0 の最終レンズとウエハ 2 4 0 との間の空間又は間隙に液体 L W を供給する。液体供給部 2 7 0 は、液体供給配管 2 7 2 を有する。液体供給部 2 7 0 は、投影光学系 1 0 0 の最終レンズの周囲に配置された液体供給配管 2 7 2 を介して液体 L W を供給する。これにより、投影光学系 1 0 0 とウエハ 2 4 0 との間の空間には、液体 L W の液膜が形成される。

【 0 1 3 2 】

50

液浸制御部 280 は、ウエハステージ 245 の現在位置、速度、加速度などの情報をステージ制御部 260 から取得し、かかる情報に基づいて、液浸露光に係る制御を行う。

【0133】

液体回収部 290 は、液体供給部 270 によって投影光学系 100 とウエハ 240 との間に供給された液体 LW を回収する機能を有し、液体回収配管 292 を有する。液体回収配管 292 は、液体供給部 270 によって投影光学系 100 とウエハ 240 との間に供給された液体 LW をノズルユニット NU に形成された液体回収口を介して回収する。

【0134】

ノズルユニット NU のウエハ 240 側には液体供給口と、液体回収口とが形成されている。液体供給口は、液体 LW を供給するための供給口であり、液体供給配管 272 に接続される。液体回収口は、供給した液体 LW を回収するための開口であり、液体回収配管 292 に接続される。

【0135】

露光において、光源部 212 から発せられた光束は、照明光学系 214 によりレチクル 220 を照明する。レチクル 220 のパターンは、投影光学系 100 により、液体 WT を介してウエハ 240 に結像される。

【0136】

露光装置 200 が用いる投影光学系 100 は、上述したように、コンパクションによる結像性能への影響が、レアファクションによる結像性能への影響によって打ち消され、長期的に安定した結像性能を得ることができる。換言すれば、投影光学系 100 は、露光装置 200 の露光性能を長期にわたって保証することができる。従って、露光装置 200 は、高いスループットで経済性よくデバイス（半導体素子、LCD 素子、撮像素子（CCD など）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。かかるデバイスは、露光装置 200 を用いてフォトリソ（感光剤）が塗布された基板（ウエハ、ガラスプレート等）を露光する工程と、露光された基板を現像する工程と、その他の周知の工程と、を経ることによって製造される。

【0137】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。例えば、本発明の投影光学系は、液浸露光装置でなくても適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0138】

【図 1】本発明の一側面としての投影光学系の構成の一例を示す概略断面図である。

【図 2】本発明の一側面としての投影光学系の構成の一例を示す概略断面図である。

【図 3】本発明の一側面としての投影光学系の構成の一例を示す概略断面図である。

【図 4】本発明の一側面としての投影光学系の構成の一例を示す概略断面図である。

【図 5】本発明の一側面としての投影光学系を構成するレンズの一例を示す概略断面図である。

【図 6】本発明の一側面としての投影光学系を構成するレンズの一例を示す概略断面図である。

【図 7】本発明の一側面としての投影光学系を構成するレンズの一例を示す概略断面図である。

【図 8】本発明の一側面としての投影光学系の具体的な構成の一例を示す概略断面図である。

【図 9】図 8 に示す投影光学系を構成するレンズの拡大部分断面図である。

【図 10】図 8 に示す投影光学系を構成するレンズの拡大部分断面図である。

【図 11】図 8 に示す投影光学系を構成するレンズの拡大部分断面図である。

【図 12】図 8 に示す投影光学系を構成するレンズの拡大部分断面図である。

【図 13】図 8 に示す投影光学系を構成するレンズの拡大部分断面図である。

【図 14】図 8 に示す投影光学系を構成するレンズの拡大部分断面図である。

10

20

30

40

50

【図 1 5】図 8 に示す投影光学系を構成するレンズの拡大部分断面図である。

【図 1 6】図 8 に示す投影光学系を構成するレンズの拡大部分断面図である。

【図 1 7】図 8 に示す投影光学系を構成するレンズの拡大部分断面図である。

【図 1 8】図 8 に示す投影光学系を構成するレンズの拡大部分断面図である。

【図 1 9】本発明の一側面としての投影光学系の具体的な構成の一例を示す概略断面図である。

【図 2 0】図 1 9 に示す投影光学系を構成するレンズの拡大部分断面図である。

【図 2 1】図 1 9 に示す投影光学系を構成するレンズの拡大部分断面図である。

【図 2 2】本発明の一側面としての露光装置の構成を示す概略断面図である。

【符号の説明】

10

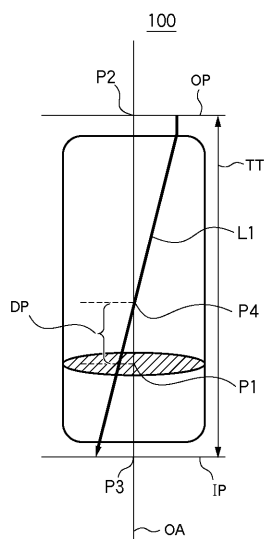
【 0 1 3 9 】

1 0 0	投影光学系
O P	物体面（レチクル面）
I P	像面（ウエハ面）
O A	光軸
1 1 0	レンズ
1 1 2	第 1 のレンズ
1 1 4	第 2 のレンズ
P L 1 乃至 P L 1 4	レンズ
P L 2 1 及び P L 2 2	レンズ
2 0 0	露光装置
2 1 0	照明装置
2 1 2	光源部
2 1 4	照明光学系
2 2 0	レチクル
2 2 5	レチクルステージ
2 4 0	ウエハ
2 4 5	ウエハステージ
2 5 0	測距装置
2 6 0	ステージ制御部
2 7 0	液体供給部
2 8 0	液浸制御部
2 9 0	液体回収部

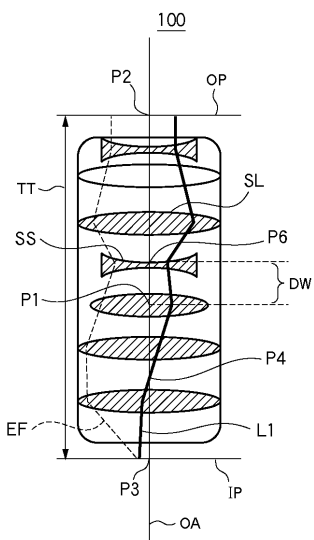
20

30

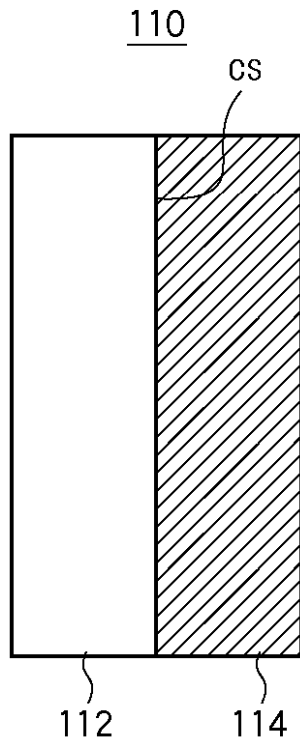
【圖 2】



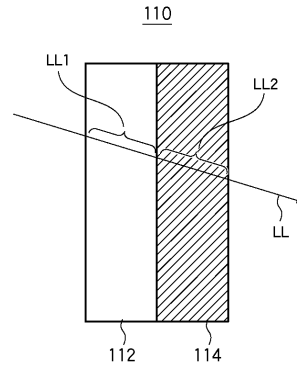
【 図 4 】



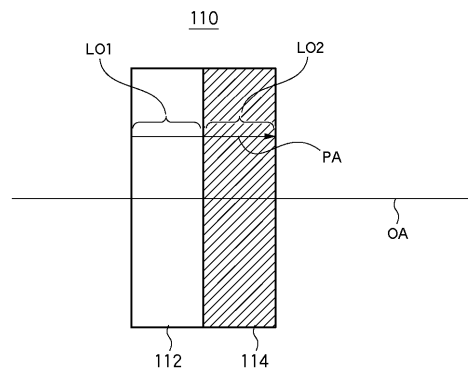
【図 5】



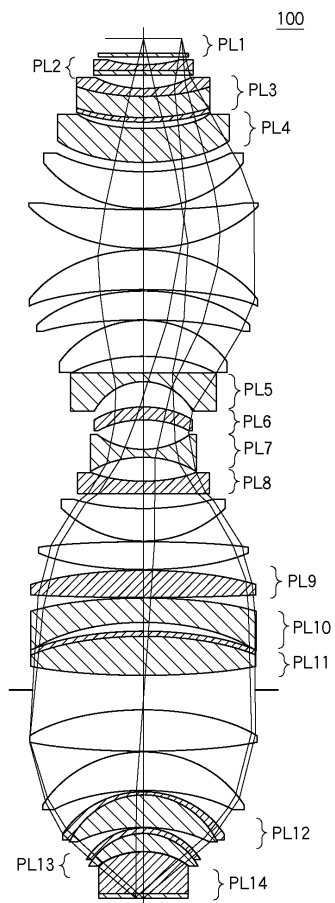
【図 6】



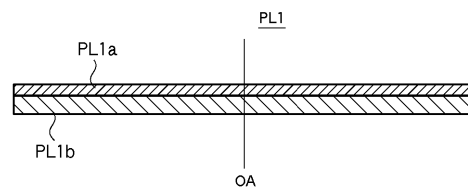
【図 7】



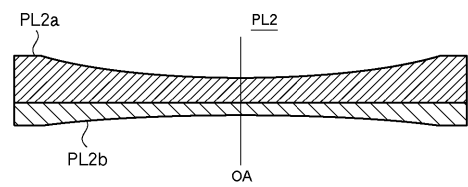
【図 8】



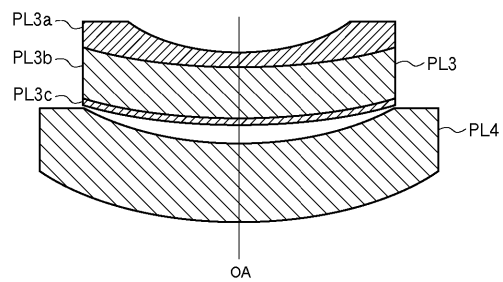
【図 9】



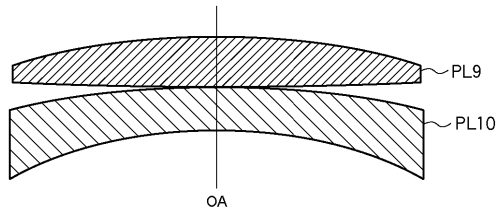
【図 10】



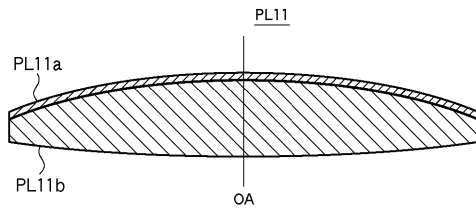
【図 11】



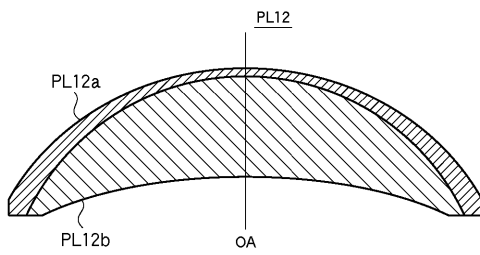
【図 1 2】



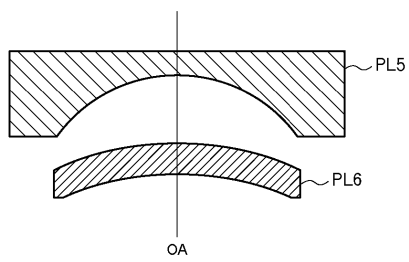
【図 1 3】



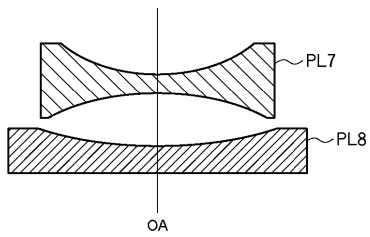
【図 1 4】



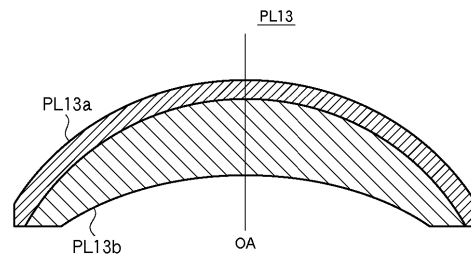
【図 1 7】



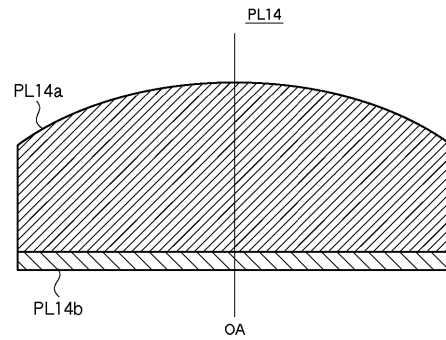
【図 1 8】



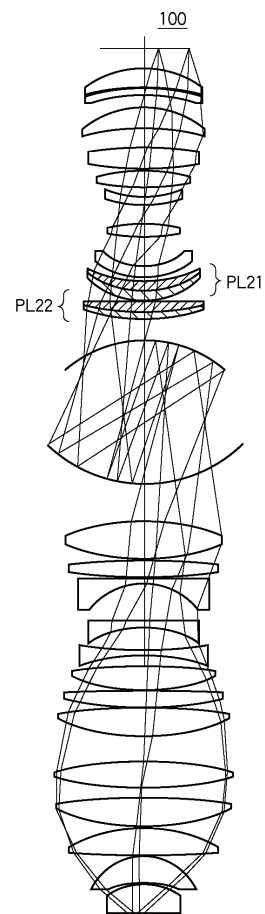
【図 1 5】



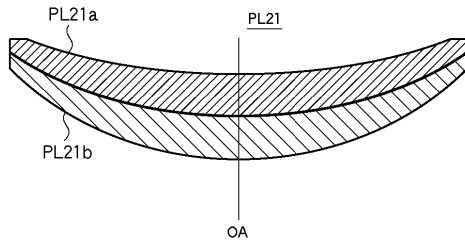
【図 1 6】



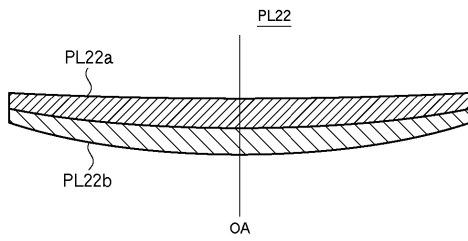
【図 1 9】



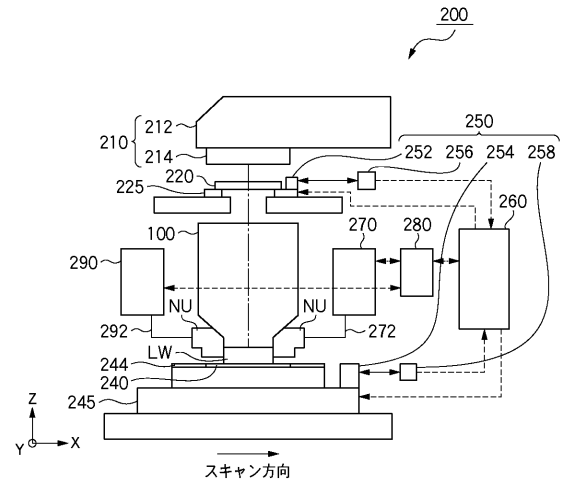
【図 20】



【図 21】



【図 22】



フロントページの続き

(72)発明者 結城 寛之

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 堀井 康司

(56)参考文献 特開2005-114881(JP,A)

特開2005-98812(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 13/14

G02B 13/24

G03F 7/20

H01L 21/027