

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3823436号

(P3823436)

(45) 発行日 平成18年9月20日(2006.9.20)

(24) 登録日 平成18年7月7日(2006.7.7)

(51) Int.Cl.	F I
G O 2 B 13/24 (2006.01)	G O 2 B 13/24
G O 3 F 7/20 (2006.01)	G O 3 F 7/20 5 2 1
H O 1 L 21/027 (2006.01)	H O 1 L 21/30 5 1 5 D

請求項の数 9 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願平9-102504	(73) 特許権者	000004112
(22) 出願日	平成9年4月3日(1997.4.3)		株式会社ニコン
(65) 公開番号	特開平10-282411		東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(43) 公開日	平成10年10月23日(1998.10.23)	(72) 発明者	工藤 慎太郎
審査請求日	平成16年3月22日(2004.3.22)		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
		審査官	吉川 陽吾
		(56) 参考文献	特開昭60-178423 (JP, A)
			特開昭63-121810 (JP, A)
			特開昭61-090115 (JP, A)
			特開平10-197791 (JP, A)
			特開平06-242379 (JP, A)
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくともホタル石と石英の2種類のガラス材を使用し、物体側より順に、正のパワーを持つ第1レンズ群 G_1 と、負のパワーを持つ第2レンズ群 G_2 と、正のパワーを持ち最も像側に配置された第3レンズ群 G_3 とを含む構成をとり、以下の条件を満足することを特徴とする投影光学系。

$$\begin{aligned} |L/f| &< 2 \\ 0.7 &\leq f_3/f_{3C} \leq 2.8 \\ 0.07 &\leq f_3/L \leq 0.0915 \end{aligned}$$

但し、 L ：物体面から像面までの距離 f ：全系の焦点距離 f_3 ：前記第3レンズ群 G_3 の焦点距離 f_{3C} ：前記第3レンズ群 G_3 に含まれるホタル石レンズエレメントのみによる合成焦点距離

であり、且つ、

【数1】

$$\frac{1}{f_{3C}} = \frac{1}{h_{3\max}} \cdot \sum_{3C} \frac{h_k}{f_k}$$

10

20

$h_{3\max}$: 前記第 3 レンズ群 G_3 における近軸光線高の最大値

f_k : 各レンズエレメントの焦点距離

h_k : 各レンズエレメントの前面と後面での近軸光線高の平均値

${}_{3C}$: 前記第 3 レンズ群 G_3 に含まれる全てのホタル石レンズエレメントについての和である。

【請求項 2】

以下の条件を満足する請求項 1 記載の投影光学系。

$$0.8 \leq h_{3C\max} / h_{3\max} \quad (3)$$

但し、 $h_{3C\max}$: 前記第 3 レンズ群 G_3 に含まれる全てのホタル石レンズエレメントにおける近軸光線高の最大値である。

10

【請求項 3】

以下の条件を満足する請求項 1 又は 2 記載の投影光学系。

$$0.8 \leq h_{3Q\max} / h_{3\max} \quad (4)$$

但し、 $h_{3Q\max}$: 前記第 3 レンズ群 G_3 に含まれる全ての石英レンズエレメントにおける近軸光線高の最大値である。

【請求項 4】

以下の条件を満足する請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項記載の投影光学系。

$$0.15 \leq f_{3C\max} / L \leq 1 \quad (6)$$

但し、 $f_{3C\max}$: 前記第 3 レンズ群 G_3 に含まれる正のパワーのホタル石レンズエレメントのうちの近軸光線高が最も高いところに配置されたエレメントの焦点距離である。

20

【請求項 5】

以下の条件を満足する請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項記載の投影光学系。

$$0.2 \leq |f_{3Q\max} / L| \leq 1 \quad (7)$$

但し、 $f_{3Q\max}$: 前記第 3 レンズ群 G_3 に含まれる負のパワーの石英レンズエレメントのうちの近軸光線高が最も高いところに配置されたエレメントの焦点距離である。

【請求項 6】

以下の条件を満足する請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項記載の投影光学系。

$$0.8 \leq h_{3Cave} / h_{3\max} \quad (8)$$

但し、 h_{3Cave} : 前記第 3 レンズ群 G_3 に含まれる全てのホタル石レンズエレメントにおける近軸光線高の平均値である。

30

【請求項 7】

前記第 1 レンズ群 G_1 にホタル石レンズエレメントを含み、以下の条件を満足する請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項記載の投影光学系。

$$0.7 \leq f_1 / f_{1C} \leq 2.5 \quad (9)$$

但し、 f_1 : 前記第 1 レンズ群 G_1 の焦点距離

f_{1C} : 前記第 1 レンズ群 G_1 に含まれるホタル石レンズエレメントのみによる合成焦点距離であり、且つ、

【数 2】

$$\frac{1}{f_{1C}} = \frac{1}{h_{1\max}} \cdot \sum_{1C} \frac{h_k}{f_k}$$

40

$h_{1\max}$: 前記第 1 レンズ群 G_1 における近軸光線高の最大値

${}_{1C}$: 前記第 1 レンズ群 G_1 に含まれる全てのホタル石レンズエレメントについての和である。

【請求項 8】

投影原版の像を基板上に投影露光する投影露光装置において、

前記投影原版を照明する照明光学装置と、

請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項記載の投影光学系とを備えることを特徴とする投影露光装

50

置。

【請求項 9】

集積回路の製造方法において、

請求項 8 記載の投影露光装置を用いて回路パターンを露光転写する工程を備えていることを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は投影光学系に関し、特に半導体ウエハの投影露光に用いる縮小屈折投影光学系に関する。

10

【0002】

【従来の技術】

近年では集積回路の高集積化に伴い、回路のパターンを露光転写する装置には高い解像力が要求されてきている。この解像力は露光波長に反比例するので、露光波長の短波長化が進められており、最近では KrF エキシマレーザー (248 nm) や ArF エキシマレーザー (193 nm) などが露光光源として注目されている。しかしこれらの紫外域レーザーの発振波長域では、透過率の制約などから使用できるガラス材に限られてくる。また、ArF レーザーの発振波長域では、KrF レーザーの発振波長域に比べてガラス材の屈折率の分散が大きいのので、色収差による結像性能の低下が無視できない。この問題への対策としては、単色光源とみなせる程度までレーザーのスペクトル幅の狭帯域化を進める方法

20

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、投影光学系に色収差補正を施す方法に関して、光源レーザーの広いスペクトル幅をカバーする完全な色収差補正を行うためには、これらの波長域で使用できるガラス材であるホタル石と石英との屈折率の分散の差がとても小さいので、大きな正のパワーのホタル石レンズと大きな負のパワーの石英レンズを組み合わせなくてはならない。この完全色収差補正のための制約は、他の単色諸収差の補正との両立を極めて困難なものとし、投影レンズの結像性能の向上に対して大きな障害となる。また、各レンズエレメントの偏心精度等も厳しくなり、製造上の困難さも増すこととなる。

30

本発明は、前記 2 つの対策の中間的方法として、部分的な色収差補正を施し、他の単色諸収差の補正との両立を図った投影光学系を提供することを課題としている。

【0004】

【課題を解決するための手段】

上記の課題を解決するため、本発明による投影光学系は、少なくともホタル石と石英の 2 種類のガラス材を使用し、物体側より順に、正のパワーを持つ第 1 レンズ群 G_1 と、負のパワーを持つ第 2 レンズ群 G_2 と、正のパワーを持ち最も像側に配置された第 3 レンズ群 G_3 とを含む構成をとり、以下の条件を満足するように構成した。

$$\begin{aligned} |L/f| &< 2 \\ 0.7 &\leq f_3/f_{3c} \leq 2.8 \\ 0.07 &\leq f_3/L \leq 0.0915 \end{aligned}$$

40

但し、L：物体面から像面までの距離

f：全系の焦点距離

f_3 ：前記第 3 レンズ群 G_3 の焦点距離

f_{3c} ：前記第 3 レンズ群 G_3 に含まれるホタル石レンズエレメントのみによる合成焦点距離である。

【0005】

色収差補正と単色諸収差補正との両立を達成するためには、投影光学系は先ず単色諸収差が十分に補正されていなければならない。そのために本発明による投影光学系は、物体側より順に正のパワーの第 1 レンズ群 G_1 、負のパワーの第 2 レンズ群 G_2 、正のパワーの第

50

3 レンズ群 G_3 を有するように構成される。正・負・正のパワー配置によって、物体側・像側の両側テレセントリック光学系を構成すると同時に、広範囲露光領域での高解像を達成するための“像面の平坦性”に深く係るペッツパール和を効率よく補正することができる。両側テレセントリック光学系にする理由は、露光時の光軸方向の誤差や、像面に置かれるシリコンウエハや物体面であるレチクルのたわみなどによる倍率変動の影響を受けにくいので、この種の用途に適した光学系だからである。

上記(1)式はテレセントリック性を保つための条件式であり、(1)式の上限を越えると、良好なテレセントリック性を保つことが困難となり、ピント誤差に対する影響が過大となるから好ましくない。

【0006】

そして単色諸収差補正に適したパワー配置の構成を取った上で、色収差を効率よく補正するためには、上記(2)式を満足するようにホタル石レンズエレメントを配置するのがよい。焦点距離の逆数はパワーであるから、(2)式は第3レンズ群 G_3 のパワーに対する第3レンズ群 G_3 内のホタル石レンズエレメントのみによる合成パワーの比率の適正な範囲を規定している。

【0007】

ここで色収差補正のために、ホタル石レンズエレメントのパワーに関して第3レンズ群 G_3 に着目して規定する理由を、下記の(A)式に示す軸上色収差の収差係数 AX_i を用いて説明する。

$$AX_i = Q_i \cdot h_i^2 \cdot \left[\frac{\delta n_i}{n_i} - \frac{\delta n_{i-1}}{n_{i-1}} \right] \quad \dots (A)$$

但し、 Q_i : 第 i 面でのアッペの不変量

h_i : 第 i 面での近軸光線高

n_i : 第 i 面の後に続く媒質の色収差に対して基準とする波長での屈折率

n_i : 第 i 面の後に続く媒質の短波長側端の屈折率と長波長側端の屈折率の差、すなわち分散

である。

【0008】

色収差の収差係数は、光学系の各面での色収差の発生と補正の構造を把握する手段としてよく用いられており、(A)式からも軸上色収差への各面の寄与がそのガラス材の分散に比例し、その近軸光線高の2乗に比例していることがわかる。よって効率よく色収差を補正するためには、先ず色収差の発生そのものを抑えるべく、近軸光線高の高いところに配置されている正のパワーのレンズエレメントを低分散側のホタル石で構成するのが良い。ここで縮小投影光学系では、像側のNAの方が大きくなるので、構成上、近軸光線高は物体側の第1レンズ群 G_1 に比べて像側の第3レンズ群 G_3 の方でより高くなる。よって本発明では効率よく色収差補正を達成するために、第3レンズ群 G_3 のホタル石レンズエレメントのパワー比率に着目することとしたのである。

【0009】

(2)式において、その上限は1より大きくなっているが、(2)式のパラメータの値が1よりも大きい場合には、ホタル石レンズエレメントの合成パワーが第3レンズ群 G_3 のパワーより強くなっていることを意味し、すなわち第3レンズ群 G_3 内に、ある程度の負のパワーを持つ石英レンズエレメントを有することを意味している。

負のパワーの第2レンズ群 G_2 は、ペッツパール和の補正に都合が良いように近軸光線高が低くなる構成になっているので、第2レンズ群 G_2 に含まれる負のパワーの石英レンズエレメントによる色収差補正の寄与は低くなってしまう。そこでここでも近軸光線高の高さを利用して、第3レンズ群 G_3 内に色収差発生を抑える正のパワーのホタル石レンズエレメントを配置すると同時に、負のパワーの石英レンズエレメントを配置して効率よく

10

20

30

40

50

色収差を補正するようにしている。

【 0 0 1 0 】

しかし、(2) 式の上限を越える程にホタル石の正のパワーを強くしすぎてしまうと、対応する負のパワーの石英レンズエレメントも同時に強くなってしまい、互いの強い曲率の屈折面の作用により高次の球面収差やコマ収差の発生が顕著になってしまう。よって単色諸収差の補正が困難となってしまう。

一方、(2) 式の下限を越えてホタル石レンズエレメントの正のパワーが小さくなってしまうと、その分、正のパワーの石英レンズエレメントによる色収差の発生が目立ってくるのと同時に、負のパワーの石英レンズエレメントによる色収差補正の効きも不十分となり、色収差が補正不足となってしまう。

よって第 3 レンズ群内のホタル石の合成パワーは、(2) 式で示した範囲内にあることが好ましい。

【 0 0 1 1 】

なお、(2) 式で扱う第 3 レンズ群に含まれるホタル石レンズエレメントのみの合成焦点距離 f_{3C} は、具体的には下記の (B) 式によって定義される。

$$\begin{aligned} \frac{1}{f_{3C}} &= \sum_{3C} \left[\frac{h_k}{h_{3\max}} \cdot \frac{1}{f_k} \right] \\ &= \frac{1}{h_{3\max}} \cdot \sum_{3C} \frac{h_k}{f_k} \end{aligned} \quad \dots (B)$$

但し、 $h_{3\max}$: 第 3 レンズ群 G_3 における近軸光線高の最大値

f_k : 各レンズエレメントの焦点距離

h_k : 各レンズエレメントの前面と後面での近軸光線高の平均値

$_{3C}$: 第 3 レンズ群 G_3 に含まれる全てのホタル石レンズエレメントについての和である。

【 0 0 1 2 】

本発明による投影光学系では、各レンズエレメント間の近軸光線高の差は小さくはないので、薄肉レンズ密着系とみなすことができない。よってホタル石の各レンズエレメントのパワー (各レンズエレメントの焦点距離の逆数 $1 / f_k$) を単に足し合せただけでは、ホタル石レンズエレメントの合成パワーを表すことができない。そこで合成パワーを表すためには (B) 式のように、各レンズエレメントでの近軸光線高 h_k の第 3 レンズ群 G_3 内における比率によって重み付けをした上で、そのパワーの和をとらなければならない。

【 0 0 1 3 】

次に、(2) 式を満足するように第 3 レンズ群 G_3 のホタル石レンズエレメントの合成パワーを構成する上で、さらには下記の (3) 式を満足することが好ましい。

$$0.8 \leq h_{3C\max} / h_{3\max} \quad (3)$$

但し、 $h_{3C\max}$: 第 3 レンズ群 G_3 に含まれる全てのホタル石レンズエレメントにおける近軸光線高の最大値

である。

【 0 0 1 4 】

ホタル石は石英よりも屈折率が低いので、同じパワーのレンズを構成するためには石英の場合よりも強い曲率が必要となり、その分収差の発生も大きくなってしまう。そこで (3) 式を満足するように近軸光線高の高いところにホタル石のレンズエレメントを配置することで、(B) 式からもわかるように重み付けの係数 $h_k / h_{3\max}$ が大きくなるので、その分、パワー $1 / f_k$ を小さくして曲率をゆるく構成することができる。すなわち (3) 式が規定する配置をとることで、先述の効率よい色収差発生の抑制のみならず、単色収差発生の抑制効果をも得ることができる。

10

20

30

40

50

但し、(3)式の下限を越えるほどホタル石レンズエレメントの近軸光線高の最高値 $h_{3c_{max}}$ が低くなってしまうと、色収差を補正したときに球面収差やコマ収差等の単色収差の高次成分の良好な補正が困難となり、すなわち、単色諸収差補正と色収差補正の両立が困難になってしまう。

【0015】

同様に、本発明においては下記の(4)式を満足することが好ましい。

$$0.8 \leq h_{3Q_{max}} / h_{3max} \quad (4)$$

但し、 $h_{3Q_{max}}$ ：第3レンズ群 G_3 に含まれる全ての石英レンズエレメントにおける近軸光線高の最大値

である。

10

上記(4)式を満足することによっても、第3レンズ群 G_3 における近軸光線高の最大値 h_{3max} は相対的に小さくなり、(B)式の重み付けの係数 h_k / h_{3max} が大きくなるので、その分、ホタル石レンズエレメントのパワー $1 / f_k$ を小さくして曲率をゆるく構成することができる。

但し、(4)式の下限を越えるほど石英レンズエレメントの近軸光線高の最高値 $h_{3Q_{max}}$ が低くなってしまうと、色収差を補正したときに球面収差やコマ収差等の単色収差の高次成分の良好な補正が困難となり、すなわち、単色諸収差補正と色収差補正の両立が困難になってしまう。

【0016】

また縮小投影倍率を持つ投影光学系では、先述のとおり第1レンズ群 G_1 、第2レンズ群 G_2 に比べて、第3レンズ群 G_3 での近軸光線高が高くなる構成となっている。よって第3レンズ群 G_3 のパワーは、他のレンズ群に比べて球面収差やコマ収差の高次成分の発生に関係が深い。そこで第3レンズ群 G_3 は、そのパワーに関して下記の条件を満足することが好ましい。

20

$$0.07 \leq f_3 / L \leq 0.15 \quad (5)$$

(5)式の下限を越えて第3レンズ群 G_3 の正のパワーが強くなりすぎると、第3レンズ群 G_3 での高次の球面収差やコマ収差の発生が大きくなり、他のレンズ群での補正が困難となる。

逆に(5)式の上限を越えて第3レンズ群 G_3 のパワーが弱くなりすぎると、球面収差やコマ収差の補正に関しては好都合だが、第2レンズ群 G_2 での負のパワーを強くすることができず、ペッツバル和を十分に補正することが困難となる。

30

【0017】

また本発明においては、次式を満足するように構成して、高次の球面収差やコマ収差の発生を良好に抑えることが好ましい。

$$0.15 \leq f_{3C_{max}} / L \leq 1 \quad (6)$$

但し、 $f_{3C_{max}}$ ：第3レンズ群 G_3 に含まれる正のパワーのホタル石レンズエレメントのうちの近軸光線高が最も高いところに配置されたエレメントの焦点距離

である。

(6)式の下限を越える程に近軸光線高が高いところに配置されたホタル石レンズエレメントのパワーが強くなってしまうと、球面収差の高次成分の発生が大きくなりすぎてしまい、良好な球面収差の補正の障害となる。

40

一方、(6)式の上限を越える程に近軸光線高が高いところに配置されたホタル石レンズエレメントのパワーが弱くなってしまうと、色収差の補正のため他の近軸光線高の低いところに配置されたホタル石レンズエレメントのパワーが強くなりすぎてコマ収差の高次成分の発生が大きくなってしまい、良好なコマ収差の補正が困難になる。

【0018】

また近軸光線高が高いところに配置される負のパワーの石英レンズエレメントは、色収差補正上重要な存在であるが、そのパワーをある範囲内に収めるようにしないと単色収差補正との両立が困難になってしまう。したがって本発明においては、次式を満足することが好ましい。

50

$$0.2 \leq |f_{3Qmax}/L| \leq 1 \quad (7)$$

但し、 f_{3Qmax} ：第3レンズ群 G_3 に含まれる負のパワーの石英レンズエレメントのうちの近軸光線高が最も高いところに配置されたエレメントの焦点距離である。

(7)式の下限を越える程に近軸光線高が高いところに配置された負のパワーの石英レンズエレメントのパワーを強くしてしまうと、色収差補正の観点では都合がよいが、球面収差の高次成分が補正過剰となってしまい、結局結像性能を悪化させてしまう。

一方、(7)式の上限を越える程に近軸光線高が高いところに配置された負のパワーの石英レンズエレメントのパワーが弱くなってしまうと、高次の球面収差が補正不足になると同時に色収差の補正も困難となる。

10

【0019】

また少ない枚数のホタル石レンズエレメントで単色収差補正と色収差補正の両立を図る場合には、できるだけ各ホタル石レンズエレメントの曲率をゆるく、すなわちパワーを小さくして単色収差の発生を抑えながら、各ホタル石レンズエレメントの近軸光線高の平均値 h_{C3ave} を高くするように構成して、色収差補正の効率を極力上げる必要がある。したがって少ない枚数のホタル石レンズエレメントで色収差補正を行う場合には、特に下記の(8)式を満足することが好ましい。

$$0.8 \leq h_{C3ave}/h_{3max} \quad (8)$$

但し、 h_{C3ave} ：第3レンズ群 G_3 に含まれる全てのホタル石レンズエレメントにおける近軸光線高の平均値である。

20

(8)式の下限を越える程にホタル石レンズエレメントの平均近軸光線高 h_{C3ave} が低くなってしまうと、ホタル石レンズエレメントによる色収差の発生抑制効果の効率が著しく下がってしまうので、無理に色収差を補正したときに球面収差やコマ収差の補正が困難となる。よって色収差補正と単色諸収差補正との両立が困難となる。

【0020】

また広い波長幅の色収差を補正するためには、第1レンズ群 G_1 にもホタル石レンズエレメントを使用する必要があるが生じるが、このときには前記(1)式を満足した上で、さらに下記の(9)式を満足するのが好ましい。

$$0.7 \leq f_1/f_{1C} \leq 2.5 \quad (9)$$

30

但し、 f_1 ：第1レンズ群 G_1 の焦点距離

f_{1C} ：第1レンズ群 G_1 に含まれるホタル石レンズエレメントのみによる合成焦点距離であり、且つ、

$$\begin{aligned} \frac{1}{f_{1C}} &\equiv \sum_{1C} \left[\frac{h_k}{h_{1max}} \cdot \frac{1}{f_k} \right] \\ &= \frac{1}{h_{1max}} \cdot \sum_{1C} \frac{h_k}{f_k} \quad \dots (C) \end{aligned}$$

40

h_{1max} ：第1レンズ群 G_1 における近軸光線高の最大値

$1C$ ：第1レンズ群 G_1 に含まれる全てのホタル石レンズエレメントについての和である。

【0021】

(9)式の上限を越える程に第1レンズ群 G_1 に含まれるホタル石の正のパワーを強くしすぎてしまうと、コマ収差や像面湾曲の高次成分の発生が大きくなってしまい、色収差の補正と単色諸収差の補正との両立が困難となってしまふ。

一方、(9)式の下限を越える程に第1レンズ群 G_1 に含まれるホタル石レンズエレメントの正のパワーが小さくなってしまうと、その分、第1レンズ群 G_1 の正のパワーの石英

50

レンズエレメントによって発生する色収差を補正しきれなくなってしまう、広い波長範囲に対する色収差を良好に補正できなくなってしまう。

【0022】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態を説明する。以下の各実施例は、本発明による投影光学系を露光装置に応用したものである。

まず露光装置の全体構成を図1によって説明する。投影光学系PLの物体面には、所定の回路パターンが形成された投影原版としてのレチクルR（第1物体）が配置されており、投影光学系PLの像面には、基板としてのウエハW（第2物体）が配置されている。レチクルRはレチクルステージRSに保持され、ウエハWはウエハステージWSに保持されて

10

いる。レチクルRの上方には、ケーラー照明法によってレチクルRを均一に照明する照明光学装置ISが配置されており、また投影光学系PLは物体側にテレセントリックに構成されている。したがって投影光学系PLの開口絞りASの位置には、照明光学装置IS中の光源の像が形成される。そしてレチクルRのパターン像が、投影光学系PLによりウエハW上に露光（転写）される。

【0023】

図2、図5、図8及び図11は、本発明による投影光学系の第1～第4実施例のレンズ構成図を示している。各図に示す如く、各実施例の投影光学系は、第1物体としてのレチクルR側より順に、正のパワーの第1レンズ群G₁と、負のパワーの第2レンズ群G₂と、正

20

のパワーの第3レンズ群G₃とを有し、物体側（レチクルR側）及び像側（ウエハW側）においてほぼテレセントリックとなっている。

いずれの実施例も、照明光学装置IS内部に配置される光源として、193.4nmの露光中心波長を持つ光を供給するエキシマレーザを使用している。

【0024】

図2に示す第1実施例の屈折投影光学系は、像側のNAが0.6、投影倍率が1/4、像側での露光領域の直径が30.6であり、±1pmの波長幅を考慮して色収差を補正している。第1レンズ群G₁は14枚のレンズエレメントL₁₁～L₁₁₄からなり、これらのレンズエレメントはすべて石英製である。第2レンズ群G₂は4枚のレンズエレメントL₂₁～L₂₄からなり、これらのレンズエレメントもすべて石英製である。第3レンズ群G₃は

30

【0025】

図5に示す第2実施例の屈折投影光学系も、像側のNAが0.6、投影倍率が1/4、像側での露光領域の直径が30.6であり、±1pmの波長幅を考慮して色収差を補正している。第1レンズ群G₁は14枚のレンズエレメントL₁₁～L₁₁₄からなり、これらのレンズエレメントはすべて石英製である。第2レンズ群G₂は4枚のレンズエレメントL₂₁～L₂₄からなり、これらのレンズエレメントもすべて石英製である。第3レンズ群G₃は11枚のレンズエレメントL₃₁～L₃₁₁からなり、これらのレンズエレメントのうち6枚がホタル石製であり、残りの5枚が石英製である。したがって前記(8)式の条件を満たすべき必要性が高い。

40

【0026】

図8に示す第3実施例の屈折投影光学系は、像側のNAが0.6、投影倍率が1/4、像側での露光領域の直径が26.8であり、±1pmの波長幅を考慮して色収差を補正している。第1レンズ群G₁は15枚のレンズエレメントL₁₁～L₁₁₅からなり、これらのレンズエレメントのうち最後の2枚L₁₁₄、L₁₁₅がホタル石製であり、残りの13枚が石英製である。第2レンズ群G₂は4枚のレンズエレメントL₂₁～L₂₄からなり、これらのレンズエレメントはすべて石英製である。第3レンズ群G₃は10枚のレンズエレメントL₃₁～L₃₁₀からなり、これらのレンズエレメントのうち5枚がホタル石製であり、残りの5枚が石英製である。

50

すなわち本実施例では、第1レンズ群 G_1 にもホタル石レンズエレメントを配置している点で、第1、第2実施例と特に異なっている。

また上記第1、第2、第3実施例では、第3レンズ群 G_3 における近軸光線高の高いところに、両凸形状のホタル石レンズエレメント L_{33} と、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の石英レンズエレメント L_{34} とを隣接して配置することにより、色収差の補正とコマ収差の補正との両立を図っている。

【0027】

図11に示す第4実施例の屈折投影光学系は、像側のNAが0.6、投影倍率が1/4、像側での露光領域の直径が30.6であり、この実施例では ± 100 nmの波長幅を考慮して色収差を補正している。第1レンズ群 G_1 は14枚のレンズエレメント $L_{11} \sim L_{114}$ からなり、これらのレンズエレメントのうち最後の4枚 $L_{111} \sim L_{114}$ がホタル石製であり、残りの10枚が石英製である。第2レンズ群 G_2 は7枚のレンズエレメント $L_{21} \sim L_{27}$ からなり、これらのレンズエレメントのうち2枚 L_{22} 、 L_{25} がホタル石製であり、残りの5枚が石英製である。第3レンズ群 G_3 は15枚のレンズエレメント $L_{31} \sim L_{315}$ からなり、これらのレンズエレメントのうち10枚がホタル石製であり、残りの5枚が石英製である。本実施例は、 ± 100 nmの波長幅を考慮して色収差を補正しており、 ± 100 nmの範囲に対する分散は、 ± 1 nmの範囲の分散に対して約100倍大きくなる。そこで第1レンズ群 G_1 にもホタル石レンズエレメントを配置するほか、更に第2レンズ群 G_2 にもホタル石レンズエレメントを配置している。

また本実施例では、第3レンズ群 G_3 における近軸光線高の高いところに、両凸形状のホタル石レンズエレメント L_{33} と、物体側に凹面を向けたメニスカス形状の石英レンズエレメント L_{34} とを隣接して配置するほか、更に、両凸形状のホタル石レンズエレメント L_{35} 、 L_{37} の間に、両凹形状の石英レンズエレメント L_{36} を挟んで配置することにより、色収差の補正とコマ収差の補正との両立を図っている。

【0028】

以下の表1～表4に、それぞれ第1～第4実施例の諸元の値を掲げる。各表中、第1欄の数字は物体側（レチクル側）からの各レンズ面の番号、第2欄rは各レンズ面の曲率半径、第3欄dは各レンズ面の間隔、第4欄は各レンズの材質、第5欄は各レンズのエレメント番号を表す。露光波長193.4 nmに対する石英（ SiO_2 ）とホタル石（ CaF_2 ）の屈折率nは、

$$\text{SiO}_2: \quad n = 1.56019$$

$$\text{CaF}_2: \quad n = 1.50138$$

である。また石英（ SiO_2 ）とホタル石（ CaF_2 ）について、露光波長193.4 nmを中心とした波長幅 ± 1 nmでの分散値

$$(\pm 1 \text{ nm}) = (n - 1) / n (\pm 1 \text{ nm})$$

と、 ± 100 nmでの分散値

$$(\pm 100 \text{ nm}) = (n - 1) / n (\pm 100 \text{ nm})$$

は、

$$\text{SiO}_2: \quad \nu (\pm 1 \text{ nm}) = 175060$$

$$\nu (\pm 100 \text{ nm}) = 1776$$

$$\text{CaF}_2: \quad \nu (\pm 1 \text{ nm}) = 250690$$

$$\nu (\pm 100 \text{ nm}) = 2545$$

である。

また以下の表5に、各実施例について、各条件式(1)～(9)中のパラメータの値を掲げる。

【0029】

【表1】

10

20

30

40

	r	d		
0	(レチクル)	88.563400		
1	-291.35363	73.000000	S i O ₂	L ₁₁
2	-275.27636	0.500000		
3	480.01519	24.000000	S i O ₂	L ₁₂
4	-618.65478	0.500000		
5	214.89558	25.500000	S i O ₂	L ₁₃
6	3089.97905	0.500000		10
7	177.49323	23.544537	S i O ₂	L ₁₄
8	101.56031	15.912587		
9	208.30038	21.300000	S i O ₂	L ₁₅
10	-836.08898	0.500000		
11	700.00000	19.095104	S i O ₂	L ₁₆
12	108.03348	23.338460		20
13	-309.96962	15.382167	S i O ₂	L ₁₇
14	234.69175	21.216782		
15	-162.16136	15.448042	S i O ₂	L ₁₈
16	956.86947	60.284514		
17	-2137.69687	26.416153	S i O ₂	L ₁₉
18	-188.00000	13.000000		
19	-131.30000	34.711647	S i O ₂	L ₁₁₀
20	-240.61303	0.500000		30
21	-6627.29844	26.520978	S i O ₂	L ₁₁₁
22	-337.81795	0.500000		
23	757.15974	29.000000	S i O ₂	L ₁₁₂
24	-513.00000	0.500000		
25	403.00000	28.000000	S i O ₂	L ₁₁₃
26	-2209.19099	0.500000		40
27	217.54212	41.573943	S i O ₂	L ₁₁₄

28	-3600.00000	0.500000			
29	-3788.06971	30.453059	S i O ₂	L ₂₁	
30	154.05985	11.669230			
31	258.71144	16.443006	S i O ₂	L ₂₂	
32	152.03153	35.149248			
33	-215.38561	14.321328	S i O ₂	L ₂₃	
34	367.44653	28.000000			10
35	(開口絞り)	25.342046			
36	-150.70652	13.629325	S i O ₂	L ₂₄	
37	8355.78260	0.500000			
38	4600.00000	32.000000	C a F ₂	L ₃₁	
39	-176.69990	0.500000			
40	-2887.58688	21.000000	S i O ₂	L ₃₂	
41	-338.62181	0.500000			20
42	419.32560	38.720628	C a F ₂	L ₃₃	
43	-342.21997	9.017132			
44	-233.57362	21.000000	S i O ₂	L ₃₄	
45	-1103.12332	0.500000			
46	520.00000	26.000000	C a F ₂	L ₃₅	
47	-1118.98353	0.500000			
48	395.37562	27.500000	S i O ₂	L ₃₆	30
49	-2538.47741	0.500000			
50	262.51253	27.500000	C a F ₂	L ₃₇	
51	1300.00000	0.500000			
52	133.90538	42.963984	C a F ₂	L ₃₈	
53	864.11488	1.158603			
54	1228.69680	21.100763	S i O ₂	L ₃₉	
55	95.98148	6.365035			40
56	108.11671	39.251047	C a F ₂	L ₃₁₀	
57	-3500.00000	0.530420			
58	-2962.27096	63.550033	S i O ₂	L ₃₁₁	
59	510.49529	14.426921			
60	(ウエハ)				

【表 2】

	r	d		
0	(レチクル)	87.809583		
1	-362.32686	73.000000	S i O ₂	L ₁₁
2	-309.51040	0.500000		
3	391.00320	24.000000	S i O ₂	L ₁₂
4	-721.38993	0.500000		
5	227.13393	25.500000	S i O ₂	L ₁₃
6	5705.55505	0.500000		
7	192.49202	19.470434	S i O ₂	L ₁₄
8	103.23979	15.912587		
9	216.43156	21.300000	S i O ₂	L ₁₅
10	-626.30729	0.500000		
11	700.00000	19.095104	S i O ₂	L ₁₆
12	116.08921	23.338460		
13	-253.52781	15.382167	S i O ₂	L ₁₇
14	238.54927	21.216782		
15	-157.82490	15.448042	S i O ₂	L ₁₈
16	742.64342	58.810956		
17	-3922.38675	26.416153	S i O ₂	L ₁₉
18	-188.00000	13.696393		
19	-131.30000	34.304033	S i O ₂	L ₁₁₀
20	-234.31195	0.500000		
21	-3481.76680	26.520978	S i O ₂	L ₁₁₁
22	-324.33350	0.500000		
23	772.98524	29.000000	S i O ₂	L ₁₁₂
24	-513.00000	0.500000		
25	403.00000	28.000000	S i O ₂	L ₁₁₃
26	-2036.40977	0.500000		
27	220.05778	42.629600	S i O ₂	L ₁₁₄

10

20

30

40

28	-3600.00000	0.500000			
29	-3785.46147	31.537549	S i O ₂	L ₂₁	
30	150.37555	11.669230			
31	246.26737	16.443006	S i O ₂	L ₂₂	
32	156.76128	40.146907			
33	-207.62202	14.321328	S i O ₂	L ₂₃	
34	368.72637	29.000000			10
35	(開口絞り)	21.698779			
36	-148.87213	14.010068	S i O ₂	L ₂₄	
37	9053.85035	0.500000			
38	4600.00000	32.000000	C a F ₂	L ₃₁	
39	-178.53029	0.500000			
40	-1783.59529	21.000000	S i O ₂	L ₃₂	
41	-318.03867	0.500000			20
42	412.11180	38.720628	C a F ₂	L ₃₃	
43	-337.09142	9.729076			
44	-231.04745	21.000000	S i O ₂	L ₃₄	
45	-1072.64383	0.500000			
46	620.00000	26.000000	S i O ₂	L ₃₅	
47	-1083.02216	0.500000			
48	378.86703	27.500000	S i O ₂	L ₃₆	30
49	-4093.90236	0.500000			
50	268.72335	27.500000	S i O ₂	L ₃₇	
51	1000.00000	0.500000			
52	137.71322	42.963984	C a F ₂	L ₃₈	
53	752.18201	2.379423			
54	1127.95978	22.281076	S i O ₂	L ₃₉	
55	103.84447	6.365035			40
56	121.81745	39.251047	S i O ₂	L ₃₁₀	
57	-3500.00000	0.530420			
58	-3215.04047	60.256455	S i O ₂	L ₃₁₁	
59	493.36069	14.427099			
60	(ウエハ)				

【表 3】

	r	d			
0	(レチクル)	103.390978			
1	-453.18731	17.000000	S i O ₂	L ₁₁	
2	370.52697	13.613089			
3	710.84358	26.000000	S i O ₂	L ₁₂	
4	-350.78200	1.000000			10
5	367.53957	28.000000	S i O ₂	L ₁₃	
6	-567.47540	1.000000			
7	289.50734	29.000000	S i O ₂	L ₁₄	
8	-899.09021	1.000000			
9	199.45895	23.000000	S i O ₂	L ₁₅	
10	103.61200	15.764153			
11	188.56105	25.800000	S i O ₂	L ₁₆	20
12	-574.20881	4.242446			
13	3000.00000	16.616840	S i O ₂	L ₁₇	
14	118.18165	21.762847			
15	-336.11504	15.000000	S i O ₂	L ₁₈	
16	161.39927	25.871656			
17	-120.57109	15.000000	S i O ₂	L ₁₉	
18	∞	33.995810			30
19	-2985.44349	36.979230	S i O ₂	L ₁₁₀	
20	-150.10550	11.683590			
21	-122.25791	28.000000	S i O ₂	L ₁₁₁	
22	-204.99200	1.000000			
23	∞	29.240000	S i O ₂	L ₁₁₂	
24	-312.57215	1.000000			
25	965.45342	27.000000	S i O ₂	L ₁₁₃	40
26	-643.40298	1.000000			
27	258.67450	39.000000	C a F ₂	L ₁₁₄	

28	-2967.14698	1.000000		
29	246.35328	35.600000	C a F ₂	L ₁₁₅
30	-2970.04481	1.000000		
31	∞	24.000000	S i O ₂	L ₂₁
32	157.63171	10.667015		
33	234.15227	17.000000	S i O ₂	L ₂₂
34	157.66180	32.592494		
35	-200.72428	15.000000	S i O ₂	L ₂₃
36	432.89447	37.939196		
37	(開口絞り)	24.400000		
38	-175.71116	17.000000	S i O ₂	L ₂₄
39	-2985.98357	1.000000		
40	-2985.99700	35.500000	C a F ₂	L ₃₁
41	-189.63629	1.000000		
42	-3000.00000	24.400000	S i O ₂	L ₃₂
43	-350.29744	1.000000		
44	362.38815	46.500000	C a F ₂	L ₃₃
45	-361.31567	10.870000		
46	-251.97148	23.000000	S i O ₂	L ₃₄
47	-662.28158	1.000000		
48	238.98700	38.100000	C a F ₂	L ₃₅
49	1994.63265	1.000000		
50	211.51173	33.400000	C a F ₂	L ₃₆
51	720.00000	1.000000		
52	129.92966	46.000000	C a F ₂	L ₃₇
53	669.85166	2.783304		
54	970.74182	19.986222	S i O ₂	L ₃₈
55	78.2021	6.273142		
56	86.12755	32.522737	S i O ₂	L ₃₉
57	230.00000	2.862480		
58	232.22064	44.183443	S i O ₂	L ₃₁₀
59	350.03691	19.466219		
60	(ウエハ)			

10

20

30

40

【表4】

	r	d		
0	(レチクル)	64.520598		
1	-235.90617	53.784690	S i O ₂	L ₁₁
2	-270.16209	0.500000		
3	1127.68810	23.000000	S i O ₂	L ₁₂
4	-458.14547	0.367730		
5	309.41543	24.901540	S i O ₂	L ₁₃
6	-1621.84734	0.500000		
7	214.91745	45.302946	S i O ₂	L ₁₄
8	125.60366	11.179000		
9	197.70102	22.419900	S i O ₂	L ₁₅
10	-673.74044	0.000000		
11	452.71985	17.000000	S i O ₂	L ₁₆
12	114.80732	19.500000		
13	-353.27211	16.000000	S i O ₂	L ₁₇
14	174.94617	23.520550		
15	-160.93746	16.280830	S i O ₂	L ₁₈
16	1343.01697	25.994827		
17	-246.69033	22.509494	S i O ₂	L ₁₉
18	-154.78807	11.564785		
19	-127.42035	45.572168	S i O ₂	L ₁₁₀
20	-182.19878	0.500000		
21	-1134.00789	26.000000	C a F ₂	L ₁₁₁
22	-248.33375	0.500000		
23	782.76783	27.000000	C a F ₂	L ₁₁₂
24	-438.84333	0.500000		
25	267.38925	27.500000	C a F ₂	L ₁₁₃
26	-5093.23484	0.500000		
27	244.65801	32.000000	C a F ₂	L ₁₁₄

10

20

30

40

28	1588.21390	0.500000			
29	1628.15704	21.963457	S i O ₂	L ₂₁	
30	266.08836	2.000000			
31	279.13822	26.251010	C a F ₂	L ₂₂	
32	1381.05415	0.500000			
33	1027.40289	16.000000	S i O ₂	L ₂₃	
34	133.99485	30.000000			10
35	-228.39309	13.000000	S i O ₂	L ₂₄	
36	169.83955	0.500000			
37	159.15726	35.000000	C a F ₂	L ₂₅	
38	-143.16000	0.500000			
39	-144.77183	13.000000	S i O ₂	L ₂₆	
40	409.94567	35.800000			
41	(開口絞り)	23.593530			20
42	-135.57463	14.318428	S i O ₂	L ₂₇	
43	-16818.16789	0.367730			
44	60950.20145	31.000000	C a F ₂	L ₃₁	
45	-159.57823	0.367730			
46	-1506.50081	20.151610	C a F ₂	L ₃₂	
47	-398.40906	0.367730			
48	761.40374	39.000000	C a F ₂	L ₃₃	30
49	-208.34770	4.500000			
50	-192.33440	20.000000	S i O ₂	L ₃₄	
51	-407.53523	0.000000			
52	431.18425	43.000000	C a F ₂	L ₃₅	
53	-390.96789	1.000000			
54	-383.12423	21.000000	S i O ₂	L ₃₆	
55	331.78052	0.500000			40
56	303.35407	34.000000	C a F ₂	L ₃₇	

57	-1111.68345	0.367730		
58	282.13377	28.500000	C a F ₂	L ₃₈
59	2418.86602	0.367730		
60	210.27525	28.000000	C a F ₂	L ₃₉
61	623.76444	0.367730		
62	143.38374	38.685210	C a F ₂	L ₃₁₀
63	3343.33158	1.103190		
64	31337.12818	20.000000	S i O ₂	L ₃₁₁
65	96.43594	4.500000		
66	107.06192	28.000000	C a F ₂	L ₃₁₂
67	-856.93233	0.500000		
68	-896.03322	18.000000	S i O ₂	L ₃₁₃
69	79.31691	1.500000		
70	81.33364	21.000000	C a F ₂	L ₃₁₄
71	-375.43232	0.500000		
72	-385.00000	34.811128	S i O ₂	L ₃₁₅
73	646.31465	15.330000		
74	(ウエハ)			

10

20

【 0 0 3 3 】

【 表 5 】

実施例番号	1	2	3	4
(1) L / f	1.3770	1.4058	1.1736	1.2924
(2) f ₃ / f _{3C}	1.3127	0.7908	1.1233	2.3275
(3) h _{3Cmax} / h _{3max}	0.9995	0.9994	0.9920	0.9857
(4) h _{3Qmax} / h _{3max}	0.9934	0.9924	0.9655	0.9902
(5) f ₃ / L	0.0868	0.0871	0.0913	0.0915
(6) f _{3Cmax} / L	0.3148	0.3103	0.3030	0.3277
(7) f _{3Qmax} / L	0.4406	0.4384	0.6058	0.5207
(8) h _{3Cave} / h _{3max}	0.8338	0.8862	0.8728	0.7869
(9) f ₁ / f _{1C}	—	—	1.0074	1.6897

30

40

【 0 0 3 4 】

図 3 に第 1 実施例の球面収差、非点収差、及び歪曲収差を示し、図 4 に第 1 実施例の横収差を示す。同様に、図 6 と図 7 に第 2 実施例の諸収差を示し、図 9 と図 10 に第 3 実施例の諸収差を示し、図 12 と図 13 に第 4 実施例の諸収差を示す。非点収差図中、M はメリジオナル像面を表し、S はサジタル像面を表す。また各収差図中、Y は像高を示す。

各収差図より明らかなように、各実施例とも、所要のレンズ構成を取り、且つ各条件式 (

50

1) ~ (9) を満たすことにより、良好な結像性能を有することが分かる。

なお、以上の各実施例では、193.4 nm の光を供給するエキシマレーザを露光光源として用いた例を示したが、本発明はこれらの光源に限られることなく、248.4 nm の光を供給するエキシマレーザ等の極紫外光源や、g 線 (436 nm)、i 線 (365 nm) の光を供給する水銀アークランプ、さらにはそれ以外の紫外領域の光を供給する光源を用いたものにも応用し得る。

【0035】

【発明の効果】

以上のように本発明により、色収差補正と他の単色諸収差の補正との両立を図った投影光学系が得られるから、露光用レーザー光源のスペクトル幅に余裕を持たせることができ、したがってスループットの向上を図ることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による投影光学系を適用する露光装置を示す概略図である。

【図2】第1実施例のレンズ構成図である。

【図3】第1実施例の球面収差、非点収差、及び歪曲収差図である。

【図4】第1実施例の横収差図である。

【図5】第2実施例のレンズ構成図である。

【図6】第2実施例の球面収差、非点収差、及び歪曲収差図である。

【図7】第2実施例の横収差図である。

【図8】第3実施例のレンズ構成図である。

20

【図9】第3実施例の球面収差、非点収差、及び歪曲収差図である。

【図10】第3実施例の横収差図である。

【図11】第4実施例のレンズ構成図である。

【図12】第4実施例の球面収差、非点収差、及び歪曲収差図である。

【図13】第4実施例の横収差図である。

【符号の説明】

P L ... 投影光学系

I S ... 照明光学装置

R ... レチクル

R S ... レチクルステージ

W ... ウエハ

W S ... ウエハステージ

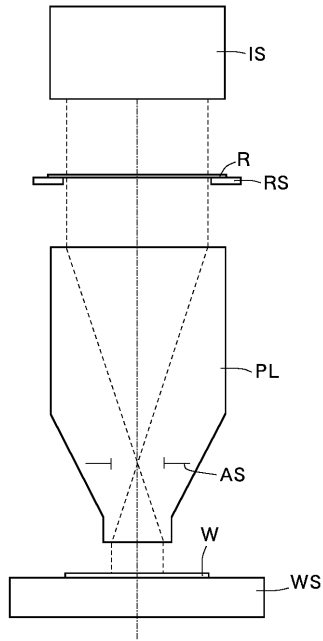
A S ... 開口絞り

30

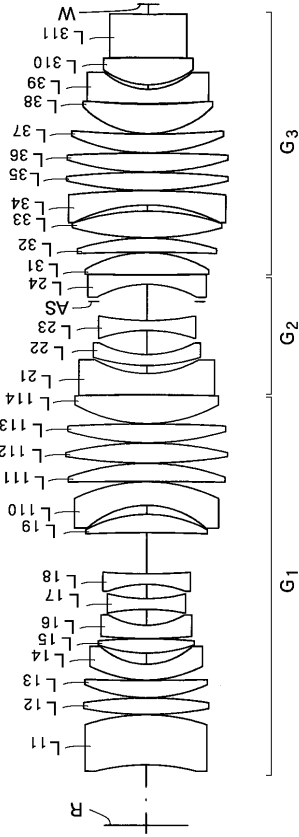
G₁ ~ G₃ ... レンズ群

L₁₁ ~ L₃₁₅ ... レンズエレメント

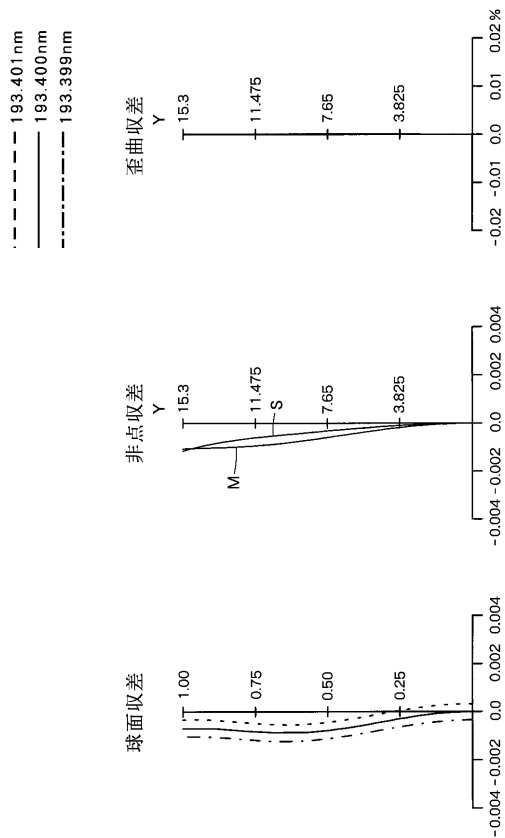
【図 1】



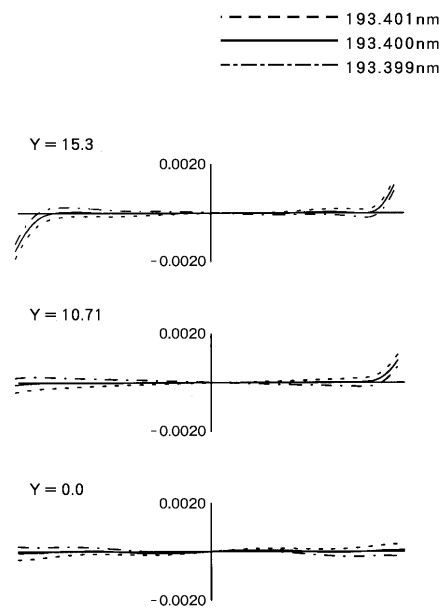
【図 2】



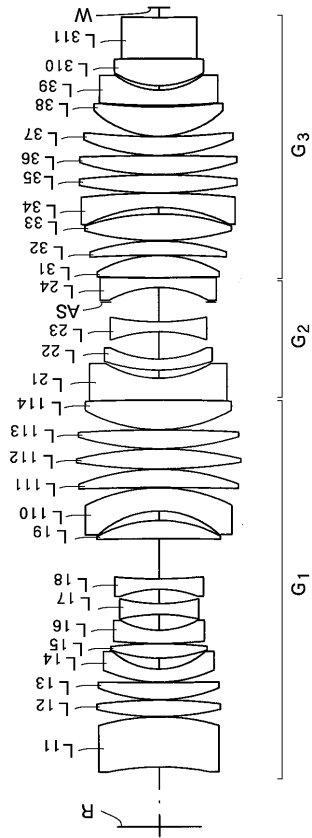
【図 3】



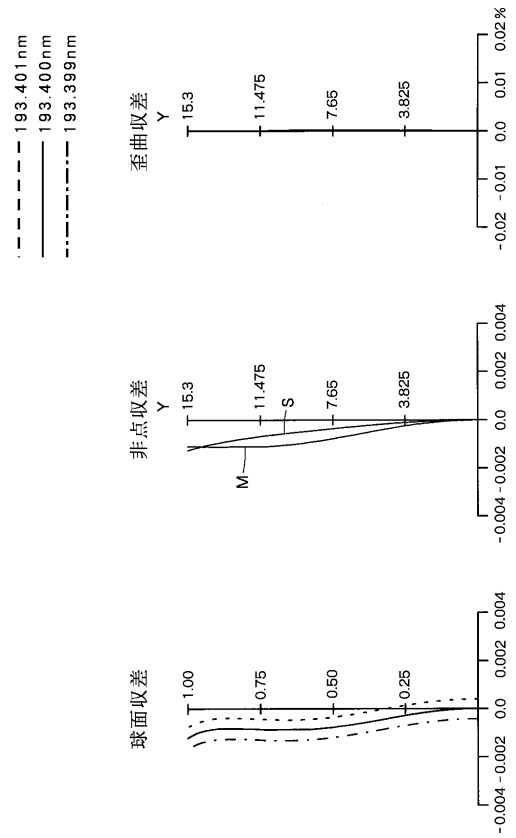
【図 4】



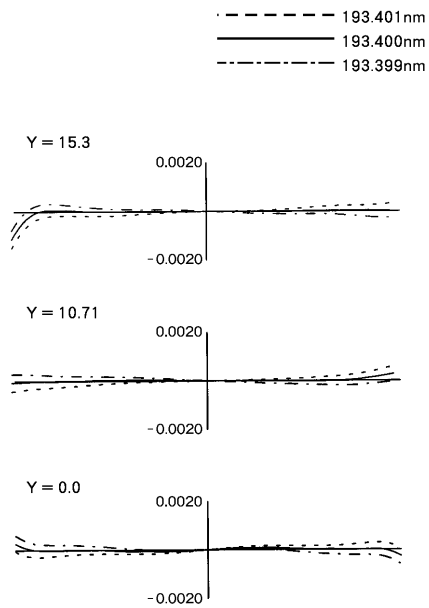
【図 5】



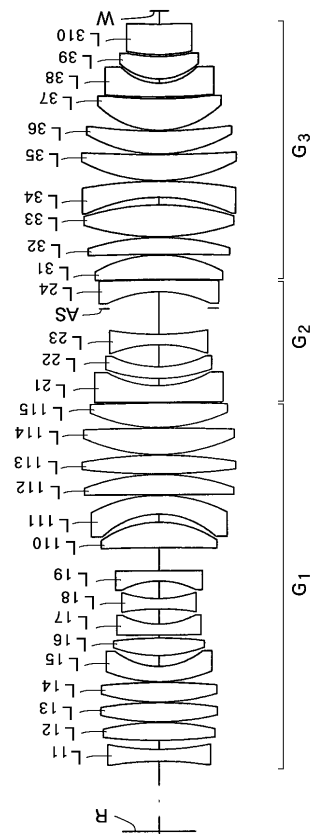
【図 6】



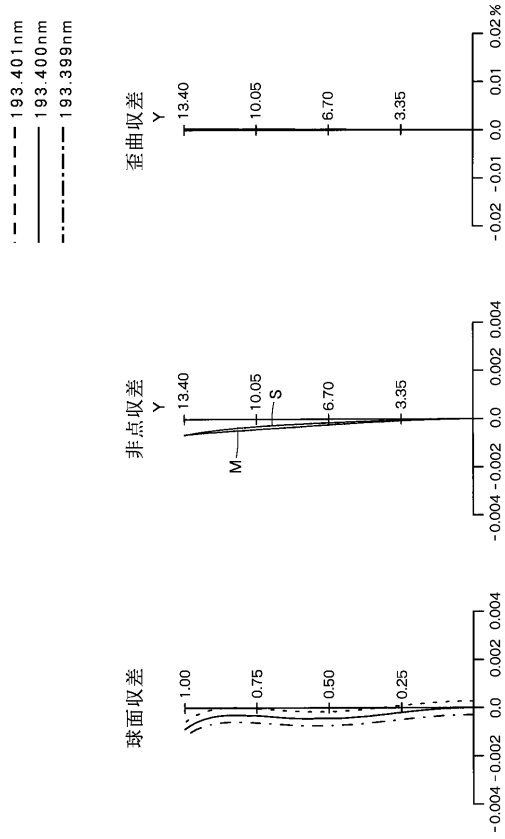
【図 7】



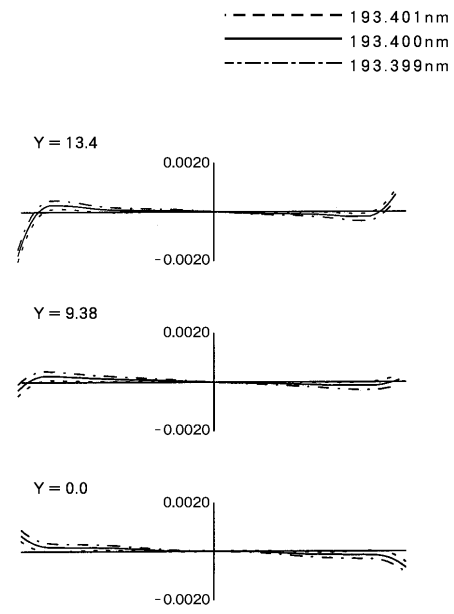
【図 8】



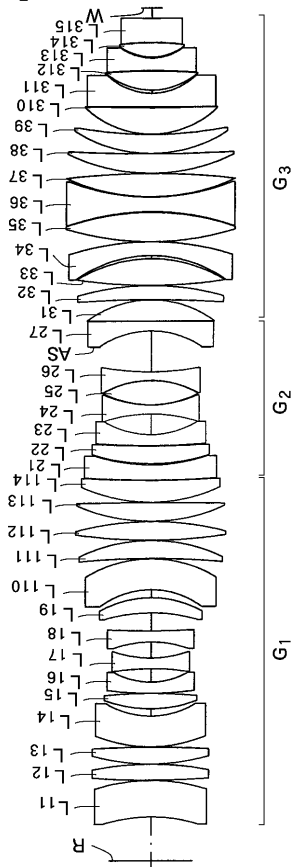
【図 9】



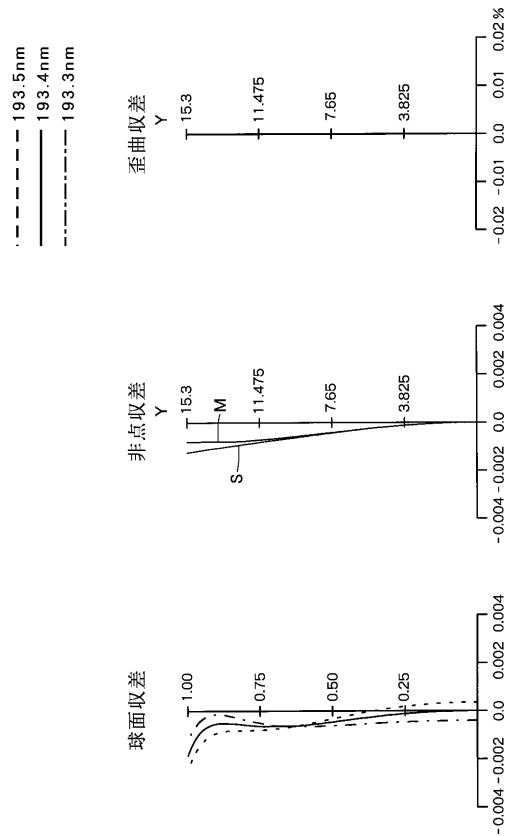
【図 10】



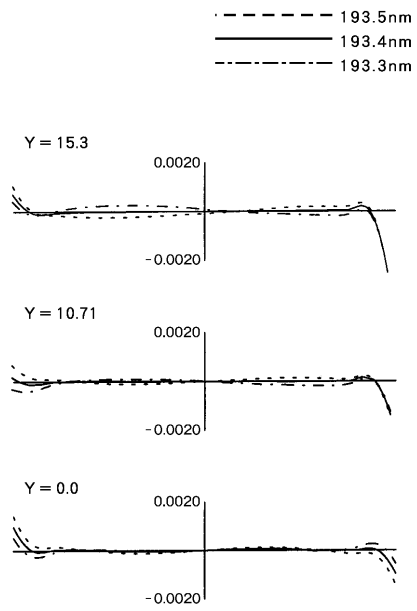
【図 11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

G02B 13/00-13/26