

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7585246号  
(P7585246)

(45)発行日 令和6年11月18日(2024.11.18)

(24)登録日 令和6年11月8日(2024.11.8)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 B 13/04 (2006.01)

G 0 2 B 13/00 (2006.01)

G 0 2 B 13/04

G 0 2 B 13/00

請求項の数 14 (全30頁)

(21)出願番号	特願2022-13869(P2022-13869)	(73)特許権者	000001007
(22)出願日	令和4年2月1日(2022.2.1)		キヤノン株式会社
(65)公開番号	特開2023-112233(P2023-112233 A)	(74)代理人	100110412
(43)公開日	令和5年8月14日(2023.8.14)		弁理士 藤元 亮輔
審査請求日	令和5年11月7日(2023.11.7)	(74)代理人	100104628
			弁理士 水本 敦也
		(74)代理人	100121614
			弁理士 平山 倫也
		(72)発明者	小林 優真
			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	瀬戸 息吹

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学系および撮像装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体側から像側へ順に配置された第1ユニットと第2ユニットと第3ユニットとからなる光学系であって、

前記第1ユニットは、第1基板と、該第1基板の物体側に配置された第1レンズと、該第1基板の像側に配置された負のパワーの第2レンズとを有し、

前記第2ユニットは、第2基板と、該第2基板の物体側または像側に配置された正のパワーの第3レンズとを有し、

前記第3ユニットは、第3基板と、該第3基板の物体側または像側に配置された正のパワーの第4レンズとを有し、

前記第1レンズの光軸上、有効半径の7割、有効半径の9割の位置における曲率半径をそれぞれ  $r_0$ 、 $r_7$ 、 $r_9$ 、前記光学系の焦点距離を  $f$ 、前記第1レンズの焦点距離を  $f_1$  とするとき、

- 1 . 0 0 0

$f \times ( 1 / r_9 - 1 / r_0 )$

0 . 7 0 0

- 1 . 0 0 0

$f \times ( 1 / r_7 - 1 / r_0 )$

0 . 6 0 0

0 . 0 0

$| f / f_1 |$

0 . 5 0

なる条件式の少なくとも一方を満足することを特徴とする光学系。

【請求項2】

前記第1レンズのd線を基準としたアッペ数を  $d_1$ 、前記第2レンズのd線を基準としたアッペ数を  $d_2$  とするとき、

- 3 0      d 2 -    d 1    7 0

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の光学系。

【請求項 3】

前記第 2 ユニットは、開口絞りを有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光学系。

【請求項 4】

前記開口絞りは、前記第 2 基板の上に配置されており、前記第 3 レンズよりも像側に配置されていることを特徴とする請求項 3 に記載の光学系。

【請求項 5】

前記開口絞りから前記第 4 レンズの物体側の面までの光軸上での距離を  $d$ 、前記第 4 レンズの焦点距離を  $f_4$  とするとき、

$$0.030 < d / f_4 < 0.390$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の光学系。

【請求項 6】

前記第 3 レンズは、前記第 2 基板の物体側に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 7】

前記第 4 レンズは、前記第 3 基板の物体側に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 8】

前記第 2 レンズの焦点距離を  $f_2$ 、前記第 3 レンズの焦点距離を  $f_3$ 、前記第 4 レンズの焦点距離を  $f_4$  とするとき、

$$0.30 < (f_3 - f_2) / f_4 < 1.60$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 9】

前記第 2 レンズの焦点距離を  $f_2$ 、前記第 4 レンズの焦点距離を  $f_4$  とするとき、

$$-5.50 < f_4 / f_2 < -1.00$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 10】

前記第 1 基板と前記第 1 レンズの屈折率は互いに異なることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 11】

前記第 1 基板と前記第 2 レンズの屈折率は互いに異なることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 12】

前記第 2 基板と前記第 3 レンズの屈折率は互いに異なることを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 13】

前記第 3 基板と前記第 3 レンズの屈折率は互いに異なることを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 14】

請求項 1 乃至 13 のいずれか一項に記載の光学系と、該光学系によって形成された像を受光する撮像素子とを有することを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学系および撮像装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、医療用内視鏡などの撮像装置に用いられる光学系として、小型でありながら高い

10

20

30

40

50

光学性能を有するものが求められている。特許文献 1 には、ウエハレベルプロセスにより製作された小型の光学系が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】米国特許第 9 7 9 8 1 1 5 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 においては、光学系の小型化と高い光学性能を両立するための具体的な構成について開示されていない。

10

【0005】

そこで本発明は、小型でありながら高い光学性能を有する光学系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】

【0006】

本発明の一側面としての光学系は、物体側から像側へ順に配置された第 1 ユニットと第 2 ユニットと第 3 ユニットとからなる光学系であって、前記第 1 ユニットは、第 1 基板と、該第 1 基板の物体側に配置された第 1 レンズと、該第 1 基板の像側に配置された負のパワーの第 2 レンズとを有し、前記第 2 ユニットは、第 2 基板と、該第 2 基板の物体側または像側に配置された正のパワーの第 3 レンズとを有し、前記第 3 ユニットは、第 3 基板と、該第 3 基板の物体側または像側に配置された正のパワーの第 4 レンズとを有し、前記第 1 レンズの光軸上、有効半径の 7 割、有効半径の 9 割の位置における曲率半径  $r_0$ 、 $r_7$ 、 $r_9$ 、前記光学系の焦点距離  $f$ 、前記第 1 レンズの焦点距離を  $f_1$  は、所定の条件式を満足する。

20

【0007】

本発明の他の目的及び特徴は、以下の実施例において説明される。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、小型でありながら高い光学性能を有する光学系を提供することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図 1】実施例 1 における光学系の断面図である。

【図 2】実施例 1 における光学系の収差図である。

【図 3】実施例 2 における光学系の断面図である。

【図 4】実施例 2 における光学系の収差図である。

【図 5】実施例 3 における光学系の断面図である。

【図 6】実施例 3 における光学系の収差図である。

【図 7】実施例 4 における光学系の断面図である。

40

【図 8】実施例 4 における光学系の収差図である。

【図 9】実施例 5 における光学系の断面図である。

【図 10】実施例 5 における光学系の収差図である。

【図 11】実施例 6 における光学系の断面図である。

【図 12】実施例 6 における光学系の収差図である。

【図 13】実施例 7 における光学系の断面図である。

【図 14】実施例 7 における光学系の収差図である。

【図 15】実施例 8 における光学系の断面図である。

【図 16】実施例 8 における光学系の収差図である。

【図 17】実施例 9 における光学系の断面図である。

50

【図 18】実施例 9 における光学系の収差図である。  
【図 19】実施例 10 における光学系の断面図である。  
【図 20】実施例 10 における光学系の収差図である。  
【図 21】実施例 11 における光学系の断面図である。  
【図 22】実施例 11 における光学系の収差図である。  
【図 23】実施例 12 における光学系の断面図である。  
【図 24】実施例 12 における光学系の収差図である。  
【図 25】実施例 13 における電子機器の要部概略図である。  
【図 26】実施例 14 における撮像装置の要部概略図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0010】

以下、本発明の実施例について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0011】

各実施例の光学系は、ウエハレベルオプティクスと呼ばれる技術を用いて得られる小型な光学系である。このような光学系はウエハレベルレンズと呼ばれ、ウエハレベルレンズを撮像光学系として用いた撮像装置は、ウエハレベルカメラと呼ばれる。各実施例の光学系は、小型かつ低コストであるという特徴から、例えば、携帯電話、スマートフォン、ウェアラブル端末などの電子機器の組み込み用カメラの光学系や、内視鏡の対物光学系として適して用いられる。

【0012】

20

各実施例の光学系は、ウエハレベルオプティクスと呼ばれる技術を用いて得られる小型な光学系である。このような光学系はウエハレベルレンズと呼ばれ、ウエハレベルレンズを撮像光学系として用いた撮像装置は、ウエハレベルカメラと呼ばれる。各実施例の光学系は、小型かつ低コストであるという特徴から、携帯電話、スマートフォン、ウェアラブル端末などの電子機器の組み込み用カメラの光学系や、内視鏡の対物光学系として適して用いられる。

【0013】

図 1、図 3、図 5、図 7、図 9、図 11、図 13、図 15、図 17、図 19、図 21、および図 23 はそれぞれ、実施例 1 ~ 12 の光学系（ウエハレベルレンズ）1 a、1 b、1 c、1 d、1 e、1 f、1 g、1 h、1 i、1 j、1 k、1 l の断面図である。各断面図において、左方が物体側（前方）、右方が像側（後方）である。IP は像面である。像面 IP には、撮像装置における CCD センサや CMOS センサなどの固体撮像素子の撮像面や、銀塩フィルムカメラのフィルム面に相当する感光面が配置される。

30

【0014】

図 2、図 4、図 6、図 8、図 10、図 12、図 14、図 16、図 18、図 20、図 22、および図 24 はそれぞれ、実施例 1 ~ 12 の光学系 1 a、1 b、1 c、1 d、1 e、1 f、1 g、1 h、1 i、1 j、1 k、1 l の収差図である。各収差図は、左から球面収差図、非点収差図、歪曲収差図、および倍率色収差図を含む。球面収差図において、d 線（波長 587.6 nm）、g 線（波長 435.8 nm）、C 線（波長 656.3 nm）、および F 線（波長 486.1 nm）に対する球面収差量をそれぞれ示す。非点収差図において、S は d 線に対するサジタル像面における非点収差量、M は d 線に対するメリディオナル像面における非点収差量を示す。歪曲収差図において、d 線に対する歪曲収差量を示す。倍率色収差図において、g 線、C 線、F 線に対する色収差量を示す。Fno は F ナンバー、 $\theta$  は半画角（度）である。

40

【0015】

各実施例の光学系は、物体側から像側へ順に配置された、第 1 ユニット L1 と第 2 ユニット L2 と第 3 ユニット L3 とからなる。第 1 ユニット L1 は、第 1 基板 11 と、第 1 基板 11 の物体側に配置された第 1 レンズ 12 と、第 1 基板 11 の像側に配置された負のパワーの第 2 レンズ 13 とを有する。第 2 ユニット L2 は、第 2 基板 21 と、第 2 基板 21 の像側または物体側に配置された正のパワーの第 3 レンズ 22 と、開口絞り SP とを有す

50

る。第3ユニットL3は、第3基板31と、第3基板31の物体側または像側に配置された第4レンズ32を有する。第3基板31は、実施例によってはバックカバーガラスとなりうる。

【0016】

実施例1～3、7の光学系は、第3基板31の像側に配置された第4基板（センサカバーガラス）41を有する。実施例4～6、8において、第3基板31は、バックカバーガラスとセンサカバーガラスの機能を兼ねている。

【0017】

第1基板11は平面基板、第1レンズ12は物体側に曲面を向けたレンズであり、負レンズであっても正レンズであってもよく、また光軸近傍で平面となっていてよい。一般に、両面が平面でかつそれらが平行であるような光学素子をレンズとは呼ばないが、第1レンズ12は光軸近傍が平面であっても軸外領域では曲率がついており、屈折力を有するため、光軸近傍で屈折力を有さない場合も含めて第1レンズと呼ぶこととする。屈折力がある第2レンズ13は像側に凹面を向けた負レンズ（光軸近傍では平凹レンズ）である。第2レンズ13は、ウエハレベルプロセスを用いて第1基板11の像側の面に形成され、第1基板11上に密着して配置されている。第1基板11の物体側に第1レンズ12を形成することで、基板の枚数を増加させずに（すなわち低コストで）光学性能を高めることができる。また第1レンズ12の位置は他のレンズに比べて軸上光束と軸外光束が分離されており、適切な非球面形状を有することで特に軸外の収差を効果的に補正可能である。このため、広角化にも有利である。

【0018】

第2基板21は平面基板、第3レンズ22は物体側に凸面を向けた正レンズ（光軸近傍では平凸レンズ）または像側に凸面を向けた正レンズ（光軸近傍では平凸レンズ）である。第3レンズ22は、ウエハレベルプロセスを用いて第2基板21の物体側または像側の面に形成され、第2基板21上に密着して配置されている。第3基板31は平面基板、第4レンズ32は、物体側に凸面を向けた正レンズ（平凸レンズ）または像側に凸面を向けた正レンズ（平凸レンズ）である。第4レンズ32は、ウエハレベルプロセスを用いて第3基板31の物体側または像側の面に形成され、第3基板31上に密着して配置されている。第4基板（センサカバーガラス）41は、イメージセンサ（撮像素子）を保護するために設けられている。

【0019】

各実施例では、小型で低コストの光学系を実現するため、第1ユニットL1、第2ユニットL2、および第3ユニットL3をウエハレベルプロセスで製造する。すなわち第1ユニットL1、第2ユニットL2、および第3ユニットL3はそれぞれ、ガラス材料等からなるウエハ（平面基板）上に硬化性樹脂材料等からなるレンズ層を形成することで製造される。第2ユニットL2において、第2基板21の像側に、同様のウエハプロセスで開口絞りSPが形成される。ウエハレベルプロセスで製造された第1ユニットL1と第2ユニットL2と第3ユニットL3、およびイメージセンサを所望の間隔をあけてそれぞれ配置し、光線有効径の外部などで接着した後に切断する。これにより、多数のウエハレベルレンズを一度に製造することができる。光線有効径とは、それぞれの光学面の、有効な結像光束が通過しうる領域のうち、最も光軸から離れた位置から光軸までの距離の2倍である。有効な結像光束とは、迷光および像面IP上で画像の記録される領域外に結像する光線を除いた、光束を意味する。光線有効径は、各実施例の光学系の最も物体側の面については、該光学面を最軸外光束の下線または上線が通過する位置と光軸までの距離の大きい方の2倍に一致する。

【0020】

各実施例において、光線有効径を有効径、最大有効径などと記載する場合がある。また、光学面とは、レンズ面や、平板の両面、それらの接合面などを指す。また、光線有効径を2で割った値を有効半径と呼ぶ。また、各実施例の最大像高よりわずかに小さい撮像素子を使用することで、製造時に生じうる撮像素子と光学系の中心軸のずれ、製造誤差に強

い撮像系とすることができる。

【0021】

レンズ層を形成する材料は、熱可塑性樹脂でも紫外線硬化樹脂でも熱硬化性樹脂でも構わない。例として、アクリル樹脂、変性アクリル樹脂、ポリカーボネート樹脂、変性ポリカーボネート樹脂（例えばフルオレン骨格を含むものや、三菱ガス化学株式会社製のユビゼータなど）がある。また、エポキシ樹脂、シリコン樹脂、シクロオレフィンポリマー、シクロオレフィンコポリマー、ポリビニルカルバゾール、ポリスチレン、ポリエチレン、テフロン（登録商標）、ポリフッ化ビニリデン、ポリスルホン、ポリアリレート、ポリイミドがある。また、三井・ケマーズ フロロプロダクツ株式会社製のテフロンAF、AGC株式会社製のサイトップ、パーフルオロアルコキシアルカンなどがある。これらのうちいくつかをブレンドしたもの、共重合したもの、共重合したものをさらにブレンドしたものをを用いてもよい。また、これら樹脂材料に有機低分子ないし無機材料の粒子や結晶などを添加および／または混練した材料を用いてもよい。また、基板材料に比べて融点ないしガラス転移点が十分に低いガラス材料を用いてもよい。例えば株式会社スミタ光学ガラス製のK-PG325はガラス転移点が300以下と低く、各実施例の光学系に好適である。各実施例の光学系において、基板材料としてはガラス、石英、結晶、セラミック、エンジニアリングプラスチックなどが好適である。

10

【0022】

なお各実施例において、第1基板11、第2基板21、および第3基板31はそれぞれガラスからなり、第1レンズ12、第2レンズ13、第3レンズ22、および第4レンズ32はそれぞれ樹脂ないしガラスからなるが、これらに限定されるものではない。例えば、第1基板11と第1レンズ12の両方を樹脂で形成してもよい。この点は、第1基板11と第2レンズ13、第2ユニットL2や第3ユニットL3に関しても同様である。

20

【0023】

開口絞りSPは、例えばクロムなどの遮光膜を、マスクを用いて蒸着することや、蒸着後にエッチングにより開口部を形成することで、第2基板21上に形成することができる。その際に、開口絞りSPを基板等の平面上に形成することで、厚さ方向のマスク配置の制御が容易になるため製造上好ましい。

【0024】

また各実施例の光学系において、それぞれの基板は1枚の基板から構成される必要はなく、2枚以上の基板から構成されていてもよい。特に第1基板11を2枚の基板から構成する場合、第1レンズ12と第2レンズ13とを異なる基板上に成形し、前記基板同士を貼り合わせることで、成形面の精度を容易に高めることができる。

30

【0025】

各実施例の光学系は、第1ユニットL1と第2ユニットL2と第3ユニットL3とを一体化した光学系である。各実施例の光学系と第4基板（センサカバーガラス）41とが接合されることで、撮像系として機能する。実施例1から7においては、第3基板31はバックカバーガラスとなり、バックカバーガラスの物体側に第4レンズ32のレンズ面を形成することで、バックカバーガラスとセンサカバーガラスとを直接接合することが可能になる。このような構成により、材料や製作工程のコストが抑制された（すなわち低コストで）、高い光学性能を有する小型の光学系を提供することが可能になる。また、第3基板31をセンサカバーガラスとして、第3基板31の物体側に第4レンズ32のレンズ面を形成することもでき、より低コストの製作工程となるため好ましい。

40

【0026】

実施例8、9において、樹脂面同士を貼り合わせる必要がなく、各ユニット間のスペースの精度を容易に高めることができる。このため、製造工程の簡略化や歩留まりの向上などによって低コスト化が実現される。

【0027】

実施例10～12において、第2基板21と第3基板31とを直接接合することができるため、低コストで高精度な構成とすることができる。実施例10、12に示されるよう

50

に、センサカバーガラスの他に３枚のみの基板を用いることで（すなわち低コストで）、明るく、広画角な光学系を実現できる。この構成では、接合部が開口絞りＳＰとなっており、開口絞りＳＰは第２基板側に形成しても第３基板側に形成してもよく、または開口の形状を形成した薄いシートなどを挟み込んでもよい。

#### 【００２８】

また各実施例の光学系は、レンズの保護などを目的として、第１レンズ１２よりも物体側に平板ないし両面の曲率が略同等となる保護板等を有していてもよい。前記平板または保護版を波長選択フィルタとして、特定波長のみを撮像する光学システムとしてもよい。

#### 【００２９】

各実施例の光学系は、第１レンズ１２の光軸上、有効半径の７割、有効半径の９割の３つの位置における曲率半径をそれぞれ $r_0$ 、 $r_7$ 、 $r_9$ 、光学系（全系）の焦点距離を $f$ とすると、以下の条件式（１）および条件式（２）の少なくとも一方を満足する。なお、軸外の曲率半径とは、その点における面の接線にその点で接し、光軸上に中心を有する円の半径である。

#### 【００３０】

$$-1.000 \leq f \times (1/r_9 - 1/r_0) \leq 0.700 \quad \cdots (1)$$

$$-1.000 \leq f \times (1/r_7 - 1/r_0) \leq 0.600 \quad \cdots (2)$$

条件式（１）または条件式（２）の下限値を下回ると、バックフォーカスが短くなり、センサカバーガラスまたはバックカバーガラスまたはその両方を極めて薄くしなければならず、製造上好ましくない。一方、条件式（１）または条件式（２）の上限値を上回ると、軸外の正のパワーが強くなり、像面湾曲を抑制できずヴィネティングが大きくなる。

#### 【００３１】

好ましくは、条件式（１）、（２）の数値範囲はそれぞれ、以下の条件式（１ａ）、（２ａ）のように設定される。より好ましくは、条件式（１）、（２）の数値範囲はそれぞれ、以下の条件式（１ｂ）、（２ｂ）のように設定される。更に好ましくは、条件式（１）、（２）の数値範囲はそれぞれ、以下の条件式（１ｃ）、（２ｃ）のように設定される。これにより、各実施例の効果をより確かなものとすることができる。

#### 【００３２】

$$-0.800 \leq f \times (1/r_9 - 1/r_0) \leq 0.675 \quad \cdots (1a)$$

$$-0.800 \leq f \times (1/r_7 - 1/r_0) \leq 0.575 \quad \cdots (2a)$$

$$0.000 \leq f \times (1/r_9 - 1/r_0) \leq 0.650 \quad \cdots (1b)$$

$$0.000 \leq f \times (1/r_7 - 1/r_0) \leq 0.560 \quad \cdots (2b)$$

$$0.000 \leq f \times (1/r_9 - 1/r_0) \leq 0.600 \quad \cdots (1c)$$

$$0.000 \leq f \times (1/r_7 - 1/r_0) \leq 0.550 \quad \cdots (2c)$$

好ましくは、各実施例の光学系は、第１レンズ１２、第２レンズ１３の $d$ 線を基準としたアッペ数をそれぞれ $d_1$ 、 $d_2$ とすると、以下の条件式（３）を満足する。

#### 【００３３】

$$-3.0 \leq d_2 - d_1 \leq 7.0 \quad \cdots (3)$$

なお、ある材料の $d$ 線を基準としたアッペ数 $d$ は、フラウンホーファ線の $d$ 線（５８７．６ｎｍ）、Ｆ線（４８６．１ｎｍ）、Ｃ線（６５６．３ｎｍ）における屈折率を $N_d$ 、 $N_F$ 、 $N_C$ とすると、

$$d = (N_d - 1) / (N_F - N_C)$$

で表される。

#### 【００３４】

条件式（３）を満足することにより、倍率色収差を効果的に低減することができる。条件式（３）の下限値を下回ると、軸上色収差が増大し、好ましくない。一方、条件式（３）の上限値を上回ると、倍率色収差が増大し、好ましくない。

#### 【００３５】

より好ましくは、条件式（３）の数値範囲は、以下の条件式（３ａ）のように設定される。更に好ましくは、条件式（３）の数値範囲は、以下の条件式（３ｂ）のように設定さ

10

20

30

40

50

れる。これにより、各実施例の効果をより確かなものとすることができる。

【0036】

$$\begin{aligned} & -2.0 < d_2 - d_1 < 6.5 \cdots (3a) \\ & -1.5 < d_2 - d_1 < 5.5 \cdots (3b) \end{aligned}$$

好ましくは、各実施例の光学系は、第1レンズ12の焦点距離を $f_1$ とすると、以下の条件式(4)を満足する。

【0037】

$$0.00 < |f/f_1| < 0.50 \cdots (4)$$

定義上、条件式(4)の下限値を下回ることではない。また、条件式(4)の上限値を上回ると、 $f/f_1 < 0$ である場合には第1レンズ12で光束が大きく拡散されるため、他のレンズおよび基板の外径を大きくする必要があり、小型化に不利となる。また、条件式(4)の上限値を上回り、 $f/f_1 > 0$ である場合には、バックフォーカスが短くなり、センサカバーガラスまたはバックカバーガラスまたはその両方を極めて薄くしなければならず、製造上好ましくない。また、レンズ全体で正パワーの要素が負パワーの要素に比べて数およびパワーの点で大きくなり、収差の相殺が困難となる。

【0038】

より好ましくは、条件式(4)の数値範囲は、以下の条件式(4a)のように設定される。更に好ましくは、条件式(4)の数値範囲は、以下の条件式(4b)のように設定される。また、更に好ましくは、条件式(4)の数値範囲は、以下の条件式(4c)のように設定される。これにより、各実施例の効果をより確かなものとすることができる。

【0039】

$$\begin{aligned} & 0.00 < |f/f_1| < 0.40 \cdots (4a) \\ & 0.00 < |f/f_1| < 0.35 \cdots (4b) \\ & 0.00 < |f/f_1| < 0.29 \cdots (4c) \end{aligned}$$

好ましくは、各実施例の光学系は、第2レンズ13の焦点距離を $f_2$ 、第4レンズ32の焦点距離を $f_4$ とすると、以下の条件式(5)を満足する。

【0040】

$$-5.50 < f_4/f_2 < -1.00 \cdots (5)$$

条件式(5)を満足することで、非点収差と歪曲を適切な値に補正することが可能になる。

【0041】

より好ましくは、条件式(5)の数値範囲は、以下の条件式(5a)のように設定される。更に好ましくは、条件式(5)の数値範囲は、以下の条件式(5b)のように設定される。また、更に好ましくは、条件式(5)の数値範囲は、以下の条件式(5c)のように設定される。これにより、各実施例の効果をより確かなものとすることができる。

【0042】

$$\begin{aligned} & -5.30 < f_4/f_2 < -1.25 \cdots (5a) \\ & -5.25 < f_4/f_2 < -1.30 \cdots (5b) \\ & -5.10 < f_4/f_2 < -1.31 \cdots (5c) \end{aligned}$$

実施例1乃至7の光学系において、第2基板21の物体側に第3レンズ22が配置され、第3基板31の物体側に第4レンズ32が配置されている。このような光学系では、開口絞りSPよりも物体側に配置された第1レンズ12と第2レンズ13と第3レンズ22との間で諸収差をキャンセルしつつ、開口絞りSPよりも像側の第4レンズ32で発生する収差とのバランスをとる構造となっている。このため、好ましくは、第3レンズ22の焦点距離を $f_3$ とすると、以下の条件式(6)を満足する。

【0043】

$$0.30 < (f_3 - f_2)/f_4 < 1.60 \cdots (6)$$

条件式(6)の下限値を下回ると、第4レンズ32のパワーが小さくなるため、開口絞りSPの前後での収差補正のバランスが崩れるため好ましくない。一方、条件式(6)の上限を超えると、第4レンズ32のパワーが大きくなり、諸収差の補正が困難になると

10

20

30

40

50



もに、第４レンズ３２の径が大きくなるため、有効径外の幅の確保が難しくなり、製造上難易度が高い構成となる。

【００４４】

より好ましくは、条件式（６）の数値範囲は、以下の条件式（６ａ）のように設定される。更に好ましくは、条件式（６）の数値範囲は、以下の条件式（６ｂ）のように設定される。また、更に好ましくは、条件式（６）の数値範囲は、以下の条件式（６ｃ）のように設定される。これにより、各実施例の効果をより確かなものとすることができる。

【００４５】

$$0.30 < (f_3 - f_2) / f_4 < 1.40 \quad \cdots (6a)$$

$$0.35 < (f_3 - f_2) / f_4 < 1.25 \quad \cdots (6b)$$

$$0.40 < (f_3 - f_2) / f_4 < 1.20 \quad \cdots (6c)$$

各実施例の光学系において、開口絞りＳＰよりも像側では第４レンズ３２のみまたは第４レンズ３２および第３レンズ２２で収差補正を担っている。開口絞りＳＰよりも像側に第３レンズ２２を配置する場合、実施例８、９のように、開口絞りＳＰから第３レンズ２２までの距離は短く、第３レンズ２２において軸上光と軸外光の分離が小さい。このため、軸外の収差補正を絞りより像側で担うのは主に第４レンズ３２である。したがって、開口絞りＳＰから第４レンズ３２までの距離および第４レンズ３２のパワーを適切に設定することが望ましい。好ましくは、開口絞りＳＰから第４レンズ３２の物体側の面までの光軸上での距離をｄとすると、以下の条件式（７）の数値範囲を満足する。

【００４６】

$$0.030 < d / f_4 < 0.390 \quad \cdots (7)$$

条件式（７）の下限値を下回ると、第４レンズ３２のパワーが小さくなるため、開口絞りＳＰよりも像側で発生した収差を補正することが困難となる。一方、条件式（７）の上限値を上回ると、第４レンズ３２の外周部に入射する光線角度が緩やかになるため、高次の収差を補正することが困難となる。

【００４７】

より好ましくは、条件式（７）の数値範囲は、以下の条件式（７ａ）のように設定される。更に好ましくは、条件式（７）の数値範囲は、以下の条件式（７ｂ）のように設定される。これにより、各実施例の効果をより確かなものとすることができる。

【００４８】

$$0.040 < d / f_4 < 0.385 \quad \cdots (7a)$$

$$0.050 < d / f_4 < 0.380 \quad \cdots (7b)$$

以下、各実施例の光学系について詳細に述べる。

【実施例１】

【００４９】

まず、図１および図２を参照して、実施例１（数値実施例１）における光学系１ａについて説明する。

【００５０】

図１に示されるように、光学系１ａは、第１ユニットＬ１と第２ユニットＬ２と第３ユニットＬ３とからなる。第１ユニットＬ１は、第１基板１１と、第１基板１１の物体側に配置された第１レンズ１２と、第１基板１１の像側に配置された第２レンズ１３とからなる。第１レンズ１２は物体側に凹面を向けた負レンズであり、第２レンズ１３は光軸ＯＡの付近において像側に凹面を向けた負レンズである。第１レンズ１２および第２レンズ１３は、ウエハレベルプロセスを用いて第１基板１１の物体側および像側の面にそれぞれ形成される。

【００５１】

第２ユニットＬ２は、第２基板２１と、第２基板２１の物体側に配置された第３レンズ２２と、第２基板２１の像側に配置された開口絞りＳＰとからなる。第３レンズ２２は、ウエハレベルプロセスを用いて第２基板２１の物体側の面に形成される。第３ユニットＬ３は、第３基板３１と、第３基板の物体側に配置された第４レンズ３２と、第３基板３１

の像側に配置されたセンサカバーガラス 4 1、4 2 とからなる。第 4 レンズ 3 2 は、ウエハレベルプロセスを用いて第 3 基板 3 1 の物体側の面に形成される。第 3 基板 3 1 は、センサカバーガラス 4 1、4 2 と接合されている。本実施例において、センサカバーガラス 4 1、4 2 は、互いに屈折率が異なる。また本実施例において、第 2 基板 2 1 の像側には開口絞り S P が形成されている。光学系 1 a は、第 1 ユニット L 1 の最も物体側の面から 5 mm の位置の物体に合焦するように設計されている。

#### 【0052】

図 2 は本実施例の光学系 1 a が物体距離 5 mm に合焦したときの縦収差図であり、左側から球面収差図、非点収差図、歪曲収差図、倍率色収差図である。なお物体距離は第一面からの距離であり、この点は他の実施例でも同様である。縦収差図において、F n o は F ナンバーを示し、 $\theta$  は半画角 (°) を示している。球面収差図において、実線は d 線 (波長 587.6 nm) に対する球面収差を、二点鎖線は g 線 (波長 435.8 nm) に対する球面収差を、一点鎖線は C 線 (波長 656.3 nm) に対する球面収差を、破線は f 線 (波長 486.1 nm) に対する球面収差を示す。非点収差図において、実線 S はサジタル像面を、破線 M はメリディオナル像面を示し、それぞれ d 線に対するものである。歪曲収差は d 線に対するものを示している。色収差図は g 線、C 線、F 線における倍率色収差を示しており、線種と波長の対応は球面収差図と同一である。これらのことは、他の実施例の縦収差図でも同じである。

#### 【実施例 2】

##### 【0053】

次に、図 3 および図 4 を参照して、実施例 2 (数値実施例 2) における光学系 1 b について説明する。図 3 に示されるように、本実施例の光学系 1 b の基本構成は、実施例 1 の光学系 1 a と同様である。光学系 1 b は、第 1 ユニット L 1 の最も物体側の面から 5 mm の位置の物体に合焦するように設計されている。図 4 は、光学系 1 b が物体距離 5 mm に合焦したときの縦収差図である。

#### 【実施例 3】

##### 【0054】

次に、図 5 乃至図 6 を参照して、実施例 3 (数値実施例 3) における光学系 1 c について説明する。図 5 に示されるように、本実施例の光学系 1 c の基本構成は、実施例 1 の光学系 1 a と同様である。光学系 1 c は、第 1 ユニット L 1 の最も物体側の面から 5 mm の位置の物体に合焦するように設計されている。図 6 は、光学系 1 c が物体距離 5 mm に合焦したときの縦収差図である。

#### 【実施例 4】

##### 【0055】

次に、図 7 および図 8 を参照して、実施例 4 (数値実施例 4) における光学系 1 d について説明する。図 7 に示されるように、本実施例の光学系 1 d のうち第 1 ユニット L 1 および第 2 ユニット L 2 の基本構成は、実施例 1 の光学系 1 a と同様である。第 3 ユニット L 3 において、第 4 レンズ 3 2 は、ウエハレベルプロセスを用いて第 3 基板 3 1 の物体側の面に形成される。第 3 基板 3 1 は、センサカバーガラスを兼ねている。光学系 1 d は、第 1 ユニット L 1 の最も物体側の面から 5 mm の位置の物体に合焦するように設計されている。図 8 は、光学系 1 d が物体距離 5 mm に合焦したときの縦収差図である。

#### 【実施例 5】

##### 【0056】

次に、図 9 および図 10 を参照して、実施例 5 (数値実施例 5) における光学系 1 e について説明する。図 9 に示されるように、本実施例の光学系 1 e のうち第 1 ユニット L 1 および第 2 ユニット L 2 の基本構成は、実施例 4 の光学系 1 d と同様である。第 3 ユニット L 3 において、第 4 レンズ 3 2 は、ウエハレベルプロセスを用いて第 3 基板 3 1 の物体側の面に形成される。第 3 基板 3 1 は、バックカバーガラスを兼ねており、センサカバーガラス 4 1 と接合される。光学系 1 e は、第 1 ユニット L 1 の最も物体側の面から 50 mm の位置の物体に合焦するように設計されている。図 10 は、光学系 1 e が物体距離 50

mmに合焦したときの縦収差図である。

【実施例 6】

【0057】

次に、図 1 1 および図 1 2 を参照して、実施例 6（数値実施例 6）における光学系 1 f について説明する。図 1 1 に示されるように、本実施例の光学系 1 f の基本構成は、実施例 4 の光学系 1 d と同様である。光学系 1 f において、第 3 基板 3 1 をセンサカバーガラスとして、第 3 基板 3 1 の物体側に第 4 レンズ 3 2 のレンズ面を形成しており、第 3 基板 3 1 がセンサカバーガラスとバックカバーガラスを兼ねている構成となっている。光学系 1 f は、第 1 ユニット L 1 の最も物体側の面から 1 0 mm の位置の物体に合焦するように設計されている。図 1 2 は、光学系 1 f が物体距離 1 0 mm に合焦したときの縦収差図である。

10

【実施例 7】

【0058】

次に、図 1 3 および図 1 4 を参照して、実施例 7（数値実施例 7）における光学系 1 g について説明する。図 1 3 に示されるように、本実施例の光学系 1 g の基本構成は、実施例 1 の光学系 1 a と同様である。光学系 1 g は、第 1 ユニット L 1 の最も物体側の面から 5 mm の位置の物体に合焦するように設計されている。図 1 4 は、光学系 1 g が物体距離 5 mm に合焦したときの縦収差図である。

【実施例 8】

【0059】

次に、図 1 5 および図 1 6 を参照して、実施例 8（数値実施例 8）における光学系 1 h について説明する。図 1 5 に示されるように、本実施例の光学系 1 h のうち第 1 ユニット L 1 の基本構成は、実施例 1 の光学系 1 a と同様である。第 2 ユニット L 2 は、第 2 基板 2 1 と、第 2 基板 2 1 の像側に配置された第 3 レンズ 2 2 と、第 2 基板 2 1 と第 3 レンズ 2 2 との間に配置された開口絞り S P とからなる。第 3 レンズ 2 2 は、ウエハレベルプロセスを用いて第 2 基板 2 1 の像側の面に形成される。第 4 レンズ 3 2 は、ウエハレベルプロセスを用いて第 3 基板 3 1 の像側の面に形成される。光学系 1 h は、第 1 ユニット L 1 の最も物体側の面から 1 0 mm の位置の物体に合焦するように設計されている。図 1 6 は、光学系 1 h が物体距離 1 0 mm に合焦したときの縦収差図である。

20

【実施例 9】

【0060】

次に、図 1 7 および図 1 8 を参照して、実施例 9（数値実施例 9）における光学系 1 i について説明する。図 1 7 に示されるように、本実施例の光学系 1 i の基本構成は、実施例 8 の光学系 1 h と同様である。光学系 1 i は、第 1 ユニット L 1 の最も物体側の面から 1 0 mm の位置の物体に合焦するように設計されている。図 1 8 は、光学系 1 i が物体距離 1 0 mm に合焦したときの縦収差図である。

30

【実施例 10】

【0061】

次に、図 1 9 および図 2 0 を参照して、実施例 10（数値実施例 10）における光学系 1 j について説明する。図 1 9 に示されるように、本実施例の光学系 1 j のうち第 1 ユニット L 1 の基本構成は、実施例 1 の光学系 1 a と同様である。第 2 ユニット L 2 は、第 2 基板 2 1 と、第 2 基板 2 1 の物体側に配置された第 3 レンズ 2 2 とからなる。第 3 レンズ 2 2 は、ウエハレベルプロセスを用いて第 2 基板 2 1 の物体側の面に形成される。第 3 ユニット L 3 は、第 3 基板 3 1 と、第 3 基板 3 1 の像側に配置された第 4 レンズ 3 2 とからなる。第 4 レンズ 3 2 は、ウエハレベルプロセスを用いて第 3 基板 3 1 の像側の面に形成される。

40

【0062】

第 2 基板 2 1 と第 3 基板 3 1 とは接合されており、第 2 基板 2 1 と第 3 基板 3 1 との接合面に開口絞り S P が配置されている。開口絞り S P を第 2 基板 2 1 の上に形成し、開口絞り S P が形成された第 2 基板 2 1 の面と第 3 基板 3 1 とを接合することができる。また

50

は、開口絞り S P を第 3 基板 3 1 の上に形成し、開口絞り S P が形成された第 3 基板 3 1 の面と第 2 基板 2 1 とを接合してもよい。光学系 1 j は、第 1 ユニット L 1 の最も物体側の面から無限遠の位置の物体に合焦するように設計されている。図 2 0 は、光学系 1 j が物体距離無限遠に合焦したときの縦収差図である。

【実施例 1 1】

【0063】

次に、図 2 0 および図 2 1 を参照して、実施例 1 1 (数値実施例 1 1) における光学系 1 k について説明する。図 2 0 に示されるように、本実施例の光学系 1 k の基本構成は、実施例 1 0 の光学系 1 j と同様である。光学系 1 k は、第 1 ユニット L 1 の最も物体側の面から 5 mm の位置の物体に合焦するように設計されている。図 2 1 は、光学系 1 k が物

10

【実施例 1 2】

【0064】

次に、図 2 2 および図 2 3 を参照して、実施例 1 2 (数値実施例 1 2) における光学系 1 l について説明する。図 2 2 に示されるように、本実施例の光学系 1 l の基本構成は、実施例 1 0 の光学系 1 j と同様である。光学系 1 l は、第 1 ユニット L 1 の最も物体側の面から 5 mm の位置の物体に合焦するように設計されている。図 2 3 は、光学系 1 l が物

【0065】

各実施例の球面収差図に示されるように、各実施例の球面収差はほぼ全域で 0 . 0 4 mm 以下の範囲となっている。各実施例の非点収差図に示されるように、各実施例の非点収差はほぼ全域で 0 . 0 4 mm 以下の範囲となっている。各実施例の歪曲収差図に示されるように、各実施例の歪曲収差は全域で 4 0 % 未満の範囲となっている。このように各実施例の光学系は、適切な収差を有する。

20

【0066】

以下、実施例 1 乃至 1 2 のそれぞれに対応する数値実施例 1 乃至 1 2 を示す。各数値実施例において、 $r$  は物体側より第  $i$  番目の面の曲率半径 (mm)、 $d$  は物体側より第  $i$  番目と第  $i + 1$  番目の軸上の面間隔 (mm)、 $n_d$ 、 $d$  はそれぞれ第  $i$  番目の光学部材の  $d$  線に対する屈折率とアッペ数である。焦点距離  $f$  (mm)、F ナンバー  $Fno$ 、半画角 (度) は、それぞれ無限遠物体に焦点を合わせたときの値である。B F は、バックフォーカスであり、光学系の最終面から像面までの距離である。レンズ全長は、第 1 面から像面までの距離である。非球面は、面番号の後に、\* の符号を付加して表している。非球面形状は、 $x$  を光軸方向の面頂点からの変異量、 $h$  を光軸と垂直な方向の光軸からの高さ、 $r$  を近軸曲率半径、 $k$  を円錐定数、 $A_i$  ( $i = 4, 6, 8, \dots$ ) を各次数の非球面係数とすると、以下の式で表される。

30

【0067】

【数 1】

$$x(h) = \frac{\left(\frac{h^2}{r}\right)}{1 + \sqrt{\left\{1 - (1 + k)\left(\frac{h}{r}\right)^2\right\}}} + A_4 h^4 + A_6 h^6 + A_8 h^8 + A_{10} h^{10} + \dots$$

40

【0068】

「 $e \pm Z$ 」および「 $E \pm Z$ 」の表示は「 $10 \pm Z$ 」を意味する。

【0069】

(数値実施例 1)

単位 mm

面データ

50

面番号	r	d	nd	d	有効径
1*	-1.7066	0.037	1.63000	24.0	0.63
2		0.100	1.51000	62.7	0.63
3		0.045	1.52290	50.3	0.48
4*	0.0903	0.096			0.23
5*	0.1191	0.096	1.52290	50.3	0.21
6		0.100	1.51000	62.7	0.63
7(絞り)		0.039			0.11
8*	0.2093	0.074	1.52290	50.3	0.26
9		0.100	1.51000	62.7	0.63
10		0.300	1.51000	62.7	0.63
11		0.030	1.55000	43.0	0.63
12		(可変)			0.63

像面

非球面データ

第1面

K = -8.45941e+04, A4 = 4.89407e+00, A6 = -3.45385e+01, A8 = -1.94676e+02,  
A10 = 6.27267e+03, A12 = -5.55737e+04, A14 = 1.75383e+05

第4面

K = -1.54423e+00, A4 = 1.87666e+02, A6 = -2.49567e+03, A8 = -2.46411e+05,  
A10 = 1.08123e+08, A12 = -6.21060e+09, A14 = 7.28742e+10

第5面

K = -1.18834e+01, A4 = 7.05330e+02, A6 = -1.50622e+05, A8 = 2.49522e+07,  
A10 = -2.53774e+09, A12 = 1.41239e+11, A14 = -3.28024e+12

第8面

K = -2.83247e+01, A4 = 1.60129e+02, A6 = -3.02316e+04, A8 = 3.69223e+06,  
A10 = -2.54515e+08, A12 = 9.03363e+09, A14 = -1.28024e+11

焦点距離 0.215

Fナンバー 2.823

半画角 62.848

像高 0.292

レンズ全長 1.020

BF 0.002

物体距離(1面から) -5.000

(数値実施例2)

面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1*	-1.8939	0.046	1.63000	24.0	0.63
2		0.100	2.10420	17.0	0.63
3		0.045	1.52290	50.3	0.48
4*	0.0971	0.120			0.23
5*	0.1413	0.106	1.52290	50.3	0.21
6		0.100	1.51000	62.7	0.63
7(絞り)		0.058			0.13
8*	0.2030	0.115	1.50670	70.5	0.33
9		0.100	1.51000	62.7	0.63
10		0.300	1.51000	62.7	0.63
11		0.030	1.55000	43.0	0.63
12		(可変)			0.63

像面

10

20

30

40

50

## 非球面データ

## 第1面

K = -1.00908e+05, A4 = 1.30289e+01, A6 = -2.67485e+02, A8 = 2.98995e+03,  
A10 = -1.77955e+04, A12 = 4.22636e+04, A14 = 6.63126e+03

## 第4面

K = -3.18178e+00, A4 = 4.17077e+02, A6 = -3.12231e+04, A8 = 4.27410e+06,  
A10 = -4.51905e+08, A12 = 2.73817e+10, A14 = -6.63483e+11

## 第5面

K = -1.49175e+01, A4 = 5.47753e+02, A6 = -1.06261e+05, A8 = 1.66703e+07,  
A10 = -1.65309e+09, A12 = 9.04616e+10, A14 = -2.06111e+12

10

## 第8面

K = -1.26492e+01, A4 = 5.73037e+01, A6 = -4.13428e+03, A8 = 1.84498e+05,  
A10 = -3.62708e+06, A12 = -7.16932e+06, A14 = 8.80566e+08

焦点距離 0.216

Fナンバー 2.808

半画角 62.122

像高 0.292

レンズ全長 1.121

BF 0.002

物体距離(1面から) -5.000

20

(数値実施例3)

## 面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1*	-0.9679	0.021	1.63000	24.0	0.75
2		0.200	1.51000	62.7	0.75
3		0.045	1.52290	50.3	0.75
4*	0.0950	0.106			0.23
5*	0.1283	0.128	1.52290	50.3	0.21
6		0.100	1.51000	62.7	0.63
7(絞り)		0.033			0.11
8*	0.2254	0.138	1.52290	50.3	0.26
9		0.100	1.51000	62.7	0.63
10		0.300	1.51000	62.7	0.63
11		0.030	1.55000	43.0	0.63
12		(可変)			0.63

30

## 像面

## 非球面データ

## 第1面

K = -4.54706e+02, A4 = 3.87307e+00, A6 = -3.68087e+01, A8 = -1.65168e+02,  
A10 = 5.67748e+03, A12 = -3.80028e+04, A14 = 8.25375e+04

40

## 第4面

K = -1.60507e+00, A4 = 2.65098e+02, A6 = -1.28325e+04, A8 = 4.52718e+05,  
A10 = 2.07086e+07, A12 = -3.45843e+08, A14 = -4.67512e+10

## 第5面

K = -1.31851e+01, A4 = 6.93044e+02, A6 = -1.55513e+05, A8 = 2.65090e+07,  
A10 = -2.76386e+09, A12 = 1.56251e+11, A14 = -3.64229e+12

## 第8面

K = -2.67990e+01, A4 = 1.36151e+02, A6 = -2.48758e+04, A8 = 2.83384e+06,  
A10 = -1.52074e+08, A12 = 2.00454e+09, A14 = 6.42297e+10

焦点距離 0.216

50

F ナンバー 3.277  
半画角 64.742  
像高 0.292  
レンズ全長 1.203  
BF 0.002  
物体距離(1面から) -5.000

(数値実施例4)

面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1*	-2.9404	0.048	1.51500	54.0	0.65
2		0.100	1.51680	64.2	0.65
3		0.045	1.51500	54.0	0.65
4*	0.1171	0.134			0.23
5*	0.1822	0.084	1.51500	54.0	0.22
6		0.100	1.51680	64.2	0.63
7(絞り)		0.052			0.14
8*	0.1988	0.077	1.51500	54.0	0.26
9		0.496	1.51680	64.2	0.63
10		(可変)			0.63

像面

非球面データ

第1面

K = 0.00000e+00, A4= 8.20997e+00, A6=-3.83404e+01, A8= 1.44601e+01,  
A10=-5.98561e+02, A12= 5.38817e+03

第4面

K =-4.67432e+00, A4= 2.53080e+02, A6= 2.62591e+04, A8=-8.45745e+06,  
A10= 1.16591e+09, A12=-7.18531e+10, A14= 1.72091e+12

第5面

K =-3.88997e-01, A4= 8.21018e+01, A6=-2.37164e+04, A8= 5.30410e+06,  
A10=-6.03616e+08, A12= 3.46711e+10, A14=-7.81729e+11

第8面

K =-1.55046e+01, A4= 9.23272e+01, A6=-1.01709e+04, A8= 8.42598e+05,  
A10= -4.61653e+07, A12= 1.45494e+09, A14= -1.96793e+10

焦点距離 0.234

F ナンバー 2.834

半画角 59.221

像高 0.280

レンズ全長 1.156

BF 0.020

物体距離(1面から) -5.000

(数値実施例5)

面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1*	-3.8573	0.150	1.63244	23.2	2.64
2		0.300	1.51680	64.2	2.49
3		0.059	1.52290	50.3	2.01
4*	0.3037	0.340			1.15
5*	0.3037	0.415	1.52290	50.3	0.88
6		0.300	1.51680	64.2	2.00
7(絞り)		0.085			0.26

8\* 0.8009 0.154 1.52290 50.3 0.98  
9 0.300 1.51680 64.2 2.00  
10 0.537 1.51680 64.2 2.00  
11 (可変) 2.00

像面

非球面データ

第1面

K = -2.33781e+01, A4 = 2.66512e-01, A6 = -2.71827e-01, A8 = 1.63073e-01,  
A10 = -5.62573e-02, A12 = 8.88364e-03, A14 = -2.73299e-04

第4面

K = -2.23840e+00, A4 = 2.57897e+00, A6 = -4.66870e+00, A8 = 3.27975e+01,  
A10 = -1.09736e+02, A12 = -2.86011e+01, A14 = 2.64759e+02

第5面

K = -2.86036e+00, A4 = 7.35985e+00, A6 = -5.46684e+01, A8 = 4.12570e+02,  
A10 = -1.91827e+03, A12 = 3.99088e+03, A14 = -3.64844e+03

第8面

K = -5.78612e+01, A4 = 3.28238e+00, A6 = -4.16190e+01, A8 = 3.46096e+02,  
A10 = -1.62714e+03, A12 = 3.94066e+03, A14 = -3.81556e+03

焦点距離 0.567

Fナンバー 2.823

半画角 58.975

像高 0.820

レンズ全長 2.660

BF 0.020

物体距離(1面から) -50.000

(数値実施例6)

面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1*	-0.5414	0.048	1.62998	24.2	0.70
2		0.100	1.51680	64.2	0.70
3		0.010	1.51000	57.5	0.63
4*	0.1273	0.112			0.32
5*	0.1537	0.106	1.55000	44.0	0.30
6		0.200	1.51680	64.2	0.70
7(絞り)		0.032			0.10
8*	0.2319	0.054	1.51000	57.5	0.28
9		0.100	1.51680	64.2	0.70
10		0.300	1.51680	64.2	0.70
11		(可変)		0.57	

像面

非球面データ

第1面

K = -8.93872e+05, A4 = 4.44157e+00, A6 = -7.74681e+01, A8 = 1.17271e+03,  
A10 = -1.06308e+04, A12 = 4.67838e+04, A14 = -7.72015e+04

第4面

K = -7.97739e-01, A4 = 1.73658e+01, A6 = 8.74219e+02, A8 = -4.91259e+04,  
A10 = 4.20029e+06, A12 = -3.25320e+07

第5面

K = -3.29982e-01, A4 = -1.83101e+01, A6 = 5.42738e+02, A8 = -5.08804e+04,

10

20

30

40

50



A10= 2.66873e+06, A12=-5.25031e+07

第8面

K =-1.71739e+01, A4= 8.46920e+01, A6=-6.70464e+03, A8= 3.61965e+05,  
A10=-1.13813e+07, A12= 1.57506e+08

焦点距離 0.241

Fナンバー 2.860

半画角 59.645

像高 0.283

レンズ全長 1.086

BF 0.024

10

物体距離(1面から) -10.000

(数値実施例7)

面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1*		0.045	1.63000	24.0	0.63
2		0.100	1.51000	62.7	0.63
3		0.045	1.52290	50.3	0.48
4*	0.0795	0.120			0.23
5*	0.1324	0.093	1.52290	50.3	0.21
6		0.100	1.51000	62.7	0.63
7(絞り)		0.046			0.11
8*	0.2151	0.139	1.52290	50.3	0.26
9		0.100	1.51000	62.7	0.63
10		0.300	1.51000	62.7	0.63
11		0.030	1.55000	43.0	0.63
12		(可変)			0.63

20

像面

非球面データ

第1面

K =-4.84959e+08, A4= 2.28540e+01, A6=-6.91808e+02, A8= 1.04838e+04,  
A10=-8.41586e+04, A12= 3.29782e+05, A14=-4.71350e+05

30

第4面

K =-2.92031e+00, A4= 4.37648e+02, A6= 6.89230e+04, A8=-2.53764e+07,  
A10= 3.26571e+09, A12=-1.90625e+11, A14= 4.26202e+12

第5面

K =-1.42861e+01, A4= 6.87504e+02, A6=-1.52757e+05, A8= 2.58960e+07,  
A10=-2.67593e+09, A12= 1.50415e+11, A14=-3.50170e+12

第8面

K =-2.39765e+01, A4= 1.23379e+02, A6=-2.07085e+04, A8= 2.31612e+06,  
A10=-1.50486e+08, A12= 5.19536e+09, A14=-7.40311e+10

40

焦点距離 0.216

Fナンバー 3.294

半画角 64.578

像高 0.292

レンズ全長 1.119

BF 0.002

物体距離(1面から) -5.000

(数値実施例8)

面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
-----	---	---	----	---	-----

50

1*	-0.5863	0.039	1.52000	50.3	0.61
2		0.100	1.51680	64.2	0.56
3		0.045	1.52000	47.0	0.37
4*	0.1684	0.079			0.19
5		0.000	1.59000	31.0	0.16
6		0.000	1.51680	64.2	0.16
7		0.100	1.51680	64.2	0.16
8(絞り)		0.066	1.52000	47.0	0.14
9*	-0.1375	0.030			0.15
10		0.000	1.51010	57.5	0.17
11		0.100	1.51680	64.2	0.17
12		0.053	1.52000	47.0	0.23
13*	-0.5850	0.030			0.26
14		0.500	1.51680	64.2	0.29
15		(可変)		0.59	

像面

非球面データ

第1面

K = 9.33495e-01, A4= 3.03773e+01, A6=-4.17311e+02, A8= 3.44075e+03,  
A10=-9.95257e+03, A12=-1.09012e+04

第4面

K =-9.27285e+01, A4= 8.66497e+02, A6=-2.09469e+05, A8= 4.43777e+07,  
A10=-4.94506e+09, A12= 2.34507e+11

第9面

K =-1.20716e+00, A4=-5.52866e+01, A6= 3.58487e+04, A8=-1.42433e+07,  
A10= 2.31038e+09, A12=-1.35468e+11

第13面

K =-4.10946e+03, A4=-8.79939e+01, A6= 1.39199e+04, A8=-1.32869e+06,  
A10= 6.36096e+07, A12=-1.18169e+09

焦点距離 0.232

Fナンバー 2.888

半画角 58.990

像高 0.283

レンズ全長 1.166

BF 0.024

物体距離(1面から) -10.000

(数値実施例9)

面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1*	-3.1789	0.066	1.63048	23.0	0.61
2		0.100	2.10420	17.0	0.57
3		0.045	1.52000	50.0	0.45
4*	0.1309	0.102			0.20
5		0.000	1.59000	31.0	0.17
6		0.000	1.51680	64.2	0.17
7		0.100	2.10420	17.0	0.17
8(絞り)		0.109	1.52000	50.0	0.13
9*	-0.1437	0.030			0.18
10		0.000	1.51010	57.5	0.24
11		0.100	1.51680	64.2	0.24

12                    0.065    1.52000    50.0            0.30  
13\*           -0.6293    0.030                    0.33  
14                    0.500    1.51680    64.2            0.36  
15                    (可変)                    0.60

像面

非球面データ

第1面

K = -8.95953e+05, A4= 8.97834e+00, A6= 6.88544e+01, A8=-3.52764e+03,  
A10= 4.12939e+04, A12=-1.68946e+05

第4面

K = -3.00090e+01, A4= 8.93183e+02, A6=-1.94671e+05, A8= 3.87327e+07,  
A10=-4.00219e+09, A12= 1.76454e+11

第9面

K = -8.34680e-02, A4= 1.54201e+01, A6= 5.18477e+03, A8=-7.15389e+05,  
A10= 4.99928e+07, A12=-8.06671e+08

第13面

K = -1.09323e+03, A4=-7.61975e+01, A6= 7.21542e+03, A8=-4.29188e+05,  
A10= 1.28397e+07, A12=-1.49959e+08

焦点距離            0.241

F ナンバー            2.890

半画角                59.000

像高                    0.283

レンズ全長            1.271

BF                      0.024

物体距離(1面から) -10.000

(数値実施例10)

面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1*	-0.6586	0.086	1.51000	57.5	1.21
2		0.200	1.51000	62.6	1.05
3		0.100	1.51000	49.8	0.94
4*	0.2155	0.113			0.86
5*	0.1879	0.131	1.51000	49.8	0.61
6		0.335	1.51000	62.6	0.61
7(絞り)		0.211	1.51000	62.6	0.24
8		0.231	1.51000	49.8	0.39
9*	-0.2844	0.131			0.50
10		0.300	1.51000	62.6	0.63
11		(可変)			0.75

像面

非球面データ

第1面

K = 0.00000e+00, A4= 2.17621e+00, A6=-5.77792e+00, A8= 1.03676e+01,  
A10= 1.32289e+01, A12=-8.17297e+01, A14= 1.35036e+02

第4面

K = -3.65468e+00, A4=-8.49863e+00, A6=-2.16459e+01, A8= 6.57770e+02,  
A10=-3.61640e+03, A12= 6.94505e+03

第5面

K = -1.01029e+00, A4=-1.73610e+01, A6= 1.22784e+02, A8=-2.89819e+03,  
A10= 2.82509e+04, A12=-7.25800e+04

10

20

30

40

50

## 第9面

$K = -1.85233e+01$ ,  $A4 = -5.79919e+01$ ,  $A6 = 2.92020e+03$ ,  $A8 = -9.18811e+04$ ,  
 $A10 = 1.75487e+06$ ,  $A12 = -1.81316e+07$ ,  $A14 = 7.68079e+07$

焦点距離 0.354

F ナンバー 2.125

半画角 54.989

像高 0.396

レンズ全長 1.917

BF 0.080

10

物体距離

(数値実施例 1 1)

## 面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1*	0.4335	0.052	1.51000	57.5	0.68
2		0.100	1.51633	64.1	0.63
3		0.010	1.51000	57.5	0.53
4*	0.0890	0.121			0.44
5*	0.2059	0.044	1.61915	24.6	0.33
6		0.200	1.51633	64.1	0.32
7(絞り)		0.120	1.51633	64.1	0.11
8		0.159	1.51000	57.5	0.23
9*	-0.1654	0.005			0.32
10		0.358	1.51633	64.1	0.37
11		(可変)			0.56

20

像面

非球面データ

## 第1面

$K = 0.00000e+00$ ,  $A4 = -2.17175e+01$ ,  $A6 = -5.22210e-01$ ,  $A8 = 3.49034e+03$ ,  
 $A10 = -5.00091e+04$ ,  $A12 = 2.97516e+05$ ,  $A14 = -6.53848e+05$

30

## 第4面

$K = -1.50748e+00$ ,  $A4 = -1.05975e+01$ ,  $A6 = -3.66742e+03$ ,  $A8 = 1.22923e+05$ ,  
 $A10 = -1.68717e+06$ ,  $A12 = 9.08010e+06$

## 第5面

$K = 1.59887e-01$ ,  $A4 = -3.32148e+01$ ,  $A6 = -6.68936e+01$ ,  $A8 = -1.43281e+05$ ,  
 $A10 = 5.57370e+06$ ,  $A12 = -6.60322e+07$

## 第9面

$K = -1.04828e+01$ ,  $A4 = -1.94030e+02$ ,  $A6 = 1.88341e+04$ ,  $A8 = -1.32419e+06$ ,  
 $A10 = 6.02564e+07$ ,  $A12 = -1.52469e+09$ ,  $A14 = 1.60764e+10$

焦点距離 0.243

40

F ナンバー 2.850

半画角 55.000

像高 0.293

レンズ全長 1.250

BF 0.080

物体距離(1面から) -5.000

(数値実施例 1 2)

## 面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1*	0.5177	0.015	1.53681	55.5	0.93

50

2	0.100	1.51633	64.1	0.89
3	0.010	1.50833	57.6	0.82
4*	0.1214	0.294		0.71
5*	0.2571	0.081	1.59142	29.8
6	0.181	1.51633	64.1	0.44
7(絞り)	0.100	1.51633	64.1	0.27
8	0.232	1.53056	56.0	0.26
9*	-0.2239	0.005		0.37
10	0.345	1.51633	64.1	0.41
11	(可変)		0.58	

10

像面

非球面データ

第1面

K = 0.00000e+00, A4=-2.89474e+01, A6= 3.68295e+02, A8=-2.99080e+03,  
A10= 1.43255e+04, A12=-3.73315e+04, A14= 3.98476e+04

第4面

K =-9.82168e-01, A4=-8.09535e+01, A6= 1.53875e+03, A8=-2.17741e+04,  
A10= 1.86358e+05, A12=-8.65130e+05, A14= 1.66988e+06

第5面

K =-1.06516e+00, A4=-5.98642e+00, A6= 1.87183e+02, A8=-7.67620e+03,  
A10= 8.29006e+04, A12=-3.33045e+05

20

第9面

K =-1.79255e+01, A4=-1.13949e+02, A6= 8.83608e+03, A8=-4.30107e+05,  
A10= 1.27960e+07, A12=-2.00386e+08, A14= 1.25234e+09

焦点距離 0.237

Fナンバー 1.400

半画角 54.998

像高 0.293

レンズ全長 1.442

BF 0.080

30

物体距離(1面から) -5.000

各数値実施例における前述の条件式(1)、(2)、(4)~(7)に関する数値を表  
1に示す。

【0070】

【表1】

条件式	数値実施例											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
f1	-2.709	-3.006	-1.536	-5.710	-6.099	-0.859	2E+07	-1.127	-5.042	-1.291	0.850	0.964
f2	-0.173	-0.186	-0.182	-0.227	-0.581	-0.250	-0.152	-0.324	-0.252	-0.423	-0.175	-0.239
f3	0.228	0.270	0.245	0.354	0.581	0.279	0.253	0.265	0.276	0.369	0.333	0.435
f4	0.400	0.401	0.431	0.386	1.532	0.455	0.411	1.125	1.210	0.558	0.324	0.422
f	0.2153	0.2157	0.2156	0.2344	0.5673	0.2407	0.2158	0.2322	0.241	0.354	0.243	0.237
d	0.039	0.058	0.033	0.052	0.085	0.032	0.046	0.249	0.305	0.211	0.120	0.100
条件式(1)	0.224	0.227	0.254	0.269	0.210	0.543	0.097	0.606	0.384	0.241	-0.772	-0.616
条件式(2)	0.227	0.246	0.245	0.251	0.209	0.546	0.119	0.512	0.355	0.201	-0.675	-0.593
条件式(4)	0.079	0.072	0.140	0.041	0.093	0.280	0.000	0.206	0.048	0.274	0.286	0.246
条件式(5)	-2.318	-2.158	-2.372	-1.698	-2.637	-1.821	-2.706	-3.475	-4.806	-1.319	-1.858	-1.768
条件式(6)	1.001	1.138	0.991	1.506	0.758	1.164	0.985	0.523	0.436	1.419	1.563	1.596
条件式(7)	0.098	0.146	0.076	0.134	0.055	0.071	0.112	0.221	0.252	0.379	0.371	0.236

40

【0071】

50

各実施例の光路図に示されるように、各実施例の光学系は、センサカバーガラスを除いて使用している基板枚数が３枚以下となっており、低コストで実現可能である。このように簡易な構成でありながら、各収差図に示すように収差を良好に補正できており、また、各数値実施例に示すように広い画角と明るさを両立することができる。

【００７２】

各実施例の光学系は、携帯電話、スマートフォン、ウェアラブル端末などの電子機器の組み込み用カメラに用いられる撮像光学系や、内視鏡の対物光学系などに適して用いられる。

【実施例１３】

【００７３】

次に、図２５を参照して、本発明の実施例１３における電子機器について説明する。図２５は、本実施例の電子機器（スマートフォン７０）の要部概略図である。スマートフォン７０は、フロントカメラモジュールとして撮像装置７１を有する。撮像装置７１は、前述の実施例１～１２のいずれかの光学系に相当する光学系７２と、光学系７２によって形成された像を受光する撮像素子７３とを有する。このように、前述の各実施例の光学系をスマートフォンなどの撮像装置に適用することにより、小型でありながら高い光学性能を有する撮像装置を実現することができる。

【実施例１４】

【００７４】

次に、図２６を参照して、本発明の実施例１４における撮像装置について説明する。図２６は、本実施例の撮像装置１００の要部概略図である。撮像装置１００は、小型の内視鏡に用いられ、カメラヘッド１２０および電気ケーブル１５０を有する。カメラヘッド１２０は、実施例１～１２のいずれかの光学系を搭載したレンズ用筐体１２１と、イメージセンサ（撮像素子）１２２と、セラミック基板１２３とを有する。セラミック基板１２３を介してイメージセンサ１２２に電気ケーブル１５０の配線が接続されている。このように、前述の各実施例の光学系を内視鏡の撮像装置に適用することにより、小型でありながら高い光学性能を有する撮像装置を実現することができる。

【００７５】

各実施例によれば、小型でありながら高い光学性能を有する光学系および撮像装置を提供することができる。

【００７６】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【符号の説明】

【００７７】

１ａ～１１ 光学系

１１ 第１基板

１２ 第１レンズ

１３ 第２レンズ

２１ 第２基板

２２ 第３レンズ

３１ 第３基板

３２ 第４レンズ

Ｌ１ 第１ユニット

Ｌ２ 第２ユニット

Ｌ３ 第３ユニット

10

20

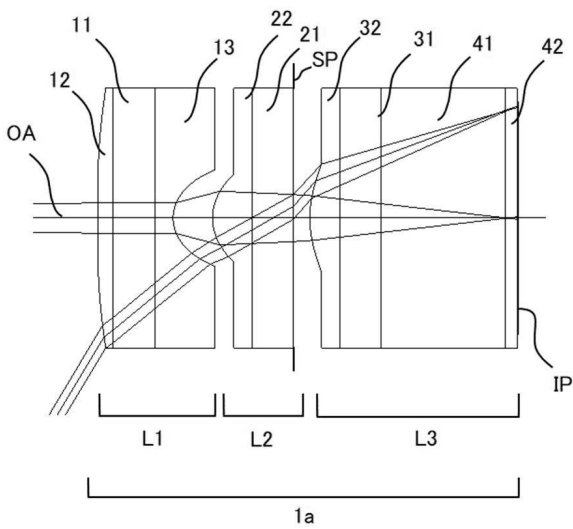
30

40

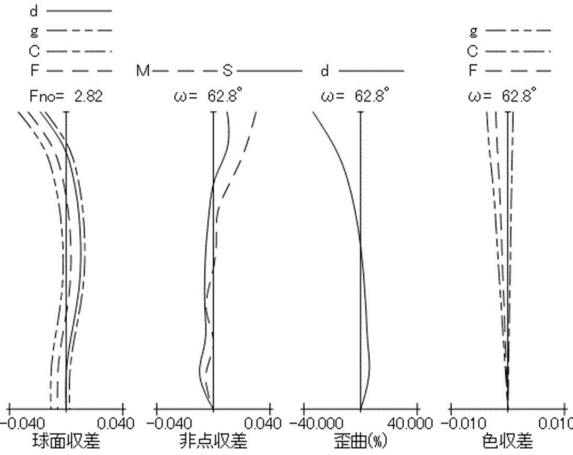
50

【図面】

【図 1】

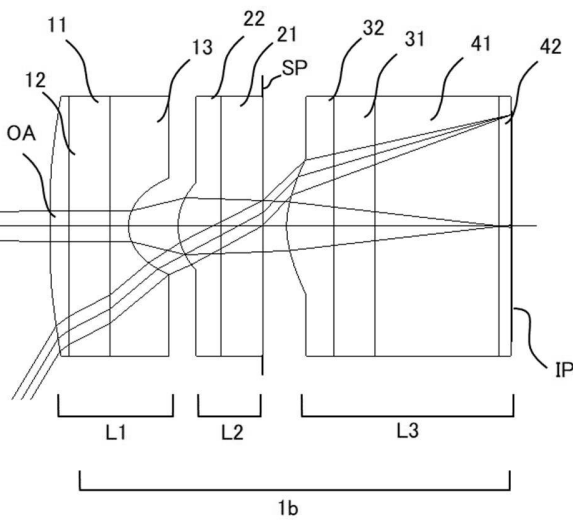


【図 2】

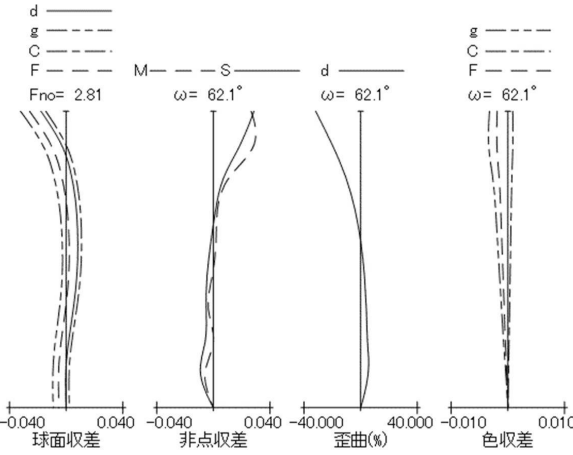


10

【図 3】



【図 4】



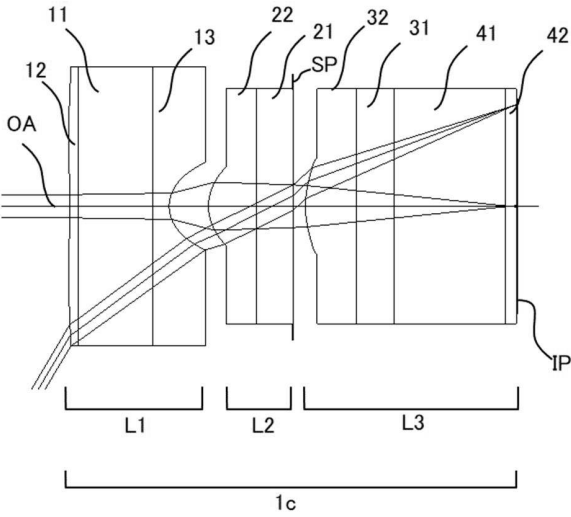
20

30

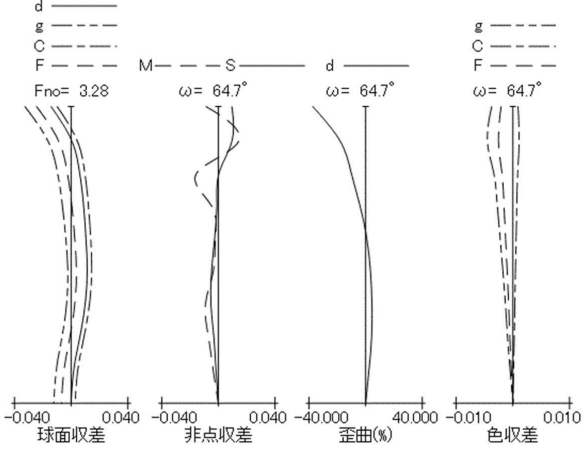
40

50

【図 5】

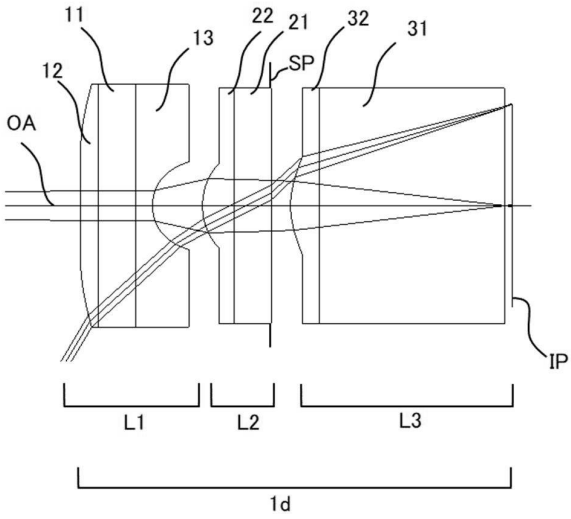


【図 6】

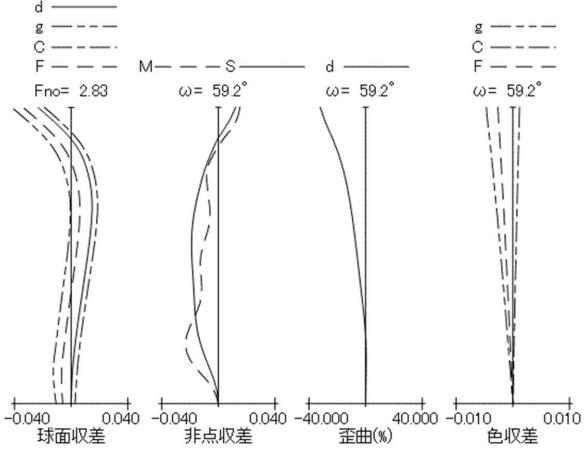


10

【図 7】



【図 8】



20

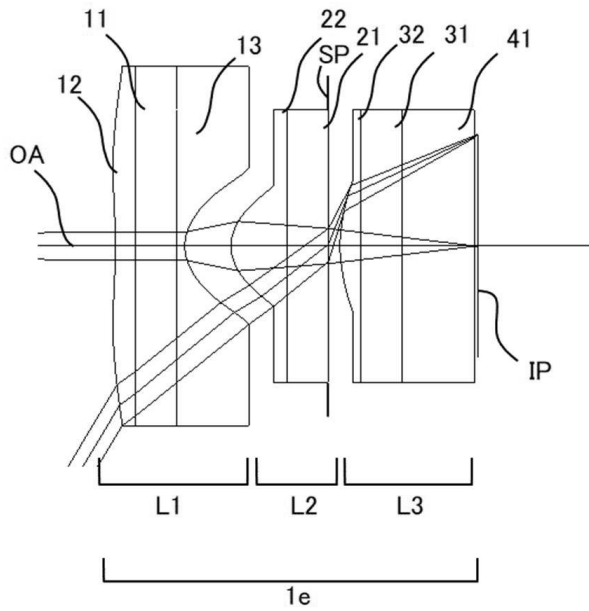
30

40

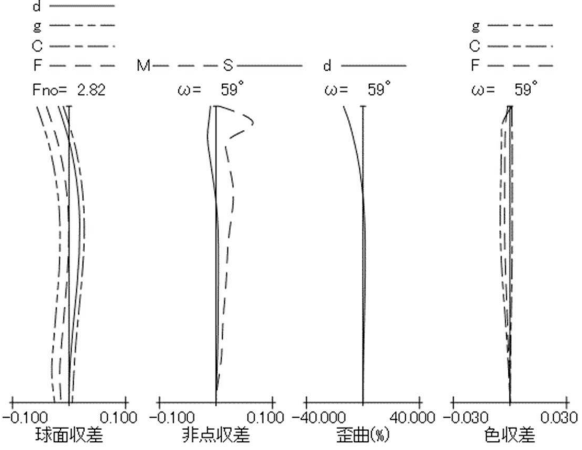
50



【図 9】

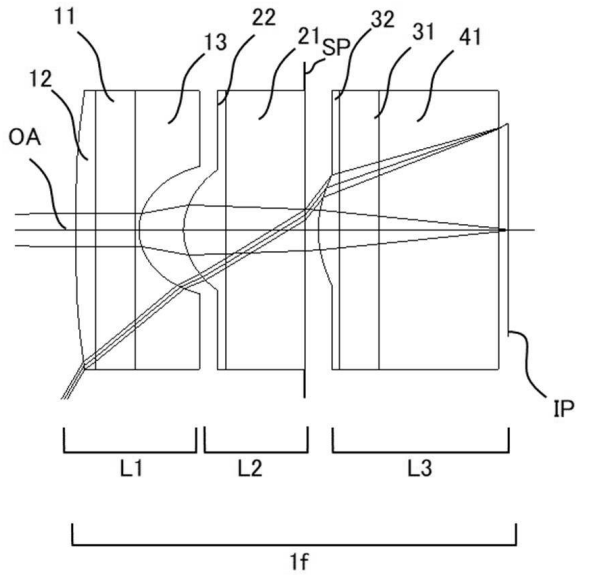


【図 10】

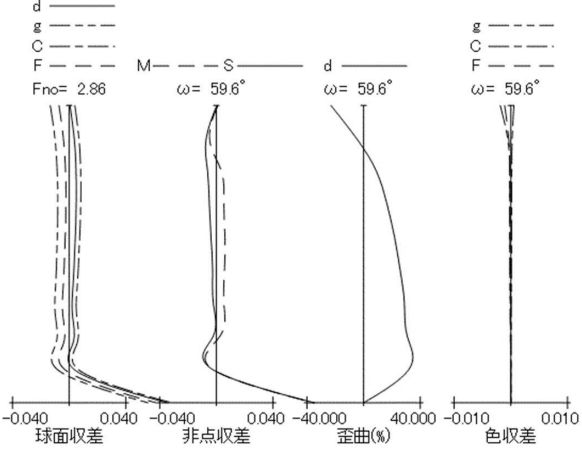


10

【図 11】



【図 12】



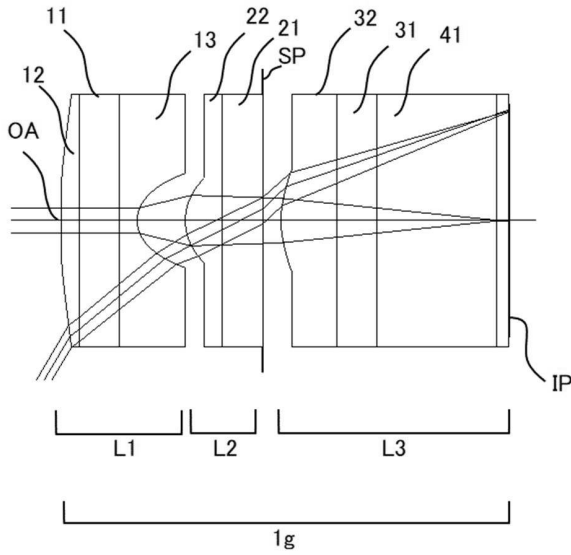
20

30

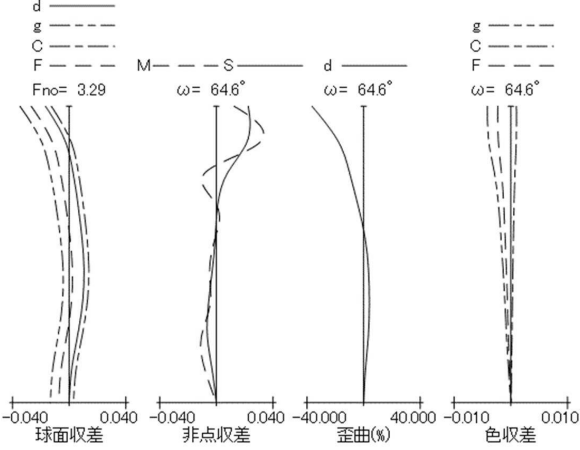
40

50

【図 1 3】

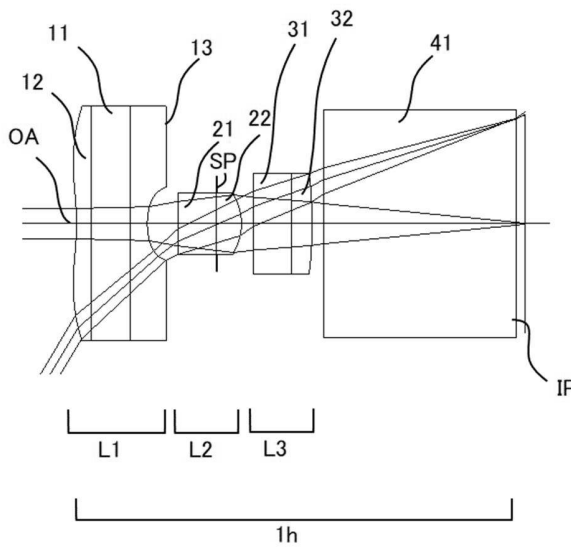


【図 1 4】

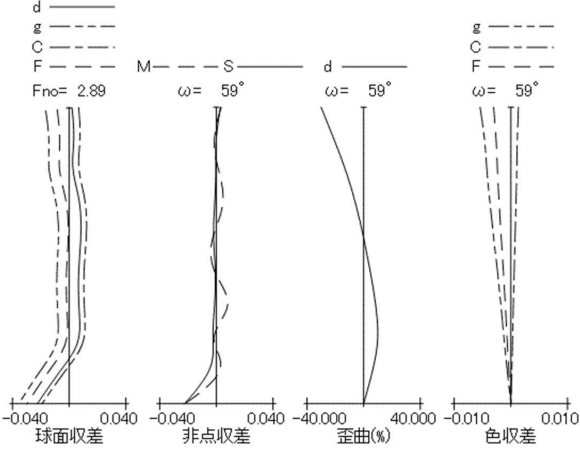


10

【図 1 5】



【図 1 6】



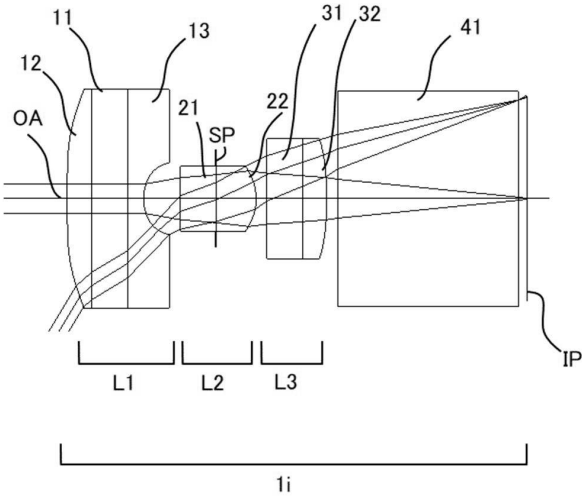
20

30

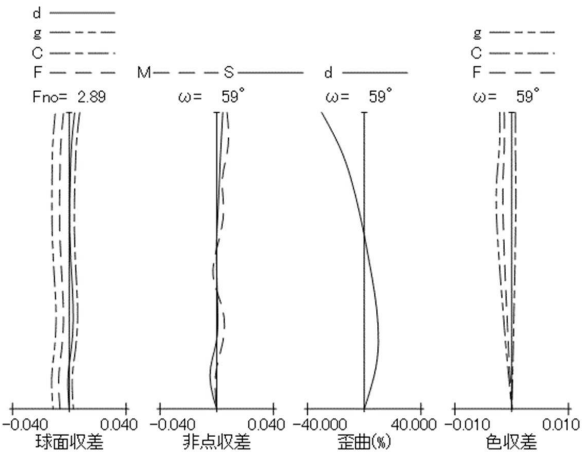
40

50

【図 17】

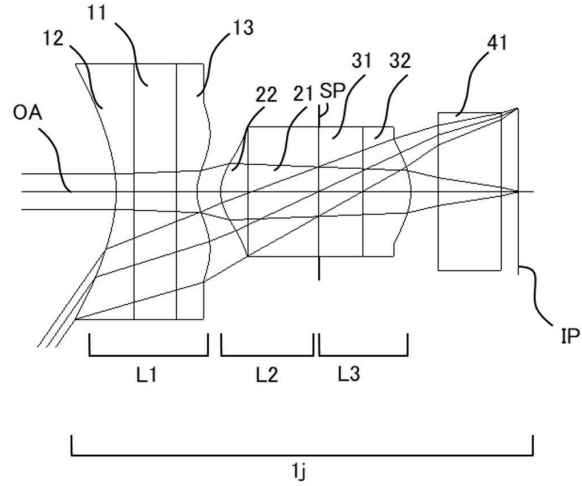


【図 18】

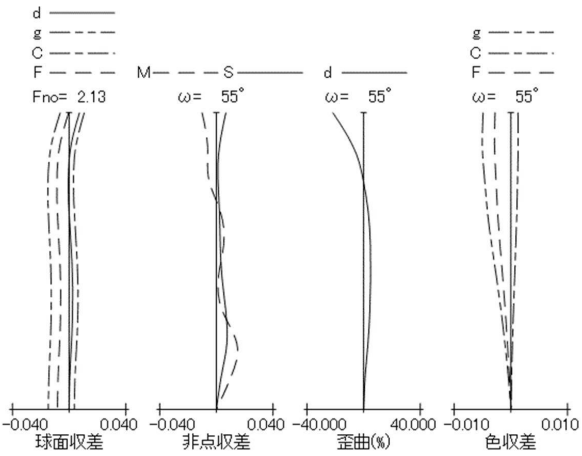


10

【図 19】



【図 20】



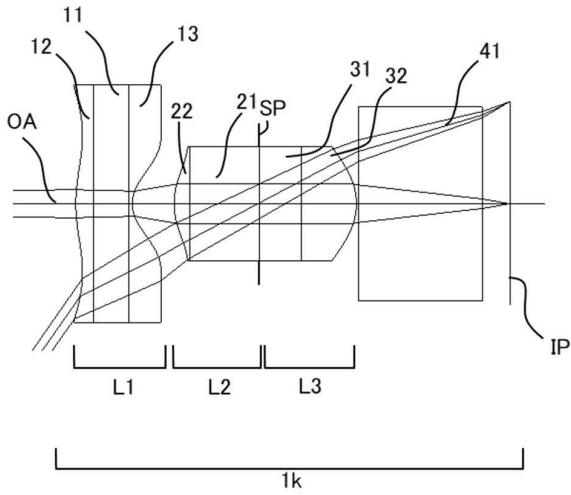
20

30

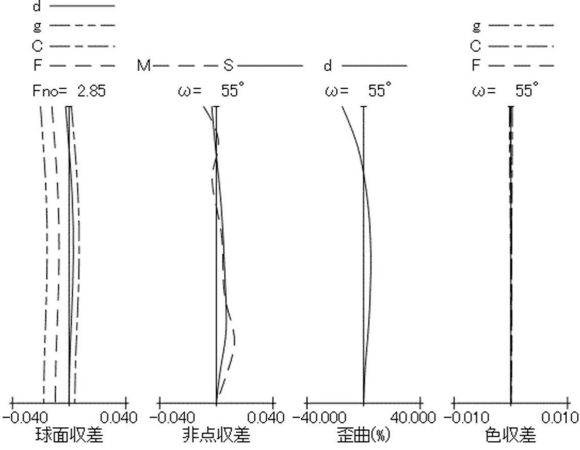
40

50

【図 2 1】

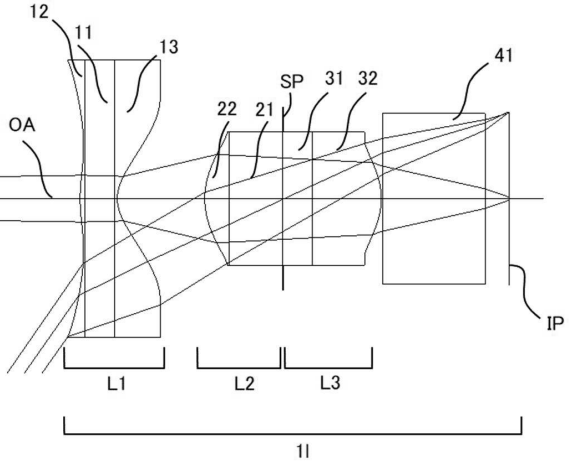


【図 2 2】

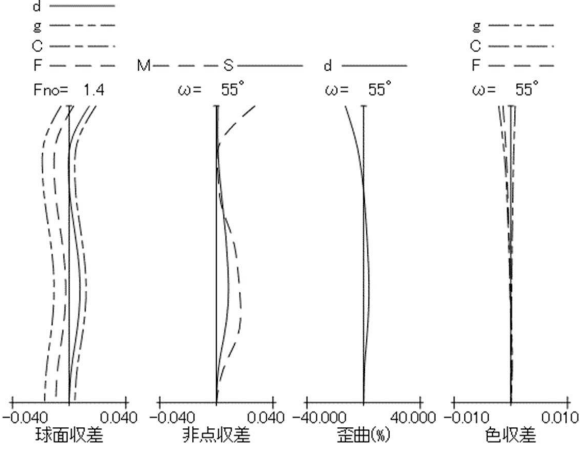


10

【図 2 3】



【図 2 4】



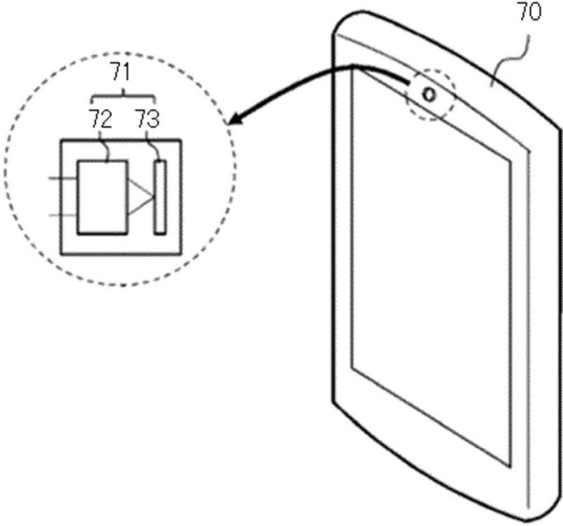
20

30

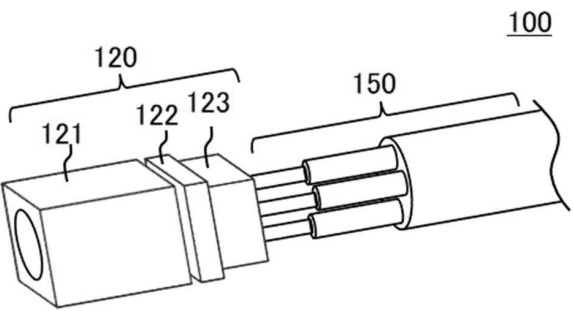
40

50

【図 2 5】



【図 2 6】



10

20

30

40

50

(56)参考文献

特開 2009-251210 (JP, A)  
特開 2009-301046 (JP, A)  
特開 2011-017764 (JP, A)  
国際公開第 2012/160983 (WO, A1)  
米国特許出願公開第 2018/0081154 (US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB 名)

G02B 9/00 - 17/08  
G02B 21/02 - 21/04  
G02B 25/00 - 25/04