

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7625505号
(P7625505)

(45)発行日 令和7年2月3日(2025.2.3)

(24)登録日 令和7年1月24日(2025.1.24)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 B 13/00 (2006.01)

G 0 2 B 13/00

G 0 2 B 13/18 (2006.01)

G 0 2 B 13/18

請求項の数 21 (全25頁)

(21)出願番号	特願2021-175257(P2021-175257)	(73)特許権者	000001007
(22)出願日	令和3年10月27日(2021.10.27)		キャノン株式会社
(65)公開番号	特開2022-108710(P2022-108710 A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43)公開日	令和4年7月26日(2022.7.26)	(74)代理人	100110412
審査請求日	令和5年10月19日(2023.10.19)		弁理士 藤元 亮輔
(31)優先権主張番号	特願2021-3690(P2021-3690)	(74)代理人	100104628
(32)優先日	令和3年1月13日(2021.1.13)		弁理士 水本 敦也
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(74)代理人	100121614
			弁理士 平山 倫也
		(72)発明者	伊藤 聖
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
			キャノン株式会社内
		(72)発明者	小林 幹生
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
			キャノン株式会社内

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ユニットとからなり、

前記第1ユニットは、第1基板と、該第1基板の像側の面に配置された負のパワーの第1レンズとを有し、

前記第2ユニットは、第2基板と、該第2基板の物体側の面に配置された正のパワーの第2レンズとを有し、

前記第3ユニットは、第3基板と、該第3基板の物体側の面に配置された正のパワーの第3レンズとを有し、

前記第1ユニットは前記第1レンズ以外のレンズを有せず、前記第2ユニットは前記第2レンズ以外のレンズを有せず、前記第3ユニットは前記第3レンズ以外のレンズを有しないことを特徴とする光学系。

【請求項2】

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に記載の光学系。

【請求項3】

前記開口絞りは、前記第2基板の上に配置されていることを特徴とする請求項2に記載の光学系。

【請求項4】

前記開口絞りから前記第3レンズまでの光軸上での距離をd、前記光学系の焦点距離を

f とするとき、

$$0.10 < d / f < 0.50$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の光学系。

【請求項 5】

前記開口絞りから前記第 3 レンズまでの光軸上での距離を d、前記光学系の焦点距離を f とするとき、

$$0.07 < d / f < 0.65$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の光学系。

【請求項 6】

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 基板の像側に配置された負のパワーの第 1 レンズとを有し、

前記第 2 ユニットは、開口絞りと、第 2 基板と、該第 2 基板の物体側に配置された正のパワーの第 2 レンズとを有し、

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

前記第 1 ユニットは前記第 1 レンズ以外のレンズを有せず、前記第 2 ユニットは前記第 2 レンズ以外のレンズを有せず、前記第 3 ユニットは前記第 3 レンズ以外のレンズを有しておらず、

前記開口絞りから前記第 3 レンズまでの光軸上での距離を d、前記光学系の焦点距離を f とするとき、

$$0.07 < d / f < 0.65$$

なる条件式を満足することを特徴とする光学系。

【請求項 7】

前記開口絞りから前記第 3 レンズまでの光軸上での距離を d、前記第 3 レンズの焦点距離を f₃ とするとき、

$$0.03 < d / f_3 < 0.40$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 2 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 f₂、前記光学系の焦点距離を f とするとき、

$$1.00 < f_2 / f < 1.50$$

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 f₂、前記光学系の焦点距離を f とするとき、

$$0.60 < f_2 / f < 1.60$$

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 10】

前記第 1 レンズの焦点距離を f₁、前記第 3 レンズの焦点距離を f₃ とするとき、

$$-2.50 < f_3 / f_1 < -1.80$$

なる条件式を満足す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】

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 ユニットとからなり、

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

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

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

10

20

30

40

50

前記第 1 ユニットは前記第 1 レンズ以外のレンズを有せず、前記第 2 ユニットは前記第 2 レンズ以外のレンズを有せず、前記第 3 ユニットは前記第 3 レンズ以外のレンズを有しておらず、

前記第 1 レンズの焦点距離を f_1 、前記第 3 レンズの焦点距離を f_3 とするとき、

$$-2.50 < f_3 / f_1 < -1.80$$

なる条件式を満足することを特徴とする光学系。

【請求項 12】

前記第 1 レンズの焦点距離を f_1 、前記第 3 レンズの焦点距離を f_3 とするとき、

$$-3.50 < f_3 / f_1 < -1.50$$

なる条件式を満足す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。

10

【請求項 13】

前記第 3 レンズから像面までの距離を L 、前記光学系の焦点距離を f とするとき、

$$1.20 < L / f < 2.40$$

なる条件式を満足す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】

前記第 3 レンズから像面までの距離を L 、前記光学系の焦点距離を f とするとき、

$$1.00 < L / f < 2.40$$

なる条件式を満足す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 15】

前記第 1 レンズの焦点距離を f_1 、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 とするとき、

20

$$0.30 < (f_2 - f_1) / f_3 < 1.60$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 14 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 16】

前記第 3 レンズの焦点距離を f_3 、前記光学系の焦点距離を f とするとき、

$$1.50 < f_3 / f < 3.00$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 15 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 17】

前記第 1 基板の厚さを d_1 、前記第 2 基板の厚さを d_2 、前記第 1 レンズの像側の面から前記第 2 基板の物体側の面までの距離を L_{ar} とするとき、

30

$$0.60 < L_{ar} / (d_1 + d_2) < 2.00$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 16 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 18】

前記第 1 基板の屈折率と前記第 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 17 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 19】

前記第 2 基板の屈折率と前記第 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 18 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 20】

前記第 3 基板の屈折率と前記第 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 19 のいずれか一項に記載の光学系。

40

【請求項 21】

請求項 1 乃至 20 のいずれか一項に記載の光学系と、該光学系からの光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】

50

近年、医療用内視鏡などに適して用いられる小型の光学系が求められている。また、このような光学系では、正確な診断や処置などを行うため、高い光学性能が求められている。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、医療用内視鏡用の小型のレンズシステムが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】米国特許第9798115号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献1に開示されたレンズシステムでは、ウエハレベルプロセスにおける基板の枚数や貼り合わせ工程が多く、コストが増大してしまう。

【0005】

そこで本発明は、小型かつ低コストで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ユニットとからなり、前記第1ユニットは、第1基板と、該第1基板の像側の面に配置された負のパワーの第1レンズとを有し、前記第2ユニットは、第2基板と、該第2基板の物体側の面に配置された正のパワーの第2レンズとを有し、前記第3ユニットは、第3基板と、該第3基板の物体側の面に配置された正のパワーの第3レンズとを有し、前記第1ユニットは前記第1レンズ以外のレンズを有せず、前記第2ユニットは前記第2レンズ以外のレンズを有せず、前記第3ユニットは前記第3レンズ以外のレンズを有しない。

【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、小型かつ低コストで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。

【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。

【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。

10

20

30

40

50

【図 17】比較例としての光学系の断面図である。

【図 18】実施例 5 における電子機器の要部概略図である。

【図 19】実施例 6 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】

【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、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】

図 1、図 3、図 5、図 7、図 9、図 11、図 13、および図 15 はそれぞれ、実施例 1～8 の光学系（ウエハレベルレンズ）1a、1b、1c、1d、1e、1f、1g、1h 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。SP は開口絞り、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。

【0013】

図 2、図 4、図 6、図 8、図 10、図 12、図 14、および図 16 はそれぞれ、実施例 1～8 の光学系 1a、1b、1c、1d、1e、1f、1g、1h の収差図である。各収差図は、(A) 球面収差図、(B) 非点収差図、(C) 歪曲収差図、(D) 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、 ΔS_d 、 ΔS_g はそれぞれ d 線、g 線に対するサジタル像面における非点収差量、 ΔM_d 、 ΔM_g はそれぞれ d 線、g 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。

【0014】

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（フロントカバーガラス）11 と、第 1 基板 11 の像側に配置された負のパワーの第 1 レンズ 12 とを有する。第 2 ユニット L2 は、第 2 基板 21 と、第 2 基板 21 の物体側に配置された正のパワーの第 2 レンズ 22 と、第 2 基板 21 の像側に配置された開口絞り SP とを有する。第 3 ユニット L3 は、第 3 基板（バックカバーガラス）31 と、第 3 基板 31 の物体側に配置された第 3 レンズ 32 とを有する。

【0015】

実施例 1～3、7 において、第 3 基板の像側に配置された第 4 基板（センサーカバーガラス）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およびセンサーカバーガラスの機能を兼ねている。

【0016】

第 1 基板 11 は平面基板、第 1 レンズ 12 は像側に凹面を向けた負レンズ（平凹レンズ）である。第 1 レンズ 12 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 2 基板 21 は平面基板、第 2 レンズ 22 は物体側に凸面を向けた正レンズ（平凸レンズ）である。第 2 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、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 3 レンズ 32 は、物体側に凸面を向けた正レンズ（平凸レンズ）である。第 3 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（センサーカバーガラス）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。

【0017】

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、ガラス材料からなるウエハ（平面基板）上に硬化性樹脂材料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においては、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を形成する。ウエハレベルプロセスで製造した第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とで、多数のウエハレベルレンズを製造することができる。

10

【0018】

レンズ層を形成する材料は硬化性樹脂材料であれば、熱可塑性樹脂でも紫外線硬化型樹脂でも構わない。一例として、アクリル樹脂やシリコン樹脂、シクロオレフィンポリマーなどがある。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22、および第3レンズ32はそれぞれ樹脂からなるが、これに限定されるものではない。第1基板11と第1レンズ12との屈折率が互いに異なっていれば、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

【0019】

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。

【0020】

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（センサーカバーガラス）41とが接合されることで、撮像系として機能する。第3基板31（バックカバーガラス）の物体側に第3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ーカバーガラスとを直接接合することが可能になる。このような構成とすることで、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をセンサーカバーガラスとして、第3基板31の物体側に第3レンズ32のレンズ面を形成することができ、より低コストの製作工程となるため好ましい。

30

【0021】

好ましくは、各実施例の光学系は、以下の条件式（1a）または条件式（1b）の少なくとも一方を満足する。

40

【0022】

$$1.00 < f_2 / f < 1.50 \quad \dots (1a)$$

$$0.60 < f_2 / f < 1.60 \quad \dots (1b)$$

ここで、fは光学系（全系）の焦点距離、f₂は第2レンズ22の焦点距離である。条件式（1a）、又は条件式（1b）を満足することで、球面収差を適切な値に補正することが可能になる。

【0023】

より好ましくは、条件式（1a）または条件式（1b）の数値範囲は、以下の条件式（1c）のように設定される。

【0024】

50

$$0.75 < f_2 / f < 1.55 \quad \dots (1c)$$

更に好ましくは、条件式 (1a) または条件式 (1b) の数値範囲は、以下の条件式 (1d) のように設定される。

【0025】

$$0.85 < f_2 / f < 1.52 \quad \dots (1d)$$

また好ましくは、各実施例の光学系は、以下の条件式 (2a) または条件式 (2b) の少なくとも一方を満足する。

【0026】

$$-2.50 < f_3 / f_1 < -1.80 \quad \dots (2a)$$

$$-3.50 < f_3 / f_1 < -1.50 \quad \dots (2b)$$

ここで、 f_1 は第1レンズ12の焦点距離、 f_3 は第3レンズ32の焦点距離である。条件式 (2a)、又は条件式 (2b) 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。

【0027】

より好ましくは、条件式 (2a)、又は条件式 (2b) の数値範囲は、以下の条件式 (2c) のように設定される。

【0028】

$$-3.20 < f_3 / f_1 < -1.60 \quad \dots (2c)$$

更に好ましくは、条件式 (2a)、又は条件式 (2b) の数値範囲は、以下の条件式 (2d) のように設定される。

【0029】

$$-3.00 < f_3 / f_1 < -1.65 \quad \dots (2d)$$

また好ましくは、各実施例の光学系は、以下の条件式 (3a)、又は条件式 (3b) を満足する。

【0030】

$$0.10 < d / f < 0.50 \quad \dots (3a)$$

$$0.07 < d / f < 0.65 \quad \dots (3b)$$

ここで、 d は開口絞りSPから第3レンズ32の物体側の面までの光軸OA上の距離である。条件式 (3a)、又は条件式 (3b) 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。

【0031】

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

【0032】

$$0.10 < d / f < 0.62 \quad \dots (3c)$$

また好ましくは、各実施例の光学系は、以下の条件式 (4a)、又は条件式 (4b) を満足する。

【0033】

$$1.20 < L / f < 2.40 \quad \dots (4a)$$

$$1.00 < L / f < 2.40 \quad \dots (4b)$$

ここで、 L は第3レンズ32から像面IPまでの距離である。条件式 (4a)、又は条件式 (4b) を満足することで、球面収差と非点収差を適切な値に補正することが可能になる。

【0034】

より好ましくは、条件式 (4a)、又は条件式 (4b) の数値範囲は、以下の条件式 (4c) のように設定される。

【0035】

$$1.20 < L / f < 2.20 \quad \dots (4c)$$

また、各実施例の光学系は、開口絞りSPよりも物体側に存在する第1レンズL12と第2レンズL22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3レ

10

20

30

40

50

ンズ L 3 2 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、以下の条件式 (5) を満足することが好ましい。

【0036】

$$0.30 < (f2 - f1) / f3 < 1.60 \quad \dots (5)$$

条件式 (5) の下限値を下回ると、第3レンズ L 3 2 のパワーが小さくなり、開口絞り S P 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 (5) の上限値を超えると、第3レンズ L 3 2 のパワーが大きくなり、諸収差の補正が困難になると同時に、第3レンズ L 3 2 の径が大きくなるため、有効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ってしまう。

【0037】

より好ましくは、条件式 (5) の数値範囲は、以下の条件式 (5 a) のように設定される。

【0038】

$$0.50 < (f2 - f1) / f3 < 1.60 \quad \dots (5a)$$

更に好ましくは、条件式 (5) の数値範囲は、以下の条件式 (5 b) のように設定される。

【0039】

$$0.60 < (f2 - f1) / f3 < 1.55 \quad \dots (5b)$$

また、各実施例の光学系において、開口絞り S P よりも像側では第3レンズ L 3 2 のみで収差補正を担っている。また、第3レンズ L 3 2 の外周部で光線を大きく曲げて高次の収差を補正している。このため、開口絞り S P から第3レンズ L 3 2 までの間隔 d と第3レンズ L 3 2 のパワーを適切に設定することが好ましい。具体的には、以下の条件式 (6) の数値範囲を満足することが好ましい。

【0040】

$$0.03 < d / f3 < 0.40 \quad \dots (6)$$

条件式 (6) の下限値を下回ると、第3レンズ L 3 2 のパワーが小さくなるため、開口絞り S P 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 (6) の上限値を上回ると、第3レンズ L 3 2 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。

【0041】

より好ましくは、条件式 (6) の数値範囲は、以下の条件式 (6 a) のように設定される。

【0042】

$$0.04 < d / f3 < 0.35 \quad \dots (6a)$$

更に好ましくは、条件式 (6) の数値範囲は、以下の条件式 (6 b) のように設定される。

【0043】

$$0.05 < d / f3 < 0.34 \quad \dots (6b)$$

また好ましくは、以下の条件式 (7) を満足することで、更に良好に諸収差を補正することができる。

【0044】

$$1.50 < f3 / f < 3.00 \quad \dots (7)$$

より好ましくは、条件式 (7) の数値範囲は、以下の条件式 (7 a) のように設定される。

【0045】

$$1.60 < f3 / f < 2.80 \quad \dots (7a)$$

各実施例のウエハレベルレンズの製造工程において、第1レンズ L 1 2 と第2レンズ L 2 2 は、空気層を介して対向配置された構造となっている。このため、第1レンズ L 1 2 を含む第1ユニット L 1 と、第2レンズ L 2 2 を含む第2ユニット L 2 とを接合する際に、第1レンズ L 1 2 と第2レンズ L 2 2 の外周部同士で接着する必要がある。通常、第1

10

20

30

40

50

レンズ L 1 2 と第 2 レンズ L 2 2 は樹脂で形成されているため、樹脂材料の外周部を高精度に接着して変形等を抑制することが製造上課題となる。また、各実施例の光学系において、第 1 レンズ L 1 2 と第 2 レンズ L 2 2 のパワーを比較的強くすることで、高次の収差を補正する構成となっているため、各レンズが大きくなり、光軸と外周部での厚さの差が大きくなる傾向にある。

【0046】

このため好ましくは、各実施例の光学系は、以下の条件式 (8) を満足する。

【0047】

$$0.60 < L_{ar} / (d_1 + d_2) < 2.00 \quad \dots (8)$$

ここで、 L_{ar} は、第 1 レンズ L 1 2 と第 2 基板 L 2 1 との間隔、 d_1 は第 1 基板 L 1 1 の厚さ、 d_2 は第 2 基板 L 2 1 の厚さである。条件式 (8) の下限値を下回ると、基板 1 と基板 2 の厚さが厚くなるため小型な光学系が得られなくなる。一方、条件式 (8) の上限値を上回ると、第 1 基板 L 1 1 と第 2 基板 L 2 1 の厚さが薄くなり、変形等が多く製造上困難な構成となる。または、第 1 レンズ L 1 2 と第 2 レンズ L 2 2 との間隔や第 2 レンズ L 2 2 の厚さが大きくなることで、球面収差や非点収差等が増大してしまうため、好ましくない。

【0048】

より好ましくは、条件式 (8) の数値範囲は、以下の条件式 (8a) のように設定される。

【0049】

$$0.75 < L_{ar} / (d_1 + d_2) < 1.80 \quad \dots (8a)$$

以下、各実施例の光学系について詳細に述べる。

【実施例 1】

【0050】

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 1 a について説明する。図 1 に示されるように、光学系 1 a は、第 1 ユニット L 1 と第 2 ユニット L 2 と第 3 ユニット L 3 とからなる。第 1 ユニット L 1 は、第 1 基板 (フロントカバーガラス) 1 1 とその像側に配置された第 1 レンズ 1 2 とからなる。第 1 レンズ 1 2 は像側に凹面を向けた負レンズであり、第 1 レンズ 1 2 の焦点距離 f_1 は、 $f_1 = -0.224 \text{ mm}$ である。第 1 レンズ 1 2 は、ウエハレベルプロセスを用いて第 1 基板 1 1 の像側の面に形成される。第 2 ユニット L 2 は、第 2 基板 2 1 とその物体側に配置された第 2 レンズ 2 2 とからなる。第 2 レンズ 2 2 は物体側に凸面を向けた正レンズであり、第 2 レンズ 2 2 の焦点距離 f_2 は、 $f_2 = 0.287 \text{ mm}$ である。第 2 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 (バックカバーガラス) 3 1 とその物体側に配置された第 3 レンズ 3 2 とからなる。第 3 レンズ 3 2 は物体側に凸面を向けた正レンズであり、第 3 レンズ 3 2 の焦点距離 f_3 は、 $f_3 = 0.508 \text{ mm}$ である。第 3 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。

【0051】

本実施例において、光学系 1 a の焦点距離 f は、 $f = 0.238 \text{ mm}$ である。開口絞り S P から第 3 レンズ 3 2 までの光軸上での距離 d は、 $d = 0.0657 \text{ mm}$ である。第 3 レンズ 3 2 から像面 I P までの距離 L は、 $L = 0.424 \text{ mm}$ である。本実施例の光学系 1 a は、第 1 ユニット L 1 における最も物体側の面から 10 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 (A) に示されるように、本実施例の球面収差は 0.04 mm 未満である。図 2 (B) に示されるように、本実施例の非点収差は 0.04 mm 未満である。図 2 (C) に示されるように、本実施例の歪曲は 40% 未満である。図 2 (D) に示されるように、本実施例の倍率色収差は 0.01 mm 未満である。このように、本実施例の光学系 1 a は、適切な収差を有する。

10

20

30

40

50

【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。第 1 レンズ 1 2 の焦点距離 f_1 は、 $f_1 = -0.230 \text{ mm}$ である。第 2 レンズ 2 2 の焦点距離 f_2 は、 $f_2 = 0.283 \text{ mm}$ である。第 3 レンズ 3 2 の焦点距離 f_3 は、 $f_3 = 0.455 \text{ mm}$ である。光学系 1 b の焦点距離 f は、 $f = 0.235 \text{ mm}$ である。開口絞り S P から第 3 レンズ 3 2 までの距離 d は、 $d = 0.0865 \text{ mm}$ である。第 3 レンズ 3 2 から像面 I P までの距離 L は、 $L = 0.424 \text{ mm}$ である。本実施例の光学系 1 b は、第 1 ユニット L 1 における最も物体側の面から 10 mm の位置の物体に合焦するように設計されている。

10

【0054】

図 4 (A) に示されるように、本実施例の球面収差は 0.04 mm 未満である。図 4 (B) に示されるように、本実施例の非点収差は 0.04 mm 未満である。図 4 (C) に示されるように、本実施例の歪曲は 40% 未満である。図 4 (D) に示されるように、本実施例の倍率色収差は 0.01 mm 未満である。このように、本実施例の光学系 1 b は、適切な収差を有する。

【実施例 3】

【0055】

次に、図 5、図 6、および図 17 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。第 1 レンズ 1 2 の焦点距離 f_1 は、 $f_1 = -0.255 \text{ mm}$ である。第 2 レンズ 2 2 の焦点距離 f_2 は、 $f_2 = 0.372 \text{ mm}$ である。第 3 レンズ 3 2 の焦点距離 f_3 は、 $f_3 = 0.539 \text{ mm}$ である。

20

【0056】

ここで、図 17 を参照して、比較例としての光学系（ウエハレベルレンズ）20 について説明する。図 17 は、比較例としての光学系 20 の断面図である。光学系 20 は、第 1 ユニット L 10 と第 2 ユニット L 20 と第 3 ユニット L 30 とからなる。第 1 ユニット L 10 は、第 1 基板 211 と、その像側に配置された第 1 レンズ 212 とを有する。第 1 レンズ 212 は、像側に凹面を向けた負レンズである。第 2 ユニット L 20 は、第 2 基板 221 と、その物体側に配置された第 2 レンズ 222 とを有する。第 2 レンズ 222 は、物体側に凸面を向けた正レンズである。また第 2 ユニット L 20 は、第 3 基板 231 と、その像側に配置された第 3 レンズ 232 とを有する。第 3 レンズ 232 は、像側に凸面を向けた正レンズである。また第 2 ユニット L 20 は、第 2 基板 221 と第 3 基板 231 との間に開口絞り S P を有する。第 3 ユニット L 30 は、第 4 基板（バックカバーガラス）261 と第 5 基板（センサーカバーガラス）241 とを有する。

30

【0057】

一方、本実施例の光学系 1 c は、第 3 レンズ 3 2 を形成するために必要な第 3 基板 31 をバックカバーガラスとして用いることで、基板の枚数を削減している。このように本実施例によれば、光学系 1 c の最終レンズを物体側に形成する構成とすることで、材料や製作工程のコストが抑制された、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。

40

【0058】

光学系 1 c の焦点距離 f は、 $f = 0.284 \text{ mm}$ である。開口絞り S P から第 3 レンズ 3 2 までの距離 d は、 $d = 0.0379 \text{ mm}$ である。第 3 レンズ 3 2 から像面 I P までの距離 L は、 $L = 0.624 \text{ mm}$ である。本実施例の光学系 1 c は、第 1 ユニット L 1 における最も物体側の面から 10 mm の位置の物体に合焦するように設計されている。

【0059】

図 6 (A) に示されるように、本実施例の球面収差は 0.04 mm 未満である。図 6 (B) に示されるように、本実施例の非点収差は 0.04 mm 未満である。図 6 (C) に示

50

されるように、本実施例の歪曲は40%未満である。図6(D)に示されるように、本実施例の倍率色収差は0.01mm未満である。このように、本実施例の光学系1cは、適切な収差を有する。

【実施例4】

【0060】

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1d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1dの基本構成は、実施例1の光学系1aと同様である。本実施例の光学系1dにおいて、第3基板31をセンサーカバーガラスとして、第3基板31の物体側に第3レンズ32のレンズ面を形成しており、第3基板31がセンサー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。本実施例の光学系1dは、半画角59°、FNoは2.8の光学系となっており、非常に小型でありながら、明るく広角な光学系が得られている。本実施例の光学系1dは、第1ユニットL1における最も物体側の面から5mmの位置の物体に合焦するように設計されている。

【0061】

図8(A)に示されるように、本実施例の球面収差は0.04mm未満である。図8(B)に示されるように、本実施例の非点収差は0.04mm未満である。図8(C)に示されるように、本実施例の歪曲は40%未満である。図8(D)に示されるように、本実施例の倍率色収差は0.01mm未満である。このように、本実施例の光学系1dは、適切な収差を有する。

【実施例5】

【0062】

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1e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1eの基本構成は、実施例4の光学系1dと同様である。本実施例の光学系1eにおいて、第3基板31をセンサーカバーガラスとして、第3基板31の物体側に第3レンズ32のレンズ面を形成しており、第3基板31がセンサー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。本実施例の光学系1eは、半画角57°、FNoは2.8の光学系となっており、非常に小型でありながら、明るく広角な光学系が得られている。本実施例の光学系1eは、第1ユニットL1における最も物体側の面から5mmの位置の物体に合焦するように設計されている。

【0063】

図10(A)に示されるように、本実施例の球面収差は0.04mm未満である。図10(B)に示されるように、本実施例の非点収差は0.04mm未満である。図10(C)に示されるように、本実施例の歪曲は40%未満である。図10(D)に示されるように、本実施例の倍率色収差は0.01mm未満である。このように、本実施例の光学系1eは、適切な収差を有する。また本実施例の光学系1eは、第1レンズと第2基板との間隔Larが短くなっているため、製造安定性が高い光学系となっている。

【実施例6】

【0064】

次に、図11および図12を参照して、実施例6（数値実施例6）における光学系1fについて説明する。図11に示されるように、本実施例の光学系1fの基本構成は、実施例4の光学系1dと同様である。本実施例の光学系1fにおいて、第3基板31をセンサーカバーガラスとして、第3基板31の物体側に第3レンズ32のレンズ面を形成しており、第3基板31がセンサー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。本実施例の光学系1fは、半画角61°、FNoは2.8の光学系となっており、非常に小型でありながら、明るく広角な光学系が得られている。本実施例の光学系1fは、第1ユニットL1における最も物体側の面から5mmの位置の物体に合焦するように設計されている。

【0065】

図 1 2 (A) に示されるように、本実施例の球面収差は 0.04 mm 未満である。図 1 2 (B) に示されるように、本実施例の非点収差は 0.04 mm 未満である。図 1 2 (C) に示されるように、本実施例の歪曲は 40 % 未満である。図 1 2 (D) に示されるように、本実施例の倍率色収差は 0.01 mm 未満である。このように、本実施例の光学系 1 f は、適切な収差を有する。

【実施例 7】

【0066】

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。本実施例の光学系 1 g は、像高 0.82 mm、半画角 59°、FNo は 2.8 の光学系となっており、非常に小型でありながら、明るく広角な光学系が得られている。本実施例の光学系 1 g は、第 1 ユニット L 1 における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。

10

【0067】

図 1 4 (A) に示されるように、本実施例の球面収差は 0.1 mm 未満である。図 1 4 (B) に示されるように、本実施例の非点収差は 0.1 mm 未満である。図 1 4 (C) に示されるように、本実施例の歪曲は 40 % 未満である。図 1 4 (D) に示されるように、本実施例の倍率色収差は 0.03 mm 未満である。このように、本実施例の光学系 1 g は、適切な収差を有する。

【実施例 8】

20

【0068】

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 の基本構成は、実施例 4 の光学系 1 d と同様である。一方、前述の実施例 1 ~ 7 では、開口絞り SP を第 2 基板 L 2 1 の像側に設けているが、本実施例の光学系 1 h では、開口絞り SP を第 2 基板 L 2 1 の物体側の面に設けている。本実施例の光学系 1 h は、半画角 60°、FNo は 2.9 の光学系となっており、非常に小型でありながら、明るく広角な光学系が得られている。本実施例の光学系 1 h は、第 1 ユニット L 1 における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。

【0069】

30

図 1 6 (A) に示されるように、本実施例の球面収差は 0.04 mm 未満である。図 1 6 (B) に示されるように、本実施例の非点収差は 0.04 mm 未満である。図 1 6 (C) に示されるように、本実施例の歪曲は 40 % 未満である。図 1 6 (D) に示されるように、本実施例の倍率色収差は 0.01 mm 未満である。このように、本実施例の光学系 1 h は、適切な収差を有する。

【0070】

以下、実施例 1 乃至 8 のそれぞれに対応する数値実施例 1 乃至 8 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 、 v_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。ある材料のアッペ数 v_d は、フラウンホーファ線の d 線 (587.6 nm)、F 線 (486.1 nm)、C 線 (656.3 nm) における屈折率を N_d 、 N_F 、 N_C とするとき、

40

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

で表される。

【0071】

焦点距離 f (mm) は、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 ($i = 4, 6, 8, \dots$) を各々非球面係数と

50

するとき、以下の式で表される。

【0072】

【数1】

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

【0073】

「 $e \pm Z$ 」の表示は「 $10 \pm Z$ 」を意味する。

【0074】

(数値実施例1)

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	vd
1	∞	0.10	1.51680	64.2
2	∞	0.01	1.51000	57.5
3*	0.114	0.17		
4*	0.158	0.10	1.55000	44.0
5	∞	0.20	1.51680	64.2
6(絞り)	∞	0.07		
7*	0.259	0.05	1.51000	57.5
8	∞	0.10	1.51680	64.2
9	∞	0.30	1.51680	64.2
10	∞	0.02		

像面 ∞

非球面データ

第3面

$K = -1.40126e+000$, $A_4 = 1.74465e+001$, $A_6 = -6.09448e+001$, $A_8 = 2.54898e+003$,

$A_{10} = 1.11764e+005$, $A_{12} = -4.94130e+006$

第4面

$K = -2.45619e-001$, $A_4 = -2.46995e+001$, $A_6 = -3.75404e+002$, $A_8 = -7.60321e+003$,

$A_{10} = 9.46804e+005$, $A_{12} = -5.15469e+007$

第7面

$K = -1.67841e+001$, $A_4 = 3.69380e+001$, $A_6 = -1.45726e+003$, $A_8 = 3.14333e+004$,

$A_{10} = -4.22638e+004$, $A_{12} = -7.51083e+006$

焦点距離 0.24

Fナンバー 2.88

半画角 59.0

像高 0.28

レンズ全長 1.12

BF 0.02

物体距離 10.0

(数値実施例2)

単位 mm

面データ

10

20

30

40

50

面番号	r	d	nd	v d
1	∞	0.10	1.51680	64.2
2	∞	0.01	1.51000	57.5
3*	0.118	0.14		
4*	0.160	0.10	1.56318	39.6
5	∞	0.10	1.51680	64.2
6(絞り)	∞	0.09		
7*	0.232	0.06	1.51000	57.5
8	∞	0.10	1.51680	64.2
9	∞	0.30	1.51680	64.2
10	∞	0.02		

像面 ∞
非球面データ

第3面

K=-8.11341e-001, A4=-1.78031e+001, A6= 1.00708e+003, A8= 3.94833e+003,
A10=-2.85870e+006, A12= 5.07388e+007

第4面

K=-5.24295e+000, A4= 1.20898e+002, A6=-4.98544e+003, A8= 1.15921e+005,
A10=-3.00410e+006, A12= 3.92272e+007

第7面

K=-1.80560e+001, A4= 4.34353e+001, A6=-1.72697e+003, A8=-5.87235e+004,
A10= 7.12574e+006, A12=-1.59311e+008

焦点距離 0.24
F ナンバー 2.88
半画角 59.0
像高 0.28
レンズ全長 1.02
BF 0.02
物体距離 10.0

(数値実施例3)

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	v d
1	∞	0.20	1.51680	64.2
2	∞	0.01	1.51000	57.5
3*	0.130	0.18		
4*	0.205	0.13	1.55000	44.0
5	∞	0.20	1.51680	64.2
6(絞り)	∞	0.04		
7*	0.286	0.06	1.53000	56.0
8	∞	0.20	1.51680	64.2
9	∞	0.40	1.51680	64.2
10	∞	0.02		

像面 ∞
非球面データ

第3面

K=-1.16949e+000, A4= 2.17835e+001, A6= 5.85940e+002, A8= 1.97923e

+004,

A10=-1.54923e+006, A12= 3.88932e+007

第4面

K= 2.34627e-001, A4=-8.16279e+000, A6=-5.63709e+002, A8= 1.06071e+004,

A10= 3.25696e+005, A12=-2.41692e+007

第7面

K=-3.76746e+001, A4= 1.01499e+002, A6=-8.41613e+003, A8= 7.54769e+003,

A10= 4.76035e+007, A12=-2.17281e+009

焦点距離 0.28

Fナンバー 2.88

半画角 54.0

像高 0.28

レンズ全長 1.43

BF 0.02

物体距離 10.0

(数値実施例4)

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	vd	有効径
1	∞	0.100	1.51680	64.2	0.62
2	∞	0.045	1.52290	50.3	0.48
3*	0.0846	0.120			0.28
4*	0.1231	0.141	1.52290	50.3	0.25
5	∞	0.100	1.51680	64.2	0.19
6(絞り)	∞	0.054			0.12
7*	0.2286	0.072	1.52290	50.3	0.27
8	∞	0.400	1.51680	64.2	0.30
9	∞	0.020			0.55

像面 ∞

非球面データ

第3面

K=-6.21168e+00, A4= 6.25636e+02, A6=-8.47952e+04, A8= 7.80586e+06, A10=-4.40616e+08, A12= 1.38205e+10, A14=-1.84957e+11

第4面

K=-4.15041e+00, A4= 2.01549e+02, A6=-1.89467e+04, A8= 1.87535e+06, A10=-1.38040e+08, A12= 5.97522e+09, A14=-1.13123e+11

第7面

K=-5.85227e+01, A4= 2.60048e+02, A6=-5.58127e+04, A8= 7.10305e+06, A10=-5.13511e+08, A12= 1.94389e+10, A14=-2.98356e+11

焦点距離 0.217

Fナンバー 2.83

半画角 59.0

像高 0.28

レンズ全長 1.05

BF 0.020

物体距離 5.0

(数値実施例5)

単位 mm

10

20

30

40

50

面データ

面番号	r	d	nd	vd	有効径
1	∞	0.100	1.51680	64.2	0.62
2	∞	0.045	1.52290	50.3	0.49
3*	0.1087	0.081			0.29
4*	0.1272	0.130	1.52290	50.3	0.27
5	∞	0.100	1.51680	64.2	0.23
6(絞り)	∞	0.037			0.13
7*	0.2355	0.070	1.52290	50.3	0.25
8	∞	0.436	1.51680	64.2	0.28
9	∞	0.020			0.54

像面 ∞
非球面データ

第3面

K = -7.43588e+00, A4 = 4.87017e+02, A6 = -6.30018e+04, A8 = 5.88716e+06,
A10 = -3.17706e+08, A12 = 8.90173e+09, A14 = -9.27729e+10

第4面

K = -1.29842e+00, A4 = 3.07945e+01, A6 = -2.42278e+03, A8 = 4.47425e+05,
A10 = -3.15142e+07, A12 = 1.04795e+09, A14 = -1.02518e+10

第7面

K = -4.78137e+01, A4 = 2.30855e+02, A6 = -4.83783e+04, A8 = 6.29551e+06,
A10 = -4.66358e+08, A12 = 1.79953e+10, A14 = -2.79997e+11

焦点距離 0.277

Fナンバー 2.79

半画角 57.0

像高 0.28

レンズ全長 1.02

BF 0.02

物体距離 5.0

(数値実施例6)

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	vd	有効径
1	∞	0.100	1.51680	64.2	0.65
2	∞	0.045	1.51500	54.0	0.51
3*	0.1149	0.140			0.31
4*	0.1755	0.096	1.51500	54.0	0.23
5	∞	0.100	1.51680	64.2	0.19
6(絞り)	∞	0.098			0.12
7*	0.1943	0.105	1.51500	54.0	0.38
8	∞	0.414	1.51680	64.2	0.40
9	∞	0.020			0.55

像面 ∞
非球面データ

第3面

K = -8.38246e+00, A4 = 4.47212e+02, A6 = -4.82082e+04, A8 = 3.54964e+06,
A10 = -1.58303e+08, A12 = 3.76729e+09, A14 = -3.72323e+10

第4面

K = -1.35880e+00, A4 = 1.56995e+02, A6 = -4.30232e+04, A8 = 6.73782e+06,
A10 = -5.77854e+08, A12 = 2.48373e+10, A14 = -4.33446e+11

第7面

K = -2.10248e+01, A4 = 1.20066e+02, A6 = -1.10557e+04, A8 = 6.07621e+05,
A10 = -1.93372e+07, A12 = 3.27476e+08, A14 = -2.27986e+09

焦点距離 0.226

Fナンバー 2.84

半画角 61.1

像高 0.28

レンズ全長 1.12

BF 0.02

物体距離 5.0

(数値実施例7)

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	vd	有効径
1	∞	0.240	1.51680	64.2	2.35
2	∞	0.176	1.52290	50.3	2.02
3*	0.2457	0.341			1.20
4*	0.2957	0.418	1.52290	50.3	0.91
5	∞	0.300	1.51680	64.2	0.74
6(絞り)	∞	0.122			0.27
7*	0.7245	0.135	1.52290	50.3	0.83
8	∞	0.300	1.51680	64.2	0.88
9	∞	0.553	1.51680	64.2	1.14
10	∞	0.020			1.62

像面 ∞

非球面データ

第3面

K = -1.82995e+00, A4 = 1.95941e+00, A6 = -9.41015e+00, A8 = 1.22664e+01,
A10 = -1.03796e+01, A12 = 2.50580e+01, A14 = -1.99537e+01

第4面

K = -2.78973e+00, A4 = 7.70474e+00, A6 = -7.05350e+01, A8 = 6.41973e+02,
A10 = -4.32391e+03, A12 = 1.49156e+04, A14 = -1.96470e+04

第7面

K = -4.43879e+01, A4 = 3.13426e+00, A6 = -4.10059e+01, A8 = 3.38398e+02,
A10 = -1.58008e+03, A12 = 3.73365e+03, A14 = -3.53936e+03

焦点距離 0.565

Fナンバー 2.75

半画角 59.0

像高 0.82

レンズ全長 2.60

BF 0.020

物体距離 50.0

(数値実施例8)

単位 mm

面データ

面番号	r	d	nd	vd	有効径
1	∞	0.100	1.51680	64.2	0.59
2	∞	0.045	1.52290	50.3	0.45
3*	0.0984	0.125			0.27
4*	0.1397	0.138	1.52290	50.3	0.19

10

20

30

40

50

5(絞り) ∞ 0.100 1.51680 64.2 0.11
 6 ∞ 0.033 0.19
 7* 0.2093 0.071 1.52290 50.3 0.28
 8 ∞ 0.400 1.51680 64.2 0.30
 9 ∞ 0.020 0.55

像面 ∞
 非球面データ

第3面

$K = -1.23301e+01$, $A4 = 7.56038e+02$, $A6 = -1.22104e+05$, $A8 = 1.32431e+07$,
 $A10 = -8.55926e+08$, $A12 = 2.91280e+10$, $A14 = -4.02217e+11$

第4面

$K = -3.52848e+00$, $A4 = 1.55637e+02$, $A6 = -1.82661e+04$, $A8 = 3.72846e+06$,
 $A10 = -6.48173e+08$, $A12 = 5.88096e+10$, $A14 = -2.17851e+12$

第7面

$K = -4.99166e+01$, $A4 = 2.46197e+02$, $A6 = -4.89127e+04$, $A8 = 5.57700e+06$,
 $A10 = -3.64668e+08$, $A12 = 1.25259e+10$, $A14 = -1.75004e+11$

焦点距離 0.215

Fナンバー 2.91

半画角 59.7

像高 0.28

レンズ全長 1.03

BF 0.020

物体距離 5.0

各数値実施例における前述の条件式(1)～(8)に関する数値を表1に示す。

【0075】

【表1】

条件式	数値実施例							
	1	2	3	4	5	6	7	8
f	0.238	0.235	0.284	0.217	0.277	0.226	0.565	0.215
f1	-0.224	-0.230	-0.255	-0.162	-0.208	-0.223	-0.470	-0.188
f2	0.287	0.283	0.372	0.235	0.243	0.341	0.566	0.267
f3	0.508	0.455	0.539	0.437	0.450	0.377	1.386	0.400
d	0.0657	0.0865	0.0379	0.0538	0.0366	0.0981	0.1219	0.1327
L	0.424	0.424	0.624	0.420	0.456	0.434	0.873	0.420
d1	0.100	0.100	0.200	0.100	0.100	0.100	0.240	0.100
d2	0.200	0.100	0.200	0.100	0.100	0.100	0.300	0.100
Lar	0.269	0.240	0.306	0.261	0.211	0.236	0.759	0.263
f2/f	1.204	1.206	1.310	1.086	0.877	1.510	1.002	1.240
f3/f1	-2.272	-1.976	-2.111	-2.700	-2.167	-1.691	-2.949	-2.127
d/f	0.276	0.368	0.133	0.248	0.132	0.435	0.216	0.616
L/f	1.778	1.804	2.195	1.937	1.644	1.924	1.546	1.949
(f2-f1)/f3	1.005	1.129	1.165	0.909	1.001	1.495	0.747	1.137
f3/f	2.130	1.936	1.896	2.016	1.623	1.672	2.454	1.858
d/f3	0.129	0.190	0.070	0.123	0.081	0.260	0.088	0.332
Lar/(d1+d2)	0.896	1.200	0.765	1.306	1.054	1.180	1.405	1.316

【0076】

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9】

【0077】

次に、図18を参照して、本発明の実施例9における電子機器について説明する。図18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1～8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10】

【0078】

次に、図19を参照して、本発明の実施例10における撮像装置について説明する。図19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1～8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。

【0079】

各実施例によれば、小型かつ低コストで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。

【0080】

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】

【0081】

1a～1h 光学系

11 第1基板

12 第1レンズ

21 第2基板

22 第2レンズ

31 第3基板

32 第3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

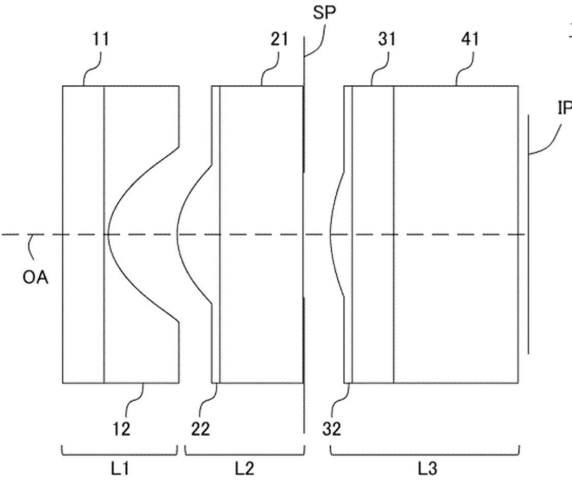
30

40

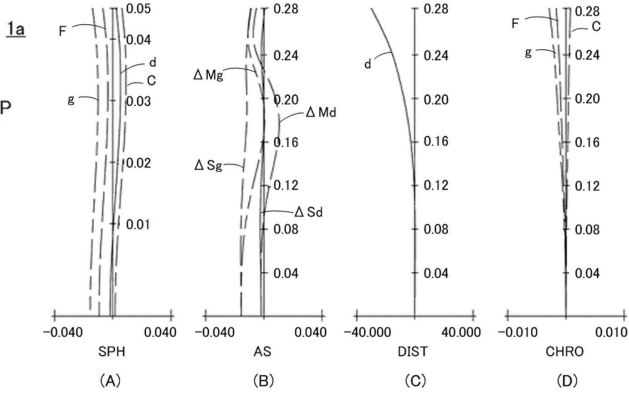
50

【図面】

【図 1】

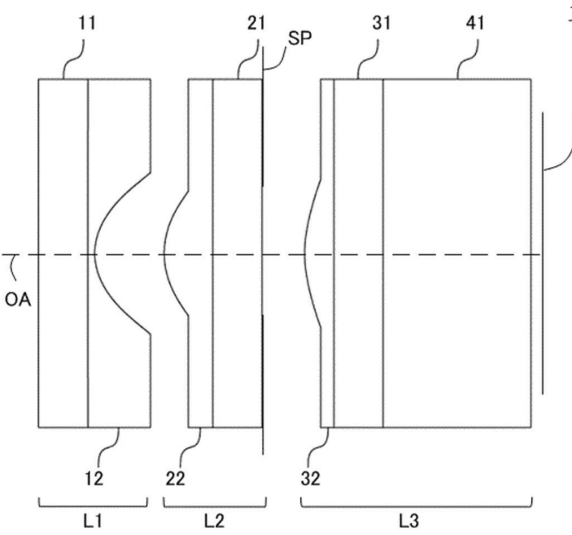


【図 2】

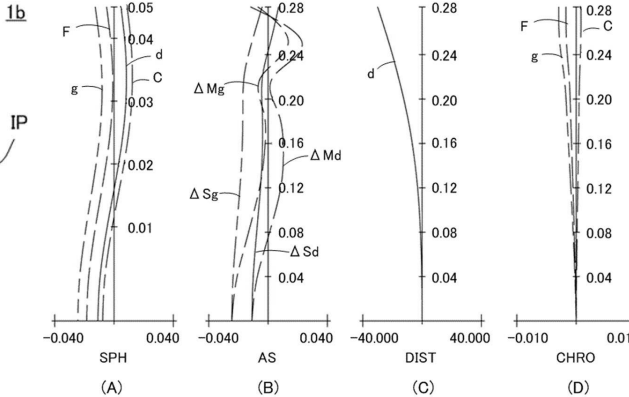


10

【図 3】



【図 4】



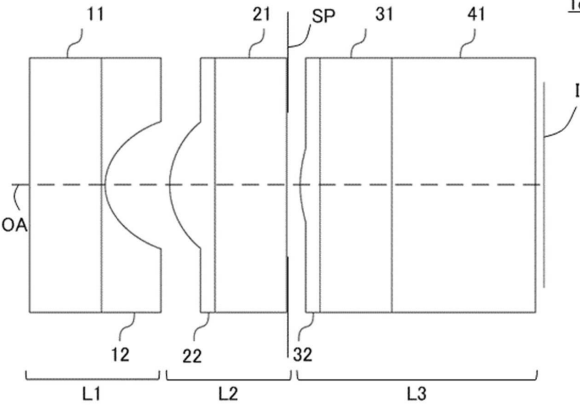
20

30

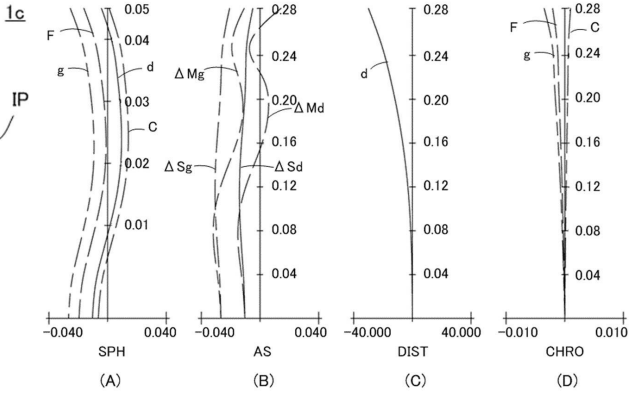
40

50

【図 5】

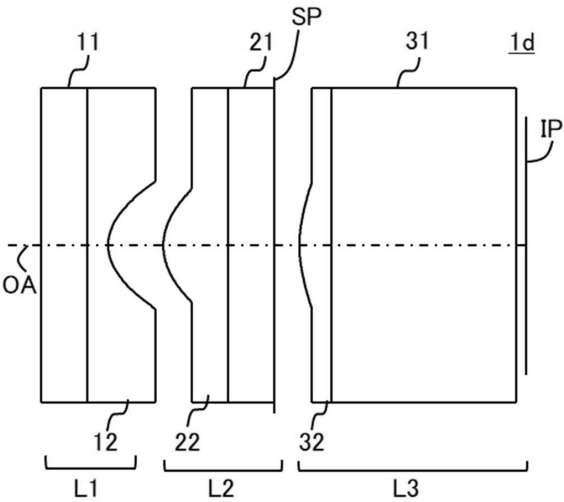


【図 6】

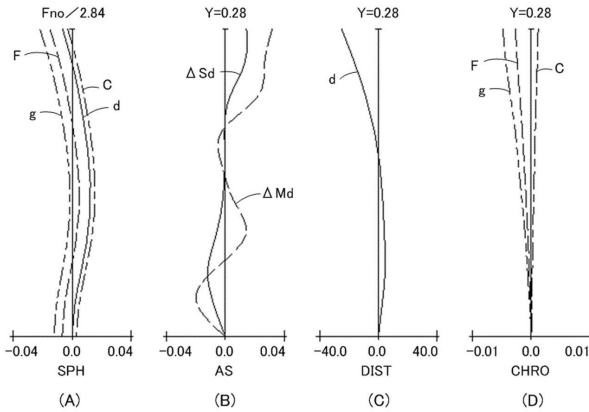


10

【図 7】



【図 8】



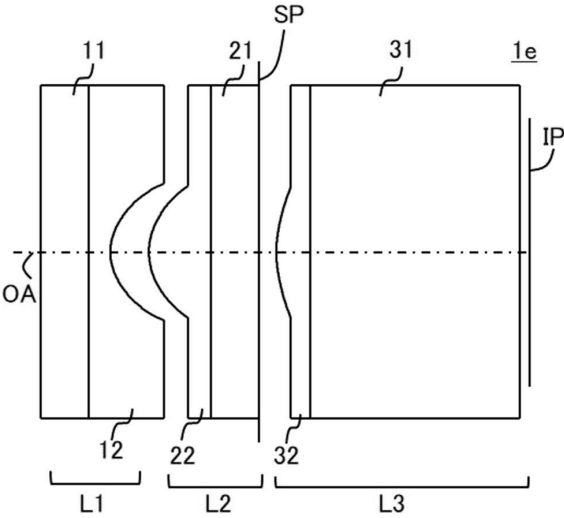
20

30

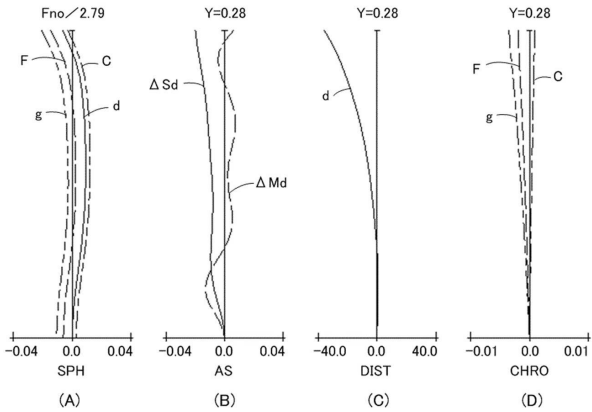
40

50

【図 9】

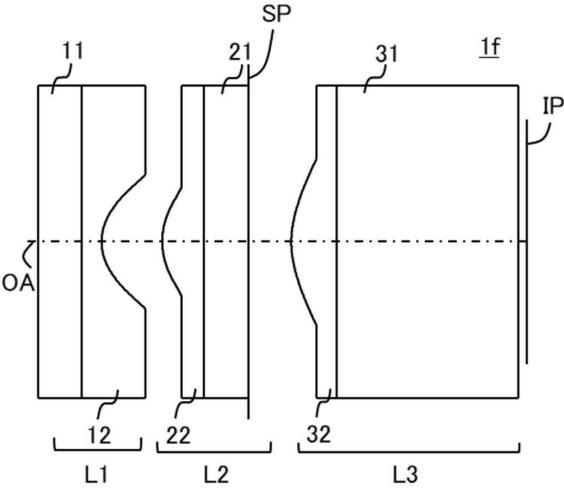


【図 10】

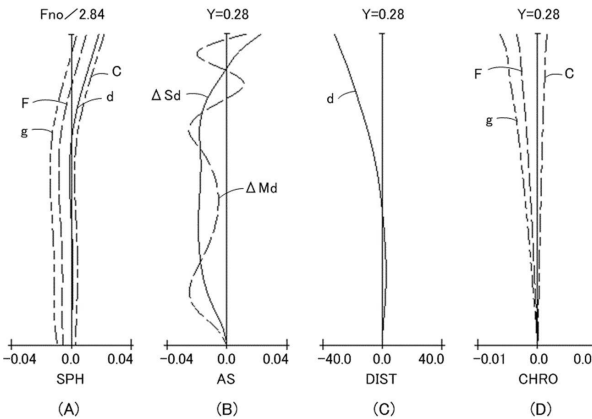


10

【図 11】



【図 12】



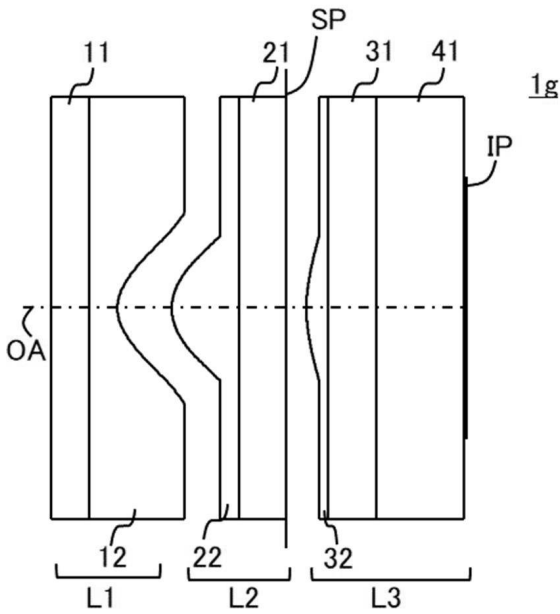
20

30

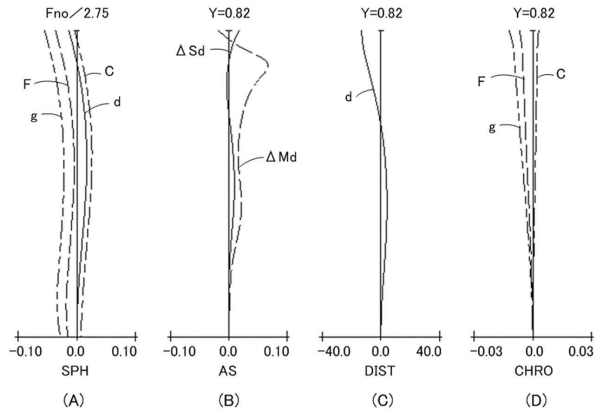
40

50

【図 1 3】

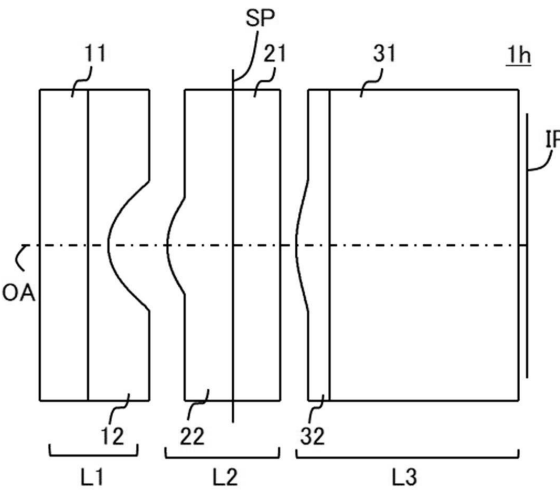


【図 1 4】

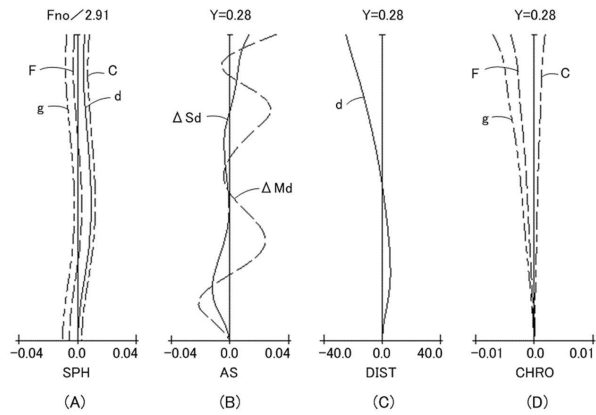


10

【図 1 5】



【図 1 6】



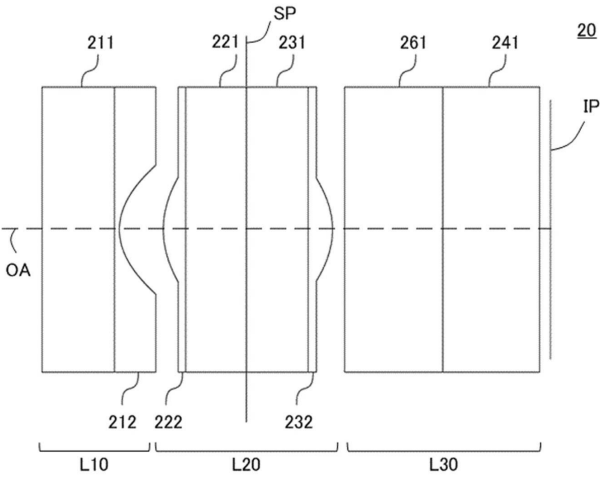
20

30

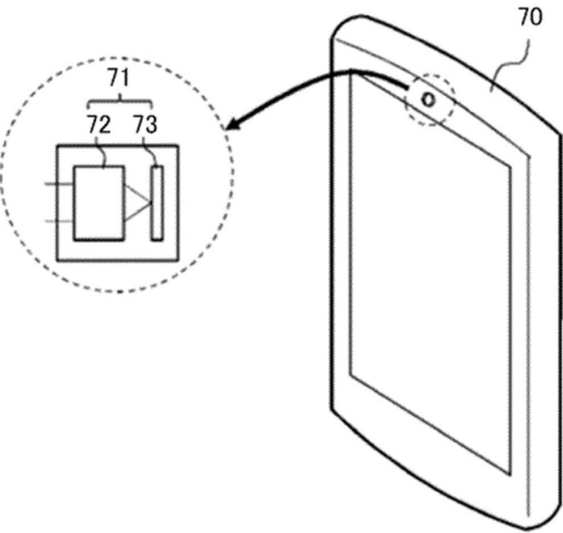
40

50

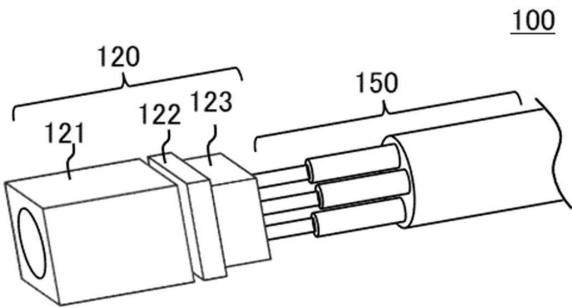
【図 1 7】



【図 1 8】



【図 1 9】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 堀井 康司

- (56)参考文献 特開平10-170821 (JP, A)
特開2000-187155 (JP, A)
特開2020-181092 (JP, A)
- (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