

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5636668号
(P5636668)

(45) 発行日 平成26年12月10日(2014.12.10)

(24) 登録日 平成26年10月31日(2014.10.31)

(51) Int.Cl.

F 1

G02B 13/00 (2006.01)
G02B 1/11 (2006.01)G02B 13/00
G02B 1/10

A

請求項の数 53 (全 77 頁)

(21) 出願番号 特願2009-272048 (P2009-272048)
 (22) 出願日 平成21年11月30日 (2009.11.30)
 (65) 公開番号 特開2011-113052 (P2011-113052A)
 (43) 公開日 平成23年6月9日 (2011.6.9)
 審査請求日 平成24年11月5日 (2012.11.5)

(73) 特許権者 000004112
 株式会社ニコン
 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号
 (74) 代理人 100077919
 弁理士 井上 義雄
 (74) 代理人 100153899
 弁理士 相原 健一
 (72) 発明者 田中 一政
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内
 (72) 発明者 小濱 昭彦
 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 原田 英信

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】レンズ系及び光学装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光軸に沿って物体側から順に、第1レンズ群と正屈折力の第2レンズ群とを有するレンズ系において、

前記第1レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成され、

前記負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズを有し、

前記レンズ系を構成するレンズのうち、最もd線の屈折率の高いレンズのd線(波長587.6nm)における屈折率をndh、前記第1レンズ群の焦点距離をf1、前記レンズ系全系の焦点距離をfとするとき、以下の条件を満足するとともに、

$$ndh > 1.910$$

$$-0.400 < f/f1 < 0.500$$

前記最もd線の屈折率の高いレンズのd線のアッベ数をdh、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径をr1b、前記第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径をr2aとするとき、以下の条件を満足し、

$$dh > 24.0$$

$$0.800 < |r2a|/r1b < 1.200$$

前記第1レンズ群および前記第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、前記反射防止膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくと

10

20

も1層含むように構成されることを特徴とするレンズ系。

【請求項2】

光軸に沿って物体側から順に、第1レンズ群と正屈折力の第2レンズ群とを有するレンズ系において、

前記第1レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成され、

前記負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズを有し、

前記レンズ系を構成するレンズのうち、最もd線の屈折率の高いレンズのd線（波長587.6nm）における屈折率をndh、前記第1レンズ群の焦点距離をf1、前記レンズ系全系の焦点距離をfとするとき、以下の条件を満足するとともに、

$$ndh > 1.910$$

$$-0.400 < f/f1 < 0.500$$

光軸上における前記レンズ系の最も像側のレンズ面から像面までの距離をBf、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径をr1b、前記第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径をr2aとするとき、以下の条件を満足し、

$$0.600 < Bf/f < 1.000$$

$$0.800 < |r2a|/r1b < 1.200$$

前記第1レンズ群および前記第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、前記反射防止膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含むように構成されることを特徴とするレンズ系。

【請求項3】

光軸に沿って物体側から順に、第1レンズ群と正屈折力の第2レンズ群とを有するレンズ系において、

前記第1レンズ群は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成され、

前記負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズを有し、

前記レンズ系を構成するレンズのうち、最もd線の屈折率の高いレンズのd線（波長587.6nm）における屈折率をndh、前記第1レンズ群の焦点距離をf1、前記レンズ系全系の焦点距離をf、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径をr1b、前記第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径をr2aとするとき、以下の条件を満足するとともに、

$$ndh > 1.910$$

$$-0.400 < f/f1 < 0.500$$

$$0.800 < |r2a|/r1b < 1.200$$

前記第1レンズ群および前記第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、前記反射防止膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含むように構成されることを特徴とするレンズ系。

【請求項4】

前記最もd線の屈折率の高いレンズのd線のアッベ数をdhとするとき、以下の条件を満足することを特徴とする請求項2又は3に記載のレンズ系。

$$dh > 24.0$$

【請求項5】

光軸上における前記レンズ系の最も像側のレンズ面から像面までの距離をBfとするとき、以下の条件を満足することを特徴とする請求項3に記載のレンズ系。

$$0.600 < Bf/f < 1.000$$

【請求項6】

前記反射防止膜は多層膜であり、

前記ウェットプロセスで形成された層は、前記多層膜を構成する層のうち最も表面側の

10

20

30

40

50

層であることを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 7】

前記ウェットプロセスを用いて形成された層の d 線における屈折率を n_d としたとき、 n_d は 1.30 以下であることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 8】

前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、開口絞りから見て凹面であることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 9】

前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、像面から見て凹面であることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載のレンズ系。 10

【請求項 10】

前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群との間に開口絞りを有することを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 11】

前記正屈折力のサブレンズ群は最も物体側に正屈折力のレンズ成分を有し、該レンズ成分は、物体側の面の曲率半径の絶対値が像側の面の曲率半径の絶対値よりも小さいことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 12】

前記正屈折力のサブレンズ群は、正屈折力のレンズ成分のみで構成されることを特徴とする請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載のレンズ系。 20

【請求項 13】

前記レンズ系は、以下の条件を満足する少なくとも 1 枚の負屈折力のレンズを有することを特徴とする請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載のレンズ系。

$$n_{N_h} > 1.820$$

但し、 n_{N_h} は前記負屈折力のレンズの d 線（波長 587.6 nm）における屈折率である。

【請求項 14】

前記負屈折力のサブレンズ群の最も像側のレンズは、像側に凹面を向けた負屈折力のレンズであることを特徴とする請求項 1 から 13 のいずれか一項に記載のレンズ系。 30

【請求項 15】

前記第 2 レンズ群は、物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも 1 枚の負屈折力のレンズを有し、該物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも 1 枚の負屈折力のレンズの物体側の面の曲率半径を r_{2Na} とするとき、以下の条件を満足することを特徴とする請求項 1 から 14 のいずれか一項に記載のレンズ系。

$$0.300 < |r_{2Na}| / f < 0.600$$

【請求項 16】

前記物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも 1 枚の負屈折力のレンズは、前記第 2 レンズ群において最も物体側に配置されることを特徴とする請求項 15 に記載のレンズ系。 40

【請求項 17】

前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群との光軸上の間隔は常時固定であることを特徴とする請求項 1 から 16 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 18】

請求項 1 から 17 のいずれか一項に記載のレンズ系を有することを特徴とする光学装置。

【請求項 19】

光軸に沿って物体側から順に、第 1 レンズ群と正屈折力の第 2 レンズ群とを有するレンズ系において、

前記第 1 レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成さ 50

れ、

前記負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズを有し、

前記レンズ系は、以下の条件を満足する少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有し、 n_{Nh} を前記負屈折力のレンズのd線(波長587.6nm)における屈折率、 f_1 を前記第1レンズ群の焦点距離、 f を前記レンズ系全系の焦点距離、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径を r_{1b} 、前記第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径を r_{2a} とするときに、以下の条件を満足するとともに、

$$n_{Nh} > 1.820$$

$$-0.400 < f/f_1 < 0.500$$

$$0.800 < |r_{2a}|/r_{1b} < 1.200$$

10

前記負屈折力のレンズは前記第1レンズ群において最も像側に配置され、該負屈折力のレンズの像側の面は像側に凹面を向けた形状であり、

前記第1レンズ群および前記第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、前記反射防止膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含むように構成されることを特徴とするレンズ系。

【請求項20】

前記反射防止膜は多層膜であり、

前記ウェットプロセスで形成された層は、前記多層膜を構成する層のうち最も表面側の層であることを特徴とする請求項19に記載のレンズ系。

20

【請求項21】

前記ウェットプロセスを用いて形成された層のd線における屈折率を n_d としたとき、 n_d は1.30以下であることを特徴とする請求項19又は20に記載のレンズ系。

【請求項22】

前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、開口絞りから見て凹面であることを特徴とする請求項19から21のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項23】

前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、像面から見て凹面であることを特徴とする請求項19から21のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項24】

30

前記第1レンズ群は、光軸に沿って物体側から順に、前記正屈折力のサブレンズ群と前記負屈折力のサブレンズ群とから構成されていることを特徴とする請求項19から23のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項25】

前記第1レンズ群と前記第2レンズ群との間に開口絞りを有することを特徴とする請求項19から24のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項26】

前記正屈折力のサブレンズ群は最も物体側に正屈折力のレンズ成分を有し、該レンズ成分は、物体側の面の曲率半径の絶対値が像側の面の曲率半径の絶対値よりも小さいことを特徴とする請求項19から25のいずれか一項に記載のレンズ系。

40

【請求項27】

前記正屈折力のサブレンズ群は、正屈折力のレンズ成分のみで構成されることを特徴とする請求項19から26のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項28】

前記負屈折力のレンズのd線のアッベ数を d_N とするとき、以下の条件を満足することを特徴とする請求項19から27のいずれか一項に記載のレンズ系。

$$12.0 < d_N < 24.0$$

【請求項29】

前記レンズ系を構成するレンズのうち、最もd線の屈折率の高いレンズのd線(波長587.6nm)における屈折率を n_{dh} とするとき、以下の条件を満足することを特徴と

50

する請求項 1 9 から 2 8 のいずれか一項に記載のレンズ系。

$$n d h > 1.910$$

【請求項 3 0】

前記負屈折力のレンズはメニスカス形状であることを特徴とする請求項 1 9 から 2 9 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 3 1】

前記負屈折力のレンズは前記第 2 レンズ群において最も物体側に配置され、該負屈折力のレンズの物体側の面は物体側に凹面を向けた形状であることを特徴とする請求項 1 9 から 3 0 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 3 2】

前記第 2 レンズ群は、物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも 1 枚の負屈折力のレンズを有し、該物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも 1 枚の負屈折力のレンズの物体側の面の曲率半径を r_{2Na} とするとき、以下の条件を満足することを特徴とする請求項 1 9 から 3 1 のいずれか一項に記載のレンズ系。

$$0.300 < |r_{2Na}| / f < 0.600$$

【請求項 3 3】

前記物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも 1 枚の負屈折力のレンズは、前記第 2 レンズ群において最も物体側に配置されることを特徴とする請求項 3 2 に記載のレンズ系。

【請求項 3 4】

光軸上における前記レンズ系の最も像側のレンズ面から像面までの距離を B_f とするとき、以下の条件を満足することを特徴とする請求項 1 9 から 3 3 のいずれか一項に記載のレンズ系。

$$0.600 < B_f / f < 1.000$$

【請求項 3 5】

前記第 1 レンズ群と前記第 2 レンズ群との光軸上の間隔は常時固定であることを特徴とする請求項 1 9 から 3 4 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 3 6】

請求項 1 9 から 3 5 のいずれか一項に記載のレンズ系を有することを特徴とする光学装置。

【請求項 3 7】

光軸に沿って物体側から順に、第 1 レンズ群と正屈折力の第 2 レンズ群とを有するレンズ系において、

前記第 1 レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成され、

前記負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズを有し、

前記第 2 レンズ群を構成するレンズのうち、最も d 線（波長 587.6 nm ）の屈折率の高いレンズの d 線における屈折率を n_{2dh} 、前記第 1 レンズ群の焦点距離を f_1 、前記レンズ系全系の焦点距離を f とするとき、以下の条件を満足するとともに、

$$n_{2dh} > 1.890$$

$$-0.400 < f / f_1 < 0.500$$

前記最も d 線の屈折率の高いレンズの d 線のアッベ数を $2dh$ 、前記第 1 レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径を r_{1b} 、前記第 2 レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径を r_{2a} とするとき、以下の条件を満足し、

$$2dh > 24.0$$

$$0.750 < |r_{2a}| / r_{1b} < 1.250$$

前記第 1 レンズ群および前記第 2 レンズ群における光学面のうち少なくとも 1 面に反射防止膜が設けられ、前記反射防止膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも 1 層含むように構成されることを特徴とするレンズ系。

10

20

30

40

50

【請求項 3 8】

光軸に沿って物体側から順に、第1レンズ群と正屈折力の第2レンズ群とを有するレンズ系において、

前記第1レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成され、

前記負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズを有し、

前記第2レンズ群を構成するレンズのうち、最も d 線（波長 587.6 nm）の屈折率の高いレンズの d 線における屈折率を n_{2d} 、前記第1レンズ群の焦点距離を f_1 、前記レンズ系全系の焦点距離を f とするとき、以下の条件を満足するとともに、

$$n_{2d} > 1.890$$

$$-0.400 < f/f_1 < 0.500$$

光軸上における前記レンズ系の最も像側のレンズ面から像面までの距離を B_f 、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径を r_{1b} 、前記第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径を r_{2a} とするとき、以下の条件を満足し、

$$0.600 < B_f/f < 1.000$$

$$0.750 < |r_{2a}|/r_{1b} < 1.250$$

前記第1レンズ群および前記第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、前記反射防止膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含むように構成されることを特徴とするレンズ系。

【請求項 3 9】

前記最も d 線の屈折率の高いレンズの d 線のアッベ数を $2d$ とするとき、以下の条件を満足することを特徴とする請求項3 8 に記載のレンズ系。

$$2d > 24.0$$

【請求項 4 0】

前記反射防止膜は多層膜であり、

前記ウェットプロセスで形成された層は、前記多層膜を構成する層のうち最も表面側の層であることを特徴とする請求項3 7 から3 9 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 4 1】

前記ウェットプロセスを用いて形成された層の d 線における屈折率を n_d としたとき、 n_d は 1.30 以下であることを特徴とする請求項3 7 から4 0 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 4 2】

前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、開口絞りから見て凹面であることを特徴とする請求項3 7 から4 1 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 4 3】

前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、像面から見て凹面であることを特徴とする請求項3 7 から4 1 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 4 4】

前記第1レンズ群は、光軸に沿って物体側から順に、前記正屈折力のサブレンズ群と前記負屈折力のサブレンズ群とから構成されていることを特徴とする請求項3 7 から4 3 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 4 5】

前記第1レンズ群と前記第2レンズ群との間に開口絞りを有することを特徴とする請求項3 7 から4 4 のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 4 6】

前記レンズ系は、以下の条件を満足する少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有することを特徴とする請求項3 7 から4 5 のいずれか一項に記載のレンズ系。

$$n_{Nh} > 1.820$$

但し、 n_{Nh} は前記負屈折力のレンズの d 線（波長 587.6 nm）における屈折率であ

10

20

30

40

50

る。

【請求項 4 7】

前記正屈折力のサブレンズ群は最も物体側に正屈折力のレンズ成分を有し、該レンズ成分は、物体側の面の曲率半径の絶対値が像側の面の曲率半径の絶対値よりも小さいことを特徴とする請求項3 7から4 6のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 4 8】

前記正屈折力のサブレンズ群は、正屈折力のレンズ成分のみで構成されることを特徴とする請求項3 7から4 7のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 4 9】

前記負屈折力のサブレンズ群の最も像側のレンズは、像側に凹面を向けた負屈折力のレンズであることを特徴とする請求項3 7から4 8のいずれか一項に記載のレンズ系。 10

【請求項 5 0】

前記第2レンズ群は、物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有し、該物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズの物体側の面の曲率半径を $r_2 N_a$ とするとき、以下の条件を満足することを特徴とする請求項3 7から4 9のいずれか一項に記載のレンズ系。

$$0.300 < |r_2 N_a| / f < 0.600$$

【請求項 5 1】

前記物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズは、前記第2レンズ群において最も物体側に配置されることを特徴とする請求項5 0に記載のレンズ系。 20

【請求項 5 2】

前記第1レンズ群と前記第2レンズ群との光軸上の間隔は常時固定であることを特徴とする請求項3 7から5 1のいずれか一項に記載のレンズ系。

【請求項 5 3】

請求項3 7から5 2のいずれか一項に記載のレンズ系を有することを特徴とする光学装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、一眼レフカメラ用交換レンズや複写用レンズなどに好適なレンズ系と、これを有する光学装置に関する。 30

【背景技術】

【0 0 0 2】

従来、一眼レフカメラ用交換レンズや複写用レンズなどに用いられるレンズ系として、所謂ダブルガウス型レンズ系が用いられ、数多く提案されている（例えば、特許文献1参照）。また近年、このようなダブルガウス型レンズに対しては、収差性能だけではなく、光学性能を損なう要因の一つであるゴーストやフレアに関する要求も厳しさを増しており、そのためレンズ面に施される反射防止膜にもより高い性能が要求され、要求に応えるべく多層膜設計技術や多層膜成膜技術も進歩を続けており（例えば、特許文献2参照）。 40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 3】

【特許文献1】特開2007-333790号公報

【特許文献2】特開2000-356704号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 4】

従来のダブルガウス型レンズ系は、コマ収差が大きく、十分に高い光学性能を有しているとは言えなかった。それと同時に、このようなダブルガウス型レンズ系における光学面 50

からは、ゴーストやフレアとなる反射光が発生しやすいという問題もあった。

【0005】

本発明はこのような問題に鑑みてなされたものであり、ゴーストやフレアをより低減させ、良好な光学性能を達成することができるダブルガウス型レンズ系およびこれを有する光学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】

このような目的を達成するため、本発明は、

光軸に沿って物体側から順に、第1レンズ群と正屈折力の第2レンズ群とを有するレンズ系において、

前記第1レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成され、

前記負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズを有し、

前記レンズ系を構成するレンズのうち、最もd線の屈折率の高いレンズのd線（波長587.6nm）における屈折率をndh、前記第1レンズ群の焦点距離をf1、前記レンズ系全系の焦点距離をfとするとき、以下の条件を満足するとともに、

$$ndh > 1.910$$

$$-0.400 < f/f1 < 0.500$$

前記最もd線の屈折率の高いレンズのd線のアッベ数をdh、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径をr1b、前記第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径をr2aとするとき、以下の条件を満足し、

$$dh > 24.0$$

$$0.800 < |r2a|/r1b < 1.200$$

前記第1レンズ群および前記第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、前記反射防止膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含むように構成されている。

本発明は、

光軸に沿って物体側から順に、第1レンズ群と正屈折力の第2レンズ群とを有するレンズ系において、

前記第1レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成され、

前記負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズを有し、

前記レンズ系を構成するレンズのうち、最もd線の屈折率の高いレンズのd線（波長587.6nm）における屈折率をndh、前記第1レンズ群の焦点距離をf1、前記レンズ系全系の焦点距離をfとするとき、以下の条件を満足するとともに、

$$ndh > 1.910$$

$$-0.400 < f/f1 < 0.500$$

光軸上における前記レンズ系の最も像側のレンズ面から像面までの距離をBf、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径をr1b、前記第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径をr2aとするとき、以下の条件を満足し、

$$0.600 < Bf/f < 1.000$$

$$0.800 < |r2a|/r1b < 1.200$$

前記第1レンズ群および前記第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、前記反射防止膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含むように構成されている。

本発明は、

光軸に沿って物体側から順に、第1レンズ群と正屈折力の第2レンズ群とを有するレンズ系において、

10

20

30

40

50

前記第1レンズ群は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成され、

前記負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズを有し、

前記レンズ系を構成するレンズのうち、最も d 線の屈折率の高いレンズの d 線（波長 587.6 nm）における屈折率を n_{dh} 、前記第1レンズ群の焦点距離を f_1 、前記レンズ系全系の焦点距離を f 、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径を r_{1b} 、前記第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径を r_{2a} とするとき、以下の条件を満足するとともに、

$$\begin{aligned} n_{dh} &> 1.910 & 10 \\ -0.400 &< f/f_1 < 0.500 \\ 0.800 &< |r_{2a}|/r_{1b} < 1.200 \end{aligned}$$

前記第1レンズ群および前記第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、前記反射防止膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含むように構成されている。

【0007】

なお、前記反射防止膜は多層膜であり、前記多層膜の最表面層は、前記ウェットプロセスを用いて形成された層であることが好ましい。

【0008】

また、前記ウェットプロセスを用いて形成された層の d 線における屈折率を n_d としたとき、 n_d は 1.30 以下であることが好ましい。

【0009】

また、前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、開口絞りから見て凹面であることが好ましい。

【0010】

また、前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、像面から見て凹面であることが好ましい。

【0012】

また、前記第1レンズ群と前記第2レンズ群との間に開口絞りを有することが好ましい。

【0013】

また、前記正屈折力のサブレンズ群は最も物体側に正屈折力のレンズ成分を有し、該レンズ成分は、物体側の面の曲率半径の絶対値が像側の面の曲率半径の絶対値よりも小さいことが好ましい。

【0014】

また、前記正屈折力のサブレンズ群は、正屈折力のレンズ成分のみで構成されることが好ましい。

【0015】

また、前記最も d 線の屈折率の高いレンズの d 線のアッペ数を d_h とするとき、 $d_h > 24.0$ の条件を満足することが好ましい。

【0016】

また、前記レンズ系は、 n_{Nh} を負屈折力のレンズの d 線（波長 587.6 nm）における屈折率としたときに、 $n_{Nh} > 1.820$ の条件を満足する少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有することが好ましい。

【0017】

また、前記負屈折力のサブレンズ群の最も像側のレンズは、像側に凹面を向けた負屈折力のレンズであることが好ましい。

【0018】

また、前記第2レンズ群は、物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有し、該物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力の

10

20

30

40

50

レンズの物体側の面の曲率半径を r_{2Na} とするとき、 $0.300 < |r_{2Na}| / f < 0.600$ の条件を満足することが好ましい。

【0019】

また、前記物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズは、前記第2レンズ群において最も物体側に配置されることが好ましい。

【0020】

また、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径を r_{1b} 、前記第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径を r_{2a} とするとき、 $0.800 < |r_{2a}| / r_{1b} < 1.200$ の条件を満足することが好ましい。

【0021】

また、光軸上における前記レンズ系の最も像側のレンズ面から像面までの距離を B_f とするとき、 $0.600 < B_f / f < 1.000$ の条件を満足することが好ましい。

【0022】

また、前記第1レンズ群と前記第2レンズ群との光軸上の間隔は常時固定であることが好ましい。

【0023】

また、本発明に係る光学装置は、上記いずれかのレンズ系を有する。

【0024】

本発明は、
光軸に沿って物体側から順に、第1レンズ群と正屈折力の第2レンズ群とを有するレンズ系において、

前記第1レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成され、

前記負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズを有し、

前記レンズ系は、以下の条件を満足する少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有し、 n_{Nh} を前記負屈折力のレンズの d 線（波長 587.6 nm ）における屈折率、 f_1 を前記第1レンズ群の焦点距離、 f を前記レンズ系全系の焦点距離、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径を r_{1b} 、前記第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径を r_{2a} とするとき、以下の条件を満足するとともに、

$$\begin{aligned} n_{Nh} &> 1.820 \\ -0.400 &< f/f_1 < 0.500 \\ 0.800 &< |r_{2a}| / r_{1b} < 1.200 \end{aligned}$$

前記負屈折力のレンズは前記第1レンズ群において最も像側に配置され、該負屈折力のレンズの像側の面は像側に凹面を向けた形状であり、

前記第1レンズ群および前記第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、前記反射防止膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含むように構成されている。

【0025】

なお、前記反射防止膜は多層膜であり、前記多層膜の最表面層は、前記ウェットプロセスを用いて形成された層であることが好ましい。

【0026】

また、前記ウェットプロセスを用いて形成された層の d 線における屈折率を n_d としたとき、 n_d は 1.30 以下であることが好ましい。

【0027】

また、前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、開口絞りから見て凹面であることが好ましい。

【0028】

また、前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、像面から見て凹面であることが好ま

10

20

30

40

50

しい。

【0029】

また、前記第1レンズ群は、光軸に沿って物体側から順に、前記正屈折力のサブレンズ群と前記負屈折力のサブレンズ群とから構成されていることが好ましい。

【0030】

また、前記第1レンズ群と前記第2レンズ群との間に開口絞りを有することが好ましい。

【0031】

また、前記正屈折力のサブレンズ群は最も物体側に正屈折力のレンズ成分を有し、該レンズ成分は、物体側の面の曲率半径の絶対値が像側の面の曲率半径の絶対値よりも小さいことが好ましい。 10

【0032】

また、前記正屈折力のサブレンズ群は、正屈折力のレンズ成分のみで構成されることが好ましい。

【0033】

また、前記負屈折力のレンズのd線のアッペ数を d_N とするとき、 $12.0 < d_N < 24.0$ の条件を満足することが好ましい。

【0034】

また、前記レンズ系を構成するレンズのうち、最もd線の屈折率の高いレンズのd線(波長587.6nm)における屈折率を n_{dh} とするとき、 $n_{dh} > 1.910$ の条件を満足することが好ましい。 20

【0035】

また、前記負屈折力のレンズはメニスカス形状であることが好ましい。

【0036】

また、前記負屈折力のレンズは前記第2レンズ群において最も物体側に配置され、該負屈折力のレンズの物体側の面は物体側に凹面を向けた形状であることが好ましい。

【0038】

また、前記第2レンズ群は、物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有し、該物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズの物体側の面の曲率半径を r_{2Na} とするとき、 $0.300 < |r_{2Na}| / f < 0.600$ の条件を満足することが好ましい。 30

【0039】

また、前記物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズは、前記第2レンズ群において最も物体側に配置されることが好ましい。

【0040】

また、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径を r_{1b} 、前記第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径を r_{2a} とするとき、 $0.800 < |r_{2a}| / r_{1b} < 1.200$ の条件を満足することが好ましい。

【0041】

また、光軸上における前記レンズ系の最も像側のレンズ面から像面までの距離を B_f とするとき、 $0.600 < B_f / f < 1.000$ の条件を満足することが好ましい。 40

【0042】

また、前記第1レンズ群と前記第2レンズ群との光軸上の間隔は常時固定であることが好ましい。

【0043】

また、本発明に係る光学装置は、上記いずれかのレンズ系を有する。

【0044】

本発明は、

光軸に沿って物体側から順に、第1レンズ群と正屈折力の第2レンズ群とを有するレン 50

ズ系において、

前記第1レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成され、

前記負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズを有し、

前記第2レンズ群を構成するレンズのうち、最もd線（波長587.6nm）の屈折率の高いレンズのd線における屈折率をn_{2dh}、前記第1レンズ群の焦点距離をf₁、前記レンズ系全系の焦点距離をfとするとき、以下の条件を満足するとともに、

$$n_{2dh} > 1.890$$

$$-0.400 < f/f_1 < 0.500$$

10

前記最もd線の屈折率の高いレンズのd線のアッベ数を2dh、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径をr_{1b}、前記第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径をr_{2a}とするとき、以下の条件を満足し、

$$2dh > 24.0$$

$$0.750 < |r_{2a}|/r_{1b} < 1.250$$

前記第1レンズ群および前記第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、前記反射防止膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含むように構成されている。

本発明は、

光軸に沿って物体側から順に、第1レンズ群と正屈折力の第2レンズ群とを有するレンズ系において、

20

前記第1レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成され、

前記負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズを有し、

前記第2レンズ群を構成するレンズのうち、最もd線（波長587.6nm）の屈折率の高いレンズのd線における屈折率をn_{2dh}、前記第1レンズ群の焦点距離をf₁、前記レンズ系全系の焦点距離をfとするとき、以下の条件を満足するとともに、

$$n_{2dh} > 1.890$$

$$-0.400 < f/f_1 < 0.500$$

30

光軸上における前記レンズ系の最も像側のレンズ面から像面までの距離をBf、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径をr_{1b}、前記第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径をr_{2a}とするとき、以下の条件を満足し、

$$0.600 < Bf/f < 1.000$$

$$0.750 < |r_{2a}|/r_{1b} < 1.250$$

前記第1レンズ群および前記第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、前記反射防止膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含むように構成されている。

【0045】

40

なお、前記反射防止膜は多層膜であり、前記多層膜の最表面層は、前記ウェットプロセスを用いて形成された層であることが好ましい。

【0046】

また、前記ウェットプロセスを用いて形成された層のd線における屈折率をn_dとしたとき、次式n_d = 1.30の条件を満足することが好ましい。

【0047】

また、前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、開口絞りから見て凹面であることが好ましい。

【0048】

また、前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、像面から見て凹面であることが好ま

50

しい。

【0049】

また、前記第1レンズ群は、光軸に沿って物体側から順に、前記正屈折力のサブレンズ群と前記負屈折力のサブレンズ群とから構成されていることが好ましい。

【0050】

また、前記第1レンズ群と前記第2レンズ群との間に開口絞りを有することが好ましい。

【0051】

また、前記最も d 線の屈折率の高いレンズの d 線のアッペ数を $2d h$ とするとき、
 $2d h > 24.0$ の条件を満足することが好ましい。

10

【0052】

また、前記レンズ系は、 $n N h$ を負屈折力のレンズの d 線（波長 587.6 nm ）における屈折率としたときに、 $n N h > 1.820$ の条件を満足する少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有することが好ましい。

【0053】

また、前記正屈折力のサブレンズ群は最も物体側に正屈折力のレンズ成分を有し、該レンズ成分は、物体側の面の曲率半径の絶対値が像側の面の曲率半径の絶対値よりも小さいことが好ましい。

【0054】

また、前記正屈折力のサブレンズ群は、正屈折力のレンズ成分のみで構成されることが好ましい。

20

【0055】

また、前記負屈折力のサブレンズ群の最も像側のレンズは、像側に凹面を向けた負屈折力のレンズであることが好ましい。

【0056】

また、前記第2レンズ群は、物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有し、該物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズの物体側の面の曲率半径を $r_2 N a$ とするとき、 $0.300 < |r_2 N a| / f < 0.600$ の条件を満足することが好ましい。

30

【0057】

また、前記物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズは、前記第2レンズ群において最も物体側に配置されることが好ましい。

【0058】

また、前記第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径を $r_1 b$ 、前記第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径を $r_2 a$ とするとき、 $0.750 < |r_2 a| / r_1 b < 1.250$ の条件を満足することが好ましい。

【0060】

また、前記第1レンズ群と前記第2レンズ群との光軸上の間隔は常時固定であることが好ましい。

【0061】

40

また、本発明に係る光学装置は、上記いずれかのレンズ系を有する。

【発明の効果】

【0062】

本発明によれば、諸収差が良好に補正され、ゴースト、フレアをより低減させた高い光学性能を持つレンズ系、及びこれを有する光学装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0063】

【図1】第1実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図2】第1実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時(=0.0)
 $)$ 、(b)は近距離合焦時(= -1/30)の諸収差図をそれぞれ示す。

50

【図3】第1実施例に係るレンズ系の構成図であって、入射した光線が第1番目のゴースト発生面と第2番目のゴースト発生面で反射する様子を説明する図である。

【図4】第2実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図5】第2実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【図6】第3実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図7】第3実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【図8】第4実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図9】第4実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。 10

【図10】第5実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図11】第5実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【図12】第6実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図13】第6実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【図14】第7実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図15】第7実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。 20

【図16】第8実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図17】第8実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【図18】第8実施例に係るレンズ系の構成図であって、入射した光線が第1番目のゴースト発生面と第2番目のゴースト発生面で反射する様子を説明する図である。

【図19】第9実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図20】第9実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【図21】第10実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図22】第10実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。 30

【図23】第11実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図24】第11実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【図25】第12実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図26】第12実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【図27】第13実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図28】第13実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。 40

【図29】第14実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図30】第14実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【図31】第14実施例に係るレンズ系の構成図であって、入射した光線が第1番目のゴースト発生面と第2番目のゴースト発生面で反射する様子を説明する図である。

【図32】第15実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図33】第15実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【図34】第16実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【図35】第16実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。 50

0.0)、(b)は近距離合焦時(= -1/30)の諸収差図をそれぞれ示す。

【図36】反射防止膜の構造を示す説明図である。

【図37】反射防止膜の分光特性を示すグラフである。

【図38】変形例に係る反射防止膜の分光特性を示すグラフである。

【図39】変形例に係る反射防止膜の分光特性を示すグラフである。

【図40】従来技術で作成した反射防止膜の分光特性を示すグラフである。

【図41】従来技術で作成した反射防止膜の分光特性を示すグラフである。

【図42】第1実施例に係るレンズ系を備えたカメラの構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0064】

以下、本願の実施形態に係るレンズ系について説明する。

【0065】

[第1実施形態]

本実施形態に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、第1レンズ群と正屈折力の第2レンズ群とを有するレンズ系において、第1レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成され、負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズを有する構成とすることで、所謂対称型のダブルガウス型の屈折力配置を実現し、歪曲収差や倍率色収差を良好に補正すると共に、球面収差と像面湾曲を補正している。

【0066】

また、本実施形態に係るレンズ系は、レンズ系を構成するレンズのうち、最もd線の屈折率の高いレンズのd線(波長587.6nm)における屈折率をndh、第1レンズ群の焦点距離をf1、レンズ系全系の焦点距離をfとするとき、以下の条件式(1)、(2)を満足する。

$$(1) \quad ndh > 1.910$$

$$(2) \quad -0.400 < f/f1 < 0.500$$

【0067】

条件式(1)は、レンズ系で発生する球面収差とサジタルコマ収差を良好に補正し、高い光学性能を得るために条件式である。

【0068】

条件式(1)の下限値を下回った場合、次の2つの場合が考えられる。即ち、最もd線の屈折率の高いレンズが正レンズの場合と負レンズの場合である。

【0069】

前者の場合、レンズ系内で発生する負の球面収差が過大となるため、その補正をレンズ系内の負レンズの曲率を大きく(曲率半径を小さく)することで行うが、そのために負レンズによってサジタルコマ収差が大きく発生してしまう。後者の場合、負レンズによってサジタルコマ収差が大きく発生してしまう。従って、いずれの場合においても、高い光学性能を得ることができない。

【0070】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(1)の下限値を1.940にすることが好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(1)を2.800より小さくすることが好ましい。条件式(1)を2.800より小さくすることで、レンズ系中の最も高い屈折率を持つ光学材料の可視光線における透過率を十分に確保でき、レンズ系を構成できる。

【0071】

条件式(2)は、レンズ系で発生する歪曲収差や倍率色収差を良好に補正し、高い光学性能を得るために条件式である。

【0072】

条件式(2)の下限値を下回ると、第1レンズ群の屈折力が負に大きくなりすぎる。すると、負の歪曲収差や倍率色収差を補正することが困難となり、高い光学性能を実現でき

10

20

30

40

50

ない。

【0073】

条件式(2)の上限値を上回ると、第1レンズ群で発生する正の歪曲収差を補正することが困難となり、高い光学性能を実現できない。

【0074】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(2)の下限値を-0.250にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(2)の下限値を-0.100にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(2)の下限値を0.000にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(2)の下限値を0.100にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(2)の上限値を0.400にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(2)の上限値を0.360にすることが更に好ましい。

10

【0075】

また、本実施形態に係るレンズ系の第1レンズ群および第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、この反射膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含んでいる。

【0076】

また、前記反射防止膜は多層膜であり、前記ウェットプロセスで形成された層は、多層膜を構成する層のうち最も表面側の層であることが好ましい。このようにすれば、空気との屈折率差を小さくすることができるため、光の反射をより小さくすることが可能になり、ゴーストやフレアをさらに低減させることができる。

20

【0077】

また、前記ウェットプロセスを用いて形成された層のd線における屈折率をndとしたとき、屈折率ndが1.30以下であることが好ましい。このようにすれば、空気との屈折率差を小さくすることができるため、光の反射をより小さくすることが可能になり、ゴーストやフレアをさらに低減させることができる。

【0078】

また、前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、開口絞りから見て凹面であることが好ましい。このようにすれば、開口絞りに対して凹面にゴーストが発生し易いため、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

30

【0079】

また、前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、像面から見て凹面であることが好ましい。このようにすれば、像面に対して凹面にゴーストが発生し易いため、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

【0080】

なお、反射防止膜は、ウェットプロセスに限らず、(ドライプロセス等により)屈折率が1.30以下となる層を少なくとも1層含むようにしてもよい。このようにしても、ウェットプロセスを用いた場合と同様の効果を得ることができる。なおこの時、屈折率が1.30以下になる層は、多層膜を構成する層のうち最も表面側の層であることが好ましい。

40

【0081】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第1レンズ群は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成されていることが好ましい。

【0082】

この構成により、歪曲収差や倍率色収差をより良好に補正することができる。

【0083】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第1レンズ群と第2レンズ群との間に開口絞りを有することが好ましい。

50

【0084】

この構成により、歪曲収差や倍率色収差を良好に補正することができる。

【0085】

また、本実施形態に係るレンズ系は、正屈折力のサブレンズ群は最も物体側に正屈折力のレンズ成分を有し、該レンズ成分は、物体側の面の曲率半径の絶対値が像側の面の曲率半径の絶対値よりも小さいことが好ましい。

【0086】

この構成により、画面中心に向かう光線を前記レンズ成分でゆるやかに曲げることが可能となる。その結果、前記レンズ成分で発生する収差、特に球面収差の発生を抑えることができ、高い光学性能を実現できる。

10

【0087】

なお、本願におけるレンズ成分とは、単レンズと接合レンズとを含む総称である。

【0088】

また、本実施形態に係るレンズ系は、正屈折力のサブレンズ群は、正屈折力のレンズ成分のみで構成されることが好ましい。

【0089】

この構成により、レンズ系におけるレンズ構成枚数を削減し、レンズ表面反射によるフレアを軽減することができ、高い光学性能を実現できる。

【0090】

また、本実施形態に係るレンズ系は、最もd線の屈折率の高いレンズのd線のアッベ数をdhとするとき、以下の条件式(3)を満足することができまし。

20

$$(3) \quad dh > 24.0$$

【0091】

条件式(3)は、色収差を抑えて高い光学性能を得るための条件式である。

【0092】

条件式(3)の下限値を下回ると、最もd線の屈折率の高いレンズが正レンズの場合には、色の球面収差が補正不足になり、最もd線の屈折率の高いレンズが負レンズの場合には、色の球面収差が補正過剰になり、高い光学性能を得ることができない。

【0093】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(3)の下限値を25.0にすることが好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(3)を30.0より小さくすることが好ましい。条件式(3)を30.0より小さくすることで、色の球面収差を良好に補正でき、より高い光学性能を得ることができる。

30

【0094】

また、本実施形態に係るレンズ系は、レンズ系は、以下の条件式(4)を満足する少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有することが好ましい。

$$(4) \quad nN_h > 1.820$$

但し、nN_hは前記負屈折力のレンズのd線(波長587.6nm)における屈折率である。

【0095】

40

条件式(4)は、レンズ系で発生する球面収差とサジタルコマ収差を良好に補正し、高い光学性能を得るための条件式である。

【0096】

条件式(4)の下限値を下回った場合、負レンズによってサジタルコマ収差が大きく発生してしまい、高い光学性能を得ることができない。

【0097】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(4)の下限値を1.840にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(4)の下限値を1.860にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(4)を2.800より小さくすることが好ましい。条件式(4)を2.800より

50

小さくすることで、負屈折力のレンズの光学材料の可視光線における透過率を十分に確保でき、レンズ系を構成できる。

【0098】

また、本実施形態に係るレンズ系は、負屈折力のサブレンズ群の最も像側のレンズは、像側に凹面を向けた負屈折力のレンズであることが好ましい。

【0099】

本実施形態に係るレンズ系では、第1レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と、負屈折力のサブレンズ群から構成されているが、正屈折力のサブレンズ群で発生する負の球面収差を、負屈折力のサブレンズ群の最も像側のレンズを像側に凹面を向けた負屈折力のレンズで構成することで良好に補正できるようになり、第1レンズ群全体で球面収差の発生を10低く抑えることが可能となる。また、コマ収差も同様に補正でき、レンズ系全体として、高い光学性能を得ることができる。

【0100】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第2レンズ群は、物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有し、該物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズの物体側の面の曲率半径を $r_2 N_a$ とするとき、以下の条件式(5)を満足することが好ましい。

$$(5) \quad 0.300 < |r_2 N_a| / f < 0.600$$

【0101】

条件式(5)は、サジタルコマ収差を抑え高い光学性能を実現するための条件式である。

【0102】

条件式(5)の下限値を下回ると、物体側の面が物体側に凹面を向けた負屈折力レンズの物体側の面でサジタルコマ収差が大きく発生し、高い光学性能を実現できない。

【0103】

条件式(5)の上限値を上回ると、第2レンズ群内で発生する負の球面収差を良好に補正できなくなる。また、レンズ系で無限遠から近距離までの合焦や、本実施形態のレンズ系を適用した投影装置あるいは複写機などで拡大倍率を変更した時の収差変動が過剰に大きくなり、無限遠から近距離まであるいは広い拡大倍率の範囲において、高い光学性能を維持できない。

【0104】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(5)の下限値を0.320にすることが好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(5)の上限値を0.530にすることが好ましい。

【0105】

また、本実施形態に係るレンズ系は、前記物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズは、第2レンズ群において最も物体側に配置されることが好ましい。

【0106】

物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズを第2レンズ群の最も物体側に配置することで、該負屈折力のレンズによって発生する歪曲収差や倍率色収差を抑えることができ、高い光学性能を得ることができる。

【0107】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径を $r_1 b$ 、第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径を $r_2 a$ とするとき、以下の条件式(6)を満足することが好ましい。

$$(6) \quad 0.800 < |r_2 a| / r_1 b < 1.200$$

【0108】

条件式(6)は、サジタルコマ収差を抑え高い光学性能を実現するための条件式である。

10

20

30

40

50

【0109】

条件式(6)の下限値を下回ると、即ち第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率が、第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率に比べ過度大きく（曲率半径が小さく）なった場合、第2レンズ群の物体側の面でサジタルコマ収差が大きく発生し高い光学性能を実現できない。

【0110】

条件式(6)の上限値を上回ると、即ち第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率が、第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率に比べ過度大きく（曲率半径が小さく）なった場合、第1レンズ群の像側の面でサジタルコマ収差が大きく発生し高い光学性能を実現できない。

10

【0111】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(6)の下限値を0.900にすることが好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(6)の上限値を1.150にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(6)の上限値を1.100にすることが更に好ましい。

【0112】

また、本実施形態に係るレンズ系は、光軸上におけるレンズ系の最も像側のレンズ面から像面までの距離をBfとするとき、以下の条件式(7)を満足することが好ましい。

$$(7) \quad 0.600 < Bf / f < 1.000$$

【0113】

20

条件式(7)は、高い光学性能を実現するための条件式である。

【0114】

条件式(7)の下限値を下回ると、レンズ系の焦点距離に対してバックフォーカスが相対的に短くなりすぎるため、レンズ系の屈折力配置が対称型から大きく離れてしまい、歪曲収差を補正することが困難になるため、高い光学性能を実現できない。

【0115】

条件式(7)の上限値を上回ると、レンズ系の焦点距離に対してバックフォーカスが相対的に長くなりすぎるため、レンズ系の屈折力配置が対称型から大きく離れてしまい、歪曲収差を補正することが困難になるため、高い光学性能を実現できない。

【0116】

30

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(7)の下限値を0.650にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(7)の下限値を0.700にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(7)の上限値を0.850にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(7)の上限値を0.800にすることが更に好ましい。

【0117】

なお、最も像側のレンズ面から像面までの間に、平行平面板が入っている場合には、Bfは空気換算長である。

【0118】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第1レンズ群と第2レンズ群との光軸上の間隔は常時固定であることが好ましい。

40

【0119】

このような構成とすることで、レンズ系で無限遠から近距離までの合焦や、本実施形態のレンズ系を適用した投影装置あるいは複写機などで拡大倍率の変更時に、第1レンズ群と第2レンズ群をメカニカルに一体で動かすことが可能になり、別体で動かす場合に比べ、第1レンズ群と第2レンズ群との相互偏心による偏心コマ収差の発生が抑えられ、無限遠から近距離までに亘って、あるいは倍率可変範囲に亘って、高い光学性能を実現できる。

【0120】

なお、レンズ面は、球面または平面で形成されても、非球面で形成されても構わない。

50

【0121】

レンズ面が球面または平面の場合、レンズ加工及び組立調整が容易になり、加工及び組立調整の誤差による光学性能の劣化を防ぐので好ましい。また、像面がずれた場合でも描写性能の劣化が少ないので好ましい。

【0122】

レンズ面が非球面の場合、非球面は、研削加工による非球面、ガラスを型で非球面形状に形成したガラスモールド非球面、ガラスの表面に樹脂を非球面形状に形成した複合型非球面のいずれの非球面でも構わない。また、レンズ面は回折面としても良く、レンズを屈折率分布型レンズ（GRINレンズ）あるいはプラスチックレンズとしても良い。

【0123】

10

(実施例)

以下、本実施形態に係る各実施例について図面を参照しつつ説明する。なお、反射防止膜の詳細については、実施例の後に別途説明する。

【0124】

(第1実施例)

図1は、第1実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【0125】

第1実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、正屈折力の第2レンズ群G2とから構成される。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間には開口絞りSが配置されている。

20

【0126】

第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第111レンズL111の1枚で構成される正屈折力の第11サブレンズ群GS11と、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第121レンズL121と像側の面が像側に向かって凹面を向けた負メニスカス形状の第12RレンズL12Rから構成される負屈折力の第12サブレンズ群GS12から構成される。

【0127】

第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の第21レンズL21と、第21レンズL21に接合され物体側の面が物体側に凹面を向け像側の面に比べて弱い屈折力を持つ正メニスカス形状の第22レンズL22と、物体側の面が物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の第23レンズL23と、第23レンズL23に接合され物体側の面が物体側に凹面を向け像側の面に比べて弱い屈折力を持つ正メニスカス形状の第24レンズL24と、像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第25レンズL25と、最も像面側に配置され物体側の面が像側の面に比べて強い屈折力を持ち両凸形状の第26レンズL26から構成され、第26レンズから射出した光線は像面Iに結像する。

30

【0128】

近距離物体への合焦は、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2を一体に物体側へ移動することによって行う。

40

【0129】

以下の表1に第1実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

【0130】

表中の（面データ）において、物面は物体面、面番号は物体側からのレンズ面の番号、rは曲率半径、dは面間隔、ndはd線（波長587.6nm）における屈折率、dはd線（波長587.6nm）におけるアッペ数、（絞り）は開口絞りS、像面は像面Iをそれぞれ表している。なお、空気の屈折率nd=1.000000は記載を省略している。また、曲率半径r欄の「」は平面を表している。

【0131】

（各種データ）において、fはレンズ系全体の焦点距離、FNoはFナンバー、は半

50

画角（単位：度）、Yは像高、TLは無限遠合焦状態における第111レンズの物体側の面から像面Iまでのレンズ全長をそれぞれ表している。

【0132】

（可変データ）において、Rは撮影距離で物体から像面Iまでの距離（単位：m）、Bfは撮影倍率、Bfはバックフォーカスをそれぞれ表している。

【0133】

（条件式対応値）は、各条件式の対応値をそれぞれ示す。

【0134】

なお、以下の全ての諸元値において、掲載されている焦点距離f、曲率半径r、面間隔dその他の長さ等は、特記の無い場合一般に「mm」が使われるが、光学系は比例拡大または比例縮小しても同等の光学性能が得られるので、これに限られるものではない。また、単位は「mm」に限定されることなく他の適当な単位を用いることも出来る。さらに、これらの記号の説明は、以降の他の実施例においても同様とし説明を省略する。

【0135】

（表1）

（面データ）

面番号	r	d	nd	d	
物面					
1	81.4768	5.0000	1.804000	46.57	20
2	-2838.8241	0.3000			
3	33.1597	7.0000	1.950300	29.42	
4	60.4403	1.4000			
5	95.3280	2.0000	1.761821	26.52	
6	23.0471	11.3000			
7（絞り）		7.0000			
8	-26.4313	1.6000	1.805181	25.42	
9	-125.7273	4.6000	1.804000	46.57	
10	-32.7268	2.7000			
11	-23.4449	1.7000	1.805181	25.42	30
12	-64.8415	5.0000	1.882997	40.76	
13	-31.7094	0.1000			
14	-187.5490	4.2000	1.882997	40.76	
15	-47.3960	0.1000			
16	79.1117	3.8000	1.804000	46.57	
17	-1019.1299	(Bf)			
像面					

（各種データ）

f = 51.60

FNo = 1.25

= 23.29

Y = 21.60

TL = 95.78

（可変データ）

	無限遠合焦状態	近距離合焦状態	
R		1.64	
	0.0	-1/30	
Bf	37.9796	39.6996	50

【0136】

なお、第1実施例に係るレンズ系において、最もd線の屈折率の高いレンズは第121レンズL121である。また、第21レンズL21と第23レンズL23は物体側の面が物体側に凹面を向けた負屈折力の第2NレンズL2Nである。ここで、第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、 r_{2Na} 、 r_{2a} であり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、 r_{1b} である。第23レンズL23の物体側の面の曲率半径は、 r_{2Na} である。

【0137】

(条件式対応値)

$$(1) \quad ndh = 1.950300$$

10

$$(2) \quad f/f_1 = 0.30850$$

$$(3) \quad dh = 29.42$$

$$(5) \quad |r_{2Na}|/f = 0.51223 \text{ (第21レンズL21)}$$

$$(5) \quad |r_{2Na}|/f = 0.45435 \text{ (第23レンズL23)}$$

$$(6) \quad |r_{2a}|/r_{1b} = 1.14684$$

$$(7) \quad Bf/f = 0.73603$$

【0138】

図2は、第1実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【0139】

20

各収差図において、FNOはFナンバー、Aは半画角(単位:度)、NAは開口数、H0は物体高(単位:「mm」)をそれぞれ示す。また、dはd線(波長587.6nm)、gはg線(波長435.8nm)に対する諸収差、記載のないものはd線に対する諸収差をそれぞれ表す。非点収差図において、実線はサジタル像面、破線はメリディオナル像面を示す。コマ収差図は、各半画角又は物体高において、実線はd線及びg線に対するメリディオナルコマ収差、原点より左側の破線はd線に対してメリディオナル方向に発生するサジタルコマ収差、原点より右側の破線はd線に対してサジタル方向に発生するサジタルコマ収差を表している。

【0140】

なお、以降の実施例においても同様の記号を使用し、以降の説明を省略する。

30

【0141】

また、図3に示すように、物体側からの光線BMが図示のようにレンズLに入射する、負メニスカスレンズL21における物体側のレンズ面(第1番目のゴースト発生面でありその面番号は8)で反射し、その反射光は負メニスカスレンズL12Rにおける像側のレンズ面(第2番目のゴースト発生面でありその面番号は6)で再度反射して像面Iに到達し、ゴーストを発生させてしまう。なお、第1番目のゴースト発生面8は開口絞りSに対して凹面、第2番目のゴースト発生面6は開口絞りSと像面Iに対して凹面である。このような面に、より広い波長範囲で広入射角に対応した反射防止膜を形成することで、ゴーストを効果的に低減させることができる。

【0142】

40

各収差図から、第1実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

【0143】

(第2実施例)

図4は、第2実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【0144】

第2実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、正屈折力の第2レンズ群G2とから構成される。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間には開口絞りSが配置されている。

【0145】

50

第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第111レンズL111の1枚で構成される正屈折力の第11サブレンズ群GS11と、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第121レンズL121と像側の面が像側に向かって凹面を向けた負メニスカス形状の第12RレンズL12Rから構成される負屈折力の第12サブレンズ群GS12から構成される。

【0146】

第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凹面を向けて像側の面に比べて弱い屈折力を持つ正メニスカス形状の第21レンズL21と、第21レンズL21に接合され物体側の面が物体側に凹面を向いて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第22レンズL22と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第23レンズL23と、最も像面側に配置され物体側の面が像側の面に比べて強い屈折力を持ち両凸形状の第24レンズL24から構成され、第24レンズから射出した光線は像面Iに結像する。

10

【0147】

近距離物体への合焦は、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2を一体に物体側へ移動することによって行う。

【0148】

以下の表2に第2実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

【0149】

(表2)

20

(面データ)

面番号	r	d	nd	d
物面				
1	52.2387	6.0000	1.834807	42.71
2	565.2751	0.1000		
3	28.1185	4.4000	2.000690	25.46
4	45.6886	1.5000		
5	78.8809	2.0000	1.860740	23.06
6	19.8082	9.3000		
7(絞り)				
8	-19.2024	1.8000	1.805181	25.42
9	-125.5269	6.0000	1.788001	47.37
10	-29.9331	0.2000		
11	-92.9638	5.5000	1.834807	42.71
12	-33.8967	0.1000		
13	112.4183	3.3000	1.772499	49.60
14	-161.9377	(Bf)		

30

像面

40

(各種データ)

f = 51.61

FNo = 1.45

= 23.07

Y = 21.60

TL = 86.39

(可変データ)

無限遠合焦状態 近距離合焦状態

R

1.64

50

0.0	-1/30
Bf	38.4874
	40.2076

【0150】

なお、第2実施例に係るレンズ系において、最もd線の屈折率の高いレンズは第121レンズL121である。また、第12RレンズL12Rは条件式(4)を満足する負屈折力のレンズLNであり、第21レンズL21は物体側の面が物体側に凹面を向けた負屈折力の第2NレンズL2Nである。ここで、第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、r2Na、r2aであり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、r1bである。

【0151】

10

(条件式対応値)

- (1) $n_d h = 2.000690$
- (2) $f / f_1 = 0.29794$
- (3) $d h = 25.46$
- (4) $n_N h = 1.860740$
- (5) $|r_{2Na}| / f = 0.37209$
- (6) $|r_{2a}| / r_{1b} = 0.96941$
- (7) $Bf / f = 0.74579$

【0152】

図5は、第2実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

20

【0153】

各収差図から、第2実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

【0154】

(第3実施例)

図6は、第3実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【0155】

第3実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、正屈折力の第2レンズ群G2とから構成される。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間には開口絞りSが配置されている。

30

【0156】

第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面を向けた像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第111レンズL111の1枚で構成される正屈折力の第11サブレンズ群GS11と、物体側の面が物体側に凸面を向けた像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第121レンズL121と像側の面が像側に向かって凹面を向けた負メニスカス形状の第12RレンズL12Rから構成される負屈折力の第12サブレンズ群GS12から構成される。

【0157】

第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の第21レンズL21と、第21レンズL21に接合された物体側の面が物体側に凹面を向けた像側の面に比べて弱い屈折力を持つ正メニスカス形状の第22レンズL22と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第23レンズL23と、最も像面側に配置された物体側の面が像側の面に比べて強い屈折力を持ち両凸形状の第24レンズL24から構成され、第24レンズから射出した光線は像面Iに結像する。

40

【0158】

近距離物体への合焦は、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2を一体に物体側へ移動することによって行う。

【0159】

以下の表3に第3実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

50

【 0 1 6 0 】

(表 3)

(面 データ)

面番号	r	d	nd	d
物面				
1	61.1431	4.8000	1.882997	40.76
2	389.5756	0.3000		
3	26.8932	4.5000	2.000690	25.46
4	44.9000	2.2000		
5	57.4287	2.0000	1.922860	20.50
6	19.2263	8.0000		
7 (絞り)		7.8000		
8	-18.6558	1.8000	1.805181	25.42
9	-114.6796	6.0000	1.788001	47.37
10	-30.1134	0.3000		
11	-114.9741	6.0000	1.834807	42.71
12	-34.5098	0.1000		
13	126.4714	3.2000	1.804000	46.57
14	-161.9377	(Bf)		

像面

(各種 データ)

f = 51.61

FNo = 1.45

= 23.14

Y = 21.60

TL = 85.48

(可変 データ)

	無限遠合焦状態	近距離合焦状態
R		1.64
	0.0	-1/30
Bf	38.4783	40.1986

【 0 1 6 1 】

なお、第3実施例に係るレンズ系において、最もd線の屈折率の高いレンズは第121レンズL121である。また、第12RレンズL12Rは条件式(4)を満足する負屈折力のレンズLNであり、第21レンズL21は物体側の面が物体側に凹面向けた負屈折力の第2NレンズL2Nである。ここで、第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、r2Na、r2aであり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、r1bである。

【 0 1 6 2 】

(条件式対応値)

(1) ndh = 2.000690

(2) f / f1 = 0.30465

(3) dh = 25.46

(4) nNh = 1.922860

(5) | r2Na | / f = 0.36149

(6) | r2a | / r1b = 0.97033

(7) Bf / f = 0.74558

10

20

30

40

50

【0163】

図7は、第3実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($f = 0.0$)、(b)は近距離合焦時($f = -1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【0164】

各収差図から、第3実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

【0165】

(第4実施例)

図8は、第4実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【0166】

第4実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、正屈折力の第2レンズ群G2とから構成される。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間には開口絞りSが配置されている。

【0167】

第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第111レンズL111の1枚で構成される正屈折力の第11サブレンズ群GS11と、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第121レンズL121と像側の面が像側に向かって凹面を向けた負メニスカス形状の第12RレンズL12Rから構成される負屈折力の第12サブレンズ群GS12から構成される。

【0168】

第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が像側の面に比べて強い屈折力を持つ両凹形状の第21レンズL21と、第21レンズL21に接合され物体側の面が像側の面に比べて弱い屈折力を持つ両凸形状の第22レンズL22と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第23レンズL23と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第24レンズL24と、最も像面側に配置され物体側の面が像側の面に比べて強い屈折力を持ち両凸形状の第25レンズL25から構成され、第25レンズから射出した光線は像面Iに結像する。

【0169】

近距離物体への合焦は、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2を一体に物体側へ移動することによって行う。

【0170】

以下の表4に第4実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

【0171】

(表4)

(面データ)

面番号	r	d	nd	d
物面				
1	57.5740	5.5000	1.903660	31.31
2	206.0906	0.2000		
3	29.5832	6.0000	2.003300	28.27
4	38.8499	2.0000		
5	41.1771	2.0000	1.922860	18.90
6	19.7787	9.5000		
7(絞り)		9.2000		
8	-19.4166	2.0000	1.805181	25.42
9	3374.4434	7.0000	1.804000	46.57
10	-36.6779	0.2000		
11	-56.5118	4.0000	1.882997	40.76

10

20

30

40

50

12	-42.4595	0.1000		
13	-143.9382	5.0000	1.834807	42.71
14	-44.3487	0.3000		
15	103.1998	4.0000	1.754999	52.32
16	-161.9377	(Bf)		

像面

(各種データ)

f = 51.63				
FNo = 1.25				10
= 23.33				
Y = 21.60				
TL = 94.94				

(可変データ)

	無限遠合焦状態	近距離合焦状態
R		1.64
	0.0	-1/30
Bf	37.9374	39.6583

【0172】

なお、第4実施例に係るレンズ系において、最もd線の屈折率の高いレンズは第121レンズL121である。また、第12RレンズL12Rは条件式(4)を満足する負屈折力のレンズLNであり、第21レンズL21は物体側の面が物体側に凹面向けた負屈折力の第2NレンズL2Nである。ここで、第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、 r_{2Na} 、 r_{2a} であり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、 r_{1b} である。

【0173】

(条件式対応値)

(1) $n_d h = 2.003300$		
(2) $f/f_1 = 0.29576$		30
(3) $d h = 28.27$		
(4) $n_N h = 1.922860$		
(5) $ r_{2Na} /f = 0.37608$		
(6) $ r_{2a} /r_{1b} = 0.98169$		
(7) $Bf/f = 0.73481$		

【0174】

図9は、第4実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【0175】

各収差図から、第4実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

【0176】

(第5実施例)

図10は、第5実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【0177】

第5実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、正屈折力の第2レンズ群G2とから構成される。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間には開口絞りSが配置されている。

【0178】

第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面向け

10

20

30

40

50

て像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第111レンズL111の1枚で構成される正屈折力の第11サブレンズ群G S 1 1と、物体側の面が物体側に凸面向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第121レンズL121と像側の面が像側に向かって凹面向けた負メニスカス形状の第12RレンズL12Rから構成される負屈折力の第12サブレンズ群G S 1 2から構成される。

【0179】

第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凹面向けた負メニスカス形状の第21レンズL21と、第21レンズL21に接合され物体側の面が物体側に凹面向け像側の面に比べて弱い屈折力を持つ正メニスカス形状の第22レンズL22と、像側の面が像面に対して凸面向けた正メニスカス形状の第23レンズL23と、像側の面の曲率半径が物体側の面に比べて小さい正屈折力の第24レンズL24と、第24レンズL24に接合され物体側に凹面向けた負メニスカス形状の第25レンズL25から構成され、第25レンズから射出した光線は像面Iに結像する。

10

【0180】

近距離物体への合焦は、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2を一体に物体側へ移動することによって行う。

【0181】

以下の表5に第5実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

【0182】

(表5)

20

(面データ)

面番号	r	d	nd	d
物面				
1	62.5707	4.6000	1.834807	42.71
2	1079.5273	0.1000		
3	27.8402	4.5000	1.903660	31.31
4	48.9187	2.0000		
5	83.6288	1.6000	1.805181	25.42
6	20.6020	9.5000		
30				
7(絞り)	7.7000			
8	-19.6349	1.8000	1.846660	23.78
9	-36.0084	6.0000	1.754999	52.32
10	-28.9194	0.2000		
11	-100.0147	4.5000	1.834807	42.71
12	-35.2169	0.1000		
13	140.8843	5.0000	2.003300	28.27
14	-49.8565	1.5000	1.922860	18.90
15	-391.9566	(Bf)		
像面				

30

40

(各種データ)

f = 51.61

FNo = 1.45

= 23.13

Y = 21.60

TL = 87.36

(可変データ)

無限遠合焦状態 近距離合焦状態

50

R	1.65
0.0	-1/30
Bf	38.2645

【0183】

なお、第5実施例に係るレンズ系において、最もd線の屈折率の高いレンズは第24レンズL24である。また、第21レンズL21と第25レンズL25は条件式(4)を満足する負屈折力のレンズLNであり、また物体側の面が物体側に凹面を向けた負屈折力の第2NレンズL2Nもある。ここで、第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、r2Na、r2aであり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、r1bである。

10

【0184】

(条件式対応値)

$$(1) \quad n_d h = 2.003300$$

$$(2) \quad f / f_1 = 0.28536$$

$$(3) \quad d h = 28.27$$

$$(4) \quad n_N h = 1.846660 \quad (\text{第21レンズL21})$$

$$(4) \quad n_N h = 1.922860 \quad (\text{第25レンズL25})$$

$$(5) \quad |r_2Na| / f = 0.38041 \quad (\text{第21レンズL21})$$

$$(6) \quad |r_2a| / r_1b = 0.95306$$

$$(7) \quad Bf / f = 0.74135$$

20

【0185】

図11は、第5実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時(=0.0)、(b)は近距離合焦時(=-1/30)の諸収差図をそれぞれ示す。

【0186】

各収差図から、第5実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

【0187】

(第6実施例)

図12は、第6実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【0188】

30

第6実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、負屈折力の第1レンズ群G1と、正屈折力の第2レンズ群G2とから構成される。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間には開口絞りSが配置されている。

【0189】

第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第111レンズL111の1枚で構成される正屈折力の第11サブレンズ群GS11と、物体側の面が物体側に凸面を向いた負メニスカス形状の第121レンズL121と像側の面が像側に向かって凹面を向いた正メニスカス形状の第12RレンズL12Rから構成される負屈折力の第12サブレンズ群GS12から構成される。

40

【0190】

第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凹面を向いた負メニスカス形状の第21レンズL21と、第21レンズL21に接合された物体側の面が物体側に凹面を向け像側の面に比べて弱い屈折力を持つ正メニスカス形状の第22レンズL22と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第23レンズL23と、最も像面側に配置された像側の面が物体側の面に比べて強い屈折力を持ち両凸形状の第24レンズL24から構成され、第24レンズから射出した光線は像面Iに結像する。

【0191】

近距離物体への合焦は、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2を一体に物体側へ移動することによって行う。

50

【0192】

なお、本実施例において、第111レンズ成分は、単レンズで構成されているが、接合レンズで構成しても構わない。その場合には、球面収差、軸上色収差を良好に補正できるので好ましい。

【0193】

以下の表6に第6実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

【0194】

(表6)

(面データ)					10
面番号	r	d	nd	d	
物面					
1	51.0799	4.0000	1.799516	42.22	
2	153.5021	1.0000			
3	25.0934	2.0000	1.834807	42.71	
4	16.6855	7.0000			
5	17.7942	2.5000	2.019600	21.45	
6	17.4360	8.0000			
7(絞り)	9.0000				
8	-20.1623	1.5000	1.860740	23.06	20
9	-141.0470	8.0000	1.754999	52.32	
10	-24.1458	1.0000			
11	-82.3047	4.5000	1.834807	42.71	
12	-39.2143	0.5000			
13	187.0181	3.5000	1.804000	46.57	
14	-161.9377	(Bf)			
像面					

(各種データ)					30
f = 51.60					
FNo = 2.10					
= 25.28					
Y = 24.00					
TL = 108.47					

(可変データ)		無限遠合焦状態	近距離合焦状態	
R			1.66	
	0.0		-1/30	
Bf	55.9690		57.6889	40

【0195】

なお、第6実施例に係るレンズ系において、最もd線の屈折率の高いレンズは第12RレンズL12Rである。また、第121レンズL121と第21レンズL21は条件式(4)を満足する負屈折力のレンズLNであり、第21レンズL21は物体側の面が物体側に凹面を向けた負屈折力の第2NレンズL2Nである。ここで、第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、r2Na、r2aであり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、r1bである。

【0196】

(条件式対応値)

(1) ndh = 2.019600

50

(2) $f / f_1 = -0.02715$
 (4) $n_N h = 1.834807$ (第121レンズL121)
 (4) $n_N h = 1.860740$ (第21レンズL21)
 (5) $|r_2 N_a| / f = 0.39073$
 (6) $|r_2 a| / r_1 b = 1.15636$
 【0197】

図13は、第6実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【0198】

各収差図から、第6実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。 10

【0199】

(第7実施例)

図14は、第7実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【0200】

第7実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、正屈折力の第2レンズ群G2とから構成される。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間には開口絞りSが配置されている。

【0201】

第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面に向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第111レンズL111の1枚で構成される正屈折力の第11サブレンズ群GS11と、物体側の面が物体側に凸面に向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第121レンズL121と像側の面が像側に向かって凹面を向けた負メニスカス形状の第12RレンズL12Rから構成される負屈折力の第12サブレンズ群GS12から構成される。 20

【0202】

第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の第21レンズL21と、第21レンズL21に接合され物体側の面が物体側に凹面を向け像側の面に比べて弱い屈折力を持つ正メニスカス形状の第22レンズL22と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第23レンズL23と、最も像面側に配置され物体側の面が像側の面に比べて強い屈折力を持ち両凸形状の第24レンズL24から構成され、第24レンズから射出した光線は像面Iに結像する。 30

【0203】

近距離物体への合焦は、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2を一体に物体側へ移動することによって行う。

【0204】

以下の表7に第7実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

【0205】

(表7)

(面データ)

面番号	r	d	nd	d
物面				
1	61.1028	5.2000	1.834807	42.71
2	421.6037	0.1000		
3	26.6848	4.5000	2.003300	28.27
4	42.4965	1.8000		
5	55.6668	2.0000	1.808090	22.79
6	18.6474	9.3000		
7(絞り)		7.7000		

40

50

8	-18.7111	1.8000	1.846660	23.78
9	-64.8673	6.0000	1.788001	47.37
10	-29.0381	0.2000		
11	-90.5334	5.5000	1.834807	42.71
12	-33.0755	0.1000		
13	114.2530	3.0000	1.772499	49.60
14	-161.9377	(Bf)		

像面

(各種データ)

$f = 51.61$

$FNo = 1.45$

$= 23.10$

$Y = 21.60$

$TL = 85.66$

10

(可変データ)

無限遠合焦状態 近距離合焦状態

R	1.64	
	0.0	-1/30
Bf	38.4641	40.1846

【0206】

なお、第7実施例に係るレンズ系において、最もd線の屈折率の高いレンズは第121レンズL121である。また、第21レンズL21は条件式(4)を満足する負屈折力のレンズLNであり、かつ物体側の面が物体側に凹面向けた負屈折力の第2NレンズL2Nである。ここで、第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、 $r_{2N}a$ 、 r_{2a} であり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、 r_{1b} である。

【0207】

(条件式対応値)

(1) $ndh = 2.003300$

30

(2) $f/f_1 = 0.33461$

(3) $dh = 28.27$

(4) $nNh = 1.846660$

(5) $|r_{2N}a|/f = 0.36253$

(6) $|r_{2a}|/r_{1b} = 1.00342$

(7) $Bf/f = 0.74525$

【0208】

図15は、第7実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【0209】

40

各収差図から、第7実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

【0210】

[第2実施形態]

本実施形態に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、第1レンズ群と正屈折力の第2レンズ群とを有するレンズ系において、第1レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成され、負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面向けたメニスカス形状のレンズを有する構成とすることで、所謂対称型のダブルガウス型の屈折力配置を実現し、歪曲収差や倍率色収差を良好に補正すると共に、球面収差と像面湾曲を補正している。

50

【0211】

また、本実施形態に係るレンズ系は、レンズ系は、以下の条件式(8)を満足する少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有し、以下の条件式(8)、(9)を満足する。

$$(8) \quad n_N h > 1.820$$

$$(9) \quad -0.400 < f/f_1 < 0.500$$

但し、 $n_N h$ は前記負屈折力のレンズのd線(波長587.6nm)における屈折率、 f_1 は第1レンズ群の焦点距離、 f はレンズ系全系の焦点距離である。

【0212】

条件式(8)は、レンズ系で発生する球面収差とサジタルコマ収差を良好に補正し、高い光学性能を得るために条件式である。

10

【0213】

条件式(8)の下限値を下回った場合、負レンズによってサジタルコマ収差が大きく発生してしまい、高い光学性能を得ることができない。

【0214】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(8)の下限値を1.840にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(8)の下限値を1.860にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(8)を2.800より小さくすることが好ましい。条件式(8)を2.800より小さくすることで、負屈折力のレンズの光学材料の可視光線における透過率を十分に確保でき、レンズ系を構成できる。

20

【0215】

条件式(9)は、レンズ系で発生する歪曲収差や倍率色収差を良好に補正し、高い光学性能を得るために条件式である。

【0216】

条件式(9)の下限値を下回ると、第1レンズ群の屈折力が負に大きくなりすぎる。すると、負の歪曲収差や倍率色収差を補正することが困難となり、高い光学性能を実現できない。

【0217】

条件式(9)の上限値を上回ると、第1レンズ群で発生する正の歪曲収差を補正することが困難となり、高い光学性能を実現できない。

30

【0218】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(9)の下限値を-0.250にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(9)の下限値を-0.100にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(9)の下限値を0.000にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(9)の下限値を0.100にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(9)の上限値を0.400にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(9)の上限値を0.360にすることが更に好ましい。

【0219】

40

また、本実施形態に係るレンズ系の第1レンズ群および第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、この反射膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含んでいる。

【0220】

また、前記反射防止膜は多層膜であり、前記ウェットプロセスで形成された層は、多層膜を構成する層のうち最も表面側の層であることが好ましい。このようにすれば、空気との屈折率差を小さくすることができるため、光の反射をより小さくすることが可能になり、ゴーストやフレアをさらに低減させることができる。

【0221】

また、前記ウェットプロセスを用いて形成された層のd線における屈折率を n_d とした

50

とき、屈折率 n_d が 1.30 以下であることが好ましい。このようにすれば、空気との屈折率差を小さくすることができるため、光の反射をより小さくすることが可能になり、ゴーストやフレアをさらに低減させることができる。

【0222】

また、前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、開口絞りから見て凹面であることが好ましい。このようにすれば、開口絞りに対して凹面にゴーストが発生し易いため、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

【0223】

また、前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、像面から見て凹面であることが好ましい。このようにすれば、像面に対して凹面にゴーストが発生し易いため、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

10

【0224】

なお、反射防止膜は、ウェットプロセスに限らず、（ドライプロセス等により）屈折率が 1.30 以下となる層を少なくとも 1 層含むようにしてもよい。このようにしても、ウェットプロセスを用いた場合と同様の効果を得ることができる。なおこの時、屈折率が 1.30 以下になる層は、多層膜を構成する層のうち最も表面側の層であることが好ましい。

【0225】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第 1 レンズ群は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成されていることが好ましい。

20

【0226】

この構成により、歪曲収差や倍率色収差をより良好に補正することができる。

【0227】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第 1 レンズ群と第 2 レンズ群との間に開口絞りを有することが好ましい。

【0228】

この構成により、歪曲収差や倍率色収差を良好に補正することができる。

【0229】

また、本実施形態に係るレンズ系は、正屈折力のサブレンズ群は最も物体側に正屈折力のレンズ成分を有し、該レンズ成分は、物体側の面の曲率半径の絶対値が像側の面の曲率半径の絶対値よりも小さいことが好ましい。

30

【0230】

この構成により、画面中心に向かう光線を前記レンズ成分でゆるやかに曲げることが可能となる。その結果、前記レンズ成分で発生する収差、特に球面収差の発生を抑えることができ、高い光学性能を実現できる。

【0231】

なお、本願におけるレンズ成分とは、単レンズと接合レンズとを含む総称である。

【0232】

また、本実施形態に係るレンズ系は、正屈折力のサブレンズ群は、正屈折力のレンズ成分のみで構成されることが好ましい。

40

【0233】

この構成により、レンズ系におけるレンズ構成枚数を削減し、レンズ表面反射によるフレアを軽減することができ、高い光学性能を実現できる。

【0234】

また、本実施形態に係るレンズ系は、前記負屈折力のレンズの d 線のアッペ数を d_N とするとき、以下の条件式（10）を満足することが好ましい。

$$(10) \quad 12.0 < d_N < 24.0$$

【0235】

条件式（10）は、色収差を抑えて高い光学性能を得るための条件式である。

50

【0236】

条件式(10)の下限値を下回ると、色の球面収差が過剰補正となり、高い光学性能を得ることができない。条件式(10)の上限値を上回ると、色の球面収差が補正不足となり、高い光学性能を得ることができない。

【0237】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(10)の下限値を16.0にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(10)の下限値を18.0にすることが更に好ましい。

【0238】

また、本実施形態に係るレンズ系は、レンズ系を構成するレンズのうち、最もd線の屈折率の高いレンズのd線(波長587.6nm)における屈折率をndhとするとき、以下の条件式(11)を満足することが好ましい。

$$(11) \quad ndh > 1.910$$

【0239】

条件式(11)は、レンズ系で発生する球面収差とサジタルコマ収差を良好に補正し、高い光学性能を得るための条件式である。

【0240】

条件式(11)の下限値を下回った場合、次の2つの場合が考えられる。即ち、最もd線の屈折率の高いレンズが正レンズの場合と負レンズの場合である。

【0241】

前者の場合、レンズ系内で発生する負の球面収差が過大となるため、その補正をレンズ系内の負レンズの曲率を大きく(曲率半径を小さく)することで行うが、そのために負レンズによってサジタルコマ収差が大きく発生してしまう。後者の場合、負レンズによってサジタルコマ収差が大きく発生してしまう。従って、いずれの場合においても、高い光学性能を得ることができない。

【0242】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(11)の下限値を1.940にすることが好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(11)を2.800より小さくすることが好ましい。条件式(11)を2.800より小さくすることで、レンズ系中の最も高い屈折率を持つ光学材料の可視光線における透過率を十分に確保でき、レンズ系を構成できる。

【0243】

また、本実施形態に係るレンズ系は、前記負屈折力のレンズはメニスカス形状であることが好ましい。

【0244】

この構成により、コマ収差の発生を抑えることができ、高い光学性能を得ることができる。

【0245】

また、本実施形態に係るレンズ系は、前記負屈折力のレンズは第2レンズ群において最も物体側に配置され、該負屈折力のレンズの物体側の面は物体側に凹面を向けた形状であることが好ましい。

【0246】

この構成により、コマ収差、特にサジタルコマ収差の発生を抑えることができ、高い光学性能を得ることができる。

【0247】

また、本実施形態に係るレンズ系は、前記負屈折力のレンズは第1レンズ群において最も像側に配置され、該負屈折力のレンズの像側の面は像側に凹面を向けた形状であることが好ましい。

【0248】

この構成により、コマ収差、特にサジタルコマ収差の発生を抑えることができ、高い光

10

20

30

40

50

光学性能を得ることができる。

【0249】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第2レンズ群は、物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有し、該物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズの物体側の面の曲率半径を r_{2Na} とするとき、以下の条件式(12)を満足することが好ましい。

$$(12) \quad 0.300 < |r_{2Na}| / f < 0.600$$

【0250】

条件式(12)は、サジタルコマ収差を抑え高い光学性能を実現するための条件式である。

10

【0251】

条件式(12)の下限値を下回ると、物体側の面が物体側に凹面を向けた負屈折力レンズの物体側の面でサジタルコマ収差が大きく発生し、高い光学性能を実現できない。

【0252】

条件式(12)の上限値を上回ると、第2レンズ群内で発生する負の球面収差を良好に補正できなくなる。また、レンズ系で無限遠から近距離までの合焦や、本実施形態のレンズ系を適用した投影装置あるいは複写機などで拡大倍率を変更した時の収差変動が過剰に大きくなり、無限遠から近距離まであるいは広い拡大倍率の範囲において、高い光学性能を維持できない。

【0253】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(12)の下限値を0.320にすることが好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(12)の上限値を0.530にすることが好ましい。

20

【0254】

また、本実施形態に係るレンズ系は、前記物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズは、第2レンズ群において最も物体側に配置されることが好ましい。

【0255】

物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズを第2レンズ群の最も物体側に配置することで、該負屈折力のレンズによって発生する歪曲収差や倍率色収差を抑えることができ、高い光学性能を得ることができる。

30

【0256】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径を r_{1b} 、第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径を r_{2a} とするとき、以下の条件式(13)を満足することが好ましい。

$$(13) \quad 0.800 < |r_{2a}| / r_{1b} < 1.200$$

【0257】

条件式(13)は、サジタルコマ収差を抑え高い光学性能を実現するための条件式である。

【0258】

条件式(13)の下限値を下回ると、即ち第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率が、第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率に比べ過度大きく(曲率半径が小さく)なった場合、第2レンズ群の物体側の面でサジタルコマ収差が大きく発生し高い光学性能を実現できない。

40

【0259】

条件式(13)の上限値を上回ると、即ち第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率が、第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率に比べ過度大きく(曲率半径が小さく)なった場合、第1レンズ群の像側の面でサジタルコマ収差が大きく発生し高い光学性能を実現できない。

【0260】

50

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(13)の下限値を0.900にすることが好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(13)の上限値を1.150にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(13)の上限値を1.100にすることが更に好ましい。

【0261】

また、本実施形態に係るレンズ系は、光軸上におけるレンズ系の最も像側のレンズ面から像面までの距離をBfとするとき、以下の条件式(14)を満足することが好ましい。

$$(14) \quad 0.600 < Bf / f < 1.000$$

【0262】

条件式(14)は、高い光学性能を実現するための条件式である。

10

【0263】

条件式(14)の下限値を下回ると、レンズ系の焦点距離に対してバックフォーカスが相対的に短くなりすぎるため、レンズ系の屈折力配置が対称型から大きく離れてしまい、歪曲収差を補正することが困難になるため、高い光学性能を実現できない。

【0264】

条件式(14)の上限値を上回ると、レンズ系の焦点距離に対してバックフォーカスが相対的に長くなりすぎるため、レンズ系の屈折力配置が対称型から大きく離れてしまい、歪曲収差を補正することが困難になるため、高い光学性能を実現できない。

【0265】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(14)の下限値を0.650にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(14)の下限値を0.700にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(14)の上限値を0.850にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(14)の上限値を0.800にすることが更に好ましい。

20

【0266】

なお、最も像側のレンズ面から像面までの間に、平行平面板が入っている場合には、Bfは空気換算長である。

【0267】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第1レンズ群と第2レンズ群との光軸上の間隔は常時固定であることが好ましい。

30

【0268】

このような構成とすることで、レンズ系で無限遠から近距離までの合焦や、本実施形態のレンズ系を適用した投影装置あるいは複写機などで拡大倍率の変更時に、第1レンズ群と第2レンズ群をメカニカルに一体で動かすことが可能になり、別体で動かす場合に比べ、第1レンズ群と第2レンズ群との相互偏心による偏心コマ収差の発生が抑えられ、無限遠から近距離までに亘って、あるいは倍率可変範囲に亘って、高い光学性能を実現できる。

【0269】

なお、レンズ面は、球面または平面で形成されても、非球面で形成されても構わない。

40

【0270】

レンズ面が球面または平面の場合、レンズ加工及び組立調整が容易になり、加工及び組立調整の誤差による光学性能の劣化を防げる所以好ましい。また、像面がずれた場合でも描写性能の劣化が少ないので好ましい。

【0271】

レンズ面が非球面の場合、非球面は、研削加工による非球面、ガラスを型で非球面形状に形成したガラスモールド非球面、ガラスの表面に樹脂を非球面形状に形成した複合型非球面のいずれの非球面でも構わない。また、レンズ面は回折面としても良く、レンズを屈折率分布型レンズ(GRINレンズ)あるいはプラスチックレンズとしても良い。

【0272】

50

(実施例)

以下、本実施形態に係る各実施例について図面を参照しつつ説明する。なお、反射防止膜の詳細については、実施例の後に別途説明する。

【0273】

(第8実施例)

図16は、第8実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【0274】

第8実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、正屈折力の第2レンズ群G2とから構成される。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間には開口絞りSが配置されている。

10

【0275】

第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第111レンズL111の1枚で構成される正屈折力の第11サブレンズ群GS11と、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第121レンズL121と像側の面が像側に向かって凹面を向けた負メニスカス形状の第12RレンズL12Rから構成される負屈折力の第12サブレンズ群GS12から構成される。

【0276】

第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の第21レンズL21と、第21レンズL21に接合され物体側の面が物体側に凹面を向け像側の面に比べて弱い屈折力を持つ正メニスカス形状の第22レンズL22と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第23レンズL23と、最も像面側に配置され物体側の面が像側の面に比べて強い屈折力を持ち両凸形状の第24レンズL24から構成され、第24レンズから射出した光線は像面Iに結像する。

20

【0277】

近距離物体への合焦は、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2を一体に物体側へ移動することによって行う。

【0278】

以下の表8に第8実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

【0279】

30

表中の(面データ)において、物面は物体面、面番号は物体側からのレンズ面の番号、rは曲率半径、dは面間隔、ndはd線(波長587.6nm)における屈折率、dはd線(波長587.6nm)におけるアッペ数、(絞り)は開口絞りS、像面は像面Iをそれぞれ表している。なお、空気の屈折率nd=1.000000は記載を省略している。また、曲率半径r欄の「」は平面を表している。

【0280】

(各種データ)において、fはレンズ系全体の焦点距離、FN0はFナンバー、は半画角(単位:度)、Yは像高、TLは無限遠合焦状態における第111レンズの物体側の面から像面Iまでのレンズ全長をそれぞれ表している。

【0281】

40

(可変データ)において、Rは撮影距離で物体から像面Iまでの距離(単位:m)、は撮影倍率、Bfはバックフォーカスをそれぞれ表している。

【0282】

(条件式対応値)は、各条件式の対応値をそれぞれ示す。

【0283】

なお、以下の全ての諸元値において、掲載されている焦点距離f、曲率半径r、面間隔dその他の長さ等は、特記の無い場合一般に「mm」が使われるが、光学系は比例拡大または比例縮小しても同等の光学性能が得られるので、これに限られるものではない。また、単位は「mm」に限定されることなく他の適当な単位を用いることも出来る。さらに、これらの記号の説明は、以降の他の実施例においても同様とし説明を省略する。

50

【0284】

(表8)

(面データ)

面番号	r	d	nd	d
物面				
1	61.1028	5.2000	1.834807	42.71
2	421.6037	0.1000		
3	26.6848	4.5000	2.003300	28.27
4	42.4965	1.8000		10
5	55.6668	2.0000	1.808090	22.79
6	18.6474	9.3000		
7 (絞り)		7.7000		
8	-18.7111	1.8000	1.846660	23.78
9	-64.8673	6.0000	1.788001	47.37
10	-29.0381	0.2000		
11	-90.5334	5.5000	1.834807	42.71
12	-33.0755	0.1000		
13	114.2530	3.0000	1.772499	49.60
14	-161.9377	(Bf)		20

像面

(各種データ)

f = 51.61

FNo = 1.45

= 23.10

Y = 21.60

TL = 85.66

(可変データ)

	無限遠合焦状態	近距離合焦状態
R		1.64
	0.0	-1/30
Bf	38.4641	40.1846

【0285】

なお、第8実施例に係るレンズ系において、条件式(8)を満足する負屈折力のレンズLNは第21レンズL21であり、負メニスカス形状で、第2レンズ群中の最も物体側に配置され、物体側に対して凹面を向けた形状である。最もd線の屈折率の高いレンズは第121レンズL121である。また、第21レンズL21は、第2NレンズL2Nでもあり、第2レンズ群において最も物体側に配置されている。第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、r2Na、r2aであり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、r1bである。

【0286】

(条件式対応値)

(8) nNh = 1.846660

(9) f / f1 = 0.33461

(10) dN = 23.78

(11) ndh = 2.003300

(12) |r2Na| / f = 0.36253

(13) |r2a| / r1b = 1.00342

30

40

50

(1 4) B f / f = 0 . 7 4 5 2 5

【 0 2 8 7 】

図 1 7 は、第 8 実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a) は無限遠合焦時 (= 0.0) 、(b) は近距離合焦時 (= -1/30) の諸収差図をそれぞれ示す。

【 0 2 8 8 】

各収差図において、F N O は F ナンバー、A は半画角 (単位 : 度) 、N A は開口数、H 0 は物体高 (単位 : 「 mm 」) をそれぞれ示す。また、d は d 線 (波長 5 8 7 . 6 nm) 、g は g 線 (波長 4 3 5 . 8 nm) に対する諸収差、記載のないものは d 線に対する諸収差をそれぞれ表す。非点収差図において、実線はサジタル像面、破線はメリディオナル像面を示す。コマ収差図は、各半画角又は物体高において、実線は d 線及び g 線に対するメリディオナルコマ収差、原点より左側の破線は d 線に対してメリディオナル方向に発生するサジタルコマ収差、原点より右側の破線は d 線に対してサジタル方向に発生するサジタルコマ収差を表している。10

【 0 2 8 9 】

なお、以降の実施例においても同様の記号を使用し、以降の説明を省略する。

【 0 2 9 0 】

また、図 1 8 に示すように、物体側からの光線 B M が図示のようにレンズ L に入射すると、負メニスカスレンズ L 2 1 における物体側のレンズ面 (第 1 番目のゴースト発生面でありその面番号は 8) で反射し、その反射光は負メニスカスレンズ L 1 2 R における像側のレンズ面 (第 2 番目のゴースト発生面でありその面番号は 6) で再度反射して像面 I に到達し、ゴーストを発生させてしまう。なお、第 1 番目のゴースト発生面 8 は開口絞り S に対して凹面、第 2 番目のゴースト発生面 6 は開口絞り S と像面 I に対して凹面である。このような面に、より広い波長範囲で広入射角に対応した反射防止膜を形成することで、ゴーストを効果的に低減させることができる。20

【 0 2 9 1 】

各収差図から、第 8 実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

【 0 2 9 2 】

(第 9 実施例)

図 1 9 は、第 9 実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。30

【 0 2 9 3 】

第 9 実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力の第 1 レンズ群 G 1 と、正屈折力の第 2 レンズ群 G 2 とから構成される。第 1 レンズ群 G 1 と第 2 レンズ群 G 2 との間には開口絞り S が配置されている。

【 0 2 9 4 】

第 1 レンズ群 G 1 は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第 1 1 1 レンズ L 1 1 1 の 1 枚で構成される正屈折力の第 1 1 サブレンズ群 G S 1 1 と、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第 1 2 1 レンズ L 1 2 1 と像側の面が像側に向かって凹面を向けた負メニスカス形状の第 1 2 R レンズ L 1 2 R から構成される負屈折力の第 1 2 サブレンズ群 G S 1 2 から構成される。40

【 0 2 9 5 】

第 2 レンズ群 G 2 は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の第 2 1 レンズ L 2 1 と、第 2 1 レンズ L 2 1 に接合され物体側の面が物体側に凹面を向け像側の面に比べて弱い屈折力を持つ正メニスカス形状の第 2 2 レンズ L 2 2 と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第 2 3 レンズ L 2 3 と、最も像面側に配置され物体側の面が像側の面に比べて強い屈折力を持ち両凸形状の第 2 4 レンズ L 2 4 から構成され、第 2 4 レンズから射出した光線は像面 I に結像する。

【 0 2 9 6 】

近距離物体への合焦は、第 1 レンズ群 G 1 と第 2 レンズ群 G 2 を一体に物体側へ移動す

50

ることによって行う。

【0297】

以下の表9に第9実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

【0298】

(表9)

(面データ)

面番号	r	d	nd	d	
物面					
1	52.2387	6.0000	1.834807	42.71	10
2	565.2751	0.1000			
3	28.1185	4.4000	2.000690	25.46	
4	45.6886	1.5000			
5	78.8809	2.0000	1.860740	23.06	
6	19.8082	9.3000			
7(絞り)		7.7000			
8	-19.2024	1.8000	1.805181	25.42	
9	-125.5269	6.0000	1.788001	47.37	
10	-29.9331	0.2000			
11	-92.9638	5.5000	1.834807	42.71	20
12	-33.8967	0.1000			
13	112.4183	3.3000	1.772499	49.60	
14	-161.9377	(Bf)			

像面

(各種データ)

f = 51.61					
FNo = 1.45					
= 23.07					
Y = 21.60					30
TL = 86.39					

(可変データ)

	無限遠合焦状態	近距離合焦状態
R		1.64
	0.0	-1/30
Bf	38.4874	40.2076

【0299】

なお、第9実施例に係るレンズ系において、条件式(8)を満足する負屈折力のレンズLNは第12RレンズL12Rであり、負メニスカス形状で、第1レンズ群中の最も像側に配置され、像側に対して凹面を向けた形状である。最もd線の屈折率の高いレンズは第121レンズL121である。また、第21レンズL21は、第2NレンズL2Nであり、第2レンズ群において最も物体側に配置されている。第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、r2Na、r2aであり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、r1bである。

【0300】

(条件式対応値)

(8) nNh = 1.860740

(9) f/f1 = 0.29794

(10) dN = 23.06

(1 1) n d h = 2 . 0 0 0 6 9 0
 (1 2) | r 2 N a | / f = 0 . 3 7 2 0 9
 (1 3) | r 2 a | / r 1 b = 0 . 9 6 9 4 1
 (1 4) B f / f = 0 . 7 4 5 7 9

【 0 3 0 1 】

図 2 0 は、第 9 実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a) は無限遠合焦時 (= 0.0) 、(b) は近距離合焦時 (= -1/30) の諸収差図をそれぞれ示す。

【 0 3 0 2 】

各収差図から、第 9 実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

10

【 0 3 0 3 】

(第 1 0 実施例)

図 2 1 は、第 1 0 実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【 0 3 0 4 】

第 1 0 実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力の第 1 レンズ群 G 1 と、正屈折力の第 2 レンズ群 G 2 とから構成される。第 1 レンズ群 G 1 と第 2 レンズ群 G 2 との間には開口絞り S が配置されている。

【 0 3 0 5 】

第 1 レンズ群 G 1 は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第 1 1 1 レンズ L 1 1 1 の 1 枚で構成される正屈折力の第 1 1 サブレンズ群 G S 1 1 と、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第 1 2 1 レンズ L 1 2 1 と像側の面が像側に向かって凹面を向けた負メニスカス形状の第 1 2 R レンズ L 1 2 R から構成される負屈折力の第 1 2 サブレンズ群 G S 1 2 から構成される。

20

【 0 3 0 6 】

第 2 レンズ群 G 2 は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の第 2 1 レンズ L 2 1 と、第 2 1 レンズ L 2 1 に接合された物体側の面が物体側に凹面を向け像側の面に比べて弱い屈折力を持つ正メニスカス形状の第 2 2 レンズ L 2 2 と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第 2 3 レンズ L 2 3 と、最も像面側に配置された物体側の面が像側の面に比べて強い屈折力を持ち両凸形状の第 2 4 レンズ L 2 4 から構成され、第 2 4 レンズから射出した光線は像面 I に結像する。

30

【 0 3 0 7 】

近距離物体への合焦は、第 1 レンズ群 G 1 と第 2 レンズ群 G 2 を一体に物体側へ移動することによって行う。

【 0 3 0 8 】

以下の表 1 0 に第 1 0 実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

【 0 3 0 9 】

(表 1 0)

(面データ)

40

面番号	r	d	nd	d
物面				
1	61.1431	4.8000	1.882997	40.76
2	389.5756	0.3000		
3	26.8932	4.5000	2.000690	25.46
4	44.9000	2.2000		
5	57.4287	2.0000	1.922860	20.50
6	19.2263	8.0000		
7 (絞り)		7.8000		
8	-18.6558	1.8000	1.805181	25.42

50

9	-114.6796	6.0000	1.788001	47.37
10	-30.1134	0.3000		
11	-114.9741	6.0000	1.834807	42.71
12	-34.5098	0.1000		
13	126.4714	3.2000	1.804000	46.57
14	-161.9377	(Bf)		

像面

(各種データ)

$f = 51.61$	10
$FNo = 1.45$	
$= 23.14$	
$Y = 21.60$	
$TL = 85.48$	

(可変データ)

	無限遠合焦状態	近距離合焦状態	
R		1.64	
	0.0	-1/30	
Bf	38.4783	40.1986	20

【0310】

なお、第10実施例に係るレンズ系において、条件式(8)を満足する負屈折力のレンズLNは第12RレンズL12Rであり、負メニスカス形状で、第1レンズ群中の最も像側に配置され、像側に対して凹面を向けた形状である。最もd線の屈折率の高いレンズは第121レンズL121である。また、第21レンズL21は、第2NレンズL2Nであり、第2レンズ群において最も物体側に配置されている。第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、 $r_{2N}a$ 、 r_{2a} であり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、 r_{1b} である。

【0311】

(条件式対応値)

(8) $n_{Nh} = 1.922860$
 (9) $f/f_1 = 0.30465$
 (10) $d_N = 20.50$
 (11) $n_{dh} = 2.000690$
 (12) $|r_{2Na}|/f = 0.36149$
 (13) $|r_{2a}|/r_{1b} = 0.97033$
 (14) $Bf/f = 0.74558$

【0312】

図22は、第10実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【0313】

各収差図から、第10実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

【0314】

(第11実施例)

図23は、第11実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【0315】

第11実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、正屈折力の第2レンズ群G2とから構成される。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間には開口絞りSが配置されている。

10

20

30

40

50

【0316】

第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第111レンズL111の1枚で構成される正屈折力の第11サブレンズ群G S11と、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第121レンズL121と像側の面が像側に向かって凹面を向けた負メニスカス形状の第12RレンズL12Rから構成される負屈折力の第12サブレンズ群G S12から構成される。

【0317】

第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が像側の面に比べて強い屈折力を持つ両凹形状の第21レンズL21と、第21レンズL21に接合され物体側の面が像側の面に比べて弱い屈折力を持つ両凸形状の第22レンズL22と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第23レンズL23と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第24レンズL24と、最も像面側に配置され物体側の面が像側の面に比べて強い屈折力を持ち両凸形状の第25レンズL25から構成され、第25レンズから射出した光線は像面Iに結像する。

10

【0318】

近距離物体への合焦は、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2を一体に物体側へ移動することによって行う。

【0319】

以下の表11に第11実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

20

【0320】

(表11)

(面データ)

面番号	r	d	nd	d
物面				
1	57.5740	5.5000	1.903660	31.31
2	206.0906	0.2000		
3	29.5832	6.0000	2.003300	28.27
4	38.8499	2.0000		
5	41.1771	2.0000	1.922860	18.90
6	19.7787	9.5000		
7(絞り)	9.2000			
8	-19.4166	2.0000	1.805181	25.42
9	3374.4434	7.0000	1.804000	46.57
10	-36.6779	0.2000		
11	-56.5118	4.0000	1.882997	40.76
12	-42.4595	0.1000		
13	-143.9382	5.0000	1.834807	42.71
14	-44.3487	0.3000		
15	103.1998	4.0000	1.754999	52.32
16	-161.9377	(Bf)		

30

像面

(各種データ)

f = 51.63

FNo = 1.25

= 23.33

Y = 21.60

TL = 94.94

40

50

(可変データ)

	無限遠合焦状態	近距離合焦状態
R		1.64
	0.0	-1/30
Bf	37.9374	39.6583

【0321】

なお、第11実施例に係るレンズ系において、条件式(8)を満足する負屈折力のレンズLNは第12RレンズL12Rであり、負メニスカス形状で、第1レンズ群中の最も像側に配置され、像側に対して凹面を向けた形状である。最もd線の屈折率の高いレンズは第121レンズL121である。また、第21レンズL21は、第2NレンズL2Nであり、第2レンズ群において最も物体側に配置されている。第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、r2Na、r2aであり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、r1bである。

10

【0322】

(条件式対応値)

(8) $n_N h = 1.922860$

(9) $f / f_1 = 0.29576$

(10) $d_N = 18.90$

(11) $n_d h = 2.003300$

20

(12) $|r_2 Na| / f = 0.37608$

(13) $|r_2 a| / r_1 b = 0.98169$

(14) $Bf / f = 0.73481$

【0323】

図24は、第11実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【0324】

各収差図から、第11実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

30

【0325】

(第12実施例)

図25は、第12実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【0326】

第12実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、正屈折力の第2レンズ群G2とから構成される。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間には開口絞りSが配置されている。

【0327】

第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第111レンズL111の1枚で構成される正屈折力の第11サブレンズ群GS11と、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第121レンズL121と像側の面が像側に向かって凹面を向けた負メニスカス形状の第12RレンズL12Rから構成される負屈折力の第12サブレンズ群GS12から構成される。

40

【0328】

第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の第21レンズL21と、第21レンズL21に接合され物体側の面が物体側に凹面を向け像側の面に比べて弱い屈折力を持つ正メニスカス形状の第22レンズL22と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第23レンズL23と、像側の面の曲率半径が物体側の面に比べて小さい正屈折力の第24レンズL24と、第24レンズL24に接合され物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の第25レンズ

50

L 2 5 から構成され、第 2 5 レンズから射出した光線は像面 I に結像する。

【 0 3 2 9 】

近距離物体への合焦は、第 1 レンズ群 G 1 と第 2 レンズ群 G 2 を一体に物体側へ移動することによって行う。

【 0 3 3 0 】

以下の表 1 2 に第 1 2 実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

【 0 3 3 1 】

(表 1 2)

(面データ)

面番号	r	d	nd	d
物面				
1	62.5707	4.6000	1.834807	42.71
2	1079.5273	0.1000		
3	27.8402	4.5000	1.903660	31.31
4	48.9187	2.0000		
5	83.6288	1.6000	1.805181	25.42
6	20.6020	9.5000		
7 (絞り)	7.7000			
8	-19.6349	1.8000	1.846660	23.78
9	-36.0084	6.0000	1.754999	52.32
10	-28.9194	0.2000		
11	-100.0147	4.5000	1.834807	42.71
12	-35.2169	0.1000		
13	140.8843	5.0000	2.003300	28.27
14	-49.8565	1.5000	1.922860	18.90
15	-391.9566	(Bf)		

像面

(各種データ)

f = 51.61

FNo = 1.45

= 23.13

Y = 21.60

TL = 87.36

(可変データ)

	無限遠合焦状態	近距離合焦状態
R		1.65
	0.0	-1/30
Bf	38.2645	39.9850

【 0 3 3 2 】

なお、第 1 2 実施例に係るレンズ系において、条件式 (8) を満足する負屈折力のレンズ L N は第 2 1 レンズ L 2 1 及び第 2 5 レンズ L 2 5 であり、負メニスカス形状で、第 2 1 レンズ L 2 1 は第 2 レンズ群中の最も物体側に配置され物体側に対して凹面を向けた形状である。最も d 線の屈折率の高いレンズは第 2 4 レンズ L 2 4 である。また、第 2 1 レンズ L 2 1 は、第 2 N レンズ L 2 N でもあり、第 2 レンズ群において最も物体側に配置されている。第 2 1 レンズ L 2 1 の物体側の面の曲率半径は、r 2 N a、r 2 a であり、第 1 2 R レンズ L 1 2 R の像側の面の曲率半径は、r 1 b である。

【 0 3 3 3 】

10

20

30

40

50

(条件式対応値)

- (8) $n N h = 1.846660$ (第21レンズL21)
 (8) $n N h = 1.922860$ (第25レンズL25)
 (9) $f / f_1 = 0.28536$
 (10) $d N = 23.78$ (第21レンズL21)
 (10) $d N = 18.90$ (第25レンズL25)
 (11) $n d h = 2.003300$
 (12) $|r_2 N a| / f = 0.38041$ (第21レンズL21)
 (13) $|r_2 a| / r_1 b = 0.95306$
 (14) $B f / f = 0.74135$

10

【0334】

図26は、第12実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【0335】

各収差図から、第12実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

【0336】

(第13実施例)

図27は、第13実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【0337】

第13実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、負屈折力の第1レンズ群G1と、正屈折力の第2レンズ群G2とから構成される。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間には開口絞りSが配置されている。

20

【0338】

第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第111レンズL111の1枚で構成される正屈折力の第11サブレンズ群GS11と、物体側の面が物体側に凸面を向けた負メニスカス形状の第121レンズL121と像側の面が像側に向かって凹面を向けた正メニスカス形状の第12RレンズL12Rから構成される負屈折力の第12サブレンズ群GS12から構成される。

30

【0339】

第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の第21レンズL21と、第21レンズL21に接合され物体側の面が物体側に凹面を向け像側の面に比べて弱い屈折力を持つ正メニスカス形状の第22レンズL22と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第23レンズL23と、最も像面側に配置され像側の面が物体側の面に比べて強い屈折力を持ち両凸形状の第24レンズL24から構成され、第24レンズから射出した光線は像面Iに結像する。

【0340】

近距離物体への合焦は、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2を一体に物体側へ移動することによって行う。

40

【0341】

なお、本実施例において、第111レンズ成分は、単レンズで構成されているが、接合レンズで構成しても構わない。その場合には、球面収差、軸上色収差を良好に補正できるので好ましい。

【0342】

以下の表13に第13実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

【0343】

(表13)

(面データ)

50

面番号	r	d	nd	d
物面				
1	51.0799	4.0000	1.799516	42.22
2	153.5021	1.0000		
3	25.0934	2.0000	1.834807	42.71
4	16.6855	7.0000		
5	17.7942	2.5000	2.019600	21.45
6	17.4360	8.0000		
7 (紋り)		9.0000		
8	-20.1623	1.5000	1.860740	23.06
9	-141.0470	8.0000	1.754999	52.32
10	-24.1458	1.0000		
11	-82.3047	4.5000	1.834807	42.71
12	-39.2143	0.5000		
13	187.0181	3.5000	1.804000	46.57
14	-161.9377	(Bf)		

像面

(各種データ)

f = 51.60

20

FNo = 2.10

= 25.28

Y = 24.00

TL = 108.47

(可変データ)

無限遠合焦状態 近距離合焦状態

R		1.66
	0.0	-1/30
Bf	55.9690	57.6889

30

【0344】

なお、第13実施例に係るレンズ系において、条件式(8)を満足する負屈折力のレンズLNは第121レンズL121及び第21レンズL21であり、負メニスカス形状で、第21レンズL21は第2レンズ群G2中の最も物体側に配置され物体側に対して凹面を向けた形状である。最もd線の屈折率の高いレンズは第12RレンズL12Rである。第21レンズL21は物体側の面が物体側に凹面を向けた負屈折力の第2NレンズL2Nでもある。第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、r2Na、r2aであり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、r1bである。

【0345】

(条件式対応値)

40

(8) nNh = 1.834807 (第121レンズL121)

(8) nNh = 1.860740 (第21レンズL21)

(9) f/f1 = -0.02715

(10) dN = 23.06 (第21レンズL21)

(11) ndh = 2.019600

(12) |r2Na|/f = 0.39073

(13) |r2a|/r1b = 1.15636

【0346】

図28は、第13実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時(=0.0)、(b)は近距離合焦時(= -1/30)の諸収差図をそれぞれ示す。

50

【0347】

各収差図から、第13実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

【0348】

[第3実施形態]

本実施形態に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、第1レンズ群と正屈折力の第2レンズ群とを有するレンズ系において、第1レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成され、負屈折力のサブレンズ群は、物体側に凸面を向けたメニスカス形状のレンズを有する構成とすることで、所謂対称型のダブルガウス型の屈折力配置を実現し、歪曲収差や倍率色収差を良好に補正すると共に、球面収差と像面湾曲を補正している。

【0349】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第2レンズ群を構成するレンズのうち、最もd線(波長587.6nm)の屈折率の高いレンズのd線における屈折率をn2dh、第1レンズ群の焦点距離をf1、レンズ系全系の焦点距離をfとするとき、以下の条件式(15)、(16)を満足する。

$$(15) \quad n_{2dh} > 1.890$$

$$(16) \quad -0.400 < f/f_1 < 0.500$$

【0350】

条件式(15)は、レンズ系で発生する球面収差とサジタルコマ収差を良好に補正し、高い光学性能を得るための条件式である。

【0351】

条件式(15)の下限値を下回った場合、次の2つの場合が考えられる。即ち、最もd線の屈折率の高いレンズが正レンズの場合と負レンズの場合である。

【0352】

前者の場合、レンズ系内で発生する負の球面収差が過大となるため、その補正をレンズ系内の負レンズの曲率を大きく(曲率半径を小さく)することで行うが、そのために負レンズによってサジタルコマ収差が大きく発生してしまう。後者の場合、負レンズによってサジタルコマ収差が大きく発生してしまう。従って、いずれの場合においても、高い光学性能を得ることができない。

【0353】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(15)の下限値を1.900にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(15)の下限値を1.910にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(15)の下限値を1.940にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(15)を2.800より小さくすることが好ましい。条件式(15)を2.800より小さくすることで、第2レンズ群中の最もd線の高い屈折率を持つ光学材料の可視光線における透過率を十分に確保でき、レンズ系を構成できる。

【0354】

条件式(16)は、レンズ系で発生する歪曲収差や倍率色収差を良好に補正し、高い光学性能を得るための条件式である。

【0355】

条件式(16)の下限値を下回ると、第1レンズ群の屈折力が負に大きくなりすぎる。すると、負の歪曲収差や倍率色収差を補正することが困難となり、高い光学性能を実現できない。

【0356】

条件式(16)の上限値を上回ると、第1レンズ群で発生する正の歪曲収差を補正することが困難となり、高い光学性能を実現できない。

【0357】

10

20

30

40

50

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(16)の下限値を-0.250にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(16)の下限値を-0.100にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(16)の下限値を0.000にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(16)の下限値を0.100にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(16)の上限値を0.400にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(16)の上限値を0.360にすることが更に好ましい。

【0358】

また、本実施形態に係るレンズ系の第1レンズ群および第2レンズ群における光学面のうち少なくとも1面に反射防止膜が設けられ、この反射膜はウェットプロセスを用いて形成された層を少なくとも1層含んでいる。 10

【0359】

また、前記反射防止膜は多層膜であり、前記ウェットプロセスで形成された層は、多層膜を構成する層のうち最も表面側の層であることが好ましい。このようにすれば、空気との屈折率差を小さくすることができるため、光の反射をより小さくすることが可能になり、ゴーストやフレアをさらに低減させることができる。

【0360】

また、前記ウェットプロセスを用いて形成された層のd線における屈折率をndとしたとき、屈折率ndが1.30以下であることが好ましい。このようにすれば、空気との屈折率差を小さくすることができるため、光の反射をより小さくすることが可能になり、ゴーストやフレアをさらに低減させることができる。 20

【0361】

また、前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、開口絞りから見て凹面であることが好ましい。このようにすれば、開口絞りに対して凹面にゴーストが発生し易いため、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

【0362】

また、前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、像面から見て凹面であることが好ましい。このようにすれば、像面に対して凹面にゴーストが発生し易いため、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。 30

【0363】

なお、反射防止膜は、ウェットプロセスに限らず、(ドライプロセス等により)屈折率が1.30以下となる層を少なくとも1層含むようにしてもよい。このようにしても、ウェットプロセスを用いた場合と同様の効果を得ることができる。なおこの時、屈折率が1.30以下になる層は、多層膜を構成する層のうち最も表面側の層であることが好ましい。

【0364】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第1レンズ群は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力のサブレンズ群と負屈折力のサブレンズ群とから構成されていることが好ましい。 40

【0365】

この構成により、歪曲収差や倍率色収差をより良好に補正することができる。

【0366】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第1レンズ群と第2レンズ群との間に開口絞りを有することが好ましい。

【0367】

この構成により、歪曲収差や倍率色収差を良好に補正することができる。

【0368】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第2レンズ群中の最もd線の屈折率の高いレンズのd線のアッペ数を2dhとするとき、以下の条件式(17)を満足することが好まし 50

い。

$$(17) \quad 2d h > 24.0$$

【0369】

条件式(17)は、色収差を抑えて高い光学性能を得るための条件式である。

【0370】

条件式(17)の下限値を下回ると、最もd線の屈折率の高いレンズが正レンズの場合には、色の球面収差が補正不足になり、最もd線の屈折率の高いレンズが負レンズの場合には、色の球面収差が補正過剰になり、高い光学性能を得ることができない。

【0371】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(17)の下限値を25.0にすることが好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(17)を30.0より小さくすることが好ましい。条件式(17)を30.0より小さくすることで、色の球面収差を良好に補正でき、より高い光学性能を得ることができる。

【0372】

また、本実施形態に係るレンズ系は、レンズ系は、以下の条件式(18)を満足する少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有することが好ましい。

$$(18) \quad nN h > 1.820$$

但し、nN hは前記負屈折力のレンズのd線(波長587.6nm)における屈折率である。

【0373】

条件式(18)は、レンズ系で発生する球面収差とサジタルコマ収差を良好に補正し、高い光学性能を得るための条件式である。

【0374】

条件式(18)の下限値を下回った場合、負レンズによってサジタルコマ収差が大きく発生してしまい、高い光学性能を得ることができない。

【0375】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(18)の下限値を1.840にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(18)の下限値を1.860にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(18)を2.800より小さくすることが好ましい。条件式(18)を2.800より小さくすることで、負屈折力のレンズの光学材料の可視光線における透過率を十分に確保でき、レンズ系を構成できる。

【0376】

また、本実施形態に係るレンズ系は、正屈折力のサブレンズ群は最も物体側に正屈折力のレンズ成分を有し、該レンズ成分は、物体側の面の曲率半径の絶対値が像側の面の曲率半径の絶対値よりも小さいことが好ましい。

【0377】

この構成により、画面中心に向かう光線を前記レンズ成分でゆるやかに曲げることが可能となる。その結果、前記レンズ成分で発生する収差、特に球面収差の発生を抑えることができ、高い光学性能を実現できる。

【0378】

なお、本願におけるレンズ成分とは、単レンズと接合レンズとを含む総称である。

【0379】

また、本実施形態に係るレンズ系は、正屈折力のサブレンズ群は、正屈折力のレンズ成分のみで構成されることが好ましい。

【0380】

この構成により、レンズ系におけるレンズ構成枚数を削減し、レンズ表面反射によるフレアを軽減することができ、高い光学性能を実現できる。

【0381】

また、本実施形態に係るレンズ系は、負屈折力のサブレンズ群の最も像側のレンズは、

10

20

30

40

50

像側に凹面を向けた負屈折力のレンズであることが好ましい。

【0382】

本実施形態に係るレンズ系では、第1レンズ群は、正屈折力のサブレンズ群と、負屈折力のサブレンズ群から構成されているが、正屈折力のサブレンズ群で発生する負の球面収差を、負屈折力のサブレンズ群の最も像側のレンズを像側に凹面を向けた負屈折力のレンズで構成することで良好に補正できるようになり、第1レンズ群全体で球面収差の発生を低く抑えることが可能となる。また、コマ収差も同様に補正でき、レンズ系全体として、高い光学性能を得ることができる。

【0383】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第2レンズ群は、物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズを有し、該物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズの物体側の面の曲率半径を $r_2 N_a$ とするとき、以下の条件式(19)を満足することが好ましい。

$$(19) \quad 0.300 < |r_2 N_a| / f < 0.600$$

【0384】

条件式(19)は、サジタルコマ収差を抑え高い光学性能を実現するための条件式である。

【0385】

条件式(19)の下限値を下回ると、物体側の面が物体側に凹面を向けた負屈折力レンズの物体側の面でサジタルコマ収差が大きく発生し、高い光学性能を実現できない。

【0386】

条件式(19)の上限値を上回ると、第2レンズ群内で発生する負の球面収差を良好に補正できなくなる。また、レンズ系で無限遠から近距離までの合焦や、本実施形態のレンズ系を適用した投影装置あるいは複写機などで拡大倍率を変更した時の収差変動が過剰に大きくなり、無限遠から近距離まであるいは広い拡大倍率の範囲において、高い光学性能を維持できない。

【0387】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(19)の下限値を0.320にすることが好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(19)の上限値を0.530にすることが好ましい。

【0388】

また、本実施形態に係るレンズ系は、前記物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズは、第2レンズ群において最も物体側に配置されることが好ましい。

【0389】

この構成により、物体側の面が物体側に凹面を向けた少なくとも1枚の負屈折力のレンズによって発生する歪曲収差や倍率色収差を抑えることができ、高い光学性能を得ることができる。

【0390】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率半径を $r_1 b$ 、第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率半径を $r_2 a$ とするとき、以下の条件式(20)を満足することが好ましい。

$$(20) \quad 0.750 < |r_2 a| / r_1 b < 1.250$$

【0391】

条件式(20)は、サジタルコマ収差を抑え高い光学性能を実現するための条件式である。

【0392】

条件式(20)の下限値を下回ると、即ち第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率が、第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率に比べ過度大きく(曲率半径が小さく)なった場合、第2レンズ群の物体側の面でサジタルコマ収差が大きく発生し高い光学性能を

10

20

30

40

50

実現できない。

【0393】

条件式(20)の上限値を上回ると、即ち第1レンズ群の最も像側のレンズ面の曲率が、第2レンズ群の最も物体側のレンズ面の曲率に比べ過度大きく(曲率半径が小さく)なった場合、第1レンズ群の像側の面でサジタルコマ収差が大きく発生し高い光学性能を実現できない。

【0394】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(20)の下限値を0.850にすることが好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(20)の上限値を1.220にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(20)の上限値を1.150にすることが更に好ましい。

10

【0395】

また、本実施形態に係るレンズ系は、光軸上におけるレンズ系の最も像側のレンズ面から像面までの距離をBfとするとき、以下の条件式(21)を満足することが好ましい。

$$(21) \quad 0.600 < Bf/f < 1.000$$

【0396】

条件式(21)は、高い光学性能を実現するための条件式である。

【0397】

条件式(21)の下限値を下回ると、レンズ系の焦点距離に対してバックフォーカスが相対的に短くなりすぎるため、レンズ系の屈折力配置が対称型から大きく離れてしまい、歪曲収差を補正することが困難になるため、高い光学性能を実現できない。

20

【0398】

条件式(21)の上限値を上回ると、レンズ系の焦点距離に対してバックフォーカスが相対的に長くなりすぎるため、レンズ系の屈折力配置が対称型から大きく離れてしまい、歪曲収差を補正することが困難になるため、高い光学性能を実現できない。

【0399】

なお、実施形態の効果を確実にするために、条件式(21)の下限値を0.650にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(21)の下限値を0.700にすることが更に好ましい。また、実施形態の効果を確実にするために、条件式(21)の上限値を0.850にすることが好ましい。また、実施形態の効果を更に確実にするために、条件式(21)の上限値を0.800にすることが更に好ましい。

30

【0400】

なお、最も像側のレンズ面から像面までの間に、平行平面板が入っている場合には、Bfは空気換算長である。

【0401】

また、本実施形態に係るレンズ系は、第1レンズ群と第2レンズ群との光軸上の間隔は常時固定であることが好ましい。

【0402】

このような構成とすることで、レンズ系で無限遠から近距離までの合焦や、本実施形態のレンズ系を適用した投影装置あるいは複写機などで拡大倍率を変更した時に、第1レンズ群と第2レンズ群をメカニカルに一体で動かすことが可能になり、別体で動かす場合に比べ、第1レンズ群と第2レンズ群との相互偏心による偏心コマ収差の発生が抑えられ、無限遠から近距離までに亘って、あるいは倍率可変範囲に亘って、高い光学性能を実現できる。

40

【0403】

なお、レンズ面は、球面または平面で形成されても、非球面で形成されても構わない。

【0404】

レンズ面が球面または平面の場合、レンズ加工及び組立調整が容易になり、加工及び組立調整の誤差による光学性能の劣化を防げる所以好ましい。また、像面がずれた場合でも

50

描写性能の劣化が少ないので好ましい。

【0405】

レンズ面が非球面の場合、非球面は、研削加工による非球面、ガラスを型で非球面形状に形成したガラスモールド非球面、ガラスの表面に樹脂を非球面形状に形成した複合型非球面のいずれの非球面でも構わない。また、レンズ面は回折面としても良く、レンズを屈折率分布型レンズ（GRINレンズ）あるいはプラスチックレンズとしても良い。

【0406】

（実施例）

以下、本実施形態に係る各実施例について図面を参照しつつ説明する。なお、反射防止膜の詳細については、実施例の後に別途説明する。

10

【0407】

（第14実施例）

図29は、第14実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【0408】

第14実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、正屈折力の第2レンズ群G2とから構成される。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間には開口絞りSが配置されている。

【0409】

第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第111レンズL111の1枚で構成される正屈折力の第11サブレンズ群GS11と、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第121レンズL121と像側の面が像側に向かって凹面を向けた負メニスカス形状の第12RレンズL12Rから構成される負屈折力の第12サブレンズ群GS12から構成される。

20

【0410】

第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の第21レンズL21と、第21レンズL21に接合され物体側の面が物体側に凹面を向け像側の面に比べて弱い屈折力を持つ正メニスカス形状の第22レンズL22と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第23レンズL23と、像側の面の曲率半径が物体側の面に比べて小さい正屈折力の第24レンズL24と、第24レンズL24に接合され物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の第25レンズL25から構成され、第25レンズから射出した光線は像面Iに結像する。

30

【0411】

近距離物体への合焦は、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2を一体に物体側へ移動することによって行う。

【0412】

以下の表14に第14実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

【0413】

表中の（面データ）において、物面は物体面、面番号は物体側からのレンズ面の番号、rは曲率半径、dは面間隔、ndはd線（波長587.6nm）における屈折率、dはd線（波長587.6nm）におけるアッベ数、（絞り）は開口絞りS、像面は像面Iをそれぞれ表している。なお、空気の屈折率nd=1.000000は記載を省略している。また、曲率半径r欄の「」は平面を表している。

40

【0414】

（各種データ）において、fはレンズ系全体の焦点距離、FN0はFナンバー、は半画角（単位：度）、Yは像高、TLは無限遠合焦状態における第111レンズの物体側の面から像面Iまでのレンズ全長をそれぞれ表している。

【0415】

（可変データ）において、Rは撮影距離で物体から像面Iまでの距離（単位：m）、は撮影倍率、Bfはバックフォーカスをそれぞれ表している。

50

【0416】

(条件式対応値)は、各条件式の対応値をそれぞれ示す。

【0417】

なお、以下の全ての諸元値において、掲載されている焦点距離 f 、曲率半径 r 、面間隔 d その他の長さ等は、特記の無い場合一般に「mm」が使われるが、光学系は比例拡大または比例縮小しても同等の光学性能が得られるので、これに限られるものではない。また、単位は「mm」に限定されることなく他の適当な単位を用いることも出来る。さらに、これらの記号の説明は、以降の他の実施例においても同様とし説明を省略する。

【0418】

(表14)

10

(面データ)

面番号	r	d	nd	d
物面				
1	62.5707	4.6000	1.834807	42.71
2	1079.5273	0.1000		
3	27.8402	4.5000	1.903660	31.31
4	48.9187	2.0000		
5	83.6288	1.6000	1.805181	25.42
6	20.6020	9.5000		
7 (絞り)	7.7000			
8	-19.6349	1.8000	1.846660	23.78
9	-36.0084	6.0000	1.754999	52.32
10	-28.9194	0.2000		
11	-100.0147	4.5000	1.834807	42.71
12	-35.2169	0.1000		
13	140.8843	5.0000	2.003300	28.27
14	-49.8565	1.5000	1.922860	18.90
15	-391.9566	(Bf)		
像面				

20

30

(各種データ)

$f = 51.61$

$FNo = 1.45$

$= 23.13$

$Y = 21.60$

$TL = 87.36$

(可変データ)

無限遠合焦状態 近距離合焦状態

R		1.65
	0.0	-1/30
Bf	38.2645	39.9850

40

【0419】

なお、第14実施例に係るレンズ系において、第2レンズ群G2を構成するレンズのうち、最も d 線 (波長 587.6 nm) の屈折率の高いレンズは第24レンズL24である。また、第21レンズL21と第25レンズL25は条件式(18)を満足する負屈折力のレンズLNであり、また物体側の面が物体側に凹面を向けた負屈折力の第2NレンズL2Nもある。ここで、第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、 r_{2Na} 、 r_{2a} であり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、 r_{1b} である。

【0420】

50

(条件式対応値)

(15) $n_2 d h = 2.003300$
 (16) $f/f_1 = 0.28536$
 (17) $2d h = 28.27$
 (18) $n_N h = 1.846660$ (第21レンズL21)
 (18) $n_N h = 1.922860$ (第25レンズL25)
 (19) $|r_2 N_a|/f = 0.38041$ (第21レンズL21)
 (20) $|r_2 a|/r_1 b = 0.95306$
 (21) $B_f/f = 0.74135$

【0421】

10

図30は、第14実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【0422】

各収差図において、FNOはFナンバー、Aは半画角(単位:度)、NAは開口数、H0は物体高(単位:「mm」)をそれぞれ示す。また、dはd線(波長587.6nm)、gはg線(波長435.8nm)に対する諸収差、記載のないものはd線に対する諸収差をそれぞれ表す。非点収差図において、実線はサジタル像面、破線はメリディオナル像面を示す。コマ収差図は、各半画角又は物体高において、実線はd線及びg線に対するメリディオナルコマ収差、原点より左側の破線はd線に対してメリディオナル方向に発生するサジタルコマ収差、原点より右側の破線はd線に対してサジタル方向に発生するサジタルコマ収差を表している。

20

【0423】

なお、以降の実施例においても同様の記号を使用し、以降の説明を省略する。

【0424】

また、図31に示すように、物体側からの光線BMが図示のようにレンズLに入射すると、負メニスカスレンズL21における物体側のレンズ面(第1番目のゴースト発生面でありその面番号は8)で反射し、その反射光は負メニスカスレンズL12Rにおける像側のレンズ面(第2番目のゴースト発生面でありその面番号は6)で再度反射して像面Iに到達し、ゴーストを発生させてしまう。なお、第1番目のゴースト発生面8は開口絞りSに対して凹面、第2番目のゴースト発生面6は開口絞りSと像面Iに対して凹面である。このような面に、より広い波長範囲で広入射角に対応した反射防止膜を形成することで、ゴーストを効果的に低減させることができる。

30

【0425】

各収差図から、第14実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

【0426】

(第15実施例)

図32は、第15実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

【0427】

第15実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、正屈折力の第2レンズ群G2とから構成される。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間には開口絞りSが配置されている。

40

【0428】

第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第111レンズL111の1枚で構成される正屈折力の第11サブレンズ群GS11と、物体側の面が物体側に凸面を向けて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第121レンズL121と像側の面が像側に向かって凹面を向けた負メニスカス形状の第12RレンズL12Rから構成される負屈折力の第12サブレンズ群GS12から構成される。

【0429】

50

第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の第21レンズL21と、第21レンズL21に接合され物体側の面が物体側に凹面を向け像側の面に比べて弱い屈折力を持つ正メニスカス形状の第22レンズL22と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第23レンズL23と、最も像面側に配置され物体側の面が像側の面に比べて強い屈折力を持ち両凸形状の第24レンズL24から構成され、第24レンズから射出した光線は像面Iに結像する。

【0430】

近距離物体への合焦は、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2を一体に物体側へ移動することによって行う。

【0431】

以下の表15に第15実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

【0432】

(表15)

(面データ)

面番号	r	d	nd	d
物面				
1	61.9292	5.2000	1.834807	42.71
2	250.9282	0.1000		
3	25.5456	4.5000	2.003300	28.27
4	37.7633	1.8000		
5	40.4696	2.0000	1.808090	22.79
6	17.5981	9.3000		
7(絞り)		7.7000		
8	-17.8081	1.8000	1.846660	23.78
9	-205.7528	6.0000	1.788001	47.37
10	-27.6209	0.2000		
11	-110.8983	5.5000	1.804000	46.57
12	-31.7495	0.1000		
13	136.7328	3.0000	2.003300	28.27
14	-375.0666	(Bf)		
像面				

(各種データ)

f = 51.62

FNo = 1.44

= 23.19

Y = 21.60

TL = 86.13

40

(可変データ)

	無限遠合焦状態	近距離合焦状態
R		1.64
	0.0	-1/30
Bf	38.9302	40.6510

【0433】

なお、第15実施例に係るレンズ系において、第2レンズ群G2を構成するレンズのうち、最もd線(波長587.6nm)の屈折率の高いレンズは第24レンズL24である。また、第21レンズL21は、条件式(18)を満足する負屈折力のレンズLNであり、また物体側の面が物体側に凹面を向けた負屈折力の第2NレンズL2Nである。ここ

50

で、第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、 $r_{2N}a$ 、 r_{2a} であり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、 r_{1b} である。

【0434】

(条件式対応値)

$$(15) \quad n_{2d}h = 2.003300$$

$$(16) \quad f/f_1 = 0.33611$$

$$(17) \quad 2dh = 28.27$$

$$(18) \quad n_{Nh} = 1.846660$$

$$(19) \quad |r_{2Na}|/f = 0.34495$$

$$(20) \quad |r_{2a}|/r_{1b} = 1.01193$$

$$(21) \quad Bf/f = 0.75410$$

10

【0435】

図33は、第15実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【0436】

各収差図から、第15実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

【0437】

(第16実施例)

図34は、第16実施例に係るレンズ系の構成を示す断面図である。

20

【0438】

第16実施例に係るレンズ系は、光軸に沿って物体側から順に、正屈折力の第1レンズ群G1と、正屈折力の第2レンズ群G2とから構成される。第1レンズ群G1と第2レンズ群G2との間には開口絞りSが配置されている。

【0439】

第1レンズ群G1は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面が物体側に凸面を向いて像側の面に比べて強い屈折力を持つ正メニスカス形状の第111レンズL111の1枚で構成される正屈折力の第11サブレンズ群GS11と、物体側の面が物体側に凸面を向けた負メニスカス形状の第121レンズL121と像側の面が像側に向かって凹面を向けた正メニスカス形状の第12RレンズL12Rから構成される負屈折力の第12サブレンズ群GS12から構成される。

30

【0440】

第2レンズ群G2は、光軸に沿って物体側から順に、物体側の面の曲率半径が像側の面の曲率半径に対して小さい両凹形状の第21レンズL21と、第21レンズL21に接合され像側の面の曲率半径が物体側の面の曲率半径に比べて小さい両凸形状の第22レンズL22と、像側の面が像面に対して凸面を向けた正メニスカス形状の第23レンズL23と、最も像面側に配置され像側の面が物体側の面に比べて強い屈折力を持ち両凸形状の第24レンズL24から構成され、第24レンズから射出した光線は像面Iに結像する。

【0441】

近距離物体への合焦は、第1レンズ群G1と第2レンズ群G2を一体に物体側へ移動することによって行う。

40

【0442】

なお、本実施例において、第111レンズ成分は、単レンズで構成されているが、接合レンズで構成しても構わない。その場合には、球面収差、軸上色収差を良好に補正できるので好ましい。

【0443】

以下の表16に第16実施例に係るレンズ系の諸元値を掲げる。

【0444】

(表16)

50

(面データ)

面番号	r	d	nd	d
物面				
1	50.5356	4.0000	1.799516	42.22
2	154.2377	1.0000		
3	24.8887	2.0000	1.834807	42.71
4	16.7477	7.0000		
5	17.2732	2.5000	2.019600	21.45
6	16.8254	8.0000		
7 (絞り)		9.0000		10
8	-20.4694	1.5000	1.860740	23.06
9	547.0172	8.2000	1.754999	52.32
10	-25.9174	1.0000		
11	-113.9151	4.3000	1.834807	42.71
12	-37.7986	0.5000		
13	391.9984	3.3000	1.903658	31.31
14	-161.9377	(Bf)		

像面

(各種データ)

$f = 51.60$
 $FNo = 2.06$
 $= 25.23$
 $Y = 24.00$
 $TL = 107.25$

20

(可変データ)

	無限遠合焦状態	近距離合焦状態
R		1.66
	0.0	-1/30
Bf	54.9471	56.6672

30

【0445】

なお、第16実施例に係るレンズ系において、第2レンズ群G2を構成するレンズのうち、最もd線(波長587.6nm)の屈折率の高いレンズは第24レンズL24である。また、第121レンズL121と第21レンズL21は、条件式(18)を満足する負屈折力のレンズLNであり、第21レンズL21は物体側の面が物体側に凹面向けた負屈折力の第2NレンズL2Nである。ここで、第21レンズL21の物体側の面の曲率半径は、 r_{2Na} 、 r_{2a} であり、第12RレンズL12Rの像側の面の曲率半径は、 r_{1b} である。

【0446】

40

(条件式対応値)

- (15) $n_{2dh} = 1.903658$
(16) $f/f_1 = 0.00263$
(17) $2dh = 31.31$
(18) $n_{Nh} = 1.834807$ (第121レンズL121)
(18) $n_{Nh} = 1.860740$ (第21レンズL21)
(19) $|r_{2Na}|/f = 0.39668$
(20) $|r_{2a}|/r_{1b} = 1.21658$
(21) $Bf/f = 1.06482$

【0447】

50

図35は、第16実施例に係るレンズ系の諸収差図を示し、(a)は無限遠合焦時($=0.0$)、(b)は近距離合焦時($=-1/30$)の諸収差図をそれぞれ示す。

【0448】

各収差図から、第16実施例に係るレンズ系は、諸収差が良好に補正され、高い光学性能を有していることがわかる。

【0449】

ここで、第1～第16実施例のレンズ系に用いられる反射防止膜について説明する。図36は、反射防止膜の膜構成を示す図である。この反射防止膜101は7層からなり、レンズ等の光学部材102の光学面に形成される。第1層101aは真空蒸着法で蒸着された酸化アルミニウムで形成されている。また、この第1層101aの上に更に真空蒸着法で蒸着された酸化チタンと酸化ジルコニウムの混合物からなる第2層101bが形成される。さらに、この第2層101bの上に真空蒸着法で蒸着された酸化アルミニウムからなる第3層101cが形成され、この第3層101cの上に真空蒸着法で蒸着された酸化チタンと酸化ジルコニウムの混合物からなる第4層101dが形成される。またさらに、この第4層101dの上に真空蒸着法で蒸着された酸化アルミニウムからなる第5層101eが形成され、この第5層101eの上に真空蒸着法で蒸着された酸化チタンと酸化ジルコニウムの混合物からなる第6層101fが形成される。

10

【0450】

そして、このようにして形成された第6層101fの上に、ウェットプロセスによりシリカとフッ化マグネシウムの混合物からなる第7層101gが形成されて本実施形態の反射防止膜101が形成される。第7層101gの形成には、ウェットプロセスの一種であるゾル-ゲル法を用いている。ゾル-ゲル法とは、光学部材の光学面上に光学薄膜材料ゾルを塗布し、ゲル膜を堆積させた後、液体に浸漬し、この液体の温度及び圧力を臨界状態以上にしてその液体を気化・乾燥させることにより膜を生成する製法である。なお、ウェットプロセスとして、ゾル-ゲル法に限らず、ゲル状態を経ないで固体膜を得る方法を用いるようにしてもよい。

20

【0451】

このように、この反射防止膜101の第1層101a～第6層101fまではドライプロセスである電子ビーム蒸着により形成され、最上層である第7層101gは、フッ酸/酢酸マグネシウム法で調製したゾル液を用いるウェットプロセスにより以下の手順で形成されている。まず、予めレンズ成膜面(上述の光学部材102の光学面)に真空蒸着装置を用いて第1層101aとなる酸化アルミニウム層、第2層101bとなる酸化チタン-酸化ジルコニウム混合層、第3層101cとなる酸化アルミニウム層、第4層101dとなる酸化チタン-酸化ジルコニウム混合層、第5層101eとなる酸化アルミニウム層、第6層101fとなる酸化チタン-酸化ジルコニウム混合層を順に形成する。そして、蒸着装置より光学部材102を取り出した後、フッ酸/酢酸マグネシウム法により調製したゾル液をスピンドルコート法により塗布することにより第7層101gとなるシリカとフッ化マグネシウムの混合物からなる層を形成する。フッ酸/酢酸マグネシウム法によって調製される際の反応式を以下の式(22)に示す。

30



40

【0452】

この成膜に用いたゾル液は、原料混合後、オートクレーブで140～24時間高温加圧熟成処理を施した後、成膜に用いられる。この光学部材102は、第7層101gの成膜終了後、大気中で160～1時間加熱処理して完成される。このようなゾル-ゲル法を用いることにより、原子または分子が数個から数十個程度集まって、大きさが数nmから数十nmの粒子ができ、さらに、それらの粒子が数個集まって二次粒子が形成され、それら二次粒子が堆積することにより第7層101gが形成される。

【0453】

それでは、このようにして形成された反射防止膜101の光学的性能について図37に示す分光特性を用いて説明する。なお、この図37は、基準波長を550nmとしたと

50

きに、以下の表17で示される条件で反射防止膜101を設計した場合に光線が垂直入射する時の分光特性を表している。また、表17では、酸化アルミニウムをAl₂O₃、酸化チタン-酸化ジルコニウム混合物をZrO₂ + TiO₂、シリカとフッ化マグネシウムの混合物をSiO₂ + MgF₂と示しており、基準波長を550 nmとしたときに、基板の屈折率が1.46、1.62、1.74、および1.85の4種類であるときのそれぞれの設計値を示している。なお、表17の基準波長をd線(波長587.6 nm)とした場合でも、反射防止膜の特性にはほとんど影響しない。

【0454】

(表17)

物質	屈折率	光学膜厚	光学膜厚	光学膜厚	光学膜厚	
媒質	空気	1				
第7層	SiO ₂ + MgF ₂	1.26	0.275	0.268	0.271	0.269
第6層	ZrO ₂ + TiO ₂	2.12	0.045	0.057	0.054	0.059
第5層	Al ₂ O ₃	1.65	0.212	0.171	0.178	0.162
第4層	ZrO ₂ + TiO ₂	2.12	0.077	0.127	0.13	0.158
第3層	Al ₂ O ₃	1.65	0.288	0.122	0.107	0.08
第2層	ZrO ₂ + TiO ₂	2.12	0	0.059	0.075	0.105
第1層	Al ₂ O ₃	1.65	0	0.257	0.03	0.03
基板の屈折率		1.46	1.62	1.74	1.85	20

【0455】

この図37から分かる通り、波長が420 nm ~ 720 nmの全域で反射率が0.2%以下に抑えられている。

【0456】

なお、第1実施例のレンズ系において、負メニスカスレンズL12Rの屈折率は1.761821であり、負メニスカスレンズL21の屈折率は1.805181であるため、負メニスカスレンズL12Rにおける像側のレンズ面に基板の屈折率が1.74に対応する反射防止膜を用いることが可能であり、負メニスカスレンズL21の物体側の面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0457】

また、第2実施例のレンズ系において、負メニスカスレンズL12Rの屈折率は1.860740であり、負メニスカスレンズL21の屈折率は1.805181であるため、負メニスカスレンズL12Rにおける像側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能であり、負メニスカスレンズL21における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0458】

また、第3実施例のレンズ系において、負メニスカスレンズL21の屈折率は1.805181であるため、負メニスカスレンズL21における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0459】

また、第4実施例のレンズ系において、負レンズL21の屈折率は1.805181であるため、負レンズL21における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0460】

また、第5実施例のレンズ系において、負メニスカスレンズL12Rの屈折率は1.805181であり、負メニスカスレンズL21の屈折率は1.846660であるため、負メニスカスレンズL12Rにおける像側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能であり、負メニスカスレンズL21における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0461】

10

20

30

40

50

また、第6実施例のレンズ系において、負メニスカスレンズL21の屈折率は1.860740であるため、負メニスカスレンズL21における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0462】

また、第7実施例のレンズ系において、負メニスカスレンズL12Rの屈折率は1.808090であり、負メニスカスレンズL21の屈折率は1.846660であるため、負メニスカスレンズL12Rにおける像側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能であり、負メニスカスレンズL21における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0463】

なお、第8実施例のレンズ系において、負メニスカスレンズL12Rの屈折率は1.808090であり、負メニスカスレンズL21の屈折率は1.846660であるため、負メニスカスレンズL12Rにおける像側のレンズ面に基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能であり、負メニスカスレンズL21の物体側の面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0464】

また、第9実施例のレンズ系において、負メニスカスレンズL12Rの屈折率は1.860740であり、負メニスカスレンズL21の屈折率は1.805181であるため、負メニスカスレンズL12Rにおける像側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能であり、負メニスカスレンズL21における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0465】

また、第10実施例のレンズ系において、正レンズL24の屈折率は1.804000であるため、正レンズL24における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0466】

また、第11実施例のレンズ系において、負レンズL21の屈折率は1.805181であるため、負レンズL21における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0467】

また、第12実施例のレンズ系において、負メニスカスレンズL12Rの屈折率は1.805181であり、負メニスカスレンズL21の屈折率は1.846660であるため、負メニスカスレンズL12Rにおける像側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能であり、負メニスカスレンズL21における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0468】

また、第13実施例のレンズ系において、正レンズL24の屈折率は1.804000であるため、正レンズL24における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0469】

なお、第14実施例のレンズ系において、負メニスカスレンズL12Rの屈折率は1.805181であり、負メニスカスレンズL21の屈折率は1.846660であるため、負メニスカスレンズL12Rにおける像側のレンズ面に基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能であり、負メニスカスレンズL21の物体側の面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0470】

また、第15実施例のレンズ系において、負メニスカスレンズL12Rの屈折率は1.808090であり、負メニスカスレンズL21の屈折率は1.846660であるため、負メニスカスレンズL12Rにおける像側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対

10

20

30

40

50

応する反射防止膜を用いることが可能であり、負メニスカレンズL21における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0471】

また、第16実施例のレンズ系において、負レンズL21の屈折率は1.860740であるため、負レンズL21における物体側のレンズ面に、基板の屈折率が1.85に対応する反射防止膜を用いることが可能である。

【0472】

本発明によれば、大口径比を有し、バックフォーカスが長く、諸収差が良好に補正され、ゴースト、フレアをより低減させた高い光学性能を持つレンズ系、及びこれを有する光学装置を提供することができる。

【0473】

なお、この反射防止膜101は平行平面板の光学面に設けた光学素子として利用することも可能であるし、曲面状に形成されたレンズの光学面に設けて利用することも可能である。

【0474】

次に、反射防止膜の変形例について説明する。この反射防止膜は5層からなり、以下の表18で示される条件で構成される。なお、第5層の形成に、前述のゾル-ゲル法を用いている。また、表18では、基準波長を550nmとしたときに、基板の屈折率が1.52であるときの設計値を示している。

【0475】

(表18)

物質	屈折率	光学的膜厚	
媒質 空気	1		
第5層 シリカとフッ化マグネシウムの混合物	1.26	0.269	
第4層 酸化チタン-酸化ジルコニア混合物	2.12	0.043	
第3層 酸化アルミニウム	1.65	0.217	
第2層 酸化チタン-酸化ジルコニア混合物	2.12	0.066	
第1層 酸化アルミニウム	1.65	0.290	30
基板 BK7	1.52		

【0476】

図38に、変形例の反射防止膜に光が垂直入射する時の分光特性を示す。この図38から分かる通り、波長が420nm~720nmの全域で反射率が0.2%以下に抑えられている。なお、図39に入射角が30度、45度、60度の場合の分光特性を示す。

【0477】

比較のため、図40に、従来の真空蒸着法などのドライプロセスのみで成膜し、以下の表19で示される条件で構成される多層広帯域反射防止膜の垂直入射時の分光特性を示す。なお、図41に入射角が30度、45度、60度の場合の分光特性を示す。

【0478】

(表19)

物質	屈折率	光学的膜厚	
媒質 空気	1		
第7層 フッ化マグネシウム	1.39	0.243	
第6層 酸化チタン-酸化ジルコニア混合物	2.12	0.119	
第5層 酸化アルミニウム	1.65	0.057	
第4層 酸化チタン-酸化ジルコニア混合物	2.12	0.220	
第3層 酸化アルミニウム	1.65	0.064	
第2層 酸化チタン-酸化ジルコニア混合物	2.12	0.057	50

第1層 酸化アルミニウム

1.65 0.193

基板 BK7

1.52

【0479】

図38および図39で示される変形例の分光特性を、図40および図41で示される従来例の分光特性と比較すると、変形例に係る反射防止膜の反射率の低さが良くわかる。

【0480】

以上のように、本実施形態によれば、大口径比を有し、諸収差が良好に補正され、ゴースト、フレアをより低減させた高い光学性能を持つレンズ系を提供することができる。

【0481】

次に、本実施形態に係るレンズ系を搭載した光学装置であるカメラについて説明する。
なお、第1実施例に係るレンズ系を搭載した場合について説明するが、他の実施例でも同様である。

【0482】

図42は、第1実施例に係るレンズ系を備えたカメラの構成を示す図である。

【0483】

図42において、カメラ1は、撮影レンズ2として第1実施例に係るレンズ系を備えたデジタル一眼レフカメラである。カメラ1において、不図示の物体(被写体)からの光は、撮影レンズ2で集光されて、クイックリターンミラー3を介して焦点板4に結像される。そして焦点板4に結像されたこの光は、ペンタプリズム5中で複数回反射されて接眼レンズ6へ導かれる。これにより撮影者は、被写体像を接眼レンズ6を介して正立像として観察することができる。

【0484】

また、撮影者によって不図示のレリーズボタンが押されると、クイックリターンミラー3が光路外へ退避し、さらにフォーカルプレーンシャッター8も光路外へ退避して不図示の被写体からの光は撮像素子7へ到達する。これにより被写体からの光は、撮像素子7によって撮像されて、被写体画像として不図示のメモリに記録される。このようにして、撮影者はカメラ1による被写体の撮影を行うことができる。

【0485】

カメラ1に撮影レンズ2として第1実施例に係るレンズ系を搭載することにより、高い性能を有するカメラを実現することができる。

【0486】

なお、以下に記載の内容は、光学性能を損なわない範囲で適宜採用可能である。

【0487】

実施例では、2群構成を示したが、3群、4群等の他の群構成にも適用可能である。具体的には、最も物体側に正または負のレンズ群を追加した構成や、最も像側に正または負のレンズ群を追加した構成や、第1レンズ群と第2レンズ群との間に正または負のレンズ群を追加した構成が挙げられる。

【0488】

単独または複数のレンズ群、または部分レンズ群を光軸方向に移動させて、無限遠物体から近距離物体への合焦を行う合焦レンズ群としても良い。前記合焦レンズ群はオートフォーカスにも適用でき、オートフォーカス用の(超音波モーター等を用いた)モーター駆動にも適している。特に、第1レンズ群または第2レンズ群の少なくとも一部のレンズ群を合焦レンズ群とするのが好ましい。

【0489】

また、レンズ群または部分レンズ群を光軸に垂直な方向に移動させて、手ぶれによって生じる像ぶれを補正する防振レンズ群としても良い。特に、第1レンズ群または第2レンズ群の少なくとも一部のレンズ群を防振レンズ群とするのが好ましい。

【0490】

また、開口絞りは第1レンズ群と第2レンズ群との間に配置されるのが好ましいが、開口絞りとしての部材は設けずに、レンズ枠でその役割を代用しても良い。

10

20

30

40

50

【0491】

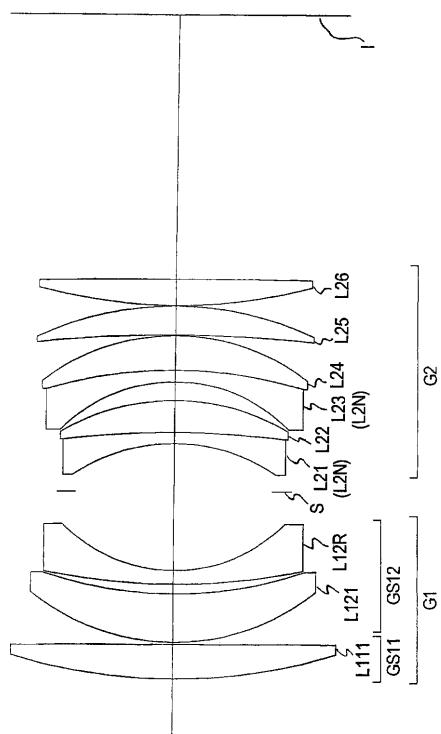
なお、本発明を分かり易く説明するために実施形態の構成要件を付して説明したが、本発明がこれに限定されるものでないことは言うまでもない。

【符号の説明】

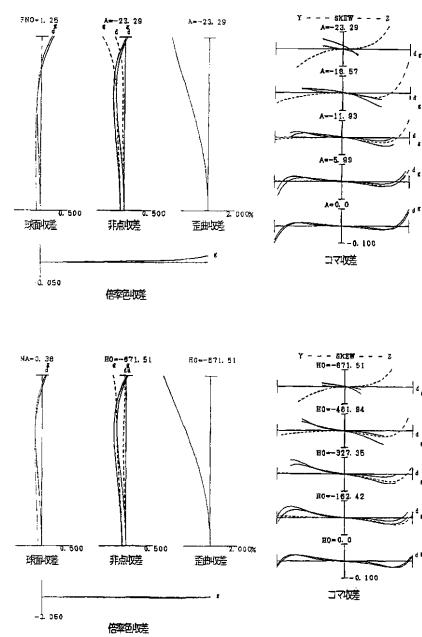
【0492】

G 1	第1レンズ群	
G 2	第2レンズ群	
G S 1 1	第11サブレンズ群	
G S 1 2	第12サブレンズ群	
L 1 1 1	第111レンズ	10
L 1 2 1	第121レンズ	
L 1 2 R	第12Rレンズ	
L 2 1	第21レンズ	
L 2 2	第22レンズ	
L 2 3	第23レンズ	
L 2 4	第24レンズ	
L 2 5	第25レンズ	
L 2 6	第26レンズ	
S	開口絞り	
I	像面	20
1	カメラ	
1 0 1	反射防止膜	
1 0 1 a	第1層	
1 0 1 b	第2層	
1 0 1 c	第3層	
1 0 1 d	第4層	
1 0 1 e	第5層	
1 0 1 f	第6層	
1 0 1 g	第7層	
1 0 2	光学部材	30

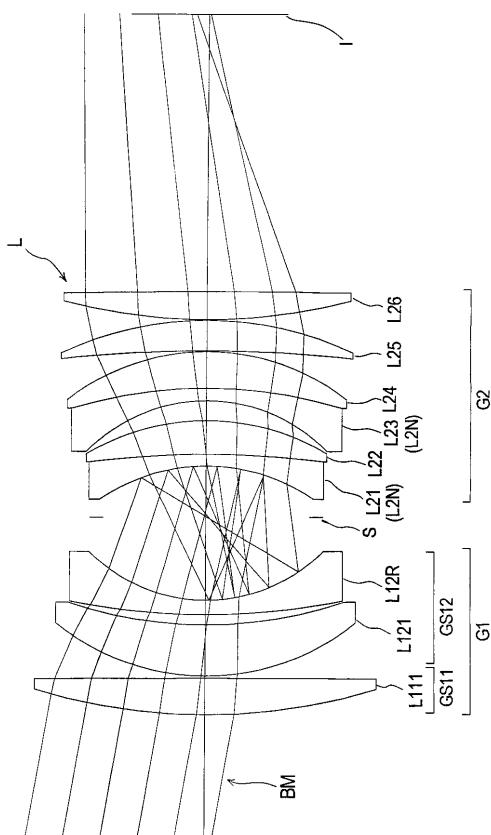
【図1】



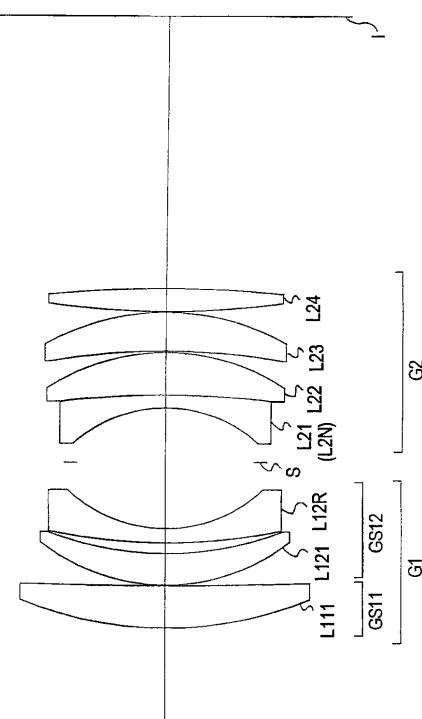
【図2】



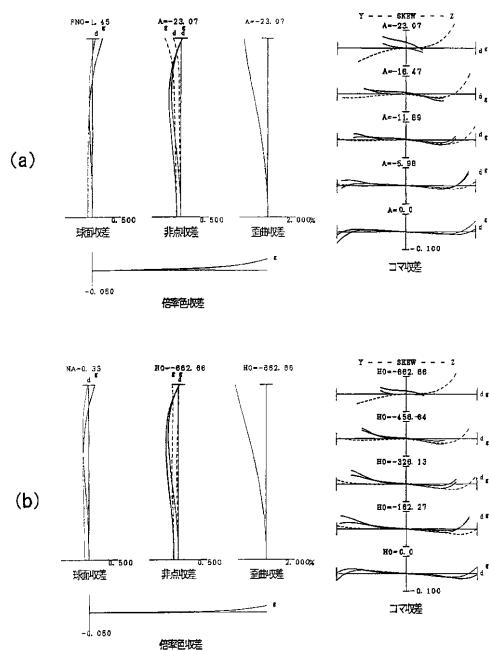
【図3】



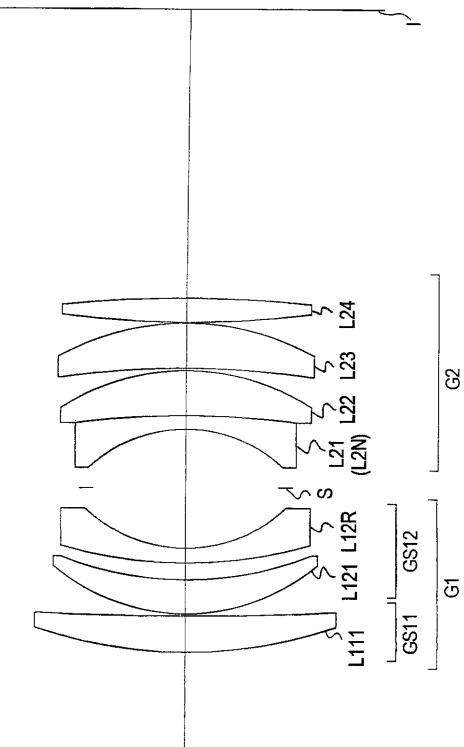
【図4】



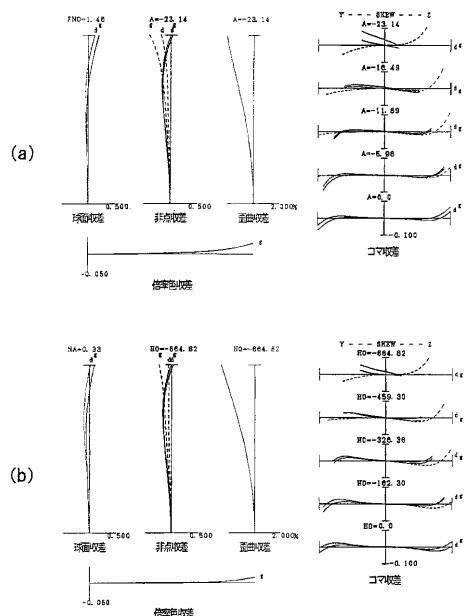
【図5】



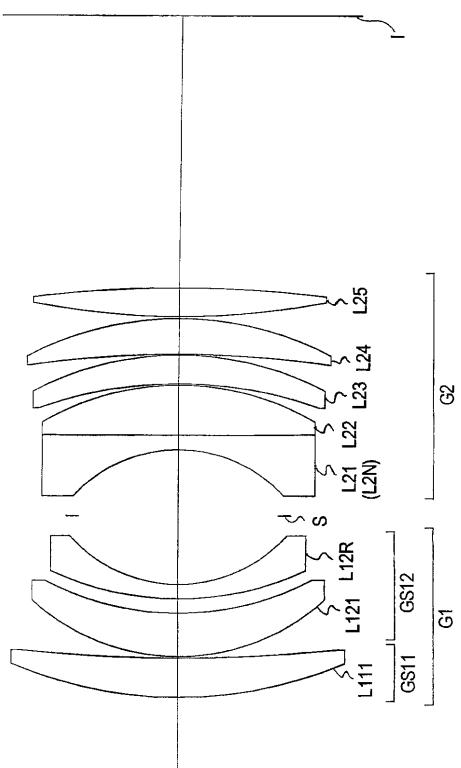
【図6】



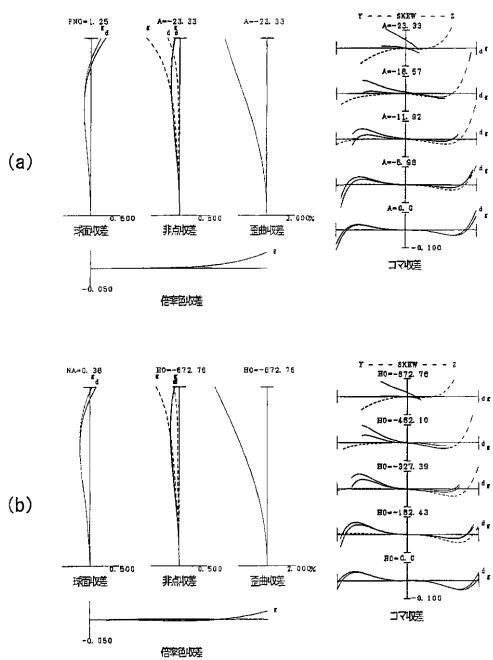
【図7】



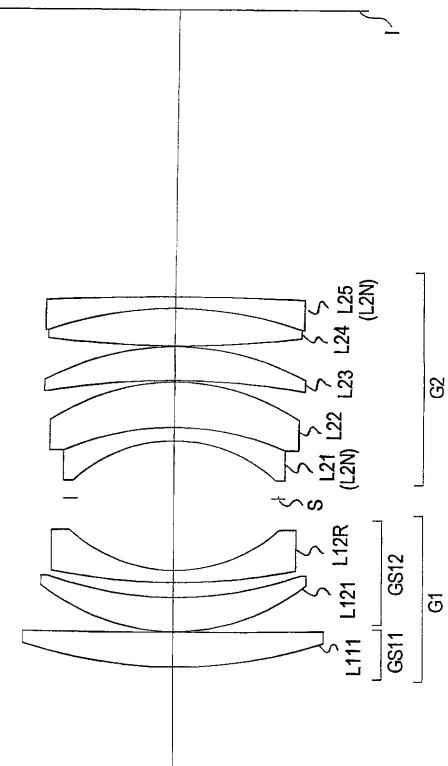
【図8】



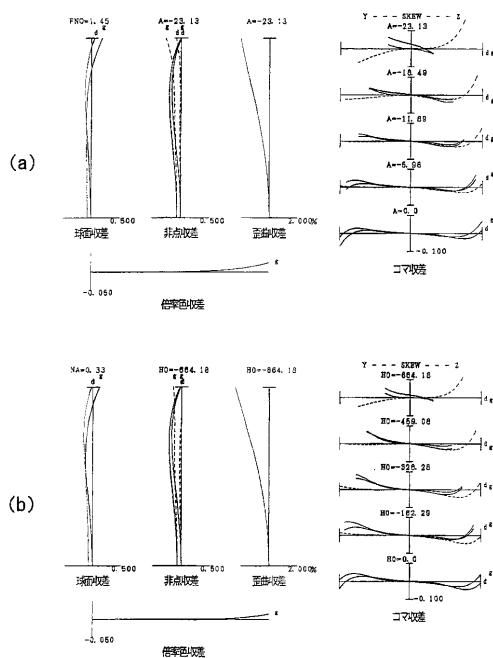
【図9】



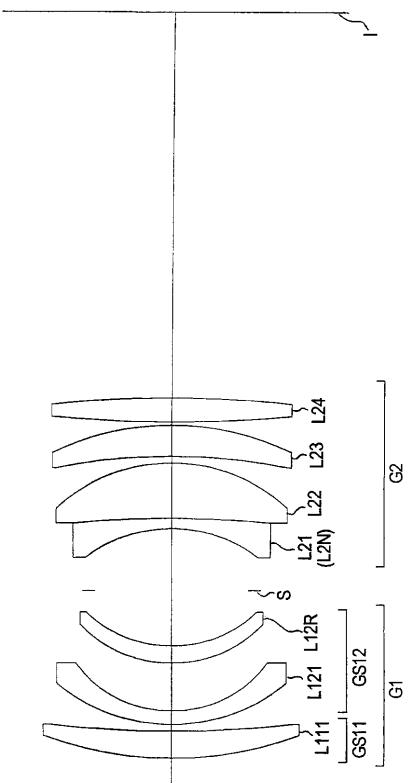
【図10】



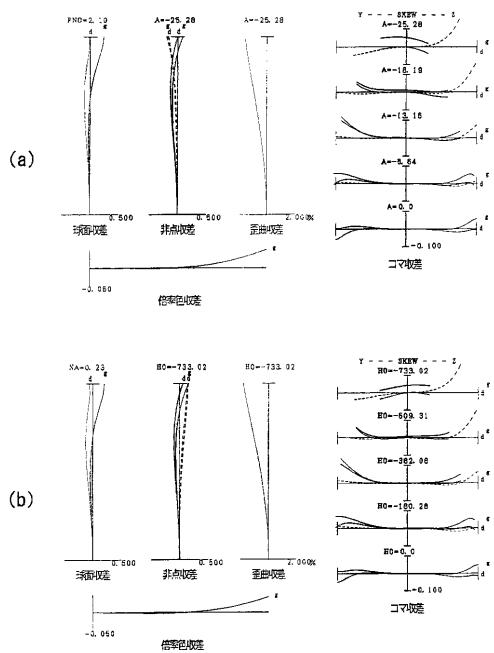
【図11】



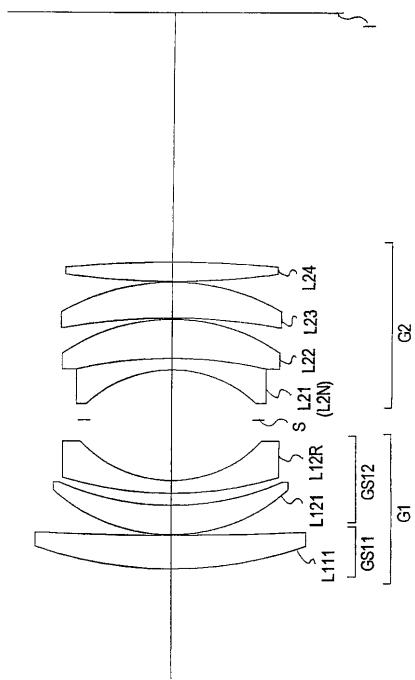
【図12】



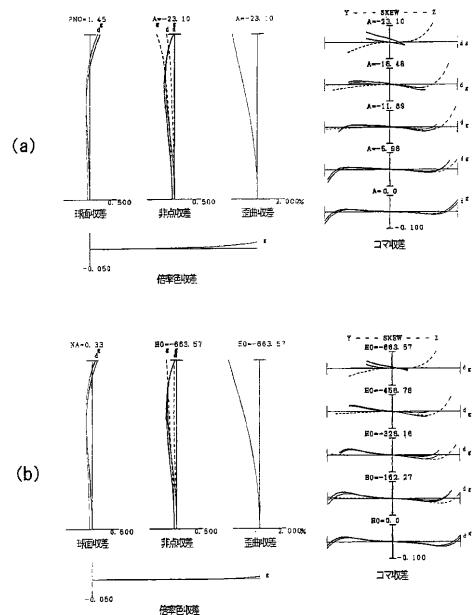
【図13】



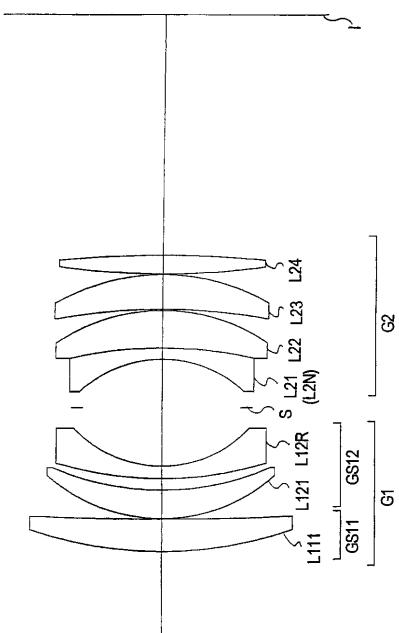
【図14】



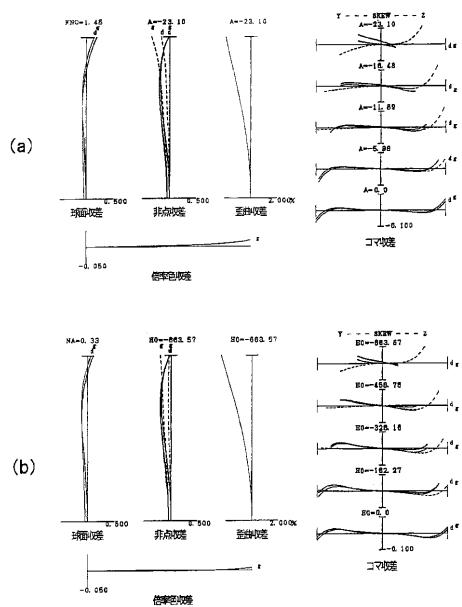
【図15】



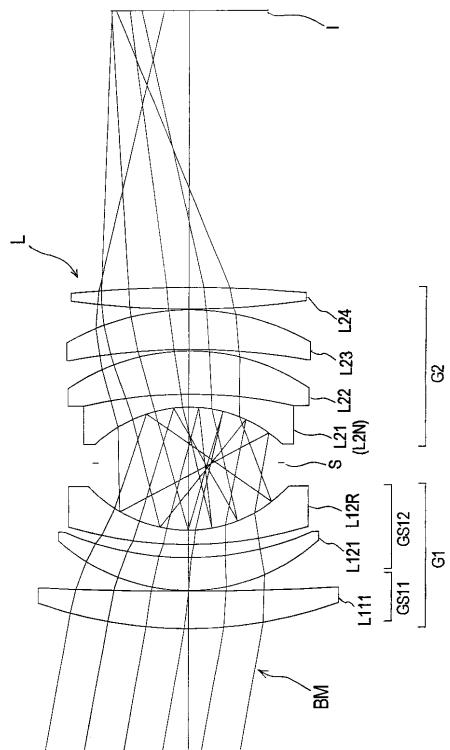
【図16】



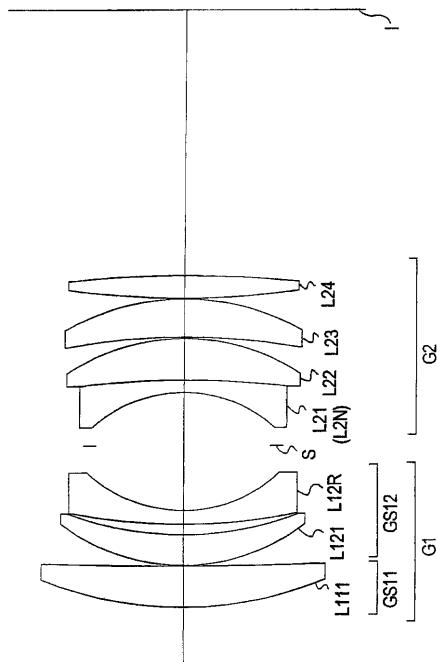
【図17】



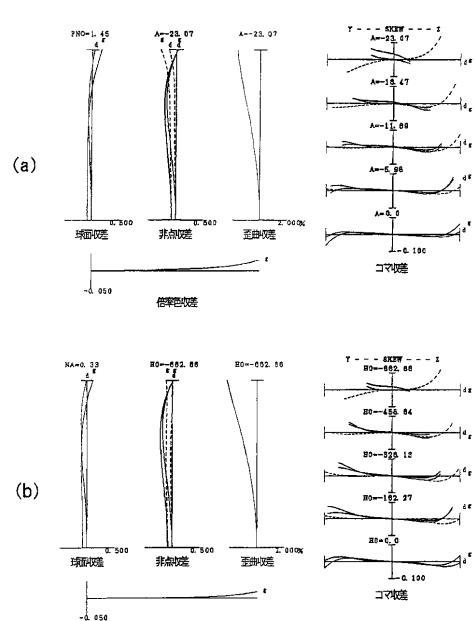
【図18】



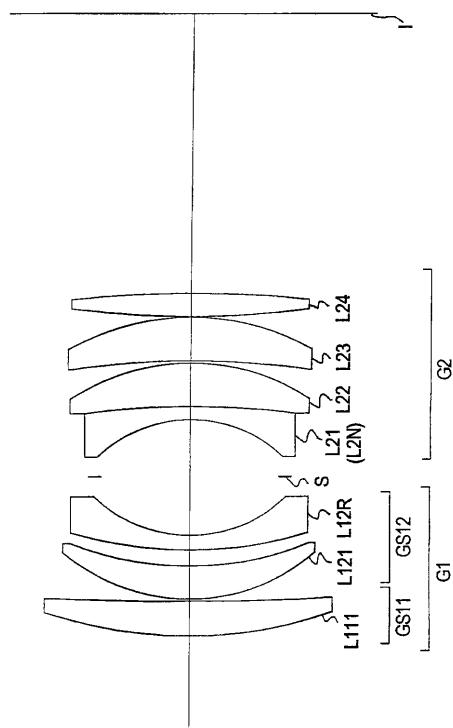
【図19】



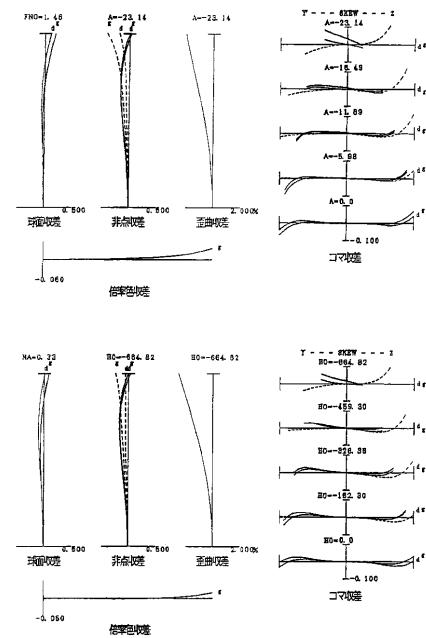
【図20】



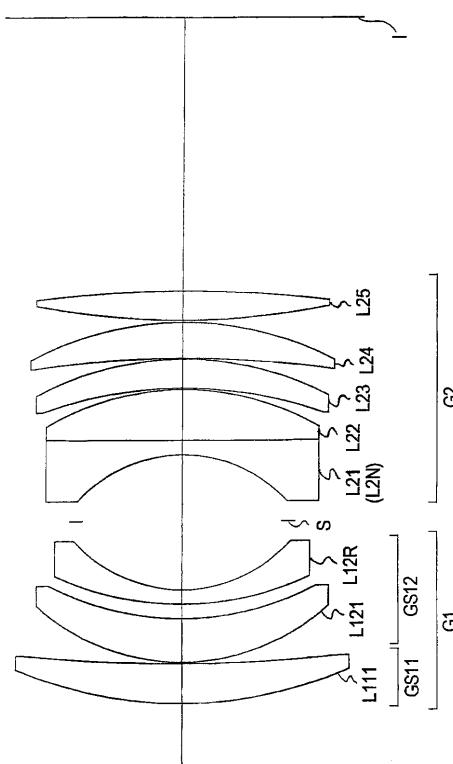
【図21】



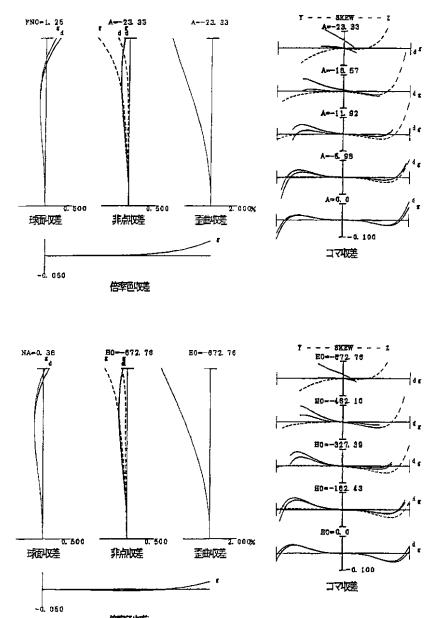
【図22】



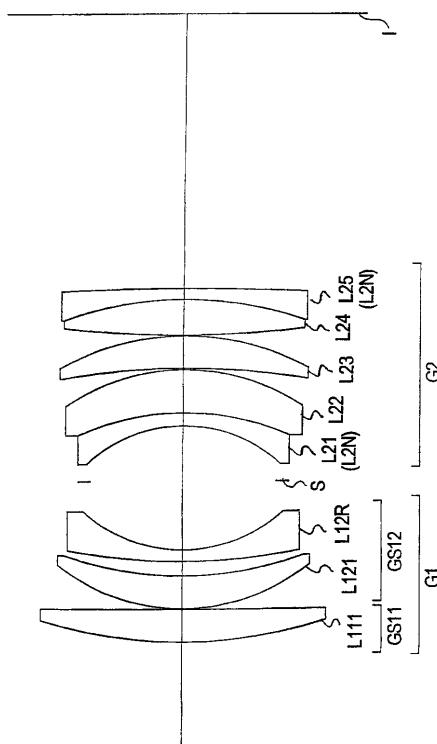
【図23】



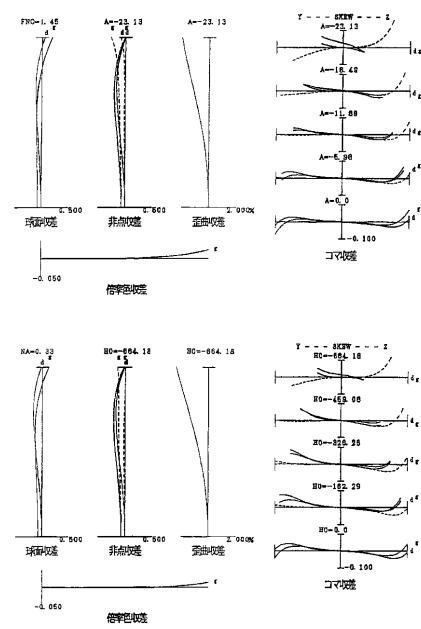
【図24】



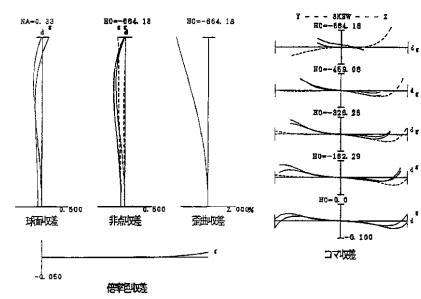
【図25】



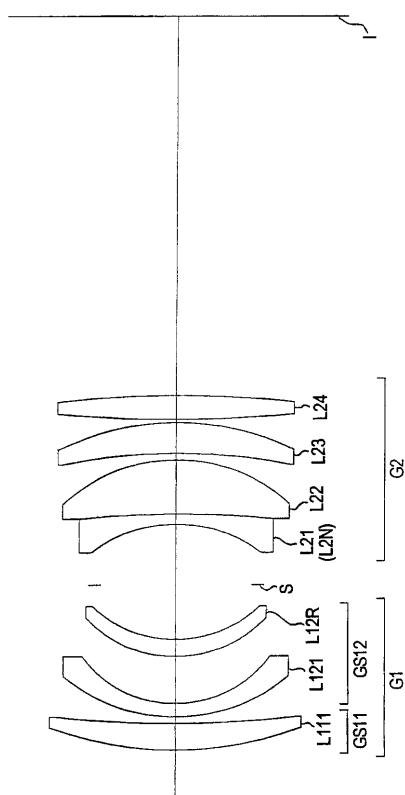
【図26】



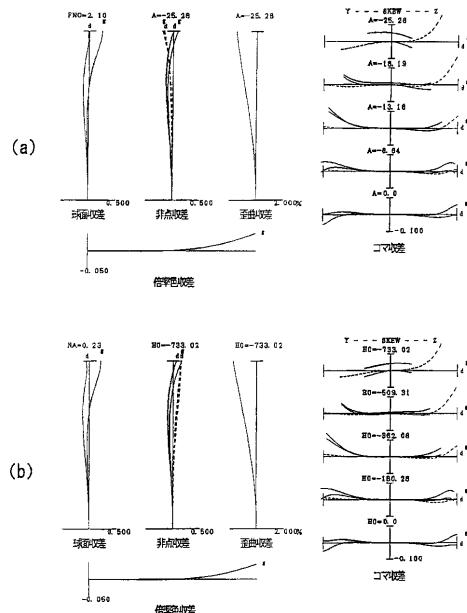
(b)



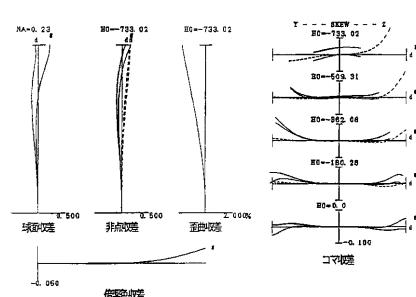
【図27】



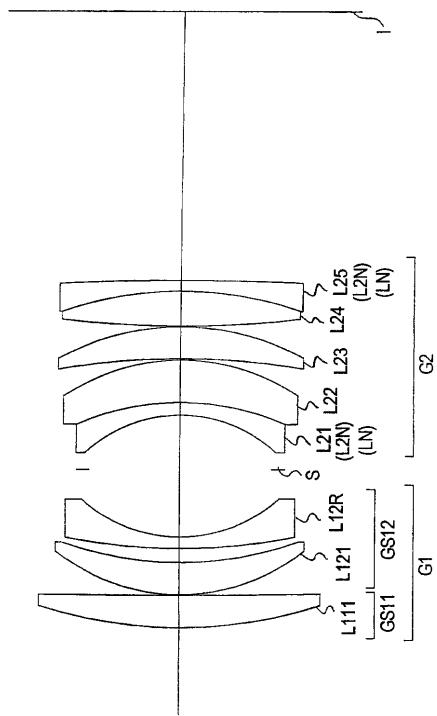
【図28】



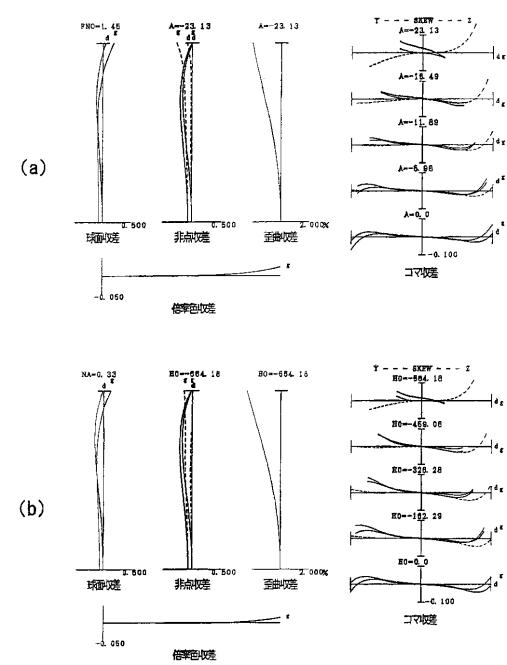
(b)



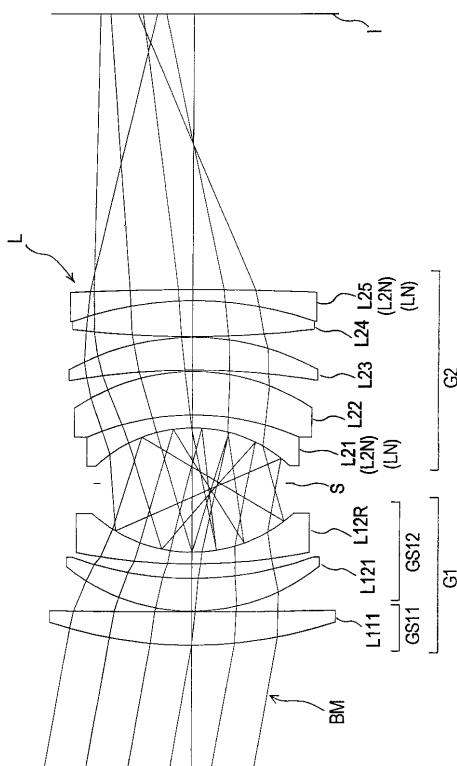
【図29】



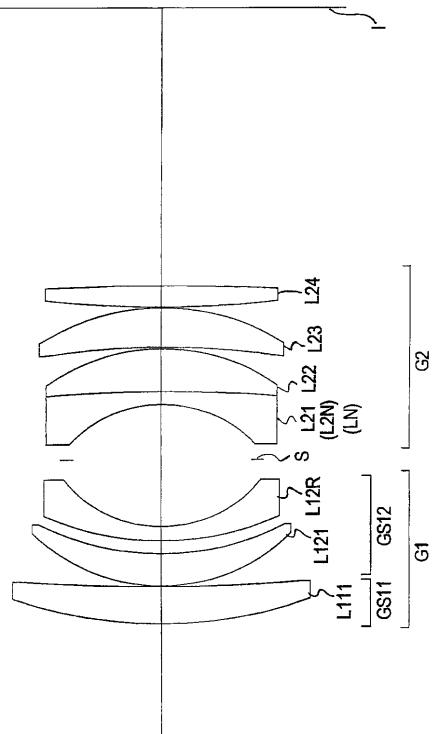
【図30】



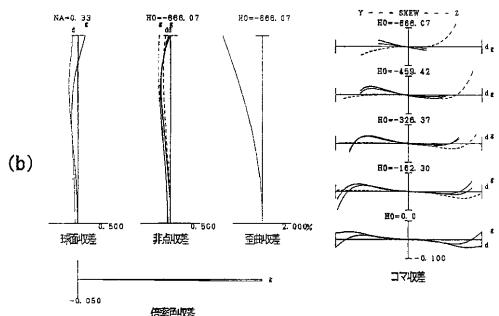
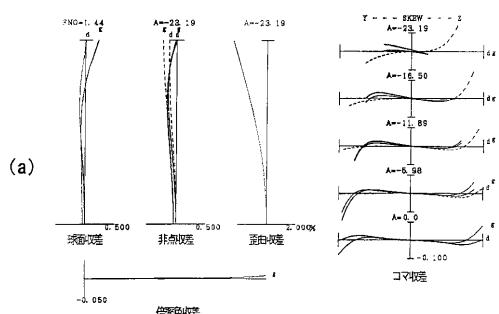
【図31】



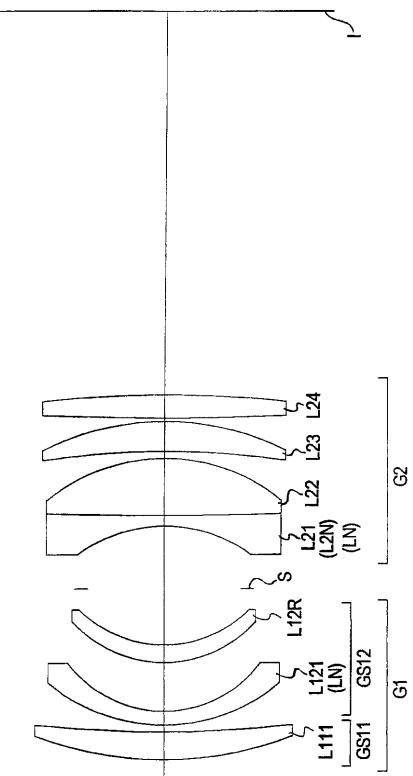
【図32】



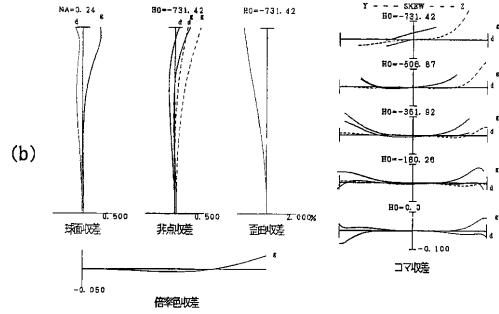
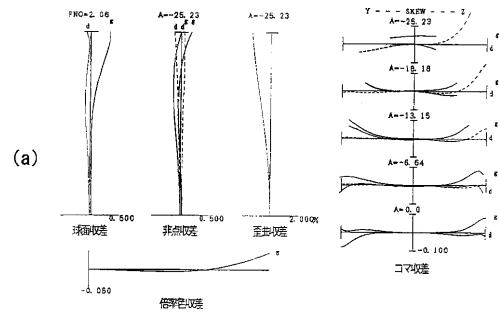
【図33】



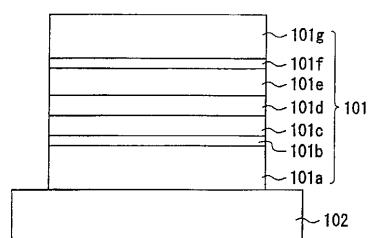
【図34】



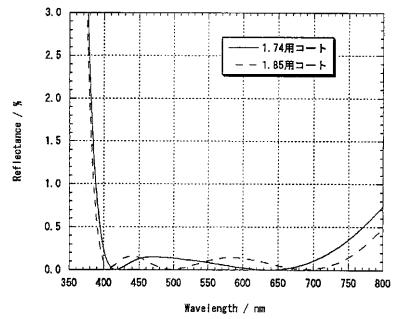
【図35】



【図36】

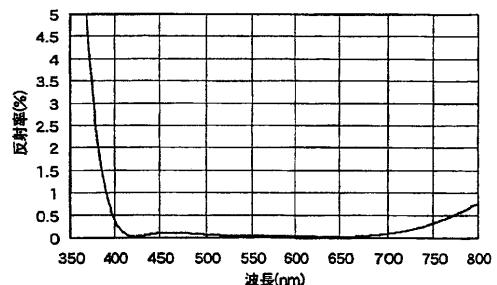


【図37】

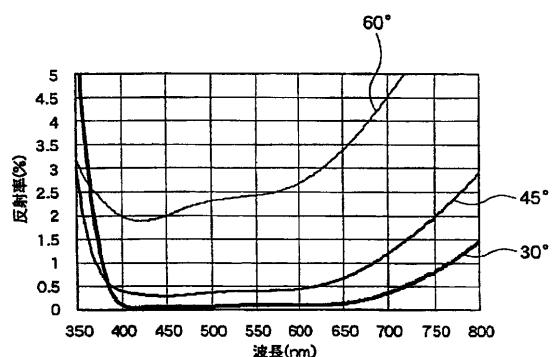


屈折率 1.79 の硝材に 1.74 用と 1.85 用のコートを適用した場合の反射特性

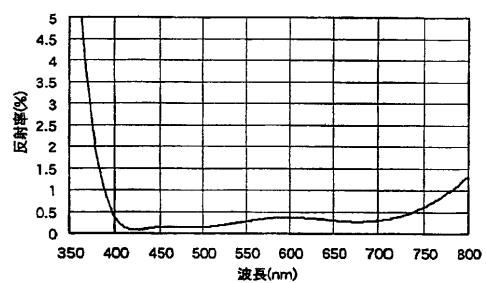
【図38】



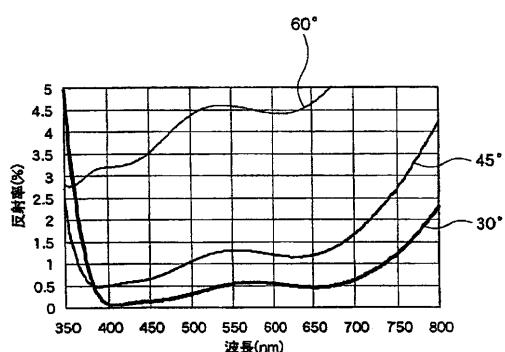
【図39】



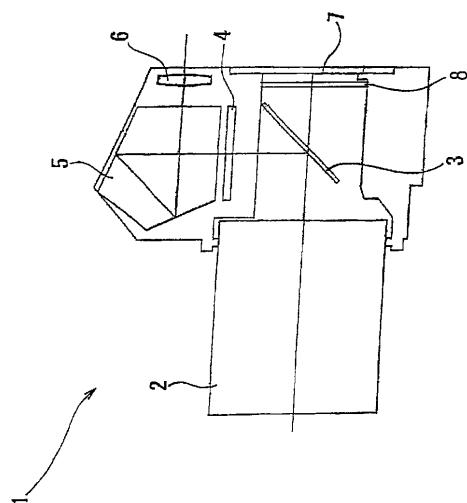
【図40】



【図41】



【図42】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平05-188290(JP,A)
特開昭52-105816(JP,A)
特開2007-322655(JP,A)
特開2003-241084(JP,A)
特開2009-192996(JP,A)
特開2009-198854(JP,A)
特開2008-015432(JP,A)
特開2007-279184(JP,A)
特開2006-084886(JP,A)
特開2007-093972(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 B	9 / 00	-	17 / 08
G 02 B	21 / 02	-	21 / 04
G 02 B	25 / 00	-	25 / 04